

**Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας  
Πανεπιστήμιο Αιγαίου**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Συγκριτική μελέτη τεχνολογιών για την ανάπτυξη  
τρισδιάστατης ψηφιακής οπτικοποίησης  
πολιτισμικής πληροφορίας**

**Τσακογιάννη Μαρούσα**

Επιβλέπουσα: Καβακλή Ευαγγελία  
Συνεπιβλέπων: Χριστοδούλου Ευάγγελος

*Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή*

Καβακλή Ευαγγελία  
Σαμπανίκου Ευαγγελία  
Αναγνωστόπουλος Χρήστος

Φεβρουάριος 2005

### Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση και τη στήριξή μου σε όλη την πορεία της μελέτης και συγγραφής της διατριβής αυτής, τους συνεπιβλέποντες καθηγητές, Ευαγγελία Καβακλή και Ευάγγελο Χριστοδούλου, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Ευαγγελία Σαμπανίκου και Χρήστο Αναγνωστόπουλο.

Η εργασία αυτή δεν μπορούσε να είχε γίνει χωρίς την υποστήριξη των γονέων μου και της ηθικής συμπαράστασης και βιβλιογραφικής συμβολής του Ευθύμιου Μαυρίκα.

Οφείλω, τέλος, να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, Απόστολο Παπακωνσταντίνου, Γαβριήλ Γκούρδογλου και Γιώργο Μελεσανάκη, για τη συνεργασία μας στην εύρεση βιβλιογραφικών πόρων, καθώς και τον Ανδρέα Λιναρδάτο για την άδεια και πολύτιμη βοήθεια σύλληψης φωτογραφικού υλικού για αγγείο της συλλογής του.

## Περίληψη

Η διατριβή αυτή εξετάζει πώς η τρισδιάστατη ψηφιακή τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί στον τομέα της διαχείρισης πολιτισμικής κληρονομιάς και συγκεκριμένα στην ανάδειξη του πολιτισμικού περιεχομένου που φέρουν ιστορικά αντικείμενα, κτίσματα, χώροι. Γίνεται μια σύντομη επισκόπηση των επιλογών που υπάρχουν για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου, αυτόματη ή μη, και των κυριότερων μεθόδων γεωμετρικής αναπαράστασης, παραθέτοντας επίσης παραδείγματα από αντίστοιχα έργα στον πολιτισμικό χώρο. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες για την παρουσίαση της τρισδιάστατης αναπαράστασης της πολιτισμικής πληροφορίας και παραδείγματα σχετικών πολιτισμικών εφαρμογών. Οι τεχνολογίες αυτές εξετάζονται ως προς τις ιδιαιτερότητές τους, τα προτερήματα και μειονεκτήματά τους. Τέλος, επισημαίνονται διάφορες προκλήσεις που έχει η χρήση των τρισδιάστατων γραφικών για πολιτισμική πληροφορία.

## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή .....	6
2	Η εφαρμογή τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης στον τομέα του Πολιτισμού ..	8
	Δημιουργία ψηφιακών αρχείων ιστορικών αντικειμένων για την τεκμηρίωση και τη συντήρηση.....	10
	Εργαλεία οπτικοποίησης για την υποστήριξη της έρευνας.....	13
	Έκθεση και εκπαίδευση: ανάδειξη πολιτισμικής πληροφορίας στο κοινό.....	15
3	Η τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση πολιτισμικής πληροφορίας .....	18
	I. Γενικά για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση .....	18
	Τεχνολογίες δημιουργίας τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης .....	18
	Πακέτα λογισμικού τρισδιάστατων γραφικών .....	19
	Μέθοδοι αυτόματης τρισδιάστατης ψηφιοποίησης .....	20
	Τεχνικές γεωμετρικής αναπαράστασης .....	24
	Φύση δομικών στοιχείων μεθόδου μοντελοποίησης .....	28
	Ακρίβεια, όγκος δεδομένων και πολυπλοκότητα αναπαράστασης.....	29
	Φωτορεαλισμός.....	31
	II. Εφαρμογές τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης για την παγκόσμια πολιτισμική κληρονομιά.....	33
	A. Παραδείγματα έργων τρισδιάστατης αυτόματης ψηφιοποίησης .....	33
	B. Εφαρμογές μοντελοποίησης με λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών .....	36
4	Μέσα και τεχνολογίες απεικόνισης και επίδειξης τρισδιάστατης ψηφιακής οπτικοποίησης πολιτισμικής πληροφορίας .....	39
	I. Προϊόντα οπτικής απόδοσης των τρισδιάστατων γραφικών .....	39
	Εικόνα .....	39
	Βίντεο .....	41
	Διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα.....	43
	Virtual Reality (VR – Εικονική Πραγματικότητα) .....	44
	Συσκευές διάδρασης (απτικά συστήματα).....	47
	Ηχητικά Συστήματα.....	48
	Συστήματα ανίχνευσης θέσης και προσανατολισμού.....	48
	Συστήματα εικονικής πραγματικότητας .....	49
	Εμβύθιση .....	50
	Λογισμικά.....	52
	Web3D .....	53
	VRML .....	53
	Shockwave3d .....	56
	Image Based Rendering.....	57
	QuickTime VR .....	58
	Game Engines (Παιχνιδομηχανές) .....	61
	Φυσική αναπαραγωγή.....	62
	Rapid Prototyping (Ταχεία Πρωτοτυποποίηση) .....	62
	II. Παραδείγματα έργων ανάδειξης τρισδιάστατης πολιτισμικής πληροφορίας.....	63
5	Σύγκριση τεχνολογιών απεικόνισης τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων .....	70
	Εικόνα .....	70
	Βίντεο .....	72
	Διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα.....	75
	Εικονική Πραγματικότητα.....	75
	Web3D .....	77
	Game Engines.....	78
	Φυσική αναπαραγωγή.....	79

6	Ειδικά ζητήματα για την τρισδιάστατη αναπαράσταση πολιτισμικής πληροφορίας...	83
	Μεγάλος όγκος δεδομένων για μοντέλα υψηλής ανάλυσης .....	83
	Διάρκεια ζωής - βιωσιμότητα των δεδομένων .....	84
	Προστασία αρχείων αποθήκευσης πληροφορίας τρισδιάστατων αναπαραστάσεων .....	85
	Μηχανές αναζήτησης και κατάλογοι .....	85
	Πιστότητα και ερμηνεία .....	87
	Διεπαφή και διάδραση .....	88
	Συντονισμός τεχνολογικών ομάδων με τις ανάγκες της πολιτισμικής κοινότητας .....	89
7	Συμπεράσματα .....	92
	Βιβλιογραφία .....	99
	Παράρτημα .....	103

# 1 Εισαγωγή

Η εργασία αυτή εκπονείται στα πλαίσια μεταπτυχιακών σπουδών ειδίκευσης στην «Πολιτισμική Πληροφορική». Στόχοι της είναι: να εξετάσει το ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν τα τρισδιάστατα γραφικά στον τομέα της ανάδειξης πολιτισμικής πληροφορίας, να μελετήσει ένα σύνολο τεχνολογιών για την οπτικοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων, και να παράγει ωφέλιμα συμπεράσματα και προβληματισμούς σχετικά με την αξιοποίησή τους από τους πολιτιστικούς φορείς.

Υλικό για τη μελέτη αυτή αποτέλεσαν κατά κύριο λόγο δημοσιεύσεις σε διεθνή συνέδρια που έχουν ως θέμα τη χρήση των νέων τεχνολογιών στον πολιτισμό, ανάμεσα στα οποία είναι το CAA (Computer Applications in Archaeology), το VAST (Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage) και το SIGGRAPH (Conference on Computer graphics and interactive techniques), καθώς και άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά, όπως το ACM Transaction on Graphics και το Computer Graphics and Applications του IEEE.

Με βάση τη βιβλιογραφία αυτή, υποστηρίζεται ότι οι νέες τεχνολογίες των τρισδιάστατων ψηφιακών γραφικών μπορούν να συνεισφέρουν σε διάφορους τομείς της διαχείρισης της πολιτισμικής κληρονομιάς, διευκολύνοντας και επιταχύνοντας υπάρχουσες διαδικασίες ή προσφέροντας νέες δυνατότητες. Οι τομείς εφαρμογής της τρισδιάστατης ψηφιακής οπτικοποίησης πολιτισμικής πληροφορίας αναλύονται στο κεφάλαιο 2.

Η τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση των πολιτισμικών αγαθών μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους και μεθόδους. Στο κεφάλαιο 3, θα γίνει σύντομη περιγραφή των επιλογών που έχει κανείς για τη δημιουργία τρισδιάστατων

ψηφιακών μοντέλων και θα αναφερθούν παραδείγματα εργασιών μοντελοποίησης στον πολιτισμικό τομέα.

Υπάρχουν διάφορες μορφές με τις οποίες μπορεί να παρουσιαστεί η ψηφιακή αναπαράσταση μιας τρισδιάστατης σκηνής με πολιτισμικό ενδιαφέρον, εξυπηρετώντας διαφορετικές ανάγκες του πολιτισμικού οργανισμού που τη διαχειρίζεται. Οι πιθανές μορφές απεικόνισης ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4, μαζί με αναφορές σε αντίστοιχες εφαρμογές με πολιτισμική πληροφορία.

Το κεφάλαιο 5 θα επιχειρήσει να παρουσιάσει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει κάθε μορφή απεικόνισης τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων όσον αφορά στην ανάδειξη της πολιτισμικής πληροφορίας.

Η αξιοποίηση των τρισδιάστατων γραφικών στη διαχείριση της πολιτισμικής κληρονομιάς έχει πολλά να προσφέρει, αλλά η υιοθέτησή τους δεν θα πρέπει να γίνει χωρίς συγκεκριμένο στόχο και χωρίς να έχουν ληφθεί υπόψη ειδικότερα ζητήματα που προκύπτουν για τη χρήση τους. Στο κεφάλαιο 6, διατυπώνονται προβληματισμοί και νέοι στόχοι για την εφαρμογή των τεχνολογιών τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης στον πολιτισμό.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μεταπτυχιακή αυτή διατριβή στο θέμα της ανάδειξης πολιτισμικής πληροφορίας με χρήση τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης, παρουσιάζονται, τέλος, στο κεφάλαιο 7.

## 2 Η εφαρμογή τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης στον τομέα του Πολιτισμού

*Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εισαγωγή για τους λόγους οι οποίοι καθιστούν τις τεχνολογίες τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης αντικειμένων και χώρων που φέρουν πολιτισμική πληροφορία ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση της πολιτισμικής κληρονομιάς.*

Ο ορισμός της πολιτισμικής και φυσικής κληρονομιάς στη Σύμβαση της Ουνέσκο το 1972, περιλαμβάνει όχι μόνο τα μνημεία της «υψηλής τέχνης», αλλά κάθε αντικείμενο, κτίριο, χώρο, ακόμα και φυσικό τοπίο, που θεωρείται ότι μαρτυρά τον πολιτισμό, την ιστορική εμπειρία και την κοινωνική εξέλιξη οποιουδήποτε λαού ή κοινότητας (Πασχαλίδης, 2001). Η μελέτη τους, με τη βοήθεια της καταγεγραμμένης ιστορίας και σε συνδυασμό με τις ιδέες και τις αντιλήψεις που φέρει ο καθένας, δημιουργεί ερμηνείες για τις ιδέες, τις αξίες και τους σκοπούς των κοινωνιών των ιστορικών εποχών που τα κατασκεύασε και παράγει γνώση, έμπνευση και ευχαρίστηση (Μπούνια, 1999).



**Εικ. 2.1** (α) Σκηνές καταστροφής και διάρρηξης στο μουσείο της Βαγδάτης (Sanders, 2003). (β) Επισκευή μνημείου μετά από σεισμό στη Bagan (Burma), όπου παρά την πλούσια πολιτισμική κληρονομιά, η τεκμηρίωση της περιοχής είναι ελλιπής (Addison, 2000).

Παρά την αναμφισβήτητη αξία τους, όμως, πολλά έργα πολιτισμικής κληρονομιάς έχουν χαθεί στο πέρασμα του χρόνου: φυσικές καταστροφές, πόλεμοι,



βεβηλώσεις, κλοπές (εικ. 2.1α), αυθαίρετες επεμβάσεις (εικ. 2.1β), αλλά και ο σύγχρονος τρόπος ζωής με την αστική ατμοσφαιρική ρύπανση, ακόμα και ο μαζικός τουρισμός, είναι στοιχεία που απειλούν τη διάρκεια ζωής των θησαυρών του παρελθόντος (Addison, 2000).

Οι σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν στη διατήρηση της πολιτισμικής κληρονομιάς: η ηλεκτρονική καταγραφή και δημοσίευση, η ψηφιακή φωτογράφιση, τα πολυμέσα, τα τρισδιάστατα γραφικά και η εικονική πραγματικότητα, έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται στο χώρο του Πολιτισμού.

Βέβαια, η επικοινωνία και ο συντονισμός σε έργα διατήρησης της πολιτισμικής κληρονομιάς δεν είναι εύκολος όταν εμπλέκονται τόσο διαφορετικοί επιστημονικοί κλάδοι και όταν οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι ραγδαίες. Ειδικότερα στον τομέα της τρισδιάστατης πληροφορίας, με τον οποίο ασχολείται αυτή την εργασία, υπάρχουν αρκετές καινοτομίες που δεν είναι εύκολο να παρακολουθήσει κανείς τόσο στη σύλληψή της όσο και στην παρουσίασή της. Έτσι, παρά τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται για νέους, αποτελεσματικούς τρόπους διαχείρισης πολιτισμικού περιεχομένου, πάρα πολλοί από τους υπεύθυνους στον τομέα αυτό δε συμμετέχουν σε αυτή την ψηφιακή επανάσταση.

Η δημιουργία μιας πληρέστερης εικόνας για τη σημερινή κατάσταση στην τεχνολογία της τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης και τους τρόπους με τους οποίους αυτή μπορεί να συμβάλλει στην πολιτισμική διαχείριση αποτελεί σκοπό της παρούσας διατριβής.

Η σκοπιμότητα για την κατασκευή μιας ψηφιακής αναπαράστασης ενός αντικειμένου με πολιτισμική σημασία και, κατά συνέπεια, οι προδιαγραφές της

ποικίλουν από έργο σε έργο. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, το τρισδιάστατο μοντέλο ενός πολιτισμικού τεκμηρίου μπορεί να υποστηρίξει την **τεκμηρίωση** και **συντήρηση** του αντικειμένου, καθώς και την **έρευνα**, **προβολή** και **διδασκαλία** της πολιτισμικής πληροφορίας που αυτό φέρει.

### ***Δημιουργία ψηφιακών αρχείων ιστορικών αντικειμένων για την τεκμηρίωση και τη συντήρηση***

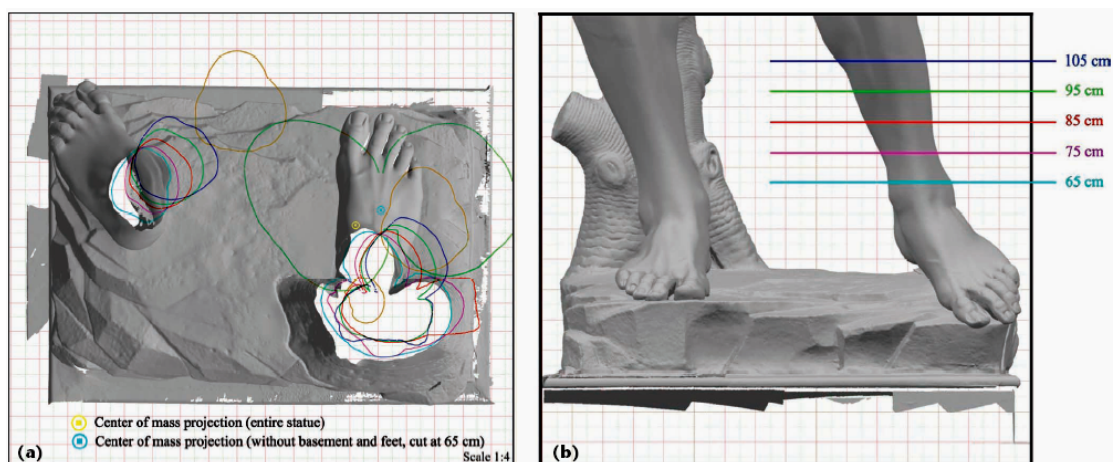
Η πρόοδος που έχει επιτευχθεί στις τεχνολογίες τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, σε συνδυασμό με την εύρεση νέων αλγορίθμων επεξεργασίας των δεδομένων, έχουν δώσει τη δυνατότητα αξιόπιστης και μεγάλης λεπτομέρειας ψηφιοποίησης των χαρακτηριστικών πολλών φυσικών αντικειμένων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ανάμεσα στους τομείς που μπορούν να εκμεταλλευτούν την εξέλιξη αυτή είναι και ο χώρος της διαχείρισης πολιτισμικής κληρονομιάς.

Καταρχήν, στη διαδικασία της τεκμηρίωσης αντικειμένων μουσειακών συλλογών ή ευρημάτων ανασκαφής, η τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση των αντικειμένων μπορεί να αποτελέσει άλλη μια πηγή χρήσιμης πληροφορίας, συμπληρώνοντας το κείμενο περιγραφής και τις φωτογραφίες του κάθε αντικειμένου. Το τρισδιάστατο μοντέλο ενός αρχαιολογικού ευρήματος θα μπορούσε να συνδυαστεί με την τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου ανασκαφής και μέσω αυτής με τα άλλα ευρήματα που βρέθηκαν στον ίδιο χώρο, μια οπτική διασύνδεση πληροφοριών πολύ χρήσιμη για τους ερευνητές που καλούνται να ερμηνεύσουν τη σημασία του περιβάλλοντος ενός μουσειακού αντικειμένου (Barceló, 2002).

Έπειτα, κατά τη διαδικασία συντήρησης αντικειμένων, το ψηφιακό αντικείμενο μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλείο μετρήσεων διάφορων δυνάμεων που

επιδρούν στο αντικείμενο και να αποφασιστεί ο καλύτερος τρόπος μεταχείρισής του.

Το τρισδιάστατο ψηφιακό αντικείμενο μπορεί, επίσης, να γίνει το μέσο απεικόνισης των διαφορετικών σταδίων της συντήρησης. Το ίδιο εργαλείο οπτικοποίησης του αντικειμένου θα μπορούσε συνδέει το μοντέλο με διαφορετικού τύπου πληροφορίες σημαντικές για τη συντήρηση.

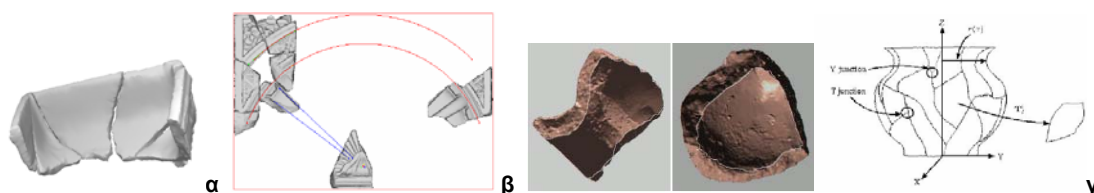


Εικ. 2.2 Οπτικοποίηση της προβολής του κέντρου βάρους του αγάλματος του Δαβίδ: υπολογισμένο μαζί με τη βάση (κίτρινη κουκκίδα) χωρίς τη βάση και κόβοντας τα πόδια κάτω από τα 65 εκ. (γαλάζια κουκκίδα), όπως φαίνεται στη διπλανή εικόνα, ενώ τα περιγράμματα τομών στα ύψη που φαίνονται δεξιά με διαφορετικά χρώματα απεικονίζονται αριστερά με τα ίδια χρώματα (Callieri, 2004).

Ένα εργαλείο οπτικοποίησης τρισδιάστατης πληροφορίας με τα στοιχεία που αναφέρθηκαν, προτείνει ερευνητική ομάδα του Institute of Information Science and Technologies του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας της Ιταλίας (Callieri, 2004). Στην προτεινόμενη εφαρμογή, το τρισδιάστατο μοντέλο λειτουργεί ως εργαλείο τεκμηρίωσης, οργάνωσης και παρουσίασης δεδομένων συντήρησης, όπως χημικές αναλύσεις, ιδιότητες υλικού, φωτογραφίες, ακτινογραφίες, κ.ά.. Με τη χρήση τεχνολογιών Διαδικτύου, το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να γίνει ευρετήριο για επιστημονικά δεδομένα που αφορούν συγκεκριμένα σημεία ή περιοχές του αυθεντικού αντικειμένου, σημαίνοντας την τοποθεσία τους πάνω στο ψηφιακό αντικείμενο και παρέχοντας έναν υπερσύνδεσμο προς τους πόρους αυτούς.



αλγορίθμων σύγκρισης των περιγραμμάτων των επιφανειών αυτών και υπολογισμού βέλτιστων κοινών τμημάτων.



**Εικ. 2.4** Με τη βοήθεια της ψηφιοποίησης και των κατάλληλων αλγορίθμων διευκολύνεται η διαδικασία συναρμολόγησης θραυσμάτων ιστορικών κτισμάτων και αντικειμένων (α) (Παπαϊωάννου, 2004), (β) (Laugerotte, 2004), (γ) (Cooper, 2002)

### **Εργαλεία οπτικοποίησης για την υποστήριξη της έρευνας**

Η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων ως βοήθημα για την αναπαράσταση, ανάλυση και ερμηνεία πολιτισμικής πληροφορίας από τους ειδικούς του τομέα δεν είναι νέα μέθοδος. Παλιότερα, η αναπαράσταση γινόταν με φυσικά υλικά (αρχιτεκτονικές μακέτες, γύψινα αντίγραφα), ενώ αργότερα αξιοποιήθηκαν τα λογισμικά διανυσματικής αρχιτεκτονικής και βιομηχανικής σχεδίασης.

Οι νέες τεχνολογίες και τεχνικές ψηφιοποίησης τρισδιάστατης πληροφορίας μπορούν να καταγράψουν με μεγάλη λεπτομέρεια τα πολιτισμικά τεκμήρια και να τα αναπαράγουν ψηφιακά και φυσικά με μεγάλη ακρίβεια. Τα υψηλής ποιότητας ψηφιακά αντίγραφα δίνουν τη δυνατότητα στους ερευνητές να έχουν πρόσβαση στην ίδια σχεδόν πληροφορία που φέρουν τα αυθεντικά δεδομένα και επιπλέον να μπορούν να τα επεξεργαστούν χωρίς περιορισμούς ή φόβο μήπως φθαρεί το αντικείμενο, και μάλιστα, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση: για παράδειγμα, μουσειακά αντικείμενα που βρίσκονται στην Ιταλία, μπορούν να επεξεργάζονται μέσα από τις ψηφιακές τους αναπαραστάσεις και να αναλύονται από ερευνητές σε πανεπιστήμιο της Αμερικής.

Η ψηφιακή αναπαράσταση αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς με τη χρήση τρισδιάστατων γραφικών παρέχει μεγάλη ευελιξία στην παραγωγή διαφορετικών

απεικονίσεων από μία μόνο πηγή πληροφορίας (ένα ψηφιοποιημένο ή μοντελοποιημένο αντικείμενο), π.χ. τροποποιώντας τη θέση παρατήρησης, το φωτισμό, την απόδοση υφής ή το χρώμα ενός μοντέλου. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής ως σύστημα τεκμηρίωσης (Godin, 2002). Η ευελιξία απεικόνισης ενός μοντέλου, αλλά και η ευκολία δημιουργίας διαφορετικών μοντέλων για ένα αντικείμενο (π.χ. προγενέστερη/ τρέχουσα κατάσταση, ως μονάδα ή σε συνδυασμό με συναφή αντικείμενα και χώρο ανασκαφής ή προγενέστερης χρήσης) βοηθά στον πειραματισμό και στον έλεγχο διαφορετικών υποθέσεων που δημιουργούνται σχετικά με τα αντικείμενα: νέες ερμηνείες μπορούν να δημιουργηθούν συσχετίζοντας τις διαφορετικές απεικονίσεις<sup>1</sup>.



**Εικ. 2.5** Αφαιρώντας το σχέδιο ή το χρώμα, κρατώντας μόνο το σχήμα μπορεί να δει κανείς (α) την παραμόρφωση (φθορά) του εδάφους ή (β) τα σημάδια σμιλεύσεων σε αγάλματα, αντίστοιχα (Godin, 2002).

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση μπορεί να αποκαλύψει λεπτομέρειες, ακόμα και αυτές που δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι<sup>2</sup>, για τις τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί σε ένα έργο τέχνης, όπως την τεχνοτροπία της πινελιάς σε έναν πίνακα ζωγραφικής, το εργαλείο και την τεχνική σμίλευσης σε ένα γλυπτό, το σχέδιο

<sup>1</sup> Για παράδειγμα, οι Barracchini et al (2004), αναφέρουν μεταξύ άλλων τη δυνατότητα πειραματισμού με τον εικονικό χρωματισμό ψηφιοποιημένων αγαλματιδίων, για τα οποία υπάρχουν αποδείξεις ότι είχαν χρώμα.

<sup>2</sup> Μια ιδιαίτερη περίπτωση ανάδειξης πληροφορίας από την επεξεργασία τρισδιάστατων ψηφιακών δεδομένων παρουσιάζουν στο έργο τους οι Abate et al. (2004), στο οποίο επιχειρούν με την επεξεργασία τρισδιάστατων αναπαραστάσεων κρανίων να ανακατασκευάσουν το πρόσωπο του ανθρώπου στο οποίο ανήκε.

ενός ψηφιδωτού, αλλά και πληροφορίες για την επίδραση που είχε ο χρόνος ή άλλα φυσικά ή ανθρώπινα στοιχεία πάνω σε αυτά (Godin, 2002).

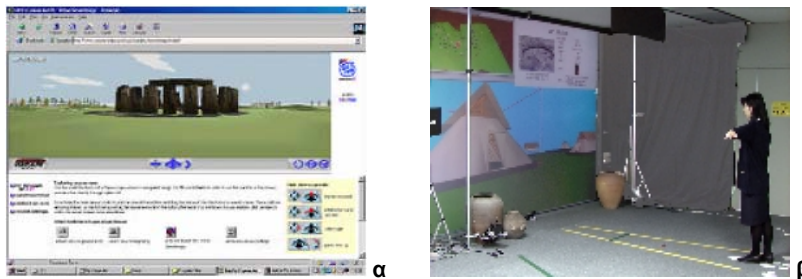
### ***Έκθεση και εκπαίδευση: ανάδειξη πολιτισμικής πληροφορίας στο κοινό***

Ένας πολιτισμικός οργανισμός, όπως το μουσείο, εκτός από την καταγραφή, τη συντήρηση και μελέτη των αντικειμένων της συλλογής του, έχει ως κύριο σκοπό την έκθεσή του στο κοινό. Η τοποθέτησή του σε ένα χώρο παρέχοντας μόνο στοιχειώδεις πληροφορίες, (είδος, υλικό κατασκευής, εκτίμηση χρονολογίας δημιουργίας) δε βοηθά στην ανάκτηση πληροφοριών για τη σημασία του αντικειμένου αυτού, τόσο κατά την εποχή που δημιουργήθηκε και χρησιμοποιήθηκε, όσο και στη σημερινή του κατάσταση ως μουσειακό αντικείμενο. Η παρουσίασή του σε τρισδιάστατη μορφή σε συνδυασμό με άλλες μορφές πληροφορίας, τόσο μέσα στο χώρο του μουσείου όσο και εκτός αυτού, μπορεί να ενισχύσει τη διαδικασία οικοδόμησης γνώσης για τον πολιτισμό, τα ιστορικά πρόσωπα και τα γεγονότα, που αυτό πρεσβεύει.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με τη βοήθεια της τεχνολογίας των τρισδιάστατων γραφικών, οι ερευνητές μπορούν να εξετάσουν διάφορες ερμηνείες για τα ιστορικά δεδομένα που μελετούν. Καταρρίπτοντας την εικόνα της αυθεντίας που διατηρούσαν ως πρόσφατα, οι οργανισμοί που διαχειρίζονται τα πολιτισμικά αγαθά, μπορούν να παρουσιάσουν στο κοινό τις διαφορετικές αυτές υποθέσεις, δίνοντας έτσι την ευκαιρία στον καθένα να συσχετίσει τις πληροφορίες που παρουσιάζονται με τις γνώσεις που έχει και να δημιουργήσει τα δικά του συμπεράσματα, να αποδώσει το δικό του νόημα και σημασία στα ευρήματα.

Σε μια εφαρμογή μπορούν να ενσωματωθούν περισσότερες από μία αναπαραστάσεις ενός ιστορικού χώρου και των αντικειμένων αυτού, απεικονισμένα μέσα από διαφορετικά ερμηνευτικά πρίσματα (π.χ. σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους). Τα ψηφιακά μοντέλα γίνονται εργαλεία διάδρασης με το παρελθόν και βοηθούν στη δημιουργία μιας πληρέστερης εικόνας για αυτό.

Για παράδειγμα, σε εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας για τη **Βασιλική του Αγ. Πέτρου**<sup>3</sup>, στην Ιταλία, ο εικονικός επισκέπτης μπορεί περιηγηθεί μέσα και έξω από το ναό στη μορφή που είναι σήμερα, αλλά και να μεταφερθεί στο παρελθόν και να δει κτίσματα που είχαν κατεδαφιστεί από το 16<sup>ο</sup> αιώνα.



Εικ. 2.6 (α) Το Virtual Stonehenge (Ogleby, 1999), και (β) το σύστημα VisTA-walk (Kadobayashi, 1999).

Στο έργο του εικονικού **Στόουνχεντζ** (Virtual Stonehenge)<sup>4</sup>, ο επισκέπτης μπορεί να περιηγηθεί σε διαφορετικές εποχές που καλύπτουν 10500 χρόνια, να επιλέξει αντικείμενα που υπάρχουν στον εικονικό κόσμο και να διαβάσει πληροφορίες για αυτά, αλλά και αντίστροφα έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μέσα από τα κείμενα πληροφορία για συγκεκριμένα αντικείμενα και να παρουσιαστούν τα αντικείμενα αυτά σε τρισδιάστατη μορφή.

Τέλος, σε ένα άλλο έργο, το **VisTA**, ένα σύστημα προσομοίωσης της δόμησης ενός αρχαίου χωριού, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να μάθει πληροφορίες για

<sup>3</sup> υλοποιημένο από την InfoByte SpA (<http://www.infobyte.it/>) για την ENEL SpA.

<sup>4</sup> <http://connectedpc.com/cpc/explore/stonehenge/> Περιγραφή του ερευνητικού αυτού έργου μπορεί να δει κανείς και στο <http://www.casa.ucl.ac.uk/virgin/cat/project39.htm>



το τοπίο, για κάθε ανακατασκευασμένο κτίσμα, αλλά και για την εξέλιξη της δόμησης του χωριού. Επίσης, μπορεί να επιλέξει σημειωμένα οικοδομικά τετράγωνα, να επιλέξει τύπο κτιρίου, να προσομοιώσει την ανοικοδόμηση ενός ή περισσότερων κτιρίων του χωριού με βάση τον επιλεγμένο τύπο και να ελέγξει τα αποτελέσματα της υπόθεσής του στις τρεις διαστάσεις (Barceló, 2002).

## **Ανακεφαλαίωση**

Η τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση μπορεί να βρει εφαρμογές σε πολλούς τομείς της διαχείρισης πολιτισμικής κληρονομιάς. Μπορεί να παρέχει πληρέστερη καταγραφή ιστορικών αντικειμένων και χώρων, αλλά και τεκμηρίωση των σταδίων μιας ανασκαφής ή των διαδικασιών συντήρησης αντικειμένων. Μπορεί να βοηθήσει στη διαδικασία ανάλυσης και ερμηνείας των τεκμηρίων, αναδεικνύοντας λεπτομέρειες και οπτικοποιώντας σχέσεις και υποθέσεις. Τέλος, μπορεί να ενισχύσει τον τομέα προώθησης πολιτισμικού περιεχομένου και εκπαίδευσης, με νέα ενδιαφέροντα μέσα προβολής και διάδρασης με την ιστορία.

### 3 Η τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση πολιτισμικής πληροφορίας

*Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στη διαδικασία της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, που θα αναφέρεται και σαν τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση. Θα εξετάσουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο ενός αντικειμένου ή χώρου, τις τεχνικές, τις μεθόδους και τις δομές που χρησιμοποιούνται για την τρισδιάστατη αναπαράσταση, καθώς και ιδιαίτερα ζητήματα που έχουν να κάνουν με την ακρίβεια, την πολυπλοκότητα και τον όγκο δεδομένων κάθε μεθόδου.*

#### *1. Γενικά για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση*

Ο όρος τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση μπορεί να σημαίνει ένα από τα ακόλουθα (Watt, 2000):

- Τη διαδικασία δημιουργίας της τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης.
- Την τεχνική ή τη μέθοδο ή τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη γεωμετρική αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου μοντέλου με ψηφιακά μέσα.
- Την ψηφιακή επεξεργασία (manipulation) μιας αναπαράστασης και πιο συγκεκριμένα την αλλαγή σχήματος ενός υπάρχοντος μοντέλου.

Το κεφάλαιο αυτό θα καλύψει τα δύο πρώτα.

#### *Τεχνολογίες δημιουργίας τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης*

Οι τρόποι δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι πολυάριθμοι. Για παράδειγμα, το μοντέλο ενός αρχαίου αγγείου μπορεί να δημιουργηθεί με λογισμικό τρισδιάστατων γραφικών ή να παραχθεί από την επεξεργασία

δεδομένων που προκύψαν από την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση του αγγείου (αυτοματοποιημένη). Όπως θα δούμε στη συνέχεια, για την αυτόματη τρισδιάστατη ψηφιοποίηση έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι και αντίστοιχα, διαφορετικά λογισμικά πακέτα μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικές τεχνικές αναπαράστασης της τρισδιάστατης πληροφορίας, συχνά απευθυνόμενα σε ανάγκες διαφορετικών πλαισίων εφαρμογών.

### ***Πακέτα λογισμικού τρισδιάστατων γραφικών***

Η κατασκευή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων «χειρονακτικά», σε αντιδιαστολή με τις αυτόματες ψηφιοποιήσεις που θα αναφερθούν στις συνέχειες, γίνεται κυρίως μέσα από ειδικά λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών. Κάποια από τα λογισμικά αυτά είναι εξειδικευμένα στη γεωμετρική αναπαράσταση των αντικειμένων, ενώ άλλα παρέχουν επιπλέον στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να κινήσει και να αποδώσει οπτικά τα τρισδιάστατα μοντέλα, σε μία εικόνα ή μία διαδοχή εικόνων, μέσω της τελικής διαδικασίας του rendering.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν κυρίως λογισμικά που απευθύνονται στη σχεδίαση βιομηχανικών και αρχιτεκτονικών προϊόντων, γνωστά ως CAD (Computer-Aided Design), με δημοφιλέστερο ίσως το AutoCAD. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν λογισμικά, όπως το SoftImage XSI, το Maya, το 3d Studio Max και το Cinema4d. Τα περισσότερα από αυτά τα λογισμικά πακέτα τρισδιάστατων γραφικών περιλαμβάνουν διάφορες μεθόδους γεωμετρικής αναπαράστασης (πολύγωνα, παραμετρικές επιφάνειες) και επεξεργασίας τρισδιάστατων αντικειμένων (μετακίνηση, κλίμακα, περιστροφή, λύγισμα), βιβλιοθήκες με βασικά σχήματα της κάθε μεθόδου (κύβος, σφαίρα, κώνος, κύλινδρος), καθώς και αλγόριθμους μετατροπής από τη μία μέθοδο στην άλλη.

Η δημιουργία ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος πολιτισμικού περιεχομένου με αυτή τη διαδικασία προσφέρει ελευθερία στην αναπαράσταση των αντικειμένων. Η τρέχουσα κατάσταση ή το περιβάλλον του αντικειμένου δε δεσμεύει τη μοντελοποίησή τους. Ιδιαίτερα για περιπτώσεις που τα ιστορικά τεκμήρια έχουν καταστραφεί εν μέρει ή εξ ολοκλήρου, έχουν κλαπεί, διασπαστεί και μεταφερθεί από την αρχική τους θέση (σε διάφορα μουσεία συνήθως) ή έχουν υποστεί διάφορες επεμβάσεις στο πέρασμα του χρόνου και θέλει κανείς να τα παρουσιάσει στη μορφή που ήταν σε προγενέστερη εποχή ή ακόμα και σε κάποια άλλη υποθετική κατάσταση, τα λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών του δίνουν αυτή τη δυνατότητα. Διαφορετικά μοντέλα ενός αντικειμένου μπορούν να κατασκευαστούν για διαφορετικές εφαρμογές.

### ***Μέθοδοι αυτόματης τρισδιάστατης ψηφιοποίησης***

Προσπάθειες ανάκτησης σχήματος με οπτικά μέσα χρονολογούνται από τις αρχές της φωτογραφίας (φωτογλυπτική, François Villème). Το κόστος αυτών των τεχνικών και η μετέπειτα επεξεργασία που απαιτούσαν, ατόνησε το ενδιαφέρον για αυτές, ώσπου η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έφερε ξανά στο προσκήνιο τις τεχνικές ανάκτησης σχήματος με οπτικά μέσα. Μία από τις αρχικές εμπορικές εφαρμογές του ήταν η αυτοματοποίηση δημιουργίας πορτρέτων σε γλυπτό.

Οι τεχνικές μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: τις παθητικές, που λειτουργούν με φυσικό φωτισμό, και τις ενεργές, που χρησιμοποιούν ελεγχόμενη προβολή φωτός (Godin, 2002). Οι παθητικές δεν μπορούν να δημιουργήσουν μετρήσεις σε επιφάνεια που δεν έχει διακριτά χαρακτηριστικά επαρκούς έντασης και αντίθεσης. Οι ενεργητικές υπερτερούν σε αυτό το σημείο, δημιουργώντας χαρακτηριστικά στην επιφάνεια με την ελεγχόμενη προβολή φωτός.

Οι ενεργητικοί οπτικοί αισθητήρες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: συστήματα time-of-flight ανίχνευσης και συστήματα ανίχνευσης με διάταξη τριγώνου (triangulation). Τα πρώτα μετρούν την καθυστέρηση μεταξύ έκχυσης και ανίχνευσης του φωτός που ανακλάται από την επιφάνεια. Τα δεύτερα προβάλλουν φως σε γνωστή κατεύθυνση από γνωστή θέση και μετρούν την κατεύθυνση του φωτός που επιστρέφει μέσω μιας γνωστής θέσης παρατήρησης. Μελέτη που έγινε από το Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας, του Κέντρου Εφαρμογών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας και Πληροφορικής, στα πλαίσια του επιχειρησιακού προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας», παρουσιάζει ένα συνοπτικό οδηγό των τεχνικών ψηφιοποίησης τρισδιάστατων κινητών και ακίνητων αντικειμένων:

**Σάρωση με ακτίνες λέιζερ** (laser triangulation): Προβολή δέσμης ή μοτίβου ακτινών λέιζερ, ανίχνευσή τους και εφαρμογή γεωμετρικών σχέσεων τριγωνοποίησης (triangulation).

**Σχήμα από δομημένο φωτισμό** (shape from structured light): Προβολή χρωματικού (ή όχι) μοτίβου, δισδιάστατη φωτογράφιση και αναγνώριση γεωμετρίας από τις παραμορφώσεις στο μοτίβο.

**Σχήμα από σιλουέτες** (shape from silhouette): Πολλαπλή δισδιάστατη φωτογράφιση και ανακατασκευή γεωμετρίας από τις πολλαπλές σιλουέτες.

**Σχήμα από στερεοφωτογράφιση** (shape from stereo): Αναγνώριση γεωμετρίας από ζεύγος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση κανόνων στερεοσκοπικής όρασης.

**Σχήμα από κίνηση** (shape from motion): Αναγνώριση γεωμετρίας από πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση αλγορίθμων αναγνώρισης της τρίτης

διάστασης παρόμοιους με τη μέθοδο ανάκτησης σχήματος από στερεοφωτογράφιση.

**Σχήμα από φωτοσκίαση** (shape from shading): Μέθοδος δημιουργίας τεχνητής, μεταβλητής και ελεγχόμενης φωτοσκίασης για την εξαγωγή τρισδιάστατης γεωμετρίας με εφαρμογή κανόνων οπτικής σε πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών.

**Σχήμα από υφή** (shape from texture): Ανάκτηση πληροφορίας τρίτης διάστασης σε δισδιάστατες φωτογραφίες με την εκμετάλλευση πληροφορίας προσανατολισμού και διάχυσης δομικών στοιχείων επιφανειακής υφής.

**Σχήμα από φωτομετρία** (shape from photometry): Μέθοδος λήψης δισδιάστατων φωτογραφιών υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και ανάκτηση τρισδιάστατης γεωμετρίας μέσω αλγορίθμων οπτικής.

**Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση** (shape from focus): Ανάκτηση τρίτης διάστασης σε επιφάνειες μέσω σειράς δισδιάστατων φωτογραφιών με ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη εστίαση.

**Σχήμα από σκιά** (shape from shadow): Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω παρακολούθησης της σκιάς σε διαδοχική δισδιάστατη φωτογράφιση σε συνθήκες όπου υπάρχει μετακινούμενη πηγή φωτός.

**Σάρωση με συστήματα αφής** (measuring systems): Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω συνεχούς επαφής ειδικού αισθητηρίου αφής με το αντικείμενο που ψηφιοποιείται.

Πέρα από την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση κινητών και ακινήτων πολιτισμικών αγαθών, είναι δυνατή η **σύλληψη κίνησης** (motion capture) για την καταγραφή ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Διάφορες τεχνολογίες είναι διαθέσιμες, με

επικρατέστερες αυτές των οπτικών συστημάτων (λήψη εικόνων από δύο ή περισσότερες κάμερες και υπολογισμός θέσης συγκεκριμένων σημείων που έχουν επισημανθεί πάνω στο κινούμενο αντικείμενο) και των μαγνητικών συστημάτων (χρήση μαγνητικού πεδίου και τοποθέτηση αισθητήρων πάνω στο κινούμενο σώμα). Τα πρώτα είναι πιο ακριβή, αλλά απαιτούν αρκετή επεξεργασία, ενώ τα δεύτερα μπορούν να παρέχουν πιο άμεσα τα δεδομένα – σημαντικό για εφαρμογές που ο υπολογισμός της θέσης και της κατεύθυνσης των κινούμενων σημείων απαιτείται σε πραγματικό χρόνο.

Τα συστήματα εντοπισμού με τριγωνοποίηση διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη φύση του ελεγχόμενου φωτισμού (λείζερ ή μη συνοχικό –incoherent- φως), της γεωμετρίας (δέσμη, πεδίο, ή προβαλλόμενο μοτίβο), και της μεθόδου αναγνώρισης της γωνίας επιστροφής. Όλα σχεδόν τα τελευταία ερευνητικά ή εμπορικά συστήματα που μετρούν σε κοντινές αποστάσεις ανήκουν στην κατηγορία των συστημάτων τριγωνοποίησης (Godin, 2002).



**Εικ. 3.1** Συσκευές 3D ψηφιοποίησης: (α) δομημένου φωτισμού, (β) κατασκευή για καταγραφή θέσης φωτεινής πηγής (μαύρες σφαίρες) και χρωματική παλέτα για σύγκριση (γ) ψηφιοποιητής λέιζερ.

Η ψηφιοποίηση με μία από τις μεθόδους που περιγράφηκαν παραπάνω, έχει ως αποτέλεσμα τη σύλληψη ενός όγκου δεδομένων, ένα σύνολο σημείων, τα οποία πρέπει να επεξεργαστούν, συνήθως σε ειδικό λογισμικό ψηφιοποίησης ή σε κάποιο από τα γενικά λογισμικά πακέτα τρισδιάστατων γραφικών, για τη δημιουργία των επιφανειών που ορίζουν το γεωμετρικό σχήμα που θα αποτελεί το τρισδιάστατο μοντέλο.

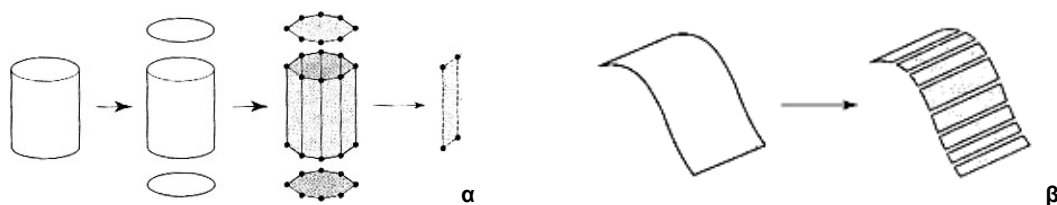
Από την επιστημονική βιβλιογραφία φαίνεται ότι οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αυτόματης τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, είναι η σάρωση με ακτίνες λέιζερ και ανακατασκευή με χρήση γεωμετρικών κανόνων τριγωνοποίησης, η ανάκτηση σχήματος με προβολή δομημένου φωτισμού, η χρήση φωτομετρίας και στερεοφωτογράφισης.

### *Τεχνικές γεωμετρικής αναπαράστασης*

Οι τεχνικές ή μέθοδοι μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης κατά κύριο λόγο διακρίνονται ως προς τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιούν και μπορούν να συνοψιστούν στις ακόλουθες (Watt, 2000, Θεοχάρης, 1999, O'Rourke, 1998):

### ***Polygonal (Πολυγωνικό μοντέλο)***

Η πιο διαδεδομένη δομή τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης είναι το πολύγωνο. Ένα πλέγμα πολυγωνικών επιπέδων επιφανειών (εδρών), που ορίζονται από τρεις ή περισσότερες κορυφές και ακμές, μπορεί να προσεγγίσει οποιαδήποτε επιφάνεια. Η καμπυλότητα της αναπαριστώμενης επιφάνειας είναι αυτή που καθορίζει τον αριθμό των πολυγώνων που είναι απαραίτητος για την ακριβέστερη προσέγγισή της. Μια τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση πολυγωνικής μορφής είναι μικρή σε όγκο δεδομένων με αποτέλεσμα να μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί αλγοριθμικά από τον υπολογιστή.

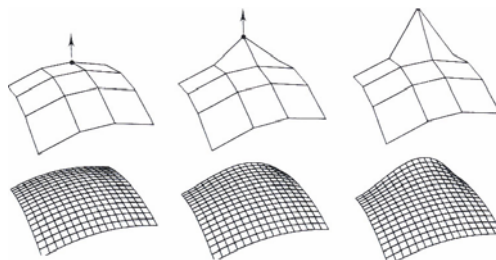


**Εικ. 3.2** (α) Αντικείμενο – Επιφάνειες – Πολύγωνα – Ακμές/ κορυφές, (β) Προσέγγιση καμπύλης επιφάνειας με πολύγωνα



### ***Parametric patches (Παραμετρικές επιφάνειες)***

Η αναπαράσταση αυτή μοιάζει με την πολυγωνική, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί επιφάνειες με καμπύλες ακμές, οι οποίες μπορούν να περιγραφούν με παραμετρικές συναρτήσεις κυβικού βαθμού (Bi-cubic parametric patches, δίκυμβικές παραμετρικές επιφάνειες).



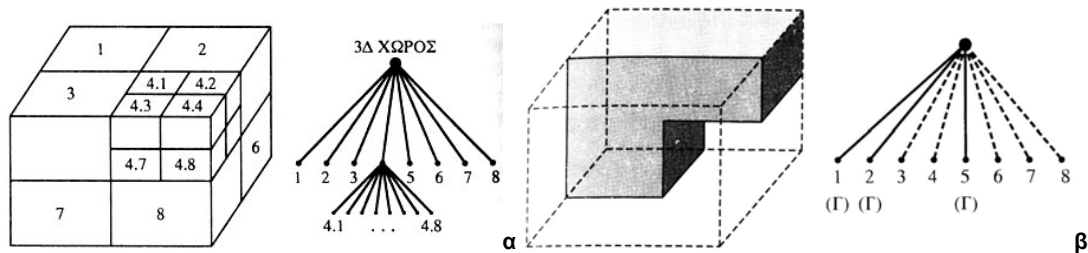
Εικ. 3.3 Επεξεργασία παραμετρικής επιφάνειας.

Η δημιουργία μιας καμπύλης επιφάνειας, συνήθως ξεκινά από τη μαθηματική περιγραφή μιας γραμμής στον τρισδιάστατο χώρο (όπως η Bézier, η B-Spline, η NURBS), η οποία έπειτα επεκτείνεται σε επιφάνεια ή αντικείμενο με τη χρήση διάφορων τεχνικών. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η περιστροφή (revolution) και η εξώθηση (scaling) μίας γραμμής ως προς κάποιο άξονα ή επίπεδο ή κάποια άλλη γραμμή. Η μέθοδος αυτή μπορεί να δημιουργήσει ακριβέστερη αναλυτική αναπαράσταση της επιφάνειας ενός αντικειμένου σε σχέση με την πολυγωνική. Επίσης, είναι προφανές, ότι μια καμπύλη επιφάνεια μπορεί να αναπαρασταθεί με πολύ λιγότερες παραμετρικές επιφάνειες από ότι με πολυγωνικές. Το σχήμα μιας επιφάνειας μπορεί να αλλάξει εύκολα τροποποιώντας τη μαθηματική περιγραφή των ακμών που την ορίζουν. Από την άλλη είναι δύσκολο να απεικονιστεί από τον υπολογιστή.

### ***Spatial subdivision (Διαμέριση χώρου)***

Η μέθοδος αυτή υποδιαιρεί τον τρισδιάστατο χώρο σε στοιχειώδεις δομές και τα τρισδιάστατα αντικείμενα περιγράφονται από τη λίστα των στοιχειωδών δομών

που τα αποτελούν. Το βασικό στοιχείο αυτής της αναπαράστασης είναι το voxel, κύβος μικρού μεγέθους, στον οποίο αποδίδεται κάποια τιμή – δομή αντίστοιχη του pixel που συνθέτει τη δισδιάστατη ψηφιακή εικόνα. Τα voxel είναι πολύ διαδεδομένα στην αναπαράσταση τρισδιάστατων ιατρικών δεδομένων



Εικ. 3.4 (α) Υποδιαίρεση χώρου με octree, (β) αναπαράσταση αντικείμενου με octree

Η συνήθης δομή δεδομένων για το χώρο των voxels, είναι το octree (οκταδικό δέντρο), μια ιεραρχική δομή αναδρομικής υποδιαίρεσης του τρισδιάστατου χώρου σε 8 υποκύβους ώσπου να φτάσει στο επίπεδο του voxel. Η μέθοδος αυτή μπορεί να οδηγήσει σε υποδιαίρεση του χώρου από κύβους διαφορετικού μεγέθους, αν η διαμέριση σταματά στους υποκύβους που καλύπτονται από ένα μόνο αντικείμενο (όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.4α). Η δομή οργάνωσης των voxel με octrees εξοικονομεί όγκο δεδομένων, αλλά απαιτεί πιο περίπλοκους αλγόριθμους. Άλλη δομή δεδομένων είναι το BSP δέντρο (Binary Space Partitioning – Δυναδική Διαμέριση Χώρου), η οποία χωρίζει αναδρομικά το χώρο σε δύο υποκύβους.

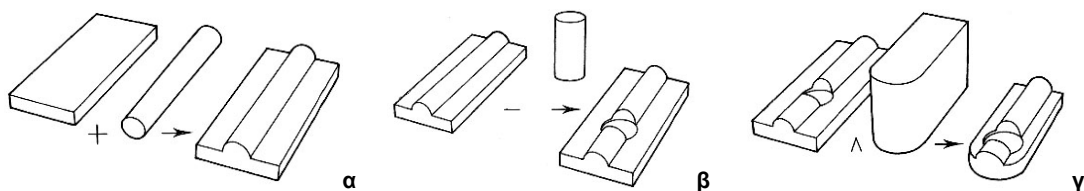
### Particle systems (Συστήματα σωματιδίων)

Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενταχθούν και τα συστήματα σωματιδίων (particles), αν και αναφέρονται κυρίως ως μέθοδος animation, παρά μοντελοποίησης. Η χρήση τους αποσκοπεί στην προσέγγιση φαινομένων με μη σαφή γεωμετρική περιγραφή, αλλά γνωστούς κανόνες συμπεριφοράς, όπως π.χ. η φωτιά, οι εκρήξεις, κ.ά. Ένα σωματίδιο είναι συνήθως ένα βασικό γεωμετρικό

σχήμα πολύ μικρών διαστάσεων – όχι απαραίτητα το ίδιο για κάθε σωματίδιο -, στο οποίο αποδίδεται ένα χρώμα, η αρχική του θέση, ταχύτητα και κατεύθυνση, η διάρκεια ζωής του. Όλα αυτά αποτελούν την τυχαία δυναμική συμπεριφορά του σωματιδίου, η οποία σε συνδυασμό με έναν γενικό κώδικα για το σύνολο των σωματιδίων καθορίζει την κίνησή του. Για παράδειγμα, η κίνηση των σωματιδίων για ένα πυροτέχνημα μπορεί να περιγραφεί από τον κώδικα μιας παραβολικής καμπύλης. Δεκάδες ή και εκατοντάδες χιλιάδες σωματίδια μπορεί να απαιτούνται για την απεικόνιση ενός φαινομένου.

### **Constructive solid geometry – CSG (Κατασκευαστική Γεωμετρία Στερεών)**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί συνδυασμό βασικών στερεών σχημάτων (primitives), όπως ο κύβος, η σφαίρα, ο κύλινδρος, κ.ά., με πράξεις συνόλων (ένωση, διαφορά, τομή), για να περιγράψει με σαφήνεια τον όγκο αντικειμένων και το εμβαδόν επιφανειών, ακόμα και περίπλοκων δομών χωρίς να απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων. Η μέθοδος αναπτύχθηκε κυρίως για βιομηχανικά στερεά, οι αναπαραστάσεις της είναι εύκολα επεξεργάσιμες, αλλά το σύνολο των πράξεων είναι περιορισμένο και η οπτική απόδοση των τρισδιάστατων αντικειμένων δεν είναι εύκολη.

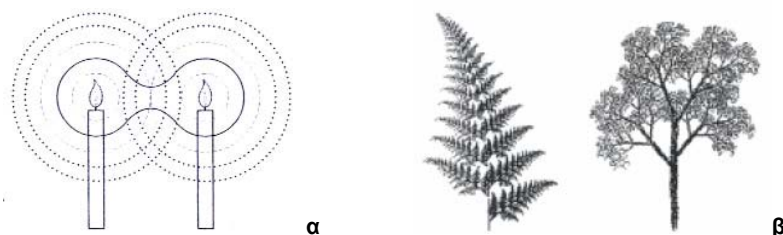


Εικ. 3.5 Πράξεις συνόλων σε αντικείμενα CSG αναπαράστασης: (α) ένωση, (β) διαφορά και (γ) τομή

### **Implicit representation**

Η ονομασία αποδίδεται στη μέθοδο αναπαράστασης τρισδιάστατων αντικειμένων που περιγράφει με μαθηματικές εκφράσεις επιφάνειες (implicit functions) που επηρεάζονται από ένα σύνολο γεωμετρικών βασικών σχημάτων, όπως σφαίρες,

όπως για παράδειγμα, οι δύο σημειακές πηγές θερμότητας στην εικόνα 3.5α. Αυτή η τεχνική βρίσκει εφαρμογή στην αναπαράσταση «αλγοριθμικών» αντικειμένων, γνωστά ως bounding volumes (περιβάλλοντες όγκοι).



Εικ. 3.6 (α) implicit function και (β) fractals

### **Fractals**

Τα fractals (μορφοκλάσματα) είναι σύνολα που παρουσιάζουν ίδια δομή σε πολλαπλές κλίμακες, δηλαδή ανεξάρτητα αν τις εξετάσει κανείς από κοντινή ή μακρινή απόσταση (Θεοχάρης, 1999). Αλγόριθμοι, όπως τα διαγράμματα μορφοκλασματικών συναρτήσεων παρεμβολής, περιγράφουν ιδιότητες φυσικών φαινομένων, όπως είναι οι κατανομές νεφών, ακτογραμμών και οροσειρών, δίνοντας εντυπωσιακές εικόνες. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναπαράσταση εδάφους, όπου συχνά εφαρμόζουν αναδρομικές διαδικασίες διαμέρισης επιφάνειας σε βασικά στοιχεία με τυχαία κατεύθυνση.

### Φύση δομικών στοιχείων μεθόδου μοντελοποίησης

Οι τεχνικές μοντελοποίησης μπορούν να διακριθούν σε μοντελοποίηση επιφανειών (Surface Boundary Representation, B-Rep) και μοντελοποίηση όγκων (Watt, 2000). Το πολυγωνικό μοντέλο, οι δικυμβικές επιφάνειες και οι implicit functions ανήκουν στις τεχνικές που αναπαριστούν αντικείμενα ορίζοντας τις τρισδιάστατες επιφάνειες που περιέχουν τον αντικείμενο, ενώ η υποδιαίρεση χώρου και η constructive solid geometry αποτελούν μοντελοποιήσεις βασισμένες στην αναπαράσταση του όγκου που καταλαμβάνουν τα αντικείμενα. Η διάκριση

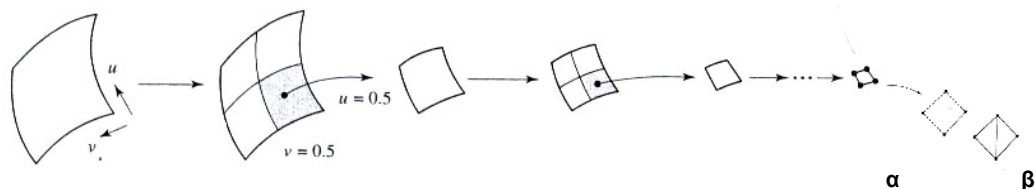
αυτή έχει σημασία γιατί έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και παράγουν διαφορετικού είδους πληροφορία. Για παράδειγμα, η κατασκευαστική γεωμετρία στερεών είναι πιο κατάλληλη για τη βιομηχανική σχεδίαση, όπου οι μηχανουργικές πράξεις που γίνονται στα υλικά (τρύπημα, συγκόλληση, καλούπωμα) αντιστοιχούν στις λογικές πράξεις που δημιουργούν τα τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα. Η μοντελοποίηση όγκων είναι επίσης χρήσιμη για εφαρμογές που απαιτούν τη μέτρηση φυσικών χαρακτηριστικών του μοντέλου όπως όγκος, μάζα, κ.ά.

#### Ακρίβεια, όγκος δεδομένων και πολυπλοκότητα αναπαράστασης

Η τρισδιάστατη γεωμετρική αναπαράσταση ενός αντικειμένου μπορεί να είναι ακριβής ή προσεγγιστική. Ο βαθμός ακριβείας του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου είναι, κατά κύριο λόγο, συνάρτηση του όγκου δεδομένων που δημιουργείται. Το πολυγωνικό μοντέλο μπορεί να παράγει ακριβή αντίγραφα για αντικείμενα με επίπεδες επιφάνειες, αλλά ο βαθμός στον οποίο μπορεί να προσεγγίσει αντικείμενα με κυρτές επιφάνειες εξαρτάται από τον αριθμό των δομικών στοιχείων που αποτελούν τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα, δηλαδή τον αριθμό των πολυγώνων. Για μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτούνται περισσότερα πολύγωνα και, κατά συνέπεια, μεγαλύτερος όγκος δεδομένων. Οι αναπαραστάσεις με δίκυμβικές επιφάνειες μπορούν να είναι ακριβείς ή προσεγγιστικές ανάλογα με την εφαρμογή. Κάποια αντικείμενα μπορούν να έχουν ακριβή αναπαράσταση χρησιμοποιώντας μία μόνο δίκυμβική επιφάνεια, ενώ όταν απαιτείται συνδυασμός επιφανειών το αποτέλεσμα είναι συνήθως προσέγγιση του αναπαριστώμενου αντικειμένου. Η κατασκευαστική γεωμετρία στερεών (CSG) δημιουργεί ακριβείς αναπαραστάσεις, αλλά οι εφαρμογές της

περιορίζονται σε αναπαραστάσεις που μπορούν να δημιουργηθούν από συνδυασμό των διαθέσιμων πρωτογενών σχημάτων.

Όσο ακριβής, όμως, κι αν είναι μια αναπαράσταση, πάντα θα υπάρχει απόκλιση κατά την οπτική απόδοση, καθώς στο στάδιο αυτό είναι απαραίτητη η μετατροπή του μοντέλου σε γεωμετρική απεικόνιση με κάποιο αλγόριθμο δειγματοληψίας. Οι δίκυμβικές επιφάνειες και η κατασκευαστική γεωμετρία στερεών, μπορεί να είναι αναπαραστάσεις πιο κατανοητές από τον άνθρωπο, αλλά όχι και από τον υπολογιστή. Για τα πολυγωνικά μοντέλα έχουν δημιουργηθεί πολλοί αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για την οπτική τους απόδοση και για το λόγο αυτό συχνά αναπαραστάσεις άλλων μεθόδων μετατρέπονται σε πολυγωνική μορφή προκειμένου να αποδοθούν οπτικά.



**Εικ. 3.7** Μετατροπή καμπύλης παραμετρικής επιφάνειας σε πολυγωνική (α) διαμερίζοντάς τη σε μικρότερα τμήματα και όταν φτάσει σε πολύ μικρή επιφάνεια, (β) προσεγγίζεται με επίπεδη πολυγωνική επιφάνεια (ορθογώνιο/ τρίγωνο).

Η πολυπλοκότητα μιας αναπαράστασης έχει επίσης σχέση με τον αριθμό δομικών στοιχείων (πολύγωνα, καμπύλες επιφάνειες, voxels) που αποτελούν το μοντέλο. Για παράδειγμα, η αναπαράσταση αντικειμένων με πολλές καμπύλες επιφάνειες, είναι πιο περίπλοκη όταν προσεγγίζεται με πολυγωνικά μοντέλα σε σχέση με τις δίκυμβικές παραμετρικές επιφάνειες, που ο ίδιος βαθμός ακρίβειας μπορεί να επιτευχθεί με λιγότερα δομικά στοιχεία στις περισσότερες περιπτώσεις.

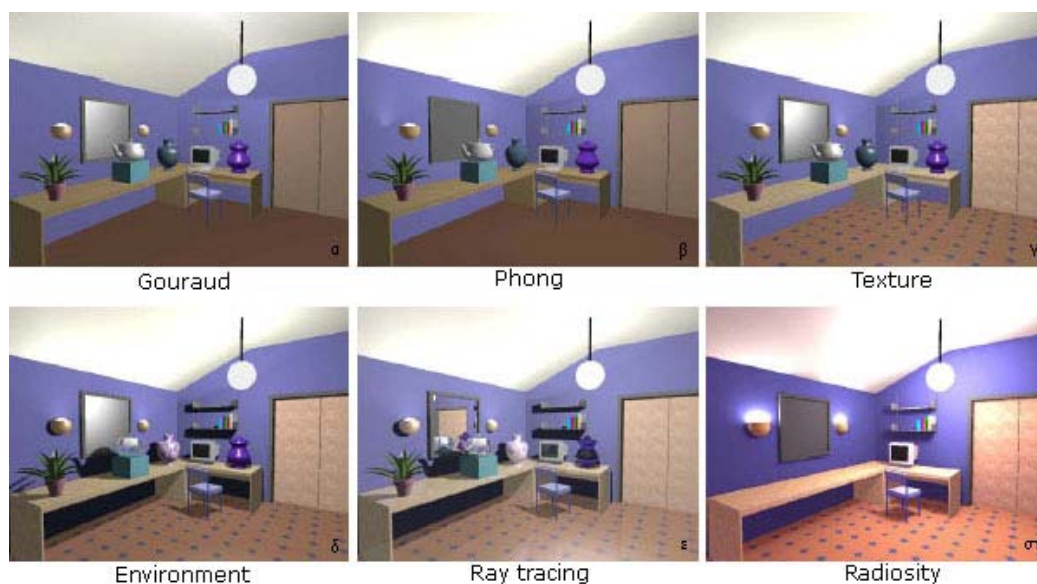
### Φωτορεαλισμός

Ο όρος «φωτορεαλιστικά τρισδιάστατα γραφικά» έχει αποδοθεί στις τρισδιάστατες ψηφιακές αναπαραστάσεις που η απεικόνισή τους προσεγγίζει πραγματική εικόνα.

Για την περιγραφή μιας φωτορεαλιστικής τρισδιάστατης σκηνής είναι απαραίτητο, εκτός από τη γεωμετρία των αντικειμένων που τη συνθέτουν, να προσδιοριστούν τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένα τα αντικείμενα και οι φωτεινές πηγές που υπάρχουν στη σκηνή και επιδρούν στις επιφάνειες των αντικειμένων. Η δημιουργία εικόνων που αποδίδουν οπτικά (rendering) μια άποψη της σκηνής είναι μια δύσκολη για τον υπολογιστή διαδικασία, όταν ο τρισδιάστατος ψηφιακός κόσμος που επιχειρείται να απεικονιστεί, περιέχει πολλά αντικείμενα με επιφάνειες που προκαλούν ανάκλαση και διάθλαση του φωτός. Τότε, πρέπει να υπολογιστεί, όχι μόνο το φως που απορρέει από τη φωτεινή πηγή, αλλά και το φως που προέρχεται από τα αντικείμενα που έχουν αυτές τις ιδιότητες.

Η πρώτη πρόκληση για την οπτική απόδοση των τρισδιάστατων γραφικών ήταν η δημιουργία αλγορίθμων που να αποκρύπτουν τα τμήματα των αντικειμένων που δεν ήταν ορατά από την επιλεγμένη θέση παρατήρησης. Αλγόριθμοι όπως ο z-buffer, έδωσαν λύση σε αυτό το πρόβλημα. Οι αλγόριθμοι Gouraud και Phong, αποδίδουν ομαλές σκιές σε αντικείμενα με καμπύλες επιφάνειες που προσεγγίζονται πολυγωνικά, όμως δεν υπολογίζουν την επίδραση που έχουν τα άλλα αντικείμενα πάνω τους. Η προσομοίωση των σκιών, των ανακλάσεων και διαθλάσεων της σκηνής με απεικόνιση του περιβάλλοντος πάνω στα αντικείμενα (environmental reflection mapping), είναι μια αποτελεσματική και εύκολη τεχνική για την απόδοση αυτής της παραμέτρου, αλλά δεν είναι ακριβής, όπως ο περίπλοκος, αλλά δυνατός αλγόριθμος ray tracing, που ακολουθεί την πορεία

κάθε ακτίνας που συμβάλλει στη σκηνή. Η διάχυση (diffuse reflection) του φωτός από μια επιφάνεια σε μια άλλη μπορεί να υπολογιστεί με τον αλγόριθμο radiosity και επειδή δεν επηρεάζεται από την θέση παρατήρησης, μπορεί να αποθηκευτεί για να χρησιμοποιηθεί και σε επόμενες απεικονίσεις της σκηνής. Η χρήση εικόνων, δισδιάστατων, τρισδιάστατων ή ακόμα και κινούμενων, είναι μια εύκολη και οικονομική λύση για την απόδοση υψής στην επιφάνεια ενός αντικειμένου και συνδυάζεται συχνά με τις τεχνικές ψηφιοποίησης από εικόνες.



**Εικ. 3.8** Αλγόριθμοι φωτισμού (α) Gouraud και (β) Phong, (γ) απεικόνιση υψής, (δ) απεικόνιση περιβάλλοντος σε υψή και φωτισμό, (ε) αλγόριθμος φωτισμού παρακολούθησης ακτίνας και (στ) radiosity

Ανάλογα με τη λεπτομέρεια και την αληθοφάνεια που θέλει κανείς να έχει στην τρισδιάστατη σκηνή του, μπορεί να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα αποδώσει οπτικά τα αντικείμενά της. Οι πιο ακριβείς αλγόριθμοι, όπως είναι φυσικό απαιτούν περισσότερο χρόνο για την παραγωγή της δισδιάστατης εικόνας της σκηνής.



## *II. Εφαρμογές τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης για την παγκόσμια πολιτισμική κληρονομιά*

Η ενημέρωση για τρέχοντα ή ολοκληρωμένα έργα οπτικοποίησης πολιτισμικής πληροφορίας μπορούν να δώσουν καλύτερη εικόνα για τις δυνατότητες της τεχνολογίας των τρισδιάστατων γραφικών και για το λόγο αυτό, στο κομμάτι που ακολουθεί παρατίθενται ορισμένες ενδεικτικές περιπτώσεις.

### *A. Παραδείγματα έργων τρισδιάστατης αυτόματης ψηφιοποίησης*

Ερευνητική ομάδα από το Πανεπιστήμιο του Stanford, στο διάστημα του ακαδημαϊκού έτους 1998-1999, ψηφιοποίησε δέκα αγάλματα μεγάλου μεγέθους του Μιχαήλ Άγγελου, μεταξύ αυτών ο Δαβίδ, άγαλμα ύψους 5 μέτρων χωρίς τη βάση, δύο εσωτερικούς χώρους και 1.163 τμήματα της Forma Urbis Romae, ενός μαρμάρινου χάρτη της αρχαίας Ρώμης γιγαντίων διαστάσεων (Levoy, 1999, Levoy, 2000). Για την ψηφιοποίηση όλων αυτών των έργων εργάστηκαν 30 άτομα από το Stanford, καθηγητές, ερευνητές και φοιτητές, και χρησιμοποιήθηκε σύστημα ανίχνευσης λέιζερ με τριγωνοποίηση, σύστημα ανίχνευσης λέιζερ time-of-flight, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και λογισμικό πακέτο για τη λήψη, ευθυγράμμιση, συγχώνευση και προβολή των δεδομένων της σάρωσης.

Στόχος ήταν η δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών αρχείων με τη μέγιστη δυνατή ανάλυση που επέτρεπε η τεχνολογία της εποχής, έτσι ώστε να μπορεί να καταγράψει γεωμετρικά τα σημάδια από τις σμιλεύσεις του Μιχαήλ Άγγελου. Εκτός από το σχήμα, η ερευνητική ομάδα ήθελε να συλλάβει το φωτισμό, και πιο συγκεκριμένα να μετρήσει τον βαθμό αντανάκλασης της επιφάνειας κάθε αγάλματος, τόσο για να είναι σε θέση να φωτίσουν τα αγάλματα κατά την οπτική απόδοση, όσο και για να μπορούν να απεικονίσουν σημαντικές επιστημονικές πληροφορίες για τις φθορές του χρόνου, τις συντηρήσεις, και άλλα στοιχεία που

προκύπτουν από τη μελέτη των υλικών που απομείνει στην επιφάνεια των αγαλμάτων. Για να αναδείξουν αυτά τα χαρακτηριστικά για το άγαλμα του Δαβίδ, η σάρωση έγινε με λευκό φως και υπεριώδεις ακτίνες, χωριστά.

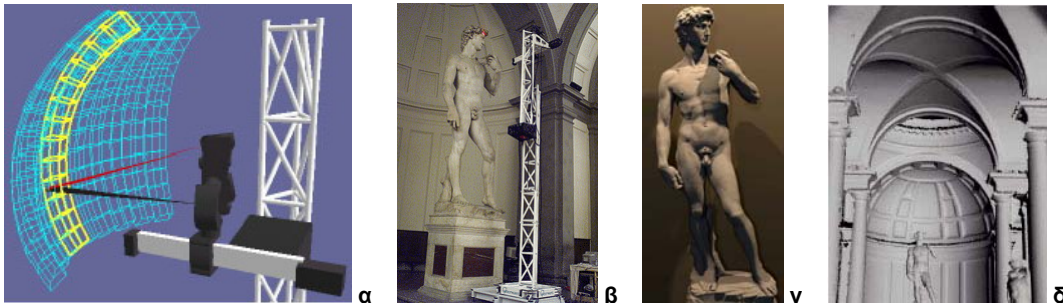
Ο προγραμματισμός κάθε σάρωσης γινόταν διαδραστικά από τον χειριστή, ο οποίος καθόριζε το μέγεθος της σάρωσης, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του κάθε τμήματος. Ανάλογα με το μέγεθος της σάρωσης, μπορεί να χρειαζόταν από λίγα λεπτά ως μία ή περισσότερη ώρα. Η σάρωση για το σχήμα γινόταν σε συνδυασμό με τη σάρωση για το χρώμα, ώστε να μη χάνεται το διαμέτρημα.

Η σάρωση για το χρώμα γινόταν δύο φορές για κάθε τμήμα, μία τεχνητό φωτισμό και μία χωρίς, για να αντισταθμίσουν το φυσικό φωτισμό. Έπειτα από τη σάρωση, τα δεδομένα έπρεπε να ευθυγραμμιστούν, σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων και να συγχωνευτούν με τη χρήση ογκομετρικού κανάβου και voxels που είτε έπαιρναν κάποια τιμή από τις μετρήσεις είτε έμεναν κενά και άρα, μη ορατά. Για να γίνει καλύτερα η συγχώνευση, μεγάλοι όγκοι δεδομένων χωρίζονταν σε μπλοκ και κάθε μπλοκ δημιουργούσε μια επιφάνεια που μετά ενωνόταν με τη διπλανή της με τη συγχώνευση των κορυφών που ταυτίζονταν. Έπειτα από τη δημιουργία του σχήματος, γίνονταν οι διορθώσεις στο χρώμα των εικόνων της σάρωσης, γεωμετρικά και ακτινομετρικά, απορρίπτοντας pixel με λάθη (occlusions) λόγω κάμερας ή φωτισμού, ενώ τα υπόλοιπα προβάλλονταν στο συγχωνευμένο πλέγμα, αντικαθιστώντας το χρώμα με αντανάκλαση. Για κάθε κορυφή του πλέγματος υπήρχε μια RGB τριπλέτα αντανάκλασης.

Το γεωμετρικό μοντέλο του Δαβίδ, του μεγαλύτερου από τα αγάλματα που ψηφιοποιήθηκαν στο έργο αυτό, είχε 2 δισεκατομμύρια πολύγωνα. Από το τρισδιάστατο μοντέλο του, ήταν ήδη εφικτό να βγουν κάποια νέα δεδομένα, όπως

η επιφάνεια (19 τετραγωνικά μέτρα), ο όγκος (2.2 κυβικά μέτρα) και το βάρος του (5.800 κιλά).

Χρειάστηκαν 22 άτομα, συν 3 υπάλληλοι του μουσείου, 360 ώρες σαρώματος σε 30 ημέρες, 1.080 ανθρωποώρες σαρώματος και 1.500 ανθρωποώρες μετέπειτα επεξεργασίας των δεδομένων (μετά από ένα χρόνο όταν δημοσιεύτηκε το άρθρο αυτό στο συνέδριο του Siggraph το 2000).



**Εικ. 3.9** (α) Η πρωτότυπη συσκευή σάρωσης του Stanford, (β) η ψηφιοποίηση του αγάλματος Δαβίδ, (γ) η οπτικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων (γ) με απεικόνιση αφής και (δ) στην Accademia Gallery της Φλωρεντίας.

Ανάμεσα στα πολυάριθμα αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς που έχει ψηφιοποιήσει το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας του Καναδά, είναι και το μαρμάρινο άγαλμα της Madonna col Bambino, 1,29 μ., του Giovanni Pisano (1305), στην Πάντοβα της Ιταλίας. Χρησιμοποιήθηκε σύστημα σάρωσης με λέιζερ και ανίχνευσης σε διάταξη τριγώνου plane-of-light, ειδικά σχεδιασμένο για αξιόπιστη, ανθεκτική μέτρηση ακριβείας.

Η IBM μοντελοποίησε το άγαλμα Florentine Pietà του Μιχαήλ Άγγελου με το συνδυασμό τρισδιάστατης σάρωσης δομημένου φωτισμού και φωτομετρικής στερεοφωτογράφισης. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, στόχος τους ήταν τα συστήματα να είναι εύρωστα και ελαφριά για σάρωση εκτός εργαστηρίου.

Η ερευνητική ομάδα του *Institute for Creative Technologies* του *University of Southern California*, ψηφιοποίησε τμήματα των γλυπτών που υπήρχαν στα

αετώματα, τις μετώπες και τη ζωφόρο του Παρθενώνα, από τα γύψινα αντίγραφα τους στο μουσείο Basel Skulpturhalle, στην Ελβετία (εικ.3.10). Χρησιμοποίησαν τεχνική δομημένου φωτισμού. Με την προβολή κόκκινου, πράσινου και μπλε φωτισμού πάνω στα γύψινα αντίγραφα, κατέγραψαν την απαραίτητη πληροφορία για τη γεωμετρία και την ανάκλαση των επιφανειών τους.



**Εικ. 3.10** Ψηφιοποίηση (α) των γλυπτών του Παρθενώνα και (β) μιας Καρυάτιδας από τα γύψινα αντίγραφα του μουσείου Basel Skulpturhalle (*Institute for Creative Technologies, University of Southern California*)

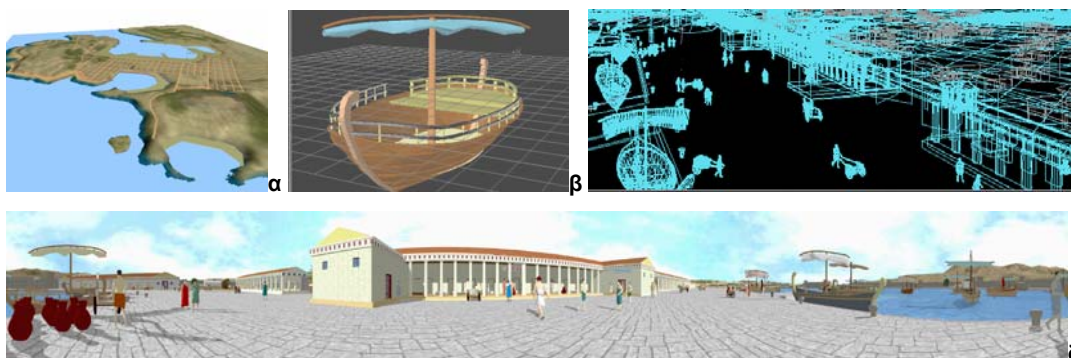
### *B. Εφαρμογές μοντελοποίησης με λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών*

Το εργαστήριο Τρισδιάστατων Γραφικών του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού ασχολείται αποκλειστικά με την οπτικοποίηση της πολιτισμικής κληρονομιάς της χώρας μας. Στους σταθμούς εργασίας τους χρησιμοποιούνται λογισμικά όπως, Avid Softimage3D & XSI, Alias|Wavefront Maya, Newtek Lightwave, Eye On Digital fusion, Right Hemisphere Deep Paint 3D, κ.ά., για τη δημιουργία κατά κύριο λόγο τρισδιάστατων ψηφιακών αναπαραστάσεων που εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού, όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο. Ένα από τα τελευταία έργα του εργαστηρίου Τρισδιάστατων Γραφικών του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού είναι η αναπαράσταση του χώρου της Αρχαίας Ολυμπίας. Με βάση αρχιτεκτονικά σχέδια, αρχαιολογική πληροφορία, εικόνες, ιστορικές περιγραφές, δημιουργήθηκαν τα τρισδιάστατα μοντέλα του χώρου, όπως ήταν κατά την περίοδο της ακμής του (Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, 2004).



**Εικ. 3.11** Αναπαραστάσεις του ναού του Δία, στην Αρχαία Ολυμπία από το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού (2004).

Στα πλαίσια του προγράμματος 450 π.Χ., από το οποίο προέκυψε το εκπαιδευτικό λογισμικό «μια Πόλη .. μια Εποχή», δημιουργήθηκε ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση της πόλης του Πειραιά, όπως ήταν κατά την κλασική περίοδο. Με βάση τοπογραφικό χάρτη της περιοχής, με ισοΰψεις καμπύλες και θέσεις των σημαντικότερων στοιχείων της αρχαίας πόλης, δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής με στοιχειώδη επιφάνεια επικάλυψης που παρουσιάζει το ανάγλυφο. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα τρισδιάστατα μοντέλα για διάφορα στοιχεία της πόλης: κτίρια, τείχη, στοές, ναοί, άνθρωποι, πλοία, λιμάνια, κ.λπ., τα οποία τοποθετήθηκαν στις κατάλληλες θέσεις του ανάγλυφου. Σε καθένα δόθηκε λεπτομερώς η υφή και επιλέχθηκε ο κατάλληλος φωτισμός, για μια φωτορεαλιστική οπτική απόδοση (Κωστάκης, 2002).



**Εικ.3.12** Χτίζοντας έναν ιστορικό εικονικό κόσμο «μια Πόλη .. μια Εποχή»: (α) ανάγλυφο της περιοχής του Πειραιά, (β) δημιουργία αντικειμένων και (γ) τοποθέτηση τους στο ανάγλυφο, (δ) η πανοραμική εικόνα του εμπορικού λιμένα Πειραιώς.

## Ανακεφαλαίωση

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση πολιτισμικής πληροφορίας μπορεί να γίνει με διάφορα μέσα, με συστήματα αυτόματης ψηφιοποίησης ή με λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών.

Τα περισσότερα σύγχρονα λογισμικά παρέχουν πληθώρα μεθόδων δημιουργίας των γεωμετρικών σχημάτων, αλλά και τη δυνατότητα απόδοσης φωτορεαλισμού και κίνησης στην τρισδιάστατη σκηνή.

Οι τεχνικές αυτόματης ψηφιοποίησης εφαρμόζουν συνήθως οπτικά μέσα, ενώ λιγότερο συχνή είναι πλέον η σάρωση με συστήματα αφής. Δομημένος φωτισμός, λέιζερ, φωτομετρία και στερεοφωτογράφιση είναι από τις συνηθέστερες μεθόδους. Για τη σύλληψη της κίνησης σε ανθρώπινες κυρίως δραστηριότητες χρησιμοποιούνται κυρίως τεχνικές με οπτικά ή μαγνητικά συστήματα.

Τα τρισδιάστατα αντικείμενα μπορούν να αναπαρασταθούν με διαφορετικές δομές δεδομένων, οι οποίες καθορίζουν και τη μέθοδο μοντελοποίησης: τα πολυγωνικά μοντέλα, οι δίκυμβικές (παραμετρικές) επιφάνειες, η Κατασκευαστική Γεωμετρία Στερεών (CSG) και η υποδιαίρεση χώρου είναι οι συνηθέστερες μέθοδοι τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Κάθε μία από αυτές έχει τα προτερήματα και τα μειονεκτήματά της που συνήθως μετρούνται ως προς την ακρίβεια της αναπαράστασης, του όγκου δεδομένων που παράγει, της πολυπλοκότητας και της ευκολίας επεξεργασίας των σχημάτων.

## 4 Μέσα και τεχνολογίες απεικόνισης και επίδειξης τρισδιάστατης ψηφιακής οπτικοποίησης πολιτισμικής πληροφορίας

*Στην πρώτη ενότητα του κεφαλαίου αυτού θα αναφερθούμε στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί η τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση αντικειμένων και χώρων. Η δεύτερη ενότητα περιέχει σχετικά παραδείγματα από πολιτισμικές εφαρμογές.*

Η ψηφιακή μοντελοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων και χώρων μπορεί να έχει ένα πλήθος εφαρμογών. Μάλιστα, εκτός από το σχήμα που έχουν τα αντικείμενα του περιβάλλοντος που πρόκειται να αναπαρασταθούν, το μέσο στο οποίο θα αξιοποιηθεί η αναπαράσταση μπορεί να επηρεάσει την επιλογή της μεθόδου μοντελοποίησης, καθώς κάθε μία έχει διαφορετικές δυνατότητες και περιορισμούς, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

### *1. Προϊόντα οπτικής απόδοσης των τρισδιάστατων γραφικών*

Στη συνέχεια ακολουθεί περιγραφή των κυριότερων «προϊόντων» που μπορούν να προκύψουν από την τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση.

#### **Εικόνα**

Για την παρουσίαση στατικών σκηνών ενός τρισδιάστατου κόσμου με φωτορεαλιστική απόδοση, η καταλληλότερη μορφή είναι η εικόνα. Η εικόνα μπορεί να απεικονίζει μία από τις ορθογώνιες απόψεις της τρισδιάστατης σκηνής (μπροστινή, πλάγια, κάτοψη) σύμφωνα με το σύστημα συντεταγμένων που έχει οριστεί. Συνήθως, όμως, αξιοποιείται η δυνατότητα απεικόνισης της τρισδιάστατης σκηνής σε προοπτική. Αυτή η θέση παρατήρησης προσφέρει

καλύτερη απόδοση των τριών διαστάσεων της σκηνής, αλλά και συγκεκριμένου ύφους. Για παράδειγμα, η οπτική απόδοση ενός ψηλού κτιρίου είναι πιο επιβλητική αν η εικόνα το παρουσιάζει σαν κάποιος να το κοιτά από χαμηλό σημείο κοιτώντας ψηλά, σε αντίθεση με μια εικόνα που απεικονίζει την πρόσοψη του κτιρίου από απόσταση.

Ο χρόνος παραγωγής μιας φωτορεαλιστικής εικόνας επηρεάζεται κυρίως από τον αριθμό και την πολυπλοκότητα των αντικειμένων της τρισδιάστατης σκηνής, καθώς χρειάζεται να υπολογιστεί για το καθένα η επίδραση που έχει ο φωτισμός της σκηνής στην επιφάνεια κάθε αντικείμενου σε αυτή. Οι σκιάς που δημιουργούνται από και πάνω στα αντικείμενα από τις φωτεινές πηγές, αλλά και από την ανάκλαση του φωτός σε επιφάνειες με τέτοια ιδιότητα, η διάθλαση του φωτός σε διαφανείς επιφάνειες, είναι στοιχεία που πρέπει να υπολογιστούν πριν αποδοθεί οπτικά η εικόνα μιας σκηνής.

Η παραγόμενη εικόνα, μπορεί να είναι μονόχρωμη (one bit) – μορφή που απαιτεί μόλις ένα bit ως πληροφορία για το χρώμα κάθε pixel της, άσπρο ή μαύρο -, να είναι σε αποχρώσεις (grayscale) – μπορούν να αποδοθούν 256 αποχρώσεις με 8 bit -, να χρησιμοποιεί παλέτα χρωμάτων (paletted), να αποδίδει αρκετά πιστά τα πραγματικά χρώματα (truecolor) – η χρήση 24 bit πληροφορίας για κάθε pixel (8 bit για κάθε ένα από τα στοιχεία μιας RGB εικόνας: κόκκινο, πράσινο, μπλε) επιτρέπει την αναπαραγωγή 16 εκατομμυρίων χρωμάτων -, ή χρώματος 48-bit (48-bit color) – η οποία παρέχει 65000 αποχρώσεις για καθένα εκ των κόκκινο, πράσινο, μπλε καναλιών, αλλά και διπλάσιο μέγεθος από την προηγούμενη. Ένα ακόμα κανάλι πληροφορίας που μπορεί να περιέχει μια εικόνα είναι για τη διαφάνεια κάθε pixel της, μέσω του alpha channel. Μια εικόνα με alpha channel, θα έχει το χρώμα του φόντου της στα διαφανή pixel της ή αν επικολληθεί πάνω



σε άλλη εικόνα, όπου είναι διαφανής θα φανερώνει τα pixel της κάτω εικόνας. Για τη μείωση του μεγέθους μιας εικόνας, είναι δυνατή η συμπίεση, με ή χωρίς απώλεια της ποιότητας της εικόνας (Lammers, 2003).

Τα λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών υποστηρίζουν πολλές μορφές αρχείων εικόνας για την οπτική απόδοση. Οι πιο συνηθισμένες είναι η TIFF (Tagged Image File Format), με διάφορες παραλλαγές, αλλά συνήθως χρησιμοποιείται εκείνη που παράγει ασυμπίεστη εικόνα με πραγματικό χρώμα και υποστηρίζει alpha channel, η PICT (από το "picture"- εικόνα), και η EPS (Encapsulated PostScript), που αν και υποστηρίζει διανυσματικά γραφικά, στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται στην bitmap μορφή του. Μια παλιότερη μορφή, η Targa (TGA), με απόδοση πραγματικού χρώματος (24-bit) και επιλεκτικά, δυνατότητα αποθήκευσης alpha channel, είναι πιο γνωστή σε εφαρμογές με βίντεο. Επίσης, χρησιμοποιείται η JPEG (Joint Photographic Experts Group), που αποδίδει πραγματικό χρώμα, χωρίς alpha channel, και χρησιμοποιεί συμπίεση με απώλεια ποιότητας, το μέγεθος της οποίας μπορεί συχνά να επιλέξει κανείς, και η GIF, ευρέως διαδεδομένη στο Διαδίκτυο λόγω των δυνατοτήτων της στη συμπίεση (O'Rourke, 1998).

### **Βίντεο**

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση αντικειμένων δε δημιουργείται μόνο για την παραγωγή στατικών σκηνών με στόχο την αποτύπωσή τους σε εικόνα, αλλά μπορεί να περιλαμβάνει αλλαγή και κίνηση (animation). Animation μπορεί να σημαίνει την εφαρμογή βασικών μετασχηματισμών (shape changes) – μετακίνηση, στροφή, μεγέθυνση/ σμίκρυνση- σε ολόκληρο το σχήμα ή σε επιμέρους επιφάνειες ενός αντικειμένου, τη μετακίνηση της εικονικής κάμερας στον τρισδιάστατο χώρο (camera animation), αλλαγές στο φωτισμό (light

animation) ή στις ιδιότητες της επιφάνειας ενός αντικειμένου (surface properties animation).

Ως μέσο καταγραφής της κίνησης (animation) που περιέχει μια σκηνή τρισδιάστατων γραφικών χρησιμοποιείται το βίντεο. Πρόκειται, στην ουσία, για μια ακολουθία εικόνων προβαλλόμενη σε τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως 25-30 καρέ το δευτερόλεπτο, για να φαίνεται η κίνηση συνεχής και φυσική στο ανθρώπινο μάτι ή με άλλα λόγια, να γίνεται άμεσα κατανοητή από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Σε ένα βίντεο με 25 καρέ το δευτερόλεπτο, για μισό λεπτό, χρειάζονται 750 καρέ (!). Θα ήταν πολύ χρονοβόρο αν έπρεπε να γίνουν όλα αυτά τα καρέ ένα ένα.

Για τη δημιουργία σκηνών με animation, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, μεταξύ των οποίων η χρήση keyframes (καρέ κλειδιά), δηλαδή η δημιουργία των σημαντικότερων καρέ από το σχεδιαστή, ενώ ο υπολογιστής συμπληρώνει τα ενδιάμεσα καρέ (interpolation) σύμφωνα με κάποιους διαθέσιμους αλγόριθμους για την κίνηση. Είναι βασισμένη στην τεχνική που χρησιμοποιείται στα παραδοσιακά κινούμενα σχέδια, όπου ο πρώτος σχεδιαστής δίνει τα βασικότερα καρέ της ταινίας, πάνω στα οποία βασίζονται άλλοι, λιγότερο έμπειροι σχεδιαστές, για να δημιουργήσουν τα ενδιάμεσα.

Για το animation που αφορά στη μετακίνηση αντικειμένων ή της εικονικής κάμερας μέσα στο χώρο, είναι δυνατός ο ορισμός της πορείας που θα ακολουθήσει το αντικείμενο ή η κάμερα βάση μιας γραμμής, που ονομάζεται motion path (μονοπάτι κίνησης). Επιπλέον δυνατότητες στην απόδοση της κίνησης παρέχει η εφαρμογή μαθηματικών εκφράσεων ή τύπων (expression), κανόνων της φυσικής (τεχνική dynamics) σε αντικείμενα για τα οποία έχουν οριστεί φυσικές ιδιότητες (μάζα, πυκνότητα υλικού, ελαστικότητα, τριβή) και

συνθήκες περιβάλλοντος (βαρύτητα, άνεμος). Τεχνικές μοντελοποίησης όπως τα metaballs και τα particles, μπορούν να αναπαραστήσουν κίνηση υγρών, ή σώματος, καπνού, τριχώματος, κ.ά. πολύπλοκα φαινόμενα. Για ανθρώπινες κινήσεις, συχνά χρησιμοποιείται και η σύλληψη κίνησης με την τοποθέτηση αισθητήρων σε επιλεγμένα σημεία του σώματος (motion capture).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, συστατικό στοιχείο του βίντεο, είναι η εικόνα, και κατά συνέπεια, ο χρόνος παραγωγής του εξαρτάται από τον αριθμό και την πολυπλοκότητα οπτικής απόδοσης των εικόνων που αποτελούν τα καρέ, την οποία μελετήσαμε στην προηγούμενη υποενότητα.

Τα λογισμικά πακέτα 3D γραφικών μπορούν να παράγουν απευθείας αρχεία βίντεο, συνήθως σε κωδικοποίηση AVI, MPG, ή QuickTime MOV. Όμως, αυτή η λύση συχνά περιλαμβάνει συμπίεση με απώλεια ποιότητας (lossy compression). Για το λόγο αυτό, κατά κύριο λόγο, η οπτική απόδοση μιας σκηνής με animation γίνεται με τη μορφή ακολουθίας αριθμημένων αρχείων εικόνας (TIFF ή TGA), οι οποίες μπορούν να επεξεργαστούν σε κατάλληλα λογισμικά για να συντεθεί το βίντεο και να αποθηκευτεί σε ψηφιακή ή αναλογική μορφή (βιντεοκασέτα, κινηματογραφικό φιλμ).

### ***Διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα***

Στις προηγούμενες περιπτώσεις η οπτική απόδοση μιας τρισδιάστατης σκηνής, με ή χωρίς κίνηση, είναι προκαθορισμένη και κύριο στόχο έχει συνήθως την αποθήκευση για μετέπειτα αξιοποίηση σε κάποια αναλογική ή ψηφιακή μορφή (βιβλίο, cd-rom, dvd, τηλεόραση, βιντεοκασέτα). Στο κομμάτι που ακολουθεί<sup>5</sup>, θα μελετήσουμε περιπτώσεις που οι απεικονίσεις των τρισδιάστατων γραφικών

<sup>5</sup> Η ενότητα αυτή έχει στηριχθεί στη μελέτη των Allen et al (2002), σε σημειώσεις των Δ. Χαρίτου και Δ. Μαρτάκου, του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Γνώσης του Πανεπιστημίου Πειραιώς και στη διπλωματική εργασία του

εξαρτώνται από την είσοδο που θα λάβει το σύστημα σε πραγματικό χρόνο. Από τις πρώτες εφαρμογές που είχαν τα διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα, ήταν η εικονική πραγματικότητα.

#### *Virtual Reality (VR – Εικονική Πραγματικότητα)*

Ο όρος «εικονική πραγματικότητα» έχει αποκτήσει πολλές έννοιες, κάνοντας δύσκολη την οριοθέτησή του. Με τους ακόλουθους ορισμούς θα προσπαθήσουμε να συγκεντρώσουμε όλα εκείνα τα στοιχεία που συνθέτουν μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας.

Σύμφωνα με τους Loffler και Anderson (1994) «η εικονική πραγματικότητα είναι ένα τρισδιάστατο περιβάλλον προσομοίωσης σε υπολογιστή, η απεικόνιση του οποίου γίνεται σε πραγματικό χρόνο και εξαρτάται από τη συμπεριφορά του χρήστη». Επειδή με τον όρο «πραγματικότητα» μπορεί να ερμηνευτεί ότι το τρισδιάστατο περιβάλλον αναπαριστά την πραγματική ζωή και μάλιστα σε όλες τις διαστάσεις της, χρησιμοποιείται πιο συχνά ο όρος εικονικό περιβάλλον. Ο Ellis (1993) είχε γράψει ότι τα εικονικά περιβάλλοντα αποτελούνται από «περιεχόμενο, γεωμετρία και δυναμική, με ένα εγωκεντρικό πλαίσιο αναφοράς, που περιλαμβάνει την αντίληψη των αντικειμένων σε βάθος και εγείρει διάφορες αισθήσεις ταυτόχρονα». Ο Gigante (1993) συμπληρώνει τους ορισμούς αυτούς με το στοιχείο της εμπύθισης, την έννοια της συμμετοχής στο εικονικό περιβάλλον σε αντιδιαστολή με την απλή παρατήρησή του. Με βάση αυτούς τους ορισμούς μπορεί κανείς να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι έννοιες, αντικείμενα ή χώροι υπάρχουν οπτικοποιημένα με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή, σε τρεις ή περισσότερες διαστάσεις, σε ένα εικονικό περιβάλλον, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να έχει μια διαδραστική εμπειρία, είτε απλώς με τη δυνατότητα πλοήγησης στον τρισδιάστατο χώρο είτε επιπλέον με τη δυνατότητα

διάδρασης με τα αντικείμενα του περιβάλλοντος αυτού με τη χρήση διάφορων συσκευών.

Τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να διακριθούν σύμφωνα με το βαθμό εμπύθισης που επιτυγχάνουν με τις συσκευές που έχει στη διάθεσή του ο χρήστης, ενώ τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τον τύπο συσκευών απεικόνισης που χρησιμοποιούν (Allen, 2002). Προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι περιγραφές των κατηγοριών αυτών, θα ακολουθήσει μια σύντομη αναφορά στις διαφορετικές συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας.

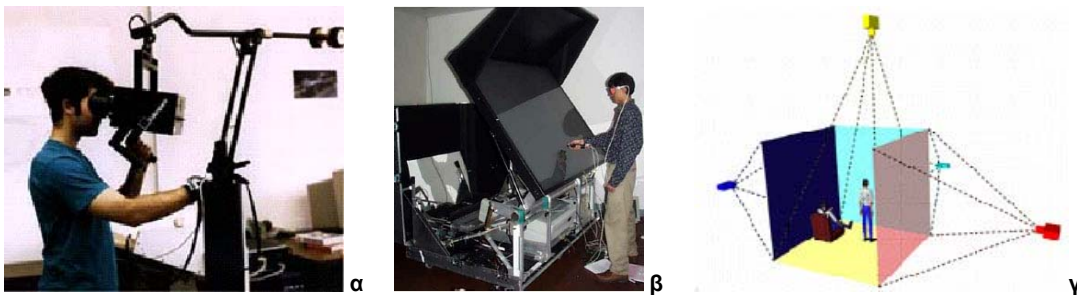
#### Συσκευές οπτικής απεικόνισης (visual display devices)

Η εικονική πραγματικότητα έχει συνδεθεί αρκετά με την εικόνα εφαρμογών που οι συσκευές οπτικής απεικόνισης είναι προσαρμοσμένες στο κεφάλι του χρήστη (headsets). Η αρχαιότερη από αυτές της συσκευές είναι το HMD (Head Mount Displays). Πρόκειται για μία ή δύο μικρές οθόνες που τοποθετούνται μπροστά από τα μάτια του χρήστη (ή πολύ κοντά σε αυτά), συνήθως προσαρμοσμένες πάνω σε κράνη (εμπύθισης), και προβάλλουν στο χρήστη τις εικόνες από το εικονικό περιβάλλον ενώ παρεμποδίζουν την είσοδο πληροφοριών από το πραγματικό περιβάλλον. Χαρακτηρίζονται στερεοσκοπικές, αν έχουν δύο οθόνες που προβάλλουν ελάχιστα διαφορετική άποψη του εικονικού κόσμου για το κάθε μάτι, ώστε να δίνεται η αίσθηση του βάθους. Η χρήση HMD, παρότι είναι η καλύτερη για την εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να προκαλέσει κόπωση και ναυτία στους χρήστες της, εξαιτίας της καθυστέρησης που υπάρχει μεταξύ της κίνησης του χρήστη και της οπτικής απόδοσης της νέας θέσης παρατήρησης από το HMD.



Εικ. 4.1 (α), (β) Κράνος εμπύθισης (HMD) και (γ) στερεοσκοπικά γυαλιά.

Στερεοσκοπικά ημιδιαφανή γυαλιά, ενεργητικά ή παθητικά, ανάλογα με το αν παρακολουθούν ή όχι την κίνηση του κεφαλιού ώστε να προσαρμόζουν την προβαλλόμενη στον χρήστη εικόνα, δίνουν στερεοσκοπική αίσθηση του εικονικού περιβάλλοντος, χωρίς να κρύβουν από το χρήστη το πραγματικό περιβάλλον.



Εικ. 4.2 (α) Οθόνη BOOM, (β) Immersa-Desk με στερεοσκοπικά γυαλιά και (γ) σύστημα Cave

Οι οθόνες BOOM (Binocular Omni-Orientalional Monitors)– ήταν μια εναλλακτική λύση του HMD. Είναι οθόνες εμπύθισης υψηλής ανάλυσης, μία για κάθε μάτι, στηριζόμενες σε μηχανικό βραχίονα, με δυνατότητα χειρισμού της προβολής με τη χρήση ειδικής λαβής (συνήθως κάτω από την οθόνη) που συνδέεται με τον υπολογιστή.

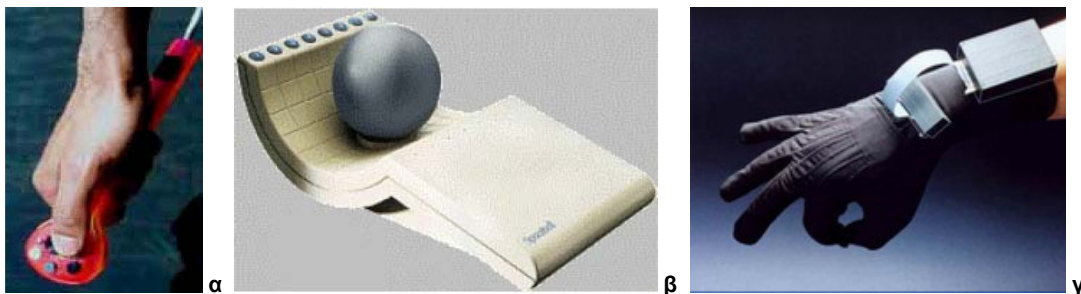
Επίσης, δισδιάστατες και τρισδιάστατες οθόνες κανονικού ή μεγάλου μεγέθους, με ή χωρίς χρήση γυαλιών, χρησιμοποιούνται για απεικόνιση εικονικών περιβαλλόντων σε χώρους όπου περισσότερα από ένα άτομα μπορούν να συμμετέχουν, όπως σε θέατρα εικονικής πραγματικότητας και σε τοίχους κλειστών χώρων.



Εικ. 4.3 (α) Τρισδιάστατη οθόνη με γυαλιά, (β) Δισδιάστατη οθόνη μεγάλου μεγέθους και (γ) οθόνη Αφής

### Συσκευές διάδρασης (απτικά συστήματα)

Το 3-D space ball (σφαίρα πλοήγησης) είναι μια συσκευή που επιτρέπει στους χρήστες να κινούν ή να περιστρέφουν τρισδιάστατα μοντέλα κινώντας μια μπάλα με αισθητήρες. Αντίστοιχη συσκευή είναι το τρισδιάστατο ποντίκι (3d mouse), το οποίο μπορεί να κινηθεί και στις τρεις διαστάσεις και να εκτελέσει διαφορετικές λειτουργίες με τη χρήση των κουμπιών του (buttons). Ειδικές λαβές, όπως το joystick, γνωστό από τα παιχνίδια ηλεκτρονικών υπολογιστών, μπορούν να γίνουν μέσο εισόδου για την πλοήγηση και τη διάδραση με τα αντικείμενα του εικονικού περιβάλλοντος. Λαβές που αναγνωρίζουν κίνηση στις τρεις διαστάσεις έχουνε επίσης αναπτυχθεί.



Εικ. 4.4 (α) Τρισδιάστατο ποντίκι, (β) 3-D spaceball και (γ) γάντια δεδομένων

Γάντια δεδομένων ή γάντια με αισθητήρες (datagloves ή sensor gloves) μπορούν να ανιχνεύσουν τη θέση και τις κινήσεις του χεριού, παρέχοντας δυνατότητα διαχείρισης και επεξεργασίας αντικειμένων της εικονικής πραγματικότητας με φυσικές κινήσεις, ενώ κάποια από αυτά μπορεί να παρέχουν ανάδραση αφής και δυνάμεων.



Εικ. 4.5 Συστήματα τρισδιάστατης απεικόνισης και ανάδρασης: (α) exoskeleton, (β) Phantom Premium 1.5 και (γ) γάντια με αισθητήρες

Στο τομέα ανάπτυξης τεχνολογιών διεπαφής για εικονική πραγματικότητα, διεξάγονται συνεχώς έρευνες για συσκευές που να είναι εύχρηστες, ελαφριές, και να ανταποκρίνονται σε φυσικές κινήσεις του ανθρώπου. Οι συσκευές αυτές είναι επίσης γνωστές ως *tangible technologies*.

#### Συστήματα αναγνώρισης φωνής

Με συγκεκριμένο ή ελεύθερο λεξιλόγιο, από συγκεκριμένο εκφωνητή ή οποιοδήποτε χρήστη, τα συστήματα αναγνώρισης φωνής είναι μία ακόμη διαθέσιμη, αλλά όχι συχνή, επιλογή για την είσοδο δεδομένων σε ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας.

#### Ηχητικά Συστήματα

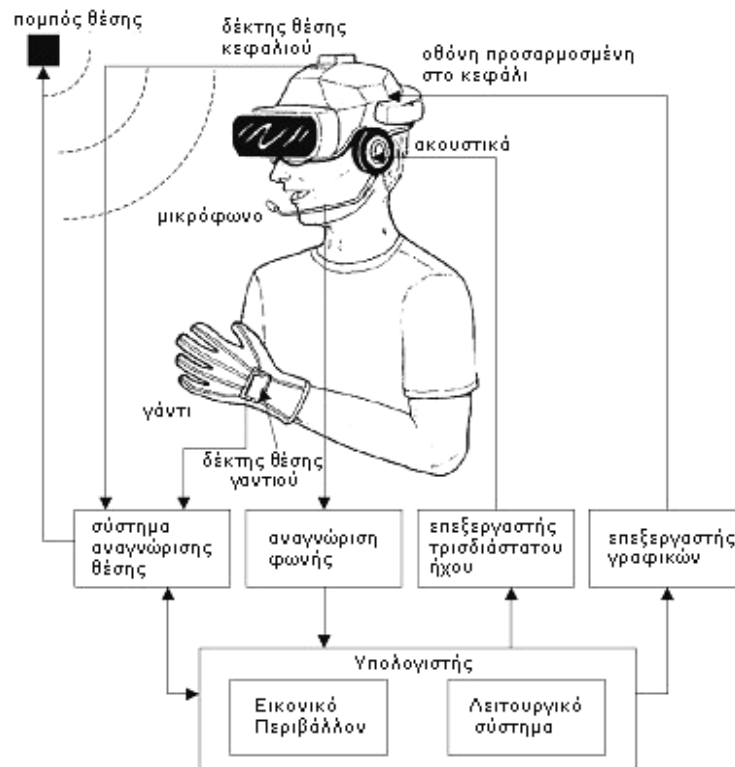
Ο ήχος είναι ένα επίσης σημαντικό στοιχείο για την εμπύθιση του χρήστη στο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας. Μπορεί απλά να προσφέρει στην ατμόσφαιρα του περιβάλλοντος – μουσική - ή να δίνει πληροφορία στο χρήστη – λόγος, σήματα ή ήχοι προερχόμενοι από αντικείμενα του εικονικού χώρου. Τα συστήματα ήχου μπορεί να είναι σε ακουστικά που φέρει κάθε χρήστης ή σε ηχεία στο χώρο προβολής της εικονικής πραγματικότητας.

#### Συστήματα ανίχνευσης θέσης και προσανατολισμού

Οι τεχνολογίες που ανιχνεύουν την κίνηση του χρήστη και δίνουν την πληροφορία στον υπολογιστή για να αποκριθεί ανάλογα –για παράδειγμα, για να



αλλάξει η θέση παρατήρησης, ή να ενεργοποιήσει κάποια συμπεριφορά του εικονικού περιβάλλοντος- χωρίζονται ανάμεσα σε αυτές που κάνουν χρήση οπτικών, μαγνητικών (με μαγνητικά πεδία και κεραίες εκπομπής και λήψης) και ακουστικών (με χρήση υπερηχητικών παλμών) αισθητήρων για την ανίχνευση της θέσης και σε εκείνες που βασίζονται στην εφαρμογή (σαν γάντι) ηλεκτρομαγνητικών αισθητήρων στην παλάμη και τα δάκτυλα για την ανίχνευση του σχήματος του χεριού ή με τη χρήση κάμερας και συστημάτων τριγωνοποίησης.



**Εικ. 4.6** Ένα γενικό σύστημα εικονικού περιβάλλοντος και τα επιμέρους τμήματά του (εικόνα από το Εργαστήριο Τεχνολογίας Γνώσης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, <http://kelnet.cs.unipi.gr/news/Εικονικά%20Περιβάλλοντα.pdf>).

### Συστήματα εικονικής πραγματικότητας

Τα συστήματα απεικόνισης εικονικής πραγματικότητας διακρίνονται ως προς το μέσο που χρησιμοποιείται για την απεικόνισή τους σε: headsets (με κράνη/

γυαλιά), projected (προβολής), desktop (οθόνης) και table top (επιτραπέζια) (Allen et al, 2002).

Στα headsets συστήματα, η προβολή των εικόνων του εικονικού περιβάλλοντος γίνεται σε συσκευές που οι χρήστες φέρουν στο κεφάλι, όπως HMD ή στερεοσκοπικά γυαλιά.

Τα projected συστήματα περιλαμβάνουν τα συστήματα εκείνα που η προβολή γίνεται σε φυσικό χώρο, σε μεγάλες επιφάνειες όπως σε οθόνες θεάτρων, σε τοίχους δωματίων ή σε επιφάνεια εργασίας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα συστήματα CAVE, τα οποία προβάλλουν την απεικόνιση του τρισδιάστατου περιβάλλοντος στους τοίχους και στο πάτωμα ενός κλειστού χώρου.

Στα desktop συστήματα, η προβολή του εικονικού κόσμου γίνεται σε οθόνη υπολογιστή. Αυτό δεν αποκλείει τη χρήση ειδικών συσκευών, όπως το 3-D space ball, για τη διάδραση με το εικονικό περιβάλλον. Η ορολογία δημιουργήθηκε έπειτα από τη μεγάλη εξάπλωση των εφαρμογών με τρισδιάστατα γραφικά στο Διαδίκτυο και σε πολυμεσικές εφαρμογές σε οπτικούς δίσκους (CD, DVD).

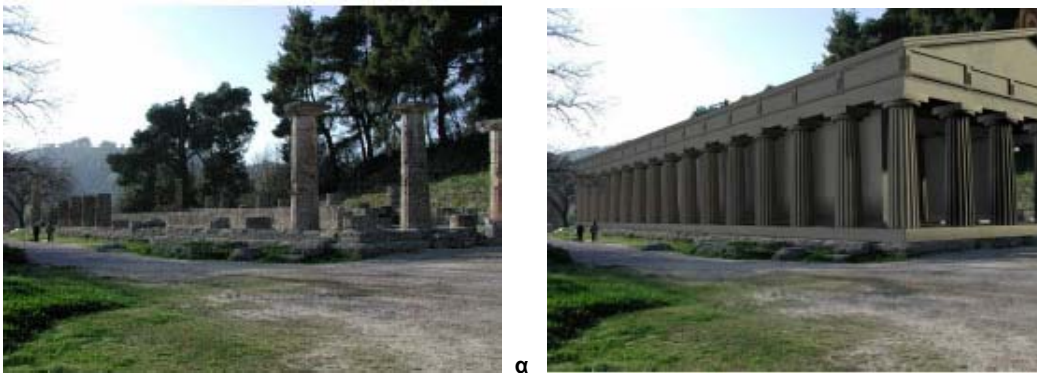
Τα συστήματα table top, δεν διαφέρουν πολύ από τα desktop. Η προβολή, σε δύο ή τρεις διαστάσεις, γίνεται σε οριζόντια επιφάνεια, η οποία μπορεί να είναι και διαδραστική (οθόνη αφής).

### Εμβύθιση

Τα εικονικά περιβάλλοντα, ανάλογα με τον τύπο εμβύθισης που δημιουργούν, διακρίνονται σε περιβάλλοντα πλήρους εμβύθισης (fully immersive), μερικής εμβύθισης (partially immersive) και επαυξημένα (augmented) (Allen et al, 2002).

Σε περιβάλλοντα πλήρους εμπύθισης, ο χρήστης απομονώνεται από το φυσικό περιβάλλον φορώντας διάφορες συσκευές για την προβολή του εικονικού περιβάλλοντος και τη φυσική διεπαφή του με τα τρισδιάστατα αντικείμενα, οι οποίες ανιχνεύουν τις κινήσεις του. Συσκευές που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα περιβάλλοντα είναι τα HMD, γάντια δεδομένων, αισθητήρες, αλλά και συσκευές που δίνουν ανάδραση (feedback) στο χρήστη, διεγείροντας την αίσθηση της αφής.

Η κατηγορία των επαυξημένων περιβαλλόντων προβάλλουν το εικονικό περιβάλλον πάνω στην εικόνα του φυσικού περιβάλλοντος, συνήθως με στόχο την προβολή επιπλέον πληροφορίας για το χώρο και τα αντικείμενα που περιβάλλουν το χρήστη. Μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση ειδικών συσκευών προβολής, όπως στερεοσκοπικά γυαλιά, και τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού του κεφαλιού του χρήστη.



Εικ. 4.7 (α) Ο Ναός του Δία στην Ολυμπία, (β) η εικόνα του επαυξημένου εικονικού περιβάλλοντος του Archaeoguide (Vlahakis, 2002) προβάλλεται πάνω στο φυσικό περιβάλλον.

Τα περιβάλλοντα μερικής εμπύθισης χρησιμοποιούν υλικό και συσκευές που επιτρέπουν στο χρήστη να έχει συναίσθηση του φυσικού του περιβάλλοντος. Σε ένα περιβάλλον μερικής εμπύθισης, ο χρήστης θα μπορούσε, για παράδειγμα, να χρησιμοποιεί γάντι με αισθητήρες και να επιδρά, έτσι, στο εικονικό περιβάλλον με

φυσικές κινήσεις, ενώ τα τρισδιάστατα γραφικά να προβάλλονται σε μια οθόνη προσωπικού υπολογιστή ή σε έναν τοίχο.

### Λογισμικά

Καθώς η δημιουργία και παρουσίαση τρισδιάστατων γραφικών σε πραγματικό χρόνο με τη δυνατότητα διάδρασης απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και κατάλληλο υλικό για την προβολή των γραφικών, ως πριν μερικά χρόνια, συστήματα εικονικής πραγματικότητας μπορούσαν να υποστηρίξουν μόνο ακριβοί σταθμοί εργασίας γραφικών. Όταν, όμως, η υπολογιστική ισχύς στους προσωπικούς υπολογιστές αυξήθηκε, ενώ ταυτόχρονα το κόστος αγοράς τους μειώθηκε, δημιουργήθηκε ενδιαφέρον για την ανάπτυξη εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας από και προς προσωπικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Το λογισμικό για τη δημιουργία εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες, το λογισμικό ανάπτυξης, που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό του εικονικού περιβάλλοντος, και το λογισμικό εκτέλεσης, που εκτελείται κατά τη διάρκεια της διάδρασης του χρήστη με το περιβάλλον (Δίπλας, 2002). Στα λογισμικά εκτέλεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικού τύπου γλώσσα προγραμματισμού ή ειδική script γλώσσα για εικονικά περιβάλλοντα, για τον προγραμματισμό των κανόνων του κόσμου και της κίνησης των αντικειμένων. Οι περισσότερες εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας εμπύθισης συνήθως χρησιμοποιούν ως λογισμικό ανάπτυξης, εργαλεία όπως η βιβλιοθήκη γραφικών της OpenGL, ενώ το λογισμικό εκτέλεσης τρέχει σε αντικειμενοστραφείς προγραμματιστικές γλώσσες, όπως C++ και Java.

Τα λογισμικά μπορούν επίσης να διακριθούν σε ερευνητικά και εμπορικά. Τα ερευνητικά είναι συνήθως ελεύθερα και ανεξάρτητα πλατφόρμας και συσκευών υλικού εικονικής πραγματικότητας, ενώ τα εμπορικά αναπτύσσονται κυρίως για

να υποστηρίζουν τις απαιτήσεις του υλικού εικονικής πραγματικότητας, από τις ίδιες τις εταιρίες κατασκευής. Η προσπάθεια για να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ ανάπτυξης των λογισμικών για εικονική πραγματικότητα και των συσκευών υλικού, ενσωματώνεται στη δημιουργία ενός πρότυπου-μοντέλου με το όνομα Decoupled Simulation Model για εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας .

### *Web3D*

Η δυνατότητα προβολής τρισδιάστατων γραφικών σε σύστημα προσωπικού υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο, ώθησε το ενδιαφέρον για τη δημοσίευση τρισδιάστατης πληροφορίας στο Διαδίκτυο και ένα πλήθος εργαλείων αναπτύχθηκε για τη δημιουργία διαδικτυακών εικονικών περιβαλλόντων οθόνης, γνωστά πλέον με την ονομασία Web3D . Αν και οι περισσότερες από τις εφαρμογές Web3D έχουν κυρίως εμπορική (διαδραστική παρουσίαση προϊόντων) ή ψυχαγωγική (ταινίες, παιχνίδια) σκοπιμότητα, όλο και περισσότεροι πολιτισμικοί οργανισμοί αρχίζουν να αξιοποιούν τις νέες αυτές τεχνολογίες για την παρουσίαση πολιτισμικής πληροφορίας. Στο κομμάτι που ακολουθεί, θα περιγραφούν κάποιες από τις συνηθέστερες μορφές Διαδικτυακών τρισδιάστατων γραφικών και οι δυνατότητες που αυτές παρέχουν.

### VRML

Η VRML (Virtual Reality Modelling Language) είναι η πρότυπη γλώσσα αλλά και ο τύπος αρχείων (file format), που όρισε το Web3D Consortium για την παρουσίαση τρισδιάστατων γραφικών σε διαδικτυακό.

Με τη VRML μπορεί αν περιγράψει κανείς τόσο τη γεωμετρία, τα υλικά, την υφή και το επίπεδο λεπτομέρειας των αντικειμένων σε μια τρισδιάστατη σκηνή, όσο και τη συμπεριφορά τους. Κάποιες επιπλέον δυνατότητες είναι η δημιουργία

προκαθορισμένων θέσεων παρατήρησης, από τις οποίες μπορεί να επιλέξει ο χρήστης, και η λειτουργία των αντικείμενων ως υπερσύνδεσμοι σε κάποιο URL (άλλες σκηνές, ιστοσελίδα, βίντεο, οποιοδήποτε άλλο πόρο).

Μια VRML περιγραφή φτάνει μέσω του Διαδικτύου στον browser (φυλλομετρητή) του χρήστη ως ένα απλό ASCII αρχείο και στη συνέχεια ο browser αναλαμβάνει να κάνει την οπτική απόδοση της σκηνής βάσει της ASCII περιγραφής.

Εργαλεία επεξεργασίας (authoring tools) αντικειμένων VRML επιτρέπουν τη δημιουργία τρισδιάστατων πλοηγήσιμων χώρων, χωρίς να είναι απαραίτητη η γνώση της σύνταξης της γλώσσας, δίνοντας έτσι περισσότερο βάρος στο περιεχόμενο και τη δυνατότητα σε μη έμπειρους προγραμματιστές να δημιουργήσουν εφαρμογές με VRML. Τρεις είναι οι κύριες κατηγορίες τέτοιων εργαλείων: τα εργαλεία κατασκευής αντικειμένων και κόσμων σε VRML, τα εργαλεία μοντελοποίησης από φωτογραφίες και τα λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών.

Τα πρώτα είναι εξειδικευμένα στη δημιουργία VRML αντικειμένων και κόσμων και κατά συνέπεια, αρκετά από αυτά επιτρέπουν τη δημιουργία πολύπλοκων τρισδιάστατων αντικειμένων και κόσμων με διαδραστικές λειτουργίες. Τα εργαλεία αυτά υποστηρίζουν μοντελοποίηση, έλεγχο απόδοσης κίνησης (animation controller), βιβλιοθήκη διαδραστικών ενεργειών και ελέγχων (controls); βιβλιοθήκη βασικών σχημάτων αντικειμένων και βιβλιοθήκη εικόνων για απόδοση υφής (texture).

Τα εργαλεία μοντελοποίησης από φωτογραφία είναι ειδικά σχεδιασμένα για τη δημιουργία αντικειμένων VRML από φωτογραφίες. Είναι αρκετά χρήσιμα για τη δημιουργία αναπαραστάσεων πραγματικών αντικειμένων μεγάλης κλίμακας,

όπως κτίρια. Σε μία ή περισσότερες φωτογραφίες ενός αντικειμένου ορίζονται σημεία κατά μήκος του περιγράμματος του αντικειμένου. Με βάση τη θέση αυτών των σημείων το λογισμικό δημιουργεί αντικείμενα VRML, χρησιμοποιώντας τις φωτογραφίες για την απεικόνιση της υφής (texture mapping).

Τα λογισμικά πακέτα τρισδιάστατων γραφικών, αν και δεν έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τη δημιουργία VRML αντικειμένων, τα περισσότερα από αυτά έχουν δυνατότητα εξόδου σε αρχεία VRML είτε ως ενσωματωμένο χαρακτηριστικό των λογισμικών είτε με τη χρήση plug-in. Τα παραγόμενα αρχεία συνήθως περιλαμβάνουν τα αντικείμενα, το φωτισμό, την κίνηση και τη διαδραστικότητα μιας τρισδιάστατης σκηνής. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι κάποιες μορφές αναπαράστασης και απόδοσης κίνησης δεν είναι συμβατές με τη VRML, οπότε τα αρχεία χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία για τη δημιουργία μοντέλων VRML που να λειτουργούν.

Το Web3D Consortium συνέχισε να αναπτύσσει τη VRML, δημιουργώντας τις εκδόσεις VRML 2.0 και VRML 97, που μεταξύ άλλων επιτρέπουν την ανίχνευση «σύγκρουσης» (collision detection) με τα αντικείμενα, τη διάδραση με “click and drag” (κίνηση ποντικιού με πατημένο το αριστερό κουμπί) και την ενσωμάτωση κώδικα που περιγράφει τη συμπεριφορά του εικονικού περιβάλλοντος. Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες κατευθύνθηκαν σε ένα νέο πρότυπο, με πλήρεις προδιαγραφές, που θα υπέρβαινε τους περιορισμούς της VRML. Το X3D, το οποίο πρόσφατα εγκρίθηκε ως διεθνές πρότυπο ISO, χρησιμοποιεί την XML για την περιγραφή της γεωμετρίας και της συμπεριφοράς στο εικονικό περιβάλλον. Στόχος του Web3D Consortium είναι η διαλειτουργικότητα του

προτύπου και η συμβατότητα με τα υπάρχοντα πρότυπα της VRML, καθώς και τα MPEG-4 και XML.

### Shockwave3d

Η μορφή αυτή παράγεται μέσα από το πρόγραμμα Director της Macromedia, ένα λογισμικό για διαδραστικές πολυμεσικές εφαρμογές. Τρισδιάστατα αντικείμενα μοντελοποιημένα σε λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών και μεταφρασμένα στη μορφή (.w3d), είτε από το ίδιο το λογισμικό είτε μέσω άλλων λογισμικών, μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό της Macromedia. Στη μορφή αυτή εκτός από τη γεωμετρία των αντικειμένων μεταφέρεται πληροφορία για την υφή των αντικειμένων, το φωτισμό, τη θέση παρατήρησης, αλλά και του animation που μπορεί να περιέχει η τρισδιάστατη σκηνή. Με τη βοήθεια βιβλιοθήκης ενεργειών σε τρισδιάστατα αντικείμενα, αλλά και την υποστήριξη μιας αρκετά ισχυρής προγραμματιστικής γλώσσας (Lingo), το λογισμικό επιτρέπει την εύκολη δημιουργία διαδραστικών εφαρμογών με τρισδιάστατα γραφικά. Απλά τρισδιάστατα αντικείμενα μπορούν να μοντελοποιηθούν και μέσα από το πρόγραμμα, με τη χρήση της Lingo.

Χρησιμοποιώντας μεταφορικές έννοιες από την κινηματογραφική παραγωγή, βασικό στοιχείο της εφαρμογής είναι η «σκηνή», πάνω στην οποία διάφορα μέσα - δισδιάστατα και τρισδιάστατα γραφικά, κείμενο, ήχος, animation, κ.ά. -, μπορούν να συνδυαστούν σε διάφορες στιγμές του χρονοδιαγράμματος της «ταινίας», στο οποίο ορίζεται πού και πότε εμφανίζεται κάθε αντικείμενο στη σκηνή (ένα αντικείμενο μπορεί να εμφανίζεται σε αρκετά σημεία του χρονοδιαγράμματος), οι λειτουργίες που μπορούν να γίνουν πάνω του σε αυτό το διάστημα και –αν όχι αυτόματα- με ποιον τρόπο αυτές ενεργοποιούνται.



Μερικές από τις λειτουργίες που μπορούν να γίνουν στην τρισδιάστατη σκηνή είναι η περιστροφή (rotate) ενός αντικειμένου –αυτόματα ή διαδραστικά-, κίνηση της θέσης παρατήρησης μπρος και πίσω -χρησιμοποιείται για την προσέγγιση και απομάκρυνση από τα αντικείμενα (όπως το zoom in/out)-, η μετακίνηση της θέσης παρατήρησης οριζόντια ή κάθετα (pan horizontal/vertical) –μοιάζει με περιστροφική κίνηση της κάμερας γύρω από τον κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα αντίστοιχα-, η επιλογή του αντικειμένου για τη μετάβαση σε άλλο σημείο του χρονοδιαγράμματος, η χρήση του ως υπερσυνδέσμου, η ενεργοποίηση animation, κ.ά.

Η «ταινία» αυτή του Director, με ή χωρίς άλλα στοιχεία εκτός του τρισδιάστατου τμήματός της, μπορεί να αποτελέσει αυτόνομο πρόγραμμα, αποκαλούμενο projector, ή να γίνει shockwave αρχείο, το οποίο ανοίγει με browser ή ενσωματώνεται σε κώδικα html και εμφανίζεται ως τμήμα ιστοσελίδας (Gross, 2002).

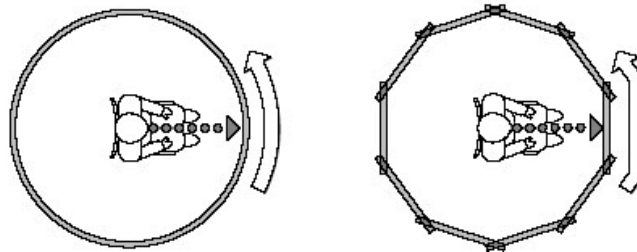
### *Image Based Rendering*

Παρά το ότι ο όρος Image Based Rendering (IBR) παραπέμπει στη χρήση δισδιάστατων εικόνων για την οπτική απόδοση τρισδιάστατης πληροφορίας, αυτό δεν είναι απαραίτητο και ο τρόπος που χρησιμοποιείται η εικόνα διαφέρει από τεχνική σε τεχνική. Το πιο κοινό χαρακτηριστικό των τεχνικών IBR είναι ο εκ των προτέρων υπολογισμός (pre-calculation) της απεικόνισης μιας τρισδιάστατης σκηνής, από την οποία θα προκύψουν οι εικόνες κατά την οπτική απόδοση σε πραγματικό χρόνο (Watt, 2000). Οι περισσότερες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για στατικά σκηνικά όπου μόνο η θέση παρατήρησης αλλάζει με την κίνηση της εικονικής κάμερας (moving view point). Στόχος τους είναι η πολυπλοκότητα των τρισδιάστατων σκηνών να μην επηρεάζει το χρόνο οπτικής απόδοσής τους,

επιτρέποντας την απόδοση εικόνων υψηλής ποιότητας σε πραγματικό χρόνο, για εφαρμογές όπως η εικονική πραγματικότητα και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια. Με τον παραδοσιακό τρόπο, κάθε αλλαγή στην θέση παρατήρησης μιας τρισδιάστατης σκηνής σήμαινε τον εκ νέου υπολογισμό της βάση της γεωμετρίας και των φωτορεαλιστικών στοιχείων της. Μια από τις τεχνικές IBR εφαρμόζεται στα εικονικά περιβάλλοντα του QuickTime VR της Apple, το οποίο θα εξεταστεί στη συνέχεια ως χαρακτηριστική και πολύ διαδεδομένη μορφή ψευδο-τρισδιάστατης απεικόνισης (pseudo-3D).

### QuickTime VR

Τεχνολογίες όπως το Quicktime VR μπορούν να προσομοιώσουν την αναπαράσταση απεικόνιση αντικειμένων και χώρων, χωρίς τη γεωμετρική μοντελοποίησή τους. Η διαδικασία απαιτεί μια σειρά εικόνων, προερχόμενων είτε από φωτογράφιση αληθινών αντικειμένων/ χώρων, είτε από αποθηκευμένη απεικόνιση μοντελοποιημένων αντικειμένων/ χώρων, οι οποίες «συγκολλούνται» για να δημιουργήσουν μια ταινία (movie).



Εικ. 4.8 Στο πανόραμα, ο θεατής βλέπει μια συνεχόμενη εικόνα, κι όχι μια σειρά απόψεις

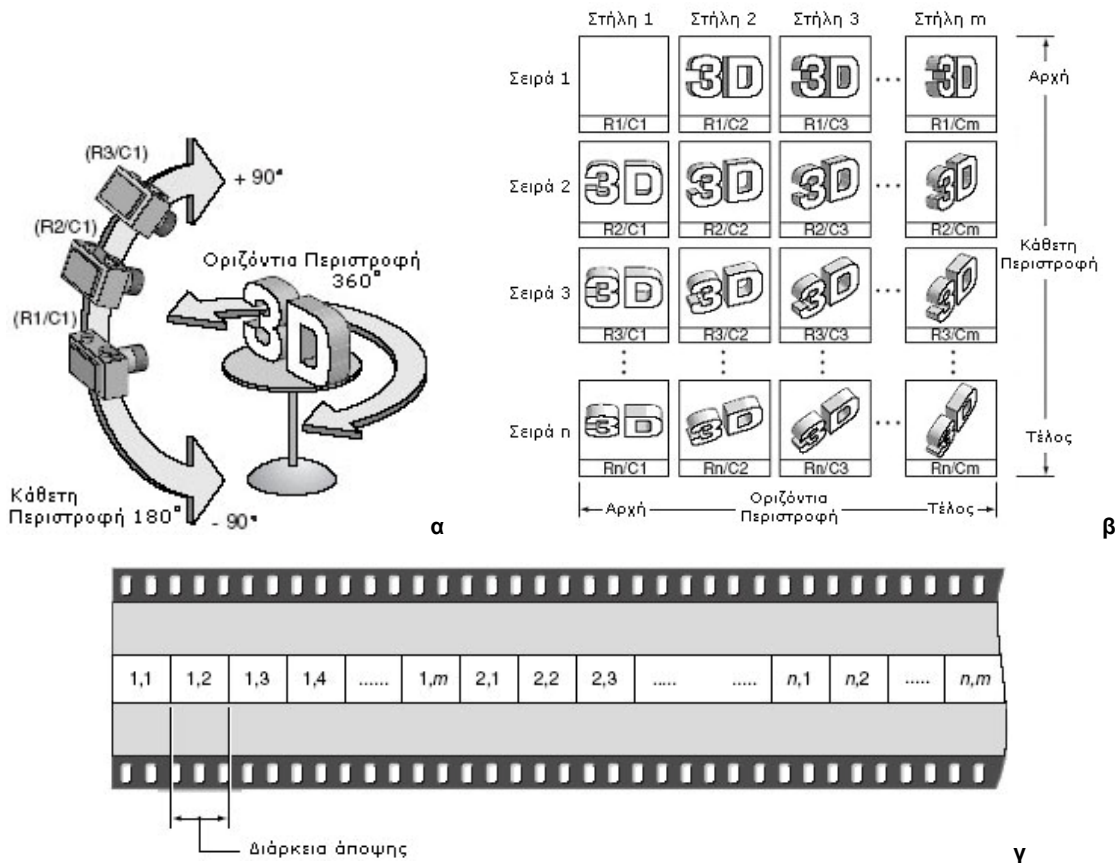
Μια ταινία αποτελείται από μια σκηνή, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους κόμβους, οι οποίοι μπορούν να είναι είτε πανοράματα χώρων είτε αντικείμενα. Η περιήγηση σε ένα πανόραμα μοιάζει με τη σειρά των εικόνων που θα είχε κανείς από ένα χώρο γυρίζοντας πάνω σε ένα περιστρεφόμενο κάθισμα (εικ. 4.8). Η εξερεύνηση ενός αντικειμένου, από την άλλη, δίνει την εντύπωση ότι

ο χρήστης κρατά το αντικείμενο και το περιστρέφει για να δει διαφορετικές όψεις του.

Υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού και διασύνδεσης κόμβων αντικειμένων και πανοραμάτων σε ένα αρχείο Quicktime VR, με τη χρήση υπερσυνδέσμων ή αλλιώς «σημείων ενδιαφέροντος» (hotspots), δημιουργώντας έτσι έναν πλοηγήσιμο, προσομοιωμένο τρισδιάστατο κόσμο. Σε περιοχές που έχουν δημιουργηθεί σημεία ενδιαφέροντος, ο κέρσορας αλλάζει εικονίδιο επισημαίνοντας τη δυνατότητα επιλογής του σημείου για τη μετάβαση σε κάποιον άλλο κόμβο, αντικείμενο ή πανόραμα, σε μια εικόνα, ή ακόμα και σε μια ταινία.

Η δημιουργία ενός κόμβου αντικειμένου με εικόνες από φωτογράφιση, γίνεται με τη σταδιακή περιστροφή του αντικειμένου πάνω σε περιστρεφόμενη βάση κατά συγκεκριμένες μοίρες και τη λήψη διαδοχικών φωτογραφιών (συνήθως ανά 10 μοίρες περιστροφής), αλλάζοντας το ύψος της κάμερας μετά από μια ολόκληρη περιστροφή – αυτό, όταν θέλει κανείς να προσθέσει και κατακόρυφη περιστροφή του αντικειμένου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.9. Σε ταινίες που υπάρχει μόνο οριζόντια περιστροφή, μόνο μια σειρά φωτογραφιών είναι απαραίτητη. Βέβαια, δεν είναι απαραίτητο να γίνει οριζόντια περιστροφή 360 μοίρες, ούτε κατακόρυφη 180. Μπορεί κανείς να περιορίσει την περιστροφή του αντικειμένου σε όσο διάστημα μοιρών επιθυμεί.

Στην περίπτωση που οι εικόνες προέρχονται από την οπτική απόδοση ενός τρισδιάστατου ψηφιακού αντικειμένου, η δημιουργία τους μπορεί να γίνει εύκολα, αυτόματα, με τον προγραμματισμό της εικονικής κάμερας, να γυρίσει οριζόντια και κατακόρυφα γύρω από το αντικείμενο και ανά συγκεκριμένο αριθμό μοιρών να αποδίδει οπτικά την εικόνα του αντικειμένου από τη συγκεκριμένη θέση παρατήρησης.



**Εικ. 4.9** (α) Γωνίες οριζόντιας και κάθετης παρατήρησης αντικειμένου, (β) πίνακας εικόνων για κόμβο αντικειμένου και (γ) αποθήκευσή του ως ταινία.

Για τη δημιουργία ενός κόμβου πανοράματος από φωτογράφιση, η φωτογραφική μηχανή, τοποθετημένη σε τρίποδα περιστρέφεται οριζόντια και παίρνει φωτογραφίες ανά συγκεκριμένο αριθμό μοιρών - και κάθετα, αν θέλει κανείς να δώσει τη δυνατότητα να μπορεί ο χρήστης να κοιτάξει ψηλά ή χαμηλά. Οι φωτογραφίες αυτές συγκολλούνται (stitch) και δημιουργούν μια μεγάλη εικόνα που μπορεί να εφαρμοστεί πάνω σε έναν κύλινδρο (η πιο απλή εφαρμογή), έναν κύβο (cubic vr), ή άλλο γεωμετρικό σχήμα. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η δημιουργία εικόνων για πανόραμα, από αντικείμενα που έχουν δημιουργηθεί σε λογισμικό τρισδιάστατων γραφικών, μπορεί να γίνει αυτόματα,

προγραμματίζοντας την περιστροφή της κάμερας και την οπτική απόδοση εικόνας ανά τακτά διαστήματα (μοίρες).

Η αλλαγή της οπτικής γωνίας από την οποία εξερευνείται ένα αντικείμενο ή ένας χώρος (στα πανοράματα) γίνεται συνήθως με την κίνηση του ποντικιού ή με τη χρήση του πληκτρολογίου. Επιλέγοντας τη λειτουργία της εστίασης (zoom) με τις ίδιες κινήσεις μπορεί να εστιάσει στο αντικείμενο ή στο χώρο.

### *Game Engines (Παιχνιδομηχανές)*

Στην ενότητα αυτή δεν θα έπρεπε να παραλείψει κανείς να αναφερθεί και στη δυνατότητα απεικόνισης ενός τρισδιάστατου πολιτισμικού χώρου με τη χρήση μηχανών παιχνιδιών πρώτου προσώπου, όπως το Quake και το Unreal, που είναι ειδικά σχεδιασμένα για γρήγορη πλοήγηση και διαδραστικότητα μέσα στις τρισδιάστατες σκηνές τους. Οι εταιρίες αυτών των παιχνιδιών, έχουν διαθέσει στην αγορά επεξεργαστές (editors), λογισμικά με τα οποία ο χρήστης μπορεί να συνθέσει τις δικές του σκηνές παιχνιδιού, με τις βιβλιοθήκες αντικείμενων που προσφέρει το πρόγραμμα (τοίχοι, σκάλες, κ.ά.) ή με την εισαγωγή (πιο περίπλοκων) αντικειμένων από άλλα λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών, που έχουν μετατραπεί στον τύπο που δέχεται το πρόγραμμα. Αν και σχεδιασμένα για πολεμικές δραστηριότητες, η δυνατότητα εισαγωγής τρισδιάστατων γραφικών από άλλα προγράμματα και η ελευθερία συγγραφής κώδικα για τον έλεγχο της διάδρασης του χρήστη με το περιβάλλον του, μπορεί να απαλείψει αυτό το στοιχείο και να αξιοποιήσει τις δυνατότητες γρήγορης οπτικής απεικόνισης τρισδιάστατων γραφικών σε πραγματικό χρόνο για πολιτισμικές εφαρμογές.

### **Φυσική αναπαραγωγή**

Όλες οι προηγούμενες μορφές προϊόντων τρισδιάστατων αντικειμένων είχαν κατά βάση ψηφιακή μορφή, αν και υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς τους σε αναλογικό μέσο –έντυπο, φιλμ, βιντεοκασέτα-. Τα τρισδιάστατα γραφικά όμως, μπορούν να έχουν και τρισδιάστατη φυσική απεικόνιση, όπως με τη χρήση της τεχνολογίας ταχείας πρωτοτυποποίησης, την οποία θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

#### Rapid Prototyping (Ταχεία Πρωτοτυποποίηση)

Ο όρος Rapid Prototyping χρησιμοποιείται για την αυτοματοποιημένη κατασκευή πρωτοτύπων τρισδιάστατων φυσικών αντικειμένων από τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα τους. Η τεχνολογία αυτή βοηθά στη γρήγορη μεταφορά μιας σχεδιαστικής ιδέας στο αντίστοιχο πρωτότυπό της, βελτιώνοντας την επικοινωνία μεταξύ των ατόμων που εμπλέκονται στην κατασκευή του προϊόντος και επιταχύνοντας τις διαδικασίες αξιολόγησης και διόρθωσης των σχεδίων. Οι μέθοδοι ταχείας πρωτοτυποποίησης μπορούν να διακριθούν σε αφαιρετικές (subtractive), προσθετικές (additive) και συμπιεστικές (compressive), οι οποίες, αντίστοιχα, αφαιρούν από υλικό, ενοποιούν σωματίδια υλικού ή προσθέτουν στρώσεις υλικού, και μορφοποιούν ημίρρευστο υλικό με κατάλληλες πιέσεις για να στερεοποιηθεί. Τα συστήματα RP δέχονται τα τρισδιάστατα δεδομένα σε μορφή STL, στην οποία μεταφράζονται τα αρχεία των λογισμικών τρισδιάστατων γραφικών<sup>6</sup> (Αζαριάδης, 2002).

Αν και η τεχνολογία αξιοποιείται κυρίως στον κατασκευαστικό τομέα, η διαδικασία μπορεί να βρει εφαρμογή και από πολιτισμική κοινότητα: Το κοινό μπορεί να έχει πρόσβαση σε ευπαθή αντικείμενα πολιτισμικής σημασίας με τη χρήση

<sup>6</sup> Για περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να δείτε στις ιστοσελίδες <http://www.wtec.org/loyola/rp/>

αντιγράφων ακριβείας τους, ενώ η πώληση τέτοιων αντιγράφων για συλλέκτες μπορεί να αποβεί πολύ κερδοφόρα επένδυση για τους οργανισμούς αυτούς. Η ύπαρξη αυτής της τεχνολογίας εγείρει πολλούς κινδύνους και ανησυχίες, οι οποίες θα εξεταστούν στο κεφάλαιο 6.

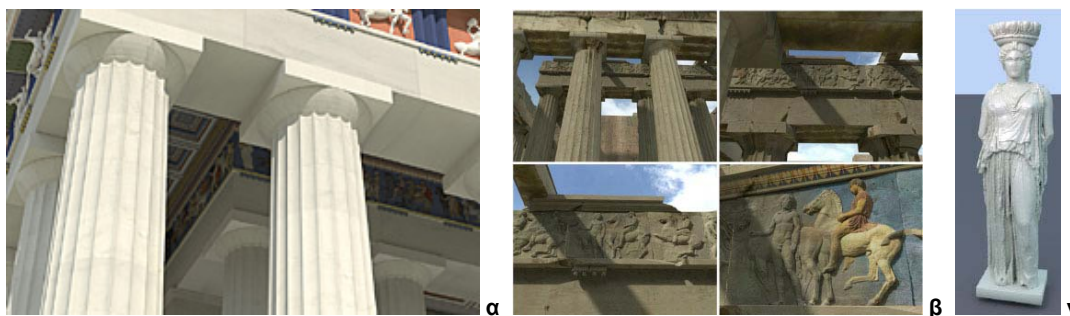
## II. Παραδείγματα έργων ανάδειξης τρισδιάστατης πολιτισμικής πληροφορίας

Το Μουσείο Πολιτισμού του Καναδά δημιούργησε μια διαδικτυακή έκθεση με 12 ψηφιοποιημένα γλυπτά από Innuït και Παλαιο-Εσκιμώους, που χρονολογούνται από το 700 π.Χ. ως τον 20ο αιώνα, ως τμήμα του Εικονικού Μουσείου του Καναδά. Τρεις εικονικές θεματικές αίθουσες (Παλαιο-Εσκιμώοι, Ιστορία των Innuït, Τέχνη των Innuït) μοντελοποιημένες με VRML περιέχουν τα τρισδιάστατα μοντέλα των γλυπτών, επίσης σε μορφή VRML (εικ. 4.10α).



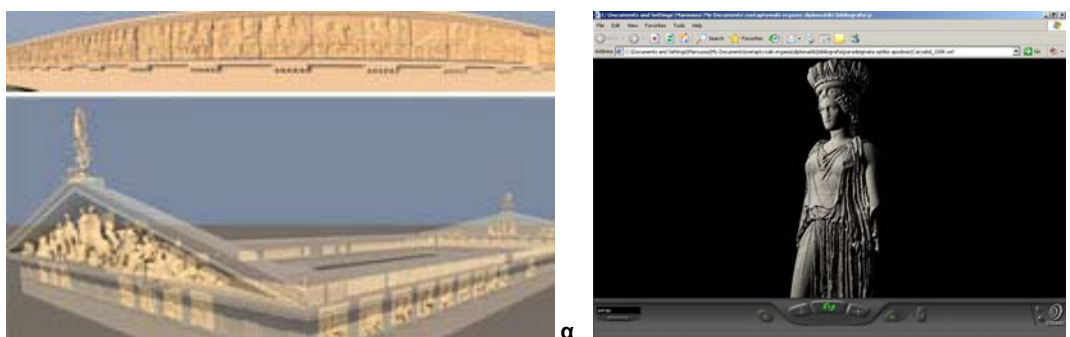
**Εικ. 4.10** Innuït3D: (α) οι τρεις αίθουσες του εικονικού μουσείου, (β) περιήγηση με VRML viewer και (γ) πληροφορίες για το επιλεγμένο έκθεμα (δεξί μέρος της οθόνης), διαδραστική επεξεργασία του τρισδιάστατου εκθέματος (αριστερά)

Η πλοήγηση στις αίθουσες γίνεται με τη χρήση του ποντικιού και του πληκτρολογίου, αλλά και μια λίστα διαφορετικών σημείων παρατήρησης είναι διαθέσιμη. Τα αντικείμενα μπορούν να περιστραφούν προς όλες τις κατευθύνσεις. Η επιλογή των αντικειμένων, εκτός από το άνοιγμα νέου παραθύρου για τη διαδραστική τους επεξεργασία, συχνά συνοδεύεται από την εμφάνιση και άλλων δεδομένων, όπως εικόνες και πλαίσια κειμένου (εικ. 4.10γ). Επεξηγηματικό βίντεο για το περιεχόμενο κάθε αίθουσας προβάλλεται με την επιλογή του αντίστοιχου εικονιδίου στην είσοδο της.



**Εικ. 4.11** Διαφορετικές απεικονίσεις των ψηφιοποιημένων γλυπτών του Παρθενώνα και της καρυάτιδας από το Institute for Creative Technologies του University of Southern California.

Από τα προϊόντα του ερευνητικού έργου ψηφιοποίησης των αγαλμάτων του Παρθενώνα από το *Institute for Creative Technologies* του *University of Southern California*, που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, διαθέσιμη στο Διαδίκτυο είναι μια σειρά εικόνων υψηλής ανάλυσης και VRML αρχεία με τις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις των γλυπτών από τη ζωφόρο, τις μετώπες και τα αετώματα, καθώς και μιας καρυάτιδας (εικ. 4.11 και 4.12).



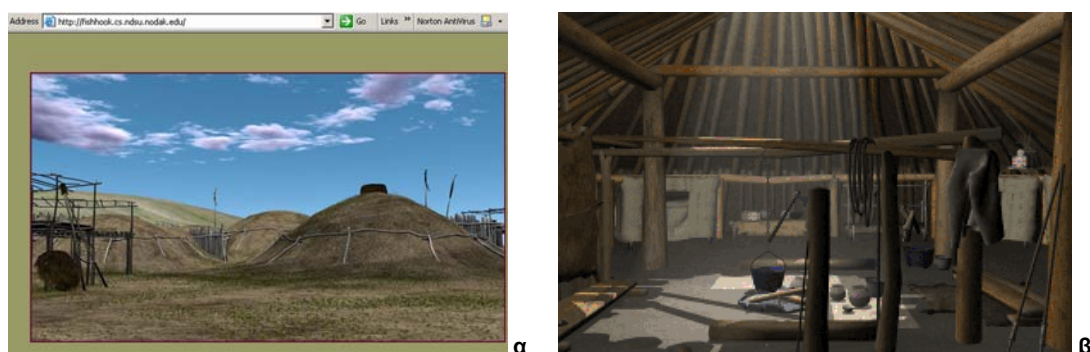
**Εικ. 4.12** Απεικόνιση (α) των γλυπτών του Παρθενώνα σε εικόνα, όπως ήταν στο μουσείο Basel Skulpturhalle (πάνω) και όπως αναπαράσταση της θέσης τους στο ναό (κάτω) και (β) της καρυάτιδας μέσα από VRML viewer.

Οι εικόνες παρουσιάζουν τα γλυπτά σε διαφορετικές οπτικές αποδόσεις: κάποιες παρουσιάζουν ολόκληρο το τμήμα φωτορεαλιστικά, ενώ σε άλλες μόνο τα ψηφιοποιημένα κομμάτια έχουν το σωστό υλικό, με το υπόλοιπο τμήμα του Παρθενώνα να είναι ημιδιαφανές, δίνοντας έτσι έμφαση στα ψηφιοποιημένα κομμάτια. Στις VRML εφαρμογές αυτές, μπορεί κανείς να περιστρέψει τα μοντέλα, να πλησιάσει σε αυτά, και να μετακινήσει τη θέση παρατήρησης. Η



ανάλυση αυτών των μοντέλων είναι κατά πολύ μειωμένη από τα αρχικά δεδομένα της ψηφιοποίησης (10%), ώστε το μέγεθός τους να είναι αποδεκτό για τη διαδικτυακή εφαρμογή.

Το *Archaeology Technologies Laboratory* του *State University of North Dakota*, δημιούργησε το 2003 την προσομοίωση ενός χωριού Ινδιάνων στη Βόρεια Ντακότα, το Like-A-Fishhook, και του εσωτερικού μιας υπόγειας κατοικίας, βασισμένο σε αρχαιολογικά δεδομένα και καταγραφές από την ανασκαφή.



**Εικ. 4.13** (α) Εικόνα από το χωριό Like-A-Fishhook και (β) η Shockwave εφαρμογή περιήγησης στο εσωτερικό μιας υπόγειας κατοικίας του.

Τελικός στόχος του έργου είναι μια διαδραστική εκπαιδευτική εφαρμογή που θα περιλαμβάνει δραστηριότητες για αρχαιολόγους, γεωλόγους, βοτανολόγους και διατροφολόγους. Μια πρώτη εφαρμογή είναι προσβάσιμη στο Διαδίκτυο με τη μορφή Shockwave3D, όπου ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί στο χώρο με τη χρήση του ποντικιού (εικ. 4.13β).

Στο κείμενο του για τη δυνατότητα ανάκτησης πολιτισμικής πληροφορίας μέσα από διαδραστικά τρισδιάστατα μοντέλα, ο Jeffrey Jacobson (1999) περιγράφει τρεις ερευνητικές εφαρμογές VRML στις οποίες συμμετείχε, από τις οποίες αξίζει να εστιάσουμε σε εκείνη που αναπαριστά αφαιρετικά έναν κινέζικο τάφο της μπρούντζινης περιόδου, που ανήκε στη Lady Hao. Στον τάφο αυτό βρέθηκαν πολλά αντικείμενα εξαιρετικής τέχνης, σε επτά διαφορετικά επίπεδα, γεγονός που



στον πολιτισμό των Shang, είναι προσωπικής χρήσης. Η αναζήτηση έχει ως αποτέλεσμα τη διάκριση με ένα χρωματικό πλαίσιο των αντικειμένων που πληρούν αυτά τα κριτήρια.

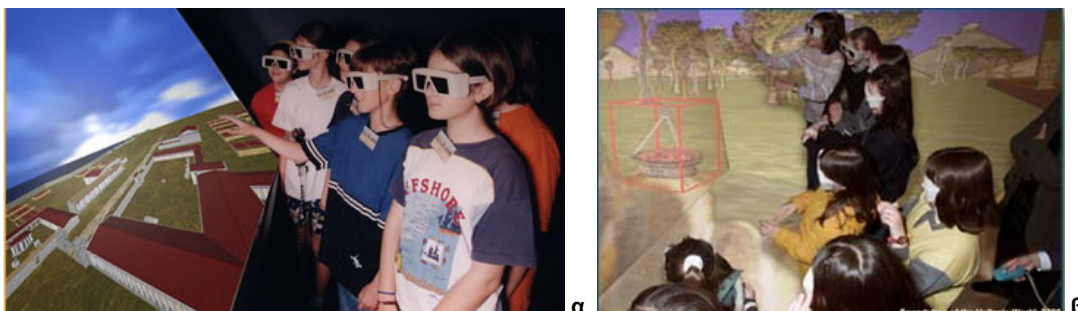


**Εικ. 4.15** Κάποιες από τις παραγωγές του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού: (α) Η έντυπη έκδοση «Ολυμπία. Μία διαδρομή σε τέσσερις διαστάσεις», (β) το Δελφίνιο της Αρχαίας Μιλήτου, που παρουσιάζεται τόσο με το σύστημα προβολής εικονικής πραγματικότητας CAVE, όσο και με QTVR στο Διαδίκτυο και (γ) το βίντεο «Ερμογένους Οίκος».

*Το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού* είναι από τα ελάχιστους πολιτισμικούς οργανισμούς που έχουν αξιοποιήσει όλες τα μέσα παρουσίασης εικονικής πραγματικότητας για την ανάδειξη πολιτισμικής πληροφορίας. Η τελευταία έντυπη έκδοση, «Ολυμπία. Μία διαδρομή σε τέσσερις διαστάσεις», παρουσιάζει τα σημαντικότερα κτήρια της αρχαίας Ολυμπίας, την εποχή της ακμής της, μέσα από τρισδιάστατες φωτορεαλιστικές ψηφιακές αναπαραστάσεις, με ιστορική ακρίβεια και κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

Διαθέτει σύστημα εικονικής πραγματικότητας εμβύθισης CAVE -για το οποίο έχουν αναπτυχθεί ένα πλήθος εφαρμογών, όπως η αναπαράσταση της Αρχαία Μιλήτου και του ναού του Δία στην Ολυμπία, και σύστημα προβολής σε επικλινή οθόνη (ImmersaDesk), με εφαρμογές όπως «Αναζητώντας το υγρό χρυσάφι» και «Συναρμολογήστε τα αγγεία». Και για τα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται στερεοσκοπικά γυαλιά και τρισδιάστατο ποντίκι. Μικρού μήκους ταινίες, όπως «Ερμογένους Οίκος» και βίντεο που προβάλλονται στους εκθεσιακούς χώρους του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού, είναι επίσης άλλος ένας τομέας παραγωγής

για το Τμήμα Τρισδιάστατων Γραφικών του ιδρύματος. Εφαρμογές στο Διαδίκτυο περιλαμβάνουν πανοράματα από το Δελφίνιο και το Βουλευτήριο της Αρχαίας Μιλήτου, φωτογραφίες και βίντεο τρισδιάστατων αναπαραστάσεων από την ελληνική πολιτισμική κληρονομιά.



**Εικ. 4.16** Συστήματα προβολής εικονικής πραγματικότητας στο Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού: (α) Η μαγική οθόνη (ImmersaDesk) (β) Η Κιβωτός (CAVE)

Το *Τεχνικό Μουσείο Θεσσαλονίκης*, προσφάτως μετονομαζόμενο σε Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας, δημιούργησε τρισδιάστατες αναπαραστάσεις τεχνολογικών επιτευγμάτων της αρχαίας Ελλάδας: ύσπληγα, οδόμετρο, αντλητικό σύστημα Περαχώρας, φορητό ηλιακό ρολόι των Φιλίππων, κινητό αυτόματο θέατρο του Ήρωνα, τα οποία παρουσιάζονται σε μορφή βίντεο (real time player) με περιγραφή της λειτουργίας τους.

### **Ανακεφαλαίωση**

Η απεικόνιση ενός τρισδιάστατου μοντέλου πολιτισμικής πληροφορίας μπορεί να έχει πολλές μορφές: δισδιάστατη εικόνα, βίντεο, διαδραστικό εικονικό περιβάλλον, φυσικό αντίγραφο. Η δισδιάστατη εικόνα αποτελεί ένα στιγμιότυπο του τρισδιάστατου κόσμου, όπως μια φωτογραφία, από επιλεγμένη θέση παρατήρησης. Το βίντεο είναι το μέσο για την καταγραφή κίνησης και αλλαγής μέσα στο χώρο. Στα διαδραστικά εικονικά περιβάλλοντα, μπορεί κανείς να πλοηγηθεί στον τρισδιάστατο χώρο και να διαδράσει με τα αντικείμενα, εφόσον έχουν οριστεί συμπεριφορές για αυτά. Συνήθως, εντάσσονται στη γενικότερη κατηγορία εικονικής πραγματικότητας, όπου η εμπύθιση στο

τρισδιάστατο περιβάλλον ενισχύεται με τη χρήση ειδικών συσκευών. Μεγάλη απήχηση έχουν τελευταία και οι διαδραστικές εφαρμογές τρισδιάστατων γραφικών στο Διαδίκτυο, τα Web3D, συνήθως υλοποιημένες σε VRML ή Shockwave3D ή με τεχνικές προσομοίωσης τρισδιάστατων γραφικών, όπως το QTVR. Τέλος, η σχεδίαση τρισδιάστατων αντικειμένων μπορεί να έχει ως προϊόν την φυσική κατασκευή του, συνήθως αναφερόμενη ως ταχεία πρωτοτυποποίηση ή ταχεία παραγωγή, μιας και χρησιμοποιείται κυρίως στον κατασκευαστικό τομέα.

## 5 Σύγκριση τεχνολογιών απεικόνισης τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων

*Στο κεφάλαιο αυτό, θα εξεταστούν οι τρόποι με τους οποίους μπορούν οι διαφορετικές μορφές απεικόνισης τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης να αναδείξουν πολιτισμική πληροφορία, καθώς επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει η κάθε μία.*

Έχοντας παρουσιάσει στο προηγούμενο κεφάλαιο τα κυριότερα χαρακτηριστικά που έχουν οι διαφορετικές επιλογές εξόδου ενός συστήματος τρισδιάστατων γραφικών, μπορεί κανείς να κατανοήσει ευκολότερα πώς και με ποια άλλα μέσα μπορούμε να αναδείξουμε καλύτερα την πολιτισμική πληροφορία, πόσο δύσκολο είναι το έργο αυτό και ποιες απαιτήσεις υπάρχουν.

### **Εικόνα**

Ένας από τους τομείς που μπορεί να αξιοποιηθεί η εικόνα ως μέσο απεικόνισης τρισδιάστατων πολιτισμικών αντικειμένων είναι οι ηλεκτρονικές ή έντυπες δημοσιεύσεις. Είτε ως μέρος μιας προβολής εικόνων (slideshow), είτε συνδυασμένη και με άλλα μέσα, όπως κείμενο και ήχο (σε βιβλία, ιστοσελίδες και άλλες πολυμεσικές εφαρμογές, σε cd-rom, info kiosk, στο Διαδίκτυο), μια εικόνα τρισδιάστατων γραφικών μπορεί να περιέχει πλήθος πληροφοριών για τα αντικείμενα, τα κτίσματα και τους χώρους πολιτισμικής κληρονομιάς που παρουσιάζει. Εξάλλου, σύμφωνα με μια κινέζικη παροιμία, «μια εικόνα αξίζει όσο χίλιες λέξεις»<sup>7</sup> κι επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα στην εικόνα με τρισδιάστατα γραφικά είναι ότι έχουμε την αίσθηση του βάθους, όπως συμβαίνει σε μία φωτογραφία και σε αντίθεση με μία ζωγραφιά. Η επίδειξή της σε ένα θεατή

<sup>7</sup> Με την παροιμία αυτή ξεκινά το βιβλίο των Θ. Θεοχάρη και Α. Μπεμ, «Γραφικά, Αρχές και Αλγόριθμοι».

γίνεται πολύ πιο άμεσα κατανοητή επειδή ζει, κινείται και βλέπει σε τρισδιάστατο χώρο.

Η οπτικοποιημένη σε εικόνα τρισδιάστατη πληροφορία μπορεί να εισαχθεί και πάλι σε ένα λογισμικό τρισδιάστατων γραφικών, για την απόδοση υφής (texture) αντικειμένων, ως αντικείμενο σε μορφή billboard<sup>8</sup> ή ως φόντο. Η επιλογή αυτή γίνεται σε στατικές σκηνές ή σε τμήματα της τρισδιάστατης σκηνής στα οποία δεν θα πλησιάσει η θέση παρατήρησης και μπορεί να μειώσει αρκετά την πολυπλοκότητα της οπτικής απόδοσης (rendering), καθώς λιγότερα γεωμετρικά αντικείμενα θα χρειαστεί να επεξεργαστούν ή, τουλάχιστον, αντικείμενα με μικρότερη λεπτομέρεια στη γεωμετρική αναπαράσταση. Αυτό συμβαίνει διότι ο υπολογιστής θα χρειαστεί να επεξεργαστεί λιγότερα γεωμετρικά αντικείμενα ή αντικείμενα με μικρότερη λεπτομέρεια στη γεωμετρική αναπαράσταση.

Η απόδοση πραγματικού φωτισμού και ακρίβειας στην αναπαράσταση των αντικειμένων δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και κατά συνέπεια σε χρόνο παραγωγής για την απεικόνισή τους. Η απεικόνιση επιλεγμένων στιγμιότυπων μόνο από την τρισδιάστατη σκηνή, σε εικόνες υψηλής ανάλυσης, είναι συνήθως η επιλογή σε περιπτώσεις που δίνεται περισσότερη έμφαση στη λεπτομέρεια.

Σε αντίθεση τα υπόλοιπα μέσα, η εικόνα παρέχει το μικρότερο βαθμό εμπύθισης στον τρισδιάστατο κόσμο που απεικονίζει. Στην ηλεκτρονική του μορφή, όμως, και με τα κατάλληλα τεχνολογικά εργαλεία ή προγραμματισμό, είναι δυνατή η προσθήκη διάδρασης σε αυτό το στατικό μέσο, ορίζοντας επιλέξιμες περιοχές που ενεργοποιούν λειτουργίες. Η απλούστερη εφαρμογή διάδρασης, για παράδειγμα, είναι η εμφάνιση σχετικής πληροφορίας για την εικόνα (π.χ. ο τίτλος

---

<sup>8</sup> Δισδιάστατη εικόνα που περιστρέφεται, ώστε πάντα να αντικρύζει τη θέση παρατήρησης.

της) με το πέρασμα του κέρσορα πάνω από αυτή (rollover), ενώ η στιγμιαία ή μόνιμη αντικατάστασή της από κάποια άλλη (swap image) είναι εξίσου εύκολο να υλοποιηθεί. Επίσης, η επιλογή της εικόνας (mouse click) μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση κάποιου κειμένου, ενός βίντεο, ολόκληρης ή μέρους της εικόνας σε μεγαλύτερη ανάλυση. Με τον κατάλληλο κώδικα, σε εικόνες με μεγάλη ανάλυση, μπορεί να δημιουργηθεί η δυνατότητα διαδραστικής εστίασης (zoom in/out) σε λεπτομέρειες της εικόνας. Διαφορετικές περιοχές (hot areas) της εικόνας μπορούν να οριστούν ώστε να έχουν συγκεκριμένες λειτουργίες όταν επιλεγθούν, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σε μια απλή εικόνα να αποτελεί σύνδεσμο για επιπλέον πληροφορία οποιασδήποτε μορφής. Οι περιοχές αυτές θα μπορούσαν, π.χ., να περιλαμβάνουν διαφορετικά αντικείμενα ή τμήματα αντικειμένων και η επιλογή τους, να αποκαλύπτει περισσότερες λεπτομέρειες για αυτά με τη μορφή ακουστικών περιγραφών.

Σε γενικές γραμμές είναι εύκολη η προβολή ενός αρχείου εικόνας. Στο Διαδίκτυο οι μορφές που κυριαρχούν είναι το JPEG και το GIF, οι οποίες μπορούν να αποδίδουν πραγματικό χρώμα σε μικρού μεγέθους αρχεία, λόγω συμπίεσης, και υποστηρίζονται από όλες τις πλατφόρμες. Για την ύπαρξη διάδρασης όμως, θα πρέπει το λογισμικό με το οποίο προβάλλεται η εικόνα, π.χ. ο internet explorer στην περίπτωση μιας διαδικτυακής εφαρμογής, να υποστηρίζει τη γλώσσα στην οποία είναι γραμμένη ο κώδικας που περιγράφει αυτές τις ενέργειες.

### **Βίντεο**

Όπως είχε αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το βίντεο ως έξοδος συστήματος τρισδιάστατων γραφικών, ενδείκνυται για την παρουσίαση προκαθορισμένων σκηνών του εικονικού κόσμου που περιέχουν αλλαγές είτε στη μορφή ή τη θέση αντικειμένων του, είτε στη θέση παρατήρησής του



(animation). Παρέχει μια γραμμική παρουσίαση πληροφορίας και κατά συνέπεια, καθορίζει τα μηνύματα που λαμβάνει ο θεατής κατά την παρακολούθησή του, δηλαδή ελέγχει πώς ερμηνεύονται τα στοιχεία του κόσμου που αναπαριστώνται με τη βοήθεια των τρισδιάστατων γραφικών.

Παρά το γεγονός ότι το βίντεο αφήνει το θεατή σε παθητικό ρόλο (μόνη διάδραση ίσως η επιλογή εκκίνησης και παύσης ή ο έλεγχος της μπάρας κατάστασης), εν τούτοις, έχει τη δυνατότητα να κεντρίσει το ενδιαφέρον του και να ενισχύσει την διάδοση της πολιτισμικής πληροφορίας που περιέχουν τα αντικείμενα των τρισδιάστατων αναπαραστάσεων που προβάλλει. Η δυνατότητα εμπλουτισμού των γραφικών με ήχο, ομιλία (διήγηση, διάλογοι), μουσική ή ηχητικά εφέ, δίνει επιπλέον διάσταση στα γραφικά, αισθητικά και συναισθηματικά, αλλά πολύ περισσότερο όσον αφορά στην απόκτηση και αφομοίωση γνώσης (Dowhall, 1997). Μπορεί να αναλάβει το ρόλο του ξεναγού ενός ιστορικού τόπου, του αφηγητή μιας ιστορίας για το παρελθόν, του εκπαιδευτικού, συμβάλλοντας έτσι στη διαδικασία ερμηνείας των πολιτισμικών έργων που αναπαριστώνται στις σκηνές του. Επίσης, μπορεί να αποτελεί μια εναλλακτική μορφή παρουσίασης της τρισδιάστατης πολιτισμικής πληροφορίας για τα άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα ακόμα με τις διαδραστικές τεχνολογίες ή με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή γενικότερα.

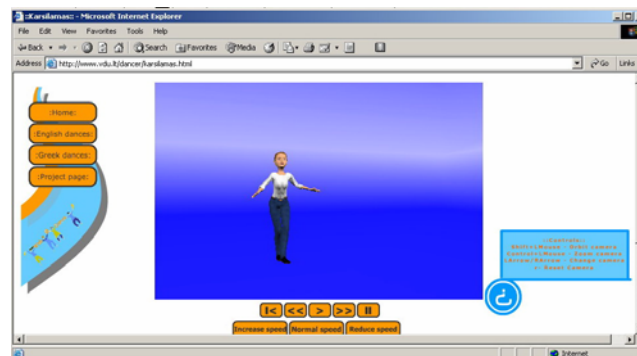
Το μεγάλο όμως πλεονέκτημα του βίντεο, όπως και της στατικής εικόνας προηγούμενα, είναι ότι τα τρισδιάστατα γραφικά που εμπεριέχουν, μπορούν να απορροφήσουν το 100% της πολιτισμικής πληροφορίας. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η όσο το δυνατό γίνεται πιστότερη απόδοση του αναπαριστάμενου θέματος.

Η οπτική απόδοση σε βίντεο ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος με κίνηση μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές πολιτισμικού περιεχομένου, όπως σε ντοκιμαντέρ και ταινίες -για τον κινηματογράφο, την τηλεόραση, τον ηλεκτρονικό υπολογιστή ή τον εκθεσιακό χώρο ως συμπλήρωμα των πληροφοριών (κείμενο, εικόνα) που συνοδεύουν μια συλλογή-, σε πολυμεσικές εφαρμογές, διαδικτυακές, εκπαιδευτικές, εμπορικές. Το βίντεο μπορεί επίσης να μπει εκ νέου στη διαδικασία (pipeline) αναπαράστασης ενός τρισδιάστατου κόσμου, με τη μορφή texture ή φόντου, για την απόδοση κίνησης στη σκηνή με λιγότερο κόστος. Για παράδειγμα σε μια κάθετη επιφάνεια μπορεί να προβάλλεται ένα βίντεο με δέντρα που κινούνται, για να δημιουργηθεί η αίσθηση του αέρα σε μια σκηνή που έχει ήδη αρκετά μεγάλο όγκο δεδομένων για να αναπαραστήσει και αυτή την κίνηση γεωμετρικά. Επιπλέον, μπορεί να λειτουργήσει ως μετάβαση από ένα εικονικό περιβάλλον οπτικής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο σε ένα άλλο, στοιχείο που υπάρχει συχνά στα ηλεκτρονικά παιχνίδια, όπου όταν τελειώνει ένα «επίπεδο», παρουσιάζεται σε βίντεο η ιστορία που μεταφέρει τον παίχτη στο επόμενο επίπεδο.

Ανάλογα με το πρότυπο συμπίεσης και κωδικοποίησης που έχει χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενός αρχείου βίντεο, μπορεί να χρειάζεται η εγκατάσταση ειδικού λογισμικού για την προβολή του, όπως π.χ. του QuickTime player της Apple για τα αρχεία MOV. Επίσης, όταν προορίζεται για το Διαδίκτυο, μπορεί να καθοριστεί αν το αρχείο μπορεί να αρχίσει να προβάλλεται πριν ή μόλις ολοκληρωθεί η μεταφορά του στον υπολογιστή του χρήστη (stream ή download αντίστοιχα).

### Διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα

Η δυνατότητα διάδρασης σε τρισδιάστατο περιβάλλον, μπορεί να δώσει στον εικονικό επισκέπτη την αίσθηση ότι βρίσκεται πραγματικά στον κόσμο που απεικονίζεται. Η δυνατότητα οπτικής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο της κίνησης όχι μόνο της θέσης του χρήστη, αλλά και των αντικειμένων μέσα στον εικονικό κόσμο, είναι πολύ ισχυρό εργαλείο για την εμπύθιση, αλλά και τη μετάδοση πολιτισμικής πληροφορίας. Ο θεατής μπορεί να δει τα αντικείμενα να κινούνται και να τα παρατηρήσει από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο για την παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας μηχανισμών<sup>9</sup>, ανθρώπινων δραστηριοτήτων<sup>10</sup>, κ.ά..



**Εικ. 5.1** Το τρισδιάστατο διαδραστικό περιβάλλον shockwave3d του Webdance (βλ. υποσημείωση), όπου το μοντέλο χορεύει Καρσιλαμά στο κέντρο, το animation χειρίζεται με τα κουμπιά ελέγχου κάτω από αυτό και οι οδηγίες για τις δυνατότητες αλλαγής οπτικής γωνίας παρουσιάζονται στο γαλάζιο πλαίσιο στα δεξιά.

### Εικονική Πραγματικότητα.

Η παρουσίαση τρισδιάστατων γραφικών αναπαραστάσεων πολιτισμικής πληροφορίας μέσα από συστήματα εικονικής πραγματικότητας, χωρίς αμφιβολία

<sup>9</sup> όπως οι πολιορκητικές μηχανές, που έχει μοντελοποιήσει για τη μεταπτυχιακή του εργασία ο Γ. Μελεσανάκης (2005) ή οι ιστορικές τεχνολογίες που παρουσιάζονται στο Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας (<http://www.ttmth.edu.gr>).

<sup>10</sup> για παράδειγμα, οι παραδοσιακοί χοροί, για τους οποίους στο έργο WebDANCE, το Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, του Πανεπιστημίου Αιγαίου, συμμετείχε και συντόνισε τη δημιουργία μιας δικτυακής διαδραστικής εκπαιδευτικής εφαρμογής που περιελάμβανε και Shockwave3d (<http://www.aegean.gr/culturaltec/webdance/>).

παρέχει το μεγαλύτερο βαθμό εμπύθισης συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες μορφές. Από την άλλη πλευρά, τα τρισδιάστατα γραφικά στα διαδραστικά εικονικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν συνήθως πολύ μικρή λεπτομέρεια στην κατασκευή τους ώστε ο υπολογιστής να μπορεί να υπολογίζει και να προβάλλει σε πραγματικό χρόνο αυτό που θέλει να δει ο θεατής, με αποτέλεσμα να γίνεται εύκολα κατανοητό ότι είναι ψηφιακά..

Η χρήση ειδικών συσκευών για το χειρισμό και την προβολή του εικονικού κόσμου μπορούν να βοηθήσουν στην ενίσχυση αυτής της εμπειρίας. Όμως, αν και τα συστήματα που παρουσιάζουν τον τρισδιάστατο κόσμο σε μεγαλύτερη κλίμακα, προκαλούν μεγαλύτερη συναισθηματική συμμετοχή από τους χρήστες, έρευνες σχετικά με το ρόλο που έχει το μέγεθος της επιφάνειας προβολής στη δυνατότητα πλοήγησης και ολοκλήρωσης συγκεκριμένων ενεργειών στα εικονικά περιβάλλοντα, δεν συμφωνούν ότι συστήματα προβολής, όπως το CAVE, με στερεοσκοπική όραση ή χωρίς, δημιουργούν απαραίτητα καλύτερες επιδόσεις του χρήστη έναντι μιας απλής οθόνης υπολογιστή. Αντίθετα, σύμφωνα με τους Swindells et al., στην επίτευξη τέτοιων στόχων μεγάλες διαφορές παρουσιάζονται από χρήστη σε χρήστη, γεγονός που προσδίδει μεγαλύτερη βαρύτητα στο σχεδιασμό της διεπαφής και της διάδρασης του συστήματος εικονικής πραγματικότητας, παρά στο μέσο προβολής του.

Στα περισσότερα συγγράμματα, τα συστήματα οθόνης (desktop) δε συγκρίνονται ως εμπειρία εμπύθισης με τα υπόλοιπα συστήματα. Όμως, η δυνατότητα παρουσίασης, σε πραγματικό χρόνο, τρισδιάστατης πολιτισμικής πληροφορίας με προσωπικούς υπολογιστές, είναι προσβάσιμη από ευρύτερο κοινό, γεγονός που αποτελεί στόχο για τους περισσότερους πολιτισμικούς οργανισμούς.

### Web3D

Η VRML έχει σχεδιαστεί για την οπτική απόδοση τρισδιάστατων γραφικών σε δικτυακό περιβάλλον. Τα διαθέσιμα ελεύθερα λογισμικά προβολής αρχείων VRML συνήθως παρέχουν μια στοιχειώδη διεπαφή με την τρισδιάστατη σκηνή: κουμπιά για περιστροφή, εστίαση και απομάκρυνση, μετακίνηση, ακύρωση προηγούμενης ενέργειας και επαναφορά στην αρχική θέση. Αντίστοιχα και στο QTVR, από τη στιγμή που έχει δημιουργηθεί το πανόραμα ή το αντικείμενο, οι λειτουργίες διάδρασης (zoom, pan, rotate) είναι ενσωματωμένες στον QuickTime VR viewer. Αντίθετα στο Shockwave 3D, οι ενέργειες αυτές, αν και διαθέσιμες, πρέπει να οριστούν μέσα από το λογισμικό της Macromedia.

Τα εικονικά περιβάλλοντα σε VRML και το Shockwave 3d, δίνουν μεγαλύτερη ελευθερία στην πλοήγηση του χρήστη στο τρισδιάστατο περιβάλλον προσφέροντας τη δυνατότητα να δει κανείς όλα τα αντικείμενα από διαφορετική οπτική γωνία. Από την άλλη όμως, το QTVR παρέχει την απαραίτητη λεπτομέρεια και τη δυνατότητα εστίασης, κι έτσι χωρίς να φεύγει ο εικονικός επισκέπτης από τη θέση που έχει επιλεγθεί για την παρατήρηση, με τη δυνατότητα ένδειξης των σημείων ενδιαφέροντος, μπορεί να βρει εύκολα πηγές επιπλέον πληροφορίας ή μονοπάτια για άλλους κόμβους, δηλαδή άλλες σκηνές.

Η VRML μπορεί να δημιουργήσει αρχεία μικρού μεγέθους, που ανταποκρίνονται γρήγορα στις ενέργειες του χρήστη, αλλά συνήθως υστερούν σε επίπεδο ρεαλισμού και λεπτομέρειας. Το μέγεθος και η ανάλυση των εικόνων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των κόμβων QTVR καθορίζουν και το μέγεθος της εφαρμογής και συνεπώς, το χρόνο που μεσολαβεί για να παρουσιαστεί στην οθόνη του χρήστη. Για σκηνές με περίπλοκα γεωμετρικά σχήματα, η τεχνική αυτή μπορεί να προσφέρει φωτορεαλιστική διαδραστική

παρουσίαση πολιτισμικής πληροφορίας με μικρότερο κόστος από ό,τι η οπτική απόδοση γεωμετρίας σε πραγματικό χρόνο.

Το Shockwave 3d, θεωρείται κατάλληλο για πολυμεσικές εφαρμογές, καθώς το πρόγραμμα που το διαχειρίζεται, Macromedia Director, είναι σχεδιασμένο για το σκοπό αυτό. Ήχος, εικόνα, γραφικά, κείμενο, μπορούν να συνδυαστούν και να δημιουργήσουν μια πλούσια σε πληροφορία διαδραστική εφαρμογή. Σε έναν κόμβο Quicktime VR αντικειμένου, από την άλλη, μπορεί να προστεθεί εικόνα (ως φόντο), αλλά η προσθήκη ήχου και κινούμενης εικόνας (motion picture) χωρίς να είναι αδύνατη έχει κάποιες δυσκολίες. Ο ήχος μπορεί να ενσωματωθεί στην ιστοσελίδα που θα εμφανίζεται το Quicktime VR αντικείμενο ή αν το αντικείμενο παρουσιάζεται σε Quicktime Player, να χρησιμοποιηθεί αναπαράσταση με γλώσσα SMIL. Στο πανόραμα επίσης χρειάζεται μια μικρή διαδικασία για την προσθήκη ήχου και βίντεο. Στη VRML μπορεί να προστεθεί ήχος και βίντεο, αλλά αυξάνεται κατά πολύ το μέγεθος του αρχείου.

### *Game Engines*

Η χρήση παιχνιδομηχανών για την απεικόνιση πολιτισμικής πληροφορίας ερευνάται κυρίως για εφαρμογές που η έμφαση δίνεται περισσότερο στη διάδραση παρά στη λεπτομερή απεικόνιση των κτιρίων και των αντικειμένων. Η πλοήγηση στα περιβάλλοντα αυτά είναι πιο γρήγορη, ενώ η διεπαφή (ο συνδυασμός πλήκτρων και ποντικιού, οι κινήσεις και οι επιλογές που απαιτούνται για τη διάδραση) είναι αποτέλεσμα πολύχρονης έρευνας πάνω σε απαιτητικούς χρήστες (τους παίκτες των ηλεκτρονικών παιχνιδιών).

Μια λύση στην αδυναμία απεικόνισης λεπτομέρειας του πολιτισμικού σκηνικού σε πραγματικό χρόνο είναι η δυνατότητα σύλληψης, όπως μια φωτογραφία, ενός

στιγμιότυπου, το οποίο μπορεί να αποδίδεται οπτικά σε μεγάλη ανάλυση σε ξεχωριστό «παράθυρο» στο παρασκήνιο, ενώ ο χρήστης συνεχίζει την περιήγησή του στο χώρο ή την επεξεργασία αντικειμένων και να εμφανίζεται στο προσκήνιο μόλις τελειώσει η διαδικασία (Calef, 2002). Εναλλακτικά, μπορεί να υπάρχει μια επιλογή από έτοιμες εικόνες (gallery) υψηλής ανάλυσης για τα σημαντικότερα σημεία του περιβάλλοντος, όπως συχνά παρατηρείται και σε εφαρμογές VRML, που αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα υποστήριξης αντικειμένων με μεγάλη λεπτομέρεια.

Αξιοποιώντας τα εγγενή στοιχεία των παιχνιδομηχανών για εφαρμογές με ψυχαγωγικό χαρακτήρα, με περιηγήσεις και διαδράσεις για την άντληση πληροφορίας που βοηθά στην επίτευξη κάποιου στόχου μέσα στο παιχνίδι, με δυνατότητα επικοινωνίας και δράσης μαζί με άλλους παίκτες, μπορεί κανείς να παρέχει γνώση μέσα από τη διασκέδαση.

#### *Φυσική αναπαραγωγή*

Η αναπαραγωγή πολιτισμικών αντικειμένων σε φυσική μορφή από την τρισδιάστατη ψηφιακή τους αναπαράσταση μπορεί να γίνει εύκολα, γρήγορα και σε μεγάλες ποσότητες και διαφορετικές κλίμακες (μικρότερο ή μεγαλύτερο μέγεθος από το αυθεντικό) με την ίδια ακρίβεια, χωρίς να διακινδυνεύει το αυθεντικό αντικείμενο κατά τη σύλληψη των δεδομένων, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Η μορφή αυτή έχει μεγάλη χρησιμότητα για τη διαδικασία της συντήρησης, καθώς μπορεί να επιτρέψει τον πειραματισμό και την εξάσκηση σε αντίγραφα πριν την επέμβαση στο αυθεντικό αντικείμενο (Balzani, 2004). Επίσης, είναι δυνατό, μέσα από την επεξεργασία των ψηφιακών αναπαραστάσεων αντικειμένων από τα

οποία σώζονται μόνο τμήματά τους, να υπολογιστεί με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων η γεωμετρική αναπαράσταση των τμημάτων που λείπουν, να παραχθούν φυσικά και να συναρμολογηθούν με το αντικείμενο<sup>11</sup>.



**Εικ. 5.2** Με τη χρήση τρισδιάστατης αναπαράστασης και φυσικής αναπαραγωγής, μπορεί να διευκολυνθεί η αναπλήρωση σπασμένων τμημάτων που έχουν χαθεί.

Με τα φυσικά αντίγραφα δίνεται η δυνατότητα στους ερευνητές να επέμβουν πάνω στο έργο για την ανάδειξη πληροφορίας και λεπτομερειών. Για παράδειγμα, με χρωματικές αποχρώσεις, μπορούν να τονιστούν διαφορετικά τμήματα ενός μνημείου που ανήκουν σε διαφορετικές εποχές<sup>12</sup> ή έχουν διαφορετική λειτουργικότητα ή ονομασία.

Η αναπαραγωγή ενός έργου πολιτισμικής κληρονομιάς μπορεί να αξιοποιηθεί και για την έκθεσή του στο κοινό. Έργα τέχνης που είναι σε ευπαθή κατάσταση ή για λόγους συντήρησης ή μελέτης, δεν μπορούν να βρισκονται στο μουσείο, το κοινό μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτά μέσα από τα αντίγραφά τους. Επίσης, με τα αντίγραφα μπορεί να δοθεί η δυνατότητα αφής των εκθεμάτων, όπως γίνεται σε μουσεία για άτομα με προβλήματα όρασης, αλλά είναι επιθυμητή και από τους περισσότερους επισκέπτες των υπολοίπων μουσείων.

<sup>11</sup> Για όλες τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν, βλ. παραδείγματα στο ενημερωτικό κείμενο της Minolta για τον τρισδιάστατο ψηφιοποιητή [www.minolta-3d.com](http://www.minolta-3d.com)

<sup>12</sup> Βλ. Balzani et al, 2004, όπου αντίγραφα σκαλισμένων γκραφίτι στην Πομπηία χρωματίστηκαν από τους αρχαιολόγους και τους συντηρητές ανάλογα με την εποχή που δημιουργήθηκαν, για την ευκολότερη ανάλυσή τους.



Τέλος, η τεχνολογία αυτή, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την παραγωγή ακριβών αντιγράφων μουσειακών αντικειμένων για την πώλησή τους ως αναμνηστικά στους επισκέπτες του μουσείου.

*Η τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση ως ερμηνευτικό εργαλείο*

Όπως φάνηκε από τις προηγούμενες συγκρίσεις, κάθε μορφή απεικόνισης έχει τα δικά της στοιχεία που μπορεί να αξιοποιηθούν για την παρουσίαση πληροφορίας για πολιτισμικά αγαθά με τρόπο που να είναι ενδιαφέροντα και εύκολα αντιληπτά από κοινό. Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες που διενεργείται κατά την εποπτεία των τρισδιάστατων αυτών αναπαραστάσεων είναι η ερμηνεία αυτής της πολιτισμικής πληροφορίας.

Με βάση τα στοιχεία των Kreisel et al. (2004), στον ακόλουθο πίνακα μπορεί κανείς να εξετάσει πώς διαφορετικές μορφές ψηφιακής παρουσίασης των τρισδιάστατων γραφικών μπορούν να ικανοποιήσουν αρχές ερμηνείας (interpretation principles).

Ερμηνευτικές Αρχές	Απεικόνιση Τρισδιάστατης Πληροφορίας
Να προκαλέσει και να διεγείρει την περιέργεια	Εικόνα / απόδοση κίνησης (animation) / ταινία
Να συνδυάσει, αποκαλύψει νοήματα και σχέσεις	3D κόσμοι, πανοράματα και αντικείμενα QTVR
Να ανακαλύψει και να εμπλακεί ενεργά	Συγκριτικές εικόνες/ αναπαραστάσεις σύγχρονων έναντι ιστορικών κόσμων
Να ενθαρρύνει ενεργή συμμετοχή	Πλοήγηση, αναζήτηση πληροφορίας, παιχνίδια
Να διεγείρει διαφορετικές αισθήσεις	3D κόσμοι, εικαστικά, μουσική
Σύνδεση με αντικείμενα, τοπία και τοποθεσίες	3D κόσμοι, συνδέσεις με GIS, μακρόχρονη παρατήρηση
Παρακολούθηση θεματικής προσέγγισης	Υπερκείμενο (γραμμικό)
Παρουσίαση θεματικών και μηνυμάτων	Εύρος αναπαραστάσεων/ χρήση διαφορετικών μέσων (εικόνα, ταινία, ήχος)
Προσαρμογή μορφής παρουσίασης στο κοινό	Υπερκείμενο (γραμμικό)

Πίνακας 1. Ερμηνευτικές Αρχές και κατάλληλες μορφές τρισδιάστατης ψηφιακής οπτικοποίησης

## **Ανακεφαλαίωση**

Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος μπορεί να αξιοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών. Η εικόνα, πολύ χρήσιμη για την απεικόνιση λεπτομέρειας κι ένα μέσο για να έχει κανείς απόψεις του τρισδιάστατου μοντέλου σε αναλογική μορφή (έντυπη έκδοση), μπορεί αν και στατική, να προσφέρει κάποια μορφή διαδραστικότητας. Το βίντεο, είναι κατάλληλο για την παρουσίαση μιας ιστορίας ή μιας προκαθορισμένης πορείας στην τρισδιάστατη σκηνή, μπορεί να εξυπηρετεί καλύτερα όσους δεν είναι εξοικειωμένοι με την πλοήγηση σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας, επαυξημένα, εμβύθισης, προβολής ή και οθόνης, επιτρέπουν μεγαλύτερη συμμετοχή του χρήστη και προκαλούν έτσι περισσότερο το ενδιαφέρον του, ενώ διευκολύνουν την κατανόηση και αφομοίωση του πολιτισμικού περιεχομένου της εφαρμογής.

## **6 Ειδικά ζητήματα για την τρισδιάστατη αναπαράσταση πολιτισμικής πληροφορίας**

*Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε προβληματισμούς, αλλά και νέους στόχους, που δημιουργούνται για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων ή χώρων της πολιτισμικής κληρονομιάς.*

Τα προηγούμενα κεφάλαια παρουσίασαν πώς μπορεί να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο αντικειμένων της πολιτισμικής κληρονομιάς, με ποιες τεχνολογίες μπορεί αυτό να απεικονιστεί σε ψηφιακή και φυσική μορφή και πώς αυτό μπορεί να ενισχύσει τη διαδικασία ανάδειξης πολιτισμικής πληροφορίας. Θα αποτελούσε παράλειψη αυτής της εργασίας αν δεν καλύψει και τα σημεία που επισκιάζουν τη χρήση της τεχνολογίας των τρισδιάστατων γραφικών στον πολιτισμικό τομέα, αλλά και τις προτάσεις για την υπέρβασή τους.

Η αποθήκευση, διατήρηση, προστασία και αναζήτηση αρχείων τρισδιάστατης πολιτισμικής πληροφορίας είναι κάποια από τα ζητήματα που απασχολούν αυτό το νέο τομέα, καθώς και η αξιοπιστία της αναπαράστασης, η ευχρηστία και αποτελεσματικότητα της διεπαφής και η απαραίτητη συνεργασία μεταξύ επιστημόνων διαφορετικών πεδίων. Τα ζητήματα αυτά αναλύονται περαιτέρω στη συνέχεια.

### ***Μεγάλος όγκος δεδομένων για μοντέλα υψηλής ανάλυσης***

Η τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση πολιτισμικής πληροφορίας (αντικείμενα, κτίρια, τόποι) με μεγάλη λεπτομέρεια δημιουργεί αρχεία μεγάλου μεγέθους. Το γεγονός αυτό κάνει ασύμφορη τη διατήρηση τέτοιων ψηφιακών αρχείων από πολλές βιβλιοθήκες. Αποθηκευτικά μέσα όπως DVD 8 GB είναι μια εναλλακτική

λύση, αλλά δεκάδες DVD μπορεί να μην είναι αρκετά για μια συλλογή μικρότερη από δέκα αντικείμενα. Η αποθήκευση σε κάποια κεντρική βιβλιοθήκη και η διανομή στις τοπικές βιβλιοθήκες κατόπιν παραγγελίας, μπορεί να μειώσει το κόστος των πλεονασματικών αντιγράφων, αλλά δεν παύει το κόστος ενός τέτοιου αρχείου να είναι αρκετά υψηλό.

Στο ερευνητικό έργο ψηφιοποίησης αγαλμάτων του Μιχαήλ Άγγελου -που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, η ομάδα του Stanford συνέλεξε 250 GB «μη επεξεργασμένων» (raw) δεδομένων, και η εκτίμηση τότε ήταν ότι από την επεξεργασία τους, θα δημιουργούταν ένας αντίστοιχος όγκος δεδομένων για τα φωτορεαλιστικά τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα.

### ***Διάρκεια ζωής - βιωσιμότητα των δεδομένων***

Η εξασφάλιση της βιωσιμότητας ενός αρχείου με τρισδιάστατα γραφικά είναι ένα ακόμα ζήτημα που αφορά στην αποθήκευση των ψηφιακών δεδομένων. Τα τρισδιάστατα μοντέλα δεν είναι εύκολο να αποτυπωθούν σε φυσική μορφή, όπως μπορούν να εκτυπωθούν οι εικόνες, ώστε να εξασφαλίσουν τη διάσωσή τους στην περίπτωση που το ψηφιακό αρχείο δεν μπορεί πια να διαβαστεί ή να αποκωδικοποιηθεί. Η αξιοποίηση των τεχνολογιών ταχείας πρωτοτυποποίησης αποτελεί μία λύση, για την παραγωγή φυσικών αντιγράφων μικρών αντικειμένων, χωρίς όμως τη δυνατότητα καλής απόδοσης του χρώματος ή της υφής, ενώ για τα μεγάλα αντικείμενα μπορούν να γίνουν αντίγραφα μικρότερης μόνο κλίμακας και ποιότητας. Το γεγονός αυτό ανάγει τη διατήρηση των ψηφιακών αρχείων σε καίριο ζήτημα.

Μια από τις προτάσεις για την επίλυση του προβλήματος, είναι να αποθηκεύεται μαζί με τα αρχεία των τρισδιάστατων γραφικών και ο πηγαίος κώδικας των

λογισμικών που χρειάζονται για την ερμηνεία των δεδομένων. Αυτή η λύση όμως περιλαμβάνει ένα πλήθος λογισμικών και περιπλέκεται στις περιπτώσεις διαδραστικών τρισδιάστατων γραφικών που συχνά χρησιμοποιούν και τμήματα του υλικού (hardware) , αλλά και συσκευών εισόδου και εξόδου του υπολογιστικού συστήματος για την επιτάχυνση της οπτικής απόδοσης.

### ***Προστασία αρχείων αποθήκευσης πληροφορίας τρισδιάστατων αναπαραστάσεων***

Η ελεύθερη πρόσβαση, μέσω Διαδικτύου, στα υψηλής ανάλυσης τρισδιάστατα ψηφιακά αντίγραφα πολιτισμικής πληροφορίας που έχουν προκύψει από τα ερευνητικά έργα της τελευταίας δεκαετίας, θα ωφελούσε πολύ στην έρευνα και στη διάδοση της γνώσης που αυτά φέρουν. . Υπάρχουν πολλές τεχνικές με τις οποίες μπορεί να ανακτηθεί η γεωμετρική απεικόνιση ενός τρισδιάστατου μοντέλου, το οποίο, μπορεί να διευκολύνει την παράνομη παραγωγή φυσικών αντιγράφων των αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς, την παράνομη εκμετάλλευσή τους σε εμπορικές ηλεκτρονικές εφαρμογές – όπως σε ηλεκτρονικά παιχνίδια. Από τους ερευνητές, υπάρχουν διάφορες προτάσεις για την αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου, τεχνικές που συνδυάζουν ψηφιακή υδατογράφηση των αρχείων, ανίχνευση και αποτροπή της πειρατείας (Koller et al, 2004).

### ***Μηχανές αναζήτησης και κατάλογοι***

Μια συλλογή ψηφιοποιημένων αντικειμένων δεν εξυπηρετεί τους στόχους δημιουργίας της αν δεν υπάρχει η δυνατότητα αναζήτησης στα περιεχόμενά της. Ως σήμερα όμως, δεν έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα στη δυνατότητα αναζήτησης σε ψηφιακές τρισδιάστατες συλλογές βάση του τρισδιάστατου σχήματος των

αντικειμένων. Αυτή η αναζήτηση παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες, καθώς ένα σχήμα μπορεί να αναπαρασταθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (πολυγωνικό μοντέλο, παραμετρικές καμπύλες, voxels, κ.ά.), υπάρχει μεγάλος αριθμός διαφορετικών τύπων (format) αρχείων και χωρίς την ευρεία αποδοχή ενός κοινού προτύπου, το κόστος της σύγκρισης τρισδιάστατων αντικειμένων είναι αρκετά υψηλό. Ο δανεισμός κάποιων τεχνικών από την επεξεργασία εικόνας και η εφαρμογή αλγορίθμων για τη σύγκριση δύο σχημάτων, θα μπορούσαν να δώσουν κάποιες λύσεις σε αυτό το ζήτημα. Η δημιουργία προτύπων και προδιαγραφών για την επισύναψη μεταδεδομένων σε τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα, που να τεκμηριώνουν τόσο τις τεχνολογίες ψηφιοποίησης που εφαρμόστηκαν και τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται, όσο και την πολιτισμική πληροφορία των αντικειμένων.



**Εικ. 6.1** Διεπαφή αναζήτησης αγγείου με διαδραστική σχεδίαση του περιγράμματός του, επιλογή ανάμεσα στα αποτελέσματα και προβολή στοιχείων για το επιλεγμένο αντικείμενο.

Για να είναι πιο εύκολη η επισκόπηση των περιεχομένων μιας ψηφιακής συλλογής με τρισδιάστατες αναπαραστάσεις πολιτισμικών αντικειμένων, επιθυμητή είναι η δημιουργία ψηφιακών καταλόγων. Στους καταλόγους αυτούς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές από το νέο πεδίο του Image-Based Rendering, ώστε μια σειρά αποθηκευμένων μικρών εικόνων για κάθε αντικείμενο (pre-rendered thumbnails) να μπορούν να το απεικονίσουν να περιστρέφεται σε

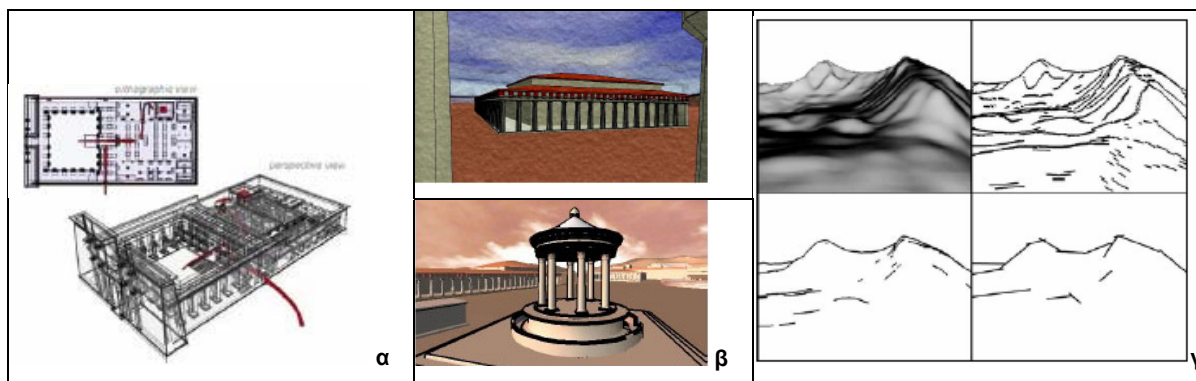
πραγματικό χρόνο. Η τεχνική αυτή μπορεί να εκμεταλλευτεί το γεγονός ότι οι διαδοχικές εικόνες διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους και με τους κατάλληλους αλγόριθμους συμπίεσης, να μειώσει κατά πολύ το υπολογιστικό κόστος της παρουσίασής τους (τεχνική light field). Καθώς έχουν βρει ήδη εφαρμογή στον εμπορικό τομέα, αναμένεται ότι θα έχουν μεγάλη εξέλιξη.

### ***Πιστότητα και ερμηνεία***

Η ακρίβεια των αναπαραστάσεων τρισδιάστατων αντικειμένων, δηλαδή η δημιουργία πιστών ψηφιακών αντιγράφων, είναι ένα από τα ζητήματα που απασχολεί τους πολιτισμικούς φορείς. Πώς μπορεί κανείς να είναι σίγουρος ότι το τρισδιάστατο μοντέλο ενός αγάλματος που βλέπει στην οθόνη του είναι ίδιο με το πραγματικό; Είναι πολύ σημαντικό στις αναπαραστάσεις αυτές να υπάρχει, ως μεταδεδομένο ή έστω ως υποσημείωση, πληροφορία σχετικά με τις πηγές, τις μεθόδους και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και το σκοπό που εξυπηρετούν. Οργανισμοί πιστοποίησης, με διεπιστημονική σύσταση, θα μπορούσαν να παρέχουν επιστημονική επικύρωση σε αναπαραστάσεις πολιτισμικών τεκμηρίων, ώστε να αρχίσει να εκλείπει το φαινόμενο, διαφορετικές ερευνητικές ομάδες να αναπαράγουν ψηφιακά το ίδιο αντικείμενο λόγω αμφιβολίας για τα αποτελέσματα των προηγούμενων ή παράλληλων έργων.

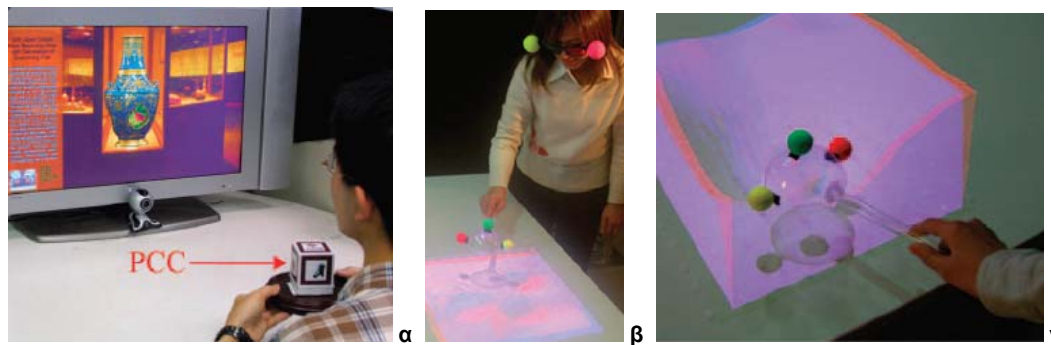
Τα τελευταία χρόνια, αξιοσημείωτες προσπάθειες έχουν γίνει στην ανάπτυξη τεχνολογιών που να δίνουν όλο και περισσότερο φωτορεαλιστικές οπτικές αποδόσεις των τρισδιάστατων αναπαραστάσεων των αγαθών πολιτισμικής κληρονομιάς. Όμως, οι ιστορικοί, αρχαιολόγοι, οι επιμελητές, όσοι δουλεύουν στο χώρο της πολιτισμικής κληρονομιάς, συχνά προτιμούν τα μοντέλα να είναι ακριβή και λιγότερο φωτορεαλιστικά. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ανακατασκευής (reconstruction) της αρχικής μορφής κατεστραμμένων ή χαμένων πολιτισμικών

αγαθών, προτιμούν να δείχνουν την αβεβαιότητα της ερμηνείας που υπάρχει σε κάθε αναπαράσταση (Addison, 2002) μέσα από απεικονίσεις που μοιάζουν λιγότερο πραγματικές, όπως στην εικόνα 6.2.



**Εικ. 6.2** Μη φωτορεαλιστικές οπτικές απεικονίσεις (α) σε μορφή αρχιτεκτονικού σχεδίου –blueprint (Nienhaus, 2004), (β) καλλιτεχνική (Roussou, 2003), (γ) σχέδιο (Shirley, 2004), μπορούν να αποδώσουν την αμφιβολία στην ακρίβεια της αναπαράστασης.

### Διεπαφή και διάδραση



**Εικ. 6.3** (α) Η επεξεργασία αντικειμένων εικονικού μουσείου ελέγχεται φυσικά με κύβο (Physical Control Cube) (Huang, 2005), ενώ στο (β) σύστημα προώθησης αέρα (air jet) δίνει ανάδραση καθώς ο χρήστης πλησιάζει το τρισδιάστατο αντικείμενο με ένα ελαφρύ εργαλείο ανίχνευσης (paddle) (Suzuki, 2005)

Η καλύτερη ποιότητα της εικόνας ενός τρισδιάστατου κόσμου επιδιώκεται με συνεχείς έρευνες για την ανάπτυξη καλύτερων τεχνολογιών σύλληψης και απεικόνισης των τρισδιάστατων αντικειμένων που μας περιβάλλουν, ενώ λιγότερη προτεραιότητα δίνεται συχνά στη μελέτη του τρόπου διεπαφής συστήματος-χρήστη, της διάδρασης του χρήστη με τον εικονικό κόσμο και της καλύτερης προσαρμογής της παρουσίασης της πολιτισμικής πληροφορίας στις



ανάγκες του χρήστη, στοιχεία που όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο μπορούν να συνεισφέρουν στην ευκολότερη πρόσληψη και επεξεργασία της πληροφορίας.



**Εικ. 6.4** (α) Απτική διάδραση με αναγνώριση χειρονομιών (Nikolakis, 2004), (β) επιλογή αντικειμένου από κονσόλα με τοποθέτηση σφαίρας κάτω από αντίστοιχο αντικείμενο και περιστροφή εικονικού αντικειμένου με ταχύτητα που υπολογίζεται με αλγόριθμους βάση της κίνησης του χεριού που ανιχνεύουν ακτίνες λέιζερ τοποθετημένες στη σειρά σε ίσες αποστάσεις (Πεχλιβανίδης, 2000) (γ) διεπαφή με markers για την επιλογή και επεξεργασία αντικειμένων, για την απάντηση σε παιχνίδια γνώσεων, κ.ά. (Liarokaris, 2004).

Σχετικά με τη διεπαφή, κάποιες ερευνητικές εφαρμογές, όπως αυτές που παρουσιάζονται στις εικόνες 6.3 και 6.4, εξετάζουν τεχνικές για την επεξεργασία εικονικών αντικειμένων με φυσικές κινήσεις, με ελαφριά συστήματα διεπαφής ή άλλα φυσικά αντικείμενα.

Η δυνατότητα μεγαλύτερης διάδρασης με τα αντικείμενα εξετάζεται κυρίως μέσα από την εφαρμογή των δυνατοτήτων των παιχνιδομηχανών, ενώ για την προσαρμογή της προβαλλόμενης πληροφορίας σύμφωνα με την προσωπικότητα του χρήστη, είναι ένα κομμάτι που μπορούν να αξιοποιηθούν οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για το ηλεκτρονικό εμπόριο.

### ***Συντονισμός τεχνολογικών ομάδων με τις ανάγκες της πολιτισμικής κοινότητας***

Ένα αξιοσημείωτο φαινόμενο στο χώρο της πολιτισμικής τεχνολογίας είναι η επικάλυψη πολλών έργων τρισδιάστατης ψηφιακής αναπαράστασης: διαφορετικές ερευνητικές ομάδες έχουν κατά καιρούς ψηφιοποιήσει τα ίδια

πολιτισμικά αγαθά. Αυτό εν μέρει, οφείλεται στην αμφιβολία που υπάρχει για την πιστότητα των προηγούμενων ψηφιακών αναπαραστάσεων, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, αλλά σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό, οφείλεται στην έλλειψη συντονισμού. Υπάρχουν πάρα πολλά μνημεία με μεγάλη πολιτισμική αξία στον κόσμο που έχουν ανάγκη την τεχνολογία τρισδιάστατης αναπαράστασης για την καταγραφή τους. Οργανισμοί, όπως η Ουνέσκο, έχουν λίστες με μνημεία που βρίσκονται σε κίνδυνο, τις οποίες θα μπορούσαν να συμβουλευούνται οι ερευνητικές ομάδες όταν θέλουν να εφαρμόσουν κάπου τις νέες τεχνικές τους.

Ελαφριά, αλλά αξιόπιστα, φορητά συστήματα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης είναι απαραίτητα για την αύξηση του επιπέδου τεκμηρίωσης για περιβάλλοντα και αντικείμενα που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές. Η εκτός εργαστηρίου ψηφιοποίηση πρέπει να γίνεται με ακρίβεια, γιατί σπάνια δίνεται η ευκαιρία να γυρίσει κανείς πίσω για να επαναλάβει ή να συμπληρώσει την εργασία ψηφιοποίησης (Godin, 2002).

### **Ανακεφαλαίωση**

Η υιοθέτηση των τρισδιάστατων γραφικών ως εργαλείο υποστήριξης των διαδικασιών διαχείρισης πολιτισμικής πληροφορίας εγείρει αρκετούς προβληματισμούς σχετικά με τον όγκο των δεδομένων που θα χρειαστεί να αποθηκεύσει και να επεξεργάζεται ένας πολιτισμικός οργανισμός, προκειμένου να έχει ψηφιακά αντίγραφα μεγάλης ακρίβειας. Τα δεδομένα, αυτά από την άλλη, δεν είναι βέβαιο ότι θα είναι σε μορφή που θα υποστηρίζουν οι νεότερες τεχνολογίες και συνεπώς, όλη αυτή η πληροφορία μπορεί να χαθεί, αν δεν προβλεφθούν τρόποι εξασφάλισης της βιωσιμότητάς τους. Έναν ακόμα κίνδυνο που διατρέχουν τα λεπτομερή ψηφιακά μοντέλα είναι της πειρατείας, δηλαδή της κλοπής της γεωμετρικής αναπαράστασης των αντικειμένων και της παράνομης εκμετάλλευσής τους. Επιπλέον, η έρευνα για την ανάπτυξη μεθόδων αναζήτησης στα

περιεχόμενα μιας συλλογής τρισδιάστατων ψηφιακών αντικειμένων με βάση το σχήμα είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, καθώς κοινά αποδεκτά πρότυπα για την κατασκευή των μοντέλων και τη τεκμηρίωση των ψηφιακών αρχείων δεν έχουν υιοθετηθεί. Επίσης, δυσπιστία υπάρχει συχνά για το αν η αναπαράσταση του ιστορικού τεκμηρίου έχει γίνει με ακρίβεια, δηλαδή αν τα ψηφιακά μοντέλα είναι πιστά αντίγραφα των αυθεντικών αντικειμένων, ιδιαίτερα όταν η αναπαράσταση δεν απεικονίζει την παρούσα κατάσταση, αλλά μια ερμηνεία του παρελθόντος. Ο βαθμός αβεβαιότητας για τις τρισδιάστατες αυτές αναπαραστάσεις δε χρειάζεται να αποκρύπτεται, μπορεί να τονίζεται με τη χρήση μη φωτορεαλιστικής οπτική απόδοσης και να δηλώνεται σε μεταδεδομένα που συνοδεύουν το αντικείμενο. Η ανάπτυξη μιας καλής διεπαφής του συστήματος με το χρήστη, κατανοητής και ενδιαφέρουσας, μπορεί να ωφελήσει πολύ περισσότερο τη μετάδοση της γνώσης από ότι η ανάπτυξη δυνατών και μεγάλων συστημάτων προβολής τους. Τέλος, υπάρχουν πολλά υποψήφια έργα ψηφιοποίησης πολιτισμικού περιεχομένου, αλλά η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των διεπιστημονικών ομάδων οδηγεί σε επικάλυψη δραστηριοτήτων.

## 7 Συμπεράσματα

*Έχοντας αναλύσει τα σημαντικότερα στοιχεία που αφορούν στη χρήση τρισδιάστατων γραφικών αναπαραστάσεων για την ανάδειξη πολιτισμικής πληροφορίας –δημιουργία, απεικόνιση, αξιοποίηση, προκλήσεις και στόχοι-, στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη συγγραφή της διατριβής αυτής.*

Η εικόνα που έχουμε για το παρελθόν οικοδομείται μέσα από τη ερμηνεία των υλικών και πνευματικών δημιουργημάτων που έχουν διασωθεί στο πέρασμα του χρόνου. Η διαχείριση των έργων πολιτισμικής κληρονομιάς και της πληροφορίας που αυτά φέρουν, περιλαμβάνει την τεκμηρίωση, τη συντήρηση και τη μελέτη ιστορικών αντικειμένων, κτιρίων, χώρων, την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον πολιτισμό που δημιούργησε και χρησιμοποίησε αυτά, και τη διάδοση της γνώσης αυτής στο ευρύτερο κοινό. Για την καλύτερη διεκπεραίωση αυτών των αρμοδιοτήτων, οι πολιτισμικοί οργανισμοί έχουν αρχίσει να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες της ψηφιακής τεχνολογίας.

Η τεχνολογία των τρισδιάστατων ψηφιακών γραφικών, όμως, αν και έχει πρώτα δείγματα πολιτισμικής εφαρμογής της από τα μέσα της δεκαετίας '80 - ανακατασκευή καθεδρικού ναού που είχε καταστραφεί (Old Winchester)- , δεν έχει αξιοποιηθεί όσο θα μπορούσε στον πολιτισμικό τομέα. Η ενημέρωση των αρμόδιων φορέων για τους τρόπους με τους οποίους μπορούν τα τρισδιάστατα γραφικά να υποστηρίξουν τις ανάγκες του πολιτισμικού τους έργου, αλλά και για τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις τους, θα διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των διεπιστημονικών ομάδων που χρειάζεται να συνεργαστούν για την καλύτερη εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής.

Η εφαρμογή των τρισδιάστατων γραφικών μπορεί να επιταχύνει και να ενισχύσει τις εργασίες της πολιτισμικής διαχείρισης: η τρισδιάστατη μορφή φέρει επιπλέον πληροφορία, μετρήσιμη και επεξεργάσιμη, που μπορεί να γίνει πλοηγήσιμη και διαδραστική, ενώ δίνει ένα πλήθος επιλογών για την παρουσίασή της, μέσα από την οποία μπορεί να εκθέσει κανείς τις απόψεις του για την ερμηνεία του, αλλά και να προκύψει νέα γνώση τόσο για το κοινό, όσο και για τους ίδιους τους ερευνητές του πολιτισμικού οργανισμού.

Η δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς μπορεί να γίνει είτε με αυτόματη ψηφιοποίηση των αντικειμένων, κτιρίων ή χώρων είτε με τη σχεδιάσή τους σε λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών.

Η αυτόματη ψηφιοποίηση ενδείκνυται περισσότερο για τη δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων υψηλής ακρίβειας έργων τέχνης της πολιτισμικής κληρονομιάς: για την τεκμηρίωση, το σχεδιασμό και την καταγραφή της διαδικασίας συντήρησης, την επεξεργασία τους από τους ερευνητές, τη φυσική αναπαραγωγή τους και την έκθεσή τους ως πιστή αναπαράσταση στο κοινό.

Με τη μοντελοποίηση μέσα από λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών, από την άλλη, μπορεί κανείς να ξεφύγει από τον περιορισμό της απεικόνισης των μνημείων της πολιτισμικής κληρονομιάς στη σημερινή τους κατάσταση, και να δημιουργήσει φωτορεαλιστικά (ή μη φωτορεαλιστικά) μοντέλα που να αποτυπώνουν τις υποθέσεις των ερευνητών του πολιτισμού για τη μορφή και τη χρήση που είχαν ιστορικά αντικείμενα και χώροι σε διαφορετικές χρονικές στιγμές στο παρελθόν, από τη στιγμή που δημιουργήθηκαν ως σήμερα. Εικονική αναστήλωση καταστραμμένων κτιρίων, συναρμολόγηση τμημάτων από ιστορικά έργα που βρίσκονται διασπαρμένα σε διάφορα μουσεία, σκηνές από τις καθημερινές δραστηριότητες, αλλά και ιστορικά γεγονότα, των πολιτισμών που

δημιούργησαν τα αντικείμενα, όλα αυτά είναι εφικτά μέσα από τα λογισμικά τρισδιάστατων γραφικών και συνεισφέρουν στην πληρέστερη ερμηνεία της πολιτισμικής κληρονομιάς.

Σήμερα, υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες για την αυτόματη τρισδιάστατη ψηφιοποίηση, με ένα μεγάλο τμήμα της έρευνας να έχει στραφεί τελευταία στην αξιοποίηση των ψηφιακών φωτογραφικών εικόνων στην ανακατασκευή της τρισδιάστατης πληροφορίας. Η ομάδα του Debevec (University of Southern California, Institute for Creative Technologies, Graphics Laboratory) εστιάζει τις έρευνές της στην ακριβή καταγραφή όχι μόνο της γεωμετρίας και της υφής των αντικειμένων, αλλά και των συνθηκών φωτισμού της ψηφιοποίησης με στόχο τη δυνατότητα υπολογισμού της πραγματικής αντίδρασης της επιφάνειας του αντικειμένου σε οποιοσδήποτε συνθήκες φωτισμού. Η ομάδα του Levoy στο Stanford University μελετούν εκτός των άλλων, την καλύτερη διαχείριση και προστασία των αρχείων τρισδιάστατης ψηφιακής πολιτισμικής πληροφορίας.

Η δομή που θα χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση μιας τρισδιάστατης σκηνής, εξαρτάται από την τελική μορφή και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου. Η πολυγωνική μορφή είναι αυτή που «καταλαβαίνει» καλύτερα ο υπολογιστής πώς να την απεικονίσει, αλλά καθώς υπάρχουν αλγόριθμοι για τη μετάφραση μιας δομής σε κάποια άλλη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές μέθοδοι ανάλογα με την περίπτωση. Σε γενικές γραμμές πάντως, πολύγωνα και παραμετρικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται ευρέως στην αναπαράσταση πολιτισμικών δεδομένων. Στην περίπτωση της παραγωγής φυσικών αντιγράφων, όμως, η χρήση αυστηρά κλειστών σχημάτων, υπαγορεύει την εφαρμογή μοντελοποίησης με Constructive Solid Geometry.

Η τρισδιάστατη ψηφιακή πληροφορία για την πολιτισμική κληρονομιά μπορεί να παρουσιαστεί με διαφορετικές μορφές: ως δισδιάστατη έντυπη ή ψηφιακή εικόνα, ως κινούμενη εικόνα αποθηκευμένη σε βίντεο, μέσα από διαδραστικά εικονικά περιβάλλοντα ή ακόμα να παραχθεί σε φυσική μορφή. Κάθε μία μπορεί να αναδείξει διαφορετικά τμήματα της πληροφορίας που φέρουν τα τρισδιάστατα αντικείμενα που απεικονίζει.

Η στατική εικόνα, ως αποτύπωση ενός στιγμιότυπου του αναπαριστώμενου σε τρεις διαστάσεις πολιτισμικού περιεχομένου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά σε περιπτώσεις που απαιτείται απεικόνιση σε μεγάλη ανάλυση και δυνατότητα μακρόχρονης παρατήρησης για τη μελέτη λεπτομερειών.

Η καταγραφή κινούμενης εικόνας σε βίντεο μπορεί να αξιοποιηθεί για την παρουσίαση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των ιστορικών γεγονότων που συνδέονται με τα αναπαριστώμενα τρισδιάστατα αντικείμενα, παρέχει έλεγχο της πληροφορίας που λαμβάνει ο χρήστης και επιπλέον, αποτελεί μια εναλλακτική λύση στα διαδραστικά περιβάλλοντα για άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με την τεχνολογία.

Σε ένα διαδραστικό τρισδιάστατο περιβάλλον η άντληση πληροφοριών γίνεται μέσα από την πλοήγηση στον εικονικό χώρο και την επεξεργασία των αντικειμένων του. Ο χρήστης έχει τον έλεγχο της πληροφορίας που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια και έτσι η ερμηνεία που για τον κόσμο αυτό διαφέρει από χρήστη σε χρήστη. Η ενεργή συμμετοχή του στη διαδικασία της ερμηνείας, βοηθά στην καλύτερη αφομοίωση της πληροφορίας που ανακτά. Ο συνδυασμός διαφορετικών αισθήσεων στα εικονικά περιβάλλοντα δημιουργεί πιο έντονα την αίσθηση της πραγματικής παρουσίας του χρήστη μέσα σε αυτά: στην εικονική πραγματικότητα εμπύθισης, η απομόνωση από το φυσικό περιβάλλον βοηθά

στην πλήρη συγκέντρωση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, ενώ η επαυξημένη εικονική πραγματικότητα προσθέτει πληροφορία πάνω στο φυσικό περιβάλλον.

Βέβαια η πληροφορία που μπορεί να λάβει ο χρήστης κατά την πλοήγησή του στον εικονικό κόσμο, μπορεί να αντληθεί και σε συστήματα με μικρότερο βαθμό εμπύθισης, ακόμα και σε οθόνη υπολογιστή. Έτσι, οι πολιτισμικοί φορείς, λαμβάνοντας υπόψη το ενδιαφέρον που παρουσιάζεται για διαδραστικές τρισδιάστατες εφαρμογές στο Διαδίκτυο, αρχίζουν να παρουσιάζουν πολιτισμική πληροφορία μέσα από τα Web3D, τις τεχνολογίες δημιουργίας και δημοσίευσης διαδικτυακών εικονικών περιβαλλόντων. Μια εναλλακτική τεχνολογία για σύστημα απεικόνισης τρισδιάστατων γραφικών σε προσωπικό υπολογιστή, οι παιχνιδομηχανές μπορούν να παρέχουν γρήγορη πλοήγηση στους τρισδιάστατους κόσμους, αποτελούν γνώριμη διεπαφή για τους νέους σε ηλικία χρήστες, έχουν ενσωματωμένες λειτουργίες διάδρασης, δυνατότητα επικοινωνίας και διάδρασης μεταξύ πολλών χρηστών, αλλά και περιορισμούς στην απόδοση λεπτομέρειας.

Τα φυσικά αντίγραφα μπορούν να επιτρέψουν την αμεσότερη επαφή του κοινού με τα πολιτισμικά αντικείμενα, μέσω της δυνατότητας αφής ή της αγοράς υψηλής ακρίβειας ενθυμίων, με τα οποία η εμπειρία της εποπτείας των αντικειμένων προσεγγίζει όσο περισσότερο γίνεται την έκθεση του αυθεντικού αντικειμένου, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μορφές «προϊόντων» της ψηφιακής αναπαράστασης.

Σύμφωνα λοιπόν με όσα αναφέρθηκαν, η οπτικοποίηση πολιτισμικής πληροφορίας μέσα από τρισδιάστατα γραφικά μπορεί να γίνει ένα ισχυρό ευέλικτο τεχνολογικό εργαλείο στη διάθεση των φορέων της πολιτισμικής διαχείρισης. Η ορθή και αποτελεσματική αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής,



όπως και για κάθε εργαλείο, εναπόκειται στο χρήστη. Πολλές αυθαίρετες ψηφιακές ανακατασκευές πολιτισμικών μνημείων έχουν παρουσιαστεί χάρη στην ευκολία δημιουργίας και διάδοσης της τρισδιάστατης ψηφιακής πληροφορίας, αλλά αυτό δεν θα πρέπει να ωθεί στην απαξίωση της τεχνολογίας, αντίθετα θα πρέπει να παροτρύνει τους αρμόδιους να αντιπαραβάλουν έγκυρες αναπαραστάσεις για την ενημέρωση του κοινού.

Είναι σημαντικό η υιοθέτηση της τεχνολογίας να μην αποφασιστεί άκριτα: αφού ληφθούν υπόψη οι προβληματισμοί που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μοντελοποίηση και η απεικόνιση πρέπει να γίνουν βάση σχεδιασμού με γνώμονα τις ανάγκες του έργου. Είναι φυσικό να υπάρχουν ζητήματα για τη χρήση της τρισδιάστατης τεχνολογίας στον πολιτισμικό τομέα, μιας και είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο – ελάχιστα πρότυπα υπάρχουν, τόσο για τη δημιουργία των αναπαραστάσεων, όσο και για την τεκμηρίωσή τους. Οι εμπλεκόμενοι φορείς σε ένα έργο ψηφιοποίησης πολιτισμικής κληρονομιάς μπορούν, με σωστή ενημέρωση για τις αδυναμίες και τις δυνατότητες της τεχνολογίας και με συνεχή επικοινωνία και συνεργασία καθόλη τη διάρκεια του, να υπερβούν τα οποιαδήποτε εμπόδια εμφανιστούν στην πορεία και να υλοποιήσουν έργα που να προάγουν τον πολιτισμό και την τεχνολογία.

Αβεβαιότητα για την ερμηνεία που αποδίδεται στα ιστορικά τεκμήρια πάντα θα υπάρχει, μιας και το κενό μεταξύ των δεδομένων που έχουμε από την ανασκαφή και εκείνων που δημιουργούμε κατά την ερμηνεία, συμπληρώνεται από τις ιδέες και τις αντιλήψεις της κάθε εποχής (Barceló, 2002). Η πολιτισμική κοινότητα δεν θα πρέπει να διστάζει να αποκαλύπτει αυτή την αδυναμία, αλλά να αποδέχεται την οπτικοποίηση διαφορετικών ερμηνειών που βασίζονται σε επιστημονικές

υποθέσεις και βοηθούν στην περαιτέρω έρευνα και ανάλυση της πολιτισμικής πληροφορίας.

«Το κατά πόσο οι υπολογιστές θα βοηθήσουν να αλλάξουμε τα ερωτήματα που θέτουμε για το παρελθόν μπορεί να εξαρτάται από τον τρόπο που επιλέγουμε να οπτικοποιήσουμε τις απαντήσεις» (Sanders, 1999).

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

Abate, A.F. Nappi, M., Ricciardi, S., Sabatino, G., 2004, 3D Face Reconstruction from Skull Aimed to Archaeological Applications. The Site of Murecine: a Case Study, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 185-191.

Addison, A.C., 2001, Virtual Heritage: Technology in the Service of Culture, *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, Glyfada, Greece, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 343-354.

Allen, K., et al, 2002, Creating and Using Virtual Reality: a Guide for the Arts and Humanities, Δεκέμβριος 2004.  
[http://www.vads.ahds.ac.uk/guides/vr\\_guide/index.html](http://www.vads.ahds.ac.uk/guides/vr_guide/index.html)

Apple Computers Inc., 2002, QuickTime VR, Ιούλιος 2004.  
<http://www.apple.com/quicktime/>

Balzani, M., Callieri, M., Fabbri, M., Fasano, A., Montani, C., Pingi, P., Santopuoli, N., Scopigno, R., Uccelli, F., Varone, A., 2004, Digital representation and multimodal presentation of archeological graffiti at Pompei, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 93-103.

Barcelo, J.A., 2002, Virtual Museums. When Heritage does not exist, *A Közgyűtemények és a tudomány ("Public Collections and Science")*, World Conference on Science, UNESCO-ICSU and Hungarian Academy of Sciences, Magyar Nemzeti Múzeum.

Baracchini, C., Brogi, A., Callieri, M., Capitani, L., Cignoni, P., Fasano, A., Montani, C., Nenci, C., Novello, R.P., Pingi, P., Ponchio, F., Scopigno, R., 2004, Digital reconstruction of the Arrigo VII funerary complex, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 145-154.

Besl, P.J., Jain, R.C., (1985), Three-Dimensional Object Recognition, *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 17/1, ACM Press, New York, NY, USA, p. 75-145.

Blalock, J., 2003, Real World – Virtual Presentations: Comparing Different Web-based 4d Presentation Techniques of the Built Environment, *Trends in Landscape Modelling, Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences 2003*, Wichmann Verlag, Heidelberg

Borgo, R., Cignoni, P., Scopigno, R., An Easy-to-use Visualization System for Huge Cultural Heritage Meshes, *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage*, Glyfada, Greece, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 121-130.

Burton, N.R., Hitchen, M.E., Bryan, P.G., 1999, Virtual Stonehenge: a Fall from Disgrace?, *Archaeology in the age of the Internet*, CAA 1997,

Calef, C., Vilbrandt, T., Vilbrandt, C., Goodwin, J.M., Goodwin, J.R., 2002, Making it Realtime: Exploring the Use of Optimized Realtime Environments for Historical Simulation and Education, *Museums and the Web 2002*  
<http://www.archimuse.com/mw2002/papers/calef/calef.html>

Callieri, M., Cignoni, P., Ganovelli, F., Impoco, G., Montani, C., Pingi, P., Ponchio, F., Scopigno, R., 2004, Visualization and 3D Data Processing in the David Restoration, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24/2, p.16-21.

Ch'ng, E., Stone, R., Arvanitis, T.N., 2004, The Shotton River and Mesolithic Dwellings: Recreating the Past from Geo-Seismic Data Sources, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p.125-133.

Cooper, D.B., Willis, A., Andrews, S., Baker, J., Cao, Y., Han, D., Kang, K., Kong, W., Leymarie, F.F., Orriols, X., Velipasalar, S., Vote, E.L., Joukowsky, M.S., Kimia, B.B., Laidlaw, D.H., Mumford, D., 2002, Assembling Virtual Pots from 3D Measurements of their Fragments, *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage*, Glyfada, Greece, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 241-254

- D'Amora, B., Bernardini, F., 2003, Pervasive 3D Viewing for Product Data Management, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23/2, p. 14-19.
- Dowhal, D., 1997, A Seven-Dimensional Approach to Graphics, *Journal of Computer Documentation*, 21/4, p. 26–37.
- Ellis, S., 1993, Pictorial Communication in Virtual and Real Environments, Taylor & Francis.
- Funkhouser, T., Patrick, M., Kazhdan, M., Chen, J., Halderman, A., Dobkin, D., Jacobs, D., 2003, A Search Engine for 3D Models, *ACM Transactions on Graphics*, ACM Press, New York, NY, U.S.A., 22/1, p. 83–105.
- Gaitatzes, A., Christopoulos, D., Roussou, 2002, M., Reviving the Past : Cultural Heritage meets Virtual Reality, p. 103-110
- Gigante, M. A., 1993, Virtual reality: Enabling technologies. In: *Earnshaw, R. A., Gigante, M. A. and Jones, H. (Eds.). Virtual reality systems*, London: Academic Press, pp. 15-25
- Godin, G., Beraldin, J.-A., Taylor, J., Cournoyer, L., Rioux, M., El-Hakim, S.F., Baribeau, R., Blais, F., Boulanger, P., Domey, J., Picard, M., 2002, Active Optical 3D Imaging for Heritage Applications, *IEEE Computer Graphics in Art History and Archaeology*, 22/5, p.24-36.
- Gross, P., Gross, M., 2002, *Macromedia Director 8.5 Shockwave Studio for 3D, Training from the Source*, Berkeley, CA, U.S.A.
- Havemann, S., Fellner, D., 2004, A versatile 3D Model Representation for Cultural Reconstruction, *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, Glyfada, Greece, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 205-212.
- House, D.H., 1996, Overview of Three-Dimensional Computer Graphics, *ACM Computing Surveys*, 28/1, p. 145-148.
- Huang, C.R., Chen, C.S., Chung, P.C., 2005, Tangible Photorealistic Virtual Museum, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25/1, p.15-17.
- Jacobson, J., Vadnal, J., 1999, Multimedia in Three Dimensions for Archaeology; Information Retrieval With Interactive Models, *Proceedings for the SCI'99/ ISAS'99, Orlando, U.S.A.*
- Kenderine, S., 2001, 1000 Years of the Olympic Games: Treasures of Ancient Greece. Digital Reconstruction at the home of the gods, *Proceedings of the tenth international conference on World Wide Web*, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 67 – 75
- Kadobayashi, R., Neeter, E., Mase, K., 1999, VisTA: An Interactive Visualization Tool for Archaeological Data, Archaeology in the Age of the Internet, *Proceedings of CAA 97, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, p.266.
- Koller, D., Turitzin, M., Levoy, M., Tarini, M., Crocchia, G., Cignoni, P., Scopigno, R., 2004, Protected Interactive 3D Graphics Via Remote Rendering, *Proceedings of the 2004 SIGGRAPH Conference*, ACM Transactions on Graphics, ACM Press, New York, NY, U.S.A., 23/3, p. 695–703.
- Kreisel, W., Gee, K., Dickmann, F., 2004, The potential of internet-based techniques for heritage interpretation, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 67-74.
- Ladeira, I., Blake, E.H., 2004, Virtual San Storytelling for Children: Content vs. Experience, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 223-231
- Lammers, J., Gooding, L., *Maya 4.5 Fundamentals*, New Riders Publishing, 2003
- Lau, R.W.H., Li, F., Kunii, T.L., Guo, B., Zhang, B., Magnenat-Thalmann, N., Kshirsagar, S., Thalmann, D., Gutierrez, M., 2003, Emerging Web Graphics Standards and Technologies, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23/1, p.66-75.
- Laugerotte, C., Warzée, N., An environment for the analysis and reconstruction of archaeological objects, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 165-174.
- Levoy, M., Pulli, K., Curless, B., Rusinkiewicz, S., Koller, D., Pereira, L., Ginzton, M., Anderson, S., Davis, J., Ginsberg, J., Shade, J., Fulk, D., 2000, The Digital Michelangelo Project: 3D

- Scanning of Large Statues, *Proceedings of the 2000 SIGGRAPH, Conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM Computer Graphics, p. 131-144.
- Levoy, M., Garcia-Molina, H., 1999, revised 2000, Creating Digital Archives of 3D Artworks, *white paper submitted to the National Science Foundation's Digital Libraries Initiative*  
<http://graphics.stanford.edu/projects/dli/white-paper/dli.html>
- Liarokapis, F., Sylaiou, S., Basu, A., Mourkoussis, N., White, M., Lister, P.F., 2004, An Interactive Visualisation Interface for Virtual Museums, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 47-56.
- Loeffler, C. E., Anderson, T., 1994, *The Virtual Reality Casebook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Loscos, C., Tecchia, F., Frisoli, A., Carrozzino, M., Ritter Widenfeld, H., Swapp, D., Bergamasco, M., 2004, The Museum of Pure Form: touching real statues in an immersive virtual museum, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 271-279.
- Nienhaus, M., Döllner, J., 2004, Visualizing Design and Spatial Structure of Ancient Architecture using Blueprint Rendering, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 53-54.
- Nikolakis, G., Tzouvaras, D., Malassiotis, S., Strintzis, M.G., 2004, Simulation of Ancient Technology Works Using Haptic Interaction and Gesture Recognition, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 261-270.
- Noimark, Y., Cohen-Or, D., 2003, Streaming Scenes to MPEG-4 Video-Enabled Devices, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23/1, p.58-64.
- Ogleby, C.L., 1999, How real is your reality: Verisimilitude issues and metadata standards for the visualization of cultural heritage, *XVII Cipa Symposium*  
[cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c207.pdf](http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c207.pdf)
- O'Rourke, M., 1998, *Principles of Three-Dimensional Computer Animation, Modeling, Rendering & Animating with 3D Computer Graphics*, W.W. Norton & Company, New York, U.S.A.
- Owen, R., Buhalis, D., Pletinckx, D., 2004, Identifying technologies used in Cultural Heritage, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 155-163.
- Roussou, M., Drettakis, G., 2003, Photorealism and Non-Photorealism in Virtual Heritage Representation, *Vast 2003, First Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage*.
- Rowe, J., Razdan, A., 2003, A Prototype Digital Library For 3D Collections: Tools To Capture, Model, Analyze, and Query Complex 3D Data, *Museums and the Web 2003*
- Sanders, D.H., Simmons, J., Sood, A.K., 2003, Cultural Crises and Virtual Heritage: The Baghdad Museum Project and the Institute for the Visualization of History, *VSMM03 International Conference on Virtual Systems and Multimedia 2003*, Montreal, Quebec, Canada.  
[www.baghdadmuseum.org/vh.pdf](http://www.baghdadmuseum.org/vh.pdf)
- Shirley, P., Thompson, W., Curtis, S., Gallup D., 2004, Stylized Browsing in Space and Time, *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brussels, Belgium, p. 33-34.
- Shiaw H.-Y., Jacob, J.K., Crane, G.R., 2004, The 3D Vase Museum: A New Approach to Context in Digital Library, *Proceedings JCDL 2004 ACM/IEEE-CS, Joint Conference on Digital Libraries*, p. 125 - 134.
- Suzuki, Y., Kobayashi, M., 2005, Air Jet Driven Force Feedback in Virtual Reality, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25/1, p. 44-47.
- Swindells, C., Po, B.A., Hajshirmohammadi, I., Corrie, B., Dill, J.C., Fisher, B.D., Booth, K.S., 2004, Comparing CAVE, Wall, and Desktop Displays for Navigation and Wayfinding in Complex 3D Models, *Proceedings of Computer Graphics International*, Crete, Greece, IEEE Press, p. 420-427

Tsirliganis, N., 2002, Integrated Documentation of Cultural Heritage through 3D imaging and multimedia database, *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, Glyfada, Greece, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 282 - 282

Vdovic, R., 2001, Spatial Presentation on the Internet, *Proceedings of CARNet Users Conference – CUC 2001*, Zagreb, Croatia.  
[www.carnet.hr/CUC/cuc2001/PDF/session\\_a/a3.pdf](http://www.carnet.hr/CUC/cuc2001/PDF/session_a/a3.pdf)

Vlahakis et al., 2002, ARCHEOGUIDE: First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites, *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, Glyfada, Greece, ACM Press, New York, NY, U.S.A., p. 131-138.

Watt, A., 2000, *3D Computer Graphics*, Addison-Wesley, Berkeley, U.S.A.

## Ελληνική

Αζαριάδης, Φ., Ταχεία Πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping), Νοέμβριος 2004  
[www.syros.aegean.gr/users/azar/STL/RP\\_azar.pdf](http://www.syros.aegean.gr/users/azar/STL/RP_azar.pdf)

Δίπλας, Κ., 2002, *Τυπικές προδιαγραφές για τη σχεδίαση της αλληλεπιδραστικότητας εκπαιδευτικού λογισμικού εικονικής πραγματικότητας*, διπλωματική εργασία για ειδίκευση σε Τεχνολογίες Πληροφορικής στην Εκπαίδευση και Εκπαιδευτικό Λογισμικό, Τμήμα Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Πάτρας.

Εργαστήριο Τεχνολογίας Γνώσης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, *Εικονικά περιβάλλοντα, Δεκέμβριος 2004*  
<http://kelnet.cs.unipi.gr/news/Εικονικά%20Περιβάλλοντα.pdf>

Θεοχάρης, Θ., Μπεμ, Α., 1999, *Γραφικά, Αρχές και Αλγόριθμοι*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, 2004, *Ολυμπία, Μια Διαδρομή σε Τέσσερις Διαστάσεις*, Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού.

Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του Κέντρου Εφαρμογών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας και Πληροφορικής, *Συνοπτικός Οδηγός Ψηφιοποίησης Τρισδιάστατων Κινητών και Ακινήτων Αντικειμένων*, στα πλαίσια του επιχειρησιακού προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας» 2000-2006.

Κωστάκης, Π., Βούρη, Σ., Μικρόπουλος, Τ. Α., 2002, Χτίζοντας έναν ιστορικό εικονικό κόσμο, *Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή, Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση*, Τόμος Α, Ρόδος, σ. 471-477.

Μελεσανάκης, Γ., 2005, *Εικονική Έκθεση Πολιορκητικών Μηχανών*, μεταπτυχιακή εργασία για ειδίκευση στην Πολιτισμική Πληροφορική, Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Μπούνια, Α., Μούλιου, Μ., 1999, Μουσειακές εκθέσεις. Ερμηνευτικές προσεγγίσεις στη μουσειακή θεωρία και πρακτική, *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 70, σ. 53-58.

Πασχαλίδης, Γ., 2001, Από το μουσείο του πολιτισμού στον πολιτισμό του μουσείου, Σκαλτσά, Μ., επιμ., *Η Μουσειολογία στον 21<sup>ο</sup> αιώνα: Θεωρία και Πράξη*, (πρακτικά ομώνυμου διεθνούς συμποσίου, Θεσσαλονίκη, 21-21 Νοεμβρίου, 1997) Θεσσαλονίκη, University Studio Press και εκδ. Εντευκτήριο, σ. 212-220.

Παπαϊωάννου, Γ., Θεοχάρης, Θ., 2004, Virtual Archeologist: Αυτοματοποιημένο Σύστημα Εικονικής Ανακατασκευής Αρχαιοτήτων, poster, *15 Χρονία Προσφοράς στην Εκπαίδευση και την Έρευνα, Ημερίδα προβολής Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών*, Οκτώβριος 2004, Αθήνα.  
[http://www2.di.uoa.gr/gr/hmerida/Posters/Theoharis/Posters\\_With\\_Logo/POSTER\\_VA.ppt](http://www2.di.uoa.gr/gr/hmerida/Posters/Theoharis/Posters_With_Logo/POSTER_VA.ppt)

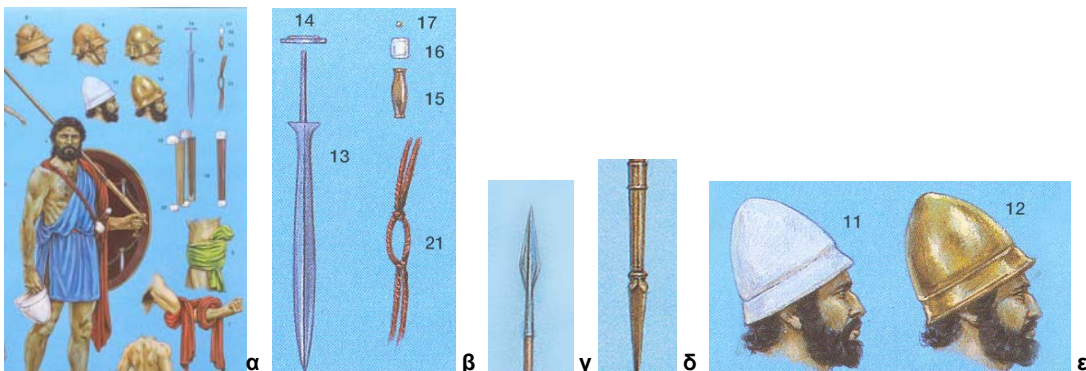
Πεχλιβανίδης, Γ., 2000, Rotor, Mixed media installation: A case study on coding / decoding information, αδημοσίευτη διπλωματική διατριβή για Master of Arts on Communication Design, Central Saint Martins College of Art & Design.

Χαρίτος, Δ., Μαρτάκος, Δ., *Τεχνολογίες Πολυμέσων: Εικονική Πραγματικότητα, Δεκέμβριος 2004*  
<http://alexandra.di.uoa.gr/mmttech/VirtualReality/vr.pdf>

## Παράρτημα

### Τρισδιάστατη μοντελοποίηση και παρουσίαση τμήματος του οπλισμού ενός αρχαίου Αθηναίου οπλίτη 5<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα.

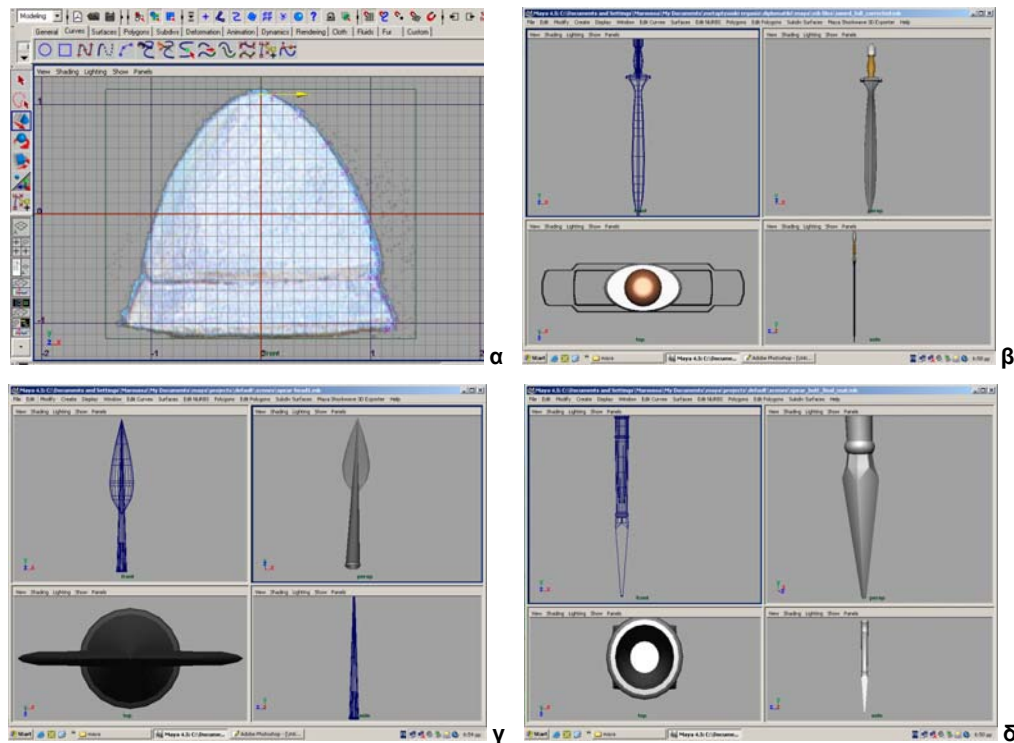
Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, δημιουργήθηκαν κάποια τρισδιάστατα μοντέλα για τον αμυντικό και επιθετικό οπλισμό ενός αρχαίου Αθηναίου οπλίτη του 5<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα, ενός από τα σημαντικότερα, για πολλούς αιώνες, σώματα πολεμιστών της αρχαίας Ελλάδας. Στοιχεία για τα αντικείμενα αυτά βρέθηκαν στα βιβλία των Snodgrass (2003), Σταϊνχάουερ (2000) και Secundas (2000).



**Εικ. Π1** Σχέδια από το βιβλίο του Secundas (2000) πάνω στα οποία στηρίχθηκε η μοντελοποίηση: (α) ο οπλίτης, (β) το ξίφος, (γ) η αιχμή και (δ) ο σαυρωτήρας του δόρατος, (ε) τύποι κράνους.

Η κατασκευή των μοντέλων έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού Maya (έκδοση 4.5) της Alias|Wavefront. Τα σχήματα στηρίχθηκαν κυρίως στα σχέδια που υπήρχαν στο βιβλίο του Secundas για την εποχή εκείνη. Για κάθε όπλο, η ψηφιοποιημένη εικόνα του σχεδίου του έγινε οδηγός στη μοντελοποίησή του, με την εισαγωγή της στο πρόγραμμα (εικόνα Π2α). Για συμμετρικά αντικείμενα, όπως το κράνος του οπλίτη και η ασπίδα, στο μισό τμήμα του περιγράμματος του σχεδίου, τοποθετήθηκαν σημεία καμπύλης που προσέγγιζε το περίγραμμα. Η καμπύλη αυτή περιστράφηκε γύρω από τον άξονα συμμετρίας και δημιουργήθηκε το σχήμα του αντικειμένου. Αντικείμενα όπως το σπαθί και τα τμήματα του δόρατος, δημιουργήθηκαν από βασικά πολυγωνικά σχήματα -κύβο,

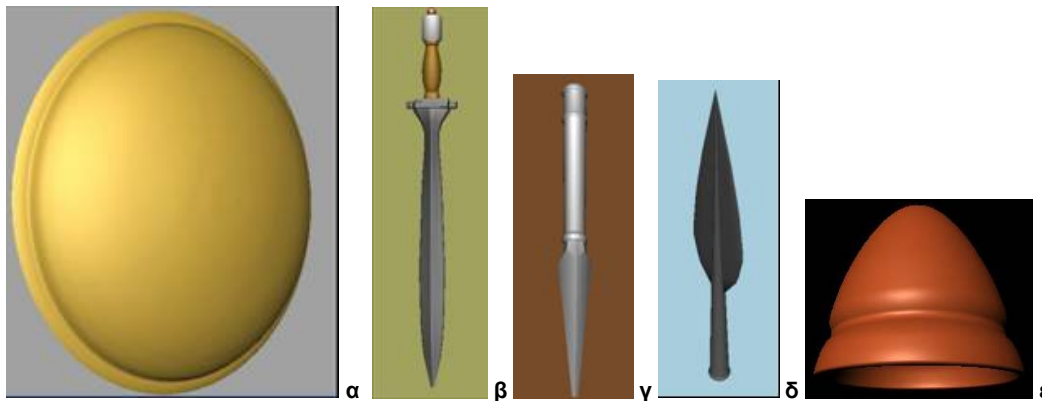
κύλινδρο, σφαίρα-, τα οποία μετασχηματίστηκαν κατάλληλα με μετακίνηση κορυφών και εξώθηση εδρών.



**Εικ. Π2** Η μοντελοποίηση στο Maya: (α) εισαγωγή του σχεδίου του κράνους και δημιουργία σημείων για την καμπύλη που θα περιστραφεί γύρω από τον κάθετο άξονα για να δημιουργήσει στο σχήμα, (β) το ξίφος, (γ) η αιχμή και (δ) ο σαυρωτήρας του δόρατος.

Τα μοντέλα αυτά αποδόθηκαν οπτικά ως TIFF εικόνες και εξήχθησαν σε VRML και Shockwave3d μορφή. Η δυνατότητα εξαγωγής των τρισδιάστατων μοντέλων σε VRML αρχείο υπήρχε ως ενσωματωμένη επιλογή στο πρόγραμμα, ενώ για τη δημιουργία W3D αρχείου για Shockwave3d χρειάστηκε να αναζητηθεί το κατάλληλο plug-in από το δικτυακό τόπο της Alias|Wavefront. Επίσης, από σχετικούς με το λογισμικό χώρους συζήτησης στο Διαδίκτυο (forum), βρέθηκε κώδικας (.mel) για την κατάλληλη τοποθέτηση της εικονικής κάμερας και την οπτική απόδοση εικόνων ανά καθορισμένα διαστήματα, για τη δημιουργία αρχείου qtvr, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία video με την περιστροφή του ξίφους.





**Εικ. Π3** Εικόνες από τα από τα μοντελοποιημένα όπλα, στα οποία έχει αποδοθεί και υλικό (material): (α) ασπίδα (β) ξίφος, (γ) αιχμή και (δ) σαυρωτήρας δόρατος, (ε) κράνος.

Η εξαγωγή των μοντέλων σε VRML έγινε χωρίς οποιαδήποτε τροποποίηση, ενώ στο παράθυρο διαλόγου υπήρχε η δυνατότητα επιλογής των επιθυμητών διαδράσεων με το μοντέλο (zoom, rotate, pan, fly, walk). Για την προβολή του VRML αρχείου, χρειάστηκε η εύρεση VRML viewer. Επιλέχθηκε ο Cosmoplayer.

Για το Shockwave3d, υπήρχε η απαίτηση τα μοντέλα να είναι σε πολυγωνική μορφή. Τα εξαγόμενα W3D αρχεία επεξεργάστηκαν μέσα από το Director MX της Macromedia, με το οποίο ορίστηκαν οι πιθανές διαδράσεις με το μοντέλο και η διεπαφή. Για το ξίφος, επιλέχθηκε η αυτόματη περιστροφή του, η δυνατότητα προσέγγισης και απομάκρυνσης από το αντικείμενο, οριζόντιας και κάθετης μετακίνησης της θέσης παρατήρησης, με τη χρήση συνδυασμού πλήκτρων. Αυτό «δημοσιεύτηκε» ως εφαρμογή του Director, για την προβολή της οποίας είναι απαραίτητος ο shockwave player.



**Εικ. Π4** Απεικόνιση του ξίφους σε VRML μορφή, μέσα από τον Cosmoplayer (VRML viewer).

Τέλος, ως παράδειγμα της δυνατότητας χρήσης δισδιάστατων εικόνων για την δημιουργία ψευδαίσθησης τρισδιάστατης απεικόνισης, επιλέχθηκε η χρήση φωτογραφιών από γνήσιο αντίγραφο αγγείου 5<sup>ου</sup> π.Χ. από τον Εξηκία, που έχει ως θέμα, στη μία πλευρά του, τον Αχιλλέα και τον Αίαντα, οπλίτες παλαιότερης εποχής, να παίζουν επιτραπέζιο παιχνίδι –πεςσούς - σε διάλειμμα από τον Τρωϊκό πόλεμο και στην άλλη την υποδοχή των Διοσκούρων, Πολυδεύκη και Κάστορα, στο πατρικό τους σπίτι. Περιστρέφοντας το αγγείο, φωτογραφήθηκαν ψηφιακά διαφορετικές όψεις του<sup>13</sup>. Ακολούθησε ψηφιακή επεξεργασία των φωτογραφιών στο Adobe Photoshop CS, για να απομονωθεί το αγγείο και να γίνουν μικρές διορθώσεις στη φωτεινότητα και την αντίθεση της εικόνας. Οι εικόνες αυτές εισήχθησαν στο Adobe ImageReady CS, και ως "frames", συνέθεσαν ένα μικρό βίντεο σε flash που παρουσίαζε την περιστροφή του αγγείου, όπως φαίνεται στην εικόνα Π5.



**Εικ. Π5** Εικόνες από το βίντεο που παρουσιάζει το περιστρεφόμενο αγγείο του Εξηκία, με τους οπλίτες Αχιλλέα και Αίαντα σε στιγμή διαλείμματος από τον πόλεμο, στη μία πλευρά, και την υποδοχή του Πολυδεύκη, στην άλλη.

### **Βιβλιογραφία**

Gross, P., Gross, M., 2002, *Macromedia Director 8.5 Shockwave Studio for 3D, Training from the Source*, Berkeley, CA, U.S.A.

Lammers, J., Gooding, L., *Maya 4.5 Fundamentals*, New Riders Publishing, 2003

Secundas, N., 2000, *Greek Hoplite: 480-323 BC*, Osprey Publishing, Oxford, UK.

Spodgrass, A.M., 2003, μτφ. Σταματοπούλου, Β.Γ., επιμ. Φακλαρης, Π.Β., *Τα Επιθετικά και Αμυντικά Όπλα των Αρχαίων Ελλήνων*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σταϊνχάουερ, Γ., 2000, *Ο Πόλεμος στην Αρχαία Ελλάδα*, εκδόσεις Παπαδήμα, Αθήνα.

<sup>13</sup> Η φωτογράφιση έγινε με την ευγενική παραχώρηση και πολύτιμη βοήθεια του Ανδρέα Λιναρδάτου (Karyatis, Greek Antiquity Shop, Αθήνα).