



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

*Μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης της
αλληλεπίδρασης μέσω εναέριων χειρονομιών
του χρήστη με πολλαπλούς στόχους στον
φυσικό χώρο*

Διδακτορική διατριβή του
Βογιατζιδάκη Παναγιώτη

Νοέμβριος 2022

Αφιερωμένο στη Βίκυ, Ιάσωνα, και Παρασκευά

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Κουτσαμπάσης Παναγιώτης, αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Βοσινάκης Σπυρίδων, αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Σταυράκης Μόδεστος, μόνιμος επίκουρος καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κουτσαμπάσης Παναγιώτης, αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Βοσινάκης Σπυρίδων, αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Σταυράκης Μόδεστος, μόνιμος επίκουρος καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Γαβαλάς Δαμιανός, καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Ειρήνη Μαυρομάτη, αναπληρώτρια καθηγήτρια, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό ανοικτό Πανεπιστήμιο

Γεώργιος Καρυδάκης, αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Κωνσταντίνος Χωριανόπουλος, αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Δήλωση

Είμαι ο αποκλειστικός συγγραφέας της υποβληθείσας διδακτορικής διατριβής με τίτλο *«Μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης της αλληλεπίδρασης μέσω εναέριων χειρονομιών του χρήστη με πολλαπλούς στόχους στον φυσικό χώρο»*. Η συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά για την απόκτηση του διδακτορικού διπλώματος του τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων. Κάθε βοήθεια, την οποία είχα για την προετοιμασία της, αναγνωρίζεται πλήρως και αναφέρεται επακριβώς στην εργασία.

Επίσης, επακριβώς αναφέρω στην εργασία τις πηγές, τις οποίες χρησιμοποίησα, και μνημονεύω επώνυμα τα δεδομένα ή τις ιδέες που αποτελούν προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας άλλων, ακόμη κι εάν η συμπερίληψή τους στην παρούσα εργασία υπήρξε έμμεση ή παραφρασμένη. Γενικότερα, βεβαιώνω ότι κατά την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής έχω τηρήσει απαρέγκλιτα όσα ο νόμος ορίζει περί διανοητικής ιδιοκτησίας και έχω συμμορφωθεί πλήρως με τα προβλεπόμενα στο νόμο περί προστασίας προσωπικών δεδομένων και τις αρχές Ακαδημαϊκής Δεοντολογίας.

Υπογραφή: _____

Ημερομηνία: _____

Βογιατζιδάκης Παναγιώτης

Περίληψη

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται ζητήματα της Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου Υπολογιστή (Human-Computer Interaction) εστιάζοντας σε συστήματα που προσφέρουν εναέρια αλληλεπίδραση με χειρονομίες (mid-air gestural interaction). Στην εναέρια αλληλεπίδραση με χειρονομίες ή απλά εναέρια αλληλεπίδραση (EA) ο χρήστης χρησιμοποιώντας κινήσεις ή στάσεις του σώματός του (κυρίως των χεριών του), μπορεί να αλληλοεπιδράσει απευθείας με συσκευές που βρίσκονται στο ίδιο χώρο ή με περιεχόμενο που προβάλλεται σε αυτές (μέσω κάποιας διεπαφής). Στην EA δεν υπάρχουν γενικά πρότυπα και σύνολα χειρονομιών τα οποία να είναι ιδανικά για όλες τις εφαρμογές. Συνεπώς, ο προσδιορισμός των κατάλληλων χειρονομιών αποτελεί ένα σημαντικό σχεδιαστικό πρόβλημα το οποίο θα πρέπει να προσαρμόζεται στις ανάγκες και χαρακτηριστικά της εκάστοτε εφαρμογής.

Μέχρι σήμερα η εναέρια αλληλεπίδραση έχει μελετηθεί κατά κανόνα σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης αλληλοεπιδρά με μια συσκευή (στόχο). Ωστόσο, δεν έχει διερευνηθεί εκτενώς η περίπτωση αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους στον ίδιο χώρο, όπως για παράδειγμα στο έξυπνο σπίτι, σε αίθουσες με διάφορες τεχνολογικές επαυξήσεις (π.χ. αίθουσες διδασκαλίας ή συνεργασίας), σε χώρους εκθέσεων και μουσεία, σε σενάρια χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας, κ.α. Εδώ, προκύπτουν επιπλέον σχεδιαστικές προκλήσεις, μερικές από τις πιο σημαντικές είναι ότι: η διαδικασία εμπειρικής έρευνας χειρονομιών, πρωτοτυποποίησης και αξιολόγησης είναι πιο σύνθετη, ότι εισάγεται το πρόβλημα της «απεύθυνσης» (addressing), ενισχύεται ο κίνδυνος της κατά-λάθος ενεργοποίησης («άγγιγμα του Μίδα»), ο αριθμός των χειρονομιών που θα πρέπει να απομνημονεύσει ο χρήστης είναι πολύ μεγάλος, αυξάνεται η πιθανότητα για «αλληλοσυγκρουόμενες» χειρονομίες, κ.α.

Ο σκοπός της διδακτορικής διατριβής είναι να προτείνει και να εφαρμόσει μια επαναληπτική και ολοκληρωμένη μεθοδολογία σχεδιασμού εναέριας αλληλεπίδρασης σε συστήματα με πολλαπλούς στόχους, με κατάλληλη αξιοποίηση, επέκταση και ειδίκευση σχεδιαστικών μεθόδων που αφορούν ολόκληρο τον κύκλο ζωής και περιλαμβάνουν την εκμείωση χειρονομιών, τη σχεδίαση συστήματος, την πρωτοτυποποίηση και την εμπειρική αξιολόγηση. Οι στόχοι της διδακτορικής διατριβής είναι: η κριτική ανασκόπηση και ανάλυση της τρέχουσας επιστημονικής και τεχνολογικής στάθμης του πεδίου της εναέριας αλληλεπίδρασης με χειρονομίες, η πρόταση μεθοδολογικού πλαισίου για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό της εναέριας αλληλεπίδρασης με χειρονομίες σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους όπου περιλαμβάνονται τρία στάδια: εκμειωτική μέθοδος, πρωτοτυποποίηση, και εμπειρική αξιολόγηση, τα οποία ειδικεύονται και προσαρμόζονται, και η πρόταση δύο μοντέλων εναέριας αλληλεπίδρασης σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους (συσκευές στο έξυπνο σπίτι), που έχουν τη δυνατότητα σταδιακής ή απευθείας απεύθυνσης και εντολής προς κάθε συσκευή.

Κατά την πειραματική διερεύνηση της EA με πολλαπλούς στόχους δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα αλληλεπίδρασης. Στο πρώτο μοντέλο αλληλεπίδρασης, «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή» (AeE), ο χρήστης πρέπει πρώτα να ασκήσει μια χειρονομία για να απευθυνθεί στην συσκευή και έπειτα να ασκήσει μια δεύτερη για να ενεργοποιήσει την εντολή. Στο δεύτερο μοντέλο αλληλεπίδρασης, με όνομα «Απεύθυνση-και-Εντολή» (AκE), ο χρήστης θα πρέπει να εφαρμόσει και με τα δύο του χέρια ταυτόχρονα, μια στάση με το αριστερό χέρι και μια χειρονομία (ή στάση) του με το δεξί χέρι. Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής τα παραπάνω μοντέλα διερευνήθηκαν για την περίπτωση συσκευών έξυπνου σπιτιού, αναπτύχθηκε πρωτότυπο και έγινε εμπειρική αξιολόγηση τους με χρήστες, σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία. Το κύριο αποτέλεσμα της πειραματικής διερεύνησης έδειξε πως η EA στο έξυπνο σπίτι είναι απολύτως εφικτή, εύκολη

στην ενθύμηση, εύχρηστη, και κινητοποιεί το ενδιαφέρον των χρηστών. Μεταξύ των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης, το μοντέλο ΑκΕ έχει κάποια συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι του ΑεΕ κυρίως ως προς την ταχύτητα ολοκλήρωσης των εργασιών, και τα λάθη των χρηστών.

Η συμβολή της διδακτορικής διατριβής εστιάζει σε θέματα μεθοδολογίας σχεδιασμού ΕΑ καθώς και σε προτεινόμενα μοντέλα αλληλεπίδρασης σε συστήματα με πολλαπλούς στόχους. Στο στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών προτείνεται η εφαρμογή εκμειωτικών μεθόδων σύμφωνα με συγκεκριμένες αρχές (principles), και πλαίσιο οριοθέτησης (frame) της διαδικασίας, ώστε οι χειρονομίες που προτείνονται από τους χρήστες να είναι εστιασμένες στο πεδίο εφαρμογής. Επίσης, εισάγεται η μετρική 'Βαθμού Συνοχής Χρήστη' (User Consistency Rate) η οποία αποτυπώνει το βαθμό συμφωνίας των χειρονομιών που προτείνει ένας χρήστης για μια δεδομένη εντολή σε πολλές διαφορετικές συσκευές. Στο στάδιο της πρωτοτυποποίησης ΕΑ με πολλαπλούς στόχους προτείνεται πρωτότυπη τεχνολογική σύνθεση με αξιοποίηση εργαλείων που επιτρέπουν τη γρήγορη παραγωγή χειρονομιών, αξιοποίηση μηχανής παιχνιδιών προκειμένου να υλοποιηθεί η ανάδραση κάθε χειρονομίας για κάθε στόχο με τη βοήθεια γραφικών (στατικών και κινούμενων) και ήχου, και αξιοποίηση τεχνολογίας χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας (Spatial Augmented Reality) μέσω χαρτογραφημένης προβολής (Projection Mapping) όπου οι συσκευές και η ανάδραση του «οικοσυστήματος» προβάλλεται πάνω σε ψεύτικα ομοιώματα αντικειμένων (mockups) έτσι ώστε να προσομοιώνεται ένα αληθοφανές περιβάλλον πολλαπλών στόχων αλληλεπίδρασης ενός έξυπνου σπιτιού. Στο στάδιο της αξιολόγησης προτείνεται εμπειρική αξιολόγηση με συμμετοχή χρηστών και χρήση πλαισίου, αντίστοιχο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά το στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών σε διαδικασία με τρεις συνεδρίες (εκπαίδευσης, ανακεφαλαίωσης, και δοκιμής). Επίσης αξιοποιείται σύνολο μετρικών αξιολόγησης που αφορούν την ευχρηστία, την εμπειρία του χρήστη και την ευκολία ενθύμησης, καθώς και ερωτηματολόγια διαβάθμισης (benchmarking) των παραπάνω.

Η διδακτορική διατριβή είναι πρωτότυπη ως προς τα παρακάτω. Ασχολείται με το θέμα της ΕΑ με πολλαπλές συσκευές μέσω μιας ολοκληρωμένης ερευνητικής προσέγγισης που περιλαμβάνει εμπειρική έρευνα χειρονομιών, πρωτοτυποποίηση, και αξιολόγηση. Ερευνά την αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές ως ένα ενιαίο οικοσύστημα και όχι την κάθε συσκευή μεμονωμένα. Παρουσιάζει, ερευνά, και συγκρίνει δύο διαφορετικά μοντέλα εναέριας αλληλεπίδρασης τα οποία αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της «απεύθυνσης» προς τις συσκευές και το πρόβλημα του «αγγίγματος του Μίδα», και επιτρέπουν την μείωση των διαφορετικών χειρονομιών του συστήματος (σε σχέση με τις λειτουργίες που ενεργοποιούν), συμβάλλοντας στην εύκολη απομνημόνευσή τους. Προτείνει ένα ενιαίο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού της ΕΑ με πολλαπλές συσκευές.

Abstract

This PhD thesis deals with issues of Human-Computer Interaction focusing on systems that support mid-air gestural interaction. In mid-air gestural interaction (or simply mid-air interaction), the user can interact directly with devices located in the same physical space, or with content projected on them (through some interface), using gestures or postures of his body (mainly with his hands). In mid-air interaction there are no general patterns and gesture sets that are ideal for all applications. Therefore, defining the most appropriate gestures is an important design issue that should be adapted to the needs and characteristics of each application.

To date mid-air interaction has typically been studied in cases where the user interacts with a single device (target). However, the case of interacting with multiple targets in the same physical space has not been extensively researched, such as in smart homes, in rooms with various technological augmentations (e.g., classrooms), in exhibition places and museums, in spatial augmented reality scenarios, etc. In such cases, additional design challenges arise, some of the most important being that: the process of empirical gesture research, prototyping and evaluation is more complex, the problem of "addressing" a target before commanding it is introduced, the risk of false activation is enhanced (also known as "Midas-touch"), the number of gestures that the user will have to memorize is very large, the possibility of having "conflicting" gestures is high, etc.

The purpose of this PhD thesis is to propose and implement an iterative and integrated design methodology for systems with multiple interactive targets that support mid-air interaction, which uses, extends, and specializes design techniques that address the entire life cycle and include gesture elicitation, system design, prototyping and empirical evaluation. The objectives of the PhD thesis are: to critically review and analyze the methodological and technological state-of-the-art of mid-air interaction, to propose an integrated methodological framework for the design of mid-air interaction on systems with multiple targets (i.e. various appliances of a smart home) that involves gesture elicitation, prototyping, and empirical evaluation, and to propose two interaction models that support two-stage or instant addressing and commanding of each target.

During the experimental investigation of mid-air interaction with multiple targets, two different interaction models were proposed and tested. In the first interaction model, "Address-then-Command" (AtC), the user must first make a gesture to address the device and then make a second gesture to activate the command on it. In the second interaction model, called "Address-and-Command" (A&C), the user must apply with both hands at the same time, a posture with the left hand for addressing the device and a gesture (or posture) with the right hand to command it. The above models were investigated for the case of smart home devices, a prototype was developed, and an empirical evaluation was conducted, according to the proposed methodology. The main result of the experimental research showed that mid-air interaction in the smart home is feasible, easy to remember, and easy to use. Between the two interaction models, the A&C model has some comparative advantages over AtC mainly in terms of task completion time, and user errors.

The contribution of this thesis focuses mainly on mid-air design methodology issues as well as on proposition of two interaction models for systems with multiple targets. At the stage of the empirical investigation of gesture design, a frame-based elicitation study is proposed, so that the user suggested gestures have an environmental validity with the context of the application. Also, the "User Consistency Rate" metric is introduced, which measures the agreement rate of the gestures proposed by one user for a given command on many different devices. At the stage of prototyping, an original technological synthesis is proposed by exploiting: tools that allow rapid prototyping of gesture definition and

recognition, a game engine in order to implement the graphical interface of the system (displaying devices that provide graphical and audio feedback for each recognized gesture), and spatial augmented reality technology (using projection mapping) that allows the devices and the graphical interface of the "ecosystem" to be projected onto mock-ups in order to simulate a realistic interactive multi-targeted environment of a smart home. In the evaluation stage, an empirical evaluation with user participation and the use of a framework is proposed, similar to the one used during the stage of empirical gestural research in a process with three sessions (training, recap, and testing). Also, a set of evaluation metrics concerning gesture ease of use, user experience and memorability, are used, as well as questionnaires for benchmarking of the above.

The PhD thesis is original in the following respects. It addresses the topic of mid-air interaction in multi-targeted environment through an integrated research approach that includes empirical gesture research, prototyping, and evaluation. It explores the interaction with multiple devices as a single ecosystem rather than with each device individually. It presents, investigates, and compares two different mid-air interaction models that address the problem of "addressing" the devices, and the problem of "Midas touch", and allow the reduction of the gesture set (with respect to the total functions that activate) contributing to easy memorization. It proposes a single methodological framework for designing mid-air interaction with multiple devices.

Δημοσιεύσεις

Δημοσιεύσεις σχετικές με τη διδακτορική έρευνα:

- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2022). 'Address and command': Two-handed mid-air interactions with multiple home devices. *International Journal of Human-Computer Studies*, 159, 102755. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102755>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2021, November). Mid-air gestures for manipulation of multiple targets in the physical space: comparing the usability of two interaction models¹. In *CHI Greece 2021: 1st International Conference of the ACM Greek SIGCHI Chapter* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1145/3489410.3489425>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2020). Mid-air gesture control of multiple home devices in spatial augmented reality prototype. *Multimodal Technologies and Interaction*, 4(3), 61. <https://doi.org/10.3390/mti4030061>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2019, June). Frame-based elicitation of mid-air gestures for a smart home device ecosystem. In *Informatics* (Vol. 6, No. 2, p. 23). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/informatics6020023>
- Koutsabasis, P., & Vogiatzidakis, P. (2019). Empirical research in mid-air interaction: A systematic review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(18), 1747-1768. <https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1572352>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2018). Gesture elicitation studies for mid-air interaction: A review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(4), 65. <https://doi.org/10.3390/mti2040065>

Άλλες δημοσιεύσεις:

- Koutsabasis, Panayiotis, Konstantinos Partheniadis, Anna Gardeli, Panagiotis Vogiatzidakis, Vasiliki Nikolakopoulou, Pavlos Chatzigrigoriou, Spyros Vosinakis, and Despina E. Filipidou. 2022. "Co-Designing the User Experience of Location-Based Games for a Network of Museums: Involving Cultural Heritage Professionals and Local Communities" *Multimodal Technologies and Interaction* 6, no. 5: 36. <https://doi.org/10.3390/mti6050036>
- Koutsabasis, P., Partheniadis, K., Gardeli, A., Vogiatzidakis, P., Nikolakopoulou, V., Chatzigrigoriou, P., & Vosinakis, S. (2021, November). Location-Based Games for Cultural Heritage: Applying the Design Thinking Process. In *CHI Greece 2021: 1st International Conference of the ACM Greek SIGCHI Chapter* (pp. 1-8). <https://doi.org/10.1145/3489410.3489419>
- Koutsabasis, P., Gardeli, A., Partheniadis, K., Vogiatzidakis, P., Nikolakopoulou, V., Chatzigrigoriou, P., & Vosinakis, S. (2021, August). Field Playtesting with Experts' Constructive Interaction: An Evaluation Method for Mobile Games for Cultural Heritage. In *2021 IEEE Conference on Games (CoG)*(pp. 1-9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CoG52621.2021.9619049>
- Koutsabasis, P., Gardeli, A., Partheniadis, K., Vogiatzidakis, P., Nikolakopoulou, V., Chatzigrigoriou, P., & Vosinakis, S. (2020, November). Learning about the Heritage of Tinian Marble Crafts with a Location-Based Mobile Game and Tour App. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 377-388). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73043-7_31

¹ Best paper award

Ευχαριστίες

Έχοντας φτάσει στο τέλος της διδακτορικής μου διατριβής, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της.

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου καθηγητή, Παναγιώτη Κουτσαμπάση. Όλο αυτό το μακρινό ταξίδι γνώσης, επιστημονικής και κυρίως εσωτερικής, δεν θα είχε ξεκινήσει χωρίς την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την πρώτη στιγμή της συνεργασίας μας. Ήταν πρόθυμος, είχε υπομονή, ήταν υποστηρικτικός, και πάντα εύρισκε χρόνο να με βοηθήσει σε διάφορες δυσκολίες που προέκυψαν, άλλες φορές υποδεικνύοντας εύστοχες λύσεις και άλλες φορές βοηθώντας με να τις ανακαλύψω μόνος μου. Ευχαριστώ επίσης, τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, Σπυρίδων Βοσινάκη και Μόδεστο Σταυράκη για τις χρήσιμες και ουσιαστικές συμβουλές και προτάσεις που μου έδωσαν.

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στη σύζυγο μου Βίκυ, για την αμέριστη συμπαράσταση που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια δείχνοντας υπομονή και κατανόηση, δίνοντάς μου δύναμη και κουράγιο στις δυσκολίες που συνάντησα κατά τη διάρκεια της διατριβής μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα παιδιά μου Ιάσωνα και Παρασκευά, για τον χρόνο που μου παραχώρησαν και ελπίζω να τον αναπληρώσω από τώρα και στο εξής. Σας ευχαριστώ, και ως ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης σας αφιερώνω τη διδακτορική μου διατριβή.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για την αγάπη και συμπαράσταση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια όλων των προσπαθειών που έχω επιχειρήσει μέχρι τώρα.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή	21
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	22
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	24
1.3 ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	25
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	27
2. Αλληλεπίδραση με εναέριες χειρονομίες: Ανάλυση της τρέχουσας επιστημονικής και τεχνολογικής στάθμης	29
2.1 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	30
2.1.1 Διάχυτος υπολογισμός	30
2.1.2 Φυσικές διεπαφές χρήστη (Natural User interfaces - NUI)	31
2.1.3 Κινησθητική αλληλεπίδραση	33
2.1.4 Αλληλεπίδραση με εναέριες χειρονομίες	35
2.1.5 Χειρονομίες ως μορφή έκφρασης και επικοινωνίας	38
2.1.6 Χειρονομίες στην εναέρια αλληλεπίδραση ανθρώπου υπολογιστή	38
2.1.7 Ιστορική αναδρομή της εναέριας αλληλεπίδρασης	40
2.2 ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΚΜΑΙΕΥΣΗΣ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ ΩΣ Η ΚΥΡΙΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ...	46
2.2.1 Σχεδιαστικές προσεγγίσεις για την εξαγωγή λεξιλογίου χειρονομιών	46
2.2.2 Χρηστοκεντρικές μέθοδοι εκμείευσης χειρονομιών	47
2.2.2.1 Μελέτη εικασιών (Guessability study)	47
2.2.2.2 Μελέτη εικασίας με επιλογή (Choice-based elicitation Study)	48
2.2.2.3 Διαισθητική και Εργονομική μέθοδος (Intuitive and Ergonomic method)	49
2.2.2.4 Μελέτη εικασιών με χρήση πλαισίου περιορισμών (Frame-based guessability study)	49
2.2.2.5 Συνδυασμός χρηστοκεντρικών μεθόδων	50
2.2.3 Τεχνικές και εργαλεία κατά την εκμείευση χειρονομιών	51
2.2.3.1 Τρόποι αντιμετώπισης μεροληψίας χρηστών από προηγούμενες εμπειρίες τους από άλλες τεχνολογίες (Legacy Bias)	51
2.2.3.2 Πρωτόκολλο εξωτερίκευσης της σκέψης (Think-aloud protocol)	52
2.2.3.3 Τεχνική «μάγου του Οζ» (Wizard of Oz)	52
2.2.3.4 Τεχνικές παρουσίασης «αναφορών»	53
2.2.3.5 Κριτήρια καταλληλότητας χειρονομιών	53
2.2.3.6 Χρήστες	55
2.2.4 Ανάλυση δεδομένων από μελέτες εκμείευσης χειρονομιών	55
2.2.4.1 Μετρικές των μελετών εκμείευσης χειρονομιών	55
2.2.4.2 Ταξινόμηση χειρονομιών	56
2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ	58
2.3.1 Τεχνολογίες αναγνώρισης κινήσεων	58
2.3.2 Περιεχόμενο εφαρμογών εναέριας αλληλεπίδρασης	62
2.3.2.1 Δισδιάστατο περιεχόμενο	63
2.3.2.2 Τρισδιάστατο περιεχόμενο	64
2.3.3 Μορφές ελέγχου σε εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης	65
2.3.3.1 Μορφές ελέγχου σε δισδιάστατες εφαρμογές	65
2.3.3.2 Μορφές ελέγχου σε τρισδιάστατες εφαρμογές	66
2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΕ ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΕΣ	67
2.4.1 Μέθοδοι αξιολόγησης	67
2.4.2 Έμφαση και μετρήσεις αξιολόγησης	70
2.4.3 Τεχνικές συλλογής δεδομένων κατά την αξιολόγηση εναέριας αλληλεπίδρασης	71
2.4.4 Χρήστες	72
2.5 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
3. Εναέριες Χειρονομίες: Πεδία εφαρμογής και η περίπτωση της Αλληλεπίδρασης με Πολλαπλούς Στόχους	74
3.1 ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ	75
3.1.1 Απομακρυσμένες οθόνες	75
3.1.2 Χειρουργεία	76
3.1.3 Τρισδιάστατα μοντέλα και εικονικοί χώροι	76
3.1.4 Περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού	77
3.1.5 Έξυπνες τηλεοράσεις	77

3.1.6 Θεραπευτική παρέμβαση.....	78
3.1.7 Προσβασιμότητα.....	79
3.1.8 Πολιτιστική κληρονομιά	80
3.1.9 Καταχώρηση κειμένου.....	80
3.1.10 Μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών.....	81
3.2 ΕΝΑΕΡΙΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ	82
3.2.1 Σχεδιαστικές προκλήσεις.....	82
3.2.2 Εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλά στοιχεία γραφικής διεπαφής χωρίς δεικτικές χειρονομίες.....	83
3.2.3 Εναέρια αλληλεπίδραση με δύο χέρια για σύνθετες εργασίες	85
3.3 Η ΕΝΑΕΡΙΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ «ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ».....	87
3.3.1 Το 'έξυπνο σπίτι'	87
3.3.2 Μελέτες εκμείυσης χειρονομιών για εναέρια αλληλεπίδραση με το «έξυπνο σπίτι».....	87
3.3.3 Πρωτοτυποποίηση της εναέριος αλληλεπίδραση με το «έξυπνο σπίτι»	89
3.3.4 Μελέτες Περίπτωσης.....	89
3.4 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90

4. Μελέτη περίπτωσης 1: “Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή” – Μοντέλο αλληλεπίδρασης με εναέρια χειρονομίες σε περιβάλλον με πολλαπλές συσκευές 91

4.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ «ΑΠΕΥΘΥΝΣΗ-ΈΠΕΙΤΑ-ΕΝΤΟΛΗ» (ΑΕΕ): ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	92
4.2 ΕΚΜΑΙΕΥΣΗ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ	95
4.2.1 Μέθοδος εκμείυσης χειρονομιών: πλαίσιο και περιορισμοί.....	95
4.2.2 Αναφερόμενες συσκευές και εντολές.....	96
4.2.3 Συμμετέχοντες στη διαδικασία εκμείυσης χειρονομιών	97
4.2.4 Τεχνολογική υποδομή	99
4.2.5 Ανάλυση προτεινόμενων χειρονομιών με τον «βαθμό ομοφωνίας» των χρηστών (Agreement rate) για κάθε αναφορά.....	99
4.2.6 Ανάλυση συνέπειας χρηστών με το δείκτη συνέπειας χρηστών μεταξύ συσκευών (Consistency rate).....	102
4.2.7 Ομαλοποίηση του τελικού λεξιλογίου χειρονομιών.....	104
4.3 ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	106
4.3.1 Σχεδίαση πρωτοτύπου.....	106
4.3.2 Εξοπλισμός και εγκατάσταση του πρωτοτύπου.....	106
4.3.3 Τεχνολογίες πρωτοτύπου.....	107
4.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ	112
4.4.1 Διαδικασία αξιολόγησης	112
4.4.2 Σενάριο που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση	112
4.4.3 Συμμετέχοντες στην αξιολόγηση.....	113
4.4.4 Μετρικές αξιολόγησης	113
4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	113
4.5.1 Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task success)	113
4.5.2 Χρόνος ολοκλήρωσης εργασιών (Task Time).....	115
4.5.3 Λάθη (Errors).....	117
4.5.3.1 Ψευδώς αρνητικά λάθη (false negative errors).....	117
4.5.3.2 Ψευδώς θετικά λάθη (false positive errors).....	118
4.5.4 Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών (Memorability)	119
4.5.5 Ερωτηματολόγιο SUS (System Usability Scale)	120
4.5.6 Ερωτηματολόγιο UEQ (User Experience Questionnaire).....	120
4.6 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	121

5. Μελέτη περίπτωσης 2: “Απεύθυνση-και-Εντολή” - Μοντέλο αλληλεπίδρασης με πολλαπλές συσκευές με χρήση εναέριων χειρονομιών 123

5.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ «ΑΠΕΥΘΥΝΣΗ-ΚΑΙ-ΕΝΤΟΛΗ» (ΑΚΕ)	124
5.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ.....	126
5.2.1 Μέθοδος εκμείυσης χειρονομιών.....	126
5.2.2 Αναφερόμενες εντολές.....	127
5.2.3 Συμμετέχοντες στη διαδικασία εκμείυσης χειρονομιών	128
5.2.4 Τεχνολογική υποδομή	128
5.2.5 Ανάλυση προτεινόμενων χειρονομιών με τον «βαθμό ομοφωνίας» των χρηστών (Agreement rate) για κάθε αναφορά.....	128
5.2.6 Λεξιλόγιο χειρονομιών (ΑΚΕ)	129

5.3 ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	130
5.3.1 Πρωτότυπο και τεχνολογική υποδομή.....	130
5.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΞΙΛΟΓΙΟΥ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ	132
5.4.1 Διαδικασία αξιολόγησης	132
5.4.2 Συμμετέχοντες στην αξιολόγηση.....	133
5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	133
5.5.1 Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task success)	133
5.5.2 Χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας (Task Time).....	134
5.5.3 Λάθη (Errors).....	136
5.5.3.1 Ψευδώς αρνητικά λάθη (false negative errors)	136
5.5.3.2 Ψευδώς θετικά λάθη (false positive errors).....	138
5.5.4 Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών (Memorability)	139
5.5.5 Ερωτηματολόγιο SUS (System Usability Scale)	140
5.5.6 Ερωτηματολόγιο UEQ (User Experience Questionnaire).....	140
5.6 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	141
6. Σύγκριση μοντέλων αλληλεπίδρασης.....	142
6.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ.....	143
6.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ.....	144
6.2.1 Μέθοδος εκμείευσης χειρονομιών.....	144
Αποτελέσματα σχεδίασης χειρονομιών (συγκριτικά).....	146
6.3 ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	147
6.3.1 Μέθοδος ανάπτυξης πρωτοτύπου.....	147
6.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	149
6.4.1 Μέθοδος αξιολόγησης χειρονομιών	149
6.4.2 Αποτελέσματα αξιολόγησης (συγκριτικά)	151
6.5 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	153
7. Προτεινόμενο Μεθοδολογικό Πλαίσιο - Συμπεράσματα - Συμβολή - Περιορισμοί.....	155
7.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ: ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ	156
7.1.1 Εκμείευση χειρονομιών με χρήση πλαισίου περιορισμών	156
7.1.1.1 Στάδιο προετοιμασίας μελέτης εκμείευσης.....	156
7.1.1.2 Στάδιο μελέτης εικασιών με χρήστες.....	159
7.1.1.3 Στάδιο ανάλυσης των προτεινόμενων χειρονομιών και εξαγωγής του σετ χειρονομιών	160
7.1.2 Πρωτοτυποποίηση χειρονομιών	162
7.1.2.1 Στάδιο δημιουργίας μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών	162
7.1.2.2 Στάδιο υλοποίησης διαστάσεων εφαρμογής	162
7.1.2.3 Στάδιο υλοποίησης εφαρμογής χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας.....	163
7.1.2.4 Στάδιο υλοποίησης βίντεο βοήθειας	163
7.1.3 Αξιολόγηση πρωτοτύπου.....	163
7.1.3.1 Στάδιο προετοιμασίας αξιολόγησης.....	164
7.1.3.2 Στάδιο αξιολόγησης χειρονομιών	164
7.1.3.3 Στάδιο ανάλυσης δεδομένων αξιολόγησης.....	165
7.1.4 Οδηγίες εφαρμογής μεθοδολογικού πλαισίου σχεδίασης ΕΑ.....	166
7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	168
7.2.1 Η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές είναι εφικτή και αρκετά ικανοποιητική όσο αφορά την ευχρηστία και την εμπειρία του χρήστη.....	168
7.2.2 Η εφαρμογή πλαισίου σε μελέτες εκμείευσης χειρονομιών συμβάλει πολύ θετικά στον εντοπισμό κατάλληλων χειρονομιών	169
7.2.3 Πρόταση ενός περιεκτικού λεξιλογίου χειρονομιών σε σχέση με αντίστοιχες έρευνες.....	169
7.2.4 Εισαγωγή χειρονομίας απεύθυνσης για αποφυγή του φαινομένου «αγγίγματος του Μίδα»	170
7.2.5 Η ΕΑ ως μοναδική διεπαφή χρήστη για την αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές	171
7.2.6 Ο αυξημένος βαθμός συνέπειας (Consistency Rate) αποτελεί ένδειξη της αναγκαιότητας για προσωποποιημένο λεξιλόγιο χειρονομιών	171
7.2.7 Τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑκΕ και ΑεΕ προσφέρουν οικονομία κλίμακας όσο προστίθενται επιπλέον συσκευές στο σύστημα.....	172
7.3 ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ.....	173
7.3.1 Ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού ΕΑ με πολλαπλούς στόχους.....	173
7.3.2 Εκμείευση χειρονομιών	173
7.3.3 Πρωτοτυποποίηση	174
7.3.4 Εμπειρική αξιολόγηση.....	174

7.3.5 Δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης για ΕΑ με πολλαπλούς στόχους.....	175
7.4 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	175
7.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	176
7.5.1 Μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ με χρήση μόνο του ενός χεριού.....	176
7.5.2 Προσωποποιημένα σετ χειρονομιών.....	176
7.5.3 Χρήση έξυπνων γυαλιών.....	177
7.6 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΑ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ	177
Παράρτημα Α': Διαφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκπαίδευσης χειρονομιών με το μοντέλο αλληλεπίδρασης "Απεύθυνση-Έπειτα-Εντολή"	179
Παράρτημα Β': Διαφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκπαίδευσης χειρονομιών με το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Και-Εντολή».....	182
Παράρτημα Γ': Σενάριο που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση και οι αντίστοιχες εντολές για κάθε μοντέλο αλληλεπίδρασης.....	183
Παράρτημα Δ': System Usability Scale (SUS) questionnaire	185
Παράρτημα Ε': User Experience Questionnaire (UEQ).....	186
Αναφορές.....	188

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1 - Στάδια χειρονομίας.....	40
Εικόνα 2.2 - Ορόσημα της εναέριας αλληλεπίδρασης.....	41
Εικόνα 2.3 - Κριτήρια καταλληλότητας προτεινόμενων χειρονομιών σε μελέτες εκμείωσης χειρονομιών.....	54
Εικόνα 2.4 – Παράδειγμα κάμερας βάθους τοποθετημένη στο κεφάλι του χρήστη (Meng Ma et al., 2016)	61
Εικόνα 2.5 – Παραδείγματα ΕΑ με περιεχόμενο δύο διαστάσεων: με αναγνώριση δαχτύλων (πάνω-αριστερά) (Kulshreshtha & LaViola, 2014), με χρήση όλου του σώματος (πάνω-δεξιά) (Bossavit, Marzo, & Ardaiz, 2014), με κινήσεις της παλάμης (κάτω) (Ni et al., 2010).....	63
Εικόνα 2.6 – Χειρισμός εικόνων με ΕΑ μέσα σε χειρουργεία (αριστερά) (O’Hara et al., 2014), σε δημόσιους χώρους (δεξιά) (S. Yoo et al., 2015).....	64
Εικόνα 2.7 – Παραδείγματα τρισδιάστατου περιεχομένου σε εφαρμογές με ΕΑ: περιστροφή αντικειμένων (πάνω-δεξιά) (Cui & Sourin, 2018), εφαρμογή αγγειοπλαστικής (πάνω-δεξιά) (Vinayak & Ramani, 2016), χειρισμός τρισδιάστατου μοντέλου αυτοκινήτου (κάτω) (L.-C. Chen et al., 2017)..	65
Εικόνα 2.8 – Διαφορετικές μορφές περιεχομένου σε εφαρμογές ΕΑ: χειρισμός τηλεόρασης (αριστερά) (Dezfuli et al., 2012), χειρισμός ιατρικών δεδομένων (δεξιά) (Dezfuli et al., 2012)	66
Εικόνα 2.9 – Χρήση ΕΑ για πλοήγηση σε τρισδιάστατους χάρτες (κάτω) (Guy et al., 2015).....	67
Εικόνα 3.1 – Περιστροφή και τοποθέτηση μοντέλου σε τρισδιάστατο χώρο (Vuibert et al., 2015).....	77
Εικόνα 3.2 – Παραδείγματα ΕΑ σε περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού, χρησιμοποιώντας χειρονομίες που δεν προκαλούν κούραση (αριστερά) (Vuibert et al., 2015), και μικρο-χειρονομίες (δεξιά) (Chan et al., 2016).....	77
Εικόνα 3.3 – Εναέρια αλληλεπίδραση για το χειρισμό της τηλεόρασης (Dezfuli et al., 2012; Zaiti et al., 2015).....	78
Εικόνα 3.4 – ΕΑ σε εφαρμογές θεραπευτικής παρέμβασης: Εφαρμογή αξιολόγησης της σκλήρυνσης κατά πλάκας (αριστερά) (Morrison et al., 2016), παιχνίδι που απαιτεί σωματική κίνηση για παιδιά με κινητικά προβλήματα (δεξιά) (Caro et al., 2015).....	79
Εικόνα 3.5 – Εφαρμογή που επιτρέπει την πρόσβαση σε άτομα χωρίς όραση σε παιχνίδι με πολλούς παίκτες (Grabski et al., 2016).....	79
Εικόνα 3.6 – Παράδειγμα εφαρμογής πολιτιστικής κληρονομιάς (Koutsabasis & Vosinakis, 2017).....	80
Εικόνα 3.7 – Παραδείγματα μελετών με αντικείμενο την εισαγωγή κειμένου με ΕΑ (Markussen et al., 2014; Ren & O’Neill, 2013a; Yi et al., 2015).....	81
Εικόνα 3.8 – Παραδείγματα ερευνών με αντικείμενο την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών (Di Geronimo et al., 2017; Mäkelä et al., 2018; R.-D. Vatavu, 2017).....	81
Εικόνα 3.9 – “pathsync”: Επιλογή στόχων ακολουθώντας το αντίστοιχο μοτίβο με τα χέρια (Carter et al., 2016a).....	84
Εικόνα 3.10 – “summon and select”: Χρήση μοναδικής πόζας των δαχτύλων για την απεύθυνση σε συγκεκριμένο στοιχείο της διεπαφής (Gurta et al., 2017).....	85
Εικόνα 3.11 – “handle-bar metaphor”: Περιστροφή, τοποθέτηση και μεγέθυνση τρισδιάστατων μοντέλων (Song et al., 2012).....	86
Εικόνα 3.12 – “airplane”: αλληλεπίδραση με κινητό τηλέφωνο με χειρονομίες γύρω από τη συσκευή (Hasan et al., 2017).....	86
Εικόνα 3.13 – “gunslinger”: χρήση χειρονομιών με τα χέρια στο ύψος των γοφών (M. Liu et al., 2015)	87
Εικόνα 4.1 - Διάγραμμα του μοντέλου Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή.....	94
Εικόνα 4.2 - Παράδειγμα αύξησης της έντασης της τηλεόρασης με το μοντέλο ΑεΕ.....	94

Εικόνα 4.3 - Δείγμα διαφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκμείωσης χειρονομιών.....	99
Εικόνα 4.4 - Χειρονομίες του συστήματος.....	100
Εικόνα 4.5 - Σχέση “βαθμού συνέπειας – CR(c)” και “βαθμού ομοφωνίας – AR(r)”.....	103
Εικόνα 4.6 - Ομοιώματα συσκευών κατασκευασμένα από αφορολέξ (αριστερά). Προβολή ψηφιακού περιεχομένου πάνω στα ομοιώματα συσκευών (δεξιά).....	106
Εικόνα 4.7 - Υλοποίηση δισδιάστατου πρωτότυπο σε περιβάλλον Unity.....	108
Εικόνα 4.8 - Σχεδίαση κινούμενου χαρακτήρα (αριστερά), Βίντεο "βοήθειας" (δεξιά).....	109
Εικόνα 4.9 - Εφαρμογή TouchOSC στο iPad.....	110
Εικόνα 4.10 - Τεχνολογίες πρωτοτύπου.....	111
Εικόνα 5.1 - Διάγραμμα του μοντέλου Απεύθυνσης-και-Εντολής.....	125
Εικόνα 5.2 - Παράδειγμα αλληλεπίδρασης με το μοντέλο ΑκΕ: το μη κυρίαρχο χέρι ασκεί την πόζα απεύθυνσης για να απευθυνθεί στην τηλεόραση, ενώ το κυρίαρχο χέρι ασκεί τη χειρονομία εντολής αύξησης της έντασης του ήχου.....	125
Εικόνα 5.3 - Δείγμα διαφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκμείωσης χειρονομιών: (1-3) διαφάνειες εντολών, (4) διαφάνεια συσκευών.....	127
Εικόνα 5.4 - Στατικές χειρονομίες (πόζες) για την απεύθυνση σε συσκευές.....	130
Εικόνα 5.5 - Χειρονομίες για την ενεργοποίηση εντολών.....	130
Εικόνα 5.6 - (1) Αντίγραφα (mockups) των συσκευών, (2) Απόσπασμα από το στάδιο εκμάθησης, (3) τρισδιάστατος χαρακτήρας που εμφανίζεται στα βίντεο βοήθειας, (4) Απόσπασμα από το στάδιο δοκιμής (χωρίς βίντεο βοήθειας).....	131
Εικόνα 7.1 - Μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης ΕΑ σε περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους.....	158

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 - Κατηγοριοποίηση ομοφωνίας με βάση την τιμή του <i>Agreement Rate</i>	48
Πίνακας 2.2 - Μέθοδοι εκμαίευσης χειρονομιών.....	50
Πίνακας 2.3 - Κατηγοριοποίηση χειρονομιών.....	57
Πίνακας 4.1 - Συσκευές και εντολές του συστήματος.....	98
Πίνακας 4.2: Λίστα χειρονομιών ανά εντολή.....	101
Πίνακας 4.3 - Χειρονομίες όπως προκύπτουν μετά από κάθε βήμα ομαλοποίησης του αρχικού λεξικού χειρονομιών.....	105
Πίνακας 4.4 - Εγκατάσταση πρωτοτύπου αξιολόγησης.....	107
Πίνακας 4.5 - Ποσοστά επιτυχίας ανά ενέργεια (<i>task-success</i>).....	114
Πίνακας 4.6 - Ποσοστά επιτυχούς εφαρμογής κάθε χειρονομίας κατά τα στάδια εκμάθησης και δοκιμής.....	115
Πίνακας 4.7 - Ψευδώς αρνητικά λάθη (<i>false negative errors</i>).....	117
Πίνακας 4.8 - Ψευδώς-θετικά λάθη (<i>false positives</i>).....	118
Πίνακας 5.1 - Λίστα εντολών για τις 7 συσκευές του συστήματος (Κ: κυρίαρχο χέρι το οποίο χρησιμοποιείται για τις εντολές, ΜΚ: μη-κυρίαρχο χέρι για τις χειρονομίες απεύθυνσης συσκευής).....	127
Πίνακας 5.2 - Ποσοστά επιτυχούς ολοκλήρωσης ενεργειών ανά συσκευή, κατά τα στάδια εκμάθησης και δοκιμής.....	133
Πίνακας 5.3 – Χρόνος ολοκλήρωσης ενεργειών.....	135
Πίνακας 5.4 - Ψευδώς αρνητικά λάθη (μέσος όρος).....	137
Πίνακας 5.5 - Ψευδώς θετικά λάθη (<i>false positive errors</i>).....	138
Πίνακας 6.1 - Ομοιότητες και διαφορές των μοντέλων αλληλεπίδρασης ΑεΕ και ΑκΕ.....	144
Πίνακας 6.2 - Ομοιότητες και διαφορές στη μέθοδο σχεδίασης χειρονομιών.....	145
Πίνακας 6.3 - Χειρονομίες/πόζες απεύθυνσης για τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑεΕ και ΑκΕ.....	146
Πίνακας 6.4 - Χειρονομίες εντολών για τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑεΕ και ΑκΕ.....	146
Πίνακας 6.5 - Μέθοδος ανάπτυξης πρωτοτύπου.....	148
Πίνακας 6.6 - Μέθοδος αξιολόγησης.....	150
Πίνακας 6.7 - Συγκριτικά στοιχεία αξιολόγησης.....	152
Πίνακας 7.1 – Παράδειγμα ωφελούμενων λειτουργιών στην περίπτωση προσθήκης 2 επιπλέον συσκευών στο σύστημα.....	173

Ορολογίες

Legacy bias: *Μεροληψία λόγω προηγούμενης εμπειρίας χρήστη.* Η προκατάληψη που έχουν οι χρήστες από προηγούμενες εμπειρίες τους, που επηρεάζει τις επιλογές τους σε μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών (δηλαδή οι χρήστες τείνουν να προτείνουν χειρονομίες που γνωρίζουν από προηγούμενη εμπειρία).

Priming: *Έκθεση σε εναύσματα.* Τεχνική μείωσης του φαινομένου της μεροληψίας λόγω προηγούμενης εμπειρίας του χρήστη κατά την οποία γίνεται παρουσίαση αντίστοιχων παραδειγμάτων αλληλεπίδρασης στο χρήστη.

Production: *Παραγωγή πολλαπλών χειρονομιών.* Τεχνική μείωσης του φαινομένου της μεροληψίας λόγω προηγούμενης εμπειρίας του χρήστη, όπου προτρέπονται οι χρήστες να προτείνουν εναλλακτικές χειρονομίες για μια εντολή.

Partners: *Ταυτόχρονη συνεργασία συμμετεχόντων.* Τεχνική μείωσης του φαινομένου της μεροληψίας λόγω προηγούμενης εμπειρίας του χρήστη, όπου οι χρήστες προτείνουν χειρονομίες σε ομάδες.

Ecological valid gestures: *Περιβαλλοντική εγκυρότητα χειρονομιών.* Χειρονομίες που έχουν ένα ισχυρό συσχετισμό με το περιεχόμενο και το πλαίσιο εφαρμογής του τελικού συστήματος.

Guessability Study: *Μελέτη εικασιών.* Είδος μεθόδου εκμαίευσης χειρονομιών.

Choice-based elicitation Study: *Μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών με επιλογή.* Είδος μεθόδου εκμαίευσης χειρονομιών.

Agreement Level: *Βαθμός ομοφωνίας.* Μετρική της μελέτης εικασιών.

Intuitive and Ergonomic method: *Διαισθητική και εργονομική μέθοδος.* Ανθρωποκεντρική μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών.

Frame-based elicitation study: *Μελέτη εικασιών με χρήση πλαισίου οριοθέτησης.* Ανθρωποκεντρική μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών.

Referent: *Αναφορά.* Η αντίδραση του συστήματος σε μια εναέρια αλληλεπίδραση.

Think-aloud protocol: *Πρωτόκολλο εξωτερίκευσης της σκέψης.* Τεχνική συλλογής δεδομένων από χρήστες καθώς εκφράζουν λεκτικά τις σκέψεις τους, ενώ εκτελούν μια εργασία.

Taxonomies: *Ταξινομίες.* Κατηγορίες που ταξινομούνται χειρονομίες με βάση κάποια χαρακτηριστικά τους.

Gesture time-of-thinking: *Χρόνος σκέψης της χειρονομίας.* Μετρική μελέτης εκμαίευσης χειρονομιών.

Time-of-gesture-articulation: *Χρόνος εφαρμογής.* Μετρική μελέτης εκμαίευσης χειρονομιών.

Max-consensus: *Μέγιστη ομοφωνία.* Μετρική μελέτης εικασιών.

Consensus-distinct ratio: *Διακριτή αναλογία ομοφωνίας.* Μετρική μελέτης εικασιών.

Coagreement rate: *Ποσοστό συναίνεσης.* Μετρική μελέτης εικασιών.

Gesture: *Χειρονομία.* Η κίνηση του χρήστη η οποία περιέχει κάποιο νόημα/πληροφορία στα πλαίσια της αλληλεπίδρασής του με την εφαρμογή εναέριας αλληλεπίδρασης.

Gesture vocabulary (or gesture set): *Λεξιλόγιο χειρονομιών.* Το σύνολο των χειρονομιών που χρησιμοποιούνται σε μια εφαρμογή εναέριας αλληλεπίδρασης και επιτρέπουν στον χρήστη να αλληλεπιδράσει με το σύστημα.

Formative evaluation: *Διαμορφωτική αξιολόγηση.* Αφορά διαδικασία αξιολόγησης με κύριο σκοπό την περαιτέρω βελτίωση-διαμόρφωση του συστήματος.

Summative evaluation: *Συμπερασματική αξιολόγηση.* Αφορά διαδικασία αξιολόγησης με κύριο σκοπό την λήψη της απόφασης για το εάν το σύστημα είναι αποδεκτό ή όχι.

Wizard of Oz: *Μάγος του Οζ.* Τεχνική που εφαρμόζεται κυρίως σε αξιολογήσεις συστημάτων όπου οι χρήστες έχουν την εντύπωση ότι το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα, ενώ στην πραγματικότητα αυτό γίνεται με τη βοήθεια κάποιου ατόμου που δεν είναι αντιληπτό από τον χρήστη.

Midas Touch: *Άγγιγμα του Μίδα.* Αφορά το φαινόμενο όπου κατά την αλληλεπίδραση με διαδραστικά συστήματα, κάποιες λειτουργίες ενεργοποιούνται χωρίς τη θέληση του χρήστη.

Unimanual gestures: *Μονόχειρες χειρονομίες.* Χειρονομίες που εφαρμόζονται με χρήση του ενός χεριού.

Bimanual gestures: *Αμφίχειρες χειρονομίες.* Χειρονομίες που εφαρμόζονται με τη χρήση και των δύο χεριών ταυτόχρονα.

1. Εισαγωγή

Το παρακάτω κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διατριβής και παρουσιάζει θέματα και ερωτήματα που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια, τα οποία είναι:

- Ποιο είναι το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής και ποια θέματα πραγματεύεται;
- Ποιος είναι ο σκοπός, και οι στόχοι της;
- Ποια είναι η πρωτοτυπία και η συμβολή της στη τρέχουσα επιστημονική στάθμη;
- Ποια είναι η διάρθρωση της διατριβής.

1.1 Αντικείμενο διδακτορικής διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται ζητήματα της Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου Υπολογιστή (Human-Computer Interaction) εστιάζοντας σε συστήματα που προσφέρουν εναέρια αλληλεπίδραση με χειρονομίες (mid-air gestural interaction). Στην εναέρια αλληλεπίδραση με χειρονομίες ή απλά εναέρια αλληλεπίδραση (EA) ο χρήστης χρησιμοποιώντας κινήσεις ή στάσεις του σώματός του (κυρίως των χεριών του), μπορεί να αλληλοεπιδράσει απευθείας με συσκευές που βρίσκονται στο ίδιο χώρο ή με περιεχόμενο που προβάλλεται σε αυτές (μέσω κάποιας διεπαφής). Η EA ανήκει στην κατηγορία των φυσικών διεπαφών χρήστη (Natural User Interfaces) και αποσκοπεί σε ένα φυσικό, εύκολο και ευχάριστο τρόπο αλληλεπίδρασης. Η EA έχει γίνει εφικτή χάρη στη διαθεσιμότητα συσκευών αναγνώρισης κινήσεων και στάσεων του σώματος των χρηστών (π.χ. Kinect, Myo, Leap Motion κ.α.) καθώς και του αντίστοιχου συνοδευτικού υποστηρικτικού λογισμικού (εργαλεία και SDK). Σημαντικά πεδία εφαρμογής της EA είναι: περιβάλλοντα με απομακρυσμένες οθόνες, χειρουργεία, περιβάλλοντα με έξυπνες συσκευές, εσωτερικοί χώροι αυτοκινήτων, εφαρμογές με επαυξημένη ή εικονική πραγματικότητα κ.α.

Στην EA δεν υπάρχουν γενικά πρότυπα και σύνολα χειρονομιών τα οποία να είναι ιδανικά για όλες τις εφαρμογές. Ποιοι θα είναι οι τελικοί χρήστες (παιδιά, ενήλικες, ηλικιωμένοι), σε τι χώρο θα αλληλοεπιδρούν με το σύστημα (εσωτερικό, εξωτερικό, χώρο εργασίας κ.α.), για πόση ώρα και με ποιο τρόπο θα χρησιμοποιούν το σύστημα (κινήσεις σώματος, χεριών, εκφράσεων, καθιστοί ή όρθιοι κ.α.), για ποιο σκοπό (διασκέδαση, θεραπευτικούς λόγους, χειρισμούς ακρίβειας κ.α.) κ.α., είναι μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν και καθορίζουν ποιες θα είναι οι καταλληλότερες, σε κάθε περίπτωση, χειρονομίες. Συνεπώς, ο προσδιορισμός των κατάλληλων χειρονομιών αποτελεί ένα σημαντικό σχεδιαστικό πρόβλημα το οποίο θα πρέπει να προσαρμόζεται στις ανάγκες και χαρακτηριστικά της εκάστοτε εφαρμογής.

Μέχρι σήμερα η εναέρια αλληλεπίδραση έχει μελετηθεί κατά κανόνα σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης αλληλοεπιδρά με μια συσκευή (στόχο). Ωστόσο, δεν έχει διερευνηθεί εκτενώς η περίπτωση αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους στον ίδιο χώρο, όπως για παράδειγμα στο έξυπνο σπίτι, σε αίθουσες με διάφορες τεχνολογικές επαυξήσεις (π.χ. αίθουσες διδασκαλίας ή συνεργασίας), σε χώρους εκθέσεων και μουσεία, σε σενάρια χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας, κ.α. Αν και έχουν γίνει κάποιες μελέτες εκμείωσης χειρονομιών για τις παραπάνω περιπτώσεις χρήσης, δεν έχει παρουσιαστεί κάποια ολοκληρωμένη σχεδιαστική προσέγγιση που να περιλαμβάνει υλοποίηση πρωτοτύπου και εμπειρική αξιολόγηση. Εδώ, προκύπτουν επιπλέον σχεδιαστικές προκλήσεις και προβλήματα σε σύγκριση με την αλληλεπίδραση με ένα στόχο. Μερικές από τις πιο σημαντικές είναι οι εξής:

- Η διαδικασία εμπειρικής έρευνας χειρονομιών, πρωτοτυποποίησης και αξιολόγησης είναι πιο σύνθετη. Η ύπαρξη πολλαπλών στόχων αλληλεπίδρασης στον ίδιο χώρο, αυξάνει την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού της EA. Όλα τα στάδια σχεδιασμού θα πρέπει να προσαρμοστούν στις πιο σύνθετες σχεδιαστικές απαιτήσεις.
- Η πρωτοτυποποίηση ενός περιβάλλοντος με πολλαπλούς στόχους EA είναι πιο απαιτητική, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη για την μετέπειτα αξιολόγηση του συστήματος.
- Εισάγεται το πρόβλημα της «απεύθυνσης» (addressing). Σε ένα περιβάλλον με πολλαπλές ηλεκτρονικές συσκευές (στόχους) ο χρήστης πρέπει να απευθυνθεί στη συσκευή πριν τη χρησιμοποιήσει, άρα απαιτείται ένα επιπλέον στάδιο κατά την αλληλεπίδραση.

- Ενισχύεται ο κίνδυνος της κατά-λάθος ενεργοποίησης («άγγιγμα του Μίδα»). Είναι πολύ πιθανό κατά την αλληλεπίδραση του χρήστη με μια συσκευή να ενεργοποιηθεί κάποια άλλη κατά λάθος - ιδίως όταν αυτές είναι τοποθετημένες πολύ κοντά μεταξύ τους.
- Ο αριθμός των χειρονομιών που θα πρέπει να απομνημονεύσει ο χρήστης είναι πολύ μεγάλος. Στην αλληλεπίδραση με μια συσκευή ο χρήστης θα πρέπει να θυμάται έναν αριθμό χειρονομιών για να ενεργοποιήσει τις αντίστοιχες εντολές. Όσο οι συσκευές πληθαίνουν, ο αριθμός αυτός πολλαπλασιάζεται.
- Αλληλοσυγκρουόμενες χειρονομίες: Η επιλογή των καταλληλότερων χειρονομιών γίνεται από τον σχεδιαστή έπειτα από επεξεργασία των προτεινόμενων χειρονομιών με τη βοήθεια μετρικών. Είναι αρκετά συχνό το φαινόμενο η ίδια χειρονομία να αποδειχθεί καταλληλότερη για παραπάνω από μία εντολές. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός αντιστοίχισης της χειρονομίας σε μία εντολή.

Γενικά, οι περισσότερες σύγχρονες μελέτες στον τομέα της εναέριας αλληλεπίδρασης εστιάζουν κυρίως σε ένα μόνο από τα παρακάτω στάδια σχεδιασμού: είτε έρευνα εκμείευσης χειρονομιών, είτε πρωτοτυποποίηση, είτε αξιολόγηση. Η εκμείευση χειρονομιών (elicitation study) περιλαμβάνει τεχνικές που βοηθούν τον σχεδιαστή να ανακαλύψει ποιες χειρονομίες είναι κατάλληλες για το συγκεκριμένο προς σχεδίαση σύστημα. Ακολουθούνται συνήθως χρηστοκεντρικές μέθοδοι όπου οι χρήστες αρχικά καλούνται να προτείνουν χειρονομίες που θεωρούν κατάλληλες για κάθε εντολή του συστήματος που τους περιγράφεται ή εμφανίζεται με κάποιο τρόπο. Έπειτα, οι προτάσεις αυτές επεξεργάζονται με τη βοήθεια μετρικών για να εξαχθεί το λεξιλόγιο χειρονομιών για το συγκεκριμένο σύστημα. Η μέθοδος αυτή, παρόλο που είναι αποτελεσματική για την κατανόηση των νοητικών μοντέλων των χρηστών ως προς την ΕΑ, έχει αρκετούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, οι συμμετέχοντες δεν μπορούν να κατανοήσουν πλήρως τις δυνατότητες της ΕΑ εντός του χώρου σχεδιασμού (design space). Εξαιτίας αυτού, οι προτεινόμενες χειρονομίες μπορεί να είναι διαισθητικές, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι είναι και «βέλτιστες». Επιπλέον, κάποιες χειρονομίες μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν είναι τόσο εύχρηστες και αποτελεσματικές στην πράξη ή ότι παρουσιάζουν διενέξεις αναγνώρισης τους από το σύστημα με άλλες χειρονομίες. Τέτοιου είδους προβλήματα δεν είναι δυνατόν να αναδυθούν στο στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών και για αυτό η έρευνα της ΕΑ δεν πρέπει να σταματά στην εκμείευση χειρονομιών. Αντιθέτως, μια σχεδιαστική προσέγγιση που περιλαμβάνει και έρευνα εκμείευσης χειρονομιών, και πρωτοτυποποίηση, και την αξιολόγησή τους με κάποιο διαδραστικό σύστημα, είναι πιο ολοκληρωμένη και άρτια καθώς όχι μόνο παράγεται ένα λεξιλόγιο χειρονομιών από χρήστες, αλλά σχεδιάζονται και διεπαφές, αναπτύσσονται πρωτότυπα και εν τέλει το λεξιλόγιο χειρονομιών δοκιμάζεται, αξιολογείται και επικυρώνεται ανάλογα.

Στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους, υπάρχουν επιπλέον προκλήσεις κατά το στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών. Λόγω του ότι υπάρχουν περισσότερες εντολές θα πρέπει να παραχθεί αντίστοιχα ένα μεγάλο λεξιλόγιο χειρονομιών από το χρήστη. Οι χειρονομίες αυτές, αν δεν έχουν κάποια συνοχή μεταξύ τους (π.χ. για αντίθετες εντολές να χρησιμοποιούνται αντίθετες χειρονομίες) και κάποια συνάφεια με το πλαίσιο χρήσης, θα είναι δύσκολο να απομνημονευθούν. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί εξαρχής ένα μοντέλο εναέριας αλληλεπίδρασης το οποίο, με κάποιο τρόπο να απαιτεί όσο το δυνατόν λιγότερες διαφορετικές χειρονομίες.

Στο επόμενο στάδιο, την πρωτοτυποποίηση, υλοποιείται συνήθως ένα πρωτότυπο σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της αξιολόγησης του λεξικού των χειρονομιών. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την υλοποίηση ενός μηχανισμού αναγνώρισης των χειρονομιών (που προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο) και την διασύνδεσή τους

με τη συσκευή στην οποία θα ενεργοποιηθεί η αντίστοιχη εντολή. Η υλοποίηση τεχνικών ΕΑ σχετίζεται με την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί (απλές κάμερες ή κάμερες βάθους) και απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού ή γίνεται με τη χρήση εργαλείων που βασίζονται σε μηχανική μάθηση. Όταν ολοκληρωθεί η υλοποίηση της τεχνικής αναγνώρισης χειρονομιών, θα πρέπει με κάποιο τρόπο να ενσωματωθεί στις λειτουργίες της υπό αξιολόγηση συσκευής. Κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό ή απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού για την εκάστοτε συσκευή. Όλες αυτές οι δυσκολίες, συμβάλλουν στο γεγονός ότι αρκετές έρευνες στον τομέα της εναέριας αλληλεπίδρασης σταματάνε στο στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών και δεν προχωρούν στην αξιολόγησή τους ή απλά ακολουθούν τη λύση της τεχνικής του «μάγου του Οζ» (Wizard of Oz) η οποία περιέχει αρκετά μειονεκτήματα. Όλα αυτά τα προβλήματα υλοποίησης κληρονομούνται και σε συστήματα που περιλαμβάνουν περισσότερες από μία συσκευές (στόχους) και μάλιστα σε αυτήν την περίπτωση οι δυσκολίες είναι εντονότερες ανάλογα με τον αριθμό διαθέσιμων των συσκευών.

Στο στάδιο της αξιολόγησης της ΕΑ οι χρήστες καλούνται να δοκιμάσουν το πρωτότυπο και να το αξιολογήσουν συνήθως ως προς την ευχρηστία. Έχει παρατηρηθεί σε πολλές έρευνες, ότι οι χειρονομίες που ανέδειξαν οι εκμειευτικές μέθοδοι ως καταλληλότερες, έπειτα από την αξιολόγηση τους αποδείχθηκε ότι δεν ήταν απαραίτητα και οι πιο εύχρηστες (ιδιαίτερα σε συγκριτικές μελέτες που εξετάζουν εναλλακτικές χειρονομίες). Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών θα πρέπει να δοκιμάζονται και να αξιολογούνται με τη χρήση κάποιου πρωτοτύπου, επικυρώνοντας έτσι το βαθμό καταλληλότητάς τους, η οποία δεν περιλαμβάνει μόνο την ευχρηστία αλλά και γενικότερα θέματα εμπειρίας του χρήστη, καθώς και θέματα απομνημόνευσης χειρονομιών.

Ένα περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους, θα πρέπει να αξιολογείται ως ένα ενιαίο διαδραστικό σύστημα («οικοσύστημα») και όχι ως πολλά επιμέρους ξεχωριστά υποσυστήματα. Η προσέγγιση αυτή δίνει μια εικόνα στο σχεδιαστή για την αποτελεσματικότητα και καταλληλότητα των χειρονομιών στο σύνολό τους καθώς και για την καταλληλότητα της ΕΑ ως τύπου αλληλεπίδρασης σε ένα τέτοιο περιβάλλον γενικότερα. Ένα σημαντικό κριτήριο καταλληλότητας σε ένα σύστημα ΕΑ με πολλαπλούς στόχους, είναι κατά πόσο εύκολο είναι για τους χρήστες να θυμούνται όλες τις διαθέσιμες χειρονομίες του συστήματος καθώς και πόσο εύκολο είναι να τις εκτελέσουν. Επίσης, ο τόπος που γίνεται η αξιολόγηση επηρεάζει σε κάποιο βαθμό τα αποτελέσματα. Το ιδανικό είναι να γίνεται η αξιολόγηση στο πεδίο εφαρμογής της, το οποίο όμως δεν είναι πάντα εφικτό. Όταν η αξιολόγηση γίνεται σε εργαστηριακό περιβάλλον θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιώνει όσο το δυνατό περισσότερο το πραγματικό πεδίο εφαρμογής. Για ένα σύστημα με πολλαπλούς στόχους αυτό μπορεί να σημαίνει να υπάρχει η δυνατότητα και ευελιξία να τοποθετούνται οι στόχοι αλληλεπίδρασης σε διαφορετικά σημεία στο χώρο εύκολα και γρήγορα, να αλληλοεπιδρούν με το χρήστη σε πραγματικό χρόνο προσφέροντας κάποιου είδους ανάδραση στις χειρονομίες που εκτελεί, ο χρήστης να μπορεί να κινείται ελεύθερα στο χώρο κ.α.

1.2 Σκοπός και στόχοι της διδακτορικής διατριβής

Ο σκοπός της διδακτορικής διατριβής είναι να προτείνει και να εφαρμόσει μια επαναληπτική και ολοκληρωμένη μεθοδολογία σχεδιασμού εναέριας αλληλεπίδρασης σε συστήματα με πολλαπλούς στόχους, με κατάλληλη αξιοποίηση, επέκταση και ειδίκευση σχεδιαστικών μεθόδων που αφορούν ολόκληρο τον κύκλο ζωής και περιλαμβάνουν την εκμείευση χειρονομιών, τη σχεδίαση συστήματος, την πρωτοτυποποίηση και την εμπειρική αξιολόγηση. Οι στόχοι της διδακτορικής διατριβής είναι οι εξής:

- Κριτική ανασκόπηση και ανάλυση της τρέχουσας επιστημονικής και τεχνολογικής στάθμης του πεδίου της εναέριας αλληλεπίδρασης με χειρονομίες.
- Πρόταση μεθοδολογικού πλαισίου για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό της εναέριας αλληλεπίδρασης με χειρονομίες σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους. Εδώ περιλαμβάνονται τρία στάδια: εκμείωση χειρονομιών, πρωτοτυποποίηση, και εμπειρική αξιολόγηση, τα οποία ειδικεύονται και προσαρμόζονται. Πιο συγκεκριμένα:
 - Βελτίωση και ενίσχυση της εκμειωτικής μεθόδου για την εμπειρική και χρηστοκεντρική ανακάλυψη χειρονομιών, με επιμέρους οδηγίες (principles) και μετρικές (metrics) προκειμένου να αναδειχθεί το καταλληλότερο προτεινόμενο λεξικό χειρονομιών για την εφαρμογές ΕΑ με πολλαπλούς στόχους.
 - Πρόταση σύνθετης πρωτότυπης τεχνολογικής υποδομής γρήγορης πρωτοτυποποίησης συστημάτων με πολλαπλούς στόχους, που θα υποστηρίζει αναγνώριση των χειρονομιών του χρήστη και θα περιλαμβάνει στόχους (συσκευές) στο φυσικό χώρο που θα ανταποκρίνονται σε αυτές.
 - Ενίσχυση και ειδίκευση της εμπειρικής αξιολόγησης για ΕΑ με πολλαπλούς στόχους που εστιάζει σε θέματα εμπειρίας του χρήστη και ευχρηστίας και διευκολύνει τον έλεγχο της ενθύμησης των χειρονομιών από τους χρήστες.
- Πρόταση δύο μοντέλων εναέριας αλληλεπίδρασης σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους (συσκευές στο έξυπνο σπίτι), που έχουν τη δυνατότητα σταδιακής ή απευθείας απεύθυνσης και εντολής προς κάθε συσκευή. Ανάπτυξη των παραπάνω μοντέλων σύμφωνα με τη προτεινόμενη μεθοδολογία και συγκριτική αξιολόγησή τους.

1.3 Πρωτοτυπία και συμβολή της διδακτορικής διατριβής

Η διδακτορική διατριβή είναι πρωτότυπη ως προς τα παρακάτω:

- Ασχολείται με το θέμα της ΕΑ με πολλαπλές συσκευές μέσω μιας ολοκληρωμένης ερευνητικής προσέγγισης που περιλαμβάνει εμπειρική έρευνα χειρονομιών, πρωτοτυποποίηση, και αξιολόγηση.
- Ερευνά την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές ως ένα ενιαίο οικοσύστημα και όχι την κάθε συσκευή μεμονωμένα.
- Παρουσιάζει, ερευνά και συγκρίνει δύο διαφορετικά μοντέλα εναέριας αλληλεπίδρασης τα οποία:
 - αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της «απεύθυνσης» προς τις συσκευές,
 - αντιμετωπίζουν το πρόβλημα του «αγγίγματος του Μίδα»,
 - επιτρέπουν την μείωση των διαφορετικών χειρονομιών του συστήματος (σε σχέση με τις λειτουργίες που ενεργοποιούν), συμβάλλοντας στην εύκολη απομνημόνευσή τους.
- Προτείνει ένα ενιαίο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού της ΕΑ με πολλαπλές συσκευές.

Η συμβολή της διδακτορικής διατριβής εστιάζει σε θέματα μεθοδολογίας σχεδιασμού ΕΑ καθώς και σε προτεινόμενα μοντέλα αλληλεπίδρασης σε συστήματα με πολλαπλούς στόχους ως εξής:

Στο στάδιο της εκμείωσης χειρονομιών:

- Προτείνεται η εφαρμογή εκμειωτικών μεθόδων σύμφωνα με συγκεκριμένες αρχές (principles), και πλαίσιο οριοθέτησης (frame) της διαδικασίας, ώστε οι

χειρονομίες που προτείνονται από τους χρήστες να είναι εστιασμένες στο πεδίο εφαρμογής.

- Εισάγεται η μετρική «Βαθμού Συνοχής Χρήστη» (User Consistency Rate) η οποία αποτυπώνει το βαθμό συμφωνίας των χειρονομιών που προτείνει για μια δεδομένη εντολή σε πολλές διαφορετικές συσκευές.

Στο στάδιο της πρωτοτυποποίησης ΕΑ με πολλαπλούς στόχους προτείνεται η παρακάτω πρωτότυπη τεχνολογική σύνθεση:

- Η αξιοποίηση εργαλείων που επιτρέπουν τη γρήγορη παραγωγή χειρονομιών (VGB, Kinect Studio), με τη βοήθεια μηχανικής μάθησης και χρήση του αισθητήρα MS Kinect 2.0. Τα εργαλεία αυτά περιλαμβάνουν βιντεοσκόπηση χειρονομιών, εκπαίδευση της μηχανής αναγνώρισης και παραγωγή μιας βάσης δεδομένων που περιέχει τις χειρονομίες που θα αναγνωρίζονται από το πρωτότυπο.
- Η αξιοποίηση μηχανής παιχνιδιών (Unity) προκειμένου να υλοποιηθεί η ανάδραση κάθε χειρονομίας, για κάθε στόχο με τη βοήθεια γραφικών (στατικών και κινούμενων), και ήχου.
- Η αξιοποίηση τεχνολογίας χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας (Spatial Augmented Reality) μέσω χαρτογραφημένης προβολής (Projection Mapping) όπου οι συσκευές και η ανάδραση του «οικοσυστήματος» προβάλλεται πάνω σε ψεύτικα ομοιώματα αντικειμένων (mockups) έτσι ώστε να προσομοιώνεται ένα αληθοφανές περιβάλλον πολλαπλών στόχων αλληλεπίδρασης ενός έξυπνου σπιτιού. Με τον τρόπο αυτό αφενός ο/η αξιολογητής νιώθει ότι βρίσκεται στο πραγματικό περιβάλλον χρήσης της εφαρμογής, αφετέρου επιτρέπεται στο σχεδιαστή να προσομοιώνει την ανάδραση των στόχων με ομοιώματα αυτών.
- Η υλοποίηση πρωτοτύπου με το λιγότερο δυνατό τεχνολογικό εξοπλισμό: μία κάμερα βάρους που θα παρακολουθεί τις χειρονομίες του χρήστη, ένα υπολογιστή όπου θα γίνεται η επεξεργασία αναγνώρισης χειρονομιών και ανάδρασης των στόχων, και ένα βιντεοπροβολέα που θα προβάλλει την ανάδραση στο χώρο.

Στο στάδιο της αξιολόγησης προτείνεται:

- Εμπειρική αξιολόγηση με συμμετοχή χρηστών και χρήση πλαισίου, αντίστοιχο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά το στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών. Το πλαίσιο χρησιμοποιεί σενάριο χρήσης των στόχων το οποίο πρέπει να ακολουθούν οι χρήστες.
- Διαδικασία με τρεις συνεδρίες (sessions). Η πρώτη, «Συνεδρία Εκπαίδευσης» (Learning Session), χρησιμοποιείται προκειμένου να εκπαιδευτεί ο χρήστης στο να μάθει ποια χειρονομία απαιτείται για κάθε εντολή καθώς και πως να την εκτελεί σωστά. Ο χρήστης ακολουθεί το σενάριο χρήσης ενώ παρέχεται παράλληλα βοήθεια με μορφή κινούμενων σχεδίων ή από τον συντονιστή της έρευνας με λεκτικό τρόπο. Η δεύτερη, «Συνεδρία Ανακεφαλαίωσης» (Recap session), πραγματοποιείται αμέσως μετά, όπου γίνεται μια ανακεφαλαίωση και ένας έλεγχος για να μετρηθεί κατά πόσο θυμούνται οι χρήστες όλες τις χειρονομίες του πρωτοτύπου καθώς και να υπενθυμίσει αυτές τις οποίες είχαν ξεχάσει. Η τρίτη, «Συνεδρία δοκιμής» (Testing session) χρησιμοποιεί το ίδιο σενάριο με την συνεδρία εκπαίδευσης, χωρίς όμως την παροχή κάποιας βοήθειας.
- Αξιοποίηση συνόλου μετρικών αξιολόγησης που αφορούν την ευχρηστία, την εμπειρία του χρήστη και την ευκολία ενθύμησης, καθώς και ερωτηματολόγια διαβάθμισης (benchmarking) των παραπάνω.

Ως προς την ΕΑ με πολλαπλούς στόχους προτείνονται δύο διαφορετικά μοντέλα αλληλεπίδρασης:

- Στο πρώτο μοντέλο αλληλεπίδρασης, με όνομα «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή» (ΑεΕ), ο χρήστης πρέπει πρώτα να ασκήσει μια χειρονομία για να απευθυνθεί στην συσκευή και έπειτα να ασκήσει μια δεύτερη για να ενεργοποιήσει την εντολή. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα να σχεδιαστούν χειρονομίες που εφαρμόζονται με ένα ή και με δύο χέρια, δίνοντας την ελευθερία στο χρήστη να εκφραστεί πιο ελεύθερα και φυσικά. Για την προσέγγιση αυτή, έχει αξιοποιηθεί η παραπάνω μεθοδολογία η οποία ανέδειξε θετικά αποτελέσματα σε θέματα ευχρηστίας και εμπειρίας τους χρήστη.
- Στο δεύτερο μοντέλο αλληλεπίδρασης, με όνομα «Απεύθυνση-και-Εντολή» (ΑκΕ), ο χρήστης θα πρέπει να εφαρμόσει και με τα δύο του χέρια ταυτόχρονα μια στάση με το αριστερό χέρι και μια χειρονομία (ή στάση) του με το δεξί χέρι. Το αριστερό χέρι χρησιμοποιείται για να απευθυνθεί στην επιθυμητή συσκευή ενώ το δεξί για να ενεργοποιήσει την εντολή σε αυτή. Η προηγούμενη μεθοδολογία αξιοποιήθηκε και για αυτό το μοντέλο αλληλεπίδρασης και σε σχέση με το μοντέλο ΑεΕ, ανέδειξε αντίστοιχα θετικά αποτελέσματα σε θέματα ευχρηστίας και εμπειρίας του χρήστη, με σημαντικότερη διαφορά το μέσο όρο του χρόνου αλληλεπίδρασης για κάθε εντολή όπου το ΑκΕ αποδείχτηκε αρκετά πιο γρήγορο.

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής τα παραπάνω μοντέλα διερευνήθηκαν για περίπτωση συσκευών έξυπνου σπιτιού, αναπτύχθηκε πρωτότυπο και έγινε εμπειρική αξιολόγηση τους με χρήστες, σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία. Το κύριο αποτέλεσμα της πειραματικής διερεύνησης έδειξε πως η ΕΑ στο έξυπνο σπίτι είναι απολύτως εφικτή, εύκολη στην ενθύμηση, εύχρηστη και κινητοποιεί το ενδιαφέρον των χρηστών. Μεταξύ των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης, το μοντέλο ΑκΕ έχει κάποια συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι του ΑεΕ ως προς την ταχύτητα ολοκλήρωσης εργασιών και παρουσιάζει λιγότερα λάθη χρηστών.

1.4 Διάρθρωση της διδακτορικής διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελείται από επτά κεφάλαια συμπεριλαμβανομένου και του παρόντος, το οποίο κατατοπίζει σχετικά με το αντικείμενο της διατριβής και τη συμβολή της στην επιστήμη.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες του επιστημονικού πεδίου της εναέριας αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή και παρουσιάζεται η ιστορική αναδρομή με τα σημαντικότερα ορόσημά της. Γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση της εναέριας αλληλεπίδρασης εστιάζοντας: α) σε μεθόδους και τεχνικές εύρεσης των καταλληλότερων χειρονομιών για κάθε εφαρμογή, β) σε τεχνολογίες και μέσα υλοποίησης πρωτοτύπων ή ολοκληρωμένων συστημάτων που χρησιμοποιούν την εναέρια αλληλεπίδραση, και γ) σε μεθόδους αξιολόγησης τους.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των πεδίων εφαρμογής της εναέριας αλληλεπίδρασης, όπως προκύπτει από έρευνες των τελευταίων ετών. Παρουσιάζεται το ερευνητικό κενό που αφορά την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους και περιγράφονται οι επιπλέον σχεδιαστικές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σε αυτή την περίπτωση, όπως το πρόβλημα της απεύθυνσης σε κάθε συσκευή, το πρόβλημα της υλοποίησης λειτουργικών πρωτοτύπων, το πρόβλημα της απομνημόνευσης μεγάλου αριθμού χειρονομιών κ.α.. Εξετάζεται η περίπτωση του έξυπνου σπιτιού ως παράδειγμα περιβάλλοντος με πολλαπλές συσκευές, και παρουσιάζονται μελέτες που έχουν εξετάσει σε κάποιο βαθμό τη σχεδίαση της αλληλεπίδρασης και την υλοποίηση ΕΑ για τον έλεγχο των συσκευών αυτών.

Στο **Κεφάλαιο 4**, περιγράφεται μια μελέτη περίπτωσης ΕΑ με πολλαπλές οικιακές συσκευές όπου εξετάζεται το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή» το οποίο επιτρέπει την απεύθυνση σε συσκευές και τον χειρισμό τους με δύο διαδοχικές χειρονομίες. Ερευνητικά, ακολουθείται μια μεθοδολογία που περιλαμβάνει εύρεση καταλληλότερου σετ χειρονομιών από προτάσεις χρηστών, υλοποίηση πρωτοτύπου χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας, και αξιολόγηση του συστήματος και των χειρονομιών.

Στο **Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζεται το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-και-εντολή», με το οποίο οι χρήστες μπορούν να απευθύνονται και να ελέγχουν τις συσκευές χρησιμοποιώντας μια σύνθετη χειρονομία. Η ερευνητική προσέγγιση ήταν η ίδια με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε στην προηγούμενη μελέτη περίπτωσης.

Στο **Κεφάλαιο 6**, γίνεται μια συγκριτική έρευνα των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης, «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή» και «Απεύθυνση-και-εντολή». Παρουσιάζεται σύγκριση των κοινών στοιχείων και των διαφορών της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε σε κάθε έρευνα. Τέλος συγκρίνονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης για να προκύψουν συμπεράσματα για την εμπειρία του χρήστη, την ευχρηστία του κάθε μοντέλου, και κατά πόσο αποτελεσματικά αντιμετωπίζει κάθε μοντέλο τα προβλήματα που αναφέρθηκαν ως ερευνητικά κενά στο κεφάλαιο 3 όπως, το πρόβλημα της απομνημόνευσης και το πρόβλημα της απεύθυνσης.

Τέλος στο **Κεφάλαιο 7**, παρουσιάζει ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης εναέριων αλληλεπίδρασης σε περιβάλλοντα που περιλαμβάνουν πολλαπλές συσκευές, το οποίο είναι όμοιο με αυτό που εφαρμόστηκε στις δύο μελέτες περίπτωσης επιφέροντας αποτελεσματικά σετ χειρονομιών για διαφορετικά μοντέλα αλληλεπίδρασης. Έπειτα αναφέρονται συμπεράσματα σχετικά με την ΕΑ με πολλαπλούς στόχους, σύγκριση των χειρονομιών της έρευνας με αντίστοιχα σετ χειρονομιών από άλλες έρευνες, και γενικά πλεονεκτήματα και οφέλη των μοντέλων αλληλεπίδρασης που περιλαμβάνουν την έννοια της απεύθυνσης. Στη συνέχεια αναφέρονται περιορισμοί της παρούσας διατριβής, μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας και προοπτικές της ΕΑ με πολλαπλούς στόχους.

2. Αλληλεπίδραση με εναέριες χειρονομίες: Ανάλυση της τρέχουσας επιστημονικής και τεχνολογικής στάθμης

Στο παρακάτω κεφάλαιο αναλύεται η τρέχουσα τεχνολογική στάθμη στον τομέα της εναέριας αλληλεπίδρασης και περιγράφονται ζητήματα όπως:

- Τί είναι ΕΑ, ποια είναι τα βασικότερα χαρακτηριστικά της, και πως αυτά επηρεάζουν την εμπειρία του χρήστη και την ευχρηστία του συστήματος;
- Πως εξελίχθηκε η ΕΑ ιστορικά και σε ποια πεδία εφαρμογής έχει χρησιμοποιηθεί ερευνητικά και εμπορικά;
- Ποιες είναι οι βασικότερες μέθοδοι και τεχνικές που εφαρμόζονται για την εύρεση των καταλληλότερων χειρονομιών για κάθε εφαρμογή;
- Με ποιες τεχνολογίες και προσεγγίσεις έχει σχεδιαστεί και πρωτοτυποποιηθεί η ΕΑ κατά την ερευνητική διαδικασία;
- Ποιες είναι οι βασικότεροι μέθοδοι αξιολόγησης της ΕΑ και ποιες μετρικές έχουν χρησιμοποιηθεί;

2.1 Συναφείς βασικές έννοιες

2.1.1 Διάχυτος υπολογισμός

Από τον καιρό που οι υπολογιστές προγραμματίζονταν με μηχανικούς διακόπτες και διάτρητες κάρτες, μέχρι σήμερα ο ρυθμός εξέλιξης και ανάπτυξης της πληροφορικής, τόσο του υλικού (hardware) όσο και του λογισμικού (software), παραμένει υψηλός συνεχίζοντας να επαληθεύει το νόμο του Moore (Schaller, 1997). Ο νόμος αυτός βασίζεται στην παρατήρηση ότι ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα μικροτσίπ διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια και δηλώνει ότι η ταχύτητα και οι ικανότητες των υπολογιστών θα αυξάνονται χωρίς να αυξάνεται αντίστοιχα το κόστος τους. Η τάση που περιγράφει αυτός ο νόμος δημιούργησε ευκαιρίες για την ανάπτυξη των υπολογιστών και την υιοθέτησή τους σε διάφορες πτυχές της ζωής μας. Καθώς οι υπολογιστές γίνονται συνεχώς μικρότεροι, γρηγορότεροι και οικονομικότεροι δημιουργούνται νέες μορφές τεχνολογίας (πχ. κινητά τηλέφωνα, ταμπλέτες, έξυπνα ρολόγια, έξυπνα γυαλιά, κ.α.), νέες πλατφόρμες (πχ. διαδίκτυο), νέες υποδομές (πχ. GPS, 5G, κ.α.) και έχουν προκύψει νέες βιομηχανίες (πχ. παιχνιδιών, αυτοματισμών σπιτιού κ.α.) (Wigdor, 2011).

Η αυξημένη πλέον ικανότητα ηλεκτρονικών συσκευών σε υπολογιστική ισχύ και απόδοση, προσφέρει τη δυνατότητα σε μερικές από αυτές να παρέχουν παραπάνω από μία διαφορετικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, οι έξυπνες τηλεοράσεις ενσωματώνουν λειτουργίες πέρα από την κλασσική προβολή τηλεοπτικών καναλιών, όπως για παράδειγμα περιήγηση στο διαδίκτυο (παλαιότερα από υπολογιστή μόνο), αναπαραγωγή μουσικής (παλαιότερα από κάποια συσκευή αναπαραγωγής μουσικής – mp3 player), προβολή ταινιών/σειρών (παλαιότερα κάποιο media player) κ.α. Εκτός από συσκευές που παρέχουν πολλές διαφορετικές λειτουργίες, υπάρχουν και λειτουργίες που ενσωματώνονται σε πολλές διαφορετικές διασυνδεδεμένες συσκευές. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει μια εργασία σε μια συσκευή και να την ολοκληρώσει σε μια άλλη. Για παράδειγμα μπορεί να λάβει μία ειδοποίηση στο έξυπνο ρολόι του που να τον ενημερώνει ότι έλαβε ένα ηλεκτρονικό μήνυμα. Έπειτα μπορεί να ανοίξει το κινητό του και να διαβάσει το περιεχόμενο της αλληλογραφίας και τέλος να ολοκληρώσει τη διαδικασία στον υπολογιστή του όπου θα γράψει την απάντηση και θα συμπεριλάβει κάποια συνημμένα αρχεία.

Αυτό το μοντέλο αποτελεί ένα δείγμα του «Διάχυτου Υπολογισμού» (Ubiquitous Computing), οραματιστής του οποίου ήταν ο Mark Weiser (Weiser, 1991). Στο άρθρο του «Υπολογιστής του 21^{ου} αιώνα», ο Weiser είχε διατυπώσει την εξής φράση που κάνει πιο σαφή και κατανοητό τον όρο του «Διάχυτου Υπολογισμού»: *“οι πιο σημαντικές τεχνολογίες είναι αυτές που εξαφανίζονται από το προσκήνιο καθώς γίνονται ένα με την καθημερινότητα έως ότου δεν δύνανται να διαχωριστούν από αυτήν”* (Weiser, 1991). Αποτελεί ένα όραμα όπου ιδανικά, ο υπολογισμός ενσωματώνεται ‘αόρατα’ στο περιβάλλον γύρω μας και έχουμε πρόσβαση σε αυτόν μέσω έξυπνων διεπαφών με φυσικό και απλό τρόπο χωρίς καν να το σκεφτόμαστε. Κάτι τέτοιο θα φέρει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε, εκπαιδευόμαστε και αλληλοεπιδρούμε (Ley, 2007), ενώ η πρόκληση είναι να δημιουργηθεί μια διαφορετική σχέση μεταξύ ανθρώπου-υπολογιστή όπου ο υπολογιστής δεν θα γίνεται τόσο αισθητός, έτσι ώστε να συνεχίσουν οι άνθρωποι να ζουν φυσιολογικά (Weiser, 1993).

Σήμερα συστήματα και εφαρμογές Διάχυτου Υπολογισμού αρχίζουν να κάνουν αισθητή την παρουσία τους σε όλο και περισσότερες τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Έξυπνες συσκευές λειτουργούν συνεργατικά ή και αυτόνομα παίρνοντας αποφάσεις ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο, προσφέροντας άνεση και ειδικές

ευκολίες σε άτομα που τις έχουν ανάγκη. Για παράδειγμα, σε ένα έξυπνο σπίτι μπορούμε να συναντήσουμε ηλεκτρικές συσκευές όπως φωτιστικά, τηλεοράσεις κ.α. τα οποία ‘αισθάνονται’, ενεργούν και πολλές φορές επικοινωνούν μεταξύ τους. Βέβαια, τεχνολογικά θα πρέπει να λυθούν αρκετά προβλήματα και προκλήσεις για να εφαρμοστεί ο Διάχυτος υπολογισμός σε μεγαλύτερο και ευρύτερο βαθμό. Πολλά από αυτά εξετάζονται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο όμως είναι κοινώς αποδεκτό ότι πλέον βρισκόμαστε σε μια μετάβαση προς ένα ανθρωποκεντρικό υπολογισμό, όπου η τεχνολογία θα λειτουργεί για τον άνθρωπο, θα προσαρμόζεται στις ανάγκες και προτιμήσεις του και θα παραμένει στο παρασκήνιο μέχρι να χρειαστεί. Αυτή η μετάβαση προϋποθέτει και μια αλλαγή στη σχέση των ανθρώπων με τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών μέσω ενός φυσικού τρόπου αλληλεπίδρασης (B. Buxton, 2010; Denning & Metcalfe, 1998; Dourish, 2001; Weiser, 1991; Weiser & Brown, n.d.). Οι Φυσικές Διεπαφές Χρήστη - ΦΔΧ (Natural User Interfaces – NUI), αποτελούν μέρος αυτής της αλλαγής καθώς προσφέρουν μια πλούσια ποικιλία δυνατοτήτων επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων και υπολογισμού (Hui & Sherratt, 2017).

2.1.2 Φυσικές διεπαφές χρήστη (Natural User interfaces - NUI)

Γενικά, οι διεπαφές χρήστη (User Interfaces - UI) είναι το μέσο με το οποίο ο άνθρωπος ελέγχει μια εφαρμογή λογισμικού ή μια συσκευή. Ο καλός σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη ενός συστήματος βελτιώνει την ευχρηστία του συστήματος κάνοντας ευκολότερη, αποτελεσματικότερη και πιο ευχάριστη (φιλική προς τον χρήστη) τη λειτουργία του από τον άνθρωπο με απώτερο σκοπό να παράγεται το επιθυμητό αποτέλεσμα με τη λιγότερη δυνατή σωματική και πνευματική προσπάθεια. Ο τομέας της πληροφορικής που ασχολείται, μεταξύ άλλων, με το σχεδιασμό διεπαφών χρήστη και γενικότερα με τους τρόπους που οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν με τους υπολογιστές ονομάζεται αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (Human-Computer Interaction - HCI). Στη βιβλιογραφία, πλέον η έννοια του «υπολογιστή» έχει διευρυνθεί καλύπτοντας κάθε μορφή τεχνολογίας.

Η εξέλιξη των διεπαφών χρήστη συμβαίνει παράλληλα με την εξέλιξη των υπολογιστών. Παρότι όμως η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος ήταν σχεδόν συνεχής, οι διεπαφές χρήστη δεν εξελίχθηκαν με τον ίδιο ρυθμό (Wigdor, 2011). Τα τελευταία πενήντα χρόνια διακρίνονται τρία βασικά κύματα εξέλιξης των διεπαφών χρήστη. Στο πρώτο κύμα, που είναι γνωστό και ως *Διεπαφή Γραμμής Εντολών* (*Command Line Interface – CLI*), οι χρήστες έπρεπε να μάθουν και να πληκτρολογούν κωδικοποιημένες εντολές με συγκεκριμένη σύνταξη. Η καμπύλη μάθησης της χρήσης των υπολογιστών ήταν απότομη και για αυτό δεν απευθυνόταν στο ευρύ κοινό. Αυτό βελτιώθηκε αργότερα με τη έλευση της *Διεπαφής χρήστη με Γραφικό Περιβάλλον* (*Graphical User interface – GUI*), όπου ο χρήστης δεν χρειαζόταν να πληκτρολογεί εντολές, αλλά με τη χρήση ποντικιού μπορούσε να αλληλεπιδρά με το δισδιάστατο γραφικό περιβάλλον του υπολογιστή που αποτελούταν γενικά από παράθυρα και εικονίδια. Ο τρόπος αυτός αλληλεπίδρασης ήταν πιο διαισθητικός και εύκολος για τον απλό χρήστη, απαιτούσε και πάλι κάποια εξοικείωση, όμως δεν ήταν δύσκολο στην εκμάθηση ιδίως για την απλή χρήση του υπολογιστή. Το πιο πρόσφατο κύμα εξέλιξης των διεπαφών αποτελούν οι *Φυσικές Διεπαφές Χρήστη* (*Natural User Interfaces – NUI*) που προσφέρουν ποικιλία τρόπων επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστών μέσω διαισθητικών ενεργειών που σχετίζονται με τη φυσική, καθημερινή ανθρώπινη συμπεριφορά (Abowd & Mynatt, 2000).

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ένας γενικός ορισμός για τις φυσικές διεπαφές χρήστη. Στη βιβλιογραφία έχουν οριστεί ως διεπαφές ελεγχόμενες με το ανθρώπινο σώμα (García-Reñalvo & Moreno, 2019), ως επαφές που κάνουν χρήση φυσικών ανθρώπινων ενεργειών και δεν απαιτούν εκμάθηση όπως με τις κλασικές διεπαφές (Zielke et al., 2017) κλπ.

Γενικά, “οι φυσικές διεπαφές χρήστη σχεδιάζονται για να επαναχρησιμοποιούν τις υπάρχουσες δεξιότητες για άμεση αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο” (Blake, 2011). Αυτός ο ορισμός περιέχει τρεις βασικές έννοιες για τις Φυσικές Διεπαφές Χρήστη:

- i. *Σχεδιάζονται* – ο σχεδιασμός της διεπαφής αποτελεί σχεδιαστικό πρόβλημα και απαιτεί κατάλληλη σχεδιαστική προσέγγιση αναφορικά με τον τελικό χρήστη, το περιεχόμενο και το πλαίσιο εφαρμογής ενός συστήματος.
- ii. *Επαναχρησιμοποιούν υπάρχουσες δεξιότητες* – επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με διαισθητικό και φυσικό τρόπο, όπως για παράδειγμα με την αφή, με χειρονομίες ή φωνητικές εντολές, το οποίο έχει το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί ειδική εκπαίδευση από το χρήστη. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό, ο Buxton είχε πει ότι “Μια διεπαφή είναι φυσική αν εκμεταλλεύεται δεξιότητες που έχουμε αποκτήσει μέσα από τη ζωή μας στον φυσικό κόσμο” (CES 2010, 2010).
- iii. *Προσφέρουν άμεση αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο* – δίνουν έμφαση στην αλληλεπίδραση του χρήστη απευθείας με το περιεχόμενο χρησιμοποιώντας αντίστοιχες ενέργειες με αυτές που χρησιμοποιούν στο χειρισμό φυσικών αντικειμένων, χωρίς να απαιτείται κάποια ενδιάμεση διεπαφή (Fröhlich et al., 2018). Ο άμεσος χειρισμός του περιεχομένου προωθεί το διαισθητικό χειρισμό και είναι ευχάριστος και εύκολος στην εκμάθηση (Shneiderman, 1982).

Οι φυσικές διεπαφές χρήστη εκμεταλλεύονται το σώμα του ανθρώπου και τις αισθήσεις του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη φυσικών διεπαφών. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι απτικές, οι φωνητικές και οι κιναισθητικές διεπαφές. Οι *απτικές διεπαφές (haptic/touch interfaces)* χρησιμοποιούν την αίσθηση της αφής προκειμένου ο χρήστης να στείλει μια εντολή στο σύστημα (πχ. πατώντας ένα κουμπί που απεικονίζεται σε μια οθόνη αφής), αλλά και για να νιώσει ο χρήστης την ανάδραση του συστήματος (πχ. μέσω κάποιας δόνησης) (O’malley & Gupta, 2008). Οι *φωνητικές διεπαφές (auditory/speech interfaces)* χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση του χρήστη με τη χρήση απλών φωνητικών εντολών (απλές κωδικοποιημένες λέξεις) (Peres et al., 2008), ή μέσω αναγνώρισης ομιλίας (Brandt, 2008; Hura, 2008). Οι *κιναισθητικές διεπαφές (gesture interfaces)* χρησιμοποιούν κινήσεις του σώματος στο χώρο ή και εκφράσεις του προσώπου για να ενεργοποιήσουν κάποια εντολή (Nielsen et al., 2008). Εκτός από τις παραπάνω φυσικές διεπαφές χρήστη, υπάρχουν και κάποιες λιγότερο γνωστές οι οποίες έχουν παραμείνει κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο όπως για παράδειγμα *οσφρητικές διεπαφές (olfactory interfaces)* (Yanagida, 2008) και *διεπαφές γεύσης (taste interfaces)* (Iwata, 2008).

Οι Φυσικές Διεπαφές ακολουθούν την ιστορική εξέλιξη των διεπαφών χρήστη, ωθώντας τη διεπαφή όλα και πιο μακριά από τον υπολογιστή, κάνοντάς την μέρος του κοινωνικού περιβάλλοντος στο φυσικό χώρο (Grudin, 1990). Αυτό γίνεται εφικτό με την εξέλιξη τόσο των τεχνολογιών αλληλεπίδρασης όσο και του τρόπου με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και χρησιμοποιούμε την τεχνολογία στην καθημερινή μας ζωή. Η σχετικά νέα αυτή ερευνητική περιοχή περιλαμβάνει καινούργια σχεδιαστικά ιδανικά και κατευθύνσεις (Dougish, 2001), νέους τρόπους σχεδίασης, και νέες μορφές αλληλεπίδρασης (Fogtman et al., 2008). Όλοι αυτοί οι παράγοντες, καθώς και το γεγονός ότι οι τεχνολογίες αλληλεπίδρασης συνεχώς εξελίσσονται, κάνουν σύνθετο το σχεδιασμό ενός διαδραστικού συστήματος με φυσικές διεπαφές. Κατά τη σχεδίασή του, θα πρέπει, αφότου έχει διερευνηθεί και αποφασιστεί ότι οι Φυσικές διεπαφές αποτελούν την καταλληλότερη επιλογή για το συγκεκριμένο σχεδιαστικό πρόβλημα, να γίνει περεταίρω έρευνα για την επιλογή του είδους που θα εφαρμοστεί (πχ. απτικές, φωνητικές ή κιναισθητικές). Οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν είναι περισσότεροι σε σχέση με τις αντίστοιχες γραφικές διεπαφές και σε αυτό συμβάλει το γεγονός ότι οι φυσικές διεπαφές επιτρέπουν στο

χρήστη να μην είναι πάντα ακίνητος μπροστά από τον υπολογιστή, όπως συνέβαινε παλαιότερα, αλλά πλέον του προσφέρουν την ελευθερία να είναι όρθιος ή καθιστός, να κινείται ελεύθερα σε κλειστό ή ανοιχτό χώρο. Αναφερόμενος σε αυτή την δυσκολία των φυσικών διεπαφών ο Buxton είχε αναφέρει ότι *«η μεγαλύτερη αλλαγή δεν είναι η τεχνολογία η οποία γίνεται γρηγορότερη, μικρότερη, φθηνότερη, αλλά η κατανόηση του ποιος κάνει τί, πού, με ποιον, για πόση ώρα και με ποιον τρόπο»* (CES 2010, 2010).

Πολύ συχνά, δεν είναι ξεκάθαρο ποια φυσική διεπαφή είναι καταλληλότερη κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος καθώς ανάλογα με την περίπτωση (χρήστες, πλαίσιο εφαρμογής, και περιεχόμενο), διαφορετικού είδους διεπαφή μπορεί να είναι η σωστότερη λύση. Για παράδειγμα οι φωνητικές εντολές κατά την αλληλεπίδραση με ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο μπορεί να αποτελούν την ιδανική μορφή αλληλεπίδρασης όταν ο χρήστης οδηγεί ένα αυτοκίνητο (όπου το βλέμμα του πρέπει να είναι στο δρόμο), όμως δεν ισχύει το ίδιο όταν ο χρήστης βρίσκεται σε κάποιο ήσυχο περιβάλλον (π.χ. στο θέατρο, σε κάποια διάλεξη κλπ.). Η λύση πολλές φορές σε τέτοιου είδους διλήμματα δεν είναι η σχεδίαση μίας μόνο διεπαφής, αλλά η παροχή περισσότερων διαφορετικών διεπαφών στον χρήστη, ο οποίος ανάλογα τις ανάγκες, προτιμήσεις και περιπτώσεις θα επιλέγει να χρησιμοποιήσει εκείνη που θεωρεί κατάλληλη.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή παρουσιάζει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού κιναισθητικής διεπαφής για διαδραστικά συστήματα, το οποίο δεν διερευνά αν η κιναισθητική αλληλεπίδραση είναι καταλληλότερη διεπαφή έναντι κάποιας άλλης (ή συνδυασμό άλλων) για το συγκεκριμένο προς σχεδίαση σύστημα. Αυτό θα πρέπει πιθανών να έχει διερευνηθεί και απαντηθεί νωρίτερα. Το μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται εστιάζει στην κιναισθητική αλληλεπίδραση και απαντά στο ερώτημα «Πώς θα σχεδιαστεί και θα δοκιμαστεί-αξιολογηθεί μια διεπαφή κιναισθητικής αλληλεπίδρασης για ένα διαδραστικό σύστημα». Συνεπώς απαντάει στο “Πώς” θα σχεδιαστεί και όχι στο “Γιατί”.

2.1.3 Κιναισθητική αλληλεπίδραση

Ο όρος «κιναισθητική» προέρχεται από τη σύνθετη λέξη «κιναισθησία» που στον κλάδο της Φυσιολογίας (κλάδος της Βιολογίας), είναι η αίσθηση που έχει ο άνθρωπος με την οποία αντιλαμβάνεται (τόσο συνειδητά όσο και ασυνειδητά) τη θέση και την κίνηση των τμημάτων του σώματος του στο χώρο μέσω αισθητηρίων οργάνων στους μυς και στις αρθρώσεις (Proske, 2006; Proske & Gandevia, 2012). Ουσιαστικά, η αίσθηση της κιναισθησίας παίζει βασικό ρόλο στην ολοκλήρωση μιας κίνησης και χωρίς αυτή δεν θα μπορούσαμε να περπατήσουμε στο σκοτάδι, να συντονίσουμε τις κινήσεις μας, ή ακόμα και να σταθούμε όρθιοι (Françoise et al., 2017). Η κιναισθησία βασίζεται στο γεγονός ότι το σώμα μας αποτελεί το μέσο με το οποίο βιώνουμε, αντιλαμβανόμαστε, και αλληλοεπιδράμε με το περιβάλλον αποκτώντας κινητικές δεξιότητες (Koutsabasis & Vosinakis, 2017). Υπό αυτή την έννοια, η κιναισθητική αλληλεπίδραση ορίζεται ως *“η αλληλεπίδραση που συμβαίνει όταν το σώμα μας, με την κίνηση, βιώνει τον κόσμο μέσω διαδραστικών τεχνολογιών”* (Fogtmann et al., 2008). Ουσιαστικά η κιναισθητική αλληλεπίδραση αφορά αλληλεπίδραση με διαδραστικά συστήματα κάνοντας χρήση κινήσεων του σώματος που γίνονται αντιληπτές από αισθητήρες.

Οι κινήσεις του σώματος και οι αισθητήρες που τις αντιλαμβάνονται, ποικίλουν. Ανάλογα το συνδυασμό τους σχηματίζουν διαφορετικές μορφές/κατηγορίες κιναισθητικής αλληλεπίδρασης. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει πρότυπη ορολογία για κάθε είδος κιναισθητικής αλληλεπίδρασης ενώ στη βιβλιογραφία το ίδιο είδος μπορεί να αναφέρεται με διαφορετικό τρόπο. Οι βασικοί άξονες που επηρεάζουν τη μορφή της κιναισθητικής αλληλεπίδρασης είναι το μέρος του σώματος που προκαλεί την κίνηση που αξιοποιείται για

αλληλεπίδραση, το είδος της κίνησης, και η τεχνολογία ανίχνευσης που χρησιμοποιείται. Πιο συγκεκριμένα:

- Ανάλογα με το μέρος του σώματος που γίνεται η κίνηση μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής μορφές κιναισθητικής αλληλεπίδρασης (Κουτσαμπάσης, 2021):
 1. **Ολόσωμη αλληλεπίδραση (Full-body interaction):** αφορά αλληλεπίδραση με κινήσεις ή στάσεις που μπορούν να γίνουν με κάθε μέλος τους σώματος. Το διαδραστικό σύστημα καταγράφει και αναγνωρίζει κινήσεις όλου το σώματος του χρήστη. Αυτό για παράδειγμα σημαίνει ότι η ίδια κίνηση με τα χέρια, μεταφράζεται διαφορετικά ανάλογα με το αν ο χρήστης είναι όρθιος ή καθιστός.
 2. **Αλληλεπίδραση με το πάνω μέρος του σώματος (Upper-body interaction):** αφορά κινήσεις ή στάσεις που γίνονται από το σημείο της μέσης και πάνω. Το διαδραστικό σύστημα αναγνωρίζει κινήσεις μόνο από το πάνω μέρος του σώματος του χρήστη περιλαμβάνοντας κορμό, κεφάλι, και συνδυασμό αυτών, αγνοώντας στάσεις ή κινήσεις των ποδιών (π.χ. αν είναι καθιστός ή όρθιος).
 3. **Αλληλεπίδραση με τα πόδια (foot-based interaction):** αφορά κινήσεις ή στάσεις των ποδιών. Ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα ανάλογα τη στάση που έχουν τα πόδια του, το σημείο που πατάει ή το πόσο βάρος ρίχνει σε καθένα από αυτά (Alexander et al., 2012; Velloso et al., 2015).
 4. **Αλληλεπίδραση με χειρονομίες (Hand interaction):** αποτελεί τη βασικότερη κατηγορία κιναισθητικής αλληλεπίδρασης και αφορά κινήσεις που περιλαμβάνουν τα χέρια του χρήστη είτε μεμονωμένα είτε σε σχέση με το υπόλοιπο σώμα. Στην κατηγορία αυτή μπορούμε να ξεχωρίσουμε την:
 - a. **Μονόχειρες χειρονομίες (Unimanual gesture interaction):** αφορά χειρονομίες (στάσεις ή κινήσεις) με το ένα χέρι μόνο.
 - b. **Αμφίχειρες χειρονομίες (Bimanual gesture interaction):** περιλαμβάνει κινήσεις ή στάσεις που απαιτούν και τα δύο χέρια.
 - c. **Αλληλεπίδραση με δερματικές χειρονομίες (On-skin interaction):** αφορά χειρονομίες που γίνονται από τα χέρια και έρχονται σε επαφή με κάποιο άλλο μέλος του σώματος (π.χ. με το χέρι ο χρήστης ακουμπάει το στήθος (Bostan et al., 2017; Havlucu et al., 2017), με τον δείκτη του ενός χεριού ακουμπάει την παλάμη του άλλου χεριού (Chan et al., 2016) κ.α.).
 5. **Αλληλεπίδραση με το βλέμμα (Gaze interaction):** αφορά αλληλεπίδραση με το βλέμμα όπου ο χρήστης μπορεί να ελέγχει το σύστημα με την κίνηση των ματιών του καθώς και με τον χρόνο που εστιάζει σε κάποιο αντικείμενο της διεπαφής (Deng et al., 2017; Körsel et al., 2016).
- Ανάλογα με το είδος της κίνησης μπορούμε να διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες χειρονομιών:
 1. **Στάσεις του σώματος (Posture):** αφορά στάσεις που πρέπει να κάνει ο χρήστης για κάποιο σύντομο χρονικό διάστημα μέχρι να αναγνωριστούν από την τεχνολογία ανίχνευσης κίνησης ώστε να μεταφραστούν σε αντίστοιχες εντολές. Συνήθως οι στάσεις του σώματος χρησιμοποιούνται με κάποια δυαδική λογική, προκειμένου να ενεργοποιήσουν ή να απενεργοποιήσουν κάποια λειτουργία του συστήματος καθώς δεν έχουν δυναμικό χαρακτήρα.
 2. **Κινήσεις του σώματος (Gesture):** αφορά κινήσεις του σώματος που αναγνωρίζονται από το διαδραστικό σύστημα, οι οποίες μπορεί να γίνονται συνεχόμενα (π.χ. μια κυκλική κίνηση του χεριού που επαναλαμβάνεται όση ώρα ο χρήστης θέλει να εκτελείται η αντίστοιχη εντολή) ή να έχουν μια συγκεκριμένη διάρκεια μεταβαίνοντας από μια αρχική θέση σε μια τελική (π.χ. ανεβάζοντας το χέρι από το ύψος της μέσης στο ύψος του κεφαλιού). Επίσης οι κινήσεις, ανάλογα με το εύρος που έχουν στο χώρο μπορούν να διακριθούν σε:

- a. **Μικροχειρονομίες (microgestures)**: αφορά χειρονομίες με μικρή σχετικά κίνηση των μελών του σώματος και γίνονται συνήθως με τα δάχτυλα των χεριών (Chan et al., 2016).
 - b. **Μετακίνηση (locomotion)**: αφορά ελεύθερη μετακίνηση του χρήστη (π.χ. περπάτημα) μέσα σε συγκεκριμένο χώρο.
- Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για να γίνει η ανίχνευση της κίνησης μπορούμε να διακρίνουμε την αλληλεπίδραση σε:
 1. **Αλληλεπίδραση μέσω συσκευών (Device-based interaction)**: Αφορά αλληλεπίδραση όπου ο χρήστης φοράει ειδικές συσκευές ή κρατάει χειριστήρια που έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν την κίνηση τους σώματος του χρήστη και οι οποίες συνδέονται με το διαδραστικό σύστημα με ενσύρματο ή ασύρματο τρόπο. Ανάλογα με το αν αυτές τις συσκευές τις κρατάει ή τις φοράει ο χρήστης, η αλληλεπίδραση διακρίνεται σε:
 - a. **Αλληλεπίδραση μέσω χειριστηρίων (Handheld devices)**: το μέσο ανίχνευσης της κίνησης είναι μια συσκευή την οποία θα πρέπει ο χρήστης να κρατάει στα χέρια του όπως χειριστήριο, γραφίδα, κινητό τηλέφωνο κ.α. Συνεπώς οι συσκευές αυτές ανιχνεύουν την κίνηση μόνο των χεριών του χρήστη.
 - b. **Αλληλεπίδραση μέσω φορητής τεχνολογίας (Wearable devices)**: το μέσο ανίχνευσης της κίνησης είναι μια συσκευή την οποία ο χρήστης φοράει στο σώμα του, δίνοντάς του την ελευθερία να κινεί τα χέρια και δάχτυλά του χωρίς κάποιο περιορισμό (πχ. δαχτυλίδι (Gheran et al., 2018), Ρολόι (Katsuragawa et al., 2016), γυαλιά εικονικού κόσμου (Brancati et al., 2016)).
 2. **Εναέρια αλληλεπίδραση (Mid-air interaction)**: Σε αυτή την κατηγορία υπάρχει συσκευή ανίχνευσης της κίνησης, όμως η συσκευή αυτή δεν βρίσκεται πάνω στο χρήστη. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση ειδικές κάμερες οι οποίες έχουν συγκεκριμένη περιοχή μέσα στην οποία μπορούν να ανιχνεύσουν τις κινήσεις του χρήστη. Όταν ο χρήστης βρίσκεται μέσα σε αυτή την περιοχή και εφαρμόσει τη σωστή κίνηση η κάμερα στέλνει το κατάλληλο σήμα στο διαδραστικό σύστημα, όπου μεταφράζεται σε κάποια εντολή. Η βασικότερη διαφορά σε σχέση με την αλληλεπίδραση μέσω συσκευών, είναι ότι ο/η χρήστης έχει πλήρη ελευθερία κινήσεων καθώς τα χέρια του δεν κρατάνε κάποιο χειριστήριο ή ο/η ίδιος/α δεν φοράει κάποια ενσύρματη ή ασύρματη συσκευή που ενδεχομένως να επηρέαζε ή και να περιόριζε κάποια κίνηση του/της.

2.1.4 Αλληλεπίδραση με εναέριες χειρονομίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εστιάζει στην εναέρια αλληλεπίδραση ανθρώπου υπολογιστή, δηλαδή στην αλληλεπίδραση με κινήσεις ή στάσεις των χεριών καθώς και του πάνω μέρους του σώματος του χρήστη, χωρίς την ύπαρξη άλλων χειριστηρίων ή βοηθημάτων (accessory-free mid-air gestures).

Η αλληλεπίδραση με εναέριες χειρονομίες ή απλά εναέρια αλληλεπίδραση (EA – mid-air (gestural) interaction) είναι ένα είδος κιναισθητικής αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιεί κινήσεις του χρήστη οι οποίες όταν εφαρμόζονται σωστά και αναγνωρίζονται από το διαδραστικό σύστημα, μεταφράζονται σε αντίστοιχες εντολές. Η αναγνώριση των κινήσεων γίνεται με τη χρήση μη παρεμβατικών αισθητηρίων (ανακλαστήρων, συσκευών ή χειριστηρίων που θα έπρεπε σε άλλη περίπτωση να κρατάει ή να φοράει ο χρήστης), και κυρίως με συσκευές (συνήθως ειδικές κάμερες) που βρίσκονται σε απόσταση από το χρήστη.

Όπως κάθε είδος αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή, έτσι και η ΕΑ έχει κάποια χαρακτηριστικά-ιδιότητες τα οποία μπορεί να θεωρηθούν θετικά ή αρνητικά, ανάλογα με το σκοπό της χρήσης της εναέριας αλληλεπίδρασης και το πλαίσιο εφαρμογής της. Έρευνες των τελευταίων ετών πάνω στην ΕΑ εξετάζουν τα χαρακτηριστικά αυτά, διερευνώντας κυρίως τρόπους να τα ενισχύσουν ή να τα περιορίσουν ανάλογα την περίπτωση. Τα σημαντικότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- **Διαισθητική αλληλεπίδραση** - Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ΕΑ, αλλά και της κιναισθητικής αλληλεπίδρασης γενικότερα, είναι το γεγονός ότι δύναται να προσφέρει διαισθητική και φυσική αλληλεπίδραση στο χρήστη. Η αλληλεπίδραση αυτή βασίζεται στη «διαίσθηση» η οποία αποτελεί μια υποσυνείδητη γνωστική διαδικασία που χρησιμοποιεί βιωματικές γνώσεις που έχουν αποκτηθεί στο παρελθόν (Blackler et al., n.d., 2010). Αυτή η υποσυνείδητη χρήση προηγούμενων γνώσεων δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τη διεπαφή σχεδόν αμέσως με επιτυχία, με ελάχιστη συνειδητή προσπάθεια και χωρίς εκπαίδευση (Macaranas et al., 2015; Malizia & Bellucci, 2012), γεγονός που αποτελεί βασικό σχεδιαστικό στόχο καθώς έχει θετικό αντίκτυπο στην εμπειρία του χρήστη. Η ανάδειξη χειρονομιών που προσφέρουν διαισθητική αλληλεπίδραση αποτελεί βασική σχεδιαστική πρόκληση και έχει εξεταστεί σε πολλές έρευνες (Albertini et al., 2017; Z. Chen et al., 2017; Grandhi et al., 2011; Jahani & Kavakli, 2017; Kamel Boulos et al., 2011; S.-S. Lee et al., 2013; Nielsen, Störring, Moeslund, et al., 2003).
- **Αλληλεπίδραση χωρίς βοηθητικές/παρεμβατικές συσκευές/χειριστήρια** – Η εναέρια αλληλεπίδραση δεν απαιτεί από τους χρήστες να φορούν κάποια συσκευή ή να χρησιμοποιούν κάποιο χειριστήριο ή κινητό τηλέφωνο για να αλληλεπιδράσουν. Αυτό το χαρακτηριστικό αποτελεί τόσο πλεονέκτημα της ΕΑ, όσο και μειονέκτημα. Για παράδειγμα στην περίπτωση αλληλεπίδρασης με απομακρυσμένες οθόνες σε δημόσιους χώρους η αλληλεπίδραση χωρίς βοηθητικές συσκευές μειώνει τα τεχνολογικά εμπόδια μεταξύ του χρήστη και του συστήματος. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη αφενός να μην εστιάζει στις φυσικές συσκευές εισόδου (Siddhuria et al., 2017), αφετέρου να αλληλεπιδρά με το σύστημα πιο άμεσα (γρήγορα) κάτι το οποίο δεν θα συνέβαινε αν έπρεπε να συνδεθεί με το κινητό του, το οποίο θα απαιτούσε περισσότερο χρόνο (Aigner et al., 2012; Bailly et al., 2011; Guy et al., 2015). Επίσης, η έλλειψη χειριστηρίων αποτελεί πλεονέκτημα σε περιπτώσεις όπου θέματα υγιεινής και αποστείρωσης έχουν μεγάλη σημασία όπως για παράδειγμα, σε περιπτώσεις αποστειρωμένων χώρων όπως χειρουργεία οι χειρουργοί μπορούν να χειριστούν διαδραστικά συστήματα προβολής ιατρικών δεδομένων των ασθενών χωρίς να χρειαστεί να αγγίξουν κάποιο χειριστήριο (Ebert et al., 2012; Opromolla et al., 2015; Rossol et al., 2014; Tan et al., 2013; Wachs et al., 2011). Αντίστοιχα σε δημόσιους χώρους αποφεύγεται η χρήση οθονών αφής οι οποίες μπορούν να γίνουν πηγή μετάδοσης μικροβίων (Bailly et al., 2011). Η έλλειψη χειριστηρίων στην ΕΑ μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να αποτελεί και μειονέκτημα. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται λεπτομερείς χειρισμοί, η έλλειψη χειριστηρίων κάνει την αλληλεπίδραση πιο δύσκολη και μη αποτελεσματική καθώς το επίπεδο ωριμότητας των τεχνολογιών ανίχνευσης χειρονομιών από απόσταση (κάμερες βάθους) δεν έχει φτάσει εκείνο των χειριστηρίων, του πληκτρολογίου, του ποντικιού ή των οθονών αφής (Avellino et al., 2015; Heimonen et al., 2016; Moser & Tscheligi, 2015; Ren & O'Neill, 2013b; Tan et al., 2013). Η έλλειψη χειριστηρίων επιπλέον, δεν επιτρέπει στο σύστημα να προσφέρει κάποιου είδους απτικής ανάδρασης. Αυτό, κυρίως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει έλλειψη άλλων ειδών ανάδρασης (ηχητικής ή οπτικής), δυσκολεύει

το χρήστη να αισθανθεί και να κατανοήσει τη σχέση της κίνησης του με την αντίστοιχη εντολή και έχει αρνητική συμβολή στην εξοικείωση του με το σύστημα (Köpsel et al., 2016).

- **Κόπωση** – η εναέρια αλληλεπίδραση χρησιμοποιεί περισσότερους μυς από άλλες μορφές αλληλεπίδρασης γεγονός που την κάνει πιο κουραστική, ιδίως όταν διαρκεί για αρκετή ώρα ή όταν δεν χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες χειρονομίες. Η κούραση των χεριών είναι ένα κλασικό πρόβλημα (αναφέρεται και ως “gorilla’s arm syndrome” (Hansberger et al., 2017)) το οποίο παρουσιάζεται στην εναέρια αλληλεπίδραση με χειρονομίες κυρίως όταν ο χρήστης δεν έχει κάποιο σταθερό σημείο να τα στηρίζει. Η ανακάλυψη ξεκούραστων και εργονομικών χειρονομιών, έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές καθώς η κούραση προκαλεί δυσφορία και αυτό έχει αρνητικό αντίκτυπο στην εμπειρία του χρήστη (Jude et al., 2014; Rempel et al., 2014; Siddhuria et al., 2017; Song et al., 2012). Η κούραση δεν θεωρείται πάντα μειονέκτημα της εναέριας αλληλεπίδρασης. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει χρησιμοποιηθεί προς όφελος του χρήστη. Για παράδειγμα η χρήση χειρονομιών σε παιχνίδια έχει χρησιμοποιηθεί για θεραπευτικούς σκοπούς σε άτομα με κινητικά προβλήματα (Caro et al., 2015), ή για βελτίωση της φυσικής κατάστασης ηλικιωμένων (Fernandez-Cervantes et al., 2018; Gerling et al., 2012).
- **Διαφορετικότητα έκφρασης**– Οι χειρονομίες και γενικότερα οι κινήσεις του σώματος, αποτελούν τρόπο έκφρασης τόσο στην επικοινωνία των ανθρώπων όσο και στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή. Ως έκφραση, η εκτέλεση μιας χειρονομίας μπορεί να έχει απόκλιση μεταξύ χρηστών (ανάλογα την κουλτούρα, τις εμπειρίες, το χαρακτήρα τους κ.α.) ενώ ακόμη και για τον ίδιο χρήστη μπορεί να έχει παρεκκλίσεις ανάλογα με το περιεχόμενο και το πλαίσιο εφαρμογής της (Hossain et al., 2017). Το γεγονός αυτό προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο δυσκολίας στην αναγνώριση των χειρονομιών και στην απόδοση του διαδραστικού συστήματος γενικότερα.
- **Διακριτή αλληλεπίδραση σε δημόσιους χώρους** – Η εναέρια αλληλεπίδραση όταν εφαρμόζεται σε δημόσιους χώρους, γίνεται εύκολα αντιληπτή από περαστικούς είτε λόγω των μεγάλων οθονών που προβάλλουν το περιεχόμενο του διαδραστικού συστήματος, είτε λόγω των κινήσεων που εκτελεί ο χρήστης στον αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι το γεγονός αυτό, γενικά κεντρίζει το ενδιαφέρον των περαστικών και τους προσελκύει να εμπλακούν και να δοκιμάσουν την εφαρμογή (το φαινόμενο αυτό αναφέρεται και ως “honeypot effect” (Brignull & Rogers, 2003; Ten Koppel et al., 2012; Wouters et al., 2016)). Παράλληλα όμως, η χρήση κινήσεων σε δημόσιους χώρους ως μέσο αλληλεπίδρασης, δεν είναι πάντα ευχάριστη για τους χρήστες καθώς υπάρχει η περίπτωση να νιώθουν άβολα ή ντροπή ιδίως όταν οι χειρονομίες που πρέπει να εκτελούν δεν είναι κοινωνικά αποδεκτές (Ackad et al., 2015; Gentile et al., 2015).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά διαφοροποιούν την εναέρια αλληλεπίδραση από τα κλασικά είδη αλληλεπίδρασης. Αυτά, έχουν εξεταστεί στις περισσότερες έρευνες των τελευταίων ετών είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά. Για παράδειγμα στις έρευνες των Hincapié-Ramos et al. (Hincapié-Ramos et al., 2014) ή των Hansberger et al. (Hansberger et al., 2017) εξετάζεται η μόνο η κούραση, ενώ στην έρευνα των Havlucu et al. (Havlucu et al., 2017) εξετάζονται περισσότερα χαρακτηριστικά της ΕΑ όπως το κατά πόσο οι χειρονομίες είναι κοινωνικά αποδεκτές, είναι εύκολες στην εκμάθηση και απομνημόνευση και κατά πόσο είναι φυσικές – διαισθητικές. Επίσης, τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξετάζονται σε διάφορα πεδία εφαρμογής και σε διαφορετικό περιεχόμενο. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι αφενός η εναέρια αλληλεπίδραση δεν είναι πανάκεια για όλα τα διαδραστικά συστήματα, αφετέρου, τα χαρακτηριστικά της ανάλογα με το σκοπό χρήσης,

το πεδίο εφαρμογής και το περιεχόμενο, έχουν διαφορετική βαρύτητα και πολλές φορές αντίθετο αντίκτυπο στην εμπειρία του χρήστη και στην απόδοση του συστήματος. Συνεπώς, η χρήση της ΕΑ θα πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση πριν επιλεγθεί ως είδος αλληλεπίδρασης σε κάποιο διαδραστικό σύστημα.

2.1.5 Χειρονομίες ως μορφή έκφρασης και επικοινωνίας

Οι χειρονομίες και γενικότερα κινήσεις-στάσεις του σώματος και εκφράσεις του προσώπου, αποτελούν μέσο ανθρώπινης επικοινωνίας που εμπλουτίζει και υποβοηθά τη λεκτική επικοινωνία. Σε περιπτώσεις μάλιστα όπου το περιβάλλον δεν επιτρέπει ή δεν καθιστά δυνατή την ομιλία (π.χ. μέσα στη θάλασσα, σε θορυβώδη περιβάλλοντα κ.α.) καθώς και για άτομα με απώλεια ακοής ή με προσωρινή ή μόνιμη αδυναμία ομιλίας, οι χειρονομίες υποκαθιστούν τη λεκτική επικοινωνία. Βεβαίως, δεν είναι όλες οι ανθρώπινες κινήσεις χειρονομίες. Το βασικότερο χαρακτηριστικό που τις ξεχωρίζει είναι ότι οι χειρονομίες περιέχουν κάποια πληροφορία και βασίζονται σε ένα κοινό κώδικα επικοινωνίας μεταξύ δύο ή περισσότερων ανθρώπων. Ο ορισμός που δίνεται σε λεξικό της νέας Ελληνικής γλώσσας είναι η εξής: *“χειρονομία είναι κάθε κίνηση των χεριών που κάνει κανείς ασυναίσθητα, και ιδιαίτερα όταν μιλά, εκφράζοντας τη διάθεσή του ή προσπαθώντας να τονίσει ή να κάνει πιο σαφή ή ενδιαφέροντα αυτά που λέει”* (Μπαμπινιώτης, 2011).

Η σημασία των χειρονομιών στην επικοινωνία βασίζεται σε πρωταρχικές συμπεριφορές κατά τη βρεφική ηλικία, όπου τα πρώτα στάδια της γλώσσας δεν είναι η ομιλία, ούτε η ομιλία μαζί με χειρονομίες, αλλά οι χειρονομίες μόνο (Hewes et al., 1973; McNeill, 2012). Μάλιστα, σχετίζονται τόσο στενά με την ανθρώπινη επικοινωνία που πολλές φορές χρησιμοποιούνται ακόμη και όταν οι άνθρωποι μπορεί να μην βλέπουν ο ένας τον άλλον όπως για παράδειγμα σε μια τηλεφωνική συνομιλία (Rimé, 1982). Συνεπώς οι χειρονομίες γίνονται τις περισσότερες φορές ασυναίσθητα και αποτελούν ένα φυσικό τρόπο έκφρασης ο οποίος όμως, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία από άνθρωπο σε άνθρωπο καθώς επηρεάζεται από τις πολιτιστικές αναφορές τους και το πλαίσιο μέσα στο οποίο εφαρμόζονται.

2.1.6 Χειρονομίες στην εναέρια αλληλεπίδραση ανθρώπου υπολογιστή

Ο όρος «χειρονομία» έχει οριστεί με διαφορετικούς τρόπους σε διάφορα πεδία, όπως στη γλωσσολογία, στη σημειολογία ή στις τέχνες (χορός, ζωγραφική). Αντίστοιχα, και στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή, έχουν αποδοθεί διάφορες ερμηνείες. Για παράδειγμα:

“Χειρονομία είναι μια κίνηση του σώματος που περιέχει πληροφορίες. Το να χαιρετάς είναι μια χειρονομία. Το πάτημα ενός πλήκτρου στο πληκτρολόγιο δεν είναι χειρονομία επειδή η κίνηση του δακτύλου για να πιάσει ένα πλήκτρο δεν καταγράφεται ούτε είναι σημαντική. Το μόνο που έχει σημασία είναι ποιο πλήκτρο πατήθηκε” (Kurtenbach & Hulteen, 1990).

“Χειρονομίες είναι κινήσεις έκφρασης που έχουν κάποιο νόημα και περιλαμβάνουν φυσικές κινήσεις των δακτύλων, των χεριών, του κεφαλιού, του προσώπου και του σώματος” (Pavlovic et al., 1997).

“Χειρονομία είναι η κίνηση του σώματος ενός ατόμου προς ένα αποδέκτη (υπολογιστή) που περιέχει κάποιο νόημα στα πλαίσια της επικοινωνίας. Το νόημα αφορά πληροφορίες που συμβάλλουν σε ένα συγκεκριμένο σκοπό” (Hummels & Stappers, 1998).

“Χειρονομία είναι μια εκφραστική, κίνηση του σώματος που περιέχει κάποια έννοια – όπως για παράδειγμα, κινήσεις δαχτύλων, χεριών, κεφαλιού, προσώπου ή σώματος, με σκοπό τη μεταφορά κάποιας πληροφορίας ή την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον” (Turk, 2002).

Πέρα από τις χειρονομίες, τόσο στην ανθρώπινη επικοινωνία όσο και στην κιναισθητική αλληλεπίδραση, υπάρχουν και οι πόζες. Η πόζα είναι μια στάση του σώματος που γίνεται σε μια δεδομένη χρονική στιγμή ή για ένα μικρό χρονικό διάστημα και περιέχει κάποια πληροφορία. Η διαφορά της με την χειρονομία είναι στην κίνηση. Η χειρονομία περιέχει κίνηση, ενώ η πόζα είναι στατική. Μάλιστα στη βιβλιογραφία η πόζα αναφέρεται αρκετές φορές και ως «στατική χειρονομία».

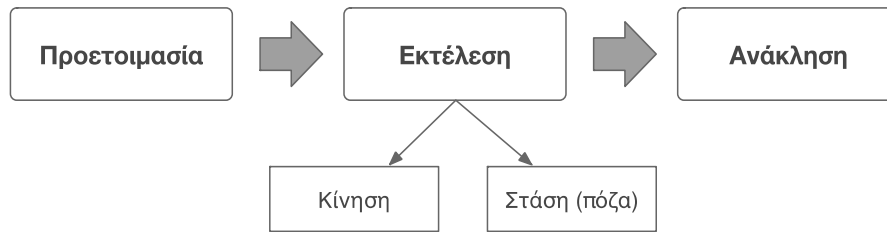
Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι η λέξη «χειρονομία» στα Ελληνικά αναφέρεται σε κίνηση που γίνεται με τα χέρια. Η αντίστοιχη λέξη στα αγγλικά: “gesture”, έχει μια γενικότερη έννοια και αναφέρεται τόσο σε κινήσεις των χεριών όσο και σε κινήσεις των μελών του σώματος που περιέχουν κάποια πληροφορία στα πλαίσια της επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων ή ανθρώπου-υπολογιστή. Συνεπώς, οι παραπάνω ορισμοί που έχουν παρουσιαστεί σε αγγλική βιβλιογραφία, αναφέρονται σε κινήσεις μελών του σώματος και δεν περιορίζονται μόνο στα χέρια. Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής η λέξη «χειρονομία» θα ακολουθήσει τον Ελληνικό ορισμό και θα αναφέρεται σε κινήσεις των χεριών. Οι ορισμοί των κινήσεων των μελών του σώματος θα αναφέρονται περιγραφικά, όπως «κίνηση του κεφαλιού», «κίνηση των ποδιών», «κίνηση του κορμού του σώματος» κ.α.

Στα πλαίσια της κιναισθητικής αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή, από τους παραπάνω ορισμούς των χειρονομιών και γενικότερα των κινήσεων των μελών του σώματος συμπεραίνονται τα εξής:

- Για να αλληλεπιδράσει ο χρήστης με το διαδραστικό σύστημα πρέπει να παράγει μια κίνηση ή μια στάση (πόζα) του σώματος σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Η κίνηση ή η στάση αυτή, περιέχει πληροφορία σχετικά με την εντολή που ενεργοποιεί.
- Αποδέκτης της πληροφορίας είναι το υπολογιστικό διαδραστικό σύστημα.
- Ο τρόπος που εκφράζεται η κίνηση έχει σημασία στην αναγνώρισή της από το διαδραστικό σύστημα.

Στα πλαίσια της επικοινωνίας ανθρώπου με υπολογιστή, το μοντέλο μπορεί να προσαρμοστεί στο ότι ο χειρονομιών είναι ο χρήστης του συστήματος, ο οποίος σκέφτεται πρώτα την κατάλληλη χειρονομία (κίνηση του σώματος) και έπειτα την εξασκεί. Ο παρατηρητής είναι το υπολογιστικό σύστημα που παρακολουθεί τις κινήσεις του χρήστη και τα οπτικά ερεθίσματα είναι ουσιαστικά η ροή δεδομένων (πχ. ροή εικόνων) η οποία καταγράφεται από κάποιο αισθητήρα ανίχνευσης κίνησης του διαδραστικού συστήματος (πχ. κάμερα βάθους).

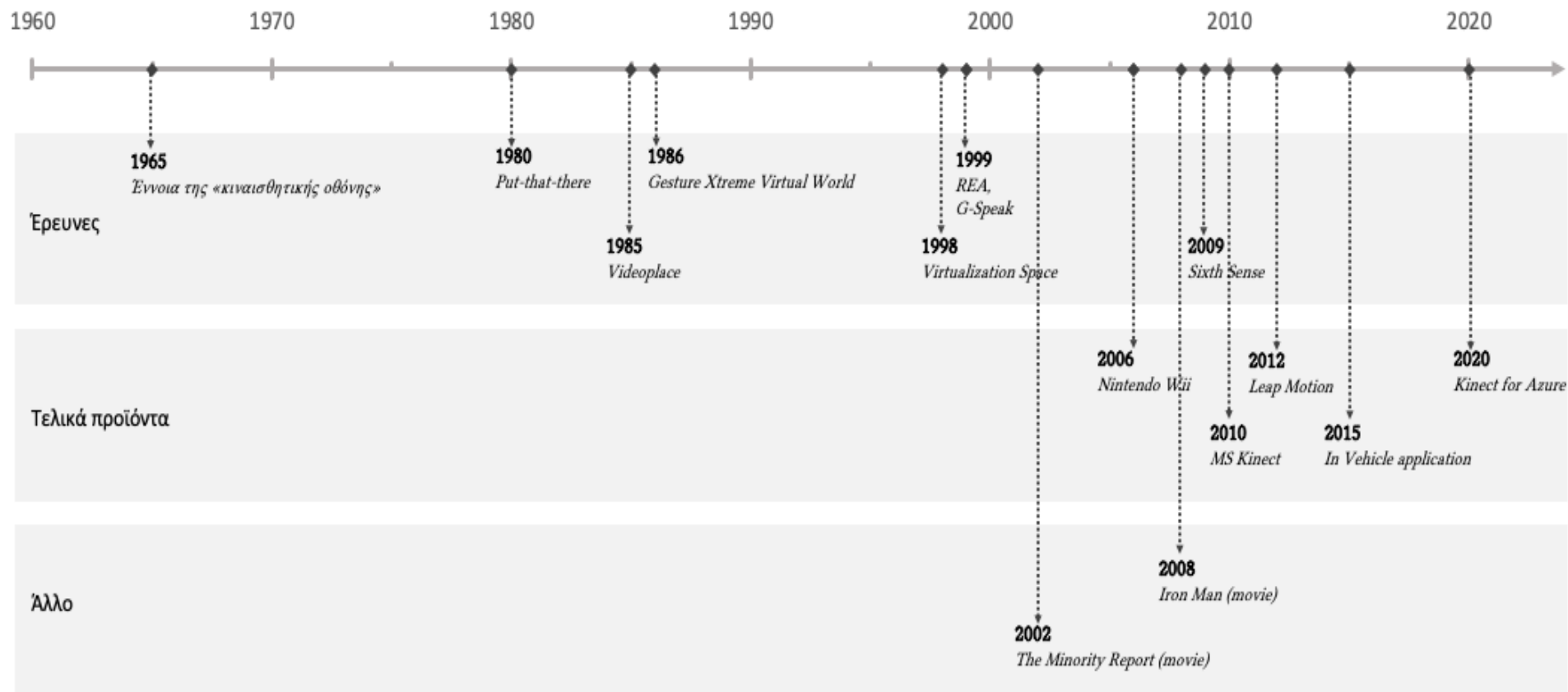
Εξετάζοντας κινητικά μια χειρονομία, μπορούν να διακριθούν τα εξής στάδια (McNeill, 1992): *προετοιμασίας, εκτέλεσης και ανάκλησης*. Η *προετοιμασία* είναι το στάδιο στο οποίο ο χρήστης φέρνει το σώμα του από την κατάσταση ανάπαυσης (ηρεμίας) σε μια θέση που είναι κατάλληλη για την εκτέλεση της χειρονομίας. Το στάδιο της *εκτέλεσης* περιλαμβάνει την κύρια πληροφορία της χειρονομίας και μπορεί να είναι κίνηση ή στάση του σώματος (πόζα). Τέλος, *ανάκληση* είναι η φάση που το σώμα πηγαίνει πάλι σε κατάσταση ηρεμίας (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 - Στάδια χειρονομίας

2.1.7 Ιστορική αναδρομή της εναέριας αλληλεπίδρασης

Συνήθως, η εξέλιξη μιας τεχνολογίας ακολουθεί τη θεωρία της «μακράς μύτης καινοτομίας» (B. Buxton, 2008). Η θεωρία αυτή αναφέρεται στο χρόνο που απαιτείται από μια τεχνολογία από τη στιγμή της ανακάλυψής της, τη βελτίωση και εξέλιξή της μέχρι να εμπορευματοποιηθεί ως τελικό προϊόν. Ο χρόνος αυτός, σύμφωνα με τον Buxton είναι μακρύς (συνήθως γύρω στα 20 χρόνια) και στο μεγαλύτερο διάστημα του η κερδοφορία της τεχνολογίας είναι χαμηλή και αυξάνεται απότομα μόνο όταν η τεχνολογία είναι αρκετά ώριμη για να εμπορευματοποιηθεί. Τη θεωρία αυτή φαίνεται ότι έχουν ακολουθήσει και οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν την εναέρια αλληλεπίδραση. Μάλιστα, η προέλευση της εναέριας αλληλεπίδρασης εντοπίζεται από τα αρχικά στάδια εξέλιξης της εικονικής πραγματικότητας (Εικόνα 2.2). Το 1965 ο I. Sunderland, αναφερόμενος στις οθόνες του μέλλοντος, είχε προτείνει την έννοια μιας οθόνης που θα μπορεί να αντιλαμβάνεται ποιο εικονιζόμενο αντικείμενο δείχνει ο χρήστης (Sutherland, 1965). Αυτή η «κιναισθητική οθόνη» όπως την χαρακτηρίζει, θα μπορούσε να είναι ένα δωμάτιο μέσα στο οποίο θα αναγνωριζόταν η παρουσία του χρήστη.



Εικόνα 2.2 - Ορόσημα της εναέριας αλληλεπίδρασης

Στα τέλη της δεκαετίας του '70, το ερευνητικό κέντρο 'Architecture Machine group'² του MIT κατασκεύασε ένα τεχνολογικά προηγμένο δωμάτιο πολυμέσων (Media Room) το οποίο φιλοξένησε αρκετές έρευνες πάνω στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή με χρήση φυσικών διεπαφών χρήστη. Η πιο σχετική με την εναέρια αλληλεπίδραση ήταν αυτή του Bolt το 1980 (Bolt, 1980), στην οποία κατασκεύασαν ένα πρωτότυπο που ονόμασαν "Put-That-There" όπου ο χρήστης μπορούσε να δημιουργήσει και να μετακινήσει βασικά σχήματα σε μια μεγάλη οθόνη συνδυάζοντας φωνητικές εντολές μαζί με χειρονομίες (Εικόνα 2.1). Πιο συγκεκριμένα, για να μετακινήσει ένα αντικείμενο στην οθόνη έπρεπε πρώτα να το δείξει με το χέρι του και να πει τη φωνητική εντολή "Put that". Έπειτα, έπρεπε πάλι με το χέρι του να δείξει ένα διαφορετικό σημείο στην οθόνη και λέγοντας τη φωνητική εντολή "There", το αντικείμενο αυτό μετακινούνταν στο νέο σημείο.



Εικόνα 2.1 – (Αριστερά) πρωτότυπο: "Put-that-there", (δεξιά) πρωτότυπο: "Sixth Sense"

Την ίδια περίπου περίοδο ο Myron Krueger, κατασκευάζει ένα εργαστήριο τεχνητής πραγματικότητας που ονομάζει "Videoplace" (Videoplace, 1975) και παρουσιάζει την ομώνυμη έρευνα το 1985 (Krueger et al., 1985). Η ιδέα του πίσω από το videoplace ήταν η δημιουργία μιας τεχνητής πραγματικότητας που θα περιβάλει τους χρήστες και θα ανταποκρίνεται στις κινήσεις τους, χωρίς τη χρήση φορητού εξοπλισμού όπως ειδικά γάντια ή γυαλιά εικονικής πραγματικότητας. Η εγκατάσταση του videoplace χρησιμοποιούσε κάμερες που κατέγραφαν την κίνηση του χρήστη στο χώρο, ειδικό εξοπλισμό και υπολογιστές που επεξεργάζονταν την εικόνα από τις κάμερες, και βιντεοπροβολείς οι οποίοι προβάλλανε πάνω σε μεγάλο τοίχο την επεξεργασμένη εικόνα του χρήστη ως σιλουέτα τοποθετημένη μέσα σε ένα διαδραστικό περιβάλλον. Ο χρήστης μέσω της προβαλλόμενης σιλουέτας του μπορούσε να αλληλεπιδράσει με διάφορα αντικείμενα που εμφανιζόντουσαν στην οθόνη, ενώ υπήρχε η δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν παράλληλα και δύο χρήστες μεταξύ τους.

Το 1986, οι πρώτες εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης παρουσιάστηκαν από τους Vincent John Vincent³ και Francis MacDougall, δύο φοιτητές του πανεπιστημίου του Waterloo στον Καναδά που ήταν παράλληλα μουσικοί και χορευτές. Επηρεασμένοι από την αυξανόμενη επανάσταση των προσωπικών υπολογιστών που ξεκίνησε από τις αρχές του 1980, δημιούργησαν μια εφαρμογή η οποία εμφάνιζε την σιλουέτα του χρήστη σε εικονικά τοπία με τα οποία μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν και να εκφραστούν δημιουργικά παράγοντας μουσική με κινήσεις του σώματος (TEDx Talks, 2011; V. J. Vincent, 2011). Η τεχνολογία που χρησιμοποιούσαν ήταν αντίστοιχη με αυτή εργαστηρίου videoplace, με τη διαφορά ότι για την επεξεργασία της εικόνας και δημιουργίας του εικονικού κόσμου χρησιμοποιούσαν έναν εμπορικό υπολογιστή, τον Commodore-Amiga⁴. Η

² <https://www.media.mit.edu/groups/architecture-machine-group/overview/>

³ <http://www.vjvincent.com/>

⁴ <https://en.wikipedia.org/wiki/Amiga>

εφαρμογή που δημιούργησαν ονομάστηκε “Gesture Xtreme Virtual World” (Vincent John Vincent, n.d.) και είχε μερικές εκατοντάδες πωλήσεις, ενώ αργότερα, περίπου το 1993, μεταφράστηκε και για PC. Η εταιρεία που ίδρυσαν από το 1986, με τίτλο GestureTek⁵, έχει τις περισσότερες πατέντες που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα σε διάφορες πλατφόρμες και εφαρμογές της εναέριας αλληλεπίδρασης. Μέχρι σήμερα έχουν δημιουργήσει πάνω από 8.000 εγκαταστάσεις με εφαρμογές που χρησιμοποιούν εναέρια αλληλεπίδραση και διαδραστικές οθόνες πολυμέσων σε μουσεία, επιστημονικά κέντρα, εμπορικές εκθέσεις, αίθουσες συνεδριάσεων, αεροδρόμια, στάδια κ.α. (GestureTek, n.d.).

Στα τέλη της δεκαετίας του '90, ο Mark Lucente δημιούργησε ένα προηγμένο εργαστήριο στην IBM Research⁶ που ονόμασε “Visualization Space” (Lucente et al., 1998) (αναφέρεται και ως DreamSpace (*DreamSpace: Natural Interaction*, n.d.)) προκειμένου να δοκιμάσουν το συνδυασμό της εναέριας αλληλεπίδρασης με φωνητικές εντολές. Το πρωτότυπο που χρησιμοποίησαν επέτρεπε στο χρήστη να κινείται ελεύθερα στο χώρο (δωμάτιο 4x8 μέτρα), όπου ο ένας τοίχος του ήταν μια οθόνη οπίσθιας προβολής στην οποία εικονίζονταν διάφορα εικονικά αντικείμενα με τα οποία μπορούσε να αλληλεπιδράσει. Χρησιμοποιώντας μια κάμερα και ένα μικρόφωνο, σε συνδυασμό με αντίστοιχες τεχνολογίες αναγνώρισης κινήσεων και ομιλίας, το σύστημα μπορούσε να «ακούει» τις φωνητικές εντολές και να «βλέπει» τις κινήσεις του χρήστη (πχ. ποιο αντικείμενο δείχνει) και την θέση του σώματός του (πχ που είναι στραμμένο το κεφάλι του). Μια παρόμοια προσέγγιση, χρησιμοποιείται το 1999 με το πρωτότυπο REA (Real Estate Agent) (Cassell et al., 1999) στα πλαίσια μιας έρευνας που διεξήχθη από το MIT Media Laboratory⁷. Το πρωτότυπο REA, περιλάμβανε ένα εικονικό ανθρωποειδές το οποίο είχε το ρόλο ενός μεσίτη ακινήτων και μπορούσε να αλληλεπιδράσει με το χρήστη με συνδυασμό διαλόγου (ομιλίας) και κινήσεων εισάγοντας την έννοια των «ενσωματωμένων συνομιλητικών χαρακτήρων» (embodied conversational characters). Αποτελούνταν από μια μεγάλη οθόνη προβολής στην οποία εμφανίζονταν το REA και φωτογραφίες από το ακίνητο (κτίριο) το οποίο παρουσίαζε, ενώ δύο κάμερες κατέγραφαν τις κινήσεις των χεριών και του κεφαλιού του χρήστη ο οποίος φορώντας ένα μικρόφωνο, στεκόταν μπροστά από την οθόνη. Το πρωτότυπο αυτό παρείχε αλληλεπίδραση κυρίως με ομιλία-διάλογο. Οι κινήσεις των χεριών του χρήστη όταν μιλούσε, βοηθούσαν το σύστημα να καταλάβει πού και πότε δίνει περισσότερη έμφαση σε αυτά που έλεγε, ώστε να κατανοήσει καλύτερα το νόημα τους. Επίσης, ο προσανατολισμός του κεφαλιού του χρήστη βοηθούσε το σύστημα να κατανοήσει πότε ο χρήστης δείχνει προσοχή στη μεταξύ τους επικοινωνία και πότε όχι ώστε να σταματήσει το διάλογο.

Το 1999, ο John Underkoffler, ένας διδακτορικός φοιτητής του MIT Media Lab, ο οποίος είχε συνεργαστεί και με τον M. Lucente σε προηγούμενες έρευνες, συνεργάστηκε με τον σκηνοθέτη Steven Spielberg στην ταινία επιστημονικής φαντασίας “The Minority Report” (“Minority Report (Film),” 2021) που κυκλοφόρησε το 2002. Στην ταινία παρουσιάζεται ο πρωταγωνιστής φορώντας ειδικά γάντια να υψώνει τα χέρια του σαν μαέστρος ορχήστρας και να χειρίζεται ένα πληροφοριακό σύστημα το οποίο προβάλλονταν μπροστά του σε μια κυρτή, διάφανη οθόνη. Με κινήσεις των χεριών και των δαχτύλων του μπορούσε να χειρίζεται πολυμέσα και κείμενα όπως για παράδειγμα να προβάλλει ένα βίντεο και να το σταματάει, να μεγεθύνει φωτογραφίες ή κείμενο κ.α. Η ιδέα αυτή, βασίστηκε στο πρωτότυπο G-Speak, το οποίο είχε ξεκινήσει να αναπτύσσει ο Underkoffler, και επέτρεπε στους χρήστες να πλοηγούνται και να αλληλεπιδρούν με δεδομένα και

⁵ <http://gesturetek.com/>

⁶ <https://www.research.ibm.com/>

⁷ <https://www.media.mit.edu/>

πολυμέσα σε μεγάλες και διαφορετικές οθόνες με φυσικές κινήσεις των χεριών τους χωρίς τη χρήση ποντικιού (Underkoffler, 2010). Αργότερα, η ίδια ιδέα χρησιμοποιήθηκε και στην ταινία “Iron Man”⁸ ενώ το 2010 το G-speak βγήκε στην αγορά ως μια πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών πολλαπλών χρηστών, πολλαπλών οθονών, πολλαπλών συσκευών και διασπαρμένων συστημάτων (*G-Speak*, n.d.; Lavigne, 2010). Η ταινία *Minority Report*, παρά το γεγονός ότι ο πρωταγωνιστής χρησιμοποιούσε φορητή τεχνολογία (γάντια), αποτελεί ορόσημο τόσο της κιναισθητικής όσο και εναέριας αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή καθώς παρουσίασε, έστω και ως αποτέλεσμα επιστημονικής φαντασίας, την ιδέα του χειρισμού ενός συστήματος μέσω χειρονομιών στο ευρύ κινηματογραφικό κοινό.

Η πρώτη εμπορική εφαρμογή της κιναισθητικής αλληλεπίδρασης γίνεται μέσω της κονσόλας παιχνιδιών Nintendo Wii⁹ το 2006, που συνοδεύει ένα τηλεχειριστήριο (Wiimote) που παρακολουθεί την κίνηση του χεριού του χρήστη που το κρατάει και αναδημιουργεί την κίνηση αυτή στον αντίστοιχο εικονικό χαρακτήρα στα ηλεκτρονικά παιχνίδια και αθλητικές δραστηριότητες που εμφανίζονται στην οθόνη της τηλεόρασης. Το Nintendo Wii μετέφερε ηλεκτρονικά παιχνίδια από την επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή στο σαλόνι και απευθύνθηκε σε πολλές ομάδες χρηστών, συμπεριλαμβανομένων παιδιών, ηλικιωμένων και οικογενειών.

Το 2009, παρουσιάζεται στο TED¹⁰ η πρώτη οικονομικά προσιτή, φορητή υποδομή κιναισθητικής αλληλεπίδρασης. Το πρωτότυπο που αναπτύχθηκε στο MIT Media Laboratory ονομάστηκε *Sixth Sense* (Mistry & Maes, 2009a, 2009b) και περιλαμβάνει μια φορητή συσκευή η οποία μπορεί να κρεμαστεί στο λαιμό του χρήστη ή να φορεθεί στο κεφάλι του, η οποία επέτρεπε την επαύξηση του φυσικού κόσμου με ψηφιακές πληροφορίες τις οποίες μπορεί να χειριστεί με κινήσεις χεριών και δαχτύλων (Εικόνα 2.1). Η ιδιαιτερότητα του πρωτοτύπου ήταν ότι αφενός ο χρήστης φορώντας την είχε την ελευθερία να κινείται οπουδήποτε (χωρίς να περιορίζεται σε κάποιο συγκεκριμένο χώρο), αφετέρου ο ενσωματωμένος μικροσκοπικός προβολέας της συσκευής πρόβαλε τις πληροφορίες (φωτογραφίες, γραφικό περιβάλλον εφαρμογών κλπ.) σε οποιαδήποτε επιφάνεια βρίσκονταν κοντά στο χρήστη, ακόμη και πάνω στον καρπό ή παλάμη του.

Το 2010, η κονσόλα παιχνιδιών Microsoft Xbox 360¹¹ κυκλοφόρησε στην αγορά με την προσθήκη του αισθητήρα MS Kinect, που αποτελούταν από μία κάμερα βάθους, μια έγχρωμη κάμερα καθώς και από μια συστοιχία μικροφώνων (για αναγνώριση φωνητικών εντολών στο χώρο). Η καινοτομία του Kinect ήταν ότι με τη χρήση της κάμερας βάθους γινόταν τρισδιάστατη απεικόνιση του χρήστη στο χώρο και με αυτό τον τρόπο μπορούσε να αντιληφθεί τις κινήσεις του, χωρίς τη βοήθεια χειριστηρίων. Η τεχνολογία πίσω από Kinect βασίστηκε σε πρωτότυπα και πατέντες που σχεδίασε αρχικά η εταιρεία *Primesense*¹² το 2006 που βελτίωσε και ολοκλήρωσε αργότερα η Microsoft. Επόμενες εκδόσεις του Kinect ήταν το Kinect για Windows (v.1.8), το οποίο κυκλοφόρησε αργότερα τον Φεβρουάριο του 2012 και μια νεότερη έκδοση για το Xbox One (v.2.0) που κυκλοφόρησε το 2013. Οι δύο τελευταίες εκδόσεις του Kinect επέτρεπαν τη χρήση του και σε υπολογιστές, καθιστώντας το μια ολοκληρωμένη και προσιτή συσκευή τόσο για ερευνητικούς σκοπούς όσο και για εμπορικές εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης, πέρα

⁸ [https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_Man_\(2008_film\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_Man_(2008_film))

⁹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Wii>

¹⁰ <https://www.ted.com/>

¹¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Xbox_360

¹² <https://en.wikipedia.org/wiki/PrimeSense>

από παιχνίδια. Στην τελευταία έκδοση, το Kinect παρείχε αναγνώριση 25 σημείων του ανθρώπινου σώματος και παράλληλη αναγνώριση κινήσεων μέχρι 6 ατόμων (Microsoft, 2014). Το 2017 η Microsoft σταμάτησε τη διάθεση του Kinect στην αγορά, ενώ το 2020 κυκλοφορεί το Kinect for Azure το οποίο χρησιμοποιεί επιπλέον τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και μπορεί να αναγνωρίζει και αντικείμενα στο χώρο¹³.

Το 2012, κυκλοφόρησε η κάμερα βάθους Leap Motion¹⁴ η οποία υποστήριζε την παρακολούθηση κίνησης σε πραγματικό χρόνο των χεριών και των δακτύλων του χρήστη. Το Leap Motion είναι ένας προσιτός και μικρός σε μέγεθος αισθητήρας που τοποθετείται συνήθως μπροστά από τον χρήστη στην επιφάνεια εργασίας. Αργότερα το 2016, κυκλοφόρησε ένα νέο SDK που επιτρέπει την ενσωμάτωση του Leap Motion με μάσκα εικονικής πραγματικότητας όπως το Oculus Rift¹⁵, επιτρέποντας στο χρήστη να κινείται πιο ελεύθερα στο χώρο και να χρησιμοποιεί εναέρια αλληλεπίδραση σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας.

Η εναέρια αλληλεπίδραση από τότε που ξεκίνησε να εξετάζεται σε ερευνητικά κέντρα, εξελίχθηκε από ιδέα επιστημονικής φαντασίας, σε εφαρμογές διαθέσιμες για το ευρύ κοινό όπως σε παιχνίδια, σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας κ.α. Τα τελευταία έτη μάλιστα, έχει αρχίσει να κάνει την εμφάνισή της και σε οχήματα, σε οικιακές συσκευές, σε κινητά κ.α. Για παράδειγμα στο χώρο της αυτοκίνησης, πρώτη η BMW¹⁶ το 2015 εισήγαγε τη χρήση εναέριων χειρονομιών για το χειρισμό βασικών λειτουργιών του συστήματος ψυχαγωγίας στην πολυτελή σειρά αυτοκινήτων (Akyol et al., n.d.; *BMW Gesture Control*, n.d.), ενώ πλέον η τεχνική αυτή έχει προστεθεί και σε πιο οικονομικά μοντέλα καθώς και σε αυτοκίνητα, άλλων εταιρειών. Αντίστοιχα η Samsung παράγει τηλεοράσεις που επιτρέπουν τον χειρισμό τους και με χειρονομίες (πέρα από το κλασικό πληκτρολόγιο), ενώ η Google πρόσθεσε τις εναέριες χειρονομίες ως εναλλακτικό τρόπο αλληλεπίδρασης του χρήστη με το κινητό τηλέφωνο Pixel¹⁷ (*Project Soli- Google ATAP*, n.d.). Επιπλέον, συσκευές (αντίστοιχες του Kinect) που επιτρέπουν την αναγνώριση κινήσεων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε έρευνες όσο και σε εμπορικές εφαρμογές συνεχίζουν να παράγονται, και να βελτιώνονται, όπως για παράδειγμα η OrbecAstra¹⁸, η VicoVR¹⁹ η Intel Realsense²⁰ κ.α.

Το γενικότερο συμπέρασμα που απορρέει από τη γενική ιστορική αναδρομή της εναέριας αλληλεπίδρασης, είναι ότι από το 1980 που πρωτοπαρουσιάστηκε μέχρι σήμερα, συνεχώς εξελίσσεται και βελτιώνεται παρουσιάζοντας ένα σταθερά αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον. Επιπλέον, η επιτυχημένη εμπορική εφαρμογή της, αρχικά με το Wii και έπειτα με το Kinect, σηματοδότησε την έναρξη μιας εποχής όπου η εναέρια αλληλεπίδραση έγινε γνωστή στο ευρύ κοινό, πέρα από ερευνητές ή λάτρεις της τεχνολογίας. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια διανύουμε μια περίοδο όπου βρίσκει εφαρμογή και σε άλλους τομείς της καθημερινότητά μας (εκτός από τα παιχνίδια), και έχει γίνει οικονομικά προσιτή. Η συγκεκριμένη διατριβή βασίζεται στην υπόθεση ότι η ερευνητική και εμπορική τάση της εναέριας αλληλεπίδρασης θα συνεχίσει να έχει σταθερή πορεία και

¹³ <https://azure.microsoft.com/en-us/services/kinect-dk/>

¹⁴ <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>

¹⁵ <https://www.oculus.com/rift-s/>

¹⁶ <https://www.bmw.com/>

¹⁷ <https://store.google.com/us/category/phones?hl=en-US>

¹⁸ <https://orb3d.com/>

¹⁹ <https://vicovr.com/>

²⁰ <https://www.intelrealsense.com/>

αυτό θα οδηγήσει σε περεταίρω εξέλιξη της τεχνολογίας (όπως το Kinect for Azure, όπου πέρα από κάμερα βάθους χρησιμοποιεί και τεχνητή νοημοσύνη) και μεγαλύτερη ενσωμάτωση της σε καθημερινές συσκευές και τεχνολογίες.

2.2 Μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών ως η κύρια μέθοδος διερεύνησης της εμπειρίας του χρήστη

Ένα από τα βασικότερα σχεδιαστικά προβλήματα, κατά τη σχεδίαση συστημάτων εναέριας αλληλεπίδρασης είναι η επιλογή κατάλληλων χειρονομιών (συχνά ονομάζονται και «λεξιλόγιο χειρονομιών»), καθώς αυτές επηρεάζουν την εμπειρία του χρήστη, αλλά και την απόδοση του συστήματος γενικότερα. Μέχρι τώρα, δεν υπάρχει ένα καθολικό λεξιλόγιο χειρονομιών για όλες τις εφαρμογές εναέρια αλληλεπίδραση (Cassell, 2009), αλλά ούτε και ένα καθιερωμένο πρότυπο σχεδίασής τους. Αντιθέτως, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, τεχνικές και εργαλεία σχεδίασης για τον προσδιορισμού κατάλληλων χειρονομιών κατά περίπτωση.

Παρακάτω γίνεται αναφορά των πιο συνηθισμένων μεθόδων εξαγωγής χειρονομιών, όπως αυτές παρουσιάζονται σε έρευνες της εναέριας αλληλεπίδρασης των τελευταίων ετών.

2.2.1 Σχεδιαστικές προσεγγίσεις για την εξαγωγή λεξιλογίου χειρονομιών

Γενικά, κατά το σχεδιασμό εναέριας αλληλεπίδρασης, υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για τον καθορισμό του λεξιλογίου χειρονομιών: η προσέγγιση με *βάση την τεχνολογία* και η *χρηστοκεντρική προσέγγιση* (Nielsen et al., 2008). Στην προσέγγιση με **βάση την τεχνολογία**, η επιλογή του λεξιλογίου χειρονομιών γίνεται αποκλειστικά από τους σχεδιαστές ή προγραμματιστές καθώς είναι εκείνοι που γνωρίζουν καλύτερα τα όρια και δυνατότητες της υπάρχουσας τεχνολογίας και ως εκ τούτου, έχουν καλύτερη κατανόηση του χώρου σχεδιασμού (design space) της εναέριας αλληλεπίδρασης (Dim et al., 2016). Πολλές φορές όμως με αυτόν τον τρόπο, ευνοούνται σκόπιμα οι χειρονομίες που επιτρέπουν καλύτερη απόδοση από τους αλγόριθμους και τεχνολογίες αναγνώρισης, έναντι εκείνων που μπορεί να είναι πιο ευχάριστες στον τελικό χρήστη (Nielsen, Störring, Moeslund, et al., 2003). Αυτό μπορεί να είναι ιδανικό για τον σχεδιαστή του συστήματος, όμως βάζει σε δεύτερη προτεραιότητα θέματα ευχρηστίας και εμπειρίας του χρήστη.

Η **χρηστοκεντρική προσέγγιση** χρησιμοποιεί πιθανούς χρήστες του τελικού συστήματος σε όλα τα στάδια της σχεδιαστικής διαδικασίας (ή τουλάχιστον στα περισσότερα). Ουσιαστικά οι χρήστες επιλέγουν τις καταλληλότερες σύμφωνα με την κρίση τους, χειρονομίες ενώ ο ρόλος των ειδικών σχεδίασης περιορίζεται στην οργάνωση της διαδικασίας και στην τελική επεξεργασία των προτεινόμενων χειρονομιών.

Από έρευνες έχει φανεί ότι οι (τελικοί) χρήστες έχουν καλύτερη κατανόηση του πλαισίου εντός του οποίου θα εφαρμοστούν οι χειρονομίες και επομένως είναι ιδανικοί για να συσχετίσουν τις προτεινόμενες χειρονομίες με τις υπό σχεδίαση λειτουργίες και συστήματα (Xia et al., 2022). Αυτό έχει σαν συνέπεια, η χρηστοκεντρική προσέγγιση να υπερτερεί σε θέματα ευχρηστίας και εμπειρίας του χρήστη καθώς οι χειρονομίες που προτείνονται είναι πιο διαισθητικές (Kühnel et al., 2011; Morris et al., 2010; Wobbrock et al., 2009), πιο απλές, εκτελούνται πιο εύκολα (Wu & Wang, 2012), είναι πιο εύκολες στην απομνημόνευσή τους, πιο ευχάριστες (Nacenta et al., 2013), ενώ το σύνολο των προτεινόμενων χειρονομιών είναι πιο συνεκτικό (Malizia & Bellucci, 2012). Αντίθετα, έχει αποδειχτεί ότι οι χειρονομίες που προτείνονται από ειδικούς σχεδίασης διαδραστικών συστημάτων

είναι σύνθετες και λιγότερο διαισθητικές (Morris et al., 2010; Wu & Wang, 2012). Γενικά, φαίνεται ότι σχεδιαστές και προγραμματιστές διαδραστικών συστημάτων έχουν διαφορετικά διανοητικά μοντέλα αλληλεπίδρασης από ότι οι τελικοί χρήστες (Nielsen, Störring, Moeslund, et al., 2003; Wickens et al., 2015). Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Wobbrock et al., 2009) πάνω στη σχεδίαση χειρονομιών σε διαδραστικές επίπεδες επιφάνειες, φάνηκε ότι οι χειρονομίες που πρότειναν 3 ειδικοί σχεδίασης χειρονομιών αποτέλεσαν το 60% των χειρονομιών που πρότειναν 20 χρήστες. Επιπλέον, περίπου το 19% των χειρονομιών που πρότειναν οι ειδικοί δεν προτάθηκε από κανένα χρήστη. Όλες αυτές οι ενδείξεις συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η συμμετοχή των χρηστών στη διαδικασία σχεδιασμού των χειρονομιών της εναέριας αλληλεπίδρασης, αποτελεί αναγκαιότητα καθώς προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην ευχρηστία του συστήματος και εμπειρία του χρήστη (Dong et al., 2015).

2.2.2 Χρηστοκεντρικές μέθοδοι εκμαίευσης χειρονομιών

2.2.2.1 Μελέτη εικασιών (Guessability study)

Από μελέτες, των τελευταίων ετών οι οποίες περιλαμβάνουν σχεδίαση εναέριας αλληλεπίδρασης (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a), προκύπτει ότι η συχνότερη ανθρωποκεντρική μέθοδος σχεδίασης χειρονομιών είναι η λεγόμενη «Μελέτη Εικασιών» (Guessability Study) η οποία προτάθηκε από τους (Wobbrock et al., 2005). Αρχικά η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογές με χειρονομίες αφής πάνω σε δριαδραστικές επιφάνειες (Wobbrock et al., 2005, 2009) και αργότερα υιοθετήθηκε και σε άλλους τομείς όπως σε εφαρμογές κιναισθητικής αλληλεπίδρασης.

Σύμφωνα με τον Wobbrock, *“είναι μη-ρεαλιστικό να περιμένουμε από τους χρήστες να έχουν το χρόνο ή την επιθυμία να υποβληθούν σε εκτενή εκπαίδευση με το σύστημα, μέσω κάποιου εγχειριδίου, ηλεκτρονικού μέσου βοήθειας, κ.α.”*. Παρόλα αυτά, οι αρχικές προσπάθειες ενός χρήστη να αλληλεπιδράσει με ένα σύστημα (π.χ. να πληκτρολογήσει εντολές ή να χρησιμοποιήσει κουμπιά και μενού κ.α.) πρέπει να ολοκληρώνονται με επιτυχία παρά την έλλειψη γνώσης των χειρονομιών που απαιτούνται για την αλληλεπίδραση. Αυτό, προϋποθέτει ότι οι χειρονομίες πρέπει να είναι εύκολα προβλέψιμες τουλάχιστον από την πλειοψηφία των χρηστών.

Η βασική διαδικασία που ακολουθείται σε μια μελέτη εικασίας αποτελείται από τα εξής στάδια: 1) παρουσιάζεται στους χρήστες το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης, που ονομάζεται «αναφορά», δίχως κάποια υπόδειξη για το πως θα ενεργοποιηθεί η συγκεκριμένη λειτουργία, 2) ο/η χρήστης για κάθε αναφορά επιδεικνύει τις χειρονομίες που θεωρεί ότι είναι καταλληλότερες για τη συγκεκριμένη λειτουργία και πεδίο εφαρμογής, ενώ τις περιγράφει και λεκτικά, 3) Αφού συλλεχθούν όλες οι προτεινόμενες χειρονομίες, αναλύονται με τη βοήθεια συγκεκριμένων μετρικών από τους ερευνητές προκειμένου να εξαχθεί το σετ χειρονομιών με τη μεγαλύτερη ομοφωνία για κάθε αναφορά του συστήματος.

Η μετρική που χρησιμοποιείται κυρίως σε μελέτες εικασίας είναι ο «Βαθμός Ομοφωνίας» (Level of Agreement), η οποία αποτυπώνει το βαθμό στον οποίο όλοι χρήστες συμφωνούν ως προς τις προτεινόμενες χειρονομίες για μια συγκεκριμένη αναφορά. Αρχικά, ο «Βαθμός ομοφωνίας» (Agreement Rate) - $A(r)$ παρουσιάστηκε από τον Wobbrock et al. το 2005 (Wobbrock et al., 2005) και βελτιώθηκε αργότερα το 2015 από τους J. Wobbrock και R.D. Vatavu (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015) (Level of Agreement – $AR(r)$) όπως απεικονίζεται στην εξίσωση 2.1, όπου το P συμβολίζει το σύνολο όλων των προτεινόμενων χειρονομιών για μια συγκεκριμένη αναφορά r , και το P_i είναι το υποσύνολο των όμοιων χειρονομιών. Οι τιμές της συγκεκριμένης μετρικής κυμαίνονται από 0 (καμία ομοφωνία), έως 1 (απόλυτη ομοφωνία).

Εξίσωση 2.1: Βαθμός ομοφωνίας (Level of Agreement - AR(r))

$$AR(r) = \frac{|P|}{|P|-1} \sum_{P_i \in P} \left(\frac{|P_i|}{|P|} \right)^2 - \frac{1}{|P|-1}$$

Για παράδειγμα, αν για μια αναφορά πχ. “ενεργοποίηση συσκευής”, προταθούν 4 διαφορετικές χειρονομίες με πλήθος η κάθε μια, 13, 2, 2 και 1 τότε ο βαθμός ομοφωνίας υπολογίζεται ως εξής:

$$AR(\text{ενεργοποίηση συσκευής}) = \frac{18}{18-1} \left[\left(\frac{13}{18} \right)^2 + \left(\frac{2}{18} \right)^2 + \left(\frac{2}{18} \right)^2 + \left(\frac{1}{18} \right)^2 \right] - \frac{1}{18-1} = 0.52$$

Η ομοφωνία κάθε αναφοράς μπορεί να χαρακτηριστεί ως «Πολύ υψηλή», «Υψηλή», «Μέτρια» και «Χαμηλή» ανάλογα με την τιμή που παρουσιάζει όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 - Κατηγοριοποίηση ομοφωνίας με βάση την τιμή του Agreement Rate

Βαθμός ομοφωνίας (Agreement Rate)	Κατηγοριοποίηση
>0.5	Πολύ υψηλή
0.3 - 0.5	Υψηλή
0.1 - 0.3	Μέτρια
≤0.1	Χαμηλή

2.2.2.2 Μελέτη εικασίας με επιλογή (Choice-based elicitation Study)

Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου σε μελέτες εικασιών, μερικές αναφορές εμφανίζουν χαμηλά ποσοστά ομοφωνίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως για παράδειγμα όταν οι χρήστες δεν έχουν ξεκάθαρες ιδέες, δεν είναι εξοικειωμένοι ή δεν κατανοούν τις διαθέσιμες σχεδιαστικές δυνατότητες (design space), ενδεχομένως λόγω της καινοτομίας ή της πολυπλοκότητας του ζητούμενου αποτελέσματος (Dim et al., 2016; Morris et al., 2010; Silpasuwanchai & Ren, 2015).

Μία μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών η οποία μπορεί να αντιμετωπίσει τέτοια θέματα είναι η «μελέτη εικασιών με επιλογή» (choice-based elicitation study) (Dim et al., 2016; Silpasuwanchai & Ren, 2015). Ουσιαστικά η μέθοδος αυτή αποτελεί μια παραλλαγή της μελέτης εικασιών και αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο, περιλαμβάνει μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών μέσω μιας μελέτης εικασιών (Guessability study), ενώ στο δεύτερο στάδιο εξετάζονται εκείνες μόνο οι αναφορές οι οποίες σημείωσαν χαμηλό βαθμό ομοφωνίας στο προηγούμενο στάδιο. Αυτές συλλέγονται και μέσω μιας διαδικασίας ψηφοφορίας οι χρήστες επιλέγουν τη χειρονομία που επιθυμούν για κάθε αναφορά, μέσα από ένα σύνολο χειρονομιών οι οποίες έχουν προκαθοριστεί από τους σχεδιαστές. Για παράδειγμα, οι Dim et al. (Dim et al., 2016) ερευνώντας εναέριες χειρονομίες για τον έλεγχο της τηλεόρασης από άτομα με απώλεια όρασης, διεξήγαγαν αρχικά μια μελέτη εικασιών και έπειτα για τις αναφορές που σημείωσαν χαμηλή ομοφωνία, χρησιμοποίησαν χειρονομίες προκαθορισμένες από τους ερευνητές, τις οποίες έπειτα επέλεξαν οι χρήστες. Αντίστοιχα, σε μια έρευνα που διερεύνησε τις ταυτόχρονες χειρονομίες του σώματος κατά τη διάρκεια έντονου παιχνιδιού με κίνηση (intense gameplay), οι (Silpasuwanchai & Ren, 2015) διεξήγαγαν μια μελέτη εικασίας με επιλογή καθώς η έννοια των ταυτόχρονων κινήσεων ήταν σχετικά ασυνήθιστη για τους χρήστες. Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι χειρονομίες που χρησιμοποίησαν κατά το στάδιο της επιλογής, δεν

προτάθηκαν από τους ερευνητές, αλλά από τους ίδιους τους χρήστες κατά την διάρκεια της προηγούμενη μελέτη εικασίας. Μια παρόμοια προσέγγιση μελέτης εικασίας με επιλογή όπου οι χειρονομίες καθορίζονται από τους χρήστες (και όχι από τους ερευνητές), χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των (Dong et al., 2015) όπου οι χειρονομίες παρουσιάστηκαν στους χρήστες σε μορφή πολλαπλής επιλογής. Γενικά, αν και η μελέτη εικασιών με επιλογή είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, έχει αποδειχθεί ότι είναι μια απαραίτητη συμπληρωματική προσέγγιση που βελτιώνει τη δημιουργικότητα (κατά την επιλογή κατάλληλων χειρονομιών), ειδικά για νέες διεπαφές όπου οι χρήστες δεν είναι εξοικειωμένοι με τον χώρο σχεδιασμού.

2.2.2.3 Διαισθητική και Εργονομική μέθοδος (Intuitive and Ergonomic method)

Μια διαφορετική ανθρωποκεντρική μέθοδος εκμείευσης χειρονομιών είχε προταθεί από τους (Nielsen, Störring, & Moeslund, 2003; Nielsen, Störring, Moeslund, et al., 2003), με την ονομασία «Διαισθητική και Εργονομική μέθοδος» (Intuitive and Ergonomic method). Η μέθοδος αυτή, βασίζεται σε αρχές ευχρηστίας και εστιάζει στο σχεδιασμό χειρονομιών που είναι εύκολο να εκτελεστούν, είναι διαισθητικές, εργονομικές και έχουν λογικό συσχετισμό με τη λειτουργία που ενεργοποιούν. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη λογική ότι η εναέρια αλληλεπίδραση δεν είναι πανάκεια για κάθε εφαρμογή και επομένως θα πρέπει να εξεταστεί εκ των προτέρων εάν είναι η καταλληλότερη τεχνική αλληλεπίδρασης για το σύστημα που θα αναπτυχθεί. Στη συνέχεια, προκειμένου να παραχθούν διαισθητικές χειρονομίες για το σύστημα, ακολουθείται μια προσέγγιση μη λεκτικής επικοινωνίας ανθρώπου προς άνθρωπο, με τη χρήση σεναρίου όπου ο συμμετέχων αλληλοεπιδρά με τον/την χειριστή (το άτομο που διεξάγει την έρευνα) ή με κάποιον άλλο συμμετέχοντα χρησιμοποιώντας χειρονομίες που είναι πιο κατάλληλες για τη συγκεκριμένη λειτουργία. Έπειτα, για να δοκιμαστεί ο σχεδιασμός της χειρονομίας ή η ανάδραση του συστήματος, εφαρμόζεται η τεχνική «Μάγος του Οζ» (Wizard of Oz) (Schiavo et al., n.d.). Μετά τη συλλογή των προτεινόμενων χειρονομιών και την αξιολόγηση των εργονομικών χαρακτηριστικών τους, το τελικό σετ χειρονομιών αξιολογείται ως προς την απομνημόνευσή του, το στρες που προκαλεί στο χρήστη και ως προς τη δυνατότητα εικασίας του. Παραδείγματα ερευνών που ακολούθησαν την «Διαισθητική και Εργονομική μέθοδο» αποτελούν η έρευνα των (Jurewicz et al., 2018) η οποία ανέπτυξε μια διεπαφή εναέριας αλληλεπίδρασης που επέτρεπε τον χειρισμό δεδομένων σχετικών με την αναισθησία ενός ασθενούς εντός χειρουργείου προσφέροντας μειωμένο κίνδυνο μόλυνσής του, ενώ στην έρευνα των (Löcken et al., 2011) η ίδια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή χειρονομιών που ελέγχουν συσκευή αναπαραγωγής μουσικής.

2.2.2.4 Μελέτη εικασιών με χρήση πλαισίου περιορισμών (Frame-based guessability study)

Μία επέκταση της «μελέτης εικασιών» (Wobbrock et al., 2009) αποτελεί η μέθοδος «μελέτη εικασιών με χρήση πλαισίου περιορισμών» που παρουσιάστηκε από τους (Cafaro et al., 2013) το 2013. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές επισημαίνουν ότι μέρος του προβλήματος σχεδίασης εναέριας αλληλεπίδρασης έγκειται στο γεγονός ότι ο χρήστης καλείται να αντιστοιχίσει το σημείο που ξεκινάει η αλληλεπίδραση (locus) δηλαδή το σώμα του, με την εστίαση (focus) της αλληλεπίδρασης (π.χ. της οθόνης). Η αντιστοίχιση αυτή είναι σημαντική καθώς υποδεικνύει στον χρήστη ποια σχέση μπορεί να έχει μια κίνηση με το ψηφιακό περιεχόμενο, και επίσης τον/την βοηθάει να προβλέψει και τον τρόπο που αυτή (η κίνηση) το επηρεάζει/χειρίζεται. Ενώ οι παραδοσιακές μελέτες εικασιών αποτελούν μια λύση στην ανακάλυψη χειρονομιών, έχει αποδειχθεί ότι οι προτεινόμενες χειρονομίες δεν είναι πάντα περιβαλλοντικά έγκυρες (δεν έχουν κάποια εννοιολογική αντιστοίχιση με το πεδίο εφαρμογής του συστήματος) καθώς διεξάγονται σε εργαστηριακά

περιβάλλοντα όπου δεν παρέχονται αρκετές πληροφορίες που θα βοηθήσουν τους χρήστες να κατανοήσουν το πλαίσιο και πεδίο εφαρμογής του συστήματος (Cafaro et al., 2013).

Για αυτό το λόγο, οι (Cafaro et al., 2013, 2018) προτείνουν τη χρήση «πλαισίου» κατά τη διάρκεια της μελέτης εικασιών. Τα πλαίσια, σύμφωνα με τον Lakoff, “είναι εννοιολογικές δομές που οργανώνουν τις βασικές εμπειρίες της καθημερινής μας ζωής και χρησιμοποιούνται στη σκέψη, ομιλία, και επικοινωνία. Περιλαμβάνουν σημασιολογικούς ρόλους, σχέσεις μεταξύ ρόλων και σχέσεις με άλλα πλαίσια” (Lakoff, 2010). Ουσιαστικά, το πλαίσιο μπορεί να είναι ένα ‘σενάριο’, μια περιγραφή του συστήματος και του τρόπου λειτουργίας του, ή ένα σύνολο περιορισμών, που παρουσιάζεται ή περιγράφεται στους χρήστες πριν ξεκινήσει η μελέτη εικασιών. Με αυτό τον τρόπο οι συμμετέχοντες περιορίζονται σε χειρονομίες που είναι εντός του πλαισίου, γνωρίζουν ακριβώς ποιες εργασίες υποστηρίζει το σύστημα και κατανοούν ποιες χειρονομίες επιτρέπονται και ποιες όχι (Wu, Fu, et al., 2020, p.). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι προτεινόμενες χειρονομίες των χρηστών να έχουν μια λογική που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του πλαισίου και περιορισμένη στους κανόνες/περιορισμούς που αυτό (πλαίσιο) καθορίζει. Μάλιστα έχει αποδειχθεί ότι οι χειρονομίες που προέκυψαν από μελέτες εικασιών με χρήση πλαισίου ήταν πιο εύκολο να ανακαλυφθούν και πιο διαισθητικές από αυτές που προτάθηκαν από την παραδοσιακή μελέτη εικασιών (Cafaro et al., 2013).

Πίνακας 2.2 - Μέθοδοι εκμείευσης χειρονομιών

Μέθοδος εκμείευσης χειρονομιών	Ποσοστό εφαρμογής
“Μελέτη εικασιών” (Wobbrock’s Guessability Study)	74.5%
“Μελέτη εικασιών με επιλογή” (Choice-based elicitation Study)	10.6%
Συνδυασμός “Μελέτης εικασιών” και “Διαισθητικής και εργονομικής μεθόδου”	6.4%
“Διαισθητική και εργονομική μέθοδος” (Nielsen’s Intuitive and Ergonomic method)	4.3%
Άλλες μέθοδοι	4.3%

2.2.2.5 Συνδυασμός χρηστοκεντρικών μεθόδων

Πέρα από τις έρευνες που εφαρμόζουν μια από τις παραπάνω μεθόδους προκειμένου να εξάγουν ένα κατάλληλο σετ χειρονομιών για το υπό διερεύνηση σύστημα, υπάρχουν και μερικές που διεξάγουν μια πιο εκτενή ανθρωποκεντρική μελέτη, συνδυάζοντας τόσο τη προσέγγιση του Wobbrock (Μελέτη Εικασιών) όσο και του Nielsen (Διαισθητική και Εργονομική μέθοδος). Για παράδειγμα, στην έρευνα (Kühnel et al., 2011) διεξήχθη μια «μελέτη εικασιών» για την εύρεση του καταλληλότερου συνόλου χειρονομιών για εναέρια αλληλεπίδραση μέσα σε ένα έξυπνο περιβάλλον, ακολουθούμενη από τη «διαισθητική και εργονομική μέθοδο» για τη διερεύνηση θεμάτων απομνημόνευσης και απόδοσης των προτεινόμενων χειρονομιών. Αντίστοιχα στην μελέτη των Wu et al. (Wu et al., 2016) διερευνήθηκε ο έλεγχος της τηλεόρασης με εναέριες χειρονομίες, υιοθετώντας τη μεθοδολογία του Wobbrock για τη συλλογή των χειρονομιών από χρήστες, ενώ η τεχνική του Nielsen χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστούν αρχικά οι διαθέσιμες εντολές του συστήματος και στη συνέχεια να υπολογιστεί ο βαθμός ικανότητας απομνημόνευσης, άνεσης, και αντιστοίχισης χειρονομιών-εντολών.

Από μια πρόσφατη έρευνα επισκόπησης 47 ανθρωποκεντρικών μελετών εκμείευσης χειρονομιών, φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλη προτίμηση των ερευνητών στην “μελέτη

εικασίων” (Guessability study) κατά 74.5% όπως φαίνεται στο πίνακα 2.2 με αμέσως επόμενη τη “μελέτη εικασίων με επιλογή” με ποσοστό 10.4%.

2.2.3 Τεχνικές και εργαλεία κατά την εκμείωση χειρονομιών

Αν και οι περισσότερες μελέτες εκμείωσης χειρονομιών ακολουθούν την προσέγγιση του Wobbrock (μελέτη εικασίων) ή του Nielsen (διαισθητική και εργονομική μέθοδο), εντούτοις υπάρχουν και συμπληρωματικές τεχνικές που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της έρευνας και κυρίως κατά το στάδιο παραγωγής χειρονομιών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συχνότερες από αυτές τις τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε έρευνες για να διευκολύνουν ή εμπλουτίσουν τις μελέτες εκμείωσης χειρονομιών.

2.2.3.1 Τρόποι αντιμετώπισης μεροληψίας χρηστών από προηγούμενες εμπειρίες τους από άλλες τεχνολογίες (Legacy Bias)

Ένα φαινόμενο που εμφανίζεται συχνά σε μελέτες εκμείωσης χειρονομιών αποτελεί η «μεροληψία λόγω προηγούμενης εμπειρίας του χρήστη» (legacy bias) η οποία αναφέρεται στο φαινόμενο που εμφανίζεται όταν οι προτεινόμενες χειρονομίες είναι προκατειλημμένες από προηγούμενες εμπειρίες που έχουν αποκτήσει οι χρήστες από διεπαφές και τεχνολογίες όπως για παράδειγμα, το παραθυρικό περιβάλλον (WIMP) ή τις οθόνες αφής (Morris et al., 2014). Σύμφωνα με τους (Ruiz & Vogel, 2015), οι χρήστες έχουν την τάση να μεταφέρουν προηγούμενη γνώση σε νέες τεχνολογίες είτε επειδή με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούν τη σωματική και πνευματική προσπάθεια, είτε επειδή μερικές φορές αδυνατούν να κατανοήσουν τις πιθανές νέες δυνατότητες των νέων τεχνολογιών.

Η μεροληψία λόγω προηγούμενης εμπειρίας του χρήστη γενικά επηρεάζει τις χειρονομίες που προτείνουν οι χρήστες. Μάλιστα, αρκετοί ερευνητές την χαρακτηρίζουν και ως ‘παγίδα’ των εκμειωτικών μελετών, καθώς μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα παραγωγής χειρονομιών που να εκμεταλλεύονται πλήρως τις αναδυόμενες τεχνολογίες (Morris et al., 2014; Ruiz & Vogel, 2015), ενώ μπορεί και να εξαπατήσει τους ερευνητές όσο αφορά το λόγο για τον οποίο συμφωνούν οι προτεινόμενες χειρονομίες των χρηστών (Tsandilas, 2018). Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό οι Morris et al. (Morris et al., 2014) προτείνουν τρεις τεχνικές (τα 3 “P”): «έκθεσης σε εναύσματα» (Priming), «παραγωγή πολλαπλών χειρονομιών» (Production) και «ταυτόχρονη συνεργασία συμμετεχόντων» (Partners).

Η τεχνική «έκθεσης σε εναύσματα» (Priming) περιλαμβάνει την έκθεση του χρήστη σε ερεθίσματα τα οποία με τη σειρά τους θα επηρεάσουν υποσυνείδητα τις αντιδράσεις και ανταποκρίσεις του χρήστη σε μελλοντικά αντίστοιχα ερεθίσματα (Wentura & Degner, n.d.). Μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους, όπως της παρουσίασης στους συμμετέχοντες μιας επίδειξης, της αναπαραγωγής ενός βίντεο κλιπ ή αφήνοντας τους χρήστες να εκτελέσουν μια ενέργεια στο σύστημα. Ουσιαστικά η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει τους χρήστες να αποκτήσουν μια αίσθηση του πώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα σύστημα που βασίζεται σε χειρονομίες (Cafaro et al., 2018; Chan et al., 2016; Hoff et al., 2016; Morris et al., 2014).

Η τεχνική «παραγωγή πολλαπλών χειρονομιών» (Production) απαιτεί από τους συμμετέχοντες να προτείνουν πολλές χειρονομίες για κάθε αναφερόμενη εργασία. Με αυτό τον τρόπο, ενδέχεται οι χρήστες να αναγκαστούν να σκεφτούν χειρονομίες που μπορεί να είναι πιο κατάλληλες για συγκεκριμένες εργασίες ενός συστήματος, αντί να προτείνουν χειρονομίες με τις οποίες είναι εξοικειωμένοι. Παρότι η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές έρευνες (Z. Chen et al., 2017; Hoff et al., 2016), εντούτοις δεν έχει βρεθεί

ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός προτεινόμενων χειρονομιών ή σε τι βαθμό η τεχνική αυτή επηρεάζει την ποιότητα τους (Wu, Fu, et al., 2020).

Η τεχνική «ταυτόχρονης συνεργασίας συμμετεχόντων» (Partners), εφαρμόζεται σε μεθόδους εκμείευσης χειρονομιών χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα μια ομάδα συμμετεχόντων αντί ένα μόνο χρήστη μεμονωμένα. Η τεχνική αυτή έχει αποδειχθεί ότι κάνει τους συμμετέχοντες να αυτοσχεδιάζουν με πιο δημιουργικό τρόπο βασιζόμενοι σε προτάσεις που έχουν κάνει άλλοι χρήστες της ομάδας (Morris, 2012; Morris et al., 2014; Rädle et al., 2015).

Οι παραπάνω τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές έρευνες εκμείευσης χειρονομιών (Hoff et al., 2016; Koutsabasis & Domouzis, 2016; L. Lee et al., 2014; Morris, 2012) καθώς θεωρείται ότι έχουν θετική επίδραση στη μείωση της μεροληψίας λόγω προηγούμενης εμπειρίας. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η μεροληψία αυτή είναι επιθυμητή και μπορεί να λειτουργήσει προς όφελος του τελικού χρήστη (Wu, Fu, et al., 2020). Οι (Köpsel & Bubalo, 2015), υποστηρίζουν ότι οι προκατειλημμένες χειρονομίες έχουν, στις περισσότερες περιπτώσεις, το πλεονέκτημα ότι είναι απλοϊκές, δεν απαιτούν πολύ χρόνο για να μαθευτούν ή προσπάθεια για να τις μαντέψουν οι χρήστες, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν υψηλές ποσοστά συμφωνίας στις μελέτες εικασιών. Τέτοιες χειρονομίες είναι κατάλληλες σε περιπτώσεις που οι χρήστες δεν έχουν το χρόνο ή την επιθυμία να μάθουν νέες μεθόδους αλληλεπίδρασης ή όταν το γνωστικό φορτίο του χρήστη δεν πρέπει να επιβαρύνεται (π.χ. το πλήθος χειρονομιών που πρέπει να μάθει ο χρήστης είναι αρκετά μεγάλο) (Wu, Fu, et al., 2020). Γίνεται προφανές ότι η αντιμετώπιση ή όχι της κληρονομικής μεροληψίας χρησιμοποιώντας τις παραπάνω ή άλλες τεχνικές (Ruiz & Vogel, 2015), είναι θέμα σχεδιαστικής απόφασης και εξαρτάται κυρίως από το εάν το τελικό προϊόν/σύστημα προορίζεται να είναι ένα σύστημα που θα χρησιμοποιήσει και θα εκμεταλλευτεί πλήρως τις νέες τεχνικές αλληλεπίδρασης (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2022; Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018).

2.2.3.2 Πρωτόκολλο εξωτερίκευσης της σκέψης (Think-aloud protocol)

Το «Πρωτόκολλο εξωτερίκευσης της σκέψης» (think-aloud protocol) (Ericsson & Simon, 1980; Fonteyn et al., 1993) χρησιμοποιείται συχνά κατά τη διαδικασία παραγωγής χειρονομιών. Ουσιαστικά οι συμμετέχοντες καλούνται να εκφράσουν λεκτικά τις σκέψεις τους, όπως για παράδειγμα για ποιο λόγο επέλεξαν μια χειρονομία ή αναφέρονται σε άλλα συστήματα ή προηγούμενες εμπειρίες (Koutsabasis & Domouzis, 2016). Επίσης χρησιμοποιείται για να περιγράψουν οι χρήστες τη χειρονομία που προτείνουν, ειδικά την αρχή και το τέλος της. Το όφελος της τεχνικής αυτής είναι διπλό καθώς βοηθάει τους ερευνητές να κατανοήσουν τα χωρικά και χρονικά όρια των χειρονομιών (Ren & O'Neill, 2013b), ενώ παράλληλα δίνει μια εικόνα του νοητικού μοντέλου που χρησιμοποιεί εκείνη τη στιγμή ο χρήστης (Othman et al., 2016).

2.2.3.3 Τεχνική «μάγου του Οζ» (Wizard of Oz)

Η τεχνική «μάγου του Οζ» (Wizard-of-Oz) (Green, 1985; Kelley, 1983) έχει εφαρμοστεί σε αρκετές έρευνες που εξετάζουν καινοτόμες διεπαφές όπου οι σχεδιαστικές δυνατότητες είναι άγνωστες ή υπό διερεύνηση (Othman et al., 2016). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί έναν ειδικό (ο μάγος) που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κρυμμένος από το χρήστη. Κατά τη διαδικασία της έρευνας, αρχικά ενημερώνεται ο συμμετέχων για την εργασία που πρέπει να γίνει, έπειτα αφήνεται να αλληλεπιδράσει με το σύστημα (χωρίς κάποια παρέμβαση από τον ερευνητή), και τέλος εμφανίζεται η ανάδραση του συστήματος η οποία στην πραγματικότητα έχει ενεργοποιηθεί από τον «μάγο» κρυφά. Με αυτό τον

τρόπο δίνεται η εντύπωση στον συμμετέχον ότι το σύστημα (πρωτότυπο) είναι πλήρως λειτουργικό και η αλληλεπίδραση γίνεται άμεσα.

Η τεχνική του «μάγου του Οζ» εφαρμόζεται κυρίως στο στάδιο αξιολόγησης της αλληλεπίδρασης ενός συστήματος. Ωστόσο, παρόλο που η ίδια τεχνική αναφέρεται ότι χρησιμοποιείται σε αρκετές έρευνες και κατά το στάδιο της σχεδίασης χειρονομιών, επί της ουσίας η διαδικασία που ακολουθείται είναι η αντίστροφη. Πιο συγκεκριμένα, κατά το στάδιο της εκμείευσης χειρονομιών, πρώτα εμφανίζεται η ανάδραση του συστήματος (αναφορά) στο χρήστη και έπειτα του ζητείται να προτείνει τη χειρονομία. Επιπλέον, τις περισσότερες φορές ο «μάγος» δεν είναι κρυμμένος από τον συμμετέχοντα. Συνεπώς παρότι σε αρκετές μελέτες εκμείευσης χειρονομιών αναφέρεται ο όρος «μάγος του Οζ», επί της ουσίας η τεχνική που ακολουθείται εστιάζει κυρίως στην καλύτερη κατανόηση της εντολής (ανάδρασης) με σκοπό ο χρήστης να προτείνει την καταλληλότερη χειρονομία (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018).

2.2.3.4 Τεχνικές παρουσίασης «αναφορών»

Σύμφωνα με την ορολογία του Wobbrock (Wobbrock et al., 2009), η *αναφορά* (referent) είναι το αποτέλεσμα που ενεργοποιείται από μια χειρονομία. Έχει παρατηρηθεί ότι σε μελέτες εκμείευσης χειρονομιών οι αναφορές μπορούν να παρουσιαστούν στους συμμετέχοντες με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με τον τύπο και την ωριμότητα του πρωτοτύπου που χρησιμοποιήθηκε, οι αναφορές είτε επιδεικνύονταν μέσω κινούμενων εικόνων (γραφικό περιβάλλον – GUI) (Koutsabasis & Domouzis, 2016; Morris, 2012), όπου περιγράφονταν ως μήνυμα κειμένου στην οθόνη, είτε προφορικά (Bostan et al., 2017; Ruiz et al., 2011; R.-D. Vatavu, 2013; Zaiji et al., 2015), είτε παρουσιάζονταν ως βίντεο (Hoff et al., 2016; R.-D. Vatavu, 2013) ή στατικές εικόνες (L. Lee et al., 2014; Obaid et al., n.d.; Rovelo Ruiz et al., 2014; Silpasuwanchai & Ren, 2015), ή παρουσιάζονται μέσα από το χειρισμό του πρωτοτύπου (Cauchard et al., 2015; Kühnel et al., 2011).

2.2.3.5 Κριτήρια καταλληλότητας χειρονομιών

Γενικά, ο σκοπός των μελετών εκμείευσης χειρονομιών είναι η ανάδειξη κατάλληλων χειρονομιών βάσει των προτιμήσεων των χρηστών. Ανάλογα με την έρευνα, το πεδίο εφαρμογής, το προφίλ των χρηστών, το είδος της εφαρμογής κ.α., τα κριτήρια καταλληλότητας μπορεί να διαφέρουν. Ένας μεγάλος αριθμός χειρονομιών ερμηνεύουν την «καταλληλότητα» ως χειρονομίες που προσφέρουν καλύτερο «ταίριασμα» για το σκοπό που θα χρησιμοποιηθούν ή καλύτερο συσχετισμό με την αναφορά/εντολή που ενεργοποιούν, χωρίς να αναλύουν περισσότερο τη συγκεκριμένη έννοια (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018). Για παράδειγμα, διεξήχθησαν μελέτες για την εκμείευση κατάλληλων χειρονομιών για τον έλεγχο μιας συσκευής αναπαραγωγής πολυμέσων (Koutsabasis & Domouzis, 2016), ή για τρισδιάστατα ταξίδια μέσα σε ένα εικονικό σύμπαν (Ortega et al., 2017), με στόχο τη βελτίωση της αλληλεπίδρασης και της εμπειρίας του χρήστη γενικότερα.

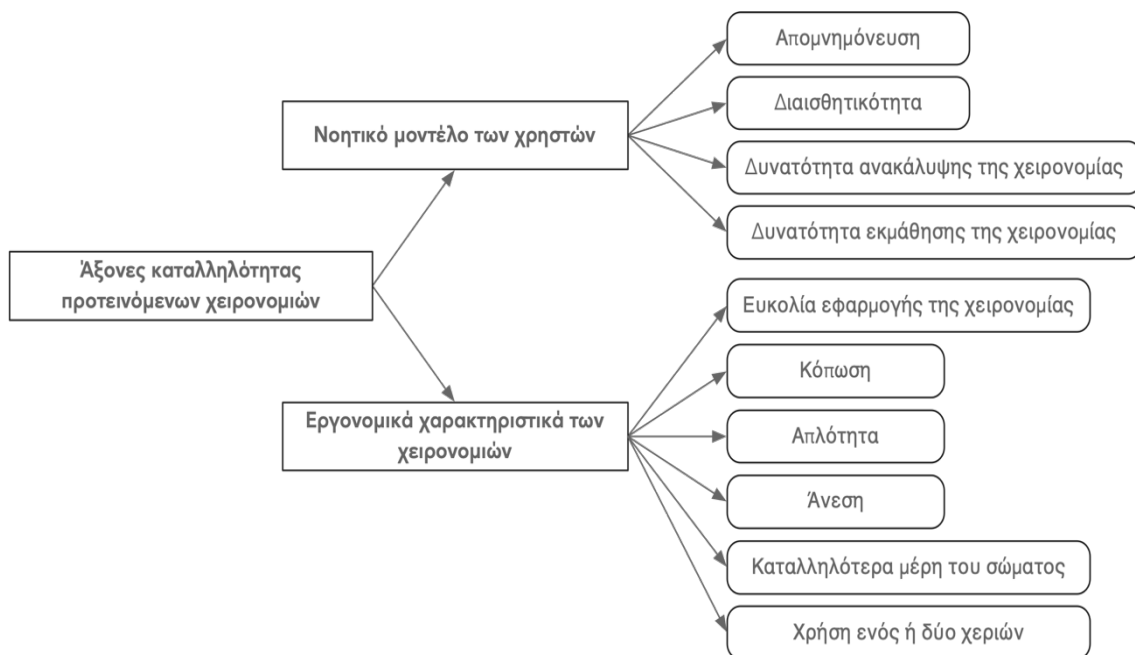
Αρκετές μελέτες επικεντρώνονται στην εύρεση χειρονομιών που είναι «εύκολες στην εκτέλεση». Για παράδειγμα στη μελέτη τους, οι (Ruiz et al., 2011), ζήτησαν από τους χρήστες να επαναλάβουν πέντε φορές την κάθε χειρονομία με σκοπό να αξιολογήσουν την ευκολία εφαρμογής τους.

Ένας σημαντικός αριθμός μελετών, διερευνά κατά πόσο οι χειρονομίες είναι διαισθητικές ή φυσικές, με την έννοια ότι “*επιτρέπουν στους χρήστες να χρησιμοποιούν τη διεπαφή με λίγες ή καθόλου οδηγίες*” (Nielsen et al., 2008). Για παράδειγμα, στη μελέτη τους οι (Jahani et al., 2017), δόθηκε έμφαση στην εύρεση ενός συνόλου χειρονομιών για

δευτερεύουσες εργασίες εντός ενός οχήματος, που να είναι φυσικές και διαισθητικές για τους οδηγούς, προκειμένου να αποφευχθεί η αύξηση του γνωστικού τους φορτίου.

Άλλες διαστάσεις της «καταλληλότητας» προτεινόμενων χειρονομιών περιλαμβάνουν χειρονομίες που είναι άνετες στην εφαρμογή (Arefin Shimon et al., 2016; Bostan et al., 2017; Jurewicz et al., 2018; Rateau et al., 2014; Rodriguez & Marquardt, 2017; Wu et al., 2016), δεν είναι κουραστικές (Bostan et al., 2017; Z. Chen et al., 2017; Havlucu et al., 2017; Siddhpuria et al., 2017), είναι απλές (Cauchard et al., 2015; Löcken et al., 2011; R.-D. Vatavu, 2013), είναι εύκολες στην απομνημόνευση (Z. Chen et al., 2017; Havlucu et al., 2017; Wu et al., 2016), είναι κατάλληλες για συγκεκριμένα μέρη του σώματος (Morris et al., 2014; Park et al., 2012), για εφαρμογή με το ένα χέρι ή και με τα δύο ταυτόχρονα (Cauchard et al., 2015; Khan & Tunçer, 2017), ή για χρήση σε κάποιο κινητικό παιχνίδι (Silpasuwanchai & Ren, 2015).

Τα κριτήρια καταλληλότητας που εξετάζονται σε έρευνες εναέριας αλληλεπίδρασης, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές διαστάσεις: 1) σε αυτή που αφορά το *νοητικό μοντέλο των χρηστών* (απομνημόνευση, διαισθητικότητα, δυνατότητα ανακάλυψης, και δυνατότητα εκμάθησης) και 2) σε εκείνη που σχετίζεται με *εργονομικά χαρακτηριστικά των χειρονομιών* (ευκολία εφαρμογής, κόπωση, απλότητα, άνεση, μέρη του σώματος που χρησιμοποιούνται, και αριθμός χεριών) (Εικόνα 2.3) (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018).



Εικόνα 2.3 - Κριτήρια καταλληλότητας προτεινόμενων χειρονομιών σε μελέτες εκμείευσης χειρονομιών

Γενικά, η μέτρηση της καταλληλότητας χειρονομιών διαφέρει από έρευνα σε έρευνα. Ορισμένες μελέτες χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο εξωτερίκευσης της σκέψης (think aloud protocol) κατά τη διάρκεια της παραγωγής χειρονομιών. Άλλες μελέτες χρησιμοποιούν κλίμακες Likert που έχουν προσαρμοστεί στη διάσταση καταλληλότητας η οποία εξετάζεται, ή χρησιμοποιούν ορισμένα τυποποιημένα ερωτηματολόγια, όπως το NASA-TLX (για την πνευματική και φυσική προσπάθεια που αντιλαμβάνεται ο χρήστης) (Hart & Staveland, 1988), που συμπληρώνονται στο τέλος της προσπάθειας ή κατά την ολοκλήρωση της έρευνας. Συνεπώς, η μέτρηση-αξιολόγηση της καταλληλότητας των προτεινόμενων χειρονομιών αποτελεί αντικείμενο διαφοροποίησης των διαφόρων ερευνών που ασχολούνται με τη σχεδίαση της εναέριας αλληλεπίδρασης.

2.2.3.6 Χρήστες

Σε μια χρηστοκεντρική προσέγγιση, είναι σημαντικό να επιλέγονται προσεκτικά οι συμμετέχοντες, ώστε να αντιπροσωπεύουν τον πληθυσμό των χρηστών επαρκώς. Η επιλογή των συμμετεχόντων θα πρέπει να απαντά στα ερωτήματα «Πόσοι χρήστες είναι αρκετοί;» (μέγεθος δείγματος) και «ποια προφίλ συμμετεχόντων είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού;».

Παρότι η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων των μελετών εκμαίευσης χειρονομιών επηρεάζεται σημαντικά από τον αριθμό των συμμετεχόντων, παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση στον μέγεθος του δείγματος των χρηστών. Σύμφωνα με μια μελέτη ανασκόπησης ερευνών εναέριας αλληλεπίδρασης που έγιναν το διάστημα 2011-2018 (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018), υπάρχουν μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών που χρησιμοποίησαν από μόλις 4 συμμετέχοντες (Aslan et al., 2016; L. Lee et al., 2014), άλλες είχαν από 35 μέχρι 89 συμμετέχοντες (Cafaro et al., 2018; Jurewicz et al., 2018; Khan & Tunçer, 2017; Obaid et al., 2012), ενώ οι περισσότερες προσκάλεσαν από 10 έως 30 χρήστες (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018). Σε μια αντίστοιχη, πιο πρόσφατη μελέτη ανασκόπησης (Villarreal-Narvaez et al., 2020), από 216 έρευνες που έγιναν το διάστημα 2009-2019 σε μελέτες εκμαίευσης (όχι απαραίτητα μόνο σε εναέρια αλληλεπίδραση) προκύπτει ότι η πιο συνηθισμένη επιλογή ήταν 20 συμμετέχοντες, δίνοντας μια πιθανή εξήγηση το γεγονός ότι τον ίδιο αριθμό χρηστών αξιοποίησε και ο Wobbrock όταν παρουσίασε την μετρική του «βαθμού ομοφωνίας» (Wobbrock et al., 2009).

Όσο αφορά την ηλικία των συμμετεχόντων, υπάρχει μια τάση να αξιοποιούνται ενήλικες από 18 έως 60 χρονών, κυρίως μέσα από το Πανεπιστημιακό ή ερευνητικό χώρο (φοιτητές, εκπαιδευτικοί, ακαδημαϊκό προσωπικό), ενώ σε πιο περιορισμένο αριθμό ερευνών έχουν αξιοποιηθεί παιδιά (Morris, 2012) ή ηλικιωμένοι (W. Chen, 2013).

2.2.4 Ανάλυση δεδομένων από μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών

Η ανάλυση των δεδομένων διεξάγεται από τους ερευνητές και πραγματοποιείται μετά τη λήξη της συμμετοχής των χρηστών. Περιλαμβάνει τη συλλογή, την οργάνωση και κωδικοποίηση των καταγεγραμμένων δεδομένων, την εξαγωγή του καταλληλότερου συνόλου χειρονομιών, μετά από επεξεργασία με διάφορες μετρικές, και σε πολλές περιπτώσεις την κατηγοριοποίηση των χειρονομιών σε «ταξινομίες».

2.2.4.1 Μετρικές των μελετών εκμαίευσης χειρονομιών

Στις περισσότερες έρευνες εκμαίευσης χειρονομιών, τα δεδομένα από τη συμμετοχή των χρηστών, χρησιμοποιούνται μαζί με διάφορες μετρικές προκειμένου να εξαχθεί το καταλληλότερο σετ χειρονομιών. Οι έρευνες που εφαρμόζουν μελέτες εικασιών (με επιλογή ή και με χρήση πλαισίου) χρησιμοποιούν τη μετρική του «βαθμού ομοφωνίας» (Agreement Rate) - AR(r) (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015; Wobbrock et al., 2005), η οποία αποτυπώνει το βαθμό που οι χρήστες συμφωνούν στη χρήση μιας χειρονομίας για μία συγκεκριμένη αναφορά (Ενότητα 2.2.2.1).

Άλλες συχνές μετρικές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι σχετιζόμενες κυρίως με το χρόνο όπως είναι ο «Χρόνος σκέψης» (Time-of-Thinking) και ο «Χρόνος εφαρμογής» (Time-of-gesture-articulation) μιας χειρονομίας. Ο «Χρόνος σκέψης» είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να σκεφτεί ο συμμετέχων τη χειρονομία που θα προτείνει και κυμαίνεται από τη στιγμή που θα του παρουσιαστεί η αναφορά, έως τη στιγμή που θα προτείνει τη χειρονομία. Στην έρευνά τους οι (Hoff et al., 2016), χρησιμοποίησαν τη μετρική του «χρόνου σκέψης» για να εξετάσουν εάν η έκθεση σε εναύσματα έχει θετική ή αρνητική επίδραση στους χρήστες. Οι (Dim et al., 2016), χρησιμοποίησαν τη μετρική αυτή ως

δείκτη για να καταλάβουν πόσο εύκολα οι τυφλοί χρήστες μπορούν να φανταστούν τις χειρονομίες τους, ενώ οι (Kühnel et al., 2011), εξέτασαν τη συσχέτιση της εννοιολογικής πολυπλοκότητας των αναφορών με τον χρόνο σκέψης, δείχνοντας ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο μεγαλύτερη είναι η πολυπλοκότητα της αναφερόμενης εντολής. Ο «Χρόνος εφαρμογής» της χειρονομίας είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο χρήστης για να εκτελέσει μια χειρονομία. Σύμφωνα με τα ευρήματά τους, οι (Kühnel et al., 2011), ο χρόνος άρθρωσης της χειρονομίας επηρεάζει αρνητικά τον ρυθμό ευκολίας της απόδοσης.

Άλλες μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν σε μικρότερο βαθμό ήταν η «Μέγιστη ομοφωνία» (Max-consensus) και η «Διακριτή αναλογία ομοφωνίας» (Consensus-distinct ratio) (L. Lee et al., 2014; Morris, 2012). Αυτές οι μετρήσεις εισήχθησαν από την Morris (Morris, 2012) για την ανάλυση μελετών εκμείωσης χειρονομιών, στις οποίες οι συμμετέχοντες μπορούν να προτείνουν έναν αυθαίρετο αριθμό χειρονομιών για κάθε αναφορά. Η μετρική «Ποσοστού συναίνεσης» (Coagreement rate) (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015) χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα των (Chan et al., 2016) για να μετρήσει την κοινή ομοφωνία μεταξύ δύο αναφορών (referents). Τέλος, οι μετρικές της «Απομνημόνευσης» (Memorability) και της «Εικασίας» (Guessability) εφαρμόζονται σε «Διαισθητικές και Εργονομικές μελέτες» όπως προτάθηκαν από τους (Nielsen, Störting, & Moeslund, 2003; Nielsen, Störting, Moeslund, et al., 2003) (Ενότητα 2.2.2.3).

2.2.4.2 Ταξινόμηση χειρονομιών

Πολλές έρευνες, αφού εξάγουν ένα σεντ χειρονομιών με τις καταλληλότερες χειρονομίες, προχωρούν στο στάδιο της κατηγοριοποίησης των προτεινόμενων χειρονομιών σε «Ταξινομίες» (taxonomies). Οι ταξινομίες βοηθούν τους ερευνητές να αποκτήσουν μια εικόνα σχετικά με το νοητικό μοντέλο των χρηστών (Wobbrock et al., 2009) και καθοδηγούν τους σχεδιαστές να κατανοήσουν τον τύπο των χειρονομιών που είναι κατάλληλες για διάφορες αναφορές (Siddhuria et al., 2017). Στον τομέα της εναέριας αλληλεπίδρασης διακρίνονται δύο βασικοί άξονες ταξινόμησης των χειρονομιών: με βάση τη **νοητική αντιστοίχιση** της χειρονομίας με την αντίστοιχη εντολή και με βάση τα **φυσικά χαρακτηριστικά** της χειρονομίας

Η συνηθέστερη κατηγορία ταξινόμησης αφορά τη **Μορφή** της χειρονομίας που υποδηλώνει τη σχέση της χειρονομίας με το νόημα/αντικείμενο χειρισμού (Dim et al., 2016) και μπορεί να είναι *συμβολική, μεταφορική, φυσική, δεικτική, ή αφηρημένη*. Οι συμβολικές χειρονομίες είναι απεικονίσεις συμβόλων, όπως το σχέδιο ενός ερωτηματικού στον αέρα. Οι μεταφορικές χειρονομίες συνδέονται με τις έννοιές τους (όχι με τις οπτικές τους ομοιότητες) και αντιμετωπίζουν το αντικείμενο της διεπαφής ως κάτι διαφορετικό από αυτό που είναι, όπως για παράδειγμα η κίνηση του χεριού προς τα πίσω σαν να ήταν τηλεσκόπιο, προκειμένου να γίνει σμίκρυνση μιας εικόνας. Οι φυσικές χειρονομίες χειρίζονται απευθείας το περιεχόμενο/αντικείμενο, όπως η περιστροφή, ή η μεγέθυνση ενός αντικειμένου. Οι δεικτικές χειρονομίες συνήθως περιλαμβάνουν το δείκτη, την παλάμη ή τα δάχτυλα του χρήστη για να υποδείξουν αντικείμενα και κατευθύνσεις, και οι αφηρημένες χειρονομίες έχουν μια αυθαίρετη διασύνδεση με τη διάδραση (Πίνακας 2.3).

Η κατηγορία **πλαίσιου** περιγράφει εάν η κίνηση απαιτεί ένα συγκεκριμένο πλαίσιο μέσα στο οποίο εκτελείται ή είναι ανεξάρτητη από αυτό (Arefin Shimon et al., 2016; Ruiz et al., 2011; Wu & Wang, 2012). Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα χειρισμού πολυμέσων, μια χειρονομία που δείχνει το αυτί για να ενεργοποιήσει τα ηχεία είναι εντός πλαισίου. Αντίθετα, στο ίδιο σύστημα, μια χειρονομία που θα δείχνει π.χ. δύο δάχτυλα προκειμένου να ενεργοποιήσει μια συσκευή, χαρακτηρίζεται εκτός πλαισίου καθώς δεν υπάρχει

κάποια λογική συσχέτιση με το πλαίσιο (στην προκειμένη περίπτωση, χειρισμός πολυμέσων) μέσα στο οποίο εφαρμόζεται.

Η κατηγορία **πολυπλοκότητας** σχετίζεται με το αν μια χειρονομία είναι σύνθετη ή απλή. Μια σύνθετη χειρονομία αποτελείται από περισσότερες από μία, απλές χειρονομίες, οι οποίες πρέπει να εκτελεστούν όλες σωστά και με την κατάλληλη σειρά, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η αντίστοιχη εντολή (Arefin Shimon et al., 2016; Ruiz et al., 2011; Siddhuria et al., 2017).

Οι βασικότεροι άξονες κατηγοριοποίησης χειρονομιών με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά είναι η *ροή κίνησης* της χειρονομίας, η *χωρική διάσταση* της χειρονομίας και ο *αριθμός των χεριών* που χρησιμοποιούνται. Η **ροή κίνησης** αφορά τα χαρακτηριστικά της χειρονομίας και μπορεί να διακριθεί σε *στατική* (στάσεις του σώματος που δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου), ή *δυναμική* (χειρονομίες που περιλαμβάνουν κίνηση του σώματος ή του χεριού).

Η **χωρική διάσταση** μιας χειρονομίας αναφέρεται στους άξονες (X, Y ή Z) μέσα στους οποίους κινούνται τα χέρια του χρήστη.

Ο **αριθμός των χεριών** καθορίζει αν μια χειρονομία εκτελείται με το ένα χέρι (δεξί ή αριστερό) ή απαιτεί τη δέσμευση και των δύο χεριών (Balakrishnan & Hinckley, 2000; Karam & Tanaka, 2014).

Σε λίγες μελέτες, έχει γίνει μια προσπάθεια εξαγωγής σχεδιαστικών συμπερασμάτων αντιπαραβάλλοντας αποτελέσματα από την ανάλυση των προτεινόμενων χειρονομιών με την ταξινόμηση του τελικού σετ χειρονομιών. Για παράδειγμα, οι φυσικές χειρονομίες έχουν αποδειχτεί ότι έχουν υψηλότερα ποσοστά ομοφωνίας, ενώ οι αφηρημένες χειρονομίες απαιτούν περισσότερο χρόνο για να προταθούν και να εκτελεστούν (Kühnel et al., 2011). Παρότι η ταξινόμηση των χειρονομιών βοηθά τους ερευνητές να κατανοήσουν καλύτερα το νοητικό μοντέλο των χρηστών, τις περισσότερες φορές αυτό δεν οδηγούσε σε ξεκάθαρα συμπεράσματα που θα βοηθούσαν τη σχεδίαση των χειρονομιών.

Πίνακας 2.3 - Κατηγοριοποίηση χειρονομιών

Κατηγοριοποίηση με βάση τη νοητική αντιστοίχιση χειρονομιών		
Μορφή	Συμβολική	Η χειρονομία απεικονίζει ένα σύμβολο
	Μεταφορική	Η χειρονομία είναι μια μεταφορά από ένα φυσικό αντικείμενο
	Φυσική	Η χειρονομία χειρίζεται φυσικά ένα αντικείμενο της διεπαφής
	Δεικτική	Η χειρονομία δηλώνει μια θέση ή μια κατεύθυνση
	Αφηρημένη	Η νοητική αντιστοίχιση είναι αυθαίρετη
Πλαίσιο	Εντός πλαισίου	Χειρονομία που απαιτεί συγκεκριμένο πλαίσιο χρήσης
	Εκτός πλαισίου	Χειρονομία που δεν απαιτεί συγκεκριμένο πλαίσιο χρήσης
Πολυπλοκότητα	Απλές	Χειρονομία που αποτελείται από μια χειρονομία
	Σύνθετες	Χειρονομία που αποτελείται από πολλές απλές χειρονομίες
Κατηγοριοποίηση με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά χειρονομιών		
Ροή κίνησης	Στατική	Η χειρονομία δεν περιέχει κίνηση (πόζα του σώματος)
	Δυναμική	Η χειρονομία περιέχει κίνηση
Χωρική διάσταση	1-άξονας	Η κίνηση γίνεται σε ένα άξονα (X ή Y ή Z)

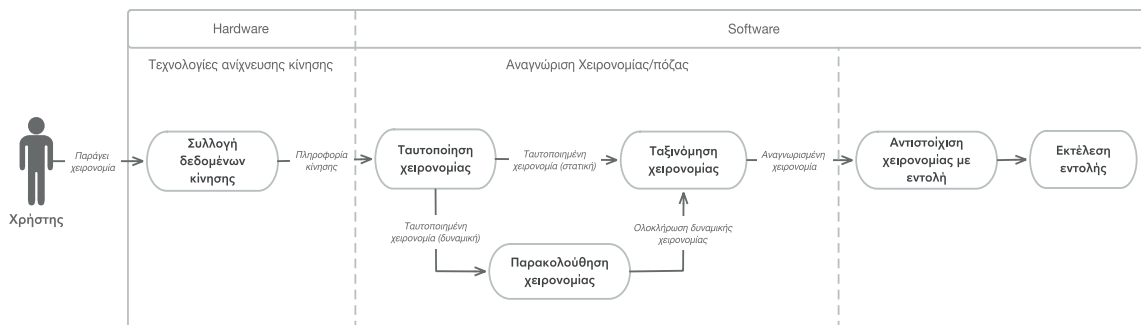
	2-άξονες	Η κίνηση γίνεται σε 2 άξονες
	3-άξονες	Η κίνηση γίνεται σε 3 άξονες
Αριθμός χεριών	Ένα χέρι	Η χειρονομία εκτελείται με το δεξί ή το αριστερό χέρι
	Δύο χέρια	Η χειρονομία απαιτεί τη χρήση και των δύο χεριών

2.3 Σχεδιασμός και Πρωτοτυποποίηση Εναέριων Χειρονομιών

2.3.1 Τεχνολογίες αναγνώρισης κινήσεων

Η αναγνώριση κινήσεων περιλαμβάνει την καταγραφή και μετάφραση των κατάλληλων κινήσεων του χρήστη σε αντίστοιχες εντολές του διαδραστικού συστήματος, με υπολογιστικό τρόπο και περιλαμβάνει τεχνολογίες υλικού και λογισμικού. Η διαδικασία αυτή μπορεί να διακριθεί στα στάδια συλλογής δεδομένων από κάποιο αισθητήρα (υλικό), ταυτοποίηση χειρονομίας, παρακολούθησή της εφόσον αυτή είναι δυναμική (έχει κάποια διάρκεια), και ταξινόμηση της χειρονομίας (H. Liu & Wang, 2018) (Εικόνα 2.2).

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία αναγνώρισης χειρονομιών, απαιτείται πρώτα να γίνει **συλλογή κατάλληλων δεδομένων** σχετικές με την κίνηση του χρήστη. Οι συσκευές που το επιτυγχάνουν αυτό μπορούν να χωριστούν σε αυτές χρησιμοποιούν οπτική τεχνολογία (όπως βίντεο) και σε αυτές που λειτουργούν χωρίς τη βοήθεια εικόνων/βίντεο.



Εικόνα 2.2 - Στάδια αναγνώρισης χειρονομιών σε διαδραστικό σύστημα

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οπτική τεχνολογία μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες (Εικόνα 2.3):

1. **Συστήματα καταγραφής κίνησης με ανακλαστήρες (motion capture systems with markers):** Σε αυτά τα συστήματα απαιτείται να τοποθετηθούν ειδικοί ανακλαστήρες πάνω στο σώμα του χρήστη οι οποίοι παρακολουθούνται από ειδικές κάμερες κατάλληλα τοποθετημένες στο χώρο. Τα συστήματα αυτά (όπως τα Optitrack²¹, Vicon²², Intersense²³) έχουν συνήθως μεγάλο κόστος και απαιτούν κατάλληλη τοποθέτηση και βαθμονόμηση του εξοπλισμού, όμως παρέχουν μεγάλη ακρίβεια αναγνώρισης της κίνησης και πορείας των ανακλαστήρων στον χώρο (και κατά επέκταση της κίνησης του χρήστη) και για αυτόν το λόγο συχνά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται λεπτομερείς κινήσεις. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Markussen et al., 2013, 2014) διερευνήθηκε η καταχώρηση κειμένου με εικονικό πληκτρολόγιο, στη μελέτη τους οι (Vuibert et al.,

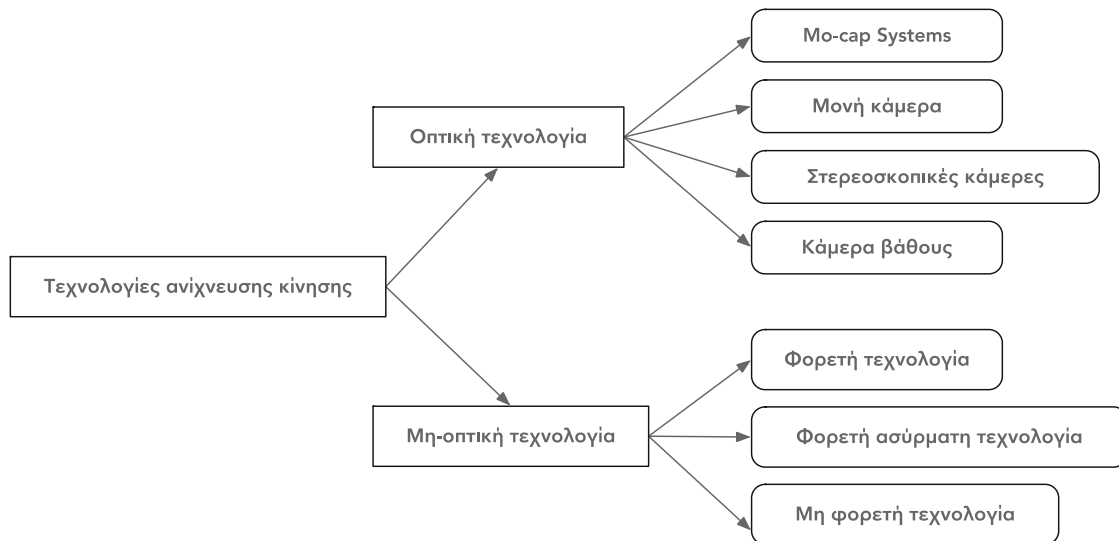
²¹ <https://optitrack.com/>

²² <https://www.vicon.com/>

²³ <http://www.intersense.com/>

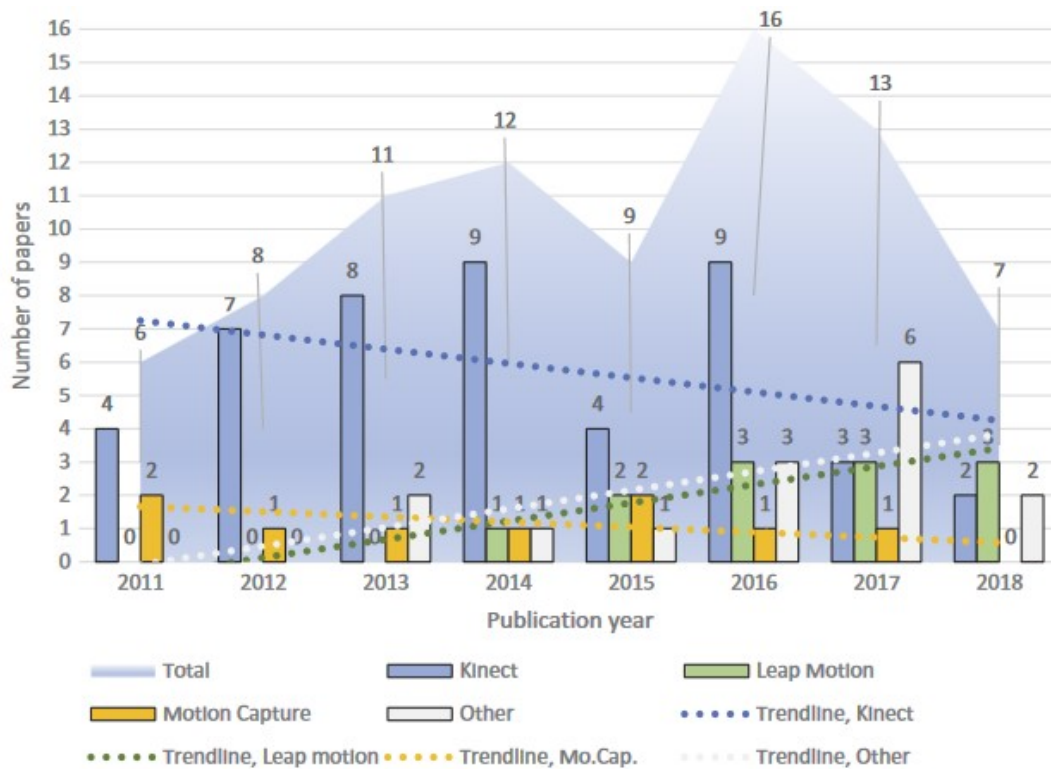
2015) αξιολόγησαν τον χειρισμό τρισδιάστατων αντικειμένων σε εικονικά περιβάλλοντα, ενώ στη έρευνα των (Wacharamanatham et al., 2014) εξετάστηκε η αλληλεπίδραση σε μικρή απόσταση από επιφάνειες που απαιτεί μεγάλη ακρίβεια καταγραφής των δακτύλων του χρήστη.

2. **Συστήματα μονής κάμερας:** Είναι από τις πρώτες τεχνολογίες αναγνώρισης κινήσεων που χρησιμοποιήθηκαν από τις αρχές του '90 (Starner et al., 1998). Το βασικό μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η περιορισμένη γωνία θέασης που μπορεί να έχει η μία κάμερα το οποίο επηρεάζει την απόδοση του συστήματος (Howe et al., 2000).



Εικόνα 2.3 - Κατηγορίες τεχνολογιών ανίχνευσης κίνησης του χρήστη

3. **Στερεοσκοπική κάμερα (stereo camera):** Τα συστήματα αυτά διαθέτουν δύο κάμερες τοποθετημένες σε απόσταση μεταξύ τους και χρησιμοποιούν τεχνικές αντίστοιχες με τα συστήματα μονής κάμερας. Η μεγαλύτερη διαφορά είναι ότι η χρήση διπλής κάμερας προσφέρει μεγαλύτερη γωνία θέασης και συνεπώς καλύτερη αναγνώριση κινήσεων στο χώρο, η οποία γίνεται με αλγοριθμικό τρόπο συγκρίνοντας κάθε καρέ του βίντεο με το προηγούμενο (Elmezain et al., 2008; Matsumoto & Zelinsky, 2000; Rauschert et al., 2002). Το βασικότερα μειονεκτήματα της στερεοσκοπικής κάμερας είναι ότι είναι σύνθετη η βαθμονόμηση των καμερών, απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύ (H. Liu & Wang, 2018), και σε αρκετές περιπτώσεις έχουν αυξημένο κόστος (Wachs et al., 2011).

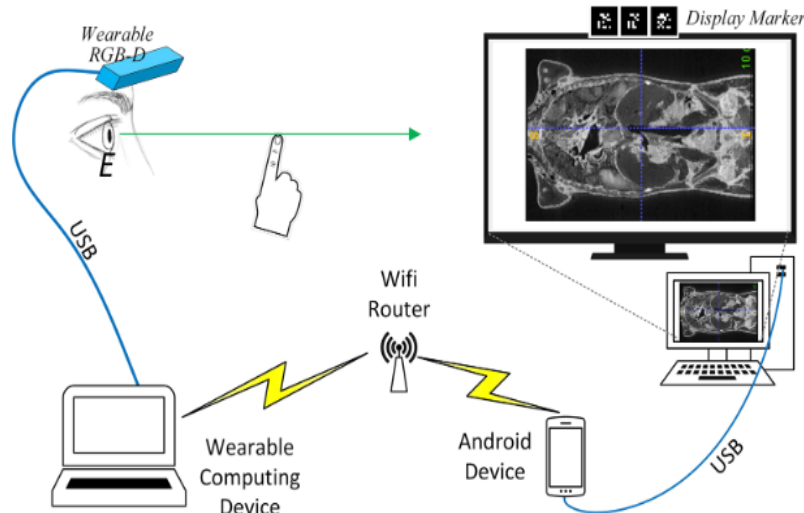


Διάγραμμα 2.1 – Τεχνολογίες αντίληψης κίνησης σε έρευνες EA (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a)

- Κάμερες βάθους (depth cameras):** Οι κάμερες βάθους παρέχουν ζωντανά, πληροφορίες σχετικά με την απόσταση που έχει κάθε αντικείμενο από την κάμερα. Δεν απαιτούν ιδιαίτερη βαθμονόμηση, μπορούν να λειτουργήσουν σε περιβάλλον με χαμηλό ή και καθόλου φωτισμό, και τα δεδομένα που εξάγουν είναι ένας χάρτης βάθους τριών διαστάσεων του χώρου. Οι κάμερες βάθους αποτελούν τη συνηθέστερη τεχνολογική προσέγγιση σε έρευνες που υλοποιείται κάποιο πρωτότυπο αναγνώρισης κινήσεων (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a). Μια από τις βασικότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις κάμερες βάθους είναι η τεχνολογία Time-of-Flight (ToF). Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται από την στιγμή που μια ακτίνα υπέρυθρης ακτινοβολίας εκπέμπεται από την κάμερα, μέχρι τη χρονική στιγμή που επιστρέφει πίσω σε αυτή αφού έχει ανακλαστεί πάνω στην επιφάνεια του φυσικού αντικειμένου (J. Choi, 2017; Kolb et al., 2010). Η απόδοση των καμερών βάθους δεν είναι πάντα ακριβής (π.χ. όταν η κίνηση του αντικειμένου είναι σχετικά γρήγορη) (Hansard et al., 2013). Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται και αλγοριθμικές τεχνικές πρόβλεψης της κίνησης, ενώ σε πολλές περιπτώσεις συνδυάζονται πληροφορίες που δέχονται και από έγχρωμες κάμερες (RGB cameras). Η κάμερα βάθους, Microsoft Kinect²⁴, αποτελεί μια από τις συνηθέστερες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν σε έρευνες και εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης. Το οπτικό πεδίο του Kinect εκτείνεται από 50 εκ. έως 4,5 μ. με γωνία θέασης 65° μοίρες, και μπορεί να αναγνωρίσει 25 συγκεκριμένες αρθρώσεις σε όλο το σώμα του χρήστη με ταχύτητα 30 fps (Guzsvinecz et al., 2019). Σε έρευνες, το Kinect τοποθετείται κυρίως οριζόντια, πάνω ή κάτω από κάποια οθόνη, και μπροστά από το χρήστη. Σε ελάχιστες περιπτώσεις υπήρχε μια διαφορετική διάταξη, όπως για παράδειγμα στην έρευνα των (Meng Ma et al., 2016) όπου το Kinect ήταν τοποθετημένο στο κεφάλι του

²⁴ <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>

χρήστη (Εικόνα 2.4), ενώ στη μελέτη των (Dezfuli et al., 2012) βρίσκονταν πίσω από τον χρήστη. Μια άλλη κάμερα βάθους που έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες εναέριας αλληλεπίδρασης, είναι το Leap Motion²⁵, το οποίο έχει ένα οπτικό πεδίου περίπου 60 εκ. πάνω από τη συσκευή, και μπορεί να αναγνωρίσει τα χέρια του χρήστη από το ύψος του αγκώνα.



Εικόνα 2.4 – Παράδειγμα κάμερας βάθους τοποθετημένη στο κεφάλι του χρήστη (Meng Ma et al., 2016)

Οι τεχνολογίες που δεν βασίζονται σε οπτική τεχνολογία ανήκουν στις εξής κατηγορίες (Εικόνα 2.3):

1. **Φορητή τεχνολογία (Wearables):** Είναι συστήματα που βασίζονται σε αισθητήρες τους οποίους πρέπει να φορέσει ο χρήστης και συνδέονται με το σύστημα αναγνώρισης χειρονομιών με ενσύρματο τρόπο. Ένα παράδειγμα ενσύρματης φορητής τεχνολογίας αποτελούν τα έξυπνα γάντια τα οποία αντιλαμβάνονται τις κινήσεις του χεριού του χρήστη με αισθητήρες όπως γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα (accelerometers) κ.α. (Baudel & Beaudouin-Lafon, 1993; Di Pietro et al., 2008). Ένα βασικό αρνητικό στοιχείο της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ότι η συνδεσμολογία με τα καλώδια μπορεί να παρεμποδίσει την ελευθερία κινήσεων του χρήστη και τη φυσική αλληλεπίδραση (Mitra & Acharya, 2007).
2. **Ασύρματη φορητή τεχνολογία (Wireless wearables):** Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει συσκευές τις οποίες πρέπει να φοράει ο χρήστης για να καταγράφουν τις κινήσεις του. Η σημαντικότερη διαφορά με τα γάντια είναι ότι η σύνδεση με το σύστημα αναγνώρισης κινήσεων γίνεται ασύρματα αποφεύγοντας τη χρήση καλωδίων, και με αυτό το τρόπο υπερτερούν στο ότι προσφέρουν μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων στο χρήστη. Τέτοιου είδους αισθητήρες μπορεί να είναι περικάρπια (Bands) όπως για παράδειγμα το CTRL-kit²⁶ (πρώην Myo armband) το οποίο μπορεί με ανιχνεύει την κίνηση των χεριών και των δαχτύλων με ηλεκτρομυογράφημα, έξυπνα ρολόγια, έξυπνα δαχτυλίδια τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν διανυσματικές κινήσεις του χεριού στο χώρο με αισθητήρες όπως γυροσκόπια και επιταχυνσιομετρα. Μια επιπλέον τεχνολογία που τα τελευταία χρόνια αποκτά σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον είναι τα έξυπνα γυαλιά τα οποία περιλαμβάνουν τεχνολογίες που τους επιτρέπει να αναγνωρίζουν

²⁵ <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>

²⁶ <https://www.ctrl-labs.com/ctrl-kit/>

αντικείμενα στο οπτικό πεδίο του χρήστη και να αναγνωρίζουν χειρονομίες του με τις οποίες μπορεί να αλληλεπιδρά με το επαυξημένο ψηφιακό περιεχόμενο (L.-H. Lee & Hui, 2018).

3. **Μη φορετή τεχνολογία (Non-wearable Technology):** Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τεχνολογίες που δεν φοριούνται και μπορούν να ανιχνεύσουν χειρονομίες χωρίς να έρθουν σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το Για παράδειγμα το Project Soli που παρουσίασε η Google και αποτελεί ένα σύστημα αναγνώρισης χειρονομίας με χρήση ραδιοσυχνοτήτων (Lien et al., 2016; *Project Soli- Google ATAP*, n.d.). Η τεχνολογία αυτή, την οποία ενσωμάτωσε και στα τελευταία μοντέλα κινητών τηλεφώνων Google Pixel, διαθέτει ένα πομπό και ένα δέκτη σήματος ραδιοσυχνοτήτων και είναι ικανή να αναγνωρίζει χειρονομίες λεπτής κινητικότητας των χεριών και δαχτύλων σε κοντινή απόσταση. Αντίστοιχες έρευνες έχουν γίνει και με κινήσεις του σώματος (Kellogg et al., n.d.; Paradiso, 1999; Pu et al., 2013) και των χεριών (Molchanov et al., 2015; Wan et al., 2014).

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών ανίχνευσης της κίνησης, αφορά κυρίως εξοπλισμό και υλικό το οποίο καταγράφει τις κινήσεις του χρήστη. Τα δεδομένα που προέρχονται από το υλικό καταγραφής κινήσεων, επεξεργάζονται στα επόμενα βήματα αναγνώρισης μιας χειρονομίας με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και αλγορίθμων. Πιο συγκεκριμένα, η **ταυτοποίηση χειρονομίας** είναι το επόμενο βήμα και περιλαμβάνει την επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες και την ανίχνευση των πληροφοριών που είναι σχετικές με τις χειρονομίες. Μόλις ταυτοποιηθεί μια χειρονομία, ενεργοποιείται το στάδιο της **παρακολούθησης της χειρονομίας**, όπου στην περίπτωση δυναμικών χειρονομιών περιλαμβάνει μηχανισμούς παρακολούθησης της χειρονομίας και συνεχή συσχέτισμό της κίνησης της ανά καρέ με την αντίστοιχη ταυτοποιημένη χειρονομία. Στην περίπτωση που η χειρονομία είναι στατική (πόζα), το στάδιο αυτό δεν είναι απαραίτητο, καθώς η κίνηση αυτή μπορεί να αναπαρασταθεί σε ένα μόνο καρέ. Το τελευταίο βήμα για την αναγνώριση μιας χειρονομίας είναι η **ταξινόμηση χειρονομίας** η οποία χρησιμοποιεί αλγορίθμους ταξινόμησης και μηχανικής μάθησης.

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με τα τρία βήματα της αναγνώρισης χειρονομιών περιλαμβάνουν ποικίλους αλγορίθμους και εντάσσονται περισσότερο στο τεχνικό κομμάτι της αναγνώρισης κινήσεων του χρήστη και της εναέριας αλληλεπίδρασης γενικότερα. Η ανάλυση τέτοιων αλγορίθμων είναι πέρα από το αντικείμενο της παρούσας διατριβής η οποία εστιάζει κυρίως σε θέματα που αφορούν την εμπειρία του χρήστη και λιγότερο με ζητήματα που είναι σχετικά με τεχνολογίες αναγνώρισης κινήσεων. Γενικά όμως σε ένα ολοκληρωμένο σενάριο σχεδιασμού και υλοποίησης ενός συστήματος εναέριας αλληλεπίδρασης, η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού αποτελεί σχεδιαστικό ερώτημα καθώς εξαρτάται από το πλαίσιο εφαρμογής που θα χρησιμοποιηθεί και περιλαμβάνει αντισταθμίσεις μεταξύ μεγέθους, κατανάλωσης ενέργειας, ευκολίας ενσωμάτωσης στις συσκευές και στο περιβάλλον, ευαισθησία στη φωτεινότητα του περιβάλλοντος, απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ, κόστος, ρυθμός ενημέρωσης, ακρίβεια παρακολούθησης κ.α. (Lien et al., 2016).

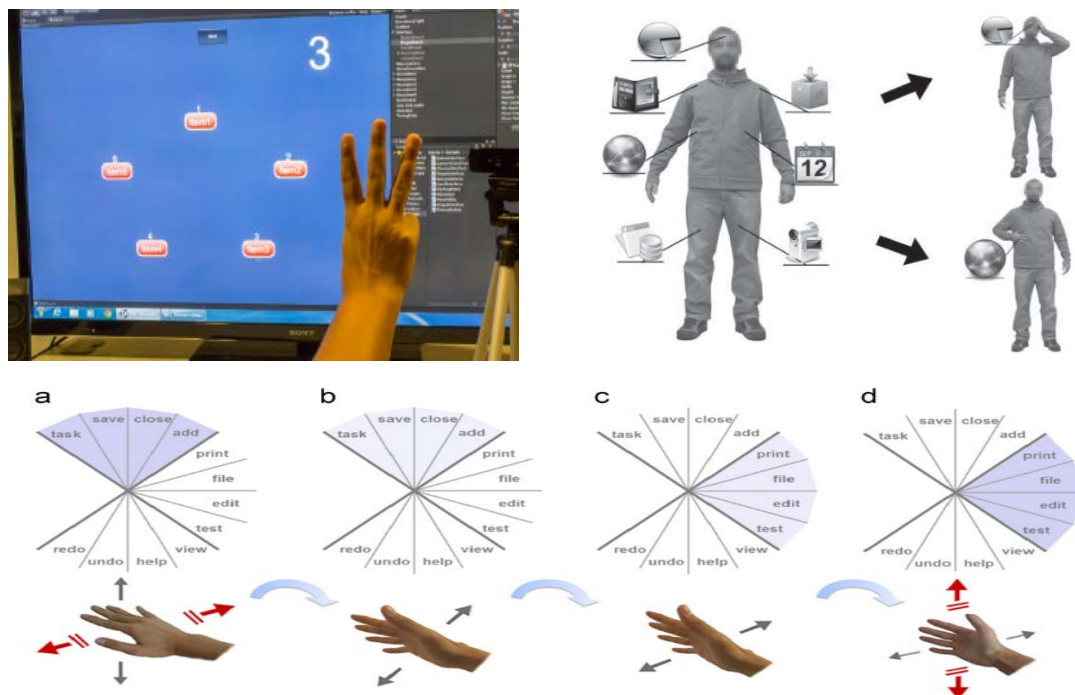
2.3.2 Περιεχόμενο εφαρμογών εναέριας αλληλεπίδρασης

Έρευνες που έχουν γίνει στην εναέρια αλληλεπίδραση ανθρώπου υπολογιστή εστιάζουν σε περιεχόμενο το οποίο είναι συνήθως προσαρμοσμένο στις ανάγκες που καθορίζει το πεδίο εφαρμογής. Το περιεχόμενο αυτό μπορεί να διαχωριστεί σε κάποιες γενικές κατηγορίες. Ο βασικότερος διαχωρισμός αφορά τον αριθμό των διαστάσεων του και πιο

συγκεκριμένα, αν το περιεχόμενο είναι δισδιάστατο ή τρισδιάστατο. Σε έρευνα ανασκόπησης που έγινε πρόσφατα (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a) φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μερίδιο των ερευνών (50%, 40 από συνολικά 80 έρευνες) εστιάζει σε δισδιάστατο περιεχόμενο, ακολουθούν έρευνες με τρισδιάστατο περιεχόμενο (29%), ενώ υπάρχει και ένα ποσοστό (21%) ερευνών που δεν υλοποίησαν κάποιο συγκεκριμένο περιεχόμενο, αλλά επικεντρώθηκαν σε τρόπους που μπορούν οι χρήστες να επιλέξουν απλούς στόχους με κάποια χειρονομία.

2.3.2.1 Δισδιάστατο περιεχόμενο

Ένας σημαντικός αριθμός μελετών έχει αναπτύξει δισδιάστατο ψηφιακό περιεχόμενο εξετάζοντας την εναέρια αλληλεπίδραση με διάφορα στοιχεία ελέγχου της **γραφικής διεπαφής** χρήστη. Μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον σε αυτή την κατηγορία, παρουσιάζει ο έλεγχος των μενού της διεπαφής. Για παράδειγμα, οι (Kulshreshth & LaViola, 2014), συνέκριναν διαφορετικές διατάξεις μενού και έφτασαν στο συμπέρασμα ότι η επιλογή των στοιχείων τους είναι εφικτή μέσω στατικών χειρονομιών καταμέτρησης με τα δάχτυλα (Εικόνα 2.5). Μια διαφορετική προσέγγιση, παρουσιάζεται στην έρευνα των (Ni et al., 2010), όπου η επιλογή των μενού ελέγχεται με την κλίση του καρπού και άλλων χειρονομιών καρπού και δαχτύλων, και εκμεταλλεύεται διακριτές χειρονομίες προκειμένου να μειώσει την απαιτούμενη ακρίβεια των χειρονομιών του χρήστη (Εικόνα 2.5). Οι (Bossavit, Marzo, & Ardaiz, 2014), πρότειναν ένα μενού με επίκεντρο το σώμα, όπου ο χρήστης πρέπει να αγγίξει κάποιο σημείο του σώματός του για να επιλέξει την αντίστοιχη εντολή του μενού (Εικόνα 2.5). Άλλες μελέτες αυτής της κατηγορίας διερεύνησαν το πρόβλημα της πληκτρολόγησης με εναέριες χειρονομίες. Σε αυτές τις μελέτες, εξετάζονταν διαφορετικές προσεγγίσεις εναέριας πληκτρολόγησης, όπως για παράδειγμα στη μελέτη των Ren & O'Neill (2013) (Ren & O'Neill, 2013a), όπου ερευνήθηκε μια εναλλακτική διάταξη κυκλικού πληκτρολογίου που εμφανίζονταν στην οθόνη.



Εικόνα 2.5 – Παραδείγματα ΕΑ με περιεχόμενο δύο διαστάσεων: με αναγνώριση δαχτύλων (πάνω-αριστερά) (Kulshreshth & LaViola, 2014), με χρήση όλου του σώματος (πάνω-δεξιά) (Bossavit, Marzo, & Ardaiz, 2014), με κινήσεις της παλάμης (κάτω) (Ni et al., 2010)

Τέλος, αρκετές μελέτες πειραματίστηκαν με ψηφιακό περιεχόμενο και αλληλεπιδράσεις με διαφορετικά στοιχεία ελέγχου της γραφικής διεπαφής. Στην έρευνα των (Carter et al., 2016a), προτείνεται η χρήση μοτίβου χειρονομίας (τεχνική “pathsync”) που πρέπει να εφαρμόσει ο χρήστης με μια κίνηση του χεριού του (π.χ. κίνηση τετράγωνου σχήματος γύρω από ένα κουμπί) προκειμένου να επιλέξει το αντίστοιχο στοιχείο της διεπαφής. Μια αντίστοιχη προσέγγιση παρουσιάζεται από τους (Gupta et al., 2017), όπου με μια απλή χειρονομία, εκτός της κατάδειξης με το χέρι (pointing), ενεργοποιείται το στοιχείο της διεπαφής και έπειτα μπορεί ο χρήστης να το χειριστεί (τεχνική “summon and select”).

Μια άλλη κατηγορία περιεχομένου πάνω στην οποία έχει εξεταστεί η εναέρια αλληλεπίδραση είναι οι **συλλογές εικόνων** ή γραφικών στοιχείων (π.χ. tile/slideshow/carousel galleries). Οι περισσότερες έρευνες σε αυτή την κατηγορία μελετούν συστήματα τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν μέσα σε χειρουργεία, όπου οι γιατροί χειρίζονται εικόνες από το ιατρικό ιστορικό του ασθενούς με εναέριες χειρονομίες (Hettig et al., 2017; Meng Ma et al., 2016; O’Hara et al., 2014). Άλλες μελέτες σχετίζονται με χειρισμό εικόνων πληροφοριακών συστημάτων που προβάλλονται σε μεγάλες οθόνες και βρίσκονται συνήθως σε δημόσιους χώρους (B. Yoo et al., 2010; S. Yoo et al., 2015).



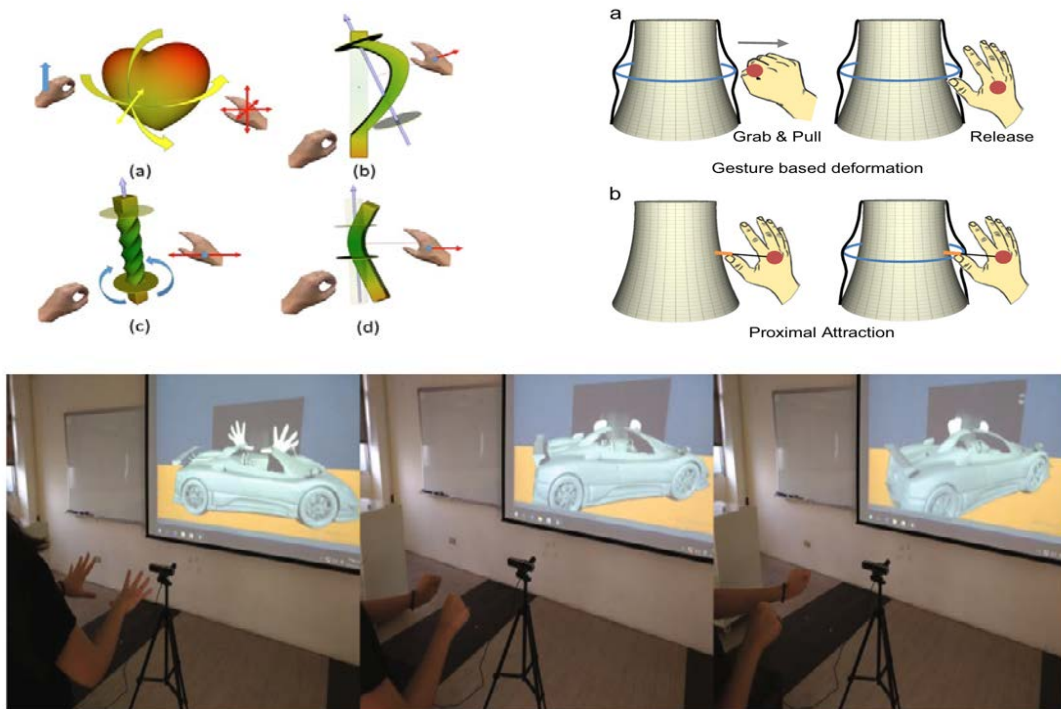
Εικόνα 2.6 – Χειρισμός εικόνων με ΕΑ μέσα σε χειρουργεία (αριστερά) (O’Hara et al., 2014), σε δημόσιους χώρους (δεξιά) (S. Yoo et al., 2015)

Άλλα είδη δισδιάστατου περιεχομένου που έχει εξεταστεί η ΕΑ περιλαμβάνουν: **ιστοσελίδες** (συνδυασμός συνδέσμων, εικόνων, και κειμένου) όπου οι χρήστες μπορούσαν να περιηγηθούν στο διαδίκτυο με εναέριες χειρονομίες (Ackad et al., 2015; Morris, 2012; Nebeling et al., 2014), **πολυμέσα** (video, audio) όπου οι χρήστες μπορούν να χειριστούν την αναπαραγωγή πολυμέσων (Rovelo Ruiz et al., 2014), **χάρτες** σε απομακρυσμένες οθόνες (Kamel Boulos et al., 2011; Rauschert et al., 2002), όπως στην περίπτωση του Kamel Boulos όπου χρησιμοποιεί χειρονομίες για το χειρισμό του Google Maps, **καμβάς σχεδίασης**, όπως στην περίπτωση των (Bohari et al., 2018) όπου εξετάζονται τρόποι που μπορεί ο χρήστης να δηλώσει την πρόθεσή του να ξεκινήσει και να σταματήσει τη ζωγραφική με διαφορετικούς τρόπους εναέριας αλληλεπίδρασης.

2.3.2.2 Τρισδιάστατο περιεχόμενο

Εκτός από δισδιάστατο περιεχόμενο, μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης για χειρισμό **τρισδιάστατων μοντέλων** (Cui & Sourin, 2018; Mendes et al., 2019; Park et al., 2012; Vosinakis & Koutsabasis, 2018). Για παράδειγμα, στην έρευνα τους οι (Song et al., 2012), διερεύνησαν τη μεταφορική χρήση μιας ράβδου που χειρίζεται ο χρήστης για να περιστρέψει τρισδιάστατα αντικείμενα, ενώ οι (L.-C. Chen et al., 2017), χρησιμοποιούν εναέριες χειρονομίες για να χειριστούν ένα τρισδιάστατο μοντέλο αυτοκινήτου (Εικόνα 2.7), να του αλλάξουν κλίμακα, να το περιστρέψουν, να τοποθετήσουν εξαρτήματά του σε συγκεκριμένα σημεία κ.α. Μερικές έρευνες ασχολήθηκαν με την εικονική αγγειοπλαστική (Εικόνα 2.7) όπου οι χρήστες

μπορούν να πλάσουν ψηφιακό πηλό και να δημιουργήσουν τρισδιάστατα αντικείμενα (Cho et al., 2014; Vinayak & Ramani, 2015, 2016).



Εικόνα 2.7 – Παραδείγματα τρισδιάστατου περιεχομένου σε εφαρμογές με ΕΑ: περιστροφή αντικειμένων (πάνω-δεξιά) (Cui & Sourin, 2018), εφαρμογή αγγειοπλαστικής (πάνω-δεξιά) (Vinayak & Ramani, 2016), χειρισμός τρισδιάστατου μοντέλου αυτοκινήτου (κάτω) (L.-C. Chen et al., 2017)

Εξίσου μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και εφαρμογές που αναπτύσσουν **τρειςδιάστατα σκηνικά** (τοπία, κτίρια, οικισμούς κ.α.), όπου οι χρήστες με εναέρια αλληλεπίδραση περιηγούνται σε αυτά και αλληλεπιδρούν με σημεία ενδιαφέροντος. Τέτοιου είδους εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάδειξη πολιτιστικής κληρονομιάς παρουσιάζοντας οικισμούς αρχαίων και εξαφανισμένων πολιτισμών (Albertini et al., 2017; Richards-Rissetto et al., 2012).

2.3.3 Μορφές ελέγχου σε εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης

Η εναέρια αλληλεπίδραση έχει ερευνηθεί για διάφορες μορφές ελέγχου εφαρμογών, που μέχρι τώρα χρησιμοποιούσαν κλασσικές μορφές αλληλεπίδρασης όπως με τη χρήση ποπτικού και πληκτρολογίου. Σε αυτή την ενότητα αναλύουμε τις μορφές ελέγχου εφαρμογών με εναέρια αλληλεπίδραση, διαχωρισμένες σε δισδιάστατες και τρισδιάστατες εφαρμογές.

2.3.3.1 Μορφές ελέγχου σε δισδιάστατες εφαρμογές

Η πιο συνηθισμένη αλληλεπίδραση σε εφαρμογές με δισδιάστατο περιεχόμενο είναι η **επιλογή στόχων** (targeting) που περιλαμβάνει αρχικά την **επισήμανση** (point) και έπειτα την **επιλογή** (select) του στόχου. Η επισήμανση περιλαμβάνει την κίνηση του χρήστη προκειμένου να μετακινήσει το δείκτη σε κάποια συγκεκριμένη τοποθεσία ή πάνω από ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, ενώ η επιλογή υποδηλώνει την πρόθεση του να επιλέξει (ανοίξει ή να κάνει κλικ) το συγκεκριμένο αντικείμενο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η επισήμανση και επιλογή αλληλοσυνδέονται και διερευνώνται ως μια αλληλεπίδραση. Ωστόσο λίγες έρευνες τις ερευνούν ξεχωριστά. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Bossavit, Marzo, Ardaiz, et al., 2014) τα στοιχεία ενός menu αντιστοιχήθηκαν σε

διαφορετικά σημεία του σώματος του χρήστη, ο οποίος θα έπρεπε να τα αγγίξει με το χέρι του για να τα ενεργοποιήσει (Εικόνα 2.5). Ομοίως, στην έρευνα των (Dezfuli et al., 2012) η παλάμη του χρήστη χρησιμοποιήθηκε ως διαδραστική επιφάνεια για τον έλεγχο της τηλεόρασης (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8 – Διαφορετικές μορφές περιεχομένου σε εφαρμογές ΕΑ: χειρισμός τηλεόρασης (αριστερά) (Dezfuli et al., 2012), χειρισμός ιατρικών δεδομένων (δεξιά) (Dezfuli et al., 2012)

Σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η **πλοήγηση** (explore and browse) με εναέρια αλληλεπίδραση σε γραφικές διεπαφές με εικόνες και πλακίδια, που μπορεί να περιέχουν εικόνες, εξώφυλλα δίσκων (Koutsabasis & Domouzis, 2016; Löcken et al., 2011), πληροφορίες, φωτογραφίες ιατρικού περιεχομένου (Ebert et al., 2012; Hettig et al., 2017; Meng Ma et al., 2016; Opromolla et al., 2015) (Εικόνα 2.8:δεξιά) κ.α.. Αρκετά συχνά η εναέρια αλληλεπίδραση χρησιμοποιείται για να **κλιμακώσει τις διαστάσεις αντικειμένων** (zoom-in/zoom-out) της διεπαφής όπως ιατρικών εικόνων (Ebert et al., 2012; Hötker et al., 2013; Mewes et al., 2017; Tan et al., 2013), χαρτών (Nancel et al., 2011; Stellmach et al., 2011), ή βίντεο (Rovelo Ruiz et al., 2014). Επίσης, η λειτουργία οριζόντιας ή κάθετης **μετατόπισης μιας μεγάλης εικόνας** (panning) σε σχέση με το παράθυρο της οθόνης, διατηρώντας παράλληλα τον ίδιο παράγοντα κλίμακας, έχει εξεταστεί σε αρκετές έρευνες με ιατρικά δεδομένα (Mewes et al., 2016; Stellmach et al., 2012; Tan et al., 2013), χάρτες (Stellmach et al., 2012), βίντεο (Rovelo Ruiz et al., 2014) και μεγάλα σύνολα δεδομένων (Nancel et al., 2011).

2.3.3.2 Μορφές ελέγχου σε τρισδιάστατες εφαρμογές

Πολλές από τις έρευνες που χρησιμοποίησαν πρωτότυπα με τρισδιάστατη διεπαφή, διερεύνησαν την εναέρια αλληλεπίδραση για **περιστροφή τρισδιάστατων αντικειμένων**. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Richards-Rissetto et al., 2012) οι συμμετέχοντες μπορούσαν να περιστρέφουν τρισδιάστατα αρχαιολογικά μοντέλα σε μια ψηφιακή ανακατασκευή μιας αρχαίας πόλης, ενώ σε άλλες κλινικά προσανατολισμένες μελέτες (Kirmizibayrak et al., 2011; Mewes et al., 2016; O'Hara et al., 2014; Shen et al., 2016) οι συμμετέχοντες μπορούσαν να περιστρέφουν τρισδιάστατα μοντέλα από μαγνητικές τομογραφίες ασθενών. Επίσης, η **κατάδειξη και επιλογή** με χρήση χειρονομιών ερευνηθήκαν σε αρκετές έρευνες σε πρωτότυπα με τρισδιάστατο περιεχόμενο (Brancati et al., 2016; Ren & O'Neill, 2013a). Μια άλλη χρήση εναέριων χειρονομιών σε έρευνες ήταν για τη **διαμόρφωση τρισδιάστατων μοντέλων** όπως γλυπτών (Koutsabasis & Vosinakis, 2017), τρισδιάστατων μοντέλων και κεραμικών ειδών μέσω αγγειοπλαστικής (Cho et al., 2014; Cui et al., 2016; Vinayak & Ramani, 2016). Η **πλοήγηση** (traveling) μέσα σε τρισδιάστατους εικονικούς κόσμους (Εικόνα 2.9), εξετάστηκε σε μερικές

έρευνες με σκοπό να βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη (Guy et al., 2015; Ortega et al., 2017; Richards-Rissetto et al., 2012).



Εικόνα 2.9 – Χρήση ΕΑ για πλοήγηση σε τρισδιάστατους χάρτες (κάτω) (Guy et al., 2015)

2.4 Αξιολόγηση αλληλεπίδρασης με εναέριες χειρονομίες

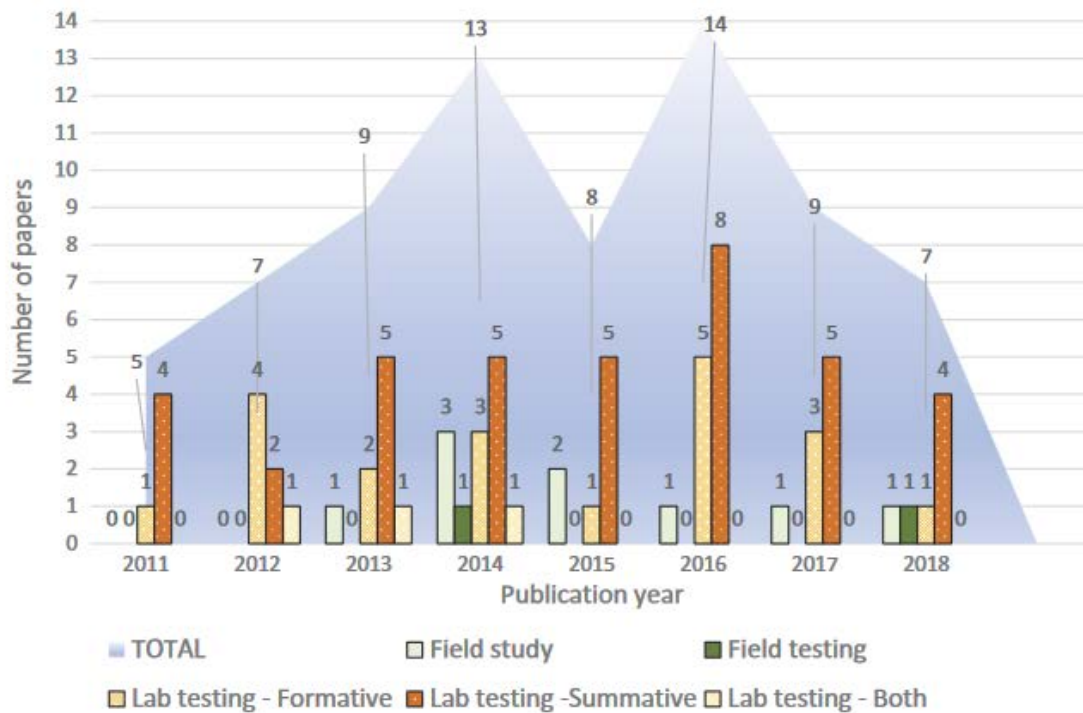
Γενικά, η αξιολόγηση στον τομέα της Αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή διερευνά τον βαθμό στον οποίο ένα διαδραστικό σύστημα ανταποκρίνεται στους στόχους και τις προσδοκίες των χρηστών. Σύμφωνα με τους MacDonald και Atwood (MacDonald & Atwood, n.d.), «η αξιολόγηση αποτελεί ένα κυρίαρχο ζήτημα στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή για δεκαετίες, όμως απέχει πολύ από το να είναι ένα λυμένο πρόβλημα. Καθώς τα διαδραστικά συστήματα και οι χρήσεις τους αλλάζουν, θα πρέπει να αλλάξει και η φύση της αξιολόγησης».

Όπως στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, έτσι και στην αξιολόγηση της εναέριας αλληλεπίδρασης, η αξιολόγηση είναι εμπειρική με την έννοια ότι αποδίδει χρήσιμες πληροφορίες μέσω της άμεσης ή έμμεσης παρατήρησης της εμπειρίας του χρήστη (User Experience ή UX) και είναι μια πολυδιάστατη δραστηριότητα η οποία πρέπει να προγραμματιστεί και να διεξαχθεί προσεκτικά. Στην παρακάτω ενότητα επισημαίνονται μέθοδοι αξιολόγησης, μετρικές που χρησιμοποιούνται, τεχνικές συλλογής χρήσιμων δεδομένων από τους χρήστες, καθώς και κριτήρια που αξιολογούν την εμπειρία του χρήστη και έχουν εφαρμοστεί σε έρευνες που έχουν αξιολογήσει κάποια διαδραστική εφαρμογή εναέριας αλληλεπίδρασης.

2.4.1 Μέθοδοι αξιολόγησης

Οι γενικές μέθοδοι αξιολόγησης της αλληλεπίδρασης με εναέριες χειρονομίες μπορούν να ταξινομηθούν ως μελέτες ή ως δοκιμές, βάσει των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται. Το πρώτο κριτήριο είναι εάν η αξιολόγηση πραγματοποιείται **στο πεδίο** (μπορεί να είναι μελέτη ή και δοκιμή) ή **στο εργαστήριο** (είναι πάντα δοκιμή). Ένα παράδειγμα επιτόπιας μελέτης είναι η έρευνα των Ackad et al. (2015) (Ackad et al., 2015), η οποία περιλαμβάνει αξιολόγηση μιας μεγάλης δημόσιας διαδραστικής οθόνης που παρείχε τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με εναέριες χειρονομίες. Στην προσέγγισή τους, οι χρήστες (περαστικοί) αλληλεπιδρούσαν ελεύθερα με το σύστημα, το οποίο ήταν διαθέσιμο σε ένα δημόσιο εμπορικό κέντρο, χωρίς την επιτόπια παρουσία των ερευνητών. Στην έρευνα των Koutsabasis και Vosinakis (2017) (Koutsabasis & Vosinakis, 2017), διεξήχθη μια επιτόπια δοκιμή σε ένα μουσείο για την αξιολόγηση ενός εκπαιδευτικού παιχνιδιού για την κυκλαδική γλυπτική, βάζοντας επισκέπτες του μουσείου (74 μαθητές) να παίζουν και να παρακολουθούν εναλλάξ την απόδοσή τους σε συγκεκριμένες εργασίες. Γενικά, η επιτόπια έρευνα προσφέρει περιβαλλοντική εγκυρότητα, με την έννοια ότι οι συνθήκες της αξιολόγησης είναι πραγματικές, όπως και οι χρήστες (δηλαδή οι τελικοί χρήστες για τους οποίους απευθύνεται το υπό αξιολόγηση σύστημα). Παρόλα αυτά, δεν αξιοποιείται συχνά σε εμπειρικές αξιολογήσεις, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2.2 (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a), ενδεχομένως λόγω διαφόρων προκλήσεων που θα πρέπει να

αντιμετωπιστούν, όπως το γεγονός ότι απαιτούνται πολλοί χρήστες (και συνεπώς αρκετό χρονικό διάστημα), η εγκατάσταση μπορεί να βρίσκεται σε μη ελεγχόμενο περιβάλλον (δημόσιο χώρο), δεν υπάρχει επιτόπια παρουσία ερευνητών, οι χρήστες μπορεί και να μην ολοκληρώσουν κάποια εργασία (π.χ. να χάσουν το ενδιαφέρον τους για την εφαρμογή) (Gentile et al., 2015) κ.α..



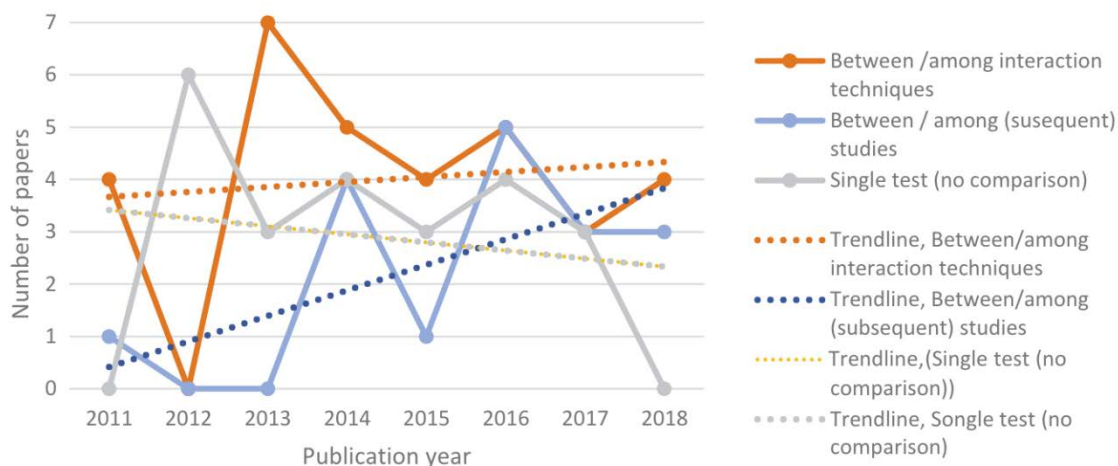
Διάγραμμα 2.2 – Μέθοδοι εμπειρικής αξιολόγησης της ΕΑ (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a)

Ένα δεύτερο κριτήριο είναι εάν γίνεται **ελεύθερη εξερεύνηση** του συστήματος (επιτρέπεται στους χρήστες να χρησιμοποιούν ελεύθερα το σύστημα) ή **δομημένη αξιολόγηση** (πρέπει να πραγματοποιήσουν συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις, βασισμένες σε προσχεδιασμένες εργασίες). Ένα άλλο κριτήριο είναι εάν η προσέγγιση επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με το σύστημα **χωρίς χρονικούς περιορισμούς** (επανελημμένα), ή σε **περιορισμένα χρονικά διαστήματα** (λίγων λεπτών). Για παράδειγμα, οι Walter et al. (2013) (Walter et al., 2013) παρουσίασαν το διαδραστικό παιχνίδι StrikeAPose για να εξετάσουν πώς «*μια αρχική χειρονομία στον αέρα μπορεί να αποκαλυφθεί στους χρήστες*». Η επιτόπια αξιολόγησή του συστήματος εφαρμόστηκε για πέντε ημέρες σε έναν ακαδημαϊκό ανοιχτό χώρο όπου εκατοντάδες περαστικοί μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν ελεύθερα. Οι περισσότερες έρευνες πάνω στην εναέρια αλληλεπίδραση που έχουν εφαρμόξει κάποιου είδους εμπειρικής αξιολόγησης, έχουν εφαρμόσει δομημένες αξιολογήσεις, περιορισμένης χρονικής διάρκειας, εντός εργαστηριακού χώρου (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b).

Μια εμπειρική αξιολόγηση μπορεί να είναι **διαμορφωτική** (formative) ή **συμπερασματική** (summative). Οι διαμορφωτικές αξιολογήσεις μπορούν να παράγουν ποιοτικά ευρήματα και συχνά διεξάγονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος, ενώ η συμπερασματική αξιολόγηση εστιάζει στην απόδοση των χρηστών και εφαρμόζεται με το σχεδόν τελικό σύστημα για τον προσδιορισμό της αποδοχής του ή την αποκάλυψη βελτιστοποιήσεων. Οι επιτόπιες αξιολογήσεις είναι εγγενώς διαμορφωτικές, ενώ οι εργαστηριακές δοκιμές μπορεί να είναι είτε διαμορφωτικές είτε συμπερασματικές. Ένα παράδειγμα συμπερασματικής εργαστηριακής δοκιμής παρουσιάζεται από τους Guy et al. (2015) (Guy et al., 2015) που παρουσίασαν το LazyNav, ένα σύστημα που επιτρέπει την

επίγεια τρισδιάστατη πλοήγηση σε εικονικό κόσμο (χάρτη) με κινήσεις μη κρίσιμων μελών του σώματος και αξιολόγησαν την ευχρηστία εναλλακτικών χειρονομιών μετρώντας την απόδοση (επιτυχία ολοκλήρωσης εργασίας, ταχύτητα, σφαλμάτων), και ζητήματα προτίμησης των χρηστών (αντιληπτή ευκολία χρήσης, διαισθητικότητα και φόρτου εργασίας). Οι διαμορφωτικές έρευνες βασίζονται στις προτάσεις των χρηστών σχετικά με τον τρόπο που αντιλαμβάνονται την εμπειρία τους. Για παράδειγμα, οι (Tan et al., 2013) αξιολόγησαν ένα σύστημα ακτινολογικής απεικόνισης, το οποίο ελέγχεται με χειρονομίες στον αέρα, αξιοποιώντας τις απόψεις 29 ακτινολόγων μέσω ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων αφού εκτέλεσαν ένα σύνολο τυποποιημένων εργασιών κατά τη διάρκεια μιας τομογραφίας.

Μια άλλη προσέγγιση αξιολόγησης της εναέριας αλληλεπίδρασης περιλαμβάνει **συγκριτική έρευνα** μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, τεχνικών αλληλεπίδρασης, ή σετ χειρονομιών. Γενικά, οι έρευνες που έχουν γίνει στον τομέα της ΕΑ τα τελευταία χρόνια μπορεί να έχουν ένα από τα παρακάτω πλάνα: 1) απλές έρευνες, όπου δεν γίνεται κάποια σύγκριση 2) έρευνα μεταξύ διαφορετικών τεχνικών αλληλεπίδρασης, όπου συγκρίνονται εναλλακτικές τεχνικές αλληλεπίδρασης, και 3) μεταξύ μεταγενέστερων μελετών, όπου συγκρίνονται τα αποτελέσματα με προηγούμενα ευρήματα παρόμοιας ή πανομοιότυπης μελέτης (Διάγραμμα 2.3). Για παράδειγμα, οι (Kulshreshth & LaViola, 2014), παρουσίασαν μια συγκριτική αξιολόγηση δύο διαφορετικών τεχνικών χειρισμού (επιλογής) μενού με χρήση των δακτύλων (α. επιλογή με βάση το μέτρημα των ανοιχτών δακτύλων και β. χρησιμοποιώντας την παλάμη και τον αντίχειρα). Σε μια άλλη έρευνα, οι (Ren & O'Neill, 2013b) παρουσίασαν μια συγκριτική έρευνα που αφορούσε επιλογή στόχων με χειρονομίες ελεύθερου χεριού (κατάδειξη) όπου συνέκριναν εναλλακτικά συστήματα με διαφορετικά μοτίβα διεπαφής χρήστη.



Διάγραμμα 2.3 – Ερευνητικές προσεγγίσεις σε έρευνες με εμπειρική αξιολόγηση (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a)

Μια εμπειρική αξιολόγηση μπορεί να περιλαμβάνει **διαδοχικές μελέτες ή δοκιμές**, όπου η πρώτη μελέτη μπορεί να είναι διερευνητική, όπως μια μελέτη εκμείευσης χειρονομιών ή μια μελέτη που εφαρμόζει την τεχνική «μάγου του Οζ». Για παράδειγμα, οι (Koutsabasis & Domouzis, 2016) διενέργησαν πρώτα μια μελέτη εκμείευσης χειρονομιών για τον εντοπισμό υποψήφιων χειρονομιών για χειρισμό συλλογής εικόνων (tile gallery) σε απομακρυσμένες οθόνες και στη συνέχεια αξιολόγησαν την ευχρηστία τους με μια εμπειρική αξιολόγηση. Επίσης, οι (Walter et al., 2014), διεξήγαγαν πρώτα μια μελέτη με την τεχνική «μάγου του Οζ» για την ανακάλυψη χειρονομιών επιλογής και στη συνέχεια μια μελέτη πεδίου για την αξιολόγηση των τεχνικών αλληλεπίδρασης. Άλλες προσεγγίσεις χρησιμοποιούν διαδοχικές μελέτες προκειμένου να συγκρίνουν

εναλλακτικές τεχνικές ή μέσα αλληλεπίδρασης. Για παράδειγμα, οι (K. Kim et al., 2016) διεξήγαγαν δύο πειράματα προκειμένου να προσδιορίσουν την πιο εύχρηστη τεχνική κατάδειξης στόχων σε μεγάλες απομακρυσμένες οθόνες για χρήστες με προβλήματα όρασης. Αρχικά, σύγκριναν τρεις τεχνικές με μια δοκιμή ευχρηστίας και στη συνέχεια σύγκριναν την πιο εύχρηστη από αυτές με την αλληλεπίδραση με ομιλία.

2.4.2 Έμφαση και μετρήσεις αξιολόγησης

Οι μελέτες αξιολόγησης εφαρμογών εναέριας αλληλεπίδρασης δίνουν έμφαση κυρίως στην ευχρηστία του συστήματος (Usability) και στην εμπειρία του χρήστη (User Experience – UX). *Ευχρηστία* είναι «η αποτελεσματικότητα, η αποδοτικότητα και η ικανοποίηση με την οποία οι χρήστες επιτυγχάνουν καθορισμένες ενέργειες σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα» (ISO-9241-400:2007) (British Standards Institution & International Organization for Standardization, 2010). Η *εμπειρία του χρήστη* είναι «οι αντιδράσεις και οι αντιλήψεις ενός ατόμου που προκύπτουν από τη χρήση ή την προσδοκώμενη χρήση ενός προϊόντος, συστήματος ή υπηρεσίας» (ISO-9241-210:2010) (British Standards Institution & International Organization for Standardization, 2010). Οι περισσότερες εμπειρικές αξιολογήσεις των τελευταίων ετών ασχολούνται περισσότερο με την αξιολόγηση της ευχρηστίας και λιγότερο με την μέτρηση εμπειρία του χρήστη (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b).

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται σε αξιολογήσεις συστημάτων μπορούν να χωριστούν σε μετρήσεις απόδοσης, δηλαδή «τι κάνει ο χρήστης στην αλληλεπίδραση» και μετρήσεις ικανοποίησης, δηλαδή «τι λέει ή σκέφτεται ο χρήστης για την αλληλεπίδραση» (Tullis & Albert, 2013). Οι μετρήσεις απόδοσης σχετίζονται στενά με την αξιολόγηση της ευχρηστίας, ενώ οι μετρήσεις της ικανοποίησης μπορούν να σχετίζονται είτε με μελέτες ευχρηστίας είτε με μελέτες εμπειρίας του χρήστη.

Όσο αφορά τις **μετρήσεις απόδοσης**, οι πιο συνηθισμένες είναι «η επιτυχία ολοκλήρωσης» κάθε εργασίας (task success), «ο χρόνος ολοκλήρωσης» κάθε εργασίας (task time) και «τα λάθη» ανά εργασία ή ως ποσοστό ακρίβειας (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b; Tullis & Albert, 2013). Άλλες λιγότερο συχνές μετρήσεις απόδοσης είναι: 1) «η απόκλιση των χειρονομιών», όπως για παράδειγμα στην έρευνα των Morrison et al. (Morrison et al., 2016) όπου έγινε μια αξιολόγηση ενός συστήματος το οποίο υποστηρίζει κλινικούς ιατρούς να αξιολογήσουν την πρόοδο της σκλήρυνσης κατά πλάκας των ασθενών, χρησιμοποιώντας το Kinect για να αναλύσουν τις αποκλίσεις των κινήσεων που έπρεπε να κάνουν οι ασθενείς, 2) «λέξεις ανά λεπτό» που χρησιμοποιήθηκε στις έρευνες των Markussen et al. (Markussen et al., 2013, 2014) οι οποίοι αξιολόγησαν εναλλακτικές τεχνικές εισαγωγής κειμένου με χρήση εναέριων χειρονομιών, 3) «ποσοστό συμμετοχής» των χρηστών που επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα, όπως χρησιμοποιήθηκε στις έρευνες των Walter et al. (Walter et al., 2013) και Hayashi et al. (Hayashi et al., 2014) στις οποίες οι περαστικοί είχαν την επιλογή να χρησιμοποιούν το σύστημα ή όχι.

Όσο αφορά τις **μετρήσεις ικανοποίησης**, ένας σημαντικός αριθμός μελετών διερευνά την «ευχρηστία» έτσι όπως την αντιλαμβάνονται οι χρήστες, δηλαδή εστιάζουν στο τί λένε για θέματα ευχρηστίας μέσω ερωτηματολογίων, συνεντεύξεων, κ.α. Άλλες έρευνες χρησιμοποιούν μετρήσεις που σχετίζονται με την «ανάδειξη προβλημάτων» μέσω διερευνητικών αξιολογήσεων. Για παράδειγμα, στην έρευνα των Grabski et al. (Grabski et al., 2016) αξιολογήθηκαν διαφορετικές τεχνικές ανάδρασης (απτικές, ηχητικές) σε παιχνίδια πολλαπλών παικτών (multiplayer) που επιτρέπουν την προσβασιμότητα σε άτομα με προβλήματα όρασης, εστιάζοντας σε συγκεκριμένες πτυχές του παιχνιδιού όπως, απόσταση του χρήστη από την οθόνη, απόσταση από τους αντιπάλους κ.α. Μια άλλη μέτρηση που επηρεάζει την ικανοποίηση του χρήστη είναι η διανοητική ή σωματική

«κόπωση», όπως για παράδειγμα στην έρευνα των Bobeth et al. (Bobeth et al., 2012) οι οποίοι αξιολόγησαν τον έλεγχο της τηλεόρασης με εναέριες χειρονομίες από ηλικιωμένους. Άλλες μετρήσεις που σχετίζονται με την ικανοποίηση του χρήστη περιλαμβάνουν την «δυνατότητα εκμάθησης», την «άνεση», τη «διασκέδαση» κ.α.

2.4.3 Τεχνικές συλλογής δεδομένων κατά την αξιολόγηση εναέριας αλληλεπίδρασης

Μια εμπειρική αξιολόγηση περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές συλλογής δεδομένων όπως είναι η **παρατήρηση**, τα **ερωτηματολόγια**, οι **συνεντεύξεις** και η **αυτοματοποιημένη καταγραφή ενεργειών** οι οποίες συνήθως εφαρμόζονται συνδυαστικά. Αυτές οι τεχνικές καθορίζονται με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα, την έμφαση της αξιολόγησης και τις μετρήσεις που χρησιμοποιούνται. Ιδανικά, μια εμπειρική αξιολόγηση πρέπει να είναι μη παρεμβατική, δηλαδή οι χρήστες πρέπει να αλληλεπιδρούν με το σύστημα χωρίς να επηρεάζονται από οποιαδήποτε επιρροή που μπορεί να προκαλείται από τεχνικές συλλογής δεδομένων.

Η **παρατήρηση** των χρηστών κατά το διάστημα που αυτοί δοκιμάζουν (χρησιμοποιούν) το σύστημα αποτελεί τη βασικότερη τεχνική συλλογής δεδομένων σε εμπειρικές αξιολογήσεις εναέριας αλληλεπίδρασης (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b). Η παρατήρηση συνοδεύεται από καταγραφή διαφόρων πτυχών της εμπειρίας του χρήστη όπως: εφαρμογή χειρονομιών, χρόνος εκτέλεσης, σφάλματα, καθώς και αντιδράσεις και σχόλια των συμμετεχόντων. Όταν η αξιολόγηση απαιτεί τη συλλογή λεπτομερών πληροφοριών, η διαδικασία καταγράφεται σε μορφή βίντεο και στη συνέχεια (σε μεταγενέστερο χρόνο) γίνεται επεξεργασία του βίντεο για την συλλογή των δεδομένων. Σε μερικές μελέτες, η χρήση του βίντεο γίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό, όπως για παράδειγμα στη μελέτη των Carter et al. (Carter et al., 2016b) όπου η ροή του βίντεο συγχωνεύτηκε με το περιεχόμενο της οθόνης και με την σκελετική προβολή του χρήστη (από το Kinect), για να συγκρίνουν την τροχιά της κίνησης του χρήστη σε σχέση με μια ιδανική τροχιά. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η παρατήρηση δεν είναι εφικτή, ειδικά σε μελέτες πεδίου που διαρκούν μεγάλο διάστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η παρατήρηση των χρηστών γίνεται δειγματοληπτικά.

Τα **ερωτηματολόγια** χρησιμοποιούνται συνήθως στο τέλος της αξιολόγησης ή μετά το τέλος κάθε εργασίας. Μπορεί να είναι τυποποιημένα (δηλαδή έχουν δοκιμαστεί για την ποιότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους), ή μπορεί να είναι προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης μελέτης, όπως για παράδειγμα στη μελέτη των Heimonen et al. (Heimonen et al., 2013) που αξιολόγησαν την εμπειρία του χρήστη με ένα ερωτηματολόγιο κλίμακας Likert που αποτελούνταν από 11 ερωτήσεις σχετικά με συναισθηματικές εμπειρίες. Άλλα ερωτηματολόγια που έχουν χρησιμοποιηθεί (μεμονωμένα ή σε συνδυασμό) στη εναέρια αλληλεπίδραση είναι: το NASA-TLX (Task Load Index), το SUS (System Usability Scale), το UEQ (User Experience Questionnaire), το Fun Toolkit, το PANAS (Positive and Negative Affect Schedule) και το SMFA (Short Musculoskeletal Function Assessment) (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b).

Η **αυτοματοποιημένη καταγραφή των ενεργειών** (logging) των χρηστών υιοθετείται συχνά σε εμπειρικές αξιολογήσεις της εναέριας αλληλεπίδρασης. Οι δοκιμές αυτές είναι εξαιρετικά ελεγχόμενες και οι επιδόσεις των χρηστών καταγράφονται και μετρούνται με λεπτομέρεια, όπως για παράδειγμα στην έρευνα των Vosinakis & Koutsabasis, (2018) όπου συγκρίθηκαν διαφορετικοί μηχανισμοί ανάδρασης κατά το πιάσιμο και απελευθέρωση αντικειμένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον, και στην έρευνα των (Nancel et al.,

2011) όπου αξιολογήθηκε η ευχρηστία των χειρονομιών μετακίνησης και μεγέθυνσης μεγάλων χαρτών σε μεγάλες απομακρυσμένες οθόνες.

Οι **συνεντεύξεις** αποτελούν μια συμπληρωματική τεχνική συλλογής δεδομένων που μπορεί να είναι αδόμητες ή ημιδομημένες συζητήσεις με τους συμμετέχοντες, οι οποίες είναι σύντομες και λαμβάνουν χώρα στο τέλος της διαδικασίας αξιολόγησης. Επιπλέον, αρκετές μελέτες χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο εξωτερίκευσης της σκέψης (Think aloud protocol) για να λάβουν λεκτικά σχόλια από τους χρήστες κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

2.4.4 Χρήστες

Στις εμπειρικές αξιολογήσεις, είναι απαραίτητο να εξετάζεται ποιοι είναι οι καταλληλότεροι χρήστες (συμμετέχοντες). Η επιλογή τους θα πρέπει να γίνει βάσει κριτηρίων καθώς οι ικανότητες, οι γνώσεις και οι δεξιότητες τους ποικίλλουν και επηρεάζουν την απόδοση και την ικανοποίησή τους. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετές έρευνες στις οποίες δεν περιγράφεται το προφίλ των χρηστών λεπτομερώς, αλλά αναφέρονται μόνο ως «εθελοντές» ή «συμμετέχοντες». Οι μελέτες αυτές φαίνεται να μην αναφέρουν το προφίλ των χρηστών επειδή δίνεται έμφαση στην απόδοση του συστήματος, όπως για παράδειγμα στην μελέτη των (Brancati et al., 2016) όπου διερευνήθηκε η απόδοση της επιλογής στόχων με κατάδειξη (με το δείκτη του χεριού) σε ένα διαδραστικό φορητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented reality) το οποίο επαύξανε το περιβάλλον με πληροφορίες σχετικές με την πολιτιστική κληρονομιά. Η έλλειψη λεπτομερειών σχετικά με το προφίλ των χρηστών αποτελεί μειονέκτημα των εμπειρικών μελετών, καθώς το προφίλ των συμμετεχόντων πρέπει να καθορίζεται ώστε να επιτρέπει την ερμηνεία των ευρημάτων, πιθανές συγκρίσεις, και δυνατότητα αναπαραγωγής των δοκιμών αυτών.

Σε άλλες έρευνες, επιλέγονται φοιτητές ή ακαδημαϊκό προσωπικό, ενδεχομένως λόγω ευκολίας, με εξαίρεση εκείνες τις περιπτώσεις όπου το σύστημα υπό εξέταση, όντως απευθύνεται σε ακαδημαϊκό προσωπικό. Για παράδειγμα οι Lee et al. (L. Lee et al., 2014) αξιολόγησαν την εναέρια αλληλεπίδραση σε ένα σύστημα που παρείχε πληροφορίες σε απομακρυσμένες οθόνες σχετικά με το πρόγραμμα σπουδών και εκδηλώσεις ενός Πανεπιστημίου.

Όταν το υπό αξιολόγηση σύστημα απευθύνεται σε άτομα με συγκεκριμένο προφίλ (π.χ. παιδιά, ηλικιωμένοι, άτομα με αναπηρία, ή περαστικοί σε μελέτες πεδίου), η επιλογή χρηστών με αντίστοιχο προφίλ είναι πολύ σημαντική. Όλες οι μελέτες που αξιολογούν εναέριες αλληλεπιδράσεις σε ιατρικά/νοσοκομειακά περιβάλλοντα προσλαμβάνουν γιατρούς και ιατρικό προσωπικό. Για παράδειγμα, οι (Fernandez-Cervantes et al., 2018) υλοποίησαν ένα σύστημα που απευθύνεται σε ηλικιωμένους επιτρέποντάς τους να ασκούνται σωματικά εντός σπιτιού, και προσέλαβαν ηλικιωμένους χρήστες κατά την αξιολόγηση.

Όσο αφορά το πλήθος των συμμετεχόντων, αυτό ποικίλει κυρίως ανάλογα με το αν η αξιολόγηση γίνεται σε εργαστήριο ή στο πεδίο. Στην περίπτωση των εργαστηριακών μελετών, συνήθως χρησιμοποιείται ένας μικρός αριθμός από 11 έως 20 συμμετέχοντες που είναι ικανοποιητικός για αξιολογήσεις ευχρηστίας (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a). Σε αρκετές εργαστηριακές μελέτες είναι δύσκολο να βρεθούν παραπάνω από 10 συμμετέχοντες, ειδικότερα σε περιπτώσεις που απαιτείται πιο εστιασμένο προφίλ. Για παράδειγμα, οι Garzotto et al. προσέλαβαν 6 παιδιά με αυτισμό, ενώ στην έρευνα των Ma et al. (Meng Ma et al., 2016) προσλήφθηκαν 7 άτομα του ιατρικού προσωπικού ενός νοσοκομείου.

Σε μελέτες πεδίου, μπορεί να χρειαστεί ένας μεγαλύτερος αριθμός χρηστών, προκειμένου να αποκαλυφθούν μοτίβα συμπεριφορών. Έτσι, αρκετές μελέτες προσλαμβάνουν

31–40 συμμετέχοντες, ενώ σε άλλες το πλήθος είναι ακόμη μεγαλύτερο. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα μιας πεντάμηνης έρευνας σχετικά με τη χρήση κιναισθητικών παιχνιδιών σε ειδικό σχολείο με 31 αυτιστικά παιδιά παρουσιάζονται στην έρευνα των (Kosmas et al., 2018) που βασίζεται σε πολλές ποιοτικές και ποσοτικές μετρήσεις.

2.5 Σύνοψη και συμπεράσματα

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει την τρέχουσα επιστημονική και τεχνολογική στάθμη του πεδίου της ΕΑ με χειρονομίες. Κάποια μέρη της παραπάνω ανασκόπησης έχουν δημοσιευτεί σε προηγούμενες μελέτες (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b; Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018). Μερικά σύντομα συμπεράσματα από ανασκόπηση είναι τα εξής.

Η ΕΑ με χειρονομίες αποτελεί ένα νέο και αναπτυσσόμενο παράδειγμα αλληλεπίδρασης Ανθρώπου-Υπολογιστή. Η ΕΑ υποστηρίζεται από σημαντικό αριθμό τεχνολογιών, έχει δοκιμαστεί σε πολλά πεδία εφαρμογής, έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερες σχεδιαστικές μέθοδοι, και αναμένεται να παραμείνει το ενδιαφέρον έρευνας και στο μέλλον σε σενάρια μικτής πραγματικότητας.

Συχνά αναφέρεται πως η σχεδίαση ενός συστήματος ΕΑ αφορά την χρηστοκεντρική ανακάλυψη χειρονομιών μέσω μελετών εκμείευσης χειρονομιών. Στην παρούσα διατριβή αυτή η προσέγγιση θεωρείται ιδιαίτερα περιορισμένη. Αντίθετα, στην παρούσα έρευνα θεωρείται πως η σχεδίαση δεν περιορίζεται στην εκμείευση χειρονομιών, αλλά απαιτείται λεπτομερής σχεδίαση διεπαφών, υλοποίηση πρωτοτύπων, δοκιμή, αξιολόγηση, κ.α.. Σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια αναμένονται προσαρμογές και ειδικεύσεις ως προς την περίπτωση της ΕΑ.

Η εναέρια αλληλεπίδραση έχει διερευνηθεί σε διάφορα πεδία εφαρμογής με έμφαση στον έλεγχο μίας μεμονωμένης συσκευής ή εφαρμογής η οποία περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες ή εντολές που ασκούνται με χειρονομίες. Ελάχιστες είναι οι έρευνες που έχουν ασχοληθεί με την εναέρια αλληλεπίδραση σε χώρους με πολλαπλούς στόχους (διαδραστικές συσκευές ή οθόνες) οι οποίοι να υποστηρίζουν ταυτόχρονη καταγραφή και αναγνώριση των κινήσεων του χρήστη. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον οι αλληλεπιδράσεις μπορεί να είναι περισσότερο διαισθητικές, ελκυστικές και φυσικές σε σχέση με τις παραδοσιακές διεπαφές με πολλαπλά τηλεχειριστήρια (ανά συσκευή) και οθόνες αφής καθώς θα επιτρέπουν την από απόσταση αλληλεπίδραση χωρίς τη χρήση επιπλέον εξοπλισμού (χειριστηρίων) (Dinh et al., 2014).

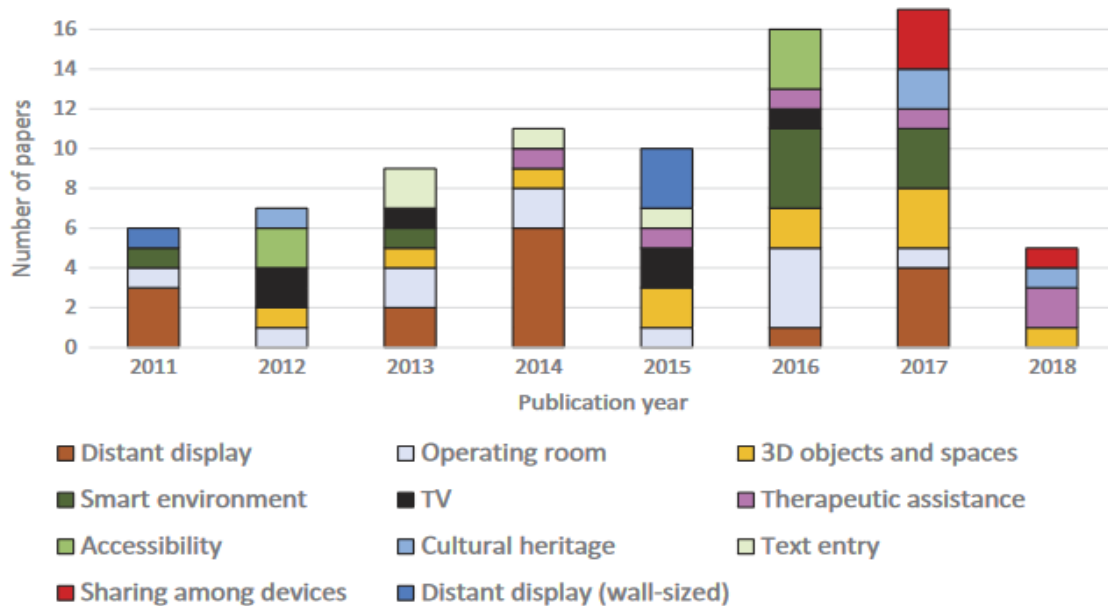
3. Εναέριες Χειρονομίες: Πεδία εφαρμογής και η περίπτωση της Αλληλεπίδρασης με Πολλαπλούς Στόχους

Στο παρακάτω κεφάλαιο διερευνώνται κυρίως τα εξής ζητήματα της ΕΑ:

- Ποια είναι τα πεδία εφαρμογής που έχει διερευνηθεί περισσότερο η ΕΑ και σε ποιους ερευνητικούς τομείς έχει εξεταστεί ως κύρια ή εναλλακτική μορφή αλληλεπίδρασης;
- Ένα πεδίο που δεν έχει δοκιμαστεί η ΕΑ αποτελεί το περιβάλλον με πολλαπλούς διαδραστικούς στόχους. Σε αυτή την περίπτωση, ποιες επιπλέον σχεδιαστικές προκλήσεις προκύπτουν;
- Τι έρευνες της εναέριας αλληλεπίδρασης έχουν γίνει για τον έλεγχο συσκευών με χειρονομίες στο φυσικό χώρο και ποιες είναι οι σχετικές περιπτώσεις χρήσης;
- Σε ένα περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους ο χρήστης θα πρέπει με κάποιο τρόπο να επιλέξει την επιθυμητό στόχο (συσκευή) πριν αλληλεπιδράσει με αυτόν. Ποιες προσεγγίσεις έχουν ερευνηθεί σχετικά την επιλογή στόχων μόνο με χρήση ΕΑ;

3.1 Πεδία εφαρμογής και έρευνας εναέριας αλληλεπίδρασης

Υπάρχει πλήθος από ερευνητικούς τομείς στους οποίους έχει εξεταστεί η εφαρμογή της εναέρια αλληλεπίδραση ως κύριο ή συμπληρωματικό μέσο αλληλεπίδρασης ανθρώπου με υπολογιστή. Στην παρακάτω ενότητα, επισημαίνονται τα συνηθέστερα πεδία εφαρμογής της εναέριας αλληλεπίδρασης που έχουν ερευνηθεί τα τελευταία χρόνια όπως φαίνονται και στο διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1 - Πεδία εφαρμογής της ΕΑ σε έρευνες των τελευταίων ετών (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019a)

3.1.1 Απομακρυσμένες οθόνες

Η αλληλεπίδραση με απομακρυσμένες οθόνες αποτελεί το πιο συνηθισμένο πεδίο εφαρμογής της ΕΑ, όπου εξετάζεται η αλληλεπίδραση με εικόνες ή πολυμέσα, για χειρισμό μενού, χειριστηρίων γραφικής διεπαφής κ.α.. Πολλές από αυτές τις έρευνες επικεντρώνονται σε δημόσια πληροφορικά συστήματα (με απομακρυσμένες οθόνες), ερευνώντας θέματα ευχρηστίας, χρηστικότητα του συστήματος, κατά πόσο η υλοποίησή τους είναι εφικτή, τρόπους που μπορούν να γίνουν ελκυστικά σε περαστικούς κ.α. (L. Lee et al., 2014; Rodriguez & Marquardt, 2017; Sorce et al., 2017; Walter et al., 2013; S. Yoo et al., 2015). Για παράδειγμα στις έρευνες (L. Lee et al., 2014; Sorce et al., 2017) διαδραστικά συστήματα που βασίζονται σε εναέρια χειρονομίες, ήταν τοποθετημένα σε κοινόχρηστους χώρους Πανεπιστημίων, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με το ακαδημαϊκό πρόγραμμα και εκδηλώσεις.

Άλλες πτυχές εναέριας αλληλεπίδραση με απομακρυσμένες οθόνες που διερευνώνται είναι η αυθεντικοποίηση και εγγραφή του χρήστη σε πληροφοριακά συστήματα, και τρόποι παροχής βοήθειας (στο χρήστη) κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης. Στην έρευνα τους οι (Hayashi et al., 2014), παρουσίασαν ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει τις διαφορές του μήκους των μελών του σώματος των χρηστών (π.χ. μήκος των χεριών τους) και το κινητικό μοτίβο που παράγουν προκειμένου να γίνει η αναγνώριση και ταυτοποίησή τους. Σε άλλη έρευνα οι (Walter et al., 2013), επικεντρώθηκαν στα διαφορετικά μέσα με τα οποία μπορούν οι απομακρυσμένες οθόνες να αποκαλύψουν τη δυνατότητα εναέριας αλληλεπίδρασης καθώς και τρόπους παροχής βοήθειας στους χρήστες προκειμένου να τους ενημερώσουν σχετικά με το πώς πρέπει να παράγονται οι χειρονομίες ορθά.

3.1.2 Χειρουργεία

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει ένα αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για έλεγχο σε πραγματικό χρόνο συστημάτων παρουσίασης δεδομένων του ασθενούς, μέσα σε χειρουργεία, με μη απτική τεχνολογία. Κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης, οι γιατροί αλληλεπιδρούν με μεγάλο όγκο ιατρικών δεδομένων του ασθενούς που εμφανίζονται σε μεγάλες οθόνες τόσο ως δισδιάστες εικόνες όσο και σε τρισδιάστατα μοντέλα. Δεδομένου ότι τα τρέχοντα αυτά ιατρικά συστήματα χρησιμοποιούν απτική είσοδο, όπως ποντίκι και πληκτρολόγιο, η άμεση αλληλεπίδραση ιατρού-συσκευής είναι αδύνατη λόγω της ανάγκης διατήρησης της αποστείρωσης. Μια καθιερωμένη κλινική λύση είναι να ανατεθεί ο έλεγχος του συστήματος σε έναν ιατρικό βοηθό, συνήθως σε μια κοντινή μη αποστειρωμένη αίθουσα ελέγχου. Η λύση αυτή, απαιτεί επαγγελματική συνεργασία μέσω προφορικής επικοινωνίας από τον ιατρό (συχνά χρησιμοποιώντας κατάλληλα υψηλό επίπεδο τεχνικής και ιατρικής γλώσσας) για να καθοδηγήσει τον βοηθό. Αυτό μπορεί να προκαλέσει παρανοήσεις και καθυστερήσεις εξαιρετικά κρίσιμων χειρουργικών διαδικασιών (Opromolla et al., 2015).

Υπάρχουν αρκετές έρευνες που εξετάζουν την εναέρια αλληλεπίδραση μέσα σε χειρουργεία. Για παράδειγμα, οι (Tan et al., 2013), παρουσίασαν ένα σύστημα βασισμένο σε εναέριες χειρονομίες για τον έλεγχο ιατρικών δεδομένων του ασθενούς από το ιστορικό του, καθώς και δεδομένων ραδιολογίας σε πραγματικό χρόνο. Στην έρευνά τους επισήμαναν ότι η εναέρια αλληλεπίδραση για τον έλεγχο εικόνων σε οθόνες κατά τη διάρκεια της επεμβατικής ακτινολογίας προσφέρει οφέλη σχετικά με τη διατήρηση της αποστείρωσης του χώρου και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Οι (Kirmizibayrak et al., 2011) ερευνήσαν την απόδοση των τεχνικών αλληλεπίδρασης συγκρίνοντας το Kinect και το ποντίκι για περιστροφή δεδομένων ιατρικού όγκου και εντοπισμό στόχων. Έδειξαν ότι οι χειρισμοί του ποντικιού ήταν πιο ακριβείς από τον έλεγχο με χειρονομίες, ενώ αντίθετα η χρήση χειρονομιών ήταν πιο γρήγορη για τον εντοπισμό στόχων και καλύτερη από άποψη απόδοσης για περιστροφή τρισδιάστατων μοντέλων. Παρόμοιες έρευνες αξιολόγησαν την απόδοση συστήματος που κάνει χρήση εναέριων χειρονομιών σε συνδυασμό με φωνητικές εντολές, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι εναέριες χειρονομίες μπορούν να απλοποιήσουν τη ροή εργασίας σε επεμβάσεις παρεμβατικής ακτινολογίας (Ebert et al., 2012; Hötker et al., 2013).

3.1.3 Τρισδιάστατα μοντέλα και εικονικοί χώροι

Ένας σημαντικός αριθμός άρθρων εξετάζει την εναέρια αλληλεπίδραση σε τρισδιάστατο χώρο, όπου οι χρήστες μπορούν να έχουν μια αναπαράσταση του εαυτού τους (μέσω ενός ειδώλου του εαυτού τους ή άλλες φορές μόνο των χεριών τους) και τα αντικείμενα ενδιαφέροντος να είναι τρισδιάστατα μοντέλα που βρίσκονται σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η εναέρια αλληλεπίδραση εξετάζεται και σε σενάρια εικονικής πραγματικότητας, όπως στην έρευνα των (Vosinakis & Koutsabasis, 2018) που αξιολογεί την απόδοση διαφορετικών τρόπων που μπορεί ο χρήστης να πιάσει και να αφήσει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο σε εικονικό περιβάλλον (με το Leap Motion και το Oculus Rift) σε συνδυασμό με διάφορες τεχνικές οπτικής ανάδρασης. Στην έρευνα των (Guy et al., 2015) εξετάστηκε η εναέρια αλληλεπίδραση ως μέσο το οποίο επέτρεπε στους χρήστες να πλοηγούνται σε μια εικονική πόλη σε τρισδιάστατο περιβάλλον με κινήσεις του σώματος (κυρίως του κορμού). Γενικά, έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες για τη διερεύνηση θεμάτων χρηστικότητας σε διάφορους τομείς εικονικών κόσμων και τρισδιάστατου περιβάλλοντος, όπως η κατάδειξη και η επιλογή στόχων (Ren & O'Neill, 2013b), περιστροφή (Song et al., 2012), αλλαγή διάστασης (L.-C. Chen et al., 2017) και τοποθέτηση τρισδιάστατου μοντέλου στον εικονικό χώρο (Vuibert et al., 2015), συναρμολότητα

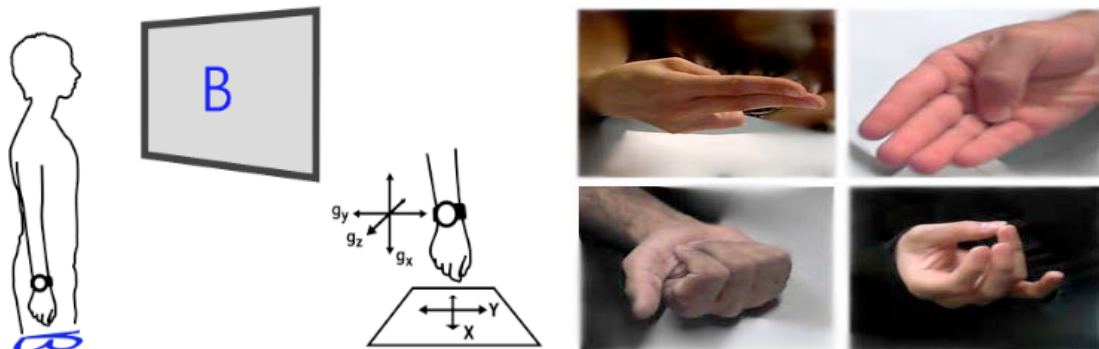
και τρισδιάστατη μοντελοποίηση (Cui et al., 2016), πλοήγηση/πτήση (Ortega et al., 2017) (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 – Περιστροφή και τοποθέτηση μοντέλου σε τρισδιάστατο χώρο (Vuibert et al., 2015)

3.1.4 Περιβάλλον διάχτυου υπολογισμού

Ένας μεγάλος αριθμός ερευνών πάνω στην εναέρια αλληλεπίδραση έχει ασχοληθεί με περιβάλλοντα διάχτυου υπολογισμού, τα οποία είναι εξοπλισμένα με τεχνολογική υποδομή που επιτρέπει την αλληλεπίδραση με διαφορετικές συσκευές. Στο άρθρο των (Kühnel et al., 2011) εξετάζεται η εύρεση κατάλληλων χειρονομιών για τον έλεγχο οικιακών συσκευών σε ένα «έξυπνο σπίτι». Αντίστοιχα, η χρήση εναέρια αλληλεπίδρασης έχει διερευνηθεί για τον έλεγχο ψηφιακών μέσων στο σαλόνι όταν οι χρήστες είναι σε χαλαρή και καθιστή θέση (S.-S. Lee et al., 2013). Το πρόβλημα της ανατροφοδότησης έχει εξεταστεί στην έρευνα των (Freeman et al., 2016), παρουσιάζοντας ένα σύστημα το οποίο παρείχε οπτική (φωτισμός), απτική (δόνηση) και ακουστική ανατροφοδότηση στο χρήστη προκειμένου να αποτρέψει τυχαία αλληλεπίδραση με γειτονικές συσκευές. Η έρευνα των (Chan et al., 2016) επικεντρώθηκε στην εύρεση κατάλληλων εναέριων *μικρο-χειρονομιών* (κινήσεων λεπτής κινητικότητας με τα δάχτυλα του χεριού), για χρήση σε περιβάλλον με διάχτυο υπολογισμό. Αντίστοιχα, οι (Siddhuria et al., 2017), επικεντρώθηκαν σε χειρονομίες ελέγχου συστημάτων διάχτυου υπολογισμού, οι οποίες δεν προκαλούν σωματική κούραση στο χρήστη.



Εικόνα 3.2 – Παραδείγματα ΕΑ σε περιβάλλον διάχτυου υπολογισμού, χρησιμοποιώντας χειρονομίες που δεν προκαλούν κούραση (αριστερά) (Vuibert et al., 2015), και μικρο-χειρονομίες (δεξιά) (Chan et al., 2016)

3.1.5 Έξυπνες τηλεοράσεις

Στις μέρες μας, οι τηλεοράσεις έχουν εξελιχθεί σε διαδραστικές συσκευές πολυμέσων (έξυπνες τηλεοράσεις), υιοθετώντας αρκετές λειτουργίες από υπολογιστές και κινητές συσκευές, όπως περιήγηση στο διαδίκτυο, εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, αναπαραγωγή πολυμέσων κ.α.. Όλες αυτές οι παραπάνω λειτουργίες εμπλουτίζουν περισσότερο την εμπειρία του χρήστη σε σχέση με τη αποκλειστική, παθητική παρακολούθηση

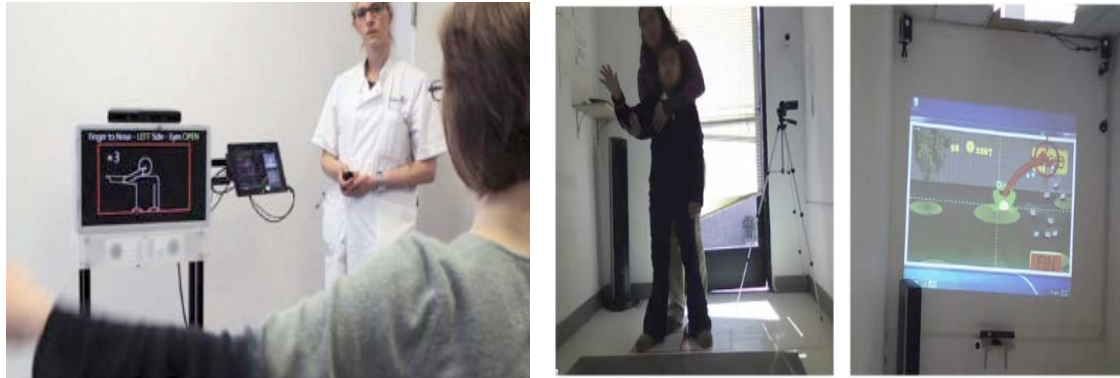
τηλεοπτικών καναλιών που προσέφεραν παλαιότερα οι τηλεοράσεις. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το πρόβλημα ευχρηστίας των τηλεχειριστηρίων (περιέχουν πολλά πλήκτρα), αναδεικνύει την ανάγκη για χρήση εναλλακτικού τρόπου αλληλεπίδρασης, όπως η εναέρια αλληλεπίδραση η οποία έχει εξεταστεί σε αρκετές έρευνες. Πολλές από αυτές, επικεντρώνονται κυρίως στον προσδιορισμό κατάλληλου συνόλου χειρονομιών για χειρισμό της τηλεόρασης, χωρίς να έχουν αναπτύξει αντίστοιχα πρωτότυπα για την αξιολόγησή τους (R.-D. Vatavu, 2012; Wu & Wang, 2012). Άλλες έρευνες προχωρούν και στην αξιολόγηση των προτεινόμενων χειρονομιών (Bailly et al., 2011; M. Chen et al., 2010; Dezfuli et al., 2012; R.-D. Vatavu, 2013; Wu et al., 2016). Για παράδειγμα στην έρευνα των (Zaiῑi et al., 2015), τα αποτελέσματα της αξιολόγησης καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι χρήστες έδειξαν μεγάλη προτίμηση για αλληλεπίδραση που βασίζεται σε χειρονομίες σε σύγκριση με τα τυπικά τηλεχειριστήρια. Επίσης, οι (Dong et al., 2015) παρουσίασαν ένα λεξιλόγιο χειρονομιών για τον έλεγχο τόσο των τηλεοράσεων όσο και άλλων συσκευών μέσα σε έξυπνο σπίτι.



Εικόνα 3.3 – Εναέρια αλληλεπίδραση για το χειρισμό της τηλεόρασης (Dezfuli et al., 2012; Zaiῑi et al., 2015)

3.1.6 Θεραπευτική παρέμβαση

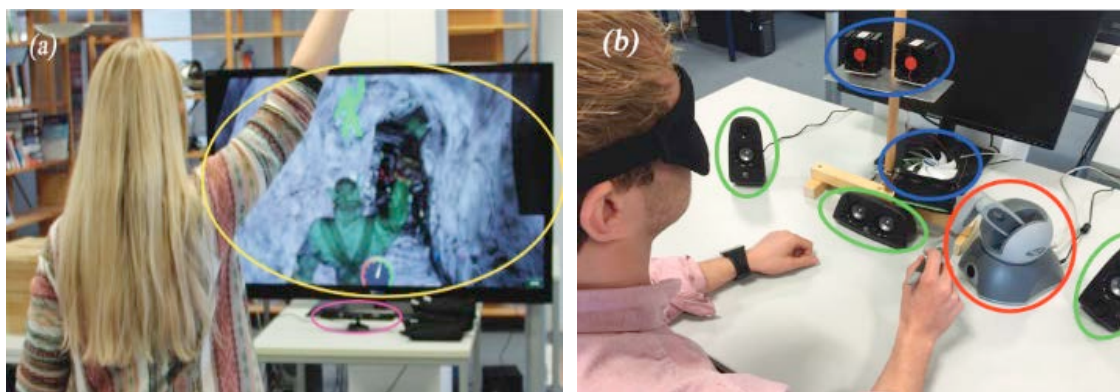
Αρκετές μελέτες έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια εφαρμόζοντας εναέρια αλληλεπίδραση ως μέσο θεραπευτικής παρέμβασης σε ασθένειες με αυτισμό (Bartoli et al., 2013, 2014; Bartoli & Lassi, 2015; Garzotto et al., 2014; Gentile et al., 2019), με σκλήρυνση κατά πλάκας (Morrison et al., 2016) (Εικόνα 3.4 αριστερά), και με κινητικά προβλήματα (Caro et al., 2015). Στην έρευνα των (Garzotto et al., 2014) διερευνώνται τα οφέλη της χρήσης ηλεκτρονικών παιχνιδιών με εναέριες κινήσεις του σώματος σε παιδιά που ανήκουν στο φάσμα του αυτισμού, όπου το συμπέρασμα είναι ότι τα παιχνίδια χωρίς αφή έχουν τη δυνατότητα να προωθήσουν την ανάπτυξη δεξιοτήτων κιναισθησίας και απομίμησης. Αντίστοιχα, οι (Gillespie et al., 2017) έδειξαν ότι άτομα με κάποιες μορφές αυτισμού θα μπορούσαν να ωφεληθούν από τη συμμετοχή τους στη διαδικασία ανάπτυξης του παιχνιδιού με κινήσεις του σώματος (Εικόνα 3.4 δεξιά). Επιπλέον, οι (Caro et al., 2015) σχεδίασαν ένα παιχνίδι για παιδιά με κινητικά προβλήματα που προωθεί την σωματική άσκηση (Exergame) και ενισχύει την κοινωνικοποίηση και την ευεξία. Οι (Kosmas et al., 2018), χρησιμοποίησαν μια σειρά παιχνιδιών που βασίζονται στο Kinect για να διερευνήσουν πώς η ενσώματη αλληλεπίδραση επηρεάζει τη γνωστική διαδικασία παιδιών με ειδικές ανάγκες.



Εικόνα 3.4 – ΕΑ σε εφαρμογές θεραπευτικής παρέμβασης: Εφαρμογή αξιολόγησης της σκλήρυνσης κατά πλάκα (αριστερά) (Morrison et al., 2016), παιχνίδι που απαιτεί σωματική κίνηση για παιδιά με κινητικά προβλήματα (δεξιά) (Caro et al., 2015)

3.1.7 Προσβασιμότητα

Η εναέρια αλληλεπίδραση μπορεί να βελτιώσει τη προσβασιμότητα μέσω παιχνιδοποιημένων εφαρμογών και ψηφιακών υπηρεσιών. Αρκετές έρευνες έχουν αναπτύξει και δοκιμάσει παιχνίδια εκγύμνασης (exergames) για ηλικιωμένους (Fernandez-Cervantes et al., 2018; Gerling et al., 2012). Τα παιχνίδια αυτά απαιτούν σωματική κίνηση (συνήθως όλου του σώματος) για να παίξει ο χρήστης, προσφέροντας έτσι διασκέδαση παράλληλα με σωματική άσκηση. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η υγεία και η διάθεση των ηλικιωμένων βελτιώνεται με τη χρήση αυτών των παιχνιδιών. Την καταλληλότητα και απόδοση εναέριων χειρονομιών εξέτασαν και οι (Bobeth et al., 2012) όπου οι χρήστες χαρακτήρισαν τις χειρονομίες ως αποδεκτές όσο αφορά την απόλαυση και τη χρησιμότητα. Οι (Dim et al., 2016) εξέτασαν τη ιδέα της εναέρια αλληλεπίδραση για το χειρισμό της τηλεόρασης από άτομα χωρίς όραση. Επιπλέον οι (Grabski et al., 2016) παρουσίασαν ένα παιχνίδι στο οποίο μπορούν να ανταγωνιστούν σε πραγματικό χρόνο άτομα με απώλεια όρασης μαζί με άτομα που βλέπουν κανονικά σε ένα εικονικό τρισδιάστατο περιβάλλον (Εικόνα 3.5). Στο συγκεκριμένο παιχνίδι χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες τεχνολογίες, όπως αέρας (με χρήση ανεμιστήρα), δόνηση, περιμετρικός ήχος (surround audio) ως μέσα ανάδρασης, ενώ επέτρεπε στους χρήστες να αιωρούνται στο χώρο με εναέριες χειρονομίες. Αντίστοιχα, οι (K. Kim et al., 2016) απέδειξαν ότι η εναέρια αλληλεπίδραση με μεγάλες οθόνες είναι εφικτή για άτομα με απώλεια όρασης όταν υπάρχει απτική και ηχητική ανατροφοδότηση. Στην έρευνά τους χρησιμοποίησαν ένα σενάριο χρήσης όπου τυφλοί χρήστες μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν με ένα σύστημα χρονοπρογραμματισμού δρομολογίων των τρένων που εμφανιζόταν σε μια μεγάλη οθόνη.



Εικόνα 3.5 – Εφαρμογή που επιτρέπει την πρόσβαση σε άτομα χωρίς όραση σε παιχνίδι με πολλούς παίκτες (Grabski et al., 2016).

3.1.8 Πολιτιστική κληρονομιά

Η πολιτιστική κληρονομιά είναι η κληρονομιά των φυσικών (τοπία και βιοποικιλότητα), υλικών (κτίρια, μνημεία, βιβλία, έργα τέχνης κ.λπ.) και άυλων αντικειμένων (λαογραφία, γνώσεις και δεξιότητες, αφηγήσεις, χορός κ.λπ.) (ICOMOS, 2002). Προκειμένου οι άνθρωποι να εκτιμήσουν, να κατανοήσουν και να απολαύσουν την πολιτιστική κληρονομιά πρέπει πρώτα να την κατανοήσουν (Thurley, 2005). Φαίνεται ότι η κιναισθητική και εναέρια αλληλεπίδραση με τρισδιάστατες εφαρμογές πολιτιστικής κληρονομιάς μπορεί να εμπλουτίσει την εμπειρία του χρήστη, καθιστώντας τις αλληλεπιδράσεις πιο ενδιαφέρουσες και διασκεδαστικές στη χρήση, ενώ ταυτόχρονα μεταδίδονται έννοιες και πληροφορίες σχετικά με την κληρονομιά (Koutsabasis & Vosinakis, 2017). Αρκετές τέτοιες εφαρμογές έχουν εγκατασταθεί και δοκιμαστεί σε εκθεσιακούς χώρους. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Richards-Rissetto et al., 2012) οι χρήστες μπορούν να πλοηγηθούν με χειρονομίες στον αέρα σε ένα τρισδιάστατο σκηνικό μιας αρχαίας πόλης σε ένα εικονικό περιβάλλον, συμπεραίνοντας ότι η αλληλεπίδραση στον αέρα βελτιώνει τη χωρική συνειδητοποίηση. Οι (Albertini et al., 2017) ανέπτυξαν ένα σύστημα που επιτρέπει στους αρχαιολόγους να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα ανασκαφών ενός αρχαιολογικού χώρου ο οποίος ουσιαστικά ανακατασκευάστηκε σε ένα τρισδιάστατο σύστημα «σπηλιά» που χρησιμοποιεί εικονικές χειρονομίες του αέρα. Στην έρευνα των (Koutsabasis & Vosinakis, 2017) παρουσιάζεται μια εφαρμογή στην οποία ο χρήστης παίρνει τον ρόλο ενός αρχαίου μαρμαροτεχνίτη χρησιμοποιώντας εργαλεία που χαράσσουν, καμπυλώνουν και εξομαλύνουν ένα Κυκλαδίτικο ειδώλιο με εναέριες χειρονομίες. Οι (Brancati et al., 2016) παρουσίασαν ένα διαδραστικό φορητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν σημεία ενδιαφέροντος, σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, για να ανακτήσουν σχετικές πολιτιστικές πληροφορίες.



Εικόνα 3.6 – Παράδειγμα εφαρμογής πολιτιστικής κληρονομιάς (Koutsabasis & Vosinakis, 2017)

3.1.9 Καταχώρηση κειμένου

Η καταχώριση κειμένου με εναέρια αλληλεπίδραση μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά σενάρια, όπως σε παιχνίδια, περιήγηση στο Web και αναζήτηση πληροφοριών. Ορισμένες μελέτες έχουν διερευνήσει την πληκτρολόγηση με χειρονομίες χρησιμοποιώντας κατάλληλες διατάξεις πληκτρολογίου και διαφορετικές τεχνικές πληκτρολόγησης (Markussen et al., 2013; Ren & O'Neill, 2013a; Wang et al., 2015; Yi et al., 2015). Στο σύστημα που ανέπτυξαν οι (Ren & O'Neill, 2013a) φαίνεται ότι είναι εφικτή η χρήση χειρονομιών με το Kinect σε μια κυκλική διάταξη πληκτρολογίου. Το σύστημα που παρουσίασαν οι (Yi et al., 2015) χρησιμοποιούσε τον αισθητήρα Leap motion και επέτρεπε την εναέρια πληκτρολόγηση με τα δέκα δάχτυλα σε ένα εικονικό πληκτρολόγιο, όπου οι χρήστες σημείωσαν έναν πολύ υψηλό ρυθμό πληκτρολόγησης (29,2 λέξεων ανά λεπτό). Ωστόσο, το συγκεκριμένο σύστημα πάσχει από έλλειψη απτικής ανατροφοδότησης και κόπωσης ειδικά σε μακρόχρονες συνεδρίες πληκτρολόγησης. Στην έρευνά τους οι (Markussen et al., 2013), εξέτασαν διαφορετικές τεχνικές πληκτρολόγησης με χρήση του ενός χεριού όπου

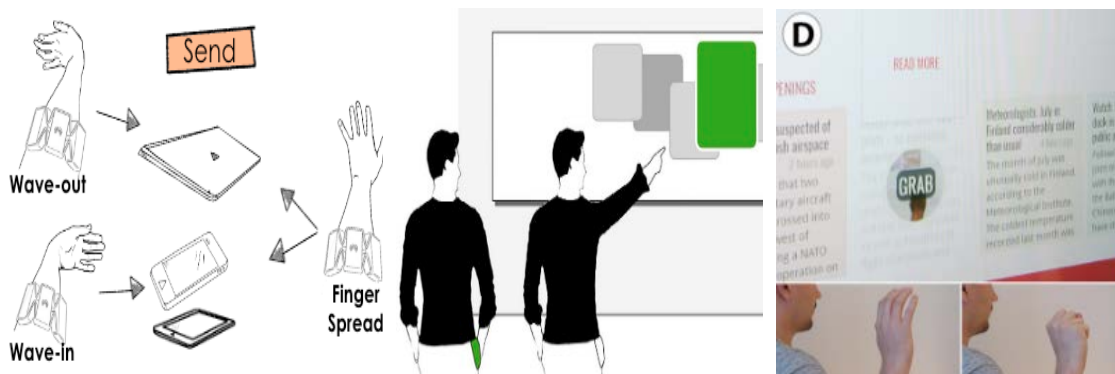
οι συμμετέχοντες έφτασαν κατά μέσο όρο 13,2 λέξεις ανά λεπτό. Οι ίδιοι ερευνητές, το 2014 (Markussen et al., 2014) παρουσίασαν ένα ηλεκτρολόγιο-λέξεων, στο οποίο οι χρήστες έδειχναν με το χέρι τους τα επιθυμητά εικονικά πλήκτρα των γραμμάτων, και επέλεγαν τις προτεινόμενες (από αλγόριθμο) λέξεις που εμφανίζονταν στην οθόνη.



Εικόνα 3.7 – Παραδείγματα μελετών με αντικείμενο την εισαγωγή κειμένου με ΕΑ (Markussen et al., 2014; Ren & O’Neill, 2013a; Yi et al., 2015)

3.1.10 Μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών

Πρόσφατα, ερευνητές έχουν δείξει αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον για φυσικές αλληλεπιδράσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία φορητών συσκευών με απομακρυσμένες οθόνες. Πιο συγκεκριμένα, έχει μελετηθεί κατά πόσο μπορεί η εναέρια αλληλεπίδραση να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συσκευών. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Di Geronimo et al., 2017) παρουσιάζεται ένα πρωτότυπο, το οποίο επιτρέπει την κοινή χρήση περιεχομένου μεταξύ συσκευών με εναέριες χειρονομίες. Η κύρια ιδέα είναι ότι αφού ο χρήστης έχει επιλέξει ένα στοιχείο σε μία συσκευή, μπορεί να εφαρμόσει ειδικές κινήσεις για να το στείλει στις άλλες συσκευές. Οι (Paay et al., 2017), διερεύνησαν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ έξυπνου κινητού και μεγάλης οθόνης με εναέριες κινήσεις χεριού και δαχτύλων. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να «τσιμπήσει» (μιμείται το τσίμπημα του αντικειμένου), ένα αντικείμενο στην επιφάνεια του τηλεφώνου, να σηκώσει το χέρι του, να δείξει μια συγκεκριμένη περιοχή της μακρινής οθόνης και να «ανοίξει» τα δάχτυλά του προκειμένου να μεταφερθεί το αντικείμενο στην οθόνη. Στην έρευνα του (R.-D. Vatavu, 2017), διερευνάται η χρήση ενσώματων χειρονομιών, που τις ονομάζει «έξυπνες τσέπες» (χειρονομίες που ο χρήστης ακουμπάει διαφορετικά σημεία του σώματός του) για τη μεταφορά αρχείων μεταξύ μιας απομακρυσμένης οθόνης και ενός κινητού τηλεφώνου. Αντίστοιχα οι (Mäkelä et al., 2018), εξέτασαν τις κινήσεις για τη μεταφορά δεδομένων (όπως εικόνες ή κείμενο) από απομακρυσμένες οθόνες προς έξυπνο κινητό το οποίο μπορεί να βρίσκεται στην τσέπη τους.



Εικόνα 3.8 – Παραδείγματα ερευνών με αντικείμενο την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών (Di Geronimo et al., 2017; Mäkelä et al., 2018; R.-D. Vatavu, 2017)

3.2 Εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους

Τα πεδία εφαρμογής όπου έχει εξεταστεί μέχρι σήμερα η εναέρια αλληλεπίδραση περιλαμβάνουν κυρίως αλληλεπίδραση με μία συσκευή (τηλεόραση, απομακρυσμένες οθόνες, κ.α.) ή μία εφαρμογή (εικονικοί κόσμοι, πολυμέσα, γραφικά περιβάλλοντα κ.α.). Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ΕΑ μπορεί να εφαρμοστεί ως κύρια ή εναλλακτική μορφή αλληλεπίδρασης σε χώρους όπου υπάρχουν περισσότερες από μία διαδραστικές συσκευές (στο ίδιο φυσικό περιβάλλον). Αντίστοιχα, υπάρχουν και οι περιπτώσεις όπου μία έξυπνη συσκευή παρέχει παραπάνω από μία διαφορετικές εφαρμογές/λειτουργίες, όπως για παράδειγμα οι έξυπνες τηλεοράσεις οι οποίες περιλαμβάνουν επιπλέον λειτουργίες όπως πλοήγηση στο Ίντερνετ, χειρισμό και αναπαραγωγή πολυμέσων (βίντεο, εικόνων, μουσικής, ραδιοφώνου) κ.α.

Στα πλαίσια της διατριβής χρησιμοποιείται ο όρος «αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους» καλύπτοντας περιπτώσεις όπου στο φυσικό περιβάλλον βρίσκονται τόσο μεμονωμένες συσκευές που παρέχουν μόνο μία λειτουργία, όσο και περιπτώσεις όπου μια έξυπνη συσκευή παρέχει παραπάνω διακριτές λειτουργίες. Ουσιαστικά ο «στόχος» μπορεί να είναι είτε μια συσκευή (που παρέχει μια λειτουργία) είτε μια από τις πολλές διαθέσιμες εφαρμογές που παρέχει μια έξυπνη συσκευή.

Κατά την ΕΑ με πολλαπλούς στόχους ο χρήστης θα πρέπει πρώτα να επιλέξει τη συσκευή ή την εφαρμογή που επιθυμεί και έπειτα να αλληλοεπιδράσει με αυτή. Τέτοια περιβάλλοντα μπορεί να είναι:

- Το «έξυπνο σπίτι» όπου διαφορετικές οικιακές συσκευές βρίσκονται στον ίδιο φυσικό χώρο (δωμάτιο) και ο χρήστης μπορεί να τις χειριστεί δίχως τη χρήση τηλεκοντρόλ.
- Το εσωτερικό κάποιου οχήματος, όπου ο οδηγός θα μπορεί να χειριστεί δευτερεύοντα συστήματα όπως τον κλιματισμό, τα παράθυρα, το υποσύστημα, το κινητό τηλέφωνο μέσω Bluetooth, με εναέριες χειρονομίες δίχως να αποσπάται η προσοχή του από την οδήγηση.
- Τεχνολογικά επαυξημένοι χώροι εκπαίδευσης (εργαστήρια, αμφιθέατρα, τάξεις κ.α.) όπου ο εκπαιδευτής θα μπορεί να χειρίζεται συσκευές (προβολείς, φωτισμός, στόρια, ήχο κ.α.) χωρίς τη χρήση τηλεχειριστηρίων.
- Αίθουσες επίδειξης σε εκθέσεις και μουσεία με τεχνολογική επαύξηση και απαιτήσεις διάδρασης των χρηστών με ψηφιακό περιεχόμενο.
- Αποστειρωμένοι χώροι (νοσοκομεία, χειρουργεία, εντατικές) όπου για λόγους διατήρησης της αποστείρωσης είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν λιγότερο κοινόχρηστα χειριστήρια.

3.2.1 Σχεδιαστικές προκλήσεις

Σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους, υπάρχουν πολλές σχεδιαστικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

- Οι πολλαπλοί στόχοι αλληλεπίδρασης στο ίδιο περιβάλλον αυξάνουν την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού χειρονομιών, της δημιουργίας πρωτοτύπων, της υλοποίησης και της αξιολόγησης. Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, που να περιλαμβάνει όλους τους στόχους ως ενιαίο σύστημα, θα ήταν καταλληλότερη (σε κάθε στάδιο) αντί να εξετάζει την αλληλεπίδραση με κάθε στόχο ξεχωριστά.
- Στην εναέρια αλληλεπίδραση με μία συσκευή, ο χρήστης πρέπει να θυμάται έναν περιορισμένο αριθμό χειρονομιών. Καθώς ο αριθμός των διαθέσιμων συσκευών αυξάνεται, οι πιθανές εντολές γίνονται πάρα πολλές. Ωστόσο, ο αριθμός των

χειρονομιών πρέπει με κάποιο τρόπο να διατηρείται μικρός για να είναι δυνατή η απομνημόνευσή τους.

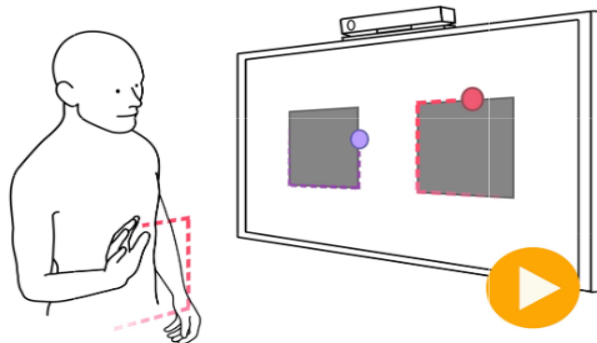
- Η δημιουργία πρωτοτύπων εναέριας αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους στον ίδιο φυσικό χώρο είναι πιο απαιτητική καθώς δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμες πλατφόρμες για τέτοιου είδους έρευνα. Ως αποτέλεσμα, οι περισσότερες έρευνες μέχρι τώρα σταματούν στη μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών (για μία συνήθως μεμονωμένη συσκευή). Επίσης έχουν γίνει κάποιες έρευνες για την αξιολόγηση της χρήσης χειρονομιών με πολλαπλούς στόχους, με την τεχνική του «μάγου του Οζ». Ωστόσο, σε ένα περιβάλλον με πολλούς στόχους και πολλές εντολές, ο ρόλος του «μάγου» είναι πολύ απαιτητικός και αναποτελεσματικός. Επιπλέον, αυτή η προσέγγιση είναι αποκλειστικά ποιοτική και ενδέχεται να μην παράγει δεδομένα βασισμένα σε στοιχεία σχετικά με τον πραγματικό χρόνο ολοκλήρωσης μιας ενέργειας, τους τύπους σφαλμάτων (ψευδώς θετικά ή αρνητικά), πιθανές συγκρούσεις χειρονομιών κ.λπ.
- Σε ένα περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο του «Αγγίγματος του Μίδα» (“Midas Touch”), το οποίο αναφέρεται στο πρόβλημα που παρουσιάζεται όταν κατά την αλληλεπίδραση, ενεργοποιούνται κάποιες εντολές κατά λάθος, τόσο στην ίδια συσκευή όσο και σε γειτονικές. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εμφανιστεί ιδιαίτερα όταν δύο ή περισσότερες χειρονομίες είναι παρόμοιες και ειδικά όταν οι δύο συσκευές βρίσκονται κοντά η μία στην άλλη, περιμένοντας ταυτόχρονα εντολές του χρήστη. Επομένως, υπάρχει ανάγκη ο χρήστης να «απευθυνθεί» στη συσκευή πριν ή κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης (Bellotti et al., 2002) και ταυτόχρονα, αυτή η «επικοινωνία» μεταξύ του χρήστη και της συσκευής θα πρέπει να απομονώνεται από τις άλλες συσκευές.
- Αν και είναι δυνατή η χρήση φορητών ή φορετών συσκευών για την εναέρια αλληλεπίδραση με απομακρυσμένους στόχους, κάτι τέτοιο δεν είναι εύχρηστο σε περιβάλλοντα με περαστικούς χρήστες, ή σε περιπτώσεις καθημερινών συχνών αλληλεπιδράσεων. Σε ένα «έξυπνο σπίτι» οι χρήστες αλληλεπιδρούν αρκετές φορές κατά την διάρκεια της ημέρας με πολλές συσκευές, χωρίς να φορούν ή να φέρουν ειδικούς αισθητήρες ή συσκευές. Επομένως, είναι προτιμότερο να μην χρησιμοποιηθούν αισθητήρες ή συσκευές που θα είναι αναγκασμένος να κρατάει ή να φοράει ο χρήστης για να αλληλεπιδράσει με τις συσκευές.
- Για να αντιμετωπίσουμε αυτές τις σχεδιαστικές προκλήσεις, δεν αρκεί μόνο να αναζητηθούν και να δοκιμαστούν κατάλληλες χειρονομίες για κάθε συσκευή ξεχωριστά. Αντιθέτως, θα πρέπει να οριστεί ένα απλό μοντέλο αλληλεπίδρασης που να παρέχει ένα εννοιολογικό «πλαίσιο αναφοράς» για τον χρήστη και να ακολουθεί μερικές απλές σχεδιαστικές αρχές συνολικά για όλο το οικοσύστημα συσκευών. Επιπλέον η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους είναι μια σύνθετη εργασία (W. Buxton & Myers, 1986) η οποία περιλαμβάνει την απεύθυνση του χρήστη στη συσκευή και έπειτα την παροχή εντολής σε αυτή.

3.2.2 Εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλά στοιχεία γραφικής διεπαφής χωρίς δεικτικές χειρονομίες

Η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές ή στόχους παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την περίπτωση της εναέριας αλληλεπίδρασης με γραφικές διεπαφές χρήστη (GUIs) σε απομακρυσμένες οθόνες όπου δεν χρησιμοποιούν κάποιου είδους δείκτη (pointer). Σε αυτή την περίπτωση, ο χρήστης, πριν χειριστεί το επιθυμητό στοιχείο ελέγχου της διεπαφής, θα πρέπει πρώτα να το επιλέξει.

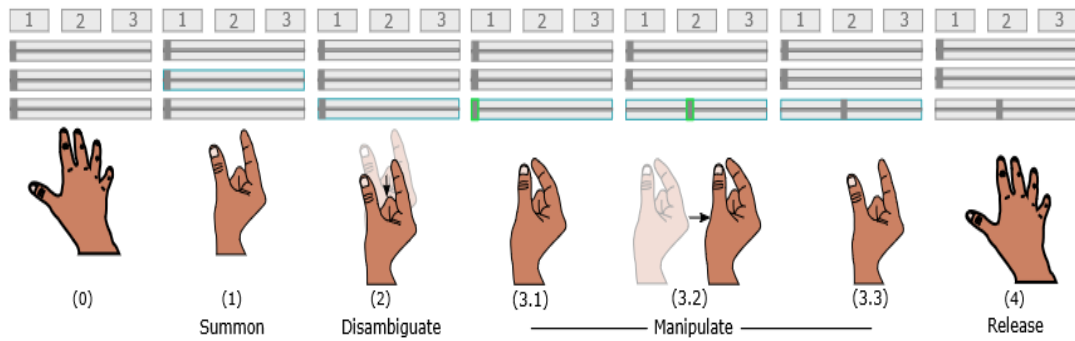
Για παράδειγμα, στην έρευνά τους οι (Schwaller et al., 2013) χρησιμοποίησαν την προσέγγιση της «κατάδειξης και εντολής» (point and command), όπου το ένα χέρι χρησιμοποιείται για κατάδειξη μέσω δεικτικής χειρονομίας, ενώ το άλλο για τέσσερις βασικές εντολές: επιλογή (selection), μεταφορά και απόθεση (drag and drop), περιστροφή (rotation), και μεγέθυνση (zoom) απλών γεωμετρικών σχημάτων σε ένα διδιάστατο γραφικό περιβάλλον. Ωστόσο, η κατάδειξη με εναέρια χειρονομία είναι δύσκολο να ασκηθεί σωστά από τους χρήστες με γυμνά χέρια, όταν δεν υπάρχουν ορατά σημάδια του δρομέα στην γραφική διεπαφή και όταν τα μεγέθη των στόχων είναι μικρά (Bernardos et al., 2016).

Μια διαφορετική προσέγγιση εφαρμόστηκε από τους (Carter et al., 2016a) που επιτρέπει την αλληλεπίδραση πολλών χρηστών με διάφορα στοιχεία ελέγχου, σε μια απλή γραφική διεπαφή σε απομακρυσμένη οθόνη. Το μοντέλο αλληλεπίδρασης που χρησιμοποίησαν (ονομάζεται pathsync) απαιτεί από τους χρήστες να εφαρμόσουν μια χειρονομία στον αέρα που να είναι αντίστοιχη με ένα μοτίβο που αναπαράγεται στην οθόνη προκειμένου να ενεργοποιήσουν ένα στοιχείο ελέγχου διεπαφής (πχ ένα κουμπί) και στη συνέχεια να ασκήσουν χειρονομίες για τον χειρισμό του. Τα μοτίβα που αναπαράγονται στην οθόνη είναι επεκτάσεις των παραδοσιακών στοιχείων ελέγχου διεπαφής χρήστη. Για παράδειγμα, για ένα κουμπί, γύρω από αυτό σχεδιάζεται ένα περίγραμμα με ενδείξεις για τα σημεία της αρχής και του τέλους της χειρονομίας (Εικόνα 3.9). Το “pathsync” είναι μια διαισθητική προσέγγιση εναέριας αλληλεπίδρασης με μια γραφική διεπαφή σε απομακρυσμένες οθόνες, με την προϋπόθεση ότι τα μοτίβα είναι εύκολα αναγνωρίσιμα από απόσταση. Η προσέγγιση αυτή όμως δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους στον φυσικό χώρο, καθώς δεν είναι διαισθητικό να χρησιμοποιούνται δείκτες ή μοτίβα σε κάθε συσκευή.



Εικόνα 3.9 – “pathsync”: Επιλογή στόχων ακολουθώντας το αντίστοιχο μοτίβο με τα χέρια (Carter et al., 2016a)

Άλλη προσέγγιση στην οποία γίνεται επιλογή των στοιχείων ελέγχου της γραφικής διεπαφής πριν τον χειρισμό της ερευνήθηκε από τους (Gupta et al., 2017) και ονομάστηκε «κάλεσμα και επιλογή» (summon and select). Ο συγκεκριμένος τρόπος αλληλεπίδρασης επέτρεπε στον χρήστη να καλεί (απευθύνεται) σε ένα στοιχείο της διεπαφής χρησιμοποιώντας μια μοναδική πόζα του χεριού του (Εικόνα 3.10). Στη συνέχεια κινώντας το χέρι του μπορούσε να χειριστεί το στοιχείο που είχε “καλέσει” (πχ να το περιστρέψει, αυξομειώσει κλπ.). Οι αλληλεπιδράσεις «καλέσματος και επιλογής» είναι αλληλεπιδράσεις που γίνονται με ένα χέρι και απαιτούν από τον χρήστη να ασκεί δύο χειρονομίες για κάθε χειρισμό, πρώτα για κλήση (του στοιχείου) και μετά για επιλογή (της εντολής).

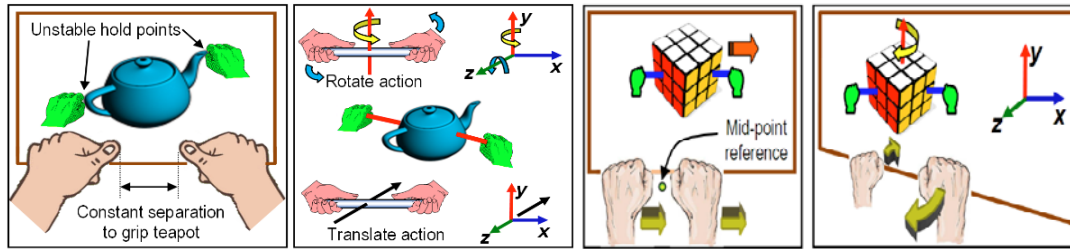


Εικόνα 3.10 – “summon and select”: Χρήση μοναδικής πόζας των δαχτύλων για την απεύθυνση σε συγκεκριμένο στοιχείο της διεπαφής (Gupta et al., 2017)

Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις υπόσχονται διαισθητικούς τρόπους αλληλεπίδρασης για το χειρισμό διαφόρων στοιχείων της διεπαφής. Τα μοντέλα αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιούνται είναι απλά, κατανοητά στους χρήστες και τους βοηθούν να θυμούνται ή να προβλέπουν με επιτυχία τις σωστές χειρονομίες. Ωστόσο, δεν μπορούν να μεταφερθούν άμεσα στην περίπτωση της εναέριας αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους ή συσκευές στο φυσικό χώρο για διάφορους λόγους. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο “point and command”, χρησιμοποιεί χειρονομίες κατάδειξης (με τον δείκτη) για την απεύθυνση. Στην περίπτωση που υπάρχουν διαφορετικές συσκευές, τοποθετημένες κοντά ή μια στην άλλη, δεν θα ήταν τεχνικά εύκολη η κατανόηση ποιας συσκευής καταδεικνύει ο χρήστης, με μεγάλο κίνδυνο να εμφανίζεται το φαινόμενο του «αγγίγματος του Μίδα». Το μοντέλο, “pathsync”, απαιτεί από το χρήστη να εφαρμόζει μια κίνηση-μοτίβο για την απεύθυνση, πριν από κάθε εντολή. Αυτό, στην περίπτωση πολλών συσκευών με πολλαπλές εντολές, θα έκανε την αλληλεπίδραση χρονοβόρα και συνεπώς θα επηρέαζε την εμπειρία του χρήστη. Το μοντέλο “summon and select” απαιτεί από το χρήστη να θυμάται την πόζα του χειριστηρίου. Στην περίπτωση των πολλαπλών συσκευών με πολλές διαθέσιμες λειτουργίες σε κάθε μια, θα έπρεπε ο χρήστης να θυμάται μία πόζα για κάθε λειτουργία ανά συσκευή, το οποίο δεν θα έκανε το σύστημα εύχρηστο.

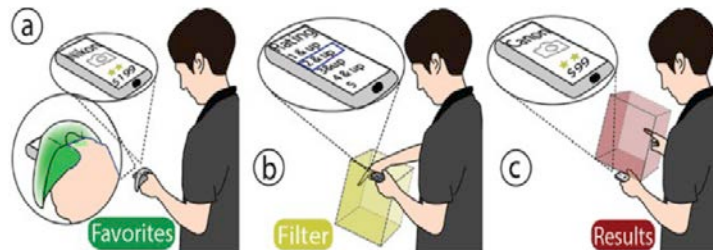
3.2.3 Εναέρια αλληλεπίδραση με δύο χέρια για σύνθετες εργασίες

Η εναέρια αλληλεπίδραση αξιοποιεί κυρίως κινήσεις που γίνονται με τα χέρια, οι οποίες μπορεί να εφαρμόζονται με ένα χέρι που ονομάζονται και μονόχειρες χειρονομίες (unimanual gestures) ή και τα δύο χέρια που ονομάζονται αμφίχειρες χειρονομίες (bimanual gestures). Τα πλεονεκτήματα των αμφίχειρων χειρονομιών έχουν τεκμηριωθεί από πρώιμες μελέτες της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή (HCI). Για παράδειγμα, οι (W. Buxton, 1995; W. Buxton & Myers, 1986), αναφέρονται ως προς τη φυσικότητα της χρήση και των δύο χεριών σε πολλές καθημερινές εργασίες (όπως αλλαγή ταχυτήτων κατά την οδήγηση, αλλαγή σελίδας κρατώντας ένα βιβλίο, κ.α.), και έδειξαν με πειραματικό τρόπο ότι η απόδοση βελτιώνεται όταν δευτερεύουσες εργασίες κατανέμονται σε διαφορετικά χέρια. Επιπλέον, οι (Leganchuk et al., 1999) παρουσιάζουν δύο τύπους πλεονεκτημάτων της χρήσης των δύο χεριών στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή: 1) το κινητικό όφελος, το οποίο προέρχεται από τους αυξημένους βαθμούς ελευθερίας που διατίθενται ταυτόχρονα στον χρήστη και 2) τα γνωστικά οφέλη, τα οποία “προκύπτουν ως αποτέλεσμα της μείωσης του φόρτου της διανοητικής σύνθεσης και οπτικοποίησης της εργασίας σε χαμηλό νοητικό επίπεδο το οποίο έχει αναπτυχθεί μέσα από τις καθημερινές, δίχειρες εργασίες”.



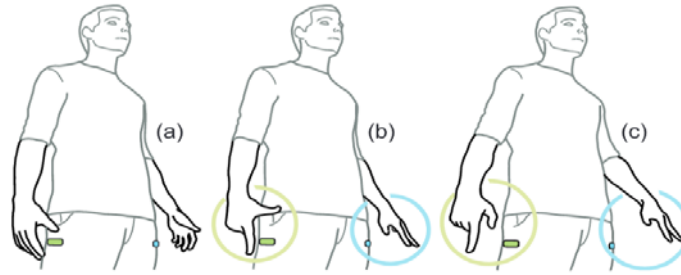
Εικόνα 3.11 – “handle-bar metaphor”: Περιστροφή, τοποθέτηση και μεγέθυνση τρισδιάστατων μοντέλων (Song et al., 2012)

Οι εναέριες χειρονομίες μπορεί να είναι πιο εύχρηστες για σύνθετες ή περίπλοκες εργασίες. Αυτό ισχύει κυρίως όταν οι χειρονομίες παρέχουν ένα «πλαίσιο αναφοράς», μια μεταφορά, ή ακολουθούν απλές αρχές σχεδιασμού που είναι εύκολο να μάθουν ή να μαντέψουν οι χρήστες. Στην εναέρια αλληλεπίδραση, έχουν παρουσιαστεί ορισμένες διαισθητικές προσεγγίσεις με χρήση δύο χεριών σε απομακρυσμένες οθόνες που έχουν δοκιμαστεί εμπειρικά. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Song et al., 2012), διερευνήθηκε η σχεδίαση της εναέριας αλληλεπίδρασης ώστε να υποστηρίξει το χειρισμό (όπως τοποθέτηση, μεγέθυνση, περιστροφή κ.α.) τρισδιάστατων μοντέλων σε εικονικό κόσμο. Χρησιμοποιήθηκε η μεταφορά «ράβδου χειρολαβής» (handle-bar metaphor) όπου ο χρήστης έπρεπε να φανταστεί ότι κρατάει με τα δύο του χέρια μια ράβδο όπου στο κέντρο της βρίσκεται το εικονικό αντικείμενο, διασυνδέοντας τις κινήσεις των χεριών του, με τις αντίστοιχες λειτουργίες χειρισμού του συγκεκριμένου αντικειμένου (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.12 – “airpane”: αλληλεπίδραση με κινητό τηλέφωνο με χειρονομίες γύρω από τη συσκευή (Hasan et al., 2017)

Η έρευνα των (Hasan et al., 2017), εστίασε στην εναέρια αλληλεπίδραση γύρω από μια κινητή συσκευή, για την αναζήτηση πληροφοριών μέσα σε μεγάλες λίστες δεδομένων, και λήψη αποφάσεων. Χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης (“airpane”) όπου ο χρήστης με το ένα χέρι κρατάει την κινητή συσκευή (κινητό τηλέφωνο) παρέχοντας ένα πλαίσιο αναφοράς, στο οποίο περιηγείται με το άλλο χέρι μέσω εναέριων χειρονομιών με τα δάχτυλα (Εικόνα 3.12). Η έρευνα των (M. Liu et al., 2015), παρουσίασε το μοντέλο “Gunslinger” το οποίο χρησιμοποιούσε κινήσεις και πόζες και των δύο χεριών του χρήστη, ενώ αυτά βρίσκονταν κατεβασμένα στο ύψος των γοφών (Εικόνα 3.13), σε στάση χαλάρωσης για τον χειρισμό δισδιάστατων διεπαφών σε απομακρυσμένες οθόνες, εξετάζοντας προβλήματα κόπωσης, κοινωνικής αμηχανίας κ.α.. Τα τρία αυτά μοντέλα αλληλεπίδρασης χρησιμοποιούν αμφίχειρες χειρονομίες και αξιολογήθηκαν εμπειρικά σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν ένα μόνο στόχο/συσκευή (τρειςδιάστατο αντικείμενο, παράθυρο στην οθόνη κινητού τηλεφώνου, γραφικά αντικείμενα σε απομακρυσμένες οθόνες).



Εικόνα 3.13 – “gunslinger”: χρήση χειρονομιών με τα χέρια στο ύψος των γοφών (M. Liu et al., 2015)

3.3 Η εναέρια αλληλεπίδραση στο «έξυπνο σπίτι»

3.3.1 Το ‘έξυπνο σπίτι’

Η διδακτορική έρευνα εξετάζει το «έξυπνο σπίτι» ως ένα παράδειγμα περιβάλλοντος με πολλαπλούς στόχους για πολλούς λόγους. Αρχικά, επειδή όλες σχεδόν οι συσκευές που περιλαμβάνει βρίσκονται σε πολλά σπίτια και είναι ήδη γνώριμες στους χρήστες. Επιπλέον, στην περίπτωση του «έξυπνου σπιτιού», υπάρχει και αντίστοιχο ενδιαφέρον από τους χρήστες να χρησιμοποιούν φυσικές μορφές αλληλεπίδρασης. Μάλιστα, προηγούμενες έρευνες σχετικά με τις προσδοκίες των χρηστών για τα μελλοντικά έξυπνα σπίτια και τις τεχνολογίες σε αυτά, έδειξαν ότι οι άνθρωποι επιθυμούν να αλληλοεπιδρούν με το σπίτι με ευκολότερους και πιο φυσικούς τρόπους (Eggen et al., 2003) που απαιτούν ελάχιστη προσπάθεια, χρησιμοποιώντας διάχυτες τεχνολογίες (Brush et al., 2011). Επίσης, η χρήση εναέριων χειρονομιών για την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του «έξυπνου σπιτιού», είναι σύμφωνη με τις προσδοκίες των χρηστών σχετικά με θέματα αυτοματισμού σε μελλοντικά σπίτια (Coskun et al., 2018).

Ο χειρισμός συσκευών ενός έξυπνου σπιτιού με εναέρια αλληλεπίδραση αποτελεί και μια εν δυνάμει λύση σε προβλήματα που παρουσιάζει η αλληλεπίδραση με χρήση τηλεχειριστηρίων. Πιο συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι: τα σημερινά τηλεχειριστήρια έχουν γίνει εξαιρετικά πολύπλοκες συσκευές με πολλά πλήκτρα οι οποίες ενδέχεται να απαιτούν προσαρμογή και εκμάθηση για ορισμένους χρήστες (Bobeth et al., 2012; Cooper & Cronin, 2007; Dong et al., 2015; Ren & O’Neill, 2013a; Ruser et al., 2021), μόνο ο χρήστης που κρατάει το τηλεχειριστήριο μπορεί να χειριστεί τη συσκευή (Bailly et al., 2011), συχνά αυτά χαλάνε, χάνονται ή απαιτούν μπαταρίες για να λειτουργήσουν (Bernhaupt et al., 2008; R.-D. Vatavu, 2012), τα περισσότερα από αυτά δεν έχουν οπίσθιο φωτισμό και είναι δύσκολη η χρήση τους στο σκοτάδι (R.-D. Vatavu, 2012), ιδιαίτερα στην περίπτωση που το τηλεχειριστήριο περιλαμβάνει οθόνη αφής απαιτείται οπτική επαφή από τον χρήστη (Dezfuli et al., 2012; Wu et al., 2016), κ.α. Επιπλέον, στην μελέτη των (Dim et al., 2016) αναφέρθηκε ότι άτομα με απώλεια όρασης αντιμετωπίζουν μεγάλη δυσκολία κατά την αναζήτηση του τηλεχειριστηρίου στο χώρο καθώς επίσης και για την κατανόηση της διάταξης των πλήκτρων. Η ΕΑ, μπορεί να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα, ακόμη και να αντικαταστήσει το τηλεκοντρόλ για τις καθημερινές, απλές και πιο συνηθισμένες λειτουργίες των συσκευών.

3.3.2 Μελέτες εκμείευσης χειρονομιών για εναέρια αλληλεπίδραση με το «έξυπνο σπίτι»

Στον τομέα του «έξυπνου σπιτιού», έχουν χρησιμοποιηθεί μελέτες εκμείευσης χειρονομιών για την διερεύνηση της εναέριας αλληλεπίδρασης με μία μόνο συσκευή, όπως η

τηλεόραση (Dim et al., 2016; Dong et al., 2015; R. D. Vatavu & Zaiti, 2014; Wu et al., 2016; Wu & Wang, 2012; Zaiti et al., 2015), ή ο φούρνος (Garzotto & Valoriani, 2012). Άλλοι ερευνητές αντιλαμβάνονται τις έξυπνες τηλεοράσεις ως πλατφόρμες που περικλείουν τη λειτουργικότητα διαφόρων άλλων οικιακών συσκευών και τις χρησιμοποιούν για να χειριστούν μεμονωμένες λειτουργίες που σχετίζονται συνήθως με πολυμέσα, όπως πλοήγηση στο διαδίκτυο, έλεγχος αναπαραγωγής μουσικής ή βίντεο, αλληλεπίδραση με συλλογή εικόνων και πλοήγηση σε χάρτες (Koutsabasis & Domouzis, 2016; S.-S. Lee et al., 2013; Löcken et al., 2011; Morris, 2012; Siddhpuria et al., 2017; R. D. Vatavu & Zaiti, 2014).

Πιο συγκεκριμένα, αρκετές μελέτες χρησιμοποιούν την εναέρια αλληλεπίδραση για να βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη στις έξυπνες τηλεοράσεις, σε περισσότερο διαδραστικές συσκευές πολυμέσων. Για παράδειγμα οι (Zaiti et al., 2015), πρότειναν λεξιλόγια χειρονομιών για τον έλεγχο της τηλεόρασης, ενώ οι (Dim et al., 2016) ερεύνησαν λεξιλόγια χειρονομιών για τυφλούς χρήστες. Οι (S.-S. Lee et al., 2013) διερεύνησαν με ποιον τρόπο οι χρήστες χειρίζονται ψηφιακό περιεχόμενο σε απομακρυσμένη οθόνη, σε ένα περιβάλλον σαλονιού, χρησιμοποιώντας εναέρια αλληλεπίδραση, με μια μέθοδο που συνδύαζε εκμαίευση χειρονομιών και «μάγο του Οζ». Στην έρευνά του ο D. Vatavu (Radu-Daniel, 2013), παρουσίασε μια μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός συστήματος οικιακής ψυχαγωγίας, εντοπίζοντας 22 τυπικές εργασίες παρουσιάζοντας και συγκρίνοντας δύο σετ χειρονομιών, ένα με εναέρια αλληλεπίδραση και ένα με χρήση χειριστηρίου. Στις παραπάνω μελέτες, η εναέρια αλληλεπίδραση έχει εφαρμοστεί σε μια μεμονωμένη συσκευή (π.χ. τηλεόραση) ή περίπτωση χρήσης (π.χ. χειρισμός εικόνων), και συνεπώς το πρόβλημα της απεύθυνσης (στην επιθυμητή συσκευή) πριν την εντολή, δεν είναι εμφανές.

Ένας περιορισμένος αριθμός ερευνών εξέτασε την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλές οικιακές συσκευές. Για παράδειγμα, στην έρευνα των (Kühnel et al., 2011) το περιβάλλον του έξυπνου σπιτιού αποτελούταν από περσίδες, λάμπες φωτισμού, τηλεόραση, συσκευή εγγραφής βίντεο, και τηλεφωνητή. Σε εκείνη την εργασία, διεξήχθη μια μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών για να ανακαλύψουν χειρονομίες που εκτελούνται με το ένα χέρι κρατώντας ένα χειριστήριο. Ομοίως, μια μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών διεξήχθη από τους (E.-J. Choi et al., 2012) για την εύρεση κατάλληλων χειρονομιών για τον έλεγχο διαφόρων λειτουργιών σε κλιματιστικό, τηλεόραση, φάτα, στόρια, κουρτίνα, πόρτα και παράθυρα σε περιβάλλον ενός έξυπνου σπιτιού. Από αυτές τις μελέτες, καμία δεν είχε υλοποιήσει κάποιο λειτουργικό πρωτότυπο προκειμένου να εφαρμόσει μια εμπειρική αξιολόγηση.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τεχνική του «μάγου του Όζ» (Green, 1985) εφαρμόστηκε για να μιμηθεί την ανταπόκριση του συστήματος στις χειρονομίες του χρήστη είτε κατά το στάδιο της εκμαίευσης χειρονομιών είτε κατά τα πρώιμα στάδια αξιολόγησής τους. Ωστόσο, η τεχνική του «μάγου του Οζ» υστερεί σε αρκετά θέματα ιδίως όταν χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση μεγάλου αριθμού χειρονομιών (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2021): 1) ο ρόλος του «μάγου» είναι αρκετά απαιτητικός αν όχι αδύνατος καθώς καλείται να θυμάται και να παρακολουθεί μεγάλο αριθμό χειρονομιών, 2) είναι αδύνατο να εξεταστεί το φαινόμενο «αγγίγματος του Μίδα» καθώς θα βασίζεται καθαρά στην εκτίμηση του «μάγου», 3) στην περίπτωση που μια αλληλεπίδραση απαιτείται παραπάνω από μία χειρονομίες, η ικανότητα αναγνώρισης και ο χρόνος απόκρισης του «μάγου» θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την εμπειρία του χρήστη, 4) ορισμένα ποσοτικά δεδομένα όπως για παράδειγμα ο χρόνος ολοκλήρωσης της εργασίας, τα ψευδώς θετικά και ψευδώς αρνητικά σφάλματα δεν μπορούν να μετρηθούν σωστά γιατί εξαρτώνται από τα αντανακλαστικά του «μάγου». Από την άλλη πλευρά, η αξιολόγηση με ένα λειτουργικό πρωτότυπο μπορεί να προσφέρει αυθεντικά δεδομένα σχετικά με την

εμπειρία του χρήστη και να αποκαλύψει προβλήματα που δεν θα είχαν αποκαλυφθεί με την τεχνική του «μάγου του Οζ». Επομένως, μια ολοκληρωμένη ερευνητική μεθοδολογία που να αποτελείται από εκμείωση χειρονομιών, δημιουργία πρωτοτύπων και εμπειρική αξιολόγηση μπορεί να διερευνήσει διεξοδικά την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές σε ένα περιβάλλον έξυπνου σπιτιού.

3.3.3 Πρωτοτυποποίηση της εναέριας αλληλεπίδραση με το «έξυπνο σπίτι»

Η ιδέα της αλληλεπίδρασης με πολλαπλές συσκευές σε ένα περιβάλλον έξυπνου σπιτιού έχει διερευνηθεί σε ορισμένες εργασίες με τη χρήση λειτουργικών πρωτοτύπων.

Η χρήση εναέριων χειρονομιών για την αλληλεπίδραση με πέντε συσκευές μέσω γραφικής διεπαφής χρήστη (Graphical User interface - GUI) διερευνήθηκε από τους (Dinh et al., 2014) δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην απόδοση της αναγνώρισης των χειρών και των μικροχειρονομιών με κάμερες βάθους. Στη συγκεκριμένη εργασία το σετ χειρονομιών, δεν προέκυψε από κάποια μελέτη εκμείωσης χειρονομιών αλλά ορίστηκε από τους ερευνητές οι οποίοι εκπαίδευσαν ένα νευρωνικό δίκτυο προκειμένου να αναγνωρίζονται οι χειρονομίες από την κάμερα βάθους. Το ποσοστό αναγνώρισης του συστήματος αξιολογήθηκε, αλλά δεν υπήρξε έρευνα σχετικά με την εμπειρία χρήστη και τη ευχρηστία. Στην εργασία τους οι (Caon et al., 2011), αξιοποίησαν τις συντεταγμένες του χρήστη στο χώρο για να κατανοήσουν μπροστά από ποια συσκευή βρίσκεται ο χρήστης προκειμένου να την ενεργοποιήσει ή να την απενεργοποιήσει με μια δεικτική χειρονομία. Αν και διεξήγαγαν αξιολόγηση της ευχρηστίας του συστήματος, οι διαθέσιμες εντολές ήταν μόνο ενεργοποίηση και απενεργοποίηση. Οι ίδιες δύο εντολές σε πέντε οικιακές συσκευές διερευνήθηκαν επίσης στο (Ng et al., 2011). Τέτοιες προσεγγίσεις δεν είναι αποτελεσματικές ή επεκτάσιμες όταν απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός διαθέσιμων εντολών.

Μια διαφορετική προσέγγιση για τον έλεγχο διαφορετικών οικιακών συσκευών προτείνεται στην έρευνα των (Guesgen & Kessell, 2012). Αντί να χρησιμοποιούν ένα ενιαίο σύστημα αναγνώρισης χειρονομιών για όλες τις συσκευές, προτείνουν ένα αποκεντρωμένο σύστημα όπου κάθε συσκευή θα έχει το δικό της αισθητήρα αναγνώρισης (κάμερα) και θα μπορεί να αναγνωρίζει χειρονομίες που εκτελούνται μέσα στο οπτικό της πεδίο. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί από το χρήστη να κινηθεί προς την επιθυμητή συσκευή και να αλληλεπιδράσει με αυτή όταν θα βρίσκεται κοντά της, κάτι το οποίο δεν είναι αποτελεσματικό σε περιπτώσεις όταν ο χρήστης δεν μπορεί να προσεγγίσει τη συσκευή ή βρίσκεται σε κατάσταση χαλάρωσης.

3.3.4 Μελέτες Περίπτωσης

Όπως προκύπτει από τα προηγούμενα κεφάλαια, η ΕΑ με πολλαπλούς στόχους συνοδεύεται και από αρκετές σχεδιαστικές προκλήσεις, οι οποίες μέχρι τώρα δεν έχουν διερευνηθεί εκτενώς μέσω κάποιας άρτιας ερευνητικής μεθοδολογίας. Στα παρακάτω κεφάλαια περιγράφονται δύο μελέτες περίπτωσης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διατριβής προκειμένου να διερευνηθούν ερωτήματα όπως:

- κατά πόσο είναι εφικτή η αλληλεπίδραση σε ένα περιβάλλον με πολλαπλούς διαδραστικούς στόχους,
- με ποιόν τρόπο μπορεί να σχεδιαστεί η αλληλεπίδραση ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σύνολο των διαφορετικών χειρονομιών που θα πρέπει να απομνημονεύσει ο χρήστης,

- ποιο μοντέλο αλληλεπίδρασης μπορεί να εφαρμοστεί προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα λάθη και να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη η αλληλεπίδραση του χρήστη.

Για το σκοπό αυτό δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα αλληλεπίδρασης, το «Απεύθυνση-έπειτα-εντολή» και το «Απεύθυνση-και-εντολή». Οι μελέτες περίπτωσης περιλαμβάνουν την ίδια μεθοδολογία που περιλαμβάνει τα στάδια της 1) εκμείευσης χειρονομιών, 2) υλοποίησης πρωτοτύπου και 3) εμπειρικής αξιολόγησης των χειρονομιών. Τέλος, τα αποτελέσματα των δύο μελετών συγκρίνονται για να βρεθεί ποιο μοντέλο αλληλεπίδρασης είναι καλύτερο σε περιπτώσεις ΕΑ με πολλαπλούς στόχους.

3.4 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν τα πεδία εφαρμογής της εναέριας αλληλεπίδρασης που έχουν ερευνηθεί περισσότερο τα τελευταία χρόνια, από όπου προκύπτει ότι η ΕΑ έχει εξεταστεί σαν μορφή αλληλεπίδρασης μόνο με ένα στόχο (συσκευή).

Παρουσιάστηκε επίσης η έννοια της «ΕΑ με πολλαπλούς στόχους» και αναφέρθηκαν σχεδιαστικές προκλήσεις που προκύπτουν λόγω αυξημένου αριθμού στόχων στον ίδιο χώρο, όπως: 1) το πρόβλημα της «απεύθυνσης» στον στόχο, πριν την εντολή, 2) ο μεγάλος αριθμός χειρονομιών που θα πρέπει να απομνημονεύσει ο χρήστης, 3) το φαινόμενο του «αγγίγματος του Μίδα», 4) τη δυσκολία υλοποίησης λειτουργικών πρωτοτύπων που να περιλαμβάνει όλους τους στόχους.

Αναζητήθηκαν προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων από άλλες μελέτες. Στο πρόβλημα της επιλογής στόχων με ΕΑ, παρουσιάστηκαν κάποιες προσεγγίσεις οι οποίες όμως για διαφορετικούς λόγους δεν μπορούν να μεταφερθούν στην περίπτωση ύπαρξης πολλαπλών στόχων.

Διερευνήθηκε το έξυπνο σπίτι, ως παράδειγμα περιβάλλοντος με πολλαπλούς στόχους και παρουσιάστηκαν έρευνες που έχουν γίνει όπου χρησιμοποιείται η ΕΑ για το χειρισμό συσκευών μέσα σε αυτό. Οι περισσότερες έρευνες εξετάζουν την ΕΑ με μεμονωμένες οικιακές συσκευές. Οι έρευνες εκείνες που εξετάζουν την ΕΑ με πολλαπλές συσκευές, είναι λίγες και είτε δεν έχουν εφαρμόσει εμπειρική αξιολόγηση με κάποιο πρωτότυπο, είτε έχουν προχωρήσει στην αξιολόγηση με τη χρήση της τεχνικής του «μάγου του Οζ» (χωρίς την κάποιο λειτουργικό πρωτότυπο), είτε έχουν υλοποιήσει λειτουργικό πρωτότυπο, αλλά δεν έχουν εφαρμόσει εμπειρική αξιολόγηση. Το γενικότερο συμπέρασμα είναι ότι η ΕΑ με πολλαπλούς στόχους δεν έχει διερευνηθεί μέσω μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας που να περιλαμβάνει εκμείευση χειρονομιών, υλοποίηση πρωτοτύπου και αξιολόγηση.

4. Μελέτη περίπτωσης 1: “Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή” – Μοντέλο αλληλεπίδρασης με εναέριες χειρονομίες σε περιβάλλον με πολλαπλές συσκευές

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-έπειτα-εντολή» (ΑεΕ) σύμφωνα με το οποίο αλληλεπίδραση περιλαμβάνει δύο διαδοχικά βήματα που μεταφράζονται σε χειρονομίες που πρέπει να κάνει ο χρήστης. Το πρώτο είναι απαραίτητο για την απεύθυνση στην επιθυμητή συσκευή και το δεύτερο χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει μια λειτουργία σε αυτή. Παρουσιάζεται η πρακτική αξιοποίηση του μοντέλου αλληλεπίδρασης στην περίπτωση χειρισμού 7 διαφορετικών οικιακών συσκευών τοποθετημένων στον ίδιο φυσικό χώρο σε περιβάλλον χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας. Η προσέγγιση περιλαμβάνει εκμαίευση χειρονομιών, πρωτοτυποποίηση και εμπειρική αξιολόγηση. Στόχος της μελέτης είναι να απαντηθούν τα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιο σετ χειρονομιών του μοντέλου αλληλεπίδρασης ΑεΕ είναι καταλληλότερο και πως αυτό μπορεί να προκύψει μέσω κάποιας χρηστοκεντρικής μεθόδου;
- Υπάρχει συνέπεια στις χειρονομίες που προτείνει κάθε χρήστης όταν αφορά όμοιες λειτουργίες, αλλά σε διαφορετικές συσκευές;
- Πως μπορεί να σχεδιαστεί ένα λειτουργικό πρωτότυπο με πολλαπλές συσκευές, προκειμένου να γίνει αξιολόγηση των προτεινόμενων χειρονομιών με αυτό;
- Όσο αφορά το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ, πόσο αποτελεσματικό και εύχρηστο φάνηκε στους χρήστες; Πως αντιμετωπίζει το πρόβλημα του «αγγίγματος του Μίδα» και κατά πόσο οι χρήστες μπορούν να θυμούνται όλες τις διαθέσιμες χειρονομίες του συστήματος;

4.1 Μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Έπειτα-Εντολή» (ΑεΕ): Βασικές έννοιες

Η πλειοψηφία των μελετών σχετικά με την ΕΑ, ασχολείται με τον χειρισμό μεμονωμένων εφαρμογών ή συσκευών (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b). Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου θα απαιτείται ταυτόχρονη επικοινωνία του χρήστη με πολλές συσκευές όπως για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός έξυπνου σπιτιού, ενός αυτοκινήτου ή ενός τεχνολογικά επαυξημένου δημόσιου κλειστού χώρου (πχ. αμφιθέατρο, σε βιομηχανικούς χώρους). Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρήστης θα πρέπει να απευθυνθεί σε κάθε μία συσκευή του χώρου (πρόβλημα της απεύθυνσης) και έπειτα να την χειριστεί μέσω ΕΑ. Ταυτόχρονα, το σύνολο των χειρονομιών που πρέπει να θυμάται ο χρήστης θα πρέπει να παραμένει μικρό για να μπορεί να το θυμάται πιο εύκολα (πρόβλημα απομνημόνευσης). Επί του παρόντος, υπάρχουν πολύ λίγες μελέτες που να ασχολούνται με την ΕΑ με πολλαπλές συσκευές (E. Choi et al., 2014; Hoffmann et al., 2019; Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2018), οι οποίες έχουν προχωρήσει μέχρι το στάδιο της εμπειρικής έρευνας εξαγωγής λεξιλογίου χειρονομιών, χωρίς όμως να το έχουν αξιολογήσει με κάποιο πρωτότυπο.

Στην παρούσα μελέτη, προτείνεται το μοντέλο αλληλεπίδρασης “Απεύθυνση-έπειτα-εντολή” (ΑεΕ), το οποίο επιτρέπει τον χειρισμό πολλαπλών συσκευών με χειρονομίες στον αέρα. Εξετάζεται η περίπτωση χειρισμού οικιακών συσκευών σε ένα περιβάλλον ενός έξυπνου σπιτιού. Ακολουθείται μια χρηστοκεντρική διαδικασία εκμείευσης χειρονομιών για την εξαγωγή ενός λεξιλογίου χειρονομιών, το οποίο αξιολογείται με κάποιο λειτουργικό πρωτότυπο. Μέσω της αξιολόγησης ερευνώνται διάφορες πτυχές της εμπειρίας του χρήστη, της ευχρηστίας του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα εξετάζεται κατά πόσο αποτελεσματικά αντιμετωπίζει το πρόβλημα της απεύθυνσης, και το πρόβλημα της απομνημόνευσης των χειρονομιών.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο αλληλεπίδρασης, οι συσκευές μπορούν να βρίσκονται σε 2 καταστάσεις:

1. **Κατάσταση «Αναμονής» (stand-by):** Οι συσκευές ανταποκρίνεται μόνο σε χειρονομίες απεύθυνσης, ενώ χειρονομίες εντολών αγνοούνται από το σύστημα.
2. **Κατάσταση «Αναγνώρισης» (addressed):** Στην κατάσταση αναγνώρισης μπορεί να βρίσκεται μόνο μια συσκευή του συστήματος (θα πρέπει προηγουμένως ο χρήστης να έχει εκτελέσει την αντίστοιχη χειρονομία απεύθυνσης). Όταν η συσκευή βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση, μπορεί να ανταποκριθεί σε χειρονομίες εντολών, ενώ παράλληλα ανάβει και μια πράσινη ένδειξη πάνω στη συσκευή για να ενημερώσει τον χρήστη (οπτική ανατροφοδότηση).

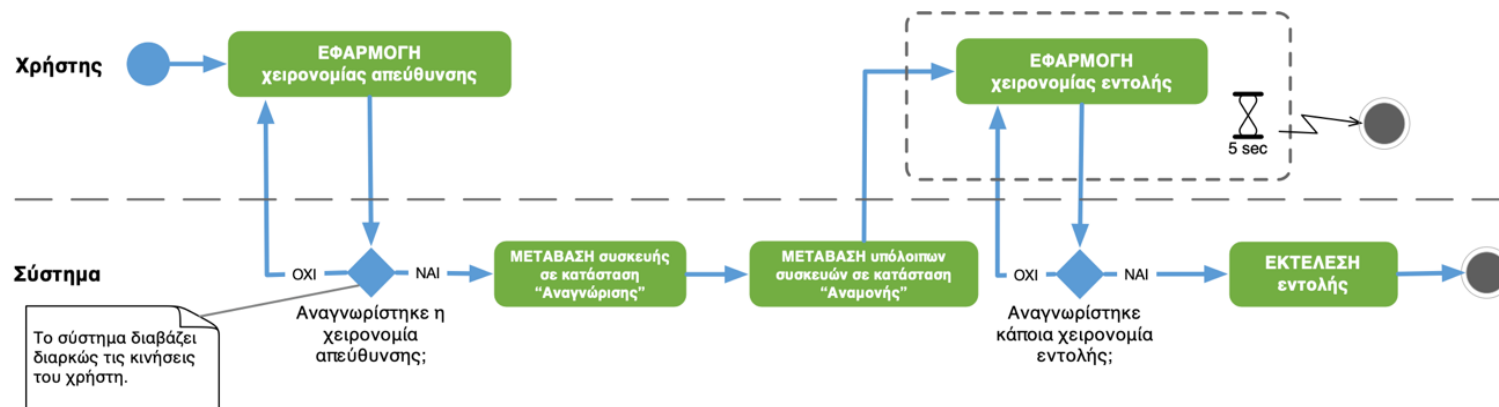
Το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ περιλαμβάνει δύο διαδοχικά στάδια (Εικόνα 4.1) όπου το κάθε στάδιο περιλαμβάνει κάποια χειρονομία:

1. Αρχικά ο χρήστης πρέπει να εφαρμόσει την χειρονομία ή πόζα απεύθυνσης (address gesture) για την επιθυμητή συσκευή. Μόλις η χειρονομία αυτή αναγνωριστεί από το σύστημα, η συσκευή μεταβαίνει σε «κατάσταση αναγνώρισης». Παράλληλα, όλες οι υπόλοιπες συσκευές του συστήματος μεταβαίνουν σε «κατάσταση αναμονής», προκειμένου να ελαττωθεί το φαινόμενο ακούσιας ενεργοποίησης εντολής σε κάποια γειτονική συσκευή (φαινόμενο αγγίγματος του Μίδα).
2. Μέσα σε ένα λογικό χρονικό διάστημα (5 δευτερολέπτων), ο χρήστης θα πρέπει να εφαρμόσει μια χειρονομία «εντολής» η οποία θα εκτελεστεί από την συσκευή που είναι σε κατάσταση αναγνώρισης. Κάθε φορά που αναγνωρίζεται μια χειρονομία εντολής, γίνεται επαναφορά του μετρητή των 5 δευτερολέπτων, ενώ αν το χρονικό αυτό διάστημα παρέλθει, η συσκευής μεταβαίνει σε κατάσταση

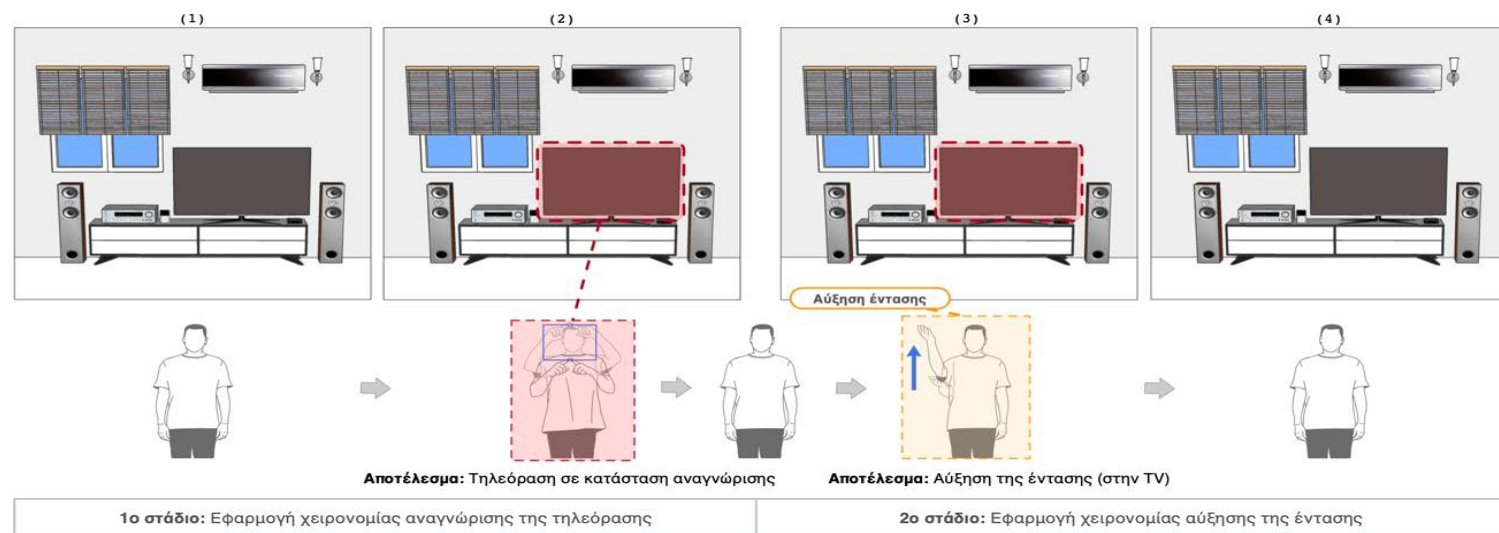
αναμονής. Όταν η χειρονομία εντολής αναγνωριστεί από το σύστημα, τότε αυτή εκτελείται από την συσκευή.

Για να λειτουργήσει σωστά το μοντέλο ΑεΕ, πρέπει οι χειρονομίες απεύθυνσης να είναι μοναδικές για κάθε συσκευή. Με αυτό τον τρόπο μια χειρονομία χρησιμοποιείται για την απεύθυνση σε μόνο μία συσκευή, ελαχιστοποιώντας έτσι την περίπτωση της εσφαλμένης ενεργοποίησης κάποιας λειτουργίας σε διαφορετική συσκευή. Αντίθετα, για τις χειρονομίες εντολών δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός. Αυτό σημαίνει ότι για τις λειτουργίες που είναι όμοιες μεταξύ διαφορετικών συσκευών, οι αντίστοιχες χειρονομίες μπορεί να είναι είτε διαφορετικές, είτε να χρησιμοποιείται η ίδια χειρονομία. Σε αυτή την περίπτωση η χρήση της ίδιας χειρονομίας είναι εφικτή καθώς το μοντέλο αλληλεπίδρασης εξασφαλίζει ότι μόνο μία συσκευή θα μπορεί να είναι σε κατάσταση αναγνώρισης και συνεπώς μόνο η συγκεκριμένη συσκευή θα αντιδράσει στη χειρονομία του χρήστη.

Η εικόνα 4.2 απεικονίζει ένα παράδειγμα αλληλεπίδρασης με το μοντέλο ΑεΕ για την αύξηση της έντασης της τηλεόρασης. Γενικά, σε κάθε αλληλεπίδραση ο χρήστης ξεκινάει από μια στάση χαλάρωσης, έπειτα εφαρμόζει τη χειρονομία/πόζα και τέλος επανέρχεται στη στάση χαλάρωσης. Το μοντέλο ΑεΕ αποτελείται από δύο στάδια (χειρονομίες). Αρχικά όλες οι συσκευές είναι σε κατάσταση αναμονής και «διαβάζουν» τις κινήσεις του χρήστη. (εικόνα 4.2 - 1) Όταν ο χρήστης εφαρμόσει τη χειρονομία απεύθυνσης για την τηλεόραση, τότε μόνο η συγκεκριμένη συσκευή μεταβαίνει σε κατάσταση «αναγνώρισης» (εικόνα 4.2 - 2) για τα επόμενα 5 δευτερόλεπτα. Μέσα σε αυτό το διάστημα ο χρήστης θα πρέπει να εφαρμόσει την κατάλληλη χειρονομία εντολής που θα αυξάνει την ένταση (εικόνα 4.2 - 3). Η συσκευή (τηλεόραση) επανέρχεται σε κατάσταση αναμονής μόλις παρέλθουν τα 5 δευτερόλεπτα (εικόνα 4.2 - 4).



Εικόνα 4.1 - Διάγραμμα του μοντέλου Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή.



Εικόνα 4.2 - Παράδειγμα αύξησης της έντασης της τηλεόρασης με το μοντέλο AeE.

4.2 Εκμαίευση χειρονομιών με χρήση πλαισίου περιορισμών

Ο στόχος της εκμαίευσης χειρονομιών ήταν ο προσδιορισμός ενός λεξιλογίου καταλληλότερων χειρονομιών το οποίο χρησιμοποιεί το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-έπειτα-εντολή» για τον έλεγχο 7 οικιακών συσκευών τοποθετημένων στον ίδιο χώρο. Η διαδικασία περιλάμβανε τη χρηστοκεντρική μέθοδο «μελέτης εικασιών» (Guessability study) όπου οι αναφερόμενες συσκευές και εντολές του συστήματος θα προβάλλονταν στους συμμετέχοντες με αφηρημένες εικόνες και εκείνοι θα πρέπει να προτείνουν χειρονομίες που θεωρούν καταλληλότερες. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένα πλαίσιο περιορισμών και κανόνων που έπρεπε να κατανοήσουν και να ακολουθήσουν οι χρήστες πριν προτείνουν τις χειρονομίες τους. Τέλος, οι προτεινόμενες χειρονομίες αναλύθηκαν με τη βοήθεια μετρικών για να προκύψει το λεξιλόγιο χειρονομιών του συστήματος. Τα βήματα αυτά περιγράφονται παρακάτω.

4.2.1 Μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών: πλαίσιο και περιορισμοί

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε περιείχε στοιχεία της εκμειευτικής μεθόδου εικασιών (Guessability Study) (Wobbrock et al., 2009) και χρήση πλαισίου περιορισμών (Cafaro et al., 2018). Σε σχέση με αντίστοιχες μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών που ερευνούν την ΕΑ με μία συσκευή, στη συγκεκριμένη μελέτη υπάρχουν επιπλέον προκλήσεις:

- Οι χρήστες θα πρέπει να αντιληφθούν το σύνολο των συσκευών ως ένα ενιαίο οικοσύστημα με το οποίο πρέπει να αλληλεπιδράσουν, και όχι ως μεμονωμένες συσκευές.
- Η αλληλεπίδραση με το οικοσύστημα θα πρέπει να γίνεται με χειρονομίες στον αέρα οι οποίες θα πρέπει να ακολουθούν τους κανόνες του μοντέλου αλληλεπίδρασης ΑΕΕ.
- Οι χρήστες πρέπει να μπου σε ένα πλαίσιο, ώστε να προτείνουν σχετικές και διαισθητικές χειρονομίες, που είναι λογικά σχετιζόμενες με τις αντίστοιχες λειτουργίες που ενεργοποιούν.

Πριν ξεκινήσει η μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών δίνονταν στους χρήστες μια μικρή περιγραφή του πειράματος για να κατανοήσουν καλύτερα το πεδίο εφαρμογής του. Η περιγραφή αυτή περιλάμβανε τις εξής πληροφορίες:

- Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται στο περιβάλλον ενός σπιτιού.
- Οι συσκευές του οικοσυστήματος είναι: 1) τηλεόραση, 2) συσκευή αναπαραγωγής μουσικής, 3) συσκευή αναπαραγωγή βίντεο, 4) ηχεία, 5) κλιματιστικό, 6) φώτα και 7) στόρια.
- Όλες οι συσκευές βρίσκονται μπροστά από τον χρήστη και εντός του οπτικού του πεδίου.
- Ο χρήστης μπορεί να είναι καθιστός ή όρθιος.
- Η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω εναέριων χειρονομιών του χρήστη.

Στη συνέχεια, εξηγούνταν στους συμμετέχοντες το ζητούμενο της έρευνας που ήταν η εύρεση των χειρονομιών που οι χρήστες θεωρούν καταλληλότερες για κάθε εντολή του οικοσυστήματος. Έπειτα, δίνονταν μια περιγραφή ενός συνόλου περιορισμών και κανόνων που έπρεπε να ακολουθήσουν οι χρήστες και ουσιαστικά αποτελούσε το πλαίσιο μέσα στο οποίο έπρεπε οι χρήστες να προτείνουν τις χειρονομίες τους. Οι κανόνες αυτοί ήταν οι εξής:

- Ο χρήστης χειρίζεται απευθείας τις συσκευές, χωρίς να υπάρχει κάποια γραφική διεπαφή.
- Το μοντέλο αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιείται είναι το “Απεύθυνση-έπειτα-εντολή” (ΑεΕ).
- Οι χειρονομίες/πόζες απεύθυνσης πρέπει να είναι μοναδικές για κάθε συσκευή.
- Οι χειρονομίες/πόζες εντολής μπορεί να είναι όμοιες για τις ίδιες συσκευές σε διαφορετικές συσκευές.
- Οι χειρονομίες μπορεί να απαιτούν τη χρήση ενός ή και των δύο χεριών.

Οι συμμετέχοντες αρχικά κατανοούσαν τη λογική του έξυπνου περιβάλλοντος και των προβλημάτων αλληλεπίδρασης που ανακύπτουν. Έπειτα, κατά τη διάρκεια του πειράματος, έπρεπε να προβληματιστούν προκειμένου να προτείνουν χειρονομίες που θα ήταν καταλληλότερες (κατά τους ίδιους) για τις αναφορές (εντολές και συσκευές) που τους παρουσιάζονταν από τον ερευνητή. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν πανομοιότυπη για όλους τους χρήστες, καθώς και η σειρά με την οποία παρουσιάστηκαν οι αναφορές. Σε αυτό το στάδιο, δεν έγινε καταγραφή δεδομένων που σχετίζονται με το χρόνο (π.χ. χρόνος σκέψης πριν προτείνουν μια χειρονομία (Dim et al., 2016; Jurewicz et al., 2018), χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας χειρονομίας (Obaid et al., 2012; Ortega et al., 2017) κ.α.), καθώς ο χρήστης προτρέπονταν να αφηγείται τη σκέψη του (think aloud protocol) καθόλη τη διάρκεια του πειράματος που σε αρκετές περιπτώσεις αυτό οδηγούσε σε κάποια συζήτηση με τον ερευνητή. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι χρήστες παροτρύνονταν να προτείνουν παραπάνω από μια χειρονομίες για κάθε αναφορά, ενώ για τις χειρονομίες απεύθυνσης περιορίζονταν στο να προτείνουν μοναδικές χειρονομίες για κάθε συσκευή.

Για να περιοριστεί το φαινόμενο της κληρονομικής μεροληψίας (Legacy-bias) (Morris et al., 2014) ή των υπονοούμενων δυνατοτήτων (affordances) (Gibson, 1977; Kaptelinin, 2014), η κάθε αναφορά παρουσιάζονταν σε μορφή διαφάνειας, όπου εμφανίζονταν ένα απλό και γενικό εικονίδιο της συσκευής καθώς και η ονομασία της εντολής (Παράτημα Β’).

4.2.2 Αναφερόμενες συσκευές και εντολές

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας επιλέχθηκε το περιβάλλον του έξυπνο σπιτιού, καθώς είναι γνώσιμο σε όλους στους χρήστες. Αντίστοιχα επιλέχθηκαν και οι συσκευές ώστε να είναι οικείες στους χρήστες. Οι συσκευές αυτές είναι: τηλεόραση, ηχεία, συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων (video/media player), συσκευής αναπαραγωγής μουσικής (audio player), κλιματιστικό, φώτα, και στόρια.

Αρκετές έρευνες έχουν ασχοληθεί με τον καθορισμό χειρονομιών για τις αντίστοιχες εντολές ελέγχου μεμονωμένων οικιακών συσκευών (E. Choi et al., 2012; Dim et al., 2016; Dong et al., 2015; Kühnel et al., 2011; Löcken et al., 2011; Ren & O’Neill, 2013a; Rovelto Ruiz et al., 2014; Siddhpuria et al., 2017; Wu et al., 2016; Zaiṭi et al., 2015). Το σετ των εντολών που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω έρευνες και επιλέχθηκαν εκείνες οι εντολές οι οποίες (α) είναι οι πιο συχνές σε καθημερινή χρήση και (β) συναντώνται σε παραπάνω από μία συσκευές. Εντολές οι οποίες ρυθμίζουν εξειδικευμένες λειτουργίες της τηλεόρασης, όπως ο προγραμματισμός των καναλιών της τηλεόρασης, δεν συμπεριλαμβάνονται καθώς δεν απαιτούν συχνή και καθημερινή αλληλεπίδραση του χρήστη με τη συσκευή.

Τόσο κατά το στάδιο σχεδιασμού των χειρονομιών όσο και κατά την αξιολόγησή τους με κάποιο πρωτότυπο (σε επόμενο στάδιο), δεν γίνεται χρήση γραφικής διεπαφής τα εργαλεία της οποίας θα ελέγχει ο χρήστης με χειρονομίες. Αντίθετα, γίνεται απευθείας

χειρισμός της συσκευής και η μόνη ανατροφοδότηση θα γίνεται αισθητή μέσω όρασης ή ακοής όταν ολοκληρώνεται μια εντολή. Για παράδειγμα ο χρήστης θα μπορεί να βλέπει τα στόρια αν ανεβαίνουν ή την αλλαγή καναλιού της τηλεόρασης, ή να ακούει την αλλαγή της έντασης του ήχου. Η απουσία γραφικής διεπαφής χρήστη ήταν μια σχεδιαστική απόφαση η οποία οφείλεται στους εξής λόγους:

- Οι εντολές που επιλέχθηκαν είναι σχετικά απλές, συνηθισμένες, και εύκολες στην αντίληψη και ως εκ τούτου δεν απαιτείται υποστήριξη του χρήστη με γραφική επαφή.
- Γενικά, τα χειριστήρια μιας γραφικής διεπαφής έχουν υπονοούμενους τρόπους (Gibson, 1977) με τους οποίους μπορούν να τα χειριστούν οι χρήστες. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της έντασης του ήχου, ένας οριζόντιος ολισθητής (slider) υπονοεί διαφορετικό χειρισμό από ότι ένας κάθετος ή ένας κυκλικός. Στο στάδιο σχεδίασης χειρονομιών το βασικό ζητούμενο είναι η κατανόηση των προτιμήσεων των χρηστών και όχι η καθοδήγησή τους. Συνεπώς η χρήση γραφικών χειριστηρίων δεν θα ήταν σωστή επιλογή καθώς ενδέχεται οι χρήστες να συσχετίζουν συγκεκριμένες κινήσεις με αυτές. Αντίθετα, στο στάδιο υλοποίησης του τελικού συστήματος (όταν πια θα έχει οριστεί και αξιολογηθεί το τελικό λεξιλόγιο χειρονομιών), θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια υποστηρικτική γραφική διεπαφή με τη μορφή ανατροφοδότησης του χρήστη. Κάτι τέτοιο, περιλαμβάνει ζητήματα σχεδιασμού γραφικών διεπαφών, τα οποία είναι πέρα από το θέμα της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Η λίστα των εντολών ανά συσκευή που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

4.2.3 Συμμετέχοντες στη διαδικασία εκμείωσης χειρονομιών

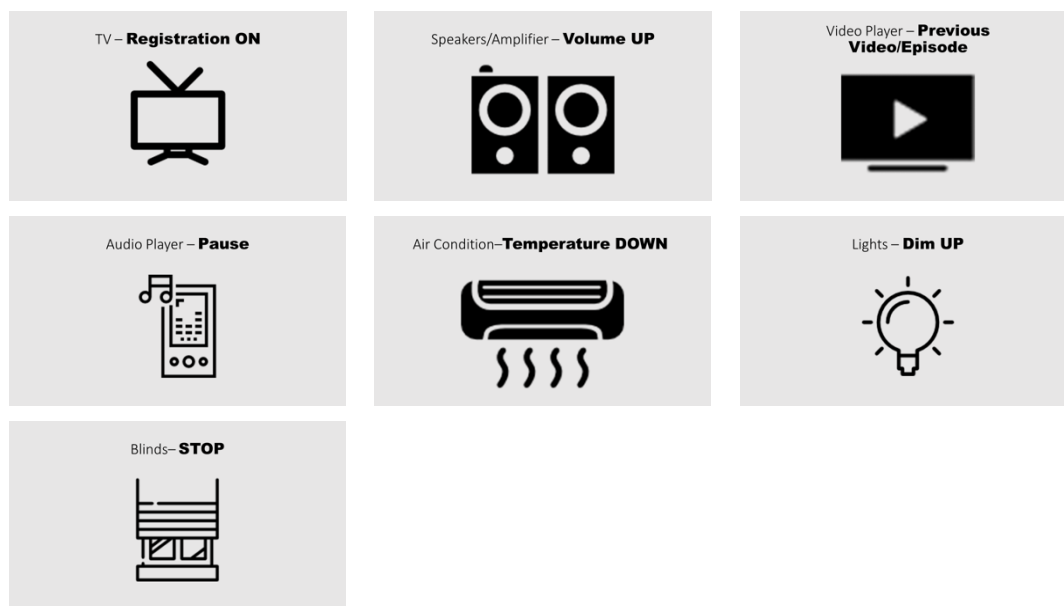
Στην έρευνα έλαβαν μέρος 18 χρήστες από τους οποίους 6 ήταν γυναίκες και 12 άνδρες με ηλικίες από 24 έως 47. Ο μέσος όρος ηλικίας τους ήταν 37,8 χρόνια με τυπική απόκλιση 7,4. Όλοι οι χρήστες είχαν εμπειρία με την τεχνολογία των υπολογιστών, ενώ περίπου οι μισοί (10 χρήστες) είχαν προηγούμενη εμπειρία με τεχνολογίες εναέριας ή κιναισθητικής αλληλεπίδρασης (κυρίως με το MS Kinect, Leap motion και Nintendo Wii).

Συσκευές & εντολές	Τηλεόραση	Ηχεία	Συσκευή αναπαραγωγής βίντεο (Media/Video player)	Συσκευή αναπαραγωγής Ήχου (Audio Player)	Κλιματιστικό	Φώτα	Στόρια
Ενεργοποίηση αναγνώρισης (Registration On)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Απενεργοποίηση αναγνώρισης (Registration Off)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ενεργοποίηση συσκευής (Turn-On)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Απενεργοποίηση συσκευής (Turn-Off)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Αύξηση (Up)	✓	✓			✓	✓	✓
Μείωση (Down)	✓	✓			✓	✓	✓
Επόμενο (Next)	✓		✓	✓			
Προηγούμενο (Previous)	✓		✓	✓			
Σίγαση (Mute)	✓	✓					
Γρήγορη προώθηση (Fast Forward)			✓	✓			
Γρήγορη επαναφορά (Fast Rewind)			✓	✓			
Αναπαραγωγή (play)			✓	✓			
Πάυση αναπαραγωγής (pause)			✓	✓			
Σταμάτημα αναπαραγωγής (Stop)			✓	✓			✓
Σύνολο	9	7	11	11	6	6	5

Πίνακας 4.1 - Συσκευές και εντολές του συστήματος

4.2.4 Τεχνολογική υποδομή

Για στάδιο της σχεδίασης χειρονομιών χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός υπολογιστής συνδεδεμένος με μόνιτορ σε κοντινή απόσταση από τους χρήστες. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εφαρμογές: ένα πρόγραμμα παρουσιάσεων (Microsoft PowerPoint) με το οποίο προβολόταν η διαφάνεια για κάθε εντολή, και ένα πρόγραμμα βιντεοσκόπησης του χρήστη (Camtasia Studio²⁷) που κατέγραφε όλη τη διαδικασία και τις χειρονομίες του (χρησιμοποιώντας την κάμερα του υπολογιστή). Το παραγόμενο video χρησιμοποιήθηκε σε δεύτερο χρόνο για τη λεπτομερή αποτύπωση των χειρονομιών. Ένα δείγμα των διαφανειών που χρησιμοποιήθηκε κατά το στάδιο εκμείευσης χειρονομιών παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3, ενώ αναλυτικά όλες οι διαφάνειες περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Α’.



Εικόνα 4.3 - Δείγμα διαφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκμείευσης χειρονομιών

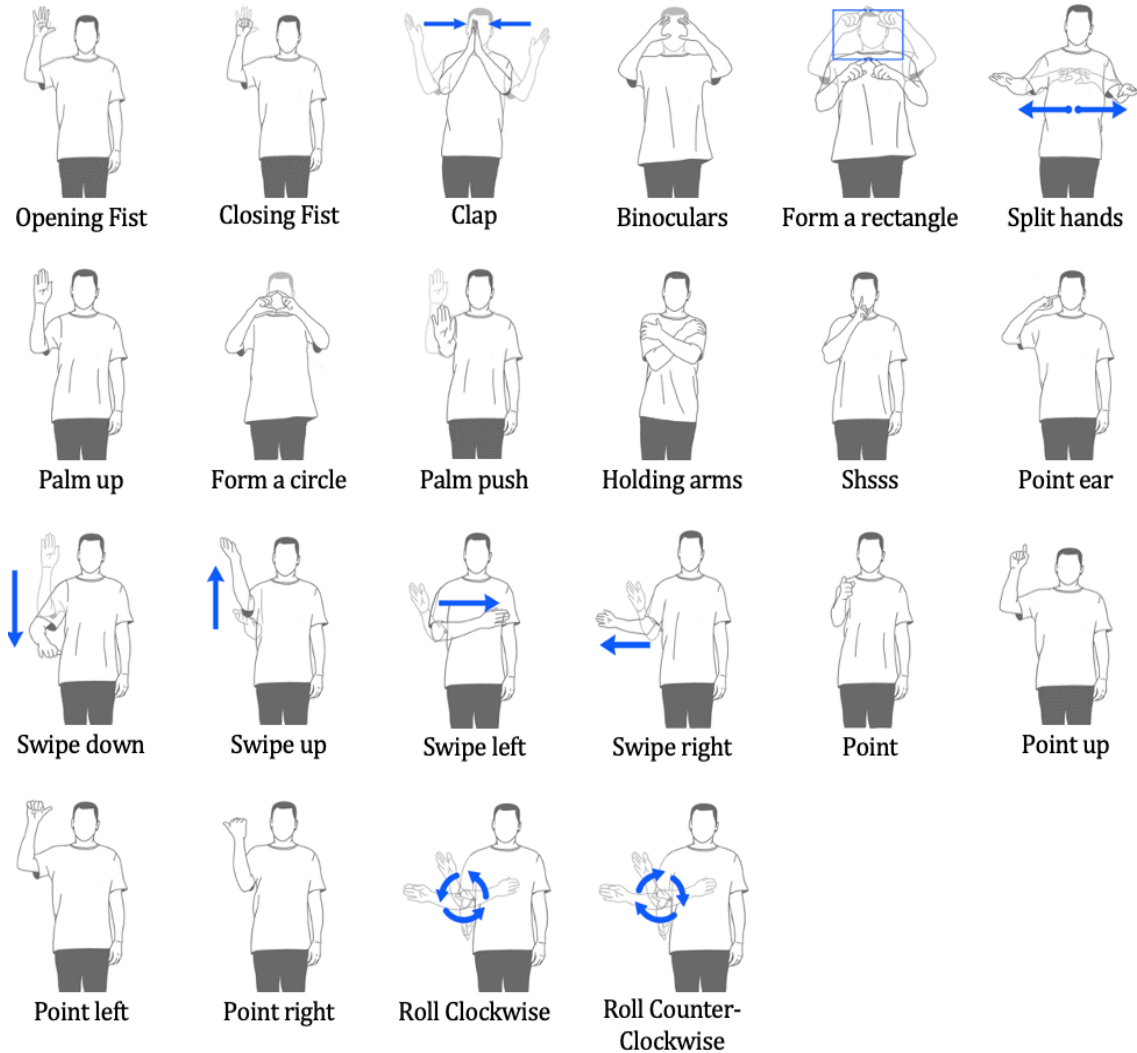
4.2.5 Ανάλυση προτεινόμενων χειρονομιών με τον «βαθμό ομοφωνίας» των χρηστών (Agreement rate) για κάθε αναφορά

Από τους 18 χρήστες που έλαβαν μέρος στη διαδικασία εκμείευσης χειρονομιών προέκυψαν 18 βίντεο συνολικής διάρκειας 10 ωρών (κάθε μελέτη διήρκεσε περίπου 30 λεπτά). Η ανάλυση των προτεινόμενων χειρονομιών έγινε αναδρομικά και περιλάμβανε ανάλυση των βίντεο για κάθε χρήστη και υπολογισμό του βαθμού ομοφωνίας (Agreement rate) για κάθε αναφορά. Κατά την αναθεώρηση των βίντεο, έγινε εξαγωγή και κωδικοποίηση κάθε χειρονομίας με αύξων αριθμό (πχ. G1, G2, G3...), και μια μικρή περιγραφή. Από αυτές όσες είχαν παρόμοιες κινήσεις θεωρήθηκαν ως ίδιες. Έπειτα, έγινε απαρίθμηση και ταξινόμηση του πλήθους μοναδικών χειρονομιών, ώστε να προκύψουν οι δημοφιλέστερες χειρονομίες ανά αναφορά.

Για να υπολογιστεί το επίπεδο συνοχής χειρονομιών, υπολογίστηκε ο βαθμός ομοφωνίας (Agreement Rate) (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015) για κάθε αναφορά όπως περιγράφεται στο (κεφάλαιο 2.2.2.1). Έπειτα, η ομοφωνία κάθε αναφοράς κατηγοριοποιήθηκε ως “πολύ υψηλή”, “υψηλή”, “μέτρια”, ή “χαμηλή” (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015), ανάλογα αν ήταν >0.5, 0.3-0.5, 0.1-0.3 και ≤0.1 αντίστοιχα (Πίνακας 2.1 - κεφάλαιο

²⁷ <https://www.techsmith.com/video-editor.html>

2.2.2.1). Έτσι, για τις 55 αναφορές του συστήματος, 18 συμμετέχοντες του πειράματος, πρότειναν συνολικά 1.047 χειρονομίες από τις οποίες οι 108 ήταν μοναδικές. Οι δημοφιλέστερες χειρονομίες για κάθε αναφορά καθώς και ο βαθμός ομοφωνίας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2 και η απεικόνιση των χειρονομιών στην εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4 - Χειρονομίες του συστήματος

Πίνακας 4.2: Λίστα χειρονομιών ανά εντολή.

	TV	Speakers	Video Player	Audio Player	Air Condition	Lights	Blinds	Σύνολο διαφορετικών χειρονομιών
Registration On	Form a rectangle * (0.1)	Form a circle * (0.03)	Binoculars * (0.1)	Point on ear (0.04)	Hands holding arms * (0.1)	Clap * (0.1)	Point (0.04)	7
Registration Off	Form a rectangle * (0.1)	Form a Circle * (0.02)	Binoculars * (0.1)	Point on ear (0.02)	Hands holding arms * (0.1)	Clap * (0.03)	Point (0.01)	7
Turn On	Point (0.04)	Opening fist (0.1)	Opening fist (0.01)	Palm push (0.1)	Opening fist (0.1)	Point up (0.1)		4
Turn Off	Closing fist (0.1)	Closing fist (0.1)	Closing fist (0.04)	Closing fist (0.03)	Closing fist (0.1)	Closing fist (0.03)		1
Up	Swipe up (0.5)	Swipe up (0.5)			Swipe up (0.3)	Swipe up (0.3)	Swipe up (0.3)	1
Down	Swipe down (0.5)	Swipe down (0.5)			Swipe down (0.3)	Swipe down (0.3)	Swipe down (0.3)	1
Next	Swipe right (0.3)		Point right (0.1)	Swipe right (0.2)				2
Previous	Swipe left (0.3)		Point left (0.1)	Swipe left (0.2)				2
Mute	Ssshhh (0.1)	Ssshhh (0.1)						1
Fast Forward			Swipe right (0.2)	Roll hand clockwise (0.1)				2
Fast Rewind			Swipe left (0.2)	Roll hand counter-clockwise (0.1)				2
Play			Palm up (0.03)	Point (0.1)				2
Pause			Palm stop (0.1)	Palm stop (0.2)				1
Stop			Palm stop * (0.1)	Hands split * (0.1)			Palm stop (0.5)	2

(*). Χειρονομίες όπου απαιτείται χρήση και των 2 χεριών. Ο βαθμός ομοφωνίας για κάθε εντολή αναγράφεται μέσα σε παρένθεση. Τα χρώματα, ανάλογα με την απόχρωση, προσδιορίζουν την κατηγοριοποίηση της ομοφωνίας σε πολύ υψηλή (>0.5): ■, υψηλή [0.3-0.5): ■, χαμηλή [0.1-0.3): □, και πολύ χαμηλή (<0.1): □`

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, περίπου το 39% των συμμετεχόντων είχαν δυσκολία στην κατανόηση της λογικής της χειρονομίας ενεργοποίησης και απενεργοποίησης απεύθυνσης (“registration-on” και “registration-off”) και αρκετές φορές τη συγχέανε με τις εντολές ενεργοποίησης (turn-on) και απενεργοποίησης (turn-off) της συσκευής. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρειάστηκε να δοθεί περαιτέρω επεξήγηση στους χρήστες και ορισμένοι από αυτούς, όταν κατάλαβαν τη λογική, επαναπροσδιόρισαν τις χειρονομίες που προηγουμένως είχαν προτείνει. Γενικά, η πλειοψηφία χειρονομιών απεύθυνσης που προτάθηκε ήταν γενικές και αυθαίρετες. Αυτό επιβεβαιώνει τα ευρήματα παλιότερων ερευνών, που αναφέρουν ότι όσο πιο αφηρημένη έννοια έχει μια αναφορά, τόσο γενικές και αυθαίρετες είναι οι χειρονομίες που προτείνονται για αυτή (Z. Chen et al., 2017; Dim et al., 2016; Kühnel et al., 2011; Obaid et al., 2016; Ruiz & Vogel, 2015).

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4, οι χειρονομίες σάρωσης πάνω (swipe up) και σάρωσης κάτω (swipe down) σημείωσαν υψηλό βαθμό ομοφωνίας για τις αναφορές αύξησης και μείωσης αντίστοιχα του ήχου (Τηλεόραση και ηχεία), θερμοκρασίας (κλιματιστικό), φωτεινότητας (φώτα και στόρια).

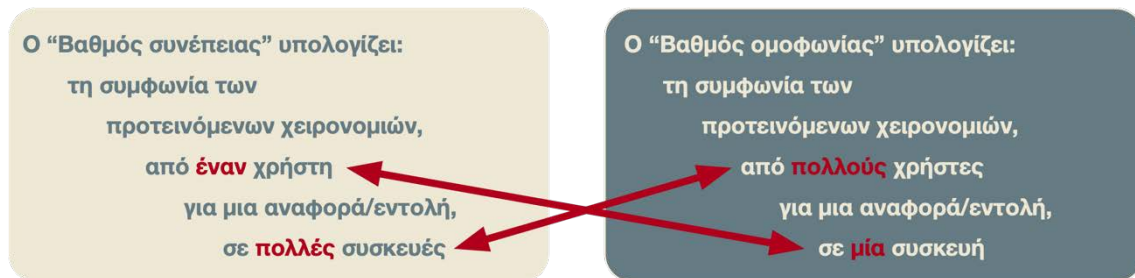
Πολλοί χρήστες ισχυρίστηκαν ότι σε ένα πραγματικό σενάριο, οι χειρονομίες που απαιτείται να θυμούνται είναι πάρα πολλές. Ως εκ τούτου, προσπάθησαν να μειώσουν το γνωστικό φορτίο που απαιτείται για να τις περισσότερες. Παρατηρήθηκαν τρεις προσεγγίσεις:

1. Το σύστημα περιλαμβάνει πολλές εντολές οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν αντίθετες όπως για παράδειγμα οι εντολές ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης συσκευής (turn on/off), αύξησης ή μείωσης της έντασης του ήχου (volume up/down) επόμενο ή προηγούμενο κανάλι (next/previous) κ.α. Για αυτές τις εντολές οι χρήστες προσπαθούσαν να προτείνουν χειρονομίες οι οποίες να είναι αντίθετες στην κίνηση όπως για παράδειγμα σάρωση χεριού από πάνω προς τα κάτω για τη μείωση και από κάτω προς τα πάνω για την αύξηση.
2. Οι εντολές ενεργοποίησης και απενεργοποίησης απεύθυνσης είχαν δυαδική λογική (σαν διακόπτης). Όταν το αντιλαμβάνονταν αυτό, οι χρήστες χρησιμοποιούσαν για κάθε συσκευή την ίδια χειρονομία. Την πρώτη φορά που την χρησιμοποιούσαν ενεργοποιούνταν η απεύθυνση, ενώ την επόμενη φορά απενεργοποιούνταν.
3. Οι συσκευές, μεταξύ τους είχαν ίδιες ή παρόμοιες εντολές όπως για παράδειγμα η αναπαραγωγή βίντεο ή μουσικής, η επιλογή του επόμενου/προηγούμενου καναλιού/τραγουδιού στις συσκευές αναπαραγωγής βίντεο και ήχου αντίστοιχα. Όταν αυτό γινόταν αντιληπτό, οι χρήστες χρησιμοποιούσαν τις ίδιες χειρονομίες.

4.2.6 Ανάλυση συνέπειας χρηστών με το δείκτη συνέπειας χρηστών μεταξύ συσκευών (Consistency rate)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι χρήστες όταν αντιλαμβάνονται ότι στο σύστημα υπήρχαν κοινές ή αντίστοιχες εντολές μεταξύ των συσκευών, εκείνοι πρότειναν τις ίδιες χειρονομίες. Από μαρτυρίες των ιδίων, αυτό προέκυψε είτε επειδή δεν μπορούσαν να σκεφτούν πολλές διαφορετικές χειρονομίες που να είναι κατάλληλες για μια εντολή ή επειδή εσκεμμένα προσπαθούσαν να διατηρήσουν τον αριθμό των διαφορετικών χειρονομιών χαμηλό ώστε να είναι εύκολο προς απομνημόνευση. Έτσι, παρατηρήθηκε μια συνέπεια στις προτάσεις των χρηστών όσο αφορά ίδιες εντολές σε διαφορετικές συσκευές. Προκειμένου να γίνει μια ποσοτικοποίηση αυτής της συνέπειας, χρησιμοποιήθηκε η φόρμουλα που υπολογίζει το βαθμό ομοφωνίας, καθώς παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες. Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός ομοφωνίας (agreement rate) υπολογίζει το

βαθμό συμφωνίας μεταξύ πολλών χρηστών μια αναφορά σε μία συσκευή, ενώ ο βαθμός συνέπειας (consistency rate) υπολογίζει το βαθμό συμφωνίας προτεινόμενων χειρονομιών που παρουσιάζει ένας χρήστης, για την ίδια αναφορά που συναντάται σε πολλές διαφορετικές συσκευές (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5 - Σχέση “βαθμού συνέπειας – CR(c)” και “βαθμού ομοφωνίας – AR(r)”

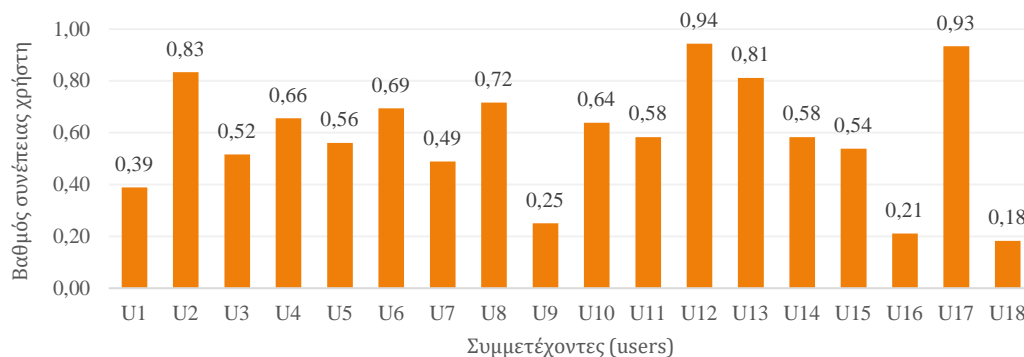
Η μετρική αυτή, που ονομάστηκε «Βαθμός Συνέπειας» (Consistency rate – CR(c)), εκφράζεται με τον τύπο (2), όπου P είναι ο συνολικός αριθμός των προτεινόμενων χειρονομιών για μια συγκεκριμένη αναφορά c, η οποία είναι ίδια σε πολλές συσκευές, και P_i είναι το υποσύνολο των χειρονομιών που είναι ίδιες (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2019).

$$CR(c) = \frac{|P|}{|P| - 1} \sum_{P_i \in P} \left(\frac{|P_i|}{|P|} \right)^2 - \frac{1}{|P| - 1} \quad (2)$$

Για παράδειγμα, για την αναφορά/εντολή *αύξησης* - Up, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε 5 συσκευές (Τηλεόραση – αύξηση έντασης ήχου, Ηχεία – αύξηση έντασης ήχου, Κλιματιστικό – αύξηση θερμοκρασίας, Φώτα – αύξηση έντασης φωτισμού, Στόρια – άνοιγμα), ένας χρήστης πρότεινε 2 διαφορετικές χειρονομίες με πλήθος 4 φορές η μία και 1 φορά η άλλη. Για αυτόν το χρήστη ο “Βαθμός Συνέπειας” υπολογίζεται ως εξής:

$$CR(U_p) = \frac{5}{5 - 1} \left[\left(\frac{4}{5} \right)^2 + \left(\frac{1}{5} \right)^2 \right] - \frac{1}{5 - 1} = 0.6$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε ο βαθμός συνέπειας κάθε χρήστη για κάθε μια από τις 12 εντολές του συστήματος (οι εντολές ενεργοποίησης και απενεργοποίησης απεύθυνσης κάθε συσκευής δεν υπολογίστηκαν γιατί αυτές πρέπει να είναι διαφορετικές). Ο μέσος όρος του βαθμού συνέπειας κάθε χρήστη απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1 - Μέσος όρος του “βαθμού συνέπειας” για κάθε χρήστη

Αντίστοιχη κλίμακα με το “βαθμό ομοφωνίας” (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015), χρησιμοποιήθηκε και εδώ: “πολύ υψηλή”, “υψηλή”, “μέτρια”, ή “χαμηλή”, ανάλογα αν ο “βαθμός συνέπειας” ήταν >0.5, 0.3-0.5, 0.1-0.3 και ≤0.1 αντίστοιχα. Από τους συνολικά

18 συμμετέχοντες που πήραν μέρος στη διαδικασία εκμείευσης χειρονομιών, 3 χρήστες (17%) σημείωσαν χαμηλή ομοφωνία, 2 χρήστες (11%) είχαν υψηλή και οι υπόλοιποι 13 παρουσίασαν πολύ υψηλή, ενώ κανείς τους δεν σημείωσε χαμηλή ομοφωνία (>0.1).

Στην αρχή της διαδικασίας εκμείευσης χειρονομιών, αφού περιγράφονταν στους χρήστες το σενάριο (πλαίσιο) του πειράματος, οι περισσότεροι από αυτούς (15 από τους 18) χρειάστηκαν κάποιο χρόνο (από μισό έως τρία περίπου λεπτά) για να σκεφτούν τις χειρονομίες που θα προτείνουν. Μάλιστα πολλοί από αυτούς ζήτησαν και διευκρινήσεις σχετικά με τους τύπους χειρονομιών που επιτρέπονται, ποια μέρη του σώματος μπορούν να χρησιμοποιούν κ.α. Ως εκ τούτου, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η παρουσίαση του σεναρίου στην αρχή της διαδικασίας εκμείευσης χειρονομιών βοήθησε τους περισσότερους συμμετέχοντες να προβληματιστούν πριν ξεκινήσουν να προτείνουν χειρονομίες.

4.2.7 Ομαλοποίηση του τελικού λεξιλογίου χειρονομιών

Οι χειρονομίες που προέκυψαν από τη διαδικασία εκμείευσης χειρονομιών ήταν συνολικά 7 διαφορετικές χειρονομίες για την ενεργοποίηση των συσκευών και 15 για την ενεργοποίηση κάποιας εντολής. Παρόλο που οι επιλογές των χειρονομιών προέκυψαν από προτάσεις των χρηστών, το λεξικό χειρονομιών δεν έχει μεγάλη συνέπεια (Πίνακας 4.2). Για παράδειγμα, υπάρχουν χειρονομίες οι οποίες έχουν προταθεί για διαφορετικές εντολές (όπως “Palm-stop”, “Point” κ.α.), καθώς και γενικές εντολές οι οποίες έχουν παραπάνω από μια χειρονομία (όπως οι εντολές “Turn-on”, “Previous”, “Stop” κ.α.).

Προκειμένου να βελτιωθεί η συνέπεια των εντολών μεταξύ των συσκευών καθώς και για να μειωθεί ο αριθμός των διαφορετικών χειρονομιών που απαιτείται να θυμάται ο χρήστης, ακολουθήθηκε μια διαδικασία *ομαλοποίησης του λεξιλογίου χειρονομιών* η οποία περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Για τις χειρονομίες απεύθυνσης συσκευής δεν έγινε καμία αλλαγή καθώς αυτές ήταν μοναδικές (όπως απαιτείται από το μοντέλο αλληλεπίδρασης AeE).
2. Για τις εντολές οι οποίες είχαν μόνο μια χειρονομία, η χειρονομία αυτή κατοχυρώνονταν για τη συγκεκριμένη εντολή. Οι εντολές αυτές ήταν “turn-off”, “up” (αύξηση έντασης ήχου, αύξηση θερμοκρασίας, αύξηση φωτισμού), “down” (μείωση έντασης ήχου, μείωση θερμοκρασίας, μείωση έντασης φωτισμού), “mute”, και “pause”.
3. Οι χειρονομίες απεύθυνσης (βήμα 1) καθώς και οι χειρονομίες που κατοχυρώθηκαν από το βήμα 2, αφαιρούνται από τις υπόλοιπες εντολές. Όσες από αυτές τις εντολές κατέληγαν μόνο με μία χειρονομία, τότε αυτή (η χειρονομία) κατοχυρώνονταν στην αντίστοιχη εντολή.
4. Για τις υπόλοιπες εντολές οι οποίες συνέχιζαν να έχουν παραπάνω από μία χειρονομία, η χειρονομία με τον υψηλότερο βαθμό ομοφωνίας (agreement rate) κατοχυρώνονταν στην αντίστοιχη εντολή και διαγραφόταν από τις υπόλοιπες.

Ο πίνακας 4.3 παρουσιάζει τις χειρονομίες που κατοχυρώθηκαν σε κάθε βήμα της διαδικασίας ομαλοποίησης, καθώς και το τελικό λεξικό χειρονομιών.

Εντολές	Χειρονομίες από Βήμα 1	Χειρονομίες από Βήμα 2	Χειρονομίες από Βήμα 3	Χειρονομίες από Βήμα 4	Ομαλοποιημένο λεξιλόγιο χειρονομιών
R ¹ . TV	Form a rectangle				Form a rectangle
R ¹ . Speakers	Form a circle				Form a circle
R ¹ . Video Player	Binoculars				Binoculars
R ¹ . Audio Player	Point on ear				Point on ear
R ¹ Air Conditioner	Hands holding arms				Hands holding arms
R ¹ . Lights	Clap				Clap
R ¹ . Blinds	Point (left hand)				Point (left hand)
Turn On				Opening fist	Opening fist
Turn Off		Closing fist			Closing fist
Up		Swipe up			Swipe up
Down		Swipe down			Swipe down
Next				Swipe right	Swipe right
Previous				Swipe left	Swipe left
Mute		Sssh			Sssh
Fast Forward				Move hand clockwise	Move hand clockwise
Fast Rewind				Move hand counterclockwise	Move hand counterclockwise
Play				Point (right hand)	Point (right hand)
Pause		Palm stop			Palm stop
Stop			Hands split		Hands split

Πίνακας 4.3 - Χειρονομίες όπως προκύπτουν μετά από κάθε βήμα ομαλοποίησης του αρχικού λεξικού χειρονομιών.

4.3 Πρωτοτυποποίηση

4.3.1 Σχεδίαση πρωτοτύπου

Για τη δοκιμή και αξιολόγηση του μοντέλου αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Επειτα-Εντολή», αναπτύχθηκε, μέσω σχεδιαστικής προσέγγισης, ένα λειτουργικό πρωτότυπο χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας (Spatial Augmented Reality) όπου ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί εναέριες χειρονομίες για να αλληλεπιδράσει με οικιακές συσκευές τοποθετημένες στον χώρο, οι οποίες ανταποκρίνονται στις εντολές μέσω κάποιας ηχητικής ή εικονικής ανάδρασης. Το πρωτότυπο βασίστηκε στην τεχνική χαρτογραφημένης προβολής (projection mapping), η οποία χρησιμοποιεί ένα βιντεοπροβολέα για να προβάλει δισδιάστατο ψηφιακό περιεχόμενο πάνω σε αντικείμενα οποιουδήποτε σχήματος, τα οποία έχουν πρώτα χαρτογραφηθεί. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται η αίσθηση ότι τα αντικείμενα αυτά να «ζωντανεύουν» και σε πολλές περιπτώσεις γίνονται διαδραστικά (Jones, 2012). Τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αντίγραφα των οικιακών συσκευών που περιέχονται στο σενάριο της έρευνας και είχαν κατασκευαστεί από αφρολέξ (Εικόνα 4.6).



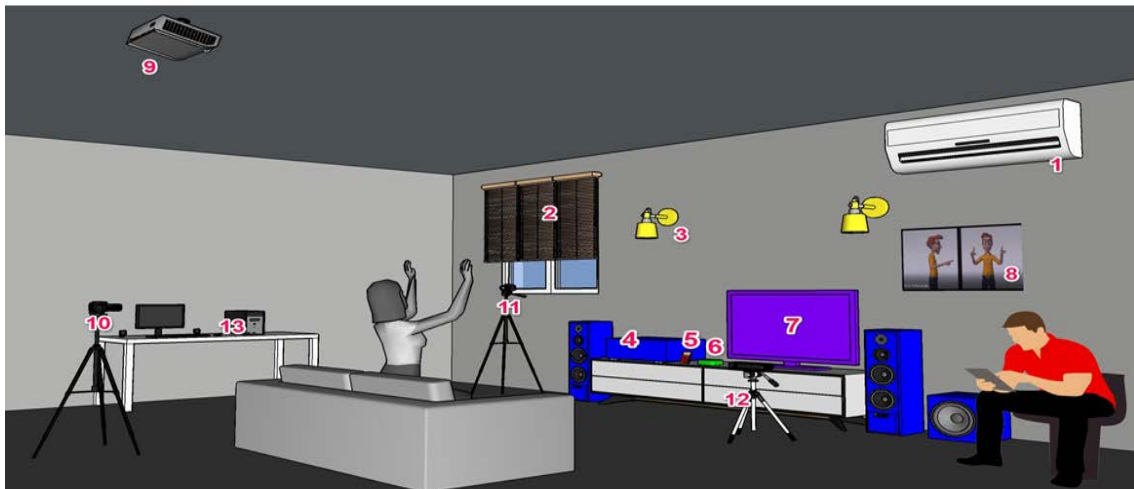
Εικόνα 4.6 - Ομοιώματα συσκευών κατασκευασμένα από αφρολέξ (αριστερά). Προβολή ψηφιακού περιεχομένου πάνω στα ομοιώματα συσκευών (δεξιά).

Αντίστοιχα πρωτότυπα χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας έχουν χρησιμοποιηθεί και σε παλαιότερες έρευνες για την αξιολόγηση της σχεδίασης (διαδραστικών ή μη) συστημάτων, όπως οργάνων από το εσωτερικό αυτοκινήτου (Port et al., 2010), παιχνιδιών και εγκαταστάσεων που υποστηρίζουν εναέρια αλληλεπίδραση (πχ Roomalive (Jones et al., 2014), Room2Room (Pejsa et al., 2016)). Γενικά, η τεχνολογία χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας με την τεχνική της χαρτογραφημένης προβολής, είναι κατάλληλη για τη δημιουργία προτύπων καθώς δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι οι συσκευές είναι πραγματικές και λειτουργικές, επιτρέποντας στο χρήστη να επικεντρωθεί στις απαιτούμενες αλληλεπιδράσεις. Επιπλέον, ανάλογα με τον αριθμό των απαιτούμενων διαδραστικών συσκευών του συστήματος, είναι πιο εύκολη και γρήγορη η ανάπτυξη ενός πρωτοτύπου με τη χρήση χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας, από την υλοποίηση μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών μεμονωμένα για κάθε μια συσκευή.

4.3.2 Εξοπλισμός και εγκατάσταση του πρωτοτύπου

Το πρωτότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των χειρονομιών, υλοποιήθηκε και εγκαταστάθηκε μέσα σε εργαστηριακό χώρο του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Ο χρήστης είχε την επιλογή να είναι όρθιος ή καθιστός με προσανατολισμό τέτοιο ώστε όλες οι συσκευές να βρίσκονται μπροστά του και μέσα στο οπτικό του πεδίο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4. Οι συσκευές στις οποίες χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία χαρτογραφημένης

προβολής (projection mapping) ήταν: τηλεόραση (7), ηχεία (4), συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων (video/media player) (6), συσκευή αναπαραγωγής μουσικής (audio player) (5), και κλιματιστικό (1). Τα φώτα (3) και στόρια (2) καθώς και ένα πλαίσιο που απεικονίζει βίντεο βοήθειας (8), προβάλλονταν σε τοίχο σε διδιάστατη μορφή. Η καταγραφή των κινήσεων του χρήστη γίνεται από την κάμερα του Microsoft Kinect v2.0²⁸ (12) που είναι τοποθετημένη μπροστά στον χρήστη και είναι συνδεδεμένη με ένα υπολογιστή (13) όπου γίνεται η αναγνώριση των χειρονομιών και η παραγωγή του ψηφιακού περιεχομένου του πρωτοτύπου. Το ψηφιακό περιεχόμενο προβάλεται πάνω στις συσκευές και στον τοίχο μέσω ενός βιντεοπροβολέα τοποθετημένου στο ταβάνι (9). Ο ερευνητής, που βρίσκεται στον ίδιο χώρο, εφηγείται το σενάριο στον χρήστη και παράλληλα ελέγχει την προβολή των βίντεο βοήθειας όποτε αυτό απαιτείται. Όλη η διαδικασία αξιολόγησης καταγράφεται από δύο κάμερες (10,11) τοποθετημένες σε κατάλληλα σημεία ώστε να καταγράφεται ο χρήστης περιμετρικά.



Πίνακας 4.4 - Εγκατάσταση πρωτοτύπου αξιολόγησης

4.3.3 Τεχνολογίες πρωτοτύπου

Για την ολοκλήρωση του πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω 5 στάδια υλοποίησης και αρκετές διαφορετικές τεχνολογίες:

i. Δημιουργία μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών

Για τη υλοποίηση του μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών χρησιμοποιήθηκε η κάμερα βάθους Microsoft Kinect v2.0 και τα εργαλεία μηχανικής μάθησης χειρονομιών, Visual Gesture Builder και Kinect Studio. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου σταδίου ήταν η παραγωγή μιας βάσης δεδομένων που περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις στάσεις και κινήσεις του σώματος του χρήστη που απαιτούνται για κάθε χειρονομία. Για να δημιουργηθεί η βάση δεδομένων χειρονομιών απαιτήθηκε η εξής διαδικασία:

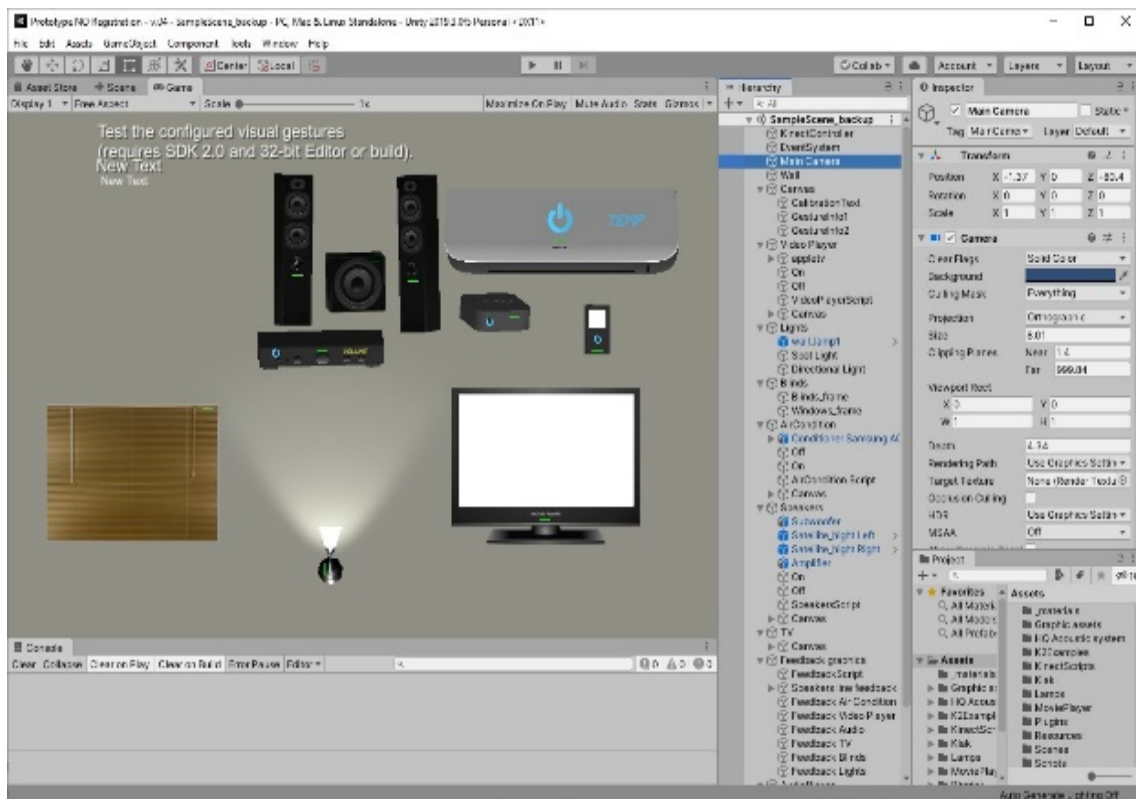
1. *Καταγραφή χειρονομιών:* Χρησιμοποιείται η εφαρμογή Microsoft Kinect Studio για την καταγραφή πολλαπλών επαναλήψεων της χειρονομίας από τον ερευνητή.
2. *Εκπαίδευση:* Τα αρχεία που προκύπτουν από το προηγούμενο βήμα, εισάγονται στην εφαρμογή Microsoft Visual Gesture Builder (VGB), όπου καθορίζεται η κάθε χειρονομία σημειώνοντας την αρχή και το τέλος της. Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι η παραγωγή της βάσης δεδομένων χειρονομιών.

²⁸ <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/>

3. *Δοκιμή*: Μετά από κάθε νέα χειρονομία που προστίθεται, γίνεται δοκιμή όλου του συνόλου των χειρονομιών μέσα από το πρόγραμμα VGB, προκειμένου να εξεταστεί η απόδοση της αναγνώρισής τους και τυχών διενέξεις με άλλες χειρονομίες. Εάν κάποια χειρονομία απαιτεί παραπάνω εκπαίδευση, δημιουργούνται και προστίθενται επιπλέον βίντεο με τη συγκεκριμένη χειρονομία.

ii. Υλοποίηση εφαρμογής που περιέχει τα γραφικά στοιχεία των συσκευών.

Η εφαρμογή που περιέχει τα γραφικά στοιχεία και τη λογική του πρωτοτύπου υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Unity και C# (σε MS Windows 10). Χρησιμοποιήθηκαν διαδίστατα γραφικά αντίγραφα των συσκευών και υλοποιήθηκαν αναδράσεις των συσκευών (οπτικές ή ακουστικές) σε εντολές του χρήστη (Εικόνα 4.7). Για την υλοποίηση της εναέριας αλληλεπίδρασης στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν το Kinect SDK, το πρόσθετο (plugin) “*Kinect v2 with MS-SDK*”²⁹, καθώς και η βάση δεδομένων με τις χειρονομίες που δημιουργήθηκε από το παραπάνω στάδιο.



Εικόνα 4.7 - Υλοποίηση διαδίστατου πρωτοτύπου σε περιβάλλον Unity

iii. Ρύθμιση εργαλείου χαρτογραφημένης προβολής.

Η εφαρμογή Madmapper³⁰ χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογραφημένη προβολή του περιεχομένου του διαδίστατου πρωτοτύπου πάνω στα αντίγραφα των συσκευών (φτιαγμένα από αφρολέξ). Για τη σύζευξη των εφαρμογών Madmapper και Unity χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο “*Klaksprout plugin for Unity*”³¹. Η χαρτογράφηση έγινε στον χώρο του εργαστηρίου, όταν όλα τα ομοιώματα των φυσικών συσκευών και ο βιντεοπροβολέας, είχαν τοποθετηθεί στην τελική τους θέση.

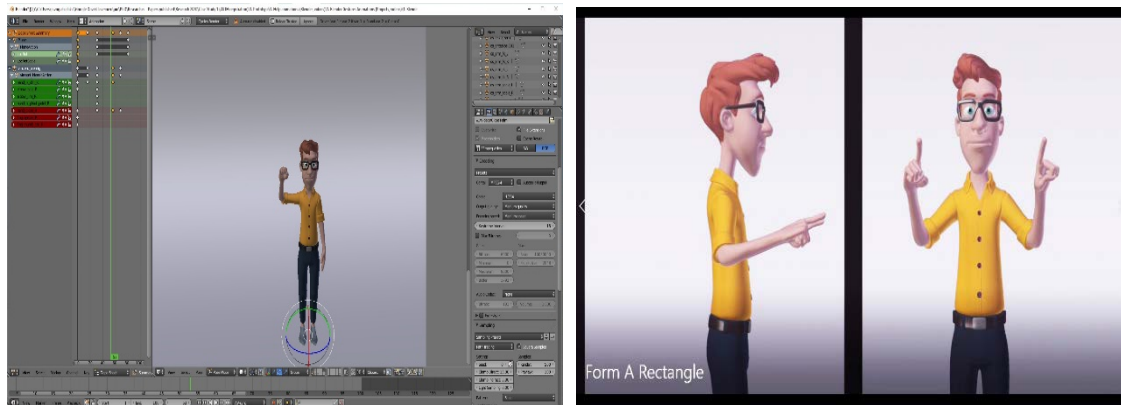
²⁹<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/kinect-v2-examples-with-ms-sdk-andnuitrack-sdk-18708>

³⁰ <https://madmapper.com/>

³¹ <https://opencodelibs.com/lib/klaksprout>

iv. Παραγωγή βίντεο βοήθειας.

Για την καλύτερη κατανόηση της κίνησης κάθε χειρονομίας, δημιουργήθηκαν βίντεο στα οποία ένας τρισδιάστατος χαρακτήρας αναπαράγει τη συγκεκριμένη χειρονομία. Τα βίντεο αυτά δημιουργήθηκαν με την εφαρμογή Blender v2.7³² χρησιμοποιώντας το χαρακτήρα Vincent³³ (Εικόνα 4.8). Χρησιμοποιώντας δύο κάμερες στο Blender, έγινε καταγραφή της κίνησης από διαφορετικές γωνίες για καλύτερη κατανόηση της χειρονομίας (Εικόνα 4.8). Όλα τα βίντεο που δημιουργήθηκαν, εισήχθησαν στην εφαρμογή Madmapper, μέσω της οποίας προβάλλονταν στον τοίχο όταν αυτό απαιτούνταν.



Εικόνα 4.8 - Σχεδίαση κινούμενου χαρακτήρα (αριστερά), Βίντεο "βοήθειας" (δεξιά)

v. Υλοποίηση εργαλείου που επιτρέπει τον έλεγχο αναπαραγωγής των βίντεο βοήθειας

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης του πρωτοτύπου ο χειριστής/ερευνητής μπορεί να ελέγχει την προβολή (ή απόκρυψη) των βίντεο βοήθειας που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Ο έλεγχος γίνεται μέσω μιας ταμπλέτας iPad pro (με λειτουργικό IOS v13.4) και της εφαρμογής TouchOSC³⁴. Η σχεδίαση της διεπαφής έγινε σε υπολογιστή Mac με τη βοήθεια του εργαλείου TouchOSC-Desktop³⁵ (Εικόνα 4.9). Ο ερευνητής μπορούσε να επιλέξει ποιο βίντεο θα αναπαράγει το Madmapper, πατώντας το αντίστοιχο πλήκτρο της εφαρμογής (Εικόνα 4.9). Για να γίνει η σύζευξη (μέσω WiFi) της εφαρμογής TouchOSC (iPad) με το Madmapper, εγκαταστάθηκε το πρόσθετο “TouchOSC Bridge”³⁶ στον επιτραπέζιο υπολογιστή που έτρεχε το Madmapper.

³² <https://www.blender.org/>

³³ <https://cloud.blender.org/p/characters/5718a967c379cf04929a4247>

³⁴ <https://hexler.net/touchosc>

³⁵ https://hexler.net/touchosc#_

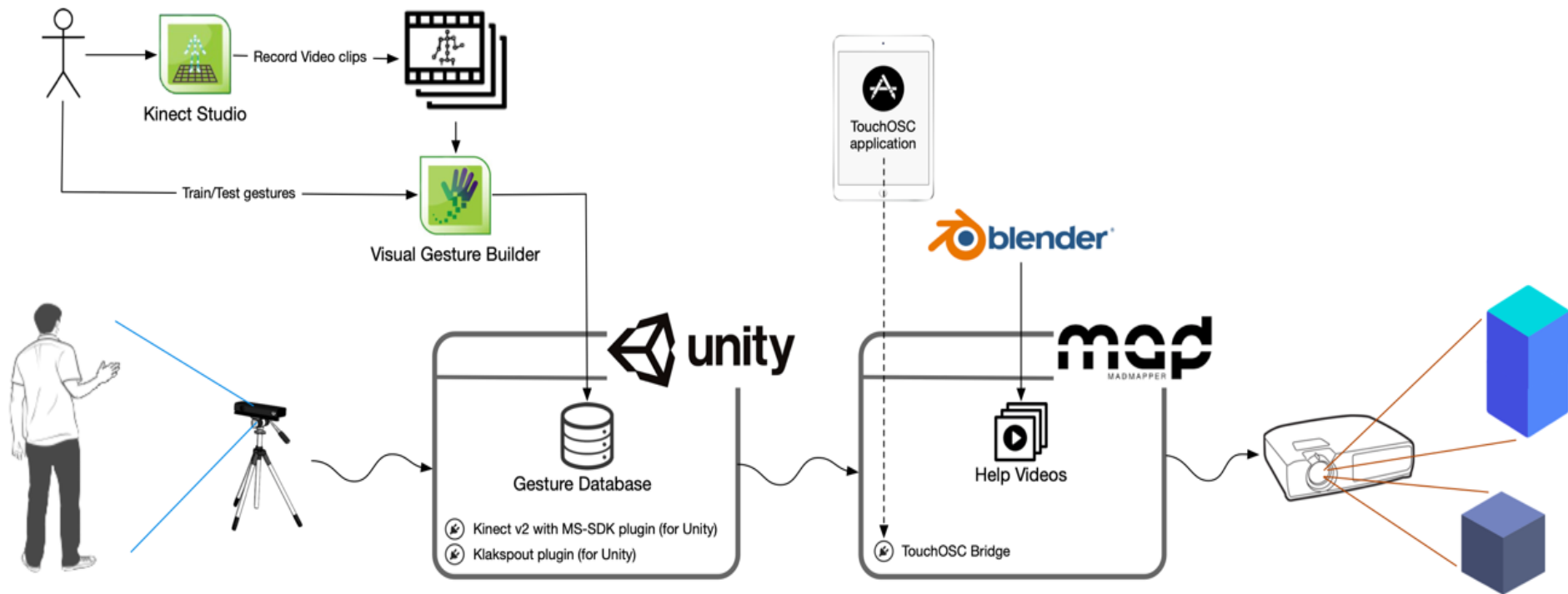
³⁶ <https://hexler.net/touchosc-mk1/manual/configuration-connections-bridge>



Εικόνα 4.9 - Εφαρμογή TouchOSC στο iPad

Συνοπτικά, το τελικό πρωτότυπο λειτουργεί ως εξής (Εικόνα 4.10):

- i. Ο χρήστης εφαρμόζει μια χειρονομία.
- ii. Η κάμερα (Kinect) καταγράφει την κίνηση του χρήστη και στέλνει τα δεδομένα της χειρονομίας στην εφαρμογή unity.
- iii. Γίνεται ένας έλεγχος αν η χειρονομία του χρήστη ανήκει στις χειρονομίες της βάσης δεδομένων χειρονομιών και εφόσον ταιριάζει, τότε η εφαρμογή ενεργοποιεί την αντίστοιχη γραφική ή ηχητική ανάδραση στη συσκευή.
- iv. Το γραφικό περιεχόμενο της εφαρμογής unity, εισάγεται στο Madmapper και προβάλλεται σε πραγματικό χρόνο, μέσω του βιντεοπροβολέα, πάνω στα φυσικά αντικείμενα.
- v. Ο ερευνητής μπορεί ανά πάσα στιγμή να ενεργοποιήσει την αναπαραγωγή συγκεκριμένου βίντεο βοήθειας, χρησιμοποιώντας το iPad. Η αναπαραγωγή του βίντεο γίνεται από το Madmapper και προβάλλεται στον τοίχο, σε εμφανές για το χρήστη σημείο.



Εικόνα 4.10 - Τεχνολογίες προτοτύπου

4.4 Αξιολόγηση χειρονομιών

4.4.1 Διαδικασία αξιολόγησης

Το πρωτότυπο που υλοποιήθηκε στο προηγούμενο στάδιο καθώς και οι χειρονομίες που προέκυψαν κατά το στάδιο σχεδίασης, χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του μοντέλου αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Έπειτα-Εντολή». Κατά την έναρξη της αξιολόγησης, ο ερευνητής έδινε κάποιες εισαγωγικές πληροφορίες σχετικά με την ιδέα χειρισμού πολλαπλών συσκευών με εναέρια αλληλεπίδραση μέσα σε ένα περιβάλλον με πολλαπλές συσκευές. Έπειτα γίνονταν περιγραφή του προβλήματος της *απεύθυνσης* και παρουσιάζονταν η ιδέα του μοντέλου αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Έπειτα-Εντολή».

Όταν ο χρήστης κατανοούσε τη λογική του μοντέλου αλληλεπίδρασης ξεκινούσε η διαδικασία της αξιολόγησης η οποία αποτελούταν από τέσσερα στάδια:

1. **Στάδιο εκμάθησης:** Το στάδιο αυτό χρησιμοποιείται για εκμάθηση των χειρονομιών που απαιτούνται για το χειρισμό των συσκευών του συστήματος. Γίνεται χρήση σεναρίου το οποίο περιλαμβάνει εντολές τις οποίες πρέπει να εκτελέσει ο χρήστης. Κάθε εντολή διαβάζεται από τον ερευνητή, έπειτα παρουσιάζεται ένα «βίντεο βοήθειας» που εμφανίζει ένα τρισδιάστατο χαρακτήρα να εκτελεί την αντίστοιχη χειρονομία, και τέλος ο χρήστης καλείται να εκτελέσει τη χειρονομία μέχρι να ανταποκριθεί σωστά το σύστημα.
2. **Στάδιο ανασκόπησης:** Το στάδιο αυτό χρησιμοποιήθηκε για να ελεγχθεί κατά πόσο οι χρήστες μπορούσαν να θυμηθούν όλες τις χειρονομίες του συστήματος (τι οποίες έμαθαν από το προηγούμενο στάδιο). Η διαδικασία αυτή, είχε τη μορφή ερωταποκρίσεων: ο ερευνητής ζητούσε από τον χρήστη να αναπαράγει τη σωστή χειρονομία για κάθε εντολή και σημείωνε αν η απάντηση ήταν σωστή ή λάθος.
3. **Στάδιο δοκιμής:** Το στάδιο αυτό ήταν παρόμοιο με το στάδιο εκμάθησης, με τη μόνη διαφορά ότι δεν υπήρχε κάποιου είδους βοήθεια προς στο χρήστη. Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σενάριο με εντολές που έπρεπε να ενεργοποιήσει με τις κατάλληλες χειρονομίες. Στην περίπτωση που ο χρήστης δεν θυμόταν κάποια χειρονομία, αυτό καταγράφονταν και ο ερευνητής προχωρούσε στην επόμενη εντολή του σεναρίου.
4. **Στάδιο ερωτηματολογίων:** Στο τέλος, ο χρήστης καλούνταν να συμπληρώσει κάποια ερωτηματολόγια με ποιοτικά δεδομένα σχετικά με την εμπειρία του χρήστη και την ευχρηστία του συστήματος.

4.4.2 Σενάριο που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση

Το σενάριο που χρησιμοποιήθηκε (στα στάδια εκμάθησης και δοκιμής) αποτελούταν από 36 εντολές όπως φαίνονται στο Παράρτημα Γ'. Η λογική του σεναρίου είναι ότι ο χρήστης βρίσκεται στο καθιστικό του σπιτιού του όπου επιλέγει να χειριστεί κάποιες συσκευές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Κατά την αξιολόγηση, ο ερευνητής διαβάζει τις εντολές του σεναρίου και ο χρήστης πρέπει να τις εκτελέσει εφαρμόζοντας την κατάλληλη χειρονομία. Η σειρά των εντολών επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εναλλάσσεται η χρήση των συσκευών. Όλες οι εντολές εξετάζονται μία φορά εκτός από την 5^η (που επαναλαμβάνεται στην 6^η) και την 15^η (που επαναλαμβάνεται στην 18^η). Για αυτές τις δύο περιπτώσεις, κατά την ανάλυση των δεδομένων, λαμβάνονται υπόψη μόνο η πρώτη φορά που εκτελούνται.

4.4.3 Συμμετέχοντες στην αξιολόγηση

Στην αξιολόγηση συμμετείχαν 19 άτομα (5 γυναίκες και 14 άνδρες), με ηλικίες από 26 έως 49 ετών (Μ.Ο.= 40 και Τ.Α.= 6.8), από τους οποίους 4 ήταν αριστερόχειρες. Όλοι τους ήταν μέλη ακαδημαϊκού ή διοικητικού προσωπικού του πανεπιστημίου με προηγούμενη εμπειρία σε σχεδίαση υπολογιστικών συστημάτων ενώ, περίπου οι μισοί (9 από τους 19) είχαν κάποια εμπειρία στην εναέρια αλληλεπίδραση (κυρίως με Wii ή Kinect).

4.4.4 Μετρικές αξιολόγησης

Τα δεδομένα της αξιολόγησης παρήχθησαν έπειτα από ανάλυση των βίντεο του κάθε χρήστη. Από συνολικά 19 χρήστες καταγράφηκαν αντίστοιχα 19 βίντεο, συνολικής διάρκειας 20,5 ωρών (κάθε χρήστης χρειαζόταν κατά μέσο όρο 1 ώρα για να ολοκληρώσει το πείραμα). Τα δεδομένα που προέκυψαν αναλύθηκαν με ποσοτικές μετρικές (qualitative metrics). Πιο συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση της επιτυχίας ολοκλήρωσης εργασίας (task-success), του χρόνου ολοκλήρωσης εργασίας (task completion time) και των λαθών τόσο των θετικών (false-positives) όσο και αρνητικών (false-negatives). Οι παραπάνω μετρικές συλλέχθηκαν από τα στάδια *εκμάθησης*, και *δοκιμής* έπειτα από ανασκόπηση του βίντεο αξιολόγησης του κάθε χρήστη. Από το στάδιο *ανασκόπησης* συλλέχθηκαν δεδομένα για την αξιολόγηση της δυνατότητας απομνημόνευσης των χειρονομιών (memorability) από τους χρήστες.

Εκτός από τα ποσοτικά δεδομένα, συλλέχθηκαν και ποιοτικά δεδομένα, κυρίως από τις απαντήσεις που συμπλήρωσαν οι χρήστες στο τέλος της αξιολόγησης. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ερωτηματολόγια: το System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996) και το User Experience Questionnaire (UEQ) (D. M. Schrepp, n.d.). Γενικά, το ερωτηματολόγιο SUS χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ευχρηστίας συστημάτων και αποτελείται από ερωτήσεις όπου ο χρήστης καλείται να δηλώσει την προτίμησή του σε μια κλίμακα 5 θέσεων (Παράρτημα Δ'). Γενικά, μια βαθμολογία που είναι κάτω από 60.0 θεωρείται «όχι ικανοποιητική», μεταξύ 60 και 80 «ικανοποιητική», και πάνω από 80.0 θεωρείται «πολύ ικανοποιητική» (Tullis & Albert, 2013). Το ερωτηματολόγιο User Experience Questionnaire (UEQ) αποτελεί ένα εργαλείο γρήγορης αξιολόγησης διαδραστικών συστημάτων από το οποίο μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα τόσο για την ευχρηστία του συστήματος όσο και για την εμπειρία του χρήστη. Αποτελείται από 26 ερωτήσεις όπου ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει την προτίμησή του σε μια κλίμακα 7 θέσεων μεταξύ αντιδιαμετρικών απαντήσεων (Παράρτημα Ε') (D. M. Schrepp, n.d.; M. Schrepp et al., 2014, 2017).

Η συλλογή των ποιοτικών δεδομένων έγινε έπειτα από ανάλυση του βίντεο του κάθε χρήστη (μετά το τέλος του πειράματος), ενώ για το σχεδιασμό των ερωτηματολογίων και τη συλλογή των απαντήσεων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Google Forms³⁷.

4.5 Αποτελέσματα

4.5.1 Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task success)

Η αποτίμηση της επιτυχίας ολοκλήρωσης ενεργειών έγινε με ένα δυαδικό τρόπο: ο χρήστης είτε την ολοκληρώνει επιτυχώς, είτε όχι. Μια ενέργεια θεωρούταν αποτυχημένη είτε αν μέσα σε ένα χρονικό περιθώριο 20 δευτερολέπτων (ανά χειρονομία) ο χρήστης έπειτα

³⁷ <https://docs.google.com/forms/>

από τέσσερις επανειλημμένες αποτυχημένες προσπάθειες δεν κατάφερε να την ολοκληρώσει (π.χ. να ενεργοποιήσει την εντολή του συστήματος), είτε εγκατέλειπε την προσπάθεια από μόνος/η του. Τα αποτελέσματα της επιτυχίας ανά ενέργεια φαίνονται στον πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5 - Ποσοστά επιτυχίας ανά ενέργεια (task-success)

Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης	Στάδιο δοκιμής
TV Registration	100%	100%
TV Turn on	100%	100%
TV Turn off	100%	100%
TV Next channel	95%	89%
TV Previous channel	100%	100%
TV Volume up	95%	79%
TV Volume down	95%	100%
TV Mute	100%	100%
Blinds Registration	100%	100%
Blinds up	100%	89%
Blinds Down	100%	100%
Blinds Stop	63%	68%
Lights Registration	100%	100%
Lights Turn on	100%	100%
Lights Turn off	95%	95%
Lights Dim Up	74%	84%
Lights Dim Down	100%	95%
Air Conditioner Registration	100%	100%
Air Conditioner Turn on	100%	100%
Air Conditioner Turn off	95%	100%
Air Conditioner increase temperature	79%	89%
Air Conditioner decrease temperature	100%	84%
Audio Player Registration	100%	100%
Audio Player Turn on	100%	100%
Audio Player Turn off	89%	89%
Audio Player Next	89%	84%
Audio Player Fast Forward	100%	100%
Audio Player Fast Rewind	100%	100%
Audio Player Play	100%	100%
Video Player Registration	100%	100%
Video Player Turn on	100%	100%
Video Player Turn off	100%	89%
Video Player Fast Forward	100%	100%
Video Player Fast Rewind	100%	100%
Video Player Play	100%	100%
Video Player Stop	84%	84%
Video Player Pause	89%	95%
Speakers Registration	100%	100%
Speakers Turn on	100%	100%
Speakers Turn off	95%	89%
Speakers Mute	89%	95%
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	96%	95%

Όλες οι χειρονομίες “απεύθυνσης” είχαν 100% επιτυχία και για τις 7 συσκευές του συστήματος. Αντίστοιχα απόλυτη επιτυχία (100%) είχε και η εντολή ενεργοποίησης των συσκευών (turn-on) η οποία εφαρμόστηκε 5 φορές στο σενάριο (5 συσκευές) και από τους 19 χρήστες, τόσο στο στάδιο εκμάθησης όσο και στο στάδιο δοκιμής.

Οι εντολές του συστήματος παρουσίασαν αρκετά υψηλά ποσοστά επιτυχίας, όπως για παράδειγμα οι next/previous (στις συσκευές τηλεόρασης και αναπαραγωγής βίντεο) και

volume up/down (για τις συσκευές τηλεόραση, αναπαραγωγής βίντεο και αναπαραγωγής μουσικής). Αντίθετα η εντολή που ακινητοποιεί τα στόρια (Blinds - stop) παρουσίασε σχετικά χαμηλά ποσοστά επιτυχίας, 63% κατά το στάδιο εκπαίδευσης και 68% κατά το στάδιο δοκιμής. Έχει ενδιαφέρον το γεγονός ότι ενώ η ίδια χειρονομία χρησιμοποιείται για την εντολή που ακινητοποιεί τα στόρια (Blinds-stop), αλλά και για την εντολή που διακόπτει την αναπαραγωγή βίντεο (Video player - Stop), στην δεύτερη περίπτωση παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας 84% και στα δύο στάδια (εκμάθησης, δοκιμής). Μία πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ότι στην περίπτωση με τα στόρια, υπήρχε ένα χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο έπρεπε να εφαρμοστεί η χειρονομία, (πριν αυτά φτάσουν στο ανώτερο ή κατώτερο σημείο), κάτι που ενδεχομένως να ασκούσε κάποιας μορφής πίεσης στους χρήστες, οι οποίοι έκαναν μεν την σωστή κίνηση, αλλά με βεβιασμένο τρόπο. Γενικά, το συνολικό ποσοστό επιτυχίας ήταν σχετικά υψηλό τόσο κατά το στάδιο εκμάθησης (96%) όσο και κατά το στάδιο της δοκιμής (95%), το οποίο είναι ενθαρρυντικό στοιχείο για την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους.

Πίνακας 4.6 - Ποσοστά επιτυχούς εφαρμογής κάθε χειρονομίας κατά τα στάδια εκμάθησης και δοκιμής.

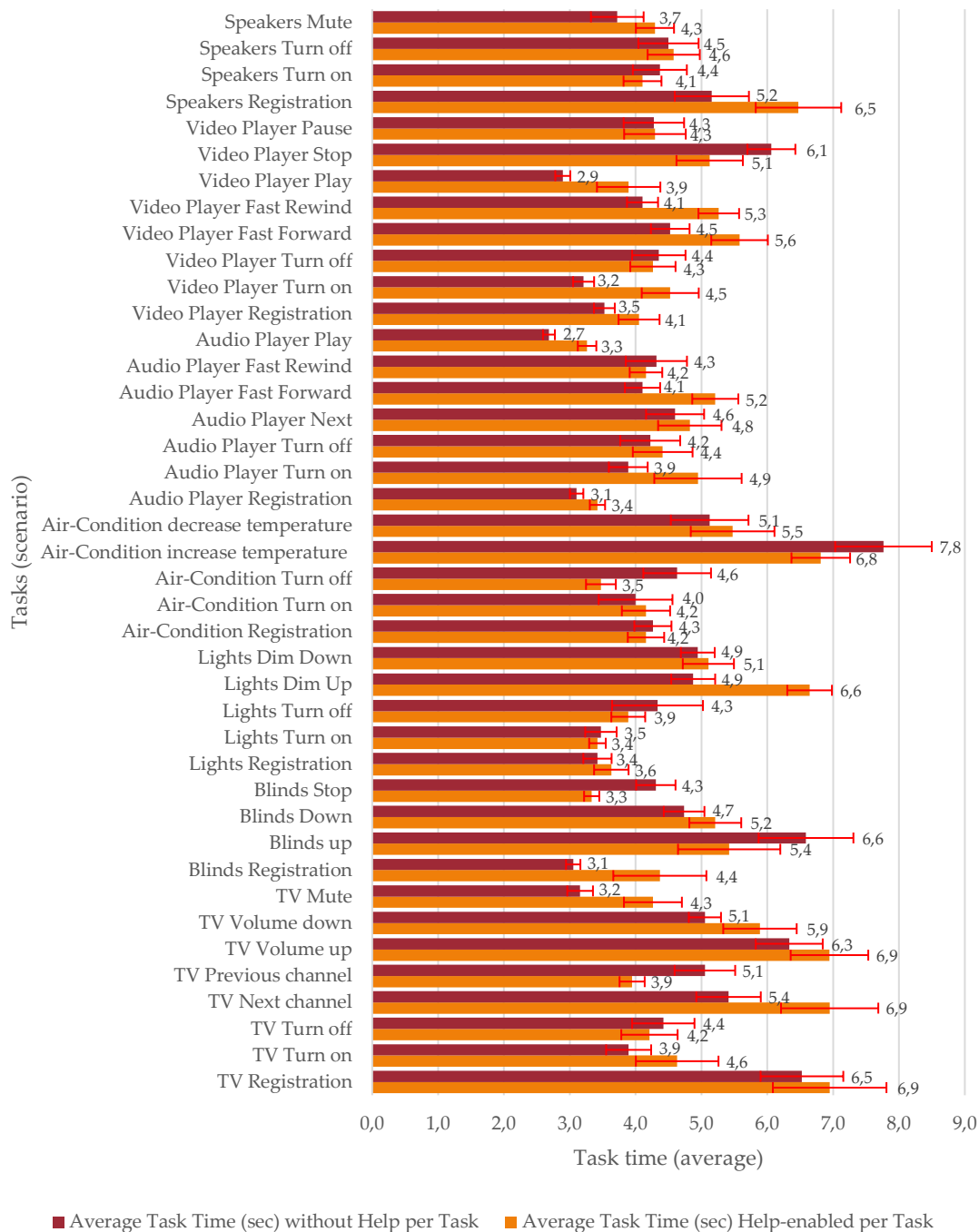
Χειρονομίες	Στάδιο εκμάθησης	Στάδιο δοκιμής
Registration gestures ¹	100%	100%
Opening Fist (Turn On)	100%	100%
Closing Fist (Turn Off)	96%	94%
Swipe up (Up)	87%	85%
Swipe down (Down)	99%	95%
Swipe right (Next)	92%	87%
Swipe left (Previous)	100%	100%
Shsss (Mute)	95%	97%
Roll Clockwise (Fast Forward)	100%	100%
Roll Counterclockwise (Fast Rewind)	100%	100%
Point with right hand (Play)	100%	100%
Palm push (Pause)	89%	95%
Split hands (Stop)	74%	76%

¹ Όλες οι χειρονομίες απεύθυνσης (και για τις 7 συσκευές) είχαν το ίδιο ποσοστό επιτυχίας.

Το σύστημα και το σενάριο περιλαμβάνουν εντολές που εννοιολογικά είναι όμοιες μεταξύ διαφορετικών συσκευών, όπως για παράδειγμα η γενική έννοια *αύξησης* (up) η οποία χρησιμοποιείται για την αύξηση της έντασης του ήχου (τηλεόραση και ηχεία), για να ανοίξουν τα στόρια, και για να αυξηθεί η ένταση του φωτισμού (φώτα). Μάλιστα στο στάδιο της εξομάλυνσης του λεξιλογίου χειρονομιών, έγινε αντιστοίχιση μιας χειρονομίας ανά μία γενική εντολή. Ο πίνακας 4.6 παρουσιάζει το μέσο όρο της επιτυχίας εφαρμογής κάθε χειρονομίας για το σύνολο των εννοιολογικά όμοιων εντολών που χρησιμοποιήθηκε. Με εξαίρεση τη χειρονομία “Split hands”, όλες οι χειρονομίες είχαν ποσοστό επιτυχίας άνω του 85%, ενώ 12 από αυτές (7 χειρονομίες απεύθυνσης και 5 χειρονομίες εντολών) σημείωσαν επιτυχία 100% και στα δύο στάδια.

4.5.2 Χρόνος ολοκλήρωσης εργασιών (Task Time)

Ο χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα και στα δύο στάδια (εκμάθησης και δοκιμής) έπειτα από ανάλυση των βιντεοσκοπημένων προσπαθειών του κάθε χρήστη. Ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τη στιγμή που ξεκινάει ο χρήστης να εκτελεί τη χειρονομία μέχρι τη στιγμή που η σωστή συσκευή ανταποκρίνεται σε αυτή (με κάποιου είδους ακουστική ή οπτική ανάδραση).



Διάγραμμα 4.2 - Χρόνοι ολοκλήρωσης ενεργειών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απεικονίζονται στο διάγραμμα 4.2. Γενικά όλες οι χειρονομίες ολοκληρώθηκαν μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα κατά μέσο όρο για όλους τους χρήστες. Κάποιες από αυτές τις ενέργειες/εντολές είχαν ικανοποιητικό χρόνο ολοκλήρωσης, όπως η εντολή “video-play” ή “audio-play” με χρόνο μικρότερο από 3 δευτερόλεπτα (κατά το στάδιο δοκιμής), ενώ άλλες απαιτούσαν περισσότερο χρόνο όπως για παράδειγμα η χειρονομία απεύθυνσης της τηλεόρασης με 6,5 δευτερόλεπτα.

Συγκρίνοντας τους χρόνους μεταξύ των σταδίων εκμάθησης και δοκιμής (Διάγραμμα 4.2), φαίνεται ότι οι περισσότερες ενέργειες (27 από τις 41) παρουσίασαν μια βελτίωση κατά το στάδιο της δοκιμής. Μάλιστα σε 12 από αυτές τις ενέργειες η βελτίωση του χρόνου ολοκλήρωσης ήταν σημαντική (με διάστημα αξιοπιστίας 95%). Συνολικά, οι χρήστες

ήταν οριακά πιο γρήγοροι κατά το στάδιο της δοκιμής (173 sec, SD=2.6) σε σχέση με το στάδιο εκμάθησης (187.9 sec, SD=3.0) για την ολοκλήρωση όλων των ενεργειών του σεναρίου.

4.5.3 Λάθη (Errors)

Τα λάθη διαχωρίστηκαν σε ψευδώς-αρνητικά λάθη (false negatives) και ψευδώς-θετικά λάθη (false positives). Ψευδώς-αρνητικό λάθος συμβαίνει όταν ο χρήστης εφαρμόζει τη χειρονομία σωστά όμως το σύστημα δεν ανταποκρίνεται. Ψευδώς-θετικό λάθος συμβαίνει όταν το σύστημα ανταποκρίνεται λανθασμένα ή από λανθασμένη χειρονομία του χρήστη.

4.5.3.1 Ψευδώς αρνητικά λάθη (false negative errors)

Γενικά, ψευδώς αρνητικά λάθη συνέβησαν όταν οι χρήστες δεν εφαρμόζαν την χειρονομία με σωστό τρόπο. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε η εξής συμπεριφορά: (α) αρχικά ο χρήστης βλέπει το βίντεο βοήθειας (κατά το στάδιο εκμάθησης) ή ανακαλεί στη μνήμη του την απαιτούμενη χειρονομία και ξεκινά να την εφαρμόζει, (β) ο χρήστης εφαρμόζει τη χειρονομία με χαλαρό τρόπο, (γ) το σύστημα δεν αναγνωρίζει τη χειρονομία και συνεπώς δεν ανταποκρίνεται, (δ) ο χρήστης αντιλαμβάνεται ότι κίνηση της χειρονομίας δεν έγινε σωστά, (ε) ο χρήστης επαναλαμβάνει τη χειρονομία με πιο προσεκτικό τρόπο, (στ) το σύστημα αναγνωρίζει τη χειρονομία και ανταποκρίνεται. Η διαδικασία αυτή συνήθως ολοκληρώνονταν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Στον πίνακα 4.7 παρουσιάζεται ο μέσος όρος και μέση τιμή των ψευδώς-αρνητικά λαθών, για όλες τις ενέργειες που περιλαμβάνει το σενάριο του πειράματος κατά τα στάδια της εκμάθησης και δοκιμής. Στις περισσότερες περιπτώσεις η μέση τιμή ήταν 0 το οποίο δείχνει ότι οι περισσότεροι χρήστες δεν έκαναν ψευδώς αρνητικά λάθη. Ο μέσος όρων των λαθών ήταν σχετικά χαμηλός και κυμάνθηκε μεταξύ 0.2 και 2.8 κατά το στάδιο εκμάθησης, και 0.2 έως 4.8 κατά το στάδιο δοκιμής.

Συγκρίνοντας τα λάθη μεταξύ των δύο σταδίων, παρατηρείται ότι κατά το στάδιο δοκιμής παρουσιάστηκε αύξηση στα λάθη (σε 31 από τις 36 ενέργειες). Μια πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ότι κατά το στάδιο της εκμάθησης οι χρήστες μπορούσαν να αντιληφθούν πιο γρήγορα το λάθος (της κίνησης) τους καθώς υπήρχε στη διάθεσή τους το βίντεο βοήθειας που έδειχνε το σωστό τρόπο εφαρμογής. Αντιθέτως κατά το στάδιο της δοκιμής οι χρήστες έπρεπε να θυμηθούν τη σωστή κίνηση χωρίς κάποιου είδους βοήθεια. Συνολικά, τα χαμηλά αποτελέσματα σε ψευδώς αρνητικά λάθη επιβεβαιώνουν την πολύ ικανοποιητική απόδοση των χρηστών κατά την ΕΑ με πολλαπλές οικιακές συσκευές.

Πίνακας 4.7 - Ψευδώς αρνητικά λάθη (false negative errors)

Ψευδώς αρνητικά λάθη	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
	Μέσος όρος	Μέση τιμή	Μέσος όρος	Μέση τιμή
TV Registration	1.7	0	3.7	0
TV Turn on	0.8	0	0.9	0
TV Turn off	0.4	0	1.1	0
TV Next channel	2.0	1	2.8	1
TV Previous channel	0.4	0	1.5	0
TV Volume up	1.4	1	3.4	2
TV Volume down	1.3	0	0.8	0
TV Mute	0.4	0	0.5	0
Blinds Registration	0.6	0	0.1	0
Blinds up	0.8	0	3.9	1
Blinds Down	1.3	0	1.2	0

Ψευδώς αρνητικά λάθη	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
	Μέσος όρος	Μέση τιμή	Μέσος όρος	Μέση τιμή
Blinds Stop	1.8	0	2.6	0
Lights Registration	0.3	0	0.7	0
Lights Turn on	0.5	0	0.3	0
Lights Turn off	0.5	0	1.7	0
Lights Dim Up	2.6	2	3.0	1
Lights Dim Down	0.6	0	2.0	0
Air Conditioner Registration	0.3	0	0.6	0
Air Conditioner Turn on	0.6	0	0.8	0
Air Conditioner Turn off	0.3	0	1.3	0
Air Conditioner increase temperature	2.8	1	4.9	2
Air Conditioner decrease temperature	0.7	0	3.0	0
Audio Player Registration	0.2	0	0.1	0
Audio Player Turn on	0.8	0	1.5	0
Audio Player Turn off	1.0	0	1.7	0
Audio Player Next	1.7	0	3.8	0
Audio Player Fast Forward	0.8	0	0.8	0
Audio Player Fast Rewind	0.3	0	0.8	0
Audio Player Play	0.2	0	0.0	0
Video Player Registration	0.3	0	0.4	0
Video Player Turn on	0.6	0	0.3	0
Video Player Turn off	0.6	0	2.5	0
Video Player Fast Forward	0.8	0	0.8	0
Video Player Fast Rewind	0.6	0	0.8	0
Video Player Play	0.8	0	0.1	0
Video Player Stop	2.1	0	3.3	1
Video Player Pause	1.5	0	1.8	0
Speakers Registration	1.4	0	1.9	0
Speakers Turn on	0.4	0	1.3	0
Speakers Turn off	0.5	0	2.4	0
Speakers Mute	1.3	0	1.8	0

4.5.3.2 Ψευδώς θετικά λάθη (false positive errors)

Γενικά, τα ψευδώς θετικά λάθη σημειώνονταν όταν οι χρήστες εκτελούσαν κάποια ενέργεια κατά λάθος και αυτό συνέβαινε κυρίως σε αντίθετες χειρονομίες δύο διαστάσεων, όπως για παράδειγμα “swipe-right/swipe-left” ή “open/close hand”. Σε αυτές τις περιπτώσεις το σύστημα συνήθως κατανοούσε την αντίθετη εντολή από την επιθυμητή (π.χ. κατεβάζοντας ο χρήστης το χέρι του κάτω έπειτα από μια ψευδώς αρνητικά λανθασμένη χειρονομία “swipe-up”, το σύστημα αντιλαμβάνεται την αντίθετη χειρονομία “swipe-down”).

Τα ψευδώς θετικά λάθη φαίνονται στον πίνακα 4.8 για τα στάδια εκμάθησης και δοκιμής. Η μέση τιμή για όλες τις ενέργειες του σεναρίου ήταν 0, το οποίο δείχνει ότι οι περισσότεροι χρήστες δεν σημείωσαν κανένα ψευδώς θετικό λάθος. Ομοίως και ο μέσος όρος των λαθών ήταν σχετικά χαμηλός (και αρκετά μικρότερος σε σχέση με τα ψευδώς αρνητικά λάθη) για όλες τις ενέργειες και κυμάνθηκε από 0.0 μέχρι 0.4 κατά το στάδιο εκμάθησης και από 0.0 έως 0.2 κατά το στάδιο δοκιμής.

Γενικά, οι πολύ χαμηλές τιμές σε ψευδώς θετικά λάθη, επιβεβαιώνουν ότι η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους μπορεί να επιτευχθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Έπειτα-Εντολή», μπορεί να αντιμετωπίσει φαινόμενο «αγγίγματος του Μίδα» σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό.

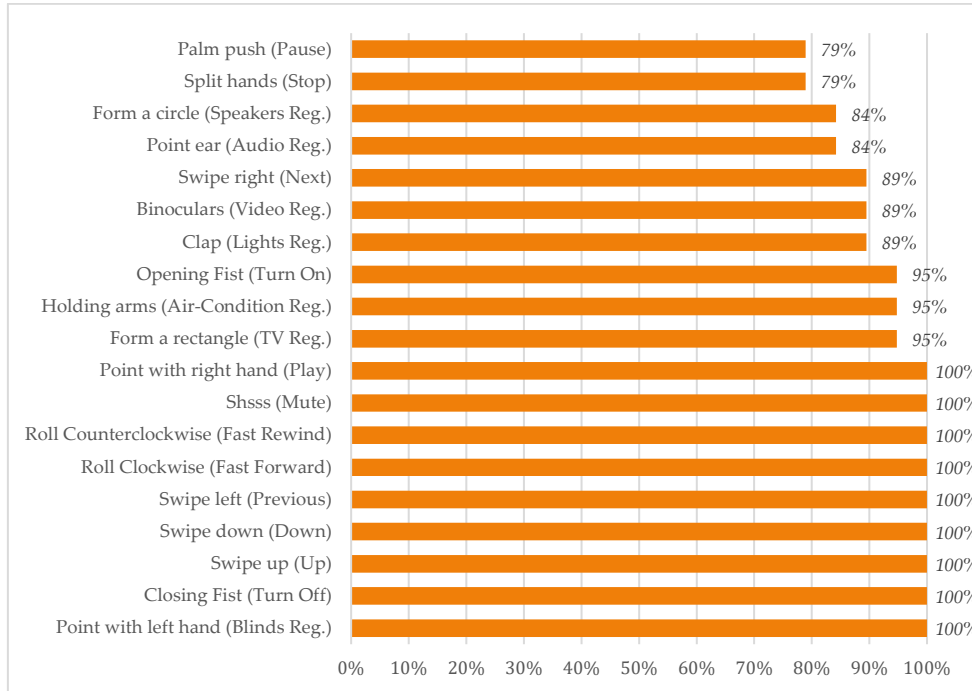
Πίνακας 4.8 - Ψευδώς-θετικά λάθη (false positives)

Ψευδώς θετικά λάθη	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
	Μέσος όρος	Μέση τιμή	Μέσος όρος	Μέση τιμή
TV Registration	0.1	0	0.0	0
TV Turn on	0.4	0	0.0	0
TV Turn off	0.0	0	0.0	0
TV Next channel	0.1	0	0.0	0
TV Previous channel	0.2	0	0.1	0
TV Volume up	0.0	0	0.0	0
TV Volume down	0.0	0	0.0	0
TV Mute	0.0	0	0.1	0
Blinds Registration	0.0	0	0.0	0
Blinds up	0.0	0	0.2	0
Blinds Down	0.1	0	0.0	0
Blinds Stop	0.1	0	0.1	0
Lights Registration	0.1	0	0.0	0
Lights Turn on	0.1	0	0.1	0
Lights Turn off	0.1	0	0.0	0
Lights Dim Up	0.4	0	0.0	0
Lights Dim Down	0.0	0	0.0	0
Air Conditioner Registration	0.1	0	0.1	0
Air Conditioner Turn on	0.1	0	0.0	0
Air Conditioner Turn off	0.0	0	0.0	0
Air Conditioner increase temperature	0.0	0	0.0	0
Air Conditioner decrease temperature	0.0	0	0.0	0
Audio Player Registration	0.0	0	0.0	0
Audio Player Turn on	0.1	0	0.1	0
Audio Player Turn off	0.2	0	0.0	0
Audio Player Next	0.1	0	0.1	0
Audio Player Fast Forward	0.3	0	0.1	0
Audio Player Fast Rewind	0.0	0	0.1	0
Audio Player Play	0.0	0	0.0	0
Video Player Registration	0.0	0	0.1	0
Video Player Turn on	0.0	0	0.0	0
Video Player Turn off	0.1	0	0.0	0
Video Player Fast Forward	0.2	0	0.2	0
Video Player Fast Rewind	0.3	0	0.0	0
Video Player Play	0.0	0	0.0	0
Video Player Stop	0.4	0	0.2	0
Video Player Pause	0.0	0	0.0	0
Speakers Registration	0.1	0	0.0	0
Speakers Turn on	0.1	0	0.0	0
Speakers Turn off	0.1	0	0.0	0
Speakers Mute	0.2	0	0.2	0

4.5.4 Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών (Memorability)

Κατά το στάδιο *ανασκόπησης*, (το οποίο μεσολαβούσε μεταξύ των σταδίων *εκμάθησης* και *δοκιμής*), οι χρήστες καλούνταν να ανακαλέσουν και να παράγουν τις 19 χειρονομίες του συστήματος. Σκοπός ήταν να ελεγχθεί κατά πόσο οι χρήστες μπορούσαν να θυμηθούν όλες τις χειρονομίες που έμαθαν κατά το προηγούμενο στάδιο, και στην περίπτωση που δεν θυμόντουσαν κάποια χειρονομία, να τους την υπενθυμίσει ο ερευνητής. Η ικανότητα απομνημόνευσης υπολογίστηκε με βάση τις σωστές απαντήσεις των χρηστών και απεικονίζεται στο διάγραμμα 4.3, για κάθε χειρονομία. Παραπάνω από τις μισές χειρονομίες (10 από τις 19, ~52%) σημείωσαν ποσοστό απομνημόνευσης 100%, ενώ για τις υπόλοιπες το ποσοστό αυτό κυμάνθηκε από 79% έως 95%. Παρατηρώντας τις απαντήσεις των χρηστών, φάνηκε ότι οι περισσότεροι από αυτούς, είχαν την τάση να συγχέουν

χειρονομίες εννοιολογικά παρόμοιων εντολών (όπως “pause” και “stop”) ή σχετιζόμενων συσκευών (όπως ηχείων και συσκευής αναπαραγωγής ήχου). Γενικά, το συνολικό ποσοστό απομνημόνευσης ήταν 94%, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί αρκετά υψηλό δεδομένου του αριθμού των συνολικά 19 χειρονομιών και του σχετικά σύντομου χρονικού διαστήματος που είχαν στη διάθεσή τους οι χρήστες να τις μάθουν (κατά το στάδιο εκμάθησης).



Διάγραμμα 4.3 - Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών

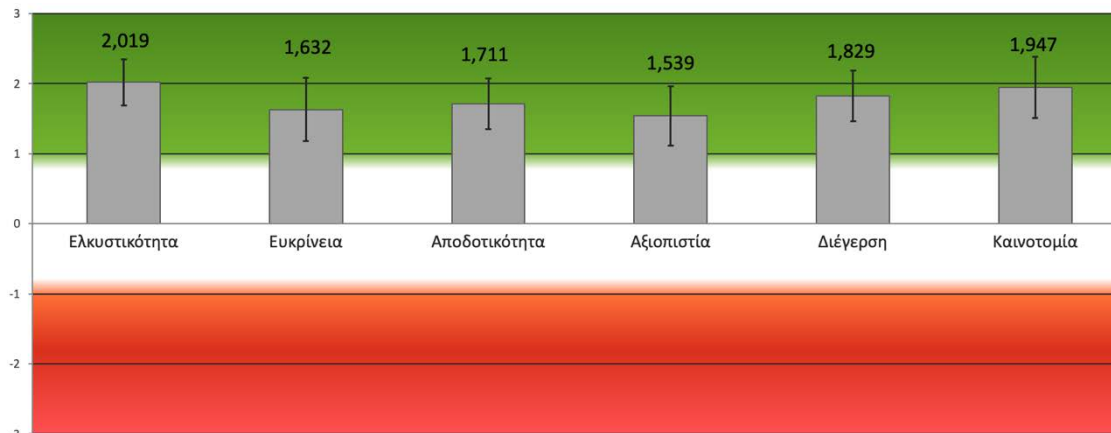
4.5.5 Ερωτηματολόγιο SUS (System Usability Scale)

Για να αξιολογηθεί η ευχρηστία του συστήματος όπως την αντιλαμβάνονται οι χρήστες, έγινε χρήση του ερωτηματολογίου System Usability System (SUS) (Brooke, 1996) το οποίο συμπλήρωσαν οι χρήστες στο τέλος του πειράματος. Η βαθμολογία SUS του συστήματος ήταν 79.0 (μέσος όρος από τις απαντήσεις όλων των χρηστών). Γενικά, μια βαθμολογία που είναι κάτω από 60.0 θεωρείται «όχι ικανοποιητική», μεταξύ 60 και 80 «ικανοποιητική», και πάνω από 80.0 θεωρείται «πολύ ικανοποιητική» (Tullis & Albert, 2013). Συνεπώς, από πλευράς ευχρηστίας, το σύστημα με το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ, μπορεί να θεωρηθεί ως αρκετά ικανοποιητικό.

4.5.6 Ερωτηματολόγιο UEQ (User Experience Questionnaire)

Στο τέλος τους πειράματος οι χρήστες συμπλήρωσαν και ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο προκειμένου να γίνει αξιολόγηση της εμπειρίας του χρήστη. Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το User Experience Questionnaire (UEQ) (M. Schrepp et al., 2017) το οποίο αξιολογεί το σύστημα σε 6 άξονες: 1) *ελκυστικότητα* (συνολική εντύπωση του συστήματος), 2) *ευκρίνεια* (πόσο εύκολο είναι να εξοικειωθεί ο χρήστης με το σύστημα), 3) *αποδοτικότητα* (κατά πόσο μπορεί ο χρήστης να ολοκληρώσει μια εργασία χωρίς περιττή προσπάθεια), 4) *αξιοπιστία* (πόσο σίγουρος νιώθει ο χρήστης ότι ελέγχει την αλληλεπίδραση), 5) *διέγερση* (πόσο συναρπαστικό, παρακινητικό και ευχάριστο είναι η χρήση του συστήματος), 6) *καινοτομία* (κατά πόσο το σύστημα είναι καινοτόμο και δημιουργικό).

Η αξιολόγηση του συστήματος με βάση το UEQ αποδίδεται σε μια κλίμακα τιμών από -3 (εξαιρετικά κακή) έως +3 (εξαιρετικά καλή) ενώ στο διάστημα από -0.8 έως +0.8 θεωρείται ουδέτερη αξιολόγηση (D. M. Schrepp, n.d.). Από τις απαντήσεις που έδωσαν οι χρήστες, προκύπτουν αρκετά θετικές αξιολογήσεις (Διάγραμμα 4.4) και στους 6 άξονες με τιμές από 1,539 (αξιοπιστία) έως 2,019 (ελκυστικότητα).



Διάγραμμα 4.4 - Αποτελέσματα ερωτηματολογίου UEQ για το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ

4.6 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή», ως μια σχεδιαστική προσέγγιση εναέριας αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους. Το μοντέλο ΑεΕ αντιμετωπίζει το πρόβλημα της απεύθυνσης (στον επιθυμητό στόχο) και εντολής με δύο διαδοχικά βήματα, όπου στο καθένα εκτελείται από τον/την χρήστη μια χειρονομία.

Ακολουθήθηκε η μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών από χρήστες, από την οποία προέκυψε ένα αρχικό σετ χειρονομιών. Προκειμένου να προταθούν χειρονομίες που να είναι εστιασμένες και συναφείς με το πεδίο εφαρμογής, η μέθοδος εμπλουτίστηκε από διάφορες τεχνικές όπως χρήση πλαισίου οριοθέτησης, και σεναρίου. Η διαδικασία φάνηκε ότι βοήθησε τους χρήστες να δημιουργήσουν ένα προσωπικό νοητικό μοντέλο με βάση το οποίο πρότειναν χειρονομίες που ήταν περιβαλλοντικά έγκυρες με το σενάριο χρήσης του οικοσυστήματος. Επίσης, φάνηκε ότι οι χρήστες ήταν συνεπείς στις προτεινόμενες χειρονομίες που αφορούσαν όμοιες εντολές σε διαφορετικές συσκευές, κάτι που αποτυπώθηκε και με τη μετρική «Δείκτης συνέπειας» για κάθε χρήστη.

Στα πλαίσια της έρευνας υλοποιήθηκε ένα πρωτότυπο το οποίο προσομοίωνε μόνο την ανάδραση του οικοσυστήματος συσκευών στις χειρονομίες που αναγνώριζε από τον χρήστη, λειτουργικότητα η οποία ήταν αρκετή για την αξιολόγηση της ευχρηστίας του αρχικού σετ χειρονομιών και την ανάδειξη διαφόρων προβλημάτων αλληλεπίδρασης. Για την υλοποίηση του πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνολογίες. Για το μηχανισμό αναγνώρισης χειρονομιών χρησιμοποιήθηκε κάμερα βάθους σε συνδυασμό με λογισμικό που επέτρεπε το σχεδιασμό των χειρονομιών μέσω εκπαίδευσης του συστήματος με τεχνολογίες μηχανικής μάθησης. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν την υλοποίηση μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών σε σύντομο χρονικό διάστημα (χωρίς την απαίτηση γνώσης προγραμματισμού), τη δοκιμή της απόδοσης αναγνώρισης τους από το σύστημα, και την εύκολη τροποποίηση, βελτίωση ή αντικατάστασή τους. Η εφαρμογή που υλοποιήθηκε μπορούσε να αναγνωρίζει τις χειρονομίες του χρήστη και να παρουσιάζει την αντίστοιχη ανάδραση του συστήματος. Τέλος, για να γίνει πιο αληθοφανές το πρωτότυπο, χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία χαρτογραφημένης προβολής του περιεχομένου της εφαρμογής

πάνω σε ομοιώματα των συσκευών δημιουργώντας ένα περιβάλλον χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας.

Από την αξιολόγηση του πρωτοτύπου προέκυψαν διάφορα συμπεράσματα. Γενικά, το σετ χειρονομιών του μοντέλου ΑεΕ παρουσίασε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο όσον αφορά την εμπειρία του χρήστη όσο και την ευχρηστία του συστήματος. Το φαινόμενο «αγγίγματος του Μίδα» δεν ήταν εμφανές, ενώ η αλληλεπίδραση ήταν σχετικά γρήγορη και με υψηλά ποσοστά επιτυχίας. Τέλος, όλοι οι χρήστες είχαν πολύ υψηλά ποσοστά απομνημόνευσης των απαιτούμενων

5. Μελέτη περίπτωσης 2: “Απεύθυνση-και-Εντολή” - Μοντέλο αλληλεπίδρασης με πολλαπλές συσκευές με χρήση εναέριων χειρονομιών

Η παρούσα μελέτη ασχολείται με την ΕΑ με πολλαπλούς στόχους χρησιμοποιώντας το παράδειγμα ενός χώρου που περιέχει 7 οικιακές συσκευές και βρίσκεται εντός ενός έξυπνου σπιτιού. Εδώ, παρουσιάζεται το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-και-εντολή» (ΑκΕ) σύμφωνα με το οποίο μια αλληλεπίδραση ολοκληρώνεται σε ένα βήμα. Ουσιαστικά, η απεύθυνση (στη συσκευή) και η εντολή, περιέχονται σε μία χειρονομία η οποία εκτελείται και από τα δύο χέρια του χρήστη ταυτόχρονα. Στόχος της μελέτης είναι να διερευνηθούν τα εξής ζητήματα:

- Ποιο σετ χειρονομιών του μοντέλου ΑκΕ είναι προτιμότερο από τους χρήστες;
- Με ποιον τρόπο μπορεί να σχεδιαστεί ένα πρωτότυπο το οποίο θα περιλαμβάνει και τις 7 συσκευές και θα αναγνωρίζει τις χειρονομίες του χρήστη, ώστε να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του σετ χειρονομιών;
- Πόσο αποτελεσματικό, εύχρηστο, και γρήγορο είναι το μοντέλο ΑκΕ;
- Σε τι βαθμό μπορούσαν οι χρήστες να απομνημονεύσουν όλες τις χειρονομίες του συστήματος;
- Πόσο εμφανές ήταν το πρόβλημα του «αγγίγματος του Μίδα»;

5.1 Μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-και-Εντολή» (ΑκΕ)

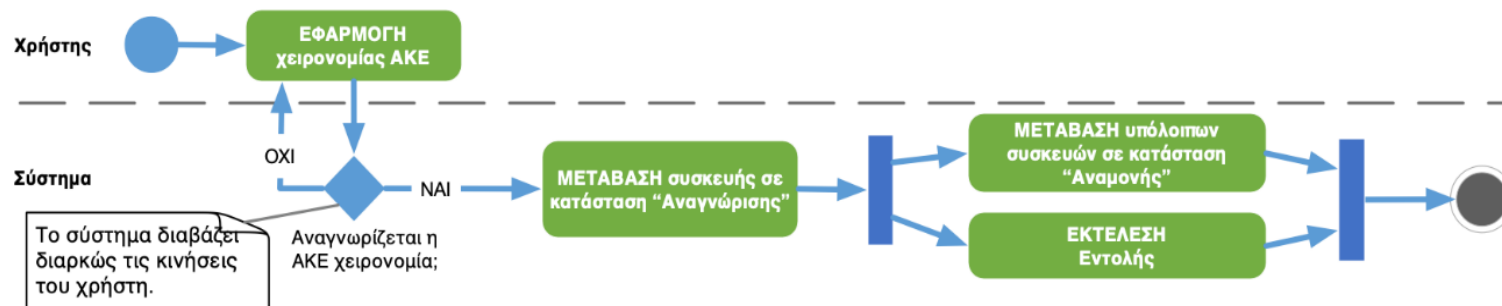
Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται το μοντέλο αλληλεπίδρασης με την ονομασία “Απεύθυνση-και-εντολή” (ΑκΕ). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, κάθε αλληλεπίδραση ολοκληρώνεται με μια ταυτόχρονη κίνηση και των δύο χεριών, όπου το κάθε χέρι έχει ένα συγκεκριμένο ρόλο: το μη κυρίαρχο χέρι χρησιμοποιείται για να απευθυνθεί στη συσκευή ενώ το κυρίαρχο χέρι χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει μια εντολή.

Όπως και στη μελέτη 1, οι συσκευές του συστήματος μπορεί να βρίσκονται σε 2 καταστάσεις: (α) κατάσταση «αναμονής» (stand-by) όπου ανταποκρίνονται μόνο σε χειρονομίες απεύθυνσης και (β) κατάσταση «αναγνώρισης» (activated) όπου ανταποκρίνονται μόνο σε χειρονομίες εντολών. Όταν μια συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση αναγνώρισης, οι υπόλοιπες συσκευές του συστήματος μεταβαίνουν σε κατάσταση αναμονής. Με το τρόπο αυτό, κάθε φορά, μία μόνο συσκευή μπορεί να αναγνωρίζει χειρονομίες εντολών. Οι χειρονομίες που ενεργοποιούν εντολές, ονομάζονται «χειρονομίες εντολών», ενώ εκείνες που χρησιμοποιούνται για να ορίσουν μια συσκευή σε κατάσταση αναμονής, ονομάζονται «χειρονομίες απεύθυνσης».

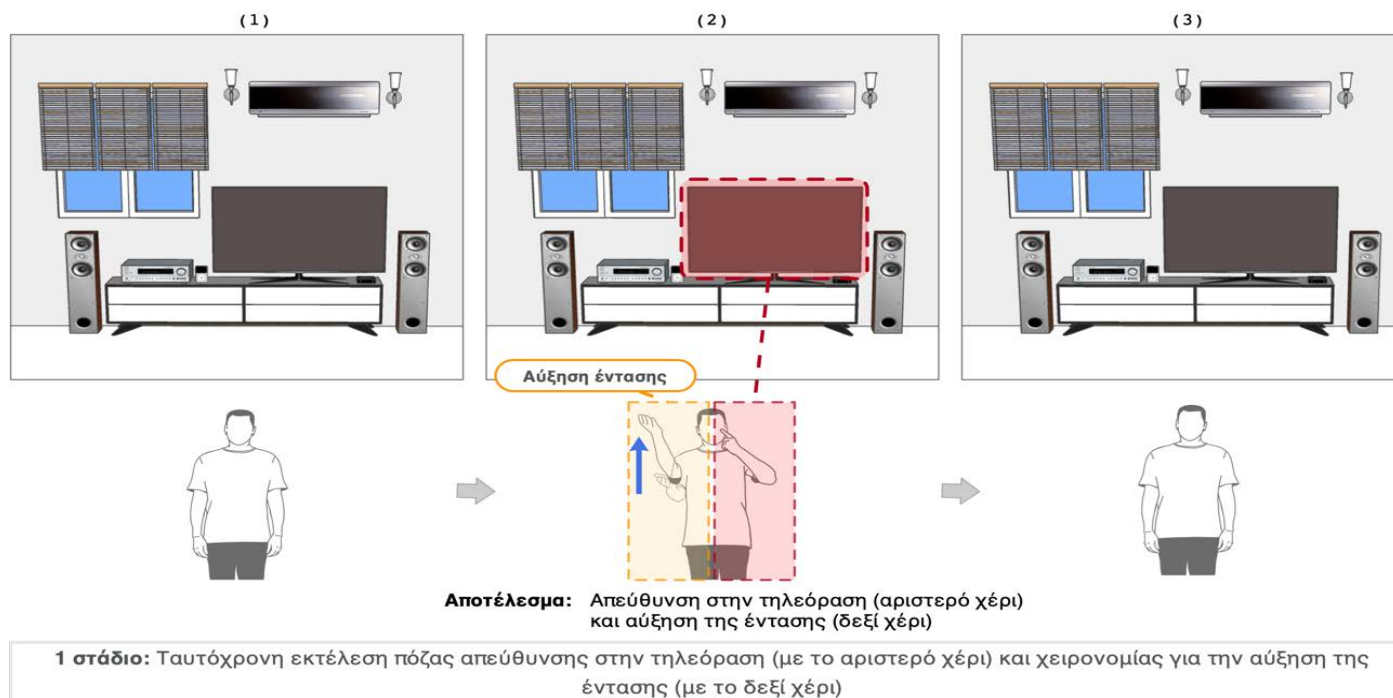
Το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ έχει τις εξής αρχές:

1. Οι χειρονομίες απεύθυνσης ασκούνται από το μη κυρίαρχο χέρι.
2. Οι χειρονομίες απεύθυνσης είναι μοναδικές για κάθε συσκευή και είναι στατικές (πόζες).
3. Όσο διάστημα ο χρήστης ασκεί την πόζα απεύθυνσης, η απευθυνόμενη συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση αναγνώρισης.
4. Οι χειρονομίες εντολών ασκούνται με το κυρίαρχο χέρι.
5. Οι χειρονομίες εντολών μπορεί να είναι είτε στατικές (πόζες) είτε δυναμικές χειρονομίες.
6. Οι χειρονομίες εντολών είναι ίδιες για όμοιες εντολές μεταξύ διαφορετικών συσκευών.

Η αλληλεπίδραση με το μοντέλο ΑκΕ περιλαμβάνει για κάθε αλληλεπίδραση ένα στάδιο το οποίο έχει την ακόλουθη ροή (Εικόνα 5.1): (α) ο χρήστης εφαρμόζει την κίνηση που περιλαμβάνει πόζα του μη-κυρίαρχου χεριού και χειρονομία του κυρίαρχου χεριού, (β) όταν αναγνωριστεί η πόζα απεύθυνσης και για όση ώρα αυτή ασκείται, η απευθυνόμενη συσκευή μεταβαίνει σε κατάσταση «αναγνώρισης», (γ) όλες οι υπόλοιπες συσκευές μεταβαίνουν σε κατάσταση «αναμονής» (δ) η εντολή εκτελείται από τη συσκευή (που είναι σε κατάσταση «αναγνώρισης»).



Εικόνα 5.1 - Διάγραμμα του μοντέλου Απεύθυνσης-και-Εντολής



Εικόνα 5.2 - Παράδειγμα αλληλεπίδρασης με το μοντέλο ΑΚΕ: το μη κυρίαρχο χέρι ασκεί την πόζα απεύθυνσης για να απευθυνθεί στην τηλεόραση, ενώ το κυρίαρχο χέρι ασκεί τη χειρονομία εντολής αύξησης της έντασης του ήχου.

Στην εικόνα 5.2, απεικονίζεται ένα παράδειγμα αλληλεπίδρασης για την αύξηση της έντασης στην τηλεόραση με το μοντέλο «Απεύθυνση και Εντολή». (1) Ο χρήστης αρχικά βρίσκεται σε χαλαρή στάση, (2) με το μη-κυρίαρχο χέρι ο χρήστης ασκεί την πόζα απεύθυνσης της τηλεόρασης η οποία για παράδειγμα είναι η "point to eye" (δείχνει με τον δείκτη του χεριού το μάτι του). Όταν η συσκευή είναι σε κατάσταση αναγνώρισης (όση ώρα το μη-κυρίαρχο χέρι έχει τη συγκεκριμένη πόζα), ο χρήστης μπορεί με το κυρίαρχο χέρι να εφαρμόσει τη χειρονομία αύξησης "swipe-up". (3) Όταν ο χρήστης επιθυμεί να τελειώσει την αλληλεπίδραση μπορεί να επιστρέψει στη χαλαρή στάση.

5.2 Σχεδίαση χειρονομιών με χρήση πλαισίου περιορισμών

Για τον εντοπισμό διαισθητικών χειρονομιών που υπακούουν στις αρχές του μοντέλου αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση και Εντολή», διεξήχθη μια εκμαιοτική έρευνα εικασιών (Guessability study) με χρήση πλαισίου περιορισμών (Cafaro et al., 2018). Οι περιορισμοί αυτοί, στο μεγαλύτερο μέρος τους, ήταν παρόμοιοι με αυτούς της προηγούμενης μελέτης:

- Το έξυπνο σπίτι περιλαμβάνει 7 συσκευές,
- Οι συσκευές βρίσκονται μέσα στο οπτικό πεδίο του χρήστη, ο οποίος μπορεί να είναι καθιστός ή όρθιος.
- Η αλληλεπίδραση γίνεται απευθείας με τη συσκευή χωρίς να υπάρχει κάποια γραφική διεπαφή
- Το μοντέλο αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιείται είναι το «Απεύθυνση-και-εντολή».
- Οι χειρονομίες (πόζες) απεύθυνσης πρέπει να είναι μοναδικές για κάθε συσκευή
- Οι χειρονομίες εντολών πρέπει να είναι ίδιες για όμοιες εντολές μεταξύ διαφορετικών συσκευών.

Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο ερευνών είναι τα μοντέλα αλληλεπίδρασης τα οποία χρησιμοποιούνται και ουσιαστικά είναι αυτά τα οποία εξετάζονται από πλευράς εμπειρίας του χρήστη και ευχρηστίας, στις αντίστοιχες μελέτες.

Μια άλλη διαφοροποίηση έχει να κάνει με τις χειρονομίες εντολών. Στην προηγούμενη έρευνα φάνηκε ότι οι χρήστες είχαν την τάση να παρουσιάζουν μια συνέπεια στις προτεινόμενες χειρονομίες που αφορούσαν παρόμοιες εντολές μεταξύ διαφορετικών συσκευών, το οποίο μάλιστα φάνηκε και από τις μετρήσεις του «βαθμού συνέπειας – $CR(c)$ » των χρηστών. Με βάση αυτό, κατά το στάδιο «ομαλοποίησης του λεξιλογίου χειρονομιών», έγινε μια μείωση του αριθμού των διαφορετικών χειρονομιών, για να διευκολυνθεί η απομνημόνευσή τους. Αρχικά λοιπόν, στη μελέτη 1, οι χρήστες ήταν ελεύθεροι να προτείνουν διαφορετικές χειρονομίες (δεν υπήρχε περιορισμός πλαισίου), οι οποίες σε δεύτερη φάση, περιορίστηκαν (στάδιο ομαλοποίησης). Στην παρούσα μελέτη, το φαινόμενο της συνέπειας προτεινόμενων χειρονομιών (για παρόμοιες εντολές) ενσωματώθηκε εξαρχής στο πλαίσιο, ως περιορισμός. Με αυτό τον τρόπο οι χρήστες, περιορίζονται στο να σκεφτούν και να προτείνουν μια μοναδική χειρονομία ανά κατηγορία εντολής (όπως αύξηση, μείωση, επόμενο, προηγούμενο, κλείσιμο κλπ.), ασχέτως σε ποια συσκευή χρησιμοποιείται.

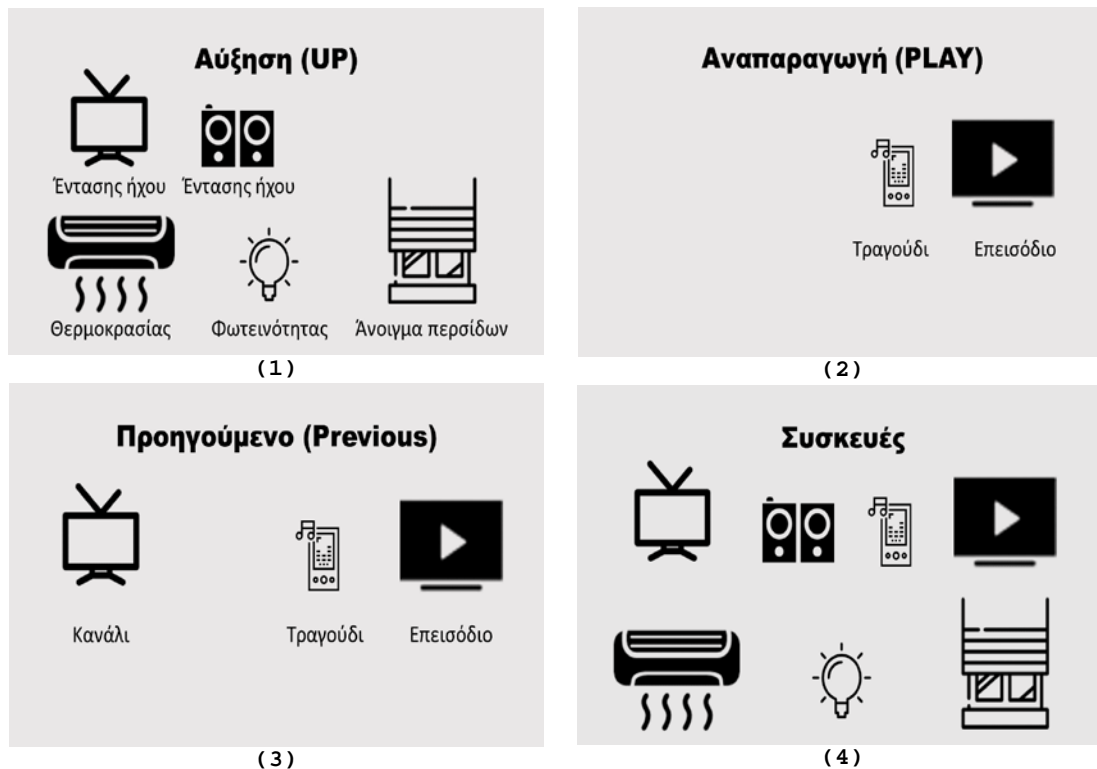
5.2.1 Μέθοδος εκμαιοσης χειρονομιών

Κατά την έναρξη του πειράματος, καταγράφονταν δημογραφικά στοιχεία του/της χρήστη και έπειτα, ένα γενικό σενάριο παρουσιάζονταν για να τον/την βοηθήσει να κατανοήσει την έννοια του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος στο οποίο οι συσκευές θα μπορούσαν

να ελέγχονται με χειρονομίες. Στη συνέχεια, δόθηκαν εξηγήσεις σχετικά με το μοντέλο αλληλεπίδραση ΑΚΕ, ως μια πιθανή λύση στο πρόβλημα «αγγίγματος του Μίδα».

Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν οι αναφορές (εντολές και συσκευές) του συστήματος σε μορφή προβολής διαφανειών. Για κάθε εντολή, υπήρχε μια διαφάνεια με την ονομασία της εντολής και τις συσκευές που εφαρμόζεται (Εικόνα 5.3, 1-3). Οι χρήστες ήταν ελεύθεροι να παράγουν διάφορες χειρονομίες, όμως στο τέλος έπρεπε να επιλέξουν μόνο μία. Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία για τις εντολές, παρουσιάζονταν μια τελική διαφάνεια που περιείχε όλες τις συσκευές, προκειμένου ο χρήστης να σκεφτεί και να προτείνει μια μοναδική χειρονομία για κάθε μία (Εικόνα 5.3, 4). Όλες οι απεικονίσεις συσκευών ήταν απλά εικονίδια χωρίς κάποιου είδους χειριστήριο με υπονοούμενες λειτουργίες (Παράρτημα Β'), προκειμένου να μην επηρεαστούν οι προτάσεις των χρηστών (Legacy Bias) (Morris et al., 2014).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να σκέφτονται δυνατά (Think aloud protocol) και να περιγράφουν λεκτικά την αρχή και τέλος των χειρονομιών. Κατά μέσο όρο, οι συμμετέχοντες χρειάστηκαν περίπου σαράντα λεπτά για να ολοκληρώσουν το πείραμα κατά τη διάρκεια του οποίου ελήφθησαν εκτενείς σημειώσεις.



Εικόνα 5.3 - Δείγμα διαφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκπαίδευσης χειρονομιών: (1-3) διαφάνειες εντολών, (4) διαφάνεια συσκευών.

5.2.2 Αναφερόμενες εντολές

Οι εντολές και συσκευές που επιλέχθηκαν είναι ίδιες με εκείνες της μελέτης περίπτωσης 1. Πρόκειται για συνηθισμένες εντολές και οικείες συσκευές που βρίσκονται συνήθως σε ένα οικιακό περιβάλλον. Όλες οι εντολές συναντώνται σε παραπάνω από 2 συσκευές. Η λίστα των εντολών φαίνεται στον πίνακα 5.1 όπου φαίνονται οι εντολές που πρέπει να εφαρμοστούν με το κυρίαρχο χέρι και εκείνες που πρέπει να εφαρμοστούν με το μη-κυρίαρχο χέρι.

Πίνακας 5.1 - Λίστα εντολών για τις 7 συσκευές του συστήματος (Κ: κυρίαρχο χέρι το οποίο χρησιμοποιείται για τις εντολές, ΜΚ: μη-κυρίαρχο χέρι για τις χειρονομίες απεύθυνσης συσκευής)

	TV	Speakers	Video Player	Audio Player	Air-Condition	Lights	Blinds
Address the Device	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK
Turn On	K	K	K	K	K	K	K
Turn Off	K	K	K	K	K	K	K
Up	K	K			K	K	K
Down	K	K			K	K	K
Next	K		K	K			
Previous	K		K	K			
Mute	K	K					
Fast Forward			K	K			
Fast Rewind			K	K			
Play			K	K			
Pause			K	K			
Stop			K	K			K

5.2.3 Συμμετέχοντες στη διαδικασία εκμείωσης χειρονομιών

Δεκαοκτώ (18) συμμετέχοντες έλαβαν μέρος εθελοντικά στη μελέτη εκμείωσης χειρονομιών (6 γυναίκες) με ηλικίες από 24 έως 47 ετών ($M.O_{\text{ηλικίας}} = 37.8$, $T.A.=7,4$). Οι περισσότεροι ανήκαν στο ακαδημαϊκό προσωπικό ή ήταν φοιτητές με κάποια εμπειρία στο σχεδιασμό διαδραστικών συστημάτων. Δέκα συμμετέχοντες είχαν προηγούμενη εμπειρία με εναέρια αλληλεπίδραση έχοντας χρησιμοποιήσει το Leap Motion ή το MS Kinect. Τρεις χρήστες ήταν αριστερόχειρες.

5.2.4 Τεχνολογική υποδομή

Η μελέτη εκμείωσης χειρονομιών έγινε σε εργαστηριακό χώρο του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Η προβολή των διαφανειών έγινε σε μια οθόνη 26 ιντσών συνδεδεμένη με ένα υπολογιστή. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Microsoft PowerPoint για την παρουσίαση των διαφανειών, και το Camtasia Studio³⁸ για την καταγραφή του χρήστη και της διαφάνειας που του παρουσιάζονταν.

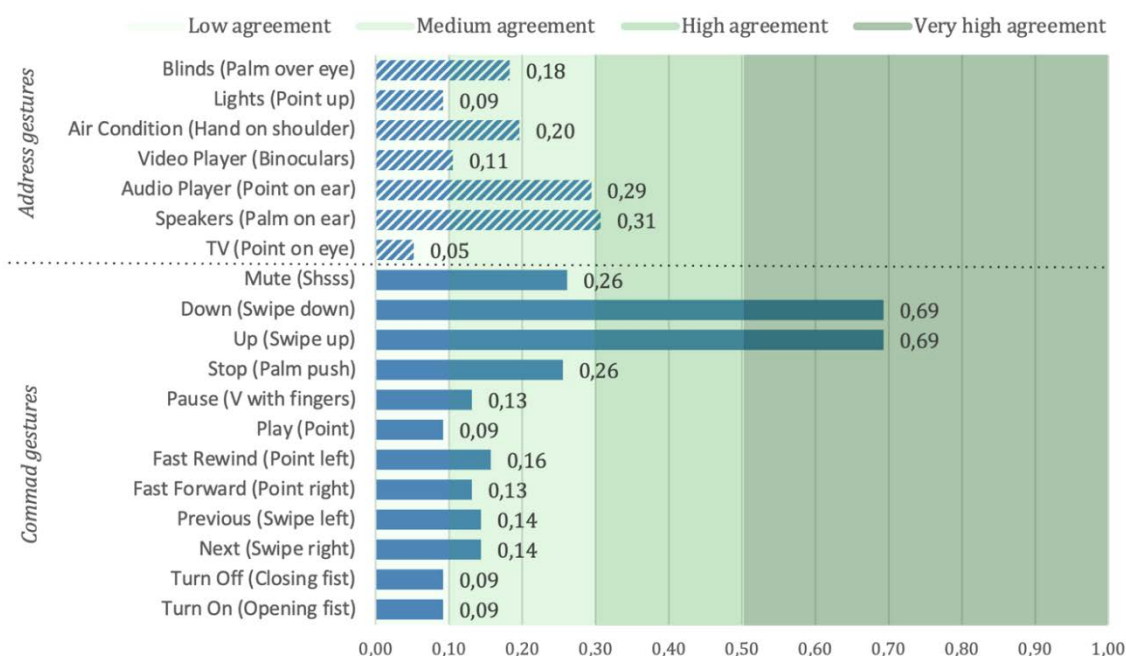
5.2.5 Ανάλυση προτεινόμενων χειρονομιών με τον «βαθμό ομοφωνίας» των χρηστών (Agreement rate) για κάθε αναφορά

Για την ανάλυση των προτεινόμενων χειρονομιών, χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση του βαθμού ομοφωνίας (Agreement Rate) για κάθε αναφορά. Αν και κάθε αλληλεπίδραση ενεργοποιεί μια λειτουργία του συστήματος, δεν μπορεί να γίνει συνολική μέτρηση του βαθμού ομοφωνίας της συγκεκριμένης λειτουργίας καθώς η αλληλεπίδραση (με το μοντέλο ΑΚΕ) είναι σύνθετη και αποτελείται από δύο διαφορετικές χειρονομίες (κάθε μια με διαφορετικό σκοπό). Συνεπώς, ο βαθμός ομοφωνίας υπολογίστηκε για κάθε αναφορά (π.χ. για την «αύξηση», έπειτα για την «απεύθυνση των ηχείων» κλπ.) και όχι για κάθε αλληλεπίδραση (π.χ. «αύξησης της έντασης του ήχου των ηχείων»). Σε αυτό βοήθησε

³⁸ <https://www.techsmith.com/video-editor.html>

και ο τρόπος με το οποίο έγινε η εκμείωση των χειρονομιών (Κεφάλαιο 5.2.1) από τους χρήστες, δείχνοντάς τους σε διαφάνειες (Εικόνα 5.3) τις γενικές αναφορές για κάθε μια χειρονομία και όχι το τελικό αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης.

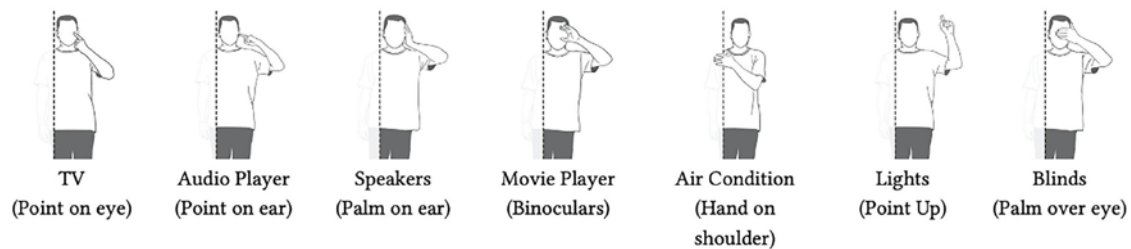
Ο υπολογισμός του βαθμού ομοφωνίας έγινε με τον ίδιο τρόπο όπως στη μελέτη 1 και χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “Agreement Analysis Toolkit (AGATe v2.0) (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015). Οι βαθμοί ομοφωνίας που προέκυψαν από την εκμειωτική έρευνα εικασιών (Guessability study), διακυμάνθηκαν από 0.05 έως 0.69, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.1. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του βαθμού ομοφωνίας (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015), από τις 19 αναφορές, οι 11 (58%) σημείωσαν «μέτρια» ομοφωνία, 5 αναφορές (26%) είχαν «χαμηλή» ομοφωνία, μία είχε οριακά «υψηλή», και δύο (11%) είχαν «πολύ υψηλή» (Διάγραμμα 5.1). Οι αναφορές της «αύξησης» και «μείωσης» (αύξηση/μείωση έντασης του ήχου, αύξηση/μείωση της θερμοκρασίας, αύξηση/μείωση φωτεινότητας, αύξηση/μείωση περσίδων) σημείωσαν τον υψηλότερο βαθμό ομοφωνίας ($AR(r) = 0.69$), ενώ η αναφορά απεύθυνσης της τηλεόρασης σημείωσε το χαμηλότερο ($AR(r) = 0.05$).



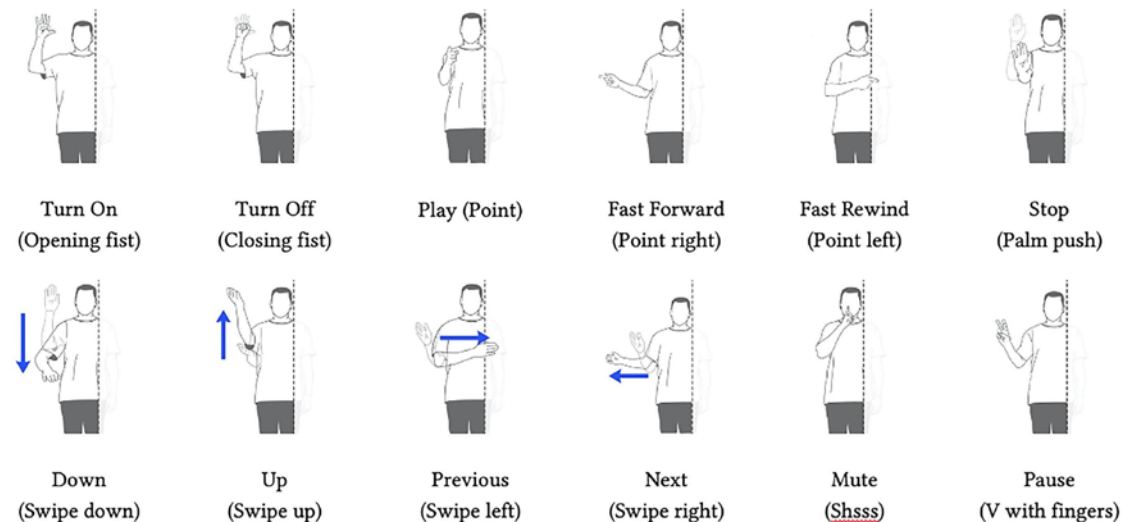
Διάγραμμα 5.1 - Βαθμοί ομοφωνίας (Agreement rates)

5.2.6 Λεξιλόγιο χειρονομιών (ΑκΕ)

Συνολικά προτάθηκαν 342 χειρονομίες (18 χρήστες × 19 αναφορές), 126 από τις οποίες αφορούσαν στατικές χειρονομίες απεύθυνσης (18 χρήστες × 19 αναφερόμενες συσκευές), ενώ 216 (18 χρήστες × 19 αναφερόμενες εντολές) αφορούσαν χειρονομίες ενεργοποίησης εντολών. Ακολουθώντας τη μέθοδο των (Wobbrock et al., 2009) διαμορφώθηκε το τελικό λεξιλόγιο χειρονομιών. Οι χειρονομίες απεύθυνσης απεικονίζονται στην εικόνα 5.4 και όλες είναι στατικές όπως ορίζει και το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ. Από τις χειρονομίες εντολών (Εικόνα 5.5), περίπου οι μισές (7 από συνολικά 12, ~58%) είναι δυναμικές χειρονομίες.



Εικόνα 5.4 - Στατικές χειρονομίες (πόζες) για την απεύθυνση σε συσκευές



Εικόνα 5.5 - Χειρονομίες για την ενεργοποίηση εντολών.

5.3 Πρωτοτυποποίηση

Για την αξιολόγηση του μοντέλου αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-και-εντολή», χρησιμοποιήθηκε ένα πρωτότυπο, παρόμοιο με εκείνο της μελέτης 1, όπου η ουσιαστική διαφορά μεταξύ τους αφορά το μοντέλο αλληλεπίδρασης που υποστηρίζουν και τις αντίστοιχες χειρονομίες που περιλαμβάνουν.

5.3.1 Πρωτότυπο και τεχνολογική υποδομή

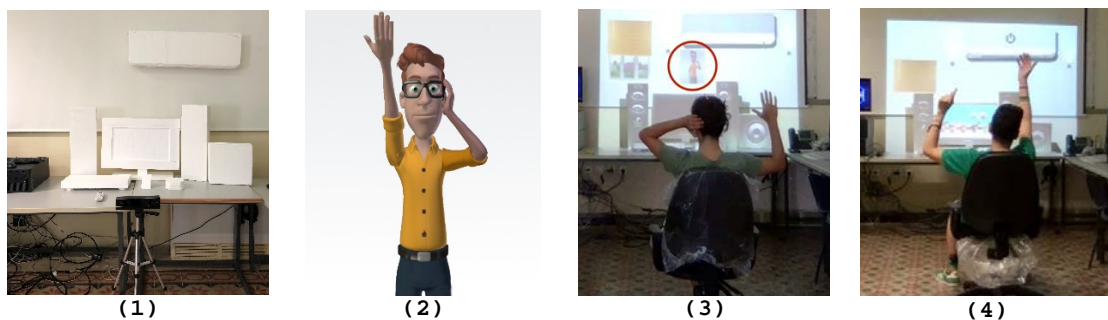
Το πρωτότυπο της μελέτης ακολούθησε την προσέγγιση «χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας» (spatial augmented reality), καθώς παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με φυσικό τρόπο με προβαλλόμενες διεπαφές, και αποτελεί μια εναλλακτική λύση γρήγορης πρωτοτυποποίησης διαδραστικών συστημάτων και προσφέρει ένα ρεαλιστικό πλαίσιο χρήσης (Port et al., 2010; Verlinden et al., 2003). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε εργαστήριο του Πανεπιστημίου Αιγαίου εξοπλισμένο με υπολογιστή (με λειτουργικό σύστημα Windows 10) που ήταν συνδεδεμένος με βιντεοπροβολέα (τοποθετημένο στην οροφή) και με το MS Kinect v2. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν αντίγραφα συσκευών (mockups) φτιαγμένα από αφρολέξ: τέσσερα από αυτά (τηλεόραση, συσκευή αναπαραγωγής ήχου, συσκευή αναπαραγωγής βίντεο και ηχεία) ήταν τοποθετημένα πάνω σε ένα γραφείο, ένα κρέμονταν στον τοίχο (κλιματιστικό), ενώ τα στόρια και τα φώτα προβάλλονταν πάνω στον τοίχο (Εικόνα 5.6-1).

Για την ολοκλήρωση του πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκαν αρκετές διαφορετικές εφαρμογές: Microsoft Kinect v2 SDK (συμπεριλαμβανομένου των Microsoft Visual Gesture

Builder, και Kinect Studio), Unity, Madmapper και Blender. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν αντίστοιχη με εκείνη της μελέτης 1.

Συνοπτικά, το Visual Gesture Builder (VGB) και το Kinect Studio χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων των χειρονομιών του συστήματος. Η διαδικασία εγγραφής και μοντελοποίησης χειρονομιών περιλάμβανε: (α) Εκτέλεση κάθε χειρονομίας από κάποιο άτομο (πιθανώς τον ερευνητή) και καταγραφή της με το Kinect Studio, (β) το βίντεο έπειτα μεταφέρονταν στο Visual Gesture Builder (VGB) όπου καθορίζονταν τα όρια της χειρονομίας, επισημαίνοντας τα σημεία έναρξης και λήξης, (γ) μετά την παραγωγή όλων των βίντεο, η βάση δεδομένων δοκιμάζονταν στο VGB για να ελέγξει την απόδοση της αναγνώρισης για κάθε χειρονομία. (δ) για όποιες χειρονομίες εμφάνιζαν χαμηλά επίπεδα αναγνώρισης, δημιουργούνταν περισσότερα βίντεο κλιπ, ενδεχομένως με τη συμμετοχή και άλλων ατόμων που μπορεί να κάνουν χειρονομίες με μικρές παραλλαγές.

Η εφαρμογή Unity χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία δισδιάστατων κινούμενων γραφικών και αναπαραγωγής ήχου για κάθε συσκευή. Αυτές οι κινήσεις και οι ήχοι θα λειτουργούσαν ως αποκρίσεις συστήματος ή μέσο ανατροφοδότησης στις αλληλεπιδράσεις που προκαλούνται από τις αναγνωρισμένες χειρονομίες. Για να υποστηριχθεί η αναγνώριση χειρονομιών στην εφαρμογή Unity χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο "Kinect v2 with MS-SDK plugin for unity"³⁹ και η βάση δεδομένων χειρονομιών που είχε δημιουργηθεί στο προηγούμενο βήμα. Το πρωτότυπο, ανταποκρίνονταν στις χειρονομίες του χρήστη οι οποίες παρακολουθούνταν από την κάμερα Kinect v.2. Όταν κάποια χειρονομία αναγνωριζόταν από το σύστημα, ενεργοποιούνταν η αντίστοιχη ανάδραση από την εφαρμογή.



Εικόνα 5.6 - (1) Αντίγραφα (mockups) των συσκευών, (2) Απόσπασμα από το στάδιο εκμάθησης, (3) τρισδιάστατος χαρακτήρας που εμφανίζεται στα βίντεο βοήθειας, (4) Απόσπασμα από το στάδιο δοκιμής (χωρίς βίντεο βοήθειας)

Για τη δημιουργία χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Madmapper, το οποίο παρέχει εργαλεία χαρτογραφημένης προβολής. Ουσιαστικά το Madmapper δέχονταν το οπτικό περιεχόμενο από την εφαρμογή unity και το πρόβαλε, μέσω του βιντεοπροβολέα, πάνω σε αντικείμενα που βρίσκονταν στο φυσικό χώρο, δημιουργώντας την εντύπωση ότι αυτά «ζωντανεύουν».

Το πείραμα, περιλάμβανε ένα στάδιο όπου οι χρήστες μάθαιναν τον τρόπο εκτέλεσης των χειρονομιών. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν κάποια βίντεο που εμφάνιζαν ένα τρισδιάστατο χαρακτήρα να αναπαράγει τις χειρονομίες του συστήματος (Εικόνα 5.6-2). Για τη δημιουργία των βίντεο, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Blender.

³⁹ <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/kinect-v2-examples-with-ms-sdk-18708>

5.4 Αξιολόγηση λεξιλογίου χειρονομιών

5.4.1 Διαδικασία αξιολόγησης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση του μοντέλου αλληλεπίδρασης ΑκΕ ήταν παρόμοια με εκείνη της μελέτης 1. Στην αρχή της αξιολόγησης, δίνονταν εισαγωγικές πληροφορίες στους συμμετέχοντες σχετικά με την έννοια του ελέγχου των συσκευών σε ένα περιβάλλον έξυπνου σπιτιού, με εναέρια αλληλεπίδραση. Στη συνέχεια, παρουσιάζονταν στους χρήστες το πρωτότυπο με τις επτά συσκευές και περιγράφονταν η έννοια του μοντέλου αλληλεπίδρασης «Διεύθυνση-και-Εντολή» (ΑκΕ).

Η αξιολόγηση βασίστηκε σε ένα σενάριο 36 ενεργειών που πρέπει να ολοκληρώσει ο χρήστης (Παράρτημα Γ'). Από τις 36 ενέργειες, ουσιαστικά 34 ήταν μοναδικές καθώς 2 ενέργειες επαναλαμβάνονταν 2 φορές. Η δεύτερη φορά που επαναλήφθηκε η ίδια ενέργεια δεν λήφθηκε υπόψη.

Το κύριο μέρος της αξιολόγησης περιλάμβανε 3 στάδια:

1. Στάδιο εκμάθησης για κάθε ενέργεια:
 - α. Ο ερευνητής αφηγείται την ενέργεια (εντολή) που πρέπει να ολοκληρώσει ο χρήστης
 - β. Προβάλλεται στον τοίχο το βίντεο βοήθειας το οποίο εμφανίζει ένα τρισδιάστατο χαρακτήρα να εκτελεί τις απαραίτητες κινήσεις για την ολοκλήρωση της χειρονομίας (Εικόνα 5.6-3).
 - γ. Ζητείται από τον χρήστη να εκτελέσει τη χειρονομία για να ολοκληρώσει την εργασία
 - δ. Σε περίπτωση επανειλημμένων αποτυχημένων προσπαθειών, η εργασία παρακάμπτεται.
2. Στάδιο ανασκόπησης:
 - α. Σε μορφή ημιδομημένης συνέντευξης, ο ερευνητής ρωτάει το χρήστη να αναπαράγει τη χειρονομία για κάθε γενική ενέργεια (π.χ. ποια είναι η χειρονομία για την αύξηση, ποια είναι για τη σίγαση κλπ.).
 - β. Ο χρήστης εκτελεί την χειρονομία. Σε περίπτωση που δεν τη θυμάται, του τη θυμίζει ο ερευνητής.
3. Στάδιο δοκιμής: Ακολουθούνται τα βήματα του σταδίου εκμάθησης (Εικόνα 5.6-4), εκτός του βήματος β.

Ουσιαστικά, το στάδιο εκμάθησης είχε σκοπό την εξοικείωση των χρηστών με το σύστημα, το μοντέλο αλληλεπίδρασης και την εκμάθηση των χειρονομιών που απαιτούνται, το στάδιο της ανασκόπησης χρησιμοποιήθηκε για να διασφαλιστεί ότι οι χρήστες κατανόησαν και έμαθαν τις απαιτούμενες χειρονομίες, και τέλος το στάδιο της δοκιμής είχε σκοπό την ουσιαστική αξιολόγηση του συστήματος χωρίς κάποιου είδους βοήθειας.

Όλη η διαδικασία του πειράματος βιντεοσκοπήθηκε και οι μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ίδιες με τη μελέτη 1: (α) επιτυχία ολοκλήρωσης εργασίας (task-success), (β) χρόνος ολοκλήρωσης εργασίας (task completion time), (γ) ψευδώς θετικά (false-positives) και αρνητικά (false-negatives) λάθη, και (δ) ικανότητα απομνημόνευσης. Τέλος, μετά την ολοκλήρωση του πειράματος οι χρήστες συμπλήρωσαν τα ερωτηματολόγια SUS και UEQ.

5.4.2 Συμμετέχοντες στην αξιολόγηση

Στην αξιολόγηση του πρωτοτύπου έλαβαν μέρος 17 εθελοντές (3 γυναίκες/ 14 άνδρες) με ηλικίες από 32 έως 50 χρονών (Μ.Ο. = 42, Τ.Α. = 5.3). Τρεις από αυτούς ήταν αριστερόχειρες. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν προσωπικό και μέλη του ακαδημαϊκού και ερευνητικού προσωπικού του πανεπιστημίου, με εμπειρία στην επιστήμη των υπολογιστών και το σχεδιασμό προϊόντων. Σχεδόν οι μισοί από αυτούς (9 από 17, ~ 53%) είχαν κάποια προηγούμενη εμπειρία με την εναέρια αλληλεπίδραση, είτε με το Nintendo Wii⁴⁰, είτε το Microsoft Kinect για το Xbox One⁴¹.

5.5 Αποτελέσματα

5.5.1 Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task success)

Ο τρόπος υπολογισμού της επιτυχίας ολοκλήρωσης ενεργειών είναι αντίστοιχος με τη μελέτη 1. Μια ενέργεια θεωρείται ότι ολοκληρώθηκε επιτυχώς όταν ενεργοποιείται η ζητούμενη εντολή στη ζητούμενη συσκευή. Σε περίπτωση τεσσάρων επανειλημμένων αποτυχημένων προσπαθειών, ή αν παρέλθει το χρονικό περιθώριο των 20 δευτερολέπτων, η ενέργεια θεωρείται ότι δεν ολοκληρώθηκε επιτυχώς. Το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ απαιτεί τη σωστή και ταυτόχρονη εκτέλεση και των δύο χειρονομιών (απεύθυνσης και εντολής) για να ολοκληρωθεί μια ενέργεια. Προσπάθειες κατά τις οποίες αναγνωρίστηκε από το σύστημα μόνο μία εκ των δύο χειρονομιών, θεωρήθηκαν επίσης ανεπιτυχείς καθώς η ενέργεια δεν μπορούσε να ολοκληρωθεί.

Τα συνολικά ποσοστά ολοκλήρωσης ενεργειών τόσο κατά το στάδιο της εκμάθησης όσο και κατά το στάδιο δομικής ήταν πολύ ικανοποιητικά, φτάνοντας 95% και 94% αντίστοιχα (Πίνακας 5.2). Σχεδόν οι μισές ενέργειες (15 από τις 36, ~42%) εκτελέστηκαν με απόλυτη επιτυχία και στα δύο στάδια. Παρότι το πρωτότυπο είναι σε πρώιμο στάδιο ωριμότητας, τα υψηλά ποσοστά επιτυχούς ολοκλήρωσης δείχνουν ότι η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές χρησιμοποιώντας το μοντέλο ΑκΕ είναι εφικτή και αποτελεσματική.

Γενικά, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις των χρηστών μεταξύ των δύο σταδίων. Ορισμένες ενέργειες παρουσίασαν καλύτερη απόδοση κατά το στάδιο εκμάθησης (όπως “TV previous channel”, “Blinds up”), ενώ άλλες απέδωσαν καλύτερα κατά το στάδιο δοκιμής (όπως “TV mute”). Η ενέργεια “Blind-stop” παρουσίασε την χειρότερη απόδοση και στα δύο στάδια. Για τους περισσότερους χρήστες αυτή η ενέργεια ήταν αρκετά απαιτητική καθώς υπήρχε ένα χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο έπρεπε να ολοκληρωθεί (πριν οι περσίδες φτάσουν στο ανώτερο ή κατώτερο σημείο τους).

Πίνακας 5.2 - Ποσοστά επιτυχούς ολοκλήρωσης ενεργειών ανά συσκευή, κατά τα στάδια εκμάθησης και δοκιμής

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης	Στάδιο δοκιμής
Τηλεόραση (TV)	Turn on	100%	100%
	Turn off	94%	88%
	Next channel	82%	94%
	Previous channel	100%	76%

⁴⁰ <https://en.wikipedia.org/wiki/Wii>

⁴¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης	Στάδιο δοκιμής
	Volume up	100%	100%
	Volume down	100%	100%
	Mute	76%	94%
Στόρια (Blinds)	Up	100%	76%
	Down	82%	71%
	Stop	76%	65%
Φώτα (Lights)	Turn on	100%	100%
	Turn off	94%	100%
	Dim Up	100%	100%
	Dim Down	100%	100%
Κλιματιστικό (Air conditioner)	Turn on	94%	100%
	Turn off	82%	94%
	Increase temperature	94%	94%
	Decrease temperature	94%	100%
Συσκευή αναπαραγωγής ήχου (Audio player)	Turn on	100%	100%
	Turn off	88%	94%
	Next	94%	94%
	Fast Forward	100%	100%
	Fast Rewind	100%	94%
	Play	100%	100%
Συσκευή αναπαραγωγής βίντεο (Video player)	Turn on	100%	100%
	Turn off	82%	88%
	Fast Forward	94%	100%
	Fast Rewind	100%	94%
	Play	100%	100%
	Stop	94%	94%
	Pause	100%	100%
Ηχεία (Speakers)	Turn on	100%	100%
	Turn off	100%	100%
	Mute	100%	100%
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας		95%	94%

5.5.2 Χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας (Task Time)

Ο Χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας (task time), αντιστοιχεί στο διάστημα από τη στιγμή που ο ερευνητής αφηγείται την ενέργεια (εντολή που πρέπει να ενεργοποιήσει ο χρήστης σε συγκεκριμένη συσκευή) μέχρι τη στιγμή που η συσκευή ανταποκρίνεται στη χειρονομία (μέσο οπτικής ή ηχητικής ανατροφοδότησης). Στο στάδιο εκμάθησης ο χρόνος ξεκινάει να μετράει μετά την εμφάνιση του βίντεο βοήθειας. Αθροιστικά, ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας ενέργειας περιλαμβάνει:

- Το «χρόνο σκέψης», που είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο χρήστης να ανακαλέσει τις κατάλληλες χειρονομίες.
- Το «χρόνο εφαρμογής των χειρονομιών», που είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ταυτόχρονη εκτέλεση και των δύο χειρονομιών (απεύθυνσης και εντολής).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς το μοντέλο αλληλεπίδρασης απαιτεί ταυτόχρονη εκτέλεση δύο χειρονομιών, δεν είναι δυνατό για τον ερευνητή να διαχωρίσει τους χρόνους σκέψης και εκτέλεσης ξεχωριστά για κάθε χειρονομία. Συνεπώς, οι χρόνοι αφορούν την ολοκλήρωση της ενέργειας και όχι της κάθε χειρονομίας ξεχωριστά.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3, όλες οι ενέργειες χρειάστηκαν μερικά δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθούν. Οι χρόνοι στο στάδιο εκμάθησης κυμάνθηκαν από 6,7 sec (Video player – Turn on) έως 3,4 sec (Video player – Mute), ενώ στο στάδιο δοκιμής από 6 sec (TV – Turn on) έως 2,9 sec (Video player – Play). Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και των δύο σταδίων φαίνεται ότι στις περισσότερες ενέργειες (23 από 31, ~74%) παρουσιάστηκε κάποια βελτίωση. Ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης όλων των ενεργειών ήταν 5.0 sec (S.D.=1.0) για το στάδιο εκμάθησης και 4.4 sec (S.D.=0.9) για το στάδιο δοκιμής, το οποίο υποδεικνύει ότι οι χρήστες βελτίωσαν τους χρόνους αλληλεπίδρασης.

Πίνακας 5.3 – Χρόνος ολοκλήρωσης ενεργειών

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
		Χρόνος (sec)	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)	Χρόνος (sec)	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)
Τηλεόραση (TV)	Turn on	6.4	1.8	6.0	1.8
	Turn off	5.5	1.3	3.7	0.5
	Next channel	5.6	1.2	4.8	1.1
	Previous channel	4.6	0.9	4.6	0.7
	Volume up	5.3	0.9	4.5	0.4
	Volume down	5.2	0.7	5.1	1.0
	Mute	5.6	1.5	4.7	0.9
Στόρια (Blinds)	Up	6.4	1.6	5.3	1.8
	Down	5.4	1.4	4.5	0.5
	Stop	3.7	0.4	4.1	1.4
Φώτα (Lights)	Turn on	4.2	0.6	4.1	0.6
	Turn off	4.4	1.0	3.6	0.6
	Dim Up	4.9	0.6	4.5	1.0
	Dim Down	5.5	1.2	4.6	0.8
Κλιματιστικό (Air conditioner)	Turn on	4.2	0.5	4.6	0.9
	Turn off	4.6	1.0	3.9	1.0
	Increase temperature	4.4	0.8	3.8	0.3
	Decrease temperature	5.1	1.2	4.1	0.6
Συσκευή αναπαραγωγής ήχου	Turn on	4.6	1.2	5.1	1.6
	Turn off	4.9	0.8	5.1	1.2

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
		Χρόνος (sec)	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)	Χρόνος (sec)	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)
(Audio player)	Next	5.2	1.5	3.9	0.6
	Fast Forward	4.3	0.6	4.8	0.8
	Fast Rewind	4.8	0.8	4.1	0.5
	Play	3.6	0.3	2.9	0.3
	Turn on	6.7	1.6	5.1	1.3
	Turn off	4.9	1.1	3.8	0.3
Συσκευή αναπαραγωγής βίντεο (Video player)	Fast Forward	6.2	1.1	4.2	0.6
	Fast Rewind	4.8	0.5	4.8	0.7
	Play	4.3	0.6	3.8	0.9
	Stop	4.9	1.1	5.4	1.6
	Pause	3.4	0.3	3.6	0.7
Ηχεία (Speakers)	Turn on	4.8	0.6	4.8	1.6
	Turn off	5.0	1.2	3.8	0.6
	Mute	5.1	0.8	3.7	0.5
	Μέσος όρος:	5.0		4.4	

5.5.3 Λάθη (Errors)

5.5.3.1 Ψευδώς αρνητικά λάθη (false negative errors)

Τα ψευδώς αρνητικά λάθη συμβαίνουν όταν το σύστημα δεν ανταποκρίνεται, παρότι ο χρήστης εκτελεί τις χειρονομίες σωστά (σύμφωνα με την παρατήρηση και κρίση του ερευνητή). Οι τιμές τους κυμάνθηκαν από 0.0 έως 2.2 και στα δύο στάδια με μέσους όρους 1.0 (στάδιο εκμάθησης) και 0.8 (στάδιο δοκιμής), όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4. Και οι δύο ενέργειες με το υψηλότερο ποσοστό σφάλματος κατά τη διάρκεια του σταδίου εκμάθησης ("TV - Mute" και "Blinds - Stop"), έδειξαν σημαντική βελτίωση στο στάδιο δοκιμής, σε αντίθεση με την ενέργεια "Blinds - Stop", που παρουσίασε μια μείωση. Γενικά, δεν υπήρχε σημαντική βελτίωση ή επιδείνωση όσο αφορά το μέσο όρο των ψευδώς αρνητικών σφαλμάτων μεταξύ των δύο σταδίων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ψευδώς αρνητικών σφαλμάτων παρουσιάστηκε το εξής μοτίβο: (α) ο χρήστης βλέπει (στάδιο εκπαίδευσης) ή ανακαλεί στη μνήμη του (στάδιο δοκιμής) τις χειρονομίες και ξεκινάει να τις εφαρμόζει, (β) ο χρήστης εκτελεί χαλαρά τις χειρονομίες (για παράδειγμα, δεν τοποθετεί το χέρι στο σωστό ύψος), (γ) η αντίστοιχη συσκευή δεν ανταποκρίνεται, (δ) ο χρήστης αντιλαμβάνεται ότι η εκτέλεση κάποιας από τις δύο χειρονομίες δεν έγινε σωστά, (ε) ο χρήστης επαναλαμβάνει τις χειρονομίες πιο "αυστηρά", (στ) η συσκευή ανταποκρίνεται σωστά. Παρότι για κάθε αλληλεπίδραση απαιτούνταν δύο ταυτόχρονες χειρονομίες, το παραπάνω μοτίβο ολοκληρώνονταν σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων. Μάλιστα παρατηρήθηκε ότι οι χρήστες γενικά δεν αποθαρρύνονταν μετά την πρώτη αποτυχία και έδειξαν προθυμία να προσπαθήσουν ξανά πιο προσεκτικά.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι ενώ οι χρήστες γνώριζαν τις απαιτούμενες χειρονομίες για τις ζητούμενες αλληλεπιδράσεις, μερικές παραλλαγές στην κίνηση, στη στάση, ή στο σωματότυπό τους επηρέαζε την απόδοση αναγνώρισης χειρονομιών του συστήματος. Είναι προφανές ότι η επιπλέον εκπαίδευση των χειρονομιών του συστήματος (μέσω του Visual Gesture Builder) με περισσότερους χρήστες διαφορετικού σωματότυπου θα είχε θετικά αποτελέσματα στην απόδοση της αναγνώρισης των χειρονομιών.

Πίνακας 5.4 - Ψευδώς αρνητικά λάθη (μέσος όρος)

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
		Μ.Ο. Λαθών	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)	Μ.Ο. Λαθών	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)
Τηλεόραση (TV)	Turn on	1.1	0	1.3	0
	Turn off	1.6	1	1.1	0
	Next channel	1.8	1	1.2	0
	Previous channel	0.9	0	1.5	0
	Volume up	0.5	0	0.2	0
	Volume down	0.8	0	0.6	0
	Mute	2.2	1	1.7	1
Στόρια (Blinds)	Up	1.2	0	1.9	0
	Down	2.2	1	1.1	0
	Stop	1.5	1	2.2	3
Φώτα (Lights)	Turn on	0.1	0	0.4	0
	Turn off	0.6	0	0.5	0
	Dim Up	0.4	0	0.6	0
	Dim Down	0.6	0	0.8	0
Κλιματιστικό (Air conditioner)	Turn on	0.8	0	0.8	0
	Turn off	1.7	0	1.0	0
	Increase temperature	0.7	0	0.4	0
	Decrease temperature	1.0	0	0.4	0
Συσκευή αναπαραγωγής ήχου (Audio player)	Turn on	0.8	0	1.1	0
	Turn off	1.5	0	1.2	1
	Next	1.4	0	0.6	0
	Fast Forward	0.5	0	0.6	0
	Fast Rewind	0.5	0	0.6	0
	Play	0.1	0	0.0	0
Συσκευή αναπαραγωγής βίντεο (Video player)	Turn on	1.5	1	0.9	0
	Turn off	1.8	0	0.9	0
	Fast Forward	1.2	1	0.6	0
	Fast Rewind	0.5	0	1.1	0
	Play	0.5	0	0.5	0
	Stop	1.2	0	1.3	0

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
		Μ.Ο. Λαθών	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)	Μ.Ο. Λαθών	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)
Ηχεία (Speakers)	Pause	0.0	0	0.4	0
	Turn on	0.4	0	0.8	0
	Turn off	0.8	0	0.2	0
	Mute	0.6	0	0.0	0
	Μέσος όρος:	1.0		0.8	

5.5.3.2 Ψευδώς θετικά λάθη (false positive errors)

Ψευδώς θετικά λάθη (false positive errors) παρουσιάζονταν όταν η ενέργεια (εντολή) ολοκληρώνονταν ακόμη και αν ο χρήστης εκτελούσε μια λάθος χειρονομία (σύμφωνα με την παρατήρηση του ερευνητή), ή όταν υπήρχε τυχαία ενεργοποίηση άλλης συσκευής (“άγγιγμα του Μίδα”). Δεδομένου των περιορισμών του μοντέλου αλληλεπίδρασης ΑκΕ, αυτό δεν ήταν εύκολο να συμβεί, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα χαμηλά ποσοστά των ψευδώς θετικών λαθών (Πίνακας 5.5) τα οποία κυμάνθησαν από 0.0 έως 0.6 κατά το στάδιο εκμάθησης και 0.0 έως 0.5 κατά το στάδιο δοκιμής. Ο μέσος όρος των λαθών και στα δύο στάδια ήταν 0.1 με μέση τιμή (median) 0.0, γεγονός που δείχνει ότι το φαινόμενο του αγγίσματος του Μίδα είχε περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό.

Πίνακας 5.5 - Ψευδώς θετικά λάθη (false positive errors)

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
		Λάθη	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)	Λάθη	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)
Τηλεόραση (TV)	Turn on	0.1	0	0.1	0
	Turn off	0.1	0	0.0	0
	Next channel	0.1	0	0.1	0
	Previous channel	0.2	0	0.0	0
	Volume up	0.0	0	0.0	0
	Volume down	0.0	0	0.0	0
	Mute	0.0	0	0.0	0
Στόρια (Blinds)	Up	0.0	0	0.1	0
	Down	0.0	0	0.0	0
	Stop	0.0	0	0.0	0
Φώτα (Lights)	Turn on	0.0	0	0.0	0
	Turn off	0.0	0	0.1	0
	Dim Up	0.0	0	0.0	0
	Dim Down	0.0	0	0.0	0
Κλιματιστικό (Air conditioner)	Turn on	0.0	0	0.0	0
	Turn off	0.0	0	0.0	0
	Increase temperature	0.0	0	0.0	0

Συσκευή	Ενέργεια (Task)	Στάδιο εκμάθησης		Στάδιο δοκιμής	
		Λάθη	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)	Λάθη	Διάστημα εμπιστ. (α=0.05)
	Decrease temperature	0.0	0	0.0	0
Συσκευή αναπαραγωγής ήχου (Audio player)	Turn on	0.1	0	0.2	0
	Turn off	0.1	0	0.0	0
	Next	0.1	0	0.0	0
	Fast Forward	0.1	0	0.2	0
	Fast Rewind	0.2	0	0.1	0
	Play	0.0	0	0.0	0
Συσκευή αναπαραγωγής βίντεο (Video player)	Turn on	0.6	0	0.5	0
	Turn off	0.1	0	0.1	0
	Fast Forward	0.2	0	0.2	0
	Fast Rewind	0.1	0	0.1	0
	Play	0.2	0	0.2	0
	Stop	0.1	0	0.3	0
	Pause	0.0	0	0.0	0
Ηχεία (Speakers)	Turn on	0.0	0	0.0	0
	Turn off	0.0	0	0.0	0
	Mute	0.0	0	0.0	0
	Μέσος όρος:	0.1		0.1	

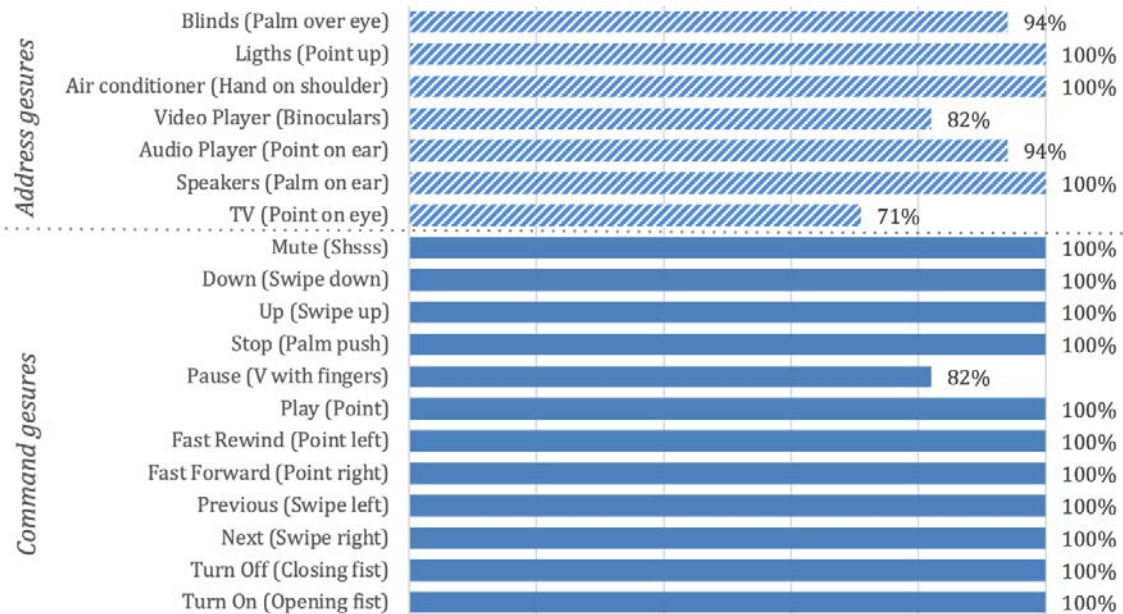
5.5.4 Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών (Memorability)

Κατά το στάδιο ανασκόπησης, έγινε μια προσπάθεια να αξιολογηθεί η ικανότητα βραχυπρόθεσμης απομνημόνευσης των απαιτούμενων χειρονομιών από τους συμμετέχοντες. Ζητήθηκε από τους χρήστες για κάθε γενική εντολή να εκτελέσουν την αντίστοιχη χειρονομία. Η ικανότητα απομνημόνευσης (memorability) υπολογίστηκε ως ποσοστό των σωστών απαντήσεων των χρηστών (όσο μεγαλύτερο ήταν αυτό, τόσο ευκολότερα μπορούσαν να θυμηθούν οι χρήστες τη χειρονομία).

Γενικά τα ποσοστά απομνημόνευσης των χρηστών ήταν πολύ υψηλά και κυμάνθηκαν από 71% έως 100%. Οι περισσότερες χειρονομίες (14 από 19, ~74%) σημείωσαν ποσοστό απομνημόνευσης 100%, από τις οποίες (11 από 12, ~92%) ήταν χειρονομίες εντολών (Διάγραμμα 5.2).

Ο αριθμός των χειρονομιών (19) τις οποίες έπρεπε οι χρήστες να θυμούνται, θεωρείται σχετικά μεγάλος μιας και είναι πολύ περισσότερο από το «μαγικό» αριθμό 7 (συν ή πλην 2) που συνήθως μπορεί κάποιος άνθρωπος να απομνημονεύσει σε βραχύ χρονικό διάστημα (Miller, 1956). Το μοντέλο αλληλεπίδρασης φαίνεται ότι βοήθησε σε αυτό. Επιπλέον, οι χρήστες επεσήμαναν ότι οι χειρονομίες του συστήματος ήταν διαισθητικές και είχαν μια φυσική σύνδεση με τις αντίστοιχες εντολές (π.χ. όταν πρόκειται για αύξηση, το χέρι κινούταν προς τα πάνω, ή για τη σίγαση του ήχου χρησιμοποιήθηκε η χειρονομία Shhss), ή μια λογική ομοιότητα με χειρονομίες που χρησιμοποιούνται σε άλλες γνωστές

τεχνολογίες (π.χ. η χρήση των χειρονομιών *swipe left/right* για τις εντολές πριν και μετά αντίστοιχα, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε κινητά και ταμπλέτες).



Διάγραμμα 5.2 - Ποσοστά απομνημόνευσης χειρονομιών

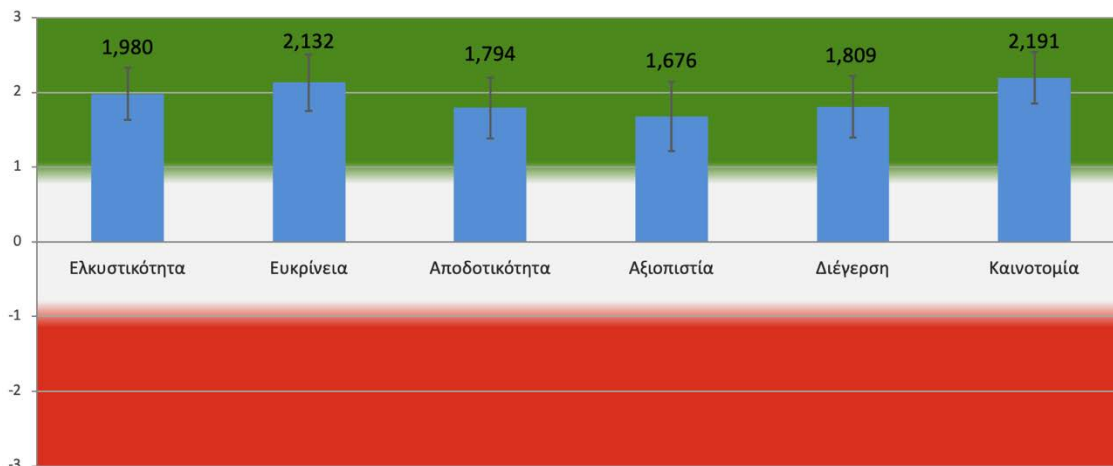
5.5.5 Ερωτηματολόγιο SUS (System Usability Scale)

Στο τέλος του πειράματος, οι χρήστες συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο SUS (System Usability Scale) (Brooke, 1996) για να αξιολογηθεί η ευχρηστία του συστήματος. Σε κλίμακα από 0 έως 100, το σύστημα έλαβε βαθμό SUS 80.1, χαρακτηρίζοντας το ως «πολύ ικανοποιητικό» από πλευράς ευχρηστίας σύμφωνα με την κλίμακα των (Bangor et al., 2008; Tullis & Albert, 2013).

5.5.6 Ερωτηματολόγιο UEQ (User Experience Questionnaire)

Για την αξιολόγηση της εμπειρίας του χρήστη οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο UEQ (User Experience Questionnaire) (M. Schrepp et al., 2014). Οι απαντήσεις των χρηστών επεξεργάστηκαν με το εργαλείο “UEQ data analysis tool⁴²” και απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.3. Σε κλίμακα από -3 (εξαιρετικά κακή) έως +3 (εξαιρετικά καλή), όλα τα στοιχεία αξιολόγησης σημείωσαν υψηλή βαθμολογία που κυμάνθηκε από 1.676 έως 2.191, το οποίο δείχνει ότι οι χρήστες έμειναν αρκετά ικανοποιημένοι από το σύστημα (M. Schrepp et al., 2017).

⁴² <https://www.ueq-online.org/>



Διάγραμμα 5.3 - Αποτελέσματα ερωτηματολογίου UEQ για το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ

5.6 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-και-Εντολή» ΑκΕ, ως μια σχεδιαστική προσέγγιση εναέριας αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους. Η αλληλεπίδραση στο μοντέλο ΑκΕ ολοκληρώνεται σε ένα στάδιο (μία χειρονομία), όπου το μη-κυρίαρχο χέρι χρησιμοποιείται για να την απεύθυνση, ενώ το κυρίαρχο για την εντολή.

Εφαρμόστηκε η μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών με χρήση πλαισίου οριοθέτησης από όπου προέκυψε ένα σετ χειρονομιών από προτάσεις των συμμετεχόντων. Οι μέθοδος αυτή φάνηκε ότι βοήθησε τους χρήστες να σχηματίσουν σχετικά νοητικά μοντέλα που τους οδήγησαν να προτείνουν περιβαλλοντικά έγκυρες χειρονομίες.

Για να αξιολογηθεί το σετ χειρονομιών και το μοντέλο ΑκΕ, χρησιμοποιήθηκε ένα πρωτότυπο χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας το οποίο μπορούσε να αναγνωρίζει τις χειρονομίες του χρήστη και να αντιδράει σε αυτές με κάποιου είδους ηχητική ή ακουστική ανάδραση. Η υλοποίηση του πρωτοτύπου έγινε με τεχνολογίες που κάνουν εύκολη την προσθήκη, τροποποίηση και διαγραφή χειρονομιών, με εργαλεία μηχανικής μάθησης. Η χωρική επαυξημένη πραγματικότητα επιτεύχθηκε με τεχνικές χαρτογραφημένης προβολής του περιεχομένου της εφαρμογής πάνω σε ομοιώματα των συσκευών και το τελικό αποτέλεσμα έδινε την εντύπωση στους συμμετέχοντες ότι οι συσκευές είναι αληθινές και το πρωτότυπο πλήρως λειτουργικό, επηρεάζοντας θετικά την εμπειρία του χρήστη.

Για την αξιολόγηση των χειρονομιών, χρησιμοποιήθηκε το πρωτότυπο χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας και ένα σενάριο με μια λίστα λειτουργιών που έπρεπε να ενεργοποιήσει ο χρήστης σε κάθε συσκευή. Προέκυψαν διάφορα συμπεράσματα. Το μοντέλο ΑκΕ παρουσίασε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα όσο αφορά την εμπειρία του χρήστη και την εμπειρία του συστήματος. Η αλληλεπίδραση ήταν γρήγορη και δεν παρουσιάστηκε το φαινόμενο του «αγγίγματος του Μίδα». Τέλος σημειώθηκαν υψηλά ποσοστά απομνημόνευσης των απαιτούμενων χειρονομιών από τους συμμετέχοντες.

6. Σύγκριση μοντέλων αλληλεπίδρασης

Το βασικότερο κοινό στοιχείο των μοντέλων αλληλεπίδρασης ΑκΕ και ΑεΕ είναι ότι είναι ικανά να χρησιμοποιηθούν για την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους οι οποίοι βρίσκονται στον ίδιο χώρο, περιλαμβάνοντας μηχανισμούς απεύθυνσης και ενεργοποίησης εντολών μόνο με κινήσεις των χεριών. Πέρα όμως από αυτή την κοινή βάση, τα δύο μοντέλα έχουν αρκετές ουσιαστικές διαφορές. Δεδομένου ότι και τα δύο μοντέλα διερευνήθηκαν με την ίδια μεθοδολογία, η σύγκρισή των αποτελεσμάτων των δύο μελετών θα αναδείξει συμπεράσματα σε διάφορα ζητήματα όπως:

- Ποιο μοντέλο προσφέρει πιο γρήγορη αλληλεπίδραση;
- Με ποιο μοντέλο οι χρήστες παρουσίασαν μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχούς ολοκλήρωσης των ενεργειών;
- Ποιο μοντέλο ήταν καλύτερο σε θέματα απομνημόνευσης των χειρονομιών;
- Με ποιο μοντέλο οι χρήστες σημείωσαν τα λιγότερα λάθη;
- Ποιο μοντέλο αντιμετώπισε καλύτερα το πρόβλημα του «αγγίγματος του Μίδα»;
- Ποιο μοντέλο ήταν πιο εύχρηστο και ποιο καλύτερο όσο αφορά την εμπειρία του χρήστη;

6.1 Σύγκριση μοντέλων αλληλεπίδρασης

Τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης που εξετάστηκαν παραπάνω, έχουν κάποιες ομοιότητες αλλά και αρκετές διαφορές (Πίνακας 6.1).

A. Ομοιότητες:

- Και τα δύο μοντέλα χρησιμοποιούν χειρονομίες για απεύθυνση σε στόχους και χειρονομίες για την ενεργοποίηση εντολών σε αυτούς.
- Οι χειρονομίες απεύθυνσης έχουν μια σχέση μία-προς-μία (1-1) με την αντίστοιχη συσκευή που απευθύνονται. Αυτό σημαίνει ότι είναι μοναδικές και μπορεί να τις αναγνωρίσει μόνο μια συσκευή.
- Οι χειρονομίες εντολών έχουν μια σχέση μία-προς-πολλές (1-∞) με τις συσκευές του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να επαναχρησιμοποιούνται σε διαφορετικές συσκευές για την ενεργοποίηση εννοιολογικά παρόμοιων εντολών.
- Όλες οι αλληλεπιδράσεις γίνονται μόνο με τα χέρια και δεν απαιτείται ο χρήστης να κρατάει κάποιο χειριστήριο.
- Ο χρήστης αλληλεπιδρά απευθείας με τις συσκευές και δεν χρησιμοποιείται γραφική διεπαφή.
- Ο χρήστης μπορεί να είναι καθιστός ή όρθιος.

B. Διαφορές:

- **Απαιτούμενος αριθμός χεριών:** Το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση και των δύο χεριών: το ένα χέρι για την απεύθυνση και το άλλο για την εντολή. Αντίθετα, το μοντέλο ΑεΕ παρέχει τη σχεδιαστική ελευθερία της δέσμευσης είτε του ενός είτε και των δύο χεριών ανά χειρονομία. Αυτό συμβαίνει γιατί η απεύθυνση και η εντολή στο μοντέλο ΑεΕ ολοκληρώνονται σε ξεχωριστά στάδια και όχι ταυτόχρονα σε ένα.
- **Είδος χειρονομίας:** Σε κάθε αλληλεπίδραση με το μοντέλο ΑκΕ, η απεύθυνση υλοποιείται με την εφαρμογή μιας πόζας (στατικής χειρονομίας) με το μη-κυρίαρχο χέρι, ενώ η εντολή υλοποιείται με μια στάση ή χειρονομία του κυρίαρχου χεριού. Αντίθετα, στο μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ, δεν υπάρχει κάποιος σχεδιαστικός περιορισμός στην επιλογή πόζας ή χειρονομίας.
- **Χρονικός περιορισμός:** Στην αλληλεπίδραση με το μοντέλο ΑεΕ, ο χρήστης αφότου απευθυνθεί σε μία συσκευή, έχει να χρονικό περιθώριο 5 δευτερολέπτων για να εφαρμόσει την χειρονομία εντολής. Για κάθε εντολή που αναγνωρίζεται από τη συγκεκριμένη συσκευή, γίνεται επαναφορά της αντίστροφης μέτρησης, ενώ αν παρέλθει αυτό το χρονικό περιθώριο και δεν έχει εφαρμοστεί κάποια χειρονομία η συσκευή επιστρέφει αυτόματα σε κατάσταση «αναμονής». Ο μηχανισμός αυτός της αυτόματης επιστροφής της συσκευής σε κατάσταση «αναμονής», ήταν μια σχεδιαστική επιλογή που επιλέχθηκε προκειμένου να περιοριστεί το φαινόμενο του «αγγίγματος του Μίδα». Αντίστοιχος χρονικός περιορισμός δεν υπάρχει στο μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ καθώς η αλληλεπίδραση ολοκληρώνεται σε ένα στάδιο και διαρκεί όση ώρα ο χρήστης εφαρμόζει την πόζα απεύθυνσης.
- **Πολυπλοκότητα αλληλεπίδρασης:** Το μοντέλο ΑεΕ περιλαμβάνει δύο ξεχωριστές χειρονομίες που πρέπει να εκτελεστούν σε διαφορετικό χρόνο η κάθε μία. Αντίθετα, στο μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ η αλληλεπίδραση ολοκληρώνεται σε ένα στάδιο εφαρμόζοντας μια σύνθετη

χειρονομία, η οποία στην ουσία, αποτελείται από δύο δευτερεύουσες: μια πόζα του μη-κυρίαρχου χεριού και μια χειρονομία του κυρίαρχου χεριού.

Πίνακας 6.1 - Ομοιότητες και διαφορές των μοντέλων αλληλεπίδρασης AeE και AkE

	Απεύθυνση έπειτα εντολή	Απεύθυνση και εντολή
Μοναδικές χειρονομίες απεύθυνσης	Ναι	
Επαναχρησιμοποιούμενες χειρονομίες εντολών	Ναι	
Απαιτούμενος αριθμός χεριών	Ένα ή και τα δύο	Δύο: (ένα για την απεύθυνση και ένα για την εντολή)
Είδος χειρονομίας	Πόζα ή χειρονομία	Πόζα (μη-κυρίαρχο χέρι) και χειρονομία/πόζα (κυρίαρχο χέρι)
Χρονικός περιορισμός	Ναι	Όχι
Πολυπλοκότητα	Δύο απλές χειρονομίες	Μία σύνθετη χειρονομία

6.2 Σχεδίαση χειρονομιών με χρήση πλαισίου περιορισμών

6.2.1 Μέθοδος εκμείευσης χειρονομιών

Για τη σχεδίαση των χειρονομιών του συστήματος ακολουθήθηκε η «εκμειευτική μέθοδος με χρήση πλαισίου» (Cafaro et al., 2013, 2018). Το πλαίσιο, το οποίο είναι κοινό και για τις δύο μελέτες περίπτωσης, περιλαμβάνει κάποιους κανόνες/περιορισμούς (Πίνακας 6.2) ώστε το πείραμα να μην έχει γενική και αφηρημένη λογική, αλλά να προσομοιώνει το τελικό πλαίσιο-χρήσης που εξετάζεται. Όλοι χρήστες ενημερώθηκαν για το πλαίσιο αυτό, μέρος του οποίου είναι και το μοντέλο αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχα σε κάθε μελέτη περίπτωσης.

Μετά την ενημέρωση των χρηστών για το πλαίσιο του πειράματος, ξεκινούσε η διαδικασία εκμείευσης χειρονομιών. Ουσιαστικά ο ερευνητής παρουσίαζε το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης σε εικονική μορφή, και ζητούσε από το χρήστη να προτείνει χειρονομίες που θεωρούσε ότι αρμόζουν καλύτερα. Παρουσιάζονταν συσκευές για να προταθούν χειρονομίες απεύθυνσης και εντολές για να προταθούν χειρονομίες εντολών. Εδώ υπήρχε μια μικρή διαφορά ως προς τη διαδικασία. Στην πρώτη μελέτη περίπτωσης (AkE) οι χρήστες ήταν ελεύθεροι να προτείνουν και διαφορετικές χειρονομίες για εντολές που ήταν εννοιολογικά όμοιες μεταξύ συσκευών. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι χρήστες είχαν την τάση από μόνοι τους, να προτείνουν την ίδια χειρονομία για όμοιες εντολές (πχ αύξηση, κλείσιμο, επόμενο κ.α.) κάτι το οποίο φάνηκε και από τις υψηλές τιμές του «δείκτη συνέπειας του χρήστη» (Consistency rate). Βέβαια υπήρχαν και μερικές περιπτώσεις όπου αυτό δεν συνέβαινε. Αυτό οδήγησε σε ένα σετ χειρονομιών όπου οι χειρονομίες δεν επαναχρησιμοποιούνταν και κατά συνέπεια ο συνολικός αριθμός των χειρονομιών του σετ να είναι αρκετά μεγάλος για να τον θυμάται με ευκολία ο χρήστης. Προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός αυτών των περιπτώσεων, ακολουθήθηκε σε δεύτερη φάση, η διαδικασία «ομαλοποίησης του λεξιλογίου χειρονομιών». Αντίθετα, στη δεύτερη μελέτη περίπτωσης, προκειμένου να αποφευχθεί το στάδιο ομαλοποίησης του σετ χειρονομιών και να απλουστευθεί η όλη μεθοδολογία, οι χρήστες καλούνταν να προτείνουν μια χειρονομία για κάθε γενική εντολή ασχέτως σε ποια συσκευή αυτή εμφανίζεται. Μάλιστα η διαφοροποίηση αυτή οδήγησε και σε διαφορετικό τρόπο που παρουσιάζονταν οι















αναφερόμενες εντολές στους χρήστες. Στην πρώτη μελέτη περίπτωσης παρουσιάζονταν ξεχωριστά οι εντολές ανά συσκευή, ενώ στη δεύτερη μελέτη παρουσιάζονταν μια διαφάνεια που περιείχε την ονομασία της εντολής και εικόνες των συσκευών που μπορεί να εφαρμοστεί.

Πίνακας 6.2 - Ομοιότητες και διαφορές στη μέθοδο σχεδίασης χειρονομιών


















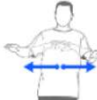






	Απεύθυνση έπειτα εντολή	Απεύθυνση και εντολή
Μέθοδος	«Εκμαίευση χειρονομιών» με χρήση πλαισίου περιορισμών	
Πλαίσιο	<ul style="list-style-type: none"> • Το οικοσύστημα αποτελείται από 7 συσκευές: Τηλεόραση, συσκευής παραγωγής βίντεο, συσκευή παραγωγής μουσικής, ηχεία, περσίδες, φώτα. • Όλες οι συσκευές βρίσκονται τοποθετημένες μπροστά στο χρήστη (εντός του οπτικού του πεδίου). • Ο χρήστης μπορεί να είναι καθιστός ή όρθιος. • Δεν υπάρχει γραφική διεπαφή. Ο χρήστης αλληλεπιδρά απευθείας με τη συσκευή. • Η αλληλεπίδραση γίνεται μόνο με κινήσεις των χεριών. • Η αλληλεπίδραση πρέπει να ακολουθεί τους κανόνες του μοντέλου αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιείται. 	
Μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών (elicitation study)	<ul style="list-style-type: none"> • Προβολή αναφερόμενων συσκευών και προτροπή του χρήστη να προτείνει κατάλληλες χειρονομίες. • Προβολή αναφερόμενων εντολών ανά συσκευή και προτροπή του χρήστη να προτείνει κατάλληλες χειρονομίες. 	<ul style="list-style-type: none"> • Προβολή αναφερόμενων συσκευών και προτροπή χρήστη προτείνει κατάλληλες χειρονομίες • Προβολή αναφερόμενων όμοιων εντολών και των αντίστοιχων συσκευών που έχουν αυτές εφαρμογή και προτροπή του χρήστη να προτείνει κατάλληλες χειρονομίες.
Τεχνικές κατά το πείραμα	<ul style="list-style-type: none"> • Βιντεοσκόπηση διαδικασίας • Ανάλυση των βίντεο σε δεύτερη φάση • Think aloud protocol (τεχνική εξωτερίκευσης της σκέψης) 	
Μετρικές/τεχνικές κατά την ανάλυση των προτεινόμενων χειρονομιών	<ul style="list-style-type: none"> • «Βαθμός ομοφωνίας» των χρηστών (Level of agreement) • «Δείκτης συνέπειας» (Consistency rate) • Τεχνική ομαλοποίησης του αρχικού προτεινόμενου σετ χειρονομιών 	<ul style="list-style-type: none"> • «Βαθμός ομοφωνίας» των χρηστών (Level of agreement)
Χρήστες	18 (12 άνδρες/6 γυναίκες) Ηλικία: 24-27	
Αποτέλεσμα	Σετ χειρονομιών ΑεΕ (7 μοναδικές χειρονομίες απεύθυνσης και 12 χειρονομίες εντολών)	Σετ χειρονομιών ΑκΕ (συνδυασμός 7 μοναδικών στάσεων του μηκυρίαρχου χεριού και 12 χειρονομιών του κυρίαρχου χεριού)

Οι χρήστες, οι τεχνικές και οι μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ίδιες και στις δύο μελέτες. Το αποτέλεσμα του σταδίου σχεδίασης ήταν η παραγωγή δύο διαφορετικών σετ χειρονομιών που περιλαμβάνουν 7 χειρονομίες (ή πόζες) απεύθυνσης και 12 χειρονομίες εντολών.

Πίνακας 6.3 - Χειρονομίες/πόζες απεύθυνσης για τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑεΕ και ΑκΕ

	TV	Speakers	Video Player	Audio Player	Air Conditioner	Lights	Blinds
AEE	 Form a rectangle	 Form a circle	 Binoculars	 Point on ear	 Holding arms	 Clap	 Point up
AKE	 Point on eye	 Palm on ear	 Binoculars	 Point on ear	 Holding arms	 Point up	 Palm over eye

Πίνακας 6.4 - Χειρονομίες εντολών για τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑεΕ και ΑκΕ

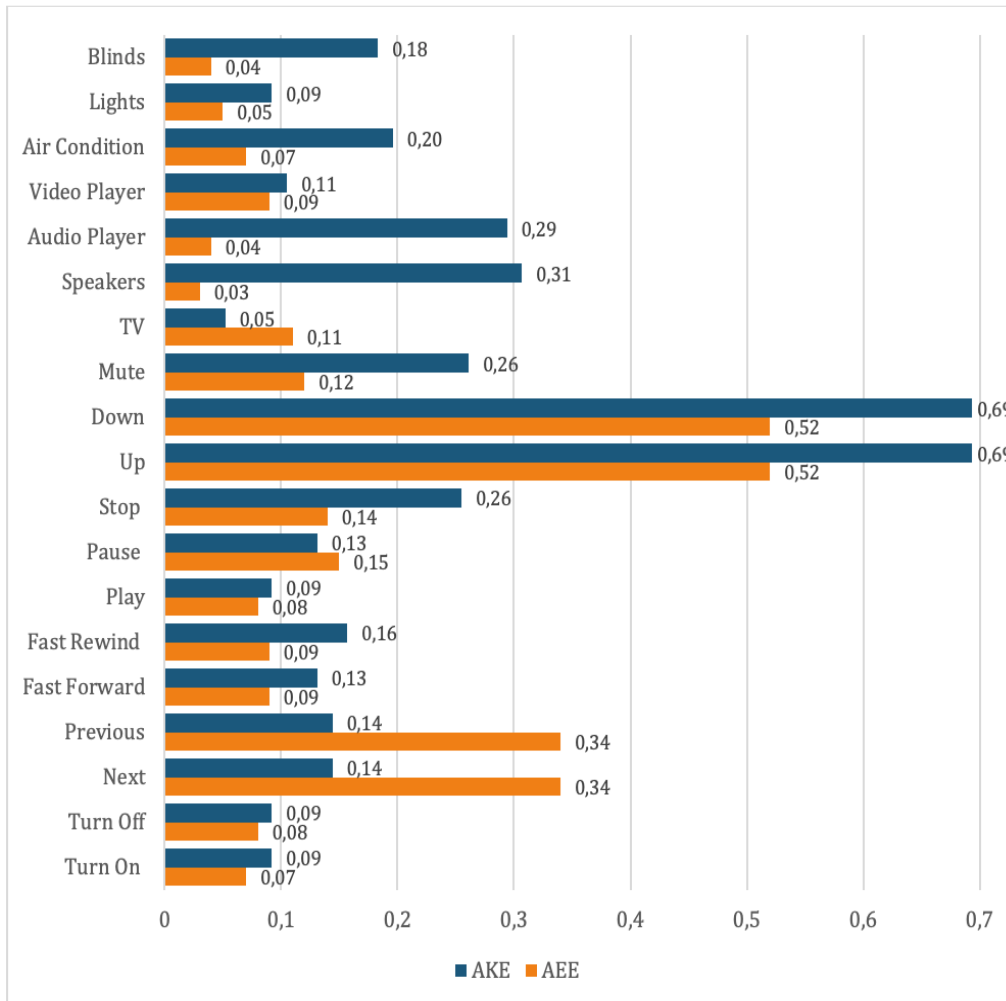
	Turn on	Turn off	Up	Down	Next	Previous
AEE	 Opening fist	 Closing fist	 Swipe up	 Swipe down	 Swipe right	 Swipe left
AKE	 Opening fist	 Closing fist	 Swipe up	 Swipe down	 Swipe right	 Swipe left
	Mute	Play	Fast Forward	Fast Rewind	Pause	Stop
AEE	 Shsss	 Point	 Hand CW	 Hand CCW	 Palm push	 Split hands
AKE	 Shsss	 Point	 Point left	 Point right	 V sign	 Palm push

Αποτελέσματα σχεδίασης χειρονομιών (συγκριτικά)

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας σχεδίασης ήταν να συσταθούν δύο σετ χειρονομιών (ένα για κάθε μοντέλο αλληλεπίδρασης) που περιέχουν χειρονομίες και πόζες απεύθυνσης (Πίνακας 6.3) και χειρονομίες εντολών (Πίνακας 6.4). Στο μοντέλο ΑεΕ παρότι οι χρήστες ήταν ελεύθεροι να χρησιμοποιήσουν και τα δύο τους χέρια, για τις χειρονομίες εντολών προτίμησαν κυρίως το ένα (για τις 11 από τις 12, ~92%), ενώ για τις χειρονομίες

απεύθυνσης επέλεξαν περισσότερο τη χρήση και των δύο χεριών (5 από 7, ~71%). Επιπλέον, έχει ενδιαφέρον ότι παρότι τα μοντέλα αλληλεπίδρασης είχαν αρκετούς κινητικούς περιορισμούς, οι περισσότερες χειρονομίες εντολών (8 από τις 12, ~67%) ήταν ακριβώς οι ίδιες και στα δυο μοντέλα.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της μετρικής του «Βαθμού ομοφωνίας» (Agreement rate) που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των προτεινόμενων χειρονομιών (Διάγραμμα 6.1), φαίνεται ότι το μοντέλο ΑκΕ υπερτερούσε στις περισσότερες περιπτώσεις (15 από 19, ~79%). Μια πιθανή αιτία για αυτό, είναι το γεγονός ότι το μοντέλο ΑκΕ περιορίζει την κίνηση σε ένα μόνο χέρι (ανά εντολή) με αποτέλεσμα να μειώνονται οι δυνατές προτεινόμενες χειρονομίες και συνεπώς να αυξάνεται η ομοφωνία.



Διάγραμμα 6.1 - Βαθμός ομοφωνίας για τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑκΕ και ΑεΕ

6.3 Πρωτοτυποποίηση

6.3.1 Μέθοδος ανάπτυξης πρωτοτύπου

Οι δύο μελέτες περίπτωσης εστιάζουν στην εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές και διερευνούν ζητήματα ευχρηστίας και εμπειρίας του χρήστη. Για αυτό το λόγο, η λειτουργικότητα των πρωτοτύπων που υλοποιήθηκαν περιορίζεται μόνο στην αλληλεπίδραση και πιο συγκεκριμένα, στην αναγνώριση των χειρονομιών και σε κάποιου είδους ανάδραση που θα ενημερώνει το χρήστη για το αν η χειρονομία «κατανοήθηκε» από το σύστημα ή όχι. Επιπλέον, προκειμένου το πείραμα να είναι πιο αληθοφανές

χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας έτσι ώστε οι χρήστες να εμβυθιστούν σε ένα πλασματικό φυσικό περιβάλλον με ψεύτικα αντικείμενα που «ζωντανεύουν» και μιμούνται τις αναδράσεις των αντίστοιχων πραγματικών συσκευών που βρίσκονται σε ένα υποτιθέμενο έξυπνο οικιακό περιβάλλον.

Υλοποιήθηκαν δύο πρωτότυπα που ήταν ικανά να αναγνωρίζουν τις χειρονομίες του χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Και στα δύο πρωτότυπα χρησιμοποιήθηκε το ίδιο περιεχόμενο αλλά με διαφορετικό σετ χειρονομιών το οποίο καθορίζονταν από το αντίστοιχο μοντέλο αλληλεπίδρασης. Χρησιμοποιήθηκαν αρκετές διαφορετικές τεχνολογίες και το πρωτότυπο εγκαταστάθηκε σε εργαστηριακό χώρο του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Τεχνολογικά τα δύο πρωτότυπα ήταν όμοια μεταξύ τους. Η βασική πλατφόρμα υλοποίησής τους ήταν η Unity, και η εφαρμογή περιλάμβανε 7 συσκευές του πρωτοτύπου σε δισδιάστατα γραφικά. Όταν κάποια χειρονομία του σετ χειρονομιών αναγνωρίζονταν, η εφαρμογή ανταποκρινόταν είτε με γραφική είτε με ηχητική ανάδραση, παρόμοια με αυτή των πραγματικών συσκευών.

Για να υλοποιηθεί το κομμάτι της χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας, εφαρμόστηκαν τεχνικές χαρτογραφημένης προβολής (projection mapping). Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή MadMapper για να γίνει η χαρτογράφηση του χώρου και για να προβάλει το περιεχόμενο της εφαρμογής Unity πάνω στις ψεύτικες συσκευές μέσω ενός προβολέα.

Το μέρος της εφαρμογής το οποίο ευθύνεται για την αναγνώριση των χειρονομιών του χρήστη υλοποιήθηκε με τη βοήθεια τεχνολογιών μηχανικής μάθησης. Οι εφαρμογές Kinect Studio και Visual Gesture Builder χρησιμοποιήθηκαν για να καταγραφούν και να οριστούν οι χειρονομίες. Και στα δύο πρωτότυπα η διαδικασία ήταν η ίδια για κάθε χειρονομία, ενώ το αποτέλεσμα της ήταν η παραγωγή δύο βάσεων δεδομένων χειρονομιών (μία για κάθε μοντέλο αλληλεπίδρασης), οι οποίες αργότερα χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή Unity.

Γενικά, η μεθοδολογία ανάπτυξης του πρωτοτύπου ήταν η ίδια και στις δύο μελέτες περίπτωσης, όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.5. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο πρωτοτύπων ήταν το σετ χειρονομιών το οποίο χρησιμοποιούσε.

Πίνακας 6.5 - Μέθοδος ανάπτυξης πρωτοτύπου

	Απεύθυνση έπειτα εντολή	Απεύθυνση και εντολή
Ανάπτυξη μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών	Software: Microsoft Kinect Studio, Microsoft Visual Gesture Builder. Hardware: Microsoft Kinect v2.0, PC (Windows 10, i7, 16GB).	
	<ul style="list-style-type: none">Καταγραφή χειρονομιών (τουλάχιστον 10 επαναλήψεις για κάθε μια) με την εφαρμογή Microsoft Kinect Studio.Καθορισμός κάθε χειρονομίας και δοκιμή τους με την εφαρμογή Visual Gesture Builder.	<ul style="list-style-type: none">Παραγωγή βάσης δεδομένων χειρονομιών του μοντέλου ΑεΕ.
Ανάπτυξη των λειτουργιών του συστήματος (που ενεργοποιούνται με την αναγνώριση κάθε χειρονομίας)	Software: Unity 2, C#, βάση δεδομένων χειρονομιών (από το προηγούμενο στάδιο), Kinect v2 with MS-SDK plugin. Hardware: Microsoft Kinect v2.0, PC (Windows 10, i7, 16GB).	<ul style="list-style-type: none">Παραγωγή βάσης δεδομένων χειρονομιών του μοντέλου ΑκΕ.
	<ul style="list-style-type: none">Υλοποιήθηκε ένα πρωτότυπο (σε Unity) που περιλαμβάνει τις 7 συσκευές	

	Απεύθυνση έπειτα εντολή	Απεύθυνση και εντολή
	τους συστήματος και βασικές λειτουργίες τους.	
	<ul style="list-style-type: none"> Αναπτύχθηκε κώδικας σε C# ο οποίος επέτρεπε την ενεργοποίηση των λειτουργιών του συστήματος, μετά από κάθε επιτυχημένη αναγνώριση χειρονομίας που συμπεριλαμβανόταν στην βάση δεδομένων χειρονομιών ΑΕΕ. 	<ul style="list-style-type: none"> Αναπτύχθηκε κώδικας σε C# ο οποίος επέτρεπε την ενεργοποίηση των λειτουργιών του συστήματος, μετά από κάθε επιτυχημένη αναγνώριση χειρονομίας που συμπεριλαμβανόταν στην βάση δεδομένων χειρονομιών ΑΚΕ.
Υλοποίηση του τεχνολογίας χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας	Software: MadMapper 4, Klakspout plugin for Unity Hardware: Microsoft Kinect v2.0, PC (Windows 10, i7, 16GB), προβολέας, mockups. <ul style="list-style-type: none"> Τοποθέτηση των ψεύτικων συσκευών (mockups) στο χώρο. Χαρτογράφηση των mockups και του χώρου γύρω τους. Προβολή του περιεχομένου της εφαρμογής Unity πάνω στα mockups. 	
Ανάπτυξη βοηθητικών λειτουργιών του συστήματος	Software: Blender, TouchOSC, TouchOSC bridge, MadMapper, Hardware: iPad pro (IOS v13.4), PC (Windows 10, i7, 16GB). <ul style="list-style-type: none"> Χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Blender, για τη δημιουργία βοηθητικών βίντεο που παρουσίαζαν τρισδιάστατο μοντέλο να εφαρμόζει τις χειρονομίες. Τα βοηθητικά βίντεο εισήχθησαν στο MadMapper. Για την ενεργοποίηση της προβολής του κάθε βίντεο, χρησιμοποιήθηκε ένα iPad το οποίο χειρίζονταν ο ερευνητής. Για τη δημιουργία της εφαρμογής του iPad και της διασύνδεσής της με το MadMapper, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή TouchOSC. 	

6.4 Αξιολόγηση

6.4.1 Μέθοδος αξιολόγησης χειρονομιών

Η μέθοδος αξιολόγησης ήταν η ίδια και για τις δύο μελέτες περίπτωσης (Πίνακας 6.6) και αποτελούσαν από 3 βασικά στάδια: α) στάδιο εκμάθησης, β) στάδιο ανασκόπησης, γ) στάδιο δοκιμής. Στα στάδια εκμάθησης και δοκιμής χρησιμοποιήθηκε ένα σενάριο που περιείχε 34 μοναδικές λειτουργίες (36 συνολικά, από τις οποίες οι 2 επαναλαμβανόντουσαν δύο φορές) τις οποίες έπρεπε ο χρήστης να ενεργοποιήσει σε διάφορες συσκευές του συστήματος. Η σειρά των εντολών, εξασφάλιζαν την εναλλαγή των συσκευών.

Και στις δύο μελέτες ο ερευνητής, πρώτα έδινε οδηγίες στο χρήστη να εκτελέσει μια εντολή σε κάποια συγκεκριμένη συσκευή και έπειτα ο χρήστης έπρεπε να σκεφτεί (στάδιο δοκιμής), ή να δει το βοηθητικό βίντεο (στάδιο εκμάθησης) και να εκτελέσει την/τις κατάλληλη/λες χειρονομία/ες. Αν η χειρονομία ήταν η σωστή, τότε το σύστημα αντιδρούσε με κάποιο τρόπο που γίνονταν αντιληπτός από τον χρήστη. Αν δεν υπήρχε κάποια αντίδραση από το σύστημα, τότε για την συγκεκριμένη προσπάθεια σημειώνονταν ως κάποιου είδους λάθος από τον ερευνητή. Για να διασφαλιστεί ότι οι χρήστες κατανόησαν και έμαθαν τις χειρονομίες, χρησιμοποιήθηκε το στάδιο της ανακεφαλαίωσης στο οποίο ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αναπαράγουν τη σωστή χειρονομία για κάθε εντολή στα πλαίσια μιας δομημένης συνέντευξης. Όλη η διαδικασία της αξιολόγησης

βιντεοσκοπήθηκε και από την ανάλυση των βίντεο προέκυψαν ποσοτικά δεδομένα για κάθε προσπάθεια. Αντίστοιχα ποιοτικά δεδομένα συλλέχθηκαν από τους χρήστες μέσω ερωτηματολογίων στο τέλος της αξιολόγησης.

Πίνακας 6.6 - Μέθοδος αξιολόγησης

	Απεύθυνση έπειτα εντολή	Απεύθυνση και εντολή
Μέθοδος	Εμπειρική αξιολόγηση βάση σεναρίου χρήσης	
Σενάριο	<ul style="list-style-type: none"> • Σενάριο αποτελείται από 34 εντολές του συστήματος που πρέπει να ενεργοποιήσει ο χρήστης. • Σύμφωνα με το σενάριο ο χρήστης θα πρέπει να απευθυνθεί 16 φορές σε διαφορετική συσκευή. 	
Χρήστες	19 (14 άνδρες/5 γυναίκες) ηλικία:26-49	17 (14 άνδρες/3 γυναίκες) ηλικία:32-50
Μέθοδος	<ul style="list-style-type: none"> • Περιγραφή του πειράματος στο συμμετέχοντα <p>Στάδιο εκμάθησης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ο ερευνητής διαβάζει την λειτουργία που πρέπει να εκτελέσει ο χρήστης. • Ένα βοηθητικό βίντεο παρουσιάζεται στο χρήστη που δείχνει πως πρέπει να εκτελεστεί η χειρονομία. • Ο χρήστης δοκιμάζει τη χειρονομία που είδε από το βίντεο. • Μόλις ολοκληρώσει την προσπάθειά του ο χρήστης (επιτυχώς ή ανεπιτυχώς), ο ερευνητής διαβάζει την επόμενη λειτουργία που περιλαμβάνει το σενάριο. <p>Στάδιο ανασκόπησης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ο ερευνητής ζητάει από τον χρήστη, για κάθε γενική εντολή του συστήματος, να εκτελέσει την αντίστοιχη χειρονομία. • Στην περίπτωση που δεν την θυμάται ο χρήστης, ο ερευνητής του την υπενθυμίζει. <p>Στάδιο δοκιμής</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ο ερευνητής διαβάζει την λειτουργία που πρέπει να εκτελέσει ο χρήστης. • Ο χρήστης δοκιμάζει τη χειρονομία που είδε από το βίντεο. • Μόλις ολοκληρώσει την προσπάθειά του ο χρήστης (επιτυχώς ή ανεπιτυχώς), ο ερευνητής διαβάζει την επόμενη λειτουργία που περιλαμβάνει το σενάριο. <p>Στάδιο ερωτηματολογίων</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ερωτηματολόγιο SUS • Ερωτηματολόγιο UEQ 	
Τεχνικές	<ul style="list-style-type: none"> • Think aloud protocol. • Ερωτηματολόγια, συνέντευξη. • Βιντεοσκόπηση και ανάλυση του βίντεο μετά τη δοκιμή. • Συλλογή δεδομένων παρατήρησης που συλλέχθηκαν κατά την αξιολόγηση. 	
Μετρικές	<p>Ποσοτικά δεδομένα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task success). • Χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας (Task time). • Καταγραφή ψευδώς-θετικών λαθών (False positives). 	

	Απεύθυνση έπειτα εντολή	Απεύθυνση και εντολή
	<ul style="list-style-type: none"> Καταγραφή ψευδώς-αρνητικών λαθών (False negatives). Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών (Memorability). <p>Ποιοτικά δεδομένα:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ερωτηματολόγιο SUS (System Usability Scale). Ερωτηματολόγιο UEQ (User Experience Questionnaire). 	

6.4.2 Αποτελέσματα αξιολόγησης (συγκριτικά)

Για να αξιολογηθούν τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης συγκρίθηκαν ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα (από τα στάδια της αξιολόγησης) χρησιμοποιώντας το Welch's t-test (τεστ άνισων διακυμάνσεων του Welch) το οποίο συγκρίνει δύο δείγματα και ελέγχει την υπόθεση ότι αυτά έχουν ίσες μέσες τιμές (Πίνακας 6.7).

Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task Success): Κατά την αξιολόγηση, οι χρήστες έπρεπε να ενεργοποιήσουν κάποιες λειτουργίες στις συσκευές του συστήματος. Αν δεν το πετύχαιναν αυτό μέσα σε ένα χρονικό περιθώριο 20 δευτερολέπτων ή έπειτα από 4 επανειλημμένες αποτυχημένες προσπάθειες, τότε η συγκεκριμένη εντολή του σεναρίου θεωρούταν αποτυχημένη και ο ερευνητής συνέχιζε στην επόμενη εντολή.

Το ποσοστό επιτυχούς ολοκλήρωσης των εντολών ήταν πολύ υψηλό και με τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης (Πίνακας 6.7). Στο μοντέλο ΑεΕ το ποσοστό ολοκλήρωσής ενεργειών ήταν 95.12% και στο ΑκΕ ήταν 94.45%, ενώ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύ θετικά αποδεικνύοντας ότι η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους είναι εφικτή. Αυτό επισημάνθηκε και από τους χρήστες κατά τη διάρκεια του πειράματος, καθώς έμειναν αρκετά ικανοποιημένοι με την απόδοσή τους παρά τις αρχικές τους αμφιβολίες για το αν θα μπορούσαν να χειριστούν πολλές συσκευές μόνο με μια γρήγορη εκπαίδευση και χωρίς προηγούμενη εξοικείωση.

Χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας (Task Time): Ο χρόνος ολοκλήρωσης κάθε ενέργειας αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τη στιγμή που ο χρήστης ενημερώνεται για τη ενέργεια που πρέπει να εκτελέσει, μέχρι τη στιγμή που το σύστημα ανταποκρίνεται στη χειρονομία του.

Ο μέσος χρόνος αλληλεπίδρασης ήταν 5.45 sec για το μοντέλο ΑεΕ και 4.95 sec για το ΑκΕ. Οι χρόνοι αυτοί ήταν σχετικά αποδεκτοί από τους χρήστες δεδομένου ότι χρειάζονταν κάποιο χρόνο για να θυμηθούν την χειρονομία που απαιτείται για κάθε περίπτωση, πριν την εφαρμόσουν. Επιπλέον, αρκετοί χρήστες είχαν υψηλά ποσοστά σε ψευδώς-αρνητικά λάθη (επόμενη παράγραφος), γεγονός που επιβράδυνε την αλληλεπίδραση τους με το σύστημα. Ενδεχομένως, σε βάθος χρόνου, ο χρόνος αλληλεπίδρασης μπορεί να μειωθεί όσο οι χρήστες χρησιμοποιούν το σύστημα και εξοικειώνονται με αυτό. Γενικά, από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης φάνηκε ότι το μοντέλο ΑκΕ ήταν σημαντικά γρηγορότερο από το ΑεΕ ($P:0.001109286 < \alpha:0.05$).

Ψευδώς-αρνητικά λάθη (false-negative errors): Τα λάθη αυτά συνέβαιναν όταν ο χρήστης εκτελούσε μια (σωστή, σύμφωνα με το σενάριο) χειρονομία η οποία εκτελέστηκε με σωστό τρόπο ή κατά προσέγγιση (σύμφωνα με την κρίση του ερευνητή, κατά την ανάλυση του βίντεο του χρήστη), αλλά το σύστημα δεν ανταποκρίθηκε.

Στην περίπτωση του μοντέλου ΑκΕ τα ψευδώς-αρνητικά λάθη ήταν 1.42 ανά αλληλεπίδραση και 0.84 αντίστοιχα στο μοντέλο ΑεΕ. Δηλαδή στην 1^η μελέτη περίπτωσης (ΑκΕ) οι χρήστες εφάρμοζαν 1 ή 3 φορές κάθε χειρονομία πριν καταφέρουν να την εφαρμόσουν

σωστά. Η διαφορά των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης ήταν στατιστικώς σημαντική ($P:1.11357E-06 < \alpha:0.05$), το οποίο δείχνει ότι οι αλληλεπιδράσεις με το μοντέλο ΑκΕ παράγουν λιγότερα ψευδώς-αρνητικά λάθη σε σύγκριση με το μοντέλο ΑεΕ.

Ψευδώς-θετικά λάθη (False-positive errors): Τα ψευδώς-θετικά λάθη συνέβαιναν όταν ο χρήστης εκτελούσε λανθασμένη χειρονομία, αλλά το σύστημα ανταποκρίνονταν ή υπήρχε τυχαία ενεργοποίηση άλλης συσκευής (“άγγιγμα του Μίδα”).

Τα ψευδώς-θετικά λάθη ήταν πολύ χαμηλά και στα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστική διαφορά, σημειώνοντας κατά μέσο όρο 0.04 λάθη στο ΑεΕ και 0.07 στο ΑκΕ. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύ θετικά καθώς δείχνουν ότι το φαινόμενο του αγγίγματος του Μίδα δεν παρουσιάστηκε σε κανένα από τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης.

Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών: Λάθη απομνημόνευσης, σημειώνονταν από τον ερευνητή όταν κατά το στάδιο δοκιμής, ο χρήστης εκτελούσε λάθος χειρονομία ή αδυνατούσε να τη θυμηθεί.

Τα λάθη απομνημόνευσης ήταν χαμηλά και για τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη μελέτη περίπτωσης (ΑεΕ) σημειώθηκαν 21 λάθη από συνολικά 646 προσπάθειες (19 χρήστες x 34 εντολές του σεναρίου), με ποσοστό 3.2%. Αντίστοιχα, στη δεύτερη μελέτη περίπτωσης (ΑκΕ) σημειώθηκαν 10 λάθη απομνημόνευσης, από τις συνολικά 578 προσπάθειες (17 χρήστες x 34 εντολές του σεναρίου) με ποσοστό 1.7%. Τα ποσοστά λάθους απομνημόνευσης των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης που εξετάστηκαν δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά. Γενικά, τα χαμηλά ποσοστά λαθών απομνημόνευσης είναι πολύ θετικό αποτέλεσμα και δείχνει ότι οι χρήστες μπορούν να απομνημονεύσουν τις απαιτούμενες χειρονομίες, με πολύ λίγες αποτυχίες και μετά από σχετικά σύντομη περίοδο εκπαίδευσης.

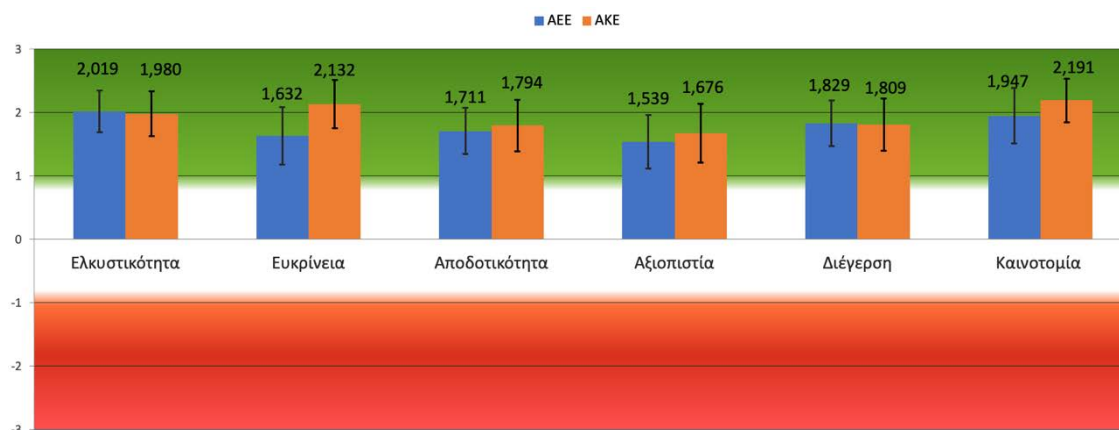
Πίνακας 6.7 - Συγκριτικά στοιχεία αξιολόγησης

Μελέτη περίπτωσης 1: Απεύθυνση-έπειτα-εντολή		Μελέτη περίπτωσης 2: Απεύθυνση-και-εντολή		Statistical difference? (Welch t-test, Two-Sample Assuming Unequal Variances)		
Usability metrics	Mean	Usability metrics	Mean	α	P, two-tail	Result ($P < \alpha$?)
Task success	95.12%	Task success	94.45%		0.590067579	NO
Task time (sec)	5.45	Task time (sec)	4.95		0.001109286	YES
False negative errors per task	1.42	False negative errors per task	0.84	0.05	1.11357E-06	YES
False positive error rate	0.04	False positive error rate	0.07		0.099773394	NO
Memorability error rate	3.2%	Memorability error rate	1.7%		0.085898938	NO
Experiment metrics		Experiment metrics				
Users	19	Users	17			
Number of tasks (scenario)	34	Number of tasks (scenario)	34			
Task performed (all users)	646	Task performed (all users)	578			

Ικανοποίηση του χρήστη: Η ικανοποίηση των χρηστών μετρήθηκε με δύο τυποποιημένα ερωτηματολόγια τα οποία συμπλήρωσαν οι χρήστες στο τέλος της αξιολόγησης: SUS (System Usability Scale) (Lewis, 2018) και UEQ (User Experience Questionnaire) (Laugwitz & Held, n.d.).

Το σκορ του ερωτηματολογίου SUS για το μοντέλο ΑκΕ ($SUS_{AKE} = 80.1$) ήταν οριακά μεγαλύτερο από αυτό του μοντέλου ΑεΕ ($SUS_{AKE} = 79.0$). Σύμφωνα με τους Tullis και Albert “η βαθμολογία SUS κάτω από 60 θεωρείται σχετικά κακή, ενώ πάνω από 80

μπορεί να θεωρηθεί αρκετά καλή” (Tullis & Albert, 2013). Συνεπώς η ευχρηστία και για τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης ήταν πολύ ικανοποιητική.



Διάγραμμα 6.2 - Αποτελέσματα ερωτηματολογίου UEQ για τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑεΕ και ΑκΕ.

Το ερωτηματολόγιο UEQ αποτυπώνει 6 άξονες αξιολόγησης των μοντέλων αλληλεπίδρασης ΑκΕ και ΑεΕ: ελκυστικότητα, ευκρίνεια, αποδοτικότητα, αξιοπιστία, διέγερση, και καινοτομία (M. Schrepp et al., 2017) όπως φαίνονται στο διάγραμμα 6.2. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τις δύο μελέτες περίπτωσης, φαίνεται ότι οι βαθμολογίες ήταν πολύ θετικές (εντός της πράσινης περιοχής) και κυμάνθηκαν από 1.539 έως 2.191 σε όλους τους άξονες αξιολόγησης της εμπειρίας του χρήστη. Γενικά οι τιμές σε όλους τους άξονες ήταν όμοιες και για τα δύο μοντέλα, εκτός από τις περιπτώσεις ευκρίνειας και καινοτομίας όπου το μοντέλο ΑκΕ υπερτερούσε.

6.5 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε μια σύγκριση των μοντέλων αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή» (ΑεΕ) και «Απεύθυνση-και-Εντολή» ΑκΕ. Τα μοντέλα αυτά δοκιμάστηκαν για τον χειρισμό 7 οικιακών συσκευών μέσω εναέριων χειρονομιών και κατά επέκταση μπορούν να εφαρμοστούν γενικότερα σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς διαδραστικούς στόχους. Στο μοντέλο ΑεΕ ο χρήστης πρέπει να εκτελέσει δύο διαδοχικές χειρονομίες, όπου η πρώτη χρησιμοποιείται για την απεύθυνση σε μια συσκευή και η δεύτερη για την εντολή, ενώ στο μοντέλο ΑκΕ ο χρήστης πρέπει να εκτελέσει μια σύνθετη χειρονομία, όπου η απεύθυνση και η εντολή ενεργοποιούνται με χειρονομίες των δύο χεριών που εκτελούνται ταυτόχρονα. Η διαδικασία διερεύνησης και των δύο μοντέλων ήταν όμοια και περιλάμβανε τα στάδια της εκμείευσης χειρονομιών από χρήστες, της υλοποίησης πρωτοτύπου, και της εμπειρικής αξιολόγησής του με χρήστες.

Το κύριο συμπέρασμα από τη σύγκριση και των δύο μοντέλων ήταν ότι ο έλεγχος πολλαπλών συσκευών με εναέριες χειρονομίες είναι εφικτός και ικανοποιητικός για τους χρήστες, παρουσιάζοντας υψηλά ποσοστά επιτυχούς ολοκλήρωσης ενεργειών. Όσο αφορά τα ψευδώς θετικά λάθη, και τα δύο μοντέλα είχαν πολύ χαμηλά και παρόμοια ποσοστά λαθών υποδεικνύοντας ότι δεν παρουσίασαν το φαινόμενο του «αγγίγματος του Μίδα». Επίσης, και τα δύο μοντέλα είχαν πολύ χαμηλά λάθη απομνημόνευσης. Γενικά, παρότι τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μοντέλων είχαν μικρές διαφορές, το μοντέλο ΑκΕ είναι σημαντικά πιο εύχρηστο όσο αφορά την ταχύτητα αλληλεπίδρασης και τα ψευδώς αρνητικά λάθη. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά για μελλοντικές εφαρμογές εναέριας αλληλεπίδρασης σε ένα έξυπνο σπίτι, ή γενικότερα για τον έλεγχο πολλαπλών συσκευών στον ίδιο φυσικό χώρο.

7. Προτεινόμενο Μεθοδολογικό Πλαίσιο - Συμπεράσματα – Συμβολή - Περιορισμοί

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίαση ΕΑ με πολλαπλούς στόχους και τα βήματα που απαιτούνται. Γίνεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων όπως αυτά προέκυψαν από τις προηγούμενες μελέτες περίπτωσης, και σχετικές έρευνες και παρουσιάζονται περιορισμοί της παρούσας διδακτορικής διατριβής και της σχετικής έρευνας στην οποία στηρίχθηκε, καθώς και ιδέες για μελλοντική έρευνα. Τέλος, αναφέρονται προοπτικές και τάσεις της ΕΑ και της μεθοδολογίας σχεδίασής της, όπως αυτές παρουσιάζονται από πρόσφατες έρευνες που στηρίχθηκαν στο ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού που προτείνεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

7.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο: βήματα και οδηγίες

Για τη διερεύνηση των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης με πολλαπλούς στόχους εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία, η οποία αποτελείται από τρία διαδοχικά βήματα: 1) Ανακάλυψη κατάλληλου σετ χειρονομιών 2) Πρωτοτυποποίηση χειρονομιών 3) Αξιολόγηση χειρονομιών, όπου το καθένα περιλαμβάνει επιμέρους στάδια (Εικόνα 7.1). Ανεξάρτητα με το μοντέλο αλληλεπίδρασης που εξετάστηκε, τα σετ χειρονομιών που προέκυψαν από το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης ΕΑ, αποδείχτηκαν εύχρηστα, αποδοτικά και απέσπασαν θετικές κριτικές κατά την αξιολόγησή τους, όσο αφορά την εμπειρία του χρήστη. Παρακάτω επισημαίνονται τα βασικά στάδια και τα επιμέρους βήματα του μεθοδολογικού πλαισίου σχεδίασης ΕΑ, που προτείνονται για περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους ή συσκευές.

7.1.1 Εκμαίευση χειρονομιών με χρήση πλαισίου περιορισμών

Η εκμαίευση χειρονομιών αποτελεί μια χρηστοκεντρική προσέγγιση που έχει βασικό σκοπό την παραγωγή ενός σετ χειρονομιών που θα είναι κατάλληλο για το υπό σχεδίαση σύστημα. Εν συντομία, οι χρήστες καλούνται να προτείνουν χειρονομίες για ένα σύνολο λειτουργιών, οι προτάσεις των οποίων καταγράφονται, και το τελικό συνολικό σετ χειρονομιών προκύπτει έπειτα από την ανάλυσή τους, συνήθως με τη βοήθεια κάποιων μετρικών. Ως μέθοδο εκμαίευσης χειρονομιών προτείνεται η μελέτη εικασιών με χρήση πλαισίου περιορισμών, η οποία αποτελείται από τα εξής στάδια: 1) προετοιμασία της μελέτης εικασιών, 2) ολοκλήρωση της μελέτης εικασιών, 3) ανάλυση προτεινόμενων χειρονομιών.

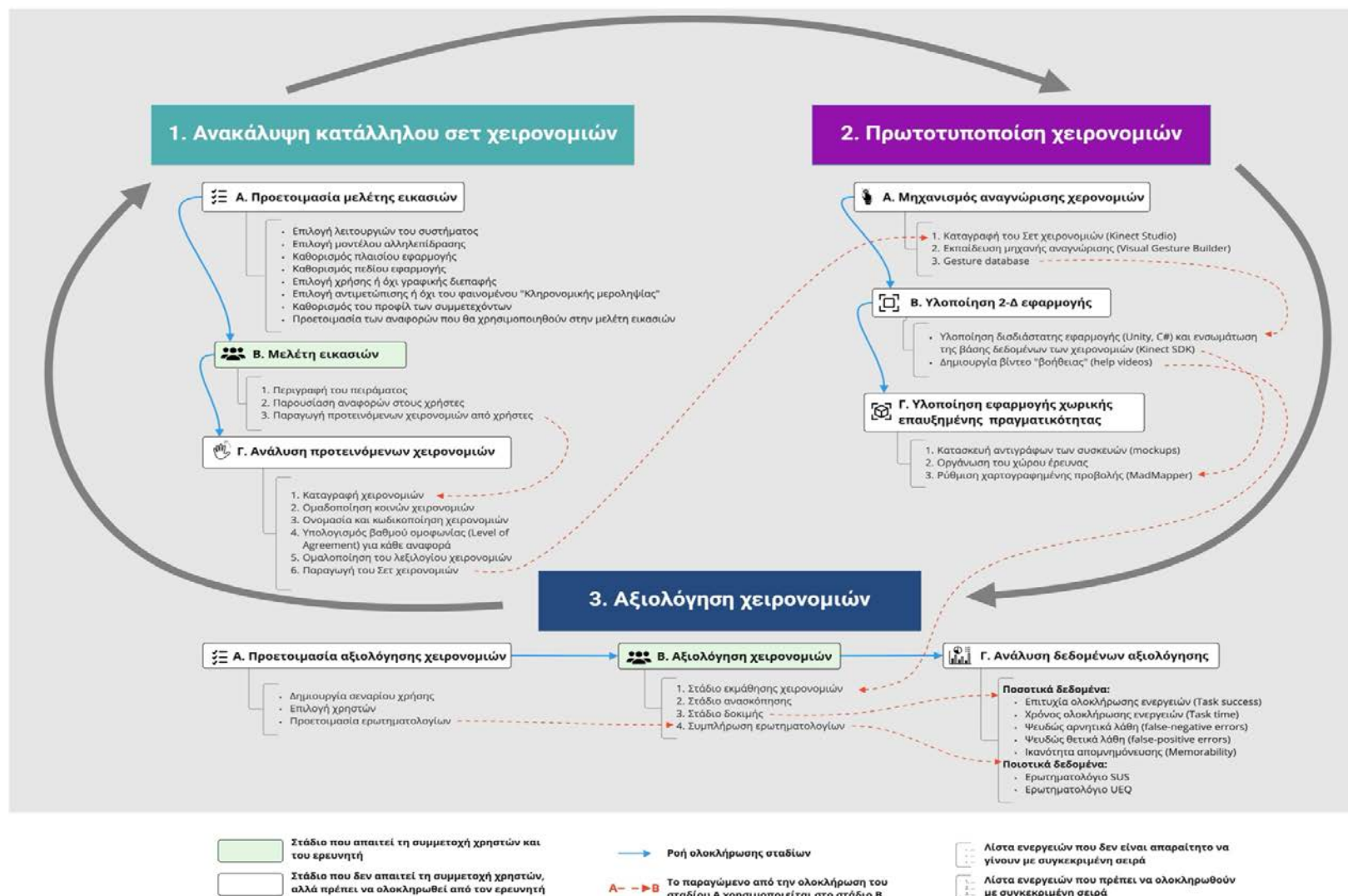
7.1.1.1 Στάδιο προετοιμασίας μελέτης εκμαίευσης

Πριν εφαρμοστεί η μελέτη εικασιών με χρήστες, συνήθως γίνεται κάποιος σχεδιασμός από τους ερευνητές που καθορίζεται από τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας ή άλλους σχεδιαστικούς παράγοντες όπως το πλαίσιο εφαρμογής των χειρονομιών, την κοινωνική αποδοχή τους, την ευκολία εκμάθησης και ανακάλυψής τους, της αποτελεσματικότητά τους, τη διαισθητικότητα τους κ.α. (Xia et al., 2022). Πτυχές που είναι σημαντικές στην προετοιμασία της μελέτης εκμαίευσης χειρονομιών είναι:

- **Καθορισμός πεδίου εφαρμογής:** Καθώς οι περισσότερες μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών πραγματοποιούνται σε εργαστηριακό περιβάλλον (Koutsabasis & Vogiatzidakis, 2019b), δεν υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες πληροφορίες για το πλαίσιο εφαρμογής της ΕΑ, και οι χρήστες είναι ελεύθεροι να προτείνουν και χειρονομίες που δεν είναι συνδεδεμένες με το τελικό σύστημα ή εφαρμογή (Cafaro et al., 2018). Ο προσδιορισμός του πεδίου εφαρμογής της ΕΑ μπορεί να περιορίσει τις επιλογές των χρηστών σε ένα υποσύνολο χειρονομιών που θα είναι περισσότερο κατάλληλες για το σκοπό που διερευνάται η ΕΑ (Cafaro et al., 2013). Για παράδειγμα, αν το πεδίο εφαρμογής είναι το καθιστικό ενός έξυπνου σπιτιού (όπως στις δύο παραπάνω μελέτες περίπτωσης), αυτό καθορίζει ότι ο χρήστης βρίσκεται σε ένα οικείο εσωτερικό περιβάλλον (το οποίο ενδεχομένως μπορεί να του επιτρέψει να προτείνει και κοινωνικώς μη αποδεκτές χειρονομίες), ότι μπορεί να είναι καθιστός ή όρθιος (το οποίο τον περιορίζει να προτείνει χειρονομίες με το πάνω μέρος του σώματός του), ότι οι συσκευές είναι οικιακού περιβάλλοντος (συνήθως αυτές οι συσκευές δεν παρέχουν κρίσιμες για την υγεία ή σωματική ακεραιότητα λειτουργίες, και συνεπώς δεν απαιτούν ακριβής/λεπτομερής χειρονομίες), κ.α. Ένα διαφορετικό περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους, όπως το εσωτερικό ενός αυτοκινήτου, ή ενός αμφιθεάτρου, έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία με τη σειρά τους καθορίζουν και αντίστοιχους

περιορισμούς κυρίως στον τρόπο αλληλεπίδρασης, αλλά και στην έρευνα γενικότερα. Συνεπώς, η χρήση πεδίου εφαρμογής και ο προσδιορισμός των ουσιαστικότερων χαρακτηριστικών του είναι καθοριστικός για την παραγωγή καταλληλότερου σετ χειρονομιών.

- **Χρήση πλαισίου περιορισμών:** Ενώ το πεδίο εφαρμογής στηρίζεται σε λογικούς και φυσικούς περιορισμούς, η χρήση πλαισίου βασίζεται σε επιπλέον περιορισμούς που ορίζονται από τον ερευνητή. Αυτό, βοηθάει τους χρήστες να γνωρίζουν ακριβώς ποιες λειτουργίες πρέπει να υποστηρίζει το σύστημα, ποιες χειρονομίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ποιες όχι, μέσα σε ένα συγκεκριμένο διαδραστικό πλαίσιο (Wu, Fu, et al., 2020). Καθώς η ΕΑ με πολλαπλές συσκευές παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας σε σχέση με την ΕΑ με μεμονωμένες συσκευές, η χρήση πλαισίου διευκολύνει τους χρήστες να περιορίσουν τις περιβαλλοντικά έγκυρες χειρονομίες, εξυπηρετώντας τους ερευνητές να καταλήξουν σε σετ χειρονομιών με μεγαλύτερους βαθμούς ομοφωνίας.
- **Επιλογή μοντέλου αλληλεπίδρασης:** Σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους ή συσκευές, η ΕΑ είναι πιο σύνθετη καθώς θα πρέπει να καλύψει δύο σκοπούς: τόσο την απεύθυνση στις συσκευές, όσο και την ενεργοποίηση των λειτουργιών σε αυτές. Για να γίνει αυτό μόνο με εναέριες χειρονομίες θα πρέπει να έχει συγκροτηθεί ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης με κατάλληλους κανόνες που να καλύπτει και τους δύο παραπάνω σκοπούς. Επίσης, όσο περισσότερες είναι οι συσκευές στο περιβάλλον τόσο περισσότερες θα είναι και οι διαθέσιμες λειτουργίες (που ενεργοποιούνται με ΕΑ), καθώς και οι χειρονομίες που θα πρέπει να μάθει και να θυμάται ο χρήστης αντίστοιχα. Συνεπώς, η πρόκληση της «ευκολίας απομνημόνευσης» χειρονομιών (memorability), είναι πιο έντονη στις περιπτώσεις με πολλαπλούς στόχους. Επομένως, το μοντέλο αλληλεπίδρασης θα πρέπει έχει μια λογική που θα διευκολύνει τους χρήστες να θυμούνται όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό χειρονομιών (π.χ. δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης χειρονομιών). Το μοντέλο αλληλεπίδρασης και οι κανόνες του, θα πρέπει να ανακοινωθούν στους χρήστες πριν την έναρξη της έρευνας.
- **Επιλογή των λειτουργιών που θα μπορεί να χειριστεί ο χρήστης με ΕΑ:** Θα πρέπει να επιλεγούν λειτουργίες που να είναι γνώριμες στους χρήστες, να χρησιμοποιούνται τακτικά, να είναι απλές, και να εμφανίζονται σε διαφορετικές συσκευές. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας λειτουργίας είναι η «αύξηση της έντασης» η οποία είναι απλή στην αντίληψη, συναντάται στην τηλεόραση, αλλά και στον ενισχυτή και στο media player, και αποτελεί μια συνηθισμένη ενέργεια των χρηστών. Αντίθετα, η λειτουργία «προγραμματισμού των καναλιών της τηλεόρασης», ή «προγραμματισμός της εγγραφής ενός τηλεοπτικού προγράμματος στο media player», ή «χρονοπρογραμματισμός του κλιματιστικού», δεν ανήκει σε αυτή την κατηγορία καθώς, δεν συμβαίνει τακτικά, είναι σύνθετη διαδικασία που αποτελείται από πολλά βήματα, και συνήθως η διαδικασία είναι διαφορετική για κάθε συσκευή. Ο σημαντικότερος λόγος που πρέπει να υπάρχουν κοινές ή όμοιες λειτουργίες μεταξύ των συσκευών, είναι για να διευκολυνθεί ο χρήστης να αναπτύξει εννοιολογικά μοντέλα που θα του επιτρέψουν να επαναχρησιμοποιεί ίδιες χειρονομίες για όμοιες λειτουργίες. Αυτό θα βοηθήσει στη μείωση του συνολικού αριθμού διαφορετικών χειρονομιών που θα πρέπει να θυμάται, να θα διευκολύνει στην απομνημόνευσή τους (memorability).



Εικόνα 7.1 - Μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης ΕΑ σε περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους

- **Αλληλεπίδραση με ή χωρίς γραφική διεπαφή χρήστη:** Η χρήση ή όχι γραφικής διεπαφής είναι κάτι που θα πρέπει να έχει αποφασιστεί πριν ξεκινήσει η διαδικασία της εκμείωσης χειρονομιών και αντίστοιχα, θα πρέπει να προετοιμαστούν και οι κατάλληλες αναφορές (referents) οι οποίες μπορεί να έχουν την μορφή στατικής εικόνας, βίντεο, ήχου ή συνδυασμός αυτών. Ωστόσο, όταν εξετάζεται η απευθείας ΕΑ με πολλαπλές συσκευές (direct manipulation), η χρήση γραφικής διεπαφής πολλές φορές δεν είναι εφικτή (π.χ. συσκευές οι οποίες δεν παρέχουν οθόνη προβολής περιεχομένου). Για να είναι οι παραγόμενες χειρονομίες περισσότερο διαισθητικές και φυσικές, η επιλογή των αναφορών θα πρέπει να γίνει έτσι ώστε να μην περιέχονται υπονοούμενοι τρόποι αλληλεπίδρασης ή χειρισμού της συσκευής. Για παράδειγμα, απεικονίσεις χειριστηρίων (όπως, sliders, knobs, buttons) επηρεάζουν την κρίση των χρηστών προδιαθέτοντας τους να προτείνουν χειρονομίες που ταιριάζουν περισσότερο στο χειρισμό των χειριστηρίων, παρά στη λειτουργία που ενεργοποιούν (π.χ. αύξηση της έντασης του ήχου), επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο την ποιότητα των προτεινόμενων χειρονομιών.
- **Κληρονομική μεροληψία (Legacy bias):** Η κληρονομική μεροληψία, αναφέρεται σε καταστάσεις όπου οι προτάσεις των χρηστών σε μελέτες εκμείωσης χειρονομιών επηρεάζονται από την εμπειρία τους από άλλες διεπαφές (π.χ. παραθυρικό περιβάλλον, οθόνες αφής). Η μεροληψία αυτή φαίνεται να περιορίζει τις δυνατότητες των μελετών εκμείωσης χειρονομιών στο να παράγουν αλληλεπιδράσεις που εκμεταλλεύονται πλήρως τις δυνατότητες, απαιτήσεις, και καινοτομίες των αναδύομενων πεδίων εφαρμογής και τεχνολογιών (Morris et al., 2014). Προκειμένου να ελαττωθεί το φαινόμενο κληρονομικής μεροληψίας στις μελέτες εκμείωσης χειρονομιών, οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις τεχνικές: «έκθεσης σε εναύσματα» (Priming), «παραγωγής πολλαπλών χειρονομιών» (Production) και «ταυτόχρονης συνεργασίας συμμετεχόντων» (Partners) (Morris et al., 2014). Ωστόσο, υπάρχουν και περιπτώσεις που η μεροληψία λόγω προηγούμενων εμπειριών μπορεί να λειτουργήσει και προς όφελος του τελικού χρήστη, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των χειρονομιών που πρέπει να μάθει ο χρήστης είναι μεγάλος ή οι χειρονομίες είναι αρκετά καινοτόμες που ενδεχομένως να επιβαρύνουν γνωστικά τους χρήστες όταν τις ανακαλούν (Köpsel & Bubalo, 2015). Συνεπώς, η αντιμετώπιση ή όχι, της κληρονομικής μεροληψίας αποτελεί σχεδιαστική απόφαση που πρέπει να ληφθεί στο στάδιο προετοιμασίας της μελέτης εκμείωσης χειρονομιών για να προετοιμαστούν ή όχι οι κατάλληλες τεχνικές αντιμετώπισής της.
- **Ορισμός αρχέτυπων χρηστών (personas):** Οι χρήστες που θα λάβουν μέρος στη μελέτη εκμείωσης χειρονομιών θα πρέπει να έχουν ίδιο ή παρόμοιο προφίλ με εκείνο των τελικών χρηστών για τους οποίους σχεδιάζεται το σύστημα. Αυτό μπορεί να σημαίνει επιλογή χρηστών με αντίστοιχη ηλικία, συνήθειες, συμπεριφορές, ανάγκες, επίπεδο τεχνολογικών ικανοτήτων και γνώσεων κ.α. Συνεπώς, αφού καθοριστούν οι τελικοί χρήστες του συστήματος, θα πρέπει να σχηματιστούν τα αντιπροσωπευτικά προφίλ τους και σύμφωνα με αυτά να γίνει η επιλογή των χρηστών της έρευνας.

7.1.1.2 Στάδιο μελέτης εικασιών με χρήστες

Το στάδιο αυτό υλοποιείται με την παρουσία χρηστών και ουσιαστικά αποτελεί τη βάση της μελέτης εκμείωσης χειρονομιών. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ατομική, ανεξάρτητη για κάθε χρήστη και περιλαμβάνει:

- **Περιγραφή του πειράματος στο χρήστη:** Αρχικά, γίνεται μια περιγραφή του πεδίου και πλαισίου εφαρμογής της ΕΑ, καθώς και του μοντέλου αλληλεπίδραση που πρέπει να εφαρμοστεί.
- **Παραγωγή χειρονομιών:** Αφού ο χρήστης κατανοήσει το σκοπό της έρευνας, ξεκινάει η διαδικασία παραγωγής χειρονομιών με την εξής διαδικασία: πρώτα παρουσιάζεται η αναφορά (δηλαδή το αποτέλεσμα μιας αλληλεπίδρασης) από τον ερευνητή και έπειτα καλείται ο χρήστης να προτείνει χειρονομίες που θεωρεί καταλληλότερες για το συγκεκριμένο σκοπό.
- **Παρουσίαση αναφορών:** Όσο αφορά τις αναφορές των συσκευών (χειρονομίες απεύθυνσης), αυτές θα πρέπει να παρουσιαστούν συνολικά (όλες μαζί) και να ζητηθεί από τους χρήστες να προτείνουν χειρονομίες που θα είναι μοναδικές για κάθε μία. Με αυτό τον τρόπο, ο/η χρήστης αναγκάζεται να προτείνει χειρονομίες που θα είναι μοναδικές για κάθε συσκευή. Όσο αφορά τις αναφορές για τις λειτουργίες των συσκευών, αυτές πρέπει να παρουσιάζονται ανά εντολή όπου θα παρουσιάζεται η ονομασία της εντολής και όλες οι συσκευές που μπορεί να εφαρμοστεί. Με αυτόν τον τρόπο ο/η χρήστης θα μπορεί να δημιουργήσει ένα εννοιολογικό μοντέλο όπου κάποιες χειρονομίες θα επαναχρησιμοποιούνται (σε περιπτώσεις όμοιων εντολών σε διαφορετικές συσκευές).
- **Τεχνικές:** Καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης οι χρήστες παροτρύνονται να σκέφτονται δυνατά (think aloud protocol) τόσο για να γίνει κατανοητό το νοητικό μοντέλο που χρησιμοποιούν, όσο και για να περιγράψουν λεκτικά τα στάδια της χειρονομίας που αναπαράγουν. Στο τέλος της έρευνας δίνεται δυνατότητα στον/στη χρήστη να αναπτύξει τις σκέψεις, προτάσεις, εντυπώσεις του/της μέσω διαλόγου – συζήτησης. Καθώς όλη αυτή η διαδικασία είναι σύνθετη για να την καταγράψει ο ερευνητής με απλή παρατήρηση, συνηθίζεται να βιντεοσκοπείται ώστε να αναλύεται σε επόμενη φάση.

7.1.1.3 Στάδιο ανάλυσης των προτεινόμενων χειρονομιών και εξαγωγής του σετ χειρονομιών

Το στάδιο της ανάλυσης γίνεται από τον ερευνητή και περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Το βίντεο από κάθε χρήστη αναλύεται από τον ερευνητή προκειμένου να καταγραφούν περιγραφικά όλες οι προτεινόμενες δυναμικές και στατικές χειρονομίες (για παράδειγμα, «δυναμική-χειρονομία: χέρι στο ύψος του ώμου/στέρνο, ελαφρώς λυγισμένο με δάχτυλα τεντωμένα, κινείται προς τη δεξιά πλευρά του χρήστη και σταματάει στις 90°»),
- Οι κινησιολογικά παρόμοιες χειρονομίες συγχωνεύονται (για παράδειγμα η χειρονομία *swipe left-to-right* μπορεί να θεωρηθεί ίδια είτε κάποιος χρήστης την εφαρμόσει με το χέρι τεντωμένο στο ύψος του ώμου, είτε με το χέρι χαμηλά στο ύψος της μέσης),
- Σε κάθε χειρονομία δίνεται ένας κωδικός (ID-name, όπως G1, G2, κλπ.) για λόγους ευκολίας στην περαιτέρω ανάλυσή τους.
- Σε κάθε αναφορά, γίνεται ταξινόμηση όλων των χειρονομιών ανάλογα με το συνολικό αριθμό που προτάθηκαν.
- Για κάθε αναφορά υπολογίζεται ο «βαθμός ομοφωνίας» (Level of Agreement) των χρηστών. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την εξίσωση 7.1, (όπου P είναι το σύνολο όλων των προτεινόμενων χειρονομιών για τη συγκεκριμένη αναφορά r , και P_i είναι τα υποσύνολα των όμοιων χειρονομιών), είτε χρησιμοποιώντας το

εργαλείο AGreement Analysis Toolkit (AGATe)⁴³ (*AGATe Tool*, n.d.; R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2015).

Εξίσωση 7.1: Βαθμός ομοφωνίας (Level of Agreement - AR(r))

$$AR(r) = \frac{|P|}{|P| - 1} \sum_{P_i \in P} \left(\frac{|P_i|}{|P|} \right)^2 - \frac{1}{|P| - 1}$$

- **Υπολογισμός βαθμού συνέπειας:** Για κάθε χρήστη, μπορεί να υπολογιστεί ο «βαθμός συνέπειας» (Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2019) που υπολογίζει το ποσοστό συμφωνίας των χειρονομιών που προτείνει ο χρήστης για λειτουργίες που είναι όμοιες σε διαφορετικές συσκευές. Ο βαθμός συνέπειας, δεν αποτελεί απαραίτητο βήμα της έρευνας, όμως μπορεί να αποτυπώσει το βαθμό που κάθε χρήστης χρησιμοποίησε ή όχι κάποιο εννοιολογικό μοντέλο για την παραγωγή προτιμώμενων χειρονομιών. Μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της εξίσωσης 7.2, όπου P είναι ο συνολικός αριθμός προτάσεων του χρήστη για μια αναφορά c (η οποία είναι ίδια ή όμοια σε πολλές συσκευές) και P_i είναι το υποσύνολο των χειρονομιών που είναι ίδιες.

Εξίσωση 7.2: Βαθμός συνέπειας (Consistency Rate - CR(r))

$$CR(c) = \frac{|P|}{|P| - 1} \sum_{P_i \in P} \left(\frac{|P_i|}{|P|} \right)^2 - \frac{1}{|P| - 1}$$

- **Ομαλοποίηση, και εξαγωγή του λεξιικού χειρονομιών:** Αρχικά, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας πίνακας όπου θα ταξινομηθούν όλες οι χειρονομίες ανά εντολή/λειτουργία ανάλογα με τον σύνολο των προτάσεων τους, μαζί με τον βαθμό ομοφωνίας για κάθε εντολή. Έπειτα, θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος για τυχόν διενέξεις στο συσχετισμό χειρονομιών-αναφορών. Αυτές συμβαίνουν κυρίως όταν η ίδια χειρονομία έχει συσχετιστεί (δηλαδή, είναι περισσότερο προτιμητέα) σε παραπάνω από μία αναφορές. Για να επιλυθούν αυτές οι διενέξεις, ο ερευνητής θα πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία, «ομαλοποίησης του λεξιλογίου χειρονομιών», που αποτελείται από τα εξής βήματα:
 - α. Για τις αναφορές (εντολές) που είχαν μόνο μία προτεινόμενη χειρονομία, η χειρονομία αυτή κατοχυρώνεται στη συγκεκριμένη αναφορά και διαγράφεται από όπου εμφανίζεται στον υπόλοιπο πίνακα.
 - β. Από τις υπολειπόμενες αναφορές, αν προέκυψαν αναφορές με μία μόνο χειρονομία τότε το παραπάνω βήμα επαναλαμβάνεται (η χειρονομία αυτή κατοχυρώνεται στην εντολή και διαγράφεται από τον υπόλοιπο πίνακα).
 - γ. Από τις υπολειπόμενες αναφορές που περιέχουν παραπάνω από μία προτεινόμενες χειρονομίες, αν μια χειρονομία βρίσκεται στην ίδια σειρά προτίμησης σε παραπάνω από μία εντολές, τότε κατοχυρώνεται στη αναφορά με τον μεγαλύτερο βαθμό ομοφωνίας (Agreement Rate) και διαγράφεται από τις υπόλοιπες.

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι να έχει αντιστοιχηθεί μία μοναδική χειρονομία για την απεύθυνση σε κάθε συσκευή, και μία μοναδική χειρονομία για κάθε λειτουργία/αναφορά (η οποία μπορεί να είναι ίδια σε διαφορετικές συσκευές), σχηματίζοντας το τελικό «λεξιλόγιο χειρονομιών» του οικοσυστήματος.

⁴³ <https://depts.washington.edu/acelab/proj/dollar/agate.html>

7.1.2 Πρωτοτυποποίηση χειρονομιών

Για να δοκιμαστεί και να αξιολογηθεί το λεξιλόγιο χειρονομιών που παράχθηκε στο προηγούμενο στάδιο, είναι απαραίτητα να υλοποιηθεί ένα πρωτότυπο. Το πρωτότυπο αυτό θα πρέπει να είναι λειτουργικό τουλάχιστον ως προς την αναγνώριση των χειρονομιών του χρήστη (δίχως τη χρήση της τεχνικής του «μάγου του Όζ») και την ανταπόκρισή του σε αυτές με κάποιου είδους ανατροφοδότηση. Για την υλοποίησή του προτείνονται μια σειρά από βήματα που περιγράφονται παρακάτω.

7.1.2.1 Στάδιο δημιουργίας μηχανισμού αναγνώρισης χειρονομιών

Ο μηχανισμός αναγνώρισης χειρονομιών είναι απαραίτητος ώστε το σύστημα να αναγνωρίζει τις χειρονομίες του χρήστη και να ανταποκρίνεται σε αυτές. Μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορες τεχνολογίες και κάμερες, ωστόσο, η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί είναι σημαντικό να επιτρέπει τη γρήγορη πρωτοτυποποίηση καθώς, αφενός στο στάδιο αυτό το λεξιλόγιο χειρονομιών δεν είναι στην τελική του μορφή (το οποίο σημαίνει ότι μπορεί μετά την αξιολόγηση να γίνει αναθεώρηση και αλλαγή κάποιων χειρονομιών), αφετέρου σε ένα περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους, το πλήθος των χειρονομιών που πρέπει να υλοποιηθεί είναι μεγάλο και απαιτεί μια χρονοβόρα διαδικασία. Μια τεχνολογία που προτείνεται είναι η κάμερα βάθους Microsoft Kinect v2.0 μαζί με τα συνοδευτικά εργαλεία μηχανικής μάθησης χειρονομιών, Kinect Studio και Visual Gesture Builder. Για κάθε χειρονομία από το λεξιλόγιο χειρονομιών, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. **Καταγραφή χειρονομιών:** Η κάμερα MS Kinect και η εφαρμογή Microsoft Kinect Studio χρησιμοποιούνται για την καταγραφή πολλαπλών επαναλήψεων της κάθε χειρονομίας. Ιδανικά, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά άτομα για αυτό το σκοπό καθώς ο τρόπος που εκτελείται μια χειρονομία μπορεί να διαφέρει ανάλογα το άτομο και τον σωματότυπό του.
2. **Εκπαίδευση μηχανής αναγνώρισης:** Τα αρχεία, που παράγονται από το προηγούμενο βήμα εισάγονται για επεξεργασία στην εφαρμογή Visual Gesture Builder (VGB), όπου ορίζεται από τον ερευνητή το όνομα της χειρονομίας και η διάρκειά της (αρχή και τέλος της). Μετά από την επεξεργασία όλων των χειρονομιών προκύπτει ένα αρχείο που ουσιαστικά αποτελεί μια βάση δεδομένων με πληροφορίες που αφορούν τα σημεία των μελών (χεριών, σώματος κλπ.) του χρήστη και πώς αυτά πρέπει να κινούνται στο χώρο για να αναγνωριστεί κάθε χειρονομία.
3. **Δοκιμή της απόδοσης αναγνώρισης:** Η παραπάνω βάση δεδομένων, χρησιμοποιείται μέσα από την εφαρμογή Visual Gesture Builder για να δοκιμαστεί η απόδοση της αναγνώρισής της, αλλά και τυχών διενέξεις με άλλες χειρονομίες. Εάν κάποια χειρονομία απαιτεί παραπάνω εκπαίδευση, τότε τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται.

7.1.2.2 Στάδιο υλοποίησης δισδιάστατης εφαρμογής

Το βήμα αυτό περιλαμβάνει την υλοποίηση μιας εφαρμογής η οποία θα αναγνωρίζει τις χειρονομίες του χρήστη και θα παρουσιάζει την κατάλληλη ανάδραση σε μορφή ήχου, ή κινούμενων γραφικών. Οι συμβαλλόμενες για αυτό το σκοπό τεχνολογίες θα πρέπει να είναι συμβατές με τη βάση δεδομένων των χειρονομιών του προηγούμενου βήματος, αλλά και με τις τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση εφαρμογής χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας (του επόμενου βήματος). Μια πλατφόρμα που να καλύπτει αυτές τις προδιαγραφές είναι το περιβάλλον Unity σε συνδυασμό με τις γλώσσες προγραμματισμού C# ή C++, ενώ για να είναι συμβατή η εφαρμογή με το MS Kinect και να αναγνωρίζει τις χειρονομίες του χρήστη χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων χειρονομιών (από το προηγούμενο βήμα), θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το Kinect SDK καθώς

και το πρόσθετο (plugin) “Kinect v2 with MS-SDK”. Η εφαρμογή μπορεί να υλοποιηθεί σε δισδιάστατο περιβάλλον, ενώ ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να περιλαμβάνει είναι κάποιου είδους ένδειξης που θα ενημερώνει τον χρήστη τότε κάθε συσκευή είναι σε «κατάσταση αναμονής» και τότε σε «κατάσταση αναγνώρισης χειρονομιών».

7.1.2.3 Στάδιο υλοποίησης εφαρμογής χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας

Στην περίπτωση έρευνας που εξετάζει την ΕΑ με πολλαπλές συσκευές που είναι τοποθετημένες στον ίδιο φυσικό χώρο, ένα πρωτότυπο που χρησιμοποιεί τεχνολογίες χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας είναι πιο ρεαλιστικό για τον χρήστη, από ότι ένα πρωτότυπο που χρησιμοποιεί οθόνες για την προβολή περιεχομένου. Τα παρακάτω βήματα περιγράφουν εργαλεία και τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε η δισδιάστατη εφαρμογή που υλοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα (μέσω της πλατφόρμας Unity) να μετατραπεί σε εφαρμογής χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας:

1. **Κατασκευή ομοιωμάτων συσκευών (Mockups):** Ανάλογα με την πολυπλοκότητα και τις λεπτομέρειες που πρέπει να έχει η συσκευή μπορεί να κατασκευαστεί με διάφορα υλικά όπως, αφρολέξ, χαρτόνι, μακετόχαρτο, ή ακόμα και με τρισδιάστατη εκτύπωση.
2. **Οργάνωση του χώρου έρευνας:** Τα αντίγραφα των συσκευών, καθώς ο βιντεοπροβολέας που θα προβάλλει το περιεχόμενο της εφαρμογής πάνω τους, θα πρέπει να τοποθετηθούν στην τελική τους θέση μέσα στον εργαστηριακό χώρο σε μια διάταξη που να αποτελεί απομίμηση του περιβάλλοντος που χρησιμοποιείται στο σενάριο του πειράματος.
3. **Ρύθμιση χαρτογραφημένης προβολής:** Για να προβάλλεται το δισδιάστατο περιεχόμενο της εφαρμογής, πάνω στην φυσική επιφάνεια του αντίστοιχου αντιγράφου της κάθε συσκευής, μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική «χαρτογραφημένης προβολής περιεχομένου». Η χαρτογράφηση γίνεται μέσα στο χώρο που έχουν τοποθετηθεί τα αντίγραφα των συσκευών, με τη βοήθεια εξειδικευμένων εργαλείων. Το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί θα δέχεται το δισδιάστατο περιεχόμενο από την εφαρμογή που υλοποιήθηκε σε Unity, και θα το προβάλλει πάνω στις συσκευές μέσω ενός βιντεοπροβολέα. Για αυτό το λόγο, το εργαλείο χαρτογραφημένης προβολής και η δισδιάστατη εφαρμογή είναι απαραίτητα να είναι συμβατά μεταξύ τους. Στην περίπτωση των παραπάνω δύο μελετών περίπτωσης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο MadMapper μαζί με το πρόσθετο «Klaxprout plugin for Unity».

7.1.2.4 Στάδιο υλοποίησης βίντεο βοήθειας

Η χρήση βίντεο βοήθειας είναι σημαντική για τη διευκόλυνση των χρηστών να κατανοήσουν και να μάθουν πως εκτελείται κάθε χειρονομία, ιδίως όταν αυτές είναι σύνθετες. Αυτά θα πρέπει να παρουσιάζουν την κίνηση κάθε χειρονομίας (ιδανικά από διαφορετικές γωνίες θέασης), από κάποιο χρήστη ή κάποιο τρισδιάστατο χαρακτήρα. Μια εφαρμογή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό το σκοπό είναι η εφαρμογή Blender.

7.1.3 Αξιολόγηση πρωτοτύπου

Η εφαρμογή που υλοποιήθηκε προηγουμένως θα χρησιμοποιηθεί σε αυτό το στάδιο για να αξιολογηθεί το λεξιλόγιο χειρονομιών του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει, 1) προετοιμασία αξιολόγησης χειρονομιών, 2) διαδικασία αξιολόγησης, και 3) την ανάλυση των δεδομένων.

7.1.3.1 Στάδιο προετοιμασίας αξιολόγησης

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία αξιολόγησης με χρήστες, θα πρέπει να προηγηθεί κάποια προετοιμασία από τον ερευνητή. Αυτή περιλαμβάνει:

- **Σενάριο χρήσης:** Όσο ο αριθμός των συσκευών του πρωτοτύπου μεγαλώνει, τόσο πληθαίνουν και οι διαθέσιμες λειτουργίες που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας χρήστης. Για να αξιολογηθούν όλες οι λειτουργίες θα πρέπει να σχεδιαστεί ένα σενάριο χρήσης του οικοσυστήματος που θα καθοδηγεί τον χρήστη να εκτελέσει όλες τις λειτουργίες τουλάχιστον από μία φορά. Αυτό μπορεί να γίνει σε μορφή ενεργειών (που θα εκτελεί ο χρήστης) που θα ακολουθούν μια υποτιθέμενη λογική χρήση του οικοσυστήματος. Είναι σημαντικό, οι ενέργειες αυτές να επιλεγούν με τέτοια σειρά, ώστε να υπάρχουν τακτικές εναλλαγές μεταξύ των συσκευών. Επίσης, το σενάριο χρήσης πρέπει να είναι συναφές με το πεδίο εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκε κατά το στάδιο της εκμείευσης χειρονομιών.
- **Επιλογή χρηστών:** Για την αξιολόγηση του συστήματος, θα πρέπει να επιλεγούν χρήστες που θα έχουν ίδιο προφίλ με εκείνους που πήραν μέρος στην μελέτη εκμείευσης χειρονομιών. Προτείνεται να μην είναι τα ίδια άτομα για να μην έχουν επιρροές από προηγούμενη εμπειρία τους με το συγκεκριμένο σύστημα.
- **Προετοιμασία ερωτηματολογίων:** Θα πρέπει να προετοιμαστούν κάποια ερωτηματολόγια μέσω των οποίων θα αντληθούν ποιοτικά δεδομένα από τους χρήστες. Προτείνονται τα User Experience Questionnaire (UEQ), και System Usability Scale (SUS), τα οποία μπορούν να υλοποιηθούν σε Google Forms για ευκολότερη επεξεργασία των απαντήσεων.

7.1.3.2 Στάδιο αξιολόγησης χειρονομιών

Το στάδιο της αξιολόγησης αποτελεί μια διαδικασία που πραγματοποιείται μαζί με χρήστες ατομικά.

- **Στάδιο εκμάθησης χειρονομιών:** Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της αξιολόγησης των χειρονομιών, θα πρέπει να προηγηθεί μία φάση όπου οι χρήστες θα έχουν την ευκαιρία να πειραματιστούν και να εκπαιδευτούν όσο αφορά το τρόπο εφαρμογής κάθε χειρονομίας. Αυτό είναι σημαντικό καθώς, ανάλογα και με τον αριθμό των συσκευών, το πλήθος των χειρονομιών είναι μεγάλο για να απομνημονευτεί σε σύντομο χρονικό διάστημα και επιπλέον υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να αποτελείται από σύνθετες χειρονομίες. Στο στάδιο αυτό, ο ερευνητής ζητάει από τον χρήστη να εκτελέσει με τη σειρά τις εντολές του σεναρίου. Για κάθε εντολή, αρχικά παρουσιάζεται το βίντεο βοήθειας που προβάλλει ένα χαρακτήρα να εκτελεί την απαιτούμενη χειρονομία. Μόλις την κατανοήσει ο χρήστης, μπορεί να την εκτελέσει, και όταν αυτό γίνει με σωστό τρόπο (ενεργοποιείται η αντίστοιχη λειτουργία), ο ερευνητής προχωράει στην επόμενη εντολή του σεναρίου.
- **Στάδιο ανασκόπησης:** Μόλις ολοκληρωθεί η εκμάθηση των χειρονομιών, ακολουθεί το στάδιο της ανασκόπησης, το οποίο έχει δύο σκοπούς: α) να αξιολογηθεί η ικανότητα βραχυπρόθεσμης απομνημόνευσης των απαιτούμενων χειρονομιών (memorability) και β) να γίνει μια υπενθύμιση των χειρονομιών που δεν θυμάται ο χρήστης. Η διαδικασία είναι σύντομη και γίνεται με προφορικό τρόπο. Ο ερευνητής ζητάει από τον χρήστη να εκτελέσει την χειρονομία που απαιτείται για κάθε γενική εντολή. Αν η απάντηση είναι σωστή, συνεχίζεται η διαδικασία μέχρι να εξεταστούν όλες οι χειρονομίες. Αν κάποια απάντηση είναι λανθασμένη ή δεν μπορεί να τη θυμηθεί ο/η χρήστης, τότε ο ερευνητής το καταγράφει και έπειτα του/της τη θυμίζει.
- **Στάδιο δοκιμής:** Στο στάδιο αυτό γίνεται ουσιαστικά η αξιολόγηση των χειρονομιών. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με εκείνη του σταδίου

εκμάθησης, με τη διαφορά ότι δεν παρέχεται κάποιου είδους βοήθεια στον χρήστη. Ακολουθείται το ίδιο σενάριο, και όταν ο χρήστης δεν θυμάται κάποια χειρονομία, αυτό καταγράφεται και ο ερευνητής προχωράει στην επόμενη εντολή του σεναρίου. Επίσης, σε αυτό το στάδιο ο ερευνητής μπορεί να ορίσει ένα όριο αποτυχημένων προσπαθειών ή ένα χρονικό όριο μετά το οποίο η προσπάθεια θα θεωρείται ως «μη ολοκληρωμένη».

- **Στάδιο συμπλήρωσης ερωτηματολογίων:** Στο τέλος της αξιολόγησης ο χρήστης θα πρέπει να συμπληρώσει τα ερωτηματολόγια User Experience Questionnaire (UEQ) και System Usability Scale (SUS), από όπου θα προκύψουν κάποια ποιοτικά δεδομένα σχετικά με την εμπειρία του χρήστη και την ευχρηστία του συστήματος.

7.1.3.3 Στάδιο ανάλυσης δεδομένων αξιολόγησης

Το στάδιο ανάλυσης των δεδομένων ολοκληρώνεται από τον ερευνητή. Τα δεδομένα συλλέγονται έπειτα από ανασκόπηση των βίντεο των χρηστών (από όπου προκύπτουν τα ποσοτικά δεδομένα της αξιολόγησης), και από τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων (από όπου προκύπτουν ποιοτικά δεδομένα).

- Ποσοτικές μετρικές:
 - **Επιτυχία ολοκλήρωσης ενεργειών (Task success):** Για κάθε εντολή του σεναρίου θα πρέπει να καταγραφεί με δυαδικό τρόπο αν ο χρήστης την ολοκλήρωσε επιτυχώς ή όχι.
 - **Χρόνος ολοκλήρωσης ενέργειας (Task Time):** Για κάθε επιτυχημένη αλληλεπίδραση του χρήστη, θα πρέπει να χρονομετρείται ο χρόνος (σε sec) που χρειάστηκε. Αυτός αντιστοιχεί στο «χρόνος σκέψης» (χρόνος που απαιτείται από τον χρήστη για να θυμηθεί ποια χειρονομία πρέπει να χρησιμοποιήσει) και το «χρόνο εκτέλεσης» της χειρονομίας. Στις περιπτώσεις όπου μια ενέργεια ολοκληρώνεται με μια απλή χειρονομία, ο χρόνος σκέψης αποτελεί μια ένδειξη της νοητικής επιβάρυνσης του χρήστη που μπορεί να επηρεάζεται από την πολυπλοκότητα που έχει η χειρονομία, την ποιότητα του νοητικού μοντέλου κ.α. Όταν όμως, το μοντέλο περιλαμβάνει σύνθετες αλληλεπιδράσεις (όπως πολλαπλές ταυτόχρονες ή διαδοχικές χειρονομίες), τότε δεν μπορεί να υπολογιστεί πόσος χρόνος σκέψης απαιτήθηκε σε κάθε χειρονομία. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας ενέργειας υπολογίζεται μόνο από τον χρόνο εκτέλεσης της χειρονομίας (ο χρόνος σκέψης δεν προσμετράται). Γενικά, η ταχύτητα που ολοκληρώνεται μια αλληλεπίδραση έχει επίδραση στην αποτελεσματικότητα και στην εμπειρία του χρήστη. Συνεπώς οι λειτουργίες που απαιτούν περισσότερο χρόνο, θα πρέπει να εξεταστούν ξανά και να επανασχεδιαστούν (απλοποιηθούν ή να επιλεγεί μια άλλη χειρονομία από τις προτεινόμενες).
 - **Ψευδώς αρνητικά λάθη (false-negative errors):** Για κάθε εντολή του σεναρίου, θα πρέπει να καταγράφεται πόσες φορές το σύστημα δεν ανταποκρίθηκε, παρότι ο χρήστης εκτέλεσε τις χειρονομίες σωστά (σύμφωνα με την κρίση του ερευνητή). Έπειτα, σε ένα πίνακα αποτυπώνονται ο Μέσος Όρος των λαθών. Τα ψευδώς αρνητικά λάθη αποτελούν μια ένδειξη της αποτελεσματικότητας αναγνώρισης των χειρονομιών από το σύστημα. Συνεπώς, αν παρατηρηθεί ότι ο μέσος όρος λαθών είναι υψηλός σε κάποιες χειρονομίες, ενδεχομένως να απαιτείται περεταίρω εκπαίδευση της συγκεκριμένης χειρονομίας (με τα Kinect Studio και VGB).

- **Ψευδώς θετικά λάθη (false-positive errors):** Για κάθε αλληλεπίδραση θα πρέπει να σημειωθούν οι περιπτώσεις που το σύστημα ανταποκρίθηκε σωστά, παρότι ο χρήστης εκτελούσε λάθος τη χειρονομία (σύμφωνα με την κρίση του ερευνητή). Τα λάθη αυτά συγκεντρώνονται σε ένα πίνακα και υπολογίζεται ο Μέσος Όρος, ανά εντολή και συνολικά, καθώς και η τυπική απόκλιση. Τα ψευδώς θετικά λάθη αποτυπώνουν το φαινόμενο του «αγγίματος του Μίδα». Συνεπώς ο γενικός μέσος όρος των λαθών αποτελεί μια ένδειξη της αποτελεσματικότητας του μοντέλου αλληλεπίδρασης στο να περιορίσει το φαινόμενο της ακούσιας ενεργοποίησης λειτουργιών στο σύστημα.
- **Ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών (Memorability):** Η ικανότητα απομνημόνευσης χειρονομιών αποτελεί το ποσοστό των χειρονομιών που θυμόταν ο χρήστης σύμφωνα με τις απαντήσεις του κατά το στάδιο ανασκόπησης. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αυτό τόσο πιο εύκολα ανακαλούνται οι χειρονομίες του συστήματος, ευνοώντας την εμπειρία του χρήστη.
- **Ποιοτικές μετρικές (ερωτηματολόγια):**
 - **System Usability Scale (SUS):** Για την αξιολόγηση της ευχρηστίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ερωτηματολόγιο SUS. Αποτελείται από 10 ερωτήσεις με κλιμακωτές απαντήσεις από το 1 έως το 5. Μετά την επεξεργασία των απαντήσεων, προκύπτει ένα σκορ από 0 έως 100, το οποίο χαρακτηρίζεται «μη ικανοποιητικό» αν είναι κάτω από 60, «ικανοποιητικό» αν είναι μεταξύ 60 και 80, και «πολύ ικανοποιητικό» αν είναι πάνω από 80.
 - **User Experience Questionnaire (UEQ):** Για την αξιολόγηση της εμπειρίας του χρήστη μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ερωτηματολόγιο UEQ το οποίο αξιολογεί το σύστημα σε 6 άξονες: ελκυστικότητα, ευκρίνεια, αποτελεσματικότητα, αξιοπιστία, παρακινητικότητα, και καινοτομία. Αποτελείται από 26 ερωτήσεις με απαντήσεις που παίρνουν τιμές από 0 έως 7. Μετά την επεξεργασία των απαντήσεων η αξιολόγηση του συστήματος αποδίδεται σε μια κλίμακα από -3 έως +3, για κάθε άξονα, όπου σκορ από -3 έως -0.8 θεωρείται «εξαιρετικά κακό», από -0.8 έως +0.8 θεωρείται «ουδέτερο» και από 0.8 έως +3, «εξαιρετικά καλό».

7.1.4 Οδηγίες εφαρμογής μεθοδολογικού πλαισίου σχεδίασης ΕΑ

Το παραπάνω μεθοδολογικό πλαίσιο αποτελεί μία χρηστοκεντρική μέθοδο επαναληπτικού σχεδιασμού που βασίζεται σε μια κυκλική διαδικασία παραγωγής σετ χειρονομιών, δημιουργίας πρωτοτύπων, και αξιολόγησης τους με σκοπό την συνεχή βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη και της ευχρηστίας του συστήματος. Το μεθοδολογικό πλαίσιο προτείνεται κυρίως σε έρευνες που εξετάζουν την σχεδίαση της εναέριας αλληλεπίδρασης σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους, ενώ θα μπορούσε να προσαρμοστεί και σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης αλληλεπιδρά με ένα μόνο στόχο ή συσκευή.

Οποιοδήποτε σημείο της μεθοδολογίας, ανάλογα τα αποτελέσματα που παρουσιάζει, μπορεί να αποτελεί έξοδο από τη διαδικασία και επιστροφή σε προηγούμενο στάδιό της. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα σημεία όπου μη αποδεκτά αποτελέσματα αποτελούν ένδειξη για επιστροφή σε συγκεκριμένα προηγούμενα σημεία της μεθοδολογίας. Πιο συγκεκριμένα:

- Κατά το στάδιο της «ανάλυσης των προτεινόμενων χειρονομιών» (1Γ - Εικόνα 7.1), είναι πιθανό κάποιες αναφορές να παρουσιάσουν πολύ χαμηλό βαθμό ομοφωνίας. Εάν αυτό δεν είναι αποδεκτό, ο/η ερευνητής θα πρέπει είτε να επαναλάβει

τη μελέτη εικασιών με περισσότερους χρήστες (1B - Εικόνα 7.1), είτε να επαναπροσδιορίσει το μοντέλο αλληλεπίδρασης ή το πλαίσιο περιορισμών (1A - Εικόνα 7.1) και να επαναλάβει ξανά τη μελέτη εικασιών.

- Κατά το στάδιο της «εκπαίδευσης της μηχανής αναγνώρισης χειρονομιών» (2A2 - Εικόνα 7.1) και ειδικότερα κατά τη δοκιμή των χειρονομιών με την εφαρμογή Visual Gesture Builder, είναι πιθανόν:
 - α. κάποια χειρονομία να έχει χαμηλά ποσοστά αναγνώρισής από το σύστημα, γεγονός που έχει αρνητικό αντίκτυπο στα ψευδώς αρνητικά λάθη του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση ο/η ερευνητής θα πρέπει να επιστρέψει στο στάδιο «καταγραφής του σετ χειρονομιών» (2A1 - Εικόνα 7.1) και να καταγράψει περισσότερες επαναλήψεις της χειρονομίας, ενδεχομένως χρησιμοποιώντας και διαφορετικούς χρήστες, καθώς εκείνοι μπορεί να εκτελούν τη χειρονομία με μικρές παραλλαγές ή να έχουν διαφορετικό σωματότυπο, (το οποίο επηρεάζει την απόδοση της αναγνώρισης από το σύστημα).
 - β. η εκτέλεση μιας χειρονομίας να ενεργοποιεί δύο ή περισσότερες αναφορές, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ψευδώς θετικό λάθος (φαινόμενο αγγίγματος του Μίδα). Η περίπτωση αυτή είναι πιο σύνθετη. Αρχικά ο/η ερευνητής μπορεί να καταγράψει περισσότερες προσπάθειες εκτελώντας τις χειρονομίες στις οποίες υπάρχει διένεξη (2A1 - Εικόνα 7.1). Αν και πάλι το πρόβλημα εξακολουθεί να υφίσταται, τότε ίσως είναι απαραίτητο να αντικατασταθεί κάποια από τις χειρονομίες με μια εναλλακτική από εκείνες που προέκυψαν κατά το στάδιο της «ομαλοποίησης του λεξιλογίου χειρονομιών» (1Γ5 - Εικόνα 7.1)
- Στο στάδιο «ανάλυσης των δεδομένων αξιολόγησης» (3Γ - Εικόνα 7.1) εάν:
 - α. παρουσιάζονται αυξημένα ποσοστά σε ψευδώς αρνητικά λάθη (δηλαδή, το σύστημα δεν ανταποκρίνεται σε σωστά εκτελεσμένες χειρονομίες των χρηστών), τότε αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί βελτιώνοντας τον μηχανισμό αναγνώρισης χειρονομιών, μέσω επιπλέον εκπαίδευσης (ενδεχομένως, και συμμετοχή διαφορετικών χρηστών/εκπαιδευτών). (2A1 - Εικόνα 7.1).
 - β. παρουσιάζονται πολλά ψευδώς θετικά λάθη (φαινόμενο αγγίγματος του Μίδα), τότε θα πρέπει να βελτιωθούν ή και να αλλάξουν μόνο οι συγκεκριμένες χειρονομίες (2A1 - Εικόνα 7.1) ή εναλλακτικά, θα μπορούσε να αλλάξει και οι χειρονομίες «απεύθυνσης» των συσκευών που παρουσιάζουν τη διένεξη (1Γ5 - Εικόνα 7.1).
 - γ. ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας ενέργειας είναι μεγάλος (σε σχέση με τις υπόλοιπες χειρονομίες), αυτό μπορεί να βελτιωθεί απλοποιώντας ή και αντικαθιστώντας τη χειρονομία με μια συντομότερη η οποία θα επιλεγεί από το σύνολο χειρονομιών που πρότειναν οι χρήστες (1Γ5 - Εικόνα 7.1).

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω περιπτώσεις, το στάδιο της αξιολόγησης είναι εξίσου σημαντικό με εκείνο της εκμείωσης χειρονομιών και δεν πρέπει να παραληφθεί καθώς βοηθάει στην ανάδειξη προβλημάτων τα οποία δεν είναι εμφανή σε προηγούμενα στάδια. Κάποια από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έχουν διαγνωστικό χαρακτήρα, αναδεικνύοντας συγκεκριμένα προβλήματα των χειρονομιών και του συστήματος, όπως περιγράφονται παραπάνω. Άλλες μετρικές της αξιολόγησης δίνουν μια γενικότερη εικόνα της ευχρηστίας και της εμπειρίας του χρήστη, χωρίς να αναδεικνύουν συγκεκριμένα προβλήματα του συστήματος. Αυτές στηρίζονται κυρίως στα ποιοτικά δεδομένα που προκύπτουν από τα ερωτηματολόγια SUS και UEQ. Πιο συγκεκριμένα, το σκορ του ερωτηματολογίου SUS αποτυπώνει την ευχρηστία του συστήματος, όπως την

αντιλαμβάνονται οι συμμετέχοντες της αξιολόγησης, ενώ τα αποτελέσματα του UEQ αξιολογούν κυρίως την εμπειρία του χρήστη. Τα δεδομένα αυτά είναι σημαντικά, καθώς αποτελούν σημεία αναφοράς σε συγκριτικές έρευνες διαφορετικών μοντέλων αλληλεπίδρασης και σε χειρονομιών, είτε σε συγκρίσεις διαφορετικών εκδόσεων του ίδιου μοντέλου αλληλεπίδρασης ή συστήματος. Συνεπώς, τόσο τα ποιοτικά όσο και τα ποσοτικά δεδομένα της αξιολόγησης, βοηθούν στην περεταίρω διαμόρφωση και βελτίωση του λεξιλογίου χειρονομιών.

Τέλος, τα βήματα που προτείνονται στο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού EA, ανάλογα με την περίπτωση, έχουν διαφορετική βαρύτητα ή μπορεί ακόμη και να παραληφθούν. Για παράδειγμα, το κομμάτι της μετατροπής της εφαρμογής σε πρωτότυπο χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας θα μπορεί να παραληφθεί αν οι πολλαπλοί στόχοι και λειτουργίες περιλαμβάνονται σε μια συσκευή, όπως σε μια έξυπνη τηλεόραση που περιλαμβάνει διαφορετικές εφαρμογές (web browser, media player, audio player κ.α.). Σε αυτή την περίπτωση το πρωτότυπο μπορεί να προβάλλεται σε μια τηλεόραση ή σε απομακρυσμένη οθόνη χωρίς να απαιτείται η χαρτογραφημένη προβολή του πάνω σε αντίγραφα συσκευών.

7.2 Συμπεράσματα

7.2.1 Η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές είναι εφικτή και αρκετά ικανοποιητική όσο αφορά την ευχρηστία και την εμπειρία του χρήστη

Τα αποτελέσματα της εμπειρικής αξιολόγησης και των δύο μοντέλων αλληλεπίδρασης (AεE και AκE) αποδεικνύουν ότι η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους είναι εφικτή, ευχάριστη και αρκετά εύκολη στην εκμάθηση και εφαρμογή της. Το συμπέρασμα αυτό αποδεικνύεται από αρκετές πτυχές της αξιολόγησης: 1) υψηλά ποσοστά επιτυχούς ολοκλήρωσης ενεργειών, 2) σχετικά ικανοποιητικούς χρόνους, 3) λιγοστά λάθη, 4) υψηλή απομνημόνευση χειρονομιών και σχετικά εύκολη εκμάθηση του συστήματος, 5) ικανοποιητική ευχρηστία του συστήματος (υψηλές βαθμολογίες στο ερωτηματολόγιο SUS) και 6) ικανοποιητική εμπειρία του χρήστη (ερωτηματολόγιο UEQ).

Ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας εναέριας αλληλεπίδρασης με τα μοντέλα αλληλεπίδρασης AεE και AκE περιλαμβάνει: α) το χρόνο που χρειάζεται ο χρήστης για να ανακαλέσει στη μνήμη του τη χειρονομία, β) το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεσή της και γ) το χρόνο που χρειάζεται το σύστημα μέχρι να ανταποκριθεί. Σε αντίστοιχες καταστάσεις όπου η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω κάποιας συσκευής ελέγχου (π.χ. έξυπνο τηλέφωνο/ταμπλέτα ή τηλεκοντρόλ), το σύστημα ανταποκρίνεται σχεδόν αστραπιαία από τη στιγμή που ο χρήστης πατήσει το κατάλληλο πλήκτρο της συσκευής ελέγχου. Ωστόσο, σε αυτές τις περιπτώσεις, ο χρόνος αλληλεπίδρασης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει α) το χρόνο εντοπισμού της συσκευής ελέγχου και β) το χρόνο που απαιτείται για να την επιλογή κατάλληλων πλήκτρων (στην περίπτωση του τηλεκοντρόλ), ή για την περιήγηση στο γραφικό περιβάλλον και τη χρήση του κατάλληλου εργαλείου διεπαφής (στην περίπτωση του έξυπνου τηλεφώνου/ταμπλέτας). Υπό αυτή την έννοια, ο χρόνος αλληλεπίδρασης της EA (με μέσο όρο 5.2 sec για τα δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης), συγκρινόμενος με την αλληλεπίδραση μέσω συσκευών ελέγχου, θεωρείται αποδεκτός.

Γενικά, αναμένονταν η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές να κληρονομήσει προβλήματα της εναέριας αλληλεπίδρασης που έχουν αναδειχτεί από παλαιότερες έρευνες, όπως ζητήματα ευχρηστίας, απομνημόνευσης, ευρωστίας, καταλληλότητας χειρονομιών κ.α. Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα δεν ήταν έντονα στις παραπάνω μελέτες,

κάτι που ενισχύει το συμπέρασμα ότι η εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές είναι εφικτή και εύχρηστη.

7.2.2 Η εφαρμογή πλαισίου σε μελέτες εκμαίευσης χειρονομιών συμβάλει πολύ θετικά στον εντοπισμό κατάλληλων χειρονομιών

Συχνά η μέθοδος εκμαίευσης χειρονομιών παρουσιάζει προβλήματα χαμηλού βαθμού ομοφωνίας, ή μεροληψίας των χρηστών (Legacy bias) τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε επιλογές χειρονομιών που δεν είναι οι βέλτιστες δυνατές για το σκοπό και πλαίσιο χρήσης τους (Morris et al., 2014; Wu, Wang, et al., 2020). Η εφαρμογή «πλαισίου» αποτελεί μια τεχνική των μελετών εκμαίευσης χειρονομιών η οποία έχει αποδειχθεί ότι βοηθάει στην παραγωγή διαισθητικών και περιβαλλοντικά έγκυρων χειρονομιών με σχετικά αυξημένους βαθμούς ομοφωνίας (Cafaro et al., 2013, 2018). Για αυτό το λόγο, στις μελέτες περίπτωσης της διατριβής, εφαρμόστηκε ένα «πλαίσιο» με περιορισμούς όσο αφορά τον τρόπο (μοντέλο) αλληλεπίδρασης, και ένα σενάριο που περιλαμβάνει τη χρήση των συσκευών σε ένα υποθετικό μελλοντικό σπίτι.

Από ότι διαπιστώθηκε, το πλαίσιο βοήθησε τους χρήστες να μουν στο συγκεκριμένο ρόλο και να προτείνουν διαισθητικές χειρονομίες. Αυτό επιτεύχθηκε από τους περισσότερους συμμετέχοντες, όπως αποκαλύπτεται από τους υψηλούς βαθμούς συνέπειας. Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά τη διάρκεια της εκμαίευσης χειρονομιών ορισμένοι χρήστες, στη μέση περίπου της διαδικασίας, καταλάβαιναν ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν πιο κατάλληλες χειρονομίες και προχώρησαν στην αναθεώρηση των αρχικών τους προτάσεων. Αυτό αποτελεί μια ένδειξη ότι αφενός κατανόησαν πλήρως τη λογική του μοντέλου αλληλεπίδρασης, αφετέρου τους οδήγησε να σκεφτούν το οικοσύστημα πιο ολιστικά, προτείνοντας περιβαλλοντικά έγκυρες χειρονομίες που δεν θα έχουν διενέξεις μεταξύ τους ή θα μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται σε διαφορετικές συσκευές. Συνεπώς, όπως αναφέρεται και σε άλλες έρευνες (Cafaro et al., 2018; Malizia & Bellucci, 2012), η χρήση «πλαισίου» κατά την διαδικασία εκμαίευσης χειρονομιών προτείνεται καθώς δύναται να μεγιστοποιήσει την περιβαλλοντική εγκυρότητα και τη διαισθητικότητα των προτεινόμενων χειρονομιών.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διαδικασίας εκμαίευσης χειρονομιών που βοήθησε τους χρήστες να προτείνουν σχετικές και συνεπείς χειρονομίες, ήταν το γεγονός ότι οι διαφάνειες που απεικόνιζαν τις αναφερόμενες εντολές και συσκευές δεν περιείχαν στοιχεία διεπαφής χρήστη (χειριστήρια, κουμπιά κλπ.), το οποίο μπορεί σε διαφορετική περίπτωση να καθοδηγούσε τις προτάσεις των χρηστών.

7.2.3 Πρόταση ενός περιεκτικού λεξιλογίου χειρονομιών σε σχέση με αντίστοιχες έρευνες

Η ιδέα της εναέριας αλληλεπίδρασης με πολλαπλές συσκευές έχει εξεταστεί και σε άλλες έρευνες. Για παράδειγμα στην έρευνα των Choi et al. (E. Choi et al., 2012), εξετάστηκε η αλληλεπίδραση με εφτά συσκευές (κλιματιστικό, τηλεόραση, φώτα, περσίδες, κουρτίνες, πόρτα, παράθυρο) και ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία σχεδιασμού χειρονομιών που περιλάμβανε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, ολοκληρώθηκε μια έρευνα Guessability, από όπου προέκυψε ένα σύνολο χειρονομιών για κάθε εντολή του συστήματος, ενώ στο δεύτερο ακολουθήθηκε μια διαδικασία όπου οι χρήστες έπρεπε να επιλέξουν μια χειρονομία (με βάση την καταλληλότητα της) για κάθε εντολή, από ένα σύνολο καθορισμένων (από το προηγούμενο στάδιο) εντολών. Συγκρίνοντας τις χειρονομίες του δεύτερου σταδίου (οι οποίες παρουσίασαν υψηλότερο βαθμό ομοφωνίας), με τις χειρονομίες των μοντέλων AeE και AkE, φαίνεται ότι υπάρχουν μερικές μόνο ομοιότητες, όπως οι swipe

left/right για την αλλαγή τηλεοπτικών καναλιών, και swipe up/down για την αλλαγή της θερμοκρασίας στο κλιματιστικό. Επιπλέον, υπήρχαν αρκετές όμοιες χειρονομίες οι οποίες όμως, ενεργοποιούσαν διαφορετικές εντολές. Για παράδειγμα, η χειρονομία “point” αντιστοιχίστηκε για ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του κλιματιστικού, ενώ στην μελέτη μας, αυτή προτάθηκε ως χειρονομία απεύθυνσης των περσίδων. Μια πιθανή εξήγηση για αυτό είναι το γεγονός ότι η μελέτη των Choi et al. (E. Choi et al., 2012) βασίστηκε στην υπόθεση ότι “*όλα τα τεχνικά εμπόδια στην αναγνώριση χειρονομιών έχουν επιλυθεί πλήρως*”. Αντίθετα, η μελέτες περίπτωσης που αναλύθηκαν σε αυτή τη διατριβή προσεγγίζουν την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές πιο ολιστικά, ερευνώντας μοντέλα αλληλεπίδρασης τα οποία επιβάλουν κάποιους σχεδιαστικούς περιορισμούς για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της απεύθυνσης.

Στην έρευνα των Guesgen και Kessel (Guesgen & Kessel, 2012), παρουσιάστηκε ένα πρωτότυπο ελέγχου δύο οικιακών συσκευών (φώτα και ραδιόφωνο) με 10 χειρονομίες (6 για το ραδιόφωνο και 4 για τα φώτα) οι οποίες είχαν προταθεί από τους ερευνητές. Ως χειρονομία απεύθυνσης σε κάθε συσκευή χρησιμοποιήθηκε η χειρονομία κατάδειξης (point). Συγκρίνοντας τα ευρήματα εκείνης της έρευνας και της έρευνας που παρουσιάστηκε παραπάνω, φαίνεται ότι υπάρχει μικρή συμφωνία. Για παράδειγμα, αρκετές χειρονομίες ήταν κοινές, όπως “Swipe up/down/left/right”, όμως είχαν διαφορετική αντιστοίχιση σε λειτουργίες του συστήματος.

Συγκρίνοντας και άλλες αντίστοιχες έρευνες (Löcken et al., 2011; Nebelrath et al., 2011; Ng et al., 2011; R.-D. Vatavu, 2013) απορρέει το ίδιο συμπέρασμα: μεταξύ αντίστοιχων ερευνών, τα λεξιλόγια χειρονομιών μπορεί να περιέχουν αρκετές ίδιες χειρονομίες, όμως με διαφορετική αντιστοίχιση σε εντολές που ενεργοποιούν στο σύστημα/συσκευές. Υπάρχουν, πολλοί λόγοι για αυτό όπως, πολιτισμικές διαφορές μεταξύ των συμμετεχόντων, θέματα δειγματοληψίας χρηστών (δημογραφικά στοιχεία, προηγούμενη εμπειρία σε εναέρια αλληλεπίδραση κ.α.), διαφορετική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε κάθε έρευνα, και διαφορετικά μοντέλα αλληλεπίδρασης. Όσο αφορά τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, έχει αποδειχθεί ότι οι χειρονομίες που ορίζονται από τον χρήστη (συνήθως μέσω κάποιας εκμειωτικής μεθόδου) δεν είναι πάντα και οι πιο εύχρηστες, και για αυτό απαιτείται το στάδιο εμπειρικής αξιολόγησης το οποίο δύναται να επηρεάσει και να τροποποιήσει σημαντικά τις προτιμώμενες χειρονομίες του χρήστη (Koutsabasis & Domouzis, 2016). Η μεθοδολογία σχεδίασης που ακολουθήθηκε στην παραπάνω μελέτη περίπτωσης (σε αντίθεση με άλλες αντίστοιχες μελέτες) έγινε με επίκεντρο τον χρήστη και περιλαμβάνει τη σχεδίαση χειρονομιών, την υλοποίηση κάποιου λειτουργικού πρωτοτύπου και την εμπειρική αξιολόγηση της εμπειρίας του χρήστη και ευχρηστίας του συστήματος.

7.2.4 Εισαγωγή χειρονομίας απεύθυνσης για αποφυγή του φαινομένου «αγγίγματος του Μίδα»

Στην αλληλεπίδραση Ανθρώπου-Υπολογιστή, η απεύθυνση σε μια συσκευή πριν από την αλληλεπίδραση με αυτή, είναι αναγκαία για να αποτραπούν ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις (Dix et al., 2004). Στις παραπάνω έρευνες ακολουθήθηκε η προσέγγιση της «χειρονομίας απεύθυνσης», για τον έλεγχο διαφορετικών συσκευών με εναέρια αλληλεπίδραση. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί από τον χρήστη πρώτα (α) να απευθυνθεί σε μια συσκευή με μια συγκεκριμένη (μοναδική) χειρονομία για αυτήν τη συσκευή (β) να εκτελέσει χειρονομίες στον αέρα για να αλληλεπιδράσει με αυτήν. Ανάλογα με το μοντέλο αλληλεπίδρασης, οι δύο αυτές χειρονομίες εκτελούνται ταυτόχρονα ή διαδοχικά.

Η προσέγγιση αυτή, στην πραγματικότητα ελαχιστοποίησε το πρόβλημα της τυχαίας ενεργοποίησης εντολών σε διαφορετικές συσκευές (φαινόμενο “άγγιγμα του Μίδα”) και

κράτησε το επίπεδο των ψευδώς-θετικών λαθών σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Ωστόσο, αρκετές φορές στην περίπτωση του μοντέλου ΑεΕ, οι χρήστες ξεχνούσαν αυτή την επιπλέον χειρονομία και ξεκινούσαν να αλληλεπιδρούν πριν απευθυνθούν στην επιθυμητή συσκευή. Αυτό ήταν ένας λόγος για να αναζητηθούν εναλλακτικά μοντέλα αλληλεπίδρασης, όπως το μοντέλο ΑκΕ.

7.2.5 Η ΕΑ ως μοναδική διεπαφή χρήστη για την αλληλεπίδραση με πολλαπλές συσκευές

Ένας σχεδιαστικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σχεδίαση των χειρονομιών, είναι η χρήση ή όχι διεπαφής χρήστη. Η χρήση διεπαφής χρήστη στην εναέρια αλληλεπίδραση αποτελεί ένα ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ χρήστη και συσκευής/εφαρμογής το οποίο ουσιαστικά γεφυρώνει το νοητικό μοντέλο του χρήστη με τις λειτουργίες που παρέχει το σύστημα. Επιπλέον, η χρήση γραφικής διεπαφής χρήστη διευκολύνει το σχεδιαστή να καθοδηγήσει και να βοηθήσει τον/την χρήστη στην ολοκλήρωση της επιθυμητής λειτουργίας με ευκολότερο και αποδοτικότερο τρόπο, χρησιμοποιώντας γραφικά στοιχεία με υπονοούμενες λειτουργίες (affordance).

Βέβαια, η χρήση γραφικής διεπαφής χρήστη, περιλαμβάνει επιπλέον σχεδιαστικές προκλήσεις και κατά συνέπεια, περεταίρω έρευνα. Η σχεδίαση ή επιλογή των γραφικών στοιχείων από τους ερευνητές δεν είναι πάντα ιδανική και για τους χρήστες, όπως για παράδειγμα στην έρευνα (Gulben, 2019), όπου το γραφικό στοιχείο που επιλέχθηκε για την ένταση του ήχου ήταν μια κάθετη ράβδος κύλισης (slider), ενώ οι χρήστες δήλωσαν ότι προτιμούσαν (και πρότειναν χειρονομίες για) μια οριζόντια αντίστοιχη ράβδο. Ιδανικά, σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να προηγείται και κάποια επιπλέον χρηστοκεντρική έρευνα που θα οδηγήσει στην επιλογή των κατάλληλων γραφικών στοιχείων. Ακόμη όμως και στην περίπτωση που επιλεγθούν τα κατάλληλα γραφικά στοιχεία, η χρήση γραφικής διεπαφής σε περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους, θα πρέπει να αντιμετωπίσει και το πρόβλημα της παρουσίασης - προβολής της στο χώρο: υπάρχουν πολλές συσκευές τοποθετημένες σε διαφορετικά σημεία στο χώρο, σε διαφορετική απόσταση από τον χρήστη, και πολλές από αυτές δεν έχουν κάποια οθόνη για να προβάλουν τη γραφική διεπαφή ή η οθόνη δεν είναι αρκετά μεγάλη. Μια πιθανή λύση στο πρόβλημα αυτό, θα ήταν η προσέγγιση του R. D. Vatavu (R.-D. Vatavu, 2013) όπου στοιχεία της γραφικής διεπαφής προβάλλονταν στον τοίχο, πίσω και γύρω από την τηλεόραση με τη βοήθεια ενός προβολέα. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό στην περίπτωση όπου όλες οι συσκευές βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και μπροστά από επίπεδη επιφάνεια (π.χ. τοίχο). Όμως, στην περίπτωση ενός έξυπνου σπιτιού ή περιβάλλοντος γενικότερα, οι συσκευές μπορεί να βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση, διασκορπισμένες σε διάφορα σημεία μέσα στο χώρο, και όχι απαραίτητα μπροστά από κάποια επίπεδη επιφάνεια.

7.2.6 Ο αυξημένος βαθμός συνέπειας (Consistency Rate) αποτελεί ένδειξη της αναγκαιότητας για προσωποποιημένο λεξιλόγιο χειρονομιών

Στην μελέτη περίπτωσης που εξετάστηκε το μοντέλο ΑεΕ, παρουσιάστηκε η μετρική του βαθμού συνέπειας (consistency rate) η οποία για κάθε συμμετέχοντα, υπολογίζει το επίπεδο συμφωνίας των προτεινόμενων χειρονομιών για όμοιες εντολές σε διαφορετικές συσκευές. Γενικά, οι περισσότεροι συμμετέχοντες (15 από 18) παρουσίασαν πολύ υψηλό βαθμό συνέπειας. Οι συγκεκριμένοι διαμορφώσαν ένα νοητικό μοντέλο συνολικά για όλο το οικοσύστημα συσκευών, που τους επέτρεψε να προτείνουν ίδιες χειρονομίες για παρόμοιες εντολές. Παρατηρήθηκαν διάφορες τακτικές για τη διαμόρφωση του νοητικού μοντέλου: μερικοί συμμετέχοντες προσπάθησαν να μιμηθούν ένα άλλο οικοσύστημα,

όπως το οικοσύστημα εντός ενός οχήματος, το οποίο είχε κάποιες ομοιότητες (ο οδηγός είναι επίσης καθιστός και υπάρχουν αρκετές παρόμοιες συσκευές όπως, ηχεία, συσκευή αναπαραγωγής ήχου, κλιματιστικό, παράθυρα). Άλλοι προσπάθησαν να συνδέσουν το όνομα της αντίστοιχης εντολής με μια εμβληματική χειρονομία (π.χ., σχέδιο στον αέρα για ένα «S» για να σταματήσει “Stop”). Άλλοι έκαναν χειρονομίες που προέρχονται από την επικοινωνία ανθρώπου προς άνθρωπο, όπως η “Sshhh” ή η “Point ear”.

Ανεξάρτητα της τακτικής που ακολουθήθηκε, είναι γεγονός ότι οι περισσότεροι συμμετέχοντες ανέπτυξαν ένα προσωπικό νοητικό μοντέλο αλληλεπίδρασης που τους βοήθησε να ομαδοποιήσουν χειρονομίες μεταξύ συσκευών. Το γεγονός αυτό, αναδεικνύει ότι μελλοντικά οικοσυστήματα συσκευών με εναέρια αλληλεπίδραση θα πρέπει να επιτρέπουν στους χρήστες να ορίσουν τις χειρονομίες που επιθυμούν. Κάτι τέτοιο θα τους επέτρεπε να επανεξετάσουν το συγκεκριμένο σύνολο χειρονομιών και να το αλλάξουν ώστε να ταιριάζει με το δικό τους νοητικό μοντέλο και προτιμήσεις. Γενικά, η εξατομίκευση των χειρονομιών στην εναέρια αλληλεπίδραση θεωρείται ως μια σημαντική πρόκληση που μπορεί να αντιμετωπίσει τη διαφορετικότητα και το πολιτιστικό υπόβαθρο χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικές κοινότητες (Malizia & Bellucci, 2012). Έχουν αναπτυχθεί πολλά εργαλεία τα τελευταία χρόνια για την καταγραφή χειρονομιών (Fails & Olsen, n.d.; J.-W. Kim & Nam, 2013; Klemmer & Landay, 2009), ωστόσο μόνο μερικές μελέτες έχουν ενσωματώσει εκμείωση και εξατομίκευση χειρονομιών σε ένα πρωτότυπο όπως στην έρευνα των Wu et al. (Wu et al., 2016) για τηλεθέαση και Albertini et al. (Albertini et al., 2017), για τον χειρισμό αρχαιολογικών δεδομένων.

7.2.7 Τα μοντέλα αλληλεπίδρασης ΑκΕ και ΑεΕ προσφέρουν οικονομία κλίμακας όσο προστίθενται επιπλέον συσκευές στο σύστημα

Στο παραπάνω πείραμα, οι περισσότερες συσκευές μοιράζονται πολλές κοινές λειτουργίες που μπορεί να ενεργοποιήσει ο χρήστης. Αυτές οι λειτουργίες, έχουν την ίδια εννοιολογική σημασία και τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται πιο συχνά (π.χ. άνω-αύξηση, κάτω-μείωση, επόμενο-προηγούμενο, ενεργοποίηση-άνοιγμα, απενεργοποίηση-κλείσιμο). Μάλιστα, αυτές οι λειτουργίες μοιράζονται ίδια εικονίδια (affordance) σε αντίστοιχα τηλεχειριστήρια των συσκευών (ενεργοποίησης- απενεργοποίησης, επόμενο-προηγούμενο, παύσης, σίγασης κλπ.) ή ίδια γραφικά στοιχεία σε διεπαφές χρήστη (μπάρες που γεμίζουν όσο αυξάνεται η ένταση ή εκτυλίσσεται κάποιο βίντεο). Η ύπαρξη κοινών εντολών μεταξύ συσκευών διασφαλίζει ότι οι αντίστοιχες λειτουργίες είναι οικείες και κατανοητές από τους περισσότερους χρήστες, ανεξάρτητα από το επίπεδο της τεχνολογικής εμπειρίας ή την ηλικία τους.

Σε ένα περιβάλλον με πολλαπλές συσκευές που υποστηρίζουν εναέρια αλληλεπίδραση, η χρήση κοινών λειτουργιών και η αντιστοίχισή τους με διαισθητικές εντολές περιορίζει το μέγεθος του λεξιλογίου χειρονομιών καθώς οι ίδιες χειρονομίες επαναχρησιμοποιούνται για ίδιες ή εννοιολογικά παρόμοιες εντολές σε διαφορετικές συσκευές. Αυτό έχει θετική επίπτωση στο γνωστικό φορτίο του χρήστη και στην ικανότητα απομνημόνευσης των χειρονομιών του συστήματος, το οποίο μάλιστα φάνηκε και από τα αποτελέσματα των μελετών περίπτωσης της διατριβής.

Το σύνολο των χειρονομιών που πρέπει να θυμάται ένας χρήστης μπορεί να μετρηθεί με την εξίσωση (2) όπου G είναι το σύνολο χειρονομιών που περιέχει το λεξιλόγιο χειρονομιών, c είναι το σύνολο των μοναδικών χειρονομιών που χρησιμοποιούνται για ενεργοποίηση εντολών και a είναι το σύνολο των χειρονομιών απεύθυνσης όλων των συσκευών του συστήματος.

$$G = c + a \quad (2)$$

Επίσης ο συνολικός αριθμός 'T' των λειτουργιών που υποστηρίζει το σύστημα (με εναέρια αλληλεπίδραση) μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση (3).

$$T = c \times a \quad (3)$$

Για παράδειγμα, σε ένα υποθετικό σενάριο όπου το σύστημα περιλαμβάνει 5 συσκευές ($a=5$) οι οποίες μοιράζονται 15 κοινές χειρονομίες ($c=15$), το σύνολο όλων των μοναδικών χειρονομιών σύμφωνα με την εξίσωση (2), θα είναι $15 + 5 = 20$, ο συνδυασμός των οποίων μπορεί να ενεργοποιήσει $15 \times 5 = 75$ λειτουργίες του συστήματος. Έτσι για παράδειγμα στο μοντέλο ΑκΕ, ο χρήστης θα μπορεί συνδυάζοντας 5 πόζες με το ένα χέρι (μη κυρίαρχο) και 15 χειρονομίες με το άλλο χέρι (κυρίαρχο) και να ενεργοποιήσει 75 λειτουργίες του συστήματος. Το κέρδος 'P' σε χειρονομίες μπορεί να υπολογιστεί με τη συνάρτηση (4) και στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι $75 - 20 = 55$ χειρονομίες. Συνεπώς, το γεγονός ότι με μόνο 20 χειρονομίες ο χρήστης μπορεί να ολοκληρώσει 75 λειτουργίες, δείχνει την οικονομία κλίμακας που επιτυγχάνεται με το μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑκΕ, όσο αφορά τον συνολικό αριθμό των χειρονομιών που πρέπει να θυμάται (γνωστικό φορτίο).

$$P = T - G \quad (4)$$

Η οικονομία κλίμακας γνωστικού φορτίου είναι περισσότερο εμφανής, όσο προστίθενται επιπλέον συσκευές στο σύστημα. Έτσι, αν στο προηγούμενο παράδειγμα προστεθούν άλλες 2 συσκευές (οι οποίες και αυτές μοιράζονται τις 15 λειτουργίες), τότε σύμφωνα με τη συνάρτηση (2), ο συνολικός αριθμός των μοναδικών χειρονομιών θα είναι $15 + 7 = 22$, ενώ το σύνολο των λειτουργιών που θα μπορεί να χειριστεί θα είναι $15 \times 7 = 105$. Σε αυτή την περίπτωση το κέρδος είναι $105 - 22 = 83$ χειρονομίες (Πίνακας 7.1).

Πίνακας 7.1 – Παράδειγμα ωφελούμενων λειτουργιών στην περίπτωση προσθήκης 2 επιπλέον συσκευών στο σύστημα

Χειρονομίες Απεύθυνσης (a)	Χειρονομίες εντολών (c)	Σύνολο χειρονομιών (G)	Σύνολο λειτουργιών (T)	Κέρδος λειτουργιών
5	15	20	75	55
7	15	22	105	83

7.3 Συμβολή στην τρέχουσα επιστημονική στάθμη

7.3.1 Ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού ΕΑ με πολλαπλούς στόχους

Η συμβολή της διδακτορικής διατριβής εστιάζει σε θέματα μεθοδολογίας σχεδιασμού ΕΑ καθώς και σε προτεινόμενα μοντέλα αλληλεπίδρασης σε συστήματα με πολλαπλούς στόχους σε διάφορα στάδια της επαναληπτικής διαδικασίας ανάπτυξης.

7.3.2 Εκμείευση χειρονομιών

- Προτείνεται η εφαρμογή εκμειευτικών μεθόδων σύμφωνα με συγκεκριμένες αρχές (principles), και πλαίσιο περιορισμών (frame) της διαδικασίας, ώστε οι χειρονομίες που προτείνονται από τους χρήστες να είναι εστιασμένες στο πεδίο και πλαίσιο εφαρμογής.

- Εισάγεται η μετρική «Βαθμού Συνοχής Χρήστη» (User Consistency Rate) η οποία αποτυπώνει το βαθμό συμφωνίας των χειρονομιών που προτείνει για μια δεδομένη εντολή σε πολλές διαφορετικές συσκευές.

7.3.3 Πρωτοτυποποίηση

- Αξιοποίηση εργαλείων που επιτρέπουν τη γρήγορη παραγωγή χειρονομιών (VGB, Kinect Studio), με τη βοήθεια μηχανικής μάθησης και χρήση του αισθητήρα MS Kinect 2.0. Τα εργαλεία αυτά περιλαμβάνουν βιντεοσκόπηση χειρονομιών, εκπαίδευση της μηχανής αναγνώρισης και την παραγωγή μιας βάσης δεδομένων που περιέχει τις χειρονομίες που θα αναγνωρίζονται από το πρωτότυπο.
- Αξιοποίηση μηχανής παιχνιδιών (Unity) προκειμένου να υλοποιηθεί η ανάδραση κάθε χειρονομίας, για κάθε στόχο με τη βοήθεια γραφικών (στατικών και κινούμενων), και ήχου.
- Αξιοποίηση τεχνολογίας χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας (Spatial Augmented Reality) μέσω χαρτογραφημένης προβολής (Projection Mapping) όπου οι συσκευές και η ανάδραση του οικοσυστήματος προβάλλεται πάνω σε ψεύτικα ομοιώματα αντικειμένων (mockups) έτσι ώστε να προσομοιώνεται ένα αληθοφανές περιβάλλον πολλαπλών στόχων αλληλεπίδρασης ενός έξυπνου σπιτιού. Με τον τρόπο αυτό αφενός ο/η αξιολογητής νιώθει ότι βρίσκεται στο πραγματικό περιβάλλον χρήσης της εφαρμογής, αφετέρου επιτρέπεται στο σχεδιαστή να προσομοιώνει την ανάδραση των στόχων με ομοιώματα αυτών.
- Υλοποίηση πρωτοτύπου με το λιγότερο δυνατό τεχνολογικό εξοπλισμό: μία κάμερα βάθους που θα παρακολουθεί τις χειρονομίες του χρήστη, ένα υπολογιστή όπου θα γίνεται η επεξεργασία αναγνώρισης χειρονομιών και ανάδρασης των στόχων, και ένα βιντεοπροβολέα που θα προβάλλει την ανάδραση στο χώρο.

7.3.4 Εμπειρική αξιολόγηση

- Εμπειρική αξιολόγηση με συμμετοχή χρηστών και χρήση πλαισίου, αντίστοιχο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά το στάδιο της εμπειρικής έρευνας χειρονομιών. Το πλαίσιο χρησιμοποιεί σενάριο χρήσης των στόχων το οποίο πρέπει να ακολουθούν οι χρήστες.
- Διαδικασία με τρεις συνεδρίες (sessions). Η πρώτη «Συνεδρία Εκπαίδευσης» (Learning Session), χρησιμοποιείται προκειμένου να εκπαιδευτεί ο χρήστης στον να μάθει ποια χειρονομία απαιτείται για κάθε εντολή καθώς και πως να την εκτελεί σωστά. Ο χρήστης ακολουθεί το σενάριο χρήσης ενώ παρέχεται παράλληλα βοήθεια με μορφή κινούμενων σχεδίων ή από τον συντονιστή της έρευνας με λεκτικό τρόπο. Η δεύτερη «Συνεδρία Ανακεφαλαίωσης» (Recap session), πραγματοποιείται αμέσως μετά, όπου γίνεται μια ανακεφαλαίωση και ένας έλεγχος για να μετρηθεί κατά πόσο θυμούνται οι χρήστες όλες τις χειρονομίες του πρωτοτύπου καθώς και να υπενθυμίσει αυτές τις οποίες είχε ξεχάσει. Η τρίτη «Συνεδρία δοκιμής» (Testing session) χρησιμοποιεί το ίδιο σενάριο με την συνεδρία εκπαίδευσης, χωρίς όμως την παροχή κάποιας βοήθειας.
- Αξιοποίηση συνόλου μετρικών αξιολόγησης που αφορούν την ευχρηστία, την εμπειρία του χρήστη και την ευκολία ενθύμησης, καθώς και ερωτηματολόγια διαβάθμισης (benchmarking) των παραπάνω.

7.3.5 Δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης για ΕΑ με πολλαπλούς στόχους

- Στο πρώτο μοντέλο αλληλεπίδρασης, με όνομα «Απεύθυνση-έπειτα-Εντολή» (ΑεΕ), ο χρήστης πρέπει πρώτα να ασκήσει μια χειρονομία για να απευθυνθεί στην συσκευή και έπειτα να ασκήσει μια δεύτερη για να ενεργοποιήσει την εντολή. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα να σχεδιαστούν χειρονομίες που εφαρμόζονται με ένα ή και με δύο χέρια, δίνοντας την ελευθερία στο χρήστη να εκφραστεί πιο ελεύθερα και φυσικά. Για την προσέγγιση αυτή, έχει αξιοποιηθεί η προηγούμενη μεθοδολογία η οποία ανέδειξε θετικά αποτελέσματα σε θέματα ευχρηστίας και εμπειρίας τους χρήστη.
- Στο δεύτερο μοντέλο αλληλεπίδρασης, με όνομα «Απεύθυνση-και-Εντολή» (ΑκΕ), ο χρήστης θα πρέπει να εφαρμόσει και με τα δύο του χέρια ταυτόχρονα μια στάση με το αριστερό χέρι και μια χειρονομία (ή στάση) του με το δεξί χέρι. Το αριστερό χέρι χρησιμοποιείται για να απευθυνθεί στην επιθυμητή συσκευή ενώ το δεξί για να ενεργοποιήσει την εντολή σε αυτή. Η προηγούμενη μεθοδολογία αξιοποιήθηκε και για αυτό το μοντέλο αλληλεπίδρασης και σε σχέση με το μοντέλο ΑεΕ, ανέδειξε αντίστοιχα θετικά αποτελέσματα σε θέματα ευχρηστίας και εμπειρίας του χρήστη, με σημαντικότερη διαφορά το μέσο όρο του χρόνου αλληλεπίδρασης για κάθε εντολή όπου το ΑκΕ αποδείχτηκε αρκετά πιο γρήγορο.

7.4 Περιορισμοί

Οι μελέτες περίπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη διατριβή, ακολούθησαν μια πειραματική διαδικασία η οποία ολοκληρώθηκε σε εργαστηριακό περιβάλλον. Αυτό το βήμα, ως μέρος μιας επαναληπτικής διαδικασίας σχεδιασμού και πρωτοτυποποίησης, μπορεί να επαναληφθεί σε επόμενες μελέτες, σε ένα «ζωντανό εργαστήριο» (living lab) (Markopoulos & Rauterberg, 2000), ή εφαρμόζοντας μια μελέτη πεδίου σε μια πραγματική εγκατάσταση (πχ. σε ένα σπίτι με πραγματικές συσκευές). Ωστόσο, η έρευνα που έγινε στα πλαίσια της διατριβής, αποτελεί πρόοδο της τρέχουσας τεχνολογικής στάθμης, δεδομένου ότι προηγούμενες μελέτες στον τομέα της ΕΑ με πολλαπλούς στόχους δεν έχουν επικυρώσει τα αποτελέσματα μελετών εκμείυσης με κάποιο διαδραστικό πρωτότυπο.

Ο έλεγχος συσκευών μέσω εναέριων αλληλεπίδρασης αφορά όλους τους ανθρώπους. Στις μελέτες που ολοκληρώθηκαν στα πλαίσια της διατριβής πήραν μέρος συμμετέχοντες από το ακαδημαϊκό και ερευνητικό προσωπικό του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Λόγω του εθελοντικού χαρακτήρα των μελετών, παρατηρήθηκε ότι οι άνδρες ήταν περισσότεροι από τις γυναίκες, ενώ δεν υπήρχε και αριθμητική ισορροπία μεταξύ αριστερόχειρων και δεξιόχειρων χρηστών. Περαιτέρω μελέτες θα πρέπει να διευρύνουν τη δειγματοληψία των συμμετεχόντων καλύπτοντας διαφορετικές ηλικίες, άτομα με ειδικές ανάγκες, άτομα με διαφορετικές τεχνολογικές γνώσεις, κ.α.

Οι μελέτες που ολοκληρώθηκαν, δεν εξέτασαν άλλους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση των χρηστών, όπως για παράδειγμα την κόπωση. Είναι πιθανό ορισμένοι χρήστες να αισθάνονται κόπωση ιδίως με χειρονομίες του μοντέλου ΑκΕ, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται και τα δύο χέρια ταυτόχρονα.

Επίσης, δεν εξετάστηκαν διαφορετικές μορφές ανάδρασης (feedback) του συστήματος, όταν κάποια συσκευή ήταν σε «κατάσταση αναγνώρισης». Υπάρχουν διάφορες επιλογές ανάδρασης στην ΕΑ (Vosinakis & Koutsabasis, 2018), και η διερεύνηση τους θα είχε ενδιαφέρον σε ένα περιβάλλον με πολλαπλούς στόχους, όμως αυτό ήταν πέρα από τα πλαίσια της διατριβής. Ωστόσο, για να διευκολυνθούν οι χρήστες, επιλέχθηκε η χρήση

μιας πράσινης ένδειξης (λυχνίας) πάνω σε κάθε συσκευή, η οποία ενεργοποιούταν όταν η συσκευή ήταν σε «κατάσταση αναγνώρισης».

7.5 Μελλοντική έρευνα

7.5.1 Μοντέλο αλληλεπίδρασης ΑεΕ με χρήση μόνο του ενός χεριού

Το μοντέλο εναέριας αλληλεπίδρασης ΑκΕ αποδείχτηκε οριακά καλύτερο από το ΑεΕ, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της αξιολόγησής τους. Ωστόσο, στην περίπτωση που το ένα χέρι του χρήστη είναι δεσμευμένο, το μοντέλο ΑεΕ μπορεί να αποδειχθεί πιο λειτουργικό. Για παράδειγμα στο εσωτερικό ενός αυτοκινήτου, κατά την οδήγηση το ένα χέρι του οδηγού πρέπει να κρατάει το τιμόνι. Αντίστοιχα, στην περίπτωση του έξυπνου σπιτιού, ο χρήστης μπορεί να κρατάει κάποιο αντικείμενο στο ένα του χέρι, ή λόγω της στάσης που έχει (πχ. ξαπλωμένος) το ένα χέρι να μη μπορεί να κινηθεί ελεύθερα. Σε αυτές τις περιπτώσεις το μοντέλο ΑκΕ δεν μπορεί να εφαρμοστεί αφού απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση και των δύο χεριών του χρήστη. Αντίθετα, το μοντέλο ΑεΕ θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε αυτές τις περιπτώσεις αν προστεθεί ένας επιπλέον περιορισμός: όλες οι χειρονομίες να εκτελούνται με το ένα χέρι (ασχέτως αν είναι το αριστερό ή το δεξί). Η αποτελεσματικότητα και η ευχρηστία ενός τέτοιου μοντέλου αλληλεπίδρασης θα πρέπει να ερευνηθεί διεξοδικά χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που προτείνεται παραπάνω, για να συγκριθεί με τα μοντέλα ΑκΕ και ΑεΕ προκειμένου να φανεί ποιο είναι καταλληλότερο σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους.

7.5.2 Προσωποποιημένα σετ χειρονομιών

Η παρούσα διατριβή εξέτασε το σενάριο της εναέριας αλληλεπίδρασης σε χώρους με πολλαπλούς διαδραστικούς στόχους, όπως ένα έξυπνο σπίτι, και διερεύνησε δύο διαφορετικά μοντέλα εναέριας αλληλεπίδρασης τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν ένα σετ χειρονομιών, μέσω κάποιας εκμιαευτικής μεθόδου. Οι μελέτες εκμιαίευσης χειρονομιών έχουν στόχο την παραγωγή χειρονομιών που είναι εύχρηστες και διαισθητικές για την πλειοψηφία των χρηστών, όμως δεν εγγυώνται ότι αυτό θα ισχύει για όλους τους πιθανούς τελικούς χρήστες. Αν έπρεπε να βρεθεί ένα σετ χειρονομιών που να προτιμάται από όλους τους χρήστες, τότε θα πρέπει να διερευνηθεί η περίπτωση των εξατομικευμένων χειρονομιών. Η χρήση προσωποποιημένου σετ χειρονομιών είναι εφικτή, αν βρεθεί ένας τρόπος αναγνώρισης του ατόμου από το σύστημα. Η χρήση αναγνώρισης ομιλίας είναι μια λύση. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κάθε άτομο να χρησιμοποιεί πρώτα μια λέξη κλειδί που θα κάνει το σύστημα να καταλαβαίνει ποιο σετ χειρονομιών θα χρησιμοποιήσει, ή εναλλακτικά να γίνεται η αναγνώριση του ατόμου ανάλογα με τη χροιά της φωνής του. Μένοντας αποκλειστικά στα στενά πλαίσια της εναέριας αλληλεπίδρασης, μια αντίστοιχη λύση θα ήταν μέσω τεχνολογίας αναγνώρισης προσώπου.

Η χρήση προσωποποιημένων χειρονομιών (με αναγνώριση του χρήστη) είναι χρήσιμη σε περιβάλλοντα όπου ζουν πολλοί χρήστες με διαφορετικό προφίλ, όπως στην περίπτωση ενός έξυπνου σπιτιού όπου τα μέλη της οικογένειας που διαμένει σε αυτό είναι συγκεκριμένα και έχουν διαφορετικό προφίλ (πχ. ηλικία). Η υλοποίηση ενός συστήματος που θα υποστηρίζει προσωποποιημένες χειρονομίες, θα πρέπει να παρέχει μέσα ορισμού των επιθυμητών χειρονομιών (πχ. μέσω μηχανικής μάθησης), καθώς και τεχνολογίες αναγνώρισης προσώπου. Το γεγονός αυτό κάνει το σύστημα αρκετά πιο σύνθετο σε σχέση με ένα αντίστοιχο που θα έχει ένα μόνο προκαθορισμένο σετ χειρονομιών. Ωστόσο, έχει ερευνητικό ενδιαφέρον αν υπάρχει διαφορά στην ευχρηστία και εμπειρία του χρήστη μεταξύ ενός προσωποποιημένου σετ χειρονομιών και ενός προκαθορισμένου σετ που προέκυψε από μελέτη εκμιαίευσης χειρονομιών.

7.5.3 Χρήση έξυπνων γυαλιών

Οι μελέτες της διατριβής στηρίχθηκαν σε σενάρια ΕΑ με πολλαπλούς στόχους σε χώρους όπου η αναγνώριση χειρονομιών γίνεται μέσω εξειδικευμένης κάμερας που είναι τοποθετημένη μπροστά από τον χρήστη. Μια εναλλακτική υλοποίηση της αναγνώρισης των χειρονομιών θα ήταν μέσω έξυπνων γυαλιών τα οποία θα αναγνώριζαν τις χειρονομίες του χρήστη και ενδεχομένως να κατανοούν και το σημείο που ο χρήστης εστιάζει το βλέμμα του. Παρότι τα έξυπνα γυαλιά υπάγονται στην κατηγορία φορητής τεχνολογίας, έχει ερευνητικό ενδιαφέρον η σύγκριση προτεινόμενων σετ χειρονομιών με αυτά που παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή, καθώς και η διερεύνηση του προβλήματος της απεύθυνσης μέσω της αναγνώρισης του βλέμματος του χρήστη.

7.6 Προοπτικές και τάσεις στη μεθοδολογία σχεδίασης της ΕΑ με πολλαπλούς στόχους

Κάποιες πρόσφατες μελέτες έχουν επηρεαστεί και βασιστεί στην έρευνα της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Γενικά, διακρίνονται δύο βασικοί άξονες επιρροής σχετικά με: α) την εναέρια αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους και β) την μεθοδολογία που ακολουθείται για να έρευνα της ΕΑ.

Όσο αφορά την αλληλεπίδραση με πολλαπλούς στόχους, φαίνεται ότι το συγκεκριμένο πεδίο της ΕΑ είναι αναδυόμενο.

Για παράδειγμα η έρευνα των (Zhou et al., 2022) είχε στόχο να κατανοήσει διαφορετικές μορφές αλληλεπίδρασης σε ένα περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας με πολλαπλά τρισδιάστατα αντικείμενα, σε σχέση με την αλληλεπίδραση με ένα αντικείμενο. Στη συγκεκριμένη έρευνα εφαρμόστηκε μια μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών από όπου διαπιστώθηκε ότι οι συμμετέχοντες χρησιμοποίησαν την ίδια χειρονομία για τον ίδιο χειρισμό είτε αυτός γίνεται σε ένα αντικείμενο είτε σε δύο ταυτόχρονα.

Στην μελέτη τους, οι (Sluÿters et al., 2022) μελετάνε τον χειρισμό διαφορετικών πολυμέσων, όπως φωτογραφίες, βίντεο, έγγραφα, και χάρτες σε μεγάλες οθόνες μέσω ΕΑ. Αναγνωρίζοντας το πρόβλημα της απομνημόνευσης, εστιάζουν στην εύρεση χειρονομιών που επαναχρησιμοποιούνται για τον ίδιο χειρισμό διαφορετικών αντικειμένων πολυμέσων (αντίστοιχα με τον «βαθμό συνέπειας» που παρουσιάστηκε στην παρούσα διατριβή) προκειμένου να μειώσουν την καμπύλη μάθησης των χρηστών.

Στη μελέτη των (Ruser et al., 2020, 2021) ερευνάται η αλληλεπίδραση του χρήστη με πολλαπλές συσκευές σε ένα έξυπνο σπίτι. Παρότι για την απεύθυνση χρησιμοποίησαν τη δεικτική χειρονομία, όσο αφορά τις χειρονομίες εντολών, κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα, ότι για όμοιες λειτουργίες σε διαφορετικές συσκευές, οι χρήστες έχουν την τάση να χρησιμοποιούν την ίδια χειρονομία.

Όσο αφορά το μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδίασης της ΕΑ που προτείνεται στην παρούσα διατριβή, αρκετά στοιχεία της έχουν ακολουθηθεί από άλλες έρευνες, ενώ σε μερικές έρευνες έχει ακολουθηθεί η ίδια μεθοδολογία.

Για παράδειγμα, στη μελέτη των (R.-D. Vatavu & Wobbrock, 2022) αναφέρουν ότι οι χειρονομίες που προκύπτουν από την μελέτη εκμαίευσης χειρονομιών, θα πρέπει να υλοποιούνται σε κάποιο πρωτότυπο για να αναδυθούν προβλήματα που δεν θα φαινόταν διαφορετικά, γεγονός που μέχρι τώρα δεν συνηθιζόταν.

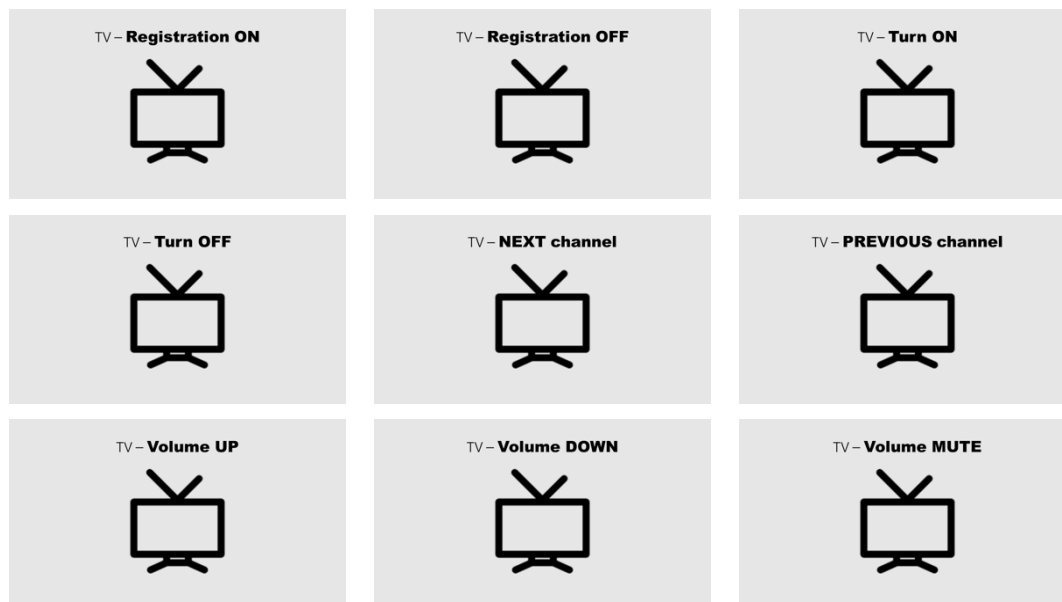
Η μελέτη των (Sluÿters et al., 2022) χρησιμοποίησε τη μελέτη εικασιών για να εξάγει ένα σετ χειρονομιών για το χειρισμό διαφορετικών πολυμέσων σε μεγάλες οθόνες. Επιπλέον επιχειρείται κάποια εξομάλυνση των χειρονομιών για μείωση του συνολικού αριθμού

χειρονομιών και αύξησης της συνέπειας όπως προτείνεται στην παρούσα διατριβή. Έπειτα το σετ αυτό αξιολογήθηκε σε κάποιο λειτουργικό πρωτότυπο, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα διατριβή.

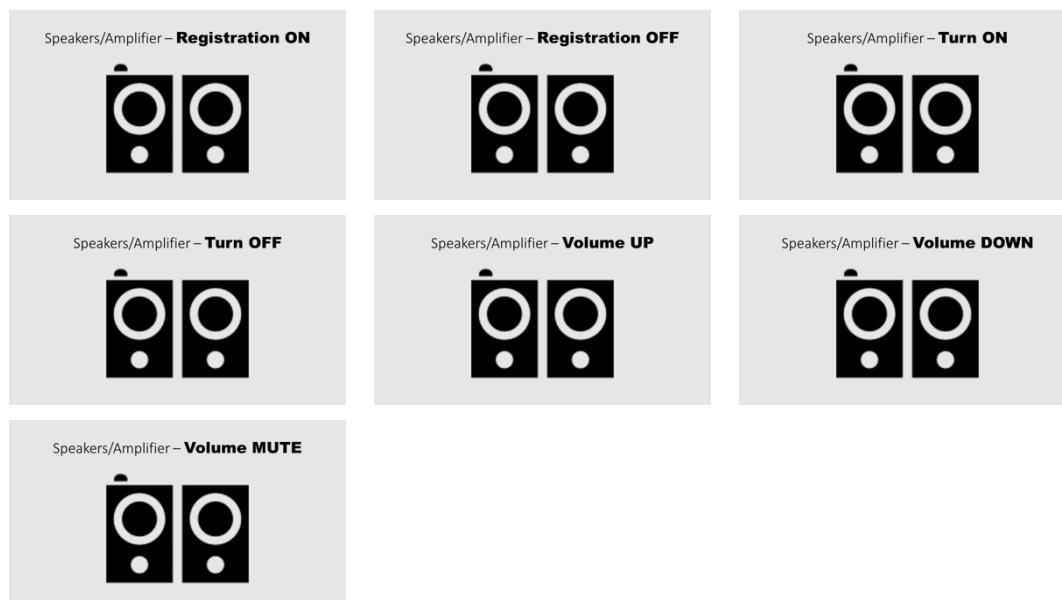
Παράρτημα Α':

Διαφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκμείευσης χειρονομιών με το μοντέλο αλληλεπίδρασης “Απεύθυνση-Έπειτα-Εντολή”

Τηλεόραση



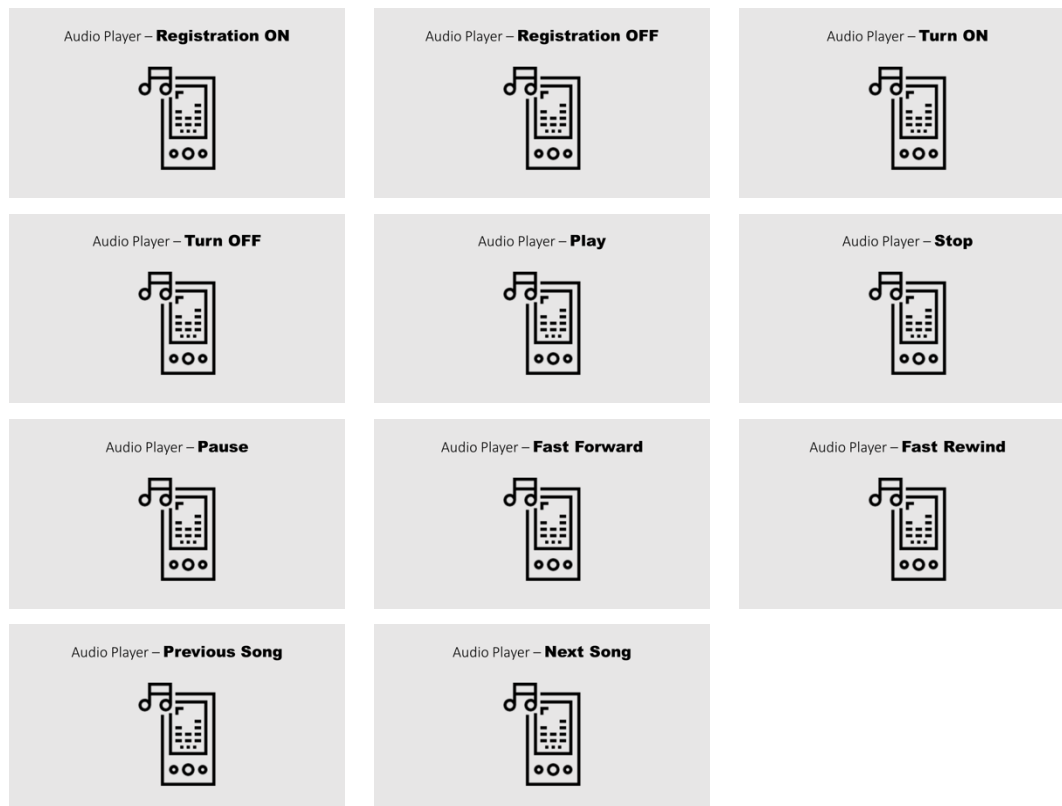
Ηχεία



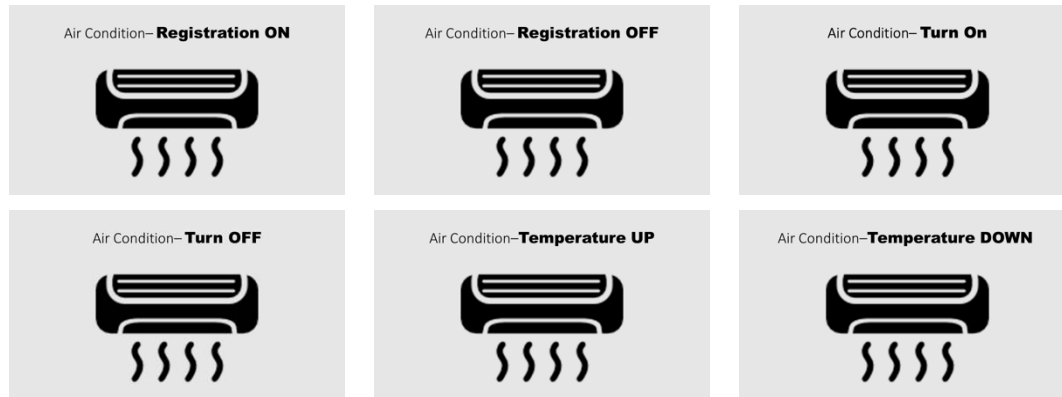
Συσκευή αναπαραγωγής βίντεο (Video/Media Player)



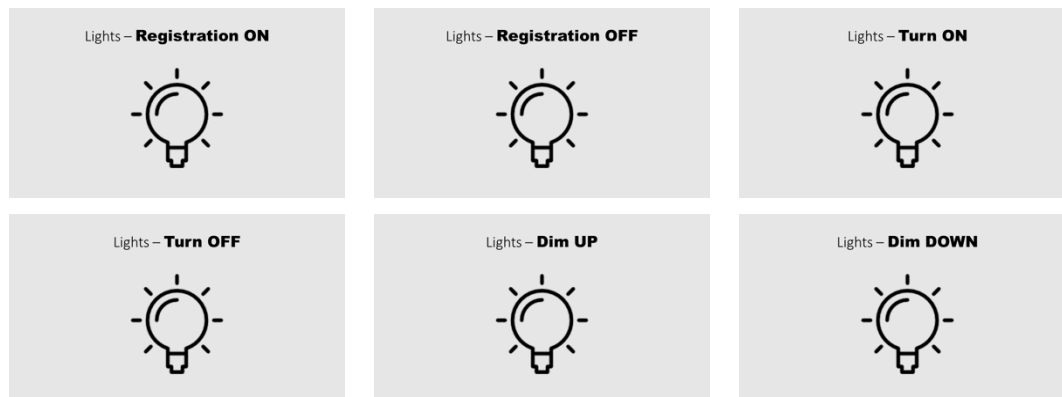
Συσκευής αναπαραγωγής ήχου (Audio Player)



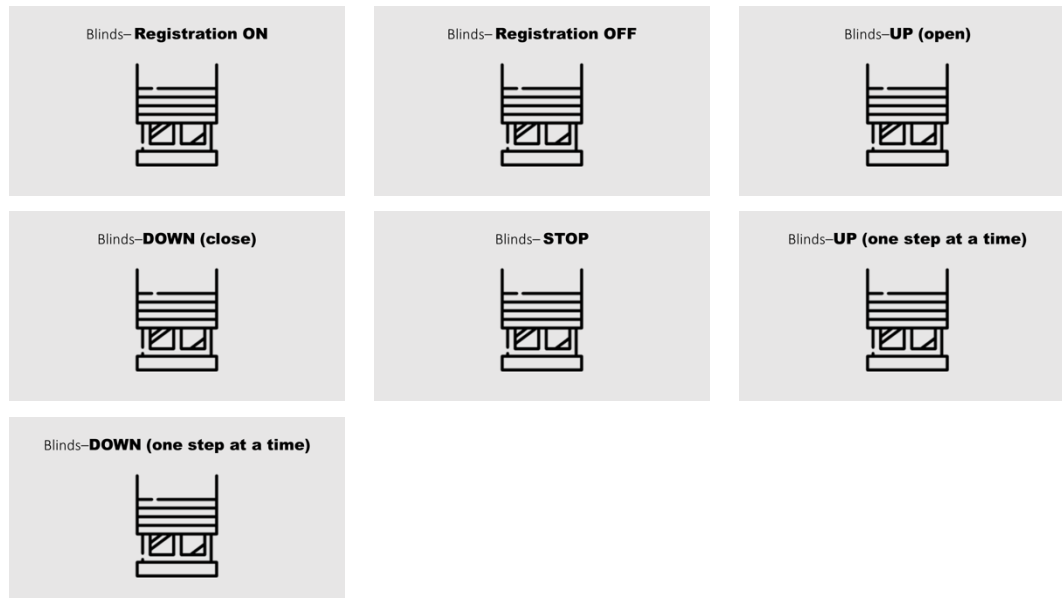
Κλιματιστικό



Φώτα



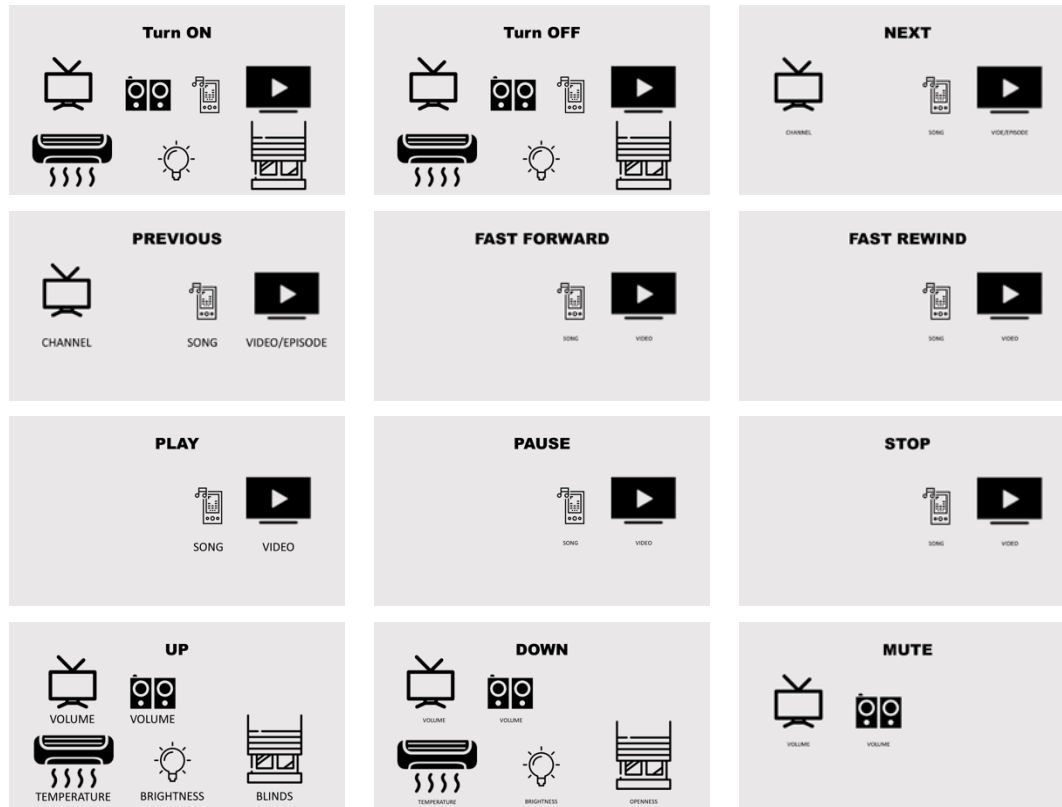
Στόρια



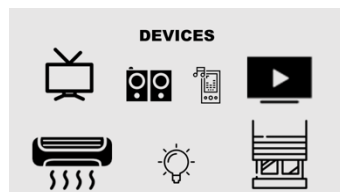
Παράρτημα Β΄:

Διαφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο εκπαίδευσης χειρονομιών με το μοντέλο αλληλεπίδρασης «Απεύθυνση-Και-Εντολή»

Διαφάνειες αναφερόμενες σε εντολές



Διαφάνεια αναφερόμενη στις συσκευές



Παράρτημα Γ’:

Σενάριο που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση και οι αντίστοιχες εντολές για κάθε μοντέλο αλληλεπίδρασης

	Συσκευή	Εντολή	ΑεΕ		ΑκΕ	
			Απεύθυνση	Εντολή	Απεύθυνση	Εντολή
1	Lights	Turn on the lights	Clap	Opening Fist	Point Up	Opening fist
2	Lights	Dim lighting down		Swipe down	Point Up	Swipe down
3	TV	Turn on the TV	Form a rectangle	Opening Fist	Point on eye	Opening fist
4	TV	Switch to next TV channel		Swipe right	Point on eye	Swipe right
5	TV	Mute volume of the TV		Shsss	Point on eye	Shsss
6	TV	Un-mute the TV		Shsss	Point on eye	Shsss
7	Blinds	Open the window blinds	Point (left hand)	Swipe up	Palm over eye	Swipe up
8	Blinds	Stop the blinds moving up		Split hands	Palm over eye	Palm push
9	TV	Switch to previous channel	Form rectangle	Swipe left	Point on eye	Swipe left
10	Lights	Dim lighting up	Clap	Swipe up	Point Up	Swipe up
11	TV	Turn TV volume down	Form a rectangle	Swipe down	Point on eye	Swipe down
12	TV	Turn TV volume up		Swipe up	Point on eye	Swipe up
13	TV	Turn off the TV		Closing Fist	Point on eye	Closing fist
14	Movie Player	Turn on movie player	Binoculars	Opening Fist	Binoculars	Opening fist
15	Movie Player	Play the movie		Point (right hand)	Binoculars	Point
16	Movie Player	Fast forward the movie		Roll CC	Binoculars	Point right
17	Movie Player	Pause the movie scene		Palm push	Binoculars	V sign
18	Movie Player	Play the movie		Point (left hand)	Binoculars	Point
19	Movie Player	Fast rewind movie		Roll CCW	Binoculars	Point left
20	Movie Player	Stop movie		Split hands	Binoculars	Palm push
21	Movie Player	Turn off movie player		Closing Fist	Binoculars	Closing fist
22	A/C*	Turn on A/C*	Holding arms	Opening Fist	Hand on shoulder	Opening fist
23	A/C*	Decrease temperature		Swipe down	Hand on shoulder	Swipe down
24	Speakers	Turn on speakers	Form a circle	Opening Fist	Palm on ear	Opening fist
25	Audio Player	Turn on audio player	Point ear	Opening Fist	Point on ear	Opening fist
26	Audio Player	Play the song		Point (right hand)	Point on ear	Point
27	Audio Player	Go to next song		Swipe right	Point on ear	Swipe right
28	Audio Player	Fast forward the song		Roll CC	Point on ear	Point right
29	Audio Player	Fast rewind the song		Roll CCW	Point on ear	Point left
30	Speakers	Mute speakers	Form a circle	Shsss	Palm on ear	Shsss
31	A/C*	Increase temperature	Holding arms	Swipe up	Hand on shoulder	Swipe up
32	A/C*	Turn off A/C*		Closing Fist	Hand on shoulder	Closing fist
33	Audio Player	Turn off audio player	Point ear	Closing Fist	Point on ear	Closing fist

Συσκευή	Εντολή	ΑεΕ		ΑκΕ	
		Απεύθυνση	Εντολή	Απεύθυνση	Εντολή
34 Speakers	Turn off speakers	Form a circle	Closing Fist	Palm on ear	Closing fist
35 Lights	Turn off lights	Clap	Closing Fist	Point Up	Closing fist
36 Blinds	Close window's blinds	Point (left hand)	Swipe down	Palm over eye	Swipe down

Παράρτημα Δ':
System Usability Scale (SUS) questionnaire

		1	2	3	4	5	
Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ το σύστημα συχνά.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Βρήκα το σύστημα πολύπλοκο χωρίς λόγο.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Νομίζω ότι το σύστημα είναι εύκολο στη χρήση.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Νομίζω ότι θα χρειαζόμουν τη βοήθεια τεχνικού προσωπικού για να χρησιμοποιήσω το σύστημα.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Βρήκα τις διάφορες λειτουργίες του συστήματος καλά συνδεδεμένες.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Νομίζω ότι υπάρχει μεγάλη ασυνέπεια εντός του συστήματος.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Φαντάζομαι ότι οι περισσότεροι άνθρωποι θα μάθουν να χρησιμοποιούν το σύστημα πολύ γρήγορα.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Βρήκα το σύστημα πολύ αδέξιο ως προς τη χρήση του.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Αισθάνθηκα πολύ σίγουρος/η καθώς χρησιμοποιούσα το σύστημα.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ
Χρειάζομαι να μάθω πολλά πράγματα πριν να τα καταφέρω με αυτό το σύστημα.	Δια-φωνώ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Συμ-φωνώ

Παράρτημα Ε': User Experience Questionnaire (UEQ)

Για την αξιολόγηση του συστήματος, παρακαλούμε συμπληρώστε το παρακάτω ερωτηματολόγιο. Οι κύκλοι μεταξύ των γνωρισμάτων αντιπροσωπεύουν διαβαθμίσεις μεταξύ των αντιθέτων. Μπορείτε να εκφράσετε τη συμφωνία σας με τα χαρακτηριστικά επιλέγοντας το κύκλο που αντανακλά καλύτερα τις εντυπώσεις σας.

Παρακαλείστε να αποφασίσει αυθόρμητα. Μην σκεφτείτε πολύ χρόνο για την απόφασή σας προκειμένου να μεταφέρετε την αρχική σας εντύπωση. Μερικές φορές μπορεί να μην είστε εντελώς σίγουροι για τη συμφωνία σας με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή μπορείτε να διαπιστώσετε ότι το χαρακτηριστικό δεν ισχύει απόλυτα για το συγκεκριμένο προϊόν. Παρ' όλα αυτά, παρακαλώ σημειώστε έναν κύκλο σε κάθε γραμμή.

Είναι η προσωπική σας άποψη που μετράει. Παρακαλώ θυμηθείτε: δεν υπάρχει σωστό ή λάθος απάντηση! Θα τηρηθεί αυστηρά η αρχή της εμπιστευτικότητας.

Ευχαριστούμε για τη συνεργασία.

Το σύστημα σας φάνηκε:

	1	2	3	4	5	6	7	
ενοχλητικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	απολαυστικό
δυσνόητο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	κατανοητό
δημιουργικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	αναποτελεσματικό
εύκολο στη μάθηση	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	δύσκολο στη μάθηση
πολύτιμο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	υποδεέστερο
βαρετό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	συναρπαστικό
αδιάφορο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ενδιαφέρον
απρόβλεπτο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	προβλέψιμο
γρήγορο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	αργό
εφευρετικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	συμβατικό
παρελκυστικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	υποστηρικτικό
καλό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	κακό
περίπλοκο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	εύκολο
αντιπαθητικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	συμπαθητικό
συνηθισμένο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	πρωτοπόρο
δυσάρεστο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ευχάριστο
ασφαλές	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ανασφαλές
ενθαρρυντικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	αποθαρρυντικό
ανταποκρίνεται στις προσδοκίες	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες
ανεπαρκές	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	επαρκές

σαφές	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	μπερδεμένο
μη πρακτικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	πρακτικό
οργανωμένο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ανοργάνωτο
ελκυστικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	απωθητικό
φιλικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	εχθρικό
συντηρητικό	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	καινοτόμο

Αναφορές

- Abowd, G. D., & Mynatt, E. D. (2000). Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(1), 29–58. <https://doi.org/10.1145/344949.344988>
- Ackad, C., Clayphan, A., Tomitsch, M., & Kay, J. (2015). An in-the-wild study of learning mid-air gestures to browse hierarchical information at a large interactive public display. *Proceedings of the 2015 ACM \ldots*, 1227–1238. <https://doi.org/10.1145/2750858.2807532>
- AGATe Tool*. (n.d.). Retrieved June 25, 2022, from <https://depts.washington.edu/acelab/proj/dollar/agate.html>
- Aigner, R., Wigdor, D., Benko, H., & Haller, M. (2012). Understanding mid-air hand gestures: A study of human preferences in usage of gesture types for hci. *TechReport MSR-TR*. <http://131.107.65.14/en-us/um/people/benko/publications/2012/Understanding%20Mid-Air%20Gestures%20-%20MSR-TR-2012-111.pdf>
- Akyol, S., Canzler, U., & Bengler, K. (n.d.). *Gesture Control for use in Automobiles*. 4.
- Albertini, N., Brogni, A., Olivito, R., Taccola, E., Caramiaux, B., & Gillies, M. (2017). Designing natural gesture interaction for archaeological data in immersive environments. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 12–21.
- Aldrich, F. K. (2003). Smart homes: Past, present and future. In *Inside the smart home* (pp. 17–39). Springer.
- Alexander, J., Han, T., Judd, W., Irani, P., & Subramanian, S. (2012). Putting your best foot forward: Investigating real-world mappings for foot-based gestures. *CHI*, 1229–1238. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208575>
- Arefin Shimon, S. S., Lutton, C., Xu, Z., Morrison-Smith, S., Boucher, C., & Ruiz, J. (2016). *Exploring Non-touchscreen Gestures for Smartwatches*. 3822–3833. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858385>
- Aslan, I., Buchwald, I., Koytek, P., & André, E. (2016). Pen + Mid-Air: An Exploration of Mid-Air Gestures to Complement Pen Input on Tablets. *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction - NordiCHI '16*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/2971485.2971511>
- Avellino, I., Fleury, C., & Beaudouin-Lafon, M. (2015). *Accuracy of Deictic Gestures to Support Telepresence on Wall-sized Displays*. 2393–2396.

<https://doi.org/10.1145/2702123.2702448>

- Bailly, G., Walter, R., Müller, J., Ning, T., & Lecolinet, E. (2011). Comparing Free Hand Menu Techniques for Distant Displays Using Linear, Marking and Finger-Count Menus. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011* (pp. 248–262). Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-23771-3_19
- Balakrishnan, R., & Hinckley, K. (2000). Symmetric bimanual interaction. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '00*, 33–40. <https://doi.org/10.1145/332040.332404>
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Bartoli, L., Corradi, C., Garzotto, F., & Valoriani, M. (2013). Exploring motion-based touchless games for autistic children's learning. *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children*, 102–111. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2485774>
- Bartoli, L., Garzotto, F., Gelsomini, M., Oliveto, L., & Valoriani, M. (2014). *Designing and evaluating touchless playful interaction for ASD children*. 17–26. <https://doi.org/10.1145/2593968.2593976>
- Bartoli, L., & Lassi, S. (2015). Experimental Study of Results Obtained from the Interaction with Softwares Motion-based Touchless Created for Habilitation-rehabilitation in users with Diagnosis of Autism Spectrum Disorders. *Procedia Manufacturing*, 3, 5176–5183. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.566>
- Baudel, T., & Beaudouin-Lafon, M. (1993). *CHARADE: Remote Control of Objects Using Free-Hand Gestures*. 36(7), 28–35. <https://doi.org/10.1145/159544.159562>
- Bellotti, V., Back, M., Edwards, W. K., Grinter, R. E., Henderson, A., & Lopes, C. (2002). Making sense of sensing systems: Five questions for designers and researchers. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 415–422. <https://doi.org/10.1145/503376.503450>
- Bernardos, A. M., Gómez, D., & Casar, J. R. (2016). A Comparison of Head Pose and Deictic Pointing Interaction Methods for Smart Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(4), 325–351. <https://doi.org/10.1080/10447318.2016.1142054>
- Bernhaupt, R., Obrist, M., Weiss, A., Beck, E., & Tscheligi, M. (2008). Trends in the living room and beyond. *Computers in Entertainment*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.1145/1350843.1350848>
- Blackler, A., Popovic, V., & Mahar, D. (2010). Investigating users' intuitive interaction with complex artefacts. *Applied Ergonomics*, 41(1), 72–92. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.04.010>
- Blackler, A., St, G., Popovic, V., St, G., & Mahar, D. (n.d.). *Intuitive Use of Products*. 16.
- Blake, J. (2011). *Natural User interfaces in .NET: WPF4, Surface 2, and Kinect*. Manning Publications Co. <https://www.manning.com/books/natural-user-interfaces-in-net-cx#:~:text=publishing%20this%20title-,Natural%20User%20Interfaces%20in%20.,that%20everyone%20needs%20to%20know.>
- BMW Gesture Control*. (n.d.). BMW of Peoria. Retrieved March 24, 2021, from <https://www.bmwofpeoria.com/manufacturer-information/bmw-gesture-control/>
- Bobeth, J., Schmehl, S., Kruijff, E., Deutsch, S., & Tscheligi, M. (2012). Evaluating

- performance and acceptance of older adults using freehand gestures for TV menu control. *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive Tv and Video*, 35–44. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2325625>
- Bohari, U., Chen, T.-J., & Vinayak. (2018). *To Draw or Not to Draw: Recognizing Stroke-Hover Intent in Non-instrumented Gesture-free Mid-Air Sketching*. 177–188. <https://doi.org/10.1145/3172944.3172985>
- Bolt, R. A. (1980). “*Put-that-there*”: *Voice and gesture at the graphics interface* (Vol. 14). ACM. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=807503>
- Bossavit, B., Marzo, A., & Ardaiz, O. (2014). Hierarchical Menu Selection with a Body-Centered Remote Interface. *Interacting with \dots*. <https://doi.org/10.1112/iwcomp/iwt043>
- Bossavit, B., Marzo, A., Ardaiz, O., & Pina, A. (2014). Hierarchical Menu Selection with a Body-Centered Remote Interface. *Interacting with Computers*, 26(5), 389–402. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwt043>
- Bostan, I., Buruk, O. T., Canat, M., Tezcan, M. O., Yurdakul, C., Göksun, T., & Özcan, O. (2017). *Hands as a Controller: User Preferences for Hand Specific On-Skin Gestures*. 1123–1134. <https://doi.org/10.1145/3064663.3064766>
- Brancati, N., Caggianese, G., Frucci, M., Gallo, L., & Neroni, P. (2016). Experiencing touchless interaction with augmented content on wearable head-mounted displays in cultural heritage applications. *Personal and Ubiquitous Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00779-016-0987-8>
- Brandt, J. (2008). Interactive Voice Response. *HCI beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*.
- Brignull, H., & Rogers, Y. (2003). Enticing People to Interact with Large Public Displays in Public Spaces. *INTERACT 2003*. <http://www.dblp.org/rec/bibtex/conf/interact/BrignullR03>
- British Standards Institution & International Organization for Standardization. (2010). *Ergonomics of human-system interaction. Part 210. Part 210*.
- Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. In *Usability Evaluation Industry* (p. 189). CRC Press.
- Brush, A. J. B., Lee, B., Mahajan, R., Agarwal, S., Saroiu, S., & Dixon, C. (2011). Home automation in the wild: Challenges and opportunities. *Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '11*, 2115. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979249>
- Buxton, B. (2008). The Long Nose of Innovation. *Insight 11*, 4.
- Buxton, B. (2010). *Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design*. Morgan Kaufmann. http://books.google.gr/books?id=2vfPx-ocmLh0C&printsec=frontcover&dq=intitle:Sketching+User+Experiences&hl=&cd=2&source=gbs_api
- Buxton, W. (1995). Chunking and phrasing and the design of Human-Computer dialogues. In *Readings in Human-Computer Interaction* (pp. 494–499). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051574-8.50051-0>
- Buxton, W., & Myers, B. (1986). *A study in two-handed input* (Vol. 17). ACM. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=22390&coll=portal&dl=ACM>
- Cafaro, F., Lyons, L., & Antle, A. N. (2018). Framed Guessability: Improving the Discoverability of Gestures and Body Movements for Full-Body Interaction. *Proceedings of the*

2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18, 1–12.
<https://doi.org/10.1145/3173574.3174167>

- Cafaro, F., Lyons, L., Kang, R., Radinsky, J., Roberts, J., & Vogt, K. (2013). Framed guessability: Using embodied allegories to increase user agreement on gesture sets. *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction - TEI '14*, 197–204. <https://doi.org/10.1145/2540930.2540944>
- Caon, M., Yue, Y., Tscherrig, J., Mugellini, E., & Abou, O. (2011). *Context-Aware 3D Gesture Interaction Based on Multiple Kinects*. 6.
- Caro, K., Tentori, M., Martinez-Garcia, A. I., & Zavala-Ibarra, I. (2015). FroggyBobby: An exergame to support children with motor problems practicing motor coordination exercises during therapeutic interventions. *Computers in Human Behavior*. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.05.055>
- Carter, M., Velloso, E., Downs, J., Sellen, A., O'Hara, K., & Vetere, F. (2016a). PathSync: Multi-User Gestural Interaction with Touchless Rhythmic Path Mimicry. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16*, 3415–3427. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858284>
- Carter, M., Velloso, E., Downs, J., Sellen, A., O'Hara, K., & Vetere, F. (2016b). *PathSync: Multi-User Gestural Interaction with Touchless Rhythmic Path Mimicry*. 3415–3427. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858284>
- Cassell, J. (2009). *A Framework for Gesture Generation and Interpretation*. Cambridge University Press. <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9780511569937A021>
- Cassell, J., Bickmore, T., Billinghurst, M., Campbell, L., Chang, K., Vilhjálmsson, H., & Yan, H. (1999). Embodiment in conversational interfaces: Rea. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 520–527. <https://doi.org/10.1145/302979.303150>
- Cauchard, J. R., E, J. L., Zhai, K. Y., & Landay, J. A. (2015). *Drone & me: An exploration into natural human-drone interaction*. 361–365. <https://doi.org/10.1145/2750858.2805823>
- CES 2010: NUI with Bill Buxton. (2010). <https://channel9.msdn.com/Blogs/LarryLarsen/CES-2010-NUI-with-Bill-Buxton>
- Chan, E., Seyed, T., Stuerzlinger, W., Yang, X.-D., & Maurer, F. (2016). *User Elicitation on Single-hand Microgestures*. 3403–3414. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858589>
- Chen, L.-C., Cheng, Y.-M., Chu, P.-Y., & Sandnes, F. E. (2017). Identifying the Usability Factors of Mid-Air Hand Gestures for 3D Virtual Model Manipulation. In M. Antona & C. Stephanidis (Eds.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Designing Novel Interactions* (Vol. 10278, pp. 393–402). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58703-5_29
- Chen, M., Mummert, L., Pillai, P., Hauptmann, A., & Sukthankar, R. (2010). Controlling your TV with gestures. *Proceedings of the International Conference on Multimedia Information Retrieval*, 405–408. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1743453>
- Chen, W. (2013). Gesture-Based Applications for Elderly People. In M. Kurosu (Ed.), *Human-Computer Interaction. Interaction Modalities and Techniques* (Vol. 8007, pp. 186–195). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39330-3_20
- Chen, Z., Ma, X., Peng, Z., Zhou, Y., Yao, M., Ma, Z., Wang, C., Gao, Z., & Shen, M. (2017). User-Defined Gestures for Gestural Interaction: Extending from Hands to Other Body Parts. *International Journal of Human-Computer Interaction*. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1342943>

- Cho, S., Baek, D., Baek, S.-Y., Lee, K., & Bang, H. (2014). 3D Volume Drawing on a Potter's Wheel. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 34(3), 50–58.
- Choi, E., Kwon, S., Lee, D., Lee, H., & Chung, M. K. (2012). Can User-Derived Gesture be Considered as the Best Gesture for a Command?: Focusing on the Commands for Smart Home System. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1253–1257. <https://doi.org/10.1177/1071181312561222>
- Choi, E., Kwon, S., Lee, D., Lee, H., & Chung, M. K. (2014). Towards successful user interaction with systems: Focusing on user-derived gestures for smart home systems. *Applied Ergonomics*, 45(4), 1196–1207. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.02.010>
- Choi, E.-J., Kwon, S.-H., Lee, D.-H., Lee, H.-J., & Chung, M.-K. (2012). Design of Hand Gestures for Smart Home Appliances based on a User Centered Approach. *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 38(3), 182–190. <https://doi.org/10.7232/JKIIE.2012.38.3.182>
- Choi, J. (2017). Range Sensors: Ultrasonic Sensors, Kinect, and LiDAR. In A. Goswami & P. Vadakkepat (Eds.), *Humanoid Robotics: A Reference* (pp. 1–19). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7194-9_108-1
- Cooper, A., & Cronin, R. R. D. (2007). *ABOUT FACE 3: THE ESSENTIALS OF INTERACTION DESIGN*. John Wiley & Sons. http://books.google.gr/books?id=TioLz3Ref34C&dq=intitle>About+Face+3&hl=&cd=2&source=gbs_api
- Coskun, A., Kaner, G., & Bostan, İ. (2018). *Is Smart Home a Necessity or a Fantasy for the Mainstream User? A Study on Users' Expectations of Smart Household Appliances*. 12(1), 14.
- Cui, J., Kuijper, A., Fellner, D. W., & Sourin, A. (2016). *Understanding People's Mental Models of Mid-Air Interaction for Virtual Assembly and Shape Modeling*. 139–146. <https://doi.org/10.1145/2915926.2919330>
- Cui, J., & Sourin, A. (2018). Mid-air interaction with optical tracking for 3D modeling. *Computers & Graphics*, 74, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.04.004>
- Deng, S., Jiang, N., Chang, J., Guo, S., & Zhang, J. J. (2017). Understanding the impact of multimodal interaction using gaze informed mid-air gesture control in 3D virtual objects manipulation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 105, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.04.002>
- Denning, P. J., & Metcalfe, R. M. (1998). *Beyond calculation: The next fifty years of computing*. Springer Science & Business Media.
- Dezfuli, N., Khalilbeigi, M., Huber, J., Müller, F., & Mühlhäuser, M. (2012). PalmRC: Imaginary palm-based remote control for eyes-free television interaction. *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive Tv and Video*, 27–34. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2325623>
- Di Geronimo, L., Bertarini, M., Badertscher, J., Husmann, M., & Norrie, M. C. (2017). *Exploiting mid-air gestures to share data among devices*. 1–11. <https://doi.org/10.1145/3098279.3098530>
- Dim, N. K., Silpasuwanchai, C., Sarcar, S., & Ren, X. (2016). *Designing Mid-Air TV Gestures for Blind People Using User- and Choice-Based Elicitation Approaches*. 204–214. <https://doi.org/10.1145/2901790.2901834>
- Dinh, D.-L., Kim, J. T., & Kim, T.-S. (2014). Hand Gesture Recognition and Interface via a Depth Imaging Sensor for Smart Home Appliances. *Energy Procedia*, 62, 576–582.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.419>

- Dipietro, L., Sabatini, A. M., & Dario, P. (2008). A Survey of Glove-Based Systems and Their Applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 38(4), 461–482. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2008.923862>
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., & Beale, R. (Eds.). (2004). *Human-computer interaction* (3rd ed). Pearson/Prentice-Hall.
- Dong, H., Danesh, A., Figueroa, N., & Saddik, A. E. (2015). An Elicitation Study on Gesture Preferences and Memorability Toward a Practical Hand-Gesture Vocabulary for Smart Televisions. *IEEE Access*, 3, 543–555. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2432679>
- Dourish, P. (2001). *Where the action is: The foundations of embodied interaction*. MIT Press.
- DreamSpace: Natural interaction*. (n.d.). Retrieved March 21, 2021, from <http://lucente.us/past/career/natural/dreamspace/index.html#news>
- Ebert, L. C., Hatch, G., Ampanozi, G., Thali, M. J., & Ross, S. (2012). You can't touch this touch-free navigation through radiological images. *Surgical Innovation*, 19(3), 301–307.
- Eggen, B., Hollemans, G., & van de Sluis, R. (2003). Exploring and enhancing the home experience. *Cognition, Technology & Work*, 5(1), 44–54. <https://doi.org/10.1007/s10111-002-0114-7>
- Elmezain, M., Al-Hamadi, A., Appenrodt, J., & Michaelis, B. (2008). A Hidden Markov Model-based continuous gesture recognition system for hand motion trajectory. *2008 19th International Conference on Pattern Recognition*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2008.4761080>
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87(3), 215.
- Fails, J. A., & Olsen, D. R. (n.d.). *A Design Tool for Camera-based Interaction*. 8.
- Fernandez-Cervantes, V., Neubauer, N., Hunter, B., Stroulia, E., & Liu, L. (2018). VirtualGym: A kinect-based system for seniors exercising at home. *Entertainment Computing*, 27, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2018.04.001>
- Fogtmann, M. H., Fritsch, J., & Kortbek, K. J. (2008). *Kinesthetic interaction: Revealing the bodily potential in interaction design*. 89. <https://doi.org/10.1145/1517744.1517770>
- Fonteyn, M. E., Kuipers, B., & Grobe, S. J. (1993). A Description of Think Aloud Method and Protocol Analysis. *Qualitative Health Research*, 3(4), 430–441. <https://doi.org/10.1177/104973239300300403>
- Françoise, J., Candau, Y., Fdili Alaoui, S., & Schiphorst, T. (2017). Designing for Kinesthetic Awareness: Revealing User Experiences through Second-Person Inquiry. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 5171–5183. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025714>
- Freeman, E., Brewster, S., & Lantz, V. (2016). *Do That, There: An Interaction Technique for Addressing In-Air Gesture Systems*. 2319–2331. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858308>
- Fröhlich, T., Muender, T., Wenig, D., Döring, T., & Malaka, R. (2018). *NUI Concept and Interaction Guideline for Previs Software (first.stage EU project)*.
- García-Peñalvo, F. J., & Moreno, L. (2019). Special issue on exploring new Natural User Experiences. *Universal Access in the Information Society*, 18(1), 1–2. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0578-0>

- Garzotto, F., Gelsomini, M., Oliveto, L., & Valoriani, M. (2014). *Motion-based touchless interaction for ASD children: A case study*. 117–120. <https://doi.org/10.1145/2598153.2598197>
- Garzotto, F., & Valoriani, M. (2012). Don't touch the oven: Motion-based touchless interaction with household appliances. *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, 721–724. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2254693>
- Gentile, V., Adjorlu, A., Serafin, S., Rocchesso, D., & Sorce, S. (2019). Touch or touchless?: Evaluating usability of interactive displays for persons with autistic spectrum disorders. *Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3321335.3324946>
- Gentile, V., Malizia, A., Sorce, S., & Gentile, A. (2015). Designing Touchless Gestural Interactions for Public Displays In-the-Wild. In M. Kurosu (Ed.), *Human-Computer Interaction: Interaction Technologies* (Vol. 9170, pp. 24–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20916-6_3
- Gerling, K., Livingston, I., Nacke, L., & Mandryk, R. (2012). Full-body motion-based game interaction for older adults. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1873–1882. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2208324>
- GestureTek*. (n.d.). The Inventors and Pioneers of the Video Gesture Control Revolution for Gesture Controlled Immersive Surfaces Signs, Displays and Games. Retrieved March 20, 2021, from <http://gesturetek.com/index.php>
- Gheran, B.-F., Vanderdonckt, J., & Vatavu, R.-D. (2018). Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. *Proceedings of the 2018 on Designing Interactive Systems Conference 2018 - DIS '18*, 623–635. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196741>
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. *Hilldale, USA*, 1(2), 67–82.
- Gillespie, K., Goldstein, G., Smith, D. S., Riccio, A., Kholodovsky, M., Merendino, C., Leskov, S., Arab, R., Elsherbini, H., Asanov, P., & Sturm, D. (2017). Connecting Through Kinect: Designing and Evaluating a Collaborative Game with and for Autistic Individuals. In A. Marcus & W. Wang (Eds.), *Design, User Experience, and Usability: Designing Pleasurable Experiences* (Vol. 10289, pp. 398–413). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58637-3_32
- Grabski, A., Toni, T., Zigrand, T., Weller, R., & Zachmann, G. (2016). Kinaptic-Techniques and insights for creating competitive accessible 3D games for sighted and visually impaired users. *Haptics Symposium (HAPTICS), 2016 IEEE*, 325–331. <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7463198/>
- Grandhi, S. A., Joue, G., & Mittelberg, I. (2011). Understanding naturalness and intuitiveness in gesture production: Insights for touchless gestural interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 821–824. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1979061>
- Green, P. (1985). *The Wizard of Oz: A tool for rapid development of user interfaces. Final report*. <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/174/71952.0001.001.pdf?sequence=2>
- Grudin, J. (1990). *The computer reaches out: The historical continuity of interface design*. 8.
- G-speak*. (n.d.). Retrieved March 22, 2021, from <https://www.oblong.com/g-speak#g-speak-second-section>
- Guesgen, H. W., & Kessell, D. (2012). *Gestural Control of Household Appliances for the*

- Gulben, S. E. (2019). Individual Mid-Air Gesture Sets Informed by Conceptual Metaphors: A Case Study on How Users Generate Mid-Air Gesture Sets to Control Video Streaming. In *DeSForM19 Proceedings*. <https://doi.org/10.21428/5395bc37.0014b292>
- Gupta, A., Pietrzak, T., Yau, C., Roussel, N., & Balakrishnan, R. (2017). *Summon and Select: Rapid Interaction with Interface Controls in Mid-air*. 52–61. <https://doi.org/10.1145/3132272.3134120>
- Guy, E., Punpongsanon, P., Iwai, D., Sato, K., & Boubekeur, T. (2015). LazyNav: 3D ground navigation with non-critical body parts. *3D User Interfaces (3DUI), 2015 IEEE Symposium On*, 43–50. <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7131725/>
- Guzsvinecz, T., Szucs, V., & Sik-Lanyi, C. (2019). Suitability of the Kinect Sensor and Leap Motion Controller—A Literature Review. *Sensors*, 19(5), 1072. <https://doi.org/10.3390/s19051072>
- Hansard, M., Lee, S., Choi, O., & Horaud, R. (2013). *Time-of-Flight Cameras: Principles, Methods and Applications*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4658-2>
- Hansberger, J. T., Peng, C., Mathis, S. L., Areyur Shanthakumar, V., Meacham, S. C., Cao, L., & Blakely, V. R. (2017). Dispelling the Gorilla Arm Syndrome: The Viability of Prolonged Gesture Interactions. In S. Lackey & J. Chen (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality* (Vol. 10280, pp. 505–520). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57987-0_41
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183. [https://doi.org/10.1016/s0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/s0166-4115(08)62386-9)
- Hasan, K., Ahlström, D., Kim, J., & Irani, P. (2017). AirPanes: Two-Handed Around-Device Interaction for Pane Switching on Smartphones. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 679–691. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026029>
- Havlucu, H., Ergin, M. Y., Bostan, İ., Buruk, O. T., Göksun, T., & Özcan, O. (2017). It Made More Sense: Comparison of User-Elicited On-skin Touch and Freehand Gesture Sets. In N. Streitz & P. Markopoulos (Eds.), *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions* (Vol. 10291, pp. 159–171). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58697-7_11
- Hayashi, E., Maas, M., & Hong, J. I. (2014). *Wave to me: User identification using body lengths and natural gestures*. 3453–3462. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557043>
- Heimonen, T., Hakulinen, J., Sharma, S., Turunen, M., Lehtikunnas, L., & Paunonen, H. (2016). Multimodal interaction in process control rooms: Are we there yet? *Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Pervasive Displays - PerDis '16*, 20–32. <https://doi.org/10.1145/2914920.2915024>
- Heimonen, T., Hakulinen, J., Turunen, M., Jokinen, J. P., Keskinen, T., & Raisamo, R. (2013). Designing Gesture-Based Control for Factory Automation. *INTERACT* (2), 202–209. https://www.researchgate.net/profile/Jaakko_Hakulinen/publication/257018994_Designing_Gesture-Based_Control_for_Factory_Automation/links/5677aabc08ae125516edb724.pdf
- Hettig, J., Saalfeld, P., Luz, M., Becker, M., Skalej, M., & Hansen, C. (2017). Comparison of gesture and conventional interaction techniques for interventional neuroradiology. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*.

<https://doi.org/10.1007/s11548-017-1523-7>

- Hewes, G. W., Andrew, R., Carini, L., Choe, H., Gardner, R. A., Kortlandt, A., Krantz, G. S., McBride, G., Nottebohm, F., & Pfeiffer, J. (1973). Primate communication and the gestural origin of language [and comments and reply]. *Current Anthropology*, *14*(1/2), 5–24.
- Hincapié-Ramos, J. D., Guo, X., & Moghadasian, P. (2014). Consumed Endurance: A metric to quantify arm fatigue of mid-air interactions. *Proceedings of the 32nd \ldots*. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557130>
- Hoff, L., Hornecker, E., & Bertel, S. (2016). *Modifying Gesture Elicitation: Do Kinaesthetic Priming and Increased Production Reduce Legacy Bias?* 86–91. <https://doi.org/10.1145/2839462.2839472>
- Hoffmann, F., Tyroller, M.-I., Wende, F., & Henze, N. (2019). User-defined interaction for smart homes: Voice, touch, or mid-air gestures? *Proceedings of the 18th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '19*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3365610.3365624>
- Hossain, M. S., Rahman, Md. A., & Muhammad, G. (2017). Cyber–physical cloud-oriented multi-sensory smart home framework for elderly people: An energy efficiency perspective. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, *103*, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2016.10.005>
- Hötcker, A. M., Pitton, M. B., Mildenerger, P., & Düber, C. (2013). Speech and motion control for interventional radiology: Requirements and feasibility. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, *8*(6), 997–1002. <https://doi.org/10.1007/s11548-013-0841-7>
- Howe, N., Leventon, M. E., & Freeman, W. T. (2000). *Bayesian Reconstruction of 3D Human Motion from Single-Camera Video*. 8.
- Hui, T. K. L., & Sherratt, R. S. (2017). Towards disappearing user interfaces for ubiquitous computing: Human enhancement from sixth sense to super senses. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *8*(3), 449–465. <https://doi.org/10.1007/s12652-016-0409-9>
- Hummels, C., & Stappers, P. J. (1998). Meaningful gestures for human computer interaction: Beyond hand postures. *Proceedings Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 591–596. <https://doi.org/10.1109/AFGR.1998.671012>
- Hura, S. L. (2008). Voice user interfaces. *HCI Beyond the GUI. Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann.
- ICOMOS. (2002, December). *Principles And Guidelines For Managing Tourism At Places Of Cultural And Heritage Significance*. ICOMOS International Cultural Tourism Charter. <http://www.whitr-ap.org/themes/69/userfiles/download/2013/2/28/vqev6ibfgtbbewh.pdf>
- Iwata, H. (2008). Taste interfaces. *HCI Beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*”, Edited by Kortum, P., Elsevier Inc., USA, 1.
- Jahani, H., Alyamani, H. J., Kavakli, M., Dey, A., & Billinghamurst, M. (2017). User Evaluation of Hand Gestures for Designing an Intelligent In-Vehicle Interface. In A. Maedche, J. vom Brocke, & A. Hevner (Eds.), *Designing the Digital Transformation* (Vol. 10243, pp. 104–121). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59144-5_7
- Jahani, H., & Kavakli, M. (2017). Exploring a user-defined gesture vocabulary for descriptive mid-air interactions. *Cognition, Technology & Work*. <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0444-0>

- Jones, B. (2012, November 15). What is projection mapping? *Projection Mapping Central*. <http://projection-mapping.org/what-is-projection-mapping/>
- Jones, B., Shapira, L., Sodhi, R., Murdock, M., Mehra, R., Benko, H., Wilson, A., Ofek, E., MacIntyre, B., & Raghuvanshi, N. (2014). RoomAlive: Magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units. *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '14*, 637–644. <https://doi.org/10.1145/2642918.2647383>
- Jude, A., Poor, G. M., & Guinness, D. (2014). An evaluation of touchless hand gestural interaction for pointing tasks with preferred and non-preferred hands. *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*, 668–676. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2641207>
- Jurewicz, K. A., Neyens, D. M., Catchpole, K., & Reeves, S. T. (2018). Developing a 3D Gestural Interface for Anesthesia-Related Human-Computer Interaction Tasks Using Both Experts and Novices. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 001872081878054. <https://doi.org/10.1177/0018720818780544>
- Kamel Boulos, M. N., Blanchard, B. J., Walker, C., Montero, J., Tripathy, A., & Gutierrez-Osuna, R. (2011). Web GIS in practice X: a Microsoft Kinect natural user interface for Google Earth navigation. *International Journal of Health Geographics*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-45>
- Kaptelinin, V. (2014). *Affordances and Design*. http://books.google.gr/books?id=0Z_-rQEACAAJ&dq=intitle:affordances+and+design&hl=&cd=16&source=gbs_api
- Karam, H., & Tanaka, J. (2014). Two-handed interactive menu: An application of asymmetric bimanual gestures and depth based selection techniques. *International Conference on Human Interface and the Management of Information*, 187–198. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07731-4_19
- Katsuragawa, K., Pietroszek, K., Wallace, J. R., & Lank, E. (2016). Watchpoint: Freehand Pointing with a Smartwatch in a Ubiquitous Display Environment. *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '16*, 128–135. <https://doi.org/10.1145/2909132.2909263>
- Kelley, J. F. (1983). An empirical methodology for writing user-friendly natural language computer applications. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 193–196. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=801609>
- Kellogg, B., Talla, V., & Gollakota, S. (n.d.). *Bringing Gesture Recognition To All Devices*. 15.
- Khan, S., & Tunçer, B. (2017). *An Analysis Of User Elicited Hand Gestures For 3D CAD Modeling*. 6.
- Kim, J.-W., & Nam, T.-J. (2013). EventHurdle: Supporting designers' exploratory interaction prototyping with gesture-based sensors. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '13*, 267. <https://doi.org/10.1145/2470654.2470691>
- Kim, K., Ren, X., Choi, S., & Tan, H. Z. (2016). Assisting people with visual impairments in aiming at a target on a large wall-mounted display. *International Journal of Human-Computer Studies*, 86, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.10.002>
- Kirmizibayrak, C., Radeva, N., Wakid, M., Philbeck, J., Sibert, J., & Hahn, J. (2011). Evaluation of gesture based interfaces for medical volume visualization tasks. *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, 69–74. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2087764>

- Klemmer, S., & Landay, J. (2009). Toolkit Support for Integrating Physical and Digital Interactions. *Human-Computer Interaction*, 24(3), 315–366. <https://doi.org/10.1080/07370020902990428>
- Kolb, A., Barth, E., Koch, R., & Larsen, R. (2010). Time-of-Flight Cameras in Computer Graphics. *Computer Graphics Forum*, 29(1), 141–159. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01583.x>
- Köpsel, A., & Bubalo, N. (2015). Benefiting from legacy bias. *Interactions*, 22(5), 44–47. <https://doi.org/10.1145/2803169>
- Köpsel, A., Majaranta, P., Isokoski, P., & Huckauf, A. (2016). Effects of auditory, haptic and visual feedback on performing gestures by gaze or by hand. *Behaviour & Information Technology*, 35(12), 1044–1062. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1194477>
- Kosmas, P., Ioannou, A., & Retalis, S. (2018). Moving Bodies to Moving Minds: A Study of the Use of Motion-Based Games in Special Education. *TechTrends*. <https://doi.org/10.1007/s11528-018-0294-5>
- Koutsabasis, P., & Domouzis, C. K. (2016). *Mid-Air Browsing and Selection in Image Collections*. 21–27. <https://doi.org/10.1145/2909132.2909248>
- Koutsabasis, P., & Vogiatzidakis, P. (2019a). Empirical Research in Mid-Air Interaction: A Systematic Review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1572352>
- Koutsabasis, P., & Vogiatzidakis, P. (2019b). Empirical Research in Mid-Air Interaction: A Systematic Review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1572352>
- Koutsabasis, P., & Vosinakis, S. (2017). Kinesthetic interactions in museums: Conveying cultural heritage by making use of ancient tools and (re-) constructing artworks. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0325-0>
- Krueger, M. W., Gionfriddo, T., & Hinrichsen, K. (1985). *VIDEOPLACE—an artificial reality*. 35–40.
- Kühnel, C., Westermann, T., Hemmert, F., Kratz, S., Müller, A., & Möller, S. (2011). I'm home: Defining and evaluating a gesture set for smart-home control. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(11), 693–704. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2011.04.005>
- Kulshreshth, A., & LaViola, J. J. (2014). *Exploring the usefulness of finger-based 3D gesture menu selection*. 1093–1102. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557122>
- Kurtenbach, G., & Hulteen, E. (1990). Gestures in human-computer communication. *The Art of Human Computer Interface Design*, 309.
- Lakoff, G. (2010). Why it Matters How We Frame the Environment. *Environmental Communication*, 4(1), 70–81. <https://doi.org/10.1080/17524030903529749>
- Laugwitz, B., & Held, T. (n.d.). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In *Proc. USAB 2008*, 63–76.
- Lavigne, V. (2010). *Trends in Human-Computer Interaction to Support Future Intelligence Analysis Capabilities*. 24.
- Lee, L., Javed, Y., Danilowicz, S., & Maher, M. L. (2014). Information at the wave of your hand. *Proceedings of HCI Korea*, 63–70. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2729496>
- Lee, L.-H., & Hui, P. (2018). Interaction Methods for Smart Glasses: A Survey. *IEEE Access*,

6, 28712–28732. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2831081>

- Lee, S.-S., Chae, J., Kim, H., Lim, Y., & Lee, K. (2013). *Towards more natural digital content manipulation via user freehand gestural interaction in a living room*. 617. <https://doi.org/10.1145/2493432.2493480>
- Leganchuk, A., Zhai, S., & Buxton, W. (1999). *Manual and Cognitive Benefits of Two- Handed Input: An Experimental Study*. 5(4), 34.
- Lewis, J. R. (2018). The system usability scale: Past, present, and future. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(7), 577–590.
- Ley, D. (2007). Becta: Ubiquitous computing. *Emerging Technologies for Learning*, 2.
- Lien, J., Gillian, N., Karagozler, M. E., Amihoud, P., Schwesig, C., Olson, E., Raja, H., & Poupyrev, I. (2016). Soli: Ubiquitous gesture sensing with millimeter wave radar. *ACM Transactions on Graphics*, 35(4), 1–19. <https://doi.org/10.1145/2897824.2925953>
- Liu, H., & Wang, L. (2018). Gesture recognition for human-robot collaboration: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 68, 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.02.004>
- Liu, M., Nancel, M., & Vogel, D. (2015). *Gunslinger: Subtle Arms-down Mid-air Interaction*. 63–71. <https://doi.org/10.1145/2807442.2807489>
- Löcken, A., Hesselmann, T., Pielot, M., Henze, N., & Boll, S. (2011). User-centred process for the definition of free-hand gestures applied to controlling music playback. *Multimedia Systems*, 18(1), 15–31. <https://doi.org/10.1007/s00530-011-0240-2>
- Lucente, M., Zwart, G.-J., & George, A. (1998). *Visualization Space: A Testbed for Deviceless Multimodal User Interface*. 6.
- Macaranas, A., Antle, A. N., & Riecke, B. E. (2015). What is Intuitive Interaction? Balancing Users' Performance and Satisfaction with Natural User Interfaces. *Interacting with Computers*, 27(3), 357–370. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwv003>
- MacDonald, C. M., & Atwood, M. E. (n.d.). *Changing perspectives on evaluation in HCI: past, present, and future*. 10.
- Mäkelä, V., Khamis, M., Mecke, L., James, J., Turunen, M., & Alt, F. (2018). *Pocket Transfers: Interaction Techniques for Transferring Content from Situated Displays to Mobile Devices*. 1–13. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173709>
- Malizia, A., & Bellucci, A. (2012). The artificiality of natural user interfaces. *Communications of the ACM*, 55(3), 36. <https://doi.org/10.1145/2093548.2093563>
- Markopoulos, P., & Rauterberg, G. W. M. (2000). *LivingLab: A white paper*.
- Markussen, A., Jakobsen, M. R., & Hornbæk, K. (2013). Selection-based mid-air text entry on large displays. *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, 401–418. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40483-2_28
- Markussen, A., Jakobsen, M. R., & Hornbæk, K. (2014). *Vulture: A mid-air word-gesture keyboard*. 1073–1082. <https://doi.org/10.1145/2556288.2556964>
- Matsumoto, Y., & Zelinsky, A. (2000). An algorithm for real-time stereo vision implementation of head pose and gaze direction measurement. *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (Cat. No. PR00580)*, 499–504. <https://doi.org/10.1109/AFGR.2000.840680>
- McNeill, D. (1992). *Hand and mind: What gestures reveal about thought*. University of Chicago press.

[http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=3ZZAfNum-LvwC&oi=fnd&pg=PA6&dq=%22I+will+mention+three+in+addition+to+our+own.+All+four+are%22+%22each+scheme+has+its+own+special+usefulness,+they+are%22+%22failures+\(see,+e.g.,+Butterworth+and+Beat-tie+1978%3B%22+&ots=0lh8NAvDaC&sig=WG-dnNJ-eGSc10_JI6E7Sg_00Qo](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=3ZZAfNum-LvwC&oi=fnd&pg=PA6&dq=%22I+will+mention+three+in+addition+to+our+own.+All+four+are%22+%22each+scheme+has+its+own+special+usefulness,+they+are%22+%22failures+(see,+e.g.,+Butterworth+and+Beat-tie+1978%3B%22+&ots=0lh8NAvDaC&sig=WG-dnNJ-eGSc10_JI6E7Sg_00Qo)

- McNeill, D. (2012). *How Language Began: Gesture and Speech in Human Evolution*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139108669>
- Mendes, D., Caputo, F. M., Giachetti, A., Ferreira, A., & Jorge, J. (2019). A Survey on 3D Virtual Object Manipulation: From the Desktop to Immersive Virtual Environments. *Computer Graphics Forum*, 38(1), 21–45. <https://doi.org/10.1111/cgf.13390>
- Meng Ma, Fallavollita, P., Habert, S., Weidert, S., & Navab, N. (2016). Device- and system-independent personal touchless user interface for operating rooms: One personal UI to control all displays in an operating room. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 11(6), 853–861. <https://doi.org/10.1007/s11548-016-1375-6>
- Mewes, A., Hensen, B., Wacker, F., & Hansen, C. (2017). Touchless interaction with software in interventional radiology and surgery: A systematic literature review. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 12(2), 291–305. <https://doi.org/10.1007/s11548-016-1480-6>
- Mewes, A., Saalfeld, P., Riabikin, O., Skalej, M., & Hansen, C. (2016). A gesture-controlled projection display for CT-guided interventions. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 11(1), 157–164. <https://doi.org/10.1007/s11548-015-1215-0>
- Microsoft. (2014). *Kinect Human Interface Guidelines v2*. <http://download.microsoft.com/download/6/7/6/6766611B4-1982-47A4-A42E-4CF84E1095A8/KinectHIG.2.0.pdf>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Minority Report (film). (2021). In *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Minority_Report_\(film\)&oldid=1013837212](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Minority_Report_(film)&oldid=1013837212)
- Mistry, P., & Maes, P. (2009a). *Meet the SixthSense interaction*. https://www.ted.com/talks/pattie_maes_pranav_mistry_meet_the_sixthsense_interaction
- Mistry, P., & Maes, P. (2009b). SixthSense: A wearable gestural interface. *ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches*, 11. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1667160>
- Mitra, S., & Acharya, T. (2007). Gesture Recognition: A Survey. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(3), 311–324. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.893280>
- Molchanov, P., Gupta, S., Kim, K., & Pulli, K. (2015). Short-range FMCW monopulse radar for hand-gesture sensing. *2015 IEEE Radar Conference (RadarCon)*, 1491–1496. <https://doi.org/10.1109/RADAR.2015.7131232>
- Morris, M. R. (2012). *Web on the wall: Insights from a multimodal interaction elicitation study*. <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2396636.2396651>
- Morris, M. R., Danielescu, A., Drucker, S., Fisher, D., Lee, B., schraefel, c, & Wobbrock, J. O. (2014). Reducing legacy bias in gesture elicitation studies. *Interactions*, 21(3), 40–45. <https://doi.org/10.1145/2591689>

- Morris, M. R., Wobbrock, J. O., & Wilson, A. D. (2010). Understanding users' preferences for surface gestures. *Graphics Interface*, 261–268.
- Morrison, C., Huckvale, K., Corish, B., Dorn, J., Kontschieder, P., O'Hara, K., Team, A. M., Criminisi, A., & Sellen, A. (2016). Assessing Multiple Sclerosis With Kinect: Designing Computer Vision Systems for Real-World Use. *Human-Computer Interaction*, 31(3–4), 191–226. <https://doi.org/10.1080/07370024.2015.1093421>
- Moser, C., & Tscheligi, M. (2015). *Physics-based gaming: Exploring touch vs. mid-air gesture input*. 291–294. <https://doi.org/10.1145/2771839.2771899>
- Nacenta, M. A., Kamber, Y., Qiang, Y., & Kristensson, P. O. (2013). Memorability of pre-designed and user-defined gesture sets. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1099–1108. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2466142>
- Nancel, M., Wagner, J., Pietriga, E., Chapuis, O., & Mackay, W. E. (2011). Mid-air pan-and-zoom on wall-sized displays. *CHI*, 177–186. <https://doi.org/10.1145/1978942.1978969>
- Nebeling, M., Huber, A., Ott, D., & Norrie, M. C. (2014). *Web on the Wall Reloaded: Implementation, Replication and Refinement of User-Defined Interaction Sets*. 15–24. <https://doi.org/10.1145/2669485.2669497>
- Neßelrath, R., Lu, C., Schulz, C. H., Frey, J., & Alexandersson, J. (2011). A Gesture Based System for Context – Sensitive Interaction with Smart Homes. In R. Wichert & B. Eberhardt (Eds.), *Ambient Assisted Living* (pp. 209–219). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18167-2_15
- Ng, W. L., Ng, C. K., Noordn, N. K., & Ali, B. M. (2011). *Gesture Based Automating Household Appliances*. 9.
- Ni, T., Bowman, D. A., North, C., & McMahan, R. P. (2010). Design and evaluation of freehand menu selection interfaces using tilt and pinch gestures. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(9), 551–562. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2011.05.001>
- Nielsen, M., Moeslund, T. B., Störing, M., & Granum, E. (2008). Gesture Interfaces. In P. Kortum (Ed.), *HCI beyond the GUI: design for haptic, speech, olfactory and other non-traditional interfaces*. Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Nielsen, M., Störing, M., & Moeslund, T. B. (2003). A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for man-machine interaction. *Proceedings of the 5th \ldots*. http://www.cs.uml.edu/holly/teaching/91550/spring2012/fgnet_techreport.pdf
- Nielsen, M., Störing, M., Moeslund, T. B., & Granum, E. (2003). A Procedure for Developing Intuitive and Ergonomic Gesture Interfaces for HCI. In *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction* (pp. 409–420). Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-24598-8_38
- Obaid, M., Haring, M., Kistler, F., Buhling, R., & Andre, E. (n.d.). *User-Defined Body Gestures for Navigational Control of a Humanoid Robot*. 11.
- Obaid, M., Häring, M., Kistler, F., Buhling, R., & André, E. (2012). User-Defined Body Gestures for Navigational Control of a Humanoid Robot. In S. S. Ge, O. Khatib, J.-J. Cabibihan, R. Simmons, & M.-A. Williams (Eds.), *Social Robotics* (Vol. 7621, pp. 367–377). Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34103-8_37
- Obaid, M., Kistler, F., Kasparavičiūtė, G., Yantaç, A. E., & Fjeld, M. (2016). *How would you gesture navigate a drone?: A user-centered approach to control a drone*. 113–121. <https://doi.org/10.1145/2994310.2994348>

- O'Hara, K., Gonzalez, G., Sellen, A., Penney, G., Varnavas, A., Mentis, H., Criminisi, A., Corish, R., Rouncefield, M., Dastur, N., & others. (2014). Touchless interaction in surgery. *Communications of the ACM*, 57(1), 70–77.
- O'malley, M. K., & Gupta, A. (2008). Haptic interfaces. *HCI beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*, 25–64.
- Opromolla, A., Volpi, V., Ingrosso, A., Fabri, S., Rapuano, C., Passalacqua, D., & Medaglia, C. M. (2015). A Usability Study of a Gesture Recognition System Applied During the Surgical Procedures. In A. Marcus (Ed.), *Design, User Experience, and Usability: Interactive Experience Design* (Vol. 9188, pp. 682–692). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20889-3_63
- Ortega, F. R., Galvan, A., Tarre, K., Barreto, A., Rische, N., Bernal, J., Balcazar, R., & Thomas, J.-L. (2017). Gesture elicitation for 3D travel via multi-touch and mid-Air systems for procedurally generated pseudo-universe. *3D User Interfaces (3DUI), 2017 IEEE Symposium On*, 144–153.
- Othman, N. Z. S., Rahim, M. S. M., Ghazali, M., & Anjomshoae, S. T. (2016). Creating 3D/Mid-air gestures. *Advanced Informatics: Concepts, Theory And Application (ICAICTA), 2016 International Conference On*, 1–6. <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7803136/>
- Paay, J., Raptis, D., Kjeldskov, J., Skov, M. B., Ruder, E. V., & Lauridsen, B. M. (2017). *Investigating Cross-Device Interaction between a Handheld Device and a Large Display*. 6608–6619. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025724>
- Paradiso, J. A. (1999). The Brain Opera Technology: New Instruments and Gestural Sensors for Musical Interaction and Performance. *Journal of New Music Research*, 28(2), 130–149. <https://doi.org/10.1076/jnmr.28.2.130.3119>
- Park, H.-J., Park, J., & Kim, M.-H. (2012). 3D Gesture-based view manipulator for large scale entity model review. In *AsiaSim 2012* (pp. 524–533). Springer. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-34384-1_62
- Pavlovic, V. I., Sharma, R., & Huang, T. S. (1997). Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(7), 677–695. <https://doi.org/10.1109/34.598226>
- Pejsa, T., Kantor, J., Benko, H., Ofek, E., & Wilson, A. D. (2016). Room2Room: Enabling Life-Size Telepresence in a Projected Augmented Reality Environment. *Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing - CSCW '16*, 1714–1723. <https://doi.org/10.1145/2818048.2819965>
- Peres, S. C., Best, V., Brock, D., Frauenberger, C., Hermann, T., Neuhoff, J. G., Nickerson, L., Shinn-Cunningham, B., & Stockman, A. (2008). Auditory interfaces. *HCI beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*, 147–195.
- Port, S. R., Marner, M. R., Smith, R. T., Zucco, J. E., & Thomas, B. H. (2010). Validating Spatial Augmented Reality for interactive rapid prototyping. *2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 265–266. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2010.5643599>
- Project Soli- Google ATAP*. (n.d.). Retrieved March 24, 2021, from <https://atap.google.com/soli/>
- Proske, U. (2006). Kinesthesia: The role of muscle receptors. *Muscle & Nerve*, 34(5), 545–558. <https://doi.org/10.1002/mus.20627>

- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force. *Physiological Reviews*, 92(4), 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>
- Pu, Q., Gupta, S., Gollakota, S., & Patel, S. (2013). Whole-home gesture recognition using wireless signals. *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Mobile Computing & Networking - MobiCom '13*, 27. <https://doi.org/10.1145/2500423.2500436>
- Rädle, R., Jetter, H.-C., Schreiner, M., Lu, Z., Reiterer, H., & Rogers, Y. (2015). Spatially-aware or Spatially-agnostic?: Elicitation and Evaluation of User-Defined Cross-Device Interactions. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3913–3922. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702287>
- Radu-Daniel, V. (2013). A comparative study of user-defined handheld vs. Freehand gestures for home entertainment environments. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 2, 187–211. <https://doi.org/10.3233/AIS-130200>
- Rateau, H., Grisoni, L., & De Araujo, B. (2014). Mimetic interaction spaces: Controlling distant displays in pervasive environments. *Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces - IUI '14*, 89–94. <https://doi.org/10.1145/2557500.2557545>
- Rauschert, I., Agrawal, P., Sharma, R., Fuhrmann, S., Brewer, I., & MacEachren, A. (2002). Designing a human-centered, multimodal GIS interface to support emergency management. *Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 119–124. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=585172>
- Rempel, D., Camilleri, M. J., & Lee, D. L. (2014). The design of hand gestures for human–computer interaction: Lessons from sign language interpreters. *International Journal of Human-Computer Studies*, 72(10–11), 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.05.003>
- Ren, G., & O'Neill, E. (2013a). Freehand gestural text entry for interactive TV. *Proceedings of the 11th European Conference on Interactive TV and Video*, 121–130. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2465966>
- Ren, G., & O'Neill, E. (2013b). 3D selection with freehand gesture. *Computers & Graphics*, 37(3), 101–120. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.12.006>
- Richards-Rissetto, H., Remondino, F., Agugiaro, G., Robertsson, J., von Schwerin, J., & Girardi, G. (2012). Kinect and 3D GIS in archaeology. *Virtual Systems and Multimedia (VSM), 2012 18th International Conference On*, 331–337. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6365942
- Rimé, B. (1982). The elimination of visible behaviour from social interactions: Effects on verbal, nonverbal and interpersonal variables. *European Journal of Social Psychology*, 12(2), 113–129. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2420120201>
- Rodriguez, I. B., & Marquardt, N. (2017). *Gesture Elicitation Study on How to Opt-in & Opt-out from Interactions with Public Displays*. 32–41. <https://doi.org/10.1145/3132272.3134118>
- Rossol, N., Cheng, I., Shen, R., & Basu, A. (2014). Touchfree medical interfaces. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE*, 6597–6600. <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6945140/>
- Rovelo Ruiz, G. A., Vanacken, D., Luyten, K., Abad, F., & Camahort, E. (2014). *Multi-viewer gesture-based interaction for omni-directional video*. 4077–4086. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557113>
- Ruiz, J., Li, Y., & Lank, E. (2011). User-defined motion gestures for mobile interaction. *CHI*,

197–206. <https://doi.org/10.1145/1978942.1978971>

- Ruiz, J., & Vogel, D. (2015). Soft-Constraints to Reduce Legacy and Performance Bias to Elicit Whole-body Gestures with Low Arm Fatigue. *The 33rd Annual ACM Conference*, 3347–3350. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702583>
- Ruser, H., Vorweg, S., & Eicher, C. (2020). Making the Home Accessible—Experiments with an Infrared Handheld Gesture-Based Remote Control. In C. Stephanidis & M. Antona (Eds.), *HCI International 2020—Posters* (Vol. 1226, pp. 89–97). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50732-9_13
- Ruser, H., Vorweg, S., Eicher, C., Pfeifer, F., Piela, F., Kaltenbach, A., & Mechold, L. (2021). Evaluating the Accuracy and User Experience of a Gesture-Based Infrared Remote Control in Smart Homes. In M. Kurosu (Ed.), *Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications* (Vol. 12763, pp. 89–108). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78465-2_8
- Schaller, R. R. (1997). Moore’s law: Past, present and future. *IEEE Spectrum*, 34(6), 52–59.
- Schiavo, G., Ferron, M., Mich, O., & Mana, N. (n.d.). *Wizard of Oz Studies with Older Adults: A Methodological Note*. 8.
- Schrepp, D. M. (n.d.). *User Experience Questionnaire Handbook. All you need to know to apply the UEQ successfully in your project*. 15.
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2014). Applying the User Experience Questionnaire (UEQ) in Different Evaluation Scenarios. In A. Marcus (Ed.), *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience* (Vol. 8517, pp. 383–392). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_37
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2017). Construction of a Benchmark for the User Experience Questionnaire (UEQ). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(4), 40. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.445>
- Schwaller, M., Brunner, S., & Lalanne, D. (2013). Two Handed Mid-Air Gestural HCI: Point + Command. In *Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions* (pp. 388–397). Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-39330-3_41
- Shen, J., Luo, Y., Wu, Z., Tian, Y., & Deng, Q. (2016). CUDA-based real-time hand gesture interaction and visualization for CT volume dataset using leap motion. *The Visual Computer*, 32(3), 359–370. <https://doi.org/10.1007/s00371-016-1209-0>
- Shneiderman, B. (1982). *The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation*. 21.
- Siddhuria, S., Katsuragawa, K., Wallace, J. R., & Lank, E. (2017). *Exploring At-Your-Side Gestural Interaction for Ubiquitous Environments*. 1111–1122. <https://doi.org/10.1145/3064663.3064695>
- Silpasuwanchai, C., & Ren, X. (2015). Designing concurrent full-body gestures for intense gameplay. *International Journal of Human-Computer Studies*, 80, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.02.010>
- Sluÿters, A., Sellier, Q., Vanderdonckt, J., Parthiban, V., & Maes, P. (2022). Consistent, Continuous, and Customizable Mid-Air Gesture Interaction for Browsing Multimedia Objects on Large Displays. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1–32. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2078464>
- Song, P., Goh, W. B., Hutama, W., Fu, C.-W., & Liu, X. (2012). A handle bar metaphor for

- virtual object manipulation with mid-air interaction. *Proceedings of the 2012 ACM Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '12*, 1297. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208585>
- Sorce, S., Gentile, V., Enea, C., Gentile, A., Malizia, A., & Milazzo, F. (2017). *A Touchless Gestural System for Extended Information Access Within a Campus*. 37–43. <https://doi.org/10.1145/3123458.3123459>
- Starner, T., Weaver, J., & Pentland, A. (1998). Real-Time American Sign Language Recognition Using Desk and Wearable Computer Based Video. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20, 1371–1375.
- Stellmach, S., Jüttner, M., Nywelt, C., & Schneider, J. (2012). Investigating Freehand Pan and Zoom. *Mensch & \dots*. https://www.researchgate.net/profile/Sophie_Stellmach/publication/235780991_Investigating_Free-hand_Pan_and_Zoom/links/0912f51374fa6231b1000000.pdf
- Stellmach, S., Stober, S., Nürnberger, A., & Dachsel, R. (2011). *Designing gaze-supported multimodal interactions for the exploration of large image collections*. ACM. <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1983302.1983303>
- Sutherland, I. E. (1965). The Ultimate Display. *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality*, 506–508.
- Tan, J. H., Chao, C., Zawaideh, M., & Roberts, A. C. (2013). Informatics in radiology: Developing a touchless user interface for intraoperative image control during interventional radiology procedures. *Radiographics*. <https://doi.org/10.1148/rg.332125101/-/DC1>
- TEDx Talks (Director). (2011, April 7). *TEDxWaterloo—Vincent John Vincent—Immersive Video Gesture Control*. https://www.youtube.com/watch?v=XeIOVHPRolo&ab_channel=TEDxTalks
- Ten Koppel, M., Bailly, G., Müller, J., & Walter, R. (2012). Chained displays: Configurations of public displays can be used to influence actor-, audience-, and passer-by behavior. *Proceedings of the 2012 ACM Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '12*, 317. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207720>
- Thurley, S. (2005). Into the future—Our strategy for 2006-2010. *Conservation Bulletin* 49, 49, 26–27.
- Tsandilas, T. (2018). Fallacies of Agreement: A Critical Review of Consensus Assessment Methods for Gesture Elicitation. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 25(3), 1–49. <https://doi.org/10.1145/3182168>
- Tullis, T., & Albert, W. (2013). *Measuring the user experience: Collecting, analyzing, and presenting usability metrics; 2nd ed.* Elsevier. <http://cds.cern.ch/record/1604186>
- Turk, M. (2002). Gesture recognition. *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 223–238.
- Underkoffler, J. (2010). *Pointing to the future of UI*. https://www.ted.com/talks/john_underkoffler_pointing_to_the_future_of_ui
- V. J. Vincent (Director). (2011, April 19). *World's First Kinect style Gesture Control Musical Performer*. https://www.youtube.com/watch?v=-zQ-2kb5nvs&ab_channel=vjvincent1
- Vatavu, R. D., & Zaiti, I. A. (2014). Leap gestures for TV: insights from an elicitation study. *Proceedings of the 2014 ACM International \dots*. <https://doi.org/10.1145/2602299.2602316>
- Vatavu, R.-D. (2012). User-defined gestures for free-hand TV control. *Proceedings of the 10th*

- European Conference on Interactive Tv and Video*, 45–48. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2325626>
- Vatavu, R.-D. (2013). There’s a world outside your TV: Exploring interactions beyond the physical TV screen. *Proceedings of the 11th European Conference on Interactive TV and Video*, 143–152. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2465972>
- Vatavu, R.-D. (2017). Smart-Pockets: Body-deictic gestures for fast access to personal data during ambient interactions. *International Journal of Human-Computer Studies*, 103, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.01.005>
- Vatavu, R.-D., & Wobbrock, J. O. (2015). Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies. *The 33rd Annual ACM Conference*, 1325–1334. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702223>
- Vatavu, R.-D., & Wobbrock, J. O. (2022). Clarifying Agreement Calculations and Analysis for End-User Elicitation Studies. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 29(1), 1–70. <https://doi.org/10.1145/3476101>
- Velloso, E., Schmidt, D., Alexander, J., Gellersen, H., & Bulling, A. (2015). The Feet in Human-Computer Interaction: A Survey of Foot-Based Interaction. *ACM Computing Surveys*, 48(2), 1–35. <https://doi.org/10.1145/2816455>
- Verlinden, J. C., de Smit, A., Peeters, A. W. J., & van Gelderen, M. H. (2003). *Development of a flexible augmented prototyping system*. 9.
- Videoplace. (1975). Myron Krueger. <http://aboutmyronkrueger.weebly.com/videoplace.html>
- Villarreal-Narvaez, S., Vanderdonckt, J., Vatavu, R.-D., & Wobbrock, J. O. (2020). A Systematic Review of Gesture Elicitation Studies: What Can We Learn from 216 Studies? *Proceedings of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*, 855–872. <https://doi.org/10.1145/3357236.3395511>
- Vinayak, & Ramani, K. (2015). A gesture-free geometric approach for mid-air expression of design intent in 3D virtual pottery. *Computer-Aided Design*, 69, 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.06.006>
- Vinayak, & Ramani, K. (2016). Extracting hand grasp and motion for intent expression in mid-air shape deformation: A concrete and iterative exploration through a virtual pottery application. *Computers & Graphics*, 55, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.10.012>
- Vincent John Vincent. (n.d.). Retrieved March 20, 2021, from <http://vjvincent.com/index.html>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2018). Gesture Elicitation Studies for Mid-Air Interaction: A Review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(4), 65. <https://doi.org/10.3390/mti2040065>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2019). Frame-Based Elicitation of Mid-Air Gestures for a Smart Home Device Ecosystem. *Informatics*, 6(2), 23. <https://doi.org/10.3390/informatics6020023>
- Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2021). ‘Address and Command’: Two-Handed Mid-Air Interactions with Multiple Home Devices. *International Journal of Human-Computer Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102755>
- Vosinakis, S., & Koutsabasis, P. (2018). Evaluation of visual feedback techniques for virtual grasping with bare hands using Leap Motion and Oculus Rift. *Virtual Reality*, 22(1), 47–62. <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0313-4>
- Vuibert, V., Stuerzlinger, W., & Cooperstock, J. R. (2015). *Evaluation of Docking Task*

Performance Using Mid-air Interaction Techniques. 44–52.
<https://doi.org/10.1145/2788940.2788950>

- Wacharamanotham, C., Todi, K., Pye, M., & Borchers, J. (2014). *Understanding finger input above desktop devices.* 1083–1092. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557151>
- Wachs, J. P., Kölsch, M., Stern, H., & Edan, Y. (2011). Vision-based hand-gesture applications. *Communications of the ACM*, 54(2), 60. <https://doi.org/10.1145/1897816.1897838>
- Walter, R., Bailly, G., & Müller, J. (2013). StrikeAPose: Revealing mid-air gestures on public displays. *CHI*, 841–850. <https://doi.org/10.1145/2470654.2470774>
- Walter, R., Bailly, G., Valkanova, N., & Müller, J. (2014). *Cuenesics: Using mid-air gestures to select items on interactive public displays.* 299–308. <https://doi.org/10.1145/2628363.2628368>
- Wan, Q., Li, Y., Li, C., & Pal, R. (2014). Gesture recognition for smart home applications using portable radar sensors. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 6414–6417. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6945096>
- Wang, Y., Wang, Y., Chen, J., Wang, Y., Yang, J., Jiang, T., & He, J. (2015). Investigating the Performance of Gesture-Based Input for Mid-Air Text Entry in a Virtual Environment: A Comparison of Hand-Up versus Hand-Down Postures. *Sensors*, 21(5), 1582. <https://doi.org/10.3390/s21051582>
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21ST Century. *Scientific American*, 265(3), 94-. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94>
- Weiser, M. (1993). *Some computer science issues in ubiquitous computing.* 36(7), 75–84. <https://doi.org/10.1145/159544.159617>
- Weiser, M., & Brown, J. S. (n.d.). *The coming age of calm technology.* 4.
- Wentura, D., & Degner, J. (n.d.). *Running head: GUIDE TO SEQUENTIAL PRIMING.* 55.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering psychology and human performance.* Psychology Press.
- Wigdor, D. (2011). *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture.* Elsevier. <http://cds.cern.ch/record/1413357>
- Wobbrock, J. O., Aung, H. H., Rothrock, B., & Myers, B. A. (2005). *Maximizing the guessability of symbolic input.* ACM. <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1056808.1057043>
- Wobbrock, J. O., Morris, M. R., & Wilson, A. D. (2009). User-defined gestures for surface computing. *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 09*, 1083. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518866>
- Wouters, N., Downs, J., Harrop, M., Cox, T., Oliveira, E., Webber, S., Vetere, F., & Vande Moere, A. (2016). Uncovering the Honeypot Effect: How Audiences Engage with Public Interactive Systems. *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, 5–16. <https://doi.org/10.1145/2901790.2901796>
- Wu, H., Fu, S., Liuqingqing Yang, Z., & Xiaolong (Luke), Z. (2020). Exploring frame-based gesture design for immersive VR shopping environments. *Behaviour & Information Technology*, 23. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1795261>
- Wu, H., & Wang, J. (2012). *User-Defined Body Gestures for TV-based Applications.* 415–420. <https://doi.org/10.1109/ICDH.2012.23>

- Wu, H., Wang, J., & Zhang, X. (2016). User-centered gesture development in TV viewing environment. *Multimedia Tools and Applications*, 75(2), 733–760. <https://doi.org/10.1007/s11042-014-2323-5>
- Wu, H., Wang, Y., Liu, J., Qiu, J., & Zhang, X. (Luke). (2020). User-defined gesture interaction for in-vehicle information systems. *Multimedia Tools and Applications*, 79(1), 263–288. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08075-1>
- Xia, H., Glueck, M., Annett, M., Wang, M., & Wigdor, D. (2022). Iteratively Designing Gesture Vocabularies: A Survey and Analysis of Best Practices in the HCI Literature. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 29(4), 1–54. <https://doi.org/10.1145/3503537>
- Yanagida, Y. (2008). Olfactory interfaces. *HCI Beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*, 267–290.
- Yi, X., Yu, C., Zhang, M., Gao, S., Sun, K., & Shi, Y. (2015). *ATK: Enabling Ten-Finger Freehand Typing in Air Based on 3D Hand Tracking Data*. 539–548. <https://doi.org/10.1145/2807442.2807504>
- Yoo, B., Han, J.-J., Choi, C., Yi, K., Suh, S., Park, D., & Kim, C. (2010). 3D user interface combining gaze and hand gestures for large-scale display. *CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 3709–3714. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1754043>
- Yoo, S., Parker, C., Kay, J., & Tomitsch, M. (2015). To Dwell or Not to Dwell: An Evaluation of Mid-Air Gestures for Large Information Displays. *\ldots of the Annual Meeting of the \ldots*. <https://doi.org/10.1145/2838739.2838819>
- Zaiti, I.-A., Pentiu, Ş.-G., & Vataavu, R.-D. (2015). On free-hand TV control: Experimental results on user-elicited gestures with Leap Motion. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(5–6), 821–838. <https://doi.org/10.1007/s00779-015-0863-y>
- Zhou, X., Williams, A. S., & Ortega, F. R. (2022). *Eliciting Multimodal Gesture+Speech Interactions in a Multi-Object Augmented Reality Environment* (arXiv:2207.12566). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2207.12566>
- Zielke, M. A., Zakhidov, D., Hardee, G., Evans, L., Lenox, S., Orr, N., Fino, D., & Mathialagan, G. (2017). Developing Virtual Patients with VR/AR for a natural user interface in medical teaching. *2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/SeGAH.2017.7939285>
- Κουτσαμπάσης, Π. (2021). *Σημειώσεις πανεπιστημιακών διαλέξεων του μαθήματος Προηγμένες Τεχνολογίες Αλληλεπίδρασης και Εφαρμογές. Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.*
- Μπαμπινιώτης, Γ. (2011). *Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας*. https://app.box.com/files/0/f/0/1/f_22843856517