

Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων



Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακών Σπουδών  
Χρυσοβαλάντου Τεμπρίδου | dpsd16108

Θέμα

Ανάλυση των εστιάσεων βλέμματος μοτοσικλετιστών που αποσκοπούν στην αναγνώριση της πρόθεσης κίνησης των άλλων χρηστών της οδού: προκλήσεις σε μελλοντικά περιβάλλοντα μεικτής κυκλοφορίας αυτόνομων και συμβατικών οχημάτων.

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων: Βασίλειος Παπακωστόπουλος

1<sup>ο</sup> Μέλος: Βασίλειος Μουλιανίτης

2<sup>ο</sup> Μέλος: Ηλίας Ξυδίας

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

## Πρόλογος

Η διαδικασία του σχεδιασμού έχει πολλές πτυχές και ξεχωρίζει για την αναζήτηση επίλυσης προβλημάτων της καθημερινότητας αλλά και του μέλλοντος. Αυτή η διπλωματική εργασία έχει σκοπό να συνεισφέρει στην επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος. Η προσέγγιση ενός προβλήματος με σκοπό τη συνεισφορά στην επίλυση του και στη σύνδεση του με μία μελλοντική αστική κυκλοφορία με κυρίαρχο τον αυτοματισμό στην οδήγηση ήταν πρωτόγνωρη και με ενδιαφέρουσες προκλήσεις. Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Παπακωστόπουλο για την συνεχή καθοδήγηση, βοήθεια, παρότρυνση για εξέλιξη, και μετάδοση των γνώσεων του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια, φίλους, συμφοιτητές μου για τη πολύτιμη υποστήριξη τους.

## Περίληψη Διπλωματικής

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποσκοπεί στην αναγνώριση της πρόθεσης κίνησης άλλων χρηστών της οδού και συγκεκριμένα ανθρώπων οδηγών συμβατικών οχημάτων. Ποια είναι τα ενδιαφέροντα σημεία που μαρτυρούν πιθανή κίνηση και ποια η σημασία τους; Ο ευρύτερος σκοπός είναι τα αποτελέσματα που θα αναδειχθούν να αξιοποιηθούν σε μελλοντικά περιβάλλοντα μεικτής κυκλοφορίας συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων.

Σε πρώτη φάση για τη καλύτερη κατανόηση του προβλήματος πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα για τον αυτοματισμό στην οδήγηση, τα χαρακτηριστικά του, τις τεχνολογίες και έπειτα συσχετίστηκε η λήψη απόφασης και η αλληλεπίδραση τους στο αστικό περιβάλλον. Ακόμη για τις ανάγκες της μελέτης που ακολούθησε υπήρξε η ανάγκη να αφιερωθεί ένα κομμάτι της εργασίας στην παρουσίαση της τεχνολογίας παρακολούθησης ματιών/ eye tracking.

Τα αποτελέσματα και η ανάλυση τους μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμες πηγές για περαιτέρω ανάλυση καθώς και να αξιοποιηθούν σε μία άλλη

μορφή αλγοριθμικής/ τεχνολογικής φύσεως στη λήψη απόφασης ενός αυτόνομου οχήματος. Σε μεγαλύτερη κλίμακα αποσκοπούν να βοηθήσουν στη γεφύρωση της επικοινωνίας αυτόνομων και συμβατικών οχημάτων μελλοντικά.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη Διπλωματικής.....	3
Ευρετήριο πινάκων.....	6
Ευρετήριο εικόνων.....	6
<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>8</b>
1.1 Αυτοματισμός στην οδήγηση αυτοκινήτων και προκλήσεις.....	8
1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	10
1.3 Προσδιορισμός προβληματικού χώρου.....	12
1.4 Στόχος εργασίας.....	13
<b>2. Εισαγωγική έρευνα για τα αυτόνομα οχήματα.....</b>	<b>13</b>
2.1 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και αλγόριθμοι στα αυτόνομα οχήματα 14	
2.2 Μέρη αυτόνομου οχήματος.....	21
2.3 Βαθμοί αυτονομίας.....	23
2.4 Αυτόνομα οχήματα και λήψη αποφάσεων.....	25
2.5 Αυτόνομα οχήματα και ασφάλεια.....	29
2.6 Πλεονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων.....	29
2.7 Μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων.....	30
<b>3. Αυτόνομα οχήματα στο αστικό περιβάλλον.....</b>	<b>31</b>
3.1 Λήψη απόφασης σε διασταυρώσεις.....	31
3.1.1 Λήψη απόφασης σε διασταυρώσεις χωρίς σήμανση.....	33

3.2	Αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων με ευάλωτες ομάδες χρηστών του δρόμου .....	36
3.2.1	Αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων με πεζούς.....	39
3.2.2	Αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων με ποδηλάτες .....	44
3.3	Η ενσωμάτωση των αυτόνομων οχημάτων στο αστικό περιβάλλον και η επικοινωνία τους με άλλους χρήστες της οδού.....	47
3.4	Αυτόνομα και συμβατικά οχήματα .....	50
3.5	Αλληλεπίδραση οδηγού/επιβάτη και αυτόνομου οχήματος .....	51
3.6	Συμπεράσματα κεφαλαίου .....	54
<b>4.</b>	<b>Μεθοδολογία - Eye tracking</b> .....	<b>55</b>
4.1	Τεχνολογία παρακολούθησης ματιών/ Eye tracking .....	55
4.2	Μέθοδος annotation .....	57
4.3	Γνωστική ανάλυση και eye tracking .....	58
<b>5.</b>	<b>Μέθοδος</b> .....	<b>59</b>
5.1	Συμμετέχοντες .....	60
5.2	Εξοπλισμός.....	60
5.3	Διαδικασία.....	60
<b>6.</b>	<b>Επεξεργασία</b> .....	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>Αποτελέσματα</b> .....	<b>62</b>
7.1	Κυκλοφοριακές συνθήκες.....	62
7.2	Διασπορά μοτοσικλετιστών στις κυκλοφοριακές συνθήκες.....	64
7.3	Περιοχές ενδιαφέροντος.....	66
7.4	Κατηγορίες αντικειμένων.....	68
7.5	Αντικείμενα εστίασης.....	69
<b>8.</b>	<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>78</b>
8.1	Συμπεράσματα Ανάλυσης.....	78
8.2	Συμπεράσματα και μελλοντική εξέλιξη .....	80
	<b>Βιβλιογραφία και πηγές</b> .....	<b>82</b>

## Ευρετήριο πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΣΤΙΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΜΕ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ, ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ. ....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ. ....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΣΗΜΕΙΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΕΖΟΥΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ. ....	77

## Ευρετήριο εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΥΘΕΙΑΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ. ....	63
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ. ....	64
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ. ....	61
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΙΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ. ....	66
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΙΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ. ....	67
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΙΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ. ....	67
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ. ....	69
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ. ....	69
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ. ....	69
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ. ....	70
ΕΙΚΟΝΑ 10: : ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ. ....	70
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ. ....	70
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ. ....	71
ΕΙΚΟΝΑ 13: : ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ. ....	71
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ. ....	72
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ, ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ. ....	72
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ. ....	72
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΔΕΞΙΑ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ (ΔΡΟΜΟΣ 1), ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ. ....	73

ΕΙΚΟΝΑ 18: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ (ΔΡΟΜΟΣ 2), ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ (ΔΡΟΜΟΣ 2), ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΔΕΞΙΑ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ (ΔΡΟΜΟΣ 1), ), ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΔΕΞΙΑ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ (ΔΡΟΜΟΣ 1), ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ (ΔΡΟΜΟΣ 1), ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ ΑΝΤΙΘΕΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ/ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΟΧΗΜΑ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΙΑ Η ΝΑ ΑΠΟΥΣΙΑΖΟΥΝ. ....	76
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ ΑΝΤΙΘΕΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ/ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΟΧΗΜΑ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΙΣ ΟΔΟΥ ΝΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ. ....	76
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ ΑΝΤΙΘΕΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ/ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΟΧΗΜΑ, ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΚΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ. ....	76

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Αυτοματισμός στην οδήγηση αυτοκινήτων και προκλήσεις.

Ένα αυτόνομο αυτοκίνητο είναι ένα όχημα ικανό να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και να λειτουργεί χωρίς ανθρώπινη συμμετοχή. Δεν απαιτείται από τον άνθρωπο να αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος ανά πάσα στιγμή, ούτε απαιτείται ο άνθρωπος να είναι καθόλου παρών στο όχημα. Επιπλέον, ένα αυτόνομο όχημα μπορεί να πάει οπουδήποτε όπως κι ένα συμβατικό όχημα και να κάνει ό,τι κάνει ένας έμπειρος οδηγός. Τα αυτόνομα οχήματα βασίζονται σε αισθητήρες, ενεργοποιητές, σύνθετους αλγόριθμους, συστήματα μηχανικής μάθησης και ισχυρούς επεξεργαστές για την εκτέλεση λογισμικού (Anderson et al., 2014).

Δημιουργούν και διατηρούν έναν χάρτη του περιβάλλοντός τους με βάση μια ποικιλία αισθητήρων που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη του οχήματος. Οι αισθητήρες Radar παρακολουθούν τη θέση των κοντινών οχημάτων. Οι βιντεοκάμερες εντοπίζουν φανάρια, διαβάζουν οδικές πινακίδες, παρακολουθούν άλλα οχήματα και αναζητούν πεζούς. Οι αισθητήρες Lidar (ανίχνευση φωτός και εμβέλεια) λαμβάνουν παλμούς φωτός από το περιβάλλον του αυτοκινήτου για να μετρήσουν αποστάσεις, να ανιχνεύσουν τις άκρες του δρόμου και να αναγνωρίσουν τα σημάδια λωρίδας. Οι αισθητήρες υπερήχων στους τροχούς ανιχνεύουν κράσπεδα και άλλα οχήματα κατά τη στάθμευση (Fagnant & Kockelman, 2015).

Στη συνέχεια, το εξελεγμένο λογισμικό επεξεργάζεται όλη αυτή την αισθητηριακή είσοδο, σχεδιάζει μια διαδρομή και στέλνει οδηγίες στους ενεργοποιητές του αυτοκινήτου, οι οποίοι ελέγχουν την επιτάχυνση, το φρενάρισμα και το τιμόνι. Οι σκληρά κωδικοποιημένοι κανόνες, οι αλγόριθμοι αποφυγής εμποδίων, η προγνωστική μοντελοποίηση και η αναγνώριση αντικειμένων βοηθούν το λογισμικό να ακολουθεί τους κανόνες κυκλοφορίας και να πλοηγείται στα εμπόδια. Τα πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα υποβάλλονται σε δοκιμές, αλλά κανένα δεν είναι ακόμη διαθέσιμο στο ευρύ κοινό. Είμαστε ακόμη χρόνια μακριά από αυτό. Οι προκλήσεις κυμαίνονται από θέματα τεχνολογίας και νομοθεσίας έως θέματα περιβάλλοντος και φιλοσοφίας (Guizzo, 2011).



Τεχνολογικές προκλήσεις: Lidar και Radar

Το Lidar προσπαθεί να βρει τη σωστή ισορροπία μεταξύ εμβέλειας και ανάλυσης. Εάν πολλά αυτόνομα οχήματα επρόκειτο να οδηγήσουν στον ίδιο δρόμο, θα παρεμβαίνονταν τα σήματα Lidar μεταξύ τους; Και εάν υπάρχουν πολλές ραδιοσυχνότητες, θα είναι αρκετό το εύρος συχνοτήτων για να υποστηρίξει τη μαζική παραγωγή αυτόνομων αυτοκινήτων;

Περιβαλλοντικές προκλήσεις: Καιρικές συνθήκες

Τι συμβαίνει όταν ένα αυτόνομο όχημα οδηγεί σε έντονες βροχοπτώσεις; Εάν υπάρχει ένα στρώμα χιονιού στο δρόμο, τα διαχωριστικά λωρίδων εξαφανίζονται.

Προκλήσεις στις συνθήκες και στους νόμους της κυκλοφορίας:

Τα αυτόνομα οχήματα θα έχουν πρόβλημα σε σήραγγες ή σε γέφυρες; Τα αυτόνομα οχήματα θα υποβιβαστούν σε συγκεκριμένη λωρίδα; Και τι γίνεται με το πλήθος των παλαιών αυτοκινήτων που θα εξακολουθούν να μοιράζονται τους δρόμους για τα επόμενα 20 ή 30 χρόνια;

Προκλήσεις νομοθεσίας και φιλοσοφίας:

Η ρυθμιστική διαδικασία στις ΗΠΑ έχει πρόσφατα μετατοπιστεί από την ομοσπονδιακή καθοδήγηση σε εντολές πολιτείας προς πολιτεία για τα αυτοματοποιημένα οχήματα. Έτσι, ορισμένες πολιτείες έχουν προτείνει ακόμη και έναν φόρο ανά μίλι στα αυτόνομα οχήματα για να αποτρέψουν την αύξηση των «αυτοκίνητων ζόμπι» που κυκλοφορούν χωρίς επιβάτες. Οι νομοθέτες έχουν επίσης γράψει νομοσχέδια που προτείνουν όλα τα αυτοματοποιημένα οχήματα να είναι οχήματα μηδενικών εκπομπών και να έχουν εγκατεστημένο ένα κουμπί πανικού. Αλλά οι νόμοι θα είναι διαφορετικοί από χώρα σε χώρα;

Ευθύνη ατυχήματος:

Ποιος ευθύνεται για ατυχήματα που προκαλούνται από αυτόνομο όχημα; Ο κατασκευαστής; Ο άνθρωπος επιβάτης; Τα πιο πρόσφατα σχέδια υποδηλώνουν ότι ένα πλήρως αυτόνομο αυτοκίνητο δεν θα έχει ταμπλό ή τιμόνι, επομένως ένας άνθρωπος επιβάτης δεν θα έχει καν την επιλογή να αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Τεχνητή εναντίον Συναισθηματικής Νοημοσύνης:

Οι άνθρωποι οδηγοί βασίζονται σε λεπτές ενδείξεις και μη λεκτική επικοινωνία -όπως η οπτική επαφή με τους πεζούς ή η ανάγνωση των εκφράσεων του προσώπου και της γλώσσας του σώματος άλλων οδηγών-

για να κάνουν κρίσεις σε κλάσματα δευτερολέπτου και να προβλέψουν συμπεριφορές. Θα μπορούν τα αυτόνομα οχήματα να αναπαράγουν αυτή τη σύνδεση; Θα έχουν τα ίδια σωτήρια ένστικτα με τους ανθρώπινους οδηγούς;

## 1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή.

Η ιδέα των αυτόνομων οχημάτων χρονολογείται πολύ πιο πίσω από την έρευνα της Google στη σημερινή εποχή. Στην πραγματικότητα, η ιδέα ενός αυτόνομου αυτοκινήτου χρονολογείται από το Futurama, ένα έκθεμα στην Παγκόσμια Έκθεση της Νέας Υόρκης το 1939. Η General Motors δημιούργησε την έκθεση για να παρουσιάσει το όραμά της για το πώς θα ήταν ο κόσμος σε 20 χρόνια και αυτό το όραμα περιλάμβανε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα αυτοκινητοδρόμων που θα καθοδηγούσε τα αυτόνομα αυτοκίνητα. Ενώ ένας κόσμος γεμάτος με ρομποτικά οχήματα δεν είναι ακόμη πραγματικότητα, τα αυτοκίνητα σήμερα περιέχουν πολλά αυτόνομα χαρακτηριστικά, όπως συστήματα υποβοήθησης στάθμευσης και πέδησης. Εν τω μεταξύ, οι εργασίες για πλήρη αυτόνομα οχήματα συνεχίζονται, με στόχο να γίνει η οδήγηση ενός αυτοκινήτου ασφαλέστερη και απλούστερη τις επόμενες δεκαετίες (Ιοαννου, 2013)

Στην έκθεση της GM το 1939, ο Norman Bel Geddes δημιούργησε το πρώτο αυτόνομο αυτοκίνητο, το οποίο ήταν ένα ηλεκτρικό όχημα που καθοδηγείται από ραδιοελεγχόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται με μαγνητισμένες μεταλλικές αιχμές ενσωματωμένες στο οδόστρωμα (Kan et al., 2015).

Το 1925, ο Francis Houdina, ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός από τη Νέα Υόρκη, ήταν ο πρώτος που εφάρμοσε την ιδέα του αυτόνομου οχήματος, αν και το αυτοκίνητο ελεγχόταν από απόσταση. Το πρωτότυπο εκτέθηκε στο κοινό στο Μανχάταν, ταξιδεύοντας περίπου 19 χιλιόμετρα μεταξύ του Μπρόντγουεϊ και της Πέμπτης Λεωφόρου. Ωστόσο το όχημα συγκρούστηκε με άλλο αυτοκίνητο διακόποντας την τροχιά του. Παρόλα αυτά, το όχημα του Χουντίνια, με το όνομα Τσάντλερ, κατασκευάστηκε μεταξύ 1926 και 1930. Μέχρι το 1958, η General Motors είχε κάνει αυτή την ιδέα πραγματικότητα. Το μπροστινό άκρο του αυτοκινήτου ήταν ενσωματωμένο με αισθητήρες που ονομάζονται πηνία pick-up που μπορούσαν να ανιχνεύσουν το ρεύμα που ρέει μέσα από ένα σύρμα ενσωματωμένο στο δρόμο. Το ρεύμα θα μπορούσε να χειριστεί για να πει στο όχημα να μετακινήσει το τιμόνι αριστερά ή δεξιά (Link et al., 2014).

Αργότερα, τη δεκαετία του 1980, ο Γερμανός Ernst Dickmanns, ο οποίος θεωρείται ο πατέρας του αυτόνομου οχήματος όπως το ξέρουμε σήμερα, μετέτρεψε ένα φορτηγό Mercedes-Benz σε αυτόνομο όχημα που καθοδηγείται από έναν ενσωματωμένο υπολογιστή.

Το 1977, οι Ιάπωνες βελτίωσαν αυτήν την ιδέα, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα κάμερας που μετέφερε δεδομένα σε έναν υπολογιστή για την επεξεργασία εικόνων του δρόμου. Ωστόσο, αυτό το όχημα μπορούσε να ταξιδέψει μόνο με ταχύτητες κάτω των 20 mph (Maddox et al., 2015).

Το 1987, το αυτοκίνητο κατάφερε να ταξιδέψει σε δρόμους χωρίς κυκλοφορία με ταχύτητα 63 χιλιομέτρων την ώρα. Η βελτίωση ήρθε από τους Γερμανούς μια δεκαετία αργότερα με τη μορφή των VaMoRs, ενός οχήματος εξοπλισμένου με κάμερες που μπορούσε να κινηθεί με ασφάλεια στα 56 mph. Καθώς η τεχνολογία βελτιωνόταν, το ίδιο έκανε και η ικανότητα των αυτόνομων οχημάτων να ανιχνεύουν και να αντιδρούν στο περιβάλλον τους (Manyika et al., 2013).

Ενώ η άνοδος των αυτόνομων οχημάτων έχει κερδίσει εξέχουσα θέση τις τελευταίες δύο δεκαετίες, είναι αλήθεια ότι οι απαρχές της χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1990.

Το 1994 έγινε κάτι παρόμοιο με ένα όχημα που διένυσε περισσότερα από 1.000 χιλιόμετρα μέσα στο Παρίσι στην κίνηση. Το 1995, μια Mercedes-Benz ταξίδεψε αυτόνομα μεταξύ Μονάχου και Κοπεγχάγης. Αυτά τα έργα χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με την ονομασία Project Eureka, η οποία χορήγησε στον Dickmanns σχεδόν 800 εκατομμύρια ευρώ για τη διεξαγωγή έρευνας σε αυτόν τον τύπο οχήματος (Nieuenhuijsen, 2015).

Προς το παρόν, πολλά οχήματα στο δρόμο θεωρούνται ημιαυτόνομα λόγω χαρακτηριστικών ασφαλείας όπως συστήματα υποβοήθησης στάθμευσης και πέδησης, και μερικά έχουν τη δυνατότητα να οδηγούν, να κατευθύνουν, να φρενάρουν και να παρκάρουν μόνο τους. Η τεχνολογία αυτόνομων οχημάτων βασίζεται σε δυνατότητες GPS, καθώς και σε προηγμένα συστήματα ανίχνευσης που μπορούν να ανιχνεύσουν τα όρια λωρίδας, τα σήματα και τα απροσδόκητα εμπόδια. Αν και η τεχνολογία δεν είναι ακόμη τέλεια, αναμένεται να γίνει πιο διαδεδομένη καθώς βελτιώνεται συνεχώς. Δεκάδες πολιτείες έχουν ήδη νομοθεσία για τα βιβλία σχετικά με τη χρήση αυτόνομων οχημάτων για την προετοιμασία όταν αυτή η τεχνολογία γίνει συνηθισμένη (Sivaraman, 2013).

Τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να φέρουν μαζί τους μερικά διαφορετικά οφέλη, αλλά το πιο σημαντικό είναι πιθανότατα η ασφάλεια

στους δρόμους. Ο αριθμός των ατυχημάτων που προκαλούνται είναι πιθανό να μειωθεί σημαντικά, καθώς τα αυτοκίνητα δεν μπορούν να μεθύσουν όπως οι άνθρωποι οδηγοί. Τα αυτόνομα οχήματα επίσης δεν νυστάζουν και δεν χρειάζεται να ανησυχούν μήπως αποσπαστούν από μηνύματα κειμένου ή επιβάτες στο όχημα. Και ένας υπολογιστής δεν είναι πιθανό να πάθει ατύχημα λόγω οδικής οργής. Μια έκθεση της Εθνικής Υπηρεσίας Ασφάλειας Οδικής Κυκλοφορίας του 2014 διαπίστωσε ότι το 94 τοις εκατό των τροχαίων ατυχημάτων συμβαίνουν λόγω ανθρώπινου λάθους. Βγάζοντας τους ανθρώπους από την εξίσωση, τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να κάνουν τους δρόμους πολύ πιο ασφαλείς για όλους (Link et al., 2014).

Τα σημερινά αυτοκίνητα έχουν 100 εκατομμύρια γραμμές κώδικα. Τα αυριανά αυτόνομα οχήματα θα έχουν περισσότερες από 300 εκατομμύρια γραμμές κώδικα, επομένως η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο είναι μια αυξανόμενη ανησυχία. Η Synopsys είναι ο ηγέτης στις δοκιμές ασφαλείας εφαρμογών και στην ανάλυση σύνθεσης λογισμικού, βοηθώντας τους πελάτες της αυτοκινητοβιομηχανίας να δημιουργήσουν ασφάλεια στο λογισμικό τους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ανάπτυξης και σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού (Kan et al., 2015).

### 1.3 Προσδιορισμός προβληματικού χώρου.

Η αυτόνομη οδήγηση απαιτεί τη λήψη αποφάσεων σε δυναμικά και αβέβαια αστικά περιβάλλοντα. Η αβεβαιότητα στην πρόβλεψη προέρχεται από τα θορυβώδη δεδομένα που λαμβάνει ο αισθητήρας και από το γεγονός ότι η πρόθεση των ανθρώπων οδηγών δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Οι τρέχουσες λύσεις πρόβλεψης κίνησης έχουν σχεδιαστεί με μεγάλη εξάρτηση σε προβλέψεις “μαύρου κουτιού” που βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα (NN), κάτι που κρίνεται μη επαρκή για κρίσιμες για την ασφάλεια καταστάσεις. Η πρόβλεψη κίνησης με υψηλή αβεβαιότητα μπορεί να προκαλέσει αντικρουόμενες αποφάσεις και ακόμη και καταστροφικά αποτελέσματα. Ένα μελλοντικό αστικό περιβάλλον συγχώνευσης αυτόνομων και συμβατικών οχημάτων είναι γενικά, ένα δύσκολο έργο τόσο για τους οδηγούς όσο και για τα αυτόνομα οχήματα, ειδικά σε πυκνή κυκλοφορία. Η κύρια αιτία του προβλήματος είναι η παρεξήγηση μεταξύ των συστημάτων αυτόματης οδήγησης και των

ανθρώπων οδηγών. Τα αυτόνομα οχήματα χρειάζεται να συμπεριφέρονται με ασφαλή και προβλέψιμο τρόπο χωρίς να απαιτείται ρητή επικοινωνία. Παρά την ανάπτυξη της τεχνολογίας και όλα τα εργαλεία που έχουν οι ειδικοί στη διάθεσή τους, εξακολουθεί να υφίσταται το ζήτημα της αναγνώρισης της πρόθεσης κίνησης από ένα αυτόνομο όχημα ως προς τους χρήστες της οδού. Η άτυπη επικοινωνία στο αστικό περιβάλλον δεν ορίζεται από οδικά σήματα ή από κανόνες, γεγονός που κάνει απρόβλεπτες τις αντιδράσεις των χρηστών και πολύ δύσκολη την επίλυση του προβλήματος.

#### 1.4 Στόχος εργασίας.

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι μέσα από την ανάλυση των εστιάσεων του βλέμματος προηγούμενης μελέτης σε περιβάλλον αστικής κυκλοφορίας [Papakostopoulos, 2019, p.344,345], να αναγνωρισθεί η πρόθεση κίνησης των χρηστών της οδού. Ποια είναι τα άτυπα σήματα που δηλώνουν τη πρόθεση κίνησης μεταξύ των χρηστών της οδού; Με άλλα λόγια να εντοπιστεί η κάποια μορφή άτυπη και δίχως κανόνες επικοινωνία των χρηστών του κυκλοφοριακού περιβάλλοντος. Τέτοιου είδους άτυπα σήματα είναι ιδιαίτερα κρίσιμο να ληφθούν υπόψη και να συμβάλλουν μεταγενέστερα σε περιβάλλοντα μεικτής κυκλοφορίας, όπου θα συνυπάρχουν αυτόνομα και συμβατικά οχήματα.

## 2. Εισαγωγική έρευνα για τα αυτόνομα οχήματα

## 2.1 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και αλγόριθμοι στα αυτόνομα οχήματα.

Τα αυτόνομα οχήματα οδηγούνται με βάση την αντίληψη των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως ακριβώς και τα συμβατικά αυτοκίνητα. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα για την αυτόνομη οδήγηση είναι πολύ δημοφιλής. Το Advanced Driving Assistant System (ADAS) αναπτύχθηκε γρήγορα και ορισμένες τεχνολογίες έχουν εφαρμοστεί στη μαζική παραγωγή. Το σύστημα αυτόνομης οδήγησης περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας πολλαπλών αισθητήρων, της τεχνολογίας επεξεργασίας ηλεκτρονικού σήματος, της τεχνολογίας επικοινωνίας και της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης μπορεί να συνοψιστεί μέσω μιας ποικιλίας αισθητήρων και αναλύσεων με βάση τις λαμβάνοντες περιβαλλοντικές πληροφορίες, ελέγχοντας έτσι την κίνηση του οχήματος και τελικά επιτυγχάνοντας αυτόνομη οδήγηση» (Thierry et al., 2021).

Η τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης περιλαμβάνει κυρίως τρία μέρη: την αντίληψη, το σχεδιασμό και τον έλεγχο. Ο προγραμματισμός είναι το κλειδί για την αυτόνομη οδήγηση. Είναι απαραίτητο να γίνουν έλεγχοι για να διασφαλιστεί η ασφάλεια των αυτόνομων οχημάτων καθώς λειτουργεί ως φορέας λήψης αποφάσεων (Son et al., 2019).

Προκειμένου να βελτιωθούν οι δυνατότητες σχεδιασμού των αυτοματοποιημένων οχημάτων, είναι πολύ σημαντικό να εισαχθούν ειδικά νέα μοντέλα οδήγησης. Η αυτόνομη οδήγηση απέχει ακόμη πολύ από τις εμπορικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Για αρκετό καιρό στο μέλλον, θα συνυπάρχουν στο σκηνικό αυτόνομα οχήματα και συμβατικά οχήματα μαζί. Επομένως, τα αυτόνομα οχήματα πρέπει να προσδιορίζουν αποτελεσματικά τα χαρακτηριστικά του οδηγού των γύρω συμβατικών-παραδοσιακών οχημάτων, γεγονός που επιτρέπει στα αυτόνομα οχήματα να έχουν πιο λογική σχεδίαση (Xu et al., 2020).

Επί του θέματος έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ανίχνευσης για να προειδοποιεί τον οδηγό για τις τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας. Χρησιμοποιεί σήματα ανίχνευσης κατάστασης οχήματος και αισθητήρα για να αναλύσει την κατάσταση του οδηγού και παρέχει έναν εύλογο τρόπο λειτουργίας οδήγησης για να βελτιώσει την εμπειρία λειτουργίας. Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες ταξινόμησης οδηγών: (1) ανίχνευση με βάση τις αλλαγές κίνησης, (2) ανίχνευση με βάση την ψυχική κατάσταση του οδηγού, (3) ανίχνευση με βάση τα χαρακτηριστικά χειρισμού του οδηγού.

Η έρευνα που διεξήχθη ως προς αυτό το κομμάτι έχει ως στόχο να ανιχνεύσει τη συμπεριφορά του οδηγού. Με βάση τα χαρακτηριστικά οδήγησης του, είναι απαραίτητο να συλλέγονται δεδομένα λειτουργίας του οχήματος όπως το φρενάρισμα, η επιτάχυνση και το τιμόνι κατά την οδήγηση. Ο οδηγός θα “σχεδιάσει” τη διαδρομή του με βάση την κατάσταση του οχήματος, την κατάσταση των άλλων οχημάτων και τις συνθήκες του δρόμου. Ωστόσο, η ηλικία, το φύλο, η εμπειρία οδήγησης, τα υποκειμενικά συναισθήματα και οι ψυχικές καταστάσεις επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα στον οδηγό σε μια δεδομένη στιγμή (Zhen et al., 2020).

Στην έρευνα της τεχνολογίας αυτόνομης οδήγησης, υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι στον σχεδιασμό διαδρομής. Ένας εκ των οποίων που αξίζει να αναφερθεί είναι ο αλγόριθμος A\* Rapidly-exploring Random Tree (RRT) Τεχνητού Πεδίου Δυναμικού (APF) και κάποιες άλλες μεθόδους σχεδιασμού διαδρομής για προβλήματα αποφυγής σύγκρουσης. Ο αλγόριθμος A\* είναι ένας τυπικός αλγόριθμος σχεδιασμού διαδρομής. Είναι ένας αλγόριθμος αναζήτησης γραφημάτων που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορους τύπους οχημάτων. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αναζήτησης A\* έχει προταθεί με βάση τον αλγόριθμο αναζήτησης γραφήματος Dijkstra. Στόχος του σχεδιασμού του είναι η κατασκευή του χάρτη διαδρομής και ο προσδιορισμός της συνάρτησης κόστους. Προτείνεται μια αναδρομική μέθοδος σχεδιασμού διαδρομής, η οποία χρησιμοποιεί τη μειωμένη κατάσταση του χώρου αναζήτησης και λαμβάνει συνολικά υπόψη την κινηματική, το σχήμα και τον χώρο διεύθυνσης του οχήματος για τον σχεδιασμό διαδρομής (Ren et al., 2019).

Προτείνεται επίσης ένας νέος αλγόριθμος ο οποίος συνδυάζει την κινηματική του οχήματος και εισάγει μια συνάρτηση ενισχυμένου κόστους, η οποία βελτιώνει σημαντικά την άνεση της διαδρομής.

Ένας άλλος αλγόριθμος σχεδιασμού διαδρομής που αξίζει να αναφερθεί είναι το RRT και βασίζεται στη δειγματοληψία. Χαρακτηρίζεται από την τυχαία εξαγωγή του χώρου διαμόρφωσης ή του χώρου κατάστασης και την αναζήτηση συνδεσιμότητας σε αυτόν. Αυτό επιτρέπει τον γρήγορο σχεδιασμό σε ημιδομημένους χώρους και δεν είναι κατάλληλο μόνο για συνηθισμένα δισδιάστατα επίπεδα, αλλά και για τρισδιάστατους χώρους. Επιπλέον, μπορεί να λάβει υπόψη ημιτελείς περιορισμούς (όπως η μέγιστη ακτίνα στροφής του οχήματος). Ένας βελτιωμένος αυτόματος σχεδιαστής κίνησης οχήματος που βασίζεται σε RRT μπορεί να πλοηγηθεί αποτελεσματικά στο χαοτικό οδικό περιβάλλον. Επιπλέον, για την εξομάλυνση της τροχιάς, προτείνεται ένας αλγόριθμος μετα-επεξεργασίας

με βελτιστοποίηση τροχιάς. Η τροχιά που δημιουργείται από αυτόν τον αλγόριθμο δεν είναι συνεχής, κάτι που δεν είναι κατάλληλο για αυτόνομα οχήματα. Βελτιωμένοι αλγόριθμοι που εξετάζονται από την προοπτική της ταχύτητας και της βελτιστοποίησης εφαρμόζονται σταδιακά σε πραγματικά σενάρια ελέγχου (Zhang et al., 2018).

Η μέθοδος APF, λόγω της απλής δομής της, της ιδανικής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο και της δυνατότητας δημιουργίας ομαλών διαδρομών, έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλά οχήματα και ρομπότ. Το APF προέρχεται από μια μέθοδο εικονικής δύναμης που προτείνεται, η οποία σχεδιάζει την κίνηση του ρομπότ σε ένα τεχνητό πεδίο, σχεδιάζοντας μια ασφαλή και ομαλή διαδρομή. Επίσης έχει προταθεί μια μέθοδος έκφρασης σύνθετων εμποδίων με υπολογισμό του δυναμικού πεδίου μιας σειράς κυκλικών εμποδίων στο αρμονικό δυναμικό πεδίο.

Επιπλέον αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια νέα μέθοδος αποφυγής εμποδίων σε πραγματικό χρόνο για κινητά ρομπότ. Αυτή η μέθοδος, ονομάζεται ιστόγραμμα διανυσματικού πεδίου (VFH) και επιτρέπει την ανίχνευση άγνωστων εμποδίων και αποφεύγει τις συγκρούσεις ενώ ταυτόχρονα οδηγεί το κινητό ρομπότ προς τον στόχο. Επιπρόσθετα έχει προταθεί μια νέα ιδέα, το Admissible Gap (AG), για την αποφυγή σύγκρουσης. Υπό την ιδέα αυτή ένα κενό θεωρείται αποδεκτό εάν είναι δυνατό να γίνει έλεγχος κίνησης χωρίς σύγκρουση και να οδηγεί ένα ρομπότ μέσα από αυτό, τηρώντας παράλληλα τους περιορισμούς του οχήματος. Σε συνέχεια, σε αυτή τη βάση, αναπτύχθηκε μια νέα προσέγγιση πλοήγησης, επιτυγχάνοντας εξαιρετική απόδοση σε άγνωστα πυκνά περιβάλλοντα (Taheri et al., 2017).

Καθώς οι απαιτήσεις για την απόδοση του ελέγχου αυξάνονται, πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν αλγόριθμους πρόβλεψης μοντέλων ελέγχου (MPC) για να συμπεριλάβουν περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό. Για παράδειγμα, το Gutjahr B μετατρέπει το πρόβλημα της πλευρικής παρακολούθησης του οχήματος κατά μήκος μιας καμπύλης αναφοράς σε ένα περιορισμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Με βάση το γραμμικό μοντέλο μεταβλητής χρόνου το όχημα ελέγχεται ώστε να οδηγεί κατά μήκος των βελτιστοποιημένων δρόμων. Τα τελευταία χρόνια, πολλοί αλγόριθμοι που συνδυάζουν APF με MPC έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία. Η κύρια ιδέα αυτού του τύπου αλγορίθμου είναι να χρησιμοποιήσει την παγκόσμια τροχιά αναφοράς ως βαρυτικό πεδίο, τα εμπόδια ως πεδίο απωστικής δύναμης και την προκύπτουσα δύναμη ως συνάρτηση κόστους του MPC από τη βελτιστοποίηση, έτσι ώστε να ληφθούν οι λιγότερο δαπανηρές μεταβλητές ελέγχου (Rongben et al., 2004).



Προκειμένου οι προγραμματισμένες διαδρομές να ευθυγραμμίζονται περισσότερο με τις πραγματικές συνθήκες του δρόμου, ορισμένοι ερευνητές έχουν ενσωματώσει το μοντέλο οδηγού στον αλγόριθμο σχεδιασμού διαδρομής για να κάνουν τα αυτόνομα οχήματα να έχουν ανθρώπινα χαρακτηριστικά. Ένα νέο μοντέλο οδηγού για κρίσιμες συνθήκες ελιγμών συνδυάζεται με μια νέα στρατηγική διεύθυνσης. Το όχημα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να ακολουθεί με ακρίβεια την επιθυμητή διαδρομή με το μοντέλο οδηγού. Επίσης έχει προταθεί μια μέθοδος σχεδιασμού διαδρομής για τη μίμηση της λειτουργίας αλλαγής λωρίδας έμπειρων οδηγών (El Falou et al., 2003).

Μεταξύ των παραπάνω αλγορίθμων σχεδιασμού διαδρομής, ο APF έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στον σχεδιασμό διαδρομής σε πολλούς τομείς λόγω της απλότητας, της αποτελεσματικότητας και της ευρείας εφαρμογής του. Ωστόσο, έχει επίσης περιορισμούς όπως η μη επίτευξη του σημείου στόχου, το τοπικό ελάχιστο και η συνάρτηση πεδίου σταθερού δυναμικού. Προκειμένου να λυθούν τα μειονεκτήματα του APF, συνδυάζονται με την αναγνώριση χαρακτηριστικών του οδηγού, δίνοντας στο APF τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης λήψης αποφάσεων. Τα χαρακτηριστικά οδήγησης διαφορετικών οδηγών γύρω λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό διαδρομής των αυτόνομων οχημάτων, έτσι ώστε η προγραμματισμένη διαδρομή να μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικά οχήματα χειροκίνητης οδήγησης. Τα κύρια στοιχεία για τον σχεδιασμό των αυτόνομων οχημάτων βασίζονται στα εξής: (1) ο αλγόριθμος αναγνώρισης χαρακτηριστικών οδηγού που βασίζεται στον αλγόριθμο ανάλυσης ομαδοποίησης K-means και το μοντέλο νευρωνικού δικτύου Keras μπορεί να ταξινομήσει με ακρίβεια τα στυλ οδήγησης διαφορετικών οδηγών, (2) προτείνεται ένα βελτιωμένο APF σε συνδυασμό με την αναγνώριση χαρακτηριστικών του οδηγού. Η σχεδιασμένη μέθοδος τοπικού σχεδιασμού διαδρομής μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικά γύρω οχήματα χειροκίνητης οδήγησης (Lei et al., 2016).

### Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και μάθηση

Οι εφαρμογές που εκτελούν το σύστημα ενημέρωσης και ψυχαγωγίας ενός αυτοκινήτου μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες από συστήματα σύντηξης δεδομένων αισθητήρων και έχουν, για παράδειγμα, τη δυνατότητα να κατευθύνουν το όχημα σε νοσοκομείο εάν αντιληφθεί ότι κάτι δεν πάει καλά με τον οδηγό. Αυτή η εφαρμογή που βασίζεται σε μηχανική μάθηση μπορεί επίσης να ενσωματώσει την αναγνώριση χειρονομιών και ομιλίας του οδηγού και τη μετάφραση γλώσσας. Οι

αλγόριθμοι μπορούν να ταξινομηθούν ως εποπτευόμενοι αλγόριθμοι και ως αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη. Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι πώς μαθαίνουν.

Οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι μαθαίνουν χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και συνεχίζουν να μαθαίνουν μέχρι να φτάσουν στο επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης (ελαχιστοποίηση πιθανότητας σφάλματος). Μπορούν να υποταξινομηθούν σε ταξινόμηση, παλινδρόμηση και μείωση διαστάσεων ή ανίχνευση ανωμαλιών.

Οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη προσπαθούν να κατανοήσουν τα διαθέσιμα δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι ένας αλγόριθμος αναπτύσσει μια σχέση μέσα στο διαθέσιμο σύνολο δεδομένων για να προσδιορίσει μοτίβα ή διαιρεί το σύνολο δεδομένων σε υποομάδες με βάση το επίπεδο ομοιότητας μεταξύ τους. Οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη μπορούν σε μεγάλο βαθμό να υποταξινομηθούν σε μάθηση κανόνων ομαδοποίησης και συσχέτισης.

Υπάρχει ένα άλλο σύνολο αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που ονομάζονται αλγόριθμοι ενίσχυσης, οι οποίοι εμπίπτουν κάπου μεταξύ εποπτευόμενης και μη εποπτευόμενης μάθησης. Στην εποπτευόμενη μάθηση, υπάρχει μια ετικέτα στόχος για κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης. Στην μάθηση χωρίς επίβλεψη, δεν υπάρχουν καθόλου ετικέτες και η ενισχυτική μάθηση έχει αραιές και χρονικά καθυστερημένες ετικέτες – οι μελλοντικές ανταμοιβές. Με βάση μόνο αυτές τις ανταμοιβές, ο πράκτορας πρέπει να μάθει να συμπεριφέρεται στο περιβάλλον. Ο στόχος στην ενισχυτική μάθηση είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών αλγορίθμων μάθησης, καθώς και η κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών του αλγορίθμου. Η ενισχυτική μάθηση παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω του μεγάλου αριθμού πρακτικών εφαρμογών που μπορεί να αντιμετωπίσει, από προβλήματα τεχνητής νοημοσύνης έως επιχειρησιακή έρευνα ή μηχανική ελέγχου – όλες σχετικές με την ανάπτυξη ενός αυτόνομου οχήματος. Αυτό μπορεί να ταξινομηθεί ως άμεση μάθηση και έμμεση μάθηση. Ένα από τα κύρια καθήκοντα οποιουδήποτε αλγορίθμου μηχανικής μάθησης στο αυτόνομο όχημα είναι η συνεχής απόδοση του περιβάλλοντος και η πρόβλεψη πιθανών αλλαγών σε αυτό. Αυτές οι εργασίες χωρίζονται κυρίως σε τέσσερις επιμέρους εργασίες:

- i. Ανίχνευση αντικειμένων.
- ii. Αναγνώριση αντικειμένου.
- iii. Ταξινόμηση αντικειμένου.
- iv. Εντοπισμός αντικειμένου και πρόβλεψη κίνησης.

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες: αλγόριθμους παλινδρόμησης, αναγνώριση προτύπων,

αλγόριθμους συμπλέγματος και αλγόριθμους μήτρας απόφασης. Μια κατηγορία αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση δύο ή περισσότερων διαφορετικών δευτερευουσών εργασιών. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αντικειμένων καθώς και για τον εντοπισμό αντικειμένων ή την πρόβλεψη της κίνησης.

- Αλγόριθμοι παλινδρόμησης.

Αυτός ο τύπος αλγορίθμου είναι καλός στην πρόβλεψη γεγονότων. Η ανάλυση παλινδρόμησης εκτιμά τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, συγκρίνει τα αποτελέσματα των μεταβλητών που μετρούνται σε διαφορετικές κλίμακες και καθορίζονται κυρίως από τρεις μετρήσεις, συγκεκριμένα:

- Ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών
- Το είδος των εξαρτημένων μεταβλητών
- Το σχήμα της γραμμής παλινδρόμησης.

Στους αλγόριθμους παλινδρόμησης, οι εικόνες (ραντάρ ή κάμερα) παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό και την ενεργοποίηση, ενώ η μεγαλύτερη πρόκληση για κάθε αλγόριθμο είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου βάσει εικόνας για πρόβλεψη και επιλογή χαρακτηριστικών. Οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης αξιοποιούν την επαναληψιμότητα του περιβάλλοντος για να δημιουργήσουν ένα στατιστικό μοντέλο της σχέσης μεταξύ μιας εικόνας και της θέσης ενός δεδομένου αντικειμένου σε αυτήν την εικόνα. Το στατιστικό μοντέλο μπορεί να μάθει εκτός σύνδεσης και παρέχει γρήγορη online ανίχνευση επιτρέποντας τη δειγματοληψία εικόνων. Επιπλέον, μπορεί να επεκταθεί και σε άλλα αντικείμενα χωρίς να απαιτείται εκτεταμένη ανθρώπινη μοντελοποίηση. Ως έξοδος στο διαδικτυακό στάδιο, ο αλγόριθμος επιστρέφει μια θέση αντικειμένου και μια επιβεβαίωση για την παρουσία του αντικειμένου.

Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για μακροχρόνια μάθηση, σύντομη πρόβλεψη. Ο τύπος αλγορίθμων παλινδρόμησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόνομα οχήματα μεταξύ άλλων είναι η παλινδρόμηση Bayes, η παλινδρόμηση νευρωνικών δικτύων και η παλινδρόμηση δάσους αποφάσεων.

- Αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων (ταξινόμηση).

Στους αλγόριθμους αναγνώρισης προτύπων, οι εικόνες που λαμβάνονται μέσω αισθητήρων διαθέτουν όλα τα είδη περιβαλλοντικών δεδομένων. Το φιλτράρισμα των εικόνων απαιτείται για την αναγνώριση περιπτώσεων μιας κατηγορίας αντικειμένων αποκλείοντας τα άσχετα σημεία

δεδομένων. Οι αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων είναι καλοί στο να αποκλείουν αυτά τα ασυνήθιστα σημεία δεδομένων. Η αναγνώριση των προτύπων σε ένα σύνολο δεδομένων είναι ένα σημαντικό βήμα πριν από την ταξινόμηση των αντικειμένων. Αυτοί οι τύποι αλγορίθμων μπορούν επίσης να οριστούν ως αλγόριθμοι μείωσης δεδομένων.

Οι εν λόγω αλγόριθμοι βοηθούν στη μείωση του συνόλου δεδομένων ανιχνεύοντας άκρες αντικειμένων και προσαρμόζοντας τμήματα γραμμής και κυκλικά τόξα στις άκρες. Τα χαρακτηριστικά της εικόνας συνδυάζονται με διάφορους τρόπους για να σχηματίσουν τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση ενός αντικειμένου. Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) με ιστογράμματα προσανατολισμένων κλίσεων (HOG) και ανάλυση συνιστώσας αρχής (PCA) είναι οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι αναγνώρισης που χρησιμοποιούνται στο ADAS. Χρησιμοποιούνται επίσης ο κανόνας απόφασης Bayes και το K κοντινότερος γείτονας (KNN).

Μερικές φορές οι εικόνες που λαμβάνονται από το σύστημα δεν είναι καθαρές και είναι δύσκολο να εντοπιστούν αντικείμενα. Είναι επίσης πιθανό οι αλγόριθμοι ταξινόμησης να χάσουν το αντικείμενο και να μην το ταξινομήσουν ώστε να το αναφέρουν στο σύστημα. Ο λόγος μπορεί να είναι εικόνες χαμηλής ανάλυσης, πολύ λίγα σημεία δεδομένων ή ασυνεχή δεδομένα. Αυτός ο τύπος αλγορίθμου είναι καλός στην ανακάλυψη δομής από σημεία δεδομένων. Όπως η παλινδρόμηση, περιγράφει την κατηγορία του προβλήματος και την κατηγορία των μεθόδων. Οι μέθοδοι ομαδοποίησης συνήθως οργανώνονται με προσεγγίσεις μοντελοποίησης, όπως κεντροειδείς και ιεραρχικές. Όλες οι μέθοδοι ασχολούνται με τη χρήση των εγγενών δομών στα δεδομένα για την καλύτερη οργάνωση των δεδομένων σε ομάδες μέγιστης κοινότητας. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος αλγορίθμου είναι το K-means, Multi-class Neural Network.

- Αλγόριθμοι Πίνακα Αποφάσεων.

Αυτός ο τύπος αλγορίθμου είναι καλός στη συστηματική αναγνώριση, ανάλυση και αξιολόγηση της απόδοσης των σχέσεων μεταξύ συνόλων τιμών και πληροφοριών. Αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται κυρίως για τη λήψη αποφάσεων. Το αν ένα αυτοκίνητο χρειάζεται να στρίψει αριστερά ή χρειάζεται να φρενάρει εξαρτάται από το επίπεδο εμπιστοσύνης που έχουν οι αλγόριθμοι για την ταξινόμηση, την αναγνώριση και την πρόβλεψη της επόμενης κίνησης των αντικειμένων. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι μοντέλα που αποτελούνται από πολλαπλά μοντέλα αποφάσεων που

έχουν εκπαιδευτεί ανεξάρτητα και των οποίων οι προβλέψεις συνδυάζονται με κάποιο τρόπο για να κάνουν τη συνολική πρόβλεψη, ενώ μειώνουν την πιθανότητα σφαλμάτων στη λήψη αποφάσεων. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι είναι η ενίσχυση κλίσης (GDM) και το AdaBoosting.

## 2.2 Μέρη αυτόνομου οχήματος.

Ο αυτόματος έλεγχος, η αρχιτεκτονική, η τεχνητή νοημοσύνη, το μηχανικό σύστημα του υπολογιστή και πολλές άλλες τεχνολογίες είναι ενσωματωμένες στο αυτόνομο όχημα, το οποίο είναι προϊόν της εξαιρετικά ανεπτυγμένης πληροφορικής, της αναγνώρισης προτύπων και της τεχνολογίας ευφυούς ελέγχου. Από μια διαφορετική οπτική γωνία, η τεχνολογία του αυτόνομου οχήματος αντιπροσωπεύει το επίπεδο επιστημονικής έρευνας και βιομηχανικής ισχύος μιας χώρας. Ωστόσο, λίγες εργασίες έχουν ερευνήσει την τεχνολογική διαδικασία ενός αυτόνομου οχήματος λόγω της πολυπλοκότητάς του. Εν όψει αυτού του προβλήματος, έχει προταθεί μια νέα ταξινόμηση, για τη βασική τεχνολογία του αυτόνομου οχήματος σύμφωνα με την υλοποίηση της λειτουργίας, η οποία θα κάνει την περιγραφή εύκολη και σαφή. Σε σύγκριση με τη χειροκίνητη οδήγηση, είναι το βασικό χαρακτηριστικό ενός αυτόνομου οχήματος που χρησιμοποιεί εξοπλισμό αυτοματισμού για να αντικαταστήσει τον άνθρωπο οδηγό. Με βάση αυτή τη χαρακτηριστική και λειτουργική απαίτηση για την οδήγηση και την ενσωματωμένη μονάδα εξοπλισμού, η βασική τεχνολογία του αυτόνομου οχήματος ταξινομείται σε τέσσερα βασικά μέρη, τα οποία είναι γνωστά ως σύστημα πλοήγησης αυτοκινήτου, σχεδιασμός διαδρομής, αντίληψη περιβάλλοντος και έλεγχος αυτοκινήτου (Daimon et al., 2010).

Σε σύγκριση με τη μέθοδο ταξινόμησης σύμφωνα με το μοντέλο του αυτοκινήτου έχει προταθεί μια νέα ταξινόμηση σύμφωνα με την υλοποίηση της λειτουργίας του αυτόνομου οχήματος. Αυτή η ταξινόμηση είναι σε θέση να εκφράζει με σαφήνεια τις τεχνικές απαιτήσεις ενός αυτόνομου οχήματος, βοηθώντας τους ερευνητές και τις σχετικές επιχειρήσεις να κατανοήσουν την τεχνική εφαρμογή του αυτόνομου οχήματος. Επίσης, είναι σε θέση να περιγράψει με σαφήνεια τις βασικές τεχνολογίες εφαρμογής του αυτόνομου οχήματος. Από την άποψη της ταξινόμησης, χωρίζεται η βασική τεχνολογία του αυτόνομου οχήματος σε τέσσερα μέρη

ανάλογα με τη λειτουργία ενός αυτόνομου οχήματος: αντίληψη περιβάλλοντος, πλοήγηση αυτοκινήτου, σχεδιασμός διαδρομής και έλεγχος αυτοκινήτου. Κάθε τμήμα είναι ανεξάρτητο από τα άλλα. Αυτή η ταξινόμηση είναι εμπνευσμένη από τα βήματα λειτουργίας της ανθρώπινης οδήγησης οχημάτων και είναι εύκολο να κατανοηθεί από τους ερευνητές (Yoon et al., 2015).

Στο σύστημα πλοήγησης αυτοκινήτου, το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) είναι εξοπλισμένα για να λαμβάνουν πληροφορίες θέσης όπως γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος από τον δορυφόρο. Αυτές οι πληροφορίες, μαζί με τις πληροφορίες δρόμου που παράγονται από το σύστημα τοποθεσίας και τη βάση δεδομένων ψηφιακού χάρτη, χρησιμεύουν ως τα δεδομένα πηγής που εισάγονται στο μοντέλο αντιστοίχισης χαρτών, όπου οι έξυπνοι αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του σχεδιασμού διαδρομής. Μετά τον υπολογισμό, το αυτόνομο όχημα μπορεί να εντοπιστεί. Με τις πληροφορίες της θέσης και του προορισμού του αυτόνομου οχήματος, η διαδρομή οδήγησης μπορεί επίσης να προγραμματιστεί και να υπολογιστεί από το μοντέλο σχεδιασμού διαδρομής (Yijing et al., 2018). Ο κύριος σκοπός του συστήματος εντοπισμού είναι να προσδιορίσει τη θέση του οχήματος, η οποία γενικά μπορεί να ταξινομηθεί σε σχετική τοποθεσία, απόλυτη τοποθεσία και υβριδική τοποθεσία. Για σχετική τοποθεσία, η τρέχουσα θέση του αυτόνομου οχήματος λαμβάνεται προσθέτοντας την απόσταση και την κατεύθυνση κίνησης στην προηγούμενη θέση. Για παράδειγμα, το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης (INS) είναι ένα κοινό σύστημα σχετικής τοποθεσίας. Σε συνδυασμό με την προηγούμενη θέση του οχήματος, μπορεί να υπολογιστεί η τρέχουσα θέση του οχήματος (Du et al., 2016). Η μέθοδος απόλυτης θέσης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της θέσης του οχήματος σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το σύστημα εντοπισμού θέσης. Ένα κοινό σύστημα εντοπισμού θέσης είναι το σύστημα που βασίζεται σε δορυφόρους, όπως GPS, GLONASS, Galileo, Beidou και ούτω καθεξής (Moses & Anitha, 2017).

Για παράδειγμα, το αυτόματο όχημα του Πανεπιστημίου Shaihai Jiaotong περιλαμβάνει ένα τυπικό υβριδικό σύστημα υλοποίησης τοποθεσίας, το οποίο εφαρμόζει το μοντέλο Gmouse UB-353 USB GPS και την Αναλογική Συσκευή ADIS16300 INS για τη λήψη πληροφοριών για την τοποθεσία. Το GPS/INS μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για πλοήγηση, αλλά και για εφαρμογές τοποθεσίας, όπως στροφή.

## 2.3 Βαθμοί αυτονομίας.

Η Society of Automotive Engineers (SAE) ορίζει 6 επίπεδα αυτοματισμού οδήγησης που κυμαίνονται από 0 (πλήρως χειροκίνητο) έως 5 (πλήρως αυτόνομο). Η SAE έχει κάνει συμφωνίες συνεργασίας με οργανισμούς στην Ιαπωνία, τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Αυστραλία και την Ινδία. Τον Απρίλιο του 2021, η SAE δημοσίευσε μια ενημέρωση στην ταξινόμησή του για να διευκρινίσει ότι τα Επίπεδα 0-2 είναι «χαρακτηριστικά υποστήριξης οδηγού» επειδή ο οδηγός εξακολουθεί να εμπλέκεται σε μεγάλο βαθμό με τη λειτουργία του οχήματος, ενώ τα Επίπεδα 3-5 είναι «χαρακτηριστικά αυτοματοποιημένης οδήγησης» (Woo et al., 2016).

Επίπεδο 0: Αυτού του είδους τα αυτοκίνητα δεν παρέχουν αυτοματισμό οδήγησης. Τα αυτοκίνητα που ανήκουν στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνουν λειτουργίες cruise control για υποβοήθηση κατά την οδήγηση μεγάλων αποστάσεων και ελαχιστοποίηση του κινδύνου υπέρβασης ταχύτητας. Σχεδόν όλα τα αυτοκίνητα σήμερα προσφέρουν αυτόνομη τεχνολογία επιπέδου 0. Ο οδηγός είναι ο μόνος υπεύθυνος για όλες τις δραστηριότητες οδήγησης, καθιστώντας αυτά τα οχήματα τα λιγότερο αυτόνομα ή μη αυτόνομα.

Επίπεδο 1: Βοήθεια οδηγού. Αυτό το επίπεδο αυτοματισμού σημαίνει ότι ο οδηγός μπορεί να απολαμβάνει δυνατότητες και χαρακτηριστικά όπως προσαρμοστικό cruise control και υποβοήθηση διατήρησης λωρίδας για μία διευκολυνομένη εμπειρία οδήγησης. Το προσαρμοζόμενο cruise control διατηρεί ασφαλή απόσταση με τα κοντινά οχήματα χρησιμοποιώντας ραντάρ ή κάμερες που μπορούν να φρενάρουν αυτόματα σε περιπτώσεις αργής κυκλοφορίας και μπορούν να επιταχύνουν σε περίπτωση καθαρού δρόμου, εντός του ορίου ταχύτητας. Τέτοια οχήματα έχουν ένα αυτόματο λειτουργικό σύστημα όπως το Ηλεκτρονικό Έλεγχο Ευστάθειας (ESC), το Προσαρμοστικό Ελέγχου Ταξιδιού (ACC), το Υποβοήθηση Φρένων Έκτακτης Ανάγκης (EBA) και άλλα. Αυτό το επίπεδο αυτονομίας έρχεται στα περισσότερα από τα προηγμένα αυτοκίνητα αυτές τις μέρες και βοηθά τον οδηγό. Ωστόσο, ο αυτοματισμός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλήρη οδήγηση.

Επίπεδο 2: Μερικός Αυτοματισμός. Τα οχήματα με αυτοματισμό επιπέδου 2 διαθέτουν δύο ή περισσότερα αυτόνομα συστήματα που λειτουργούν ταυτόχρονα. Ωστόσο, ακόμη και σε αυτό το είδος αυτοματισμού, ο οδηγός πρέπει να ελέγχει το τιμόνι και να είναι εκεί για να πάρει τον έλεγχο ανά πάσα στιγμή. Το πρόβλημα με αυτό το είδος αυτοματοποιημένου οχήματος είναι ότι μπορεί να απαιτείται η προσοχή του οδηγού ανά πάσα στιγμή και να ανταποκρίνεται με βάση την κατάσταση του δρόμου ή τα γεγονότα. Επομένως, το αυτόνομο σύστημα σε αυτό το επίπεδο 2 οχημάτων δεν είναι αρκετά ικανό να αποτρέψει ορισμένα είδη ατυχημάτων ή προβλημάτων. Το Tesla Autopilot, το Volvo Pilot Assist, το Audi Traffic Jam Assist είναι μερικά παραδείγματα αυτόνομων δυνατοτήτων επιπέδου 2.

Επίπεδο 3: Αυτοματισμός οδήγησης υπό όρους. Αυτό το επίπεδο αυτοματισμού είναι η μετάβαση μεταξύ των σημερινών αυτόνομων οχημάτων και εκείνων που επιφυλάσσει το μέλλον, δηλαδή η πραγματικότητα της ύπαρξης ενός οχήματος χωρίς οδηγό υπό ιδανικές συνθήκες και με ορισμένους περιορισμούς. Σε αυτά τα οχήματα, αν και ο οδηγός είναι εκτός τιμονιού, απαιτείται η παρουσία του. Σε περίπτωση που η κατάσταση στο δρόμο πέσει κάτω από το ιδανικό, ο οδηγός αναμένεται να αναλάβει. Αυτά τα αυτοκίνητα είναι εξαιρετικά αυτοματοποιημένα, ενώ δεν μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς έναν άνθρωπο που λειτουργεί ως θόνη για την επίβλεψη κάθε έκτακτης ανάγκης.

Επίπεδο 4: Υψηλός αυτοματισμός οδήγησης. Τα αυτόνομα οχήματα επιπέδου 4 είναι πλήρως ικανά να οδηγούν μόνα τους. Όμως, σε συγκεκριμένες συνθήκες, το αυτόνομο σύστημα μπορεί να προειδοποιήσει τον οδηγό να αναλάβει τον έλεγχο σε περίπτωση που η κατάσταση επιδεινωθεί πέρα από αυτά που αναφέρονται ή έχουν προγραμματιστεί. Αυτά τα οχήματα είναι σε θέση να ελέγχουν πλήρως σε περίπτωση που ο οδηγός δεν επέμβει. Αυτό δίνει στον οδηγό την ευελιξία να χαλαρώνει και να μην δίνει σημασία στο δρόμο. Το NEXO της Hyundai ολοκλήρωσε με επιτυχία μια πρώτη δοκιμαστική διαδρομή 190 χιλιομέτρων μεταξύ Σεούλ και Πιονγκτσάνγκ που περιλάμβανε ελιγμούς αλλαγής λωρίδας και διέλευσης, καθώς και μεταβάσεις μέσω σταθμών διοδίων.

Επίπεδο 5: Πλήρης Αυτοματισμός Οδήγησης. Αυτά τα οχήματα είναι πλήρως αυτόνομα και δεν χρειάζονται οδηγό πίσω από το τιμόνι. Δεν πρέπει να υπάρχουν περιορισμοί, καταστάσεις, συνθήκες ή περιστάσεις όπου απαιτείται οδηγός. Αυτά τα οχήματα μπορεί να μην έχουν καν τιμόνι ή πεντάλ φρένων. Μπορούν να εργαστούν με φωνητικές εντολές των επιβατών γύρω από τον προορισμό.



## 2.4 Αυτόνομα οχήματα και λήψη αποφάσεων.

Με την ανάπτυξη της επιστήμης και της οικονομίας, η τεχνολογία της αυτόνομης οδήγησης έγινε σταδιακά το επίκεντρο των ερευνών από τις ευρείες προοπτικές εφαρμογής της. Στον αστικό τομέα, τα αυτόνομα οχήματα έχουν μεγάλες δυνατότητες στη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και στην άμβλυση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το αυτόνομο όχημα είναι ένα ολοκληρωμένο έξυπνο σύστημα που ενσωματώνει τεχνολογίες περιβαλλοντικής αντίληψης, σχεδιασμού διαδρομής, λήψης αποφάσεων και ελέγχου κίνησης. Το σύστημα λήψεως αποφάσεων των αυτόνομων οχημάτων η «εγκέφαλος», είναι σημαντικό για την ασφαλή και αποτελεσματική οδήγηση των οχημάτων και ο τρόπος σχεδιασμού ενός υψηλούς ευφυΐας και αξιόπιστου συστήματος αποφάσεων γίνεται σταδιακά το επίκεντρο της έρευνας στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Η λήψη αποφάσεων αφορά τη δημιουργία ασφαλών και εύλογων συμπεριφορών οδήγησης σε ανθρώπινο επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές πληροφορίες, την κίνηση άλλων συμμετεχόντων στην κυκλοφορία και την εκτίμηση της κατάστασης των οχημάτων. Οι παραγόμενες συμπεριφορές οδήγησης λαμβάνονται υπόψη από το σύστημα ελέγχου κίνησης για την επίτευξη αποτελεσματικής λειτουργίας του αυτόνομου οχήματος. Γενικά, οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων μπορούν να χωριστούν σε κλασικές μεθόδους και μεθόδους βασισμένες στη μάθηση. Συνήθως, τα αυτόνομα οχήματα λειτουργούν σε πολύπλοκο, δυναμικό περιβάλλον σε συνεργασία με άλλους συμμετέχοντες στην κυκλοφορία. Οι κλασικές μέθοδοι δεν μπορούν να είναι πάντα αποτελεσματικές σε τέτοιο περιβάλλον οδήγησης, επομένως χρησιμοποιούνται μέθοδοι που βασίζονται στη μάθηση για την επίτευξη καλύτερης λήψης αποφάσεων για τα αυτόνομα οχήματα. Επιπλέον, με την έκτακτη ανάγκη νέων ισχυρών υπολογιστικών τεχνολογιών, οι προσεγγίσεις που βασίζονται στη μάθηση έχουν αποκτήσει τεράστια δημοτικότητα και ανάπτυξη στον τομέα των αυτόνομων οχημάτων. Επιπλέον, μια περιεκτική επισκόπηση της τεχνολογίας αυτόνομης οδήγησης συνοψίστηκε σε πολλές σχετικές μελέτες επί του θέματος, ωστόσο το περιεχόμενο της λήψης αποφάσεων δεν ήταν αρκετά λεπτομερές. (Ahem et al., 2015). Το σύστημα λήψης αποφάσεων σε αυτόνομα οχήματα είναι η μετάβαση του συστήματος περιβαλλοντικής αντίληψης και της κίνησης. Γενικά, οι εισροές του συστήματος λήψης αποφάσεων είναι περιβαλλοντικές ενδείξεις και η κατάσταση του οχήματος, ενώ τα

αποτελέσματα είναι σοβαρές στρατηγικές που περιλαμβάνουν συμπεριφορές υψηλού επιπέδου και εντολές ελέγχου χαμηλού επιπέδου που τροφοδοτούνται στο σύστημα σχεδιασμού κίνησης (Ales et al., 2019).

Συγκεκριμένα, οι εισροές του συστήματος λήψης αποφάσεων μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: Σχεδιασμός πλαισίου συστήματος λήψης αποφάσεων και περιβάλλουσες περιβαλλοντικές πληροφορίες. Τα μη επεξεργασμένα δεδομένα συλλέγονται συνήθως από διαφορετικούς τύπους αισθητήρων (Lidar, κάμερα, ραντάρ, κ.λπ.) που είναι εξοπλισμένοι στα οχήματα και στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία για να δημιουργηθούν αποτελέσματα αντίληψης - κυρίως συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών στατικών και δυναμικών αντικειμένων, πληροφοριών δρόμου και πληροφοριών σημάτων κυκλοφορίας -. Η κατάσταση των οχημάτων αντιπροσωπεύει κυρίως τη θέση που αποκτάται από το σύστημα GNSS/IMU και οι πληροφορίες κίνησης από το σύστημα εκτίμησης κίνησης. Ο χάρτης υψηλής ευκρίνειας (Χάρτης HD) δίνει το πλήθος πληροφοριών με ακρίβεια στο επίπεδο λωρίδας. Μπορεί να παραχθεί από το HD Map, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικό σύστημα περιβαλλοντικής αντίληψης των οχημάτων για τη βελτίωση της ακρίβειας αντίληψης και τη μείωση του υπολογιστικού κόστους. Τα αποτελέσματα του συστήματος λήψης αποφάσεων μπορούν να συναχθούν ως εξής: Συμπεριφορές υψηλού επιπέδου, όπως συγχώνευση, προσπέραση, διατήρηση λωρίδας και αλλαγή λωρίδας. Εντολές ελέγχου χαμηλού επιπέδου, περιλαμβάνουν κυρίως ταχύτητα γεωγραφικού μήκους, επιτάχυνση και γωνιακή ταχύτητα, επιτάχυνση (Anderson et al., 2014).

Τα κριτήρια σχεδιασμού του συστήματος λήψης αποφάσεων: Ο σκοπός του συστήματος λήψης αποφάσεων είναι να δημιουργήσει μια ανθρώπινη ασφαλή και αξιόπιστη στρατηγική οδήγησης, όπου απαιτείται να διαμορφωθούν σοβαρά κριτήρια σχεδιασμού για την επίτευξη της καλύτερης απόφασης. Πέντε πτυχές συνοψίζονται παρακάτω: Καλή απόδοση σε πραγματικό χρόνο για τη λήψη αποφάσεων, ισορροπία μεταξύ ασφάλειας στην οδήγηση και απόδοσης (συνήθως η προτεραιότητα της ασφάλειας είναι υψηλότερη από την απόδοση οδήγησης), λογική και σωστή παραγόμενη απόφαση, άνεση οδήγησης των οχημάτων (σταθερότητα διεύθυνσης, λιγότερο φρένο έκτακτης ανάγκης), υψηλή ικανότητα ανίχνευσης βλαβών. Προχωρώντας στους περιορισμούς σχεδιασμού του συστήματος λήψης αποφάσεων. Οι έρευνες για τις μεθόδους λήψης αποφάσεων πρέπει να λάβουν υπόψη πολλούς τύπους παραγόντων για την επίτευξη ενός πληρέστερου συστήματος. Αρκετοί περιορισμοί σχεδιασμού για το σύστημα λήψης αποφάσεων μπορούν να εξαχθούν από σχετικές

εργασίες που παρατίθενται ως εξής: Γενικά, οι πληροφορίες αντικειμένων σε μια ορισμένη απόσταση γύρω από το όχημα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα, θέση και ταχύτητα άλλων οχημάτων, την πρόβλεψη συμπεριφορών πεζών και οχημάτων, στατικά εμπόδια που τοποθετούνται ή πέφτουν σε δρόμους, οδικές περιοχές οδήγησης, κυκλοφορία και οδική σήμανση. Στη συνέχεια έχουμε τις πληροφορίες τοπικών κυκλοφοριακών κανονισμών: Αυτός ο περιορισμός αναφέρεται κυρίως στην τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας για τα αυτόνομα οχήματα κατά τη λήψη αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων των ορίων ταχύτητας στο δρόμο, απαγόρευσης στάθμευσης κ.λπ. Σε αυτό το κομμάτι περιλαμβάνεται η θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση των αυτόνομων οχημάτων. Η τρέχουσα λωρίδα και η επόμενη λωρίδα που θα εισέλθει θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη. (Abdulla, 2017).

Αποτελέσματα σχεδιασμού διαδρομής:

Ο σχεδιασμός διαδρομής μπορεί να χωριστεί σε συνολικό σχεδιασμό διαδρομής και τοπικό σχεδιασμό διαδρομής και η διαδικασία λήψης αποφάσεων λαμβάνει υπόψη κυρίως τα αποτελέσματα του τοπικού σχεδιασμού διαδρομής στο τρέχον περιβάλλον.

Ιστορικά αποτελέσματα λήψης αποφάσεων:

Ως προς αυτό αναφέρεται συγκεκριμένα στην αλληλουχία των ιστορικών αποφάσεων που λαμβάνονται από τα αυτόνομα οχήματα την τελευταία στιγμή (ή τις προηγούμενες στιγμές), οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη λήψη αποφάσεων την τρέχουσα στιγμή.

Ηθική οδήγησης:

Τα οχήματα θα πρέπει να συμμορφώνονται με την οδηγική δεοντολογία κατά τη λειτουργία όπως η ευγένεια στους πεζούς, η παροχή δρομολογίων σε ειδικά οχήματα (ασθενοφόρα, πυροσβεστικά οχήματα), το σβήσιμο της μεγάλης σκάλας για απέναντι οχήματα τη νύχτα, κ.λπ.

Σενάρια Συστήματος Λήψης Αποφάσεων:

Η λήψη αποφάσεων απαιτείται σχεδόν σε όλα τα σενάρια, εφόσον το αυτόνομο όχημα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας. Με τις αυξανόμενες απαιτήσεις για συστήματα λήψης αποφάσεων λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος οδήγησης, οι σχετικές έρευνες εστιάζουν στη συνεργασία V2V ή V2P σε ορισμένα τυπικά σενάρια, όπως το γενικό οδικό τμήμα, η ταχεία διαδρομή, η αστική διασταύρωση, η συγχώνευση κυκλοφορίας και ο κυκλικός κόμβος (Antonacopoulos et al., 2009).

Κλασικές μέθοδοι:

Γενικά, οι κλασικές μέθοδοι για τη λήψη αποφάσεων μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: Μεθόδους βασισμένες σε κανόνες, μεθόδους βελτιστοποίησης και πιθανολογικές μεθόδους.

Μέθοδοι βάσει κανόνων:

Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων που βασίζονται σε κανόνες εξαρτώνται από μια βάση δεδομένων κανόνων που έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με πολλούς νόμους οδικής κυκλοφορίας, εμπειρία οδήγησης και γνώσεις οδήγησης. Στη συνέχεια καθορίζονται στρατηγικές, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετική κατάσταση των οχημάτων. Η πιο αντιπροσωπευτική των μεθόδων που βασίζεται σε κανόνες είναι η μέθοδος Μηχανής Πεπερασμένης Κατάστασης (FSM). Το FSM είναι ένα μαθηματικό μοντέλο με διακριτές εισόδους και εξόδους, οι αντίστοιχες ενέργειες δημιουργούνται ανάλογα με την απόκριση σε εξωτερικά συμβάντα και οι καταστάσεις των παραγόντων στη συνέχεια μεταφέρονται από το ένα στο άλλο. (Asgari et al., 2021).

Όταν αντιμετωπίζονται πολύπλοκα αστικά περιβάλλοντα, όπως οδικές διασταυρώσεις, όπου υπάρχουν διάφορες αβεβαιότητες, μια προσέγγιση βασισμένη σε κανόνες δεν μπορεί να διατηρήσει την ασφάλη και αποτελεσματική οδήγηση. Έτσι, κάποιες άλλες προσεγγίσεις με περισσότερη ευφυΐα, όπως η βελτιστοποίηση και οι μέθοδοι που βασίζονται στη μάθηση, έχουν συζητηθεί ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες. Δεδομένου ότι κανένα ενιαίο μοντέλο δεν μπορεί να χειριστεί όλα τα σενάρια, ο σχεδιασμός και οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων των οχημάτων στο περίπλοκο αστικό περιβάλλον οδήγησης εξακολουθεί να είναι προκλητικός. Έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι βελτιστοποίησης για τη δημιουργία μονοπατιών και ταχύτητας για τα οχήματα στις διασταυρώσεις με στόχο τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου και την αύξηση της απόδοσης μεταφοράς, σε πλήρως συνδεδεμένες και μερικώς συνδεδεμένες κυκλοφορίες. Η ποιότητα της παραγόμενης διαδρομής έχει εισαγάγει έναν ευρετικό αλγόριθμο για να βελτιώσει τις τροχιές μιας ομάδας συνδεδεμένων οχημάτων (Jarnea et al., 2015).

Επιπλέον, έχει εφαρμοστεί μια ενισχυτική μάθηση για να λύσουν το πρόβλημα λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την ολοκλήρωση εργασιών σε συνδεδεμένα και μη συνδεδεμένα σενάρια αναλόγως.

## 2.5 Αυτόνομα οχήματα και ασφάλεια.

Τα αυτόνομα οχήματα (AV) προωθούνται ως τεχνολογία που θα δημιουργήσει ένα μέλλον με αβίαστη οδήγηση και ουσιαστικά χωρίς τροχαία ατυχήματα. Οι εταιρείες κατασκευής αυτόνομων οχημάτων ισχυρίζονται ότι, όταν αναπτυχθεί πλήρως, η τεχνολογία θα εξαλείψει το 94% όλων των ατυχημάτων που προκαλούνται από ανθρώπινο λάθος. Πράγματι, τα αυτόνομα οχήματα πιθανότατα θα αποφύγουν τον μεγάλο αριθμό ατυχημάτων που προκαλούνται από μειωμένους, αποσπασμένους ή απερίσκεπτους οδηγούς. Ωστόσο, παραμένει ένα σημαντικό ποσοστό ατυχημάτων για τα οποία κανένας οδηγός δεν ευθύνεται άμεσα. Συγκεκριμένα, η απουσία συνδεσιμότητας ενός αυτόνομου οχήματος με τα γειτονικά του οχήματα (V2V) και την υποδομή (I2V) οδηγεί σε έλλειψη πληροφοριών που μπορούν να προκαλέσουν συγκρούσεις. Δεδομένου ότι τα σχέδια αυτόνομων οχημάτων σήμερα δεν απαιτούν τέτοια συνδεσιμότητα, αυτά τα σφάλματα θα συνεχίσουν να υπάρχουν στο μέλλον. Συνδυάζοντας θεωρητικά μοντέλα και εμπειρικά δεδομένα, υποστηρίζεται επίσης ότι επικίνδυνα σενάρια θα συμβούν σε σημαντικά υψηλή πιθανότητα. Αυτό υποδηλώνει ότι η ενσωμάτωση της συνδεσιμότητας είναι ένα ουσιαστικό βήμα στην πορεία προς την ασφαλή τεχνολογία αυτόνομων οχημάτων (Taher et al., 2017).

## 2.6 Πλεονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων.

Τα πλεονεκτήματα της αυτοματοποίησης των οχημάτων είναι πολλά. Αυτά τα οχήματα θα διευκολύνουν τα άτομα με ειδικές ικανότητες, όπως προβλήματα όρασης, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ταξιδεύουν χωρίς βοήθεια. Επιπλέον θα βελτιώσουν τη ζωή των ανθρώπων που έχουν παραχώδεις δουλειές, μεγάλες και εξαντλητικές μετακινήσεις. Αυτό θα αυξήσει τις ώρες της εργάσιμης ημέρας των ανθρώπων που διαφορετικά χάνονταν όταν οδηγούσαν στο δρόμο. Οι καταναλωτές σε όλο τον κόσμο είναι ενθουσιασμένοι με αυτά τα ρομπότ οχήματα, ωστόσο ανησυχούν πολύ για την ασφάλεια και την οικονομική προσιτότητα αυτών των οχημάτων. Εξετάζοντας την πρόοδο, μπορούμε να ελπίζουμε ότι θα έχουμε όλα τα είδη

προσιτών επιλογών για τους ανθρώπους γενικά που θα επωφεληθούν από αυτήν την αυτόνομη τεχνολογία (Hou et al., 2017).

Άλλα πλεονεκτήματα που συγγατελέγονται (Ren et al., 2019):

Διορατικότητα 360°: Χάρη στην τεχνολογία υψηλής ακρίβειας, τα αυτόνομα οχήματα έχουν την ικανότητα να βλέπουν το περιβάλλον σε εύρος 360°, διπλάσια από τους ανθρώπους, οι οποίοι έχουν γωνία θέασης μόνο 180° οριζόντια.

Μειωμένα ατυχήματα: Χάρη στην όραση 360° και τα οχήματα που διασυνδέονται μεταξύ τους σε συνεχή επικοινωνία, τα ατυχήματα θα μειωθούν σημαντικά. Αν και (τουλάχιστον αρχικά) τα ατυχήματα δεν θα μειωθούν στο μηδέν, θα είναι πολύ λιγότερα από τα ατυχήματα που προκαλούνται από ανθρώπινη οδήγηση.

Υψηλότερη απόδοση κυκλοφορίας: Αν και εκτιμάται ότι η ταχύτητά τους στις μεγάλες πόλεις θα είναι μικρότερη, η αποδοτικότητα της κυκλοφορίας τους θα είναι μεγαλύτερη.

Βιώσιμα οχήματα: Αναμένεται ότι αυτά τα οχήματα θα λειτουργούν με βάση την καθαρή ενέργεια, επομένως οι εκπομπές άνθρακα και αερίων του θερμοκηπίου θα είναι πρακτικά μηδενικές.

## 2.7 Μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων.

Τα κύρια μειονεκτήματα των αυτόνομων οχημάτων (El Falou et al., 2003):

Θέματα προστασίας δεδομένων: Το πρώτο πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι, όντας συνεχώς συνδεδεμένο με ολόκληρο το περιβάλλον, μπορεί να μετατραπεί σε πρόβλημα στον κυβερνοχώρο προστασίας δεδομένων. Ακόμη και ο σωστός χειρισμός των οδικών δικτύων μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο.

Υψηλό κόστος υλοποίησης: Η υποδομή αυτόνομων οχημάτων περιστρέφεται γύρω από την κάλυψη δικτύου 5G, η οποία εξακολουθεί να είναι δαπανηρή, επομένως μπορεί να χρειαστεί πολύς χρόνος από τις

κυβερνήσεις για να επενδύσουν σε επαρκή υποδομή για βέλτιστη απόδοση των αυτόνομων οχημάτων.

Υψηλό κόστος οχημάτων: Αν και έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στη μείωση του κόστους παραγωγής των εργαλείων τους, αυτές οι περικοπές δεν είναι αρκετά χαμηλές για να τα καταστήσουν μια οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση για τη μέση οικογένεια. Θα περάσουν μερικά χρόνια μέχρι να γίνουν καθημερινή πραγματικότητα μέσα στην εμβέλεια της μεσαίας τάξης.

### 3. Αυτόνομα οχήματα στο αστικό περιβάλλον.

#### 3.1 Λήψη απόφασης σε διασταυρώσεις.

Τα σημερινά συστήματα υποβοήθησης οδήγησης έχουν κάνει την κυκλοφορία πιο αποτελεσματική και ασφαλέστερη και παρουσιάζουν σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά τη διαθεσιμότητα της αυτόνομης οδήγησης. Για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς συστημάτων υποστήριξης οδηγού ή ακόμα και αυτόνομων συστημάτων, απαιτούνται αλγόριθμοι που είναι ικανοί να χειρίζονται περίπλοκες καταστάσεις. Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει ορισμένες προσεγγίσεις σχετικά με την αντίληψη στον σχεδιασμό διαδρομής και τον έλεγχο. Ωστόσο, η λήψη αποφάσεων για αυτόνομη οδήγηση σε διασταυρώσεις εξακολουθεί να είναι ένα από τα σημαντικότερα σημεία συμφόρησης. Ο κύριος λόγος για τη δυσκολία στην ανάλυση της συμπεριφοράς στη διασταύρωση είναι ότι τα περισσότερα μοντέλα μπορεί να λειτουργήσουν μόνο όταν δίνονται μακροπρόθεσμες, ακριβείς προβλέψεις για τις τροχιές άλλων συμμετεχόντων. Στη συνέχεια, με επίκεντρο την ανάπτυξη ενός μοντέλου τακτικής λήψης αποφάσεων για αυτόνομα οχήματα σε σενάρια διέλευσης διασταυρώσεων (Bashiri et al., 2018):

Τα προβλήματα της ισχυρής τακτικής λήψης αποφάσεων για αυτόνομα οχήματα σε ένα περίπλοκο και δυναμικό αστικό περιβάλλον έχουν διερευνηθεί αρκετά εκτενώς από πολλούς οργανισμούς και ερευνητές, όπως η Google, το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon, το Berkeley και η Baidu. Η BMW για παράδειγμα και το Πανεπιστήμιο του Μονάχου κατέληξαν σε ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων που βασίζεται σε μερικώς παρατηρήσιμες

διαδικασίες λήψης αποφάσεων Markov model. Η NVIDIA χρησιμοποίησε ένα βαθύ συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (DCNN) για να δημιουργήσει ένα μοντέλο οδήγησης από άκρο σε άκρο (Berg et al., 2019).

Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότεροι ερευνητές έχουν αρχίσει να μελετούν τη συμπεριφορά λήψης αποφάσεων. Ο Chen καθιέρωσε ένα μοντέλο απόφασης οχήματος σε ένα αστικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας μια ιεραρχική μέθοδο μηχανής πεπερασμένης κατάστασης για διαφορετικούς οδηγούς και χαρακτηριστικά οδικού περιβάλλοντος. Οι Liu et al. υιοθέτησε τη θεωρία πρόβλεψης ελέγχου και τη θεωρία της ενισχυτικής μάθησης για να διαμορφώσει ένα μοντέλο απόφασης. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε αστικές διασταυρώσεις. Οι Ma et al. πρότεινε ένα πλαίσιο λήψης αποφάσεων με τίτλο «Σχέδιο-Απόφαση-Δράση» για αυτόνομα οχήματα σε σύνθετες αστικές διασταυρώσεις. Ο Lv et al. συνδύασε μεθόδους μηχανικής εκμάθησης εκτός σύνδεσης και διαδικτυακής εκμάθησης για να δημιουργήσει ένα εξατομικευμένο μοντέλο απόφασης που θα μπορούσε να προσομοιώσει τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του οδηγού. Ο Chen et al. χρησιμοποίησε τη θεωρία ακατέργαστων συνόλων για να εξάγει διαφορετικούς κανόνες απόφασης οδηγών. Επιπλέον χρησιμοποίησε μια νέα μέθοδο RSAN (τεχνητό νευρωνικό δίκτυο χονδροειδούς συνόλου) για να μάθει τις αποφάσεις που λαμβάνονται από έμπειρους ανθρώπους οδηγούς. Ωστόσο, αυτές οι μελέτες δεν έλαβαν υπόψη τα συνολικά σενάρια αλληλεπίδρασης και μπορούν να υιοθετηθούν μόνο για βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη τροχιάς (Bodale et al., 2016).

Πολλές μελέτες έχουν εστιάσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων των αυτόνομων οχημάτων σε ένα αστικό περιβάλλον και έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο πρόβλεψης τροχιάς οχήματος με βάση την διαδικασία Gauss (GPR) η οποία μπορεί να δημιουργήσει μακροπρόθεσμες προβλέψεις εισερχόμενων οχημάτων. Το πρόβλημα της επίλυσης συγκρούσεων μεταξύ οχημάτων σε διασταυρώσεις μοντελοποιείται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών αντικειμένων (MOP), στο οποίο η επιτάχυνση, ως η μόνη μεταβλητή απόφασης, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των οχημάτων. (Carion et al., 2020).

Η τεχνολογία σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων σε διασταυρώσεις είναι ένα ολοκληρωμένο ερευνητικό πρόβλημα στα ευφυή συστήματα μεταφορών λόγω των αβεβαιοτήτων που προκαλούνται από μια ποικιλία συμμετεχόντων στην κυκλοφορία. Καθώς προχωρά η ασύρματη επικοινωνία, οι ενοποιημένοι αλγόριθμοι υποδομής οχημάτων που έχουν σχεδιαστεί για σχεδιασμό διασταυρώσεων και λήψη αποφάσεων έχουν



λάβει αυξανόμενη προσοχή. Παρουσιάζονται οι γενικές προσεγγίσεις σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν προσέγγιση βάσει γραφήματος, προσέγγιση βάσης πρόβλεψης, προσέγγιση βάσει βελτιστοποίησης και προσέγγιση βάσει μηχανικής μάθησης. Τόσο οι διασταυρώσεις τεσσάρων κατευθύνσεων όσο και οι μη σηματοδοτημένες διασταυρώσεις διερευνώνται υπό καθαρά αυτοματοποιημένη κίνηση οδήγησης και μικτή κυκλοφορία (Carion et al., 2020).

Πρόσφατα έχουν αντιμετωπιστεί διαφορετικά προβλήματα λήψης αποφάσεων για τα αυτόνομα οχήματα. Ανάλογα με τα σενάρια, ορισμένοι επικεντρώνονται στην αλλαγή λωρίδας (Bahram et al., 2014) ενώ άλλα επικεντρώνονται στις διασταυρώσεις. Η εξαγωγή προφίλ οδηγούμενης ταχύτητας έχει χρησιμοποιηθεί εκ νέου για διαφορετικούς σκοπούς. Αυτό χρησιμοποιήθηκε (Geng et al., 2016) για μοντέλο αυτοματοποιημένης συμπεριφοράς οχήματος δημιουργώντας ένα νευρωνικό σύστημα δικτύου που προβλέπει την απόκλιση της ταχύτητας σε καμπύλες δρόμους και στροφές. Μια λειτουργική διακριτοποίηση του μοντέλου προβλέπει χώρους για διέλευση οδικών διασταυρώσεων λαμβάνοντας υπόψη την εξαγωγή προφίλ ταχύτητας. (Barbier et al., 2016).

### 3.1.1 Λήψη απόφασης σε διασταυρώσεις χωρίς σήμανση.

Η τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης έχει αναπτυχθεί ραγδαία την τελευταία δεκαετία. Στο DARPA Urban Challenge τα αυτόνομα οχήματα έδειξαν τις ικανότητές τους για αλληλεπίδραση σε ορισμένα τυπικά σενάρια, όπως διασταυρώσεις Tee και οδήγηση λωρίδων. Το 2011, η Google κυκλοφόρησε τις πλατφόρμες αυτόνομης οδήγησης. Πάνω από 10.000 μίλια αυτόνομης οδήγησης για κάθε όχημα ολοκληρώθηκαν υπό διάφορες συνθήκες κυκλοφορίας. Επιπλέον, πολλές μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες σχεδιάζουν επίσης να λανσάρουν το προϊόν αυτόνομης οδήγησης μέσα στα επόμενα χρόνια. Με αυτές τις σημαντικές προόδους, τα αυτόνομα οχήματα έχουν δείξει τις δυνατότητές τους να μειώσουν τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων και να λύσουν το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης (Daily et al., 2018).

Μια βασική πρόκληση για τα αυτόνομα οχήματα που οδηγούνται στον πραγματικό κόσμο είναι ο τρόπος αντιμετώπισης των αβεβαιοτήτων, όπως η αντίληψη της ανακρίβειας και οι ασαφείς προθέσεις κίνησης. Με την ανάπτυξη του ευφυούς συστήματος μεταφορών (ITS), η αβεβαιότητα της αντίληψης θα μπορούσε να λυθεί μέσω της τεχνολογίας όχημα2X και οι

αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτόνομων οχημάτων μπορούν να επιλυθούν με κεντρικούς ή αποκεντρωμένους αλγόριθμους συνεργατικού ελέγχου. Ωστόσο, τα οχήματα που οδηγούνται από ανθρώπους θα εξακολουθούν να κυριαρχούν σε σύντομο χρονικό διάστημα και οι αβεβαιότητες σχετικά με τις οδηγικές τους προθέσεις θα εξακολουθούν να διατηρούνται λόγω της έλλειψης «αισθητήρα πρόθεσης». Οι άνθρωποι οδηγοί προβλέπουν πιθανές συγκρούσεις, λαμβάνουν συνεχώς αποφάσεις και προσαρμόζουν τις τη συμπεριφορά οδήγησης τους που συχνά δεν είναι ορθολογικές. Επομένως, τα αυτόνομα οχήματα πρέπει να κατανοούν τις προθέσεις οδήγησης των ανθρώπινων οδηγών και να επιλέγουν τις κατάλληλες ενέργειες για να συμπεριφέρονται συνεργατικά (Daimon et al., 2010). Όπως έχει διατυπωθεί [3.1], τα περισσότερα μοντέλα πρόβλεψης κίνησης αφορούν μακροπρόθεσμες καταστάσεις, για αυτό και οι διασταυρώσεις χωρίς σήμανση αποτελούν περιπτώσεις μεγάλης αβεβαιότητας και σημαντική πρόκληση στην εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων.

Οι διασταυρώσεις χωρίς σήμανση είναι ένα σύνθετο σενάριο με υψηλό ποσοστό ατυχημάτων. Στις ΗΠΑ, τα σήματα στάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ομαλοποίηση της ακολουθίας διέλευσης των οχημάτων. Ωστόσο, δεν είναι λίγες οι φορές που αυτού του είδους τα σήματα παραβιάζονται από ορισμένους επιθετικούς οδηγούς. Αποτυχίες αντίληψης, παρεξηγήσεις και λανθασμένες αποφάσεις είναι πιθανό να πραγματοποιηθούν από οδηγούς. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ακόμη και τα σήματα στοπ είναι πιθανό να παραβιαστούν. Επιπλέον, οι ανθρώπινες συμπεριφορές οδήγησης είναι πιθανό να αλλάξουν όσο περνά ο καιρός. Με αυτές τις αβέβαιες καταστάσεις, τη συγκεκριμένη διάταξη και τους κανόνες κυκλοφορίας, όταν αυτόνομα οχήματα πλησιάζουν σε μια διασταύρωση, θα πρέπει να έχουν πιθανή ικανότητα να αναγνωρίζουν τη συμπεριφορά άλλων οχημάτων και να δίνουν μια κατάλληλη αντίστοιχη συμπεριφορά λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική εξέλιξη του κυκλοφοριακού σεναρίου.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της σημασίας της λήψης αποφάσεων στις διασταυρώσεις χωρίς σήμανση παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (figure 1):

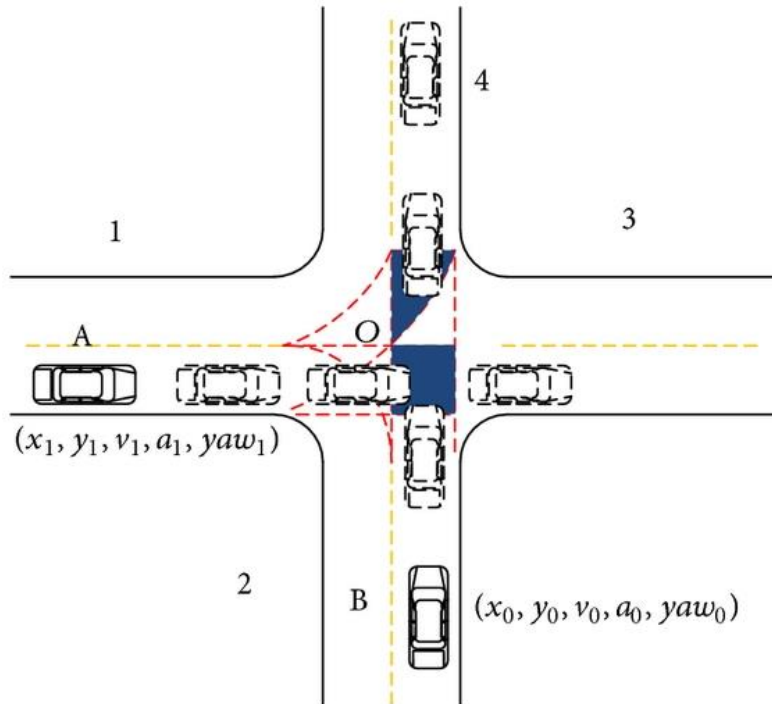


Figure 1: intersection

Το αυτόνομο όχημα B κινείται ευθεία, ενώ το συμβατικό όχημα A έχει τρεις πιθανές κατευθύνσεις οδήγησης: ευθεία, στροφή δεξιά ή αριστερά. Εάν το όχημα A στρίψει δεξιά, δεν θα επηρεάσει την κανονική οδήγηση του αυτόνομου οχήματος B. Αλλά οι άλλοι ελιγμοί, όπως η στροφή αριστερά και η ευθεία, θα οδηγήσουν σε πρόβλημα ακολουθίας διέλευσης. Επιπλέον, εάν έχουν πιθανή σύγκρουση, το αυτόνομο όχημα B θα προσομοιώσει τις τροχιές του οχήματος A σε έναν οριζοντα πρόβλεψης και θα δώσει τις καλύτερες ενέργειες στο τρέχον σενάριο. Τα οχήματα που σχεδιάζονται από γραμμές παύλας είναι οι μελλοντικές θέσεις πρόβλεψης. Οι κόκκινες γραμμές είναι η εικονική υπόθεση λωρίδας, που σημαίνει ότι τα οχήματα θεωρούνται ότι οδηγούνται εντός της λωρίδας. Η σκούρα μπλε περιοχή είναι η περιοχή πιθανής σύγκρουσης για αυτά τα δύο αυτοκίνητα.

Με αυτές τις απαιτήσεις, έχει προταθεί ένας αλγόριθμος λήψης αποφάσεων με επίγνωση της πρόθεσης για αυτόνομη οδήγηση σε μη ελεγχόμενη διασταύρωση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται αρχικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται εύκολα (π.χ. ταχύτητα και θέση) και συνεχές κρυφό μοντέλο Markov (HMM) (Rabiner & Juang, 2016) για να δημιουργηθεί το μοντέλο πρόβλεψης πρόθεσης, το οποίο εξάγει τις πλευρικές προθέσεις (π.χ. στρίψτε δεξιά, στρίψτε αριστερά και πηγαίνετε ευθεία) για οχήματα που οδηγούνται από ανθρώπους και διαμήκη συμπεριφορά (π.χ. η

κατάσταση υποχώρησης) για σχετικά οχήματα. Στη συνέχεια, χτίζεται ένα πλαίσιο δημιουργίας μερικώς παρατηρήσιμης διαδικασίας απόφασης Markov (POMDP) για να μοντελοποιήσει την αυτόνομη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Αυτό το πλαίσιο είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τις αβεβαιότητες στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των οδηγικών προθέσεων των οχημάτων που οδηγούνται από ανθρώπους. Ωστόσο, είναι δύσκολο να υπολογιστεί η βέλτιστη πολιτική για τη γενική απόφαση (POMDP) λόγω της πολυπλοκότητάς του. Γίνονται λογικές προσεγγίσεις και υποθέσεις για να λυθεί αυτό το πρόβλημα με χαμηλό υπολογιστικό τρόπο. Ένας μηχανισμός πρόβλεψης σεναρίων χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των μελλοντικών ενεργειών των οχημάτων που οδηγούνται από ανθρώπους με βάση τις πλευρικές και διαμήκεις προθέσεις τους και οι κατάλληλες συναρτήσεις έχουν σχεδιαστεί για την αξιολόγηση κάθε στρατηγικής. Ο χρόνος κυκλοφορίας, η ασφάλεια και οι νόμοι λαμβάνονται υπόψη. Η προτεινόμενη μέθοδος έχει αξιολογηθεί καλά κατά τη διάρκεια προσομοίωσης. Οι κύριες συνεισφορές αυτής της εργασίας ήταν οι εξής:

- (i) Μοντελοποίηση ενός παραγωγικού πλαισίου λήψης αποφάσεων αυτόνομης οδήγησης λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες (π.χ. την πρόθεση του ανθρώπινου οδηγού) στο περιβάλλον.
- (ii) Μοντελοποίηση πρόβλεψης πρόθεσης χρησιμοποιώντας εύκολα παρατηρούμενες παραμέτρους (π.χ. ταχύτητα και θέση) για την αναγνώριση των ρεαλιστικών πλευρικών και διαμηκών συμπεριφορών των συμβατικών οχημάτων.

### 3.2 Αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων με ευάλωτες ομάδες χρηστών του δρόμου.

Όσον αφορά τη συσχέτιση των VRUs (Vulnerable Road Users) με τα μηχανοκίνητα οχήματα που εξελίσσονται ολοένα και περισσότερο και πολλές λειτουργίες υποστηρίζουν τους οδηγούς σε διάφορες καταστάσεις κυκλοφορίας (αναμένεται ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί και ότι τα μελλοντικά συνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα (CAV) θα είναι σε θέση να χειρίζονται τις περισσότερες από τις λειτουργίες ελιγμών και ελέγχου του οχήματος σε όλα τα σενάρια κυκλοφορίας). Σε αστικά περιβάλλοντα, αυτό σημαίνει ότι τα CAV πρέπει να αλληλεπιδρούν με πεζούς, μοτοσικλετιστές και ποδηλάτες. Οι πεζοί, οι μοτοσικλετιστές και οι ποδηλάτες ανήκουν σε μια ταξινόμηση χρηστών του δρόμου που είναι γνωστή ως ευάλωτοι χρήστες του δρόμου (VRUs/ vulnerable road users), που ονομάζεται έτσι

επειδή είναι πιο ευάλωτοι σε τραυματισμούς σε περίπτωση οδικής σύγκρουσης. Τα ποδήλατα μπορούν να αποφευχθούν γρήγορα, καταλαμβάνουν λίγο χώρο και παρέχουν αραιές πρώτες ενδείξεις σχετικά με τους ελιγμούς που προορίζονται. Κατά συνέπεια, η πολυπλοκότητα του καθήκοντος οδήγησης αυξάνεται και οι οδηγοί (ή τα CAV/ connected autonomous vehicles) που περιμένουν μόνο τυπικές κινήσεις μηχανοκίνητου οχήματος μπορεί να μην ανιχνεύσουν και να μην ανταποκριθούν κατάλληλα σε αυτούς τους ελιγμούς. Αυτή η μη προβλεψιμότητα αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους ανθρώπινους οδηγούς και δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για τον προσδιορισμό του εάν τα CAV αντιμετωπίζουν παρόμοια πρόκληση. Είναι σίγουρα σημαντικό τα συστήματα των CAV να είναι ειδικά εκπαιδευμένα ώστε να ανταποκρίνονται σε αυτές τις συμπεριφορές. Οι μοτοσυκλέτες είναι πολύ ελκυστικές για τους χρήστες του δρόμου, επειδή το μικρό τους μέγεθος βοηθά τους αναβάτες να μετακινούνται εύκολα μέσα και έξω από την κυκλοφορία. Ωστόσο, το μέγεθός τους έχει και αρκετά μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, είναι ελαφριά, πράγμα που σημαίνει ότι οι αναβάτες θα μπορούσαν εύκολα να χάσουν τον έλεγχο σε ανώμαλες επιφάνειες του δρόμου, από ένα αντικείμενο στο δρόμο. Οι πεζοί διακρίνονται από πολλά βασικά χαρακτηριστικά, όπως η προσωπική επιλογή, η μεταβλητή δυναμική και η ευπάθεια. Αναμφισβήτητα, έχουν τα λιγότερο προβλέψιμα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των χρηστών του δρόμου και οι διαφορές τους αφορούν χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα βάρδισης, η ηλικία, η γνώση του περιβάλλοντος, η ατομική ή ομαδική διέλευση και η ώρα της ημέρας. Αυτές οι διαφορές στη συμπεριφορά VRU απαιτούν από τα CAV να εντοπίζουν αξιόπιστα άλλους τέτοιους χρήστες του δρόμου, αλλά επίσης απαιτούν από τους VRUs να αλληλεπιδρούν με CAV που είναι εξοπλισμένα με διαφορετικά επίπεδα αυτοματισμού. Ως εκ τούτου, αυτό απαιτεί διαφορετικές απαιτήσεις απόκρισης σε διαφορετικές κυκλοφοριακές καταστάσεις και συνθήκες για να πραγματοποιούνται τέτοιες αλληλεπιδράσεις με ασφάλεια. Αν και δεν είναι ακόμη βέβαιο πότε θα λειτουργήσουν πλήρως αυτόνομα οχήματα στους δρόμους, υπάρχει κάποια εικασία ότι, έως το 2040, οι περισσότεροι στόλοι θα είναι τουλάχιστον ημιαυτόνομοι. Ως εκ τούτου, οι πεζοί, οι ποδηλάτες, οι μοτοσικλετιστές και τα CAV πρέπει να μάθουν να συνυπάρχουν (Davoudian & Raynham, 2012). Η έρευνα για την ανθρώπινη συμπεριφορά που σχετίζεται με τα CAV, συμπεριλαμβανομένης της αποδοχής από τους χρήστες, κερδίζει το ενδιαφέρον. Αυτός είναι ένας σημαντικός τομέας μελέτης. Σε πολλές χώρες, έχουν διεξαχθεί μελέτες για την αξιολόγηση της κοινής γνώμης για τα CAV, για παράδειγμα, στην Αυστραλία, στο Ηνωμένο Βασίλειο και αλλού σε όλο τον κόσμο. Τα

ευρήματα γενικά δείχνουν ότι οι χρήστες βλέπουν οφέλη στα CAV, αλλά υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια, την ασφάλεια των δεδομένων, την έλλειψη ανοιχτού χαρακτήρα από τους προγραμματιστές κ.λπ. Ωστόσο, αν και ορισμένες μελέτες εξετάζουν τις προοπτικές άλλων χρηστών του δρόμου, όπως οι VRU, η πλειονότητα ασχολείται με τη μελέτη της στάσης των οδηγών για την υιοθέτηση CAV και πολύ λίγες μελέτες έχουν ζητήσει από τους οδηγούς ή τις VRU ομάδες το πώς θα μπορούσαν να αλλάξουν οι συμπεριφορές τους εάν πρόκειται για χρήση ή αλληλεπίδραση με ένα CAV. Επιπλέον, υπάρχει έλλειψη έρευνας που να συγκρίνει τις απόψεις των χρηστών του δρόμου σε διάφορες χώρες. Το ανθρώπινο λάθος αποδίδεται ως ο μεγαλύτερος παράγοντας που συμβάλλει σε ατυχήματα. Ως εκ τούτου, ερευνητές και ειδικοί σε θέματα οδικής ασφάλειας τονίζουν ότι τα πιθανά οφέλη για την οδική ασφάλεια των CAV θα μπορούσαν να επιτευχθούν με την απαλλαγή των ανθρώπων από την ευθύνη της οδήγησης. Τα CAV δεν κάνουν ανθρώπινα λάθη και δεν παραβιάζουν σκόπιμα τους κανονισμούς κυκλοφορίας. Ως εκ τούτου, θεωρείται ότι ξεπερνούν τους ανθρώπινους οδηγούς και έτσι συμβάλλουν σε σημαντική μείωση των οδικών συγκρούσεων. Ωστόσο, ορισμένοι ερευνητές εκφράζουν ορισμένες επιφυλάξεις για τέτοιες προσδοκίες. Υπάρχουν επίσης αβεβαιότητες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση των CAV με μη αυτοματοποιημένους χρήστες του δρόμου, ιδιαίτερα με VRU. Ως εκ τούτου, οι επακόλουθες επιπτώσεις στην ασφάλεια σε αυτές τις ομάδες χρηστών του δρόμου προκαλούν ανησυχία. Μέχρι σήμερα, η έρευνα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των CAV και των VRU έχει περιοριστεί στις τεχνικές πτυχές της ανίχνευσης και της αναγνώρισης πεζών, μοτοσικλετιστών και ποδηλατών από οχήματα, και πάλι εξεταζόμενη αποκλειστικά από τη στάση του οχήματος. Ωστόσο, οι ερευνητές αναφέρουν επίσης ότι είναι εξίσου σημαντικό να εξετάσουμε τα θέματα από τη στάση των VRU. Είναι σε θέση οι VRU να αλληλεπιδρούν αποτελεσματικά με τα CAV; Για παράδειγμα, θα επηρέαζε αυτό τις αποφάσεις διέλευσης ή τη συμμόρφωσή τους με τα κόκκινα φανάρια; Αν ναι, πώς; Θα είχαν την τάση να παραβιάζουν συχνότερα τους ελέγχους κυκλοφορίας, όπως τα κόκκινα φανάρια ή όχι; Κατά τη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου, με τον συνδυασμό πλήρως ή εν μέρει αυτόνομων και χειροκίνητων οχημάτων, είναι σε θέση οι πεζοί να κάνουν διαφοροποίηση μεταξύ αυτών των οχημάτων και θα προσαρμόσουν ανάλογα τη συμπεριφορά τους; (Du et al., 2016). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της μετάβασης, είναι πιθανό να υπάρχει ένας μεγάλος στόλος μερικώς αυτόνομων οχημάτων στο δρόμο και αυτά τα οχήματα μπορεί ξαφνικά να επιστρέψουν τον έλεγχο στον άνθρωπο οδηγό εάν αντιμετωπίσουν μια κατάσταση για την οποία δεν είναι

προγραμματισμένο να χειρίζεται. Πολλές έρευνες έχουν αφιερωθεί στην κατανόηση των ανησυχιών για την ασφάλεια γύρω από αυτό το ζήτημα, ιδίως, για το εάν ο άνθρωπος οδηγός θα μπορούσε να έχει την κατάλληλη επίγνωση της κατάστασης για να αντιδράσει εγκαίρως σε μια τέτοια κατάσταση. Η επιστροφή του ελέγχου στον άνθρωπο οδηγό που δεν είναι έτοιμος να ασχοληθεί ξανά με την οδήγηση θα μπορούσε να έχει ιδιαίτερα σοβαρές συνέπειες για τις VRU ομάδες. Οι μελέτες σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ των CAV και των VRU, και οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, έχουν λάβει σχετικά περιορισμένη προσοχή. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο τόσο να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην ασφάλεια μιας μετάβασης προς αυτοματοποιημένα οχήματα όσο και να προσδιοριστούν οι ενέργειες για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου που προκαλούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των CAV και των μη αυτοματοποιημένων χρηστών του δρόμου. Καθώς επίσης, και το εάν προκαλούν επικίνδυνες καταστάσεις και ατυχήματα. (Eyesenk & King, 2017).

### 3.2.1 Αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων με πεζούς.

Στο εγγύς μέλλον, μπορούμε να περιμένουμε μικτή κυκλοφοριακή κινητικότητα στην οποία οχήματα χωρίς, μερική ή πλήρη αυτοματοποίηση θα συνυπάρχουν και θα συνεργάζονται με συμμετέχοντες στην ανθρώπινη κυκλοφορία, συμπεριλαμβανομένων των ευάλωτων χρηστών του δρόμου (VRUs) όπως οι πεζοί και οι ποδηλάτες. Εκ πρώτης όψεως, η οδική κυκλοφορία φαίνεται να είναι ένα εξαιρετικά ρυθμισμένο σύστημα στο οποίο οι συμμετέχοντες ενεργούν σύμφωνα με τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας και όχι σύμφωνα με τις κανονιστικές πεποιθήσεις και αξίες τους. Πολλές αλληλεπιδράσεις στην αστική κυκλοφορία, ωστόσο, βασίζονται σε καθιερωμένους κοινωνικούς κανόνες και πρακτικές. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες στην κυκλοφορία που μπορούν να διαμορφώσουν τη συμπεριφορά των ατόμων. Υπάρχουν πολλές κυκλοφοριακές καταστάσεις στις οποίες ασκείται συνεργατική συμπεριφορά, όπως το να αφήνουμε έναν πεζό να περάσει σε αργή κυκλοφορία σε αστικό δρόμο, παρόλο που δεν υπάρχει φανάρι ή διάβαση πεζών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το αυτοκίνητο και ο οδηγός του χρησιμοποιούν ελάχιστα σημάδια συμπεριφοράς του οχήματος, όπως «ενδεικτικό» φρενάρισμα ή χειρονομίες που βοηθούν σε μια κατάσταση λήψης απόφασης όπως, το να διασχίσουν το δρόμο μπροστά από ένα αυτοκίνητο. Υπάρχει σαφής κατανόηση των πεζών ότι τα

αυτοματοποιημένα οχήματα υπόκεινται σε αυστηρές ρυθμίσεις και έχουν μέτρα ασφαλείας σε περίπτωση που κάποιος πεζός διασχίσει το δρόμο τους. Επομένως, το ερώτημα είναι, σε ποιες περιπτώσεις οι πεζοί θα εκμεταλλεύονταν πράγματι το τελευταίο όταν διασχίζουν έναν δρόμο βασιζόμενοι στα χαρακτηριστικά ασφαλείας των αυτόνομων οχημάτων (AV) και επιβάλλοντας το/τα όχημα/τα να σταματήσουν και να διεκδικήσουν το δικαίωμα να διασχίσουν το δρόμο. Ως εκ τούτου, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα άτομα θα αλληλεπιδρούν με τα AV στην αστική κυκλοφορία εξακολουθεί να αποτελεί βασική πρόκληση στην πορεία προς την αυτόνομη οδήγηση προτού τα AV μπορούν να πλοηγηθούν ανεξάρτητα στους δρόμους. (Fagnant & Kockelman, 2015).

Ενώ τα σήματα κυκλοφορίας, οι πινακίδες και η οδική σήμανση παρέχουν σαφείς οδηγίες για όσους λειτουργούν μέσα και γύρω από τους δρόμους, ορισμένες αποφάσεις, όπως ο προσδιορισμός του «ποιος θα πάει πρώτος», λαμβάνονται με άτυπες διαπραγματεύσεις μεταξύ των χρηστών του δρόμου. Σε τέτοιες καταστάσεις, οι πεζοί σήμερα εξαρτώνται συχνά από ενδείξεις στη συμπεριφορά των οδηγών, όπως η οπτική επαφή, οι στάσεις και οι χειρονομίες. Με την εισαγωγή περισσότερων αυτοματοποιημένων λειτουργιών και τη μεταφορά του ελέγχου από τον οδηγό στο όχημα, οι πεζοί δεν μπορούν πλέον να βασίζονται σε τέτοιες μη λεκτικές ενδείξεις. Σε πείραμα που έγινε στα πλαίσια μελέτης για τη χρήση διεπαφής στα AV, οι πεζοί δήλωσαν ότι ένιωθαν σημαντικά λιγότερο ασφαλείς όταν αντιμετώπισαν το AV χωρίς τη διεπαφή, σε σύγκριση με το συμβατικό όχημα και το AV με τη διεπαφή. Αυτό υποδηλώνει ότι η διεπαφή θα μπορούσε να συμβάλει σε μια θετική εμπειρία και βελτιωμένη αντιληπτή ασφάλεια στις συναντήσεις πεζών με AV – κάτι που μπορεί να είναι σημαντικό για τη γενική αποδοχή των AV. (Kretch & Adolph, 2015).

Η επικοινωνία με τους πεζούς μπορεί να είναι σιωπηρή, κάτι που επιτυγχάνεται από την κατάσταση του οχήματος, όπως η επιβράδυνση, η επιτάχυνση ή η απόσταση από τη διάβαση πεζών που μπορεί συχνά να δείξει την πρόθεση του αυτόνομου οχήματος (Risto et al., 2017). Η ρητή μορφή επικοινωνίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφορετικών τρόπων (π.χ. οπτικά, ακουστικά ή ραδιοφωνικά σήματα) που μπορεί να μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του οχήματος, τις πεποιθήσεις του σχετικά με το περιβάλλον του, την πρόθεσή του ή συμβουλευτικές πληροφορίες για άλλους χρήστες του δρόμου.

Οι πεζοί συχνά έρχονται σε οπτική επαφή με τους οδηγούς για να διασφαλίσουν ότι τους βλέπουν και ως απόκριση οι οδηγοί έρχονται σε επαφή με τα μάτια ή μεταδίδουν ένα σήμα, π.χ. επιβραδύνοντας, για να



αναγνωρίσουν την παρουσία τους. Για να προωθήσουν μια τέτοια αίσθηση αναγνώρισης, ορισμένες έρευνες χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά που μοιάζουν με τον άνθρωπο, όπως η κίνηση των ματιών σε αυτόνομα οχήματα (Chang et al., 2017) που ανιχνεύουν και ακολουθούν το βλέμμα των πεζών, ως εκ τούτου προσομοιώνουν την αίσθηση της οπτικής επαφής. Ορισμένοι ερευνητές φτάνουν επίσης στο σημείο να προτείνουν τη χρήση ενός ανθρωποειδούς ρομπότ στο κάθισμα του οδηγού για να εκτελούν ανθρώπινες χειρονομίες ή κινήσεις του σώματος για να επικοινωνούν με τους πεζούς (Mirnig et al., 2017). Προτείνονται επίσης και άλλες προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, στο AutoNoMI (Graziano, 2014) όταν το όχημα συναντά έναν πεζό, το τμήμα της διάταξης LED που βρίσκεται πιο κοντά στον πεζό ανάβει, επιβεβαιώνοντας ότι ο πεζός αναγνωρίζεται. Όταν ο πεζός αρχίζει να διασχίζει, το φωτεινό μέρος κινείται κατά μήκος της συστοιχίας, ακολουθώντας τον πεζό για να τον διαβεβαιώσει ότι εξακολουθεί να φαίνεται.

Τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να μοιράζονται τις πληροφορίες που αποκτούν, π.χ. τι βλέπουν στο περιβάλλον, με άλλους χρήστες του δρόμου, κάτι που με τη σειρά του τους βοηθά να ενεργούν ανάλογα. Τα ρητά σήματα μπορούν επίσης να εξυπηρετήσουν σε δύο σημαντικούς σκοπούς: να ενημερώσουν τους άλλους χρήστες του δρόμου σχετικά με το τι πρόκειται να κάνει το όχημα ή να τους συμβουλέψουν με μια συγκεκριμένη πορεία ενεργειών παρέχοντας καθοδηγητικά σήματα. Για παράδειγμα, το όχημα μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορα εικονογράμματα που μεταφέρουν την πρόθεση του οχήματος ή εμφανίζουν ρητά την ταχύτητά του σε μια δεδομένη στιγμή. Οι Lagstrom & Lundgren (2015) χρησιμοποιούν διαφορετικά μοτίβα φωτισμού μια σειρά από LED για να υποδείξουν εάν το αυτοκίνητο υποχωρεί ή πρόκειται να κινηθεί. Ορισμένα οχήματα δείχνουν την πρόθεσή τους προβάλλοντας σχέδια στην επιφάνεια του δρόμου. Η Mitsubishi, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί έναν δείκτη κατεύθυνσης που φωτίζει το δρόμο που προβάλλει μεγάλους, ευνόητους κινούμενους φωτισμούς στις επιφάνειες του δρόμου που υποδεικνύουν την πρόθεση του οχήματος, όπως οδήγηση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω (Mitsubishi, 2017). Εκτός από τη χρήση οθονών, ορισμένοι μελετητές προτείνουν οι πεζοί να χρησιμοποιούν φορητούς αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση διαφόρων προειδοποιητικών σημάτων σχετικά με την πρόθεση του οχήματος στους πεζούς.

Τα συμβουλευτικά εργαλεία επικοινωνίας χρησιμοποιούν παρόμοια μέσα για να καθοδηγήσουν άλλους χρήστες της δρόμου, όπως μια πινακίδα που υποδεικνύει εάν είναι ασφαλής η διέλευση, εμφανίζει ρητά γραπτά μηνύματα που υποδεικνύουν την επόμενη πορεία ενεργειών ή σχεδίαση

διέλευσης ζέβρας γραμμές στο έδαφος που υποδεικνύουν πού και πότε να διασχίσετε το δρόμο.

Δεν βασίζονται όλες οι προσεγγίσεις σε έναν τρόπο επικοινωνίας. Για παράδειγμα, ένας συνδυασμός έγχρωμων LED και σημάτων ήχου χρησιμοποιείται για τη μετάδοση προειδοποιητικών σημάτων (Florentine et al., 2016). Το Siripanich (2017) συνδυάζει φώτα LED με συμβουλευτικές πινακίδες για να ενημερώνει και να συμβουλεύει ταυτόχρονα τους πεζούς. Επιπλέον, οι Mahadevan et al. (2017) συνιστούν τη χρήση ενός φυσικού σήματος, όπως ένα κινούμενο ρομποτικό χέρι συνδεδεμένο στο όχημα. Συχνά μπορεί να είναι ωφέλιμο για άλλους χρήστες του δρόμου να γνωρίζουν πώς το αυτόνομο όχημα κατανοεί το περιβάλλον του. Παρόλο που όλες οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν προηγουμένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυνητικά για τέτοιο σκοπό, τεχνικές ανταλλαγής πληροφοριών όπως Vehicle to Vehicle (V2V) (Narla, 2013) ή Vehicles to Pedestrians (V2P) (Cunningham, 2017) θεωρούνται πιο αποτελεσματικά για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων που τους επιτρέπει να μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση ή τις πεποιθήσεις τους. Αυτές οι τεχνολογίες, ωστόσο, εγείρουν μια σειρά από ανησυχίες. Μία από αυτές είναι τα ζητήματα απορρήτου που σχετίζονται με την κοινή χρήση προσωπικών πληροφοριών των χρηστών του δρόμου. Επιπλέον, οι μελέτες δείχνουν ότι ένας μεγάλος αριθμός πεζών είναι απρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν τεχνολογίες V2P ισχυριζόμενοι ότι μεταθέτουν την ευθύνη πιθανών ατυχημάτων σε πεζούς και μακριά από τα αυτόνομα οχήματα (Autonomous and Connected Vehicles, 2014).

Παρόμοια με τις προσεγγίσεις V2V, μπορεί να δημιουργηθεί επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομής (V2I). Στις πρόσφατες εξελίξεις των έξυπνων δρόμων, χρησιμοποιούνται διάφορες μορφές αισθητήρων για την ανίχνευση γεγονότων όπως διάβαση οχημάτων ή πεζών, αλλαγές στις καιρικές συνθήκες ή διαφορετικές μορφές κινδύνων που μπορεί να οδηγήσουν σε ατυχήματα. Μέσω της χρήσης οπτικών εφέ, οι δρόμοι στη συνέχεια ενημερώνουν τους χρήστες του δρόμου για τις πιθανές απειλές (Sieß et al., 2015).

Στα έξυπνα συστήματα οδήγησης, οι τεχνικές εκτίμησης πρόθεσης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών (Ohn-Bar et al., 2014), άλλων οδηγών (Laugier et al., 2011) πεζών (Kooij et al., 2014) ή συνδυασμούς οποιουδήποτε από αυτούς τους τρεις.

Η πρόθεση κάποιου μπορεί να εκτιμηθεί εξετάζοντας το παρελθόν και την τρέχουσα συμπεριφορά του, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής, της

τρέχουσας δραστηριότητας και του πλαισίου. Υπάρχει ένας αριθμός έργων που βασίζονται καθαρά σε δεδομένα που σημαίνει ότι προσπαθούν να μοντελοποιήσουν την κατεύθυνση βάρδισης των πεζών με την υπόθεση ότι όλες οι σχετικές πληροφορίες είναι γνωστές στο σύστημα. Αυτά τα μοντέλα είτε βασίζουν την εκτίμησή τους σε δυναμικές πληροφορίες όπως η θέση και η ταχύτητα των πεζών (Schulz & Stiefelhagen, 2015), είτε επιπλέον λαμβάνουν υπόψη τις συμφραζόμενες πληροφορίες της σκηνής όπως η κατάσταση του σήματος των πεζών, είτε ο πεζός περπατά μόνος είτε σε ομάδα, και την απόστασή τους από το κράσπεδο. Σε ένα έργο των Brouwer et al. (2016) οι συγγραφείς διερευνούν το ρόλο διαφορετικών τύπων πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής των πεζών, της τρισδιάστατης πόζας τους στη σκηνή, της επίγνωσής τους όσον αφορά τον προσανατολισμό του κεφαλιού προς το όχημα και των εμποδίων στην εκτίμηση της σύγκρουσης. Οι συγγραφείς δείχνουν ότι, μεμονωμένα, τα φυσικά στοιχεία και η επίγνωση είναι οι καλύτεροι προγνωστικοί παράγοντες των συγκρούσεων, και συνδυάζοντας και τους τέσσερις παράγοντες μαζί, μπορούν να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης.

Οι αλγόριθμοι εκτίμησης πρόθεσης που βασίζονται στην όραση συχνά αντιμετωπίζουν το πρόβλημα στη παρακολούθηση ενός δυναμικού αντικειμένου λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στη θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό των πεζών ή λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στην τρισδιάστατη θέση τους. Στη ρομποτική, οι αλγόριθμοι πρόβλεψης πρόθεσης χρησιμοποιούνται ως μέσο βελτίωσης της επιλογής τροχιάς και της πλοήγησης. Εκτός από τις δυναμικές πληροφορίες, αυτές οι τεχνικές υποθέτουν έναν πιθανό στόχο για τους πεζούς βάσει του οποίου προβλέπονται οι τροχιές τους (Bai et al., 2015).

Το να βασίζεται κανείς μόνο στην τροχιά του πεζού και στους δυναμικούς παράγοντες για την εκτίμηση της πρόθεσής του υπόκειται σε σφάλμα. Για παράδειγμα, οι πεζοί μπορεί να αρχίσουν να περπατούν ξαφνικά, να αλλάξουν απότομα κατεύθυνση ή να σταματήσουν. Επιπλέον, οι παρατηρούμενοι πεζοί μπορεί να είναι ακίνητοι ή ακόμη και να περπατούν κατά μήκος του δρόμου ενώ ελέγχουν την κυκλοφορία για να περάσουν. Σε τέτοια σενάρια, ένας αλγόριθμος που βασίζεται στην τροχιά μπορεί να επισημάνει τους πεζούς ως μη απειλή σύγκρουσης, παρόλο που μπορεί να διασχίσουν σύντομα.

### 3.2.2 Αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων με ποδηλάτες.

Σε πολλές χώρες, και ιδιαίτερα σε πόλεις, το ποδήλατο είναι ένας σημαντικός τρόπος μεταφοράς. Σύμφωνα με το Ευρωβαρόμετρο κατά μέσο όρο περίπου το 8% των Ευρωπαίων πολιτών χρησιμοποιεί το ποδήλατο ως κύριο μέσο μεταφοράς. Η μελέτη έδειξε ότι υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των χωρών. Για παράδειγμα, οι Κάτω Χώρες έχουν μερίδιο ποδηλασίας 36%. Στη Γερμανία, περίπου το 30% των νοικοκυριών στις μεγάλες πόλεις έχουν μόνο ποδήλατα και δεν έχουν πλέον αυτοκίνητα ή άλλα μέσα μεταφοράς. Η σημασία της ποδηλασίας αναμένεται να αυξηθεί. Οι λόγοι περιλαμβάνουν την αυξανόμενη συμφόρηση στις πόλεις, ζητήματα υγείας και εθνικά ή τοπικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αν και οι επιπτώσεις στην υγεία, το περιβάλλον και τη ροή της αστικής κυκλοφορίας είναι γενικά θετικές, αντίθετα η ασφάλεια των ποδηλατών είναι και θα είναι μια περιοχή ανησυχίας. Οι ποδηλάτες είναι σωματικά απροστάτευτοι όταν βρίσκονται εν κυκλοφορία, με εξαίρεση όταν χρησιμοποιούν ποδηλατικά κράνη (κάποιος βαθμός προστασίας). Αυτό οδηγεί σε σχετικά υψηλό κίνδυνο τραυματισμού, ιδιαίτερα κατά τη σύγκρουση με ταχύτερο και βαρύτερο μηχανοκίνητο όχημα. Ως εκ τούτου, για λόγους οδικής ασφάλειας είναι σημαντικό η σταδιακή εισαγωγή αυτόνομων οχημάτων να μην οδηγεί σε περισσότερες ή πιο σοβαρές συγκρούσεις με ποδηλάτες (He et al., 2017). Καθώς ο αριθμός των ποδηλατιστών στις αστικές περιοχές συνεχίζει να αυξάνεται, η ανάγκη για ρεαλιστική μοντελοποίηση της κίνησης τους και των αλληλεπιδράσεων τους αποκτά ραγδαία σημασία για την περίπτωση της μικτής αστικής κυκλοφορίας. Ως απάντηση σε αυτή την ανάγκη, έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση των κινήσεων και των αλληλεπιδράσεων των ποδηλατιστών. Ωστόσο, η τελευταία λέξη της τεχνολογίας στη μοντελοποίηση της τακτικής συμπεριφοράς των ποδηλατών είναι λιγότερο ανεπτυγμένη. Είναι σημαντικό να μοντελοποιηθεί η ανεπηρέαστη αλλά και επηρεασμένη τακτική συμπεριφορά των ποδηλατών με ακρίβεια, επειδή η συμπεριφορά του ποδηλάτη περιορίζεται λιγότερο από οδικές σημάνσεις και κυκλοφοριακούς κανονισμούς. Τα αυτόνομα οχήματα (AV) θα επαναπροσδιορίσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρηστών του δρόμου. Επί του παρόντος, οι ποδηλάτες και οι οδηγοί επικοινωνούν μέσω σιωπηρών ενδείξεων (κίνηση οχήματος) και σαφών αλλά ανακριβών σημάτων (χειρονομίες, κόρνες). Τα μελλοντικά AV θα μπορούσαν να επικοινωνούν με συνέπεια την ευαισθητοποίηση και την πρόθεση και άλλα σχόλια στους ποδηλάτες με βάση τα δεδομένα των αισθητήρων τους. Μια μελέτη που σχετίζεται με την

αξιολόγηση διαπαφών AV-ποδηλάτη συνοψίζει ότι οι διεπαφές AV-ποδηλάτη μπορούν να βελτιώσουν την εμπιστοσύνη του αναβάτη σε σενάρια συγχώνευσης λωρίδων. Ωστόσο, ενώ, ενθαρρύνει το πιθανό θετικό αντίκτυπο που μπορεί να έχουν οι διεπαφές AV-ποδηλάτη στην κουλτούρα του ποδηλάτη, τονίζει επίσης τους κινδύνους που μπορεί να εγκυμονεί η υπερβολική εξάρτηση για τους ποδηλάτες (Fagnant & Kockelman, 2015).

Τα αυτόνομα οχήματα εισέρχονται σταδιακά στο οδικό μας σύστημα. Είναι πολύ πιθανό ότι θα υπάρξει μια μακρά περίοδος κατά την οποία τα πλήρως αυτόνομα οχήματα, τα εν μέρει αυτόνομα οχήματα, τα χειροκίνητα οχήματα και οι μη μηχανοκίνητοι χρήστες του δρόμου, συμπεριλαμβανομένων των ποδηλατών και των πεζών, θα πρέπει να μοιράζονται το οδικό περιβάλλον, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές. Μια μεγάλη πρόκληση για αυτήν τη μεταβατική περίοδο είναι να διασφαλιστεί ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτόνομων οχημάτων και μη αυτοματοποιημένων χρηστών του δρόμου δεν προκαλούν επιπλέον κινδύνους. Θα μπορούσαν να προκύψουν επιπλέον κίνδυνοι. Για παράδειγμα, επειδή οι μη αυτοματοποιημένοι χρήστες του δρόμου δεν έχουν (ακόμα) σωστές προσδοκίες για τη συμπεριφορά των αυτόνομων οχημάτων, κατά συνέπεια, ανταποκρίνονται διαφορετικά και ανεπαρκώς σε αυτά. (Guizzo, 2021).

Ένας τεράστιος όγκος έρευνας βρίσκεται σε εξέλιξη στον τομέα των αυτόνομων οχημάτων. Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στην τεχνολογία και πιο πρόσφατα επίσης στους ανθρώπους οδηγούς και την αλληλεπίδρασή τους με διαφορετικά επίπεδα αυτόνομων οχημάτων και σχετικά με την αποδοχή τους από τον χρήστη. Η αλληλεπίδραση αυτόνομων οχημάτων και ποδηλατών δεν είναι ακόμη ένα κοινό ερευνητικό θέμα. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων παραβλέπουν αυτό το μέρος της κυκλοφορίας. Πολλοί αναπτύσσουν συστήματα ασφάλειας και επικοινωνίας που στοχεύουν στην αποφυγή συγκρούσεων με μη μηχανοκίνητα οχήματα όπως οι ποδηλάτες. Για παράδειγμα, τα πλήρη συστήματα αυτόματης πέδησης μπορούν ήδη να ανιχνεύσουν ποδηλάτες (και άλλους χρήστες του δρόμου) σε τροχιά σύγκρουσης και να εκτελέσουν φρένο έκτακτης ανάγκης όταν χρειάζεται. Ωστόσο, μέχρι στιγμής, αυτά τα συστήματα επικεντρώνονται κυρίως στην προοπτική του αυτοκινήτου, και στους αισθητήρες του αυτοκινήτου που στοχεύουν στον εντοπισμό και την απόκριση με το περιβάλλον (Hou et al., 2017)

Είναι σημαντικό να διερευνηθούν και να καθοριστούν οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων και η συμπεριφορά των ποδηλατών στη μεταβατική περίοδο όπου η οδική κυκλοφορία θα αποτελείται από αυτόνομα και χειροκίνητα/

συμβατικά οχήματα, λαμβάνοντας την οπτική γωνία του ποδηλάτη. Αυτό είναι απαραίτητο επειδή οι ποδηλάτες μπορεί να ανταποκρίνονται διαφορετικά όταν αλληλεπιδρούν με ένα αυτόνομο όχημα που δεν «συμπεριφέρεται» όπως έχουν συνηθίσει. Επιπλέον, εάν δεν είναι σαφές για τους ποδηλάτες το εάν έχουν να κάνουν με ένα αυτόνομο όχημα ή ένα συμβατικό όχημα, θα μπορούσαν να γίνουν διστακτικοί ή, αντίθετα, υπερβολικά εξαρτημένοι από αυτό στη κίνηση τους. Είναι επίσης πιθανό να θέλουν να «δοκιμάσουν» τα αυτόνομα οχήματα για να δουν πώς ανταποκρίνονται δημιουργώντας μια κατάσταση σχεδόν σύγκρουσης. Έτσι, αν και τα αυτόνομα οχήματα προγραμματίζονται τώρα με βάση την τρέχουσα συμπεριφορά των χρηστών του δρόμου (στην περίπτωση αυτή των ποδηλατών), αυτή η συμπεριφορά μπορεί στο μέλλον να αποδειχθεί εντελώς διαφορετική (Ιοαννου, 2013).

Στο τρέχον οδικό σύστημα, οι αλληλεπιδράσεις της κυκλοφορίας βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε προσδοκίες, εμπειρία και προκαθορισμένες ενέργειες ρουτίνας. Οι χρήστες του δρόμου βασίζονται κυρίως τις προσδοκίες τους για το τι πρόκειται να κάνει ένας άλλος χρήστης του δρόμου στους υπάρχοντες κανόνες κυκλοφορίας, στο σχεδιασμό του δρόμου και στην τρέχουσα συμπεριφορά του χρήστη. Η λήψη αποφάσεων από τους χρήστες του δρόμου βασίζεται γενικά στους υπάρχοντες επίσημους κανόνες κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, παροχή δικαιώματος διέλευσης σε χρήστες του δρόμου που προέρχονται από τα δεξιά, εκτός εάν ρυθμίζεται διαφορετικά (είτε με πινακίδες είτε με φανάρια). Μερικές φορές, ωστόσο, οι κανόνες οδικής κυκλοφορίας είναι πιο διαφορετικοί ή η κατάσταση της κυκλοφορίας είναι πιο απαιτητική ή πολύπλοκη και εφαρμόζονται άτυποι κανόνες διέλευσης. Οι χρήστες του δρόμου μπορεί στη συνέχεια να επικοινωνούν μη λεκτικά για να διευκρινίσουν τις προθέσεις τους και να εξασφαλίσουν μια ομαλή αλληλεπίδραση. Η μη λεκτική επικοινωνία περιλαμβάνει συσκευές σηματοδότησης όπως παρωπίδες και φώτα φρένων, τη θέση και την ταχύτητα του οχήματος και τη συμπεριφορά του χρήστη του δρόμου, όπως η οπτική επαφή, το νεύμα και οι χειρονομίες. Η οπτική επαφή, το κούνημα του κεφαλιού και τα σήματα με τα χέρια είναι συγκεκριμένα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις οδηγού-ποδηλάτη, επειδή προβλέπουν καλά την προσοχή και την επίγνωση του άλλου (Ismail et al., 2020). Αυτοί οι παραδοσιακοί, καλά αποδεδειγμένοι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης στην κυκλοφορία είναι μόνο εν μέρει χρήσιμοι σε καταστάσεις με αυτόνομα οχήματα. Οι προσδοκίες για τη συμπεριφορά ενός αυτόνομου οχήματος μπορεί να βασίζονται λανθασμένα στις προσδοκίες ενός οχήματος που οδηγείται με το χέρι ή σε ενδεχομένως μη ρεαλιστικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, τι θα συμβεί όταν οι ποδηλάτες

υποθέσουν στα τυφλά ότι τα αυτόνομα οχήματα θα υποχωρήσουν και θα σταματήσουν για αυτούς στις διασταυρώσεις και όταν στρίβουν; Η μη λεκτική επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του δρόμου θα γίνει λίγο πολύ άχρηστη. Ποιο είναι το αποτέλεσμα της οπτικής επαφής με τον οδηγό ενός αυτόνομου οχήματος, εάν αυτό το άτομο στην πραγματικότητα δεν είναι το άτομο που αποφασίζει πότε θα φρενάρει; Μια άλλη σημαντική πρόκληση, ειδικά για τη μεταβατική περίοδο, είναι να διασφαλιστεί ότι οι χρήστες του δρόμου μπορούν να διακρίνουν (εν μέρει) τα αυτόνομα οχήματα από τα οχήματα που οδηγούνται με το χέρι (Jarnes et al., 2015).

### 3.3 Η ενσωμάτωση των αυτόνομων οχημάτων στο αστικό περιβάλλον και η επικοινωνία τους με άλλους χρήστες της οδού.

Η επανάσταση του αυτοκινήτου του περασμένου αιώνα μεταμόρφωσε το πρότυπο της αστικής ζωής και η ανάπτυξη είναι ακόμη σε εξέλιξη από τα οχήματα που οδηγούνται από ανθρώπους λόγω της ενσωμάτωσης οχημάτων αυτοματισμού και ψηφιακής τεχνολογίας μετασχηματισμού τηλεπικοινωνιών. Θα αλλάξουν πολλά με την ένταξη των μοντέλων αυτόνομης ανάπτυξης οχημάτων στις συνήθειες μετακίνησης και τελικά θα μεταμορφωθεί η αστικοποίηση. Η συζήτηση για την ανάπτυξη της αυτόνομης οδήγησης στα αστικά περιβάλλοντα έχει διχάσει (Para & Ferreira, 2018).

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας αυτοματισμού έχει γίνει σε περιβάλλοντα αυτοκινητοδρόμων όπου, αν και η κυκλοφορία ρέει με υψηλές ταχύτητες, οι αλληλεπιδράσεις των χρηστών του δρόμου είναι πιο προβλέψιμες από ό,τι σε αστικά περιβάλλοντα. Σε πόλεις και κωμοπόλεις, ωστόσο, οι τρόποι μετακίνησης είναι πιο διαφορετικοί και οι αλληλεπιδράσεις είναι πολύ πιο περίπλοκες. Μέσω τόσο του ενστίκτου όσο και της πολιτιστικής εκπαίδευσης, εκμεταλλευόμαστε την ανταλλαγή πολλών διαφορετικών μορφών σημάτων και κοινωνικών ενδείξεων για να προβλέψουμε τι σκοπεύουν να κάνουν οι άλλοι με το ποδήλατο, το περπάτημα, το τρέξιμο ώστε, να μας βοηθήσουν να πάρουμε αποφάσεις για τις κινήσεις μας. Τα AV θα πρέπει όχι μόνο να ανιχνεύουν VRU αλλά να προβλέψουν τη συμπεριφορά τους και να επικοινωνήσουν τις προθέσεις του οχήματος (Brown & Larier, 2017).

Η κοινή γνώμη ήταν ότι θα περάσουν δεκαετίες μέχρι να υπάρξει σημαντική παρουσία οχημάτων επιπέδου 4 SAE στο κυκλοφοριακό μείγμα. Η εισαγωγή

των πλήρως αυτόνομων οχημάτων Επιπέδου 5 θα έχει πολύ μεγαλύτερο χρονοδιάγραμμα. Έτσι, ενδέχεται να βλέπουμε μόνο AV Επιπέδου 5 σε ρυθμίσεις περιορισμένης χρήσης, όπως αυτή τη στιγμή παρατηρείται σε ορισμένες βιομηχανίες, ή ως λεωφορεία επιβατών με πολύ αργή κίνηση σε διαχωρισμένα περιβάλλοντα. Ορισμένοι ειδικοί ήταν της γνώμης ότι η πλήρης αυτονομία οδήγησης δεν θα επιτευχθεί ποτέ, δεδομένης της δυσκολίας επίτευξης προσαρμοστικότητας για όλες τις καιρικές συνθήκες, σε οδικά και κυκλοφοριακά σενάρια. Ορισμένοι ειδικοί επισήμαναν ότι οι ασάφειες στους ορισμούς των επιπέδων αυτοματισμού δημιουργεί κάποια εννοιολογική ασάφεια. Για παράδειγμα, ένα όχημα δημόσιας συγκοινωνίας Επιπέδου 4 μπορεί να είναι αυτόνομο για συγκεκριμένες διαδρομές, ενώ ένα προσωπικό AV μπορεί να λειτουργεί στο Επίπεδο 4 σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα, αλλά απαιτεί ανθρώπινη ανάληψη και έτσι επανέρχεται στον έλεγχο Επιπέδου 3 σε άλλα. Αρκετοί ερευνητές εξέφρασαν ανησυχίες για την ασφάλεια των οχημάτων Επιπέδου 3, επειδή η κατανομή των καθηκόντων παρακολούθησης και ελέγχου μεταξύ του οδηγού και του συστήματος, αντίστοιχα, έχει βρεθεί ότι προκαλεί σύγχυση στους οδηγούς ως προς τον ρόλο τους, γεγονός που οδήγησε σε παρεξήγηση, κακή χρήση ή υπερβολική εμπιστοσύνη σε αυτοματοποιημένα συστήματα. Αυτός ο διαχωρισμός κάνει επίσης τους οδηγούς να βαριούνται και να αδιαφορούν, διακυβεύοντας τις αντιδράσεις εξαγοράς σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Αυτά τα προβλήματα έχουν οδηγήσει σε συντριβές. Ως εκ τούτου, ορισμένοι ειδικοί πρότειναν ότι θα ήταν καλύτερο να περιοριστούν τα AV στους αυτοκινητόδρομους (Laurier, 2019).

Επίσης, καθώς περισσότερες από τις λειτουργίες οδήγησης αναλαμβάνονται από το όχημα και ο οδηγός/επιβάτης ελευθερώνεται για να κάνει άλλες εργασίες, η παραδοσιακή επικοινωνία ανθρώπου με άνθρωπο, όπως η οπτική επαφή και οι χειρονομίες των χεριών, μπορεί να λείπουν. Οι ειδικοί συμφώνησαν στην αναγκαιότητα των eHMI (external Human-Machine Interfaces) να υποστηρίζουν την επικοινωνία AV-to-VRU για ασφαλή αλληλεπίδραση. Τέτοιες συσκευές τοποθετούνται στο εξωτερικό των AV ή προβάλλονται από αυτά (αποσπασμένα HMI) για να επικοινωνούν με VRU (Kassner et al., 2014).

Η πλήρης ενσωμάτωση των AV δεν θα είναι άμεση, μπορεί να μην φτάσει ποτέ το 100%, οπότε πώς θα επηρεάσει αυτό το έργο της αντίληψης κινδύνου και της αλληλεπίδρασης της κυκλοφορίας τους VRU; Η έρευνα δείχνει ότι οι πεζοί και οι ποδηλάτες θέλουν τα AV να επικοινωνούν μαζί τους για να τους βοηθήσουν να αποφασίσουν πώς να ενεργήσουν σε μικτή κυκλοφορία. Θα αρκεί η μοντελοποίηση της επικοινωνίας με παραδοσιακά σήματα, όπως τα φρένα ή τα φλας ή θα απαιτηθούν νέοι τύποι σημάτων;



Οι ερευνητές συμφωνούν ότι οι AV δεν πρέπει να δίνουν συμβουλές ή οδηγίες, καθώς οι υπόλοιποι χρήστες χρειάζεται ακόμα να αξιολογήσουν τη συνολική κατάσταση της κυκλοφορίας για να λάβουν κατάλληλες και ασφαλείς αποφάσεις. Η υπερβολική εμπιστοσύνη στο μήνυμα AVs ενώ χάνονται άλλα σημαντικά σημάδια κυκλοφορίας μπορεί να οδηγήσει σε λάθος απόφαση. Για παράδειγμα, εάν ένα AV θα σταματήσει σε διάβαση πεζών ενώ άλλοι οδηγοί προχωρήσουν χωρίς να προσέξουν τον πεζό. Ομοίως, ένα εξατομικευμένο μήνυμα που αποστέλλεται από ένα AV θα μπορούσε να ληφθεί από λάθος άτομο, αναγκάζοντάς το να προβεί σε λάθος ενέργεια. Τα πρωτόκολλα συμπεριφοράς των AV και επικοινωνίας μπορεί επίσης να πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις πολιτισμικές διαφορές και τους τοπικούς κανόνες για τη συμμετοχή στην κυκλοφορία. Οι πληροφορίες από ένα AV δεν θα πρέπει να απευθύνονται μόνο σε έναν συμμετέχοντα στην κυκλοφορία, και ιδανικά θα ήταν αντιληπτές και ερμηνευμένες κι από άλλους συμμετέχοντες στην κυκλοφορία. Οι τρέχουσες μορφές επικοινωνίας μεταξύ των οδηγών και των VRU θα πρέπει με κάποιο τρόπο να αναπαραχθούν, με ισχυρότερα και πιο έξυπνα σημάδια που να είναι η σιωπηρή κίνηση του οχήματος - αλλαγές ταχύτητας και κατεύθυνσης και απόσταση (Kinisman et al., 2012). Όποιες και αν είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, το περιεχόμενο του μηνύματος πρέπει να γίνεται αντιληπτό και κατανοητό γρήγορα και εύκολα - καθώς και να περιορίζει την ποικιλομορφία ως προς τον πολιτισμό, τη γλώσσα, την ηλικία, τη γνωστική και αισθητηριοκινητική ικανότητα. Επισημάνθηκαν τα ακόλουθα κριτήρια για την επικοινωνία eHMI: Οι ενδείξεις πρέπει να είναι απλές - αρκετά εύκολες για να τις κατανοήσουν τα παιδιά, και έτσι να αποφεύγεται η ανάγκη για πολλαπλούς τύπους μηνυμάτων σε διαφορετικά δημογραφικά στοιχεία. Η επικοινωνία eHMI δεν πρέπει να δημιουργεί σύγχυση ή να αυξάνει το γνωστικό φορτίο προς τους χρήστες της οδού. Ωστόσο, σχετικά με αυτό το τελευταίο σημείο, έχει τονιστεί ότι μετά από κάποια έκθεση, οι άνθρωποι θα μάθουν γρήγορα τις νέες συμπεριφορές των AV. Η αναγκαιότητα της καθολικότητας των επικοινωνιών και των σημάτων eHMI απαιτεί να μην εξαρτώνται από τη γλώσσα, αλλά να προσυπογράφουν την καθολικότητα μεταξύ των πολιτισμών, των ηλικιών, των επιπέδων μόρφωσης και θα πρέπει να είναι τυποποιημένα. Τα μηνύματα και οι προειδοποιήσεις θα μπορούσαν να μεταδοθούν με ακουστικά, οπτικά, ακόμη και απτικά μέσα. Τα eHMIs μπορεί να χρειαστεί να είναι πολυτροπικά για την αντιμετώπιση μεμονωμένων αισθητηριακών περιορισμών όπως στους ηλικιωμένους και με προβλήματα όρασης ή ακοής. Το κείμενο θα πρέπει να αποφεύγεται, όχι μόνο λόγω της αναγκαιότητας της γλωσσικής μετάφρασης, αλλά και επειδή η διερμηνεία είναι λιγότερο

άμεση και η αναγνωσιμότητα μπορεί να διακυβεύεται από την απόσταση. Τα μηνύματα θα μπορούσαν να συνδυαστούν με φορητά συστήματα (π.χ. έξυπνες συσκευές που μεταφέρονται από VRU). (Klasson et al., 2019). Συμπερασματικά, τα κατάλληλα eHMIs θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και στους υπόλοιπους VRUs, ποδηλάτες, μοτοσικλετιστές.

Συμπερασματικά το αντίκτυπο της ένταξης των AV στο αστικό περιβάλλον υπό το αισιόδοξο σενάριο, είναι ότι οι τεχνολογίες AVs θα μπορούσαν να κινητοποιήσουν ένα καλύτερο αστικό περιβάλλον μειώνοντας τις απαιτήσεις χώρου στο χώρο στάθμευσης και το πλάτος του δρόμου, εξαλείφοντας τα τροχαία ατυχήματα, ελαχιστοποιώντας τις εκπομπές ρύπων καθώς και την ενίσχυση των αστικών οικονομικών δραστηριοτήτων. Τα AV μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη μεταφορά προμηθειών μέσω της αύξησης της μεταφορικής ικανότητας και της μείωσης του χρόνου ταξιδιού. Η ζήτηση για ταξίδια θα αυξηθεί επειδή τα άτομα δέχονται να μετακινούνται μακρύτερες αποστάσεις σε χαμηλότερες τιμές. Οι μετακινούμενοι μπορούν να ξοδέψουν χρόνο ταξιδιού στις ελεύθερες επιλογές τους αντί να δίνουν προσοχή στην οδήγηση. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στο απαισιόδοξο σενάριο για αύξηση της μεγαλύτερης αστικής εξάπλωσης, την πρόκληση εξάρτησης από το αυτοκίνητο, την υπερφόρτωση των οδικών υποδομών και την τόνωση των κοινωνικών ανισοτήτων. Επομένως, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ένα απόλυτα συγκεκριμένο σενάριο για το πώς αυτές οι αναδυόμενες τεχνολογίες κινητικότητας θα επηρεάσουν τον αστικό τρόπο ζωής. Η έλευση των AV θα μπορούσε να είναι κρίσιμη για τις πόλεις αναδυόμενων αγορών με ταχεία ανάπτυξη αστικοποίησης, ελλιπή πολεοδομικό σχεδιασμό και ανεπαρκή συστήματα μεταφορών.

### 3.4 Αυτόνομα και συμβατικά οχήματα.

Παρά τις πολυάριθμες μελέτες για τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-ρομπότ, στο πλαίσιο των μεταφορών, η αλληλεπίδραση αυτόνομου οχήματος (AV)-οδηγού δεν είναι ένα καλά μελετημένο θέμα. Αυτά τα οχήματα έχουν θεμελιωδώς διαφορετική λογική λήψης αποφάσεων σε σύγκριση με τους ανθρώπους οδηγούς και οι αλληλεπιδράσεις οδήγησης μεταξύ αυτόνομων οχημάτων και ανθρώπων μπορούν ενδεχομένως να αλλάξουν τη δυναμική της ροής της κυκλοφορίας. Μια μελέτη επικεντρώθηκε στη συμπεριφορά παρακολούθησης αυτοκινήτου και διεξήγαγε πολλά πειράματα παρακολούθησης χρησιμοποιώντας το αυτοματοποιημένο Chevy Bolt του

Πανεπιστημίου Texas A&M. Τα ευρήματα πρότειναν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της συμπεριφοράς των ανθρώπων οδηγών όταν πρόκειται για αλληλεπίδραση με AV και οι άνθρωποι αισθάνονταν πιο άνετα όταν ακολουθούν το AV. (Lin et al., 2014).

Ενώ η ασφάλεια είναι ο απώτερος στόχος του σχεδιασμού συνδεδεμένων αυτοματοποιημένων οχημάτων (CAV), τα τρέχοντα μέτρα ασφάλειας δεν παρέχουν επαρκή εικόνα για τη φύση των ατυχημάτων CAV.

Η συνδεσιμότητα και ο αυτοματισμός παρέχουν την ευκαιρία να ενισχυθεί η ασφάλεια και να μετριαστεί η συμφόρηση στα συστήματα μεταφορών. Στην πραγματικότητα, αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της λήψης αποφάσεων των οδηγών/οχημάτων με τη διαχείριση και τον συντονισμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτόνομων οχημάτων που οδηγούνται από ανθρώπους και συνδέονται. Αυτή η διαχείριση και ο συντονισμός μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός συνεργατικού συνδεδεμένου, αυτοματοποιημένου περιβάλλοντος οδήγησης. (Loh & Chan, 2019).

### 3.5 Αλληλεπίδραση οδηγού/επιβάτη και αυτόνομου οχήματος.

Στα μη αυτόνομα οχήματα, ο οδηγός ελέγχει το όχημα καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού και οι αλληλεπιδράσεις με το όχημα τείνουν προς παρεμβάσεις που δεν βασίζονται σε ελιγμούς, όπως η χρήση ράδιο ή ενός συστήματος πλοήγησης. Με τα αυξανόμενα επίπεδα αυτονομίας του οχήματος, ο έλεγχος ελιγμών, όπως το τιμόνι, το φρενάρισμα ή το σταμάτημα, τονίζουν ότι είναι ακόμα σημαντικό να έχει πρόσβαση ο οδηγός (αν και όχι πάντα) και τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να δώσουν αυτό τον έλεγχο στον οδηγό. Σε ένα όχημα Επιπέδου 5 (SAE), δεν υπάρχει ούτε παραδοσιακός έλεγχος ελιγμών ούτε ικανότητα ανάληψης. Ωστόσο, η ικανότητα ελέγχου του οχήματος αναγνωρίστηκε ως ο κύριος παράγοντας στην αποδοχή ενός αυτόνομου οχήματος. Ο Roedel et al. διαπίστωσε ότι οι άπειροι, νέοι οδηγοί δείχνουν χαμηλή αποδοχή στα AV καθώς αισθάνονται βαριεστημένοι και εκτός ελέγχου (Link et al., 2014).

Η αίσθηση ελέγχου στο αυτόνομο όχημα βασίζεται στην αποτελεσματική επικοινωνία με το όχημα. Για αυτοματισμούς κατώτερου επιπέδου (Επίπεδα SAE 2 και 3) εισηχθη η οδήγηση με βάση ελιγμούς για να διατηρείται ο οδηγός ενήμερος ελέγχοντας ή συνεργαζόμενος με το όχημα, για να καθοδηγεί και να χειρίζεται τους περιορισμούς του συστήματος αντί να παραδίδει τον έλεγχο. Ομοίως, στον αυτοματισμό υψηλότερου επιπέδου, έχει προταθεί η παρέμβαση με βάση τους ελιγμούς ως ο τρόπος επικοινωνίας των οδηγών με το FAV (Fully Autonomous Vehicle) προκειμένου να παρέμβουν στο αυτοματοποιημένο σύστημα για να εκτελέσουν τον επιθυμητό ελιγμό. Η παρέμβαση που βασίζεται σε ελιγμούς βελτιώνει την εμπιστοσύνη και την αποδοχή του αυτόνομου οχήματος διατηρώντας τον έλεγχο του οδηγού. Ωστόσο η εφαρμογή αυτών των παρεμβάσεων στα FAV απαιτεί νέο τρόπο εκτέλεσης της εντολής, καθώς τα τιμόνια και τα πεντάλ δεν έχουν σχεδιαστεί για χρήση για το σκοπό αυτό. Προηγούμενες μελέτες έχουν συζητήσει σενάρια παρέμβασης όπου ο οδηγός θέλει να επηρεάσει αυθόρμητα τη συμπεριφορά του FAV. Αυτές οι μελέτες έχουν επικεντρωθεί σε σενάρια παρέμβασης στην αυτοματοποιημένη οδήγηση που βασίζονται αποκλειστικά στον έλεγχο της οδήγησης οχήματος (οδήγηση βάσει ελιγμών) και τα οποία μπορεί να μην καλύπτουν όλες τις πιθανές πτυχές αλληλεπίδρασης. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι οι οδηγοί ενδιαφέρονται περισσότερο για την εκτέλεση των NDRTs (Non Driving Related Tasks), όπως χρήση πολυμέσων, τηλέφωνο ή tablet. Ομοίως, μελέτες χειροκίνητης οδήγησης διερεύνησαν πώς οι φυσικές και γνωστικές απαιτήσεις των NDRT επηρεάζουν την ποιότητα οδήγησης. Για παράδειγμα, το φαγητό και το κράτημα ενός τηλεφώνου έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν διαφορετικά το φυσικό φορτίο του οδηγού και απαιτούν διαφορετικά επίπεδα γνωστικής και σωματικής δέσμευσης (Madox et al., 2015).

Στα FAV, η διατήρηση του ελέγχου του οχήματος δεν είναι πλέον το κύριο καθήκον του οδηγού. Καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα για αίτημα ανάληψης ελέγχου από το FAV και οι οδηγοί μπορούν ελεύθερα και με σιγουριά να συμμετέχουν σε δραστηριότητες μη σχετικές της οδήγησης (Manyika et al., 2013).

Διαπιστώθηκε ότι η δυνατότητα εκτέλεσης NDRTs βρέθηκε ως σημαντικό πλεονέκτημα των FAVs. Στη χειροκίνητη οδήγηση, όπου η ίδια η οδήγηση είναι το πρωταρχικό καθήκον, οι τυπικές αλληλεπιδράσεις (π.χ. κουμπιά, άγγιγμα, φωνή και χειρονομίες) έχουν σχεδιαστεί για να αυξάνουν την ασφάλεια αντί να βελτιώνουν την απόδοση. Προηγούμενες μελέτες αυτόνομων οχημάτων έχουν διερευνήσει τη χρήση πάνελ αφής για τους οδηγούς, ώστε να επιλέξουν μία από τις προτεινόμενες προτάσεις του

οχήματος μέσω αφής που εφαρμόζεται στο τιμόνι (π.χ. να περάσει το αυτοκίνητο μπροστά ή να παραδώσει τον έλεγχο οδήγησης). Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις απαιτούν τα χέρια του οδηγού να είναι ελεύθερα για να αλληλεπιδρούν με το αυτόνομο όχημα - μια λιγότερο από ιδανική κατάσταση. Επιπλέον, ορισμένοι συμμετέχοντες δεν προτιμούν την αφή επειδή πρέπει να αλλάξουν τα μάτια τους από την οδική προβολή προς τη διεπαφή αφής (Ming et al., 2021).

Εκτός από την αλληλεπίδραση αφής, η χειρονομία έχει εφαρμοστεί στη παρέμβαση που βασίζεται σε ελιγμούς και για τον έλεγχο των πλευρικών και διαμήκων κινήσεων αυτόνομου οχήματος δείχνοντας υποσχόμενη χρηστικότητα ως αλληλεπίδραση απομακρυσμένης εισόδου. Ωστόσο υπάρχουν προβλήματα με τις αλληλεπικαλυπτόμενες εντολές και τα ποσοστά εσφαλμένης αναγνώρισης και οι οδηγοί δυσκολεύονται να θυμηθούν κάθε χειρονομία. Οι ερευνητές της αυτοκινητοβιομηχανίας προσπάθησαν να λύσουν αυτά τα προβλήματα προτείνοντας μια πολυτροπική είσοδο που συνδυάζει βλέμμα και χειρονομία, όπου το βλέμμα χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του στόχου και η χειρονομία για τον συντονισμό κατάδειξης. Η συνδυασμένη πολυτροπική είσοδος είναι πολλά υποσχόμενη, καθώς οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδρούν με ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών του οχήματος χωρίς να χρειάζεται να μάθουν νέες χειρονομίες (Moses & Anitha, 2017).

Η φωνητική είσοδος μπορεί να καλύψει τα μειονεκτήματα των εισόδων αφής ή χειρονομίας, υποστηρίζοντας αλληλεπιδράσεις εισόδου απομακρυσμένης συνομιλίας. Η φωνητική είσοδος, μια από τις πιο κοινές αλληλεπιδράσεις εισόδου στις σημερινές μελέτες αυτόνομων οχημάτων, έχει εφαρμοστεί για την υποστήριξη της συνεργασίας οδηγού-οχήματος. Ωστόσο, η φωνητική είσοδος μπορεί να μην λειτουργεί καλά σε ένα θορυβώδες περιβάλλον (π.χ. ομαδικές συνομιλίες) και οι οδηγοί μπορεί να μην εμπιστεύονται πλήρως την αναγνώριση ομιλίας ή μπορεί να μπερδεύονται σχετικά με την κατάλληλη εντολή για την έναρξη μιας επιθυμητής ενέργειας (Nieuwenhuijsen, 2015).

Για να απλοποιηθούν οι εντολές φωνητικής εισαγωγής, μελέτες σε αυτόνομα οχήματα και σε μη αυτόματα προτείνουν φωνητικές πολυτροπικές εισόδους όπως φωνή + άγγιγμα ή φωνή + χειρονομία. Έχει διαπιστωθεί σε μελέτη ότι η χειρονομία + φωνή ήταν πιο φυσική και λιγότερο απαιτητική γνωστικά από τη φωνή + άγγιγμα. Επιπλέον, η φωνή + το βλέμμα έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης σε σύγκριση με τη φωνή ως απλή μέθοδο εισαγωγής (Olsen, 2012).

Επιπλέον, δεδομένου ότι κάθε αλληλεπίδραση εισόδου έχει το δικό της γνωστικό και φυσικό φορτίο, οι διάφορες συνθήκες των NDRT μπορεί να επηρεάσουν τη συμπεριφορά αλληλεπίδρασης του οδηγού με τα FAV (Portois et al., 2013).

### 3.6 Συμπεράσματα κεφαλαίου.

Τα επιβατικά οχήματα εξοπλισμένα με προηγμένες λειτουργίες του συστήματος υποβοήθησης οδηγού (ADAS) γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα στους στόλους οχημάτων. Ωστόσο, τα πλήρη αποτελέσματα της προσφοράς τέτοιων συστημάτων, τα οποία μπορεί να επιτρέπουν στους οδηγούς να ασχολούνται λιγότερο από το 100% με την οδήγηση, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις σε άλλους χρήστες του δρόμου, ιδιαίτερα σε ευάλωτους χρήστες όπως πεζούς, ποδηλάτες ή και μοτοσικλετιστές.

Οι οδικές διασταυρώσεις είναι επί του παρόντος πολύ συνηθισμένες τοποθεσίες για ευάλωτα ατυχήματα χρηστών του δρόμου τόσο πεζών, όσο των ποδηλάτων και των μοτοσικλετιστών αλλά και των συμβατικών οχημάτων. Οι ροές κυκλοφορίας και οι συμπεριφορές των χρηστών του δρόμου σε διασταυρώσεις μπορεί να είναι απρόβλεπτες, με πολλά οχήματα να συμπεριφέρονται ασυνεπή.

Οι προκλήσεις της απρόβλεπτης ευάλωτης συμπεριφοράς των χρηστών του δρόμου σε διασταυρώσεις (συμπεριλαμβανομένων των χρηστών του δρόμου που παραβιάζουν τα σήματα κυκλοφορίας ή ασφαλούς διέλευσης ή άλλους κινδύνους) σε συνδυασμό με την έλλειψη γνώσης των αντιδράσεων CAV στους κανόνες διασταυρώσεων, θα μπορούσαν να είναι προβληματικές. Αυτό θα μπορούσε να επιδεινωθεί περαιτέρω από αλλαγές στην έλλειψη λεκτικής επικοινωνίας που υφίσταται στο παρόν μεταξύ των χρηστών του δρόμου και οι οποίες θα μπορούσαν να γίνουν πιο προκλητικές όταν τα CAV γίνουν πιο διαδεδομένα. Επομένως αναδύεται έντονα η ανάγκη αναγνώρισης/ πρόβλεψης της πρόθεσης κίνησης, ώστε κατά συνέπεια αυτής να προκύψει η “κατάλληλη μορφή επικοινωνίας” ανάμεσα στα αυτόνομα οχήματα και τους υπόλοιπους χρήστες, ιδιαίτερα περιβάλλοντα μεικτής κυκλοφορίας.

## 4. Μεθοδολογία - Eye tracking.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στην τεχνολογία παρακολούθησης ματιών/ eye tracking, η οποία στη συνέχεια σχετίζεται με τη πρωτογενή έρευνα αυτής της διπλωματικής.

### 4.1 Τεχνολογία παρακολούθησης ματιών/ Eye tracking.

Η ανάλυση παρακολούθησης ματιών είναι ένα ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της οπτικής προσοχής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ενός υπολογιστή με τα μάτια μας αντί για τη χρήση παραδοσιακού πληκτρολογίου και ποντικιού.

Στην τεχνολογία eye tracking ακολουθούνται τα παρακάτω βασικά βήματα:

- i. Ο ανιχνευτής ματιών εκπέμπει κοντά στο υπέρυθρο φως.
- ii. Το φως αντανακλάται στα μάτια μας.
- iii. Αυτές οι αντανακλάσεις καταγράφονται από τις κάμερες του οφθαλμικού ιχνηλάτη.
- iv. Μέσω του φιλτραρίσματος και των υπολογισμών, ο ανιχνευτής ματιών γνωρίζει πού κοιτάζουμε.

Για να λειτουργήσει η παρακολούθηση ματιών όσο το δυνατόν ακριβέστερα, ο ιχνηλάτης ματιών πρέπει να γνωρίζει περισσότερα για τα μάτια. Γι' αυτό πρέπει να πραγματοποιείται βαθμονόμηση, όταν το eye tracker μετράει τον τρόπο με τον οποίο τα μάτια μας αντανακλούν το φως. Η βαθμονόμηση γίνεται ακολουθώντας ένα σημείο ή ένα βίντεο που κινείται στην οθόνη. Τα δεδομένα βαθμονόμησης συνδυάζονται με το μοναδικό μας τρισδιάστατο μοντέλο ματιού για να δημιουργήσουν μια ακριβή εμπειρία παρακολούθησης ματιών.

Η οπτική προσοχή έχει ενδιαφέρον επειδή το 83 τοις εκατό των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται στη γνωστική επεξεργασία λαμβάνεται οπτικά (Cavanagh et al., 2014). Στο παρελθόν, η τεχνολογία παρακολούθησης ματιών έχει χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή έρευνας σχετικά με τη λήψη αποφάσεων από τους καταναλωτές, το μάρκετινγκ και τη διαφήμιση (Orquin and Loose 2013, Pieters and Warlop 1999).

Η τεχνολογία Eye-tracking δίνει στους ερευνητές την ευκαιρία να συλλέξουν και να αναλύσουν τα μοτίβα οπτικών πληροφοριών και να αναζητήσουν συσχετίσεις μεταξύ της οπτικής προσοχής και της συμπεριφοράς. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία παρακολούθησης ματιών έχει πολλές χρήσεις στην έρευνα συμπεριφοράς (Evans et al., 2012). Μπορεί επίσης να μετρήσει τον αντίκτυπο διαφορετικών οπτικών ερεθισμάτων στις στρατηγικές λήψης αποφάσεων (Son et al., 2019).

Υπάρχει μια ποικιλία διαθέσιμων επιλογών κάμερας παρακολούθησης ματιών (δηλαδή, γυαλιά, συσκευές παρακολούθησης ματιών-φωτός και συσκευές παρακολούθησης ματιών-οθόνης υπολογιστή) με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που σχετίζονται με το βάρος, τη φορητότητα και την ανθεκτικότητα (De Beugher et al., 2021). Τα γυαλιά παρακολούθησης ματιών, για παράδειγμα, είναι πιο κατάλληλα για συλλογή δεδομένων σε ανοιχτά περιβάλλοντα. Αντίθετα, οι ιχνηλάτες φωτός είναι πιο κατάλληλοι για ελεγχόμενα περιβάλλοντα, όπως σε ένα ερευνητικό εργαστήριο ή σε ένα περιβάλλον λιανικής, όπου τα πειραματικά υλικά (π.χ. εικόνες προϊόντων, ετικέτες ή κινούμενα σχέδια) εμφανίζονται σε μια οθόνη υπολογιστή. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που είναι καθολικά μεταξύ των συσκευών παρακολούθησης ματιών (Ren et al., 2015).

### Πλεονεκτήματα

Ένα πλεονέκτημα της τεχνολογίας παρακολούθησης ματιών είναι ότι καταγράφει τις πραγματικές κινήσεις των ματιών. Οι εγγραφές παρακολούθησης ματιών απεικονίζουν με ακρίβεια τις φυσικές κινήσεις και τις κολλήσεις των ματιών (Ren et al., 2019).

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης της τεχνολογίας παρακολούθησης ματιών στην έρευνα είναι η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων. Οι κινήσεις των ματιών καταγράφονται συνήθως στα 30 Hz (που σημαίνει ότι συλλέγονται 30 σημεία βλέμματος ανά δευτερόλεπτο). Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία eye-tracking συλλέγει μεγάλο όγκο ακριβών δεδομένων. Παρέχει επίσης ευελιξία όσον αφορά τις τοποθεσίες που λαμβάνει χώρα η έρευνα. (Semani et al., 2019).

### Μειονεκτήματα

Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα της τεχνολογίας παρακολούθησης ματιών είναι ότι δεν μπορούν να εντοπιστούν πάντα τα μάτια. Οι φακοί επαφής,



τα γυαλιά και το χρώμα της κόρης μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα της κάμερας παρακολούθησης ματιών στη καταγραφή των κινήσεων των ματιών. Κατά συνέπεια, δεν μπορούν όλοι (συνήθως το 10-20% του δείγματος) να συμμετάσχουν σε μια μελέτη παρακολούθησης των ματιών, διότι θα επηρεαστεί η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος (Steil et al., 2018). Οι μελέτες παρακολούθησης του ματιού απαιτούν επίσης σημαντικούς οικονομικούς, χρονικούς και εργατικούς πόρους. Ο εξοπλισμός παρακολούθησης ματιών (δηλαδή κάμερα, υπολογιστής, λογισμικό) και η εκπαίδευση χρήσης τους μπορεί να είναι ακριβά. Επιπλέον, μόνο ένα άτομο μπορεί να καταγραφεί κάθε φορά (De Beugher et al., 2014). Η ατομική συμμετοχή αντί για την ομαδική συμμετοχή απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο και εργασία. Η χρήση πολλαπλών συσκευών παρακολούθησης ματιών θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση του συνολικού χρόνου του πειράματος. Μια τρίτη πρόκληση είναι ότι η τεχνολογία παρακολούθησης ματιών καταγράφει μόνο τις κινήσεις των ματιών. Επομένως, πρέπει να συνδυαστεί με μια πρόσθετη μέθοδο συλλογής δεδομένων για την ακριβή ερμηνεία των εγγραφών (Duchowiski, 2017).

## 4.2 Μέθοδος annotation.

Η μέθοδος annotation είναι μια κατασκευή που σχετίζεται με στοιχεία πηγαίου κώδικα Java, όπως κλάσεις, μεθόδους και μεταβλητές. Οι σχολιασμοί παρέχουν πληροφορίες σε ένα πρόγραμμα κατά το χρόνο μεταγλώττισης ή κατά το χρόνο εκτέλεσης βάσει των οποίων το πρόγραμμα μπορεί να προβεί σε περαιτέρω ενέργειες. Ένας επεξεργαστής σχολιασμών επεξεργάζεται αυτούς τους σχολιασμούς κατά το χρόνο μεταγλώττισης ή τον χρόνο εκτέλεσης για να παρέχει λειτουργίες όπως δημιουργία κώδικα, έλεγχος σφαλμάτων κ.λπ.

Με τις συνεχείς προόδους στη φορητή τεχνολογία παρακολούθησης ματιών που απελευθερώνει από τους περιορισμούς των τεχνητών εργαστηριακών σχεδίων, η έρευνα μπορεί πλέον να συλλέγει δεδομένα βλέμματος από την πραγματική, φυσική πλοήγηση. Ωστόσο, δεν διαθέτει μια ισχυρή μέθοδο για την επίτευξη αυτού του στόχου, καθώς προηγούμενες προσεγγίσεις βασίζονταν στον χρονοβόρο χειροκίνητο σχολιασμό δεδομένων παρακολούθησης ματιών και προηγούμενες προσπάθειες αυτοματισμού δεν

διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για δοκιμές πλοήγησης στην φύση που αποτελείται από πολύπλοκες και δυναμικές σκηνές. Για αυτό και προτείνεται ένα σύστημα ικανό να ενημερώνει τους ερευνητές για το πού και σε τι επικεντρώνεται το βλέμμα ενός χρήστη ανά πάσα στιγμή (Thierry et al., 2021). Το σύστημα επιτυγχάνει τα παραπάνω εκτελώντας πρώτα πλάνα που καταγράφονται σε μια κάμερα -που είναι τοποθετημένη στο κεφάλι- μέσω ενός αλγόριθμου ανίχνευσης αντικειμένων που βασίζεται σε βαθιά μάθηση που ονομάζεται Συνελικτικό Νευρωνικό Δίκτυο και βασίζεται σε Mask R-CNN (Lanata et al., 2015). Η «έξοδος» του αλγόριθμου συνδυάζεται με καρέ-καρέ συντεταγμένες βλέμματος που μετρούνται από μια συσκευή παρακολούθησης ματιών συγχρονισμένη με την κάμερα που είναι τοποθετημένη στο κεφάλι για να ανιχνεύει και να σχολιάζει, χωρίς καμία χειροκίνητη παρέμβαση, αυτό που κοιτάξε ο χρήστης για κάθε καρέ του παρεχόμενου πλάνου. Η αποτελεσματικότητα της παρουσιαζόμενης μεθοδολογίας (annotation) νομιμοποιήθηκε σε σύγκριση μεταξύ της εξόδου του συστήματος και αυτής των χειροκίνητων κωδικοποιητών. Τα υψηλά επίπεδα ταύτισης μεταξύ των δύο επικύρωσαν το σύστημα ως προτιμώμενη τεχνική συλλογής δεδομένων, καθώς ήταν ικανό να επεξεργάζεται δεδομένα με πολύ ταχύτερο ρυθμό από τον αντίστοιχο ανθρώπινο (Taher et al., 2017).

### 4.3 Γνωστική ανάλυση και eye tracking.

Πώς συμβάλλει η τεχνολογία αυτή στην γνωστική επιστήμη και ανάλυση;

Η τεχνολογία παρακολούθησης του βλέμματος (eye tracking) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, που κυμαίνονται από την ψυχαγωγία έως την έρευνα αγοράς, τις υποστηρικτικές τεχνολογίες αναπηρίας και τις ιατρικές διαγνώσεις και τη θεραπεία.

Σε αυτή την εργασία αξίζει να επισημανθούν:

- Παρακολούθηση του βλέμματος στο τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας:

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η παρακολούθηση της κίνησης των ματιών χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της οπτικής προσοχής των οδηγών – τόσο όσον αφορά την πλοήγηση όσο και τη διάταξη του ταμπλό. Χρησιμοποιώντας γυαλιά παρακολούθησης της κίνησης των ματιών, οι έρευνητες μπορούν να αξιολογήσουν το πού κοιτάζουν οι οδηγοί όταν

αντιμετωπίζουν εμπόδια στο δρόμο και το πώς η ομιλία στο τηλέφωνο επηρεάζει τη συμπεριφορά στην οδήγηση. Επιπλέον εξετάζει το πώς η ταχύτητα θέτει σε κίνδυνο την οπτική προσοχή.

- Μετρήσεις παρακολούθησης του βλέμματος των ματιών:

Μέσω της παρακολούθησης ματιών, είναι δυνατό να ποσοτικοποιηθεί η οπτική προσοχή καθώς παρακολουθεί το πού, πότε και το τι βλέπουν οι άνθρωποι αντικειμενικά. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την αφοσίωση (αριθμός σταθεροποιήσεων, χρόνος παραμονής, % του χρόνου σε μια περιοχή), την ευκολία επεξεργασίας (διάρκεια σταθεροποίησης), τη δυνατότητα εύρεσης (χρόνος μέχρι την πρώτη σταθεροποίηση και αριθμός "στάσεων βλέμματος" πριν από την πρώτη σταθεροποίηση), τη σειρά επεξεργασίας (διαδρομή βλέμματος), τη κατανόηση (επαναλαμβανόμενες καθηλώσεις) και τη διέγερση (διαστολή της κόρης).

Η ουσία είναι ότι η παρακολούθηση του βλέμματος των ματιών, ως αντικειμενικό μέτρο, υποδεικνύει (Woo et al., 2016):

- Ποια στοιχεία τραβούν την άμεση προσοχή.
- Ποια στοιχεία τραβούν την προσοχή πάνω από το μέσο όρο.
- Ποια στοιχεία αγνοούνται ή παραβλέπονται.
- Με ποια σειρά παρατηρούνται τα στοιχεία.

## 5. Μέθοδος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη καταγραφή της οφθαλμικής κίνησης έξι έμπειρων μοτοσικλετιστών (με τη χρήση τεχνολογίας eye tracking), τα οποία συλλέχθηκαν σε προηγούμενη μελέτη [Parakostoroulos, 2019]. Σε εκείνη τη μελέτη αναλύθηκαν οι οφθαλμικές κινήσεις των μοτοσικλετιστών κατά τη κίνηση τους σε δύο αστικούς αρτηριακούς αυτοκινητόδρομους (λεωφόρος Μεσογείων και Κατεχάκη). Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη κίνηση των μοτοσικλετιστών σε αστική οδό διπλής κατεύθυνσης με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση (οδός 17 Νοέμβρη, περιοχή Χολαργός).

## 5.1 Συμμετέχοντες.

Έλαβαν μέρος εθελοντικά έξι άνδρες μοτοσικλετιστές ηλικίας 24-39 χρονών. Όλοι οι συμμετέχοντες κατείχαν μοτοσικλέτα και άδεια οδήγησης για τουλάχιστον 6 χρόνια και ήταν όλοι ενεργοί οδηγοί μοτοσικλετών και αυτοκινήτων. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία εξαιρέθηκε ένας εκ των πέντε συμμετεχόντων, καθώς τα δεδομένα που εξήχθησαν από τη τεχνολογία ήταν ελλιπή λόγω τεχνικών προβλημάτων.

## 5.2 Εξοπλισμός.

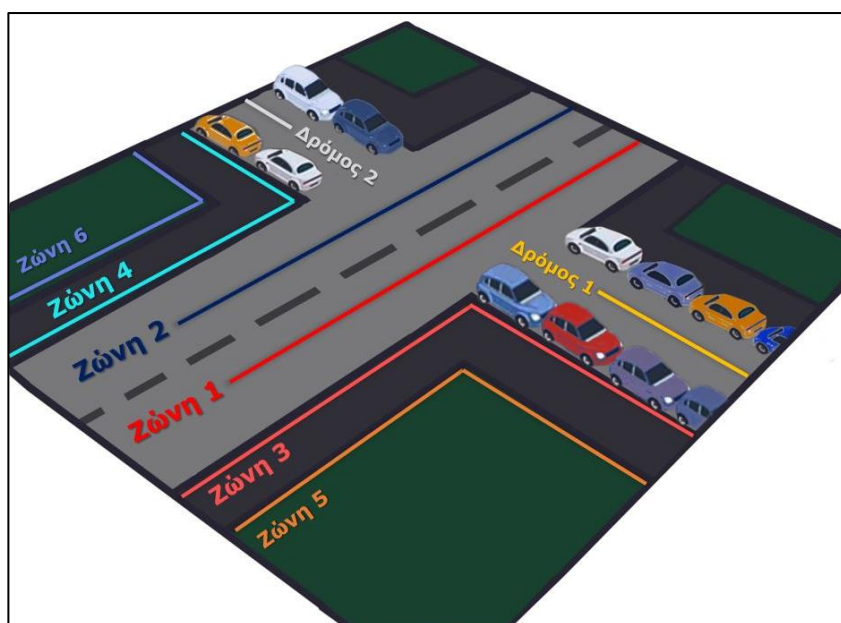
Οι συμμετέχοντες εξοπλίστηκαν με ένα φορητό σύστημα που καταγράφει την οφθαλμική κίνηση των ματιών. Το σύστημα περιλάμβανε ένα σύστημα παρακολούθησης ματιών (eye tracker) MI iView X™ HED2 τοποθετημένο στο κράνος των συμμετεχόντων και ένα laptop τοποθετημένο στο σακίδιο που φορούσαν.

## 5.3 Διαδικασία.

Η διαδικασία ακολουθήθηκε από το κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά. Στο εργαστήριο συμπλήρωσαν τα δημογραφικά στοιχεία τους και τους εξηγήθηκε η γενική διαδικασία και ο σκοπός της μελέτης. Στη συνέχεια φόρεσαν τη τεχνολογία και τους επισημάνθηκε να οδηγήσουν τη διαδρομή με το δικό τους τρόπο χωρίς να τους επηρεάζει η τεχνολογία. Οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν με καλές συνθήκες ορατότητας μεταξύ 17:00 και 19:00. Μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής οι συμμετέχοντες κλήθηκαν ξεχωριστά σε συνέντευξη με τη μέθοδο διεγερμένης αναδρομικής σκέψης και με την αναπαραγωγή του εγγεγραμμένου βίντεο του ο συμμετέχοντα σχολίαζε τη συμπεριφορά του κατά την οδήγηση της διαδρομής. Το άτομο που συντόνιζε τη συνέντευξη είχε το ρόλο του παρατηρητή και συνομιλητή.

## 6. Επεξεργασία.

Αρχικά, από τα καταγεγραμμένα βίντεο και τα αρχεία δεδομένων που εξήχθησαν από τη τεχνολογία, απομονώθηκαν και ονομάστηκαν οι εστιάσεις του κάθε μοτοσικλετιστή και ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες. Στη συνέχεια διαχωρίστηκε το αστικό περιβάλλον κυκλοφορίας σε χωρικές ζώνες/περιοχές ενδιαφέροντος, όπως φαίνεται παρακάτω και πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση των εστιάσεων σε αυτές.



- Ζώνη 1: Λωρίδα μοτοσικλετιστών.
- Ζώνη 2: Λωρίδα απέναντι κυκλοφορίας.
- Ζώνη 3: Πεζοδρόμιο δίπλα στη λωρίδα οδηγού.
- Ζώνη 4: Πεζοδρόμιο δίπλα στην λωρίδα αντίθετης κυκλοφορίας.
- Ζώνη 5: Ότι βρίσκεται πέρα της ζώνης 3 (πχ. γκαράζ, βενζινάδικο, πιλοτή, πάρκινγκ κλπ.).
- Ζώνη 6: Ότι βρίσκεται πέρα της ζώνης 4.
- Ροή κίνησης στο κάθετο δρόμο διασταύρωσης: Δρόμος 1.
- Ροή κίνησης στο κάθετο δρόμο διασταύρωσης: Δρόμος 2.

FOE: Focus of expansion/ σημείο φυγής του βλέμματος

Εικόνα 1: Περιοχές ενδιαφέροντος.

Για την ανάδειξη των κυκλοφοριακών συνθηκών δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα ροής για την οδήγηση σε τμήματα ευθείας κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος. Η επιλογή αυτή έγινε ώστε να εξεταστούν τα τμήματα ευθείας πορείας όπου η οδήγηση είναι πιο προκλητική για τους μοτοσικλετιστές. Συγκεκριμένα πρόκειται για παρκαρισμένα οχήματα που οι μοτοσικλετιστές αφιέρωσαν μέρος της προσοχής τους και επί το πλείστον βρισκόταν στη λωρίδα κυκλοφορίας τους ή στο δίπλα πεζοδρόμιο. Δημιουργήθηκε ένα αντίστοιχο διάγραμμα για την οδήγηση κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης. Έπειτα για τον έλεγχο της διασποράς των μοτοσικλετιστών στις κυκλοφοριακές συνθήκες υπολογίστηκε η ποσοστιαία αναλογία των εστιάσεων τους ξεχωριστά. Πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο ποσοτικές αναλύσεις, κατά τις οποίες στη μία αναδείχθηκαν οι κατηγορίες

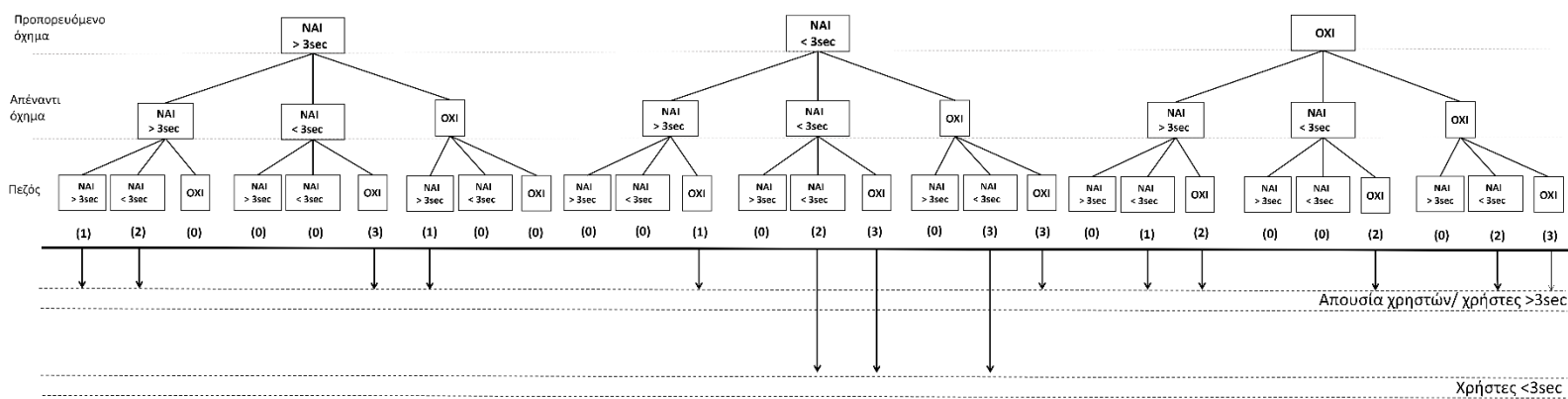
αντικειμένων. Στις επικρατέστερες από αυτές μέσω της δεύτερης ποσοτικής ανάλυσης υπολογίστηκαν τα ποσοστά εστίασης στα αντικείμενα/ σημεία εστίασης.

## 7. Αποτελέσματα.

### 7.1 Κυκλοφοριακές συνθήκες.

Παρακάτω γίνεται η αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών σε ευθεία πορεία, για τα τμήματα εκείνα όπου υπάρχει παρκαρισμένο όχημα και απασχολεί τους μοτοσικλετιστές.

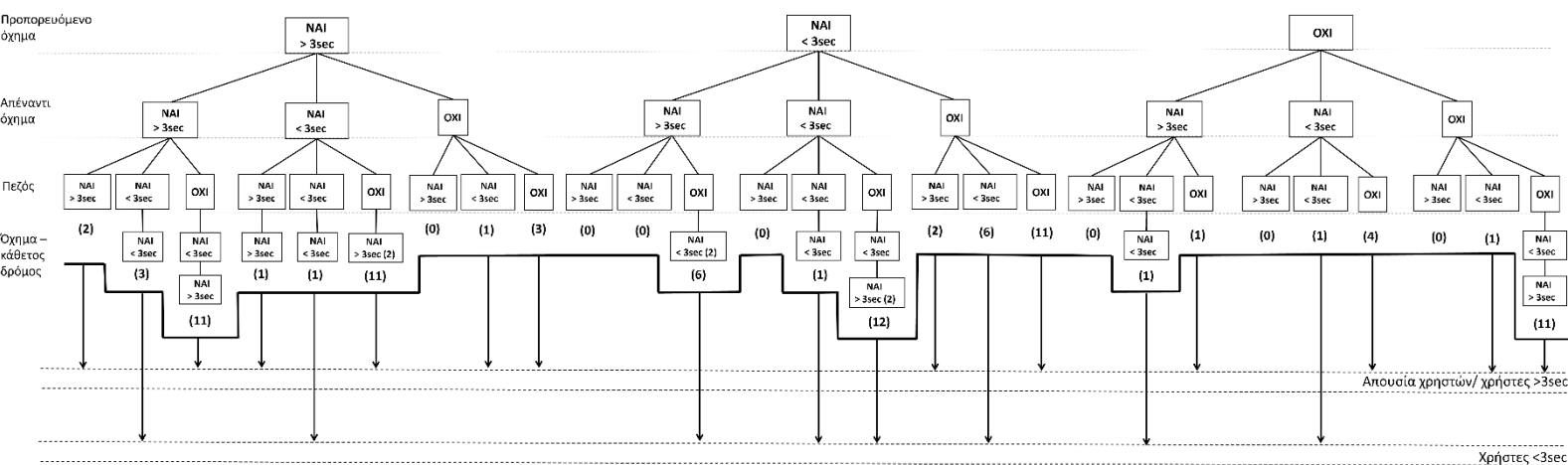
Έτσι, λοιπόν οι κυκλοφοριακές συνθήκες κατά την οδήγηση σε τμήματα ευθείας πορείας κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος αποτυπώνονται παρακάτω με τη μορφή διαγράμματος ροής. Στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου, λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι χρήστες της οδού: προπορευόμενο όχημα, όχημα του αντίθετου ρεύματος/ απέναντι όχημα, πεζοί. Η ύπαρξη χρηστών που υπονοεί άμεσο κίνδυνο, δηλώνεται με  $NAI < 3 \text{ sec.}$ , η ύπαρξη χρηστών που υπονοεί ενδεχόμενο κίνδυνο δηλώνεται με  $NAI > 3 \text{ sec.}$ , ενώ η απουσία χρηστών δηλώνεται με ΟΧΙ. Από το σύνολο των 27 δυνητικών καταστάσεων βάση της συχνότητας που απαντώνται στο βίντεο οι εκάστοτε κυκλοφοριακές συνθήκες παρατηρούμε τα εξής:



Εικόνα 2: Συνθήκες κυκλοφορίας ευθείας πορείας κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος.

Από το σύνολο των 27 ενδεχόμενων περιπτώσεων συνθηκών κυκλοφορίας σε ευθεία πορεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου, με βάση τη συχνότητα εμφάνισης τους στο βίντεο, απαντώνται μόνο 14 εξ αυτών. Στη μεγάλη πλειοψηφία αυτών των 14 συνθηκών κυκλοφορίας (78,6% ήτοι 11 από τις 14) οι χρήστες της οδού, είτε απουσιάζουν είτε δε βρίσκονται κοντά στον οδηγό. Εξαιρέση αποτελούν τρεις περιπτώσεις (21,4% ήτοι 3 από τις 14) όπου οι χρήστες της οδού βρίσκονται κοντά στον οδηγό (<3sec). Για λόγους συνέπειας, η ακόλουθη ανάλυση της κατανομής των εστιάσεων των οδηγών σε ευθεία, θα επικεντρωθεί στις 11 συνθήκες κυκλοφορίας, όπου οι χρήστες της οδού είτε απουσιάζουν είτε δε βρίσκονται κοντά στον οδηγό (N=21).

Αντίστοιχα, στις συνθήκες κυκλοφορίας κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης (εικόνα 2), λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι χρήστες της οδού: προπορευόμενο όχημα, απέναντι όχημα, πεζός, όχημα στον κάθετο δρόμο.



Εικόνα 3: Συνθήκες κυκλοφορίας κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι:

Από τις 27 ενδεχόμενες συνθήκες κυκλοφορίας σε διασταύρωση αναγνωρίζονται 20 εξ αυτών. Σε αυτές τις 20 κυκλοφοριακές συνθήκες, στο 60% (12 από τις 20) οι χρήστες της οδού είτε απουσιάζουν είτε δε βρίσκονται κοντά στον οδηγό, ενώ στο 40% (8 από τις 20) συντρέχουν τουλάχιστον δύο χρήστες της οδού, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στον οδηγό. Για λόγους συνέπειας η ακόλουθη ανάλυση κατανομής εστιάσεων των οδηγών κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης θα γίνει ξεχωριστά για τις κυκλοφοριακές συνθήκες όπου οι οδηγοί είτε απουσιάζουν είτε βρίσκονται μακριά από τον οδηγό (N=59) και τις αντίστοιχες συνθήκες όπου οι χρήστες της οδού βρίσκονται κοντά στον οδηγό (N=31).

## 7.2 Διασπορά μοτοσικλετιστών στις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Από το πίνακα (1) παρατηρούμε ότι η συνολική κατανομή των εστιάσεων των μοτοσικλετιστών σε ευθεία πορεία παρουσιάζει μικρές διαφοροποιήσεις



μεταξύ τους. Συγκεκριμένα η ποσοστιαία αναλογία των εστιάσεων των μοτοσικλετιστών κυμαίνεται μεταξύ 10% έως 20%, δεδομένου ότι πρόκειται για ευθεία πορεία σε σχετικά ανοιχτό δρόμο, αυτή η διαφοροποίηση είναι μάλλον αναμενόμενη.

	Rider 1	Rider 2	Rider 3	Rider 4	Rider 5	
<b>Συνθήκες κυκλοφορίας</b>						<b>Σύνολο</b>
Ευθεία – με παρκαρισμένο	0,34	0,14	0,24	0,1	0,17	(29) 100%
Ευθεία – χρήστες μακριά/ απουσία – με παρκαρισμένο	0,17	0,1	0,21	0,1	0,14	
<b>Διασταύρωση</b>						<b>(90) 100%</b>
Διασταύρωση - χρήστες κοντά	0,07	0,1	0,05	0,08	0,07	
Διασταύρωση - χρήστες μακριά/ απουσία	0,13	0,1	0,14	0,12	0,13	

*Πίνακας 1: Κατανομή εστιάσεων των οδηγών κατά τη κίνηση σε ευθεία με παρκαρισμένο όχημα, διασταύρωση.*

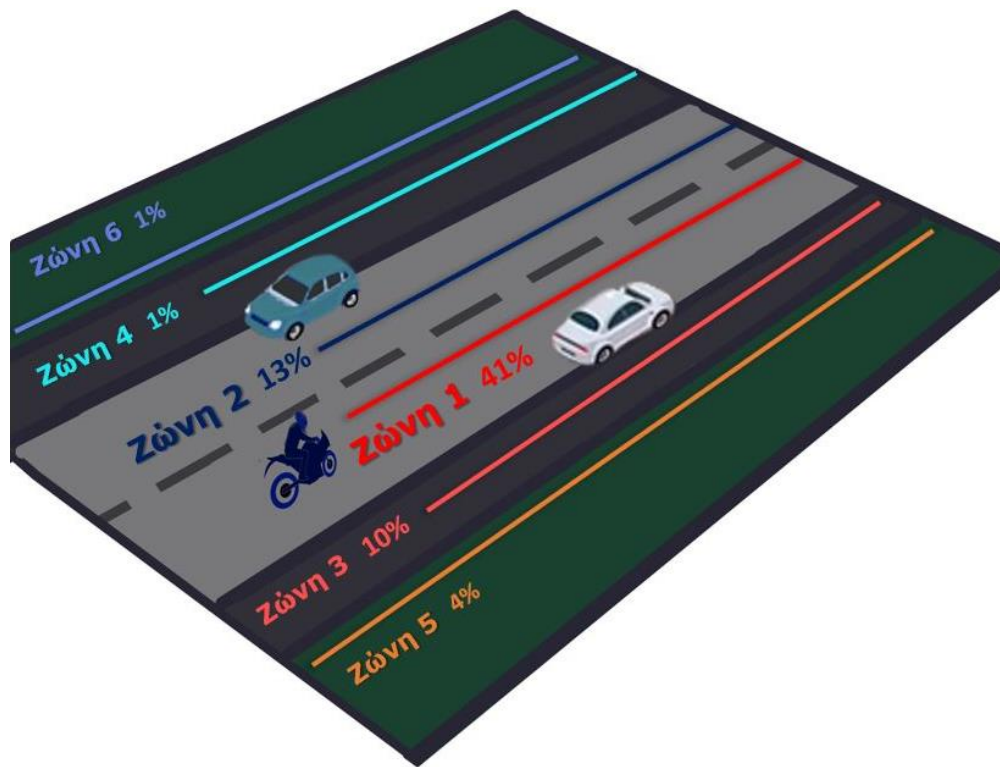
Αντιθέτως, η συνολική κατανομή των εστιάσεων των μοτοσικλετιστών κατά τη προσέλαση διασταύρωσης είναι σχεδόν ομοιογενής μεταξύ αυτών. Πιο συγκεκριμένα η ποσοστιαία αναλογία των μοτοσικλετιστών όταν οι χρήστες βρίσκονται κοντά κυμαίνεται από 5% έως 10%. Ενώ όταν οι χρήστες της οδού βρίσκονται μακριά ή απουσιάζουν παρατηρείται και πάλι ομοιογένεια, και η ποσοστιαία αναλογία των μοτοσικλετιστών είναι σχεδόν διπλάσια και κυμαίνεται από 10% έως 14%.

Συμπερασματικά, η κατανομή των εστιάσεων των μοτοσικλετιστών τόσο κατά τη κίνηση τους σε ευθεία πορεία όσο και κατά τη διάσχιση διασταύρωσης, παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις και αυτό επιτρέπει τη σύγκριση των εστιάσεων μεταξύ των 5 μοτοσικλετιστών.

### 7.3 Περιοχές ενδιαφέροντος.

Ακολουθούν οι τρεις συνθήκες κυκλοφορίας με τα ποσοστά εστίασης των μοτοσικλετιστών ως εξής:

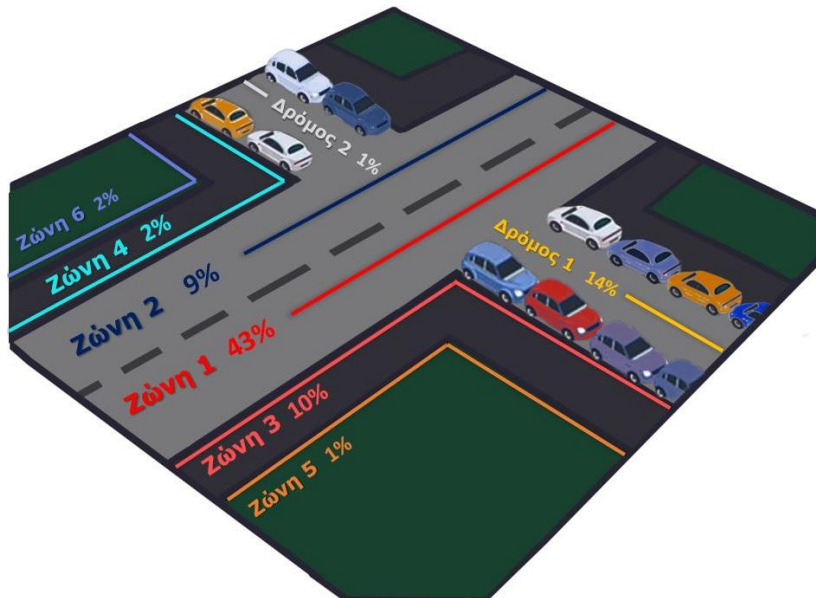
Στη παρακάτω εικόνα (εικόνα 4) παρατηρείται ότι στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένων οχημάτων, οι μοτοσικλετιστές αναμενόμενα επικεντρώνουν τη προσοχή τους στη "Ζώνη 1". Η "Ζώνη 2" και "Ζώνη 3" είναι οι αμέσως επόμενες περιοχές με τη συγκέντρωση υψηλού αριθμού εστιάσεων.



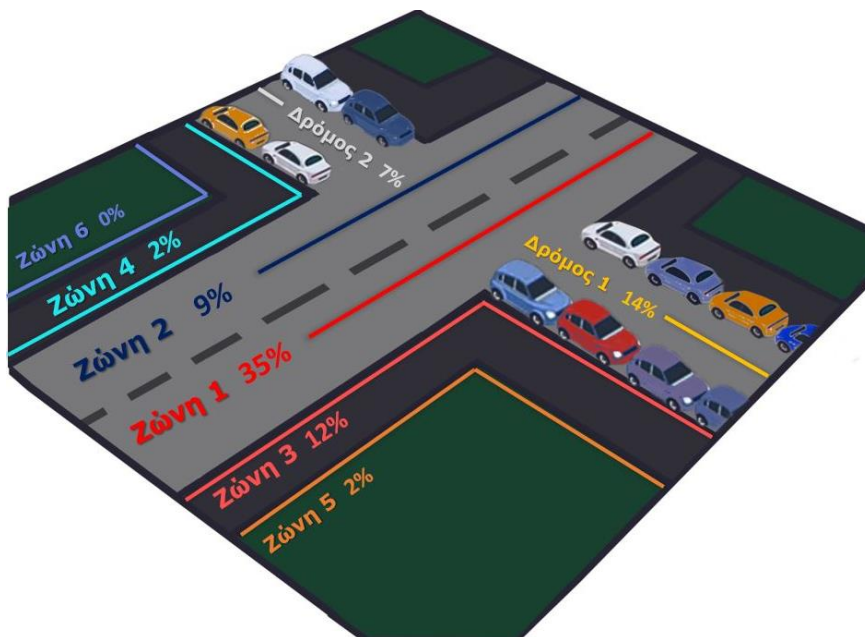
Εικόνα 4: Ποσοστά εστίασης των μοτοσικλετιστών στις περιοχές ενδιαφέροντος στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος.

Από τις εικόνες (5),(6) παρατηρούμε ότι η προσοχή των μοτοσικλετιστών συγκεντρώνεται κυρίως στη "Ζώνη 1", έχοντας το μεγαλύτερο ποσοστό εστίασης και στις 2 κυκλοφοριακές συνθήκες που αφορούν τη προσπέλαση διασταύρωσης. Ο "Δρόμος 2" είναι η περιοχή που εμφανίζει το αμέσως επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό εστίασης. Στις δύο κυκλοφοριακές συνθήκες για τη προσπέλαση διασταύρωσης δεν παρατηρείται κάποια μεγάλη διαφορά. Ωστόσο κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης όταν οι χρήστες της

οδού βρίσκονται μακριά ή απουσιάζουν (εικόνα 6) παρατηρείται ότι 7% των εστιάσεων αφιερώνεται στο "Δρόμο 1", ενώ κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης όταν οι χρήστες της οδού βρίσκονται κοντά (εικόνα 5) αφιερώνεται μόλις 1%. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη μεγαλύτερη συχνότητα συνάντησης διασταύρωσης (Τ) στη συνθήκη κυκλοφορίας που οι χρήστες της οδού βρίσκονται μακριά ή απουσιάζουν.



Εικόνα 5: Ποσοστά εστίασης των μοτοσικλετιστών στις περιοχές ενδιαφέροντος στην οδήγηση κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης, με χρήστες της οδού να βρίσκονται κοντά.



Εικόνα 6: Ποσοστά εστίασης των μοτοσικλετιστών στις περιοχές ενδιαφέροντος, στην οδήγηση κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης, με χρήστες της οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν.

## 7.4 Κατηγορίες αντικειμένων.

Παρακάτω διακρίθηκαν οι κατηγορίες αντικειμένων για κάθε μία από τις 3 κυκλοφοριακές συνθήκες:

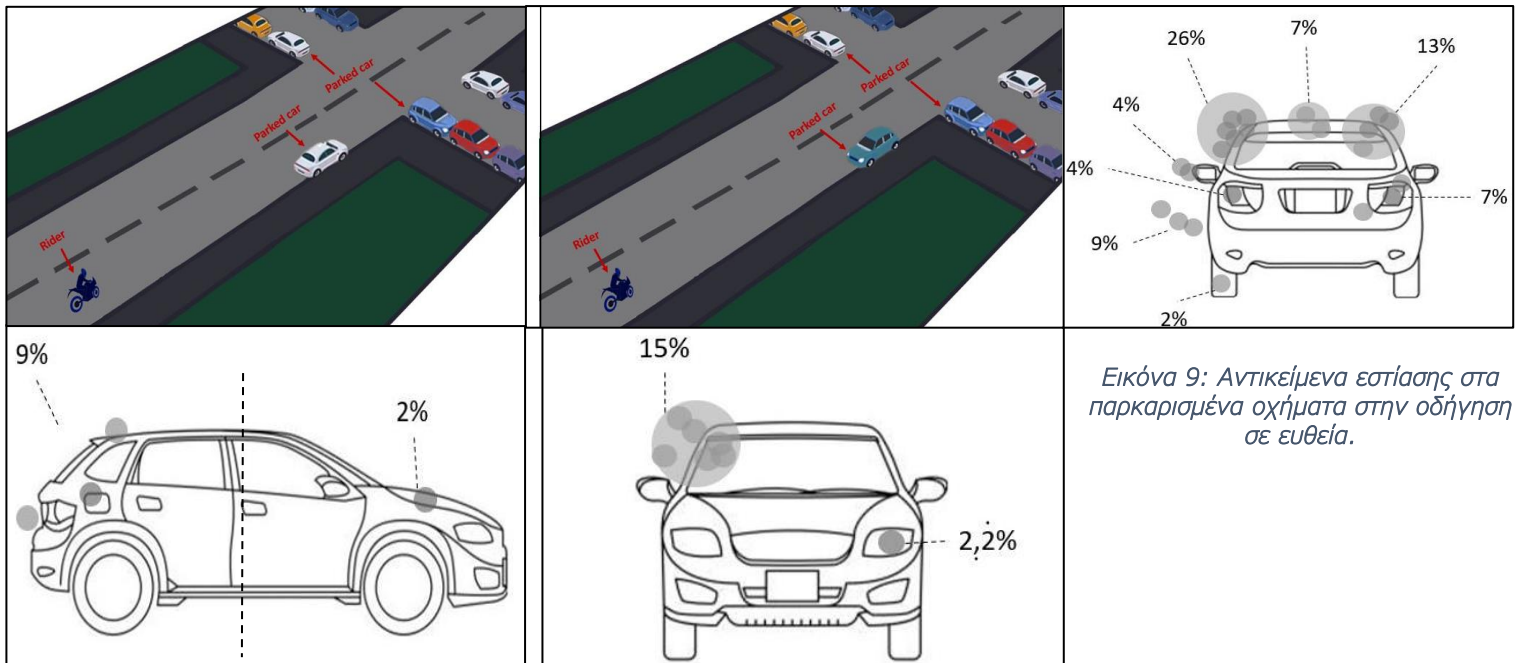
	Κατηγορίες αντικειμενων	Ευθεία- χρήστες μακριά	Διασταύρωση- χρήστες κοντά	Διασταύρωση- χρήστες μακριά
Κινούμενα οχήματα	Ερχόμενο όχημα (κάθετος δρόμος)	7	22	24
	Προπορευόμενο	23	28	35
	Απέναντι όχημα (αντίθετης κυκλοφορίας)	17	10	19
	Πεζός	9	18	13
Τυφλά σημεία οδού	Παρκαρισμένο	46	14	42
	Κάθετος δρόμος (έλεγχος)	1	4	19
	Κάδος απορριμάτων	4		7
	Γκαράζ/πιλοτί/ κατάσταση	4	2	4
Πλοήγηση	Λακούβα	11	24	61
	Πινακίδα/banner	1	8	14

*Πίνακας 2: Γενικές κατηγορίες αντικείμενων ενδιαφέροντος.*

Από τις κατηγορίες αντικειμένων που διακρίθηκαν στο πίνακα 2, αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω οι επικρατέστερες κατηγορίες που επαναλαμβάνονται και στις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες. Συγκεκριμένα το παρκαρισμένο όχημα, το προπορευόμενο όχημα, το ερχόμενο όχημα (κάθετος δρόμος), το απέναντι όχημα, και ο πεζός.

## 7.5 Αντικείμενα εστίασης.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα στην οδήγηση σε ευθεία:



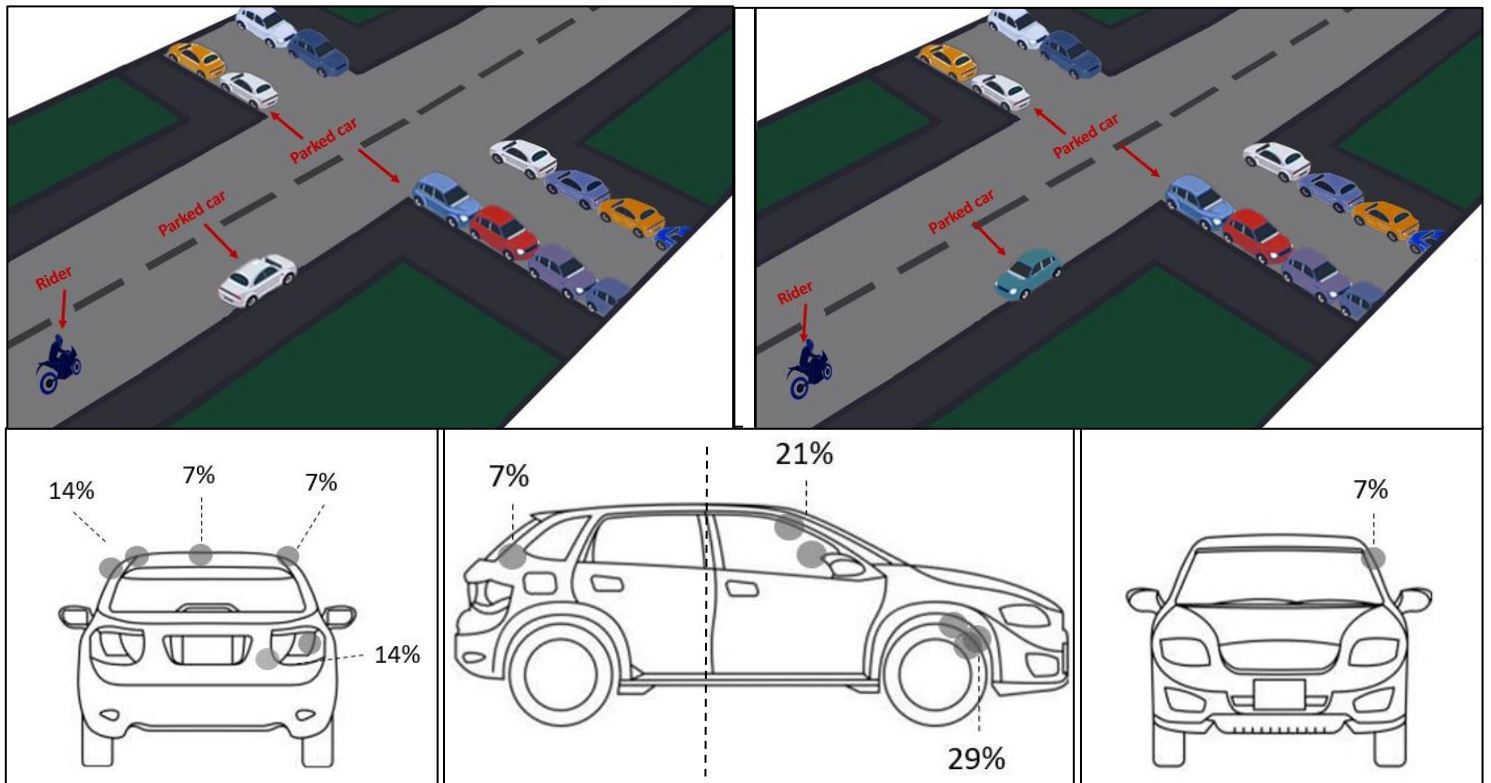
Εικόνα 9: Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα στην οδήγηση σε ευθεία.

Εικόνα 9: Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά μήκος του κάθετου δρόμου, στην οδήγηση σε ευθεία. Η διακεκομμένη γραμμή χωρίζει το όχημα στα δύο, υποδεικνύοντας τις εστιάσεις σύμφωνα με τη μεριά στάθμευσης του οχήματος.

Εικόνα 9: Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα στην οδήγηση σε ευθεία.

Τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού και η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται κοντά στους μοτοσικλετιστές:



Εικόνα 12: : Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται κοντά.

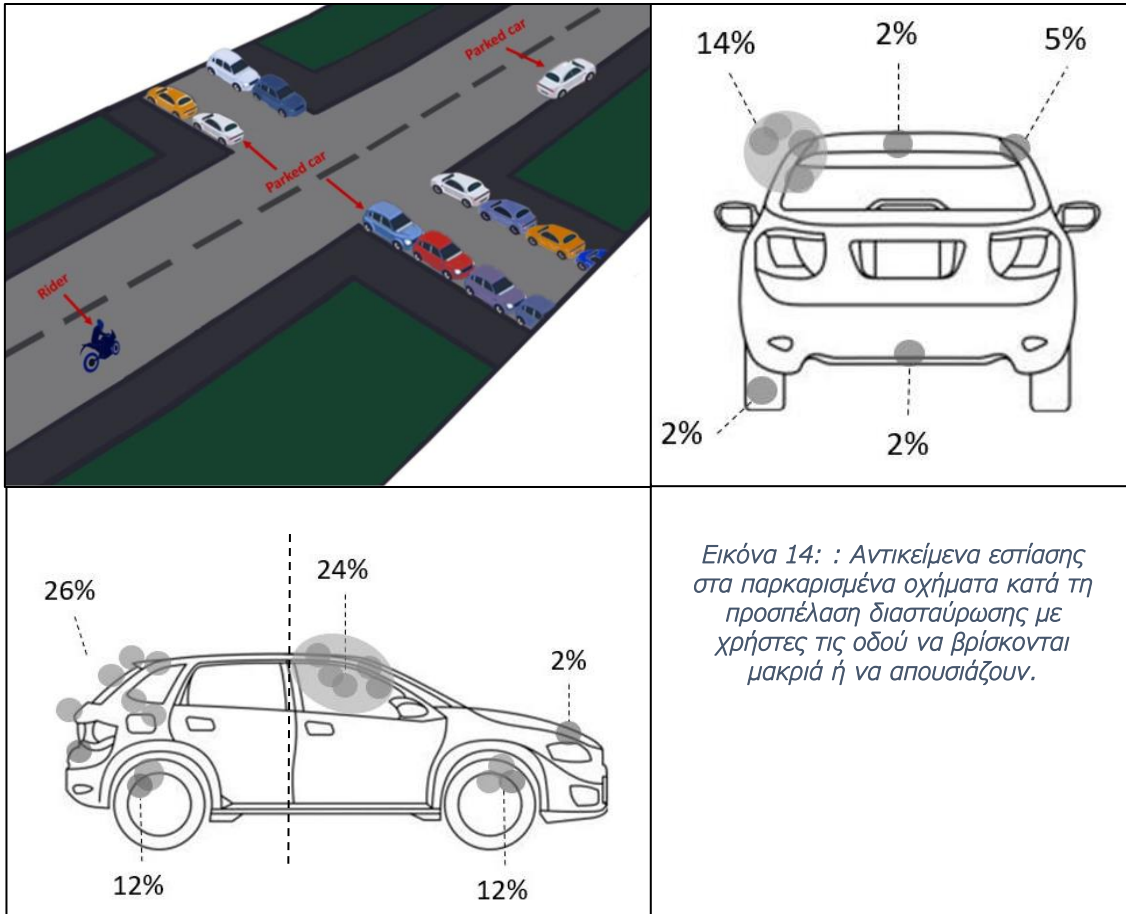
Εικόνα 12: Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά μήκος του κάθετου δρόμου, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται κοντά. Η διακεκομμένη γραμμή χωρίζει το όχημα στα δύο, υποδεικνύοντας τις εστιάσεις σύμφωνα με τη μεριά στάθμευσης του οχήματος.

Εικόνα 12: Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται κοντά.

Σε αυτή συνθήκη κυκλοφορίας τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η ρόδα, η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού, το πίσω φως και η θέση του οδηγού.



Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται μακριά από τους μοτοσικλετιστές ή να απουσιάζουν:



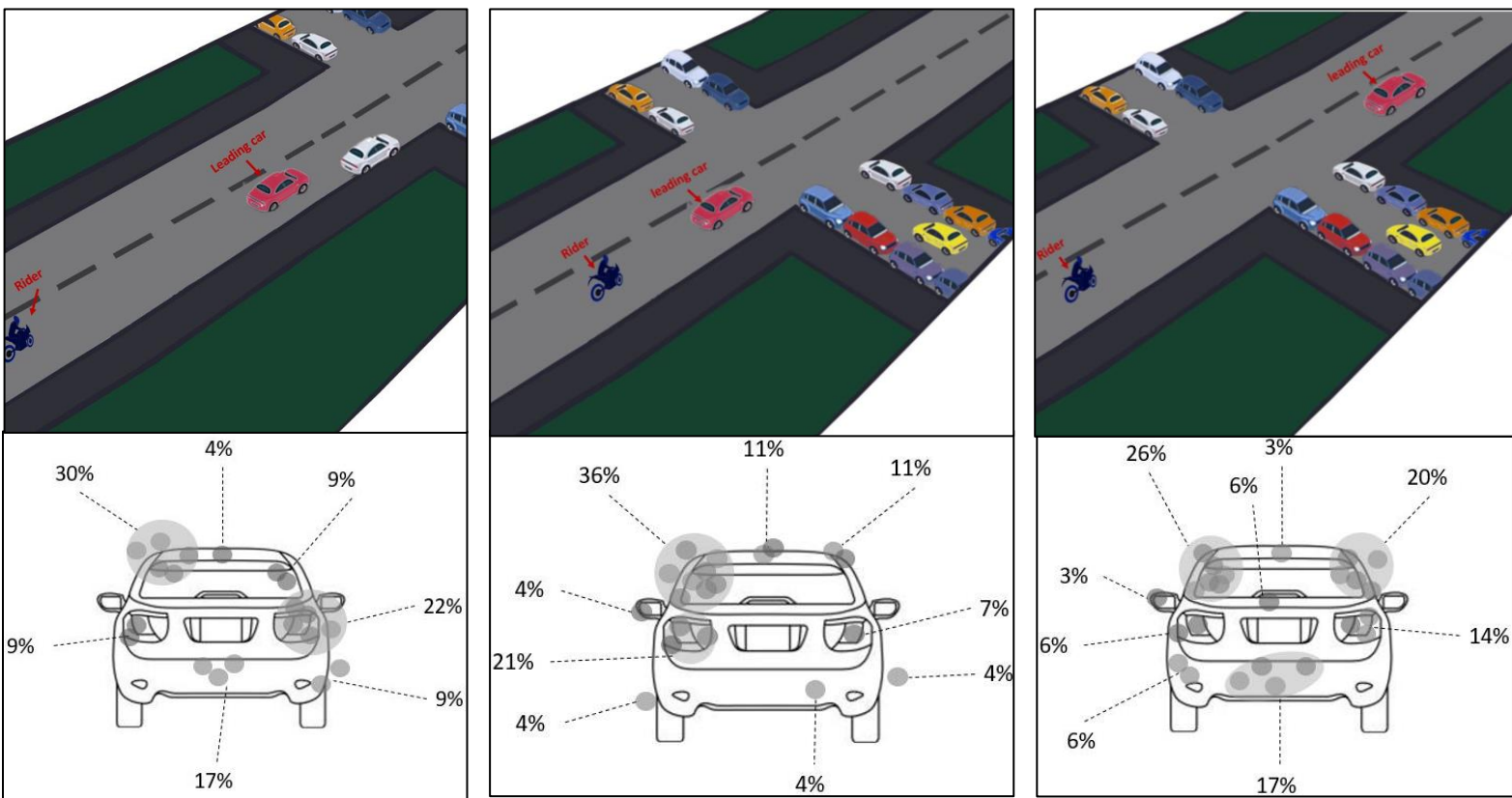
Εικόνα 14: : Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν.

Εικόνα 14: Αντικείμενα εστίασης στα παρκαρισμένα οχήματα κατά μήκος του κάθετου δρόμου, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν. Η διακεκομμένη γραμμή χωρίζει το όχημα στα δύο, υποδεικνύοντας τις εστιάσεις σύμφωνα με τη μεριά στάθμευσης του οχήματος.

Τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά το πίσω μέρος του οχήματος, η θέση του οδηγού, η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού και οι ρόδα.

Συνολικά, τα αντικείμενα με το μεγαλύτερο ποσοστό εστίασης που συναντώνται και στις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες είναι η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού. Αμέσως μετά από τα αντικείμενα που διακρίθηκαν και συναντώνται σε δύο κυκλοφοριακές συνθήκες, είναι η θέση του οδηγού και η ρόδα.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα προπορευόμενα οχήματα για τις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες:



Εικόνα 17: Αντικείμενα εστίασης στο προπορευόμενο όχημα, στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκκαρισμένου οχήματος.

Εικόνα 17: Αντικείμενα εστίασης στο προπορευόμενο όχημα, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται κοντά.

Εικόνα 17: Αντικείμενα εστίασης στο προπορευόμενο όχημα, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν.

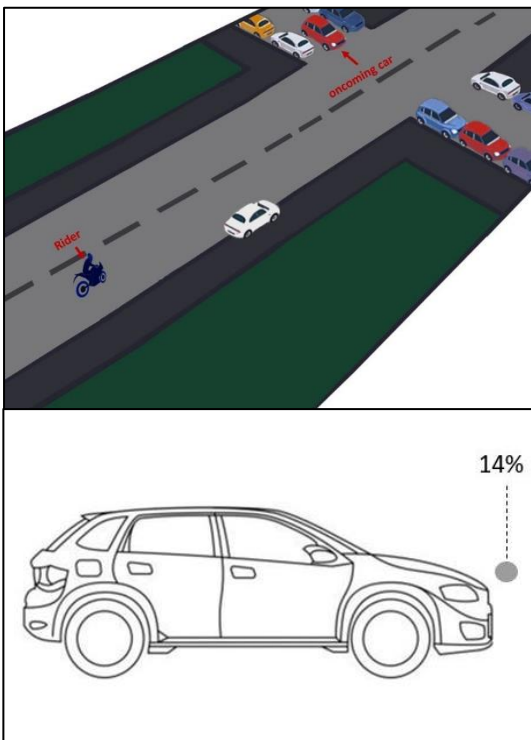
Από την εικόνα 15 τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού, το πίσω φως και ο πίσω προφυλακτήρας. Από την εικόνα 16 τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού, το πίσω φως και η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού. Από την εικόνα 17 τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού, η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού, ο πίσω προφυλακτήρας και το πίσω φως.

Συνολικά, τα αντικείμενα με το μεγαλύτερο ποσοστό εστίασης που συναντώνται και στις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες είναι η περιοχή κοντά

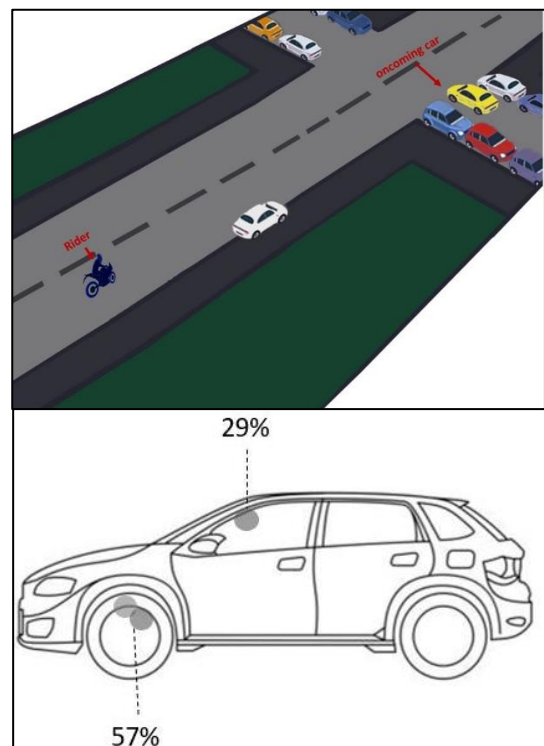


στη θέση του οδηγού και το πίσω φως. Τα αμέσως μετά αντικείμενα που διακρίθηκαν και συναντώνται σε δυο κυκλοφοριακές συνθήκες είναι η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού και ο πίσω προφυλακτήρας.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα ερχόμενα οχήματα του κάθετου δρόμου, που αναμένουν τη διάσχιση της διασταύρωσης, στην οδήγηση σε ευθεία:



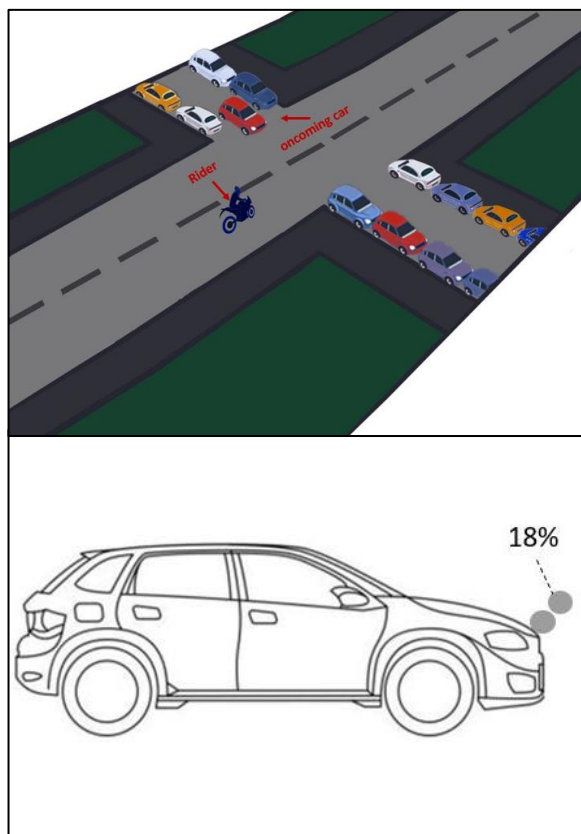
Εικόνα 19: Αντικείμενα εστίασης στο ερχόμενο από αριστερά όχημα του κάθετου δρόμου (Δρόμος 2), στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος.



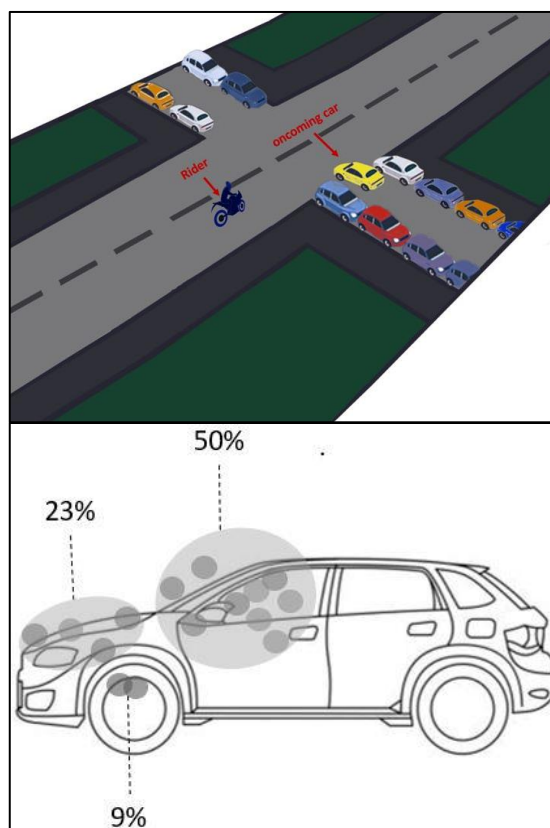
Εικόνα 19: Αντικείμενα εστίασης στο ερχόμενο από δεξιά όχημα του κάθετου δρόμου (Δρόμος 1), στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος.

Τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η ρόδα και η θέση του οδηγού.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα ερχόμενα οχήματα του κάθετου δρόμου που αναμένουν τη διάσχιση της διασταύρωσης, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται κοντά στους μοτοσικλετιστές:



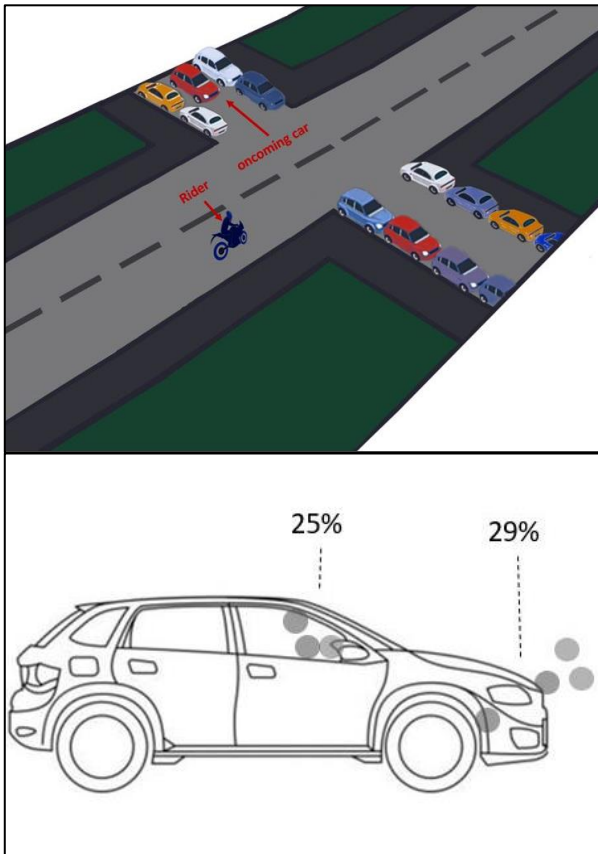
Εικόνα 21: Αντικείμενα εστίασης στο ερχόμενο από αριστερά όχημα του κάθετου δρόμου (Δρόμος 2), κατά τη προσπέλαση σε διασταύρωση με χρήστες τις οδού να βρίσκονται κοντά.



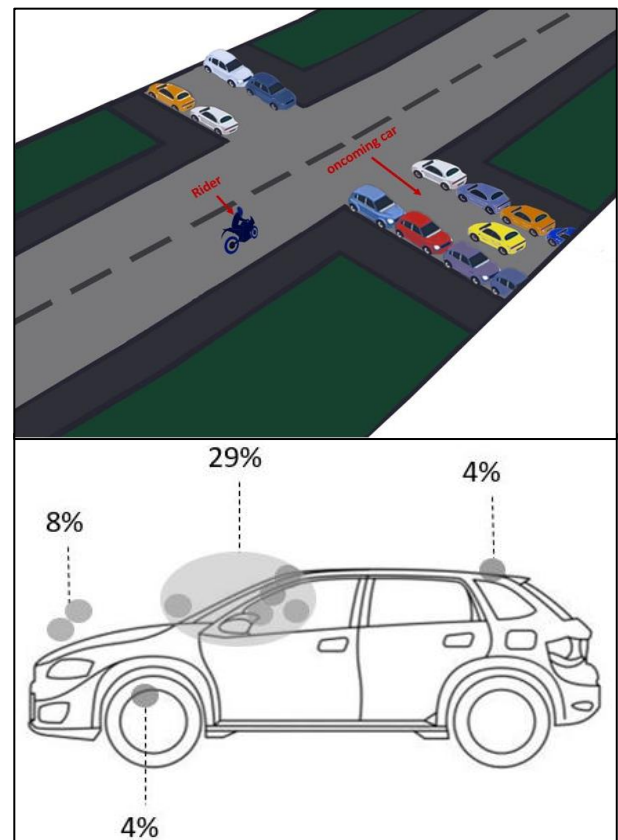
Εικόνα 21: Αντικείμενα εστίασης στο ερχόμενο από δεξιά όχημα του κάθετου δρόμου (Δρόμος 1), κατά τη προσπέλαση σε διασταύρωση με χρήστες τις οδού να βρίσκονται κοντά.

Τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η θέση του οδηγού και ο καπός.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα ερχόμενα οχήματα του κάθετου δρόμου που αναμένουν τη διάσχιση της διασταύρωσης, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται μακριά από τους μοτοσικλετιστές ή να απουσιάζουν:



Εικόνα 23: Αντικείμενα εστίασης στο ερχόμενο από αριστερά όχημα του κάθετου δρόμου (Δρόμος 2), κατά τη προσπέλαση σε διασταύρωση με χρήστες τις οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν.

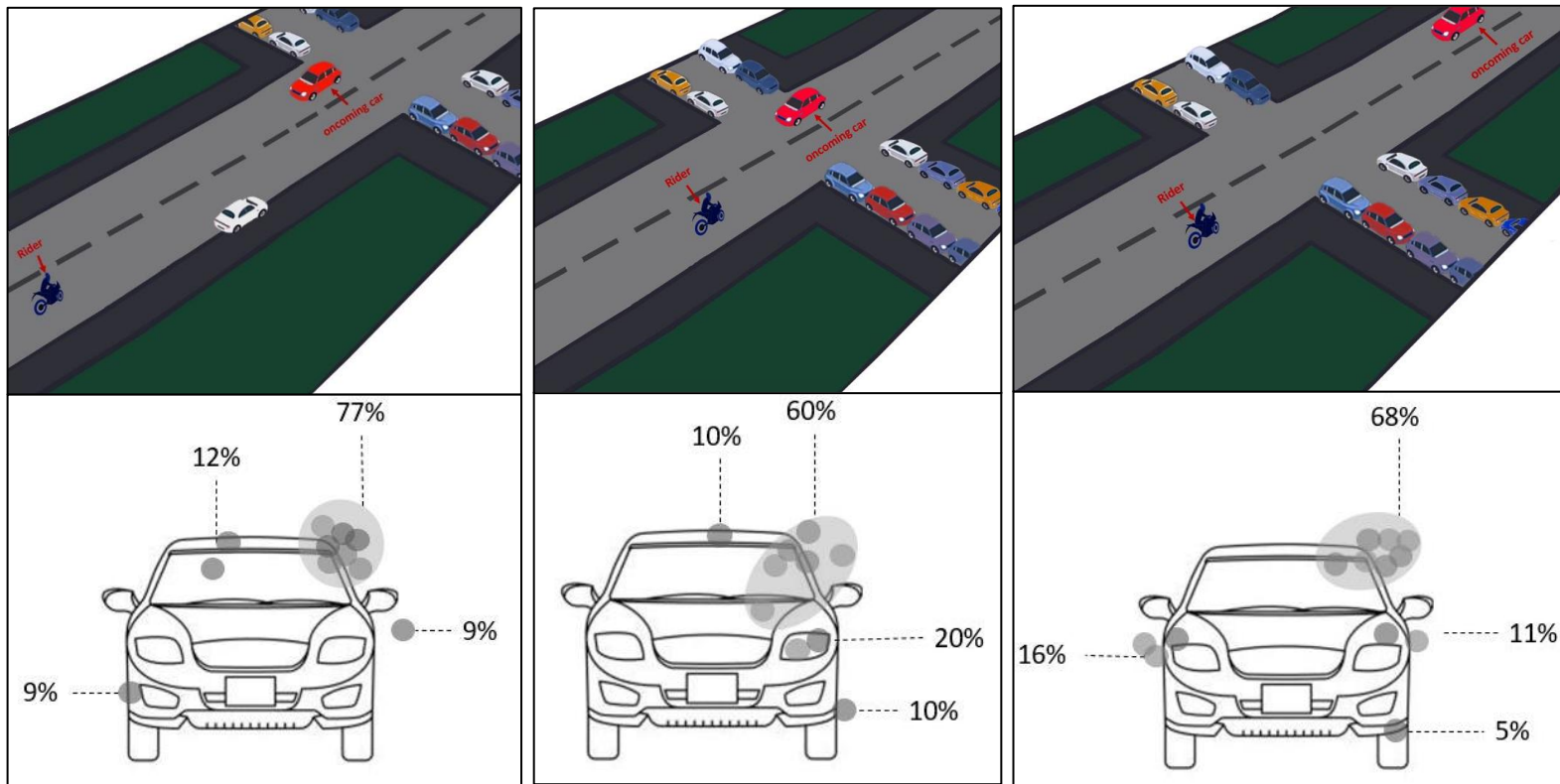


Εικόνα 23: Αντικείμενα εστίασης στο ερχόμενο από δεξιά όχημα του κάθετου δρόμου (Δρόμος 1), κατά τη προσπέλαση σε διασταύρωση με χρήστες τις οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν.

Τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η θέση του οδηγού και η μπροστινή άκρη του οχήματος.

Συνολικά, τα αντικείμενα με το μεγαλύτερο ποσοστό εστίασης που συναντώνται και στις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες είναι η θέση του οδηγού.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στα οχήματα αντίθετης κυκλοφορίας/ απέναντι όχημα για τις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες:



Εικόνα 26: Αντικείμενα εστίασης στο όχημα αντίθετης κυκλοφορίας/ απέναντι όχημα, στην οδήγηση σε ευθεία κατά την ύπαρξη παρκαρισμένου οχήματος.

Εικόνα 26: Αντικείμενα εστίασης στο όχημα αντίθετης κυκλοφορίας/ απέναντι όχημα, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται κοντά.

Εικόνα 26: Αντικείμενα εστίασης στο όχημα αντίθετης κυκλοφορίας/ απέναντι όχημα, κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες τις οδού να βρίσκονται μακριά ή να απουσιάζουν.

Από την εικόνα 24 τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού και η θέση του οδηγού. Από την εικόνα 25 τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού και το μπροστά φως. Από την εικόνα 26 τα αντικείμενα που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης είναι κατά φθίνοντα σειρά η περιοχή κοντά στη θέση του συνοδηγού και το μπροστά φως.

Συνολικά, τα αντικείμενα με το μεγαλύτερο ποσοστό εστίασης που συναντώνται και στις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες είναι η περιοχή κοντά στη θέση του οδηγού. Το αμέσως μετά αντικείμενο που διακρίθηκε και συναντάται σε δυο κυκλοφοριακές συνθήκες είναι το μπροστά φως.

Στο παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται τα αντικείμενα εστίασης στους πεζούς με βάση την οπτική προσέγγιση τους από τους μοτοσικλετιστές, για τις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες:

	Μετωπική όψη πεζού			Προφίλ πεζού/πρόθεση διάσχισης δρόμου			Πίσω όψη πεζού
	Κεφάλι	Πόδια	Κορμός	Κεφάλι	Πόδια	Κορμός	Κεφάλι
Ευθεία – χρήστες μακριά/ απουσία – με παρκαρισμένο	56%			11%			33%
Διασταύρωση - χρήστες κοντά	11%		11%	50%	17%	6%	6%
Διασταύρωση - χρήστες μακριά/ απουσία	39%	15%		39%			8%

*Πίνακας 3: Σημεία εστίασης στους πεζούς για τις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες.*

Το σημείο εστίασης που συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα ποσοστά εστίασης και στις τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες είναι το κεφάλι.

## 8. Συμπεράσματα.

### 8.1 Συμπεράσματα Ανάλυσης.

#### Σημαιολογική ανάλυση σημείων και εστιάσεων στα παρκαρισμένα οχήματα.

Ξεκινώντας με την ανάλυση των εστιάσεων στα παρκαρισμένα αυτοκίνητα. Διακρίνονται δύο ειδών εστιάσεις, εστιάσεις που σαρώνουν εσωτερικά το όχημα και εστιάσεις περιμετρικά του. Οι εστιάσεις που σαρώνουν εσωτερικά φαίνεται να αποσκοπούν στην εξακρίβωση της ύπαρξης οδηγού στο όχημα, γεγονός που δικαιολογεί τη θέση του οδηγού ως ένα από τα επικρατέστερα σημεία εστίασης. Οι εστιάσεις περιμετρικά του οχήματος πέρα από την εκμαίευση της πρόθεσης κίνησης από τα φώτα ή τις ρόδες, εξετάζουν και τους πιθανούς κινδύνους πίσω από το παρκαρισμένο όχημα, όπως η ύπαρξη πεζού. Ιδιαίτερα οι εστιάσεις περιμετρικά της οροφής και συνηθέστερα κοντά στη θέση του οδηγού είναι η περιοχή εστίασης που κυριαρχεί σε όλες τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Επίσης, οι εστιάσεις περιμετρικά και πλάγια χρησιμεύουν πέρα από τα παραπάνω και για τη μέτρηση της απόστασης που θα επιτρέψει στους μοτοσικλετιστές να περάσουν με ασφάλεια από δίπλα.

#### Σημαιολογική ανάλυση σημείων και εστιάσεων στα προπορευόμενα οχήματα.

Στα προπορευόμενα οχήματα οι εστιάσεις διακρίνονται παρόμοια σε εστιάσεις που σαρώνουν εσωτερικά και εστιάσεις περιμετρικά του οχήματος αλλά με διαφορετικό σκοπό. Σε αυτή τη περίπτωση όταν είναι εφικτή η ορατότητα, οι εστιάσεις εσωτερικά αποσκοπούν στη συλλογή πληροφορίας από την στάση ή τις κινήσεις του οδηγού. Επομένως, αξίζει να σημειωθεί ότι οι εστιάσεις που σαρώνουν εσωτερικά τη θέση του οδηγού ή κοντά σε αυτή είναι ποσοτικά επικρατέστερες στην οδήγηση κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης με χρήστες της οδού να βρίσκονται κοντά (εικόνα 16), καθώς η ορατότητα είναι σίγουρα πιο εφικτή σε σχέση

με τις υπόλοιπες κυκλοφοριακές συνθήκες στις οποίες το προπορευόμενο όχημα απέχει μεγαλύτερη απόσταση. Όσον αφορά τις εστιάσεις περιμετρικά του οχήματος, πέρα από τα σημεία που εξετάζονται στο προπορευόμενο όχημα όπως τα φώτα/ φλας τη πιθανότητα στροφής, εξετάζονται ταυτόχρονα και οι εγκυμονούντες κίνδυνοι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα που επαληθεύει τη παραπάνω διαπίστωση και αφορά την οδήγηση σε ευθεία (εικόνα 15), είναι ότι στα προκείμενα προπορευόμενα οχήματα αφιερώνεται το δεύτερο υψηλότερο ποσοστό εστίασης στο δεξιά φως/ φανάρι. Σε αυτή τη περίπτωση οι μοτοσικλετιστές βρίσκονται συνήθως αρκετά μακριά από τη διασταύρωση ώστε να τους απασχολήσει πιθανή ένδειξη στροφής/ φλας. Επομένως, δικαιολογούμενος της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, εστιάζοντας κοντά στη περιοχή του φαναριού ελέγχουν το παρκαρισμένο όχημα που κρύβεται πίσω από αυτό.

### **Σηματολογική ανάλυση σημείων και εστιάσεων στα ερχόμενα οχήματα του κάθετου δρόμου που αναμένουν τη διάσχιση της διασταύρωσης.**

Τα ερχόμενα οχήματα που αναμένουν στο κάθετο δρόμο της διασταύρωσης αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για τους μοτοσικλετιστές. Παρατηρείται διαφορά στη κατανομή και την 'επιμονή' με βάση τη πλευρά που βρίσκεται το ερχόμενο όχημα (δεξιά, αριστερά). Τα ερχόμενα οχήματα της δεξιάς πλευράς εξετάζονται πιο διεξοδικά με εστιάσεις στο εσωτερικό και το εξωτερικό του οχήματος. Αντίθετα, στα ερχόμενα οχήματα της αριστερής πλευράς οι εστιάσεις είναι κυρίως περιμετρικά. Φτάνοντας στο συμπέρασμα, ότι βάση της απόστασης οι μοτοσικλετιστές στα οχήματα της δεξιάς πλευράς εστιάζουν στον οδηγό εξακριβώνοντας το αν τους έχει δει. Έπειτα εστιάσεις στο μπροστινό μέρος του οχήματος και περιμετρικά εξυπηρετούν στον υπολογισμό της απόστασης με ασφάλεια από δίπλα του. Όσον αφορά τα ερχόμενα οχήματα της αριστερής πλευράς, λόγω της απόστασης η ορατότητα του οδηγού δεν καθιστάτε ιδιαίτερα εφικτή, για αυτό και υπάρχει μικρό ή μηδαμινό ποσοστό εστίασης στον οδηγό. Σε αυτή τη περίπτωση οι εστιάσεις συγκεντρώνονται περιμετρικά στο μπροστινό ακριανό μέρος του οχήματος, για τον υπολογισμό της απόστασης και τον έλεγχο πιθανής κίνησης και πλησίασης του.



## Σημαιολογική ανάλυση σημείων και εστιάσεων στα οχήματα αντίθετης κυκλοφορίας/ απέναντι οχήματα.

Στα οχήματα της αντίθετης κυκλοφορίας οι εστιάσεις κυριαρχούν κυρίως στη θέση του οδηγού και περιμετρικά αυτής. Επομένως, ενδιαφέρει τους μοτοσικλετιστές να κοιτάξουν εσωτερικά στον οδηγό και να αντλήσουν πληροφορία πιθανόν ως έλεγχο ότι το όχημα θα ακολουθήσει τη προβλεπόμενη πορεία. Ταυτόχρονα, κοιτάζοντας κοντά στη θέση του οδηγού επιδιώκουν όπως και προηγουμένως να δουν τι ακολουθεί πίσω από αυτό, όπως μια σειρά από άλλα οχήματα ή ο πιθανός κίνδυνος ενός πεζού να διασχίζει το δρόμο. Στις κυκλοφοριακές συνθήκες κατά τη προσπέλαση διασταύρωσης εύλογα αφιερώνεται ποσοστό εστιάσεων στα φώτα/ φανάρια και στη ρόδα ως έλεγχο για πιθανή ένδειξη στροφής του οχήματος στο κάθετο δρόμο (πχ. φλας, στροφή ρόδας). Ωστόσο ο κύριος λόγος των εστιάσεων σε αυτά τα σημεία και περιμετρικά τους φαίνεται να είναι ο υπολογισμός της απόστασης των μοτοσικλετιστών από το διερχόμενο όχημα.

## Σημαιολογική ανάλυση σημείων και εστιάσεων στους πεζούς.

Σε όλες τις οπτικές προσέγγισης των πεζών από τους μοτοσικλετιστές το κυρίαρχο σημείο εστίασης είναι το κεφάλι. Πρόκειται για ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς από τη κατεύθυνση του κεφαλιού αντλούνται πληροφορίες για τη πρόθεση και κατεύθυνση κίνησης τους. Έπειτα οι εστιάσεις στα πόδια που παρατηρήθηκαν σε πεζούς εν κίνηση φαίνεται να έχουν εποπτικό σκοπό για την κατεύθυνση ή ταχύτητα κίνησης τους, ιδιαίτερα κρίσιμο για πεζούς που διασχίζουν το δρόμο.

## 8.2 Συμπεράσματα και μελλοντική εξέλιξη.

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν αρχικά να διερευνηθεί από την υπάρχουσα βιβλιογραφία ο αυτοματισμός στην οδήγηση και τα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη λήψη απόφασης. Ξεκινώντας, από τη παρουσίαση της έννοιας του αυτόνομου οχήματος, των χαρακτηριστικών



του και συνεχίζοντας προς τις τεχνολογίες που αφορούν την λήψη απόφασης και εν τέλει εισάγοντας το προβληματικό χώρο της άτυπης επικοινωνίας των χρηστών της οδού, που είναι κρίσιμο να ενσωματωθεί κατάλληλα στο μελλοντικό περιβάλλον μεικτής κυκλοφορίας αυτόνομων και συμβατικών οχημάτων. Καταλήγοντας έτσι, ότι η λήψη απόφασης ενσωματώνει δύο παράγοντες για ένα αυτόνομο όχημα: 1) εξαρτάται από τη τεχνολογία που περιλαμβάνει και τη βελτιστοποίηση που μπορεί να επιδεχθεί 2) αλλά επίσης τους τρόπους που διασφαλίζει την άτυπη επικοινωνία ενός χρήστη της οδού με ένα αυτόνομο όχημα.

Η ανάλυση που διεξήχθη σε αυτή τη διπλωματική εργασία προσομοίωσε τη θέση ενός αυτόνομου οχήματος με έμπειρους μοτοσικλετιστές προκειμένου να αναδειχθούν τα ενδιαφέροντα σημεία που δηλώνουν πρόθεση κίνησης των χρηστών της οδού και κατ' επέκταση διαμορφώνουν τη κρίση και τη λήψη απόφασης της κίνησης των μοτοσικλετιστών (ή αντίστοιχα ενός αυτόνομου οχήματος). Με τη μελέτη να επικεντρώνεται κυρίως στην αλληλεπίδραση των μοτοσικλετιστών με συμβατικά οχήματα στην οδό αναδείχθηκαν ενδιαφέροντα σημεία σε αυτά όπως διατυπώθηκε η σημασιολογική τους ανάλυση παραπάνω.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να χαρακτηριστούν λογικά και αναμενόμενα αλλά ταυτόχρονα σε πολλά σημεία ενδιαφέροντα ως προς την σημασία τους η οποία απαιτεί τη κριτική ικανότητα που δε διαθέτει ένα αυτόνομο όχημα ακόμη. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα ενδιαφέροντα σημεία παρουσιάζουν διττή ή πολλαπλή σημασία κατά την οποία για παράδειγμα η εστίαση στο φανάρι ενός οχήματος δε μαρτυρά απλώς τον έλεγχο για πιθανή στροφή (φλας), αλλά και ένα πιθανό κίνδυνο που δεν είναι ακόμη ορατός. Η διττή ή πολλαπλή φύση αυτών των ευρημάτων αυξάνει τη πολυπλοκότητα της πρόθεσης κίνησης. Αντίστοιχα, σε μεγαλύτερη κλίμακα η πολλαπλή ερμηνεία ενός σημείου για τον άνθρωπο οδηγό έρχεται σε σύγκρουση με την προκαθορισμένη ερμηνεία του από ένα αυτόνομο όχημα.

Τα ευρήματα έχουν σκοπό να επισημάνουν πρώτα τα σημεία που είναι κρίσιμο να λαμβάνονται υπόψη για τη πρόθεση κίνησης και έπειτα να ερμηνεύσουν τη σημασία τους. Είναι κατάλληλο να αντιμετωπιστούν ως ομάδες σημείων και όχι μεμονωμένα. Ο συνδυασμός τους για συγκεκριμένες κυκλοφοριακές συνθήκες μπορεί να διαμορφώσει ένα πλάνο απόφασης για ένα αυτόνομο όχημα.

Τέλος, η μελλοντική πρόκληση των ευρημάτων από αυτή τη μελέτη είναι πώς θα εκμεταλλευτούν τεχνολογικά και σημασιολογικά συμβάλλοντας στην ερμηνεία της πολλαπλής σημασίας τους και στην γεφύρωση της του χάσματος επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών της οδού σε ένα μελλοντικό περιβάλλον μεικτής κυκλοφορίας αυτόνομων και συμβατικών οχημάτων;

## Βιβλιογραφία και πηγές.

ACEA (2015) The automobile industry pocket guide. European Automobile Manufacturers Association, [http://www.acea.be/uploads/publications/POCKET\\_GUIDE\\_2015-2016.pdf](http://www.acea.be/uploads/publications/POCKET_GUIDE_2015-2016.pdf)

Ahern, S., Beatty, J.: Pupillary responses during information processing vary with scholastic aptitude test scores. *Science* 205(4412), 1289–1292 (1979).

Ales, F., Giromini, L., Zennaro, A.: Complexity and cognitive engagement in the Rorschach task: an eye-tracking study. *J. Pers. Assess.* 1–13 (2019).

Anderson JM, Nidhi K, Stanley KD, Sorensen P, Samaras C, Oluwatola OA (2014) Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers. Rand Corporation.

Abdulla, W. (2017). Mask R-CNN for object detection and instance segmentation on Keras and TensorFlow. *GitHub Repository*.

Antonacopoulos, A., Bridson, D., Papadopoulos, C., & Pletschacher, S. (2009). A realistic dataset for performance evaluation of document layout analysis. *In 2009 10th International Conference on Document Analysis and Recognition*, 296–300.

Autonomous and Connected Vehicles: Implications for Bicyclists and Pedestrians, Jun. 2014, [online] Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: [http://bikeleague.org/sites/default/files/Bike\\_Ped\\_Connected\\_Vehicles.pdf](http://bikeleague.org/sites/default/files/Bike_Ped_Connected_Vehicles.pdf)

Asgari Taghanaki, S., Abhishek, K., Cohen, J. P., Cohen-Adad, J., & Hamarneh, G. (2021). Deep semantic segmentation of natural and medical images: A review. *Artificial Intelligence Review*, 54(1), 137–178.

Bahram, M., Wolf, A., Aeberhard, M. and Wollherr, D. (2014). "A prediction-based reactive driving strategy for highly automated driving function on free-ways," in Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2014, pp. 400-406

Bai, H., Cai, S., Ye, N., Hsu, D. and Lee, W. S. (2015). "Intention-aware online POMDP planning for autonomous driving in a crowd", Proc. ICRA, pp. 454-460, May 2015.

Barbier, M., Laugier, C., Simonin, O. and Ibanez-Guzman, J. (2016). "Functional Discretization of Space Using Gaussian Processes for Road Inter- section," in 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2016), Rio de Janeiro, Brazil, Nov. 2016, p. 7.

Bashiri, F. S., LaRose, E., Peissig, P., & Tafti, A. P. (2018). Mcindoor20000: A fully-labeled image dataset to advance indoor objects detection. *Data in Brief*, 17, 71-75.

Berg, S., Kutra, D., Kroeger, T., Straehle, C. N., Kausler, B. X., Haubold, C., & Kreshuk, A. (2019). Ilastik: Interactive machine learning for (bio) image analysis. *Nature Methods*, 16(12), 1226-1232.

Buswell, G.T. (1937), *How Adults Read*. Chicago

Bodala, I.P., Li, J., Thakor, N.V., Al-Nashash, H.: Eeg and eye tracking demonstrate vigilance enhancement with challenge integration. *Front. Hum. Neurosci.* 10, 273 (2016)

Brouwer, N., Kloeden, H. and Stiller, C. (2016). "Comparison and evaluation of pedestrian motion models for vehicle safety systems", Proc. ITSC, pp. 2207-2212, Nov. 2016

Brown, B & Laurier, E (2017). The Trouble with Autopilots: Assisted and Autonomous Driving on the Social Road. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 416-429.

Cavanagh, J.F., Wiecki, T.V., Kochar, A., Frank, M.J.: Eye tracking and pupillometry are indicators of dissociable latent decision processes. *J. Exp. Psychol. Gen.* 143(4), 1476 (2014)

Caulfield B, Brick E, and McCarthy OT (2012) Determining bicycle infrastructure preferences—a case study of Dublin. *Transp Res Part D Transp Environ* 17(5):413-417

Carion, N., Massa, F., Synnaeve, G., Usunier, N., Kirillov, A., & Zagoruyko, S. (2020). End-to-end object detection with transformers. In *European conference on computer vision*, 213-229.

Callemein, T., Van Beeck, K., Brône, G., & Goedemé, T. (2018). Automated analysis of eye-tracker-based human-human interaction studies. *International Conference on Information Science and Applications*, 514, 499-509.

Carsten, O. (2015). Road Network Operations & Intelligent Transport Systems; Institute for Transport Studies, University of Leeds: Leeds, UK, 2015; Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: [https://rno-its.piarc.org/sites/rno/files/public/pdf/piarc\\_road\\_safety\\_2016\\_09\\_13\\_v1.pdf](https://rno-its.piarc.org/sites/rno/files/public/pdf/piarc_road_safety_2016_09_13_v1.pdf)

Chang, C.-M., Toda, K., Sakamoto D. and T. Igarashi (2017). "Eyes on a car: An interface design for communication between an autonomous car and a pedestrian", *Proc. Automot. UI*, pp. 65-73, 2017

Cunningham, W. (2017). Honda Tech Warns Drivers of Pedestrian Presence, May 2017, [online] Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: <https://www.cnet.com/roadshow/news/honda-tech-warns-drivers-of-pedestrian-presence/> .

Daily, R.; Bevly, D.M. Harmonic potential field path planning for high speed vehicles. In *Proceedings of the American Control Conference*, Seattle, WA, USA, 11-13 June 2018; pp. 4609-4614.

Daimon, T.; Nishimura, M.; Kawashima, H. Study of Drivers' Behavioral Characteristics for Designing Interfaces of In-Vehicle Navigation Systems Based on National and Regional Factors. *JSAE Rev.* 2010, 21, 379-384.

Damen, D., Doughty, H., Farinella, G. M., Fidler, S., Furnari, A., Kazakos, E., & Wray, M. (2018). Scaling egocentric vision: The epic-kitchens dataset. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 720-736.

Davoudian, N., & Raynham, P. (2012). What do pedestrians look at night? *Lighting Research & Technology*, 44(4), 438–448.

De Beugher, S., Ichiche, Y., Brône, G., & Goedemé, T. (2012). Automatic analysis of eye-tracking data using object detection algorithms. *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, 677–680.

De Beugher, S., Brône, G., & Goedemé, T. (2014). Automatic analysis of in-the-wild mobile eye-tracking experiments using object, face and person detection. *2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, 1, 625–633.

Du, M.; Chen, J.; Zhao, P.; Liang, H.; Xin, Y.; Mei, T. An improved RRT-based motion planner for autonomous vehicle in cluttered environments. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Hong Kong, China, 31 May–7 June 2016; pp. 4674–4679.

Duchowski, A.T.: *Eye Tracking Methodology*. Springer, Cham (2017).

European Commission (2015). ITS & Vulnerable Road Users. 2015. Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/road/action-plan-and-directive/its-vulnerable-road-users\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/road/action-plan-and-directive/its-vulnerable-road-users_en)

Evans, K. M., Jacobs, R. A., Tarduno, J. A., & Pelz, J. B. (2012). Collecting and analyzing eye tracking data in outdoor environments. *Journal of Eye Movement Research*, 5(2), 6.

Eysenck, M.W., Keane, M.T.: *Manual de Psicologia Cognitiva*, 7th edn. Artmed Editora, Porto Alegre (2017).

Fabbro, D.A.D., Thomaz, C.E.: Contagem e Cognição Numérica: experimentos com eye-tracking. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Knowledge Discovery, Mining and Learning*, Recife, Brazil, pp. 186–193 (2016).

Fagnant DJ, Kockelman K (2015) Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transp Res Part A* 77:167–181.

Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision: The psychology of looking and seeing* (Vol. 37). Oxford University Press.

Florentine, E., Ang, M. A., Pendleton, S. D., Andersen, H. and Ang, M. H. (2016). "Pedestrian notification methods in autonomous vehicles for multi-class mobility-on-demand service", Proc. HAI, pp. 387-392, 2016.

Foulsham, T., Walker, E., & Kingstone, A. (2011). The where, what and when of gaze allocation in the lab and the natural environment. *Vision Research*, 51(17), 1920-1931.

Galceran, E., Cunningham, A. G., Eustice, R. M. and Olson, E. (2015). "Multipolicy Decision-Making for Autonomous Driving via Change-point-based Behavior Prediction," Robotics: Science and Systems, 2015.

Geng, X., Liang, H., Xu, H., Yu, B. and Zhu, M. (2016). "Human-driver speed profile modeling for autonomous vehicle's velocity strategy on curvy paths," in Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 2016, pp. 755-760.

Guizzo E (2021) How google's self-driving car works. IEEE Spectrum Online.

Graziano, L. (2014). AutoMI Autonomous Mobility Interface, Feb. 2014, [online] Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: <https://vimeo.com/99160686> .

He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, 2961-2969.

Hou, P.; Pan, H.; Guo, C. Simulation research for mobile robot path planning based on improved artificial potential field method recommended by the AsiaSim. *Int. J. Modeling Simul. Sci. Comput.* 2017, 8, 1750046.

Ioannou P (2013) Automated highway systems. Springer Science & Business Media.

Ismail, A., Ahmad, S. A., Soh, A. C., Hassan, M. K., & Harith, H. H. (2020). Mynursinghome: A fully-labelled image dataset for indoor object classification. *Data in Brief*, 32, 106268.

Jarnea, A.D.; Dobrescu, R.; Popescu, D.; Ichim, L. Advanced driver assistance system for overtaking maneuver on a highway. In Proceedings of the International Conference on System Theory, IEEE, Cheile Gradistei, Romania, 14-16 October 2015.

Kan Z, Qiang Z, Haojun Y, Long Z, Lu H, Chatzimisios P (2015) Reliable and efficient autonomous driving: the need for heterogeneous vehicular networks. *Commun Mag IEEE* 53:72–79.

Kassner, M., Patera, W., & Bulling, A. (2014). *Pupil. Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing: Adjunct publication* (pp. 1151–1160).

Katrakazas, C., Quddus, M., Chen, W.H., et al. (2015). Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions. *Transp. Res. C Emerg. Technol.* 60, 416–442 (2015)

Kinsman, T., Evans, K., Sweeney, G., Keane, T., & Pelz, J. (2012). Ego-motion compensation improves fixation detection in wearable eye tracking. *In Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, 221-224.*

Klasson, M., Zhang, C., & Kjellström, H. (2019). A hierarchical grocery store image dataset with visual and semantic labels. *In 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 491–500.

Kooij, J. F. P., Schneider, N. and Gavrila, D. M. (2014) "Analysis of pedestrian dynamics from a vehicle perspective", Proc. IV, pp. 1445-1450, Jun. 2014.

Kothari, R., Yang, Z., Kanan, C., Bailey, R., Pelz, J. B., & Diaz, G. J. (2020). Gaze-in-wild: A dataset for studying eye and head coordination in everyday activities. *Scientific Reports*, 10(1), 1–18.

Kretch, K. S., & Adolph, K. E. (2015). Active vision in passive locomotion: Real-world free viewing in infants and adults. *Developmental Science*, 18(5), 736–750.

Lanata, A., Valenza, G., Greco, A., & Scilingo, E. P. (2015). Robust head mounted wearable eye tracking system for dynamical calibration. *Journal of Eye Movement Research*, 8(5).

Larsson, L., Schwaller, A., Holmqvist, K., Nyström, M., & Stridh, M. (2014, September). Compensation of head movements in mobile eye-tracking data using an inertial measurement unit. In Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 1161-1167.

Lappi, O. (2016). Eye movements in the wild: Oculomotor control, gaze behavior & frames of reference. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 49-68.

Laugier C. et al. (2011). "Probabilistic analysis of dynamic scenes and collision risks assessment to improve driving safety", *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 3, no. 4, pp. 4-19, Oct. 2011.

Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. *Computer Vision - ECCV, 2014*, 8693,740-8693,755.

Loh, Y. P., & Chan, C. S. (2019). Getting to know low-light images with the exclusively dark dataset. *Computer Vision and Image Understanding*, 178, 30-42.

Lagstrom, T. and Lundgren, V. M. (2015). "AVIP-autonomous vehicles interaction with pedestrians", 2015.

Laurier,E(2019). Civility and mobility: Drivers (and passengers) appreciating the actions of other drivers, *Language & Communication*, Volume 65, Pages 79-91, ISSN 0271-5309.

Lei, Y.; Liu, K.; Fu, Y.; Li, X.; Liu, Z.; Sun, S. Research on Driving Style Recognition Method Based on Driver's Dynamic Demand. *Adv. Mech. Eng.* 2016, 8, 1-14.

Link H, Nash C, Ricci A, Shires J (2014) A generalised approach for measuring the marginal social costs of road transport in Europe. *Int J Sustain Transp.*



Maddox J, Sweatman P, Sayer J (2015) Intelligent vehicles + infrastructure to address transportation problems—a strategic approach. In: 24th international technical conference on the enhanced safety of vehicles (ESV).

Mahadevan, K., Somanath, S. and Sharlin, E. (2017). Communicating awareness and intent in autonomous vehicle-pedestrian interaction, 2017.

Manyika J, Chui M, Bughin J, Dobbs R, Bisson P, Marrs A (2013) Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute New York.

Ming, Y., Meng, X., Fan, C., & Yu, H. (2021). Deep learning for monocular depth estimation: A review. *Neurocomputing*, 438, 14–33.

Mirnig, N., Perterer, N., Stollnberger, G. and Tscheligi, M. (2017). "Three strategies for autonomous car-to-pedestrian communication: A survival guide", Proc. HRI, pp. 209-210, 2017.

Mitsubishi Electric Introduces Road-Illuminating Directional Indicators, Jun. 2017, [online] Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: <http://www.mitsubishielectric.com/news/2015/1023.html?cid=rss>

Moses, E.D.B.; Anitha, G. Goal directed approach to autonomous motion planning for unmanned vehicles. *Def. Sci. J.* 2017, 67, 45–49.

Mueller, A, Cicchino, J & Zuby, D. (2020). What humanlike errors do autonomous vehicles need to avoid to maximize safety. *Journal of Safety Research*, Volume 75, Pages 310-318, ISSN 0022-4375.

Narla, S. R. (2013). "The evolution of connected vehicle technology: From smart drivers to smart cars to... self-driving cars", *Inst. Transp. Eng. J.*, vol. 83, no. 7, pp. 22, 2013

Nieuwenhuijsen J (2015) Diffusion of automated vehicles: a quantitative method to model the diffusion of automated vehicles with system dynamics. Delft University of Technology, TU Delft .

NHTSA (2021). Vehicle Manufactures, Automated Driving Systems. National Highway Traffic Safety Administration. 2021. Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: <https://www.nhtsa.gov/vehicle-manufacturers/automated-driving-systems>

OECD (1998). Safety of Vulnerable Road Users. Organisation for Economic Co-operation and Development, DSTI/DOT/RTR/RS7(98)1/FINAL. 1998. Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOT/RTR/RS7\(98\)1/FINAL&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOT/RTR/RS7(98)1/FINAL&docLanguage=En)

Ohn-Bar, E., Martin, S., Tawari, A. and Trivedi, M. M. (2014). "Head eye and hand patterns for driver activity recognition", Proc. ICPR, pp. 660-665, Aug. 2014.

Olsen, A. (2012). The Tobii I-VT Fixation Filter: Algorithm description. Copyright © Tobii Technology AB.

Papa, E., & Ferreira, A. (2018). Sustainable Accessibility and the Implementation of Automated Vehicles: Identifying Critical Decisions. *Urban Science*, 2(1), 5

Pourtois, G., Schettino, A., & Vuilleumier, P. (2013). Brain mechanisms for emotional influences on perception and attention: What is magic and what is not. *Biological Psychology*, 92(3), 492–512.

Papakostopoulos, V., Nathanael, D. & Psarakis, L. Semantic content of motorcycle riders' eye fixations during lane-splitting. *Cogn Tech Work* 22, 343–355 (2020).

Ptak, M. (2019). Method to Assess and Enhance Vulnerable Road User Safety during Impact Loading. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1000

Rabiner, L. R. and Juang, B.-H. (2016) "An introduction to hidden Markov models," *IEEE ASSP Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 4–16, 2016.

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 28.

Ren, G.; Zhang, Y.; Liu, H.; Zhang, K.; Hu, Y. A New Lane-Changing Model with Consideration of Driving Style. *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res.* 2019, 17, 181–189.

Risto, M., Emmenegger, C., Vinkhuyzen, E., Cefkin, M. and Hollan, J.

(2017) "Human-vehicle interfaces: The power of vehicle movement gestures in human road user coordination", Proc. Hum. Factors Driver Assessment Training Vehicle Design, pp. 186-192, 2017.

Ryu, B.S., Yang, H.S. (2019). Integration of reactive behaviors and enhanced topological map for robust mobile robot navigation. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. A Syst. Hum.* 29(5), 474-485 (2019)

Samani, E. U., Yang, X., & Banerjee, A. G. (2021). Visual object recognition in indoor environments using topologically persistent features. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(4), 7509-7516.

Schulz, A. T. and Stiefelhagen, R. (2015). "A controlled interactive multiple model filter for combined pedestrian intention recognition and path prediction", Proc. ITSC, pp. 173-178, Sep. 2015.

Shirazi, M. S. and Morris, B. T. (2016). "Looking at intersections: A survey of intersection monitoring, behavior and safety analysis of recent studies," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, no. 99, pp. 1-21, 2016

Sieß, A. et al. (2015) "Hybrid city lighting-improving pedestrians' safety through proactive street lighting", Proc. Cyberworlds, pp. 46-49, Oct. 2015.

Siripanich, S. (2017). Crossing the Road in the World of Autonomous Cars, Feb. 2017, [online] Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: <https://medium.com/teague-labs/crossing-the-road-in-the-world-of-autonomous-cars-e14827bfa301>

Skaramagkas, Vasileios & Giannakakis, Giorgos & Ktistakis, Emmanouil & Manousos, Dimitris & Karatzanis, Ioannis & Tachos, Nikolaos & Tripoliti, Evanthia & Marias, Kostas & Fotiadis, Dimitrios & Tsiknakis, Manolis. (2021). Review of eye tracking metrics involved in emotional and cognitive processes. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*. PP. 1-1. 10.1109/RBME.2021.3066072.

Song, W., Xiong, G. and Chen, H. (2016). "Intention-Aware Autonomous Driving Decision-Making in an Uncontrolled Intersection," *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

Steil, J., Huang, M. X., & Bulling, A. (2018). Fixation detection for head-mounted eye tracking based on visual similarity of gaze targets. *In Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 1-9.

Steiner, J.A.; He, X.; Bourne, J.R.; Leang, K.K. Open-sector rapid-reactive collision avoidance: Application in aerial robot navigation through outdoor unstructured environments. *Robot. Auton. Syst.* 2019, *112*, 211-220.

Sivaraman S (2013) Learning, modeling, and understanding vehicle surround using multi-modal sensing.

Son, J.; Lee, H.; Choi, J. Driving Assistant Companion with Voice Interface Using Long Short-Term Memory Networks. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2019, *15*, 582-590.

The World Bank (2020). Urban Development. Ανακτήθηκε 27.01.2023 από: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#1>

Thomas, E., McCrudden, C., Wharton, Z. and Behera, A. (2020). Perception of autonomous vehicles by the modern society: A survey. *IET Intell. Transp. Syst.* 2020, *14*, 1228-1239.

Tomasi, M., Pundlik, S., Bowers, A. R., Peli, E., & Luo, G. (2016). Mobile gaze tracking system for outdoor walking behavioral studies. *Journal of Vision*, *16*(3), 27-27.

Toth, E., Mazaheri, A., & Raymond, J. E. (2020). Urban and natural contexts differentially modulate attention bias towards threat. *PsychArchives*.

Toyama, T., Kieninger, T., Shafait, F., & Dengel, A. (2012). Gaze guided object recognition using a head-mounted eye tracker. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 91-98.

Trefzger, M., Blascheck, T., Raschke, M., Hausmann, S., & Schlegel, T. (2018). A visual comparison of gaze behavior from pedestrians and

cyclists. *Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 1–5.

Thierry, D.; Victor, M.; Marie-Francine, M. Giving commands to a self-driving car: How to deal with uncertain situations? *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2021, *103*, 104257.

Taheri, S.M.; Matsushita, K.; Sasaki, M. Virtual Reality Driving Simulation for Measuring Driver Behavior and Characteristics. *J. Transp. Technol.* 2017, *7*, 123–132.

Voigtlaender, P., Krause, M., Osep, A., Luiten, J., Sekar, B. B. G., Geiger, A., & Leibe, B. (2019). Mots: Multi-object tracking and segmentation. *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 7942–7951.

Voigtlaender, P., Luiten, J., Torr, P. H., & Leibe, B. (2020). Siam R-CNN: Visual tracking by re-detection. *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 6578–6588.

Yeo, S. H. [Sang-Hoon Yeo]. (2020). Gaze-Tracking with Mask R-CNN  
Yoon, S.; Yoon, S.E.; Lee, U.; Shim, D.H. Recursive path planning using reduced states for car-like vehicles on grid maps. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2015, *16*, 2797–2813.

Yijing, W.; Zhengxuan, L.; Zhiqiang, Z.; Zheng, L. Local path planning of autonomous vehicles based on A\* algorithm with equal-step sampling. *In Proceedings of the 37th Chinese Control Conference, Wuhan, China, 25–27 July 2018*; pp. 7828–7833.

Wu, X., Zhu, X., Wu, G. Q., & Ding, W. (2013). Data mining with big data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *26*(1), 97–107.

Woo, H.; Ji, Y.; Kono, H.; Tamura, Y.; Kuroda, Y.; Sugano, T.; Yamamoto,

Y.; Yamashita, A.; Asama, H. Automatic detection method of lane-changing intentions based on relationship with adjacent vehicles using artificial potential fields. *Int. J. Automot. Eng.* 2016, 7, 127–134.

Xu, Y.; Wang, X.; Li, W. GA-BPNN Based Hybrid Steering Control Approach for Unmanned Driving Electric Vehicle with In-Wheel Motors. *IEEE/CAA J. Autom. Sin.* 2020, 7, 178–186.

Zhen, X.; Enze, Z.; Qingwei, C. Rotary unmanned aerial vehicles path planning in rough terrain based on multi-objective particle swarm optimization. *J. Syst. Eng. Electron.* 2020, 31, 130–141.

Zhang, K.; Wang, J.; Chen, N.; Yin, G. A non-cooperative vehicle-to-vehicle trajectory-planning algorithm with consideration of driver's characteristics. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.* 2018, 233, 095440701878339.

Zult, T., Allsop, J., Timmis, M. A., & Pardhan, S. (2019). The effects of temporal pressure on obstacle negotiation and gaze behavior in young adults with simulated vision loss. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13.