



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ και ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ
ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ**

Παναγιώτης Κόνης

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

ΕΛΛΗ ΠΕΤΣΑ Καθηγήτρια ΠΑΔΑ (Επιβλέπουσα)

ΛΑΖΑΡΟΣ ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Επίκουρος Καθηγητής ΠΑΔΑ

ΓΙΩΡΓΟΣ ΚΑΡΡΑΣ Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας, Έλλη Πέτσα, για την πολύτιμη στήριξη και βοήθειά της σε αυτή την εργασία, ίσως και για την ανοχή της. Κι αυτό, δεδομένου ότι γενικά αποτελεί δύσκολο εγχείρημα η ολοκλήρωση μιας πορείας ενός μεταπτυχιακού προγράμματος, πόσω δε μάλλον εάν κανείς παράλληλα προσπαθεί να φέρει εις πέρας το τρίπτυχο μεταπτυχιακό - οικογένεια - εργασία.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότατα τα τέκνα μου για τη στήριξη και συνδρομή τους μέσω της κατανόησης που επέδειξαν, καθώς και τους γονείς μου, που με στήριξαν και στάθηκαν αρωγοί σε αυτήν μου τη προσπάθεια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και μερικές ψυχές, μετρημένες, οι οποίες μου έδωσαν δύναμη και κουράγιο σε αυτή μου τη συνολική προσπάθεια.

Περίληψη

Οι τομείς της εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality), της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality) και της μικτής πραγματικότητας (Mixed Reality) είναι ταχύτατα αναπτυσσόμενοι, ιδίως κατά τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό συνδράμουν οι τεχνολογικές εξελίξεις, τόσο σε επίπεδο υλικο-τεχνικού εξοπλισμού όσο και σε επίπεδο υπολογιστικής και προγραμματιστικής δυνατότητας, με αποτέλεσμα τέτοια συστήματα να χρησιμοποιούνται ολοένα και ευρύτερα σε περισσότερους τομείς. Προσδίδουν πλήθος δυνατοτήτων, επιδεικνύοντας πολλαπλά πλεονεκτήματα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελέτησε καταρχάς τις έννοιες και τους ορισμούς των όρων Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) και Mixed Reality (MR), τις προϋποθέσεις, τα βασικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους, την αρχιτεκτονική σχεδιασμού τους και τα υλικά με τα οποία επιτυγχάνονται.

Επιπλέον, μελετήθηκαν και αναφέρονται τομείς και πεδία εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών, ειδικότερα δε όσον αφορά σε θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μέθοδοι και τεχνικές που αφορούν τόσο τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων όσο και την υποστήριξη των συστημάτων αυτών, ενώ παρατίθενται και παραδείγματα εφαρμογών στον τομέα του πολιτισμού.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται γενικά συμπεράσματα, ειδικότερα συμπεράσματα που αφορούν τον τομέα του πολιτισμού και προτάσεις του συντάξαντα.

Λέξεις κλειδιά: εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality, VR), επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality, AR), μικτή πραγματικότητα (Mixed Reality, MR), εικονικά περιβάλλοντα (Virtual Environments, VE), παρουσία (Presence, SOP), τεχνικές και μέθοδοι συλλογής δεδομένων, επεξεργασία δεδομένων.

Postgraduate Course "Geospatial Technologies"
Department of Surveying and Geoinformatics Engineering
UNIVERSITY OF WEST ATTICA, Athens, Greece

VIRTUAL REALITY TECHNIQUES IN THE FIELD OF CULTURAL HERITAGE

Diploma Thesis

Panagiotis Konis

Abstract

The fields of Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality are growing rapidly, especially in recent years. This is facilitated by technological developments in terms of material and technical equipment, as well as in terms of computing and programming capabilities, with the result that such systems are increasingly used in more areas. They offer a multitude of possibilities, demonstrating multiple advantages.

This dissertation first studied the concepts and definitions of the terms Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) and Mixed Reality (MR), their conditions, characteristics and requirements, their design architecture and materials with which they are implemented.

In addition, areas and fields of application of these technologies have been studied and reported, in particular with regard to cultural heritage issues. Next, methods and techniques related to both data collection and data processing, as well as the support of these systems are examined, while examples of applications in the field of cultural heritage are given.

The last part of the dissertation presents general conclusions, conclusions concerning the field of cultural heritage and suggestions of the author.

Keywords: Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR), Virtual Environments (VE), Presence (SOP), Data Collection Techniques and Methods, Data processing.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Αρκτικόλεξο Επιστημονικών Όρων	Σελ.	9.
Ευρετήριο Αγγλικών Επιστημονικών Όρων	Σελ.	11.
Κατάλογος πινάκων	Σελ.	14.
Ευρετήριο εικόνων (Πηγές εικόνων).....	Σελ.	14.
Εισαγωγή.....	Σελ.	19.
Το πλαίσιο της εργασίας.....	Σελ.	19.
Αντικείμενο και στόχος της εργασίας.....	Σελ.	19.
Διάρθρωση της εργασίας.....	Σελ.	19.
Μεθοδολογικό σημείωμα	Σελ.	21.
A. ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ.....	Σελ.	22.
A.1. Πολιτιστική κληρονομιά – Έννοιες και ορισμοί.....	Σελ.	22.
A.1α. Αρχιτεκτονική Κληρονομιά.....	Σελ.	23.
A.2. Προστασία και διαφύλαξη πολιτιστικής κληρονομιάς – Θεσμικό Πλαίσιο	Σελ.	24.
A.3. Τεκμηρίωση - καταγραφή	Σελ.	25.
B. ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΟΡΙΣΜΟΙ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ	Σελ.	29.
B.1. Εικονική πραγματικότητα – Η απαρχή - γένεση της έννοιας	Σελ.	29.
B.2. Ιστορική αναδρομή και βασικά σημεία-σταθμοί στην ιστορική εξέλιξη. Σελ.		30.
B.3. Εικονική πραγματικότητα ή VR (Virtual Reality)	Σελ.	37.
B.3.1 Εικονική πραγματικότητα – Προσέγγιση εννοιών - Ορισμοί	Σελ.	37.
B.3.2. Ορισμοί Παρουσίας και Τηλεπαρουσίας	Σελ.	42.
B.3.2.1. Τηλε-παρουσία και τηλε-χειρισμός (Telepresence and Teleoperation)	Σελ.	45.
B.3. Άλλοι ορισμοί	Σελ.	45.
B.3.1. Εισαγωγή χρήστη	Σελ.	48.
B.3.2. Αισθητηριακή ανάδραση	Σελ.	49.
B.3.2.1. Οπτική αντίληψη.....	Σελ.	49.

B.3.2.1.1α. Εντοπισμός οφθαλμών (Eye tracking)	Σελ.	50.
B.3.2.2. Η αντίληψη του ήχου	Σελ.	51.
B.3.2.3. Η αντίληψη θέσης, αφής και δύναμης.....	Σελ.	52.
B.3.2.4. Οσφρητική αντίληψη	Σελ.	53.
B.3.2.5 Συνέπειες χρήσης συστημάτων εικονικής πραγματικότητας	Σελ.	53.
Γ. ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ	Σελ.	55.
Γ.1. Σκοπός και βασικό ζητούμενο της εικονικής πραγματικότητας	Σελ.	55.
Γ.2. Βασικά χαρακτηριστικά εικονικών περιβαλλόντων	Σελ.	56.
Γ.2.1. Το τρίγωνο της εικονικής πραγματικότητας	Σελ.	56.
Γ.2.2. Πλοήγηση.....	Σελ.	57.
Γ.2.3. Αλληλεπίδραση	Σελ.	57.
Γ.2.4. Διαδραστικότητα	Σελ.	59.
Γ.2.5. Περιορισμοί	Σελ.	60.
Γ.2.6. Απαιτήσεις χωρικού ρεαλισμού.....	Σελ.	61.
Γ.2.7. Γενική Αρχιτεκτονική συστημάτων εικονικής πραγματικότητας	Σελ.	63.
Γ.2.8. Ταξινόμηση συστημάτων εικονικής πραγματικότητας	Σελ.	66.
Γ.2.9. Εικονική (VR) - Επαυξημένη (AR) - Μικτή (MR) Πραγματικότητα	Σελ.	69.
Γ.2.10. Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) - Ορισμοί	Σελ.	74.
Γ.2.10.1. Πώς λειτουργεί το AR	Σελ.	76.
Γ.2.11. Μικτή πραγματικότητα (MR)	Σελ.	85.
Γ.2.11.1. Τύποι οθονών μικτής πραγματικότητας	Σελ.	85.
Γ.2.11.2. Ταξινόμηση μικτής πραγματικότητας	Σελ.	86.
Γ.3. Τεχνολογία ενεργοποίησης: Υλικό/Εξοπλισμός (Hardware)	Σελ.	88.
Γ.3.1. Συσκευές εισόδου	Σελ.	89.
Γ.3.1.A. Το πληκτρολόγιο	Σελ.	89.
Γ.3.1.B. Το ποντίκι.....	Σελ.	89.
Γ.3.1.Γ. Χειριστήρια (Joysticks).....	Σελ.	89.
Γ.3.1.Δ. Haptics	Σελ.	90.
Γ.3.1.E. Το Motion capture suit	Σελ.	92.
Γ.3.2. Συσκευές εξόδου	Σελ.	92.
Γ.3.2.A. Στεροσκοπικά (τρισδιάστατα) γυαλιά	Σελ.	92.

Γ.3.2.Β. Κράνη ή μάσκες εικονικής πραγματικότητας (Head mounted Displays, HMD)	Σελ. 93.
Γ.3.2.Β.1. Είδη συσκευών HMD	Σελ. 95.
Γ.3.2.Γ. Σύνθετες συσκευές συστημάτων εικονικής πραγματικότητας	Σελ. 100.
Γ.3.2.Γ.1 Το σύστημα Binocular Omni-Orientation Monitor	Σελ. 100.
Γ.3.2.Γ.2 Διατάξεις CAVE (Cave Automatic Environment)	Σελ. 101.
Γ.3.2.Δ. Έξυπνες συσκευές (Smartphones, Tablets)	Σελ. 103.
Δ. ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΤΟΜΕΙΣ - ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	Σελ. 104.
Δ.1. Τομείς - Πεδία εφαρμογής	Σελ. 104.
Δ.2. Εικονική πραγματικότητα, Πολιτισμός και Διαχείριση Πολιτιστικής Κληρονομιάς	Σελ. 110.
Δ.2.1. Ψηφιακά - Εικονικά μουσεία και χώροι πολιτιστικής κληρονομιάς	Σελ. 110.
Δ.2.1α. Ταξινόμηση μουσείων	Σελ. 113.
Δ.2.1β. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Εικονικού Μουσείου	Σελ. 115.
Δ.2.1γ. Σύγχρονες τάσεις	Σελ. 119.
Δ.2.1δ. Συμπεράσματα περί εικονικών μουσείων	Σελ. 123.
Δ.2.1ε. Μία προσέγγιση αξιολόγησης AR εφαρμογών.....	Σελ. 124.
Δ.2.1στ. Επικαιρότητα	Σελ. 127.
Δ.2.2. Μουσεία και εφαρμογές στην ελληνική πραγματικότητα	Σελ. 128.
Ε. ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ	Σελ. 134.
Ε.1. Τεχνικές και μεθοδολογίες για τη συλλογή υποβάθρων	Σελ. 134.
Ε.1.1. Αποτύπωση και Γεωμετρική Τεκμηρίωση.....	Σελ. 134.
Ε.1.2. Προδιαγραφές Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	Σελ. 136.
Ε.1.3. Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων	Σελ. 137.
Ε.1.4. Διαδικασία Μετρήσεων και Επεξεργασία.....	Σελ. 147.
Ε.1.5. Παράδειγμα: 3D απόδοση με λήψεις από UAV	Σελ. 149.
Ε.1.6. Τηλεπισκόπηση	Σελ. 153.
Ε.1.7. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	Σελ. 156.
Ε.1.8. Εικονική Αρχαιολογία	Σελ. 157.
Ε.1.9. Εικονική πραγματικότητα και (κυβερνο)αρχαιολογία	Σελ. 159.

Ε.10. Ολογραφία και πολιτιστική κληρονομιά.....	Σελ. 160.
Ε.11. Παραδείγματα εφαρμογών στον τομέα του πολιτισμού	Σελ. 164.
ΣΤ. ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ και ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	Σελ. 190.
ΣΤ.1. Γενικά συμπεράσματα	Σελ. 190.
ΣΤ.2. Συμπεράσματα στον τομέα του Πολιτισμού	Σελ. 192.
ΣΤ.3. Προτάσεις	Σελ. 194.
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	Σελ. 198.
Βιβλιογραφία	Σελ. 199.

Αρκτικόλεξο Επιστημονικών Όρων

2D	Δισδιάστατο
3D	Τρισδιάστατο
3D-MURALE	3D Measurement and Virtual Reconstruction of Ancient Lost Worlds of Europe
AI	Artificial Intelligence
ALS	Airborne Laser Scanning
API	Application Interface
AR	Augmented Reality
AR-HMD	Augmented Reality Head Mounted Display
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
AV	Augmented Virtuality
BOOM	Binocular Omni-Orientation Monitor
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
Cad	Computer-aided design
CAVE	Cave Automatic Environment
CHM	Canopy Height Model
CH	Cultural Heritage
CRP	Close Range Photogrammetry
CMM	Coordinate Measuring Machine
CP	Control points
CPU	Central Processing Unit
DLT	Direct Linear Transformation
DEM	Digital Elevation Models
DGPS	Differential Global Positioning System
DoF	Degrees of Freedom
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
dSLR	digital Single Lens Reflex
ECCV	European Conference on Computer Vision
EPM	Extent of Presence Metaphor
ESA	Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία
EWK	Extent of World Knowledge
FoV	Field-of-View
Fps	Frames per second
GCP	Ground Control Points
GCS	Ground Control Station
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit
GSD	Ground Sample Distance
GUI	Graphical User Interface
HMD	Head Mounted Display
HPU	Holographic Processing Unit
HUD	Head Up Display
ICP	Iterative Closest Point
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMU	Inertial Measurement Unit

INS	Inertial Navigation System
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
iTACITUS	Intelligent Tourism and Cultural Information Through Ubiquitous Services
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Displays
LiDaR	Light Detection and Ranging
Mo-cap suit	Motion capture suit
MR	Mixed Reality
MVS	Multi View Stereo
NEMO	Network of European Museum Organisations
Pixel	Picture element
RPAS	Remotely Piloted Aerial Systems
SAR	Synthetic Aperture Radar
SDK	Software Development Kit
SfM	Structure from Motion
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
SLR	Single Lens Reflex
SOP	Sense of Place
SURF	Speeded-Up Robust Features
TLS	Terrestrial Laser Scanning
ToF	Time-of-Flight
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation
VE	Virtual Environment
VIHAP3D	Virtual Heritage: High-Quality 3D Acquisition and Presentation
Voxel	Volumetric pixel
VR	Virtual Reality
VR-HMD	Virtual Reality Head Mounted Display
VRML	Virtual Reality Modeling Language
XR	Extended Reality
IME	Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού
ΣμηΕΑ	Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών
ΥΣΜΑ	Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως

Ευρετήριο Αγγλικών Επιστημονικών Όρων

3D audio	Τρισδιάστατος ήχος
Airborne Laser Scanning	Αερομεταφερόμενη σάρωση με laser LiDaR
American Society for Photogrammetry and Remote Sensing	Αμερικανική Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης
Animation	Απόδοση κίνησης
Artificial Reality	Τεχνητή Πραγματικότητα
Audio Components	Ακουστικά στοιχεία
Auditory Rendering Unit	Μονάδα Ηχητικής Απόδοσης
Augmented Reality	Επαυξημένη πραγματικότητα
Augmented Virtuality	Επαυξημένη εικονική πραγματικότητα
Avionics	Σύστημα Πλοήγησης
Bidirectional Reflectance Distribution Function	Συνάρτηση κατανομής αμφίδρομης ανακλαστικότητας
Binocular	Διόφθαλμος, στερεοσκοπικός
Calibration	Βαθμονόμηση
Camera calibration	Βαθμονόμηση μηχανής
Clients	Φορητές συσκευές
Close Range Photogrammetry	Εγγύς Φωτογραμμετρία
CMM Measurements	Μέθοδοι μέτρησης εξ επαφής αποτύπωσης
Computer Graphics	Γραφικά υπολογιστή
Computer Vision	Όραση Υπολογιστών
Control points	Φωτοσταθερά Σημεία
Cultural Heritage	Πολιτιστική Κληρονομιά
Cyber-Archaeology	Κυβερνο-αρχαιολογία
Cybergloves	Απτικά γάντια
Cybersickness	Ζαλάδα κίνησης
Data glove	Γάντι δεδομένων
Data processing	Επεξεργασία δεδομένων
Data Recording	Εγγραφή δεδομένων
Datalink	Σύστημα Απομακρυσμένης Επικοινωνίας
DataSuit	Φόρμα-συσκευή εικονικής πραγματικότητας
Delay	Καθυστέρηση συστήματος
Dense matching	Πυκνή συνταύτιση σημείων
Dense Point Clouds	Πυκνό νέφος σημείων
Depth map	Χάρτης βάθους
Differential Global Positioning System	Διαφορικός Εντοπισμός
Digital Elevation Models	Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου
Digital Surface Models	Ψηφιακά Μοντέλα Επιφάνειας
Digital Terrain Models	Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους
Direct Linear Transformation	Άμεσος Γραμμικός Μετασχηματισμός
Directional Light	Κατευθυντική πηγή φωτός
Display	Οθόνη
Degrees of freedom	Βαθμοί ελευθερίας
Eye tracking	Παρακολούθηση οφθαλμών
Fiducial markers	Εικονοσήματα
Field-of-View	Οπτικό πεδίο θέασης
Flight Control System	Υπολογιστής Πτήσης
Force feedback	Εντύπωση δύναμης ή αντίστασης

Frames per second	Καρέ ανά δευτερόλεπτο
Gamification	Παιχνιδοποίηση
Geographic Information System	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
Geolocalization	Γεωεντοπισμός
Gestures	Χειρονομίες
Gesture Recognition	Αναγνώριση χειρονομιών
Gimbal Control	Σύστημα Ευστάθειας
Graphical User Interface	Γραφική Διεπαφή
Graphics Rendering Unit	Μονάδα Γραφικής Απόδοσης
Ground Control Points	Φωτοσταθερά Σημεία
Ground Control Station	Σταθμός ελέγχου εδάφους
Ground Sample Distance	Μέγεθος εδαφοψηφίδας
Hand measurements	Άμεσες μετρήσεις
Haptics	Απτικός, σχετικά με απτική τεχνολογία
Head Mounted Display	Κράνος ή μάσκα εικονικής πραγματικότητας
Head tracking	Παρακολούθηση της κίνησης του κεφαλιού
Image processing	Επεξεργασία εικόνας
Immersion	Εμβύθιση
Immersive	Εμβυθιστικός
Inertial Measurement Unit	Μονάδα αδρανειακού συστήματος
Inertial Navigation System	Σύστημα αδρανειακών αισθητήρων
Interaction	Αλληλεπίδραση, Διάδραση
Interactive	Διαδραστικός
Interface metaphors	Μεταφορές διεπαφής
Interpretation	Ερμηνεία
Joystick	Χειριστήριο
Kinematic Modeling	Κινηματικό μοντέλο
Lag	Καθυστέρηση συστήματος
Laser Scanners	Σαρωτές Laser
Local Area Network	Τοπικό δίκτυο
Matching	Αντιστοίχιση, συνταύτιση
Mediated Reality	Διαμεσολαβημένη πραγματικότητα
Mesh	Πολυγωνικό (τριγωνικό) πλέγμα επιφάνειας
Mixed Reality	Μικτή πραγματικότητα
Blurring	Φαινόμενα θόλωσης κατά την κίνηση
Motion capture suit	Φόρμα αναγνώρισης της κίνησης του σώματος
Motion sickness	Ζαλάδα λόγω κίνησης
Multi View Stereo	Πολυεικονική μέθοδος
Multimodal	Πολυτροπικό
Network of European Museum Organisations	Δίκτυο των Ευρωπαϊκών Οργανισμών Μουσείων
Olfactics	Οσφρητική αντίληψη
Phase Shift Comparison Laser	Σαρωτές μέτρησης διαφοράς φάσης
Point Clouds	Νέφη σημείων
Radiometric	Ραδιομετρικός
Reality-Virtuality Continuum	Συνεχές - εύρος – φάσμα εικονικής πραγματικότητας
Registration	Χωρική ένταξη ή αναφορά
Remote Sensing	Τηλεπισκόπηση
Remotely Piloted Aerial Systems	Συστήματα αεροσκαφών απομακρυσμένου χειρισμού
Rendering	Απόδοση
Roll-pitch-yaw	Οι στροφές (κ,φ,ω) περί τους άξονες X,Y,Z
Scene Generator	Γεννήτρια σκηνής

See-through	Διαφανής
Sense of Place	Αίσθηση παρουσίας
Sensing	Αίσθηση, Αναγνώριση
Sensors	Αισθητήρες
Simplification	Απλοποίηση
Simulation	Προσομοίωση
Simulator sickness	Ασθένεια του προσομοιωτή
Smartphones	«Έξυπνα κινητά»
Smoothing	Ομαλοποίηση
Sparse Point Cloud	Αραιό νέφος σημείων
Spatial	Χωρικός
Spectral	Φασματικός
Spot light	Προβολέας
Structure from Motion	Δομή από Κίνηση
Structured Light Laser	Σαρωτής Δομημένου Φωτός
Tactile measurements	Άμεσες μετρήσεις
Tangible Cultural Heritage	Απτή Πολιτιστική Κληρονομιά
Taxonomy	Ταξινόμηση
Teleoperation	Τηλεχειρισμός
Telepresence	Τηλεπαρουσία
Terrestrial Laser Scanning	Επίγεια σάρωση με Laser
Texture	Υφή
Texture Mapping	Απόδοση υφής
Time-of-Flight Laser	Σαρωτές Μέτρησης Χρόνου
Total Station	Γεωδαιτικός Σταθμός
Tracking	Ανίχνευση, Παρακολούθηση
Transmission	Μετάδοση
Triangulation	Τριγωνοποίηση
Triangulated Irregular Network	Πλέγμα Ακανόνιστου Τριγωνικού Δικτύου
Unmanned Aerial Vehicle	Μη επανδρωμένο αεροσκάφος
Validation	Αξιολόγηση, Επαλήθευση
Visualization	Απεικόνιση, Οπτικοποίηση
Virtual Environment	Εικονικό Περιβάλλον
Virtual Heritage	Εικονική Κληρονομιά
Virtual Museum	Εικονικό Μουσείο
Virtual Reality	Εικονική Πραγματικότητα
Virtual Reality Modeling Language	Γλώσσα Προγραμματισμού Εικονικής Πραγματικότητας
Volumetric Pixel	Ογκομετρικά εικονοστοιχεία
Walkthru	Περιήγηση
Wayfinding	Εύρεση Πορείας
Wireless Local Area Network	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ		Σελ.
1	Οι συμπληρωματικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων AR και VR. (Πηγή: Billinghurst et al., 2015)	83
2	Σύγκριση απαιτήσεων προσαρμογής εστίασης για διαφορετικούς χρήστες. (Πηγή: Chakravarthula et al., 2018).	84
3	Διαφορές μεταξύ των τρισδιάστατων μοντέλων υψηλής και χαμηλής ανάλυσης κάθε αντικειμένου. (Πηγή: Gonizzi Barsanti et al., 2015).	176

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ				
Εικόνα	Τίτλος	Πηγή	Τελευταία πρόσβαση	Σελ.
1α	Ο Morton Heilig	http://uschefnerarchive.com/morton-heilig-inventor-vr//	21/6/2020	31
1β	Το Sensorama	http://uschefnerarchive.com/morton-heilig-inventor-vr//	21/6/2020	31
1γ	Η μάσκα Telesphere Mask	http://uschefnerarchive.com/morton-heilig-inventor-vr//	21/6/2020	31
2α	Η διάταξη και η υλοποίηση του Sutherland (1968)	Billinghurst et al. 2015	Βιβλιογραφία	32
2β	Η διάταξη και η υλοποίηση του Sutherland (1968)	Sutherland 1968	Βιβλιογραφία	32
2γ	Η διάταξη και η υλοποίηση του Sutherland (1968)	Sutherland 1968	Βιβλιογραφία	32
3α	Η μάσκα του πιλότου	Billinghurst et al. 2015	Βιβλιογραφία	33
3β	Τα γραφικά που προβάλλονταν	Billinghurst et al. 2015	Βιβλιογραφία	33
4	Το Sayre Glove	https://www.evl.uic.edu/resizedImages/1280x720-sayreglove_sm.png	21/6/2020	34
5	Σκηνή από την ταινία STAR WARS 1	http://www.hih.org.gr/images/stories/article_images/Help_M_e_Obi-Wan_Kenobi.jpeg	21/6/2020	34
6	Υπολογιστική όραση και Γραφικά	Μουστάκας κ.ά. 2015, 17	Βιβλιογραφία	47
7α	Screen Door Effect	https://vrvisiongroup.com/wp-content/uploads/2018/05/oculus-rift-screen-door-photo-gallery-7-oculus-rift-screen-door-effect-672-x-618.jpg	30/7/2020	54
7β	Screen Door Effect	http://speedvr.co.uk/wp-content/uploads/2016/03/cXVsRoO.jpg	30/7/2020	54
7γ	Screen Door Effect στο σύστημα Oculus Rift DK2	https://www.researchgate.net/profile/Ruben_Garcia_Hernandez/publication/297760223/figure/fig8/AS:338521748459532@1457721282395/Screen-door-effect-on-Oculus-Rift-DK2-Left-complete-eye-Right-enhanced-view-of-centre.png	30/7/2020	54
8	Το τρίγωνο της εικονικής πραγματικότητας	http://sweb.cityu.edu.hk/sm2203/oldclass2007/lab1/toc02/index.html	21/6/2020	56
9	Προσομοίωση χεριών σε VR	https://knowledge.autodesk.com/support/vred-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/VRED/files/VR-and-VR-Setup/VRED-VR-and-VR-Setup-Hands-in-VR.html.html & https://www.youtube.com/watch?v=T8AWYLD9HX8	21/6/2020	61
10	Απαιτήσεις VR	https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/03/14/virtual-reality-here-and-its-amazing	21/6/2020	62
11	Δομή αρχιτεκτονικής μιας Μηχανής Εφαρμογών AR	Μουστάκας κ.ά. 2015	Βιβλιογραφία	65
12	Γενικό διάγραμμα τυπικής χρήσης VR με HMD	Μουστάκας κ.ά. 2015	Βιβλιογραφία	66
13	Ταξινόμηση πόρων VR βάσει συσκευών οπτικοποίησης - αλληλεπίδρασης	Vergara et al. 2017	Βιβλιογραφία	69
14	Virtuality continuum	Milgram & Kishino 1994	Βιβλιογραφία	70
15	Reality-Virtuality continuum	https://matteocurcio.com/how-mixed-reality-is-shaping-tomorrow-breaking-down-the-walls-between-atoms-and-pixels/	22/6/2020	71
16	Διαφορετικές πτυχές διάκρισης εννοιών πραγματικότητα και VR	Milgram & Kishino 1994	Βιβλιογραφία	71
17	Διαμεσολαβημένη Πραγματικότητα [Mann,	Billinghurst et al. 2015	Βιβλιογραφία	72

	1994]			
18	Mann's Mediality/Virtuality Continuum. (Mann, 2002)	Billinghurst et al. 2015	Βιβλιογραφία	72
19	Augmented Reality in the Metaverse taxonomy	Billinghurst et al. 2015	Βιβλιογραφία	73
20α	Παραδείγματα εικονοσημάτων	https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Munoz-Salinas/publication/260251570/figure/fig2/AS:549144105111558@1507937565871/Examples-of-fiducial-markers-proposed-in-previous-works.png	22/6/2020	78
20β	Κάμερα βάθους Microsoft Kinect 2	https://www.windowscentral.com/sites/wpcentral.com/files/styles/larger/public/field/image/2014/07/kinect_for_windows_v2.jpg	22/6/2020	78
21	Η Έκταση της παγκόσμιας γνώσης	Milgram & Kishino 1994 και Billinghurst 2017	Βιβλιογραφία	87
22	Πιστότητα αναπαραγωγής	Milgram & Kishino 1994 και Billinghurst 2017	Βιβλιογραφία	87
23	Η έκταση της παρουσίας	Milgram & Kishino 1994 και Billinghurst 2017	Βιβλιογραφία	87
24	Ο χώρος ταξινόμησης MR	Milgram & Kishino 1994 και Billinghurst 2017	Βιβλιογραφία	88
25α	Συσκευές εισόδου (ποντίκι, mouse)	https://bestware.com/media/catalog/product/cache/10d7ddd12609319fe193efea619d2163/a/h/ahr0cdovl2ltywdlcy5py2vjyqxuyml6l2lty9nywxsxj5lzmyodgxndg4zxcymdy1nzm3njauanbn.jpg	30/7/2020	89
25β	3D mouse	https://cdn-reichert.de/bilder/web/xxl_ws/E500/3DX_CONNEXION_SPACE_MOUSESEC_01.png	30/7/2020	89
25γ	3D mouse	https://cdn-reichert.de/bilder/web/artikel_ws/E500/3DX_SPACE_MOUSE_PRO_01.jpg	30/7/2020	89
25δ	Trackball Mouse	https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71ht0tz6LIL_AC_SL1500_.jpg	30/7/2020	89
26	Χειριστήριο (Joystick)	https://www.e-shop.gr/images/PER/PER.575240.jpg	30/7/2020	90
27α	Σχήμα που απεικονίζει τους άξονες και τις στροφές	https://www.jvejournals.com/article/15116	30/7/2020	90
27β	Άξονες και στροφές σε ένα HMD	http://www.onlinecmag.com/wp-content/uploads/2016/11/six-degrees-of-freedom.jpg?x43184	30/7/2020	90
28α	Απτικά γάντια	https://www.slant.co/topics/6103/~vr-gloves	30/7/2020	91
28β	Απτικά γάντια	https://cdn.trendhunterstatic.com/phphumbnails/377/377067/377067_2_800.jpeg	30/7/2020	91
29α	Το VPL Research Data Suit	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/VPL_DataSuit_1.jpg	22/6/2020	92
29β	Φόρμες εικονικής πραγματικότητας	https://cdn.alzashop.com/lmgW.ashx?fd=f4&cd=TSsuit01&i=1.jpg	30/7/2020	92
30	Στεροσκοπικά γυαλιά	https://www.divitec.gr/images/thumbs/0003643_benq-3d-glasses-dgd5-v2-prj-_510.jpeg	30/7/2020	92
31α	Παραδείγματα HMD οθονών προβολής: οπτικά διαφανής	https://www.windowscentral.com/sites/wpcentral.com/files/topic_images/2016/hololens-topic.png	22/6/2020	94
31β	Βίντεο-διαφανής (see-through)	https://cinoptics.com/wp-content/uploads/2014/09/Visette-45-ST-SXGA.jpg	22/6/2020	94
31γ	Οπτική συσκευή see-through	https://miro.medium.com/max/341/1*FO2x7Trg3CtA8UhCHsOv2g.jpeg	22/6/2020	94
32	Χρονολογική εμφάνιση συσκευών HMD	https://www.toptal.com/project-managers/technical/vr-project-management	22/6/2020	95
33	Google Cardboard	https://cache.kakiasoptics.gr/wp-content/uploads/2015/05/cardboard10.jpg	30/7/2020	95
34	Samsung Gear VR	https://www.amazon.com/Samsung-Gear-Innovator-Discontinued-Manufacturer/dp/B00XBJLBC	30/7/2020	96
35α	Το πρώτο σύστημα της HTC Vive Pro	https://www.vive.com/media/filer_public/vive/product-listing/cosmos-elite.png	22/6/2020	96
35β	Το νεότερο, HTC Vive Cosmos	https://www.vive.com/media/filer_public/vive/product-listing/cosmos-elite.png	22/6/2020	96
36	Sony PlayStation VR	https://www.playstation.com/el-gr/explore/playstation-vr/	22/6/2020	97
37α	Oculus Rift (το πρώτο μοντέλο)	https://a.scdn.gr/images/sku_main_images/010414/10414449/20161117145430_oculus_rift.jpeg	30/7/2020	98

37β	Oculus Go	https://d.scdn.gr/images/sku_images/020417/20417258/20180504125955_11456e02.jpeg	30/7/2020	98
37γ	Oculus Quest	https://www.bestdeals.gr/images/detailed/38/Oculus_y1hd-gs.jpg	30/7/2020	98
38	Microsoft HoloLens	https://www.microsoft.com/en-us/hololens	22/6/2020	98
39α	Magic Leap	https://www.magicleap.com/	22/6/2020	98
39β	Google Glass	https://el.wikipedia.org/wiki/Google_Glass	22/6/2020	98
40α	Sony Smart Eyeglass	https://d11zer3aoz69xt.cloudfront.net/media/catalog/product/cache/1/image/1200x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/s/o/sony_smart_eyeglass_augmented_reality_glasses_sede1_.jpg	22/6/2020	99
40β	Moverio BT-30C Controller	https://tech.moverio.epson.com/en/bt-30c/images/feature_01.png	22/6/2020	99
41	Γυαλιά AR Focals by North	https://www.bynorth.com/ , και https://www.youtube.com/watch?v=8FlvL2yLmWg	22/6/2020	100
42	Lenovo ThinkReality A6	https://images.anandtech.com/doci/14342/03_Think_Reality_A6_Product_Photography_Front_Facing_Left-678_678x452.jpg	22/6/2020	100
43	Το Binocular Omni-Orientation Monitor (BOOM)	Μουστάκας κ.ά. 2015, 194	Βιβλιογραφία	101
44	Η διάταξη CAVE	https://1.bp.blogspot.com/-HWjcQjSDhCU/Wk1YKSWKbni/AAAAAAAAACs/2AKDYCPiJh8prYUzB239khw-KuLORUsQCLcBGAs/s1600/CAVE-Cave-Automatic-Virtual-Environment.jpg	22/6/2020	102
45	Η διάταξη CAVE2	http://umowlai.com.au/wp-content/uploads/2014/09/cave-2-umow-lai-2.jpg	22/6/2020	102
46	Συστήματα AR για στρατιωτική χρήση	https://hips.hearstapps.com/hmg-prod.s3.amazonaws.com/images/4148275-1572371158.jpg?resize=980:*	30/7/2020	104
47α,β	Το σύστημα Wayray	https://wayray.com/pressarea/presskit/roundc#roundc https://www.youtube.com/watch?v=FIbTuK3RnY	22/6/2020	110
48	Το προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης	Spacca et al. 2018	Βιβλιογραφία	125
49	Παιδιά που εξερευνούν μνημεία κληρονομιάς στο Magic Screen	Roussou 2001	Βιβλιογραφία	129
50	Οι επισκέπτες στο σύστημα Κίνωτος	Roussou 2001	Βιβλιογραφία	130
51α	Ο ναός του Δία στην Ολυμπία	Roussou 2001	Βιβλιογραφία	131
51β	Το διάσημο άγαλμα του Δία στην Ολυμπία. Αποψη εκ της εισόδου του ναού	Roussou 2001	Βιβλιογραφία	131
52	Στιγμιότυπο οθόνης από το Μουσείο Παιχνιδιών	https://sites.google.com/site/greektoysvirtualmuseum/collection/room-4	30/7/2020	132
53α	Ταξινόμηση	Boehler & Heinz 1999	Βιβλιογραφία	138
53β	Κατάλληλες μέθοδοι τοπογράφησης	Boehler & Heinz 1999	Βιβλιογραφία	138
54α	Τεχνικές γεωματικής για την απόκτηση 3D δεδομένων	Remondino & Campana, 2014, 14	Βιβλιογραφία	139
54β	Μέθοδοι Μέτρησης	Γεωργόπουλος 2015	Βιβλιογραφία	139
55	Μέτρηση με GPS διπλής συχνότητας	https://www.researchgate.net/publication/317199863/figure/fig2/AS:499371571257349@1496070868585/Differential-GNSS-with-RTK-Positioning.png	30/7/2020	141
56	Δεδομένα LIDAR	Remondino & Campana, 2014, 30	Βιβλιογραφία	142
57	Κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών	Σκαμαντζάρη 2015	Βιβλιογραφία	142
58	Είδη σαρωτών	Canevese & De Gottardo 2017	Βιβλιογραφία	143
59	Προβολή χρωματικά κωδικοποιημένου μοτίβου	DIGITECH III 2005, 102	Βιβλιογραφία	143
60	Αρχή του τριγωνισμού	Remondino & Campana, 2014, 40	Βιβλιογραφία	143

61	α)Ένα τυπικό επίγειο δίκτυο εικόνων για βαθμονόμηση μηχανής, β)Ένα σύνολο επίγειων εικόνων για τρισδιάστατη ανακατασκευή	Remondino & Campana, 2014, 68	Βιβλιογραφία	146
62	Διάφοροι τύποι ανακατασκευής	Remondino & Campana, 2014, 71	Βιβλιογραφία	146
63	Μέθοδοι απεικόνισης τρισδιάστατων δεδομένων	DIGITECH III 2005, 151	Βιβλιογραφία	149
64	Διάγραμμα τυπικής ροής εργασιών για λήψη & επεξεργασία εικόνων (UAV)	Remondino & Campana, 2014, 77	Βιβλιογραφία	150
65	Εφαρμογή	Remondino & Campana, 2014, 80	Βιβλιογραφία	152
66	Αποτελέσματα επεξεργασίας	Remondino & Campana, 2014, 81	Βιβλιογραφία	153
67	Πώς επηρεάζεται η φυτοκάλυψη από την ύπαρξη αρχαιοτήτων	Παρχαρίδης 2015, 177	Βιβλιογραφία	155
68	Σύγκριση εικόνων Quickbird	Παρχαρίδης 2015, 178	Βιβλιογραφία	155
69α	Ψηφιακή αναπαράσταση ιωνικού κίονα και θριγκού	Κουρτζέλης 2009	Βιβλιογραφία	158
69β	Φωτορεαλιστική ψηφιακή αναπαράσταση Ερεχθείου	Κουρτζέλης 2009	Βιβλιογραφία	158
70	Ψηφιακός Ερμηνευτικός Κύκλος	Remondino & Campana, 2014, 116	Βιβλιογραφία	159
71	Η τεχνική χρώματος του Gabriel Lippmann	http://holocenter.org/wp-content/uploads/lipppmanns-color-tech.jpg	22/6/2020	161
72	Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της ολογραφικής αποθηκευτικής συσκευής	DIGITECH, εικόνα 103, 315-316	Βιβλιογραφία	162
73	Η 5η Καρυάτις από την Ακρόπολη των Αθηνών	http://www.hih.org.gr/images/stories/article_images/karyatis_000322.jpg	22/6/2020	163
74α	Η Αρχιτεκτονική του φορητού συστήματος LIFEPLUS	Papagiannakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	167
74β	Η ροή δεδομένων	Papagiannakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	167
75	Προσομοίωσης μικτής πραγματικότητας σε διάφορες κατοικίες της Πομπηίας	Papagiannakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	168
76	Παράδειγμα κινούμενων εικονικών χαρακτήρων μικτής πραγματικότητας στην τοποθεσία της αρχαίας Πομπηίας (προβολή από το φορητό σύστημα)	Magnenat-Thalmann & Papagiannakis 2006	Βιβλιογραφία	169
77	Αρχιτεκτονική του συστήματος	Vlahakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	170
78	Αρχή λειτουργίας διαφορικού GPS	Ζησόπουλος & Παραδείσης, 2006	Βιβλιογραφία	171
79α	Ερείπια του ναού της Ήρας	Vlahakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	172
79β	Επαύξηση τρισδιάστατου μοντέλου του ναού	Vlahakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	172
79γ	Ο χρήστης με τον εξοπλισμό	Vlahakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	172
80	Αθλητές Avatar που ανταγωνίζονται στο στάδιο στην αρχαία Ολυμπία	Vlahakis et al. 2002	Βιβλιογραφία	172
81	Το διάγραμμα ροής της πλατφόρμας M.A.G.E.S.	Geronikolakis et al. 2019	Βιβλιογραφία	174
82	Διάγραμμα εφαρμογής Ελεγκτή συσκευών	Geronikolakis et al. 2019	Βιβλιογραφία	174
83	Κύρια εικόνα της εφαρμογής	Geronikolakis et al. 2019	Βιβλιογραφία	175

84α	Αλληλεπίδραση με τη Βόρεια Πύλη (παλάτι Κνωσού)	Geronikolakis et al. 2019	Βιβλιογραφία	175
84β	Το παλάτι Sponza	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/89/SPONZA_PLACE_AT_NIGHT%2C_DUBROVNIK.jpg/1280px-SPONZA_PLACE_AT_NIGHT%2C_DUBROVNIK.jpg	22/6/2020	175
85	Εικόνες από την εφαρμογή VR	Gonizzi Barsanti et al. 2015	Βιβλιογραφία	177
86	Σύγκριση οπτικών πεδίων μεταξύ Oculus & Leap Motion	Gonizzi Barsanti et al. 2015	Βιβλιογραφία	177
87	Άποψη από την εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας	Gonizzi Barsanti et al. 2015	Βιβλιογραφία	178
88	Κεντρική ιστοσελίδα ιστότοπου Virtual Romans	Higgett 2016	Βιβλιογραφία	179
89α	Ερείπια του Αβαείου	https://www.english-heritage.org.uk/siteassets/home/visit/places-to-visit/st-augustines-abbey/st-augs-icon-hero.jpg?w=1440&h=612&mode=crop&scale=both&quality=60&anchor=&WebsiteVersion=20200609111558	22/6/2020	180
89β	Ερείπια του Αβαείου	https://www.english-heritage.org.uk/siteassets/home/visit/places-to-visit/st-augustines-abbey/st-augustines-block-1.jpg?w=1440&mode=none&scale=downscale&quality=60&anchor=&WebsiteVersion=20200609111558	22/6/2020	180
90α	Τρισδιάστατες ανακατασκευές	https://www.medievalists.net/wp-content/uploads/2017/07/St-Aug-Entrance-4K-e1497885702396-1862x1280-768x528.jpg	22/6/2020	180
90β	Τρισδιάστατες ανακατασκευές	https://www.medievalists.net/wp-content/uploads/2017/07/Abbey-Cloister-4K-1707x1280-768x576.jpg	22/6/2020	180
91	Το άγαλμα του Λεονάρντο ντα Βίντσι	Battini & Landi 2015	Βιβλιογραφία	181
92α	Βήματα έρευνας	Battini & Landi 2015	Βιβλιογραφία	182
92β	Διάγραμμα ροής	Battini & Landi 2015	Βιβλιογραφία	182
93	Στάδια επεξεργασίας	Battini & Landi 2015	Βιβλιογραφία	183
94	Τοπογραφική και φωτογραμμετρική έρευνα	Canciani et al. 2016	Βιβλιογραφία	185
95	Ροή εργασιών – μεθοδολογία	Albourae et al. 2017	Βιβλιογραφία	186
96	Ενσωμάτωση συλλεχθέντων δεδομένων και εξαγωγή μοντέλων CAD/GIS	Albourae et al. 2017	Βιβλιογραφία	187
97	Εικόνες από την εφαρμογή «Αγία Σοφία: 1.500 Χρόνια Ιστορίας»	http://agiasophia.tholos254.gr/gr/index.html http://agiasophia.tholos254.gr/images/img1.jpg http://agiasophia.tholos254.gr/images/img6.jpg , http://agiasophia.tholos254.gr/images/img8.jpg	22/6/2020	188
98	Άποψη της εφαρμογής	https://www.wearvr.com/apps/magi-chapel-vr	22/6/2020	188
99α	Η εμπειρία μέσω HMD στην έκθεση	https://news.artnet.com/app/news-upload/2019/11/VR-1024x768.jpg	22/6/2020	189
99β	Άποψη της εφαρμογής	https://www.virtual-reality-shop.co.uk/wp-content/uploads/2019/10/Egypt-2.jpg	22/6/2020	189
100α	Πραγματική εικόνα του παρεκκλησίου	https://www.wga.hu/art/g/giotto/padova/00view.jpg	22/6/2020	189
100β	Στιγμιότυπο της εφαρμογής Scrovegni Chapel VR	https://www.matthewbrennan.io/projects	22/6/2020	189

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πλαίσιο της εργασίας

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονείται στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Γεωχωρικές Τεχνολογίες» του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Έναυσμα για την επιλογή του θέματος αποτέλεσε μια εργασία στο πλαίσιο μαθήματος του ΠΜΣ, στο οποίο είχα μαζί με συναδέλφους μου την τύχη να ερευνήσουμε μια τεχνική προσέγγιση τρισδιάστατης απεικόνισης, η οποία μου κέντρισε το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα και μελέτη του αντικειμένου αυτού, υπό το πρίσμα επιπλέον του ότι εργάζομαι και σε έναν φορέα που έχει άμεση σχέση με τον πολιτισμό.

Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει τους όρους Virtual Reality και Augmented Reality, να παρουσιάσει τους ορισμούς που κατά καιρούς έχουν δοθεί για τις έννοιες και τις τεχνολογίες αυτές, τη λογική στην οποία στηρίζονται και τα βασικά χαρακτηριστικά τους, να περιγράψει τη διάρθρωση, τα υλικά, τους παράγοντες που συναρτούν τους όρους αυτούς, τις εφαρμογές των τεχνολογιών σήμερα, να αναλύσει πώς αυτές και σε ποιο βαθμό υλοποιούνται και εφαρμόζονται στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς και, τέλος, να περιγράψει πώς και με ποιες τεχνικές μπορεί γενικά αυτό να υλοποιηθεί. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών αυτών και το πώς μπορούν να συνδράμουν τόσο στην καταγραφή και τεκμηρίωση της «ψηφιακής κληρονομιάς», όσο και τις δυνατότητες που δίνουν στη διαχείριση, την αξιοποίηση και την ανάπτυξή της, ώστε να αποτελούν μέσο που θα προάγει την πολιτιστική μας κληρονομιά με έναν σύγχρονο, ενδιαφέροντα και παράλληλα ακριβή τρόπο.

Διάρθρωση της εργασίας

Στο πρώτο μέρος πραγματοποιείται μια επισκόπηση του όρου πολιτιστική κληρονομιά, δίδονται ορισμοί που έχουν αποδοθεί στον όρο αυτό και παρουσιάζεται το σχετικό θεσμικό πλαίσιο, καθώς και το καθεστώς προστασίας της.

Στο δεύτερο μέρος περιγράφονται η απαρχή της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας και μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των τεχνολογιών αυτών

με αναφορά σε βασικά σημεία-σταθμούς, καθώς και οι εμπλεκόμενοι όροι όσο και οι ορισμοί των εννοιών των τεχνολογιών αυτών.

Στο τρίτο μέρος γίνεται αναφορά στον σκοπό, τα βασικά χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς της τεχνολογίας αυτής, καθώς και την αρχιτεκτονική και την ταξινόμηση των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια υπάρχει λεπτομερής αναφορά των όρων επαυξημένη και μικτή πραγματικότητα. Τέλος, παρουσιάζεται η υλικοτεχνική υποδομή που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση των τεχνολογιών και συστημάτων αυτών, με αναφορά και στους τύπους υλικού που υπάρχουν σήμερα στην αγορά.

Στο τέταρτο μέρος γίνεται αναφορά σε διάφορους τομείς οι οποίοι επιδιώκουν να εκμεταλλευτούν οφέλη από τη χρήση των τεχνολογιών εικονικής, επαυξημένης και μικτής πραγματικότητας. Έπειτα γίνεται ειδική αναφορά στον τομέα του πολιτισμού, στα εικονικά μουσεία, την ταξινόμηση των μουσείων, τα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματά τους, τις νέες τάσεις στον τομέα του πολιτισμού και σε συμπεράσματα με βάση τα ανωτέρω. Επιπλέον παρουσιάζεται μια ενδιαφέρουσα πρόσφατη προσέγγιση αξιολόγησης εφαρμογών AR, η οποία μπορεί να αφορά και συστήματα VR. Τέλος, υπάρχει και μια αναφορά στη τρέχουσα επικαιρότητα, όπως δηλαδή φάνηκε να επηρεάζει τον τομέα του πολιτισμού η πανδημία του κορωνοϊού.

Στο πέμπτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται τεχνικές που εφαρμόζονται για τη συλλογή δεδομένων πεδίου, είτε για την καταγραφή και γεωμετρική τεκμηρίωση των πολιτιστικών αντικειμένων, μνημείων, κατασκευών και χώρων είτε για να χρησιμοποιηθούν αυτά ως δεδομένα εισόδου σε διαδικασίες τρισδιάστατων ανακατασκευών, οι οποίες χρησιμεύουν αφενός μεν στην απόλυτη γεωμετρική τεκμηρίωσή τους, αφετέρου δε, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εικονικά μουσεία για να παρέχουν αναβαθμισμένη εμπειρία στον επισκέπτη, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για να συνδράμουν παράλληλα συστήματα επαυξημένης, μικτής ή και εικονικής πραγματικότητας πλήρους εμπύθισης. Επιπλέον, αναλύονται περαιτέρω οι τρόποι και οι μεθοδολογίες των επιμέρους τεχνικών επεξεργασίας που ακολουθούνται προς αυτήν την κατεύθυνση, με παρουσίαση και κάποιων εφαρμογών στον τομέα του πολιτισμού.

Στο έκτο και τελευταίο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, ακολουθούμενα από την χρησιμοποιηθείσα βιβλιογραφία.

Μεθοδολογικό σημείωμα

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία χαρακτηρίζεται από την προσέγγιση των εννοιών της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας από πολλές πλευρές, με προσέγγιση του αντικειμένου αρχικώς μέσω βασικής βιβλιογραφίας που αφορά στις τεχνολογίες αυτές, και εν συνεχεία την ανάγνωση και έρευνα μέσω Διαδικτύου για ανεύρεση και κατανόηση εννοιών, διαδικασιών και υλικών. Έπειτα, και αφού επετεύχθη μια συνολική και κατά το δυνατόν σφαιρική αντίληψη των τεχνολογιών αυτών, ακολουθήθηκε η μελέτη σχετικής ειδικής βιβλιογραφίας και η αναζήτηση δημοσιεύσεων και άρθρων της επιστημονικής κοινότητας με σχετικές προσεγγίσεις, εφαρμογές και αναλύσεις υλικών και διαδικασιών. Από τη μελέτη αυτή ξεχώρισαν οι άμεσα σχετικές δημοσιεύσεις, ενώ πολλές λιγότερο σχετικές, παρεμφερείς ή πολύ εξειδικευμένες εργασίες μελετήθηκαν αλλά τελικά αποκλείστηκαν από την τελική επιλογή. Δεδομένου ότι το αντικείμενο των εν λόγω τεχνολογιών είναι εξαιρετικά ευρύ και η επιστημονική κοινότητα σε όλα τα μήκη και πλάτη της υφηλίου προσπαθεί να μελετήσει επιτεύγματα, αποτελέσματα, επιρροές και συνέπειες, και μάλιστα μέσω πολυ-επιστημονικής προσέγγισης, δηλαδή από επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, το εύρος των δημοσιεύσεων για αναζήτηση των λημμάτων εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality ή VR) και επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality ή AR) θα μπορούσε να πει κανείς πως είναι πρακτικά «άπειρο». Προσωπικά, μού προκάλεσε εντύπωση πως παλαιές δημοσιεύσεις, ειδικά συντακτών που θεωρούνται «πατέρες» των τεχνολογιών αυτών, πωλούνται στο Διαδίκτυο από οργανισμούς, ενώ παράλληλα πολλές μπορούν να ανευρεθούν σε άλλους διαδικτυακούς τόπους και δωρεάν, στο πλαίσιο διάχυσης της πληροφορίας και γνώσης.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

A.1. Πολιτιστική κληρονομιά – Έννοιες και ορισμοί

Η Ελλάδα είναι μια χώρα που λόγω της μακραίωνης ιστορίας της διαθέτει πολλά τεκμήρια που μαρτυρούν την ύπαρξη ζωής και την οργάνωση κοινωνιών ήδη από την προϊστορική εποχή. Με το πέρασμα των αιώνων, όπως αποτυπώνεται σε όλη την επικράτειά της, συναντούμε οικισμούς, αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία που χρονολογούνται σε διάφορες χρονικές και ιστορικές περιόδους. Όλα αυτά τα στοιχεία που αντανakλούν την πολιτιστική διαδρομή των ανθρώπων που έζησαν στην εδαφική έκταση της ελληνικής επικράτειας, και διασώζονται ολικώς ή μερικώς, συνθέτουν την πολιτιστική κληρονομιά της χώρας.

Η πολιτιστική κληρονομιά, λοιπόν, περιλαμβάνει πολιτιστικά αγαθά, τόπους και μνημεία, κάποια από τα οποία μάλιστα (δεκαοκτώ τον αριθμό) χαρακτηρίζονται διεθνώς ως Μνημεία Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Ουνέσκο¹.

“Με τον όρο Πολιτιστική Κληρονομιά νοούνται όλα τα μνημεία, αλλά και κάθε είδους τεκμήριο πολιτισμού. Δηλαδή κάθε αντικείμενο, τέχνημα, κατασκευή, μικρή ή μεγάλη, που φανερώνει την πνευματική δραστηριότητα του ανθρώπου στο απώτερο ή στο πρόσφατο παρελθόν. Η Πολιτιστική Κληρονομιά ουσιαστικά αποτελεί έναν σημαντικό φορέα ιστορικής μνήμης και επομένως θεωρείται -και είναι- η κιβωτός του εθνικού και του παγκόσμιου πολιτισμού.

Στην Πολιτιστική Κληρονομιά περιλαμβάνονται τα υλικά μνημεία, όπως είναι οι μόνιμες κατασκευές, πχ. ναοί, οχυρωματικά έργα, τάφοι, ανάκτορα κ.ά., αλλά και τα κινητά μνημεία, πχ. κειμήλια, αγγεία, εικόνες, εργαλεία, κοσμήματα κ.ά. Επίσης όμως στον όρο αυτόν περιλαμβάνονται και άυλα μνημεία, ή καλύτερα, τεκμήρια πολιτισμού, όπως είναι τα τραγούδια, οι χοροί, λογοτεχνικά ή επιστημονικά κείμενα, μουσική, τελετουργίες, ήθη και έθιμα και εν γένει ό,τι έδινε την ζωή και την πνοή στα υλικά μνημεία” (Γεωργόπουλος, 2015).

Ακόμα: *“Το ευρύ πεδίο της Πολιτιστικής Κληρονομιάς αποτελείται και χαρακτηρίζεται από Άυλες και Υλικές αξίες, που αυτές με τη σειρά τους*

¹ Ο χαρακτηρισμός-τίτλος Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της Unesco απονέμεται σε μνημεία, κτίσματα ή τοποθεσίες, τα οποία διακρίνονται παγκοσμίως για την ιστορική, πολιτιστική, καλλιτεχνική ή περιβαλλοντική σημασία τους. Η διαχείρισή τους γίνεται από την επιτροπή παγκόσμιας κληρονομιάς της Unesco, η οποία απαρτίζεται από 21 κράτη-εταίρους, εκλεγμένα από τη γενική συνέλευση των κρατών-εταίρων για μια καθορισμένη περίοδο. (Πηγή: Wikipedia).

διαμορφώνουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός λαού. Τα Μνημεία, οι Αρχαιολογικοί χώροι, τα Διατηρητέα Κτήρια, τα Μουσεία, οι Οικισμοί, τα Υποθαλάσσια Ευρήματα, η Αρχιτεκτονική, ο Χορός, το Τραγούδι και ο Λόγος, τα Έθιμα και οι Παραδόσεις, είναι κάποια από τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν τον Πολιτισμό ενός Τόπου στο σύνολό του” (Κόκοτου & Νομπιλιάκης 2015).

Επιπλέον, με τον όρο Πολιτιστική Κληρονομιά (Cultural Heritage, CH) είθισται να αναφερόμαστε στην αναπαράσταση ιστορικών τόπων και παραδοσιακών εθίμων. Κύριος στόχος εν προκειμένω είναι να μεταδώσει στις μελλοντικές γενιές στοιχεία των προγόνων που αφορούν στις δομές, τις κατασκευές, τα επιτεύγματα αλλά και τον τρόπο ζωής τους (Vargas et al., 2020).

Τέλος, η Πολιτιστική Κληρονομιά διακρίνεται σε απτή (Tangible CH), όρος που χρησιμοποιείται για αντικείμενα όπως πίνακες ζωγραφικής, γλυπτά, μνημεία, κατασκευές που έχουν αρχαιολογικό χαρακτήρα κ.λπ., και άυλη, που εξετάζει δηλαδή πτυχές όπως προφορικές παραδόσεις και εκφράσεις, μουσική, κοινωνικές πρακτικές, τελετές, εορταστικές εκδηλώσεις, γνώσεις προηγούμενων γενεών (Vargas et al., 2020).

Ένα συνώνυμο της CH σε εικονικά περιβάλλοντα είναι η εικονική κληρονομιά (Virtual Heritage, VH), όπου χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά μέσα για την ανακατασκευή πολιτιστικών στοιχείων από το παρελθόν και το παρόν (Zabulis et al., 2010, και Vargas et al., 2020).

Η πολιτιστική καθώς και η ιστορική κληρονομιά ενός τόπου συνθέτουν την εθνική ταυτότητα των κατοικούντων σε αυτόν και κατ’ επέκταση του έθνους, και είναι απόλυτα συνδεδεμένες με αυτό. Ως εκ τούτου, διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στη διαμόρφωση της συλλογικής μνήμης ενός έθνους. Παράλληλα, γεφυρώνουν το απώτερο παρελθόν με το παρόν και αποτελούν σημεία αναφοράς (Albourae et al., 2017).

A.1α. Αρχιτεκτονική Κληρονομιά

Ειδικότερα, στην Αρχιτεκτονική Κληρονομιά περιλαμβάνονται:

1. Τα μνημεία, όπου ως μνημείο ορίζεται κάθε κατασκευή ιδιαίτερα σημαντική λόγω του ιστορικού, αρχαιολογικού, καλλιτεχνικού, επιστημονικού, κοινωνικού ή τεχνικού της ενδιαφέροντος, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων ή διακοσμητικών στοιχείων που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα τους.

2. Τα αρχιτεκτονικά σύνολα, που αποτελούν ομοιογενή σύνολα αστικών ή αγροτικών κατασκευών σημαντικών λόγω του ιστορικού, αρχαιολογικού, καλλιτεχνικού, επιστημονικού, κοινωνικού ή τεχνικού τους ενδιαφέροντος, συναφή μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν ενότητες που να μπορούν να οριοθετηθούν χωρικά.
3. Οι τόποι, που αποτελούν σύνθετα έργα του ανθρώπου και της φύσης, εν μέρει κτισμένα, τα οποία αποτελούν εκτάσεις τόσο χαρακτηριστικές και ομοιογενείς, ώστε να μπορούν να οριοθετηθούν τοπογραφικά, και είναι σημαντικά λόγω του ιστορικού, αρχαιολογικού, καλλιτεχνικού, επιστημονικού, κοινωνικού και τεχνικού τους ενδιαφέροντος.

Στον όρο πολιτιστική κληρονομιά συμπεριλαμβάνονται και έννοιες όπως η αρχή της πολιτιστικής κληρονομιάς, που σκοπεύει να διασώσει τα πιο σπουδαία ανθρωπογενή συστήματα, αρχιτεκτονικά σύνολα και τόπους, και η αρχή διατηρήσεως της πολιτιστικής κληρονομιάς, που αποσκοπεί στη διατήρηση των μνημείων κ.λπ.

Έτσι, τίθεται και η έννοια της διατήρησης, διαφύλαξης και προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η διαφύλαξη και προστασία των ιστορικών τόπων και μνημείων που αναδεικνύουν την ιστορία της χώρας αποτελεί επιτακτική ανάγκη.

A.2. Προστασία και διαφύλαξη πολιτιστικής κληρονομιάς – Θεσμικό πλαίσιο

Η διαφύλαξη και προστασία των ιστορικών τόπων και μνημείων που καταδεικνύουν την ιστορία της χώρας αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Αυτή η προστασία διέπεται θεσμικά από τον αρχαιολογικό νόμο Ν. 3028/28-6-2002, δημοσιευμένο στο ΦΕΚ 153/Α/28-6-2002, «Περί προστασίας των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς».

Στο άρθρο 1 ως αντικείμενο του νόμου ορίζονται τα κάτωθι:

1. Στην προστασία που παρέχεται με τις διατάξεις του παρόντος νόμου υπάγεται η πολιτιστική κληρονομιά της Χώρας από τους αρχαιοτάτους χρόνους μέχρι σήμερα. Η προστασία αυτή έχει ως σκοπό τη διατήρηση της ιστορικής μνήμης χάριν της παρούσας και των μελλοντικών γενεών και την αναβάθμιση του πολιτιστικού περιβάλλοντος.

2. Η πολιτιστική κληρονομιά της Χώρας αποτελείται από τα πολιτιστικά αγαθά που βρίσκονται εντός των ορίων της ελληνικής επικράτειας, συμπεριλαμβανομένων των

χωρικών υδάτων, καθώς και εντός άλλων θαλάσσιων ζωνών στις οποίες η Ελλάδα ασκεί σχετική δικαιοδοσία σύμφωνα με το διεθνές δίκαιο. Η πολιτιστική κληρονομιά περιλαμβάνει και τα άυλα πολιτιστικά αγαθά.

3. Στο πλαίσιο των κανόνων του διεθνούς δικαίου, το Ελληνικό Κράτος μεριμνά και για την προστασία των πολιτιστικών αγαθών που προέρχονται από την ελληνική επικράτεια οποτεδήποτε και αν απομακρύνθηκαν από αυτήν. Το Ελληνικό Κράτος μεριμνά επίσης στο πλαίσιο του διεθνούς δικαίου για την προστασία των πολιτιστικών αγαθών που συνδέονται ιστορικά με την Ελλάδα οπουδήποτε και αν βρίσκονται.

A.3. Τεκμηρίωση - Καταγραφή

Για την επίτευξη της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτείται να πραγματοποιηθεί η καταγραφή και η τεκμηρίωσή της. Παράλληλα, πέραν από τη διαφύλαξη μέσω της καταγραφής και της τεκμηρίωσης, μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα ο πολιτιστικός πλούτος και να αποτελέσει εφελκυστήρα για την καλύτερη διαχείριση και αξιοποίησή του.

Η ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσω της ψηφιακής τεκμηρίωσης, της αποκατάστασης ή της απεικόνισης πολιτιστικών αγαθών, της δημιουργίας ψηφιακών εκθέσεων, συλλογών και διαδραστικών πολυμεσικών εφαρμογών συντελεί σημαντικά στη συντήρηση, την προώθηση και τη διάδοση του πολιτιστικού θησαυρού της χώρας (Χίου, 2015).

Η ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς ανοίγει τη δυνατότητα χρήσης επεξεργασίας και ανάλυσης για τη διατήρησή της για τις μελλοντικές γενιές, εμπλουτίζοντάς τη με πρόσθετες πληροφορίες ή με νέες δυνατότητες για την απόλαυση και χρήση της. Η πιστή ψηφιακή απόδοση των μνημείων και συνόλων κρίνεται απαραίτητη τόσο για την ερμηνεία και τη μελέτη τους όσο και για τη διατήρησή τους, λ.χ. κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αποκατάστασης. Η εφαρμογή λύσεων ψηφιακής απεικόνισης και τρισδιάστατης ανακατασκευής αρχαίων έργων τέχνης επιτρέπει τη δημιουργία πολυδιάστατων μοντέλων ικανών να ενσωματώσουν πληροφορίες που προέρχονται από ετερογενή σύνολα δεδομένων, αποτελέσματα μελετών και ιστορικές πηγές (Battini & Landi, 2015).

Παράλληλα, η καταγραφή και η τεκμηρίωση, πέραν από τον σκοπό της διασφάλισης της κληρονομιάς για τις νεότερες γενιές, αποτελεί και την αφετηρία

για την ορθολογική διαχείριση και τον ορθό προγραμματισμό σχετικά με παρεμβάσεις στους τομείς της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Εάν, δε, δούμε την πολιτιστική κληρονομιά και ως πολιτιστικό προϊόν το οποίο έχει να επιδείξει η χώρα, και λαμβανομένου υπόψη ότι ο τουρισμός αποτελεί τη «βαριά» βιομηχανία της χώρας μας, ανοίγονται νέα κεφάλαια για τη δυνατότητα αξιοποίησής της με τα συμπαρομαρτούντα οφέλη, τα οποία είναι κατ' αρχάς η διάδοσή της, αλλά και τα οικονομικής φύσεως αποτελέσματα και η ανάπτυξη που αυτή μπορεί να επιφέρει για τις τοπικές κοινωνίες στις οποίες εντάσσονται οι τόποι, οι χώροι, τα μνημεία κ.λπ.

Η πολιτιστική, καθώς και η ιστορική κληρονομιά, πέραν της ιστορικής τους σημασίας για το κοινωνικό σύνολο δύναται να αποτελέσουν εφαλτήριο για την ανάπτυξη ενός τόπου προσελκύοντας το ενδιαφέρον τόσο τουριστικά όσο και συνακόλουθα οικονομικά, αν κρίνουμε από το γεγονός ότι στον περίγυρο πολιτιστικών χώρων, όπως μουσεία, αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία, παρατηρείται έντονη οικονομική δραστηριότητα (Albourae et al., 2017).

Βάσει των ανωτέρω, η καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι απαραίτητη. Προς αυτή την κατεύθυνση τα τελευταία χρόνια έγιναν βήματα, πέραν από το ήδη καθιερωμένο έργο της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας, όπως πχ. με τη σύνταξη του Αρχαιολογικού Κτηματολογίου που αποτελεί μια συνολική καταγραφή των αρχαιολογικών χώρων και ζωνών, των μνημείων, αλλά και των ακινήτων της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας. Παράλληλα, εκτός από τη μαζική τοπογραφική τεκμηρίωση που επιχειρείται για πρώτη φορά στη χώρα μας στον τομέα του πολιτισμού, καταρτίζεται μια ενιαία βάση δεδομένων, που περιέχει και τη βιβλιογραφική τεκμηρίωση των μνημείων αυτών κ.λπ.

Σε ένα επόμενο στάδιο θα πρέπει να επιχειρηθεί η συμπλήρωση αυτής της βάσης μεμονωμένα αλλά και συνολικά, με πληροφορίες και απεικονίσεις σύμφωνα με τις νέες δυνατότητες που παρέχουν οι τεχνολογικές εξελίξεις. Αυτές οι νέες δυνατότητες – που σε τοπογραφικούς όρους αντανακλώνται σε λεπτομερείς αποτυπώσεις μέσω συμβατικών τοπογραφικών μεθόδων και μετρήσεων ακριβείας, μέσω σαρώσεων με Laser Scanners, αλλά και με τις δυνατότητες που δίνει η φωτογραμμετρία ανοίγοντας νέους ορίζοντες με την επίγεια αλλά και την από αέρος προσέγγιση αντικειμένων και μνημείων – επιτρέπουν τελικώς να απεικονισθούν αντικείμενα, μνημεία και ολόκληροι αρχαιολογικοί χώροι με ακρίβεια και πιστότητα, και να αποτελέσουν τη βάση για την επόμενη φάση με τη

χρήση των νέων τεχνολογιών που είναι η εικονική, η μικτή και η επαυξημένη πραγματικότητα. Αυτές οι σχετικά νέες, υπό την έννοια της ευρείας εφαρμογής τους, τεχνολογίες είναι που μπορούν να αποτελέσουν το επόμενο βήμα, δηλαδή της πλήρους αναπαράστασης και απεικόνισης, μέσω συσκευών, των αντικειμένων, των μνημείων αλλά και δυνητικά ολόκληρων αρχαιολογικών χώρων, τόσο ως προς την παρούσα και την υφιστάμενη κατάσταση στην οποία βρίσκονται, αλλά και ως προς την αρχική τους μορφή, πριν δηλαδή αφήσει ο χρόνος τα σημάδια του πάνω τους.

Πλέον χρησιμοποιείται, ειδικότερα, ο όρος γεωμετρική τεκμηρίωση, μιας και οι δυνατότητες χαρτογράφησης, με τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις έχουν εξελιχθεί τόσο, που είναι δυνατόν να επιτύχουν λεπτομερέστατη απεικόνιση και αναπαράσταση, ιδίως μνημείων και χώρων.

Επιπροσθέτως, η «Γεωμετρική Τεκμηρίωση», ένας όρος που τείνει να αντικαταστήσει τον μέχρι τώρα επικρατούντα όρο «Αποτύπωση», θεωρείται και είναι ένα υποσύνολο της συνολικής ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης ενός μνημείου, η οποία περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τη βιβλιογραφική, την ιστορική, την αρχαιολογική, την αρχιτεκτονική, τη στατική, τη χαρτογραφική, την “παθολογική” και τη νομική τεκμηρίωση. Ορίζεται ως η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας, απόδοσης και καταχώρισης στοιχείων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον χώρο των τριών διαστάσεων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή (Γεωργόπουλος, 2015).

Δεδομένης της επιστημονικής προόδου στη μέτρηση του φυσικού κόσμου και των δυνατοτήτων μοντελοποίησης υπολογιστών, οδηγηθήκαμε στη δημιουργία ενός αυξανόμενου πλήθους τρισδιάστατων μοντέλων υψηλής ποιότητας υφιστάμενων αντικειμένων και περιβαλλόντων πολιτιστικής κληρονομιάς. Συχνά, αυτά συμπληρώνονται από πρόσθετες πληροφορίες μεταδεδομένων, καθώς και από συνθετικές ανακατασκευές δεδομένων που λείπουν (Marques et al., 2017).

“Ο τομέας της εικονικής κληρονομιάς έχει από καιρό επικεντρωθεί στη δημιουργία ψηφιακών ανακατασκευών ιστορικών ή αρχαιολογικών αντικειμένων και τοποθεσιών με αρκετή πιστότητα για να είναι πραγματικά ακριβείς αναπαραστάσεις των ομολόγων τους στον πραγματικό κόσμο” (Roussou & Drettakis, 2003).

Η ψηφιοποίηση και η ηλεκτρονική τεκμηρίωση των πολιτιστικών αγαθών βοηθούν τόσο στην αποτελεσματικότερη παρακολούθηση και διαχείριση όσο και στη

δημοσιότητα, είτε σε εκπαιδευτικό επίπεδο είτε και στη χρήση τους ως τουριστικού προϊόντος. Εφόσον πραγματοποιηθεί η ηλεκτρονική τεκμηρίωση ενός αντικειμένου, μνημείου ή χώρου πολιτιστικής κληρονομιάς, αυτό μπορεί να «εισαχθεί» σε ένα εικονικό μουσείο για δισδιάστατη παρατήρηση ή σε ένα εικονικό περιβάλλον για τρισδιάστατη παρατήρηση, από όπου θα είναι προσβάσιμο και σε απομακρυσμένους παρατηρητές, αφού η επισκόπησή του, μέσω πχ. του Διαδικτύου ή ενός συστήματος VR, δεν θα απαιτεί την επί τόπου φυσική παρουσία του παρατηρητή. Αυτή η δυνατότητα ανοίγει νέους ορίζοντες στη διαφήμιση του πολιτιστικού προϊόντος και μπορεί να επιφέρει έμμεσα ή και άμεσα αποτελέσματα. Ομοίως, η ηλεκτρονική τεκμηρίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα AR που απευθύνεται σε επισκέπτες και παρατηρητές του φυσικού αντικειμένου στον φυσικό του χώρο ή σε ένα μουσείο, όπου θα έχουν την ευκαιρία να το δουν προσαυξημένο με επιπλέον πληροφορίες, ακόμη και στην αρχική του μορφή, πριν υποστεί φθορά από φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες (Albourae et al., 2017).

B. ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΟΡΙΣΜΟΙ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ

Το δεύτερο μέρος της εργασίας ασχολείται με το πώς δημιουργήθηκε η εικονική πραγματικότητα, πραγματοποιεί μια ιστορική αναδρομή, αποδίδει ορισμούς της καθώς και ορισμούς άλλων εννοιών που βοηθούν στη γενικότερη περαιτέρω κατανόηση.

B.1. Εικονική πραγματικότητα – Η απαρχή - γένεση της έννοιας

Η απαρχή της έννοιας Εικονική Πραγματικότητα εντοπίζεται το έτος 1965, όταν ο Ivan E. Sutherland παρουσίασε μια δημοσίευσή του, την οποία απεκάλεσε «The Ultimate Display».

Η απόλυτη οθόνη του Sutherland ήταν μια δημοσίευση, το κείμενο της οποίας ήταν συνολικά μιάμιση σελίδα, με λιτή βιβλιογραφία δύο αναφορών. Ήταν όμως η δημοσίευση η οποία έμελλε να αποτελέσει τον θεμέλιο λίθο αυτού που αργότερα ονομάστηκε Εικονική Πραγματικότητα.

Ο Sutherland αποκαλείται και ιδρυτής των γραφικών υπολογιστών (Zhou & Deng, 2009) και «η απόλυτη οθόνη» του περιέγραφε ένα σύστημα που περιελάμβανε εμβύθιση σε έναν προσομοιωμένο κόσμο και αλληλεπίδραση πολλαπλών αισθήσεων.

Συγκεκριμένα, αναφερόταν σε πλήρη εμβύθιση και στη μέσω αισθητήρων αντίληψη δεδομένων εισόδου και εξόδου. Στη δημοσίευση αυτή αναφέρει, μεταξύ άλλων, την πρόκληση της αλληλεπίδρασης που προκύπτει από τη δυνατότητα ανίχνευσης της κίνησης των οφθαλμών, με αποτέλεσμα να τροποποιείται η απεικόνιση επί της οθόνης, να αλληλεπιδρά δηλαδή ανάλογα με την κατεύθυνση στην οποία κοιτά ο χρήστης.

Η κατευθυντήρια πρόκληση αφορούσε στο εξής, ότι δηλαδή μια οθόνη αποτελεί ένα παράθυρο μέσω του οποίου βλέπουμε έναν εικονικό κόσμο, και το ζητούμενο είναι να κάνουμε τον κόσμο αυτό να φαίνεται, να δρα, να παρουσιάζεται, αλλά και να τον αισθάνεται κανείς ως πραγματικό.

Η πρόκληση αυτή μπορεί να συνοψιστεί ως ζήτημα προσομοίωσης παρουσίας (presence) του χρήστη, δηλαδή την αίσθηση του «να είσαι εκεί», ως μια διεπαφή αλληλεπίδρασης με έναν συνθετικό κόσμο.

Ο καθαυτό όρος «εικονική πραγματικότητα» προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Jaron Zepel Lanier, ο οποίος μαζί με τον Thomas Zimmerman (εφευρέτη του γαντιού δεδομένων PowerGlove) ίδρυσαν την εταιρία VPL Research Inc.².

Το αντικείμενο της δημοσίευσης του Sutherland αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας και ανάπτυξης για πλήθος ερευνητών και για δεκαετίες. Ο σκοπός και το κίνητρο αυτής της έρευνας ήταν διττός: από τη μια μεριά να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των συνηθισμένων διεπαφών ανθρώπου-υπολογιστή και από την άλλη να αξιοποιηθεί η δυνατότητα που παρέχει η εικονική πραγματικότητα, και η τεχνολογία που αναπτύσσεται στο πλαίσιο αυτής, να ανακαλυφθούν και να εφαρμοστούν νέες εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που προσφέρει η προσομοίωση παρουσίας.

Το θεωρητικό υπόβαθρο της εικονικής πραγματικότητας, αλλά και οι τεχνολογίες που προέκυψαν εξ αυτού, επεκτάθηκαν πέραν από τις πρώτες εφαρμογές εργαστηρίου και στους τομείς της εκπαίδευσης και κατάρτισης, της ψυχαγωγίας και της προσομοίωσης περιβαλλόντων, έως και σε εφαρμογές σε τομείς όπως η αεροναυτική έρευνα και στρατιωτική άμυνα, η αρχιτεκτονική και η επιστημονική οπτικοποίηση στην ιατρική.

B.2. Ιστορική αναδρομή και βασικά σημεία - σταθμοί στην ιστορική εξέλιξη

Βασικοί σταθμοί στην ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας και κατ' επέκταση και της εικονικής πραγματικότητας αποτέλεσαν οι παρακάτω:

- Το 1929, ο Edward Link ανέπτυξε έναν απλό μηχανικό προσομοιωτή πτήσης στον οποίο εφαρμόστηκε για πρώτη φορά η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας.
- Η πρώτη εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας σε εμπορικό επίπεδο ήταν η εφεύρεση του Morton Heilig, το 1957, ο οποίος δημιούργησε το Sensorama³, μία μηχανή εμπνευσμένη από ολογραφικές ταινίες που συνιστά την πρώτη συσκευή βίντεο εικονικής πραγματικότητας.

² Η εταιρία VPL Research Inc. (Virtual Programming Languages Research Inc.) εστίαζε στην εμπορευματοποίηση τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας. Μετέπειτα βέβαια, το 1990, η εταιρία δήλωσε πτώχευση. Όσον αφορά τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας εικονικής πραγματικότητας και γραφικών της VPL, αυτά εξαγοράστηκαν το 1999 από την εταιρία Sun Microsystems, άσχετα εάν ουδέποτε προχώρησε η ενεργοποίηση ή η εκμετάλλευσή τους για περαιτέρω έρευνα.

³ Εφευρέθηκε το 1957 και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας [το υπ. αριθ. # 3.050.870 δίπλωμα (βλ. Παράρτημα 2)] το 1962. Τμήμα της μηχανής και μια από τις εφευρέσεις που το κατέστησαν εφικτό ήταν το Sensorama Motion Picture Projector για την προβολή των εικόνων. Το Sensorama αποτέλεσε την πιο διάσημη εφεύρεση του Heilig, ενώ αποτελεί τον λόγο που ο ίδιος έχει χαρακτηριστεί ως ο Πατέρας της Εικονικής Πραγματικότητας.

Πρόκειται για έναν προσομοιωτή, για ένα έως τέσσερα άτομα, που παρείχε την ψευδαίσθηση της οδήγησης σε έναν χρήστη (οδηγό μοτοσικλέτας στους δρόμους της Νέας Υόρκης), με χρήση μιας τρισδιάστατης κινηματογραφικής ταινίας για το οπτικό πεδίο του χρήστη, στερεοφωνικού ήχου και δονήσεων στο κάθισμα του οδηγού του προσομοιωτή, οι οποίες προέκυπταν από ανωμαλίες του οδοστρώματος. Επίσης, είχε εφέ ανέμου στο κεφάλι του χρήστη μέσω ανεμιστήρων, έως και οσμές τροφών που αναδύονταν από καταστήματα εστίασης τα οποία βρίσκονταν παραπλεύρως της οδού από την οποία περνούσε ο χρήστης. Όλες οι ανωτέρω αισθητηριακές συνιστώσες επιτύγχαναν τη δημιουργία της ψευδαίσθησης οδήγησης.



Εικόνα 1α. Ο Morton Heilig, Εικόνα 1β. Το Sensorama. Εικόνα 1γ. Η μάσκα Telesphere Mask.

Άλλη εφεύρεση του Heilig ήταν το Telesphere Mask⁴ που κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1960 και είναι η πρώτη οθόνη που τοποθετείται στο κεφάλι, που παρέχει στερεοσκοπική όραση, ευρεία όραση και πραγματικό στερεοφωνικό ήχο.

- Το 1963 ο Ivan Sutherland δημιούργησε το Sketchpad⁵, λογισμικό το οποίο λογίζεται ως πρόδρομος των σύγχρονων προγραμμάτων σχεδιασμού (CAD), καθώς και μια σημαντική εξέλιξη στην ανάπτυξη των γραφικών υπολογιστών και στον τομέα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή, καθώς ήταν η πρώτη διαδραστική εφαρμογή γραφικών στον κόσμο.
- Το 1965 ο ίδιος, όπως προαναφέρθηκε, δημοσίευσε το άρθρο με τίτλο «The Ultimate Display» («Η απόλυτη Οθόνη»).
- Το 1967, εμπνευσμένο από τη σύλληψη του συστήματος Sutherland, το Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας ξεκίνησε το έργο GROPE, το οποίο ερεύνησε

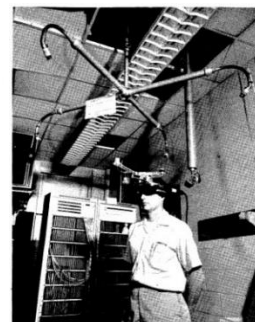
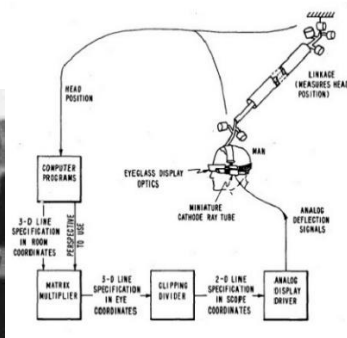
⁴ Η μάσκα Telesphere Mask αποτέλεσε και το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Heilig [δίπλωμα ευρεσιτεχνίας υπ. αριθ. #2.955.156 (βλ. Παράρτημα 3)].

⁵ Η διδακτορική διατριβή του Sutherland στο MIT είχε τίτλο: «Sketchpad: A Man-Machine Graphic Communication System».

και ανέπτυξε συσκευές ανατροφοδότησης δύναμης που έκαναν τους χρήστες να αισθάνονται δύναμη προσομοίωσης υπολογιστή.

- Το 1968 ο Ivan Sutherland μαζί με τον David Evans ίδρυσαν την εταιρία Evans and Sutherland Computer Corp και ήταν οι πρώτοι που κατασκεύασαν ένα «κράνος εικονικής πραγματικότητας» ή «απεικόνιση προσαρμοσμένη στο κεφάλι» (Head Mounted Display – HMD) που έχει δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με μια απλή απεικόνιση σε οθόνη: τη στερεοσκοπία και την ανίχνευση κίνησης.

Η συσκευή ήταν «πρωτόγονη» τόσο από άποψη διεπαφής του χρήστη όσο και από άποψη ρεαλισμού, ενώ τα γραφικά της στο εικονικό περιβάλλον ήταν απλά δωμάτια wireframe. Το σύστημα του Sutherland εμφανίζει έξοδο από ένα πρόγραμμα υπολογιστή προς τη στερεοσκοπική οθόνη. Η εικόνα που προβαλλόταν στα προσοφθάλμια του χρήστη εξαρτάτο από τη θέση του βλέμματος του χρήστη, για αυτό και ήταν απαραίτητη η παρακολούθηση του κεφαλιού του, άρα και των κινήσεων του χρήστη. Το κράνος HMD έπρεπε να στερεωθεί σε έναν μηχανικό βραχίονα αναρτημένο από την οροφή του εργαστηρίου, κυρίως λόγω του βάρους του, αλλά και για την παρακολούθηση των κινήσεων του κεφαλιού μέσω συνδέσμων⁶.



Εικόνα 2α, 2β και 2γ. Η διάταξη και η υλοποίηση του Sutherland (1968).

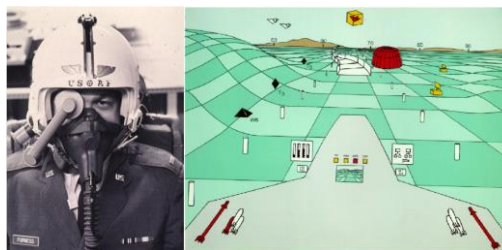
Στη δημοσίευση του άρθρου του Sutherland, και ειδικότερα στις βιβλιογραφικές του αναφορές, εμφανίζεται η δημοσίευση του 1965 «The Three-Dimensional Display, Its Cues and Techniques» (η τρισδιάστατη οθόνη, τα στοιχεία και οι τεχνικές της) του Πέτρου Βλάχου (Petros Vlahos)⁷. Η δημοσίευση αυτή ερευνά τη

⁶ Η τρομερή εμφάνιση του μηχανισμού ενέπνευσε και το όνομά του «Sword of Damocles» («Δαμόκλειος σπάθη»).

⁷ Ο Πέτρος Βλάχος, κάτοχος πτυχίου Ηλεκτρολόγου (Πανεπιστήμιο Καλιφόρνιας), ήταν στο Προσωπικό Ειδικών Σπουδών (System Development Corp.), από το 1960. Εργάστηκε αρχικά με οθόνες στο Ντάγκλας (1941) και αργότερα στην Western Electric (1944). Ασχολήθηκε με την E&A για το Motion Picture Research Council (1946-1960), όπου έκανε εκτεταμένη δουλειά σε ειδικές φωτογραφικές τεχνικές και οπτικές, αποκτώντας αρκετά διπλώματα ευρεσιτεχνίας.

μεταφορά πληροφοριών από μία οθόνη σε έναν χειριστή με βάση το καλά εκπαιδευμένο τρισδιάστατο (3-D) οπτικό σύστημα του ανθρώπου, επειδή το τρισδιάστατο όραμα αυξάνει σημαντικά τη μεταφορά πληροφοριών από τον πραγματικό κόσμο στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Βασικό στοιχείο αποτελεί η αντίληψη του βάθους. Αυτή η ικανότητα συνδέεται συχνά με τη διοφθαλμική όραση που παρέχεται από τα δύο μάτια, τη στερεοσκοπική όραση δηλαδή, ενώ μονοφθαλμικές ενδείξεις βάθους είναι εκείνες που αντιλαμβάνονται με το ένα μάτι. Ο βαθμός στον οποίο το τρισδιάστατο οπτικό σύστημα του ανθρώπου είναι σε θέση να προσδιορίσει και να διορθώσει τις σχετικές σχέσεις σε μια οθόνη εξαρτάται από το άθροισμα των πληροφοριών που περιέχονται στα υποδείγματα και τα αντίγραφα.

- Ο Tom Furness στο Wright Pattern Air Force ξεκίνησε έρευνα για το πρόγραμμα Super-Cockpit της πολεμικής αεροπορίας των ΗΠΑ. Από τα μέσα της δεκαετίας του '60 έως τα μέσα της δεκαετίας του '80, ο Furness και άλλοι εργάζονταν για νέους τρόπους παρουσίασης σύνθετων πληροφοριών πτήσης σε πιλότους. Στο πρωτότυπο Super-Cockpit που αναπτύχθηκε, ο χρήστης φορούσε μια μάσκα-οθόνη στο κεφάλι κατά την παραμονή του στο πιλοτήριο του αεροσκάφους, η οποία του προέβαλλε εικόνες (βλέπε ακόλουθες εικόνες). Σε συνθήκες ημέρας τα γραφικά του υπολογιστή του εμφάνιζαν εικόνες ως μέρος του πραγματικού κόσμου, ενώ τη νύχτα ή υπό κακές καιρικές συνθήκες υποβοηθούσαν τον πιλότο.



Εικόνα 3α. (Αριστερά) Η μάσκα του πιλότου και (δεξιά) εικόνα 3β. Τα γραφικά που προβάλλονταν.

- Το 1970 το American MIT Lincoln Laboratory ανέπτυξε ένα πλήρες σύστημα HMD.
- Το 1973 οι Evans και Sutherland δημιούργησαν το Nonoview, το πρώτο ψηφιακό σύστημα δημιουργίας εικόνων για την προσομοίωση πτήσεων.
- Το 1976 οι Richard Sayre, Daniel Sandin και Thomas DeFanti δημιούργησαν το πρώτο γάντι δεδομένων (γνωστό ως Sayre Glove) για χρήση με το σύστημα GRASS. Οι μαύρες σωληνώσεις είναι οι γωνιακοί μορφοτροπείς που καταγράφουν πόσο κάμπτεται κάθε σύνδεσμος.



Εικόνα 4. Το Sayre Glove.

- Το 1977 πολλοί θεατές έμειναν έκπληκτοι καθώς ένα μικρό ρομπότ παρουσίασε μια τρισδιάστατη εικόνα μιας γυναίκας στον αέρα. Με τις λέξεις "Βοήθησέ με Obiwan-Κενοβί, είσαι η μόνη μου ελπίδα", μια ηχογράφηση της πριγκίπισσας Leia έδωσε ένα μήνυμα που θα άλλαζε τη ζωή του Luke Skywalker για πάντα. Σε αυτήν τη σκηνή του Star Wars 1 χρησιμοποιήθηκαν ειδικά εφέ για τη δημιουργία της μαγικής εντύπωσης ότι το τρισδιάστατο εικονικό περιεχόμενο εμφανιζόταν ως μέρος του πραγματικού κόσμου.



Εικόνα 5. Σκηνή από την ταινία STAR WARS 1.

- Εμπνευσμένο από τον Furness, το 1981 η NASA δημιούργησε το δικό της Head Mounted Display με οθόνες LCD.
- Το 1984 η NASA ξεκίνησε το έργο VIVED (Virtual Visual Environment Display) και αργότερα το έργο VIEW (Virtual Interactive Environment Workstation), που είχαν ως στόχο την ανάπτυξη μιας πολυλειτουργικής διεπαφής για τη διευκόλυνση της φυσικής αλληλεπίδρασης σε πολύπλοκα επιχειρησιακά καθήκοντα και τη βελτίωση της ευαισθητοποίησης των χειριστών (πχ. αστροναυτών) σχετικά με μεγάλης κλίμακας αυτόνομα ολοκληρωμένα συστήματα. Οι τομείς εφαρμογής στους οποίους επικεντρώθηκε η NASA Ames ήταν η τηλε-παρουσία και ο τηλε-χειρισμός, η εποπτεία και η διαχείριση μεγάλης κλίμακας πληροφοριακών συστημάτων, καθώς και η έρευνα ανθρώπινων παραγόντων. Ένα τμήμα του

συστήματος ήταν και μια διεπαφή γαντιών που αναπτύχθηκε από την VPL Research Inc.

- Το 1989 ο Αμερικανός Jaron Zepel Lanier εισήγαγε επίσημα τον όρο «εικονική πραγματικότητα».
- Το 1992 η εταιρεία Sense8 ανέπτυξε το πακέτο World Toolkit (WTK) VR library, το οποίο αποτελούσε μια ισχυρή βιβλιοθήκη λειτουργιών για τη διαχείριση του προσομοιωτή και παρείχε ενοποίηση με διάφορες συσκευές εμβύθισης.
- Τον Μάρτιο του 1994 η γλώσσα μοντελοποίησης εικονικής πραγματικότητας VRML⁸ (Virtual Reality Modeling Language) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο πρώτο συνέδριο WWW στη Γενεύη.
- Το 1994 οι Burdea & Coiffet δημοσίευσαν ένα βιβλίο για την εικονική πραγματικότητα, στο οποίο συνοψίζουν τις βασικές έννοιες-συνιστώσες της εικονικής πραγματικότητας ως τα 3I (Immersion, Interactive και Imagination: εμβύθιση, διαδραστικότητα και φαντασία, αντίστοιχα, τα οποία θα δούμε και στη συνέχεια).
- Τέλος, το 1997 ο Azuma δημοσίευσε άρθρο σχετικά με την επαυξημένη πραγματικότητα.

Αν και η αφετηρία της εικονικής πραγματικότητας εντοπίζεται στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές της δεκαετίας του 1970, δηλαδή πρώιμα, η εξέλιξη αυτής και των επιμέρους στοιχείων που θα ήταν αναγκαία για τη επίτευξη της δεν είχαν φτάσει σε αντίστοιχο επίπεδο ωριμότητας και λειτουργικότητας. Έως και τα μέσα της δεκαετίας του '90 πραγματοποιήθηκε έρευνα για εφαρμοσμένες τεχνολογίες όπως παρακολούθηση, οθόνες και συσκευές εισόδου. Από εκεί και έπειτα, ως τις αρχές του 21ου αιώνα, χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες που επέτρεψαν την ανάπτυξη πρώιμων εφαρμογών και την εξερεύνηση τεχνικών αλληλεπίδρασης, χρηστικότητας και θεωρίας σχεδιασμού. Τις τελευταίες, δηλαδή, δεκαετίες επιτεύχθηκε η ανάπτυξη των κατάλληλων εργαλείων, όπως και των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η οποία υποβοήθησε και πλήθος τομέων της

⁸ Η VRML (Virtual Reality Modeling Language, γνωστή προ του 1995 ως Virtual Reality Markup Language), είναι γλώσσα μοντελοποίησης 3D, δηλαδή υποστηρίζει την αναπαραγωγή τρισδιάστατων (3D) διαδραστικών διανυσματικών γραφικών, σχεδιασμένα ειδικά για τον παγκόσμιο ιστό (World Wide Web – WWW). Πρόκειται για μια τυπική μορφή αρχείου σε μορφή κειμένου, όπου μπορεί να καταγραφεί χωρική πληροφορία τρισδιάστατων αντικειμένων με περιγραφή και στοιχείων τους, όπως χρώμα, υφή, λάμψη, διαφάνεια κ.λπ., ενώ επιτρέπει την προσθήκη και κώδικα προγραμματισμού. Τα αρχεία VRML ονομάζονται συνήθως "worlds" και έχουν την επέκταση .wrl.

Διάδοχο της VRML από το έτος 2001 αποτελεί το X3D, το οποίο είναι ένα πρότυπο ISO/IEC για την αναπαράσταση τρισδιάστατων γραφικών υπολογιστών.

ανθρώπινης δραστηριότητας. Επιχειρήθηκε η εισαγωγή φιλικών προς τον άνθρωπο-χρήστη διεπαφών, οι οποίες και έκαναν τους υπολογιστές περισσότερο εύχρηστους και κατέστησαν τη διαδικασία εκμάθησής τους αντίστοιχα πιο εύκολη. Γραφικές διεπαφές (Graphical User Interfaces) βασισμένες σε χρήση επιφάνειας εργασίας μπορούν να θεωρηθούν ως μια περιορισμένη μορφή εικονικού περιβάλλοντος, που απλοποιεί την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής δημιουργώντας μια ορατή, συγκεκριμένη ψευδαίσθηση για τους χρήστες ότι χειραγωγούν πραγματικά, φυσικά αντικείμενα τοποθετημένα σε αυτήν. Ωστόσο, ενώ η προσέγγιση της επιφάνειας εργασίας είναι κατάλληλη για την αλληλεπίδραση σε δύο διαστάσεις, εμφανίζει περιορισμούς όταν αλληλεπιδρά με τους τρισδιάστατους κόσμους. Μεγάλα μειονεκτήματα αυτής της λύσης είναι η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ χειρισμού και επίδρασης, καθώς και ο υψηλός βαθμός γνωστικού διαχωρισμού μεταξύ των χρηστών και των μοντέλων που επεξεργάζονται.

Η ανεπάρκεια των διεπαφών χρήστη (GUI) που βασίζονται σε συσκευές εισόδου 2D και νοοτροπίες 2D γίνεται ιδιαίτερα εμφανής σε εφαρμογές που απαιτούν από τους χρήστες να καθορίσουν πολύπλοκες χωρικές πληροφορίες, όπως η μοντελοποίηση επιφάνειας και του τρισδιάστατου χώρου, Computer animation ή ο έλεγχος κίνησης. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, η επικοινωνία χαμηλού εύρους ζώνης μεταξύ 2D διεπαφής χρήστη και εφαρμογής, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς στις δυνατότητες διαδραστικής 3D κίνησης του ποντικιού, καθιστά εξαιρετικά δύσκολο για τους χρήστες να εκτελούν μια δράση τους με απλές διαισθητικές ενέργειες. Επίσης, πρόβλημα αποτελεί η ανατροφοδότηση που παρέχεται στους χρήστες, διότι οι περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με τη δομή του τρισδιάστατου κόσμου που μεταφέρεται από μια σταθερή οπτική εικόνα συχνά αναγκάζουν την εφαρμογή να βασίζεται σε πολλές προβολές για να παρέχει πρόσθετες πληροφορίες βάθους. Αυτό απαιτεί από τους χρήστες να συνδυάσουν τις ξεχωριστές προβολές για να σχηματίσουν ένα μοντέλο σύνθετων αντικειμένων, προσθέτοντας περαιτέρω πολυπλοκότητα στο ήδη δύσκολο εγχείρημα, αναγκάζοντας τους χρήστες να επικεντρωθούν περισσότερο στο πώς να αποκτήσουν αυτό που θέλουν, παρά στην ίδια τη δράση. Αυτό οδηγεί στο να πρέπει να αναπτυχθούν νέες διαμορφώσεις συσκευών και διεπαφές διασύνδεσης χρήστη, οι οποίες να επιτρέπουν στους χρήστες να εργάζονται απευθείας σε τρεις διαστάσεις.

Κυρίως τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί άλματα στον τομέα της τεχνολογίας, αφού ερευνήθηκαν και μελετήθηκαν έννοιες όπως: παρακολούθηση

(Tracking), αλληλεπίδραση (Interaction), βαθμονόμηση (Calibration), εφαρμογές AR (AR Applications), οθόνη (Display), αξιολογήσεις συστημάτων (Evaluations), φορητό AR (Mobile AR), σύνταξη (Authoring), οπτικοποίηση (Visualization), πολυτροπικό AR (Multimodal AR), απόδοση (Rendering).

Ειδικότερα, η ανάπτυξη των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (Smartphones) που διαθέτουν οθόνες αυξημένης ανάλυσης και υπολογιστική ισχύ επιτάχυνε την υιοθέτηση του VR και AR.

B.3. Εικονική πραγματικότητα ή VR (Virtual Reality)

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί έναν τρόπο επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπου και μηχανής. Μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή προσομοιώνεται ένα περιβάλλον στον χρήστη, απεικονίζοντάς του παραστάσεις είτε σε μονοσκοπική οθόνη είτε μέσω ειδικών στερεοσκοπικών οθονών, ακόμη και μπροστά στους οφθαλμούς του.

Το περιβάλλον προσομοίωσης ονομάζεται εικονικό περιβάλλον (Virtual Environment ή VE). Τα εικονικά περιβάλλοντα στα οποία δύναται να εμβυθιστεί ένας χρήστης εικονικής πραγματικότητας, ή αλλιώς οι εικονικοί κόσμοι, είναι κατ' αρχάς τεχνητά περιβάλλοντα, τα οποία κάποιες φορές αποτελούν εξομοιώσεις του φυσικού κόσμου, δηλαδή Τεχνητή Πραγματικότητα ή Artificial Reality, ενώ άλλες φορές πρόκειται για τελείως φανταστικούς κόσμους (Μουστάκας κ.ά., 2015).

Είναι σκόπιμο να παρατεθούν αρχικά οι ορισμοί της έννοιας εικονική πραγματικότητα, μιας και αυτή ορίζεται ποικιλοτρόπως, ανάλογα με την οπτική γωνία του ερευνητή αλλά και των υλικών, δηλαδή ανάλογα με τον τρόπο που αυτή επιτυγχάνεται.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι ορισμοί της βασικής έννοιας της εικονικής πραγματικότητας, ορισμοί της «παρουσίας» και «τηλεπαρουσίας», και ορισμοί άλλων εννοιών εμπλεκόμενων με αυτή την τεχνολογία.

B.3.1 Εικονική πραγματικότητα - Προσέγγιση εννοιών - Ορισμοί

Η κοινή εκδοχή ενός περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας είναι εκείνη όπου ο συμμετέχων-παρατηρητής είναι εντελώς βυθισμένος σε έναν τελείως συνθετικό κόσμο, ο οποίος μπορεί ή όχι να μιμείται τις ιδιότητες ενός πραγματικού περιβάλλοντος, είτε υπάρχοντος είτε φανταστικού, αλλά μπορεί επίσης να υπερβαίνει τα όρια της φυσικής πραγματικότητας δημιουργώντας έναν κόσμο στον

οποίο οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη βαρύτητα, τον χρόνο και τις υλικές ιδιότητες δεν ισχύουν (Milgram & Kishino, 1994) .

Ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός της εικονικής πραγματικότητας δίδεται από την τεχνολογική της φύση, ως «μια τεχνολογία φυσικής αλληλεπίδρασης» ή, εναλλακτικά, ο όρος εικονική πραγματικότητα ορίζεται ως ένα μέσο αλληλεπίδρασης με το οποίο οι άνθρωποι μπορούν να δουν, να λειτουργήσουν και να αλληλεπιδράσουν με πολύπλοκα δεδομένα μέσω υπολογιστών (Zhou & Deng, 2009).

Στην πραγματικότητα, η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας όχι μόνο αναφέρεται σε συσκευές υλικού όπως εμβυθιστική οθόνη και γάντια δεδομένων, αλλά περιλαμβάνει επίσης τις σχετικές τεχνολογίες και μεθόδους που μπορούν να δημιουργήσουν φυσική προσομοίωση και να προσφέρουν εμπειρία σε πραγματικό χρόνο (Zhou & Deng, 2009).

Ένα από τα χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας είναι η υιοθέτηση συσκευών απεικόνισης και αλληλεπίδρασης των ανθρώπινων αισθήσεων. Στερεοσκοπικά συστήματα απεικόνισης δίνουν την εντύπωση πραγματικής χωρικής αντίληψης των τρισδιάστατων εικόνων οι οποίες παράγονται από τον υπολογιστή. Επιπλέον, η αίσθηση του ότι είσαι εμβυθισμένος σε ένα εικονικό περιβάλλον, δυναμώνει με τη χρήση συσκευών όπως το γάντι (data glove), το οποίο επιτρέπει πιο φυσική και ενστικτώδη απευθείας αλληλεπίδραση (Ellis, 1994).

Σύμφωνα με το τυπικό πρωτόκολλο της IEEE που υποβλήθηκε από την «ομάδα εργασίας του όρου εικονικής πραγματικότητας», η εικονική πραγματικότητα είναι το σύστημα υπολογιστών που μπορεί να δημιουργήσει έναν τεχνητό κόσμο, στον οποίο ο χρήστης μπορεί να βυθιστεί, να περιπλανηθεί και να χειριστεί αντικείμενα (Zhou & Deng, 2009).

Παράλληλα, ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας είναι δυνατόν να παρέχει στον χρήστη του πρόσθετες εμπειρίες μέσω των αισθήσεών του, σχετικές με το εικονικό περιβάλλον στο οποίο «εμβυθίζεται». Πρόκειται για ένα σύστημα ενδιάμεσου με τον χρήστη που περιλαμβάνει προσομοιώσεις και αλληλεπιδράσεις πραγματικού χρόνου μέσω πολλαπλών καναλιών αισθήσεων, και συνεπώς και πληροφοριών που αφορούν και τις υπόλοιπες αισθήσεις του χρήστη, πλην της όρασης, όπως την ακοή, την όσφρηση και την αφή, μέσω ήχων, οσφρητικών ερεθισμάτων και απτικών συσκευών, αντίστοιχα. Ο χρήστης δεν βλέπει, δηλαδή,

απλώς αντικείμενα στην οθόνη, αλλά μπορεί να τα αγγίζει, να τα “νιώθει” και να τα τροποποιεί.

Η εικονική πραγματικότητα είναι, σύμφωνα με τον ορισμό του πατέρα του όρου Jaron Lanier (το 1989), «ένα παραγόμενο από υπολογιστή, διαδραστικό, τρισδιάστατο περιβάλλον πραγματικού χρόνου (*real-time*), στο οποίο μπορεί κάποιος να εμβυθιστεί».

Οι Fuchs et al. (1992) μιλούν για «διαδραστικά γραφικά πραγματικού χρόνου με τρισδιάστατα μοντέλα, συνδυασμένα με μια τεχνολογία απεικόνισης η οποία δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη για εμβύθιση στον μοντελοποιημένο κόσμο και τη δυνατότητα για απευθείας χειρισμό».

Από την άλλη μεριά, σύμφωνα με το VIEW of the future Project (2001) «βασικά πρόκειται για μια διεπαφή, η οποία συνδυάζει διαφορετικά τεχνικά συστήματα με σκοπό να δώσει τη δυνατότητα στον χρήστη να δράσει σε πραγματικό χρόνο με μια εφαρμογή για την οπτικοποίηση (*visualization*), την περιγραφή της κίνησης (*animation*), την παραγωγή (*generation*) και τη μεταβολή (*modification*) τρισδιάστατων δεδομένων, δημιουργημένων από υπολογιστή, τα οποία βλέπει στερεοσκοπικά. Ένας όρος που περικλείει τα πάντα και περιγράφει την τεχνολογία και όλο το πεδίο γενικότερα».

Ένας πιο πλήρης ορισμός δίνεται από τον Zhao (2002), ο οποίος ορίζει την εικονική πραγματικότητα ως ένα κλειστό ανθρωποκεντρικό σύστημα που εφαρμόζεται κυρίως από υπολογιστές και χρησιμοποιεί την αντίστοιχη αλληλεπίδραση ανθρώπου και μηχανής με αντιληπτικό σύστημα. Αυτό το κλειστό σύστημα περιέχει το εικονικό περιβάλλον, τη διεπαφή λογισμικού και υλικού, και το φυσικό περιβάλλον. Με αυτόν τον ορισμό, ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας πρέπει να υποστηρίζεται από τις απαραίτητες συσκευές μέσω των οποίων ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με το αντικείμενο του εικονικού περιβάλλοντος με φυσικό τρόπο και να αποκτήσει την πραγματική εμπειρία και τα συναισθήματα του φυσικού περιβάλλοντος με τη λειτουργία των αντικειμένων στο εικονικό περιβάλλον. Είναι σημαντικό ο χρήστης να μπορεί να ξεπεράσει τους περιορισμούς του χρόνου και του χώρου και να ελέγξει τα στοιχεία που είναι άυλα στο φυσικό περιβάλλον (Zhao, 2002).

«Η Εικονική Πραγματικότητα είναι μια επιστημονική περιοχή η οποία μελετά την κατασκευή συνθετικών διαδραστικών περιβαλλόντων και την εμβύθιση των χρηστών σε αυτά μέσω της αξιοποίησης εξειδικευμένου υλικού και λογισμικού». Ο

στόχος είναι να δημιουργηθούν τεχνητά περιβάλλοντα τα οποία παρουσιάζονται τόσο πειστικά στον χρήστη, που τα αντιλαμβάνεται σχεδόν σαν «την πραγματικότητα» (Βοσινάκης, 2015).

Ακόμα, “ο βαθμός εμπύθισης σχετίζεται με τον αριθμό των αισθητήριων καναλιών του χρήστη, που τροφοδοτούνται με δεδομένα από τον εικονικό κόσμο, και με την ποιότητα των δεδομένων αυτών. Τα συστήματα που σήμερα ονομάζονται «εμβυθισμένα» (immersive) καλύπτουν πλήρως το οπτικό πεδίο του χρήστη μέσω ειδικής συσκευής (πχ. κράνος), την ακοή του μέσω ακουστικών και μέρος της αφής του (συνήθως το ένα χέρι μέσω ειδικού γαντιού). Ο άξονας της αλληλεπίδρασης έχει να κάνει με τις δυνατότητες του χρήστη να επενεργήσει στο περιβάλλον και με τη φυσικότητα της αλληλεπίδρασης. Ο βαθμός ομοιότητας των ενεργειών που πραγματοποιεί ο χρήστης στο εικονικό περιβάλλον με τις αντίστοιχες ενέργειες του φυσικού περιβάλλοντος καθορίζει και την ποιότητα της αλληλεπίδρασης” (Βοσινάκης, 2015).

Η εικονική πραγματικότητα (VR) παρουσιάζεται συνήθως ως μέσο το οποίο ορίζεται ως μια συγκεκριμένη συλλογή τεχνολογικού υλικού, συμπεριλαμβανομένων υπολογιστών, οθονών στο κεφάλι, ακουστικών και γαντιών ανίχνευσης κίνησης. Το επίκεντρο της εικονικής πραγματικότητας είναι, επομένως, τεχνολογικό και όχι βιωματικό (Steuer, 1993). Ομοίως, ένα δεδομένο σύστημα ταξινομείται συνήθως ως «VR» ή «not-VR» ανάλογα με το αν περιλαμβάνει ένα ελάχιστο σώμα συγκεκριμένων μηχανών, με τον διαχωρισμό αυτό να είναι μάλλον αυθαίρετος. Η εικονική πραγματικότητα θα πρέπει να ορίζεται ως συγκεκριμένος τύπος εμπειρίας και όχι ως συλλογή υλικού.

Η Εικονική Πραγματικότητα είναι η επιστήμη που έχει ως στόχο την ανάπτυξη κατάλληλων συσκευών και συστημάτων τα οποία έχουν ως απώτερο σκοπό την πλήρη αποκοπή ενός χρήστη από το πραγματικό περιβάλλον και την εμπύθισή του (immersion) σε ένα εικονικό περιβάλλον.

Στην ιδανική περίπτωση, προσεγγίζοντας το ζήτημα από τη σκοπιά της τεχνολογίας αυτής και του τελικού ζητούμενου-στόχου της, μια ιδεατά τέλεια εφαρμογή VR επιτυγχάνεται με την πλήρη εμπύθιση του χρήστη στο περιβάλλον της, δηλαδή με την πλήρη αποκοπή του χρήστη από κάθε εξωτερική επιρροή ή πρόσληψη πληροφορίας, από κάθε δηλαδή περαιτέρω αντίληψη που μπορούν να του παρέχουν τα αισθητήρια όργανά του.

Οι πιο δημοφιλείς ορισμοί της εικονικής πραγματικότητας αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο τεχνολογικό σύστημα. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει συνήθως έναν υπολογιστή ικανό να αποδώσει κινούμενες εικόνες σε πραγματικό χρόνο, ελέγχεται από ένα σύνολο ενσύρματων γαντιών και έναν ιχνηλάτη θέσης και χρησιμοποιεί μια στερεοσκοπική οθόνη τοποθετημένη στο κεφάλι για οπτική έξοδο.

Οι ορισμοί που έχουν δοθεί κατά καιρούς από το σύνολο των ερευνητών διαφέρουν, ωστόσο όλοι περιλαμβάνουν τις έννοιες τόσο των ηλεκτρονικά προσομοιωμένων περιβαλλόντων όσο και των συστημάτων «γυαλιών» και «γαντιών» ως μέσων πρόσβασης σε αυτά τα περιβάλλοντα.

Ο Steuer (1993) ορίζει την «εικονική πραγματικότητα» ως ένα πραγματικό ή προσομοιωμένο περιβάλλον στο οποίο ένας χρήστης βιώνει τηλεπαρουσία.

Ο Δημούλας (2015) αναφέρει πως η οργάνωση και εκτέλεση μιας πολυμεσικής παραγωγής προϋποθέτει το θεωρητικό υπόβαθρο, τη μεθοδολογική προσέγγιση, το τεχνολογικό πλαίσιο και εργαλεία ανάπτυξης, ενώ για την εικονική πραγματικότητα παραθέτει τον εξής ορισμό:

Εικονική πραγματικότητα / Virtual Reality (VR)

«Εφαρμογές που βασίζονται σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα που ενσωματώνει ένα εικονικό ή φανταστικό περιβάλλον (συνήθως τριών διαστάσεων), στο οποίο μπορεί κάποιος να εμβυθιστεί και να αλληλεπιδράσει με τη συμμετοχή όσο το δυνατόν περισσότερων αισθήσεων (και κυρίως των τριών βασικών, της όρασης, της ακοής και της αφής). Η εμβύθιση μπορεί να υποστηρίζεται πλήρως, μερικώς ή καθόλου, οπότε ανάλογα προκύπτουν οι διάφορες μορφές της μικτής πραγματικότητας (Mixed Reality)».

Αναλύοντας ετυμολογικά τον όρο Virtual Reality (VR) θα αναφέρουμε πως ο όρος Virtual (= εικονικός) προέρχεται από τα λατινικά και τους όρους «virtus» και «virtualis». Η αρχική του έννοια αναφέρεται σε μια δύναμη ή μια εγγενή ικανότητα που μπορεί να παράγει συγκεκριμένο αποτέλεσμα.

Το κύριο χαρακτηριστικό της εικονικής πραγματικότητας είναι η βυθισμένη αίσθηση.

Έτσι, το 1975, ο ψυχολόγος Mihály Csíkszentmihályi παρουσίασε για πρώτη φορά τη θεωρία της ροής και έδωσε τον εξής ορισμό: «Η κατάσταση της ροής είναι ένα είδος πλήρους συμμετοχής σε μια δραστηριότητα. Το εγώ απουσιάζει. Ο χρόνος ρέει αρμονικά. Κάθε δράση, κίνηση,

σκέψη αναδύεται με αρμονική συνέχεια από την προηγούμενη, σαν ένα μουσικό κομμάτι τζαζ. Συμμετέχει ολόκληρη η ύπαρξη και αξιοποιούνται στο έπακρο όλες οι ικανότητες».

Επίσης, κατά την κατάσταση στην οποία κάποιος βρίσκεται στην «ευχάριστη διαδικασία του να δημιουργήσει κάτι καινούριο, το σώμα εξαφανίζεται, η ταυτότητα εξαφανίζεται από τη συνείδησή του, γιατί δεν διαθέτει αρκετή προσοχή, όπως όλοι μας, για να κάνει καλά κάτι που απαιτεί αρκετή συγκέντρωση και την ίδια στιγμή να αντιλαμβάνεται την ύπαρξή του. Έτσι η ύπαρξη προσωρινά έχει μπει στην άκρη»⁹.

Με βάση τα ανωτέρω προκύπτει και ο εξής ορισμός: Η εικονική πραγματικότητα δημιουργεί έναν φυσικό και διανοητικό χώρο για τους ανθρώπους. Η ουσία της είναι μια αίσθηση του χώρου στον οποίο η φαντασία των ανθρώπων μπορεί να πραγματοποιηθεί, ενώ μια οθόνη χρησιμοποιείται ως μέσο.

Η εικονική πραγματικότητα είναι ένας συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών, στις οποίες η τεχνολογία απόδοσης εικονικού περιβάλλοντος, η τεχνολογία διασύνδεσης και η τεχνολογία ολοκλήρωσης συστήματος αποτελούν βασικές τεχνολογίες.

B.3.2. Ορισμοί Παρουσίας και Τηλεπαρουσίας

Σύμφωνα με τον Steuer (1993), βασιζόμενο σε άρθρα του Gibson (1966 και 1979), η Παρουσία (Telepresence) ορίζεται ως η αίσθηση ότι βρισκόμαστε σε ένα περιβάλλον. Πολλοί αντιληπτικοί παράγοντες συμβάλλουν στη δημιουργία αυτής της αίσθησης, συμπεριλαμβανομένης της εισόδου από μερικά ή όλα τα αισθητήρια κανάλια (αισθήσεις), καθώς και πιο προσεκτικές, αντιληπτικές και άλλες διανοητικές διαδικασίες που εξομοιώνουν τα εισερχόμενα αισθητήρια δεδομένα με τις τρέχουσες ανησυχίες και τις προηγούμενες εμπειρίες. Το κλειδί για τον ορισμό της εικονικής πραγματικότητας, όσον αφορά στην ανθρώπινη εμπειρία και όχι στο τεχνολογικό υλικό, είναι η έννοια της παρουσίας. Η παρουσία μπορεί να θεωρηθεί ως η εμπειρία του φυσικού περιβάλλοντος. Δεν αναφέρεται στο περιβάλλον, όπως αυτό υπάρχει στον φυσικό κόσμο, αλλά στην αντίληψη αυτών των περιβαλλόντων, όπως αυτά διαμεσολαβούνται τόσο από αυτόματες όσο και από ελεγχόμενες νοητικές διαδικασίες.

⁹ Πηγή: Ιστότοπος wikipedia.org, αναζήτηση με λήμμα: Csíkszentmihályi Mihály.

Όταν η αντίληψη διαμεσολαβείται από την τεχνολογία επικοινωνιών, αναγκάζεται κανείς να αντιληφθεί ταυτόχρονα δύο ξεχωριστά περιβάλλοντα: το φυσικό περιβάλλον, στο οποίο κάποιος είναι πραγματικά παρών, και το περιβάλλον που παρουσιάζεται μέσω του μέσου. Άρα, «τηλεπαρουσία» είναι ο βαθμός στον οποίο κάποιος αισθάνεται παρών στο περιβάλλον μεσολάβησης και όχι στο άμεσο φυσικό περιβάλλον.

Η έννοια της παρουσίας είναι υποκειμενική και προσδιορίζεται από την αίσθηση που αποκομίζει ο χρήστης. Επίσης, μπορεί να ερμηνευθεί ως αίσθηση ρεαλισμού, «μεταφορά», υπό την έννοια του «βρίσκομαι εκεί», και εμβύθιση.

Ο όρος co-presence (συν-παρουσία) ή so-cial presence (so-cial παρουσία) συχνά επιφυλάσσεται για την αίσθηση ότι είμαστε μαζί σε έναν εικονικό κόσμο.

Ο Sheridan (1992) κάνει μια άλλη διάκριση και υπογραμμίζει τη διαφορά μεταξύ παρουσίας, της αίσθησης δηλαδή ότι βρίσκεται κανείς σε έναν κόσμο που δημιουργείται από υπολογιστή, και τηλεπαρουσίας, της αίσθησης δηλαδή ότι κάποιος βρίσκεται σε πραγματική αλλά απομακρυσμένη τοποθεσία.

Η Heeter (1992) προχωρά στη διάκριση μεταξύ τριών διαφορετικών τύπων παρουσίας ενός χρήστη σε ένα εικονικό περιβάλλον:

- Προσωπική παρουσία, υπό την έννοια ότι ο χρήστης αντιδρά σε ήχους και εικόνες κατά τον ίδιο τρόπο που θα αντιδρούσε και στον πραγματικό κόσμο.
- Κοινωνική παρουσία, υπό την έννοια πως, όταν βρίσκονται και άλλοι χρήστες στο ίδιο περιβάλλον, αυτό αποτελεί μεγαλύτερη απόδειξη πως ο κόσμος και το περιβάλλον αυτό υφίσταται, διότι αν αγνοούν οι άλλοι χρήστες την ύπαρξή τους σε αυτό, τότε και ο ίδιος θα αναρωτηθεί για τη δική του ύπαρξη εκεί. Επιπλέον, εάν αναγνωριστεί ως τμήμα του εικονικού κόσμου και από άλλους, οι οποίοι αλληλεπιδρούν με αυτόν, αυτό προσδίδει περαιτέρω αποδείξεις της ύπαρξης στο περιβάλλον αυτό.
- Περιβαλλοντική παρουσία: από άποψη παρουσίας, πολλά εικονικά περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται απαθή, διότι έχουν σχεδιαστεί να αφήνουν τον χρήστη να περιηγηθεί, όπως θα μπορούσε άλλωστε να συμβεί και στον πραγματικό κόσμο. Παρατηρείται, ωστόσο, πως αρκετά τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα τείνουν να αγνοούν την ύπαρξη και παρουσία του χρήστη και δεν έχει ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό τους η αποφυγή λογικών λαθών, όπως πχ. κατά την περιήγηση να βρεθούν εντός ενός αντικειμένου, για παράδειγμα σε έναν καναπέ ή σε ένα βουνό.

Επιπροσθέτως, ένα εικονικό περιβάλλον μπορεί να ανταποκρίνεται περισσότερο στον χρήστη από ό,τι ένα πραγματικό περιβάλλον, το οποίο μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη αίσθηση παρουσίας στον χρήστη.

Σύμφωνα δε με την Lombard (2000), η παρουσία (μια συντομευμένη εκδοχή του όρου «τηλε-παρουσία») είναι μια ψυχολογική κατάσταση ή υποκειμενική αντίληψη στην οποία, παρ' όλο που το μέρος της τρέχουσας εμπειρίας ενός ατόμου δημιουργείται ή και φιλτράρεται μέσω ανθρώπινης τεχνολογίας, μέρος ή η ολική αντίληψη του ατόμου δεν αναγνωρίζει με ακρίβεια τον ρόλο της τεχνολογίας στην εμπειρία αυτή. Εκτός των ακραίων περιπτώσεων, ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί ότι χρησιμοποιεί την τεχνολογία, αλλά σε κάποιο επίπεδο και σε κάποιο βαθμό οι αντιλήψεις του χρήστη παραβλέπουν αυτή τη γνώση, έτσι που τα αντικείμενα, τα γεγονότα, οι οντότητες και τα περιβάλλοντα αντιμετωπίζονται υπό τη θεώρηση σαν η τεχνολογία να μην συμμετείχε στην εμπειρία αυτή.

Οι Slater et al. (1994) επισημαίνουν ότι η υψηλή αίσθηση της παρουσίας σε ένα εικονικό περιβάλλον VE απαιτεί ένα ταυτόχρονο χαμηλό επίπεδο παρουσίας στον πραγματικό κόσμο και αντίστροφα.

Σύμφωνα με τον Biocca (1997), οι χρήστες μπορούν να λένε ότι αισθάνονται σαν να είναι φυσιολογικά σε ένα μόνο από τα τρία μέρη: το φυσικό περιβάλλον, το εικονικό περιβάλλον ή το φανταστικό περιβάλλον.

Ως προϋποθέσεις για την αίσθηση της παρουσίας, σύμφωνα με τους Witmer & Singer (1998) ορίζονται:

- α) η συμμετοχή, δηλαδή μια ψυχολογική κατάσταση που βιώνεται ως συνέπεια της εστίασης της προσοχής σε ένα συνεκτικό σύνολο ερεθισμάτων ή σχετικών δραστηριοτήτων και γεγονότων, και
- β) η εμπύθιση, που ορίζεται ως μια ψυχολογική κατάσταση που χαρακτηρίζεται από την αντίληψη του χρήστη ότι περιβάλλεται από, να συμπεριλαμβάνεται σε και να αλληλεπιδρά με ένα εικονικό περιβάλλον.

Σύμφωνα με τους Schuemie et al. (2001), οι οποίοι μελέτησαν την έννοια της παρουσίας (Presence), ίσως μια από τις πιο σημαντικές συνέπειές της είναι ότι μια εικονική εμπειρία μπορεί να προκαλέσει τις ίδιες αντιδράσεις και συναισθήματα με μια πραγματική εμπειρία.

Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το ζήτημα της παρουσίας από την οπτική των χρηστών VR, κυρίως μέσω ερωτηματολογίων, ακόμη δε έχει πραγματοποιηθεί

έρευνα για το αν είναι προτιμότερο αυτή να λάβει χώρα μέσω των ερωτηματολογίων εντός ή εκτός του περιβάλλοντος VR (Schwind et al., 2019).

Ένας άλλος όρος, η “αίσθηση του τόπου” (Sense of Place - SOP), είναι ο συνδυασμός συναισθημάτων προσκόλλησης, εξάρτησης, ανησυχίας, ταυτότητας και αίσθησης ότι ανήκει κανείς στον συγκεκριμένο χώρο που αναπτύσσουν οι άνθρωποι σχετικά με ένα μέρος. Η υψηλή ποιότητα ιστορικής και γεωγραφικής καθοδήγησης και οι ερμηνευτικές δραστηριότητες σε ένα μέρος ενισχύουν τον σχηματισμό SOP (Chang et al., 2015).

Σύμφωνα με τους Μουστάκα κ.ά. (2015), η VR μπορεί να αποτελεί μια ρεαλιστική εμπειρία εάν συντρέχει το προαπαιτούμενο της εμπύθισης και της αίσθησης της παρουσίας (Presence) του χρήστη. Εάν δε υπάρχει και αλληλεπίδραση του χρήστη με τον εικονικό κόσμο, ενισχύεται και η αίσθηση της παρουσίας.

B.3.2.1. Τηλε-παρουσία και τηλε-χειρισμός (Telepresence and Teleoperation)

Σε καταστάσεις όπου δεν είναι εφικτή εύκολα ή και είναι πολύ δύσκολη η φυσική παρουσία του ανθρώπου, όπως πχ. σε φυσικές καταστροφές ή καταστροφές σε πυρηνικούς σταθμούς, σε μια αποστολή στο διάστημα κ.λπ., δίδεται η δυνατότητα μέσω της προσομοίωσης της παρουσίας ενός χειριστή σε απομακρυσμένο περιβάλλον να εποπτεύει ή ακόμη και να χειρίζεται μια απομακρυσμένη πλατφόρμα μέσω ρομποτικής. Μέσω μιας διεπαφής εικονικής διασύνδεσης παρέχονται στον χειριστή πολλαπλές οπτικές γωνίες του περιβάλλοντος απομακρυσμένης εργασίας σε μορφή πολυτροπικής απεικόνισης, η οποία μπορεί εύκολα να αναδιαμορφωθεί σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες προτεραιότητες εργασιών. Έτσι, ο χειριστής είναι σε θέση να μπορεί να ερευνήσει την απομακρυσμένη περιοχή.

Παράδειγμα εφαρμογής αποτέλεσε η εφαρμογή πρωτοτύπου NASA Ames Telepresence (1984), όπου ο χειριστής αλληλεπιδρά με ένα προσομοιωμένο περιβάλλον τηλεχειριζόμενης εργασίας. Μια πιο εξελιγμένη μορφή αντίστοιχου χειρισμού αποτελεί η απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση.

B.3. Άλλοι ορισμοί

Άλλοι ορισμοί που βοηθούν στην κατανόηση εννοιών αλλά και στην αντίληψη του τί είναι και πώς επιτυγχάνεται ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας σύμφωνα με τους Μουστάκα κ.ά. (2015) είναι:

Στην γραμμική άλγεβρα βασίζεται η δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος:

«Γραμμική Άλγεβρα – Μαθηματικά: Οποιοδήποτε εικονικό περιβάλλον απαρτίζεται από γεωμετρικά αντικείμενα τα οποία αναπαρίστανται σε έναν τρισδιάστατο Ευκλείδειο χώρο. Τα αντικείμενα αυτά περιγράφονται ως σύνολα σημείων (διανυσμάτων) ή συνηθέστερα ως σύνολα στοιχειωδών γεωμετρικών οντοτήτων, όπως είναι τα τρίγωνα, τα οποία όμως και πάλι είναι τριάδες σημείων. Οποιαδήποτε κίνηση του αντικειμένου ή του σημείου παρατήρησης περιγράφεται από τους κατάλληλους συσχετισμένους μετασχηματισμούς, οι οποίοι εν γένει ανάγονται σε πολλαπλασιασμούς πινάκων».

«Προγραμματισμός: Η υλοποίηση ενός συστήματος Γραφικών ή/και Εικονικής Πραγματικότητας πραγματοποιείται με σύνταξη ενός προγράμματος σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού».

«Φυσική: Πολλά από τα συστήματα Γραφικών είναι εμπνευσμένα από φυσικές διεργασίες. Έτσι οι αλγόριθμοι φωτισμού βασίζονται στην κλασική αλληλεπίδραση φωτός και ύλης την οποία “προσπαθούν” να μιμηθούν. Ακόμα, οι δυναμικές προσομοιώσεις έχουν ως στόχο την αλγοριθμική υλοποίηση των νόμων της κλασικής Νευτώνιας μηχανικής».

«Τρισδιάστατα μοντέλα: Η γραφική απεικόνιση μιας τρισδιάστατης σκηνής προαπαιτεί την περιγραφή της γεωμετρίας της μέσω κάποιου μαθηματικού μοντέλου. Ένα μοντέλο είναι μια προσεγγιστική αναπαράσταση ενός υπαρκτού ή υποθετικού αντικειμένου, το οποίο περιγράφει όσο το δυνατόν περισσότερες ιδιότητες αυτού» (Βοσινάκης, 2015).

«Γραφικά Υπολογιστών (Computer Graphics): είναι η επιστήμη που ασχολείται με όλα τα ζητήματα που σχετίζονται με την οπτική επικοινωνία ανθρώπου και μηχανής, αν και η επικοινωνία αυτή αναλύσκεται στη σύνθεση εικόνων μέσω ενός υπολογιστή τις οποίες παρατηρεί ο χρήστης. Υπάρχουν και λογισμικά-εφαρμογές με βάση τα οποία ο υπολογιστής δύναται να “παρακολουθεί” και να αναγνωρίζει τις κινήσεις του χρήστη».

Ειδικότερα, οφείλουν να αναφερθούν οι όροι των Γραφικών Υπολογιστών (Computer Graphics) και της Όρασης Υπολογιστών (Computer Vision) καθώς και η σχέση μεταξύ τους. «Σε ένα σύστημα γραφικών (Εικόνα 6α) είναι γνωστά όλα τα αντικείμενα και οι παράμετροι του τρισδιάστατου (συνήθως) κόσμου» και «ζητείται η απεικόνισή τους σε ένα δισδιάστατο επίπεδο προβολής το οποίο αναπαριστά και το “παράθυρο” του χρήστη προς τον εικονικό κόσμο.

Αντίθετα, στην Όραση Υπολογιστών (Εικόνα 6β) αυτό που δίνεται είναι μια εικόνα ή μια ακολουθία εικόνων δύο διαστάσεων από την οποία ζητείται ο υπολογισμός δεδομένων και χαρακτηριστικών των αντικειμένων και του κόσμου τριών διαστάσεων, όπως είναι το βάθος, η γεωμετρία των αντικειμένων, η κίνησή τους κ.ά.» (Μουστάκας κ.ά., 2015).



Εικόνα 6. Υπολογιστική όραση και Γραφικά. Στα Γραφικά (αριστερά) είναι γνωστό το μοντέλο ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος και προσπαθούμε να σχεδιάσουμε ρεαλιστικά και αποδοτικά την εικόνα στο επίπεδο προβολής. Στην Υπολογιστική Όραση (δεξιά) μας δίνεται μια εικόνα (ή περισσότερες) ενός περιβάλλοντος και προσπαθούμε να εκτιμήσουμε τις γεωμετρικές ιδιότητές του.

Θεμελιώδη ερωτήματα και έννοιες, αλλά και υπολογιστικά προβλήματα Γραφικών αποτελούν τα εξής:

- Τι είναι ένα εικονικό αντικείμενο και πώς αναπαρίσταται αυτό;

Ως ένα εικονικό αντικείμενο ορίζεται ένα σύνολο σημείων, κατάλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους, τα οποία σχηματίζουν ένα σύνολο τριγώνων που αποδίδουν την επιφάνεια του αντικειμένου.

- Πώς ορίζεται η απόλυτη και σχετική θέση των αντικειμένων στον χώρο;

Τα αντικείμενα μέσω μετασχηματισμών εντάσσονται σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς (συντεταγμένων) όπου περιγράφεται η απόλυτη θέση τους εντός του συστήματος VR. Ως προς τη σχετική τους θέση, από την άποψη του παρατηρητή που αποτελεί επί της ουσίας ένα κινητό και αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων, μέσω γεωμετρικού μετασχηματισμού ορίζεται η ένταξη του αυθαίρετου αυτού συστήματος συντεταγμένων μέσα στο ενιαίο σύστημα αναφοράς του εικονικού κόσμου, που συνεπάγεται και τον αντίστοιχο μετασχηματισμό των συντεταγμένων ως προς το αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων του παρατηρητή.

- Ποιο είναι το σημείο παρατήρησης?

Ουσιαστικά είναι σαν να τοποθετούμε μια εικονική κάμερα κάπου στον χώρο του περιβάλλοντος VR, η οποία αντιπροσωπεύει το σημείο παρατήρησης, και

μπορούμε να επιτύχουμε περιήγηση στον χώρο μέσω χρήσης κατάλληλων μετασχηματισμών. Η τρισδιάστατη προβολή σε μια δισδιάστατη εικόνα γίνεται με κατάλληλους μετασχηματισμούς.

- Η μετάβαση από τον συνεχή χώρο (πραγματικότητα) σε έναν διακριτό (εικονοψηφίδες της εικόνας).
- Η απόδοση υφής-χρώματος στην εικόνα, όμοια με το πραγματικό αντικείμενο, η οποία λαμβάνεται από εικόνες του αντικειμένου που προβάλλεται στον εικονικό κόσμο.
- Η επίδραση του φωτισμού-φωτοσκίασης των αντικειμένων, η οποία εξαρτάται και από το υλικό τους.
- Η κίνηση του χρήστη μέσα στο περιβάλλον VR και η ταυτόχρονη κίνηση των στοιχείων του που αυτός αντιλαμβάνεται εντός του περιβάλλοντος VR.
- Η απόδοση κίνησης (animation) του χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον.
- Η τοποθέτηση αλλά και η σωστή θέση σε περιβάλλον AR των εικονικών αντικειμένων σε σχέση με τα πραγματικά αντικείμενα που παρατηρεί ο χρήστης μέσω των αισθητήριων οργάνων του (Μουστάκας κ.ά., 2015).

B.3.1. Εισαγωγή χρήστη

Τα κανάλια εισόδου μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας είναι εκείνα με τα οποία τα άτομα εκπέμπουν πληροφορίες και αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον, κυρίως δε μέσω μετακίνησης, χειρισμού και επικοινωνίας με φωνή, χειρονομίες και εκφράσεις του προσώπου.

Η “χειρονομική” επικοινωνία καθώς και η μετακίνηση επιβάλλουν την ανάλυση και ανίχνευση κίνησης ολόκληρου του σώματος (Gesture Recognition), ενώ η λεκτική επικοινωνία με τον υπολογιστή ή άλλους χρήστες καθιστά τη φωνητική εισαγωγή μια σημαντική επιλογή.

Όπως αναφέρεται στην έκθεση του 1995 του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας των Ηνωμένων Πολιτειών, επειδή τα ανθρώπινα όντα αποτελούν ουσιαστικό συστατικό όλων των συστημάτων [συνθετικού περιβάλλοντος (synthetic environment, SE)], υπάρχουν πολύ λίγες περιοχές γνώσης σχετικά με την ανθρώπινη συμπεριφορά που δεν σχετίζονται με τον σχεδιασμό, τη χρήση και την αξιολόγηση αυτών των συστημάτων.

Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους, η είσοδος χρήστη περιορίζεται σε μερικά επιλεγμένα κανάλια. Επειδή τα χέρια προσφέρουν πολύ περισσότερους βαθμούς ελευθερίας συγκεντρωμένους σε μια μικρή περιοχή σχετικά με οποιοδήποτε άλλο μέρος του σώματος, η παρακολούθηση της κίνησης των χεριών είναι αρκετή για τις περισσότερες εφαρμογές. Επιπλέον, το γεγονός ότι τα χέρια είναι το κύριο εργαλείο χειρισμού, καθιστά την παρακολούθηση της κίνησής τους μια κρίσιμη συνεισφορά για την αλληλεπίδραση με τους εικονικούς κόσμους. Ο προσδιορισμός του σημείου θέασης απαιτεί την παρακολούθηση της κίνησης του κεφαλιού του χρήστη σε πραγματικό χρόνο καθώς και των οφθαλμών, προκειμένου να ενημερωθούν οι εμφανιζόμενες στερεοσκοπικές εικόνες συντονισμένες με τις κινήσεις των χρηστών.

B.3.2. Αισθητηριακή ανάδραση

Η αίσθηση της φυσικής πραγματικότητας είναι μια κατασκευή που προέρχεται από τις συμβολικές, γεωμετρικές και δυναμικές πληροφορίες που παρουσιάζονται άμεσα στις αισθήσεις μας. Τα κανάλια εξόδου μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας αντιστοιχούν έτσι στις αισθήσεις μας: όραση, αφή και αντίληψη δύναμης, ακοή, οσμή, γεύση. Η αισθητηριακή προσομοίωση δηλαδή αποτελεί βασικό μέλημα της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας και οι Gobbetti & Scateni (1998) έχουν περιγράψει αναλυτικά το πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο δέχονται αναδράσεις τα αισθητήρια κανάλια του ανθρώπου.

B.3.2.1. Οπτική αντίληψη

Η όραση γενικά είναι η κυρίαρχη αίσθηση και υπάρχουν ενδείξεις ότι η ανθρώπινη νόηση ή γνωστική λειτουργία είναι προσανατολισμένη γύρω από αυτή. Η υψηλής ποιότητας οπτική αναπαράσταση είναι, επομένως, κρίσιμη για εικονικά περιβάλλοντα. Τα κύρια θέματα της οπτικής αίσθησης που επηρεάζουν τις απαιτήσεις προβολής είναι τα εξής:

- Αντίληψη βάθους: η στερεοσκοπική προβολή είναι ένας πρωταρχικός ανθρώπινος οπτικός μηχανισμός για την αντίληψη του βάθους. Ωστόσο, επειδή τα ανθρώπινα μάτια βρίσκονται κατά μέσο όρο σε απόσταση 6.3 cm μεταξύ τους, χάνονται εν πολλοίς τα γεωμετρικά οφέλη της στερεοσκοπικής όρασης για αντικείμενα πιο απομακρυσμένα από 30 m, ενώ αυτή είναι πιο αποτελεσματική σε πολύ πιο κοντινές αποστάσεις. Άλλες κύριες παράμετροι (οπτική σύγκλιση και προσαρμογή) και δευτερεύοντα γνωρίσματα (πχ. προοπτική, παράλλαξη

κινήσεων, μέγεθος, υφή, σκίαση και σκιές) είναι απαραίτητα για μακρινά αντικείμενα και έχουν διαφορετική σημασία για τα κοντινά.

- Ακρίβεια και οπτικό πεδίο: το ολικό οριζόντιο οπτικό πεδίο θέασης ή γωνιακό άνοιγμα (Field-of-View – FoV) και των δύο ανθρώπινων οφθαλμών είναι περίπου 180° χωρίς κίνηση ματιών ή κεφαλιού και 270° με σταθερό κεφάλι και κινητά μάτια. Το κατακόρυφο οπτικό πεδίο είναι τυπικά πάνω από 120°. Ενώ δεν είναι απαραίτητο το συνολικό πεδίο για να βρεθεί ο χρήστης εμβυθισμένος σε ένα οπτικό περιβάλλον, θεωρείται γενικά πως 90° έως 110° είναι απαραίτητες για το οριζόντιο οπτικό πεδίο.

Το οπτικό πεδίο είναι το μέγεθος του οπτικού χώρου των χρηστών που είναι γεμάτο με γραφικά υπολογιστών και έτσι όσο μεγαλύτερο είναι το FoV τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο βύθισης (Billingham et al., 2015).

- Κρίσιμη συχνότητα σύνθεσης: οι οπτικές προσομοιώσεις επιτυγχάνουν την ψευδαίσθηση μιας κινούμενης εικόνας με ταχεία διαδοχική παρουσίαση μιας ακολουθίας στατικών εικόνων. Η κρίσιμη συχνότητα σύνθεσης είναι ο ρυθμός πάνω από τον οποίο οι άνθρωποι δεν είναι ικανοί να διακρίνουν τη διαφορά μεταξύ διαδοχικών οπτικών ερεθισμάτων. Αυτή η συχνότητα είναι ανάλογη της φωτεινότητας και του μεγέθους της περιοχής που καλύπτεται στον αμφιβληστροειδή. Οι τυπικές τιμές συχνότητας για τις μέσες σκηνές κυμαίνονται μεταξύ 5 και 60 Hz. Ένας βασικός κανόνας στη βιομηχανία γραφικών υπολογιστών προτείνει πως μια συχνότητα κάτω από περίπου 10-15 Hz κάνει τα αντικείμενα να μην φαίνονται να είναι σε συνεχή κίνηση, με αποτέλεσμα την διάσπαση της προσοχής. Οι εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως οι επαγγελματικοί προσομοιωτές πτήσης, απαιτούν οπτικές συχνότητες ανατροφοδότησης άνω των 60 Hz.

B.3.2.1.1α. Παρακολούθηση οφθαλμών (Eye tracking)

Σημαντική προϋπόθεση λειτουργίας ενός συστήματος AR και VR αποτελεί η παρακολούθηση των οφθαλμών του χρήστη προκειμένου να αντιληφθεί το σύστημα τί παρατηρεί αυτός. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται παρακολούθηση οφθαλμών (Eye tracking).

Η παρακολούθηση των οφθαλμών είναι η διαδικασία μέτρησης είτε του σημείου που παρατηρεί ο χρήστης είτε της κίνησης ενός ματιού σε σχέση με το κεφάλι. Ο ιχνηλάτης αυτός είναι μια συσκευή για τη μέτρηση των θέσεων των ματιών και της

κίνησής τους και χρησιμοποιείται ως συσκευή εισόδου για αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές μέτρησης της κίνησης των ματιών, όπως μέσω της ανάκλασης του κερατοειδούς χιτώνα όπου υπολογίζεται το φως που ανακλάται από αυτόν, της Electroculography που μετρά ενδεχόμενες διαφορές οι οποίες προκύπτουν από το δυναμικό κερατοειδής χιτώνας-αμφιβληστροειδής χιτώνας και ο εντοπισμός της κίνησης της κόρης του οφθαλμού. Η τελευταία μέθοδος είναι και η δημοφιλέστερη και χρησιμοποιεί/επεξεργάζεται μια εικόνα video χρησιμοποιώντας την κόρη ματιού ως σημείο αναφοράς.

B.3.2.2. Η αντίληψη του ήχου

Αναλύοντας τον συνήθη τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούμε τις αισθήσεις μας, μπορούμε να πούμε ότι η όραση είναι ο προνομιούχος τρόπος αντίληψης, ενώ η ακοή χρησιμοποιείται κυρίως για προφορική επικοινωνία, για να πάρει πληροφορίες από άορατα μέρη του κόσμου ή όταν η όραση δεν παρέχει επαρκείς πληροφορίες. Η ανατροφοδότηση του ήχου πρέπει να είναι ικανή να συνθέτει ήχο, να τοποθετεί πηγές ήχου σε τρισδιάστατο χώρο και μπορεί να συνδέεται με μια γεννήτρια ομιλίας για λεκτική επικοινωνία με τον υπολογιστή. Στον άνθρωπο, η ακοή είναι πιο αποτελεσματική μεταξύ 1000 και 4000 Hz, με πτώση της απόδοσης όταν η ηχητική συχνότητα γίνεται υψηλότερη ή χαμηλότερη. Η σύνθεση μιας τρισδιάστατης ακουστικής απεικόνισης περιλαμβάνει τυπικά την ψηφιακή παραγωγή ερεθισμάτων με χρήση φίλτρων που εξαρτώνται από τη θέση. Στους ανθρώπους η χωρική ακοή πραγματοποιείται με την αξιολόγηση των μονοφωνικών ενδείξεων, αλλά ακούμε και μπορούμε να εντοπίσουμε ήχους με την αμφιωτική ακοή. Γενικά, η απόσταση μεταξύ μιας πηγής ήχου και των δύο αυτιών είναι διαφορετική για πηγές ήχου εκτός του (δια)μέσου επιπέδου. Αυτός είναι ένας λόγος αλληλεπίδρασης χρόνου, φάσης και επιπέδου που μπορούν να αξιολογηθούν από το ακουστικό σύστημα για την αντίληψη της κατευθυντικότητας. Αυτές οι διαδραστικές ενδείξεις χρησιμοποιούνται κυρίως για την αίσθηση αζιμουθίου (αριστερά ή δεξιά), η οποία είναι συνήθως αρκετά ακριβής (μέχρις ενός βαθμού). Τα αποκλειστικά διαλογικά επίπεδα και οι χρονικές διαφορές δεν επιτρέπουν μονοσήμαντες χωρικές αντιλήψεις. Τα μονοφωνικά στοιχεία χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανύψωση. Αυτές είναι οι ενισχύσεις και οι εξασθενήσεις στις λεγόμενες κατευθυντικές ζώνες (συχνότητας). Ιδιαίτερα η παρουσία του

εξωτερικού αυτιού (αποτελούμενη από το κεφάλι, τον κορμό, τους ώμους και τους πείρους) έχει αποφασιστική επίδραση στα σήματα του τυμπάνου.

B.3.2.3. Η αντίληψη θέσης, αφής και δύναμης

Ενώ τα οπτικά και ακουστικά συστήματα είναι μόνο ικανά να ανιχνεύσουν, η απτική αίσθηση είναι ικανή να ανιχνεύσει τόσο τι συμβαίνει γύρω από τον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον, γεγονός που την καθιστά ένα αναπόσπαστο κομμάτι πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων και έτσι, προκειμένου να παρασχεθεί ο ρεαλισμός που απαιτείται για αποτελεσματικές εφαρμογές, τα συστήματα VR πρέπει γενικά να παρέχουν πληροφορίες και να αντικατοπτρίζουν τις εξόδους του απτικού συστήματος. Οι κύριες μεταβλητές εισόδου - εξόδου για την απτική έννοια είναι μετατοπίσεις και δυνάμεις.

Οι haptic αισθητηριακές πληροφορίες διακρίνονται είτε ως απτικές είτε ως πρωτότυπες πληροφορίες. Η διαφορά μεταξύ τους είναι η ακόλουθη. Ας υποθέσουμε ότι το χέρι πιάνει ένα αντικείμενο. Η αρχική αίσθηση (επαφή) παρέχεται από τους υποδοχείς αφής στο δέρμα, οι οποίοι παρέχουν επίσης πληροφορίες για το σχήμα του αντικειμένου και την υφή του. Εάν το χέρι εφαρμόσει περισσότερη δύναμη, οι ιδιοδεκτικές (ή κιναισθητικές) πληροφορίες παρέχουν λεπτομέρειες σχετικά με τη θέση και την κίνηση του χεριού και του βραχίονα και τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά, ώστε να δίνουν την αίσθηση των συνολικών δυνάμεων επαφής, της διαμόρφωσης της επιφάνειας ακόμη και το βάρος. Γενικά, η απτική και η κιναισθητική ανίχνευση συμβαίνουν ταυτόχρονα.

Για να χειριστούμε ένα αντικείμενο, για παράδειγμα να το μετακινήσουμε, να το περιστρέψουμε ή να το πιάσουμε, το απτικό σύστημα πρέπει να δώσει εντολές κίνησης που ασκούν δύναμη στο αντικείμενο. Αυτές οι δυνάμεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο πιάνουμε το αντικείμενο. Αν πιάσουμε με δύναμη το αντικείμενο, χρησιμοποιούμε όλα τα δάχτυλα και την παλάμη, ενώ εάν απαιτούνται λεπτοί χειρισμοί ακριβείας χρησιμοποιούμε μόνο τις άκρες των δακτύλων.

Δύο σημαντικές πτυχές της προσομοίωσης δύναμης που έχουν αντίκτυπο στις απαιτήσεις ενός συστήματος VR είναι το μέγιστο μέγεθος δύναμης και η συχνότητα ανάδρασης της δύναμης, τα οποία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή. Τυπικές τιμές για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης με μια καλή ποικιλία αντικειμένων είναι τουλάχιστον 10 N στο 1 KHz.

Μια άλλη σημαντική μεταβλητή που λαμβάνεται υπόψη σε περιβάλλοντα VR είναι η ικανότητα του ανθρώπου να ανιχνεύει την κίνηση και ο έλεγχος της στάσης του σώματος (προσανατολισμός, κίνηση και ισορροπία). Τα δύο πρωταρχικά συστήματα που παίζουν ρόλο σε αυτή την αντίληψη είναι το οπτικό και το αιθουσαίο σύστημα (ισορροπία και κίνηση).

B.3.2.4. Οσφρητική αντίληψη (Olfactics)

Συναντάται πολύ σπάνια και απαιτεί εξειδικευμένες συσκευές αναπαραγωγής οσμών. Υπάρχουν κάποιες εξειδικευμένες εφαρμογές όπου η οσφρητική αντίληψη είναι σημαντική και απαιτούνται τα κατάλληλα οσφρητικά ερεθίσματα σε δεδομένες στιγμές κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας.

Ένα περιβάλλον VR που δίδει οσφρητικές ενδείξεις θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα διάχυσης των οσμών, όταν χρειάζεται, και να καθαρίζει και να φιλτράρει τον αέρα όταν δεν απαιτείται πια η σήμανση.

B.3.2.5. Συνέπειες χρήσης συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

Ένας τομέας που μελετάται πλέον ολοένα και περισσότερο αφορά στα αποτελέσματα της εμβύθισης σχετικά με την στιγμή της αποσύνδεσης των χρηστών από τα εικονικά περιβάλλοντα. Μελετώνται λοιπόν οι συνέπειες που προκαλούνται στους χρήστες από ψυχοσωματικής απόψεως, διότι, από τη μια πλευρά, δραστηριοποιούνται και ζουν εφήμερα σε ένα εικονικό περιβάλλον και, από την άλλη πλευρά και στην ουσία, βρίσκονται σε μια διαφορετική πραγματική κατάσταση και χώρο. Κατά την αποσύνδεση από το εικονικό περιβάλλον συνειδητοποιούν ξαφνικά οι άνθρωποι πως αλλάζει εν ριπή οφθαλμού ο χώρος που τους περιβάλλει, συνειδητοποιούν τη στάση του σώματος που έχουν τυχόν λάβει δρώντας στο εικονικό περιβάλλον, αλλάζει η ψυχοσύνθεσή τους, αλλά και η ένταση και η φόρτιση μετά από τη μετάπτωση. Αρκετοί μάλιστα χρήστες, ιδίως κατά τις πρώτες επαφές τους με την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μέσω εμβύθισης, χρειάζονται κάποιο χρόνο προσαρμογής και για τη μετά την αποσύνδεση περίοδο.

Οι συνέπειες αυτές μπορεί να προκύψουν και από αδυναμίες του συστήματος που οφείλονται σε καθυστερήσεις του (lags), σε ατέλειες στις παρεχόμενες στους χρήστες εικόνες (Screen Door Effect, βλέπε σχετικά τις ακόλουθες εικόνες) ή από την ίδια τη χρήση των μασκών VR και τη στερεοσκοπική όραση. Έχει παρατηρηθεί πως χρήστες παρουσιάζουν φαινόμενα ζαλάδας, ναυτίας και απώλεια ισορροπίας,

λίγγους και πονοκεφάλους, πέραν από τυχόν τραυματισμούς κατά τη δράση με χρήση συστημάτων HMD που αποκόπτουν τον χρήστη από το πραγματικό περιβάλλον γύρω του. Στη βιβλιογραφία αυτές οι συνέπειες αναφέρονται με τους όρους Motion Sickness, Simulator Sickness, Cybersickness (Βοσινάκης, 2015).



Εικόνα 7α και 7β. Screen Door Effect, Εικόνα 7γ. Screen Door Effect στο σύστημα Oculus Rift DK2.

Πάντως, και δεδομένου ότι η τεχνολογία τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιήσει άλματα, ιδίως στον τομέα των γραφικών (όπως κάρτες γραφικών με ισχυρή μνήμη, αυξημένες δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας, που υποστηρίζουν υψηλές αναλύσεις εικόνων), αλλά και στις οθόνες απεικόνισης (υψηλής ανάλυσης 4K ή 8K), αναμένεται ότι αυτά θα περιορίσουν τα φαινόμενα που παρατηρούνταν στο παρελθόν.

Η ασθένεια του προσομοιωτή (Simulator Sickness) είναι ένας τύπος ασθένειας κίνησης που προκαλείται από οπτικές πληροφορίες που έρχονται σε σύγκρουση με όσα αντιλαμβάνεται ο χρήστης, όπου κυρίως προκαλείται από την εντύπωση της κίνησης μέσω οπτικών ερεθισμάτων στο οπτικό του πεδίο, οι οποίες επιβεβαιώνονται από την αντίληψη των ερεθισμάτων των υπόλοιπων αισθήσεών του. Η έρευνα επιβεβαίωσε ότι οι οθόνες με ευρύ οπτικό πεδίο (FoV), αν και μπορούν να προκαλέσουν καλύτερη εμπύθιση σε VR, μπορούν συχνά να προκαλέσουν ασθένεια του προσομοιωτή, ευκολότερα από ό,τι οθόνες περιορισμένου οπτικού πεδίου (Xiao & Benko, 2016, και Weech et al., 2019).

Μεγάλες εταιρίες του χώρου της εικονικής πραγματικότητας, όπως πχ. η Oculus, επισημαίνουν πως η χρήση του συστήματός τους HMD συνιστάται να μην υπερβαίνει τα 30 συνεχή λεπτά.

Βέβαια και εδώ έρχεται η τεχνολογία να δώσει λύσεις προλαμβάνοντας τυχόν τέτοιες περιπτώσεις τραυματισμού, χρησιμοποιώντας εξωτερικούς αισθητήρες που ανιχνεύουν τον χρήστη και το πού αυτός βρίσκεται σε σχέση με τα φυσικά εμπόδια που βρίσκονται γύρω του, προκειμένου να αποτρέπουν τις πέραν των ορίων κινήσεις του, είτε χρησιμοποιώντας αισθητήρες οι οποίοι προσδιορίζουν τις αποστάσεις του συστήματος, και έτσι και του ίδιου του χρήστη, από τα εμπόδια που τυχόν τον περιβάλλουν.

Γ. ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Γ.1. Σκοπός και βασικό ζητούμενο της εικονικής πραγματικότητας

Από την προηγηθείσα παράθεση των ορισμών προκύπτουν διαφορετικές προσεγγίσεις και αποδόσεις του όρου. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η εικονική πραγματικότητα είναι κάτι περισσότερο από αλληλεπίδραση με τρισδιάστατους κόσμους. Δίνει την δυνατότητα προσομοίωσης της παρουσίας των χρηστών μέσω διεπαφής-διασύνδεσης και επιτρέπει σε χειριστές να εκτελούν δράσεις σε απομακρυσμένους πραγματικούς κόσμους, σε κόσμους που δημιουργούνται από υπολογιστή ή σε οποιονδήποτε συνδυασμό και των δύο.

Ο κύριος στόχος ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας είναι να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία για να αντικαταστήσει την πραγματικότητα και να δημιουργήσει ένα περιβάλλον εμπύθισης. Αντίθετα, ο κύριος στόχος ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας είναι η ενίσχυση της πραγματικότητας με το ψηφιακό περιεχόμενο με έναν μη καθηλωτικό-εμβυθισμένο τρόπο. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι σε ένα σύστημα VR η συσκευή οθόνης θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα πλήρους εμπύθισης με ένα ευρύ οπτικό πεδίο (FoV) και τα 3D γραφικά να εμφανίζονται όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά (Billinghurst et al., 2015).

Στην ιδανική περίπτωση, προσεγγίζοντας το ζήτημα από τη σκοπιά της τεχνολογίας καθαυτή και του τελικού ζητούμενου-στόχου της, θα έλεγε κανείς ότι μια ιδεατά τέλεια εφαρμογή VR επιτυγχάνεται με την πλήρη εμπύθιση του χρήστη στο περιβάλλον της, δηλαδή με την πλήρη αποκοπή του από κάθε εξωτερική επιρροή ή πρόσληψη πληροφορίας, από κάθε δηλαδή αντίληψη που μπορούν να του παρέχουν τα αισθητήρια όργανά του.

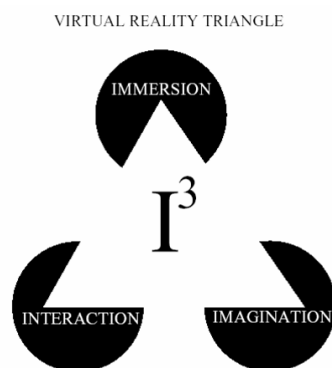
Ως γνωστόν, οι βασικές αισθήσεις των ανθρώπων είναι οι πέντε προναφερεθείσες: όραση, ακοή, αφή, όσφρηση και γεύση. Αυτές διακρίνονται και βάσει της βαρύτητάς τους, ή διαφορετικά από το πόσο εύκολο είναι να χειραγωγηθούν προκειμένου να επιτευχθεί η επιζητούμενη εμπύθιση. Σε αυτές τις αισθήσεις βασίζονται οι άνθρωποι για να αντιληφθούν τον περίγυρό τους, ενώ τους παρέχουν και το μέσον για να αισθανθούν με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, δηλαδή να αποκτήσουν την αίσθηση της οικειότητας με ένα περιβάλλον, της ασφάλειας που νιώθουν σε αυτό και πολλών άλλων παρεμφερών εννοιών. Έτσι και στην περίπτωση της VR θα πρέπει ο χρήστης να έχει τέτοιες προσλαμβάνουσες παραστάσεις που να του επιτρέψουν να αισθανθεί οικεία στο περιβάλλον αυτό, να νιώσει την ανάγκη να

περιηγηθεί, να πλοηγηθεί και να αλληλεπιδράσει με αυτό, όμοια όπως θα πραγματοποιούσε ακούσια ή και εκούσια στην πραγματική ζωή. Άρα, λοιπόν, τα ερεθίσματα που θα λάβει ο χρήστης σε μια VR θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορούν να υπερκεράσουν τυχόν ερεθίσματα που θα λάμβανε από το περιβάλλον του ούτως ή άλλως. Την υποκατάσταση των πραγματικών ερεθισμάτων αυτών καλείται να προσδώσει το ιδανικό περιβάλλον μιας εικονικής πραγματικότητας μέσω τεχνολογιών και εξαρτημάτων, μερικά από τα οποία θα αναφερθούν εκτενέστερα ακολούθως.

Γ.2 Βασικά χαρακτηριστικά εικονικών περιβαλλόντων

Γ.2.1. Το τρίγωνο της εικονικής πραγματικότητας

Το τρίγωνο της εικονικής πραγματικότητας περιγράφει τις βασικές έννοιες-συνιστώσες που συγκροτούν την εικονική πραγματικότητα. Σύμφωνα με τους Burdea & Coiffet (1994), η εικονική πραγματικότητα βασίζεται στο τρίπτυχο: εμπύθιση (immersion), διαδραστικότητα (interaction) και φαντασία (imagination).



Εικόνα 8. Το τρίγωνο της εικονικής πραγματικότητας.

Εμπύθιση: Ένα σύστημα VR μπορεί να εμπυθίσει τον χρήστη στον «εικονικό κόσμο» χρησιμοποιώντας υλικό υψηλής απόδοσης (Head-Mounted Displays, haptics κ.λπ.) και να τον εμποδίσει να αποσπάται από τον πραγματικό κόσμο γύρω του.

Αλληλεπίδραση: Η συνιστώσα αλληλεπίδρασης του χρήστη αφορά στη δυνατότητά του να πλοηγείται και να αλληλεπιδρά εντός του εικονικού περιβάλλοντος, να διαχειρίζεται επιλογές και αντικείμενα.

Φαντασία: η ικανότητα του χρήστη να αντιλαμβάνεται ανύπαρκτα πράγματα και να δημιουργεί την ψευδαίσθηση που του προβάλλει το σύστημα εικονικής πραγματικότητας.

Βασικά χαρακτηριστικά σε ένα εικονικό περιβάλλον αποτελούν η πλοήγηση και η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον όσο και με τα αντικείμενα σε αυτό, ενώ σημαντική είναι επίσης και η διαδραστικότητα.

Γ.2.2. Πλοήγηση

Η μετακίνηση και η περιήγηση του χρήστη, ή αλλιώς η πλοήγησή του, σε ένα περιβάλλον παίζει πρωταρχικό ρόλο, διότι τί περιβάλλον θα ήταν αυτό (δηλαδή το εικονικό) αν δεν μπορούσε κανείς να κινηθεί εντός αυτού; Το περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας και, κατ' επέκταση, τα αντικείμενα που εμφανίζονται σε αυτήν δεν είναι αναγκαίο να ακολουθούν τους κανόνες της φυσικής πραγματικότητας με τους οποίους είμαστε εξοικειωμένοι (Sutherland, 1965).

Άρα, το να διατρέξει κανείς μια απόσταση σε ένα εικονικό περιβάλλον δεν σημαίνει πως θα του πάρει τον ίδιο χρόνο ή ότι θα χρειαστεί να καλύψει την ίδια απόσταση. Η μετακίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια μιας επιλογής ή ενός πλήκτρου και να επιτευχθεί μέσω των συσκευών εισόδου, ενώ διακρίνεται σε μετακίνηση (travel) και εύρεση πορείας (wayfinding).

Γ.2.3. Αλληλεπίδραση

Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον περιγράφει τη δυνατότητά του να πλοηγηθεί, να εξερευνήσει και να ανακαλύψει το περιεχόμενο του εικονικού περιβάλλοντος, να διαχειριστεί, να επιλέξει και να χειραγωγήσει αντικείμενα του περιβάλλοντος αυτού, όπως θα έπραττε και στον πραγματικό κόσμο. Η αλληλεπίδραση περιλαμβάνει πολλαπλά αισθητήρια κανάλια (οπτικά, ακουστικά, απτικά, οσφρητικά και γευστικά), δηλαδή τις ανθρώπινες αισθήσεις. Η πλειονότητα των προσομοιώσεων VR χρησιμοποιούν τις οπτικές (στερεοσκοπικές οθόνες) και τις ακουστικές (διαδραστικές ή 3-D ήχους) διεγέρσεις. Η απτική ανάδραση, όπως έχει αναφερθεί, προσεγγίζεται με χρήση ειδικών γαντιών για την αίσθηση της αφής. Η ανάδυση της οσμής για την αλληλεπίδραση με την όσφρηση του χρήστη και της γεύσης είναι πιο εξεζητημένες μορφές αλληλεπίδρασης σε εικονικά περιβάλλοντα με περιορισμένο αριθμό εφαρμογών που θα μπορούσαν να τις προαπαιτούν. Αυτές, άλλωστε, βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της έρευνας.

Ο βαθμός αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τη δυνατότητα του χρήστη να δράσει στο εικονικό περιβάλλον και κατά πόσο αυτή η αλληλεπίδραση γίνεται με φυσικό ή αληθοφανή τρόπο, που σημαίνει πως όσο περισσότερο τείνει να ομοιάσει μια δράση-αλληλεπίδραση του εικονικού κόσμου σε μια αντίστοιχη δράση-

αλληλεπίδραση του φυσικού κόσμου τόσο πιο επιτυχημένη θεωρείται η υλοποίησή της.

Όπως αναφέρει ο Βοσινάκης (2015), για την αλληλεπίδραση απαιτείται η χρήση μεταφορών διεπαφής (interface metaphors), οι οποίες έχουν τον ρόλο να παραπέμπουν εννοιολογικά σε ήδη γνωστές από τον πραγματικό κόσμο έννοιες, αλλά και αντικείμενα. Σχετικά με την αλληλεπίδραση με αντικείμενα, δηλαδή την επιλογή κάποιου αντικειμένου και τον χειρισμό του ή την απελευθέρωσή του σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον, αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί:

- Με φυσική κίνηση: όπου ο ίδιος ο χρήστης εκτελεί τη φυσική κίνηση.
- Με άμεσο έλεγχο μέσω συσκευής: όπου ο χρήστης χειρίζεται μια συσκευή ενώ οι κινήσεις του αυτές μεταφέρονται ως αντίστοιχες κινήσεις επί του αντικειμένου.
- Με εικονικό έλεγχο: όπου στο περιβάλλον του χρήστη υπάρχουν εικονικά στοιχεία ελέγχου που του επιτρέπουν τον χειρισμό.
- Μέσω αλληλεπίδρασης και έλεγχο μέσω πράκτορα: όπου ο χρήστης δίνει φωνητικές ή γραπτές εντολές στο σύστημα, οι οποίες εκτελούνται.

Σύμφωνα με τον Mine (1995), οι βασικές μορφές αλληλεπίδρασης σε έναν εικονικό κόσμο είναι: η κίνηση, η επιλογή, η χειραγώγηση ή χειρισμός και η επιλογή κλίμακας (μεγέθυνση ή σμίκρυνση). Επιπρόσθετα, μια πέμπτη μορφή αποτελεί το εικονικό μενού και η αλληλεπίδραση μέσω γραφικού στοιχείου.

Κατηγορίες τεχνικών προδιαγραφών παραμέτρων είναι οι εξής:

- Άμεση αλληλεπίδραση χρήστη.
Αυτή περιλαμβάνει τη χρήση της παρακολούθησης χεριών, της αναγνώρισης χειρονομίας, της κατάδειξης, της κατεύθυνσης του βλέμματος κ.λπ. για τον καθορισμό των παραμέτρων της εργασίας αλληλεπίδρασης.
- Φυσικοί έλεγχοι.
Αυτοί περιλαμβάνουν κουμπιά, ρυθμιστικά, κανάλια, χειριστήρια, τιμόνια κ.λπ. Η χρήση φυσικών χειριστηρίων μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την αίσθηση της παρουσίας ενός χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Η φυσική συσκευή είναι επίσης κατάλληλη για τον ακριβή έλεγχο μιας εργασίας αλληλεπίδρασης
- Εικονικά στοιχεία (συσκευές) ελέγχου (virtual control devices).

Μπορεί να είναι, λόγου χάριν, ένας μοχλός ή μπορεί να έχει τη μορφή εικονικών μενού ρυθμίσεων που μπορούν να ελεγχθούν από τον χρήστη (πχ. εργαλειοθήκη).

Η αλληλεπίδραση των χρηστών με το περιβάλλον είναι ένα αναπόσπαστο συστατικό των εικονικών κόσμων, με βασικό χαρακτηριστικό των εικονικών περιβαλλόντων που τα διαφοροποιεί από άλλα μέσα (δισδιάστατα κ.λπ.) να είναι η δυνατότητα των χρηστών να πλοηγούνται ελεύθερα μέσα σε αυτά, να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν με τα αντικείμενα του περιβάλλοντος (Βοσινάκης, 2015).

Σύμφωνα με τους Vergara et al. (2017), το επίπεδο αλληλεπίδρασης και ελέγχου χρήστη όσο και η δυσκολία του σχεδιασμού μιας εφαρμογής VR μπορούν να ταξινομηθούν σε τρία βασικά επίπεδα:

- (i) παθητικό, όπου η αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας είναι χαμηλή,
- (ii) διερευνητικό, όπου το περιβάλλον VR επιτρέπει στον χρήστη: α) να μετακινείται στον εικονικό κόσμο και β) να επιλέγει τι να παρατηρήσει,
- (iii) διαδραστικό, όπου η αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον VR είναι υψηλή. Ένα τέτοιο περιβάλλον επιτρέπει στους χρήστες να εξερευνήσουν, να ελέγξουν και ακόμη και να τροποποιήσουν το εικονικό περιβάλλον.

Επίσης, σύμφωνα με τους ιδίους, το επίπεδο αλληλεπίδρασης μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με:

- (i) τους επιδιωκόμενους στόχους,
- (ii) τον αριθμό των αισθήσεων που ενεργούν,
- (iii) τις διαθέσιμες συσκευές υλικού και
- (iv) το χρησιμοποιημένο λογισμικό προγραμματισμού.

Γ.2.4. Διαδραστικότητα

Βασικό χαρακτηριστικό της εικονικής πραγματικότητας αποτελεί και η διαδραστικότητα. Στην ιδανική περίπτωση ενός εικονικού περιβάλλοντος ο χρήστης δύναται να εμπυθιστεί και να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον αυτό αρμονικά. Το περιβάλλον καθώς και η επικοινωνία του χρήστη με αυτό οφείλει να καλύπτει ορισμένες προϋποθέσεις και προδιαγραφές για να είναι σε πραγματικό χρόνο ώστε να είναι επιτυχής η διαδικασία.

Σύμφωνα με τους Slater et al. (1994), εμπύθιση είναι η ψευδαίσθηση που έχει ο χρήστης αναφορικά με την ύπαρξή του μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον και πρακτικά προσεγγίζεται ως ο βαθμός στον οποίο το σύστημα VR επιτυγχάνει να απομονώσει τον χρήστη από το φυσικό του περιβάλλον.

Η έννοια της διαδραστικότητας συνεισφέρει στην αίσθηση της εμπύθισης (immersion), δηλαδή της αίσθησης που έχει ο χρήστης ότι συμμετέχει ενεργά στην όλη δράση στον χώρο και αποτελεί μέρος της. Οποιαδήποτε καθυστέρηση στην απόκριση του συστήματος, σε κινήσεις του χρήστη ή στις παραστάσεις των όσων βλέπει και παρατηρεί, έλλειψη ή κακός συγχρονισμός των αισθητηριακών ερεθισμάτων που δέχεται από τις συσκευές εξόδου, όλα αυτά μπορούν να προκαλέσουν μειωμένη εμπειρία εμπύθισης στο εικονικό περιβάλλον, μέχρι και ιατρικής φύσεως προβλήματα, όπως πχ. έντονο πονοκέφαλο, οπτικές παρενέργειες κ.λπ.

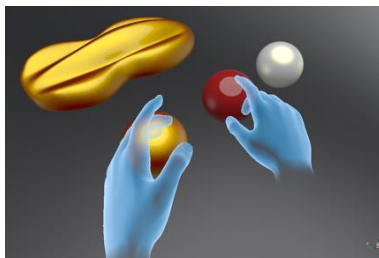
Αυτές οι συνέπειες μπορούν να προκληθούν λόγω της εξής ψυχοσωματικής αντίφασης: ο χρήστης της εικονικής πραγματικότητας βρίσκεται στην πραγματικότητα πχ. στον καναπέ του σπιτιού του ή σε ένα δωμάτιο, αλλά το μυαλό του αντιλαμβάνεται πως βρίσκεται σε ένα διαφορετικό περιβάλλον, το εικονικό, όπου προσπαθεί να αναδράσει σύμφωνα με τα ερεθίσματα που δέχεται από αυτό. Αυτός ο διαχωρισμός νοητικής δραστηριότητας και πράξης είναι από μόνος του μια μη συνηθισμένη δραστηριότητα για τον άνθρωπο, που επιβάλλει και χρόνο προσαρμογής για τον χρήστη, τόσο κατά τη χρήση όσο και μετά από αυτήν.

Γ.2.5. Περιορισμοί

Σαφώς και στα συστήματα VR υπάρχουν και περιορισμοί, οι οποίοι έγκειται κυρίως στην εξέλιξη της τεχνολογίας, των χρησιμοποιούμενων υλικών, αλλά και στο κόστος που απαιτείται για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων.

Το όλο εγχείρημα μιας αληθοφανούς προσομοίωσης μέσω ενός εικονικού περιβάλλοντος έρχεται αντιμέτωπο με αυτή την έννοια, την αληθοφάνεια. Διότι αν και το ζητούμενο σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι να φαίνεται οικείο στον χρήστη και να προσομοιάζει τις κινήσεις και δράσεις του όπως και στο φυσικό περιβάλλον, είναι αρκετά δύσκολο να δοθούν τέτοιες λύσεις, από άποψη τεχνικών μέσων όσο και προγραμματισμού, που να δημιουργούν την αίσθηση σε αυτόν ότι βρίσκεται «εκεί», δίνοντάς του την αίσθηση της Παρουσίας (Presence).

Πρόσφατα έχουν δοθεί επί της ουσίας λύσεις που επιτρέπουν την αληθοφανή απεικόνιση αντικειμένων μέσω απόδοσης της υφής τους ή πχ. της κίνησης των χεριών του χρήστη, μέσω προβολής τους επί της οθόνης του ή της περικοπής αντικειμένων λόγω αποκρύψεων από άλλα αντικείμενα βάσει της οπτικής γωνίας και της ορατότητάς τους από τον χρήστη (Magnenat-Thalmann & Paragiannakis, 2006)¹⁰.



Εικόνα 9. Προσομοίωση χεριών σε VR.

Η υλοποίηση ενός πλήρους εικονικού περιβάλλοντος, στο οποίο ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να μετακινείται και μέσω φυσικής κίνησης σε αυτό, είναι δύσκολο να υλοποιηθεί κυρίως λόγω περιορισμένων πόρων, αλλά και τεχνολογικής υποδομής που μπορεί να υποστηρίξει τέτοιας έκτασης εφαρμογές.

Γ.2.6. Απαιτήσεις χωρικού ρεαλισμού

Για να μπορούν οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας να προσφέρουν ικανή εμπύθιση, μιας και πρόκειται για πολλούς τρόπους εισόδου - εξόδου, έχει ιδιαίτερη σημασία να πληρούνται κάποιες προδιαγραφές συγχρονισμού και χρονισμού, δηλαδή να μην υπάρχουν σφάλματα συγχρονισμού. Αυτά θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην πλήρη αποτυχία εμπύθισης.

Η εμπύθιση σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα προβλήματα αποπροσανατολισμού και ναυτίας, τα οποία συνήθως οφείλονται σε προβλήματα υστέρησης και συγχρονισμού, αντικρουόμενων πληροφοριών που λαμβάνονται από δύο ή περισσότερα αισθητήρια συστήματα.

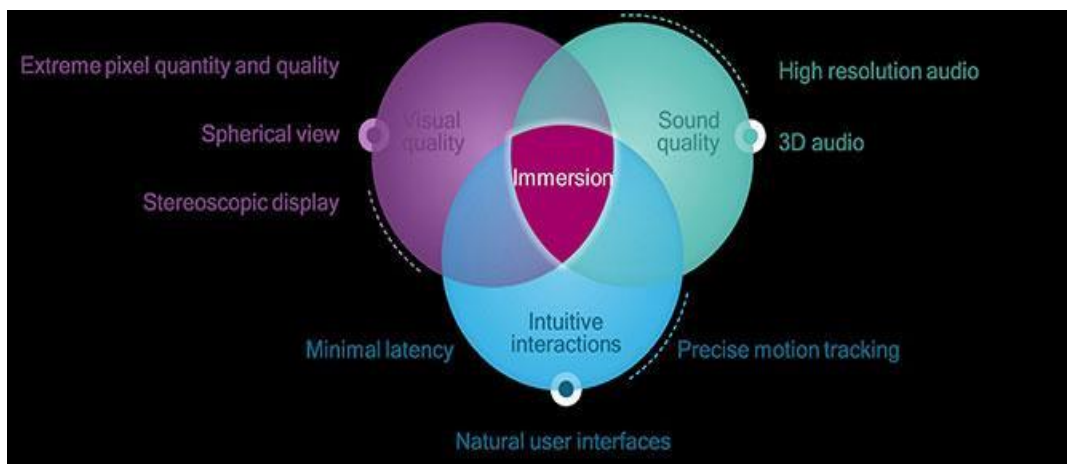
Επομένως, για να είναι επιτυχής μια εφαρμογή VR πρέπει να συνδυάζει:

¹⁰ Παραδείγματα εφαρμογών με κίνηση χεριών: <https://www.youtube.com/watch?v=rnlCGw-OR8g>
https://www.youtube.com/watch?v=oZ_53T2jBGg
<https://www.youtube.com/watch?v=zXghYjh6Gro>
<https://www.youtube.com/watch?v=4LVVpl9tCNE>

- Πολλαπλές - ολοκληρωμένες διαδικασίες εισόδου και εξόδου. Οι διεπαφές του χρήστη συνιστάται να μην χρησιμοποιούν μόνο το οπτικό κανάλι για επικοινωνία αλλά περισσότερες αισθήσεις.
- Λειτουργική πιστότητα. Από κοινού, τα διάφορα αισθητήρια στοιχεία που παρέχονται από μια διεπαφή πρέπει να είναι κατάλληλα για την εκτέλεση της εργασίας.
- Αποκριτικότητα. Οι διεπαφές χρήστη - περιβάλλοντος θα πρέπει να ανταποκρίνονται πολύ γρήγορα στις ενέργειες των χρηστών, ώστε να είναι δυνατή η φυσική και “εξερευνητική” συμπεριφορά.

Οι απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτει ένα εικονικό περιβάλλον, οι οποίες ενισχύουν την εμπύθιση είναι:

- η ποιότητα της εικόνας (μέγιστη πυκνότητα pixel, σφαιρική άποψη 360°, στερεοσκοπική οθόνη),
- η ποιότητα του ήχου (3D ήχος υψηλής ανάλυσης) και
- οι διαισθητικές αλληλεπιδράσεις (ελάχιστη αδράνεια - λανθάνουσα περίοδος του συστήματος, καθυστέρηση μεταφοράς, το φυσικό περιβάλλον της διεπαφής, ακριβής παρακολούθηση κίνησης).



Εικόνα 10. Απαιτήσεις VR.

Βασικές ανάγκες για ένα σύστημα VR αποτελούν έτσι: α) ο μεγάλος όγκος του περιεχομένου, β) η ποιοτική απεικόνιση και γ) η εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο. (Βοσινάκης, 2015).

Οι τεχνολογικές λύσεις που έπρεπε και πρέπει να δοθούν σε ζητήματα που άπτονται της δημιουργίας μιας εικονικής πραγματικότητας ήταν και είναι:

- Η αντικατάσταση των προσλαμβανόμενων ερεθισμάτων των αισθητήριων καναλιών,

- Η προσομοίωση της κίνησης του χεριού (απτικά κ.λπ.),
- Η πιστή και ρεαλιστική απεικόνιση των σκηνών, με υφή, σωστό φωτισμό κ.λπ.,
- Η ορθή θέση και χωρική τοποθέτηση των όσων βλέπει ο χρήστης, ανάλογα με τη θέση του και την διεύθυνση θέασης,
- Η αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον,
- Η χρήση υλικού και αισθητήρων τέτοιων που να βοηθούν τον χρήστη στην ανάπτυξη της αίσθησης της παρουσίας στο εικονικό περιβάλλον,
- Η χρήση του κατάλληλου υλικού από άποψη υπολογιστικής ισχύος για την έγκαιρη επεξεργασία των απαιτούμενων υπολογισμών κ.λπ., καθώς και
- Ο σωστός σχεδιασμός του όλου συστήματος.

Γ.2.7. Γενική Αρχιτεκτονική συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

Σε αυτή την ενότητα γίνεται παρουσίαση της αρχιτεκτονικής των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας. Στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να βρει διάφορες εκδοχές ανάλογα με τη συγκεκριμένη προσέγγιση του συγγραφέα ή μελετητή, ωστόσο μια καλή και κατανοητή προσέγγιση αποτελεί εκείνη των Μουστάκα κ.ά. (2015), συμπληρωμένη εδώ κατά περίπτωση από τη λοιπή βιβλιογραφία.

Έτσι, τα κύρια τμήματα ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας αποτελούν:

- Ο πυρήνας ή επεξεργαστής εισόδου: είναι η μονάδα του συστήματος που πραγματοποιεί όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς, συσχετισμούς, μετασχηματισμούς και κάθε άλλη διεργασία, και τροφοδοτεί το σύστημα με τις απαιτούμενες εκατέρωθεν διαδικασίες, δηλαδή από και προς τον χρήστη του συστήματος. Ο πιο κρίσιμος παράγων της λειτουργίας του έγκειται στην ταχύτητα λήψης και μετάδοσης των ψηφιακών σημάτων σε όλα τα λοιπά τμήματα του συστήματος. Οποιαδήποτε καθυστέρηση (lag) του συστήματος, είτε στη μετάδοση είτε στην επεξεργασία ή την απεικόνιση, δύναται να συντελέσει στη μειωμένη εμπειρία και αίσθηση παρουσίας του χρήστη στην εφαρμογή.
- Ο εξομοιωτής: αποτελεί τη μονάδα του συστήματος που είναι επιφορτισμένη με τη δημιουργία του εικονικού κόσμου μέσα από μια εφαρμογή εξομοίωσης. Σε κάθε φάση στο εικονικό περιβάλλον και με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα επιμέρους υλικά του συστήματος, ο εξομοιωτής επεξεργάζεται τις θέσεις και τον προσανατολισμό του χρήστη και κάθε άλλου εικονικού αντικειμένου, ανιχνεύει συγκρούσεις (Collision Detection) μεταξύ αντικειμένων και εκτελεί τον κώδικα δυναμικής συμπεριφοράς των κανόνων της φυσικής και των αντικειμένων με τα οποία αλληλεπιδρά ο χρήστης, καθώς και όσων τον

περιβάλλουν σε μια δεδομένη στιγμή. Κύριο μέλημά του είναι, στη ροή του χρόνου, να διατηρεί συνεχώς ενήμερη την κατάσταση κάθε στοιχείου του εικονικού περιβάλλοντος.

- Η Μονάδα Γραφικής Απόδοσης (Graphics Rendering Unit): είναι επιφορτισμένη να απεικονίζει ως έξοδο προς τον χρήστη του εικονικού περιβάλλοντος τα αποτελέσματα των υπολογισμών, συσχετισμών και μετασχηματισμών που συντελούνται από τον πυρήνα. Ο ρυθμός ανανέωσης των εικόνων που δέχεται ο χρήστης οφείλει να είναι υψηλός ώστε να επιτυγχάνεται η αδιάλειπτη ροή τους, που στους οφθαλμούς του χρήστη μεταφράζεται ως κίνηση. Υψηλότερος ρυθμός ανανέωσης συνεπάγεται καλύτερη και ποιοτικότερη εμπειρία του χρήστη. Ο ελάχιστος ρυθμός ανανέωσης των εικόνων οφείλει να είναι τουλάχιστον 25 καρτέ ανά δευτερόλεπτο (frames per second ή fps), ενώ κάποιες μάσκες εικονικής πραγματικότητας είναι σε θέση να παράγουν και 120 fps.

Σημαντικό ρόλο κατά τον σχεδιασμό μιας σκηνής VR κατέχει η μελέτη των στοιχείων φωτισμού, η οποία πραγματοποιείται όμως στα αντικείμενα δίχως υφή για εποπτικούς λόγους. Οι πηγές φωτισμού, βάσει του προτύπου της γλώσσας VRML (1997) διακρίνονται σε: α) κατευθυντική πηγή φωτισμού (Directional Light), β) σημειακό φως και γ) προβολέας (Spot Light).

- Η Μονάδα Ηχητικής Απόδοσης (Auditory Rendering Unit): αναλαμβάνει την επεξεργασία των ηχητικών αλληλεπιδράσεων στο εικονικό περιβάλλον καθώς και την έξοδο του ήχου προς τον χρήστη. Εξυπακούεται πως οι απεικονίσεις από την Μονάδα Γραφικής Απόδοσης και οι έξοδοι του ηχητικού τμήματος προς τον χρήστη θα πρέπει να είναι συγχρονισμένες. Βέλτιστη εκδοχή αποτελεί ο τρισδιάστατος ήχος (3D audio).

Σημειώνεται πως όλα τα ακουστικά στοιχεία (audio components) εντός του εικονικού περιβάλλοντος διαθέτουν θέση (συντεταγμένες x,y,z), προσανατολισμό, ένταση και διάφορες άλλες ιδιότητες τα οποία επηρεάζουν τον τρόπο διάδοσης της ηχητικής πληροφορίας στον εικονικό χώρο (βηματική σβέση του ακουστικού σήματος) (Μουστάκας κ.ά., 2015).

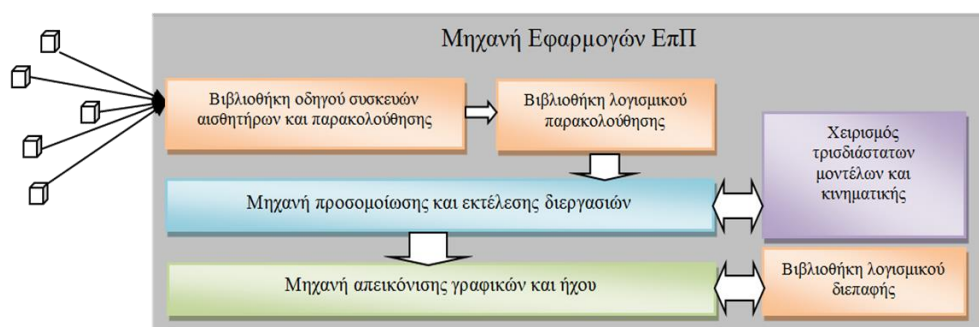
- Η Μονάδα Απτικής Απόδοσης: αναλαμβάνει την παραγωγή της αίσθησης της αφής και την ανάδραση από κάποιον χειρισμό, δηλαδή της εντύπωσης της δύναμης ή αντίστασης (force feedback) σε ένα γάντι δεδομένων.

Όσον αφορά στη διαδικασία της εξομοίωσης, αυτή διατρέχει έναν κύκλο με συγκεκριμένα βήματα:

- ανίχνευση της κατάστασης εισόδου,
- μοντελοποίηση γεωμετρίας (Geometric Modeling): σχηματίζει τα πλέγματα και τις επιφάνειες των 3D αντικειμένων, ενώ στη συνέχεια αποδίδει σκίαση και υφή,
- δημιουργία κινηματικού μοντέλου (Kinematic Modeling): περιγράφει τις κινήσεις των αρθρώσεων, των μετατοπίσεων, αυξομειώσεων και των περιστροφών στον χώρο,
- φυσικό μοντέλο (Physical Modeling): περιγράφει τις δυνάμεις που ασκούνται και τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις στην επεξεργασία της απτικής πληροφορίας,
- ευφυής συμπεριφορά (Intelligent Behavior) και
- διαχείριση του σύνθετου αυτού μοντέλου (Model management): σε κάθε χρονικό σημείο της εφαρμογής, αυτή θα πρέπει:
 1. να καθορίσει την τρέχουσα κατάσταση του φυσικού και του εικονικού κόσμου,
 2. να εμφανίσει την εικονική πληροφορία με χωρική και χρονική συσχέτιση με τον πραγματικό κόσμο κατά τρόπο που θα επιτρέψει στο χρήστη να αντιληφθεί τα εικονικά στοιχεία ως μέρος του φυσικού κόσμου. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται το πρώτο βήμα.

Τα εμπλεκόμενα στοιχεία λογισμικού Συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας τα οποία ενοποιεί μια μηχανή εφαρμογών είναι:

- βιβλιοθήκη οδηγού συσκευών αισθητήρων και παρακολούθησης,
- βιβλιοθήκη λογισμικού παρακολούθησης (tracking),
- χειρισμός τρισδιάστατων μοντέλων και κινηματικής (animation),
- μηχανή προσομοίωσης και εκτέλεσης διεργασιών,
- μηχανή απεικόνισης γραφικών και ήχου,
- βιβλιοθήκη λογισμικού διεπαφής.



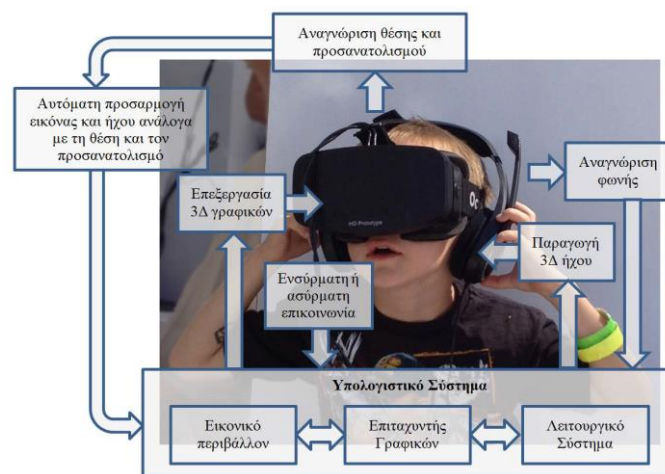
Εικόνα 11. Δομή αρχιτεκτονικής (υψηλού επιπέδου) μιας Μηχανής Εφαρμογών AR.

Οι διεπαφές σε ένα τέτοιο σύστημα είναι οι ακόλουθες:

- χρήστη και εφαρμογής AR,

- μεταξύ χρηστών μέσω της εφαρμογής AR,
- εικονικού και πραγματικού κόσμου,
- χρήστη και εικονικού κόσμου,
- χρήστη και πραγματικού κόσμου.

Η ροή εργασιών σε ένα σύστημα VR είναι ανατροφοδοτούμενη και έχει ως εξής: μέσω των αισθητήρων καταγράφεται η κατάσταση του περιβάλλοντος και τροφοδοτείται η κύρια εφαρμογή, η οποία με βάση την ανάγνωση και αξιολόγησή της διαβιβάζει σήματα που απεικονίζονται ως προβολές στον χρήστη. Αυτή η αδιάκοπη διαδικασία συνεχίζεται όσο υπάρχουν μεταβολές στις αναγνώσεις των αισθητήρων, όπως κίνηση, κατεύθυνση κ.λπ.



Εικόνα 12. Γενικό διάγραμμα τυπικής χρήσης VR με HMD.

Γ.2.8. Ταξινόμηση συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

- Επιτραπέζια συστήματα Desktop VR (interaction, immersion). Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται μια μονοσκοπική ή στερεοσκοπική οθόνη του υπολογιστή, ενώ η απεικόνιση τρισδιάστατου περιεχομένου καθίσταται δυνατή με ειδικά γυαλιά.
- Συστήματα καθολικής ή πλήρους εμβύθισης – Immersive VR (interaction, high immersion). Στα συστήματα αυτά καλύπτονται πλήρως κάποια από τα αισθητήρια όργανα του χρήστη, το οπτικό του πεδίο μέσω ειδικής συσκευής (πχ. με κράνη εικονικής πραγματικότητας – Head-Mounted Displays), η ακοή μέσω ακουστικών και η αφή μέσω κάποιου απτικού συστήματος (πχ. γάντι δεδομένων, απτικά γάντια κ.λπ.). Για να επιτευχθεί η εμβύθιση χρησιμοποιούνται κυρίως κράνη εικονικής πραγματικότητας (Head-Mounted Displays). Τα κράνη αυτά διαθέτουν ζεύγος οθονών που προβάλλουν στον χρήστη στερεοσκοπικές εικόνες για την αντίληψη του βάθους και διαθέτουν

αισθητήρες για την παρακολούθηση της κίνησής του, ενώ τον αποκόπτουν τελείως από τον πραγματικό περιβάλλον.

- Συστήματα προβολής – Projected VR, στα οποία ο χρήστης περιβάλλεται ουσιαστικά από οθόνες οι οποίες αναλαμβάνουν να απεικονίσουν μονοσκοπικά ή στερεοσκοπικά το περιεχόμενο στον χρήστη.
- Συστήματα CAVE. Αποτελούν ουσιαστικά συστήματα προβολής, αλλά λόγω της ιδιαιτερότητάς τους να αποτελούνται από έως έξι οθόνες, επιτυγχάνουν αποτελεσματική εμπύθιση μέσω στερεοσκοπικών γυαλιών που φορά ο χρήστης ή οι χρήστες, μιας και υποστηρίζεται και η ταυτόχρονη παρουσία περισσότερων χρηστών. Αποτελούνται από ένα δωμάτιο, έναν κύβο δηλαδή, στους τοίχους, στο δάπεδο και στην οροφή του οποίου μπορούν να προβάλλονται εικόνες, μέσω του υπολογιστικού συστήματος, που αναπαριστούν απόψεις του εικονικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο μπορεί να πλοηγηθεί ο χρήστης ή οι χρήστες. Αποτελεί δε, λόγω του εξοπλισμού και της διάταξης που απαιτείται, μια δαπανηρή προσέγγιση εικονικής πραγματικότητας.
- Συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας – Augmented VR (interaction, no immersion). Σε αυτά τα συστήματα ο χρήστης δεν εμβυθίζεται πλήρως στο εικονικό περιβάλλον, διότι έχει τη δυνατότητα να παρατηρεί ταυτόχρονα τον πραγματικό χώρο γύρω του και τα αντικείμενα που τον περιβάλλουν. Η διαφορά με τα άλλα συστήματα έγκειται στο γεγονός πως για τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου που παρατηρεί ο χρήστης διά της οθόνης, σε ένα πχ. φορητό σύστημα (συσκευή τάμπλετ ή κινητό τηλέφωνο), μπορεί να αντλεί επιπλέον πληροφορίες από το σύστημα AR που αφορούν στα παρατηρούμενα αντικείμενα, με δυνατότητα προσαύξησης ακόμα και των ίδιων των αντικειμένων που παρατηρεί ή τη συμπλήρωσή τους κατά το ελλείπον τμήμα τους (πχ. ένα αρχαίο άγαλμα από το οποίο έχει αποσπασθεί τμήμα του, το οποίο δεν έχει διασωθεί, αλλά έχει προβλεφθεί από τον σχεδιαστή του συστήματος AR να απεικονίζεται). Συνδυάζει, λοιπόν, οπτικές πληροφορίες που λαμβάνονται από τη φωτογραφική μηχανή της συσκευής προσαυξημένες με πληροφορίες ή απεικονίσεις. Η επαύξηση επιτυγχάνεται μέσω προσδιορισμού της θέσης του παρατηρητή, η οποία είτε λαμβάνεται από τη θέση του όπως αυτή προσδιορίζεται από το δέκτη GPS της συσκευής ή και μέσω αδρανειακών συστημάτων και αισθητήρων όπως γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα, τα οποία μπορούν να προσδιορίσουν την κίνηση και την διεύθυνση παρατήρησης

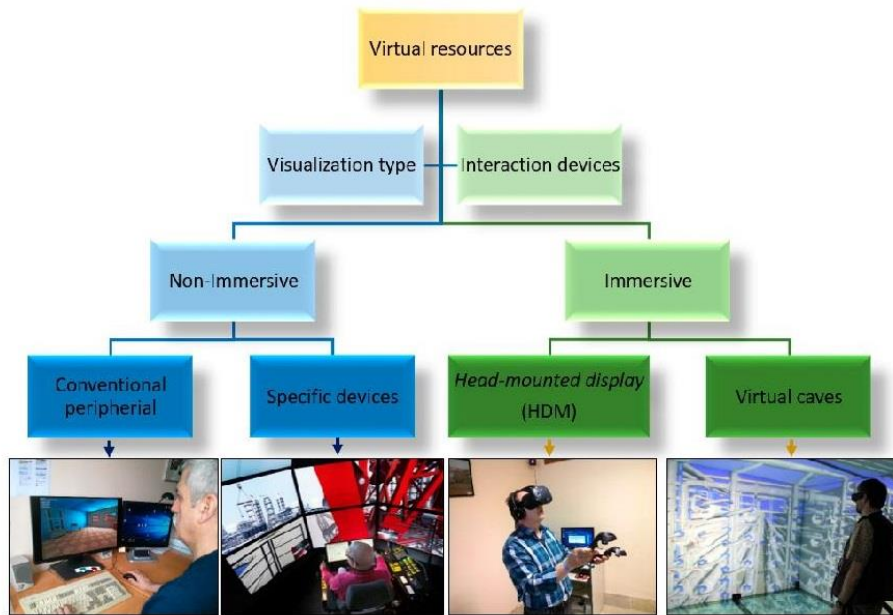
του χρήστη, είτε μέσω στόχων που έχουν οριστεί στο σύστημα έτσι ώστε, όταν τα αναγνωρίσει το λογισμικό μέσω της φωτογραφικής μηχανής του χρήστη, να μπορούν να προσδιορίσουν τη θέση του και άρα και την οπτική γωνία του.

- Συστήματα μικτής πραγματικότητας – Mixed Reality. Πρόκειται για συστήματα που ενσωματώνουν συστήματα τηλεπαρουσίας και συστήματα εικονικής πραγματικότητας, τα δεδομένα δε και η είσοδος παράγονται από υπολογιστή. Βασίζονται και αυτά στην πραγματικότητα AR, με τη διαφορά όμως ότι σε αυτά ο χρήστης φορά στο κεφάλι μια μάσκα, όπου οι φακοί μπροστά στους οφθαλμούς του αποτελούν οθόνες. Οι οθόνες αυτές είναι διαπερατές από την όρασή του, δηλαδή ο χρήστης μπορεί να παρατηρεί ταυτόχρονα τα πραγματικά αντικείμενα γύρω του. Σε αυτές τις οθόνες προβάλλονται στον κάθε οφθαλμό εικόνες, οι οποίες μπορούν να επαυξάνουν τα όσα βλέπει ο χρήστης με πληροφορίες είτε περιγραφικές είτε ακόμη και τρισδιάστατα μοντέλα. Η θέση και η οπτική γωνία παρατήρησης του χρήστη προκύπτουν από αισθητήρες που φέρει η μάσκα του χρήστη.

Οι Vergara et al. (2017) προτείνουν την ακόλουθη ταξινόμηση σχετικά με την εκπαίδευση, ωστόσο αυτή αφορά και γενικότερα τον κλάδο της VR. Σε γενικές γραμμές, οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας στην εκπαίδευση μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις συσκευές οπτικοποίησης και αλληλεπίδρασης σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- (i) non-immersive, μη εμβυθιστικά (το γνωστό παράθυρο στον κόσμο), όπου η όραση του χρήστη προς τον κόσμο είναι μέσω της επίπεδης οθόνης ενός υπολογιστή που λειτουργεί ως «παράθυρο», και βάσει του τύπου της συσκευής, σε συστήματα:
 - (i.1). που χρησιμοποιούν συμβατικούς υπολογιστές και περιφερειακές συσκευές, πχ. ποντίκι, πληκτρολόγιο κ.λπ.,
 - (i.2). που χρησιμοποιούν ειδικά σχεδιασμένες συσκευές αλληλεπίδρασης παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στον πραγματικό έλεγχο, πχ. κονσόλες λειτουργίας μηχανών ή πιλοτήρια ελέγχου οχήματος.
- (ii) immersive, εμβυθιστικά, τα οποία εισάγουν εντελώς τον χρήστη σε έναν εικονικό κόσμο χρησιμοποιώντας γυαλιά με δύο μικρές οθόνες τοποθετημένες μπροστά από τα μάτια του, ενώ σύμφωνα με το σύστημα οπτικοποίησης του εικονικού κόσμου, διακρίνονται σε:
 - (ii.1). συσκευές Head-Mounted Display (HMD), όπου μπροστά από κάθε μάτι υπάρχει μία οθόνη,

(ii.2). το εικονικό CAVE (αυτόματο εικονικό περιβάλλον σπηλιάς).



Εικόνα 13. Ταξινόμηση πόρων VR βάσει συσκευών οπτικοποίησης - αλληλεπίδρασης.

Γ.2.9. Εικονική (VR) - Επαυξημένη (AR) - Μικτή (MR) Πραγματικότητα

Οι σχετικοί όροι που συναντώνται στη βιβλιογραφία ποικίλλουν και είναι οι εξής:

- Εικονική πραγματικότητα – VR.
- Επαυξημένη πραγματικότητα – AR.
- Μικτή πραγματικότητα – MR.

Και εδώ δίδονται διάφοροι ορισμοί από τους ερευνητές που ασχολούνται με τον κλάδο και υπάρχει μια κάποια σύγχυση σχετικά με τις διαφορές μεταξύ των όρων αλλά και το εύρος τους.

Οι Milgram & Kishino (1994), περιγράφοντας τις τεχνολογίες της εποχής, προσέγγισαν τους ανωτέρω όρους δίνοντας ένα εννοιολογικό πλαίσιο που ονομάζεται *Virtuality Continuum* (Εικόνα 14), δηλαδή το συνεχές της μικτής πραγματικότητας. Σε αυτό το συνεχές φάσμα ή εύρος τοποθέτησαν τον πραγματικό κόσμο στο αριστερό άκρο και το πλήρως εικονικό περιβάλλον στο δεξιό άκρο του φάσματος. Η ενδιάμεση περιοχή αποκαλείται Μικτή Πραγματικότητα και περιλαμβάνει όλες τις τεχνολογίες που σχετίζονται με την εικονική πραγματικότητα και περιλαμβάνουν τη συγχώνευση πραγματικών και εικονικών κόσμων.

- Πραγματικότητα

Η πραγματικότητα αποτελείται αποκλειστικά από πραγματικά αντικείμενα και τόπους. Σε αυτήν ο άνθρωπος μέσω των ερεθισμάτων που δέχεται στις

αισθήσεις του αντιλαμβάνεται τον περίγυρό του. Η δε προβολή ενός πραγματικού περιβάλλοντος μέσω μιας οθόνης δεν το καθιστά εικονικό.

- Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality, AR)

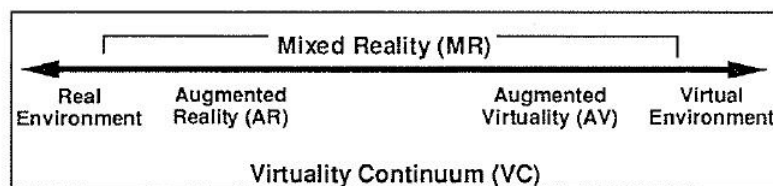
Η AR συμπληρώνει τον πραγματικό κόσμο με εικονικά αντικείμενα, έχοντας τη δυνατότητα να παρουσιάζει πληροφορίες και δεδομένα, είτε εικόνες και 2D και 3D «εικονικά» αντικείμενα στο ορατό πεδίο του χρήστη, μπροστά από πραγματικά αντικείμενα, μέσω υπέρθεσής τους. Επιτυγχάνεται δε όταν ο χρήστης παρατηρεί τα πραγματικά αντικείμενα μέσα από την οθόνη μιας συσκευής.

- Επαυξημένη Εικονική Πραγματικότητα (Augmented Virtuality, AV).

Στην Επαυξημένη Εικονική Πραγματικότητα εισάγονται στον εικονικό κόσμο πραγματικά αντικείμενα. Μπορούμε εύκολα να το φανταστούμε, στην απλουστευμένη μορφή του, σαν ένα τηλεοπτικό στούντιο, στο οποίο εισέρχεται ο παρουσιαστής, ενώ φαίνεται να ευρίσκεται λόγω χάρη σε ένα εξωτικό τοπίο.

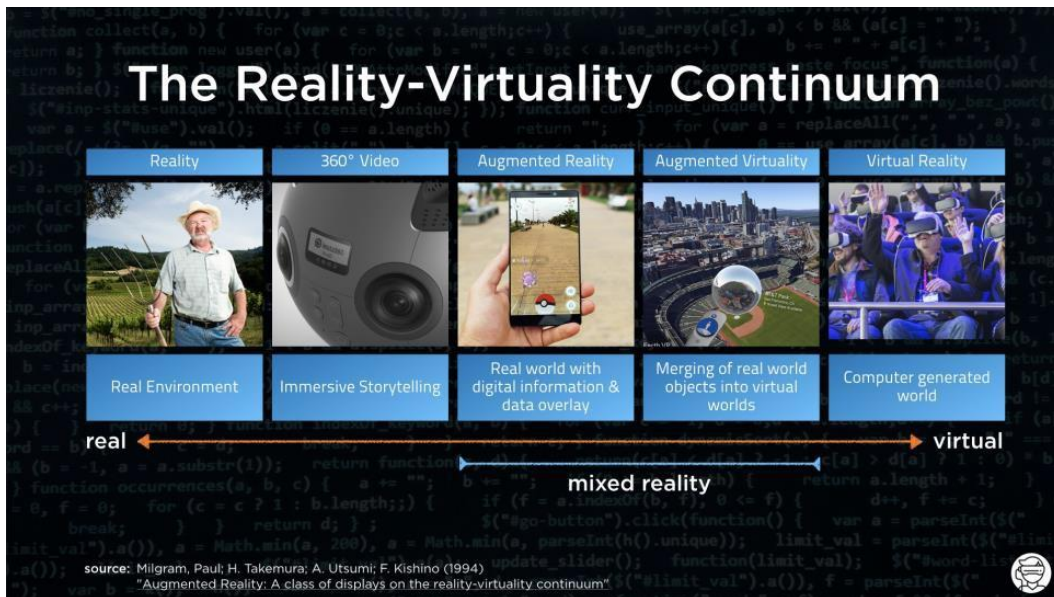
- Εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality, VR)

Στην VR ο χρήστης εμβυθίζεται σε ένα πλήρως εικονικό περιβάλλον. Σε αυτό, ο ίδιος και τα αντικείμενα είναι εξ ολοκλήρου εικονικά και όχι πραγματικά. Οι αισθήσεις και τα ερεθίσματα που δέχεται ο χρήστης στο περιβάλλον αυτό προσομοιώνονται με τη βοήθεια εντολών που έχουν επίπτωση στα αισθητήρια όργανα του χρήστη. Όσο δε καλύτερα προσομοιώνονται τα ερεθίσματα αυτά, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η εμπειρία της εμβύθισης στο περιβάλλον αυτό.



Εικόνα 14. Virtuality continuum σύμφωνα με τους Milgram & Kishino (1994).

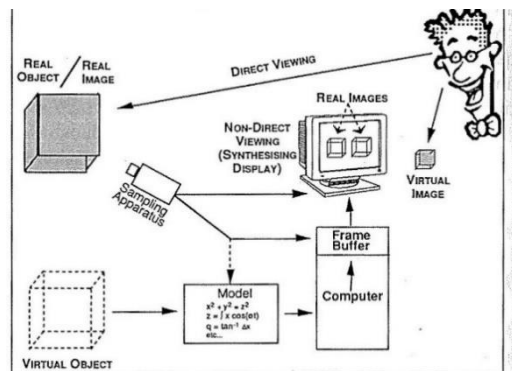
Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται μια ελαφρά παραλλαγμένη εκδοχή του φάσματος εικονικής πραγματικότητας, το Reality-Virtuality Continuum, το οποίο ενδιάμεσα στον πραγματικό κόσμο και στην VR τοποθετεί την εμβυθισμένη αφήγηση μέσω βίντεο 360°, δεξιότερα τον πραγματικό κόσμο με επικάλυψή του με ψηφιακές πληροφορίες και δεδομένα, και ακόμη δεξιότερα με συγχώνευση αντικειμένων του πραγματικού κόσμου στους εικονικούς κόσμους.



Εικόνα 15. Reality-Virtuality continuum.

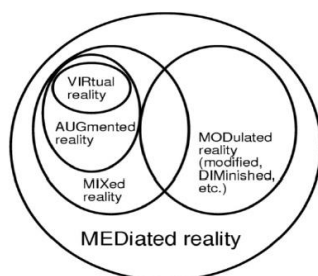
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι διαφορετικές πτυχές διάκρισης των εννοιών πραγματικότητα και VR:

- Πραγματικό vs. Εικονικό αντικείμενο
- Απευθείας παρατήρηση αντικειμένου vs Έμμεση παρατήρηση αντικειμένου
- Πραγματική φωτογραφία-εικόνα vs Εικονική φωτογραφία-εικόνα.



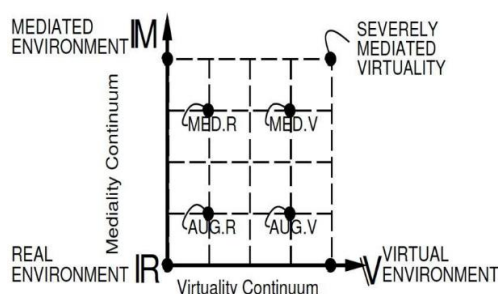
Εικόνα 16. Διαφορετικές πτυχές διάκρισης εννοιών πραγματικότητα και VR.

Από την ταξινόμηση των Milgram et al. (1994) προκύπτει ως κύριο συμπέρασμα ότι οι διεπαφές AR δεν αποτελούν διακριτά σημεία μεταξύ πραγματικών και εικονικών εμπειριών, αλλά μπορούν να εμφανιστούν οπουδήποτε κατά μήκος του συνεχούς της μικτής πραγματικότητας MR. Το συνεχές Mixed Reality του Milgram είναι ένας μονοδιάστατος πίνακας από το πραγματικό έως το εικονικό περιβάλλον, το οποίο όμως μπορεί να επεκταθεί κατά μια δεύτερη διάσταση. Ο Mann το 1994 όρισε την έννοια της διαμεσολαβημένης πραγματικότητας (Mediated Reality) ως φιλτράρισμα ή τροποποίηση της προβολής του πραγματικού κόσμου, αντί να προσθέτει απλώς σε αυτήν όπως γίνεται με την AR (Billinghurst et al., 2015).



Εικόνα 17. Διαμεσολαβημένη Πραγματικότητα [Mann, 1994].

Το «Συνεχές διαμεσολάβησης» Mediality Continuum (Mann, 2002) μπορεί να κατασκευαστεί για να συμπληρώσει τη Μικτή Πραγματικότητα του Milgram (ή Virtuality Continuum) (βλέπε ακόλουθη εικόνα).



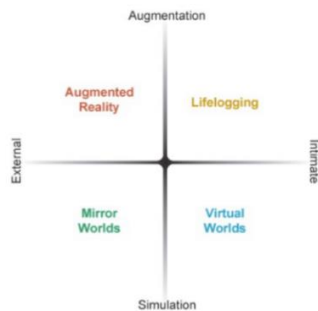
Εικόνα 18. Mann's Mediality/Virtuality Continuum (Mann, 2002).

Σε αυτήν την περίπτωση ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει τον όγκο της διαμεσολάβησης ή του φιλτραρίσματος που εκτελείται στην προβολή χρήστη του πραγματικού ή εικονικού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, μια αυστηρώς διαμεσολαβημένη εφαρμογή πραγματικότητας θα ήταν ένα σύστημα VR στο οποίο φιλτράρεται η άποψη του χρήστη με κάποιο τρόπο (Billinghurst et al., 2015).

Οι Billinghurst et al. (2015) παραθέτουν στην ταξινόμησή τους και το ακόλουθο σχήμα στο οποίο απεικονίζεται ο οδικός χάρτης Metaverse των Smart et al. (2007) που παρουσιάζει έναν άλλο τρόπο ταξινόμησης της εμπειρίας AR. Η έννοια του Neal Stephenson για το Metaverse (1992) είναι η σύγκλιση μιας ουσιαστικά βελτιωμένης φυσικής πραγματικότητας και ενός φυσικά ανθεκτικού εικονικού χώρου. Με βάση αυτήν την ιδέα, ο οδικός χάρτης Metaverse βασίζεται σε δύο βασικά συνεχή:

- (i) το φάσμα των τεχνολογιών και των εφαρμογών που κυμαίνονται από την επαύξηση έως την προσομοίωση, και
- (ii) το φάσμα που κυμαίνεται από το οικείο (επικεντρωμένο στην ταυτότητα) έως εξωτερικά (με επίκεντρο τον κόσμο). Αυτά ορίζονται ως εξής:

- Επαύξηση: Τεχνολογίες που προσθέτουν νέες δυνατότητες σε υπάρχοντα πραγματικά συστήματα.
- Προσομοίωση: Τεχνολογίες που μοντελοποιούν την πραγματικότητα.
- Οικεία: Τεχνολογίες εστιασμένες εσωτερικά, στην ταυτότητα και τις ενέργειες του ατόμου, όπου Εξωτερικά: Οι τεχνολογίες που εστιάζονται προς τα έξω, προς τον κόσμο γενικά.



Εικόνα 19. Augmented Reality in the Metaverse taxonomy.

Σύμφωνα με το Metaverse, οι τεχνολογίες Augmented Reality, Virtual Worlds, Life Logging και Mirror Worlds μπορούν να τακτοποιηθούν εντός αυτών των συνεχών. Αντιπροσωπεύουν έναν άλλο τρόπο ταξινόμησης της AR, παράλληλα με άλλες τεχνολογίες, όπως το Lifelogging και το Mirror Worlds¹¹ του David Gelernter του 1991. Οι διασυνδέσεις Lifelogging είναι αυτές που χρησιμοποιούνται από ένα άτομο για να αποτυπώσουν την καθημερινή τους εμπειρία με μια κάμερα που καταγράφει συνεχώς ήχο και βίντεο από τον χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο συνδυάζουν την οικειότητα και την επαύξηση. Οι τεχνολογίες Mirror World είναι εκείνες που εστιάζονται εξωτερικά και προσπαθούν να δημιουργήσουν ένα αντίγραφο ή προσομοίωση του πραγματικού κόσμου. Για παράδειγμα, το Streetview2 της Google παρέχει μια πανοραμική προβολή ενός δρόμου ή μιας τοποθεσίας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Billingham et al., 2015).

¹¹ Ένας «κόσμος καθρέφτης» (Mirror World) είναι μια αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου σε ψηφιακή μορφή. Προσπαθεί να χαρτογραφήσει πραγματικές κατασκευές με γεωγραφικά ακριβή τρόπο. Οι «κόσμοι καθρέφτες» προσφέρουν ένα μοντέλο χρηστικού λογισμικού πραγματικών ανθρώπινων περιβαλλόντων και της λειτουργίας τους.

Ο όρος διαφέρει από τους εικονικούς κόσμους στο ότι αυτοί δεν έχουν άμεσες συνδέσεις με πραγματικά μοντέλα και έτσι περιγράφονται ως μυθιστορήματα, ενώ οι «κόσμοι καθρέφτες» συνδέονται με πραγματικά μοντέλα και βρίσκονται πλησιέστερα σε μη φανταστικά. Είναι στενά συνδεδεμένη με την επαυξημένη πραγματικότητα, αλλά ένας «κόσμος καθρέφτης» μπορεί να θεωρηθεί ως αυτόνομη εκδήλωση της ψηφιοποιημένης πραγματικότητας, συμπεριλαμβανομένων εικονικών στοιχείων ή άλλων μορφών στις οποίες ενσωματώνονται οι πληροφορίες. Ο όρος σε σχέση με τα ψηφιακά μέσα επινοήθηκε από τον επιστήμονα υπολογιστών του Πανεπιστημίου Yale David Gelernter, ο οποίος μίλησε για πρώτη φορά για έναν υποθετικό «κόσμο καθρέφτη» το 1991.

Πλεονεκτήματα της VR είναι η διαθεσιμότητα, η ασφάλεια και η πρόβλεψη, ενώ παράμετροι που βοηθούν τον χρήστη να γίνει μέρος του εικονικού περιβάλλοντος αποτελούν:

- Η πληρότητα, η ρεαλιστικότητα - αληθοφάνεια και το μέγεθος του VE.
- Η ταχύτητα εναλλαγής των εικόνων βάσει της θέσης και διεύθυνσης θέασής του.
- Η ορθή χωρική τοποθέτηση των εικονικών αντικειμένων.
- Η ανάλυση της οθόνης επισκόπησης και το μέγεθος του οπτικού πεδίου FoV.
- Ο ορθός φωτισμός των σκηνών.

Γ.2.10. Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) - Ορισμοί

Στην επαυξημένη πραγματικότητα ο εικονικός κόσμος συμπληρώνει τον πραγματικό κόσμο, μέσω υπέρθεσης με χρήσιμες πληροφορίες. Τελευταία κυρίως κατέστη εφικτή η ορθή τοποθέτηση και προβολή εικονικών αντικειμένων σε ευθυγράμμιση με τον χρήστη, μέσω ανάπτυξης συστημάτων παρακολούθησής του, αλλά και δυνατοτήτων επεξεργασίας εικόνας σε πραγματικό χρόνο (real-time video image processing), των γραφικών των υπολογιστών (computer graphic systems) αλλά και νέων τεχνολογιών απεικόνισης.

Πέραν από τον ορισμό της Επαυξημένης (AR) Πραγματικότητας των Milgram και Kishino που προαναφέρθηκαν, έχουν διατυπωθεί και οι εξής ορισμοί:

Ο Azuma (1997) όρισε πως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια παραλλαγή των εικονικών περιβαλλόντων (VE) ή της εικονικής πραγματικότητας (VR). Στις τεχνολογίες VE οι χρήστες είναι εντελώς βυθισμένοι σε ένα συνθετικό περιβάλλον. Αντίθετα, η AR επιτρέπει στον χρήστη να βλέπει τον πραγματικό τρισδιάστατο κόσμο, με τρισδιάστατα εικονικά αντικείμενα που τοποθετούνται ή συντίθενται με τον πραγματικό κόσμο. Επομένως, η AR συμπληρώνει την πραγματικότητα, αντί να την αντικαθιστά πλήρως. Τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων AR σύμφωνα με τον Azuma είναι τα εξής:

- Συνδυάζουν το πραγματικό και το εικονικό.
- Είναι διαδραστικά σε πραγματικό χρόνο.
- Είναι εγγεγραμμένα σε 3D.

Συνεπώς η επαυξημένη πραγματικότητα ενισχύει την αντίληψη και την αλληλεπίδραση ενός χρήστη με τον πραγματικό κόσμο. Τα εικονικά αντικείμενα εμφανίζουν πληροφορίες που ο χρήστης δεν μπορεί να ανιχνεύσει άμεσα με τις δικές του αισθήσεις, ενώ οι πληροφορίες αυτές που του μεταφέρονται από τα εικονικά αντικείμενα τον βοηθούν να εκτελεί εργασίες του πραγματικού κόσμου.

Επίσης, εκτός από την προσθήκη αντικειμένων σε πραγματικό περιβάλλον, η AR έχει τη δυνατότητα να αφαιρέσει αντικείμενα.

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που περιέγραψε ο Azuma το 1997 καθορίζουν τις τεχνικές απαιτήσεις ενός συστήματος AR, δηλαδή ότι πρέπει να έχει μια οθόνη που να συνδυάζει πραγματικές και συνθετικές εικόνες, ένα σύστημα υπολογιστή που μπορεί να παράγει διαδραστικά γραφικά που ανταποκρίνεται στην είσοδο του χρήστη σε πραγματικό χρόνο και ένα σύστημα παρακολούθησης που μπορεί να βρει τη θέση της παρατήρησης των χρηστών και να επιτρέψει στην εικονική εικόνα να εμφανίζεται σταθερή στον πραγματικό κόσμο (Billinghurst et al., 2015).

Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality, AR), όπως ορίζεται στο λεξικό της Οξφόρδης, είναι μια τεχνολογία που υπερθέτει μια εικόνα που δημιουργείται από υπολογιστή στην άποψη ενός χρήστη για τον πραγματικό κόσμο, παρέχοντας έτσι μια σύνθετη προβολή (Canciani et al., 2016).

Η Επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει ψηφιακές εικόνες που δημιουργούνται από υπολογιστή να επικαλύπτουν φυσικά αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο. Σε αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα (VR), όπου ο χρήστης είναι εντελώς βυθισμένος σε ένα εικονικό περιβάλλον, η AR επιτρέπει στο χρήστη να αλληλεπιδρά με τις ψηφιακές εικόνες χρησιμοποιώντας πραγματικά αντικείμενα με ανεμπόδιο τρόπο (Zhou et al., 2008).

“Ο πυρήνας μιας εμπειρίας επαυξημένης πραγματικότητας έγκειται στο ότι ο χρήστης αλληλεπιδρά με τον φυσικό κόσμο με τον ίδιο τρόπο που θα αλληλεπιδρούσε ανεξάρτητα από την ύπαρξή της. Μέσω AR αλληλεπιδρούμε με τον κανονικό κόσμο, ως συνήθως, αλλά υπάρχουν προσθήκες σε αυτόν, που αποτελούνται από ψηφιακές συνήθως πληροφορίες, οι οποίες τοποθετούνται στον κόσμο για να τον επαυξήσουν με πράγματα που κανονικά δε θα βλέπαμε, ακούγαμε, αγγίζαμε ή αισθανόμασταν ” (Μουστάκας κ.ά., 2015).

Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality) είναι η μορφή εικονικής πραγματικότητας στην οποία οι χρήστες βλέπουν τις συνθετικές εικόνες «εικονικού κόσμου» που επικαλύπτονται και συγχωνεύονται με το πραγματικό περιβάλλον τους (Chakravarthula et al., 2018).

“Η Επαυξημένη πραγματικότητα / Augmented Reality (AR) αποτελεί κατηγορία εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας που συνδυάζει το πραγματικό με το εικονικό, καθώς και στοιχεία αλληλεπίδρασης που κατά κανόνα εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο. Οι σύγχρονες υπηρεσίες παρέχονται πλέον σε φορητά

συστήματα, συνήθως με τη μορφή εφαρμογών διάχυτης υπολογιστικής που αξιοποιούν τα στοιχεία επίγνωσης θέσης και περιβάλλοντος μαζί με τις διάφορες επιλογές πλοήγησης, προβάλλοντας (στην οθόνη) πρόσθετες πληροφορίες που συνδέουν τον φυσικό με τον εικονικό κόσμο” (Δημούλας, 2015).

Οι Croubois et al. (2014) εισάγουν τον όρο «Realistic Augmented Reality» (Realistic AR, «ρεαλιστική επαυξημένη πραγματικότητα»), ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί μια εφαρμογή όπου υπολογίζονται πειστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ πραγματικών και εικονικών στοιχείων. Αυτή η πτυχή είναι σημαντική για την εμπύθιση των χρηστών: οι υπολογισμοί φωτισμού προσθέτουν οπτικά στοιχεία στη σκηνή (σκιές και σκίαση αντικειμένων) σημαντικά για την κατανόηση της σκηνής. Το κύριο επιστημονικό ζήτημα του ρεαλιστικού AR είναι ο κοινός φωτισμός, ο οποίος είναι ένας κοινός αγωγός απόδοσης για εικονικά και πραγματικά (αποκτηθέντα) δεδομένα. Η επίτευξη κοινού φωτισμού σε ένα γενικό πλαίσιο είναι δύσκολη: γεωμετρικές και φωτομετρικές πληροφορίες του περιβάλλοντος πρέπει να αποκτηθούν και να μετατραπούν, ενδεχομένως σε διαδραστικούς ρυθμούς, ώστε να ταιριάζουν στην απεικόνιση στον χρήστη.

Κατά τον σχεδιασμό για τη δημιουργία ενός συστήματος AR αποτελεί βασικό κριτήριο το πώς θα επιτευχθεί η επαύξηση. Οι επιλογές είναι δύο: οπτικές ή βίντεο τεχνολογίες, με την καθεμία να έχει τα δικά της ιδιαίτερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Με ένα διαφανές HMD ο χρήστης μπορεί να δει τον πραγματικό κόσμο αλλά και εικονικά αντικείμενα που τοποθετούνται μπροστά από τα μάτια του μέσω οπτικών συνδυασμών από οπτικές ή βίντεο τεχνολογίες. Επιπλέον, τα συστήματα AR οφείλουν να είναι φορητά, γιατί αν πχ. ο χρήστης θέλει να παρατηρήσει ένα ογκώδες αντικείμενο από την αντιδιαμετρική πλευρά θέασης, θα πρέπει να μεταβεί σε αυτήν την πλευρά με ασφάλεια (Azuma 1997).

Γ.2.10.1. Πώς λειτουργεί το AR

Η μπροστινή κάμερα μιας κινητής συσκευής χρησιμοποιείται για την αλληλεπίδραση λήψης και ενημέρωσης του χάρτη περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, κάνοντας κάποιες εύλογες παραδοχές σχετικά με την τοπική γεωμετρία και το μοντέλο υλικού του εικονικού αντικειμένου, η εξίσωση απόδοσης μπορεί να απλοποιηθεί αρκετά ώστε να ενσωματώσει αναλυτικά τον φωτισμό σε πραγματικό χρόνο αξιοποιώντας τις δυνατότητες φιλτραρίσματος του υλικού γραφικών. Η μέθοδος χειρίζεται δυναμικό περιβάλλον και απαλές σκιές, και είναι αρκετά απλή

για να εφαρμοστεί σε κινητά λειτουργικά συστήματα. Λειτουργεί με ρυθμούς καρτέ σε πραγματικό χρόνο σε συσκευές προηγμένης τεχνολογίας (Croubois et al., 2014).

Ένα σύστημα AR συγκροτείται από τρία απλά βήματα: Αναγνώριση, Παρακολούθηση και Μίξη. Στη φάση της αναγνώρισης οποιαδήποτε εικόνα, αντικείμενο, πρόσωπο, σώμα ή χώρος αναγνωρίζεται, προσδιορίζεται αν τοπικά αλληλεπιδρά με το χρήστη και τοποθετείται επί αυτού το εικονικό αντικείμενο.

Σύμφωνα με τους Μουστάκας κ.ά. (2015), ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας απαιτεί την ύπαρξη τριών δομικών στοιχείων για την υποστήριξη των ανωτέρω βημάτων, δηλαδή οφείλει να διαθέτει:

- Έναν ή περισσότερους αισθητήρες: για τον καθορισμό της κατάστασης του φυσικού κόσμου.
- Έναν επεξεργαστή: για την αξιολόγηση των δεδομένων των αισθητήρων, την εφαρμογή των φυσικών και άλλων κανόνων του εικονικού κόσμου, και την παραγωγή των απαιτούμενων σημάτων.
- Κατάλληλη παρουσίαση, η οποία να δημιουργεί στον χρήστη την αίσθηση συνύπαρξης του εικονικού και πραγματικού κόσμου, άρα και την αίσθηση της παρουσίας του.

Οι συνολικές απαιτήσεις στην επαυξημένη πραγματικότητα μπορούν να συνοψιστούν, συγκρινόμενες με τις απαιτήσεις για εικονικά περιβάλλοντα (VE), για τα τρία βασικά υποσυστήματα που απαιτούν. Και ενώ όσον αφορά στα πρώτα δύο υποσυστήματα, οι ανάγκες στην επαυξημένη πραγματικότητα είναι σαφώς μικρότερες, αυτό δεν ισχύει για το υποσύστημα της παρακολούθησης και ανίχνευσης, γιατί οι απαιτήσεις στην επαυξημένη πραγματικότητα είναι πολύ πιο αυστηρές από εκείνες για συστήματα VE, και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο πρόβλημα εγγραφής της χωρικής ένταξης ή αναφοράς (Registration). Τα τρία βασικά υποσυστήματα της AR είναι:

- 1) Γεννήτρια σκηνής (Scene Generator) και απόδοση (Rendering).
- 2) Συσκευή εμφάνισης: Οι συσκευές προβολής που χρησιμοποιούνται στην AR ενδέχεται να έχουν λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις από ό,τι απαιτούν τα συστήματα VE, διότι δεν αντικαθιστούν τον πραγματικό κόσμο.
- 3) Παρακολούθηση και Ανίχνευση (Tracking and Sensing).

Κάμερα (Όραση Υπολογιστών)

Για να μπορέσει να καταστεί δυνατή η όραση μέσω υπολογιστή απαιτείται μια φωτογραφική μηχανή – κάμερα, η οποία χρησιμεύει στο να μπορεί ο υπολογιστής

να δει τον πραγματικό κόσμο και, με βάση το αποτέλεσμα που προκύπτει από της λαμβανόμενες εικόνες, να είναι σε θέση να προσδιορίσει τη θέση της φωτογραφικής μηχανής καθώς και τον προσανατολισμό της. Προς τούτο χρησιμοποιούνται λογισμικά φωτογραμμετρίας και όρασης υπολογιστών, τα οποία αναλαμβάνουν τους σχετικούς υπολογισμούς.

Στην επαυξημένη πραγματικότητα, η επίτευξη της σωστής χωρικής τοποθέτησης των εικονικών αντικειμένων γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους, από τους οποίους προκύπτει και η διάκριση των συστημάτων αυτών. Υπάρχουν λοιπόν συστήματα που:

- βασίζονται σε στόχους (Marker-based), τα οποία δηλαδή προϋποθέτουν την ύπαρξη σημάτων (fiducial markers). Σε ένα τέτοιο σύστημα που βασίζεται στην όραση υπολογιστών, η φωτογραφική μηχανή (κάμερα) μιας φορητής συσκευής φωτογραφίζει συνεχώς το αντικείμενο παρατήρησης και επεξεργάζεται την εικόνα για να εκτιμήσει τη θέση, τον προσανατολισμό και την κίνηση της οθόνης οπτικοποίησης σε σχέση με αυτό. Τα “ορόσημα” αυτά που χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς μπορεί να είναι είτε τεχνητά είτε φυσικά χαρακτηριστικά του ίδιου του περιβάλλοντος.
- δεν βασίζονται σε στόχους, αλλά χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό επιταχυνσιόμετρου, πυξίδας και δεδομένων θέσης (GPS) για να προσδιορίσουν τη θέση στον φυσικό κόσμο, τη διεύθυνση παρατήρησης και περί ποιον άξονα έχει στραφεί η συσκευή. Αυτά τα δεδομένα εντοπισμού μπορούν στη συνέχεια να συγκριθούν με μια βάση δεδομένων για να προσδιοριστεί τί παρατηρεί η συσκευή και έτσι να επιτραπεί η εμφάνιση δεδομένων - γραφικών στην οθόνη της. Με τη χρήση πυξίδας ανιχνεύεται η διεύθυνση της σκόπευσης της συσκευής. Με τη βοήθεια του επιταχυνσιόμετρου υπολογίζεται ο προσανατολισμός της συσκευής.
- είναι υβριδικά και χρησιμοποιούν πληροφορίες από περισσότερους αισθητήρες ή συνδυασμούς των ανωτέρω.



Εικόνα 20α. Παραδείγματα εικονοσημάτων, fiducial markers (αριστερά).
Εικόνα 20β. Κάμερα βάρθους Microsoft Kinect 2 (δεξιά)

Οι κάμερες που υπάρχουν ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν είναι:

- ορατού φωτός που ανιχνεύουν τα αντικείμενα μέσω επεξεργασίας της εικόνας στο επίπεδο του χρώματος RGB,
- κάμερες υπέρυθρου φάσματος που πλεονεκτούν εκείνων του ορατού φωτός διότι δεν επηρεάζονται από τον φωτισμό του χώρου και μπορούν να χρησιμοποιούν ειδικούς αλλά απλούς στόχους, ανακλαστικούς ως προς το υπέρυθρο φως, παρέχοντας ακριβή θέση και προσανατολισμό πολλαπλών αντικειμένων ταυτόχρονα,
- κάμερες βάθους ή αλλιώς αισθητήρες βάθους, για την παρακολούθηση του χρήστη (Μουστάκας κ.ά., 2015).

Δεδομένου ότι τα οπτικά συστήματα παρακολούθησης πρέπει να λάβουν εικόνα, και να την προωθήσουν για επεξεργασία και ανάλυση των πληροφοριών που εξάγονται από αυτή, εισάγουν χρονικές καθυστερήσεις. Αντισταθμιστικά, τα συστήματα αυτά μπορούν να ενσωματωθούν σε φορητές συσκευές και έχουν συγκριτικά μικρό κόστος.

Παρακολούθηση (Tracking)

Παρακολούθηση (Tracking) ονομάζεται ο μηχανισμός που έχει ως σκοπό να παρακολουθεί τις κινήσεις του χρήστη ώστε να υπολογίσει το σύστημα τη θέση ή και τον προσανατολισμό του, ή της διεύθυνσης θέασης εάν πρόκειται για Eye Tracking, δηλαδή παρακολούθηση των οφθαλμών του χρήστη για να υπολογιστεί πού κοιτά ο χρήστης.

Χωρική ένταξη ή αναφορά (Registration)

Ένα από τα πιο βασικά προβλήματα που γενικώς περιορίζουν ακόμα τις εφαρμογές Augmented Reality είναι το πρόβλημα του προσδιορισμού θέσης. Χωρική ένταξη ή αναφορά (Registration) ονομάζεται ο μηχανισμός αυτός που αποτελεί το αποτέλεσμα όλων των υπολογισμών της παρακολούθησης του χρήστη και της ένταξής του, καθώς και όλων αντίστοιχα των αντικειμένων, στον χώρο. Τα αντικείμενα στον πραγματικό και εικονικό κόσμο πρέπει να ευθυγραμμιστούν σωστά το ένα με το άλλο, ειδάλλως η ψευδαίσθηση ότι συνυπάρχουν οι δύο κόσμοι τίθεται υπό αμφισβήτηση, ιδίως δε σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή αναγωγή και προσδιορισμό της θέσης προβολής του επαυξημένου αντικειμένου (βλ. ιατρικές εφαρμογές).

Η χωρική τοποθέτηση πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο με δεδομένα που λαμβάνονται μέσω αισθητήρων:

- α) που χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση (tracking),
- β) για τη συλλογή πληροφοριών του περιβάλλοντος,
- γ) για διάδραση του χρήστη.

Υπάρχουν όμως και σφάλματα που επηρεάζουν τη χωρική ένταξη και τα οποία διακρίνονται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

- Στατικά σφάλματα: οι τέσσερις κύριες πηγές στατικών σφαλμάτων είναι:
 - Η οπτική παραμόρφωση
 - Σφάλματα στο σύστημα παρακολούθησης
 - Μηχανικά εσφαλμένες ευθυγραμμίσεις
 - Λανθασμένες παραμέτροι προβολής (πχ. οπτικό πεδίο, θέση παρακολούθησης οφθαλμού και προσανατολισμός, ενδιάμεση απόσταση)
- Δυναμικά σφάλματα: αυτά προκύπτουν λόγω καθυστερήσεων (delays ή lags) του συστήματος. Για τον περιορισμό των δυναμικών σφαλμάτων ακολουθούνται οι εξής μέθοδοι:
 - Η μείωση καθυστέρησης του συστήματος
 - Η μείωση της φαινομενικής καθυστέρησης
 - Αντιστοίχιση (Matching) προσωρινών ροών (με συστήματα που βασίζονται σε βίντεο), και
 - Η πρόβλεψη μελλοντικών θέσεων.

Η εγκυρότητα της προσομοίωσης AR είναι ένα σημαντικό θέμα για διερεύνηση και, καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία, οι συσκευές AR θα παρέχουν ευρύτερα οπτικά πεδία και ίσως καλύπτουν ολόκληρο το ανθρώπινο οπτικό πεδίο (Ren et al., 2016.)

Η ακριβής καταχώριση και τοποθέτηση εικονικών αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον απαιτεί ακριβή παρακολούθηση της κεφαλής του χρήστη και ανίχνευση των θέσεων άλλων αντικειμένων στο περιβάλλον, καθώς και επεξεργασία μεγαλύτερων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αποτελεί μια από τις βασικές τεχνικές προκλήσεις ενός συστήματος AR, ενώ το μεγαλύτερο εμπόδιο για τη δημιουργία αποτελεσματικών συστημάτων είναι η απαίτηση ακριβών αισθητήρων και ιχνηλατών μεγάλης εμβέλειας που εντάσσουν τις θέσεις του χρήστη και των γύρω αντικειμένων στο περιβάλλον.

Αισθητήρες

Μέσω της τεχνολογίας πλοήγησης GPS (Global Positioning System) και ενός δέκτη σε μια φορητή συσκευή, καθίσταται εύκολο για μια εφαρμογή AR να αποκτήσει δεδομένα της οριζοντιογραφικής θέσης της (X, Y και δυνητικά και στον άξονα Z).

Δεν μπορεί, ωστόσο, να προσδώσει πληροφορία προσδιορισμού του προσανατολισμού του δέκτη ως προς την περιστροφή περί τους άξονες. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος μπορούν να επιστρατευτούν άλλοι αισθητήρες, είτε αδρανειακοί που καταγράφουν τις κινήσεις κ.λπ. είτε διαδραστικοί, υπό την έννοια πως ο χρήστης τους χρησιμοποιεί προκειμένου να πλοηγηθεί, να εξερευνήσει, να αγγίξει κ.λπ.

Αδρανειακοί αισθητήρες είναι τα γυροσκόπια που μπορούν να καταγράψουν στροφές ή αλλαγή προσανατολισμού της συσκευής ή του χρήστη, επιταχυνσιόμετρα που μπορούν να προσδιορίσουν επιτάχυνση και συνεπώς και ταχύτητα της κινούμενης συσκευής ή του χρήστη, και πυξίδα για καταγραφή της διεύθυνσης κίνησης.

Άλλοι αισθητήρες ή αισθητήρες διεπαφής χρήστη αποτελούν εκείνοι που συλλέγουν δεδομένα εισόδου του χρήστη (βλέπε και συσκευές εισόδου στη συνέχεια) και μέσω αυτών ο χρήστης αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του, εισάγει δεδομένα αλλά και εισπράττει το αποτέλεσμα μιας ενέργειάς του (Μουστάκας κ.ά., 2015).

Προβολή

Η οθόνη του χρήστη στην οποία προβάλλονται εικόνες από ένα σύστημα VR αποτελεί το παράθυρο θέασής του προς τον εικονικό ή επαυξημένο κόσμο. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η εμβύθιση σε ένα εικονικό περιβάλλον μέσω οθονών που προσαρμόζονται μπροστά στους οφθαλμούς του χρήστη, με ένα προσαρμοζόμενο στο κεφάλι του χρήστη κράνος ή μάσκα (head-mounted display, HMD) ή και γυαλιά εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας (βλ. και κράνη ή μάσκες εικονικής πραγματικότητας στην ενότητα συσκευών εξόδου).

Οι ανωτέρω κατηγορίες συσκευών κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο οπτικής προβολής σε στερεοσκοπικής ή μονοσκοπικής προβολής. Σύμφωνα με τον Μουστάκα κ.ά. (2015), εάν πρόκειται για σταθερές και κινητές οθόνες, «αυτό συνεπάγεται τη χρήση είτε αυτοστερεοσκοπικών οθονών, που εμφανίζουν απευθείας τρισδιάστατες εικόνες με τρόπο που ο θεατής να αντιλαμβάνεται βάθος σε αυτές, είτε τη χρήση ειδικών γυαλιών που φορά ο χρήστης και παράγουν το αντίστοιχο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας συμβατικές οθόνες. Η στερεοσκοπική προβολή σε συστήματα βίντεο-διαφανή (όπως η χρήση πχ. HMD σε συνδυασμό με κάμερα τοποθετημένη στο κεφάλι του χρήστη) μπορεί να προβάλλει τόσο τον πραγματικό όσο και τον εικονικό κόσμο στερεοσκοπικά (αν χρησιμοποιούνται

στερεοσκοπικές κάμερες για την καταγραφή του πραγματικού κόσμου) ή να συνδυάζει μονοσκοπική με στερεοσκοπική απεικόνιση πραγματικού/εικονικού».

Τα εικονικά περιβάλλοντα (VE) για παρακολούθηση μέσω VR έχουν πολύ υψηλότερες απαιτήσεις για ρεαλιστικές εικόνες, επειδή αντικαθιστούν πλήρως τον πραγματικό κόσμο με το εικονικό περιβάλλον. Στην AR, οι εικονικές εικόνες συμπληρώνουν μόνο τον πραγματικό κόσμο. Επομένως, λιγότερα εικονικά αντικείμενα πρέπει να αναπαρίστανται και δεν πρέπει απαραίτητα να παρασταθούν ρεαλιστικά για να εξυπηρετήσουν τους σκοπούς της εφαρμογής.

Μία από τις δυσκολίες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία σχετικά με τις εφαρμογές AR σε εξωτερικούς χώρους είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Επομένως, κατά την ανάπτυξη οποιασδήποτε εφαρμογής AR πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι εξωτερικοί παράγοντες, όπως η ποσότητα φωτός, οι αντανάκλασεις αντικειμένων, η θέση του χρήστη, η ανάλυση της οθόνης, η αντίθεση και το βάθος χρώματος κ.λπ. (Vargas et al., 2020).

Σύμφωνα με τους Zhou et al. (2008), για την παροχή μιας αποτελεσματικής εμπειρίας AR υπάρχουν ορισμένοι στοιχεία που πρέπει να αναπτυχθούν, όπως:

- (α) Υλικό και λογισμικό γραφικής απόδοσης που μπορούν να δημιουργήσουν το εικονικό περιεχόμενο για επικάλυψη του πραγματικού κόσμου.
- (β) Τεχνικές παρακολούθησης, έτσι ώστε οι αλλαγές στη θέση του θεατή να μπορούν να αντικατοπτρίζονται σωστά στα γραφικά που αποδίδονται.
- (γ) Εργαλεία βαθμονόμησης και εγγραφής παρακολούθησης για την ακριβή ευθυγράμμιση της πραγματικής και της εικονικής προβολής όταν είναι σταθερή η προβολή στον χρήστη.
- (δ) Υλικό εμφάνισης για συγχώνευση εικονικών εικόνων με προβολές του πραγματικού κόσμου.
- (ε) Υλικό επεξεργασίας υπολογιστή για εκτέλεση κώδικα προσομοίωσης AR και υποστήριξη συσκευών εισόδου και εξόδου.
- (στ) Τεχνικές αλληλεπίδρασης που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να χειριστεί το εικονικό περιεχόμενο AR.

Δεδομένου ότι ο χρήστης σε ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας δεν μπορεί να δει τον πραγματικό κόσμο, η παρακολούθηση απεικονίσεων σε VR δεν χρειάζεται να είναι πολύ ακριβής σε σχέση με τον πραγματικό κόσμο. Αντίθετα, σε ένα σύστημα AR η οθόνη μπορεί να μην είναι πλήρους εμπύθισης, να έχει μικρότερο FoV και να χρησιμοποιεί ελάχιστα γραφικά (οι φορητές οθόνες έχουν

FoV μικρότερο των 30°). Ωστόσο, σε μια εφαρμογή AR, η παρακολούθηση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη για να δημιουργήσει την ψευδαίσθηση ότι το εικονικό περιεχόμενο είναι σταθερό στον πραγματικό κόσμο. Σε μια οπτική οθόνη AR είναι πολύ εύκολο για το ανθρώπινο μάτι να αντιληφθεί την αναντιστοιχία μεταξύ πραγματικών και εικονικών γραφικών ακόμη και λίγων mm.

Πίνακας 1. Οι συμπληρωματικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων AR και VR.

	Virtual Reality Replacing Reality	Augmented Reality Augmenting Reality
Scene Generation	requires realistic images	minimal rendering okay
Display Device	fully immersive, wide FOV	non-immersive, small FOV
Tracking and Sensing	low accuracy is okay	high accuracy needed

Οι Sandor et al. (2015) οραματίζονται το True AR, το οποίο ορίζουν ως τροποποίηση της αντίληψης του χρήστη για το περιβάλλον του, η οποία δεν μπορεί να εντοπιστεί από τον χρήστη, ενώ από τον «χειρισμό του ατόμου» μεταβαίνουν στον «χειρισμό της αντίληψής του». Προαπαιτούμενο για την επίτευξη του True AR είναι η δυνατότητα φωτορεαλιστικής σύλληψης της πραγματικότητας και της προβολής της στο χρήστη, πιθανώς μετά την τροποποίησή της.

Ενώ η AR είναι τεχνικά ένα υπερσύνολο της VR, την ξεπερνά ακόμη και στη διαδραστικότητα: όχι μόνο αντιδρά στον παρατηρητή, αλλά μπορεί επίσης να ενσωματώσει το περιβάλλον των παρατηρητών. Η δε χρησιμότητά της βασίζεται στο ότι έχει πολύ χαμηλότερες απαιτήσεις στον αντιληπτό ρεαλισμό σε σχέση με την VR (Sandor et al., 2015.)

Η επιτυχία μιας εφαρμογής AR εξαρτάται από το διαθέσιμο περιεχόμενο και επηρεάζεται από πτυχές όπως ανάλυση, φωτισμός και φωτορεαλισμός, αντίθεση, λανθάνουσα κατάσταση, βαθμονόμηση των εικονικών αντικειμένων με τον πραγματικό κόσμο, γεωμετρική ακρίβεια και σύλληψη λεπτομερειών, φορητότητα και τύπος της οπτικής συσκευής, μεθοδολογίες παρακολούθησης και αποτελεσματικότητα κ.λπ. (Roussou & Drettakis, 2003 και Vargas et al., 2020).

Τελευταία, ο τομέας της AR παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη, δεδομένου ότι τα υλικά που την υποστηρίζουν αναπτύχθηκαν προσφάτως, όπως πχ. Smartphones, tablet ή μάσκες HMD.

Τα γυαλιά AR επιτρέπουν τη συγχώνευση της κανονικής όρασης του χρήστη με εικόνες από μικροσκοπικές οθόνες υπολογιστών. Για να επιτευχθεί μια ικανοποιητική εμπειρία AR μέσω γυαλιών, θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα

υψηλής ανάλυσης και να ενσωματώνουν πληροφορίες χωρικά στον πραγματικό κόσμο του χρήστη.

Μπορεί έως τώρα να αποτελούν ουσιαστικά ένα μέσο μεσολάβησης από το οποίο είναι εφικτή η επισκόπηση πχ. της τρέχουσας ώρας, ενός μηνύματος ή η λήψη οδηγιών μέσω διασύνδεσης με ένα smartphone (κάτι που ως τώρα γίνονται μόνο με επισκόπηση του ίδιου του κινητού τηλεφώνου), ωστόσο η επόμενη γενιά γυαλιών AR θα έχει πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως εικονικούς βοηθούς¹².

Επίσης, τα γυαλιά AR του μέλλοντος υπόσχονται ότι θα μπορούν να ανταποκριθούν στις εξατομικευμένες ανάγκες των χρηστών, διορθώνοντας μέσω της παρατήρησης μέσα από αυτά και ζητήματα οπτικών διαταραχών, μυωπίας ή πρεσβυωπίας κ.λπ. αντί των συμβατικών γυαλιών που κυκλοφορούν σήμερα.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι Chakravarthula et al. (2018) παρουσίασαν την έρευνά τους, το FocusAR, δηλαδή τον σχεδιασμό μιας οθόνης για την υποστήριξη της εστίασης τόσο στον πραγματικό κόσμο, όσο και στον εικονικό κόσμο. Για την επίτευξη αυτή απαιτούνται ανεξάρτητες ρυθμίσεις για το βάθος της εικονικής εικόνας και η διόρθωση της πραγματικής όρασης ανάλογα με τις ανάγκες και την ιδιομορφία του χρήστη, προκειμένου να αντικαταστήσουν τα συνηθισμένα γυαλιά.

Πίνακας 2. Σύγκριση απαιτήσεων προσαρμογής εστίασης για διαφορετικούς χρήστες (για προβολή καλά εστιασμένων εικόνων τόσο πραγματικών όσο και εικονικών αντικειμένων σε όλες τις αποστάσεις)

User vision type	External real world correction	Internal AR display correction
Normal-vision	No correction	Dynamic
Myopic ('near-sighted')	Static	Dynamic (Offset by prescription)
Hyperopic ('far-sighted')	Static	Dynamic (Offset by prescription)
Presbyopic ('limited accommodation')	Dynamic	Static

Ενώ οι χρήστες με κανονική όραση δεν χρειάζονται διόρθωση όρασης, οι χρήστες με διαθλαστικές παρεκκλίσεις στα μάτια χρειάζονται προσαρμογές εξωτερικής εστίασης για να παρατηρήσουν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου πιο καθαρά. Ωστόσο, οι μυωπικοί και οι υπερτροπικοί χρήστες χρειάζονται μόνο μια στατική διόρθωση εστίασης, ενώ οι πρεσβυωπικοί χρήστες χρειάζονται διόρθωση δυναμικής όρασης με βάση το βάθος του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Επομένως,

12 Τέτοια και άλλα χαρακτηριστικά ερευνώνται στην παρούσα φάση στο εργαστήριο του πανεπιστημίου της Βόρειας Καρολίνας (UNC), συμπεριλαμβανομένου ενός πρωτότυπου headset για κοινή τηλεπαρακολούθηση, δηλαδή μιας προσέγγισης AR που επιτρέπει σε έναν χρήστη να "βλέπει" έναν άλλο χρήστη του AR και τα περιβάλλοντά του.

για δυναμική προσαρμογή της εξωτερικής διορθωτικής ισχύος του φακού, απαιτείται φακός αδιάλειπτης εστίασης που μπορεί να λειτουργήσει σε εύρος εστιακών αποστάσεων.

Γ.2.11. Μικτή πραγματικότητα (MR)

Στα προηγθέντα έχει αναφερθεί ότι οι Milgram & Kishino (1994) έθεσαν τα θεμέλια της μικτής πραγματικότητας, την οποία ορίζουν ως «ένα συγκεκριμένο υποσύνολο τεχνολογιών που σχετίζονται με την εικονική πραγματικότητα και περιλαμβάνουν τη συγχώνευση πραγματικών και εικονικών κόσμων, κάπου κατά μήκος του “συνεχούς” της πραγματικότητας-εικονικής πραγματικότητας» (“reality-virtuality continuum” – RV) που συνδέει εντελώς πραγματικά περιβάλλοντα με εντελώς εικονικά.

Η μικτή πραγματικότητα συνεπάγεται οπωσδήποτε την ανάμειξη στοιχείων και αντικειμένων της πραγματικότητας και της εικονικής πραγματικότητας.

Μια οθόνη Μικτής πραγματικότητας είναι οποιαδήποτε οθόνη που φοριέται στο κεφάλι, είναι χειρός ή σταθερή και μπορεί να εμφανίζει έναν συνδυασμό πραγματικών και εικονικών κόσμων (Milgram & Kishino, 1994).

Μικτή πραγματικότητα / Mixed Reality (MR)

Μορφή εικονικής πραγματικότητας στην οποία ενυπάρχουν το φυσικό περιβάλλον και ο εικονικός κόσμος, όπου ανάλογα με τον βαθμό συμμετοχής τους διακρίνουμε τις περιπτώσεις της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality – AR, όπου κυριαρχεί ο πραγματικός κόσμος) και της Επαυξημένης Εικονικότητας (Augmented Virtuality – AV, όπου κυριαρχεί το εικονικό περιβάλλον) (Δημούλας, 2015).

Είναι σκόπιμο να οριστούν τα περιβάλλοντα Μικτής Πραγματικότητας (MR) ως περιβάλλοντα στα οποία «τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου και του εικονικού κόσμου παρουσιάζονται μαζί σε μια ενιαία οθόνη, δηλαδή, οπουδήποτε μεταξύ των άκρων του συνεχούς Πραγματικότητας – Virtuality» (Damala et al., 2007).

Γ.2.11.1. Τύποι οθονών μικτής πραγματικότητας

Για να υποβοηθήσουν στην περαιτέρω κατανόηση της έννοιας της Μικτής Πραγματικότητας, οι Milgram et al. (1994) παρέθεσαν επτά τύπους οθονών:

1. Οθόνες προβολής AR βασισμένες σε οθόνες (μη εμβυθιστική). Εμφάνιση βίντεο του πραγματικού κόσμου στο οποίο τοποθετούνται ψηφιακές εικόνες.

2. Σύστημα που περιλαμβάνει κράνος ή μάσκα HMD που δείχνει βίντεο. Είναι σαν τον πρώτο τύπο, αλλά το περιεχόμενο προβάλλεται μέσω ενός HMD.
3. Σύστημα AR που περιλαμβάνει οπτικά διάφανο HMD. Μία διαφανής οθόνη που επιτρέπει ψηφιακές εικόνες να εμφανίζονται πάνω από τον πραγματικό κόσμο.
4. Σύστημα AR που περιλαμβάνει οπτικά διάφανο HMD κράνος ή μάσκα με δυνατότητα προβολής βίντεο. Ίδια διάταξη με τον τύπο (3), αλλά μπορεί να δείχνει βίντεο του πραγματικού κόσμου μπροστά από τον χρήστη με εικονικά γραφικά σε υπέρθεση.
5. Σύστημα Επαυξημένης Εικονικής πραγματικότητας (Augmented Virtuality, AV) βασισμένο σε οθόνη και εμφάνιση τρισδιάστατων γραφικών σε μια οθόνη με υπέρθετο βίντεο.
6. Εμβυθιστικό ή μερικώς εμβυθιστικό σύστημα AV (πχ. μεγάλης οθόνης) που μπορεί να προβάλλει ως υπόστρωμα τρισδιάστατα γραφικά επί οθόνης με υπερτιθέμενο βίντεο ή χαρτογράφησης υφής, που τοποθετείται εμπρός τους.
7. Εν μέρει εμβυθιστικά συστήματα AV που επιτρέπουν πρόσθετες αλληλεπιδράσεις πραγματικών αντικειμένων, όπως «προσέγγιση» («reaching in») και «αρπάζοντας» (grabbing) με το δικό σου (πραγματικό) χέρι.

Όπως φαίνεται από αυτήν τη λίστα, σχεδόν κάθε οθόνη που συνδυάζει εικονικές και πραγματικές εικόνες σε πραγματικό χρόνο είναι ένας τύπος οθόνης MR. Ωστόσο, έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, οι τύποι 1, 2 και 4 βασίζονται σε βίντεο με βελτιώσεις γραφικών, ενώ ο τύπος 5 βασίζεται σε γραφικά με βελτιώσεις βίντεο.

Γ.2.11.2. Ταξινόμηση μικτής πραγματικότητας

Με βάση την ταξινόμηση των Milgram et al. (1994) υπάρχουν τρεις διαστάσεις που δύναται να χρησιμοποιηθούν:

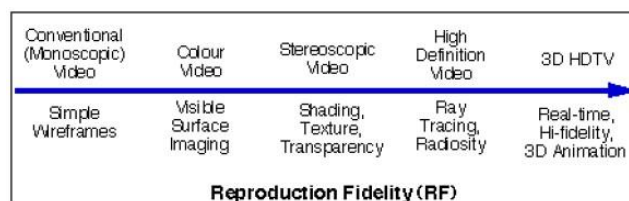
1. Η έκταση της παγκόσμιας γνώσης (Extent of World Knowledge - EWK)
Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται πως η έκταση αυτή κυμαίνεται από τον μη μοντελοποιημένο πραγματικό κόσμο έως την πλήρη μοντελοποίησή του (στο δεξιό άκρο). Στο ενδιάμεσο μεταφερόμαστε δεξιότερα εφόσον τμηματικά μοντελοποιείται ο κόσμος, γνωρίζοντας πού ή τί, με περισσότερη μοντελοποίηση γνωρίζοντας και το πού αλλά και τί βρίσκεται εκεί.



Εικόνα 21. Η Έκταση της παγκόσμιας γνώσης (Extent of World Knowledge - EWK).

2. Πιστότητα αναπαραγωγής

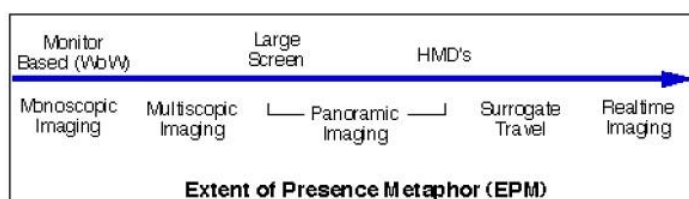
Η πιστότητα αναπαραγωγής αναφέρεται στη ρεαλιστική απεικόνιση του πραγματικού κόσμου ή την ποιότητα απόδοσης των γραφικών υπολογιστών. Έτσι, σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα, στο ένα άκρο τοποθετείται το μονοσκοπικό βίντεο με απλά frames και στο άλλο άκρο το βίντεο υψηλής ευκρίνειας.



Εικόνα 22. Πιστότητα αναπαραγωγής.

3. Η έκταση της παρουσίας (Extent of Presence Metaphor, EPM)

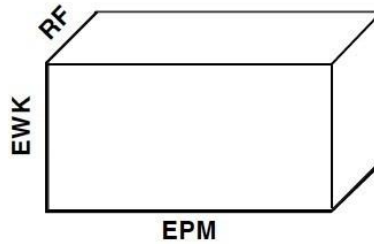
Η διάσταση EPM σχετίζεται με το βαθμό στον οποίο ο χρήστης αισθάνεται βυθισμένος ή παρών στην προβαλλόμενη σκηνή. Έτσι, εάν ένας χρήστης δει μια μονοσκοπική απεικόνιση σε κάποιο υπολογιστή ή μια κινητή συσκευή, θα βιώσει πολύ περιορισμένη αίσθηση παρουσίας, σε αντίθεση πχ. με το να φορά ένα κράνος HMD, το οποίο προσφέρει υψηλότερη αίσθηση παρουσίας.



Εικόνα 23. Η έκταση της παρουσίας.

4. Συσχέτιση

Οι ανωτέρω διαστάσεις-παράγοντες είναι κατά κύριο λόγο ανεξάρτητες μεταξύ τους και μπορούν να λάβουν θέση αξόνων για την τρισδιάστατη απεικόνιση στο χώρο ταξινόμησης MR.



Εικόνα 24. Ο χώρος ταξινόμησης MR.

Πλέον, σε επίπεδο όχι εξειδικευμένης προσέγγισης της εικονικής πραγματικότητας αλλά περισσότερο εμπορικής, έρχεται να προστεθεί και ο όρος εκτεταμένη πραγματικότητα (Extended Reality με συντομογραφία XR), η οποία αναφέρεται σε όλα τα πραγματικά, εικονικά και συνδυασμένα περιβάλλοντα και τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-μηχανής που παράγονται από την τεχνολογία των υπολογιστών και τις φορητές συσκευές.

Γ.3. Τεχνολογία ενεργοποίησης: Υλικό/Εξοπλισμός (Hardware)

Για να καταστεί εφικτή κάποια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας απαιτείται και το κατάλληλο υλικό σε επίπεδο hardware (εξοπλισμού), συσκευές δηλαδή μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί η εισαγωγή του χρήστη στο σύστημα, η εισαγωγή από αυτόν δράσεων μέσα σε αυτό και η ανάδραση ως αποτέλεσμα των δράσεών του. Υπάρχουν διάφορες συσκευές αλληλεπίδρασης με ένα εικονικό περιβάλλον. Οι συσκευές περιλαμβάνουν από το «κλασικό ποντίκι» έως τα γυαλιά και τις οθόνες που προσαρμόζονται στο κεφάλι (head-mounted displays HMD), συστήματα 3D ήχου, ομιλίας ή και αναγνώρισης φωνής. Σε αυτά έχουν προστεθεί ειδικά γάντια και φόρμες, συσκευές παρακολούθησης οφθαλμών κ.ά. Οι συσκευές αυτές διακρίνονται σε συσκευές εισόδου και συσκευές εξόδου.

Η επιλογή εξοπλισμού εξαρτάται κυρίως από το επιλεγμένο επίπεδο ιδιοτήτων της εφαρμογής VR, όπως ο ρεαλισμός, η εμβύθιση και η αλληλεπίδραση. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός των εμπλεκόμενων αισθήσεων χρήστη, τόσο υψηλότερη είναι η πολυπλοκότητα των συσκευών και ο αντίστοιχος προγραμματισμός τους. Οι πιο κοινές αισθήσεις που εμπλέκονται σε μια τρέχουσα εφαρμογή VR είναι η όραση και η ακοή, ενώ ακολουθεί η αφή, τουλάχιστον υπό την έννοια του χειρισμού και της χειραγώγησης αντικειμένων.

Σε συστήματα VR συναντούμε κάποιες ή τις περισσότερες από τις ακόλουθες συσκευές:

Γ.3.1. Συσκευές εισόδου

Τα συστήματα VR έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν πολλαπλές συσκευές εισόδου και εξόδου, οπότε βάσει των μετρήσεων που προκύπτουν από τον χειρισμό τους επηρεάζεται και το αποτέλεσμα που εισπράττει ο χρήστης. Συνηθέστερο δε ερέθισμα αποτελεί η οπτική απεικόνιση που του παρέχεται από το σύστημα ως αποτέλεσμα της δράσης του. Σκοπός αυτών των συσκευών είναι η ανίχνευση-αναγνώριση και εισαγωγή στο σύστημα εικονικής πραγματικότητας της κίνησης, και γενικότερα της παρέμβασης του χρήστη.

Υπάρχουν οι εξής συσκευές εισόδου:

Γ.3.1.Α. Πληκτρολόγιο

Το πληκτρολόγιο ήταν από τα πρώτα στοιχεία υλικού εισόδου δεδομένων σε μια οποιαδήποτε διεπαφή ανθρώπου – υπολογιστή μέσα από την οποία δίδονται εντολές και χειρισμός μιας εφαρμογής.

Γ.3.1.Β. Το ποντίκι.

Το ποντίκι, δεύτερο στοιχείο εισόδου δεδομένων, αναπτύχθηκε και αυτό με την παράλληλη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Δίνει τη δυνατότητα κίνησης επί ενός επιπέδου, εισαγωγής εντολών και χειρισμού. Πλέον, το ποντίκι έχει τεχνολογικά εξελιχθεί αποκτώντας δυνατότητες κίνησης όχι μόνο σε ένα επίπεδο, αλλά και καθ' ύψος (τρισδιάστατο ποντίκι – 3D mouse). Παραλλαγή του ποντικιού αποτελεί και το trackball.



Εικόνα 25α,β,γ,δ. Συσκευές εισόδου: ποντίκι (mouse), 3D mouse, 3D mouse, Trackball Mouse.

Γ.3.1.Γ. Χειριστήρια (Joysticks)

Τα χειριστήρια, γνωστά από τα πιλοτήρια των αεροσκαφών κυρίως αλλά και από τη βιομηχανία παιχνιδιών στη συνέχεια, δίνουν τη δυνατότητα χειρισμού και σε τρίτη διάσταση, πέραν του επιπέδου που έδινε το ποντίκι. Μία από τις πρώτες εφαρμογές στην εικονική πραγματικότητα, αν όχι η πρώτη, αποτέλεσε η εκπαίδευση των πιλότων σε ειδικά σχεδιασμένους προσομοιωτές.

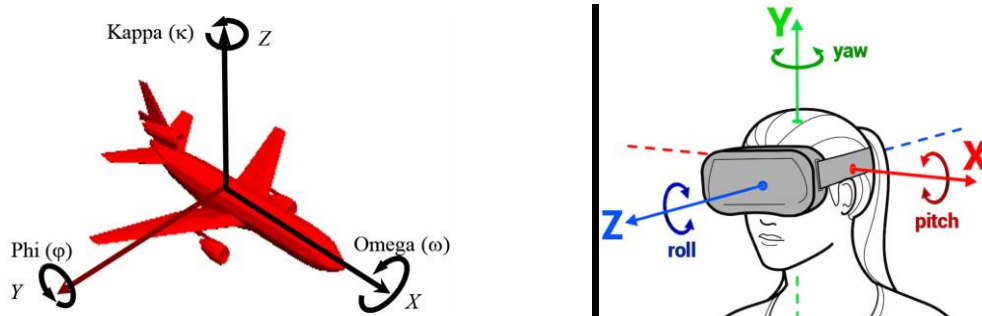


Εικόνα 26. Χειριστήριο (Joystick)

Γ.3.1.Δ. Haptics

Η λέξη προέρχεται από την ελληνική λέξη απτικός, δηλαδή ο σχετιζόμενος με την αφή. Η απτική τεχνολογία, γνωστή και ως επικοινωνιακή κινητική ή τρισδιάστατη αφή, αναφέρεται σε οποιαδήποτε τεχνολογία μπορεί να δημιουργήσει μια εμπειρία αφής εφαρμόζοντας δυνάμεις, δονήσεις ή κινήσεις στον χρήστη [Wikipedia].

Τα Haptics περιλαμβάνουν τον τρόπο αφής, την αίσθηση σχήματος αλλά και υφής. Απτικά γάντια αποκαλούνται γάντια τα οποία μπορούν να φορεθούν από έναν χρήστη για να διευκολύνουν τον έλεγχο της λεπτής κίνησης σε ένα περιβάλλον VR. Αποτελούν συσκευές εισόδου-εξόδου πολλαπλών σημείων αλληλεπίδρασης και τοποθετούνται εξωτερικά στα δάχτυλα του χεριού προκειμένου να εντοπίζουν τη δύναμη που ασκείται σε κάποιο από αυτά με αποτέλεσμα απτική ανάδραση. Παρέχουν αρκετούς βαθμούς ελευθερίας, πχ. ένα σύστημα 16 βαθμών ελευθερίας περιλαμβάνει 3 για απόλυτη θέση (X,Y,Z), 3 για την κατεύθυνση στον χώρο (στροφές κ,φ,ω) και 10 για τα δάχτυλα.



Εικόνα 27α. Σχήμα που απεικονίζει τους άξονες και τις στροφές (Αριστερά: σε αεροσκάφος) και Εικόνα 27β. (Δεξιά: σε ένα HMD). Όμοια λογική εφαρμόζεται και στα απτικά γάντια.

Οι κύριες τεχνολογίες ανίχνευσης της κλίσης των δακτύλων είναι η ηλεκτρομηχανική προσέγγιση, όπου σύνδεσμοι στερεωμένοι στα δάχτυλα μετρούν την κλίση ή την κίνησή τους, και η οπτική προσέγγιση, στην οποία με τη βοήθεια οπτικών ινών που διατρέχουν κάθε δάκτυλο και αισθητήρων φωτός (πομπού-δέκτη), κάθε φορά που ο χρήστης λυγίζει τα δάχτυλα του απελευθερώνεται μια

ποσότητα φωτός, η οποία καταγράφεται από τον δέκτη και παράγει αντίστοιχης έντασης ηλεκτρικό σήμα, το οποίο με τη σειρά του ενημερώνει το υπολογιστικό σύστημα.

Παραλλαγή των απτικών γαντιών αποτελούν τα γάντια δεδομένων ή data gloves ή cybergloves. Αποτελούν συσκευές που χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων για την ανίχνευση της κάμψης των δακτύλων. Πέραν της απτικής ανάδρασης, είναι εξοπλισμένα και με ανιχνευτές κίνησης, πχ. μια μαγνητική συσκευή ή μια αδρανειακή συσκευή παρακολούθησης που είναι προσαρτημένες για να συλλέγουν πληροφορίες θέσης και περιστροφής του γαντιού, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ανίχνευση της θέσης του χεριού, η οποία και προβάλλεται από το υπολογιστικό σύστημα του εικονικού περιβάλλοντος στον χρήστη, προκειμένου να μπορεί να αντιλαμβάνεται τη σχετική θέση του χεριού στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας.



Εικόνα 28α και 28β. Απτικά γάντια.

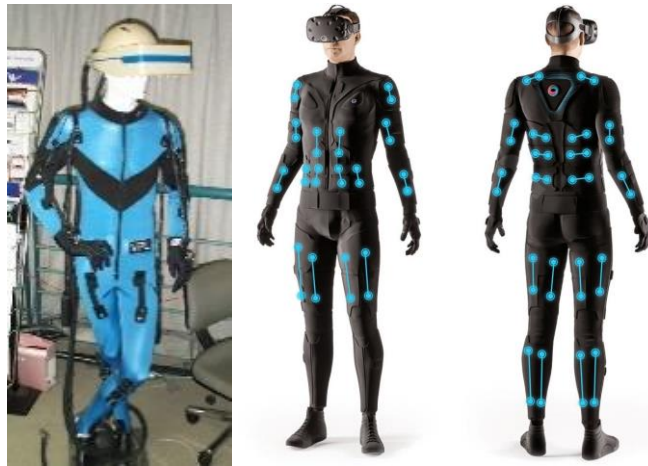
Νεότερη προσέγγιση αποτελούν τα cybergloves, που διαθέτουν 18 αισθητήρες για κάθε πιθανή κίνηση του καρπού και των δυνατοτήτων κάμψης των δακτύλων (υπάρχει και παραλλαγή με 22 αισθητήρες που περιλαμβάνει αισθητήρες και για τις κινήσεις των ακροδαχτύλων).

Οι ανιχνευτές κίνησης χαρακτηρίζονται από τον τρόπο με τον οποίο δύναται να ανιχνεύουν την κίνηση του χεριού και διακρίνονται σε μηχανικά, μαγνητικά, αδρανειακά, οπτικά ή και ακουστικά συστήματα.

Τα απτικά γάντια αλλά και τα γάντια δεδομένων στηρίζονται στη βασική προσέγγιση ότι τα χέρια του ανθρώπου αποτελούν βασικό στοιχείο αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον του. Έτσι, διευκολύνουν την αίσθηση αφής μέσω της προσομοίωσής της. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί πιο εύκολα να προσαρμοστεί σε ένα εικονικό περιβάλλον κάνοντας τις ίδιες ακριβώς κινήσεις που θα έκανε και στο πραγματικό περιβάλλον. Το κόστος τους, συμπεριλαμβανομένης της συσκευής παρακολούθησής τους, είναι αρκετά υψηλό.

Γ.3.1.E. Το Motion capture suit

Το Mo-cap suit (εν συντομία) είναι μια φορητή φόρμα-συσσκευή που διασυνδέεται με το σύστημα εικονικής πραγματικότητας, ενώ διαθέτει και αισθητήρες για την ανίχνευση, παρακολούθηση και καταγραφή του σώματος του χρήστη, της θέσης του και της κίνησής του. Αναπτύχθηκε γύρω στο 1989, ενώ πρωτοεμφανίστηκε στον εκθεσιακό χώρο Nissho Iwai στο Τόκιο, όπου αποτελούσε μια στολή (DataSuit) ολόκληρου σώματος με αισθητήρες για τη μέτρηση της κίνησης των χεριών, των ποδιών και του κορμού από την εταιρία VPL Research.



Εικόνα 29α και 29β. (Αριστερά) Το VPL Research Data Suit. (Δεξιά) Φόρμες εικονικής πραγματικότητας (body suits).

Γ.3.2. Συσκευές εξόδου

Οι συσκευές εξόδου έχουν ως στόχο την προβολή στον χρήστη της παρέμβασής του μέσα στο εικονικό περιβάλλον, αλλά και γενικότερα την προβολή του περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας. Αυτές στοχεύουν στην ανάδραση των αποτελεσμάτων των χειρισμών του χρήστη, καθώς και στο να του παρουσιάσουν το περιβάλλον αυτό όσο το δυνατόν πιο αληθοφανές, διεγείροντάς του τις αισθήσεις της όρασης, της ακοής, της αφής και της όσφρησης.

Γ.3.2.A. Στεροσκοπικά (τρισεδιάστατα) γυαλιά

Υπάρχουν στην αγορά διάφορα είδη τρισεδιάστατων στερεοσκοπικών γυαλιών όπως το παρακάτω.



Εικόνα 30. Στεροσκοπικά τρισεδιάστατα γυαλιά

Γ.3.2.B. Κράνη ή μάσκες εικονικής πραγματικότητας (Head mounted Displays, HMD)

Στόχος των συσκευών αυτών είναι η προβολή στους οφθαλμούς του χρήστη του εικονικού περιβάλλοντος, μιας και ο κύριος τρόπος εμπύθισης σε μια εικονική πραγματικότητα είναι αυτός που απευθύνεται στην κύρια αίσθηση με την οποία οι άνθρωποι παρατηρούν τα εξωτερικά προς αυτούς ερεθίσματα, δηλαδή την όραση. Προσαρμόζονται στο κεφάλι του χρήστη είτε ως κράνη είτε με βάση την εξέλιξη της τεχνολογίας σε αυτόν τον τομέα ως μάσκες που τοποθετούνται μπροστά ακριβώς από τους οφθαλμούς του παρατηρητή, ο οποίος έχει μία οθόνη μπρος σε κάθε οφθαλμό του που του προβάλλει το περιεχόμενο, είτε μονοσκοπικά είτε στερεοσκοπικά για την αντίληψη του βάθους. Το οπτικό σύστημα του ανθρώπου έχει ένα διοφθαλμικό FoV που υπερβαίνει τα 180° οριζόντια, οι δε συσκευές HMD έχουν περιορισμένο FoV, μέγιστο της τάξης έως 90-110°.

Αυτό το περιορισμένο εύρος θέασης περιορίζει τη δυνατότητα και τη δυναμική των συστημάτων μικτής πραγματικότητας και μειώνει την εμπειρία του χρήστη, ενώ αφήνει ανεκμετάλλευτη τη δυνατότητα πλήρους αξιοποίησης της ανθρώπινης όρασης (Xiao & Benko, 2016).

Οι εν λόγω συσκευές διακρίνονται σε VR-HMD και AR-HMD, ανάλογα δηλαδή με το εάν αποκόπτουν τον χρήστη από τον περίγυρό του έτσι ώστε να απορροφάται από το περιεχόμενο που του προβάλλεται, προς επίτευξη της αίσθησης της εμπύθισης και της παρουσίας (μάσκες VR-HMD), ή το εάν του επιτρέπουν παράλληλα να έχει εικόνα του πραγματικού κόσμου όταν φορεθούν (AR-HMD).

Τα AR-HMD διακρίνονται με βάση τον τρόπο που ο χρήστης βλέπει τον πραγματικό κόσμο μέσω αυτών, ενώ υπάρχουν δύο προσεγγίσεις – τεχνολογίες που χρησιμοποιούν:

- β.1) οπτικά διαφανείς οθόνες προβολής για την απευθείας επισκόπηση του πραγματικού κόσμου, και
- β.2) βίντεο-διαφανείς (see-through) οθόνες προβολής, που χρησιμοποιούν την τεχνολογία βίντεο, όπου μια κάμερα λαμβάνει βίντεο (εικόνα) του πραγματικού κόσμου και παρουσιάζει στον χρήστη το αποτέλεσμα, αφού πρώτα ενσωματώσει σε αυτό εικονικά στοιχεία.



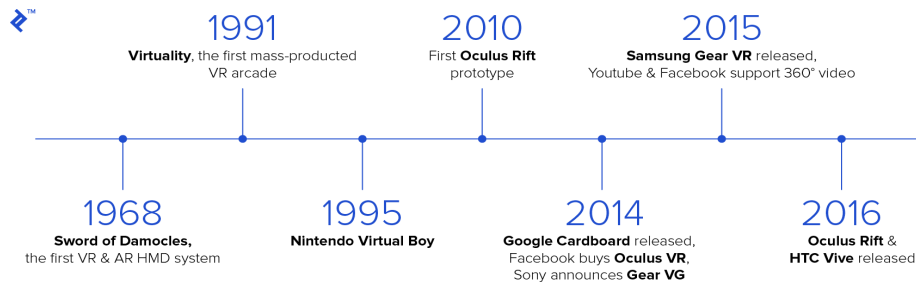
Εικόνα 31α,31β και 31γ. Παραδείγματα HMD οθονών προβολής: οπτικά διαφανής, βίντεο-διαφανής (see-through) και Οπτική συσκευή see-through αντίστοιχα.

Οι ανωτέρω κατηγορίες συσκευών κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο οπτικής προβολής σε στερεοσκοπικής ή μονοσκοπικής προβολής. Εάν πρόκειται για σταθερές και κινητές οθόνες, αυτό συνεπάγεται τη χρήση είτε αυτοστερεοσκοπικών οθονών, που εμφανίζουν απευθείας τρισδιάστατες εικόνες με τρόπο ώστε ο θεατής να αντιλαμβάνεται βάθος σε αυτές, είτε ειδικών γυαλιών που φορά ο χρήστης και παράγουν το αντίστοιχο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας συμβατικές οθόνες. Η στερεοσκοπική προβολή σε συστήματα βίντεο-διαφανή (όπως η χρήση πχ. HMD σε συνδυασμό με κάμερα τοποθετημένη στο κεφάλι του χρήστη) μπορεί να προβάλλει τόσο τον πραγματικό όσο και τον εικονικό κόσμο στερεοσκοπικά (αν χρησιμοποιούνται στερεοσκοπικές κάμερες για την καταγραφή του πραγματικού κόσμου) ή να συνδυάζει μονοσκοπική με στερεοσκοπική απεικόνιση πραγματικού/εικονικού (Μουστάκας κ.ά., 2015).

Οι συσκευές αυτές περιλαμβάνουν αισθητήρες για τον προσδιορισμό της θέσης, της κίνησης αλλά και της διεύθυνσης παρατήρησης του χρήστη, ενίοτε δε και παρακολούθηση της κίνησης των οφθαλμών του. Είθισται να έχουν και τη δυνατότητα χειραγώγησης της αίσθησης της ακοής του χρήστη μέσω ηχείων που αναπαράγουν τους ήχους του εικονικού περιβάλλοντος. Μπορούν ακόμα να υποστηρίζουν και δυνατότητες επίδρασης στις άλλες αισθήσεις, πέραν της όρασης και της ακοής, δηλαδή ακόμη και της όσφρησης μέσω ειδικών μηχανισμών.

Η τεχνολογική εξέλιξη αυτών των συσκευών έχει οδηγήσει, εκτός του να μειωθεί ο όγκος και το βάρος τους από εκείνο το πρωτοπόρο μεν, πρωτόγονο δε, σύστημα που ονομάστηκε «Δαμόκλειος Σπάθη» του Ivan Sutherland το 1968, και στη δυνατότητα ανίχνευσης της κίνησης των οφθαλμών, έτσι ώστε να προσαρμόζεται το προβαλλόμενο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας στα μάτια του χρήστη, ανάλογα με τη διεύθυνση προς την οποία στρέφει το βλέμμα του.

Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε ενσύρματα και ασύρματα. Σημεία σταθμοί στην εξέλιξη των HMD φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 32. Χρονολογική εμφάνιση συσκευών HMD.

Γ.3.2.B.1. Είδη συσκευών HMD

Μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με το κόστος τους, σε χαμηλού κόστους και χαμηλού επιπέδου εμπύθισης (Google Cardboard και Samsung Gear VR) και υψηλού κόστους και αποδεκτού επιπέδου εμπύθισης. Στην αγορά αυτή τη στιγμή υπάρχει πληθώρα τέτοιων συσκευών, από τις οποίες ξεχωρίζουν οι εξής:

- Google Cardboard

Το Google Cardboard είναι μια κατασκευή από χαρτόνι και αποτελεί μια έξυπνη συσκευή εικονικής πραγματικότητας της Google με μηδαμινό κόστος.



Εικόνα 33. Google Cardboard.

Χρησιμοποιεί ως υπολογιστή που αναλαμβάνει την προβολή και τους υπολογισμούς ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο το οποίο διαθέτει γυροσκόπιο. Αποτελείται από έναν συνδυασμό δύο φακών 40mm και δύο μαγνήτες που αλληλεπιδρούν με τα μαγνητόμετρα του τηλεφώνου. Όταν το τηλέφωνο τοποθετηθεί σε σωστή απόσταση (προσαρμόζεται στο χαρτόνι) οι δύο φακοί λειτουργούν ώστε να συνδυάσουν τις διπλές εικόνες στο βίντεο που παίζει στο τηλέφωνο σε ένα τρισδιάστατο εφέ. Όταν μετακινείται το κεφάλι μαζί με τη μάσκα (περιλαμβάνει το τηλέφωνο), δίνεται η αίσθηση της κίνησης με την αλλαγή των εικόνων που προβάλλονται, με αποτέλεσμα την αίσθηση του χρήστη ότι βρίσκεται πραγματικά σε αυτό το περιβάλλον.

Δεδομένου ότι ο χρήστης δεν μπορεί να φτάσει τα πλήκτρα του τηλεφώνου, αφού η συσκευή βρίσκεται μέσα στο Cardboard, η Google έχει τοποθετήσει έναν μαγνήτη στην πλευρά που λειτουργεί σαν κουμπί. Το μαγνητόμετρο του τηλεφώνου

ανιχνεύει κάθε κίνηση στον μαγνήτη και ενεργοποιεί ένα «κλικ» στον εικονικό κόσμο, για να ελέγχει ο χρήστης το περιβάλλον. Πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι: (i) χαμηλό κόστος, (ii) ποσότητα περιεχομένου (ειδικά βίντεο 360°), (iii) ευελιξία, δεδομένου ότι λειτουργεί με τα περισσότερα smartphones, ενώ τα μειονεκτήματα αποτελούν: (i) η χαμηλή ποιότητα εμπειρίας VR και (ii) δεν είναι βολικό στη χρήση.

- Samsung Gear VR

Αυτή η συσκευή λειτουργεί ασύρματα και περιλαμβάνει αισθητήρες για την παρακολούθηση του χρήστη. Δεν διαθέτει πλήρη ανίχνευση της θέσης του σώματος όπως το Oculus Rift, αν και το VR βασίζεται στην εταιρία Oculus. Το κόστος απόκτησης είναι περί τα 70 ευρώ. Παρουσιάζει χαμηλή ευελιξία μιας και λειτουργεί μόνο με ορισμένα κινητά τηλέφωνα Samsung και παρέχει περιορισμένη εμπειρία εμπύθισης εικονικής πραγματικότητας.



Εικόνα 34. Samsung Gear VR.

- HTC Vive Pro - HTC Vive

Το headset της εταιρίας HTC αναπτύχθηκε μαζί με την εταιρεία βιντεοπαιχνιδιών Valve©. Έχει οπτικό πεδίο 110° και επιτυγχάνει υψηλό επίπεδο εμπύθισης λόγω της χρήσης (i) χειριστηρίων που επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με αντικείμενα μέσα στο περιβάλλον VR και (ii) αισθητήρες τοποθετημένους στους τοίχους του χώρου, οι οποίοι δημιουργούν τον εικονικό χώρο όπου ο χρήστης μπορεί να κινείται ελεύθερα. Όπως και στην περίπτωση του Oculus Rift©, απαιτείται υπολογιστής υψηλής τεχνολογίας για τη χρήση του HTC Vive©. Το κόστος του είναι της τάξης των 900 ευρώ.



Εικόνα 35α και 35β. Το πρώτο σύστημα της HTC Vive Pro και το νεότερο, HTC Vive Cosmos.

- Sony PlayStation VR

Διαθέτει οθόνη 5,7" ανάλυσης 1920xRGBx1080 (960xRGBx1080), γραφικά 120fps, ρυθμό ανανέωσης 120 Hz, 90 Hz, οπτικό πεδίο FoV περίπου 100°, μικρόφωνο και 3D ήχο και αισθητήρες: επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο. Η κάμερα παρακολούθησης του χρήστη έχει δύο φακούς και αισθητήρες βάθους. Το κόστος είναι της τάξης των 400 ευρώ, ενώ προϋποθέτει και την ύπαρξη της παιχνιδιοκονσόλας Sony PlayStation PS4.



Εικόνα 36. Sony PlayStation VR.

- Oculus Rift

Το επαναστατικό μοντέλο Oculus Rift έχει για πρώτη φορά εισαγάγει μια εκπληκτική εμπειρία εικονικής πραγματικότητας. Επινοήθηκε από τον Palmer Luckey. Είναι ενσύρματη λύση και περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία υλικού: (i) γυαλιά VR, (ii) ακουστικά surround 360°, και (iii) έναν αισθητήρα που καταγράφει τις κινήσεις του σώματος του χρήστη. Απαιτεί υπολογιστή υψηλής τεχνολογίας με κάρτα γραφικών πολύ υψηλής απόδοσης, περιλαμβάνει αισθητήρα υπερύθρων μέσα στα γυαλιά, ενώ δεν διαθέτει εξωτερικούς αισθητήρες. Έχει οπτικό πεδίο 110° και είναι εξοπλισμένο με μικρόφωνο και ακουστικά, επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μετρητή μαγνητικού πεδίου και ανίχνευση θέσης 360°, ενώ υποστηρίζει 6 βαθμούς ελευθερίας. Στα γυαλιά υπάρχουν δύο οθόνες OLED με ανάλυση 2160 x 1200 (1080 x 1200 σε κάθε μάτι) με ρυθμό ανανέωσης 90Hz και χαμηλό persistence (δηλαδή διατήρηση κάθε καρέ στην οθόνη για λιγότερα από 2 χιλιοστά του δευτερολέπτου), που αποσκοπούν στην αποφυγή φαινομένων θαμπώματος κατά την κίνηση (motion blur και ghosting).

Χρησιμοποιεί μια τεχνική που οι προγραμματιστές αποκαλούν "έξυπνη παρακολούθηση" (predictive tracking), η οποία "μαντεύει" πού μπορεί να κοιτάξει ο χρήστης και παίρνει ένα προβάδισμα κάνοντας rendering το περιβάλλον προκειμένου να ελαχιστοποιεί το χρόνο απόκρισης.

Περιλαμβάνει χειριστήρια, και δύο αισθητήρες Rift, οι οποίοι παρακολουθούν συμπλέγματα υπέρυθρων λυχνιών LED για να μεταφέρουν τις κινήσεις του χρήστη στο περιβάλλον VR. Το κόστος του Oculus Rift είναι της τάξης των 500 ευρώ.



Εικόνα 37α, 37β, 37γ. Oculus Rift (το πρώτο μοντέλο), Oculus Go και Oculus Quest αντίστοιχα.

- Microsoft HoloLens

Το HoloLens είναι ένα AR headset της εταιρίας Microsoft. Ενσωματώνει υπολογιστή (Windows 10), ολογραφική υπολογιστική μονάδα (Holographic Processing Unit), διαθέτει οπτικά διαπερατούς φακούς, έξι κάμερες που καταγράφουν τον περιβάλλοντα χώρο του χρήστη και υπολογίζουν το βάθος, μικρόφωνα, ηχεία, αισθητήρα φωτός, γυροσκόπιο και επιταχυνσιόμετρο. Τοποθετείται στο κεφάλι και δύναται να προβάλλει στερεοσκοπικές εικόνες εικονικού περιεχομένου στον πραγματικό κόσμο ενός χρήστη, ενώ επιτρέπει και την επιτόπια αλληλεπίδραση στη χωρική θέση του 3D ολογράμματος και δυνατότητα παρατήρησής του από κάθε δυνατή οπτική γωνία, αλλά και «πάγωμα» και διατήρηση του ολογράμματος αυτού στο περιβάλλον του χρήστη. Το κόστος της συσκευής ανέρχεται στα 3.500 δολάρια.



Εικόνα 38. Microsoft HoloLens.

- Magic Leap

Μια θυγατρική πλέον εταιρία της Google, η Magic Leap, παρουσίασε τη δική της συσκευή Mixed Reality με ονομασία Magic Leap 1. Περιλαμβάνει ένα ζευγάρι ενσύρματων γυαλιών που συνδέεται με τη συσκευή που ενσωματώνει τον επεξεργαστή και τον επεξεργαστή γραφικών, ασύρματο τηλεχειριστήριο (6 βαθμοί ελευθερίας και 6 άξονες κίνησης), ήχο surround, αισθητήρες, ενώ η τεχνολογία 3D mapping επιτρέπει την αναγνώριση επιφανειών και αντικειμένων. Το κόστος της συσκευής ανέρχεται στα 2.300 δολάρια.



Εικόνα 39α. (Αριστερά) Magic Leap και 39β. (Δεξιά) Google Glass.

- Google Glass

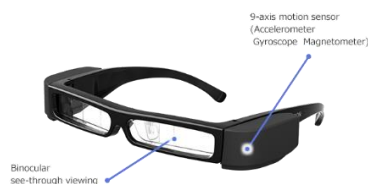
Το Google Glass είναι «υπολογιστής που φοριέται» (wearable computer) της εταιρίας Google. Πρόκειται για γυαλιά που αντί για γυάλινους φακούς διαθέτουν οθόνη ανάλυσης 640 x 360 στο ύψος του δεξιού ματιού και προσφέρει εμπειρία AR. Έχει δυνατότητα λήψης φωτογραφίας μέσω της φωτογραφικής μηχανής των 5 megapixel και καταγραφής βίντεο HD. Διαθέτει γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο και μαγνητόμετρο 3 αξόνων, αισθητήρα φωτός και εγγύτητας. Το κόστος είναι 1500 δολάρια. Ο έλεγχος της συσκευής επιτυγχάνεται μέσω επιφάνειας αφής στον βραχίονα των γυαλιών.

- Sony Smart Eyeglass

Πρόκειται για γυαλιά AR με μονόχρωμη οθόνη, φακούς πάχους 3 mm διαφανείς κατά 85%, ενώ διαθέτουν και κάμερα 3MP και αισθητήρες: επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, ηλεκτρονική πυξίδα, φωτισμού, μικρόφωνο και συνδέονται ενσύρματα με εξωτερική μπαταρία. Έχουν δυνατότητα διασύνδεσης με Android Smartphones.



Εικόνα 40α. Sony Smart Eyeglass.



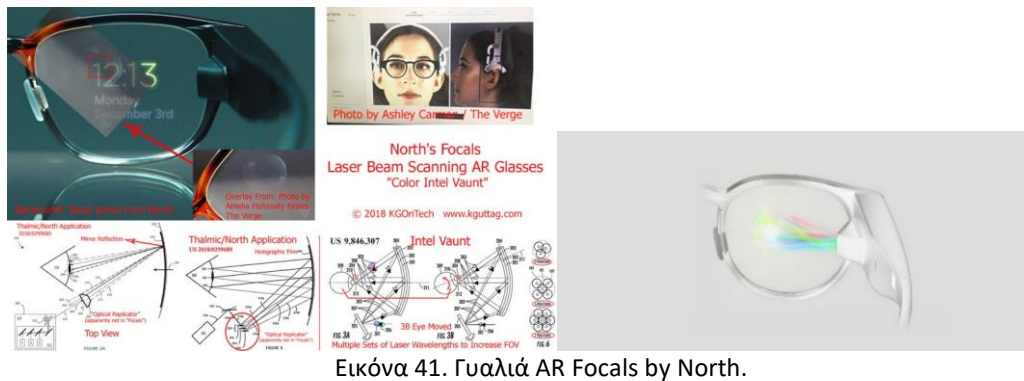
40β. Moverio BT-30C Controller

- Moverio

Η σειρά Moverio της εταιρίας Epson διαθέτει αισθητήρες αδρανειακών συστημάτων 9 αξόνων, με δυνατότητα διασύνδεσης με Smartphones και drone.

- Focals by North

Τα γυαλιά AR της εταιρίας North έχουν τη δυνατότητα έγχρωμης προβολής ολογραφικού περιεχομένου στους φακούς, καθιστώντας τους οθόνες. Περιέχουν μια ολογραφική ταινία με την οποία αλληλεπιδρούν στα τρία προβαλλόμενα χρώματα RGB. Διαθέτουν αισθητήρες αδρανειακούς εννέα αξόνων (9-axis IMU), φωτισμού, εγγύτητας και μικρόφωνο. Έχουν δυνατότητα διασύνδεσης με Smartphones και χειρισμού εφαρμογών μέσω χειριστηρίου που φοριέται ως δαχτυλίδι. Το κόστος τους ανέρχεται στα 600 δολάρια.



Εικόνα 41. Γυαλιά AR Focals by North.

- Lenovo ThinkReality A6

Διαθέτουν πλήρες σύστημα ταυτόχρονου εντοπισμού, παρακολούθησης και χαρτογράφησης (Simultaneous Localization and Mapping –SLAM)¹³ μέσω οκτώ καμερών (4 καταγράφουν το περιβάλλον του χρήστη, 2 καταγράφουν το σώμα του και 2 παρακολουθούν το πρόσωπό του), έχει έξι βαθμούς ελευθερίας (6 DoF), διαγώνιο οπτικό πεδίου (FoV) > 40°, κάμερα RGB 13MP, αδρανειακούς αισθητήρες, αισθητήρα βάθους, φωτισμού, μικρόφωνο, ηχεία, WiFi, ασύρματο δίκτυο 4G/5G, Bluetooth και υποστήριξη χρηστών που φορούν γυαλιά.



Εικόνα 42. Lenovo ThinkReality A6.

Γ.3.2.Γ. Σύνθετες συσκευές συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

Στην κατηγορία των σύνθετων συστημάτων συναντά κανείς τις ακόλουθες συσκευές, με το πρώτο είδος πάντως να έχει εκλείψει πια από την αγορά και τη χρήση.

Γ.3.2.Γ.1 Το σύστημα Binocular Omni-Orientation Monitor

Το σύστημα BOOM της Fakespace ήταν ένα σύστημα οθόνης που στηριζόταν σε ένα βραχίονα. Ο χρήστης του συστήματος κοιτούσε μέσα από δύο οπές και ταυτόχρονα μπορούσε να μετακινεί τη συσκευή προβολής μέσα στο χώρο λειτουργίας της. Η

¹³ Πηγή: Lenovo 2020, ThinkReality A6 - Overview and Service Parts, <https://support.lenovo.com/us/en/solutions/pd500393> (τελευταία πρόσβαση 21/6/2020) και https://news.lenovo.com/wp-content/uploads/2019/05/Lenovo_ThinkReality_A6_Datasheet.pdf (τελευταία πρόσβαση 21/6/2020).

ανίχνευση της κίνησης του κεφαλιού (head tracking) γινόταν μέσα από αισθητήρες που βρίσκονταν στους συνδέσμους του βραχίονα που κρατούσε το κουτί προβολής.



Εικόνα 43. Το Binocular Omni-Orientation Monitor (BOOM).

Γ.3.2.Γ.2 Διατάξεις CAVE¹⁴ (Cave Automatic Environment)

Η διάταξη CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)¹⁵ βασίζεται στη λογική πως ο χρήστης βρίσκεται σε ένα δωμάτιο (κύβο), τα τοιχώματα του οποίου αποτελούνται από τρεις έως έξι οθόνες οπίσθιας προβολής, επί των οποίων προβάλλονται στερεοσκοπικές εικόνες. Ο χρήστης φορώντας στερεοσκοπικά γυαλιά παρατηρεί τις προβαλλόμενες εικόνες και έτσι πλοηγείται στο εικονικό περιβάλλον αποκτώντας έτσι και την αίσθηση του βάθους, ενώ αισθητήρες παρακολουθούν τις κινήσεις του. Οι εικόνες προσαρμόζονται μέσω του συστήματος ώστε να ακολουθούν την προοπτική του χρήστη. Ομοίως από το υπολογιστικό σύστημα ελέγχεται και ο ήχος που διανέμεται στα ακροβολισμένα ηχεία προκειμένου να παρέχουν τρισδιάστατο ήχο και μπορεί να φιλοξενήσει πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, οι οποίοι μπορούν να αλληλεπιδράσουν στον χώρο αυτό. Τα συστήματα προβολής είναι πολύ υψηλής ανάλυσης λόγω της μικρής απόστασης προβολής που απαιτεί πολύ μικρά μεγέθη pixel για να διατηρήσει την ψευδαίσθηση της πραγματικότητας.

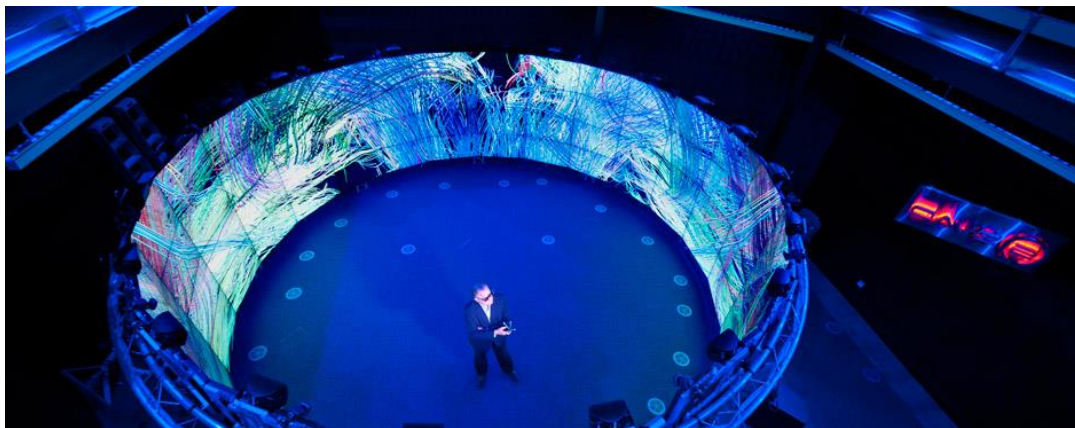
¹⁴ Το όνομά του το CAVE το πήρε από την αλληγορία του σπηλαίου, στο έργο του «Πολιτεία» του Πλάτωνα.

¹⁵ Η διάταξη CAVE εφευρέθηκε από τους Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin και Thomas A. DeFanti στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις, στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Οπτικοποίησης Electronic Visualization Laboratory (EVL) του Σικάγο το 1992.



Εικόνα 44. Η διάταξη CAVE.

Τον Οκτώβριο του 2012 παρουσιάστηκε το CAVE2¹⁶ που αποτελεί ένα επόμενης γενιάς περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας μεγάλης κλίμακας. Είναι ένα υβριδικό σύστημα που συνδυάζει τα οφέλη τόσο των οθονών προβολής με δυνατότητα μεταβολής ανάλυσης όσο και των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας για τη δημιουργία ενός απρόσκοπτου περιβάλλοντος 2D/3D που υποστηρίζει πλούσια σε πληροφορίες ανάλυση καθώς και εξερεύνηση προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας σε ανάλυση που ταιριάζει με την ανθρώπινη οπτική οξύτητα. Το CAVE2 χρησιμεύει ως φακός που επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν και να αναλύουν ταυτόχρονα ένα ή περισσότερα σύνολα δεδομένων.



Εικόνα 45. Η διάταξη CAVE2.

Το CAVE2 έχει διάμετρο 7 m και ύψος 2.40 m περίπου, και αποτελείται από 72 3D LCD πάνελ, ένα σύμπλεγμα 36 κόμβων υπολογιστών υψηλής απόδοσης που πλαισιώνεται από ένα σύστημα 20 ηχείων surround, 10 κάμερες οπτικής παρακολούθησης και σύνδεση δικτύου ταχύτητας 100 Gigabit/sec. Το CAVE2 παρέχει στους χρήστες πανοραμικό περιβάλλον 320° για την εμφάνιση

¹⁶ Από το πανεπιστήμιο του Ιλινόις. Πηγή: Ιστότοπος Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Οπτικοποίησης Electronic Visualization Laboratory (EVL), <https://www.evl.uic.edu/cave2>.

πληροφοριών στα 37 Megapixel για 3D απεικόνιση ή 74 Megapixel σε 2D απεικόνιση με οριζόντια οπτική οξύτητα 20/20 - σχεδόν 10 φορές την ανάλυση 3D του αρχικού CAVE. Το κύριο μειονέκτημα των εικονικών σπηλαίων είναι το υψηλό κόστος, ενώ προσδίδουν απaráμιλλη εμπύθιση σε εικονικά περιβάλλοντα.

Γ.3.2.Δ. Έξυπνες συσκευές (Smartphones, Tablets)

Στο χώρο των έξυπνων συσκευών, δηλαδή των κινητών νέας γενιάς και των tablet, τα λειτουργικά συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι δύο, το iOS της εταιρίας Apple και το Android της εταιρίας Google. Δεδομένου ότι οι έξυπνες συσκευές πλέον ενσωματώνουν οθόνες υψηλής ανάλυσης, αδρανειακά συστήματα, όπως γυροσκόπιο κ.λπ. και επεξεργαστές ισχυρούς, έχουν τη δυνατότητα να αποτελέσουν τον υπολογιστικό πυρήνα μιας εφαρμογής VR, και κυρίως AR. Οι εταιρίες αυτές δίνουν πλέον έμφαση στην ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών για τις συσκευές που χρησιμοποιούν τα λειτουργικά τους συστήματα και τα καθιστούν από άποψη υλικού ικανά να μπορούν να αντεπεξέλθουν. Υπάρχουν δε οι εξής πλατφόρμες ανάπτυξης SDK: ARCore για Android και ARKit για iOS.

Και οι δύο πλατφόρμες ανάπτυξης SDK βασίζονται στη ίδια λογική και χρησιμοποιούν τη φωτογραφική μηχανή της συσκευής για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων, τα οποία παρακολουθούν. Από τη μετακίνηση αυτών των σημείων με την πάροδο του χρόνου ή της κίνησης του χρήστη και από μετρήσεις των αδρανειακών αισθητήρων καθορίζεται τόσο η θέση όσο και ο προσανατολισμός της συσκευής. Βέβαια, οι εφαρμογές AR για κινητές συσκευές παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς λόγω υλικού.

Δ. ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΤΟΜΕΙΣ - ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Δ.1. Τομείς - Πεδία εφαρμογής

Μπορούμε να εντοπίσουμε ορισμένους τομείς και πεδία εφαρμογής που αφορούν τα συστήματα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς τα οφέλη σε αυτούς είναι σημαντικά. Ακολουθεί μια περίληψη των πιο σημαντικών εξ αυτών:

- Στρατιωτικές εφαρμογές - εκπαίδευση στρατιωτικών. Η VR χρησιμοποιείται στον τομέα της εκπαίδευσης στρατιωτικών για την προσομοίωση δύσκολων καταστάσεων, μέσω προσομοιώσεων μαχητικών αεροσκαφών ή συνθηκών μάχης, οι οποίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν σε κανονικές συνθήκες λόγω επικινδυνότητας, αλλά και για λόγους διασφάλισης της ακεραιότητας των συμμετεχόντων αλλά και του εξοπλισμού. Επίσης, χρησιμοποιείται για τον τηλεχειρισμό εξοπλισμού.
- Η AR χρησιμοποιείται ήδη σε ομάδες κρούσης των ειδικών δυνάμεων, όπου μέσω γυαλιών/μάσκας δίδονται επιπλέον πληροφορίες στον χρήστη του συστήματος που του αποστέλλονται από τη βάση των επιχειρήσεων.



Εικόνα 46. Συστήματα AR για στρατιωτική χρήση

- Αεροναυτιλία και αεροναυπηγική – εκπαίδευση μέσω χρήσης προσομοιωτών πτήσης, όπου ο χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί τις υπάρχουσες γνωστικές και κινητικές του δεξιότητες για να αλληλεπιδράσει και έτσι η εμπειρία που αποκτήθηκε στο εικονικό περιβάλλον δύναται να μεταφερθεί στον πραγματικό κόσμο. Άλλωστε, ήταν από τις πρώτες εφαρμογές AR, ήδη από το 1984, για την εξοικείωση με τις εικονικά πραγματικές συνθήκες.

Στα μαχητικά αεροσκάφη και ελικόπτερα προβάλλονται στο τζάμι του πιλοτηρίου πληροφορίες σχετικά με την πτήση και τους εχθρικούς στόχους. Ο πιλότος βλέπει τις σχετικές πληροφορίες σε υπέρθεση πάνω στην εικόνα που λαμβάνει από τον πραγματικό κόσμο. Αυτή η διάταξη αποτελεί μια

δισδιάστατη γραφική διεπαφή (Graphical User Interface – GUI) και ονομάζεται Head Up Display ή HUD (Βοσινάκης, 2015).

- Αρχιτεκτονική, Σχεδίαση και Διακόσμηση – δίνει τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων σχετικών με το υπό κατασκευή έργο διά της οπτικοποίησης και μάλιστα πριν από την πραγματική κατασκευή για την έγκαιρη ανίχνευση ατελειών μέσω περιήγησης (Walkthru).
- Στον χώρο των κατασκευών και έργων υποδομής η δημιουργία ενός εικονικού πρωτοτύπου πριν από την τελική κατασκευή δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης και επίλυσης προβλημάτων, βελτίωσης του σχεδιασμού και αποσοβεί καθυστερήσεις στα χρονοδιαγράμματα και πρόσθετα κόστη.

Από τον χώρο της σχεδίασης (Cad) έχει εισέλθει και στον τομέα της VR και η γνωστή εταιρία Autodesk μέσω του VRED¹⁷, που αποτελεί λογισμικό οπτικοποίησης και εικονικού πρωτοτύπου (VRED™ 2020), μέσω του οποίου εισάγονται εργαλεία για ανώτερου επιπέδου αλληλεπίδραση, βελτιωμένη απόδοση και βελτιωμένη διαλειτουργικότητα.

- Αναψυχή (πλοήγηση και εξερεύνηση) – εικονική περιήγηση σε μέρη και τοποθεσίες μέσω VR με σκοπό την εξερεύνηση ή σε AR για την καθοδήγηση του χρήστη για το πού και πώς δύναται να μετακινηθεί ή ποιες δυνατότητες και επιλογές έχει. Μπορεί πχ. ένας τουρίστας να έχει πληροφορίες για να επιλέξει τι θα εξερευνήσει σε έναν τόπο που επισκέπτεται, ή ακόμα είναι δυνατή και η παρακολούθηση ενός εικονικού ταξιδιού σε μακρινά ή απρόσιτα μέρη με παραστάσεις και εικόνες που έχουν ληφθεί από διάφορα μέσα τηλεχειρισμού, όπως πχ. εικόνες ενός ηφαιστείου εκ των έσω ή πλοήγηση σε άλλον πλανήτη, από δεδομένα που έχουν προέλθει από τηλε-παρουσία (πχ. ρομπότ που πλοηγείται σε αυτά).
- Ψυχαγωγία - Παιχνίδια (Gaming) – οι χρήστες μπορούν να πλοηγηθούν σε εικονικούς κόσμους και δεδομένου ότι αυτή η τεχνολογία έχει καταστεί πιο προσιτή οικονομικά τα τελευταία χρόνια, μπορούν να αποκτήσουν μια πρωτόγνωρη εμπειρία gaming εμβυθιζόμενοι σε ένα εικονικό περιβάλλον ως ήρωες ενός παιχνιδιού.

¹⁷ Βλέπε <https://www.youtube.com/watch?v=C8g0Bk85Tk> και <https://www.youtube.com/watch?v=SLfW2WbpIHE>

Πρωτόγνωρη εμπορική επιτυχία της AR στον χώρο του Gaming αποτέλεσε το παιχνίδι Pokemon Go της Niantic το έτος 2016, ένα παιχνίδι το οποίο πρόβαλλε δισδιάστατες εικόνες στον πραγματικό κόσμο μέσω μιας έξυπνης συσκευής.

Σε σχετική αναζήτηση στο Διαδίκτυο σχετικά με χώρους εικονικής πραγματικότητας στην Αθήνα βρέθηκαν κάποιες εμπορικές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας που στοχεύουν στην ψυχαγωγία και είναι οι εξής:

- Το pilotcenter που αποτελεί μια εφαρμογή προσομοίωσης και μπορεί κανείς να αποκτήσει εμπειρία πρόσβασης στο πιλοτήριο ενός επιβατικού αεροσκάφους (Airbus 320) μέσω οθονών, οι οποίες προσφέρουν στον χρήστη εξωτερική θέαση 220° (μέσω μιας ημισφαιρικής οθόνης πλάτους 5 m), ενός μαχητικού (Falcon F-16 Block 52) με θέαση 180° ή ενός αυτοκινήτου της Formula-1 (<https://pilotcenter.gr/>).
- Η λειτουργία χώρου που προσφέρει VR εμπειρίες (<http://www.thevrproject.gr/>),
- Η λειτουργία του ViRtuality στο The Mall Athens όπου μπορεί κανείς να ζήσει μια ολιγόλεπτη εμπειρία 360° VR, και
- το Σαλόني εικονικής πραγματικότητας της εταιρίας vrplanet που υπόσχεται πληθώρα (άνω των 200) θεματικών εικονικών περιηγήσεων με σκοπό τη ψυχαγωγία και την εξερεύνηση (Ιστότοπος: <https://vrplanet.gr/>).

- Εκπαίδευση

Η VR δύναται να χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση, μέσω μιας διαδικασίας gamification¹⁸ της διαδικασίας διδασκαλίας-μάθησης, προκειμένου να δώσει καλύτερη εποπτεία για τα αντικείμενα διδασκαλίας στους μαθητές και τους εκπαιδευόμενους, ιδίως δε όταν αυτά δεν είναι προσβάσιμα ή όταν αφορούν περισσότερο αφηρημένες έννοιες, πέραν του γνωστικού τους περιεχομένου. Επίσης, μέσω AR είναι εφικτό να παρουσιάζονται πιο απτά τα διδασκόμενα, χάρη στην προσλαμβανόμενη από την όραση πληροφορία.

Ομοίως, σύμφωνα με τους Dunleavy et al. (2009), εάν η AR χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη διδασκαλία, και από τη στιγμή που αποτελεί μια μέθοδο επαύξησης της πληροφορίας οπτικοακουστικά και δεδομένου ότι ο άνθρωπος απορροφά καλύτερα τις οπτικοακουστικές πληροφορίες, τελικώς επιτυγχάνεται επιτάχυνση της μάθησης.

¹⁸ Gamification ονομάζεται η ενσωμάτωση μηχανισμών παιχνιδιού σε ένα περιβάλλον μη παιχνιδιού (Keenaghan & Horváth, 2014.).

Σημαντικά χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την υποστήριξη της εκπαίδευσης είναι τα υψηλά επίπεδα διαδραστικότητας, η αίσθηση της εμπύθισης και η εγγενής ευελιξία-προσαρμοστικότητα. Για αυτούς τους λόγους η εικονική πραγματικότητα έχει αξιοποιηθεί για να υποστηρίξει την εκπαίδευση, την κατάρτιση ή τη συνεργασία (Bouras et al., 2008).

Η VR δίνει επίσης τη δυνατότητα βιωματικής εκπαίδευσης στη χρήση εξοπλισμού και τον χειρισμό του όσο και απόκτησης σχετικών γνώσεων και δεξιοτήτων, αφού αλλιώς δεν θα υπήρχε δυνατότητα πρακτικής εξάσκησης σε αυτόν, είτε γιατί δεν επαρκεί ο φυσικός εξοπλισμός σε εργαστηριακό επίπεδο είτε γιατί ο εξοπλισμός δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί στο περιβάλλον εκπαίδευσης.

Ένα παράδειγμα που αφορά στην εκπαίδευση είναι και τα μαγικά βιβλία MagicBook που πρωτοπαρουσίασε ο Mark Billingham το 2001¹⁹, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα επαύξησης της θέασης ενός βιβλίου ή περιοδικού, μέσω μιας οθόνης κινητής συσκευής AR, για την καλύτερη και εποπτικότερη κατανόηση του περιγραφόμενου αντικειμένου.

Παράλληλα, ανοίγονται νέοι ορίζοντες στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση και συνεργασία, αφού παρέχεται πχ. η δυνατότητα χειρισμού μιας μηχανής ή ενός εξαρτήματος σε κάποιον που δεν έχει αντίστοιχη πρότερη εμπειρία. Πιο εξειδικευμένη εφαρμογή αποτελεί η Βιομηχανική επαυξημένη πραγματικότητα. Με την επαυξημένη πραγματικότητα (AR) παρέχονται, μέσω υπέρθεσης στον φυσικό κόσμο, επιπρόσθετες ψηφιακές πληροφορίες για την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος από τα συμφραζόμενα. Το Industrial AR²⁰ χρησιμοποιείται ειδικά για να βοηθήσει τους εργαζομένους σχετικά με τη λειτουργία, τη συντήρηση ή την εξυπηρέτηση εργοστασιακών στοιχείων και εξοπλισμού. Τα δεδομένα που αντλούνται από αυτές τις εμπειρίες AR ενδέχεται να περιλαμβάνουν αναλυτικές οδηγίες, τρισδιάστατα σχηματικά διαγράμματα ή δεδομένα απόδοσης σε πραγματικό χρόνο.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα AR μπορεί κανείς να δώσει εξ αποστάσεως λύσεις σε τεχνικά και σχεδιαστικά ζητήματα ή σε ζητήματα αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων και προβλημάτων.

¹⁹ Βίντεο για το MagicBook. Link: <https://www.youtube.com/watch?v=GnTHrui1oZc>

²⁰ Βλέπε <https://www.youtube.com/watch?v=V732PXZHLiU> και <https://www.youtube.com/watch?v=b6DFbMoks-8>.

Για εξειδικευμένη εκπαίδευση και κατάρτιση σε πλήθος τομέων – ακόμη και σε πρακτικά τεχνικά επαγγέλματα – δίδεται η δυνατότητα μέσω ενός συστήματος AR, πχ. σε έναν μηχανικό αυτοκινήτων να επιδιορθώσει μια βλάβη ενώ παρακολουθεί ταυτόχρονα πως συναρμολογούνται ή αποσυναρμολογούνται μια σειρά εξαρτήματα.

Μια τέτοια προσέγγιση για την εξ αποστάσεως συνεργασία, χρησιμοποιώντας βίντεο από μία κάμερα 360° για μεγιστοποίηση του οπτικού πεδίου και 3D ανακατασκευές, μελέτησαν οι Teo et al. (2019). Συμπέραναν πως όσοι χρήστες είχαν εικόνα από την πανοραμική κάμερα είχαν μεγαλύτερη εξοικείωση στη συνεργασία από όσους είχαν εικόνα από 3D ανακατασκευή, δεδομένου πως οι δεύτεροι δεν είχαν ακριβώς την ίδια εικόνα μπροστά τους (λόγω των διαφορετικών χρωμάτων και της υφής).

- Ιατρική

Στην ιατρική δίνεται η δυνατότητα εκπαίδευσης μέσα σε ένα περιβάλλον VR (όπου δεν θα μπορούσε να κινδυνεύσει ο ασθενής λόγω άστοχου χειρισμού). Η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως οπτικοακουστικό βοήθημα για χειρουργική επέμβαση, όπου ο ιατρός μπορεί να βλέπει παράλληλα πρόσθετες πληροφορίες, είτε ιατρικής φύσης είτε σχετικές με τον ίδιο τον ασθενή.

Ακόμη, η VR φαίνεται να προσφέρει λύσεις σε ασθενείς που εμφανίζουν μετατραυματικά σοκ ή φοβίες, μέσω της υποβολής του ασθενούς σε ένα αντίστοιχο περιβάλλον προκειμένου να τις αντιμετωπίσει, το οποίο όμως είναι πλήρως ελεγχόμενο και ασφαλές. Είναι χαρακτηριστικό, άλλωστε, ότι η εικονική πραγματικότητα πρωτο-εφαρμόστηκε στους στρατιώτες που επέστρεψαν από το Βιετνάμ.

Ένα ακόμα αναφερόμενο πλεονέκτημα της μάθησης σε ένα διαδραστικό προσομοιωμένο εικονικό περιβάλλον είναι η δυνατότητά της να εκθέσει τους συμμετέχοντες σε μια διαδικασία υψηλού κινδύνου, διατηρώντας την οπτική προσομοίωση και εξαλείφοντας τον προσωπικό κίνδυνο (Keenaghan & Horváth, 2014).

Επίσης, εφαρμόζεται επικουρικά και για την αποκατάσταση της κινητικότητας ανθρώπων που υπέστησαν κάποιο εγκεφαλικό επεισόδιο ή βλάβη.

Υποβοήθηση ΑμΕΑ: ένα σύστημα που ονομάζεται ASR AR χρησιμοποιεί την τεχνολογία ASR για την αναγνώριση της ομιλίας του αφηγητή και τη μετατροπή της σε κείμενο για να υποβοηθήσει ανθρώπους να επικοινωνούν με κωφά άτομα χωρίς τη χρήση νοηματικής γλώσσας. Το σύστημα συνδυάζει επαυξημένη πραγματικότητα με αυτόματη αναγνώριση ομιλίας και τεχνολογία TTS (Amin & Govilkar, 2015) .

- Εμπόριο

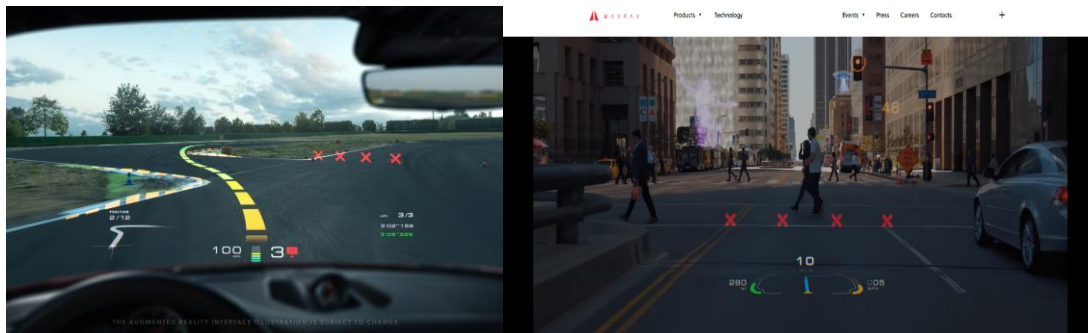
Τελευταία έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται τεχνικές AR και VR και στο εμπόριο αγαθών, προκειμένου οι καταναλωτές να αποκτήσουν μια πρόδρομη εμπειρία πριν από την αγορά ενός προϊόντος, όπως λόγου χάρη στην επιλογή και αγορά ενός αυτοκινήτου και του επιπέδου εξοπλισμού του ή την επιλογή επίπλωσης.

Παράδειγμα εφαρμογής AR στο εμπόριο είναι η εφαρμογή Ikea Place της εταιρίας επίπλων ΙΚΕΑ, η οποία επιτρέπεται στον χρήστη να τοποθετεί εικονικά έπιπλα στο σπίτι του, ώστε να μπορεί να βλέπει την κλίμακα κάθε στοιχείου σε σχέση με τον χώρο του και να τροποποιεί τη θέση του, βλέποντας παράλληλα τα χαρακτηριστικά του προϊόντος.

- Αυτοκινητοβιομηχανία

Τελευταία, ένας τομέας εφαρμογής στον οποίο εισήλθε η AR πραγματικότητα είναι και η αυτοκινητοβιομηχανία, για την οποία ερευνάται η υποβοήθηση της πλοήγησης.

Παράδειγμα αποτελεί η ελβετική start-up εταιρία WayRay, η οποία έχει παρουσιάσει μια εφαρμογή AR που προβάλλει στο παρμπρίζ (HUD ή Head Up Display) του αυτοκινήτου πληροφορίες και οδηγίες πλοήγησης σε πραγματικό χρόνο, ανανεούμενες ανάλογα με τις εξωτερικές μεταβολές των συνθηκών και του περιβάλλοντος. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα χρησιμοποιεί το κρύσταλλο του παρμπρίζ ως οθόνη προβολής, ενώ ο οδηγός συνεχίζει παράλληλα να παρατηρεί κανονικά τον δρόμο. Η πλοήγηση στις πληροφορίες γίνεται μέσω χειριστηρίων που τοποθετούνται στο τιμόνι και δυνητικά μέσω χειρονομιών και νευμάτων. Η εταιρία σήμερα βρίσκεται σε συνεργασία με τις εταιρίες Porsche, αλλά και την Hyundai Motor Group, προκειμένου να προχωρήσει την έρευνα στο πεδίο αυτό με σκοπό την ενσωμάτωση τέτοιων συστημάτων.



Εικόνα 47α και 47β. Το σύστημα Wayray.

Δ.2. Εικονική πραγματικότητα, Πολιτισμός και Διαχείριση Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Εάν ο πολιτισμός ορίζεται ως το σύνολο των υλικών και πνευματικών επιτευγμάτων ενός κοινωνικού συνόλου σε ορισμένη ή μη εποχή και ο ιδιαίτερος χαρακτήρας του όπως εκφράζεται μέσα από αυτά, οι χώροι πολιτιστικού ενδιαφέροντος (μουσεία, αρχαιολογικοί χώροι, πινακοθήκες, πολιτιστικά πάρκα κ.ο.κ.) αποτελούν μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Σε αυτά ενυπάρχουν τόσο πολιτιστικά όσο και πολιτισμικά χαρακτηριστικά, με την έννοια των απτών, υλικών και τεχνικών καταλοίπων σε συνδυασμό με τα πνευματικά, καλλιτεχνικά, εθιμικά κ.ά. γνωρίσματα της κοινωνίας των ανθρώπων που τα δημιούργησαν. Τον συνδυασμό αυτό μπορούν να αναδείξουν με τον καλύτερο τρόπο οι νέες τεχνολογίες περιήγησης και επίσκεψης όπως θα καταδειχθεί στη συνέχεια.

Σημειώνεται εδώ πως όσα αναφέρονται στην παρούσα εργασία ότι ισχύουν για τα μουσεία, ισχύουν κατ' επέκταση και για τους άλλους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως αρχαιολογικοί χώροι, δεδομένου πως και για αυτούς θα μπορούσε να υπάρξει και δικτυακός χώρος δημοσιότητας, ανεξάρτητα από το ποιος φορέας έχει τη σχετική αρμοδιότητα. Απλά είθισται η θεωρία να περιλαμβάνει μόνο τον όρο μουσείο, και αυτό γιατί οι χώροι είτε είναι συνδεδεμένοι άμεσα με κάποιο μουσείο είτε δεν έχουν αυτόνομη υπόσταση φορέα, όπως πχ. τα δημόσια μουσεία που είναι Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου (ΝΠΔΔ) ή τα μουσεία ΝΠΙΔ (νομικά πρόσωπα ιδιωτικού δικαίου) ή τα αμιγώς ιδιωτικά μουσεία.

Δ.2.1. Ψηφιακά - Εικονικά μουσεία και χώροι πολιτιστικής κληρονομιάς

Τα μουσεία συνιστούν φορείς πολιτισμού, παράγοντες διατήρησης, ανάπτυξης και ενίσχυσης της πολιτιστικής κληρονομιάς, και έχουν ως στόχο να καλύψουν βασικές εκπαιδευτικές, ψυχαγωγικές και επικοινωνιακές ανάγκες του κοινού. Λόγω της εισόδου της πληροφορικής και του Διαδικτύου σε όλους τους χώρους και

εκφάνσεις της κοινωνίας, έχουν οδηγηθεί και τα μουσεία όσο και οι χώροι πολιτιστικής κληρονομιάς στην υιοθέτηση τεχνολογικών εφαρμογών μετάβασης στη νέα εποχή. Ένα από τα πρώτα πεδία εφαρμογής των νέων τεχνολογιών στο μουσείο ήταν η διαχείριση και τεκμηρίωση των συλλογών καθώς και η μετάβαση από αναλογικούς σε ψηφιακούς οδηγούς ήχου. Κατάλληλα σχεδιασμένα και ενημερωμένα συστήματα πληροφοριών έχουν συνδράμει στον έλεγχο της ορολογίας, τη διατήρηση διεθνών προτύπων και την εύκολη αναζήτηση και ανάκτηση πληροφοριών, ενώ αποτελούν τα ηλεκτρονικά αποθέματα που στηρίζουν όλες τις άλλες λειτουργίες του μουσείου, από την οργάνωση εκθέσεων και την εξυπηρέτηση ερευνητών έως τα εκπαιδευτικά προγράμματα και τη δημιουργία εκδόσεων.

Πρόσφατα, με την εξέλιξη των μορφών παρουσίασης στο Διαδίκτυο και στο πλαίσιο της δημοσιότητάς τους, τα μουσεία συνηθίζεται να έχουν και έναν δικτυακό τόπο ή ιστότοπο αναφοράς τους. Πρόκειται για μια ψηφιακή οντότητα που συνήθως συνοδεύεται και από εικόνες των χώρων και των εκθεμάτων των μουσείων, και τελικά προσδιορίζεται ως ένα Ψηφιακό Μουσείο, το οποίο μπορεί να περιγραφεί ως μια ψηφιοποιημένη συλλογή αποτελούμενη από εικόνες χώρων του μουσείου ή των εκθεμάτων, πιθανώς με ήχους και κείμενα κ.λπ. εμπλουτισμένες και με προσαρτημένες ιστορικές, αρχαιολογικές ή λοιπές πληροφορίες που αφορούν την τεκμηρίωση του απεικονιζομένων. Σε αυτά τα στοιχεία δίδεται η δυνατότητα ελεύθερης πρόσβασης με ηλεκτρονικό τρόπο. Αποτελεί μια συλλογή αντικειμένων σε ψηφιακή μορφή, τα οποία παρουσιάζουν λογική συνέχεια και συνέπεια ως προς τη διαδοχική τους σειρά, καθώς και των συσχετίσεων με το λοιπό δημοσιοποιούμενο υλικό, που αναπαρίσταται από πολυμέσα.

Για το πεδίο του μουσείου, η ενοποίηση και η εφαρμογή του πολιτισμού και της τεχνολογίας πληροφοριών ονομάζεται συχνά Virtual Museum (VM) (Kersten et al., 2017).

Τα ανωτέρω ψηφιακά μουσεία είθισται να αποκαλούνται και Εικονικά Μουσεία²¹ και ορίζονται ως:

²¹ Την πατρότητα του όρου Εικονικό Μουσείο κατέχει ο André Malraux, όπου το 1947 συνέλαβε και παρουσίασε την ιδέα του σχετικά με τη δημιουργία ενός φανταστικού μουσείου (le musée imaginaire) χωρίς τοίχους, τοποθεσίες ή χωρικά όρια (βλ. A. Malraux, *Το Φανταστικό Μουσείο*, μτφρ. Ν. Ηλιάδης, Εκδόσεις Πλέθρον, 2007).

Μια συλλογή από ψηφιακά αποθηκευμένες εικόνες, αρχεία ήχου, κείμενο και άλλα δεδομένα ιστορικού, επιστημονικού, ή πολιτισμικού ενδιαφέροντος που είναι προσβάσιμη μέσω των ηλεκτρονικών μέσων.

Πρόκειται συνήθως για ένα αντίγραφο του πραγματικού μουσείου και χρησιμοποιείται αρκετές φορές εντός ή και εκτός του μουσείου για να δώσει πληροφορίες και να καθοδηγήσει τους επισκέπτες (Skamantzari & Georgopoulos, 2016).

Αποτελεί μια προσέγγιση της μουσειακής αγωγής, δηλαδή της εκμάθησης ιστορικών, μυθολογικών και πολιτισμικών στοιχείων μέσα από ένα ψηφιακό περιβάλλον. Με τη χρήση δηλαδή των νέων τεχνολογιών, κυρίως δε μέσω ενός υπολογιστή, του Διαδικτύου, της εικονικής πραγματικότητας και των εξελίξεων στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης αλλά και του αντίστοιχου εκπαιδευτικού λογισμικού, μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της εκπαίδευσης με απτά μαθησιακά οφέλη (Μπακογιάννης & Γρηγοριάδου, 2000).

Παλαιότερα, ο όρος «εικονικό μουσείο» αναφερόταν σε έναν τρισδιάστατο χώρο παρουσίασης εκθεμάτων στον οποίο οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν ελεύθερα αποκτώντας μια εμπειρία παραπλήσια με αυτήν της επίσκεψης σε ένα κανονικό μουσείο (Βοσινάκης, 2015).

Τα εικονικά μουσεία έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν και να διαδίδουν τις πολιτιστικές πληροφορίες με αποτελεσματικότητα και χαμηλό κόστος μέσω καινοτόμων μεθόδων και εργαλείων (Sylaiou et al., 2009).

Έστω ότι θέλει κάποιος να δημιουργήσει ένα Εικονικό Μουσείο, δηλαδή έναν μουσειακό χώρο υλοποιημένο σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον με στόχο οι χρήστες να μπορούν να εξερευνήσουν τον χώρο και να μελετήσουν τα εκθέματα. Αν το ενδιαφέρον των χρηστών επικεντρώνεται μόνο στα ίδια τα εκθέματα και όχι στην αρχιτεκτονική του χώρου και στον τρόπο τοποθέτησής τους, τότε ενδέχεται η παρουσίασή τους σε μια ιστοσελίδα να είναι λύση προτιμότερη σε σχέση με έναν εικονικό κόσμο, ιδιαίτερα αν η μορφή των εκθεμάτων είναι κατά βάση δισδιάστατη, για παράδειγμα πίνακες ζωγραφικής. (Βοσινάκης, 2015).

Για να επιτευχθεί η αλληλεπίδραση του επισκέπτη μέσω του εικονικού μουσείου με την αντίστοιχη γνώση, μπορούν να περιλαμβάνονται προσομοιώσεις αλλά και «απτή» επαφή με τα μουσειακά εκθέματα, ιδίως μέσω μιας προσέγγισης επαυξημένης ή εικονικής πραγματικότητας.

Η αλληλεπίδραση αναφέρεται στο γεγονός ότι τα μέλη του κοινού δεν είναι απλώς θεατές του ρεαλιστικού τοπίου, αλλά μπορούν να συμμετάσχουν ενεργά στο πρόγραμμα και να καθορίσουν ποια θα είναι η εμπειρία τους (Roussou, 2001).

Με τις αναφερθείσες εδώ τεχνολογίες δίδεται η δυνατότητα της τρισδιάστατης χωρικής αναπαράστασης εκθεμάτων ή και χώρων, όπως κτιρίων κ.λπ. και της πλοήγησης μέσα σε αυτά, με μια αίσθηση ότι ο χρήστης έχει την επιλογή του πού θα κινηθεί, ενώ του αποδίδεται μια σχετική ελευθερία κινήσεων.

Οι σημαντικότερες πτυχές ενός τρισδιάστατου εικονικού μουσείου είναι η ανάλυση των απαιτήσεων, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, ο σχεδιασμός της παρουσίασης των εκθεμάτων, η αλληλεπίδραση του χρήστη, η διαδικασία προγραμματισμού και η αξιολόγηση του τελικού προϊόντος (Lepouras et al., 2004).

Ο επισκέπτης-χρήστης μπορεί να προσλαμβάνει εξωτερικά ερεθίσματα που απευθύνονται στις βασικές αισθήσεις του, όπως αυτές της όρασης, της ακοής, αλλά και της αφής. Δύναται να εξερευνήσει διαδρομές που στην πραγματικότητα δεν υφίστανται πια ή να περιεργαστεί κάποιο έκθεμα παρατηρώντας το από όλες τις οπτικές γωνίες με όλες του τις λεπτομέρειες, οι οποίες θα έχουν προβλεφθεί από την εφαρμογή του εικονικού μουσείου, και πέραν των δυνατοτήτων που υπάρχουν σε ένα φυσικό μουσείο. Μπορεί να βιώνει, δηλαδή, εικονικά δρώμενα σαν να ήταν πραγματικά.

Η οπτικοποίηση αυτών των πληροφοριών έχει ως αποτέλεσμα την πιο ενεργή συμμετοχή στην εκμάθηση των προβαλλομένων αντικειμένων, την καλύτερη αντιμετώπιση αλλά και κατανόηση αφηρημένων εννοιών, αλλά και την περιήγηση σε χώρους μακρινούς ή ακόμα και μεγάλης έκτασης χωρίς τη φυσική παρουσία του χρήστη και χωρίς να επιβάλλεται να αφιερώσει χρόνο για να διανύσει μεγάλες αποστάσεις ή να υποστεί το κόστος μετακίνησης. Μπορεί, λοιπόν, να αποκτήσει επαφή με κάποιο μουσείο ή αρχαιολογικό χώρο εξ αποστάσεως.

Δ.2.1α. Ταξινόμηση μουσείων

Πέραν λοιπόν από τα φυσικά μουσεία, συναντούμε και μουσεία στο Διαδίκτυο. Συνήθως πρόκειται για επέκταση των μουσείων ως φυσικών χώρων, αλλά μπορεί και να είναι αυτοτελή, δίχως δηλαδή να προϋποθέτουν την ύπαρξη φυσικού μουσείου. Στη βιβλιογραφία (Σκαμαντζάρη, 2015 και Μπήτρος, 2010) συναντάται η εξής ταξινόμηση-κατηγοριοποίηση των εικονικών μουσείων:

1. Το μουσείο τύπου φυλλαδίου. Αποτελεί έναν δικτυακό τόπο ή ιστότοπο, στα πρότυπα περιεχομένου ενός φυλλαδίου μουσείου κατά το παρελθόν, που περιέχει βασικά στοιχεία στο πλαίσιο της δημοσιότητάς του για την ενημέρωση του κοινού. Περιλαμβάνει συνήθως στοιχεία επικοινωνίας, διεύθυνση και πρόσβαση, ωράριο λειτουργίας, τις διαθέσιμες συλλογές, εκδηλώσεις και νέα του Μουσείου κ.ά.
2. Το μουσείο περιεχομένου. Το είδος αυτού του μουσείου αφορά και εδώ έναν ιστότοπο, με χαρακτηριστικό του ότι προσθετικά στις πληροφορίες της προηγούμενης κατηγορίας παρουσιάζει και εικόνες των χώρων και των συλλογών του. Ο επισκέπτης ενός τέτοιου ιστότοπου έχει τη δυνατότητα να εξερευνήσει και να ανακαλύψει τις συλλογές διαδικτυακά, όπου θα μπορέσει να βρει πληροφορίες που αφορούν τόσο στις συλλογές όσο και σε επιμέρους εκθέματά τους.
3. Το εκπαιδευτικό μουσείο. Αυτό το είδος μουσείου διακρίνεται από τη διαφορετική του προσέγγιση γιατί αφορά έναν ιστότοπο μουσείου που δίνει τη δυνατότητα διαφορετικής πρόσβασης στους επισκέπτες του, η οποία διαφοροποιείται βάσει της ηλικίας ή του εκπαιδευτικού τους επιπέδου. Διακρίνεται για την εννοιολογική συνοχή της «βήμα προς βήμα» ανακάλυψης της γνώσης και διαθέτει επί της ουσίας εκπαιδευτική στόχευση μέσω της παρακίνησης του επισκέπτη.
4. Το εικονικό μουσείο. Πρόκειται για τη μετεξέλιξη του εκπαιδευτικού μουσείου και μπορεί να παρέχει, πέραν από πληροφορίες και εικόνες των δικών του συλλογών και εκθεμάτων, και τη διασύνδεσή τους με εκθέματα της ίδιας θεματολογίας που βρίσκονται σε άλλα μουσεία, οπότε προκύπτει τελικώς μια συλλογή που προφανώς δεν μπορεί να απαντηθεί εξ ολοκλήρου σε κανένα μεμονωμένο μουσείο. Επιπλέον των ανωτέρω, μόνο το εικονικό μουσείο έχει, κατ' αρχήν, τη δυνατότητα προβολής και τρισδιάστατου περιεχομένου των εκθεμάτων του.

Οι νέες τεχνολογίες και η χρήση τους από τα μουσεία έχουν οδηγήσει στα παρακάτω είδη εκθέσεων (Μπήτρος, 2010):

- Εκθέσεις Web3D, που αποτελούν την πιο γνωστή τεχνολογία οπτικοποίησης πληροφορίας στο Διαδίκτυο, οπτικοποιώντας εκθέματα των εικονικών μουσείων μέσω αρχείων πολυμέσων.
- Εκθέσεις Εικονικής Πραγματικότητας, που βασίζονται στην εικονική πραγματικότητα και στις δυνατότητες που αυτή παρέχει για την προβολή της

Πολιτιστικής Κληρονομιάς (Cultural Heritage). Με όρους Εικονικής Πραγματικότητας εμφανίζεται και ο όρος Εικονική Κληρονομιά (Virtual Heritage). Στις εκθέσεις αυτές ο επισκέπτης-χρήστης επιτυγχάνει την περιήγησή του φορώντας μια οθόνη Head-Mounted, 3D στερεοσκοπικά γυαλιά ή ένα γάντι σε μια διάταξη τύπου CAVE (όπως πχ. στην Κιβωτό του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού, στην οποία θα αναφερθούμε και παρακάτω) ή μια μάσκα (ή κράνος) εικονικής πραγματικότητας εάν βρίσκεται σε οποιονδήποτε άλλο χώρο (εκτός συστημάτων CAVE). Η εμπύθιση των χρηστών που προσφέρουν ειδικά τα συστήματα CAVE είναι πολύ υψηλή, ενώ στις λοιπές προσεγγίσεις VR εξαρτάται από το επίπεδο της σχεδίασης της εφαρμογής και του εικονικού κόσμου.

- Εκθέσεις Επαυξημένης Πραγματικότητας, όπου οι χρήστες μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να πραγματοποιήσουν εξερεύνηση και επισκόπηση εικονικών αντικειμένων σε μια πραγματική σκηνή ενώ ταυτόχρονα τους παρέχεται πρόσθετο περιεχόμενο. Επιτυγχάνεται μέσω φορητών συσκευών (Smartphones, Tablet, PDA's) όπου οι επισκέπτες-χρήστες μπορούν να δουν οπτικοποιημένες πληροφορίες, είτε ενημερωτικού χαρακτήρα είτε ακόμα και τρισδιάστατες απεικονίσεις, ολογράμματα εκθεμάτων, τμήματα εκθεμάτων που δεν διασώζονται κ.λπ.
- Εκθέσεις Υβριδικής (Μικτής) Πραγματικότητας (Mixed Reality), που αποτελούν μετεξέλιξη της επαυξημένης πραγματικότητας και βασίζονται στη χρήση μάσκας ή κράνους μικτής πραγματικότητας, όπου συνυπάρχουν τα πραγματικά και εικονικά εκθέματα.

Δ.2.1β. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Εικονικού Μουσείου

Στην ανωτέρω αναφερθείσα βιβλιογραφία αναφέρονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Εικονικού Μουσείου, τα οποία συμπληρωμένα καταλλήλως, είναι τα ακόλουθα.

Πλεονεκτήματα Εικονικού Μουσείου

Τα φυσικά μουσεία αποσκοπούν μέσω των εικονικών μουσείων τους στη διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς εν γένει και ειδικότερα της ιστορίας, της γνώσης και του εκπαιδευτικού τους χαρακτήρα. Το κοινό στο οποίο απευθύνονται μπορεί να είναι μαθητές, φοιτητές, τουρίστες, αλλά και να ανήκει σε διάφορες ηλικιακές κατηγορίες, κοινωνικές τάξεις και μορφωτικά επίπεδα. Τα πλεονεκτήματα που

έχουν λοιπόν τα εικονικά μουσεία ανάλογα με τον ρόλο των χρηστών τους συνοψίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Οφέλη για τους εφόρους και τα ίδια τα μουσεία:

- Ψηφιακή καταγραφή και άμεση διαθεσιμότητα, η οποία συνιστά απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθότερη και καλύτερη οργάνωση και διαχείριση του υλικού και των εκθεμάτων των μουσείων.
- Διατήρηση: δεδομένου ότι δύναται να συμβούν και στο μέλλον καταστροφές, είτε φυσικές καταστροφές είτε ανθρωπογενείς, οι οποίες θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα των εκθεμάτων, η δημιουργία εικονικών μουσείων αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέτρο για τη κατά κάποιον τρόπο διατήρηση και διαφύλαξη των έργων και εκθεμάτων αυτών.
- Προβολή: τα εκθέματα αφού ψηφιοποιηθούν, δύναται να προβληθούν σε εικονικά περιβάλλοντα, όπου υπάρχει η δυνατότητα να περιέχουν ακόμη περισσότερη πληροφορία από ό,τι στο ίδιο το μουσείο και στους χώρους του.
- Δημοσιότητα: από τη στιγμή που εκθέματα δημοσιεύονται μέσω εικονικών μουσείων, αποκτούν και δυνατότητα δημοσιότητας μέσω του Διαδικτύου και μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα για συνεργασία με άλλα μουσεία και ιδρύματα πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Προσέλκυση νέων επισκεπτών: μέσω της δημοσιότητας τα εκθέματα μπορούν να γίνουν γνωστά ακόμη και σε μακρινά μέρη, αυξάνοντας έτσι ενδεχομένως το ενδιαφέρον για μια μελλοντική επίσκεψη στον ίδιο τον χώρο του μουσείου, διευρύνεται δηλαδή το φάσμα των πιθανών επισκεπτών του φυσικού μουσείου.

- Οφέλη για τους επισκέπτες:

- Προσβασιμότητα, διότι η μόνη προϋπόθεση που πρέπει να πληρούται είναι αυτή της πρόσβασης του επισκέπτη - χρήστη του εικονικού μουσείου στο Διαδίκτυο. Η εξ αποστάσεως δηλαδή πρόσβαση παρέχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε κατοίκους απομακρυσμένων περιοχών και σε άτομα με ειδικές ανάγκες, κινητικά ή και μαθησιακά προβλήματα, αλλά και σε όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως του χρόνου, αφού δεν υπάρχουν περιορισμοί ωραρίων λειτουργίας ή αργιών.
- Πρόσβαση σε εφεδρικές συλλογές και σε αντικείμενα που συνήθως δεν εμφανίζονται (αλλά παραμένουν σε αποθήκες) γιατί είτε δεν μπορούν να εκτίθενται για λόγους έλλειψης χώρου ή συντήρησής τους, είτε και δεν

μπορούν πλέον να εκτίθενται στους φυσικούς χώρους λόγω φθορών τους ή διακινδύνευσης της ακεραιότητάς τους.

- Μάθηση και ψυχαγωγία, διότι παρέχουν τη δυνατότητα της γνώσης και παράλληλα δύναται να ψυχαγωγήσουν τον επισκέπτη τους. Εάν πρόκειται για εικονικά μουσεία με εκθέσεις εικονικής πραγματικότητας, υπό την προϋπόθεση ότι αυτή είναι καλοσχεδιασμένη και περιλαμβάνει και τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις, οι επισκέπτες μπορούν να ζήσουν μια εμπειρία αντίστοιχη με εκείνη της πραγματικής επίσκεψης του φυσικού μουσείου. Επιπλέον, σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας οι επισκέπτες μπορούν να δουν εικονικές ανακατασκευές σημαντικών αντικειμένων, κτιρίων και μνημείων.
- Προσαρμοστικότητα, καθώς η δυνατότητα ανεξάρτητης πλοήγησης του κάθε επισκέπτη ανάλογα με τα ενδιαφέροντά του ή τις ανάγκες του του προσδίδει περισσότερο ενδιαφέρον.

Μειονεκτήματα Εικονικού Μουσείου

Εκτός από σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός εικονικού μουσείου, αυτό παρουσιάζει και μειονεκτήματα, τα οποία είναι:

- Επειδή στην εικονική πραγματικότητα δεν μπορούν γενικά να αποδοθούν πλήρως η πολυπλοκότητα και η σύνθετη δομή των πραγματικών αντικειμένων, ενέχεται ο κίνδυνος τα εξελιγμένα συστήματα γραφικών οπτικοποίησης να αποδίδουν υπερβολικά ρεαλιστικά τα εκθέματα και να βασίζονται σε ελλιπή θεώρηση που πηγάζει από ελλιπή υπάρχοντα στοιχεία (ελλείψεις ή αποτμήσεις του αντικειμένου) ή να εναπόκεινται στην προσέγγιση της φανταστικής αντίληψης των επιστημόνων που πραγματοποιούν τη σχεδίαση του συστήματος και επιδιώκουν την υλοποίηση του εφικτού, με αποτέλεσμα να αποδίδουν τελικά μια εσφαλμένη εντύπωση για το πραγματικό αντικείμενο.
- Οι χρήστες των εικονικών μουσείων θα πρέπει να έχουν στοιχειώδη γνώση υπολογιστών, πέραν της ύπαρξης μιας συσκευής καθαυτής για την πρόσβαση, για να πλοηγηθούν στον δικτυακό τόπο του εικονικού μουσείου. Αυτό ίσως δημιουργεί κοινωνικούς ή και οικονομικούς αποκλεισμούς κοινωνικών ομάδων.
- Η συνήθης πρακτική των εικονικών μουσείων με τη φωτογραφική έκθεση ενός εκθέματος δεν επιτρέπει την απαραίτητη κατανόηση στον επισκέπτη τόσο της πραγματικής του διάστασης, όσο και της εμφάνισης ή υφής του από τις λοιπές οπτικές γωνίες θέασής του, άρα και του συνόλου του.

Στην πράξη, υπάρχουν πολλοί ιστότοποι μουσείων που αποκαλούνται εικονικά μουσεία, ενώ στην πραγματικότητα πρόκειται απλώς για ιστοσελίδες που περιέχουν έναν κατάλογο φωτογραφιών των χώρων και κάποιων εκθεμάτων τους, στα οποία οι επισκέπτες μπορούν να περιηγηθούν μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και μιας οθόνης. Πρόκειται για διαδρομές όπου ο χρήστης μπορεί μεν να δει εικόνες από κάποιο φυσικό μουσείο, αλλά αυτή η προσέγγιση δεν του δίνει καμία δυνατότητα να επιλέξει το πώς και προς τα πού θα πορευτεί, ενώ απουσιάζει η ύπαρξη οποιασδήποτε μορφής τρισδιάστατης απεικόνισης της πληροφορίας. Ως διαδραστική εμπειρία δεν έχει να προσθέσει κάτι, ενώ αντιθέτως, με τις δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας αλλά και της επαυξημένης πραγματικότητας, ο χρήστης θα έχει την πρωτοβουλία των κινήσεων και θα μπορεί, εάν κάτι τέτοιο έχει προβλεφθεί από τους δημιουργούς του συστήματος, να δει πχ. έναν αρχαιολογικό χώρο σε πλήρη ανάπτυξη, έχοντας στο πλάι της οθόνης του και όλες τις απαραίτητες σχετικές πληροφορίες που αφορούν στον χώρο ή στο έκθεμα. Ήδη έχουν δημιουργηθεί και σχετικά βίντεο με αναπαραστάσεις αρχαιολογικών χώρων όπου μπορεί κανείς να δει πώς ήταν κάποιος αρχαιολογικός χώρος κατά το παρελθόν (βλέπε πχ. τρισδιάστατη αναπαράσταση της Αρχαίας Αγοράς των Αθηνών από το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού).

Ένα πρόβλημα που παρατηρείται με αυτού του τύπου τις εφαρμογές είναι πως αυτές οι φορητές συσκευές τελικά χρησιμοποιούνται μόνο ως οδηγοί στο μουσείο.

Δεδομένου ότι υπάρχουν ζητήματα γεωγραφικού προσδιορισμού στις φορητές συσκευές και προσανατολισμού σε εσωτερικούς χώρους, μεγάλος αριθμός μουσείων επέλεξε μια συμβατική και εύκολη στην εφαρμογή λύση, δίδοντας την κάτοψη του εκθεσιακού χώρου στον κινητό οδηγό του μουσείου, όπου ο επισκέπτης λαμβάνει πληροφορίες για τα εκθέματα αφού επιλέξει τον αριθμό που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο έκθεμα (Damala et al., 2008).

Τα εικονικά μουσεία οφείλουν όμως να τηρούν και κάποια κριτήρια που από ιστορικής ή αρχαιολογικής απόψεως έχουν σημασία. Μπορεί από τεχνικής απόψεως να μην είναι απολύτως εφικτό να αναπαρασταθεί πιστά ένα ιστορικό στοιχείο ή χώρος λόγω του ότι έχει καταστραφεί τμήμα ή τμήματά του. Η όποια αποκατάσταση των ελλειπόντων τμημάτων, έστω και εικονική, πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και σύμφωνα με την επιστημονική θεώρηση των ειδικών (αρχαιολόγων, ιστορικών τέχνης, συντηρητών), ειδάλλως ελλοχεύει ο κίνδυνος να ενέχεται κάποια αυθαιρεσία.

Δ.2.1γ. Σύγχρονες τάσεις

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη δραστηριότητα παγκοσμίως όπου μουσεία και άλλα ιδρύματα πολιτιστικής κληρονομιάς επενδύουν προοδευτικά όχι μόνο σε πρωτοποριακά συστήματα τεκμηρίωσης και πληροφοριών, αλλά και σε τεχνολογίες πολυμέσων γύρω από τη χρήση φορητών συσκευών για τους επισκέπτες αρχαιολογικών χώρων και εκθέσεων μουσείων.

Τα σχετικά προγράμματα υποστηρίζουν την ανεξάρτητη κίνηση του επισκέπτη στο χώρο, χωρίς αυτός να μένει καθηλωμένος μπροστά από μία οθόνη υπολογιστή. Ωστόσο, οι περισσότερες εφαρμογές αυτού του είδους βρίσκονται γενικά σε πειραματικό στάδιο και είναι αρκετά δύσχρηστες, ενώ δε φαίνεται να στηρίζουν αποτελεσματικά την επικοινωνία μεταξύ των επισκεπτών (Οικονόμου, 2004).

Ίσως η πιο σημαντική αλλαγή στην πορεία της πολιτισμικής θεωρίας και κατ' επέκταση της πολιτιστικής επικοινωνίας ήταν η μετατόπιση του ενδιαφέροντος από τα αντικείμενα και τις λειτουργίες των πολιτισμικών οργανισμών στον ίδιο τον επισκέπτη. Η συμβολή της νέας αυτής ανθρωποκεντρικής αντίληψης των μουσείων έγκειται στο γεγονός ότι προϋποθέτει τον ενεργητικό ρόλο των επισκεπτών και τη συμμετοχή τους στη διαμόρφωση των νοημάτων μιας έκθεσης (Σηφάκη & Σηφάκης, 2007).

Τα μουσεία, μιας και αποτελούν ιδρύματα που επιδιώκουν να προάγουν την έρευνα, την έκθεση και γνωστοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι από τους πρώτους οργανισμούς που χρησιμοποίησαν προηγμένες τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας για να διερευνήσουν το εκπαιδευτικό τους δυναμικό (Gonizzi Barsanti et al., 2015, και Daniela, 2020).

Ένας τρόπος προσέγγισης της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι διά της επαυξημένης πραγματικότητας μέσω κινητών συσκευών, όπως αυτή εξετάστηκε και από τους Damala et al. (2007). Εξηγούν τα θετικά στοιχεία που μπορεί να αποκομίσουν οι επισκέπτες αλλά και οι υπεύθυνοι των μουσείων κάνοντας χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας, δεδομένου ότι είναι αυξημένη η πολυπλοκότητα των πληροφοριών που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά στην περίπτωση των μουσείων, όπου ο επισκέπτης πρέπει συχνά να γνωρίζει κοινωνικές, πολιτικές, πολιτιστικές, ιστορικές, οικονομικές ή επιστημονικές πτυχές προκειμένου να προσεγγίσει και να εκτιμήσει καλύτερα το εκτιθέμενο αντικείμενο.

Σύμφωνα με τους Laudazi & Boccaccini (2014) και Marques et al. (2017), οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιούνται σήμερα σε ορισμένες

τοποθεσίες πολιτιστικής κληρονομιάς και στοχεύουν κυρίως στον εμπλουτισμό της τουριστικής εμπειρίας, στην προσθήκη πληροφοριών στο “συγχωνευμένο” πραγματικό περιβάλλον μέσω μιας οθόνης ή μέσω ήχου.

Δεδομένου ότι η επίσκεψη σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μια κοινή άτυπη μαθησιακή δραστηριότητα, οι δραστηριότητες επίσκεψης σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς που έχουν σχεδιαστεί βάσει της θεωρίας Sense of Place (SoP) αναμένεται να προωθήσουν το ενδιαφέρον των εκπαιδευομένων για τους συγκεκριμένους τόπους και να ενισχύσουν το κίνητρό τους να μάθουν περισσότερα σχετικά με αυτούς (Chang et al., 2015).

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο σε τυπικά μαθησιακά περιβάλλοντα, όπως στην σχολική τάξη, αλλά και σε ανεπίσημα μαθησιακά περιβάλλοντα, όπως μουσεία, πάρκα, αρχαιολογικοί χώροι κ.λπ. (Vargas et al., 2020).

Ένα φορητό θεματικό πάρκο AR θα μπορούσε να παρουσιάζει μια πλήρη ανακατασκευή αρχαίων ερειπίων και θα μπορούσε να παρουσιαστεί σε έναν πραγματικό αρχαιολογικό χώρο, συμπεριλαμβανομένων μεγάλου όγκου δεδομένων πολιτιστικής ιστορίας (Ren et al., 2016, και Vargas et al., 2020).

Ούτως ή άλλως η χρήση κινητών συσκευών, όπως κινητά τηλέφωνα και tablet, είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη, καθώς αυτά διαθέτουν παράλληλα και φωτογραφική μηχανή με δυνατότητα προσδιορισμού θέσης της ληφθείσας εικόνας (geolocalization), γεγονός που βοηθά στο να ευρεθεί η ακριβής θέση του επισκέπτη και να πραγματοποιείται η προβολή σε αυτόν, μέσω της συσκευής, των απαραίτητων πληροφοριών που αφορούν στα παρατηρούμενα εκθέματα.

Σε κάποιες περιπτώσεις, πάντως, το μέσο και όχι το περιεχόμενο έχει τον πρώτο ρόλο, αφού αρκετοί χρήστες τελικώς αναλίσκονται στο πώς θα λειτουργήσουν με μια τέτοια συσκευή ή, λόγω δύσχρηστου περιβάλλοντος χρήσης, δεν επιτυγχάνουν πχ. να ευθυγραμμίσουν τη συσκευή ορθά με ένα αντικείμενο που έχει εισαχθεί μέσω επαυξημένης πραγματικότητας. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι πολλά από αυτά τα συστήματα έχουν αδυναμίες, δεν διαθέτουν “ευφυΐα”, φιλικότητα προς το χρήστη και ικανότητα παροχής ακριβούς πλοήγησης.

Η αποτελεσματική όμως επί τόπου χρήση των νέων τάσεων για τους χρήστες - επισκέπτες, μέσω επαυξημένης πραγματικότητας, μπορεί να προσδώσει πλεονεκτήματα, μιας και πρόκειται για οπτικοακουστικό τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας, όπως:

- Η παρακολούθηση και η εγγραφή σε 3D (χωρική ένταξη) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ακριβούς θέσης των εικονικών αντικειμένων, αλλά και για τον εντοπισμό και τον προσανατολισμό των επισκεπτών. Εάν μάλιστα δεν επιλεγεί η μέθοδος με στόχους-ορόσημα (όπως αναλύθηκε προηγουμένως) είναι διαδικασία απολύτως μη επεμβατική στους χώρους.
- Είναι μια συνοπτική και άμεση μορφή επικοινωνίας που μπορεί να περιλαμβάνει και ακουστική προσέγγιση.
- Δύναται να παρέχει πρόσβαση σε πρόσθετο υλικό, όπως εικόνες, έγγραφα, ηχογραφήσεις και ταινίες, στα οποία διαφορετικά δεν θα υπήρχε πρόσβαση και θα αγνοούνταν η ύπαρξή τους, ενώ αυτά καλύπτουν πτυχές θεμάτων που δεν αντιπροσωπεύονται επαρκώς από πραγματικές συλλογές.
- Δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης και εξέτασης τρισδιάστατων ανακατασκευών, σε αντίθεση με δισδιάστατες εικόνες ή παρατήρησης εκθεμάτων από απόσταση ή μέσω προθηκών, παρέχοντας ταυτόχρονα υψηλά επίπεδα αλληλεπίδρασης και τελικώς μια διαισθητική εμπειρία.
- Επιτρέπει την οπτικοποίηση ημιτελών αντικειμένων μέσω κάλυψης των ελλειπόντων τμημάτων του εκθέματος.
- Είναι ικανή να δικαιώσει τις προσδοκίες των επισκεπτών για συναρπαστικές μορφές παρουσίασης αφού εμβυθίζει τους επισκέπτες, τους εξοικειώνει με τον χώρο δίνοντας την αίσθηση πως, έστω και βραχυπρόθεσμα, ανήκουν εκεί αυξάνοντας παράλληλα έναν συναισθηματικό δεσμό με το μέρος.
- Βελτιώνει τις μαθησιακές επιδόσεις αφού δημιουργεί κίνητρα και έχει αντίκτυπο στη διατήρηση της μάθησης.
- Ενισχύει την αντίληψη του παρατηρούμενου περιβάλλοντος.
- Ενθαρρύνει τη συνεργασία μεταξύ χρηστών.
- Οι χρήστες δεν επηρεάζονται, γενικά, από δυσχέρειες στην κίνηση όταν χρησιμοποιούνται εφαρμογές AR.

Ωστόσο ενέχονται και κάποια μειονεκτήματα, όπως είναι:

- Η ανάγκη για εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις για την παραγωγή του περιεχομένου,
- η ανάγκη για συνεχή έλεγχο και συντήρηση,

- ο ήχος από μια φορητή συσκευή να εμπλέκεται με εκθέματα σε κοντινές περιοχές και να οδηγείται ο επισκέπτης σε σύγχυση μεταξύ των διαφορετικών ηχητικών πληροφοριών που δέχεται,
- τεχνικοί περιορισμοί όπως προαναφέρθηκαν (παρακολούθηση και χωρική ένταξη), σύνδεση με το Διαδίκτυο, ανταπόκριση συστήματος κ.λπ.

Τα μουσεία ως χώροι οργανωμένοι αποτελούν ουσιαστικά ένα πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον, το οποίο στην περίπτωση των νέων διαδραστικών τεχνολογιών που δύναται να συναρπάσουν το ευρύ κοινό βοηθά στην καλύτερη λειτουργία μιας τέτοιας τεχνολογικής προσέγγισης. Παρόμοια, μπορεί να εφαρμοστεί και σε ανοικτούς χώρους και να προβάλλεται στον επισκέπτη έως και η αναπαράσταση μέσω της συσκευής ενός κτιρίου, μιας κατασκευής ή ενός ολόκληρου αρχαιολογικού χώρου. Η δε συγχώνευση αυτή του πραγματικού με το εικονικό μπορεί να μετασηματίσει τα διαθέσιμα περιθώρια αλληλεπίδρασης και να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση αλλά και τη μεγιστοποίηση της εμπειρίας του επισκέπτη.

Από την άλλη πλευρά, πρέπει να αναφερθεί πως το κόστος για την απόκτηση ποιοτικών εργαλείων από μουσεία, λ.χ. συστημάτων περιβαλλόντων πλήρους εμπύθισης τύπου CAVE, είναι απαγορευτικό. Κι αυτό, πέραν του ότι η χρήση τέτοιων συστημάτων εμπλέκει και ζητήματα όπως χρηστικότητα, κατάρτιση προσωπικού, λειτουργία και συντήρηση, που δημιουργούν αναχώματα τουλάχιστον σε ό,τι αφορά τα δημόσια μουσεία, τα οποία και αυτά αντιμετωπίζουν ζητήματα σφικτών προϋπολογισμών. Βέβαια, και το κόστος αγοράς σε μάσκες ή κράνη είτε εικονικής είτε μικτής και επαυξημένης πραγματικότητας δεν είναι αμελητέο, ειδικά όταν ο εξοπλισμός αυτός εκτίθεται σε συνεχή χρήση και από άτομα διαφόρων ηλικιών.

Επειδή όμως οι σύγχρονες φορητές συσκευές ακόμη και των επισκεπτών έχουν δυνατότητες απεικόνισης AR, γεγονός που δεν επιβαρύνει οικονομικά τους πολιτιστικούς οργανισμούς, και επειδή, παρ' όλα αυτά, τα περιβάλλοντα VR ή AR μπορούν να παρέχουν ισχυρά εργαλεία για μάθηση, θα πρέπει η έρευνα να προχωρήσει προς αυτήν την κατεύθυνση και τα μουσεία να επιδιώξουν να παρέχουν τέτοιου είδους πρόσθετες εμπειρίες στους επισκέπτες τους.

Ένας τομέας όπου απαιτείται μια σημαντική καινοτομία είναι η παρακολούθηση ενός HMD σε εξωτερικούς χώρους με την ακρίβεια που απαιτείται από την AR. Εάν αυτό επιτευχθεί, πολλές ενδιαφέρουσες εφαρμογές θα είναι πλέον πιθανές. Πχ. το

περίτεχνο εσωτερικό του σύγχρονου Παρθενώνα θα γεμίσει από παραστάσεις που δημιουργούνται από υπολογιστή για το πώς φαινόταν το 430 π.Χ., συμπεριλαμβανομένου του χρυσελεφάντινου λατρευτικού αγάλματος της θεάς Αθηνάς. Οι τουρίστες και οι μαθητές που περιηγούνται με τέτοιες οθόνες AR θα αποκτήσουν πολύ καλύτερη κατανόηση αυτών των ιστορικών τοποθεσιών και των σημαντικών γεγονότων που έλαβαν χώρα εκεί (Azuma, 1997).

Επειδή στους εικονικούς κόσμους δεν υπάρχουν περιορισμοί, η αναπαράσταση του πολιτισμικού περιεχομένου μπορεί να αφορά την τρέχουσα μορφή του ή, όπως έχει ήδη υπογραμμιστεί, ακόμα και μια επιχειρούμενη ανασύσταση της μορφής που υποθέτουμε ότι είχε στο παρελθόν. Πέρα όμως από τη χρήση τους ως ψηφιακών αποθετηρίων τρισδιάστατων αναπαραστάσεων, οι εικονικοί κόσμοι μπορούν να προσφέρουν και βιωματικές εμπειρίες, όπου οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν σε χώρους και εποχές του παρελθόντος οι οποίοι αναπαρίστανται και εμπλουτίζονται με ψηφιακούς εικονικούς χαρακτήρες (Βοσινάκης, 2015).

Όταν χρησιμοποιείται για σκοπούς πολιτιστικής κληρονομιάς, ένα έκθεμα εικονικής πραγματικότητας μπορεί να δώσει στους μελετητές έναν εντελώς νέο τρόπο επικοινωνίας των επιστημονικών αποτελεσμάτων της αρχαιολογικής έρευνας εντός της επιστημονικής κοινότητας, βελτιώνοντας επίσης τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα αποτελέσματα κοινοποιούνται στο κοινό (Roussou, 2001).

Δ.2.1δ. Συμπεράσματα περί εικονικών μουσείων

Τα εικονικά μουσεία ως τόποι με δυνατότητα απεικόνισης και τρισδιάστατης πληροφορίας πληρούν όλα τα κριτήρια για να επιτελέσουν το έργο τους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Μπορούν να συνυπάρχουν παράλληλα ο φυσικός χώρος του μουσείου ή του αρχαιολογικού χώρου και ο αντίστοιχος εικονικός χώρος τους. Οι προοπτικές που διανοίγονται από την καλύτερη οργάνωση και διαχείριση μέσω της ψηφιακής καταγραφής και τη διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι πρακτικώς ατελείωτες. Όλα αυτά μπορούν να καταστούν εφικτά με ένα όχι υπερβολικό κόστος, μάλλον μηδαμινό μπροστά στα οφέλη που μπορεί να επιφέρει.

Οφείλει μόνο να πραγματοποιηθεί μια εξ ορισμού πολυεπιστημονική προσέγγιση κατά τον σχεδιασμό δημιουργίας, από όλες τις εμπλεκόμενες ειδικότητες: αρχαιολόγους, μουσειολόγους, επιμελητές μουσείων, προγραμματιστές υπολογιστών, αλλά και μηχανικούς, οι οποίοι μπορούν να συνεισφέρουν σε ό,τι αφορά τις αποτυπώσεις – ψηφιακές απεικονίσεις και τεκμηριώσεις, που θα λάβουν

υπόψη τους τις προδιαγραφές και απαιτήσεις όλων των ομάδων ενδιαφέροντος για το τελικό προϊόν.

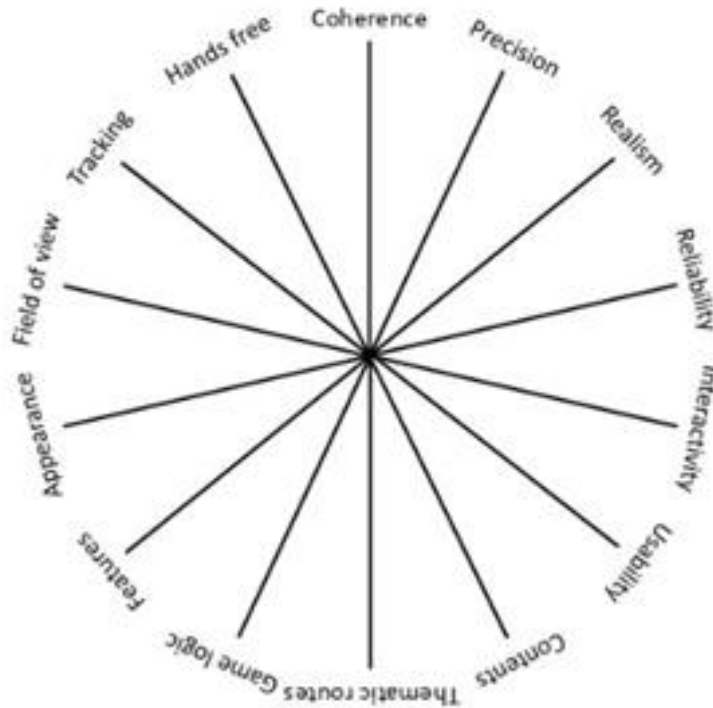
Έτσι, δύναται να επιτευχθεί το να παρέχονται με ένα εικονικό μουσείο εξ αποστάσεως, μέσω Διαδικτύου ή και μέσω εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας, ή μέσω επαυξημένης πραγματικότητας επί τόπου στους χώρους των μουσείων και τους κατά τόπους αρχαιολογικούς χώρους, τρισδιάστατες πλέον αναπαραστάσεις εκθεμάτων και μνημείων, οι οποίες μπορούν να συνοδεύονται από πολλά και διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών, που θα μπορούν να παραμετροποιηθούν από τους χρήστες και να συνδυάζουν την επικοινωνία μεταξύ των μελών μιας ομάδας επισκεπτών του μουσείου, μεταξύ επισκεπτών και προσωπικού ή ειδικών, ή μάλιστα και μεταξύ εικονικών και πραγματικών επισκεπτών.

Τελικώς, έχει σημασία μεγάλη κατά πρώτο λόγο το να δημιουργηθούν ψηφιακώς τα αποθέματα των μουσείων και χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς, ιδιαίτερα όσον αφορά την τρισδιάστατη μορφή και τεκμηρίωση των εκθεμάτων και πολιτιστικών πόρων, που θα αποτελέσουν τη βάση οποιασδήποτε μελλοντικής ανάπτυξης όποιου συστήματος και εάν επιλεγεί, είτε επαυξημένης είτε εικονικής πραγματικότητας.

Δ.2.1ε. Μία προσέγγιση αξιολόγησης εφαρμογών AR

Η εργασία των Spacca et al. (2018) είχε στόχο να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ εφαρμογών και αξιολογήσεων, προτείνοντας ένα μοντέλο πολλαπλών μεταβλητών και την εφαρμογή του για μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για κινητά Android, που είχε σχεδιαστεί για να υποστηρίξει τον χρήστη κατά την επίσκεψη του ιστορικού βιομηχανικού χώρου του Carpano στο Τορίνο της Ιταλίας.

Το προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης των 14 μεταβλητών, που αναπαρίστανται ακτινικά ως αστέρι, φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, με το μήκος κάθε ακτίνας να υποδηλώνει την τιμή της κάθε μεταβλητής. Προτείνεται διαβάθμιση τριών επιπέδων, με μεγαλύτερο μήκος μεταβλητής να συνεπάγεται υψηλότερο επίπεδο.



Εικόνα 48. Το προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης (Spracca et al., 2018).

Συγκεκριμένα, οι 14 αυτές μεταβλητές είναι:

- Συνοχή: Αντιπροσωπεύει τη συνάφεια των επαυξημένων πληροφοριών με τις ιστορικές πληροφορίες. Συναρτάται με τις διαθέσιμες ιστορικές πηγές για τη συλλογή του υλικού που θα παρουσιαστεί, σε διάφορες μορφές, στον χρήστη.
- Ακρίβεια: Αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα σωστής ευθυγράμμισης των επαυξημένων περιεχομένων (τρισδιάτατα και κινούμενα μοντέλα). Η μεταβλητή σχετίζεται τόσο με το σύστημα παρακολούθησης όσο και με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Ρεαλισμός: Καθορίζει την ποιότητα των στοιχείων γραφικών, όπως εικόνες, βίντεο, τρισδιάστατα μοντέλα. Η μεταβλητή σχετίζεται με την συνοχή των πηγών πληροφοριών.
- Αξιοπιστία: Αντιπροσωπεύει την πιθανότητα του συστήματος AR να λειτουργήσει όπως αναμένεται, χωρίς κανένα είδος αποτυχίας. Η μεταβλητή σχετίζεται με τεχνολογίες υλικού και λογισμικού.
- Διαδραστικότητα: Αντιπροσωπεύει τον βαθμό αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και συστήματος. Όταν ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με περιεχόμενο 3D, αυτό σημαίνει ότι τα εικονικά στοιχεία μπορούν να αγκυρωθούν στον χώρο και παρέχονται ορισμένες μορφές αλληλεπίδρασης (φωνή, χειρονομία, αφή, κ.λπ.).

- Ευχρηστία: Αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα του χρήστη να αλληλεπιδρά με το σύστημα με ικανοποιητικό και ευχάριστο τρόπο. Αρκετές από τις άλλες μεταβλητές μπορούν να επηρεάσουν τη ευχρηστία, η οποία μπορεί να αξιολογηθεί με ερωτηματολόγια.
- Περιεχόμενα: Η ποσότητα και το είδος του περιεχομένου μπορεί να επηρεάσει έντονα την εμπειρία του χρήστη. Τα περιεχόμενα πρέπει να είναι λεπτομερή και να κινούν την περιέργεια, αλλά ο πλεονασμός περιεχομένου μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικό γνωσιακό φόρτο.
- Θεματικές διαδρομές: Αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα διάταξης περιεχομένων σε διαφορετικές πολιτιστικές διαδρομές, παρέχοντας στον χρήστη τη δυνατότητα προσαρμογής της επίσκεψης σύμφωνα με τα προσωπικά του ενδιαφέροντα.
- Λογική παιχνιδιών: Είναι γνωστό ότι η εκπαίδευση και το παιχνίδι μπορούν να αναμιχθούν προς όφελος του χρήστη, έτσι ώστε να μην πρόκειται μόνο για έναν απλό οδηγό πολυμέσων. Η λογική του παιχνιδιού πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά για την επίτευξη υψηλού επιπέδου προσοχής.
- Χαρακτηριστικά: Αυτή η μεταβλητή αντιπροσωπεύει τη λειτουργικότητα του συστήματος. Οι δυνατότητες πρέπει να είναι εύχρηστες και να παρέχουν πραγματική προστιθέμενη αξία στον χρήστη.
- Εμφάνιση: Σχετίζεται με τη διεπαφή της εφαρμογής, όπου η επιλογή χρωμάτων, εικόνων, κουμπιών, μενού κ.λπ. αποτελούν την αφετηρία δημιουργίας μιας διεπαφής που θα πρέπει να είναι συνεπής με την οπτική ταυτότητα του επισκεπτόμενου χώρου.
- Οπτικό πεδίο (FoV): Αντιπροσωπεύει το τμήμα της σκηνής που έχει επαυξηθεί από την εφαρμογή και το οποίο είναι ορατό από τον χρήστη. Περιορισμένα FoV δεν επιτρέπουν στον χρήστη να βλέπει μεγάλα αντικείμενα (πχ. βιομηχανικά μηχανήματα) από κοντά.
- Παρακολούθηση: Είναι η μέθοδος με την οποία η εφαρμογή AR αναγνωρίζει γνωστά στοιχεία στη σκηνή μέσω της φωτογραφικής μηχανής της συσκευής. Επιτυγχάνεται με ή χωρίς χρήση στόχων που, όπως προαναφέρθηκε, εμφανίζουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα.
- Hands-free: Αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα των χρηστών να μετακινούνται στον χώρο χωρίς να απαιτείται να κρατούν κάποια συσκευή, επιτυγχάνεται δε μόνο με χρήση συσκευών HMD.

Δ.2.1στ. Επικαιρότητα

Σύμφωνα με το άρθρο «Τα μουσεία της Ευρώπης κινητοποιούνται» της Γιώτας Συκκά στην ηλεκτρονική έκδοση της εφημερίδας *Η Καθημερινή* της 30-4-2020, σε έρευνα που πραγματοποίησε το Δίκτυο των Ευρωπαϊκών Οργανισμών Μουσείων (NEMO)²² στην έξαρση της πανδημίας του κορωνοϊού, πολλά στελέχη ευρωπαϊκών μουσείων αντέδρασαν ακαριαία, προβάλλοντας ευφάνταστες ψηφιακές εφαρμογές και δράσεις για να διατηρήσουν το κοινό τους, αλλά κυρίως καταγράφοντας τις συνέπειες που έχει ήδη η υγειονομική κρίση στον τομέα τους.

Σε αυτό το τμήμα της έρευνας ανταποκρίθηκαν 650 μουσεία από 41 χώρες (από την περίοδο που έκλεισαν έως τις 3 Απριλίου²³) γεγονός που φανερώνει την ετοιμότητα των μουσείων να αναδείξουν τον κοινωνικό τους ρόλο στη διάρκεια της κρίσης. Σύμφωνα με τις απαντήσεις, η κρίση του κορωνοϊού προκάλεσε υψηλές απώλειες εσόδων. Τα μεγάλα μουσεία, ιδίως εκείνα που βρίσκονται σε τουριστικές περιοχές, σημείωσαν μείωση εσόδων ύψους 75%-80%. Το NEMO δεν διαβλέπει σύντομα επιστροφή στην κανονικότητα και κάλεσε τις κυβερνήσεις να επενδύσουν στα μουσεία της Ευρώπης.

Η ψηφιακή δραστηριότητα των μουσείων σε αυτή την περίοδο ήταν πρωτοφανής. Αντέδρασαν άμεσα στην πανδημία, αυξάνοντας και βελτιώνοντας τις ψηφιακές υπηρεσίες τους και μοιράστηκαν τις συλλογές τους online. Το 60% και πλέον των μουσείων αύξησε την παρουσία του στο Διαδίκτυο από τότε που έκλεισαν εξαιτίας των περιοριστικών μέτρων, όμως μόνο το 13.4% αυτών αύξησε τον προϋπολογισμό του για δράσεις online. Επίσης, το 40% των μουσείων που απάντησαν στις ερωτήσεις της έρευνας παρουσίασε αυξημένες διαδικτυακές επισκέψεις όσο παρέμεναν κλειστά. Ακόμη, πάνω από το 70% αύξησε τις δραστηριότητές του στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης.

Όπως σημειώνει το NEMO, ο πολιτισμός αποκτά σημασία στους αβέβαιους καιρούς μιας κρίσης, μας φέρνει κοντά.

Στην Ελλάδα η χαρτογράφηση του αντίκτυπου του COVID-19 θα γίνει με έρευνα του ΥΠΠΟΑ, στους επαγγελματίες του πολιτιστικού και δημιουργικού τομέα, ενώ τα αποτελέσματα θα ανακοινωθούν διεθνώς στο τέλος του 2020, όπως ανέφερε

²² Το δίκτυο NEMO ιδρύθηκε το 1992 και εκπροσωπεί πάνω από 30.000 μουσεία των κρατών-μελών του Συμβουλίου της Ευρώπης.

²³ Έχει ενδιαφέρον επίσης ότι η έρευνα συνεχίστηκε έως και τις 30 Απριλίου, προκειμένου να συλλεγούν νέα δεδομένα τα οποία θα συγκριθούν με τα αρχικά αποτελέσματα, για το πώς αντιδρούν οι πολιτιστικοί αυτοί οργανισμοί και πού κατευθύνονται πλέον.

πρόσφατα η υπουργός Πολιτισμού στην τηλεδιάσκεψη που διοργάνωσε η UNESCO με τη συμμετοχή 100 υπουργών Πολιτισμού.

Δ.2.2. Μουσεία και εφαρμογές στην ελληνική πραγματικότητα

Στη χώρα μας υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις που είναι άξιες να αναφερθούν:

1) Μουσείο της Ακρόπολης

Στο Μουσείο της Ακρόπολης υπάρχει και λειτουργεί αίθουσα Εικονικής Πραγματικότητας 40 θέσεων, στην οποία πραγματοποιούνται τρισδιάστατες θεματικές προβολές. Επίσης σε δικτυακό τόπο²⁴ μπορεί ο επισκέπτης να πραγματοποιήσει μια περιήγηση 360° στους χώρους του μουσείου και να δει με λεπτομέρεια τα εκθέματα σε πολύ υψηλή ανάλυση.

2) Ακρόπολη Αθηνών²⁵

Η Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως (ΥΣΜΑ) προσφέρει στον δικτυακό της τόπο²⁶ μια εικονική περιήγηση στην Ακρόπολη των Αθηνών.

3) Πλανητάριο του Ευγενίδειου Ιδρύματος²⁷

Στο νέο Ψηφιακό Πλανητάριο διατίθενται σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και πραγματοποιούνται προβολές εικονικής πραγματικότητας. Δεν απαιτείται η χρήση γυαλιών για στερεοσκοπική παρατήρηση διότι η θολωτή οθόνη προσφέρει μια στερεοσκοπική άποψη 360°.

4) «Θόλος»²⁸

Η «Θόλος» είναι το ημισφαιρικό «Θέατρο» Εικονικής Πραγματικότητας του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού (ΙΜΕ)²⁹, χωρητικότητας 132 ατόμων, το οποίο σχεδιάστηκε ως ένα μουσείο εικονικής πραγματικότητας που φιλοξενεί και καθιστά προσβάσιμες στο ευρύ κοινό τις ψηφιακές συλλογές του ΙΜΕ. Οι συλλογές αυτές αποτελούν τεκμήρια υψηλής πολιτιστικής αξίας καθώς

²⁴ Δικτυακός τόπος περιήγησης, <https://www.google.com/culturalinstitute/beta/partner/acropolis-museum>

²⁵ Δικτυακός τόπος: www.theacropolismuseum.gr

²⁶ Δικτυακός τόπος ΥΣΜΑ: (<http://www.ysma.gr/>) και (<http://www.acropolisvirtualtour.gr/>).

²⁷ Το Πλανητάριο είναι αμφιθεατρικό (κεκλιμένο κατά 23,5 μοίρες ως προς το επίπεδο) με θολωτή οθόνη διαμέτρου 25 μέτρων και επιφάνεια οθόνης 950m² και έχει χωρητικότητα 280 θέσεων. Πηγή: Ιστότοπος: <http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=node&cnode=21>.

²⁸ Πηγή: Ιστότοπος «Θόλου» : <http://www.tholos254.gr/gr/index.html>

²⁹ Το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού (ΙΜΕ, Foundation of the Hellenic World ή FHW) είναι ένα μη κερδοσκοπικό ίδρυμα πολιτιστικής κληρονομιάς με αποστολή να διατηρήσει και να διαδώσει τον ελληνικό πολιτισμό, την ιστορική μνήμη και την παράδοση μέσω της δημιουργικής χρήσης υπεσύγχρονων πολυμέσων και τεχνολογίας.

αναπτύσσονται και συγκροτούνται με βάση μια πρωτότυπη και παγκοσμίως πρωτοποριακή διαδικασία έρευνας, τεκμηρίωσης και οπτικοποίησης της ιστορικής και αρχαιολογικής πληροφορίας. Καινοτομία της «Θόλου» αποτελεί η δυνατότητα πλήρους στερεοσκοπικής προβολής στο σύνολο της επιφάνειας της ημισφαιρικής οθόνης, το οποίο επιτυγχάνεται με χρήση 12 μηχανημάτων προβολής. Οι επισκέπτες μπορούν να εμβυθιστούν βλέποντας στερεοσκοπικά μέσω ειδικών γυαλιών, να πλοηγηθούν, να διαδράσουν και να συμμετάσχουν ενεργά στο πρόγραμμα καθορίζοντας την ίδια την εμπειρία τους. Το περιεχόμενο που προβάλλεται είναι πλήρως διαδραστικό, σε πραγματικό χρόνο και με διάφορα σενάρια περιηγήσεων. Το κοινό μπορεί να αλληλεπιδρά με τον χώρο και ανάλογα να καθορίζεται η συμπεριφορά του εικονικού χώρου. Αυτό την καθιστά μοναδική υποδομή εικονικής πραγματικότητας μεγάλης κλίμακας στη χώρα μας.

Προκειμένου δε να προσαρμοστεί το μάτι του θεατή στο σκοτεινό περιβάλλον της κύριας αίθουσας προβολής διέρχεται προηγουμένως από έναν ημι-σκοτεινό χώρο, όπου για 5-10 λεπτά παρακολουθεί μια προβολή πολυμέσων από πολλαπλές οθόνες, κατά τη διάρκεια της οποίας λαμβάνει πληροφορίες σε σχέση με τη «Θόλο», την παρουσίαση που πρόκειται να δει ή και το ίδιο το έργο και την ψηφιακή αναπαράσταση. Εκτός από τη «Θόλο», προβολές πραγματοποιούνται και στα υφιστάμενα μικρότερα συστήματα εικονικής πραγματικότητας του ΙΜΕ, την «Κιβωτό» και τη «Μαγική Οθόνη».

Η «Μαγική Οθόνη» είναι ένα σύστημα ImmersaDesk™ που λειτουργεί σε έναν οπτικό σταθμό εργασίας Silicon Graphics® Octane® με δύο επεξεργαστές R10000 στα 250Mhz. Αποτελείται από ένα οπίσθιο πλαίσιο 2x2.38 m² με κλίση υπό γωνία 45°. Η στερεοσκοπική προβολή επιτυγχάνεται με τη χρήση ελαφρών γυαλιών διαφράγματος υγρών κρυστάλλων. Το σύστημα παρέχει παρακολούθηση κεφαλής και χεριών, είσοδο χρήστη μέσω μιας ελαφριάς συσκευής χειρός, που ονομάζεται ραβδί, για αλληλεπίδραση και ήχο από ηχεία.



Εικόνα 49. Παιδιά που εξερευνούν μνημεία κληρονομιάς στο Magic Screen (ImmersaDesk™).

Η «Κιβωτός» είναι ένα περιβάλλον VR υψηλής εμπύθισης μέσω ενός συστήματος ReaCTor™, τύπου CAVE, σε ένα κυβικό δωμάτιο 3x3 m², όπου οι τοίχοι και το πάτωμα λειτουργούν ως οθόνες προβολής που τροφοδοτούνται από Silicon Graphics® Onyx2™ με οκτώ επεξεργαστές R12000 στα 300Mhz και τέσσερα υποσυστήματα οπτικοποίησης InfiniteReality2™. Η κιβωτός μπορεί να φιλοξενήσει έως και 10 άτομα ταυτόχρονα που φορούν ειδικά ελαφριά στερεοσκοπικά γυαλιά, τα οποία τους επιτρέπουν να βλέπουν τόσο τον εικονικό όσο και τον φυσικό κόσμο. Η δομή του συστήματος και τα προγράμματα που αναπτύχθηκαν είναι πλήρως διαδραστικά, παρέχοντας στους μεμονωμένους επισκέπτες πλήρη ελευθερία να ελέγχουν τις κινήσεις τους μέσω της χρήσης του ραβδιού, και έτσι αναπτύσσουν μια εντελώς μοναδική διαδραστική εμπειρία (Roussou, 2001, Sylaiou et al., 2009).



Εικόνα 50. Οι επισκέπτες στο σύστημα Κινotos.

Υπάρχει πλήθος εικονικών περιηγήσεων³⁰ για τους επισκέπτες με μερικά από τα κύρια έργα να αποτελούν:

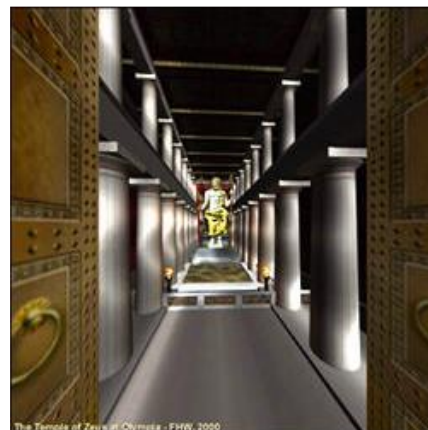
- η ανοικοδόμηση και το εικονικό ταξίδι από τις ακτές της Μικράς Ασίας στην αρχαία πόλη της Μιλήτου³¹ όπως ήταν πριν από δύο χιλιάδες χρόνια, ο ναός του

³⁰ Περισσότερες πληροφορίες για τις παραγωγές εικονικής πραγματικότητας του ΙΜΕ υπάρχουν στον ιστότοπο: <http://vr.hellenic-cosmos.gr/>.

³¹ Για να επιτευχθεί η αρχιτεκτονική λεπτομέρεια απαιτούνται αρκετά βήματα. Η γνώση για την τοπογραφία της πόλης και την ιστορία των οικισμών της βασίζεται στη συστηματική αρχαιολογική έρευνα που ξεκίνησε η γαλλική αρχαιολογική αποστολή το 1868 και συνεχίστηκε από το γερμανικό αρχαιολογικό ινστιτούτο της Κωνσταντινούπολης από το 1899 έως σήμερα. Η συλλογή των ευρημάτων τους και η μετατροπή των δεδομένων σε ψηφιακή μορφή είναι το πρώτο βήμα. Η ομάδα GIS χρησιμοποιεί τις πληροφορίες εδάφους για να δημιουργήσει χαμηλές απόψεις πολυγώνων της πόλης προκειμένου να δημιουργήσει μια ιδέα. Η ομάδα 3D Graphics χρησιμοποιεί τα επιστημονικά δεδομένα για την ακριβή και υψηλή λεπτομέρεια ψηφιακή ανακατασκευή των κτιρίων. Στη συνέχεια, τα δεδομένα διαβιβάζονται στην ομάδα VR, όπου ανάλογα με την συνθετότητα των μοντέλων, πραγματοποιείται μείωση των πολυγώνων και απλοποίηση μοντέλου, ώστε να επιτρέπεται ένας πραγματικός και διαδραστικός εικονικός κόσμος. Πηγή: <http://www.fhw.gr>

Απόλλωνα Δελφινίου, η Βουλή του Συμβουλίου, το Ελληνιστικό Γυμνάσιο, η Ιωνική Στοά και η Βόρεια Αγορά είναι μερικά από τα δημόσια κτίρια που δύναται να βιώσουν οι επισκέπτες, οι οποίοι μπορούν να «περπατήσουν» ή να πετάξουν πάνω από την ακριβή τρισδιάστατη ανακατασκευή, να «βουτήξουν» στο λιμάνι της αρχαίας Μιλήτου, να εξερευνήσουν την πόλη. Με τη χρήση της συσκευής πλοήγησης, οι επισκέπτες είναι ελεύθεροι να επιλέξουν τη δική τους διαδρομή, μπορούν να εξετάσουν τις αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και το τοπίο από πολλές διαφορετικές προοπτικές, να εξασκήσουν τις δεξιότητες προσανατολισμού τους και να κατανοήσουν την αίσθηση της κλίμακας, της αναλογίας και του χώρου.

- η Ιόνια πόλη της Πριήνης, ένα παράδειγμα της ελληνιστικής αρχιτεκτονικής, στο δεύτερο μισό του 2^{ου} αιώνα π.Χ. είναι η δεύτερη αρχαία πόλη που εξελίσσεται σήμερα σε μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας. Η πόλη χτίστηκε κατά το υποδάμειο σύστημα, ακολουθώντας αυστηρή γεωμετρική χάραξη. Όντας μία από τις πιο επικλινείς πόλεις της αρχαιότητας, για την ανέγερση δημόσιων κτηρίων, ιερών και συγκροτημάτων κατασκευάστηκαν εκτεταμένες τεχνητές πλατείες με επιχωματώσεις και ισχυρούς αναλημματικούς τοίχους. Τα δημόσια κτήρια χαρακτηρίζονταν από ιδιαίτερη επιμέλεια στην κατασκευή τους, ενώ οι κατοικίες ήταν οργανωμένες σε οικοδομικά τετράγωνα, που περιλάμβαναν συνολικά οκτώ ίδιας επιφάνειας κατοικίες – σε δύο σειρές των τεσσάρων. Υπάρχουν ακόμη το Εκκλησιαστήριο της πόλης, η Αγορά με τις Στοές της, το Πρυτανείο, το ιερό της Αθηνάς Πολιάδος με το ναό και το βωμό του, το ιερό του Διός, αλλά και τα υπόλοιπα ιερά, καθώς και το Θέατρο και τα Γυμνάσια.
- Μια άλλη εμπειρία εικονικής πραγματικότητας τονίζει τη λαμπρότητα του ναού του Δία στην Ολυμπία, παρέχοντας στους επισκέπτες την ευκαιρία να δουν το διάσημο άγαλμα του Δία, ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου.



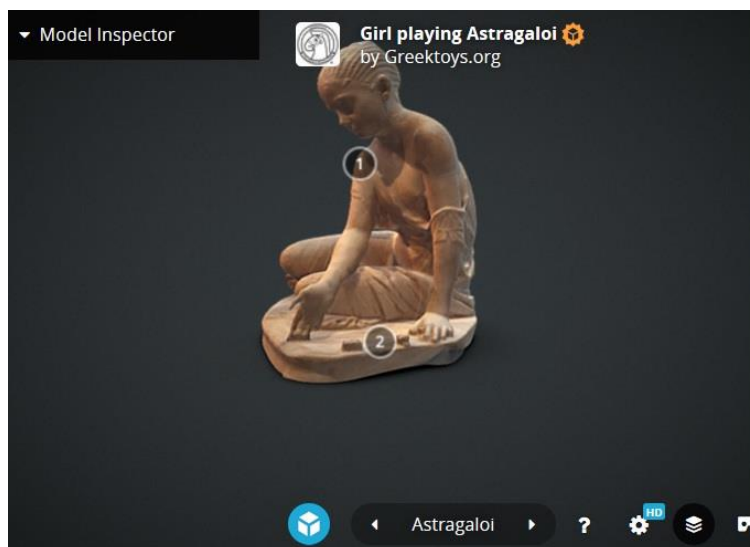
Εικόνα 51α. (Αριστερά) Ο ναός του Δία στην Ολυμπία, Εικόνα 51β. (Δεξιά) Το διάσημο άγαλμα του Δία στην Ολυμπία. Άποψη εκ της εισόδου του ναού.

5) Μουσείο Μπενάκη

Το Μουσείο Μπενάκη παρέχει εμπειρία επίσκεψης μέσω εικονικής περιήγησης 360° (virtual tour) στους χώρους του μουσείου στην ιστοσελίδα του Μουσείου³².

6) Μουσείο Αρχαίων Παιχνιδιών³³

Το «Greektoys Children's Revolution»³⁴ είναι ένα εκπαιδευτικό έργο που σκοπό έχει την προώθηση της αρχαίας ελληνικής κληρονομιάς μέσω της χρήσης της τεχνολογίας. Το έργο περιλαμβάνει τη δημιουργία της παιδικής σειράς τρισδιάστατων κινουμένων σχεδίων «Greektoys», έρευνα και καταγραφή των αρχαίων ελληνικών παιχνιδιών, σύνθεση μουσικής για παιδιά και το έργο «Μικροί Αρχαιολόγοι» που αφορά στην τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση του τύμβου Καστά της Αμφίπολης, καθώς και τη δημιουργία του ψηφιακού τρισδιάστατου μουσείου αρχαίων ελληνικών παιχνιδιών. Στην επίτευξη του στόχου συμβάλλουν τα εργαστήρια για παιδιά και ομιλίες σε σχολεία και πανεπιστήμια, ώστε να αποτελεί μια «γέφυρα» που εισάγει τα παιδιά στον πολιτισμό της αρχαιότητας.



Εικόνα 52. Στιγμιότυπο οθόνης από το Μουσείο Παιχνιδιών.

³² Στην ιστοσελίδα του Μουσείου:

https://www.benaki.org/virtual/kentriko/ground_floor/?utm_source=Benaki+Museum+List&utm_campaign=1d51727cbd-EMAIL_CAMPAIGN_2020_03_25_10_46&utm_medium=email&utm_term=0_1be0cca8b0-1d51727cbd-57245069&mc_cid=1d51727cbd&mc_eid=e9ebe51493

³³ Ιστότοπος Μουσείου Αρχαίων Παιχνιδιών: <https://sites.google.com/site/greektoysvirtualmuseum/>

³⁴ Δραστηριοποιείται στην Ελλάδα από το 2012. Επίσης δραστηριοποιείται στο Βέλγιο και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. (Πηγή: <https://sites.google.com/view/greektoysvirtualmuseumgr/%CF%83%CF%87%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC>)

Η φιλοσοφία του Greektoys είναι ότι η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάσωση και τη διάδοση των αρχαίων ελληνικών παιχνιδιών. Με τη χρήση τεχνικών 3D scanning και 3D σχεδιασμού, αυθεντικά εκθέματα είναι προσβάσιμα στο Εικονικό Μουσείο Αρχαίων Ελληνικών Παιχνιδιών.

7) «Επανάστασις 1821»³⁵

Αυτή είναι μια εφαρμογή στην οποία οι «πυρπολητές» της τουρκικής ναυαρχίδας, μπαίνοντας εικονικά στο κόσμο που απεικονίζει στον γνωστό πίνακά του ο Νικηφόρος Λύτρας, θα μπορούν να γίνουν οι επισκέπτες του πρωτοποριακού μουσείου «Επανάστασις 1821», που ετοιμάζει το Εργαστήριο Πολυμέσων και Κοινωνικών Δικτύων του Ινστιτούτου Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης³⁶.

Αναμένεται να παρουσιαστεί τον Σεπτέμβριο 2020 στη Διεθνή Έκθεση Θεσσαλονίκης και στην Ευρωπαϊκή Βραδιά Ερευνητή 2020³⁷.

³⁵ Το έργο «Επανάστασις 1821» υποστηρίζεται από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο Πλαίσιο της 1ης Προκήρυξης της Δράσης «Επιστήμη και Κοινωνία» – «200 χρόνια από την Ελληνική Επανάσταση» και υλοποιείται από την κύρια διεπιστημονική ομάδα του Εργαστηρίου Multimedia Knowledge and Social Media Analytics Laboratory, του Ινστιτούτου Τεχνολογιών Πληροφορικής, στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, με επικεφαλής τον συντονιστή Έργου δρ. Ιωάννη Κομπατσιάρη, Project Manager τον δρ. Σπύρο Νικολόπουλο, την Γεωργία Γεωργίου (Βοηθός Έρευνας, Μουσειολόγος, Υπεύθυνη Τεκμηρίωσης και Μουσειολογικού Σχεδιασμού) και τον Λευτέρη Αναστασοβίτη (Βοηθός Έρευνας, Virtual Reality expert, 3D Serious Games designer/developer, Visual FX). (Πηγή: <https://www.mobilenews.gr/h-epanastasi-toy-1821-mesa-aro-tin-eikoniki/>).

³⁶ Εργαστήριο Πολυμέσων και Κοινωνικών Δικτύων (Multimedia Knowledge and Social Media Analytics Laboratory) του Ινστιτούτου Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΙΠΤΗΛ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ).

³⁷ Το τελικό ψηφιακό προϊόν θα είναι ολοκληρωμένο τον Δεκέμβριο του 2021.

E. ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

E.1. Τεχνικές και μεθοδολογίες για τη συλλογή υποβάθρων

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην τοπογραφία/γεωδαισία και τους κλάδους της εγγύς/εναέριας φωτογραμμετρίας και της όρασης υπολογιστών, καθώς και της τηλεπισκόπησης, συγκροτούν τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του υποβάθρου και του περιβάλλοντος μιας εφαρμογής εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία μπορεί να στηριχθεί μια εφαρμογή αυτού του είδους. Με την ψηφιοποίηση και την γεωμετρική καταγραφή της ακριβούς μορφής, των σχημάτων, αλλά και της υφής των αρχαιολογικών ευρημάτων και αντικειμένων ή των μνημείων και χώρων πολιτιστικού ενδιαφέροντος, πόσω δε μάλλον με την τρισδιάστατη ανακατασκευή των αντικειμένων, ακόμα και κατά το ελλιπές τμήμα τους, δημιουργείται ο θεμέλιος λίθος πάνω στον οποίο μπορεί να ανοικοδομηθεί το όποιο εγχείρημα απεικόνισης οποιασδήποτε μορφής εικονικής πραγματικότητας.

E.1.1. Αποτύπωση και Γεωμετρική Τεκμηρίωση

Σύμφωνα με τους Clark et al. (1998): «Η αρχαιολογία του τοπίου είναι μια γεωγραφική προσέγγιση σύμφωνα με την οποία μια περιοχή διερευνάται με ολοκληρωμένο τρόπο, καθώς μελετώνται τοποθεσίες και αντικείμενα όχι μεμονωμένα, αλλά ως πτυχές των ζωντανών κοινωνιών που κάποτε καταλάμβαναν το τοπίο».

Θεμελιώδεις ιδιότητες των αντικειμένων για την αρχαιολογία και κατ' επέκταση την πολιτιστική κληρονομιά (Remondino & Campana, 2014) αποτελούν στοιχεία όπως το μέγεθος, ο προσανατολισμός, το σχήμα, το χρώμα, η υφή, η χωρική θέση, οι αποστάσεις. Οι δε αλλαγές και οι τροποποιήσεις στη μορφή, το μέγεθος, την υφή, τη σύνθεση και τη θέση που έχουν βρεθεί είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας κατά το πέρασμα του χρόνου.

Όταν πρόκειται για αρχαιολογικούς χώρους και τοποθεσίες, η χαρτογράφηση δεδομένων όπως η γεωμορφολογία του εδάφους, τα υψομετρικά και υδρογραφικά στοιχεία της περιοχής, οι συγκοινωνιακοί άξονες, σε συνδυασμό με την κάλυψη και τη χρήση γης, τη βλάστηση και τη γεωλογία, συμβάλλουν στην κατανόηση του πλαισίου της ανθρώπινης δραστηριότητας σε μια περιοχή. Επίσης, η γεωγραφική

θέση και κατανομή των χαρακτηριστικών αποτελούν στοιχεία που βοηθούν στην καλύτερη ερμηνεία του ιστορικού τοπίου, παράλληλα με την αξιολόγηση των ιστορικών πηγών.

Σε αυτό το σημείο έρχεται να συμβάλει η τοπογραφία/γεωδαισία, η φωτογραμμετρία, η όραση υπολογιστών και η τηλεπισκόπηση, ώστε μέσω των τεχνικών τους να προχωρήσουν τόσο στην αποτύπωση και καταγραφή των χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς όσο και των αντικειμένων, μνημείων και κατασκευών γενικότερα, και να υποβοηθήσουν το έργο της αρχαιολογίας. Η καταγραφή αυτή δύναται να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τη φύση, την έκταση και το είδος της εργασίας ή του αντικειμένου μελέτης και χαρακτηρίζεται ως το σύνολο όλων των διαθέσιμων μεθόδων για την καταγραφή της γεωμετρίας των αντικειμένων και της εν γένει τοπογραφίας, που θεωρείται ως μέρος ενός έργου τεκμηρίωσης. Η γεωμετρική τεκμηρίωση οφείλει να είναι ακριβής από μετρητική άποψη, το οποίο όμως πέραν από τη διαφύλαξη καθαυτή της κληρονομιάς δεν αποτελεί αυτοσκοπό αλλά, στο πλαίσιο δημοσιότητας, χρησιμεύει ως εργαλείο για να παρέχεται και σε άλλους επιστήμονες και επιστημονικούς τομείς για περαιτέρω αξιολόγηση και ανάλυση.

Κάθε επιμέρους κλάδος των τεχνικών καταγραφής και χαρτογράφησης έχει να προσδώσει, ανάλογα με την περίπτωση του αντικειμένου μελέτης, πλήθος μεθοδολογιών που θα επιτρέψουν την καταγραφή. Μπορεί να πρόκειται για την απεικόνιση σε ένα διάγραμμα ή χάρτη αναλογικής ή ψηφιακής μορφής ή και την ενσωμάτωση χωρικών και περιγραφικών δεδομένων σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, είτε για πιο απαιτητικές περιπτώσεις, όπως πχ. ψηφιακά μοντέλα εδάφους ή και η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση ευρημάτων και λοιπών πολιτιστικών αντικειμένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταξύ άλλων και σε ψηφιακά μουσεία, έως και η τρισδιάστατη ανακατασκευή αρχαίων (ευρημάτων, μνημείων ή και ολόκληρων αρχαιολογικών χώρων) με εμφάνιση και των ελλειπών τμημάτων τους, όπως δηλαδή ήταν πριν να οδηγηθούν στην υφιστάμενη κατάσταση των αρχαίων καταλοίπων. Οι δε τρισδιάστατες ανακατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ερμηνεία και μελέτη ή σε ένα σύστημα επαυξημένης ή εικονικής πραγματικότητας ή και σε εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης αντιγράφων στο μέλλον.

Στις μέρες μας εφαρμόζει κανείς και συνδυασμό μεθόδων, αξιολογώντας τα πλεονεκτήματα κάθε τεχνικής και επιδιώκοντας τη συλλογή λεπτομερέστατων και ακριβών δεδομένων όσο και την εξοικονόμηση χρόνου και πόρων.

Η καταγραφή και η τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς περιλαμβάνει ένα ευρύ πεδίο αντικειμένων, επιστημονικών κλάδων και τεχνολογιών. Λόγω αυτών των μεγάλων διαφορών, κάθε έργο είναι διαφορετικό (Boehler, 1999).

«Με τον όρο “Γεωμετρική Τεκμηρίωση κατασκευής” ορίζεται η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και της μορφής μιας κατασκευής σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στο χώρο των τριών διαστάσεων. Σκοπός είναι η παρουσίαση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται τη χρονική στιγμή της τεκμηρίωσης. Έτσι είναι δυνατή η παρουσίαση των στοιχείων λεπτομερειών που περιλαμβάνονται σε αυτή και ο εντοπισμός πιθανών κατασκευαστικών αποκλίσεων ή φθορών που έχει υποστεί» (Πανταζής, 2010).

Επίσης, «η επιλογή των σημείων που ορίζουν τη μορφή και το μέγεθος μιας κατασκευής αποτελεί παράγοντα ουσιαστικό στην πραγματοποίηση της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Η επιλογή αυτή αφορά τόσο στην ποιότητα όσο και στην ποσότητα των σημείων που μετρούνται και συνδέεται άμεσα με τις μετρητικές μεθόδους που εφαρμόζονται, τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, το κόστος αλλά και το χρόνο που απαιτείται».

Η ιδανική τεκμηρίωση ενός αντικειμένου θα επέτρεπε στον χρήστη να αποκτήσει την ίδια πληρότητα πληροφοριών με τον ερευνητή που εξέτασε το πρωτότυπο στον χώρο. Προφανώς, μια τέτοια τεκμηρίωση, που περιλαμβάνει περιγραφή των υλικών και της γεωμετρίας ακόμη και του μικρότερου τμήματος του αντικειμένου, καθώς και της γύρω τοπογραφίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών, είναι αδύνατη.

Η τρισδιάστατη τεκμηρίωση αποτελεί συμπληρωματική τεκμηρίωση της ως είθισται τεκμηρίωσης που εφαρμόζεται σε αρχαιολογικούς χώρους, αντικείμενα ή περιβάλλοντα. Παρουσιάζει ένα καινοτόμο μέσο αναπαράστασης μετρήσεων που λήφθηκαν και επιτρέπει την απόκτηση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων με προσδιορισμένη θέση, η πυκνότητα των οποίων εξαρτάται από την πυκνότητα σάρωσης (Remondino & Campana, 2014).

E.1.2. Προδιαγραφές Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Δεδομένου ότι κάθε κατασκευή, ή ειδικότερα κάθε μνημείο ή αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς, παρουσιάζει ιδιομορφίες, οι οποίες αφορούν κατ' αρχάς στο μέγεθός του, την ποιότητα και τα υλικά του, αλλά και την τεχνοτροπία του, δεν είναι δυνατόν να αναφερθούν συγκεκριμένες γενικής ισχύος προδιαγραφές

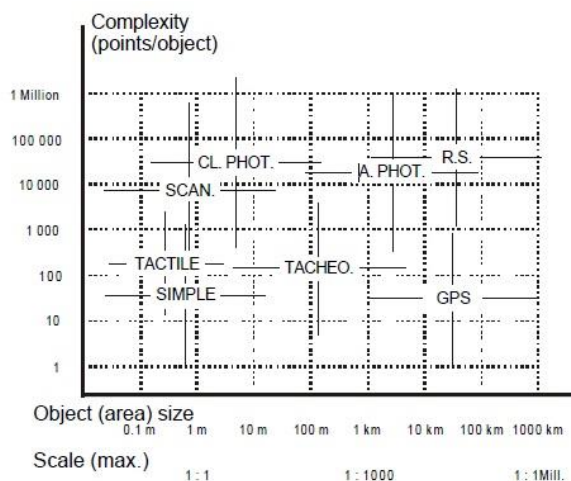
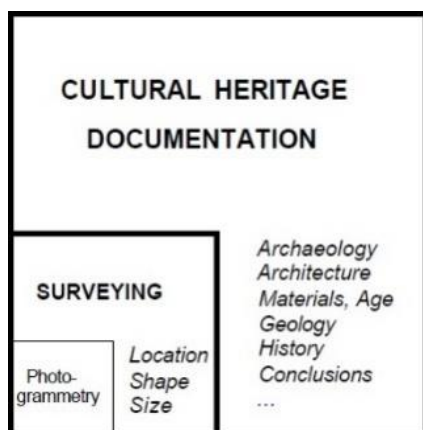
Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης, αφού αυτές εξαρτώνται από τη φύση του αντικειμένου, δηλαδή εάν πρόκειται πχ. για ένα κτίριο (έναν αρχαίο ναό) ή σύμπλεγμα κτιρίων ή πχ. για ένα αγγείο ή άλλο εύρημα, καθώς και από τα υλικά από τα οποία συναποτελείται.

Μια από τις πρώτες συστηματικές χρήσεις της φωτογραμμετρίας για την αρχαιολογία αναφέρεται ότι πραγματοποιήθηκε το 1956 στην Ιταλία από τους Castagnoli και Schmidt σε μια μελέτη του αστικού τοπίου της Norba. Αυτή η μέθοδος έρευνας και τεκμηρίωσης εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει ένα θεμελιώδες μέσο για την κατανόηση και τεκμηρίωση σύνθετων δεδομένων, όπου το απαιτούμενο επίπεδο λεπτομέρειας είναι πολύ υψηλό και συνεπώς αυξάνεται η ανάγκη για ακρίβεια (Remondino & Campana, 2014).

Όπως αναφέρουν οι ίδιοι «...έχουμε εκπαιδευτεί να μειώνουμε την πραγματικότητα από τρεις διαστάσεις σε δύο, και έτσι έχουμε τη συνήθεια να σκεφτόμαστε σε 2D. Διαισθητικά - ή σε ορισμένες περιπτώσεις "θεωρητικά" - γνωρίζουμε πολύ καλά την πληροφοριακή αξία της τρίτης διάστασης, ωστόσο δυσκολευόμαστε να φανταστούμε, να απεικονίσουμε ή να απεικονίσουμε αντικείμενα, περιβάλλοντα, τοπία και φαινόμενα από το παρελθόν σε τρεις διαστάσεις».

E.1.3. Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων

Οι Boehler et al. (1999) παρουσίασαν παλαιότερα, στην Εικ. 53, σχήμα με τις κατάλληλες μεθόδους χαρτογράφησης, συναρτήσει του μεγέθους του αντικειμένου και της πολυπλοκότητας που το χαρακτηρίζει, υπό την αίρεση ότι κάθε έργο πρέπει να εξεταστεί διαφορετικά. Τα πράγματα βέβαια από τότε έχουν αλλάξει, κυρίως λόγω της ανάπτυξης αυτοματισμών στην φωτογραμμετρία και την όραση υπολογιστών.



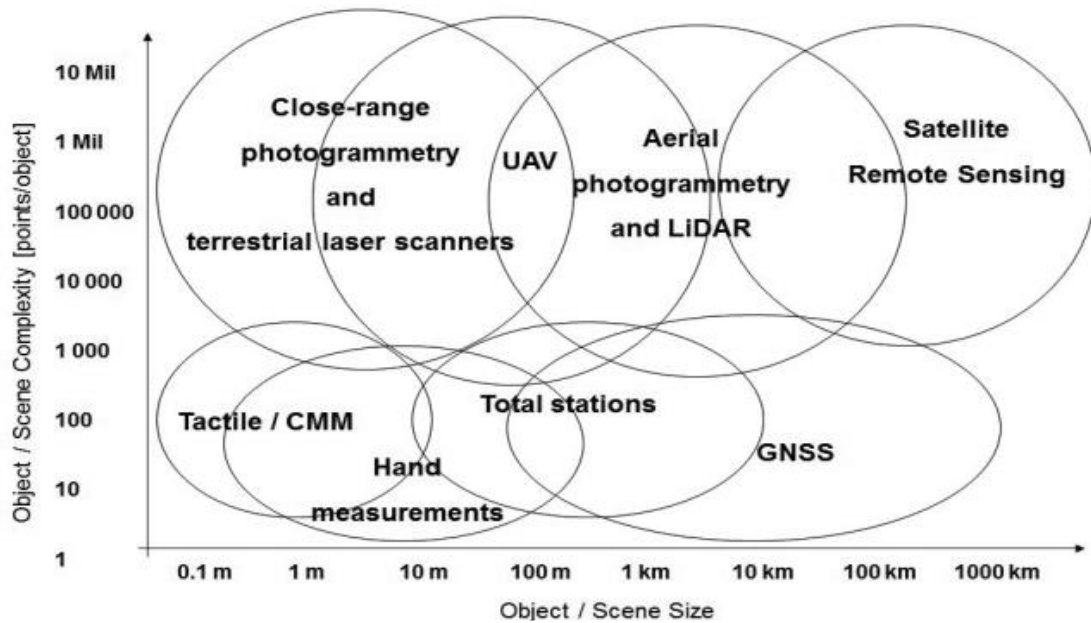
Εικόνα 53α. (Αριστερά) Ταξινόμηση και Εικόνα 53β. (Δεξιά) Κατάλληλες μέθοδοι τοπογράφησης (λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος αντικειμένου και αντικειμένου πολυπλοκότητα). (CL.(close range) = Κοντινή απόσταση, A. (aerial) = εναέριος, R.S. (remote sensing)= τηλεπισκόπηση).

Μια σημαντική παράμετρος είναι η συνθετότητα του αντικειμένου, όπως πχ. αυτή μπορεί να εκφραστεί από τον αριθμό των σημείων που πρέπει να καταγραφούν, που μπορεί κατά περίπτωση να είναι πολύ μικρός ή να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες ή χιλιάδες, πχ. για ένα σχέδιο CAD, έως πολλά εκατομμύρια, πχ. για ολόκληρη την επιφάνεια ενός γλυπτού ή ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου.

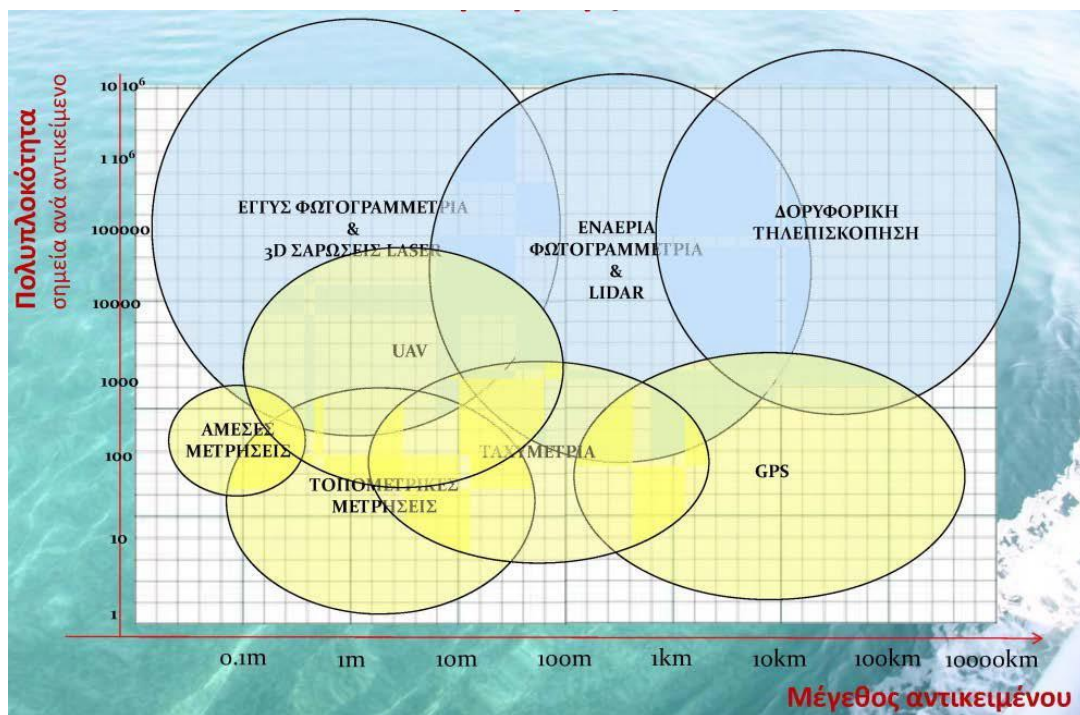
Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη βέλτιστη μέθοδο που θα επιλεγεί αφορούν την ακρίβεια, την πρακτική δυνατότητα χρήσης της προτεινόμενης μεθόδου, τη διαθεσιμότητα σε εξοπλισμό, και την προσπελασιμότητα του αντικειμένου.

Για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων χώρων κληρονομιάς διατίθενται διάφορες τεχνικές, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά. Συχνά αυτές οι τεχνικές αναφέρονται ως συμπληρωματικές, και θεωρείται πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ολοκληρωμένες υβριδικές προσεγγίσεις για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των επιμέρους μεθόδων (Albourae et al., 2017).

Σε αυτό το πλαίσιο, οι Remondino & Campana (2014), δίνουν το σχήμα της Εικ. 54α, (βλ. και ελληνική εκδοχή Εικ. 54β στο Σκαμαντζάρη, 2015).



Εικόνα 54α. Τεχνικές γεωματικής για την απόκτηση 3D δεδομένων (που εμφανίζονται σε συνάρτηση με τις διαστάσεις αντικειμένου / σκηνής και την πολυπλοκότητα του ανακατασκευασμένου ψηφιακού μοντέλου).



Εικόνα 54β. Μέθοδοι Μέτρησης

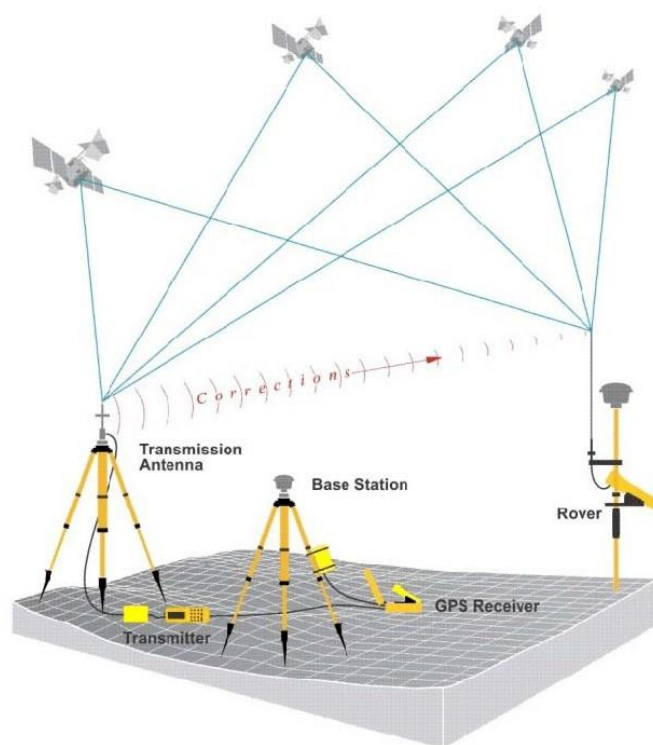
Τα κατάλληλα εργαλεία της τεχνολογίας για τέτοιου είδους εργασίες αποτελούν κατά βάση οι συσκευές σάρωσης και οι τεχνικές φωτογραμμετρίας/όρασης υπολογιστών, που μπορούν να δημιουργήσουν λεπτομερή νέφη σημείων τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, που περιγράφουν και που αντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες του σαρωμένου αντικειμένου.

Η πιο προφανής χρήση τους είναι στη συνέχεια να δημιουργηθεί το μοντέλο του αντικειμένου, που συνήθως είναι ένα πλέγμα συνδεδεμένων τριγώνων (Remondino & Campana, 2014). Υφή, χρώμα, φωτεινότητα, απόχρωση, καθώς και έννοιες όπως τραχύτητα, απαλότητα, γυαλάδα, ανώμαλες ή κυματιστές επιφάνειες μπορούν, υπό όρους, να αποδοθούν με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και γραφικών υπολογιστών.

Ωστόσο η αρχαιολογία, συνεχίζουν οι Remondino & Campana (2014), δεν πρέπει να περιορίζεται στην οπτικοποίηση των αντικειμένων και των κτιρίων, αλλά να επιτρέπει πλήρη προσομοίωση όπου ο αρχαιολόγος μπορεί να τροποποιήσει τη γεωμετρία και άλλα χαρακτηριστικά, να επαναπροσδιορίσει τις παραμέτρους, να ορίσει νέες τιμές και ρυθμίσεις ή οποιαδήποτε άλλα δεδομένα εισόδου, να επιλέξει μια άλλη μελέτη προσομοίωσης ή να εκτελέσει μια νέα δοκιμή προσομοίωσης, για να ελέγξει την εγκυρότητα του ίδιου του μοντέλου.

Για λόγους πληρότητας, γίνεται εδώ συνοπτική μνεία των τεχνικών συλλογής 2D όσο και 3D δεδομένων που αναφέρονται στην βιβλιογραφία:

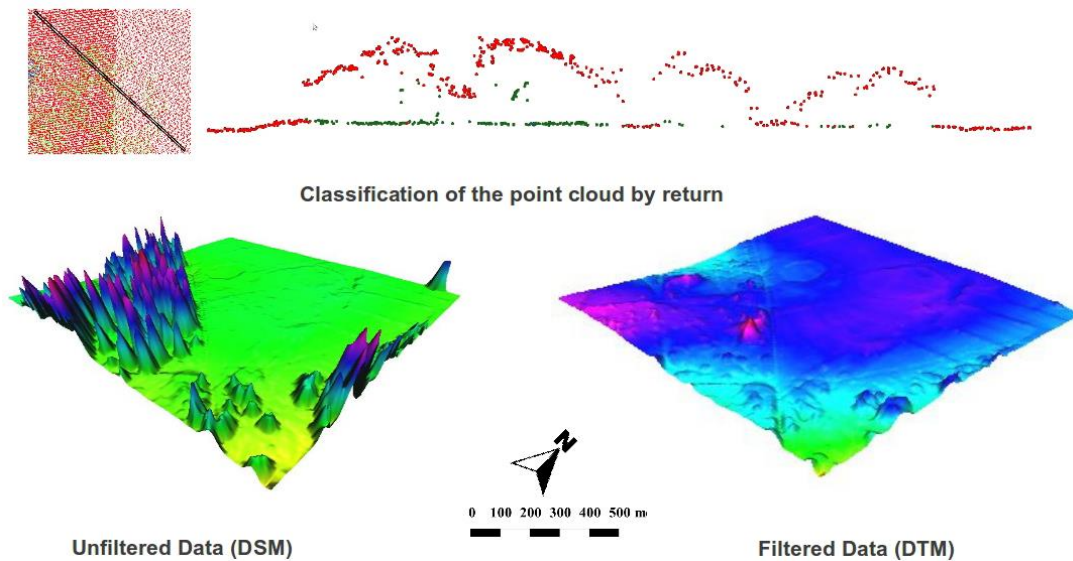
- Μέθοδοι Τοπομετρικές και εξ επαφής αποτύπωσης:
Πρόκειται για απλές επιτόπιες μεθόδους περιορισμένης ακρίβειας, που χρησιμοποιούνταν κυρίως από αρχαιολόγους και αρχιτέκτονες (μετρήσεις με μετροταινία, αλφαδολάστιχα κ.λπ.).
- Τοπογραφικές μέθοδοι: Εδώ περιλαμβάνονται οι κάθε είδους τοπογραφικοί τρόποι μέτρησης παλιότεροι και σύγχρονοι, από την αποτύπωση με ταχύμετρα και χωροβάτες έως και τους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς κ.λπ.
- Τα GPS (Global Positioning System) έχουν εφαρμογή σε μια σειρά από τομείς, στους οποίους κυρίως υποβοηθούν άλλες μεθοδολογίες και τεχνικές. Βασική τους συνεισφορά είναι, αφενός, η ένταξη των μετρήσεων στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (φωτοσταθερά) και, αφετέρου, η καταγραφή σημείων λήψης στην εναέρια φωτογραμμετρία με αεροσκάφη και μη επανδρωμένα οχήματα (UAV), όσο βέβαια και στην πλοήγησή τους. Βέβαια, εν προκειμένω βρίσκουν εφαρμογή και σε περιπτώσεις φορητών οδηγών πλοήγησης σε αρχαιολογικούς χώρους, εντοπίζοντας την θέση του επισκέπτη και τροφοδοτώντας την εφαρμογή με τα δεδομένα θέσης, προκειμένου εκείνη με τη σειρά της να παρουσιάσει στον χρήστη το αντίστοιχο περιεχόμενο, όπως πχ. πληροφορίες των αντικειμένων που παρατηρεί ή και τρισδιάστατες ανακατασκευές των αρχαίων καταλοίπων.



Εικόνα 55. Μέτρηση με GPS διπλής συχνότητας.

- Σαρωτές Laser

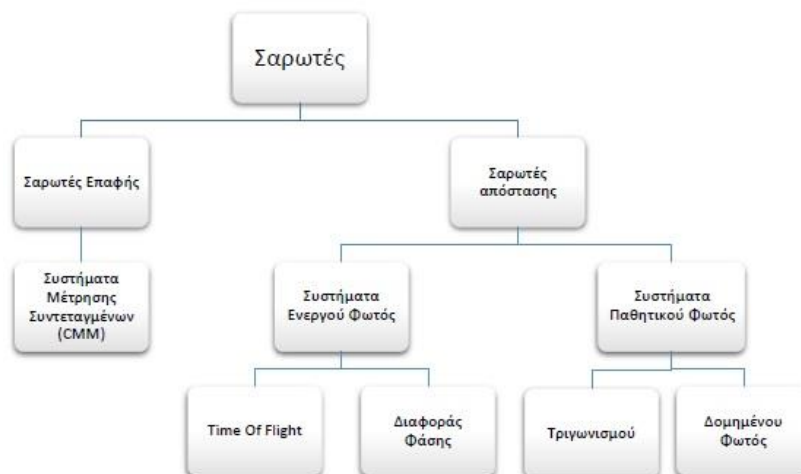
Οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούν την τεχνολογία LiDAR και έχουν εφαρμογή σε επίγεια και εναέρια συστήματα, διακρινόμενοι σε επίγειους (terrestrial), αερομεταφερόμενους (airborne), υδρογραφικούς (hydrographic), δορυφορικούς (satellite) και κινητούς (mobile mapping systems). Έχουν τη δυνατότητα λήψης πλήθους 3D σημείων σε ταχύτατο χρόνο. Υπάρχει η δυνατότητα να καταγράφονται δεδομένα υψηλής ανάλυσης που μπορούν να μοντελοποιηθούν με διάφορους τρόπους για να αναπαραστήσουν τη μακρο- ή μικρο-τοπογραφία ενός τοπίου, με παράλληλη δυνατότητα «αφαίρεσης» της βλάστησης για τον “καθαρισμό” της επιφάνειας του εδάφους. Σύμφωνα και τους Canevese & de Gottardo (2017), στις τοπογραφικές εργασίες με σαρωτές μπορούμε να γνωρίζουμε και το επίπεδο ποιότητας του τελικού αποτελέσματος του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 56. Δεδομένα LIDAR.

- Άλλοι σαρωτές

Πέραν των σαρωτών μέτρησης χρόνου (Time-of-Flight – ToF), που λειτουργούν με βάση τον χρόνο της διαδρομής του παλμού, υπάρχουν ακόμη σαρωτές μέτρησης διαφοράς φάσης (Phase Shift) και σαρωτές τριγωνισμού (δομημένου φωτός – Structured Light). Στην πρώτη περίπτωση το συνεχές κύμα που εκπέμπεται από τον σαρωτή διαμορφώνεται κατά πλάτος σε μια γνωστή συχνότητα. Η εκπεμπόμενη ακτίνα διανύει την απόσταση προς το σημείο πρόσπτωσης, ανακλάται και επιστρέφει στον σαρωτή μέσω φωτοδιόδου. Συγκρίνεται η διαφορά φάσης του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου κύματος. Στην δεύτερη περίπτωση, σε βαθμονομημένο σύστημα χρησιμοποιείται γραμμικό ή σημειακό μοτίβο που προβάλλεται στο αντικείμενο (Εικ. 59) και απεικονίζεται σε μία ή δύο κάμερες.



Εικόνα 57. Κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών.



Figure 1. Time of flight laser scanner



Figure 2. Phase Comparison laser scanner



Figure 3. Triangulation laser scanner - laser

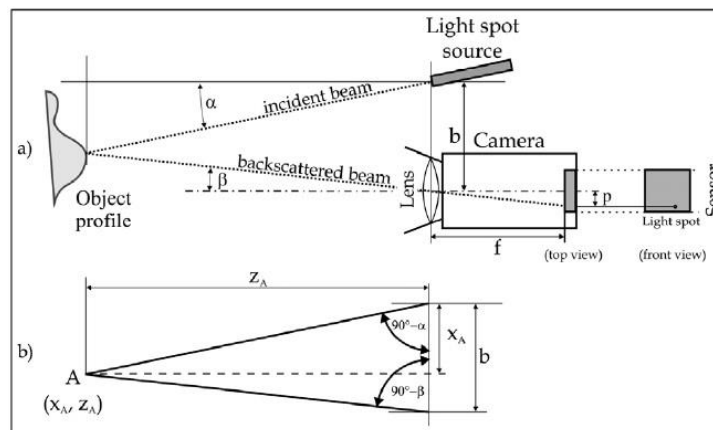


Figure 4. Triangulation laser scanner with structured-light

Εικόνα 58. Είδη σαρωτών.



Εικόνα 59. Προβολή χρωματικά κωδικοποιημένου μοτίβου.



Εικόνα 60. Αρχή του τριγωνισμού: α προβολή xz μιας μέτρησης απόστασης βάσει τριγωνισμού μέσω μιας δέσμης λέιζερ με κλίση α σε σχέση με το σύστημα αναφοράς, που προσκρούει στην προς μέτρηση επιφάνεια. Η πηγή φωτός βρίσκεται σε απόσταση b από το οπτικό κέντρο μιας συσκευής λήψης εικόνων εξοπλισμένης με φακό εστιακής απόστασης f με φακό (Remondino & Campana, 2014).

Για παράδειγμα, κατά τους Canevese & de Gottardo (2017) για σαρώσεις σε μεγάλες περιοχές συνιστώνται σαρωτές laser (Time-of-Flight), για σαρώσεις σε αρχιτεκτονική, αρχαιολογία και υπόγεια περιβάλλοντα συνιστώνται σαρωτές διαφοράς φάσης, ενώ για τη σάρωση αγαλμάτων, γλυπτών κ.λπ. συνιστώνται σαρωτές τριγωνισμού.

- **Φωτογραμμετρικές μέθοδοι και μέθοδοι Όρασης Υπολογιστών:**

Σήμερα ο συνδυασμός φωτογραμμετρικών μαθηματικών μοντέλων και τεχνικών όρασης υπολογιστών έχουν δημιουργήσει πανίσχυρα εργαλεία αυτόματου προσανατολισμού μεγάλου πλήθους εικόνων (εναέριων από μεγάλα ή μικρότερα ύψη όσο και επίγειων) και, με τεχνικές πυκνής συνταύτισης εικόνων, δημιουργίας 3D μοντέλων υψηλής γεωμετρικής όσο και οπτικής (χρωματικής) ποιότητας. Οι χρησιμοποιούμενες πλέον ψηφιακές εικόνες μπορούν να ληφθούν με ποικίλους τρόπους: πχ. μηχανές dSLR (digital Single Lens Reflex), μηχανές με δυνατότητα πανοραμικής λήψης, βίντεο κ.λπ. Πολύ συχνά πλέον, οι λήψεις πραγματοποιούνται με UAV με χρήση ενσωματωμένων αισθητήρων GNSS/INS για πλοήγηση (με τη συνεργασία δεδομένων θέσης από δεδομένα GPS και αδρανειακά συστήματα).

Οι βασικές (αυτόματες) φωτογραμμετρικές διαδικασίες, που πλέον είναι εν πολλοίς ενσωματωμένες σε εμπορικά πακέτα λογισμικού, είναι οι εξής:

- *Αραιή συνταύτιση εικόνων:* πρόκειται για την αυτόματη αποκατάσταση ομολογιών μεταξύ επικαλυπτόμενων εικόνων, η οποία επιτρέπει να προσδιοριστεί ο εξωτερικός προσανατολισμός όλων των εικόνων, με ή χωρίς βαθμονόμηση της μηχανής (αυτοβαθμονόμηση). Βασίζεται γενικά στην εύρεση ομόλογων εικονοσημείων ενδιαφέροντος³⁸ σε δύο εικόνες, μεταφορά τους σε όσες εικόνες αυτά φαίνονται και, τελικά, επίλυσης του εξωτερικού προσανατολισμού ολόκληρου του μπλοκ εικόνων (Μπούρου, 2015, και Κακογιάννου, 2017). Σημειώνεται ότι ένα τυπικό σύνολο εικόνων που λήφθηκε για σκοπούς 3D ανακατασκευής μπορεί να σχηματίζει ένα δίκτυο που γενικά δεν είναι κατάλληλο για μια διαδικασία βαθμονόμησης. Επομένως, συχνά πρέπει να διαχωρίζονται τα δύο φωτογραμμετρικά

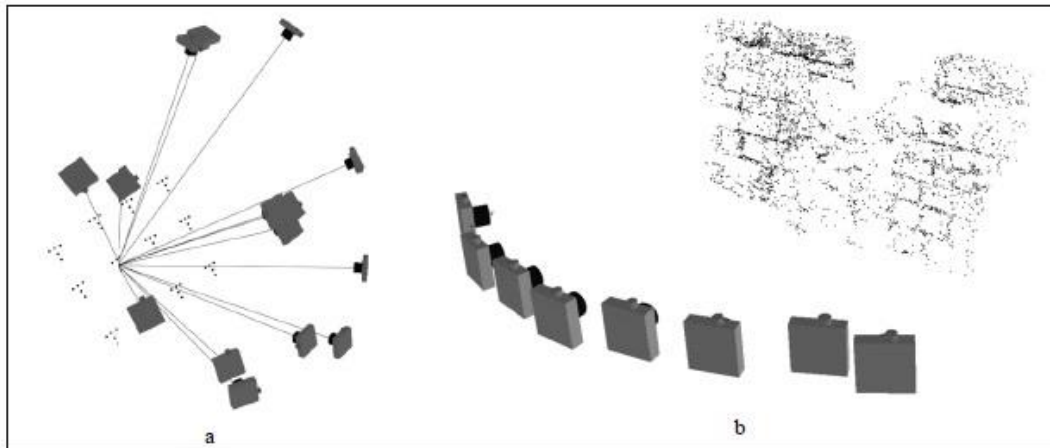
³⁸ Για την εύρεση των ομόλογων σημείων χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι, όπως κυρίως οι SIFT (Scale Invariant Feature Transform) και SURF (Speeded-Up Robust Features).

- Ο αλγόριθμος SIFT πρωτοπαρουσιάστηκε το 1999 από τον David Lowe, ενώ το 2004 δημοσιεύθηκε η περιγραφή του. Αποτελείται από έναν ανιχνευτή χαρακτηριστικών σημείων (detector) και έναν περιγραφέα (descriptor), και αποτελεί έναν από τους πιο αξιόπιστους αλγόριθμους ανίχνευσης χαρακτηριστικών, διότι είναι ισχυρός απέναντι σε μεταβολές κλίμακας (scale invariant), την στροφή (rotation invariant), τις διακυμάνσεις της φωτεινότητας (illumination invariant) και εν μέρει το σημείο λήψης της εικόνας (viewpoint invariant).
- Ο αλγόριθμος SURF (Speeded Up Robust Features) δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά από τους Herbert Bay, Tinne Tuytelaars και Luc Van Gool, και παρουσιάστηκε στο 9^ο συνέδριο του European Conference on Computer Vision (ECCV) 2006. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο, που όπως ο SIFT, περιλαμβάνει έναν ανιχνευτή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και έναν περιγραφέα, αλλά είναι υπολογιστικά απλούστερος.

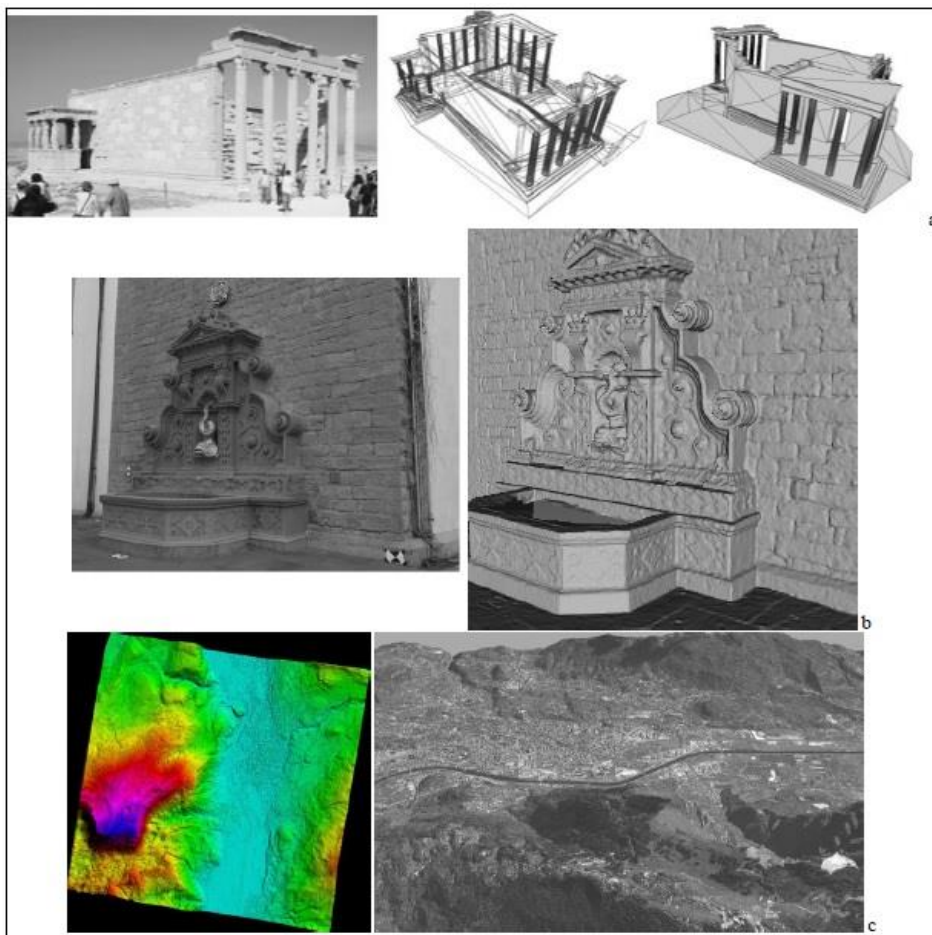
βήματα ή να υιοθετείται ένα σύνολο εικόνων κατάλληλων και για τις δύο διαδικασίες.

- *Πυκνή συνταύτιση εικόνων (Multiview stereo - MVS)*: Εδώ εμπίπτουν τεχνικές συνταύτισης όλων κατά το δυνατόν των pixel όλων των εικόνων, με τελικό προϊόν ένα πυκνό νέφος 3D σημείων της απεικονιζόμενης σκηνής (Καρκάλου, 2015). Υπάρχουν διεικονικές τεχνικές (stereo matching), με εν συνεχεία ευθυγράμμιση των επιμέρους σημειοσυνόλων, όσο και απευθείας πολυεικονικές μέθοδοι συνταύτισης (πχ. plane-sweep stereo).
- *Δομή από κίνηση (Structure from Motion, SfM και SfM/MVS)*: Η δομή από κίνηση αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων διαδικασιών και αφορά στη μεθοδολογία αναπαραγωγής της τρισδιάστατης γεωμετρίας από δισδιάστατες εικόνες. Το πυκνό νέφος σημείων χρησιμοποιείται για τον τριγωνισμό της επιφάνειας του μοντέλου. Το πλέγμα τριγώνων που προκύπτει αποτελεί τη βάση για την περαιτέρω επεξεργασία του 3D μοντέλου. Στον τομέα της Όρασης Υπολογιστών υπάρχουν ικανοί αλγόριθμοι, που από διαδοχικές λήψεις εικόνων και χωρίς την εκ προτέρων γνώση είτε της μηχανής, είτε του αντικειμένου, μπορούν να δημιουργήσουν φωτορεαλιστικά τρισδιάστατα μοντέλα με φωτοϋφή (Πέτσα, 2007).

Όπως αναφέρει ο Remondino (2014), το μεγαλύτερο όφελος από τις πρόσφατες εξελίξεις στην όραση υπολογιστών για την φωτογραμμετρία αποτελεί η συνεχής ανάπτυξη νέων αυτοματοποιημένων αλγορίθμων ανάλυσης εικόνας και μεθόδων 3D ανακατασκευής, που έχουν υιοθετηθεί από τη φωτογραμμετρική κοινότητα για να αυτοματοποιήσουν τα περισσότερα από τα βήματα της διαδικασίας τρισδιάστατης μοντελοποίησης.



Εικόνα 61. (Αριστερά) Ένα τυπικό επίγειο δίκτυο εικόνων για βαθμονόμηση μηχανής, (Δεξιά) Ένα σύνολο επίγειων εικόνων για τρισδιάστατη ανακατασκευή.



Εικόνα 62. Διάφοροι τύποι ανακατασκευής. (α) 3D ανακατασκευή αρχιτεκτονικών κατασκευών με χειροκίνητο χειρισμό για τη δημιουργία ενός απλού 3D μοντέλου με τα κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, (b) Πυκνή τρισδιάστατη ανακατασκευή μέσω αυτόματης συνταύτισης εικόνας, (c) Ψηφιακή παραγωγή μοντέλου DSM από δορυφορικές εικόνες για τρισδιάστατη οπτικοποίηση του τοπίου.

E.1.4. Διαδικασία Μετρήσεων και Επεξεργασία

Τα αποτελέσματα των σαρώσεων όσο και της φωτογραμμετρικής συλλογής είναι νέφη σημείων (Point Clouds) με συντεταγμένες στον χώρο (x,y,z) , ενώ οι σημερινές τεχνολογίες συνδυάζουν και τη λήψη άλλων στοιχείων, και κυρίως χρωματικής πληροφορίας. Έτσι, το ληφθέν νέφος σημείων μπορεί να θεωρηθεί ως εικόνα που σε κάθε pixel της, πέραν των συντεταγμένων (x,y,z) , περιλαμβάνει και τιμές χρώματος (R,G,B).

Ως διαδικασία, τα βασικά βήματα είναι:

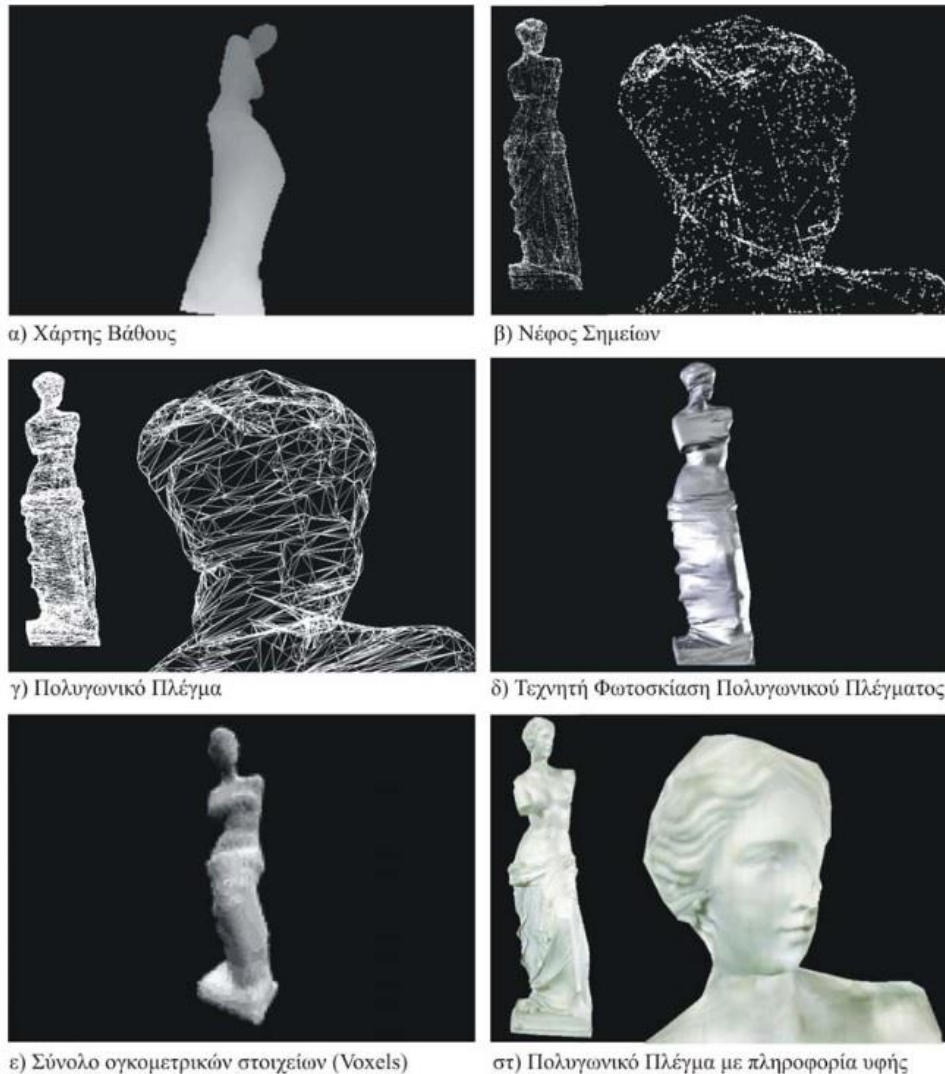
1. Προεργασία: Περιλαμβάνεται η ίδρυση επίγειων σημείων ελέγχου αν ο αρχαιολογικός χώρος ή το μνημείο πρόκειται να ενταχθεί σε γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Όπου δεν απαιτείται γεωαναφορά μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλά φωτοσταθερά σημεία σε κάποιο σύστημα ή, κατά περίπτωση, απλώς δεδομένα κλίμακας.
2. Λήψη και οργάνωση γεωμετρικών δεδομένων: στην περίπτωση των σαρωτών περιλαμβάνει τη σάρωση του αντικειμένου και την απόκτηση των νεφών σημείων. Στην περίπτωση πολυεικονικής προσέγγισης περιλαμβάνεται εδώ ή επίλυση του φωτοτριγωνισμού (αυτόματη πολυεικονική συνόρθωση δέσμης) και η πυκνή συνταύτιση εικόνων για τη δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων της συνολικής επιφάνειας. Αυτή μπορεί να έχει σωστή κλίμακα και προσανατολισμό (εάν στον φωτοτριγωνισμό έχουν χρησιμοποιηθεί και φωτοσταθερά), άλλως τα φωτοσταθερά θα χρησιμοποιηθούν σε 3D μετασχηματισμό ομοιότητας ή απλώς θα αποδοθεί μόνο η κλίμακα εφόσον αυτό αρκεί. Αντιθέτως, στην περίπτωση των σαρώσεων το αποτέλεσμα είναι ανεξάρτητα επικαλυπτόμενα νέφη σημείων, τα οποία πρέπει να “ευθυγραμμιστούν” (alignment) σε ενιαίο νέφος. Η συνένωση διαδοχικών σαρώσεων πραγματοποιείται είτε με ειδικούς στόχους (επίπεδους ή σφαιρικούς) αναφοράς είτε χωρίς σημασμένα σημεία με τεχνικές συνταύτισης επιφανειών, με τεχνικές όπως ο διαδομένος αλγόριθμος Iterative Closest Point (ICP) (Λαμπριανίδης, 2015), που αποτελεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο συνταύτισης δύο εν μέρει ίδιων νεφών σημείων.
3. Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος – 3D τριγωνισμός της επιφάνειας (δημιουργία 3D Mesh).
4. Μετεπεξεργασία: περιλαμβάνει την επεξεργασία και βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων (πύκνωση ή απλοποίηση των σημείων και του μοντέλου, ανάλογα με το είδος του αντικειμένου μελέτης, απαλοιφή των ασυνεχειών,

διόρθωση ασυνέπειας των πολυγωνικών επιφανειών). Αυτές οι ενέργειες απαιτούνται τουλάχιστον για δύο λόγους: (1) Εάν το τελικό 3D μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί για εικονικές παρουσιάσεις σε πραγματικό χρόνο ή στατικές αποδόσεις, η έλλειψη ακόμη και λίγων πολυγώνων δεν υποστηρίζει επαρκώς την υφή ή τη σκίαση των υλικών, δημιουργώντας ένα υποβαθμισμένο αποτέλεσμα που μπορεί και να ακυρώσει την προσπάθεια μοντελοποίησης. (2) Εάν το μοντέλο ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία φυσικών αντιγράφων μέσω ταχείας δημιουργίας πρωτοτύπων, το πλέγμα πρέπει να είναι «στεγανό». Μπορεί ακόμα να πραγματοποιηθεί και επιλεκτική χρήση φίλτρων ομαλοποίησης (smoothing) ή απλοποίησης (simplification) του μοντέλου, που θα μειώσει τον αριθμό των τριγώνων, λαμβάνοντας υπόψη και τον όγκο των δεδομένων.

5. Απόδοση φωτοϋφής (Texture Mapping) και παραγωγή τελικού τρισδιάστατου μοντέλου. Ένα πολυγωνικό τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί να απεικονιστεί σε μορφή wireframe, shaded (σκίαση) ή textured (με υφή). Συχνά επιλέγεται η απεικόνιση με υφή, αφού συνδυάζει πλήρη γεωμετρική απεικόνιση και εμφάνιση και επιτρέπει απεριόριστη διαδραστική οπτικοποίηση και χειρισμό σε μια ποικιλία συνθηκών φωτισμού. Τα δεδομένα 3D μπορούν να είναι σε μορφή σημείων ή τριγώνων (mesh) σύμφωνα με τις εφαρμογές και τις απαιτήσεις κάθε εργασίας. Η πολυεικονική απόδοση φωτοϋφής στην φωτογραμμετρία επηρεάζεται από παράγοντες όπως η βαθμονόμηση της μηχανής λήψης, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη συννοημένη δέσμη, την ένταξή της στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, καθώς και από τις συνθήκες φωτισμού (Πέτσα, 2007). Στις εφαρμογές Computer Graphics, η υφή μπορεί επίσης να αποδοθεί με τεχνικές ικανές να τροποποιήσουν γραφικά την παραγόμενη τρισδιάστατη γεωμετρία (displacement mapping) ή να προσομοιώσουν τις ανωμαλίες της επιφάνειας χωρίς να επηρεάσουν τη γεωμετρία (bump mapping, normal mapping, parallax mapping).

Στην Εικ. 63 φαίνονται ενδεικτικά τα διάφορα στάδια για την αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών στην περίπτωση ενός αγάλματος. Στο (α) φαίνεται ένας χάρτης βάθους (depth map): πρόκειται για τον απλούστερο τρόπο τρισδιάστατης αναπαράστασης της επιφάνειας ενός αντικειμένου. Αποτελεί μια δισδιάστατη εικόνα στην οποία κάθε pixel της παίρνει μια χρωματική τιμή από τις διαβαθμίσεις του γκρι σε συνάρτηση με την απόστασή του κάθε σημείου από τον αισθητήρα. Στο (β) φαίνεται το άγαλμα ως νέφη σημείων, στο (γ) ως πολυγωνικό πλέγμα μετά από

τριγωνοποίηση, όπου κάθε κορυφή τριγώνου έχει γνωστές συντεταγμένες. Με φωτοσκίαση του πλέγματος της επιφάνειας μπορούν να αναδειχθούν οι λεπτομέρειές της (δ). Στο (ε) φαίνεται το ίδιο τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο απεικονίζεται όμως με ογκομετρικά ριxel [voxel, τα οποία αναφέρονται στον τρισδιάστατο χώρο, όπως κατ' αντιστοιχία τα ριxel αφορούν τον δισδιάστατο χώρο]. Τέλος, στο (στ) το άγαλμα έχει αποδοθεί με χαρτογραφημένη την υφή στα τρίγωνα (DIGITECH III, 2005).



Εικόνα 63. Μέθοδοι απεικόνισης τρισδιάστατων δεδομένων (DIGITECH III, 2005).

Ε.1.5. Παράδειγμα: 3D απόδοση με λήψεις από UAV

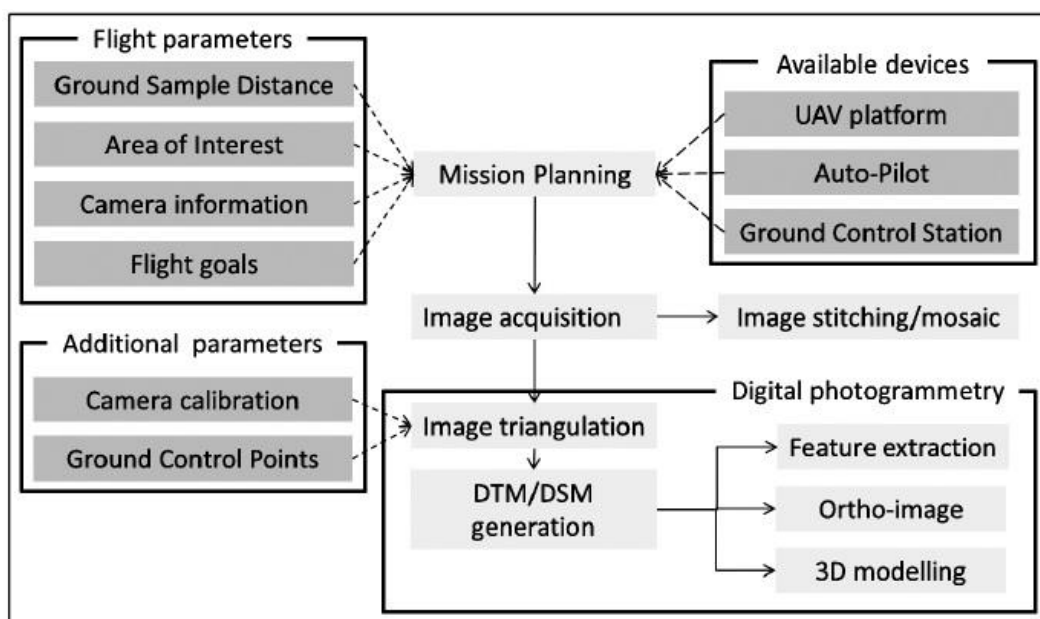
Ο σχεδιασμός για τη λήψη δεδομένων ξεκινά από το προγραμματισμό σε επίπεδο γραφείου με ειδικό λογισμικό, αφού πρώτα μελετηθεί η περιοχή ενδιαφέροντος και καθοριστεί η ζητούμενη ακρίβεια ή το μέγεθος της εδαφοψηφίδας (Ground Sample Distance, GSD) και οι εσωτερικές παράμετροι της μηχανής λήψης.

Η πυκνότητα και η απόσταση φωτογράφησης εξαρτώνται από τη ζητούμενη μετρητική ακρίβεια. Αν το ζητούμενο είναι ένα λεπτομερές 3D μοντέλο, οι λήψεις οφείλουν να έχουν μεγάλο ποσοστό επικαλύψεων και οι πτήσεις να είναι από μικρό υψόμετρο. Το μέγεθος GSD αντιπροσωπεύει την ανάλυση επί του εδάφους εκφρασμένη στην απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο γειτονικών pixels επί του εδάφους.

Για την αυτόνομη πτήση (απογείωση, πλοήγηση και προσγείωση) χρησιμοποιούνται συνήθως αισθητήρες πλοήγησης GNSS / INS. Επίσης, η χρήση συστημάτων GNSS / INS χρησιμοποιείται και για τον προγραμματισμό των λήψεων εικόνων, για την απόκτηση μιας κανονικής διάταξης εικόνων λήψης.

Η πλατφόρμα UAV ελέγχεται από τον σταθμό επίγειου ελέγχου (Ground Control Station, GCS) και εμφανίζει δεδομένα πτήσης σε πραγματικό χρόνο, όπως θέση, ταχύτητα, ύψος πτήσης, δεδομένα GNSS, κατάσταση μπαταρίας ή καυσίμου, ταχύτητα στροφείων κ.λπ.

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται μια ροή εργασιών για αεροφωτογράφιση με UAV.



Εικόνα 64. Διάγραμμα τυπικής ροής εργασιών για λήψη & επεξεργασία εικόνων (UAV) (Remondino & Campana, 2014).

Σύμφωνα με τον Remondino (2014), η βαθμονόμηση της μηχανής και ο προσανατολισμός των εικόνων είναι δύο θεμελιώδεις προϋποθέσεις για οποιαδήποτε ανακατασκευή μετρήσεων από εικόνες. Σε μετρικές εφαρμογές, θα προτείνει γενικά να προτιμάται ο διαχωρισμός των δύο εργασιών. Εάν δεν απαιτείται υψηλή ακρίβεια μπορούν να υπολογιστούν ταυτόχρονα με την επίλυση

μιας αυτόματης βαθμονόμησης. Στη διαδικασία πραγματοποιείται εξαγωγή κοινών χαρακτηριστικών (ομόλογων σημείων ή σημείων συνταύτισης), ορατών σε όσο το δυνατόν περισσότερες εικόνες, ακολουθούμενη από μια συνόρθωση δέσμης, δηλαδή μια μη γραμμική διαδικασία βελτιστοποίησης.

Η αναγνώριση των ομόλογων σημείων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε από χειριστή, είτε μέσω λογισμικών που χρησιμοποιούν αλγόριθμους της υπολογιστικής όρασης (πολυεικονική μέθοδος MVS/SfM). Τέτοια λογισμικά είναι τα εμπορικά, λ.χ. το Agisoft PhotoScan, το PhotoModeler Scanner, το Pix4D κ.ά. Εκτός από τα εμπορικά υφίστανται κάποια δωρεάν λογισμικά (λ.χ. τα Photosynth και 123Dcatch), καθώς και λύσεις ανοιχτού κώδικα (VisualSfM, Bundler), τα οποία όμως σε μεγάλες εργασίες πολύπλοκων μπλοκ εικόνων με μεταβλητές γραμμές βάσης και κλίμακα εικόνας δεν είναι πλήρως αξιόπιστα. Εάν έχουν ληφθεί δεδομένα GNSS / INS μπορούν να βοηθήσουν στην αυτόματη εξαγωγή σημείων σύνδεσης (tie points) και μπορούν να επιτρέψουν την άμεση γεωαναφορά των εικόνων. Εάν δεν διατίθεται ή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα εντοπισμού θέσης πλοήγησης λόγω γεωμορφολογίας ή διακοπτόμενου σήματος, η φάση του προσανατολισμού πρέπει να εδράζεται σε μια προσέγγιση βασισμένη στην εικόνα, οπότε και απαιτείται η χρήση φωτοσταθερών (GCP). Για την έμμεση γεωαναφορά, υπάρχουν δύο τρόποι:

1. Η εισαγωγή τουλάχιστον τριών σημείων επίγειου ελέγχου στη φάση της συνόρθωσης της δέσμης.
2. Η προσέγγιση ελεύθερου δικτύου και εφαρμογή μόνο στο τέλος ενός μετασχηματισμού ομοιότητας για να εκφραστούν τα αποτελέσματα του δικτύου εικόνων στο επιθυμητό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Οι δύο προσεγγίσεις δεν είναι πάντως ισοδύναμες και μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Στην Εικ. 65 φαίνεται ενδεικτικά μια εφαρμογή των Remondino & Campana (2014) έως τη φάση προσανατολισμού των εικόνων λήψης, όπου χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός λήψεων επίγειων και μέσω UAV (κάθετες και πλάγιες). Στη διαδικασία προσανατολισμού εισήχθησαν ταυτόχρονα οι επίγειες εικόνες και οι αεροφωτογραφίες (περίπου 190) και παρήχθη ένα ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) για σκοπούς τεκμηρίωσης και οπτικοποίησης.

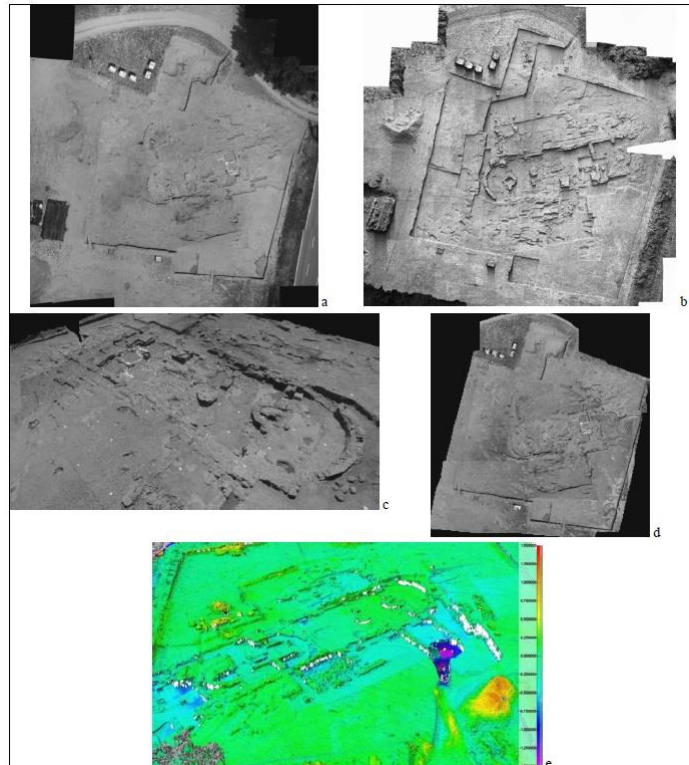


Εικόνα 65. Εφαρμογή (Remondino & Campana, 2014)

Μετά από τον φωτοτριγωνισμό, μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάπλαση της επιφάνειας και η δημιουργία ορθοφωτογραφιών. Από το αραιό νέφος μπορούν να προκύψουν χαρακτηριστικά σημεία αντικειμένων, ενώ από την πυκνή συνταύτιση μπορεί να οριστεί η επιφάνειά του. Για τη δημιουργία ορθοφωτογραφιών απαιτείται ένα πυκνό νέφος σημείων. Ομοίως και για την τρισδιάστατη ανακατασκευή σε αρχαιολογικές εφαρμογές.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται μια εφαρμογή³⁹ από λήψη 40 εικόνων με UAV. Στόχος της εφαρμογής ήταν η παρακολούθηση των ανασκαφών και εκσκαφών και η παραγωγή ψηφιακών μοντέλων επιφανείας για εφαρμογές σε σύστημα GIS.

³⁹ Η εφαρμογή αυτή αναφέρεται στον αρχαιολογικό χώρο Pava στη Σιένα (Ιταλία), έκτασης περίπου 60x50 m², που ερευνάται στην αρχή και τέλος κάθε περιόδου ανασκαφών για την παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου, τον υπολογισμό του όγκων εκσκαφών και την παραγωγή πολλαπλών ορθοεικόνων της περιοχής. Η αποτύπωση πραγματοποιήθηκε με UAV (Microdrone MD4-200) σε ύψος πτήσης 35 m για την επίτευξη GSD 1 cm. Εκτός από τα φωτοσταθερά μετρήθηκαν και σημεία για τον έλεγχο του αποτελέσματος.



Εικόνα 66. Αποτελέσματα επεξεργασίας. Ένα μωσαϊκό της περιοχής ανασκαφής από εικόνες από UAV (a). Το παραγόμενο DSM εμφανίζεται ως σκιασμένο (b) και με υφή (c) και η παραγόμενη ορθο-εικόνα (d). Εάν είναι διαθέσιμες εικόνες από διαφορετικές χρονικές στιγμές, οι διαφορές των DSM μπορούν να υπολογιστούν για την εκτίμηση των όγκων εκσκαφής (ε) (Remondino & Campana, 2014).

Ε.1.6. Τηλεπισκόπηση

Στις μεθόδους συλλογής δεδομένων πρέπει να γίνει, για λόγους πληρότητας, αναφορά και στην τηλεπισκόπηση, ένα πεδίο συναφές με την φωτογραμμετρία (Lazaridou & Patmios, 2012), καθώς και εδώ πρόκειται για άντληση πληροφοριών από εικόνες.

Έτσι, κατά τους De Jong et al. (2014) η τηλεπισκόπηση αναφέρεται στη λήψη πληροφοριών σχετικά με αντικείμενα ή περιοχές χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φως) χωρίς να βρίσκεται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο ή την περιοχή. Η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί εικόνες με φασματικά κανάλια στο ορατό, το υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Σημαντική δραστηριότητα της τηλεπισκόπησης σχετίζεται με τις δορυφορικές εικόνες. Σήμερα υπάρχουν διάφορα είδη δορυφόρων σε τροχιές γύρω από τη Γη, οι οποίοι φέρουν ποικίλους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται, μεταξύ άλλων, για την περιβαλλοντική παρακολούθηση. Ορισμένοι φέρουν οπτικούς αισθητήρες, άλλοι θερμικούς, έως και την πιο πρόσφατη εκδοχή των υπερφασματικών αισθητήρων. Γενικά, υπάρχουν παθητικά συστήματα που καταγράφουν τη “φυσική” ακτινοβολία

αλλά και ενεργητικά, τα οποία καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που συνήθως εκπέμπονται από το ίδιο το όργανο καταγραφής, ανακλώνται και επιστρέφουν, οπότε και καταγράφεται η «ηχώ» τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου οργάνου είναι τα Radar (Παρχαρίδης, 2015). Οι δορυφόροι δημιουργούν πλήθος δεδομένων (εικόνων) που πλέον είναι σχετικώς εύκολα προσβάσιμα. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα επιτρέπουν, μεταξύ πολλών άλλων, την αναγνώριση και αξιολόγηση επιφανειακών υλικών είτε των χωρικών τους ιδιοτήτων.

Ειδικότερα, ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DEM). Όσον αφορά, γενικότερα, τη χρήση της τηλεπισκόπησης στην αρχαιολογία και τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση ή και καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς, πληροφορίες αρχαιολογικής φύσης μπορούν να εξαχθούν από δορυφορικά δεδομένα με τη χρήση πχ.:

- υπέρυθρων εικόνων [καθώς η υπέρυθρη ακτινοβολία έχει τη δυνατότητα εισχώρησης και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (έως και ένα μέτρο περίπου) επειδή διαθέτει μεγάλα μήκη κύματος],
- στερεοσκοπικών ζευγών εικόνων.

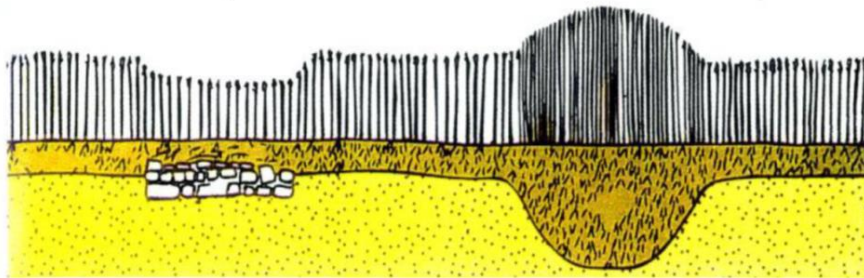
Όταν σε μια περιοχή υπάρχουν ενδείξεις ύπαρξης αρχαιοτήτων που προκύπτουν από άλλες πηγές (ιστορικά κείμενα και περιγραφές) τότε, σε συνδυασμό με τηλεπισκοπική έρευνα και γνώση των γεωλογικών δεδομένων της περιοχής, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα ως κίνητρα για την περαιτέρω έρευνα των υποδεικνυόμενων θέσεων με τη μορφή δειγματοληπτικών ανασκαφών, πριν από οποιαδήποτε οργανωμένη προσπάθεια ανασκαφής⁴⁰. Ενδείξεις μπορεί να αποτελούν είτε χρωματικές διαφοροποιήσεις ή τονικές διαφορές είτε μορφές συγκεκριμένου σχήματος και το μέγεθός τους είτε η υφή και η τυποποίηση

⁴⁰ Η ανασκαφή είναι η πιο γνωστή και η περισσότερο χρησιμοποιούμενη τεχνική στην επιστήμη της αρχαιολογίας. Στη σύγχρονη αρχαιολογική πρακτική είναι δυνατόν να εφαρμοστούν εξειδικευμένες τεχνικές γεωγραφικής διασκόπησης και ακριβούς χαρτογράφησης, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αρχαιολογικού τόπου και την εδαφική σύσταση.

Υπάρχουν τρεις τύποι σύγχρονης αρχαιολογικής ανασκαφής:

- Συστηματική (ερευνητική) ανασκαφή: όπου διατίθεται ο χρόνος και οι πόροι για την πλήρη ανασκαφή του πεδίου με συστηματικό τρόπο.
- Αναπτυξιακή ανασκαφή: όταν το πεδίο απειλείται κυρίως από την οικιστική ανάπτυξη.
- Σωστική ανασκαφή: όταν το πεδίο έχει διαταραχθεί λόγω διάβρωσης ή εκσκαφών τεχνικών κατασκευών. Σε αυτή την περίπτωση η ανασκαφή αποσκοπεί στον περιορισμό της καταστροφής.

οντοτήτων ή ιχνών⁴¹. Όμως, όπως έχει επανειλημμένα παρατηρηθεί σε σχετικές έρευνες, ισχυρές ενδείξεις ύπαρξης αρχαιοτήτων προκύπτουν κυρίως από μεταβολές στην ανάπτυξη ή τη φωτεινότητα της βλάστησης. Έτσι, εάν υφίστανται αρχαία κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζεται η υπέργεια φυτοκάλυψη (όπως φαίνεται στην Εικ. 67). Όπως αναφέρει ο Παρχαρίδης (2015), σε μια μελέτη του ΑΠΘ που αφορούσε την αξιολόγηση σχετικής χρήσης εικόνων Quickbird εντοπίστηκε ένα μικρό τμήμα της αρχαίας Εγνατίας Οδού (Εικ. 68). Για την εύρεση αρχαιοτήτων πρόσφορες κρίνονται οι απεικονίσεις στο θερμικό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, δεδομένου ότι εκεί η απόκριση της βλάστησης είναι ιδιαίτερα υψηλή. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των δορυφορικών εικόνων είναι ότι αυτές κατά κανόνα απεικονίζουν ευρύτερες περιοχές που επιτρέπουν συνολικότερη εικόνα της περιοχής και των χαρακτηριστικών της. Το 2001 επετεύχθη συνεργασία της UNESCO με την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA) για την εισαγωγή της διαστημικής τεχνολογίας στην παρατήρηση και καταγραφή τοποθεσιών πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 67. Πώς επηρεάζεται η φυτοκάλυψη από την ύπαρξη αρχαιοτήτων (Παρχαρίδης (2015)).



Εικόνα 68. Σύγκριση εικόνων Quickbird [εικόνα ορθομωσαϊκού (αριστερά) και συγχωνευμένης δορυφορικής εικόνας Quickbird] (Παρχαρίδης (2015)).

⁴¹ "Η τυποποίηση οντοτήτων ή ιχνών αφορά ένα είδος ταξινόμησης για συγκεκριμένους τύπους μορφών. Εάν ο ερμηνευτής έχει εκπαιδευτεί στην αναγνώριση αρχαίων τύπων, τότε η διαδικασία της ερμηνείας διευκολύνεται αισθητά, πχ. η αναγνώριση ταφικών τύπων ή τύπων οχύρωσης". (Παρχαρίδης, 2015).

E.1.7. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Τέλος, σχετικά με το θέμα της παρούσας εργασίας είναι και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems – GIS), λογισμικά που αξιοποιούν τις δυνατότητες των υπολογιστών για αποθήκευση, ανάλυση, διαχείριση, παρουσίαση και σύνθεση δεδομένων που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τη γεωγραφική πληροφορία. Αποτελούνται από τρία τμήματα, τη γεωγραφική παρουσίαση των δεδομένων με μορφή χαρτών, τη βάση δεδομένων όπου καταχωρίζονται όλες οι πληροφορίες (γεωμετρικές και περιγραφικές) και τη γλώσσα προγραμματισμού (Ευελπίδου & Αντωνίου, 2015). Σύμφωνα με τους Κάβουρα κ.ά. (2016), *“τα χωρικά δεδομένα ενός GIS αφορούν χωρικές ή αλλιώς γεωγραφικές οντότητες. Οι γεωγραφικές οντότητες είναι οι βασικότερες οντότητες για τις οποίες συλλέγονται δεδομένα σε ένα GIS. Οι γεωγραφικές οντότητες μπορούν να οριστούν ως οντότητες οι οποίες καταλαμβάνουν κάποια θέση ή έκταση στο χώρο ή έχουν κάποια χωρικά χαρακτηριστικά”*. *“Οι γεωγραφικές οντότητες ορίζονται με βάση τα παρακάτω θεμελιώδη στοιχεία: τη γεωγραφική τους θέση (απόλυτη ή σχετική θέση των χωρικών δεδομένων), τα χωρικά χαρακτηριστικά (γεωμετρία), τις χωρικές σχέσεις με άλλες οντότητες (τοπολογία), τα θεματικά τους χαρακτηριστικά”*. Τα GIS αντιπροσωπεύουν ένα ισχυρό εργαλείο για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου (Σκαμαντζάρη, 2015).

Τα GIS παρέχουν εργαλεία για να συνδυάσουν ετερογενή (από διαφορετικές πηγές) χωρικά δεδομένα και να τα εμφανίσουν από κοινού μέσω γεωαναφοράς ή υπέρθεσης: πχ. δεδομένα διανυσματικής ή ψηφιδωτής μορφής (raster), δορυφορικά δεδομένα, ψηφιακά μοντέλα εδάφους, δεδομένα GPS, νέφη σημείων (προϊόντα εναέριων ή επίγειων σαρώσεων laser) κ.ά. Έπειτα, δίνουν δυνατότητες εξαγωγής ποσοτικών αλλά και ποιοτικών πληροφοριών, δημοσιοποίησης και διανομής. Βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς, μεταξύ άλλων βέβαια και στην αρχαιολογία, όπου η σύνθεση των ποικίλων δεδομένων που αφορούν μια περιοχή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος ή πολιτιστικής κληρονομιάς – πέραν από την σημασία της καταγραφής σε μία ενιαία βάση δεδομένων όλης της πληροφορίας – μπορεί να οδηγήσει τους αρχαιολόγους σε καλύτερη ερμηνεία σχετικά με τον πεδίο αρμοδιότητάς τους.

Επιπλέον, τα λογισμικά GIS έχουν δυνατότητα διαχείρισης της 3D πληροφορίας αλλά και της μεταβλητής του χρόνου (4D), οπότε ο συνδυασμός συστημάτων GIS και εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας για την έρευνα και οπτικοποίηση

ανακατασκευών τοπίων και αστικών τοποθεσιών (όπως λ.χ. με αναλύσεις ορατότητας που επιτρέπουν τον προσδιορισμό όλων των περιοχών που είναι ορατές από μια δεδομένη θέση ή από ένα δεδομένο σύνολο θέσεων, με εφαρμογή σε ένα σύστημα AR) που υπήρξαν αλλά δεν διασώζονται, αλλά και η εικονική ανακατασκευή κτιρίων, αφορούν άμεσα την πολιτιστική κληρονομιά.

Τα GIS διευκόλυναν την αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ όλων των ειδών των εγγράφων, παρατηρήσεων μετρήσεων ή φαινομένων, εφόσον μπορούν να αναπαρασταθούν με τον έναν ή τον άλλο τρόπο από την άποψη των γεωγραφικών συντεταγμένων. Το GIS έχει δώσει ώθηση για καινοτόμες μεθόδους μέτρησης και τεκμηρίωσης και, ως εκ τούτου, έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη μεθοδολογιών και τεχνολογιών για τη δημιουργία δεδομένων που μπορεί κανείς να διαχειρίζεται, να οπτικοποιεί και να ενσωματώνει με άλλες πηγές πληροφοριών, ώστε να μεγιστοποιείται το αποτέλεσμα μέσω ανάλυσης και επικοινωνίας σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον (Remondino & Campana, 2014).

E.1.8. Εικονική Αρχαιολογία

Σκοπός της παραδοσιακής αρχαιολογίας είναι η κατανόηση της εξέλιξης του πολιτισμού με την ανάδειξη διαφόρων πλευρών της ανθρώπινης δημιουργίας, όπως αυτές προκύπτουν από τα ευρήματα των ανασκαφών.

Σύμφωνα με τον αρχαιολόγο Κουρτζέλη (2008), *«η αναπαράσταση τοποθεσιών με αρχαιολογικό και ιστορικό ενδιαφέρον, αντικειμένων και τοπίων του παρελθόντος με τη βοήθεια υπολογιστή και προγραμμάτων τρισδιάστατων γραφικών, ονομάζεται «εικονική αρχαιολογία»⁴². Η έννοια του εικονικού δηλώνει ότι πρόκειται για ένα αντίγραφο, ένα υποκατάστατο, ένα τρισδιάστατο μοντέλο, που στις περισσότερες περιπτώσεις αναπαριστά κάτι που πλέον δεν υπάρχει στην εποχή μας, αλλά υπήρξε στο παρελθόν».*

Αναφέρει πως *«οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις συμπληρώνουν τις επιστημονικές δημοσιεύσεις, παρέχουν πολύ δυνατές εικόνες, ενισχύουν το εκτενές κείμενο και την παραδοσιακή σχεδιαστική αποκατάσταση»* και πως η οπτική απεικόνιση βοηθά τον επιστήμονα αλλά και τον χρήστη στην καλύτερη ερμηνεία και κατανόηση του αντικειμένου, ενώ ο επιστήμονας έχει να αποκομίσει δυνατότητες περαιτέρω διερεύνησης αλλά και επεξεργασίας και διαρκούς βελτίωσης-συμπλήρωσης με νέα δεδομένα και σημειώνει ότι *«Ένα αναλυτικό εικονικό μοντέλο ενός μνημείου ή ενός*

⁴² Ο όρος προτάθηκε για πρώτη φορά το 1990 από τον Paul Reilly.

αρχαιολογικού χώρου έχει επιστημονική αξία μόνο εάν μέσα από τις λεπτομέρειες που προβάλλονται μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση και στην επίλυση επιστημονικών προβλημάτων».

Ο ίδιος συμπληρώνει το 2009: «Η «Εικονική Αρχαιολογία»⁴³ αποτελεί ένα πεδίο με ευρεία εφαρμογή. Μεγάλα πανεπιστήμια και ερευνητικά εργαστήρια έχουν αναπτύξει πρωτοποριακές τεχνικές για την ψηφιακή οπτικοποίηση των αρχαιολογικών δεδομένων, που εγγυώνται απόλυτα την επιστημονική αναπαράσταση ενός μνημείου. Οι τρισδιάστατες ψηφιακές αναπαραστάσεις θεωρούνται από μεγάλη μερίδα των επιστημόνων σπουδαία εργαλεία μελέτης και οπτικής ερμηνείας του παρελθόντος, τα οποία αφενός μεν ενισχύουν την αρχαιολογική διαδικασία, αφετέρου δε φέρνουν πιο κοντά το ευρύ κοινό στην επιστήμη της αρχαιολογίας».

Η Εικονική Αρχαιολογία προσπαθεί λοιπόν να αναπαράγει το παρελθόν, χωρίς βέβαια να μπορεί να αποδώσει πλήρως την πολυπλοκότητα των αληθινών αντικειμένων, άρα απεικονίζει ό,τι συνέβη στο παρελθόν, παραμένοντας πάντα στη σφαίρα του δυνητικού.

Στον τομέα των τρισδιάστατων αναπαραστάσεων αρχαιολογικών χώρων, οι έννοιες «πραγματικότητα» και «αληθοφάνεια» έχουν εξέχουσα σημασία. Ο πρώτος όρος αφορά στην υφιστάμενη κατάσταση των πραγματικών στοιχείων ενός αρχαίου καταλοίπου. Ο όρος «αληθοφάνεια» δηλώνει ότι εμπεριέχονται και μη πραγματικά στοιχεία. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, θα πρέπει να διευκρινίζεται τί από ό,τι εμφανίζεται σε μια τρισδιάστατη ανακατασκευή είναι πραγματικό και τί συμπληρώθηκε στο πλαίσιο της αληθοφάνειάς του.

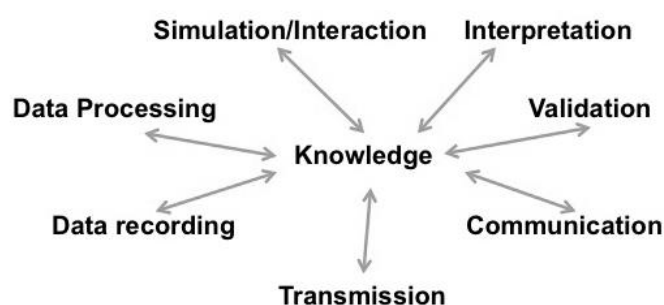


Εικόνα 69α & 69β. (Αριστερά) Ψηφιακή αναπαράσταση ιωνικού κίονα και θριγκού. Προσομοίωση ημερήσιου φωτός. (Δεξιά) Φωτορεαλιστική ψηφιακή αναπαράσταση Ερεχθείου (Κουρτζέλης, 2009).

⁴³ Ως «Εικονική Αρχαιολογία» μεταφράζεται ο όρος «Virtual Archaeology» του Reilly. Πρόκειται για την αναπαράσταση τοποθεσιών με αρχαιολογικό και ιστορικό ενδιαφέρον ή αντικειμένων και τοπίων του παρελθόντος με τη βοήθεια υπολογιστή και προγραμμάτων τρισδιάστατων γραφικών.

E.1.9. Εικονική πραγματικότητα και (κυβερνο)αρχαιολογία

Σύμφωνα με τον Maurizio Forte (βλ. Remondino & Campana, 2014) η διαδικασία ερμηνείας του παρελθόντος βασίζεται (βλ. Εικ. 70) στον ψηφιακό ερμηνευτικό κύκλο που συνδέει τις ικανότητες πληροφόρησης των ψηφιακών κόσμων με τη δημιουργία νέων γνώσεων και με τις πληροφορίες που επιτυγχάνονται μέσω της αλληλεπίδρασης αντίληψης-δράσης με το περιβάλλον. Μια γνώση που δημιουργείται από την ενέργεια-δράση, μέσω κινητικών δεξιοτήτων (πραγματικών ή εικονικών), οι οποίες σε εικονικούς κόσμους μπορούν να αντληθούν από χειρονομίες, απτικές διεπαφές, πλοήγηση 1^{ου} ή 3^{ου} προσώπου (όπου ο χρήστης παρατηρεί στις προβαλλόμενες εικόνες και το avatar του), πολυαισθητηριακή και πολυτροπική εμπύθιση κ.ο.κ.



Εικόνα 70. Ψηφιακός Ερμηνευτικός Κύκλος.

Τις τελευταίες δεκαετίες η έρευνα στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας περιοριζόταν στον βαθμό εμπύθισης και την αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο (τουλάχιστον 30/60 καρτέ ανά δευτερόλεπτο), ενώ σήμερα η πλειονότητα των εφαρμογών αναφέρονται σε πραγματικό χρόνο. Το δε ζήτημα της αυθεντικότητας των εικονικών κόσμων είναι αρκετά σύνθετο και συνδέεται στενά με την πολιτιστική μας παρουσία, τη γνώση και την αντίληψη του παρελθόντος. Αν θεωρούμε ένα εικονικό μοντέλο “ψεύτικο” ή πολύ τεχνητό, είναι επειδή δεν ταιριάζει με την πολιτιστική μας παρουσία. Δηλαδή το επίπεδο υλοποίησης οποιασδήποτε εφαρμογής μπορεί να καθορίσει την ποσότητα των πληροφοριών που αποκτά ένας χρήστης ή ένας παρατηρητής κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης του ψηφιακού χώρου.

Επίσης, σύμφωνα με τον ίδιο, στο παρελθόν η «Εικονική Αρχαιολογία» επιδόθηκε σε ανακατασκευές και την ανοικοδόμηση αρχαιολογικών μνημείων ως μέθοδος επικοινωνίας και ερμηνείας του παρελθόντος. Μέσω των γραφικών υπολογιστών επιχειρήθηκε η απόδοση τρισδιάστατων μοντέλων με αποτέλεσμα ένα στατικό,

φωτορεαλιστικό μοντέλο, που εμφανίζεται σε οθόνη ή σε βίντεο. Δεν εφαρμόστηκε όμως ως μια σχολαστική διαδικασία τεκμηρίωσης, επικύρωσης και επιστημονικής ανάλυσης και δεν περιείχε στοιχεία αλληλεπίδρασης ή διαδραστικότητας. Οι εικονικοί κόσμοι εμφανίζονταν μεν υπέροχοι, ρεαλιστικοί, αλλά ως άδειοι ψηφιακοί χώροι. Η δημιουργία ψηφιακών αρχαιολογικών μοντέλων επικεντρώθηκε στη διαφήμιση του παρελθόντος παρά στην ανακατασκευή του, με αποτέλεσμα τον σκεπτικισμό, διότι οι περισσότερες ανακατασκευές γραφικών έμοιαζαν πολύ τεχνητές, με γραφικές αποδόσεις προσανατολισμένες μάλλον περισσότερο στο να δείξουν τις δυνατότητες του λογισμικού παρά σε μια σωστή ερμηνεία των δεδομένων.

Η Κυβερνοαρχαιολογία (CyberArchaeology) επεξεργάζεται ψηφιακά χωρικά δεδομένα που έχουν ληφθεί με διάφορους τρόπους (σαρωτές laser, τηλεπισκόπηση, ψηφιακή φωτογραμμετρία, όραση υπολογιστή κ.λπ.) και προχωρά σε προσομοιώσεις από τις οποίες ανατροφοδοτείται η διαδικασία της ερμηνείας. Η προτεινόμενη ροή εργασιών της είναι:

- Λήψη δεδομένων (ψηφιακή)
- Επεξεργασία δεδομένων (ψηφιακή)
- Ψηφιακή είσοδος (από ψηφιακή σε ψηφιακή)
- Ψηφιακό αποτέλεσμα: εικονική πραγματικότητα και διαδραστικά περιβάλλοντα (ενεργή διαδικασία)

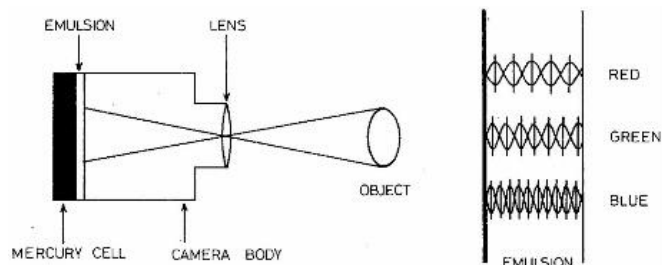
Η πιο σημαντική διάκριση μεταξύ εικονικής αρχαιολογίας και κυβερνοαρχαιολογίας είναι η εισαγωγή δεδομένων σχέσης ανατροφοδότησης-προσομοίωσης, δηλαδή ο διαδραστικός παράγοντας. Η εφαρμογή λύσεων ψηφιακής απεικόνισης για διάφορες δυνατότητες εξαγωγής χαρακτηριστικών, τεχνικών ανάλυσης δεδομένων εικόνας και τρισδιάστατης ανακατασκευής αρχαίων έργων τέχνης επιτρέπει τη δημιουργία πολυδιάστατων μοντέλων που μπορούν να ενσωματώσουν πληροφορίες που προέρχονται από ετερογενή σύνολα δεδομένων, ερευνητικά αποτελέσματα και ιστορικές πηγές (Neamțu et al., 2016).

E.10. Ολογραφία και πολιτιστική κληρονομιά

Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν και πολλές ολογραφικές προσεγγίσεις σε θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς, καθεμία από τις οποίες εστιάζει σε μια διαφορετική πτυχή της αναπαράστασης των ολογραφικών εκθεμάτων στο πραγματικό περιβάλλον.

Όταν καμία από τις άλλες ανθρώπινες αισθήσεις πλην της όρασης δεν έχει πρόσβαση σε ένα αντικείμενο (όπως στην περίπτωση των αντικειμένων που περιέχονται σε γυάλινες προθήκες των Μουσείων), είναι απολύτως αδύνατο για τον ανθρώπινο εγκέφαλο να κάνει τη διάκριση μεταξύ της παρουσίας του αρχικού αντικειμένου και του εικονικού του, εξαιρετικά ρεαλιστικού «Οπτικού Κλώνου» (όπως ονομάζεται τα ολόγραμμα), καθώς υπάρχουν όλα τα συνοδευτικά οπτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την καθημερινή όραση (όπως φυσικά χρώματα και αποχρώσεις, σκιές, αντανάκλασεις φωτός, αντίληψη βάθους, πλήρης παράλλαξη, προοπτική, εφέ καθρέφτη κ.λπ. (Πηγή: <http://www.hih.org.gr/el/institute.html>).

Η ολογραφία⁴⁴ (η θεωρία και η πρακτική της παραγωγής ολογραμμάτων) είναι μια φωτογραφική τεχνική τρισδιάστατης απεικόνισης αντικειμένων και προέρχεται από τις λέξεις «όλον» και «γράφειν». Ένα ολόγραμμα είναι μια φυσική καταγραφή ενός μοτίβου παρεμβολών που χρησιμοποιεί περίθλαση για την αναπαραγωγή ενός τρισδιάστατου φωτεινού πεδίου, με αποτέλεσμα μια εικόνα που διατηρεί το βάθος, με πλήρη παράλλαξη και άλλες ιδιότητες της αρχικής σκηνής. Ένα ολόγραμμα είναι μια φωτογραφική εγγραφή ενός πεδίου φωτός, παρά μια εικόνα που σχηματίζεται από έναν φακό. Το ολογραφικό μέσο, δηλαδή το αντικείμενο που παράγεται από μια ολογραφική διαδικασία ή αλλιώς ολόγραμμα, είναι συνήθως ακατανόητο όταν προβάλλεται υπό διάχυτο φως περιβάλλοντος. Είναι μια κωδικοποίηση του πεδίου που όταν φωτίζεται καταλλήλως, το μοτίβο παρεμβολής διασπά το φως σε μια ακριβή αναπαραγωγή του αρχικού πεδίου φωτός και τα αντικείμενα που βρίσκονταν σε αυτό εμφανίζουν οπτικά βάθη, όπως η παράλλαξη και η προοπτική, που αλλάζουν ρεαλιστικά με τη σχετική θέση του παρατηρητή και αποτελούν πραγματικά τρισδιάστατες εικόνες (Wikipedia).



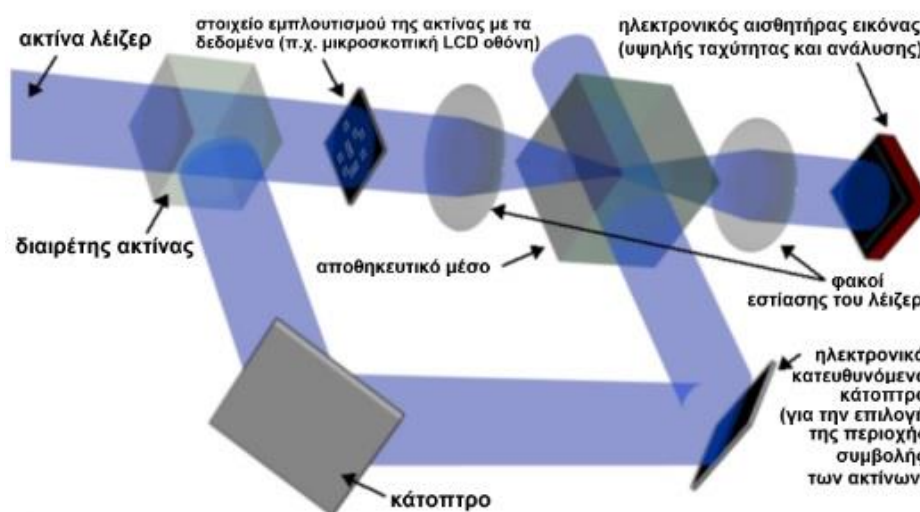
Εικόνα 71. Η τεχνική χρώματος του Gabriel Lippmann.

⁴⁴ Εφευρέθηκε από τον Ούγγρο-Βρετανό φυσικό Dennis Gabor το 1948. Του απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής (1971) "για την εφεύρεσή του και την ανάπτυξη της ολογραφικής μεθόδου". Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Holography>, (accessed 3/7/2020).
Σχετικοί ιστότοποι: HoloCenter <http://holocenter.org/> και Ελληνικό Ινστιτούτο Ολογραφίας <http://www.hih.org.gr/> & <http://www.hih.org.gr/el/ergasies.html>.

Για την επίτευξη της ολογραφίας απαιτείται η χρήση φωτός laser για τον φωτισμό του αντικειμένου και για την προβολή του ολοκληρωμένου ολογράμματος, όπου μπορεί να αναπαραχθεί με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας.

Η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει στο φως που προσπίπτει σε ένα αντικείμενο και συνέχεια ανακλάται να καταγράφεται με κατάλληλο τρόπο, ώστε στη συνέχεια να αναδομείται ένα ακριβές τρισδιάστατο είδωλο-αντίγραφο του αντικειμένου (Skamantzari & Georgopoulos, 2016).

“Κατά την ολογραφική αποθήκευση δεδομένων, μια δέσμη λέιζερ διαιρείται σε δύο ακτίνες, η μία εκ των οποίων φωτίζει την περιοχή του αποθηκευτικού μέσου, ενώ η δεύτερη, αφού πρώτα λάβει την προς αποθήκευση πληροφορία περνώντας μέσα από μια οθόνη υγρών κρυστάλλων, ή κάποια άλλη συσκευή μορφοποίησης της ακτίνας laser, κατευθύνεται στην περιοχή του μέσου που φωτίζει η πρώτη δέσμη. Στο σημείο συνάντησης των δύο ακτίνων, το φωτοευαίσθητο υλικό του μέσου αποθήκευσης μεταβάλλεται αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο, ανάλογα με τους κροσσούς συμβολής που δημιουργούνται από τη συμβολή των δύο ακτίνων. Για την ανάγνωση των αποθηκευμένων δεδομένων, μια δέσμη ακτίνων λέιζερ εστιάζεται στην περιοχή του μέσου όπου έχουν αποθηκευτεί τα δεδομένα και κατόπιν, έχοντας την πληροφορία από τα δεδομένα, προβάλλεται πάνω σε έναν αισθητήρα εικόνας (κάμερα)”. (DIGITECH, pp. 315-316).



Εικόνα 72. Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της ολογραφικής αποθηκευτικής συσκευής (DIGITECH III, 2005).

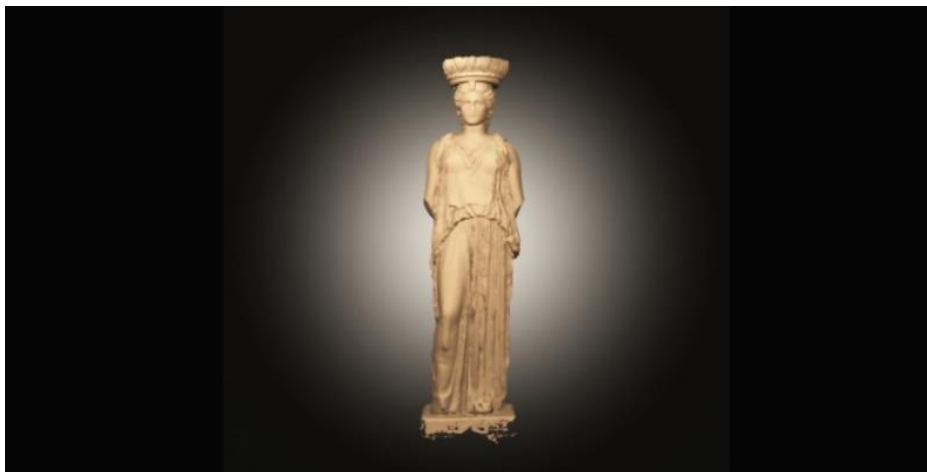
Ο θεατής ενός ολογράμματος ενός αντικειμένου έχει τη δυνατότητα να παρατηρήσει και να επεξεργαστεί το είδωλό του, τριών διαστάσεων, αλλάζοντας θέσεις γύρω από αυτό και παρατηρώντας το από διάφορες οπτικές γωνίες. Αυτό καθιστά δύσκολη τη διάκριση του πραγματικού αντικειμένου από το ολόγραμμα

του, επιπλέον δε γιατί οι ανακλάσεις του φωτός στην επιφάνεια του ολογράμματος αποδίδουν φωτοσκιάσεις, λεπτομερή απόδοση της επιφάνειάς του και της υφής των υλικών.

Η Εκθεματική Ολογραφία αφορά στη χρήση ολογραμμάτων ως μέσων καταγραφής και αναπαραγωγής για πιστά οπτικά αντίγραφα εκθεμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της αποτύπωσης ευρημάτων στους χώρους ανασκαφών και εκθεμάτων, με σκοπό την ακριβή καταγραφή και ασφαλή μελέτη τους. Ακόμη, μπορεί να πραγματοποιηθεί συμπλήρωση ελλιπών τμημάτων με χρήση ολογραμμάτων, είτε των πρωτότυπων που βρίσκονται σε κάποιο άλλο μουσείο είτε εικονικών ψηφιακών αρχείων καθώς η ολογραφική συμπλήρωση δεν αλλοιώνει τον χαρακτήρα τους και δεν υπάρχει κίνδυνος για το πρωτότυπο. Επιπλέον, δύναται να δημιουργηθούν εκμαγεία των αρχαιολογικών ευρημάτων είτε για τη δημιουργία νέων είτε για την επιδιόρθωση κλασικών εκμαγείων.

Μία ακόμη χρήση της Εκθεματικής Ολογραφίας μπορεί να είναι η παραγωγή αναμνηστικών ολογραμμάτων, όπου συνδυάζονται μικρό σχετικά κόστος παραγωγής και ιδιαιτέρως καλή ποιότητα αναπαραγωγής για όποιον θελήσει να αποκτήσει ένα τέτοιο αναμνηστικό. Δίνει δε την ευκολία παραγωγής πολλαπλών αντιγράφων με ποικιλία διαστάσεων.

Τέλος, αποτελεί έναν ξεχωριστό τρόπο για να εντυπωσιάσει τους επισκέπτες ενός μουσείου ή αρχαιολογικού χώρου και να συντελέσει θετικά στη δημοσιότητά τους.



Εικόνα 73. Η 5^η Καρυάτις από την Ακρόπολη των Αθηνών, που μοντελοποιήθηκε αρχικά σε χαμηλή ανάλυση για κοινόχρηστες εφαρμογές. Υπέστη στη συνέχεια κατάλληλη στερεοσκοπική επεξεργασία με πρόσθεση οπίσθιου φωτισμού για ενίσχυση της τρισδιάστατης εντύπωσης. Με χρήση των συνηθισμένων κόκκινων/μπλε βοηθητικών γυαλιών μπορεί να αποκτηθεί στερεοσκοπική εντύπωση. Πηγή: <http://www.hih.org.gr/el/ergasies.html>.

E.11. Παραδείγματα εφαρμογών στον τομέα του πολιτισμού

Η ανάπτυξη των συστημάτων AR στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς βασίζεται στο ότι πολλές από αυτές τις πρωτοβουλίες προέκυψαν από τα πρώτα έργα AR και VR που χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις αρχές της δεκαετίας του 2000, όπως τα Liferplus, Archeoguide και Αρχαία Πομπηία (Luna et al., 2019).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδότησε μεταξύ άλλων τα εξής προγράμματα:

- 2000-2003: το 3D Measurement and Virtual Reconstruction of Ancient Lost Worlds of Europe (3D-MURALE)⁴⁵, το οποίο υπήρξε μια σημαντική ευρωπαϊκή πρωτοβουλία για την αντιμετώπιση ζητημάτων που σχετίζονται με τη διατήρηση και την παρουσίαση της πλούσιας πολιτιστικής κληρονομιάς, είτε πρόκειται για αντικείμενα είτε για πλήρεις χώρους. Στόχευε στο να αναπτυχθούν συστήματα τρισδιάστατης απόκτησης δεδομένων, δηλαδή τρισδιάστατα μοντέλα με δυνατότητα λήψης μετρητικών στοιχείων αρχαιολογικών αντικειμένων, την τεκμηρίωση και ταξινόμησή τους.
- 2002-2005: το Virtual Heritage: High-Quality 3D Acquisition and Presentation (VIHAR3D)⁴⁶, το οποίο στόχευε στη διατήρηση, παρουσίαση, πρόσβαση και προώθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω διαδραστικών, υψηλής ποιότητας τρισδιάστατων γραφικών. Σχεδόν ολόκληρη η πολιτιστική κληρονομιά είναι εγγενώς τρισδιάστατη και, επιπλέον, τρισδιάστατα γραφικά υπολογιστών λαμβάνονται όλο και περισσότερο ως το πιο ισχυρό μέσο για την εικονική αναπαράσταση όλων των ειδών σύνθετων δεδομένων. Ζητούμενο ήταν η ανάπτυξη νέων εργαλείων στους τομείς:
 - Τρισδιάστατη σάρωση για την απόκτηση ακριβών και οπτικά πλούσιων τρισδιάστατων μοντέλων.
 - Μετά την επεξεργασία, αναπαράσταση δεδομένων και αποτελεσματική απόδοση για τη λεπτομερή διαδραστική απεικόνιση και επιθεώρηση τέτοιων μοντέλων ακόμη και σε πλατφόρμες χαμηλού κόστους.
 - Εργαλεία εικονικής κληρονομιάς για παρουσίαση και πλοήγηση σε συλλογές ψηφιακών μοντέλων υψηλής ποιότητας.
- Το 2006-2009: το iTACITUS⁴⁷ που στόχευε στην παροχή μιας ειδικής εμπειρίας για κάθε μεμονωμένο πολιτιστικό ταξιδιώτη, βασισμένο σε ένα διασκορπισμένο

⁴⁵ Δικτυακός τόπος Ευρωπαϊκής Επιτροπής: <https://cordis.europa.eu/project/id/IST-1999-20273>

⁴⁶ Δικτυακός τόπος Ευρωπαϊκής Επιτροπής: <https://cordis.europa.eu/project/id/IST-2001-32641>

⁴⁷ Δικτυακός τόπος Ευρωπαϊκής Επιτροπής: <https://cordis.europa.eu/project/id/034520>

αποθετήριο πολιτιστικών (πχ. ιστορικών, επιστημονικών και αρχαιολογικών) πόρων, επιτρέποντας τόσο διεπαφή βάσει τοποθεσίας όσο και βάσει περιβάλλοντος σε συνδυασμό με υπηρεσίες ανεξάρτητες από την τοποθεσία. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες περιλαμβάνουν οπτικοακουστικά μέσα, μικτή πραγματικότητα και οργανωτικά στοιχεία VR. Το σύστημα βασίζεται σε ένα προηγμένο περιβάλλον εργασίας χρήστη με φορητές συσκευές που υποστηρίζουν αναγνώριση εικόνας, φωνητική διεπαφή και δυνατότητα χρήσης οποιασδήποτε διαθέσιμης διεπαφής υλικού: WiFi, Bluetooth, UMTS/GPRS, ακόμη και διεπαφή υπερύθρων. Το iTACITUS θα παρείχε ένα εικονικό πλαίσιο που υποστηρίζει τη σύλληψη της γνώσης, καθιστώντας έτσι τους διαθέσιμους πολιτιστικούς πόρους επαναχρησιμοποιήσιμους και ενσωματώσιμους σε νέα εννοιολογικά πλαίσια. Με τέτοια όργανα ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει, χωρίς άμεση πρόσβαση σε μηχανές αναζήτησης, και να βρει πληροφορίες που είναι πιθανό να είναι χρήσιμες στο σημερινό πολιτιστικό του περιβάλλον, ιδίως όταν η κινητικότητα είναι θεμελιώδης.

Εφαρμογές Τεχνικών

Τα τελευταία χρόνια, αρκετά μουσεία και μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς έχουν εμπλακεί και εφαρμόσει τεχνολογίες VR και AR σε θέματα ερμηνείας, εκπαίδευσης και διαχείρισης. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις υιοθέτησης εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας σε μουσεία και χώρους κληρονομιάς είναι:

- LIFEPLUS: Revival of life in ancient Pompeii (Papagiannakis et al., 2002).

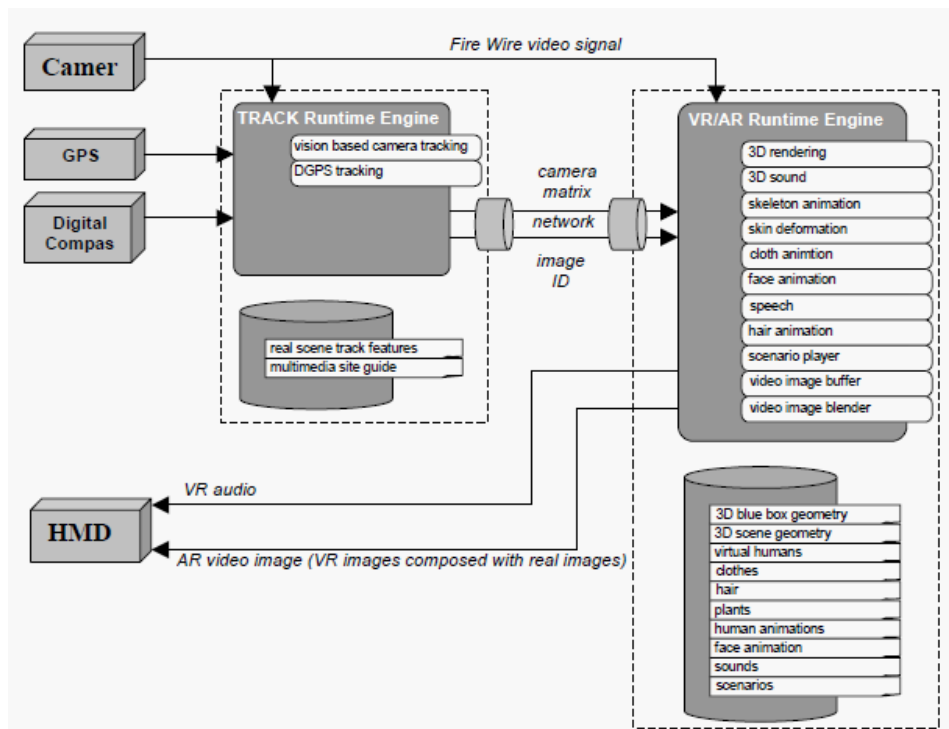
Το έργο LIFEPLUS, ξεκίνησε την 1^η Μαρτίου 2002 και πρότεινε μια καινοτόμο τρισδιάστατη ανακατασκευή αρχαίων τοιχογραφιών στην αρχαία Πομπηία μέσω της αναβίωσης της πανίδας και της χλωρίδας τους σε πραγματικό χρόνο και ομάδες κινούμενων εικονικών χαρακτήρων (εισαγωγή εικονικών ανθρώπων), η οποία βασίζεται σε πραγματικές σκηνές που τραβήχτηκαν σε ζωντανές ακολουθίες βίντεο και έχουν επαυξηθεί με αυτόνομες ομάδες 3D εικονικής πανίδας και χλωρίδας.

Αυτό κατέστη εφικτό σε ένα περιβάλλον AR, στο οποίο οι επισκέπτες μπορούν να βιώσουν έναν υψηλό βαθμό ρεαλιστικής διαδραστικής εμπύθισης, χρησιμοποιώντας τα παρεχόμενα παρελκόμενα (ένα Head-Mounted-Display - HMD), ακουστικά και φορητό υπολογιστικό εξοπλισμό. Το LIFEPLUS στόχευε να τοποθετηθεί στο φάσμα της «Μικτής Πραγματικότητας» και ιδιαίτερα της

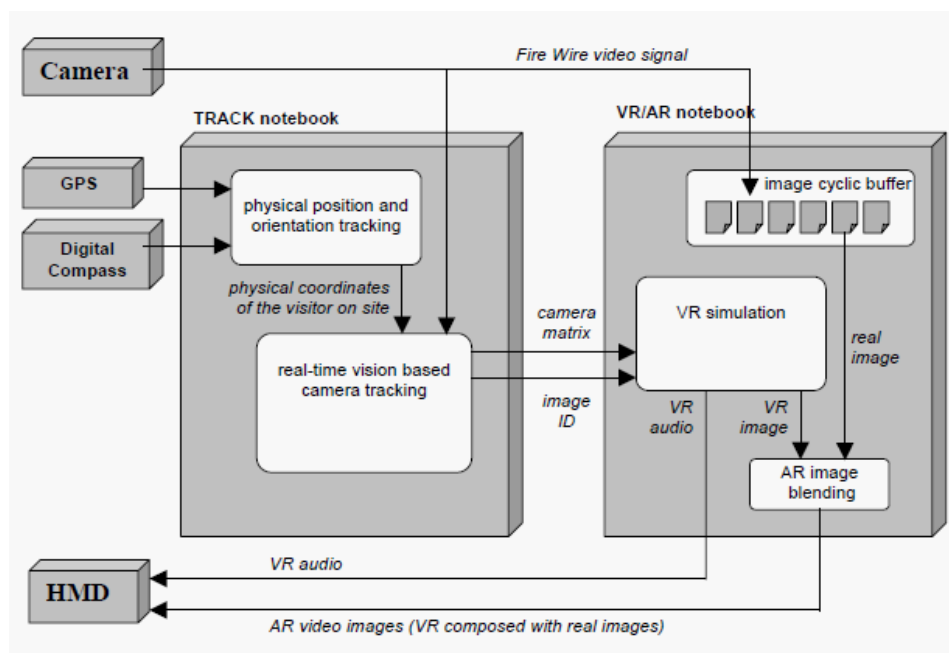
Επαυξημένης Πραγματικότητας AR, στο οποίο οι απόψεις του πραγματικού κόσμου συνδυάζονται σε κάποιο ποσοστό με συγκεκριμένες βελτιώσεις ή επαύξηση γραφικών, όπως «ρεαλιστική» εικονική ζωή σε πραγματικό χρόνο, που περιλαμβάνει α) Προσομοίωση μαλλιών, β) Κινούμενα σχέδια υφασμάτων, γ) Απόδοση δέρματος και διαδραστική προγραμματιζόμενη σκίαση, δ) Προσομοίωση φυτών, ε) Μεθόδους τεχνητής ζωής και έκφραση εικονικών χαρακτήρων.

Η Αρχιτεκτονική του συστήματος LIFEPLUS σε πραγματικό χρόνο είχε τα εξής βασικά χαρακτηριστικά (όπως φαίνεται και στην Εικ. 74α):

- Φορητότητα: η συνολική μονάδα υλικού έπρεπε να είναι απολύτως φορητή, χαμηλού βάρους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας – αυτονομία.
- Αποκριτικότητα: οι συνολικοί χρόνοι παρακολούθησης, απόδοσης και σύνθεσης εικόνας AR έπρεπε να διατηρούνται κάτω από ορισμένα όρια για τη διασφάλιση της ποιότητας της εμπειρίας (~ 200ms).
- Απόδοση: έπρεπε να μπορεί να παρέχει τουλάχιστον 10fps.
- Ευρωστία συστήματος.
- Φωτογραφική μηχανή: τοποθετημένη στο κεφάλι (HMD), ανάλυσης (~800x600), συνδεσμολογία FireWire για καλύτερη ποιότητα και υψηλό εύρος ζώνης μετάδοσης, μονοσκοπικό οπτικό βίντεο AR.
- DGPS και Ψηφιακή Πυξίδα: για εντοπισμό του επισκέπτη.
- Οθόνη HMD: ελαφριά και χαμηλού κόστος.
- Δύο φορητοί σταθμοί εργασίας: διαχωρισμός και παράλληλη επεξεργασία των δύο κύριων εργασιών του συστήματος υψηλών απαιτήσεων: παρακολούθηση κάμερας σε πραγματικό χρόνο και τρισδιάστατη απόδοση σε πραγματικό χρόνο.
- μονάδα απόδοσης εικόνας 3D που επιτρέπει τη δημιουργία εικόνων υψηλής ποιότητας σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 74α. Η Αρχιτεκτονική του φορητού συστήματος LIFEPLUS



Εικόνα 74β. Η ροή δεδομένων.

Το φορητό σύστημα LIFEPLUS έχει δύο κύριες λειτουργίες: να υποστηρίζει τον επισκέπτη του χώρου με πληροφορίες πολυμέσων βάσει τοποθεσίας, παρέχοντάς του πληροφορίες που επικαλύπτονται στην οθόνη, μέσω παρακολούθησης με DGPS και μόλις ο επισκέπτης φτάσει στο σημείο όπου είναι δυνατή η προσομοίωση AR ενημερώνεται και του επιτρέπεται να εισέλθει στη λειτουργία προσομοίωσης AR. Στη λειτουργία προσομοίωσης AR, ο επισκέπτης

εκτίθεται στο σενάριο προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας που συνδυάζεται με τις πραγματικές εικόνες του χώρου.



Εικόνα 75. Προσομοίωσης μικτής πραγματικότητας σε διάφορες κατοικίες της Πομπηίας

Ένας από τους πιο δύσκολους ερευνητικούς τομείς σε αυτό το πλαίσιο ήταν η προσομοίωση ρούχων με απόδοση σε πραγματικό χρόνο και εκφράσεων των εικονικών ανθρώπων.

Επίσης την αρχαία Πομπηία αφορά και η δημοσίευση των Magnenat-Thalmann & Paragiannakis (2006) που ασχολήθηκε με ολοκληρωμένα συστήματα μικτής πραγματικότητας σε πραγματικό χρόνο τα οποία διαθέτουν ρεαλιστικές ολοκληρωμένες προσομοιώσεις εικονικών ανθρώπων (ρούχα, σώμα, δέρμα, πρόσωπο). Για την πραγματοποίηση των δυναμικών εννοιών του Augmented Heritage που βασίζεται στον χαρακτήρα, τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν προϋπόθεση. Γενικά, απλοί επισκέπτες κάποιας τοποθεσίας πολιτιστικής κληρονομιάς δεν μπορούν σήμερα να αναλογιστούν πώς ήταν η ζωή σε κάποια αρχαία τοποθεσία ή οικισμό, στη θέση του οποίου στις μέρες μας υπάρχουν ερείπια (πχ. η αρχαία πόλη της Πομπηίας). Μια προσέγγιση κατά την οποία θα αναπαρίστατο μέσω AR η ίδια η τοποθεσία σε πλήρη ανάπτυξη, χωρίς δηλαδή να αντικρίζει ερείπια ο παρατηρητής και η οποία επιπλέον θα αναπαριστά ολοκληρωμένες προσομοιώσεις εικονικών ανθρώπων αποτελεί μια καλύτερη προσέγγιση του θέματος, ικανή να δώσει αυτή την αίσθηση της παρουσίας του παρατηρητή στο ιστορικό αυτό περιβάλλον.



Εικόνα 76. Παράδειγμα κινούμενων εικονικών χαρακτήρων μικτής πραγματικότητας στην τοποθεσία της αρχαίας Πομπηίας (προβολή από το φορητό σύστημα).

- Archeoguide (Augmented Reality-Based Cultural Heritage On-Site Guide)

Οι Vlahakis et al. (2002) ανέπτυξαν το Archeoguide που αποτελεί έναν οδηγό επαυξημένης πραγματικότητας για υπαίθριους αρχαιολογικούς χώρους και προσφέρει εξατομικευμένη πλοήγηση-περιήγηση, χρησιμοποιώντας φορητή συσκευή, παρακολούθηση εξωτερικού χώρου, 3D απεικόνιση και τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας για ενίσχυση παρουσίασης πληροφοριών, ανακατασκευή κατεστραμμένων χώρων και προσομοίωση της αρχαίας ζωής. Σκοπός ήταν να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ αναδημιουργίας, εκπαίδευσης και επιστημονικής έρευνας.

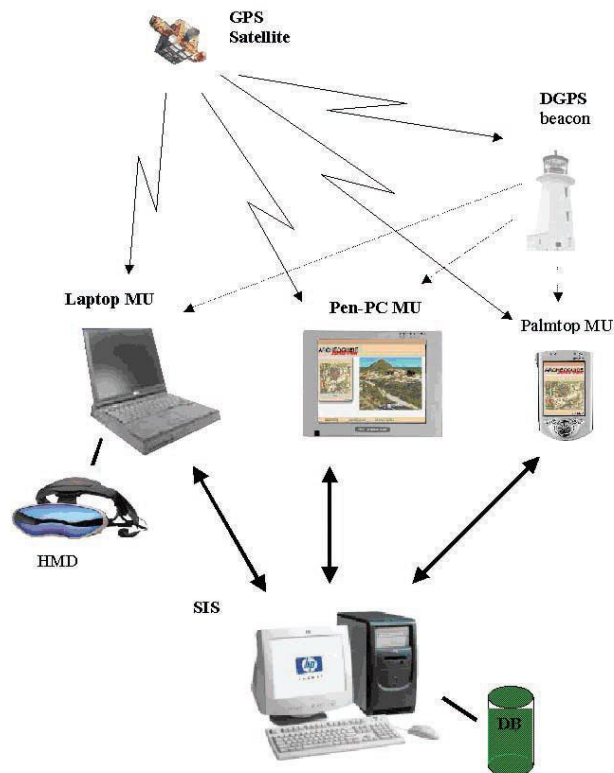
Το πρωτότυπο Archeoguide⁴⁸ εγκαταστάθηκε στον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Ολυμπίας⁴⁹. Για την εφαρμογή του συστήματος, πραγματοποιήθηκε συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, αεροφωτογραφιών και τοπογραφικών μετρήσεων, που εισήχθησαν σε ένα GIS για την κατασκευή υψομετρικού χάρτη, ο οποίος χρησίμευσε για την αναγνώριση των μνημείων και τοποθεσιών με ανεμπόδιση θέα, καθώς και για τις κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση της υποδομής επικοινωνίας. Έπειτα ορίστηκαν κατάλληλες περιηγήσεις και λήφθηκαν φωτογραφίες υψηλής ευκρίνειας των ερειπίων από τις προκαθορισμένες θέσεις κατά μήκος των διαδρομών. Για την προσομοίωση της κίνησης των χρηστών ελήφθησαν τα κατάλληλα σετ φωτογραφιών και δημιουργήθηκαν τρισδιάστατα μοντέλα ανακατασκευής των ερειπίων βάσει αρχιτεκτονικών σχεδίων και αρχαιολογικών πηγών.

Η Αρχιτεκτονική του συστήματος Archeoguide (βλ. Εικ. 77) χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή με τρία βασικά υποσυστήματα:

⁴⁸ Πληροφορίες σχετικά με το Archeoguide, στον ιστότοπο: <http://www.archeoguide.com>

⁴⁹ Οι διαστάσεις του χώρου εγκατάστασης ήταν 300 × 500 m.

- Ο διακομιστής πληροφοριών τοποθεσίας (site information server, SIS)⁵⁰, οι κινητές μονάδες και η υποδομή δικτύου.



Εικόνα 77. Αρχιτεκτονική του συστήματος

- Ο διακομιστής φέρει τη βάση δεδομένων πολυμέσων τις οποίες κοινοποιεί στους clients (φορητές συσκευές) μέσω ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN), ενώ μπορεί να υποστηρίξει έως και 50 χρήστες κάθε φορά. Οι χρήστες του αρχαιολογικού χώρου φέρουν τις φορητές συσκευές, οι οποίες βασίζονται σε φορητούς υπολογιστές, υπολογιστές-tablet και υπολογιστές παλάμης. Οι φορητές συσκευές ζητούν πληροφορίες πολυμέσων από τον διακομιστή (SIS) με βάση τη θέση του χρήστη και άλλες παραμέτρους όπως δεδομένα GPS. Το σύστημα διορθώνει την ακρίβεια των υπολογισμών χρησιμοποιώντας ένα σήμα αναφοράς που εκπέμπεται από ένα σύστημα DGPS⁵¹ που βρίσκεται σε γνωστή θέση.

⁵⁰ Ο διακομιστής πληροφοριών τοποθεσίας (site information server, SIS) αποτελεί την καρδιά του συστήματος Archeoguide και διαχειρίζεται μια βάση δεδομένων αντικειμένων πολυμέσων, έχει αποθηκευμένες 2D εικόνες, τρισδιάστατα μοντέλα, κλιπ ήχου και βίντεο, καθώς και αντικείμενα κειμένου που αφορούν τον αρχαιολογικό χώρο, και παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

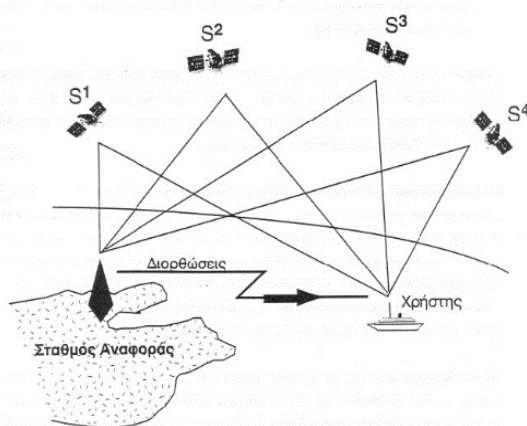
⁵¹ Η αρχή του διαφορικού GPS (DGPS) βασίζεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα σφάλματα στην μέτρηση ψευδοαποστάσεων, χρησιμοποιώντας δέκτες GPS, είναι σε μεγάλο βαθμό κοινά για όλους τους χρήστες που βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή και παρακολουθούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους, διότι το μεγαλύτερο μέρος των σφαλμάτων οφείλεται στο τμήμα ελέγχου, στο τμήμα διαστήματος και στην επίδραση της ατμόσφαιρας.

- Οι φορητές συσκευές - κινητές μονάδες είχαν τρεις υλοποιήσεις: Laptop, Pen-tablet, Palmtop παρέχουν στους χρήστες την ουσία του Archeoguide, δηλαδή όλες τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στην κεντρική βάση δεδομένων, και ενσωματώνουν ένα υβριδικό σύστημα για την αναγνώριση της προβολής του χρήστη. Οι μετρήσεις DGPS και πυξίδων παρέχουν αρχικές εκτιμήσεις, βελτιωμένες από την τεχνική «Παρακολούθηση εικόνων». Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν το σύστημα να αποδώσει τρισδιάστατα ανακατασκευασμένα μοντέλα μνημείων, αντικειμένων και ζωής πάνω στα ερείπια και το φυσικό περιβάλλον. Όλα τα στοιχεία του πελάτη (παρακολούθηση, απόδοση, ελεγκτής, διαχείριση δεδομένων και διεπαφές χρήστη) λειτουργούν ταυτόχρονα, με τον ελεγκτή να καθοδηγεί συνεχώς την απόδοση βάσει των αναγνώσεων δεδομένων του συστήματος παρακολούθησης και των αλληλεπιδράσεων των χρηστών. Καθώς ένας χρήστης πλησιάζει μια νέα άποψη, λαμβάνονται οι αντίστοιχες πληροφορίες.

- Παρακολούθηση θέσης και προσανατολισμού

Τα δεδομένα θέσης DGPS δίνουν ακρίβεια καλύτερη από 1 m και εκτιμάται η γωνία θέασης με ακρίβεια 0.5° . Το Archeoguide εμφανίζει αυτές τις

Εάν λοιπόν τοποθετηθεί ένας δέκτης GPS σε ένα σταθερό σημείο, με γνωστές εκ των προτέρων συντεταγμένες, είναι δυνατόν με βάση τις γνωστές από την εκπεμπόμενη εφημερίδα θέσεις των δορυφόρων, να υπολογισθούν οι αποστάσεις που θα έπρεπε να μετρά ο δέκτης προς κάθε δορυφόρο του συστήματος.



Σχήμα 1: Αρχή λειτουργίας του διαφορικού GPS

Εικόνα 78 Αρχή λειτουργίας διαφορικού GPS.

Αυτές οι υπολογισμένες αποστάσεις συγκρίνονται με τις αποστάσεις που πραγματικά μετρά ο δέκτης προς τους ίδιους δορυφόρους και η διαφορά τους είναι τα σφάλματα στη μέτρηση των ψευδοαποστάσεων. Τα σφάλματα αυτά μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο ως διορθώσεις ψευδοαποστάσεων προς τους άλλους (κινούμενους) δέκτες GPS που βρίσκονται στην ίδια περιοχή. Εάν οι δέκτες αυτοί χρησιμοποιούν τους ίδιους ή τουλάχιστον τέσσερις από τους δορυφόρους που παρατηρεί ο σταθμός αναφοράς ταυτόχρονα, μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν για διορθώσουν τις δικές τους μετρήσεις ψευδοαποστάσεων και να βελτιώσουν την ακρίβεια εντοπισμού.

πληροφορίες σε έναν ψηφιακό χάρτη του αρχαιολογικού χώρου μαζί με τις θέσεις των σημαντικότερων μνημείων.

- Οπτική παρακολούθηση

Η παρακολούθηση γίνεται με χρήση ενός συνόλου βαθμονομημένων εικόνων αναφοράς που έχουν ληφθεί από την άποψη του χρήστη. Αυτή η μέθοδος συγκρίνει την προβολή του χρήστη - την τρέχουσα ζωντανή εικόνα βίντεο - με όλες τις εικόνες αναφοράς και υπολογίζει μια βαθμολογία συσχέτισης.

Διατηρεί την καλύτερη βαθμολογία και αξιολογεί τον 2D μετασχηματισμό μεταξύ της τρέχουσας εικόνας βίντεο και της εικόνας αναφοράς και, στη συνέχεια, μεταδίδει στο σύστημα απόδοσης για να δημιουργήσει τον αυξημένο κόσμο.



Εικόνα 79. (Αριστερά) Ερείπια του ναού της Ήρας, (Μέσον) Επαύξηση τρισδιάστατου μοντέλου του ναού (σε υπέρθεση πάνω στο ζωντανό βίντεο), (Δεξιά) Ο χρήστης με τον εξοπλισμό.

Οι χρήστες μπορούν επίσης να επιλέξουν επαυξημένες πανοραμικές προβολές που αντιστοιχούν σε ανακατασκευές 360° από τις θέσεις τους. Στην Εικ. 80 φαίνεται το παράδειγμα ενός αυξημένου καρέ βίντεο, που δείχνει αθλητές avatar που αγωνίζονται στο αρχαίο στάδιο της Αρχαίας Ολυμπίας σε μια ανακατασκευή για τους αρχαίους Ολυμπιακούς Αγώνες. Τα είδωλα εμφανίζονται στο γήπεδο όπως αυτό υπάρχει σήμερα, δημιουργώντας περισσότερο ρεαλισμό.



Εικόνα 80. Αθλητές Avatar που ανταγωνίζονται στο στάδιο στην αρχαία Ολυμπία.

Η δοκιμή του συστήματος Archeoguide στον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Ολυμπίας έλαβε καλές κριτικές από απλούς χρήστες, προσωπικό του χώρου, αρχαιολόγους και ειδικούς τεχνολογίας. Στους χρήστες άρεσαν οι ανακατασκευές AR και οι πρόσθετες πληροφορίες που προσφέρει το σύστημα, όπως πλοήγηση και αφήγηση. Επαίνεσαν τα γυαλιά AR για ρεαλισμό, αλλά μερικοί δήλωσαν ότι ένιωθαν άβολα να τα φορούν ενώ περπατούσαν. Το κράνος έλαβε παρόμοια κριτική. Τα κινούμενα σχέδια avatar τους βοήθησαν να κατανοήσουν καλύτερα το ιστορικό και τη χρήση του χώρου και εκτίμησαν τις δυνατότητες εξατομίκευσης για καλύτερη διαχείριση του χρόνου κατά την επίσκεψή τους. Τα Pen-tablet και Palmtop έλαβαν επίσης καλές κριτικές, αλλά επικρίθηκε η μικρή οθόνη του Palmtop.

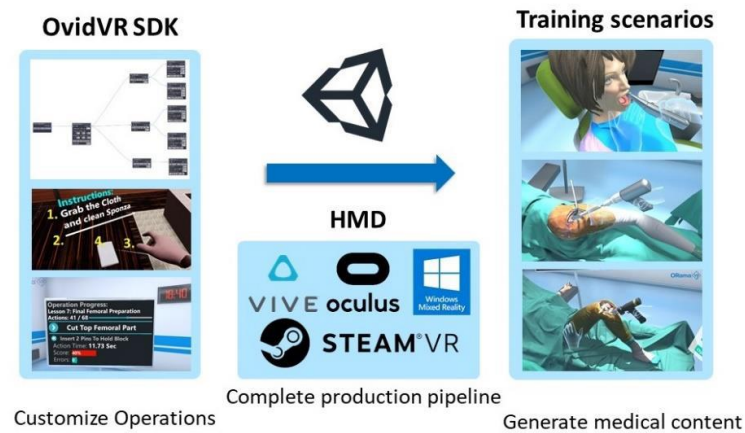
- Μία εφαρμογή⁵² που ασχολήθηκε με το True Augmented Reality (AR) στον τομέα διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς και που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εικονικά μουσεία είναι και η περίπτωση εφαρμογής των Geronikolakis et al. (2019), η οποία δεν περιορίζεται σε αντικείμενα αλλά επεκτείνεται σε κτίρια ή προσομοιώσεις χαρακτήρων με την καλύτερη δυνατή οπτική ποιότητα, ώστε οι χρήστες να μην μπορούν να διαχωρίσουν τα πραγματικά αντικείμενα από τα επαυξημένα. Έτσι,

“Το γεγονός ότι κάποιος μπορεί να δει αντικείμενα ή χαρακτήρες στο AR και να αλληλεπιδράσει μαζί τους χρησιμοποιώντας τα χέρια του, αυξάνει τον ρεαλισμό του AR (καθώς ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του ρεαλισμού είναι και η αλληλεπίδραση, εκτός από την εμφάνιση των χαρακτήρων, τον φωτισμό κ.λπ., προσεγγίζοντας έτσι τον στόχο μας, που είναι το True AR” (Geronikolakis et al. 2019).

Χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα M.A.G.E.S, στην οποία ενσωμάτωσαν δυνατότητες AR (ARKit και ARCore) για τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τρισδιάστατα αντικείμενα, προκειμένου να υλοποιήσουν ένα εικονικό μουσείο που βασίζεται σε πύλη (portal-based AR), μαζί με μια “παιχνιδοποιημένη” (gamified) ξενάγηση στο εσωτερικό του μουσείου (η εφαρμογή στηρίχθηκε στη μηχανή παιχνιδιών (game engine) του Unity3D. Για τη δε αλληλεπίδραση με ολογραφικά αντικείμενα χρησιμοποιήθηκε ο ελεγκτής συσκευής HoloLens Controller. Σχεδιάστηκε ώστε να είναι πολλαπλής πλατφόρμας, ικανής να

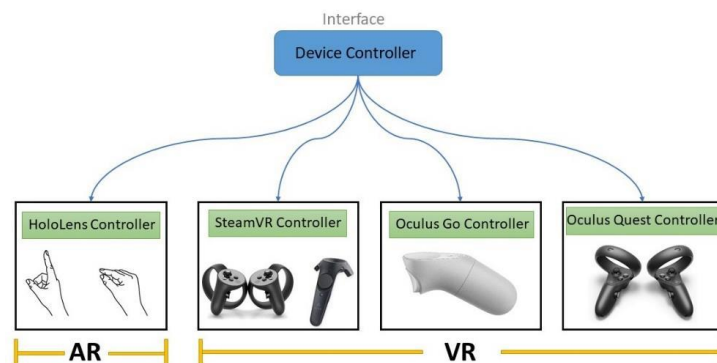
⁵² Βίντεο με απόσπασμα της εφαρμογής υπάρχει στη δικτυακή θέση:
<https://www.dropbox.com/s/eqzpsp0xbspzhhik/TrueAR.mp4?dl=0>

δημιουργεί εκτελέσιμα για διαφορετικές συσκευές και λειτουργικά συστήματα. Χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή MR Sample app που μπορεί να υποστηρίξει πολλούς χρήστες (έως 7).



Εικόνα 81. Το διάγραμμα ροής της πλατφόρμας M.A.G.E.S.

Ο παράγων αφήγησης της εφαρμογής είναι κυρίαρχος⁵³, εστιάζοντας στην ιστορία του μουσείου, τις προηγούμενες αποστολές και τον αντίκτυπό του στην κοινωνία, ενώ ως σημαντικά πεδία κατά τη δημιουργία μιας εφαρμογής MR για την πολιτιστική κληρονομιά, οι συγγραφείς ξεχωρίζουν την αφήγηση ιστοριών, την παρουσία και το gamification. Οι εγκατάσταση σε μουσεία εφαρμογών gamified θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη προσέλκυση ατόμων νεότερης ηλικίας, προσφέροντας αλληλεπίδραση μέσω συναρπαστικών εφαρμογών και θα διευκολύνει τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς από γενιά σε γενιά.



Εικόνα 82. Διάγραμμα εφαρμογής Ελεγκτή συσκευών (Device Controller) που περιλαμβάνει τον ελεγκτή AR (αριστερά) και τους ελεγκτές VR (δεξιά) (Πηγή: Geronikolakis et al. 2019).

⁵³ Η εφαρμογή διαθέτει και έναν ιερέα στεκόμενο πίσω από ένα τραπέζι στο οποίο υπάρχει μια μινιατούρα της εκκλησίας. Όταν ο χρήστης πιάσει τη μινιατούρα ο ιερέας αφηγείται την ιστορία της εκκλησίας. Πρόκειται για τον πραγματικό ιερέα της εκκλησίας της Παναγίας της Φορβιώτισσας (γνωστή ως η Παναγία της *Ασίνου*, κοντά στο Νικητάρι της Κύπρου). Ο ψηφιακός χαρακτήρας ανακατασκευάστηκε με σάρωση του πραγματικού ιερέα με αισθητήρα ινιακής δομής, έναν αισθητήρα που συνδέεται με ένα iPad και είναι σε θέση να σαρώσει πραγματική τρισδιάστατη γεωμετρία. Στη συνέχεια το μοντέλο του ιερέα βελτιώθηκε με πρόσθετο λογισμικό επεξεργασίας (τόσο ως προς τη γεωμετρία όσο και προς την υφή) ώστε να διορθωθούν τα σφάλματα σάρωσης.



Εικόνα 83. Κύρια εικόνα της εφαρμογής. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται το Sronza (αριστερά) και η Κνωσός (δεξιά).

Οι χρήστες που ολοκληρώνουν την προσομοιωμένη διαδικασία, μαθαίνουν για τα κτίρια των αρχαιολογικών χώρων, αφού βιώσουν την ανακατασκευή-αποκατάστασή τους, όπως:

- Κατασκευή της Κνωσού: όπου μπορούν να παραλάβουν τα υποδεικνυόμενα τμήματα της Κνωσού (για τα οποία χρησιμοποιούνται ολογραφικές αναπαραστάσεις για την καθοδήγηση των χρηστών) και να τα τοποθετήσουν στις σωστές θέσεις, που υποδηλώνονται και πάλι από τη χρήση ολογραφικών αναπαραστάσεων, και



Εικόνα 84α. (Αριστερά) Αλληλεπίδραση με τη Βόρεια Πύλη (παλάτι Κνωσού).

Εικόνα 84β. (Δεξιά) Το παλάτι Sronza.

- η αποκατάσταση του Sronza⁵⁴: όπου οι χρήστες πρέπει να αποκαταστήσουν το κτίριο εκτελώντας τις κατάλληλες ενέργειες.
- Μία άλλη εφαρμογή είναι εκείνη της Gonizzi Barsanti et al. (2015) που αφορούσε τρισδιάστατα μοντέλα αρχαίων αντικειμένων της ταφικής παράδοσης

⁵⁴ Το παλάτι Sronza, ονομάζεται επίσης και Divoņa, είναι ένα παλάτι του 16^{ου} αιώνα στο Ντουμπρόβνικ της Κροατίας. Το όνομά του προέρχεται από τη λατινική λέξη "srongia", το σημείο όπου συλλέχθηκαν τα νερά της βροχής. Το ορθογώνιο κτήριο με εσωτερική αυλή χτίστηκε σε μικτό γοτθικό και αναγεννησιακό στιλ μεταξύ 1516 και 1522 από τον Paskoje Miličević Mihov (Πηγή: Wikipedia).

της αρχαίας Αιγύπτου, τα οποία εκθέτονται στο Αρχαιολογικό Μουσείο του Μιλάνου στο Κάστρο Sforza.

Υλοποιήθηκε ένα τρισδιάστατο εικονικό διαδραστικό σενάριο σχετικά με το «μονοπάτι των νεκρών», ένα σημαντικό τελετουργικό στην αρχαία Αίγυπτο, για να αυξήσει την εμπειρία και την κατανόηση του κοινού μέσω της διαδραστικότητας. Επιλέχθηκαν τέσσερα αντικείμενα που είναι σημαντικά για ιστορικούς όσο και για αρχαιολογικούς λόγους, ταφικά αγαλματίδια, ένας Σκαραβαίος καρδιάς (πρόκειται για έναν σκαραβαίο που τοποθετούνταν στην καρδιά και ήταν το πιο σημαντικό ταφικό φυλαχτό) και μια ξύλινη σαρκοφάγος. Πραγματοποιήθηκε προσέγγιση με φωτογραμμετρικές μεθόδους αφού λήφθηκε το κατάλληλο σετ φωτογραφιών και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με λογισμικό SfM Agisoft Photoscan⁵⁵, όπου παρήχθησαν τα 3D μοντέλα με τελικό πλέγμα 2 εκ. τριγώνων. Η υφή που συνδέθηκε με το αρχείο .obj δημιουργήθηκε με βάση τη λειτουργία ανάμειξης «μωσαϊκό» στο Photoscan και το τελικό αρχείο ήταν μορφής .jpg. Τα δε μοντέλα απλοποιήθηκαν στο Polyworks (βλέπε ακόλουθο Πίνακα).

Πίνακας 3.

Διαφορές μεταξύ των τρισδιάστατων μοντέλων υψηλής και χαμηλής ανάλυσης κάθε αντικειμένου.

	Ushabty Akhenaten	Ushabty Imenmes	Heart Scarab	Wooden Sarcophagus
Size [cm]	6x4.3x6.4	33.5 (height)	5.5x7.4	200x65x40
High-res file size	200 MB	211 MB	210 MB	153 MB
Low-res file size	15.5 MB	36.7 MB	29 MB	2.8 MB
High-res Model polygons	1,912,726	2,000,000	2,000,000	1,457,664
Low-res Model polygons	116,452	251,274	237,892	31,006
Texture size	4096x4096	4096x4096	4096x4096	4096x4096

⁵⁵ www.agisoft.com



Εικόνα 85. Εικόνες από την εφαρμογή VR

Το σενάριο εικονικής πραγματικότητας περιελάμβανε κυρίως τρία στοιχεία, 3D μοντέλα, συσκευές VR και την εφαρμογή του λογισμικού. Μια καλή και αποδεκτή λύση, σύμφωνα με την εργασία τους, αποτελεί η χρήση συσκευής HMD χαμηλού κόστους και συσκευής παρακολούθησης χειρονομιών. Χρησιμοποίησαν μια διάταξη που περιελάμβανε το HMD Oculus Rift DK2 (Development Kit 2)⁵⁶ και λογισμικό ιχνηλάτησης χειρός για παρακολούθηση της κίνησης της Leap Motion⁵⁷ όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα «να δει» τα χέρια του. Ο αισθητήρας της Leap Motion τοποθετήθηκε επί του Oculus Rift DK2 και χάρη στο ευρύτερο οπτικό πεδίο (βλ. Εικ. 86) τα χέρια παρακολουθούνται πάντα όπου κι αν κοιτάζει ο χρήστης.



Εικόνα 86. Σύγκριση οπτικών πεδίων μεταξύ Oculus & Leap Motion

Η εφαρμογή λογισμικού, για τη διαχείριση των συσκευών VR, υλοποιήθηκε με την πλατφόρμα ανάπτυξης παιχνιδιών και μηχανή απόδοσης σε πραγματικό χρόνο Unity⁵⁸, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορα πεδία για την ανάπτυξη εφαρμογών 3D και διαδραστικών περιβαλλόντων VR.

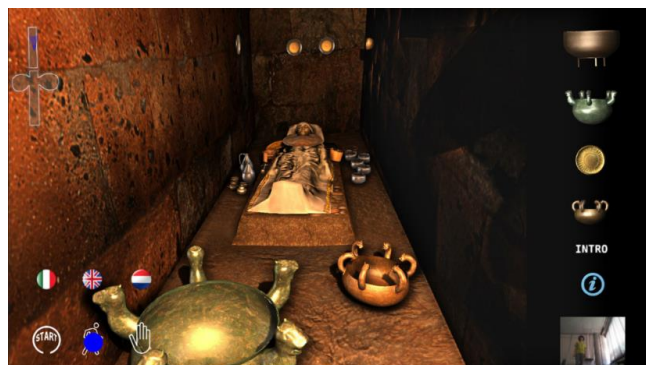
⁵⁶ <https://www.oculus.com>

⁵⁷ <https://www.leapmotion.com/> και <http://blog.leapmotion.com/>

⁵⁸ <http://unity3d.com/>

- Ετρουσκικοί τάφοι

Το Μουσείο Allard Pierson στο Άμστερνταμ σε συνεργασία με άλλους φορείς δημιούργησε μια διαδραστική εφαρμογή⁵⁹ εικονικής πραγματικότητας⁶⁰ με τρισδιάστατες ανακατασκευές ενός από τους κορυφαίους Ετρουσκικούς τάφους, τον τάφο Regolini Galassi⁶¹ στο Cerveteri της Ρώμης, και τα αρχαιολογικά αντικείμενα που βρέθηκαν εντός του τάφου.



Εικόνα 87. Άποψη από την εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας.

- Virtual Romans - Ratae Corieltavorum Roman Leicester⁶²

Πρόκειται για μια εφαρμογή⁶³ που περιέγραψε την έρευνα, τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της για φορητές συσκευές με βάση τη θέση GPS και έδειξε

⁵⁹ Η εφαρμογή αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού έργου Etruscanning (Framework Culture 2007), με στόχο τον πειραματισμό με καινοτόμες τεχνικές για την ψηφιοποίηση των επιτύμβιων πλασιών Etruscan και την διάδοσή τους σε ένα ευρύτερο κοινό. (Πηγή: <http://www.museivaticani.va/content/museivaticani/en/collezioni/musei/museo-gregoriano-etrusco/sala-xvi--antiquarium-romanum--lucerne-e-stucchi/installazione-multimediale-interattiva-etruscanning.html>)

Τον Νοέμβριο του 2012, αυτή η εφαρμογή κέρδισε το Καλύτερο Βραβείο στην κατηγορία «Νέα Αλληλεπίδραση» κατά τη διάρκεια της διεθνούς έκθεσης εικονικής αρχαιολογίας «Archeovirtual». Τον Οκτώβριο του 2013 η εφαρμογή κέρδισε το πρώτο βραβείο ιταλικής κληρονομιάς στην επικοινωνία και διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

⁶⁰ Στις δικτυακές διαδρομές

<http://www.museivaticani.va/content/museivaticani/en/collezioni/musei/museo-gregoriano-etrusco/sala-xvi--antiquarium-romanum--lucerne-e-stucchi/installazione-multimediale-interattiva-etruscanning/video.html> και <https://vimeo.com/182166063> υπάρχουν βίντεο της εφαρμογής αυτής.

⁶¹ Ο τάφος Regolini Galassi στο Cerveteri ήταν ένας από τους πλουσιότερους, αρχαίους και γνωστούς τάφους του ετρουσκικού πολιτισμού. Τα ευρήματα του τάφου εκτίθενται στο Μουσείο του Βατικανού και ο υπάρχων (άδειος) τάφος δεν είναι πάντα ανοιχτός στο κοινό.

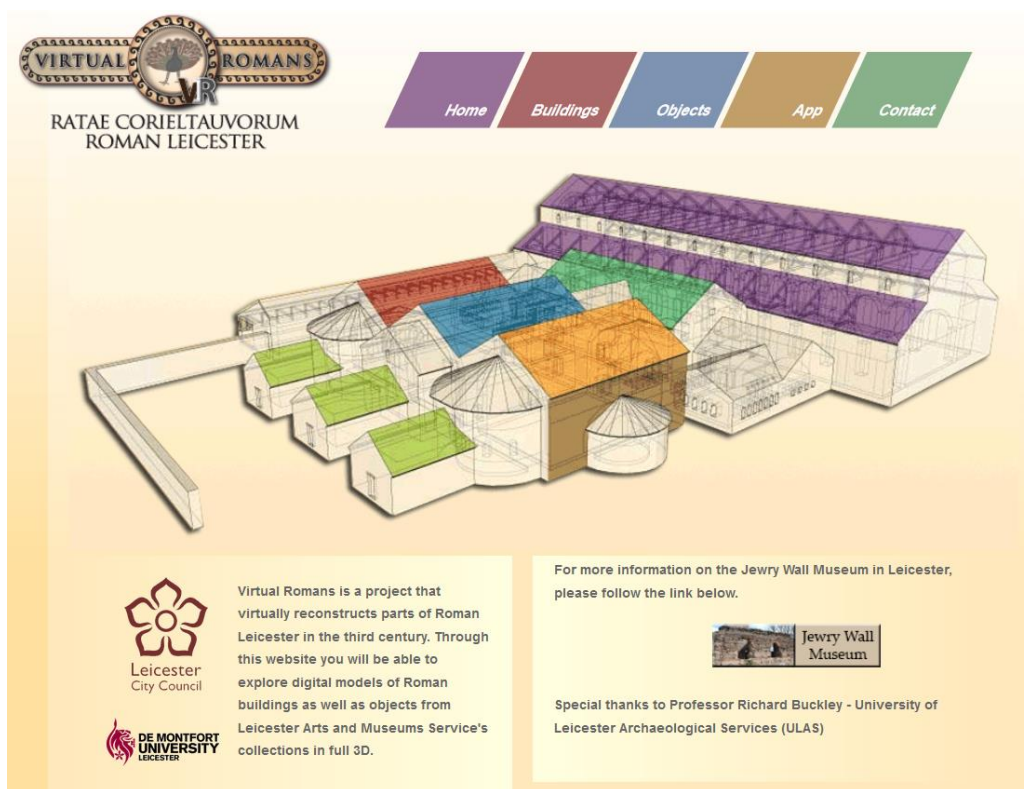
⁶² Ιστότοπος του έργου Virtual Romans: <http://www.romanleicester.dmu.ac.uk/index.html>

⁶³ Η εφαρμογή ήταν μια συνεργασία μεταξύ του Πανεπιστημίου De Montfort, του Μουσείου Jewry Wall της Leicester City Arts and Museum Service και της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας του Πανεπιστημίου του Leicester.

Το ψηφιακό στοιχείο του κτιρίου και του τεχνουργήματος τέθηκε στη διάθεση του κοινού τον Ιανουάριο του 2014 μέσω ενός ιστότοπου (<http://bit.ly/1PqwHRD>), σε διαδραστικό κίосκι με τρισδιάστατο τυπωμένο κτήριο στο Μουσείο Jewry Wall του Leicester (που βρίσκεται στον χώρο πρώην Ρωμαϊκών Λουτρών) και ενός Apple iPad που παρέχει μια σύντομη επισκόπηση της

τρισδιάστατες ανακατασκευές κτιρίων και αντικείμενα στο (Ratae Corieltavorum) του Leicester με επίκεντρο την περίοδο περί το 210 μ.Χ. Το έργο επικεντρώθηκε στην έρευνα και την ανάπτυξη ιστορικά ακριβών ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων των γνωστών κτιρίων και αντικειμένων, με τελικό στόχο την κατοίκηση της πόλης που προκύπτει με εικονικούς «ρωμαϊκούς» χαρακτήρες.

Μια αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Newcastle σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο De Montfort έδειξε πως οι ανακρίβειες χωρικού εντοπισμού με βάση τη χρήση GPS μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλή εμπύθιση, ενόχληση και μειωμένη εμπειρία επισκεπτών. Παρατηρήθηκε πως οι επισκέπτες παθαίνουν σύγχυση όταν το αποτέλεσμα παρακολούθησης δεν είναι σταθερό ή ακριβές, όπως στην παρακολούθηση με GPS όπου η ακρίβεια περιορίζεται σε αρκετά m. Σε αυτόν τον τύπο κληρονομιάς μικρής κλίμακας, ακόμη και μια μικρή απόκλιση στην θέση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την παρουσίαση AR (Higgett, 2016).



Εικόνα 88. Κεντρική ιστοσελίδα ιστότοπου Virtual Romans.

εφαρμογής, αλλά επικεντρώνεται στην αξιολόγησή της και διερευνά τις δυνατότητες της χρήσης τεχνολογιών φορητών συσκευών και επαυξημένης πραγματικότητας βάσει τοποθεσίας σε περιβάλλον εικονικής κληρονομιάς.

- Το Αβαείο του Αγίου Αυγουστίνου (St. Augustine's Abbey)⁶⁴

Οι επισκέπτες του Αβαείου του Αγίου Αυγουστίνου του Καντέρμπουρι μπορούν να βιώσουν τη μεσαιωνική Αγγλία σε μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας⁶⁵ η οποία «ανακατασκευάζει»⁶⁶ σημαντικά τμήματα της μονής, επιτρέποντας στους επισκέπτες να δουν τα περίτεχνα κτίρια όπως θα ήταν στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, λίγο πριν από την καταστροφή τους από τον Ερρίκο τον Όγδοο.



Εικόνα 89α και 89β. Ερείπια του Αβαείου



Εικόνα 90α και β. Τρισδιάστατες ανακατασκευές.

⁶⁴ Το Αβαείο του Αγίου Αυγουστίνου - μέρος του μνημείου παγκόσμιας κληρονομιάς του Καντέρμπουρι, ήταν ένα από τα σημαντικότερα μοναστήρια της μεσαιωνικής Αγγλίας. Ιδρύθηκε λίγο μετά το 597 μ.Χ. από τον Άγιο Αυγουστίνου που μετέβη στην Αγγλία για να προσηλυτίσει τους Αγγλοσάξονες στον χριστιανισμό. Η εκκλησία της μονής καταστράφηκε τον 16^ο αιώνα). Πηγή, Ιστότοπος: <https://www.medievalists.net/2017/07/st-augustines-abbey-recreated-digitally/>

⁶⁵ Η εικονική περιήγηση των επισκεπτών πραγματοποιείται με χρήση HMD (της Oculus Rift). Βίντεο με εικόνες από τη συσκευή VR στη διεύθυνση Youtube: <https://youtu.be/8W0hR4qmkvl>

⁶⁶ Η ανακατασκευή στην εικονική πραγματικότητα ήταν μια συνεργασία του English Heritage και του πανεπιστημίου του Κεντ.

- Άλλη μια μελέτη περίπτωσης είναι αυτή των Battini & Landi (2015) που αφορά στο άγαλμα του Λεονάρντο ντα Βίντσι⁶⁷ στην Piazza della Scala του Μιλάνου. Το μνημείο⁶⁸ αποτελείται από μια οκταγωνική βάση στην οποία τοποθετούνται τέσσερα μαρμάρινα αγάλματα μαθητών, καθώς και τέσσερα σημαντικά έργα στο βάθρο. Το λιτό άγαλμα του Λεονάρντο ντα Βίντσι είναι τοποθετημένο στο ψηλότερο μέρος του μνημείου.

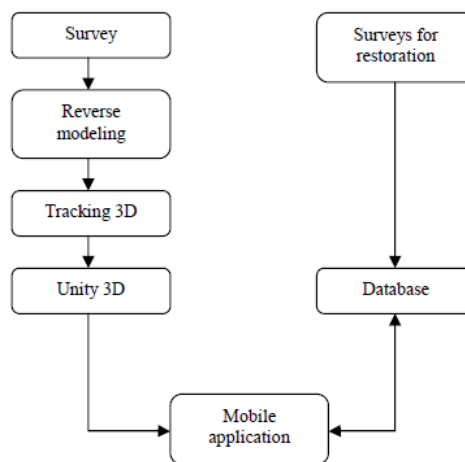


Εικόνα 91. Το άγαλμα του Λεονάρντο ντα Βίντσι

Για την έρευνα γεωμετρικής καταγραφής αυτού του σύνθετου μνημείου χρησιμοποιήθηκε σαρωτής laser και μια φωτογραφική μηχανή SLR Nikon D5000 (ανάλυσης 12 megapixel, με χρήση φακού Samyang 8mm, τοποθετημένο σε Nodal Ninja 3) για τη λήψη πληροφοριών χρώματος. Οι μετρήσεις έγιναν με τη βοήθεια αναβατορίου, ενός σαρωτή laser Z+F Imager 5006h από 24 θέσεις και σε 3 διαφορετικά ύψη ώστε να καταγραφεί κάθε λεπτομέρεια, ενώ σε κάθε θέση του σαρωτή λήφθηκαν φωτογραφίες. Αυτές στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με λογισμικό συρραφής PT GUI για να δημιουργηθούν οι πανοραμικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τον χρωματισμό των μεμονωμένων σαρώσεων λέιζερ.

⁶⁷ Ένα γλυπτό από τον Pietro Magni (τοπικός καλλιτέχνης).

⁶⁸ Στην οκταγωνική βάση, από γρανίτη Pink Baveno, τοποθετούνται τέσσερα μαρμάρινα αγάλματα μαθητών, των Giovanni Antonio Boltraffio, A. Solaino, Marco d' Oggiono και Cesare Da Sesto. Τα τέσσερα σημαντικά έργα στο βάθρο δείχνουν σκηνές: "Leonardo ο ζωγράφος" ενώ ζωγραφίζει τον Μυστικό Δείπνο, "Leonardo ο γλύπτης" ενώ δημιουργεί το ιππικό άγαλμα αφιερωμένο στον Francesco Sforza, "Leonardo ο αρχιτέκτονας και στρατηγικός" στο ρόλο του διαχειριστή κατασκευών για τα έργα οχύρωσης των κάστρων του δούκα Valentino di Romagna, και «ο Leonardo ο υδραυλικός μηχανικός», που αγωνίζεται με τα κανάλια άρδευσης και τις υδάτινες οδούς στη Λομβαρδία.



Εικόνα 92. (Αριστερά) Βήματα έρευνας.
(Δεξιά) Διάγραμμα ροής.

Στη φάση της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε μια πρώτη ένωση των σημείων του νέφους στο λογισμικό Cyclone 8.1 και προστέθηκαν πληροφορίες χρώματος. Το αποτέλεσμα ήταν ένα σχεδόν πλήρες τρισδιάστατο σύνολο δεδομένων του αγάλματος, χρήσιμο για τη δημιουργία ορθοφωτοεικόνων και επαναχρησιμοποίησιμο σε άλλο λογισμικό αντίστροφης μοντελοποίησης, το Geomagic Studio, όπου και φιλτραρίστηκαν. Τα δεδομένα στη συνέχεια μετατράπηκαν σε μορφή πλέγματος. Αυτές οι περιοχές φιλτραρίστηκαν, εναρμονίστηκαν οι επιμέρους σαρώσεις και ευθυγραμμίστηκαν ώστε να προκύψει το ενιαίο πολυγωνικό μοντέλο.

Το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε επίσης για τη δοκιμή ορισμένων διαδικασιών αναπαράστασης εικόνων για την απόδοση των υλικών του αγάλματος, την εύρεση των κέντρων τους και τη λήψη των πληροφοριών χρώματος στους Χάρτες UV του μοντέλου. Ένα πρόβλημα που διαπιστώθηκε ήταν η ομοιομορφία της υφής, ειδικά σε τμήματα του μοντέλου όπου ελήφθησαν πολλές φωτογραφίες, μα τελικώς επιλέχθηκε η επεξεργασία των μεμονωμένων Χαρτών UV με ένα πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων για την προσαρμογή των ιστογραμμάτων RGB προκειμένου οι υπολογισμένες υφές να είναι ομοιόμορφες.

Ακολούθησε εισαγωγή σε λογισμικό AR (ARmedia 3D SDK) με δυνατότητα παρακολούθησης τρισδιάστατων αντικειμένων. Η εφαρμογή ανεβάζει ένα σύνολο εικόνων και ένα τρισδιάστατο μοντέλο CAD. Ο αλγόριθμος SDK δημιουργεί σχέσεις και αντιστοιχίες μεταξύ των εικόνων και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μοντέλου. Με τη συνδυασμένη χρήση της λειτουργίας εξαγωγής ακμών (που βοηθούν στον προσδιορισμό της θέσης της κάμερας αναγνωρίζοντας ακμές και γωνίες στο τρισδιάστατο μοντέλο) και της συνταύτισης βάσει προτύπου / template-

based tracking (μια διαδικασία που περιλαμβάνει ξεχωριστούς υπολογισμούς επίπεδων προβολών του 3D μοντέλου), η εφαρμογή δημιουργεί μια διάταξη αντιστοιχιών με 3D σημεία για τους προσανατολισμούς των εικόνων. Το σετ εικόνων και το βελτιωμένο 3D μοντέλο εισήχθησαν σε περιβάλλον Unity 3D.



Εικόνα 93. Στάδια επεξεργασίας (από αριστερά προς τα δεξιά):
Νέφος σημείων του αγάλματος χωρικά ενταγμένο (Registered) στο λογισμικό Cyclone
Αντίστροφη μοντελοποίηση του μνημείου στο λογισμικό Geomagic Studio
3D μοντέλο με εφαρμοσμένη υφή
Χρήση της εφαρμογής AR για φορητή συσκευή στο άγαλμα του Λεονάρντο ντα Βίντσι.

Η φορητή συσκευή διαθέτει μια εσωτερική εφαρμογή που χρησιμοποιεί ένα γραφικό περιβάλλον εργασίας χρήστη (GUI), ένα σύστημα παρακολούθησης 3D και μια μηχανή γραφικών για οπτικοποίηση και διαχείριση δεδομένων (Unity 3D). Αυτά τα στοιχεία λειτουργούν ταυτόχρονα, τόσο για την απόδοση της εικόνας στη συσκευή όσο και για την ενίσχυση της αλληλεπίδρασης του χρήστη.

Για την αποθήκευση και την κοινή χρήση δεδομένων απαιτείται μια βάση δεδομένων SQL που διασφαλίζει την ενσωμάτωση στην εφαρμογή του έργου και για μελλοντική χρήση σε συστήματα που βασίζονται στο Διαδίκτυο (web-based). Το σενάριο διαχείρισης δεδομένων γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C# (C Sharp) για την πλατφόρμα Unity.

- Άλλη μελέτη περίπτωσης παρουσίασαν οι Canciani et al. (2016) και αφορά σε τμήμα της μελέτης των Αυρηλιανών Τειχών⁶⁹ της Πραιτωριανής Φρουράς (Castra Praetoria) της Ρώμης. Συγκεκριμένα, αφορά στη βόρεια πύλη της Πραιτωριανής Φρουράς η οποία σήμερα είναι χτισμένη. Η μεθοδολογία ακολούθησε τρία βήματα:

(I) τρισδιάστατη ολοκληρωμένη έρευνα:

A) άμεση έρευνα για ορισμένες αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες ή επιμέρους υλικά (τούβλα κ.λπ.),

B) φωτογραμμετρικές τεχνικές: χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές SfM, ενώ για τον περιορισμό των σφαλμάτων ελήφθησαν τα κατάλληλα σετ εικόνων με βαθμονομημένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Nikon D3000 ανάλυσης 10.2MP (1500 εικόνες με επικάλυψη 75-80%, κανονικές και συγκλίνουσες, την ίδια ώρα κάθε μέρα για να πετύχουν ίδιο διάχυτο φωτισμό αποφεύγοντας έντονες αντιθέσεις και σκιές λόγω βλάστησης).

Γ) τοπογραφικές μετρήσεις (με Total Station) φωτοσταθερών σημείων⁷⁰.

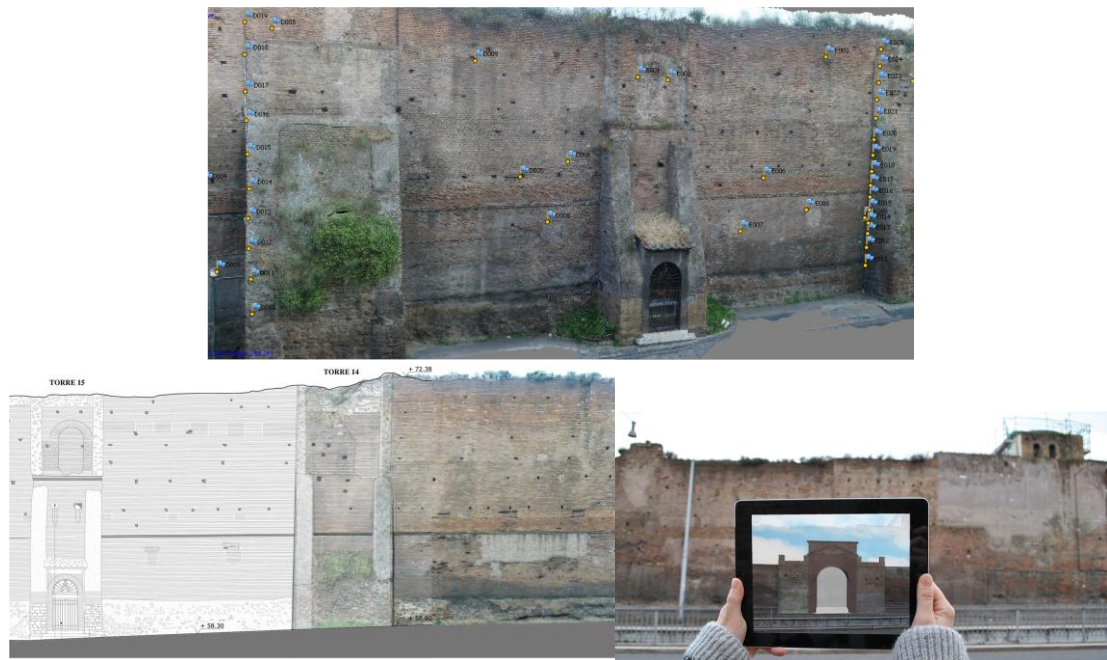
Μελέτη: οι εικόνες εισήχθησαν στο λογισμικό Agisoft PhotoScan, παρήχθη το αραιό νέφος σημείων, εισήχθησαν τα φωτοσταθερά σημεία και στη συνέχεια παρήχθησαν το πυκνό νέφος σημείων και, τέλος, τα μοντέλα (3D mesh).

(II) Πραγματοποιήθηκε εικονική ανακατασκευή της πύλης. Με χρήση μιας εφαρμογής AR είναι δυνατή η υπέρθεση ενός μοντέλου 3D πάνω από μια εικόνα (που ονομάζεται tracker). Για την ορθή τοποθέτηση, κάθε εικόνα πρέπει να μεταφορτωθεί στην εφαρμογή AR ώστε να ευθυγραμμιστεί το 3D μοντέλο με την εικόνα.

Κάθε σωστή διαδικασία SfM μπορεί να δημιουργήσει σχετικά εύκολα λεπτομερές 3D μοντέλο πλέγματος που είναι πολύ χρήσιμο για AR. Χρησιμοποιώντας αυτού του είδους τα μοντέλα, μπορεί κανείς να δείξει δεδομένα που προέρχονται από φωτογραμμετρική διαδικασία, μικτά μοντέλα με εικονική ανακατασκευή ή προσθήκη ανάλυσης των δεδομένων (Canciani et al., 2016).

⁶⁹ Τα Αυρηλιανά τείχη είναι το μεγαλύτερο ρωμαϊκό μνημείο, που χτίστηκε από τον αυτοκράτορα Αυρηλιανό για την ενίσχυση της άμυνας της πόλης έναντι στις βαρβαρικές επιδρομές. Είχαν μήκος περί τα 19 km, από τα οποία σήμερα σώζονται τα 12.5.

⁷⁰ Ελήφθησαν 650 σημεία ελέγχου (Control Points) σε μήκος τειχών 750 m.



Εικόνα 94. (Επάνω): Τοπογραφική και φωτογραμμετρική έρευνα: τμήμα τρισδιάστατου μοντέλου. Η τριγωνισμένη επιφάνεια με φωτοσταθερά και πληροφορίες χρώματος, (Κάτω αριστερά): Πρόσωση, σχέδια και ορθοφωτογραφία. Το μοντέλο 3D mesh χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την αναπαράσταση, (Κάτω δεξιά) Αυξημένη Πραγματικότητα on site.

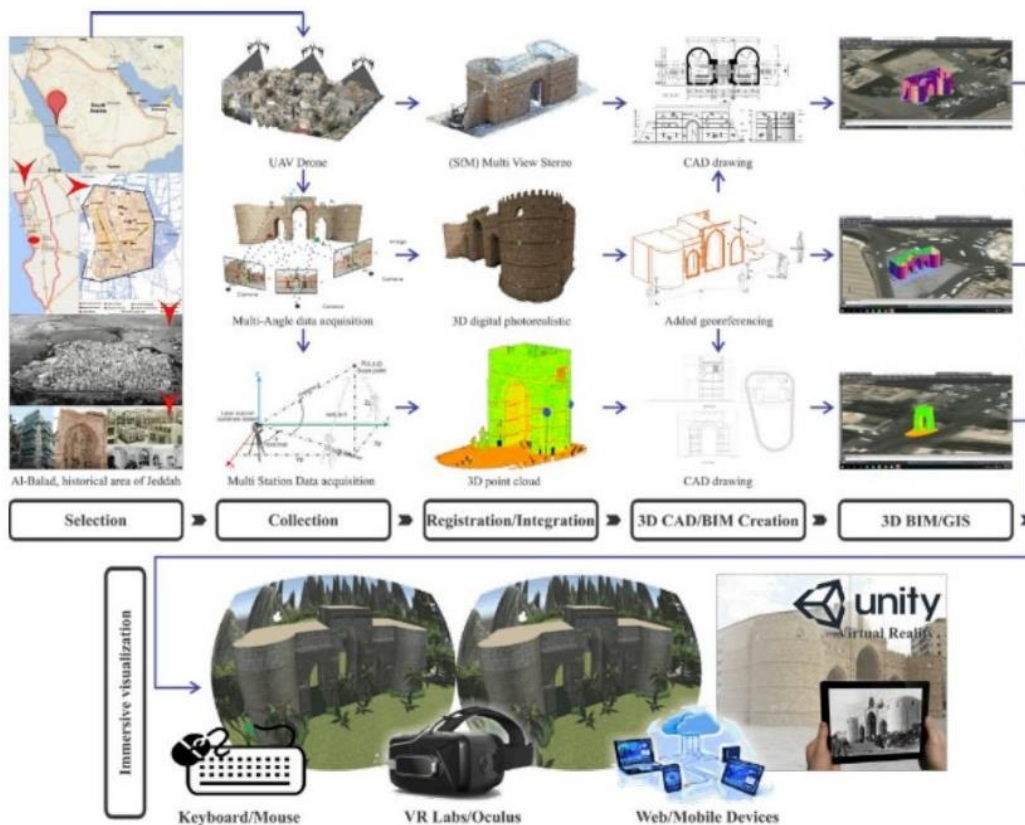
- Έτερη μελέτη περίπτωσης είναι αυτή των Albouae et al. (2017). Πρόκειται για την περίπτωση του Al-Balad, την ιστορική περιοχή της Τζέντα που βρίσκεται στην ανατολική ακτή της Ερυθράς Θάλασσας και το 2014 αναγνωρίστηκε ως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO.

Εδώ δημιούργησαν μια ροή εργασίας που συνδυάζει τις εξής μεθόδους: εγγύς φωτογραμμετρία με SfM-MVS και επίγεια σάρωση με laser. Για την ενίσχυση της γεωμετρικής ακρίβειας έγινε τελική μοντελοποίηση σε περιβάλλον CAD. Στη συνέχεια το 3D μοντέλο ενσωματώθηκε σε ένα σύστημα 3D GIS.

Στόχος ήταν μια ολιστική εφαρμογή για εμπυθιστικές εφαρμογές περιβάλλοντος, όπου το τελικό αποτέλεσμα θα έχει πολλαπλές πτυχές ανάλογα με την απαίτηση, και τρισδιάστατα μοντέλα με διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών (υψηλό, μεσαίο, χαμηλό) και συνδέσμους με συναφείς πληροφορίες.

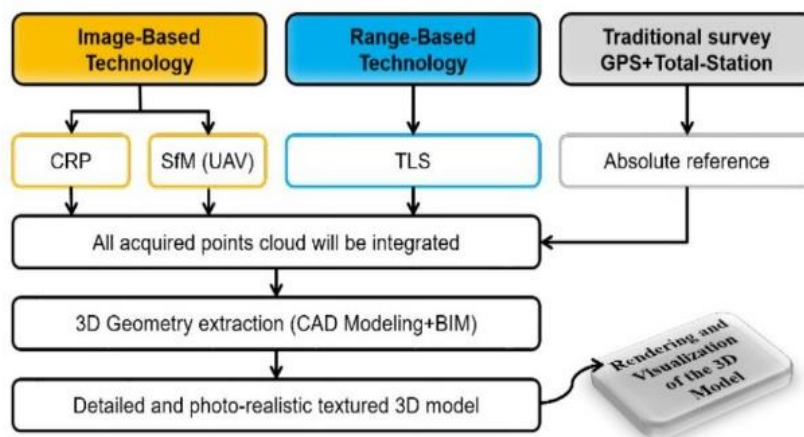
Στο 3D εφαρμόστηκαν οι πληροφορίες υψής για μια πολύ λεπτομερή απόδοση του αντικειμένου από όλες τις γωνίες που μπορεί να απεικονιστεί σε μια ειδικά προσαρμοσμένη εφαρμογή ιστού ή να δοκιμαστεί σε πραγματικό χρόνο, με πλήρη πιστότητα, με χρήση μιας μηχανής παιχνιδιών όπως το Unity3D. Στη συνέχεια, οι εικονικές και επαυξημένες φορητές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσίαση των πληροφοριών στον χρήστη, με το προτεινόμενο πλαίσιο να

περιλαμβάνει μια εφαρμογή που συλλέγει δεδομένα από τον δέκτη GPS και την κάμερα της συσκευής. Πρακτικά, μέσω του δέκτη GPS της φορητής συσκευής προσδιορίζεται η θέση του χρήστη και το παρατηρούμενο αντικείμενο. Εάν υπάρχουν περισσότερα του ενός αντικείμενα ενδιαφέροντος, τότε το παρατηρούμενο από τον χρήστη της φορητής συσκευής προσδιορίζεται μέσω της ταύτισης που θα επιτευχθεί από την εικόνα που λαμβάνει η μηχανή της συσκευής με την αντίστοιχη εικόνα που έχει καταγραφεί στη βάση δεδομένων του συστήματος.



Εικόνα 95. Ροή εργασιών – μεθοδολογία.

Η κατάλληλη ενσωμάτωση των νεφών σημείων για τη δημιουργία ακριβούς 3D μοντέλου απαιτεί προσεκτική επιθεώρηση των ληφθέντων δεδομένων και δημιουργία κατάλληλης ροής εργασίας. Τα δημιουργούμενα 3D μοντέλα χρησιμοποιούνται στα στάδια εργασίας της Εικ.96.



Εικόνα 96. Ενσωμάτωση συλλεγέντων δεδομένων και εξαγωγή μοντέλων CAD/GIS (Albourae et al., 2017).

- «Αγία Σοφία: 1.500 Χρόνια Ιστορίας»

Μια άλλη εφαρμογή είναι η «Αγία Σοφία: 1.500 Χρόνια Ιστορίας», που είναι ένας εικονικός οδηγός⁷¹ για τη Βυζαντινή Αρχιτεκτονική και την Αγία Σοφία ως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς.

Βασικός στόχος του έργου⁷² ήταν η κατασκευή της πλήρους εικονικής ψηφιακής αναπαράστασης του ναού της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη, όπως αυτός ήταν στην περίοδο του 11^{ου}-12^{ου} αιώνα, βασισμένη σε στοιχεία επιστημονικής έρευνας του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού.

Η ψηφιακή αναπαράσταση⁷³ του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και του εσωτερικού γλυπτού, αρχιτεκτονικού και ψηφιδωτού διακόσμου παρέχουν τη δυνατότητα στον επισκέπτη να παρακολουθεί την εξέλιξη της Βυζαντινής Αρχιτεκτονικής και τέχνης, ενώ θα λαμβάνει πληροφορίες για τον ιστορικό περίγυρο, σημαντικά ιστορικά, κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία της ζωής του

⁷¹ Ο εικονικός οδηγός διάρκειας 45' περίπου, προβάλλεται στη Θόλο εικονικής πραγματικότητας του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού. Για περισσότερες πληροφορίες στον δικτυακό τόπο του ΙΜΕ: <http://agiasophia.tholos254.gr/gr/index.html>

⁷² Το έργο ήταν ενταγμένο στο Ε.Π. "Ψηφιακή Σύγκλιση" – ΕΣΠΑ 2007-2013 και συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (προϋπολογισμού 914.577€)

Για περισσότερες πληροφορίες στον δικτυακό τόπο της ΕΥΔΕ ΤΠΕ του Υπουργείου Ψηφιακής Διακυβέρνησης: <http://w3.digitalplan.gr/portal/resource/Eikonikos-Odhgos-sth-Byzantin-Arhitektonikh:-H-Agia-Sofia-Mnhmeio-ths-Pagkosmias-Klchronomias-a18bc3cc-cccc-425d-a9fe-487e272b6128>

⁷³ Ιστότοπος: <http://constantinoupoli.com/%CE%B1%CE%B3%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CE%BF%CF%86%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CE%B1%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B9-%CF%83%CE%B5-1-500-%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%82/>

Βυζαντίου, μέσα από την ιστορία του μνημείου αυτού που ανήκει στην παγκόσμια κληρονομιά.



Εικόνα 97. Εικόνες από την εφαρμογή «Αγία Σοφία: 1.500 Χρόνια Ιστορίας».

- Magi Chapel VR

Επίσκεψη στο ιστορικό παρεκκλήσι Magi⁷⁴ της Φλωρεντίας μπορεί να πραγματοποιήσει κανείς μέσω της εφαρμογής⁷⁵ εικονικής περιήγησης.



Εικόνα 98. Άποψη της εφαρμογής.

- Tutankhamun: Enter the Tomb

Επόμενη εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας είναι εδώ η παραγωγή «Tutankhamun: Enter the Tomb». Αυτή η ταινία VR⁷⁶ προβάλλεται σε συνδυασμό με την έκθεση⁷⁷ «Tutankhamun: Treasures of The Golden Pharaoh» στην γκαλερί Saatchi του Λονδίνου.

⁷⁴ Το Παρεκκλήσι Magi βρίσκεται στο Palazzo Medici Riccardi, το οποίο αποτελούσε την οικία της οικογένειας Medici κατά την Αναγέννηση. Στο εκκλησάκι υπάρχουν τοιχογραφίες του Benozzo Gozzoli, που δείχνουν το ταξίδι των Μάγων. Πέραν της θρησκευτικής αξίας, στις τοιχογραφίες περιλαμβάνονται ιστορικοί χαρακτήρες της Φλωρεντίας.

⁷⁵ Αυτή η εφαρμογή απαιτεί σερβερική εικονική πραγματικότητα. Δημιουργοί της εφαρμογής Magi Chapel VR είναι η EON Experience VR.

Σχετικό βίντεο: <https://www.youtube.com/watch?v=Q8DOEVSBo0>

⁷⁶ Δημιουργήθηκε από την εταιρία CityLights, εταιρεία ψυχαγωγίας του σκηνοθέτη του Χόλιγουντ Joel Newton και του χρηματοδότη και συλλέκτη τέχνης David Ganek.

⁷⁷ Η ταινία VR αποτελεί προσθήκη στην κύρια έκθεση, η οποία διοργανώθηκε από το αιγυπτιακό υπουργείο Πολιτισμού για να συγκεντρώσει χρήματα για το έργο της, το Μεγάλο Αιγυπτιακό Μουσείο. Πληροφορίες: <https://tutankhamun-london.com>

Trailer: <https://www.youtube.com/watch?v=6fPrIcyuCzA&feature=youtu.be>

<https://www.youtube.com/watch?v=WKxsDuqoqsk>

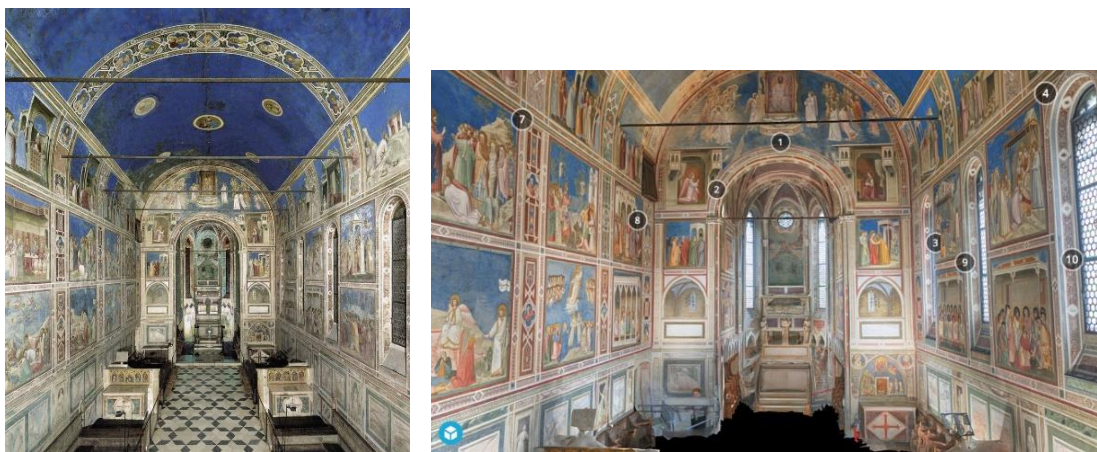
Πρόκειται για μια προβολή διάρκειας 8 λεπτών η οποία ακολουθεί τα χνάρια του αρχαιολόγου Χάουαρντ Κάρτερ που ανακάλυψε τον τάφο του Τουταγχαμών το 1922.



Εικόνα 99α. (Αριστερά) Η εμπειρία μέσω HMD στην έκθεση και 99β. (Δεξιά) Άποψη της εφαρμογής.

- Το παρεκκλήσι Scrovegni στην Πάδοβα (Scrovegni Chapel VR⁷⁸)

Τέλος, στο παρεκκλήσι Scrovegni, γνωστό και ως «Arena» στην Πάδοβα της Ιταλίας, παρατηρήθηκαν το 1971 ταχέως εξελισσόμενες φθορές στις τοιχογραφίες του 13^{ου} αιώνα του Giotto, κυρίως λόγω προβλημάτων ρύπανσης (μόλις 8 χρόνια μετά από την αποκατάσταση). Έπειτα, μετά από τον σεισμό του 1976, καταγράφηκαν και άλλες ζημιές, με συνέπεια να ξεκινήσει ένα νέο πρόγραμμα αποκατάστασης. Πρόσφατα δημιουργήθηκε μια εικονική περιήγηση 360° στο τρισδιάστατο μοντέλο του παρεκκλησίου.



Εικόνα 100α. (Αριστερά) Πραγματική εικόνα του παρεκκλησίου και 100β. (Δεξιά) Στιγμιότυπο της εφαρμογής Scrovegni Chapel VR.

⁷⁸ Περισσότερες πληροφορίες και βίντεο από την εφαρμογή VR στους ιστότοπους: <https://www.youtube.com/watch?v=6MptWpldxg4> , https://www.youtube.com/watch?v=LWbAx_gDgdQ , ενώ στον ιστότοπο: <https://sketchfab.com/3d-models/arena-chapel-scrovegni-chapel-b149c4d44e83407db85b79188261fec7> υπάρχει δυνατότητα πλοήγησης στο τρισδιάστατο μοντέλο.

ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ και ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΣΤ.1. Γενικά συμπεράσματα

Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας έχει εξελιχθεί ειδικά τα τελευταία χρόνια, παράλληλα με τις ολοένα και αυξανόμενες δυνατότητες των επιμέρους υλικών/εξοπλισμών και λογισμικών που συντελούν προς αυτήν. Εξυπακούεται πως από την αρχή τέτοιων συστημάτων σε δύο διαστάσεις, όπως σε μια οθόνη υπολογιστή όπου η εμπύθιση είχε περιορισμούς, έχουμε πλέον περάσει στην εικονική πραγματικότητα (VR) που μπορεί να επιτύχει πλήρη εμπύθιση του χρήστη, αυξάνοντας την αίσθηση της παρουσίας του σε αυτό το περιβάλλον. Η αίσθηση αυτή κρίνεται απαραίτητη για την επιτυχία ενός τέτοιου συστήματος.

Όσον αφορά στα συστήματα επαυξημένης και μικτής πραγματικότητας, όπου σε αυτά ο χρήστης έχει και εικόνα του περιγυρού του και του πραγματικού κόσμου, εάν είναι καλοσχεδιασμένα μπορούν να επιτύχουν την αίσθηση της παρουσίας του χρήστη, συμπληρώνοντάς του το οπτικό πεδίο με αντικείμενα εικονικά ή και πληροφορίες κ.λπ. Η επαύξηση μπορεί να είναι είτε σε κείμενο είτε σε δισδιάστατα γραφικά, αλλά πιο αποτελεσματικά, εντυπωσιακά και αποδοτικά είναι τα τρισδιάστατα γραφικά τα οποία μπορεί να περιλαμβάνονται στο οπτικό πεδίο του χρήστη. Εάν αυτά ευθυγραμμίζονται ορθά μέσω του συστήματος AR ή MR, δύναται να αποτελέσουν εργαλείο για την καλύτερη αντίληψη και κατανόηση του παρατηρούμενου αντικειμένου από τον χρήστη.

Επίσης, σημαντικό ζήτημα αποτελεί η απόκριση των συστημάτων αυτών σε πραγματικό χρόνο, δίχως καθυστερήσεις από τεχνικής απόψεως, που λαμβάνει υπόψη τη θέση και τη διεύθυνση κίνησης του χρήστη και ειδικότερα την αναγνώριση του πεδίου θέασής του. Από τεχνολογική άποψη, η θέση και ο προσανατολισμός της κίνησης των χρηστών επιλύεται με διάφορους τρόπους όπως αναφέρθηκε στις οικείες ενότητες, δηλαδή μέσω εντοπισμού θέσης (GPS κ.λπ.), με χρήση σημασμένων στόχων ή με χρήση αδρανειακών συστημάτων που προσδιορίζουν για το σύστημα AR/MR την κίνηση του χρήστη. Η χρήση αδρανειακών συστημάτων είναι η αποδοτικότερη όλων. Όσον αφορά στη διεύθυνση θέασης του χρήστη, αυτή αντιμετωπίζεται αποδοτικότερα με ανιχνευτές κίνησης είτε του κεφαλιού του χρήστη είτε απευθείας μέσω ανιχνευτών της κίνησης

των οφθαλμών του. Βέβαια, το τελευταίο προϋποθέτει τη χρήση ειδικών масκών HMD.

Η χρήση масκών HMD με τη σειρά της αυξάνει το κόστος του εξοπλισμού. Η φορητότητα του εξοπλισμού είναι επίσης ένα ζήτημα που επιλύεται από την τεχνολογική εξέλιξη. Μπορεί να σχεδιαστεί ένα σύστημα VR ή AR το οποίο να βασίζεται σε φορητές συσκευές όπως Smartphones κ.λπ., τα οποία μπορούν να επαυξήσουν την πληροφορία που λαμβάνει ο χρήστης και τα οποία ολοένα και περισσότερο βρίσκουν εφαρμογή, δεδομένου ότι τα σύγχρονα «έξυπνα» κινητά τηλέφωνα διαθέτουν επεξεργαστές και αυξημένη ανάλυση για την οπτικοποίηση πληροφοριών επί της οθόνης.

Ένας εξίσου σημαντικός παράγων που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό οποιασδήποτε εφαρμογής, προκειμένου αυτή να είναι πλήρως αποδοτική, είναι η αλληλεπίδραση που μπορεί να επιτύχει ο χρήστης των συστημάτων αυτών. Όσο περισσότερο είναι δυνατό να αλληλεπιδρά ο χρήστης με το περιβάλλον του, είτε αυτό είναι πλήρως είτε μερικώς εικονικό, τόσο περισσότερο μπορεί να αντλήσει από αυτό πληροφορίες, να νιώσει «παρών» σε αυτό και να εμπλουτίσει τις γνώσεις του από αυτό. Η διαδραστικότητα λοιπόν είναι σημαντική, και σε συνδυασμό με τα άλλα δύο στοιχεία του τρίπτυχου, την εμβύθιση (immersion) και τη φαντασία (imagination), δύναται να συντελέσει στη μέγιστη αξιοποίηση και απόδοση των συστημάτων αυτών.

Επιπρόσθετα, αν οι προσλαμβάνουσες εικόνες μπορούν να πλαισιώνονται και από επιπλέον αισθητηριακή πληροφορία του χρήστη, όπως ηχητική κ.λπ., τότε μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της προσομοίωσης των συστημάτων και εφαρμογών αυτών. Ιδιαίτερα σε συστήματα VR πρέπει να υποστηρίζεται η επιπλέον αισθητηριακή ανάδραση και άλλων αισθήσεων του χρήστη. Τα αποτελεσματικότερα συστήματα VR είναι τα συστήματα τύπου CAVE, όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα της μέγιστης εμβύθισης και εμπειρίας.

Πάντως, η έρευνα στο πεδίο της ευρύτερης εικονικής πραγματικότητας συνεχίζεται ακάθεκτη σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης, από ερευνητικά κέντρα, εκπαιδευτικά ιδρύματα, αλλά και εταιρίες. Η δε ενασχόληση με τον κλάδο και εταιρικών κολοσσών, οι οποίες χρηματοδοτούν την έρευνα και ανάπτυξη δικών τους συστημάτων ή και προχωρούν σε εξαγορές εταιριών που δραστηριοποιούνται στον κλάδο, καθιστά σαφές πως σε όχι και τόσο μακρινό χρόνο θα υπάρξουν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Επιπλέον, ολοένα και περισσότερες πολυεθνικές εταιρίες

(όπως προκύπτει και από τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως συσκευές εισόδου και εξόδου ενός συστήματος VR ή AR που αναφέρθηκαν παραπάνω) προσπαθούν να λάβουν θέση στην αγορά, γεγονός που συντελεί στην κατεύθυνση άμεσων τεχνολογικών εξελίξεων, βελτίωσης των παρεχόμενων εμπειριών και πιθανόν μείωσης των τιμών λόγω μεγαλύτερης προσφοράς και ανταγωνισμού.

Τα αναφερθέντα οφέλη που μπορούν να αποκομίσουν οι χρήστες τέτοιων εφαρμογών μπορεί να είναι πολλαπλά. Πέραν από μια συναρπαστική διαδραστική εμπειρία, υπάρχουν σημαντικά οφέλη σε πλήθος τομέων, ολοένα και περισσότερων, με εξέχοντα τον τομέα της εκπαίδευσης, της τηλε-εκπαίδευσης και της εκπαίδευσης ιδίως σε συνθήκες που καθιστούν προβληματική ή επικίνδυνη την φυσική παρουσία του εκπαιδευόμενου. Ακόμη, μέσω τέτοιων εφαρμογών ο εκπαιδευόμενος μπορεί να αποκτήσει πρόσθετες γνώσεις και δεξιότητες, μέσω της εποπτικότερης παρουσίασης του περιεχομένου, αφού θα μπορεί να το ερευνήσει, να το εξερευνήσει, να πλοηγηθεί και να διαδράσει με το περιεχόμενο. Τα συστήματα αυτά παρέχουν πραγματικά απεριόριστες δυνατότητες (που εξαρτώνται από τον σχεδιασμό τους) ώστε να εμπυθιστεί κανείς είτε ολικώς είτε μερικώς σε ένα εικονικό περιβάλλον, δυνητικά ακόμη και της αρεσκείας του ή της επιλογής του. Παρακάμπτονται ζητήματα όπως του κινδύνου του εξοπλισμού ή των μηχανών στις οποίες εκπαιδεύεται ο χρήστης, αποστάσεων, καθώς και ζητήματα προσβασιμότητας και προσπελασιμότητας.

Ειδικότερα, ο τομέας της AR είναι ταχύτερα αναπτυσσόμενες κλάδος παρ' όλο που βασίζεται στην ίδια προγραμματιστική λογική με τη VR και μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα που συλλέχθηκαν (με οποιονδήποτε τρόπο) για ένα από τα δύο συστήματα. Εντούτοις, απαιτεί λιγότερη προγραμματιστική προσπάθεια διότι σε αυτήν δεν απαιτείται ο συλλήβδην σχεδιασμός ενός εικονικού κόσμου ή περιβάλλοντος, αφού τα δημιουργηθέντα προγραμματιστικά εικονικά αντικείμενα προορίζονται μόνον για τη συμπλήρωση της υφιστάμενης πραγματικότητας.

ΣΤ.2. Συμπεράσματα στον τομέα του Πολιτισμού

Από τις τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας, αλλά και ειδικότερα από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να υλοποιηθούν οι τεχνολογίες αυτές, μπορεί να επωφεληθεί ο πολιτισμός όσο και ο πολιτιστικός κλάδος της χώρας, τόσο με την αναλυτικότερη γεωμετρική καταγραφή, κατοχύρωση και τελικώς τεκμηρίωση των αντικειμένων που άπτονται του τομέα του πολιτισμού για τη δημιουργία

αποθετηρίων, όσο και με τη δυνατότητα πληρέστερης ανάλυσης, ερμηνείας και κατανόησης των ίδιων των αντικειμένων.

Τα πολιτιστικά αντικείμενα συνήθως εκτίθενται στο φυσικό περιβάλλον ενός μουσείου και εμφανίζονται σε προθήκες με πεπερασμένο πλήθος σχετικών πληροφοριών ή σε έναν αρχαιολογικό χώρο με κάποιες πληροφοριακές πινακίδες. Εάν τα ίδια αντικείμενα ψηφιοποιηθούν μπορούν να παρουσιαστούν σε ένα εικονικό μουσείο είτε και να αποτελέσουν αντικείμενο ψηφιακής επεξεργασίας ώστε να δύναται να προβληθούν σε ένα περιβάλλον μικτής πραγματικότητας σε περιήγηση εντός του φυσικού χώρου του μουσείου ή, μέσω VR, και εκτός του φυσικού χώρου του μουσείου. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, οι πληροφορίες που μπορεί να αντλήσει ο χρήστης για το έκθεμα είναι δυνατόν να ξεπερνούν κατά πολύ αυτές που θα μπορούσε να αντλήσει ο ίδιος από τις προθήκες ή τις πληροφοριακές πινακίδες. Επιπλέον, θα είναι σε θέση, κατόπιν αντίστοιχου σχεδιασμού του συστήματος, να δει το έκθεμα τρισδιάστατο και στην ολότητά του, χωρίς αυτό να έχει επηρεαστεί από την πάροδο του χρόνου, αλλά και από όποια οπτική γωνία εκείνος επιλέξει. Ακόμα, μπορούν να παρουσιάζονται αποσπασθέντα τμήματα των εκθεμάτων που βρίσκονται σε άλλο φυσικό χώρο ή μουσείο.

Περαιτέρω, μέσω των τεχνικών εικονικής πραγματικότητας μπορούν να ανακατασκευαστούν τμήματα ή και ολόκληρα εκθέματα ή μνημεία των οποίων η κατάσταση έχει πλέον αλλάξει, μέσω των μεθόδων και τεχνικών της φωτογραμμετρίας, από τη φωτογραφική τεκμηρίωση που έχει πραγματοποιηθεί σε προγενέστερο χρόνο. Οι αρχαιολόγοι θα μπορούν να συναρμολογούν εικονικά τα σωζόμενα τμήματα ενός συνόλου και να πραγματοποιούν ψηφιακά τη συναρμογή των θραυσμάτων, έτσι ώστε να καταγράφεται παράλληλα ποιο κομμάτι αντιστοιχεί σε ποιο ή συνενώνεται με ποιο, δίνοντας τη δυνατότητα εν τέλει της συναρμολόγησης είτε του πρωτοτύπου είτε και αντιγράφων των τμημάτων του, λειτουργώντας ταυτόχρονα ως μοντελοθήκη του συμπληρωμένου αντικειμένου.

Τα μουσεία μπορούν να επωφεληθούν, όπως αναφέρθηκε στην αντίστοιχη ενότητα, από πλήθος πλεονεκτημάτων, όπως αντίστοιχα και οι επισκέπτες τους, είτε με φυσική παρουσία στον χώρο είτε μέσω εικονικής παρουσίας σε VR. Οι δε επισκέπτες των αρχαιολογικών χώρων και μουσείων μπορούν να επωφεληθούν από την πληρέστερη, διαδραστικότερη και αποτελεσματικότερη ενημέρωσή τους, ώστε να αποκτήσουν καλύτερη εικόνα των εκθεμάτων, τα οποία εικονικώς θα μπορούν και να περιεργαστούν δίχως κίνδυνο για τα ίδια τα εκθέματα.

Οι τρισδιάστατες ανακατασκευές αντικειμένων ή μνημείων μέσω των αντίστοιχων τεχνικών ενδέχεται να βοηθήσουν και στην αναστήλωση ή αποκατάστασή τους σε μελλοντικό χρόνο.

Επιπλέον, η χρήση συσκευών για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας από τους επισκέπτες, όπως πχ. Smartphones που έχουν στην κατοχή τους, μπορεί να τους βοηθήσει να αποκτήσουν πληρέστερες γνώσεις για τα παρατηρούμενα αντικείμενα, χωρίς ωστόσο να επιβαρύνεται με κόστος το ίδιο το μουσείο ή η αρχή που διαχειρίζεται τους αρχαιολογικούς χώρους.

ΣΤ.3. Προτάσεις

Με βάση τα ανωτέρω, αποτελεί ευκαιρία και πρόκληση για τον τομέα του πολιτισμού και της πολιτιστικής κληρονομιάς η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων για την καταγραφή, κατοχύρωση και τελικώς τεκμηρίωσή της, αλλά και για τη συνολική προβολή της.

Είναι δεδομένο ότι πλέον υπάρχει η τεχνογνωσία παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων για χρήση σε τέτοια συστήματα (AR, MR και VR), που πληροί τις προϋποθέσεις για πιστές από αρχαιολογική άποψη απεικονίσεις για την καταγραφή, κατοχύρωση και τεκμηρίωση των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς, είτε πρόκειται για αντικείμενα, κατασκευές, μνημεία είτε και για ολόκληρους αρχαιολογικούς χώρους. Δεδομένο είναι ακόμα και ότι τα υπόλοιπα στάδια της δημιουργίας τέτοιων συστημάτων αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου και επιλύονται ζητήματα που άπτονται της λειτουργικότητάς τους. Πρέπει, λοιπόν, και οι φορείς που εμπλέκονται με τη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς να κάνουν αποφασιστικά αυτό το βήμα προς το μέλλον.

Αρωγοί μπορούν να σταθούν τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και ο κλάδος της τοπογραφίας/φωτογραμμετρίας που διαθέτει το know-how της πιστής και επακριβούς ψηφιακής απεικόνισης, με τις ειδικές τεχνικές και μεθόδους γεωμετρικής τεκμηρίωσης που διαθέτει, αλλά και τις μεθόδους που αντιμετωπίζουν ζητήματα εντοπισμού θέσης στον χώρο, 3D ανακατασκευής και οπτικοποίησης, παράλληλα με αξιοποίηση συναφών τεχνικών, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, που εμπίπτουν στους τομείς της όρασης υπολογιστών. Σε αυτήν την προσπάθεια της τεκμηρίωσης πρέπει να συνδράμει η εκπαιδευτική κοινότητα, ακολουθώντας τη στόχευση και της Ευρωπαϊκής

Επιτροπής, προς την κατεύθυνση διαφύλαξης και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η καταγραφή και τεκμηρίωση δεν μπορεί παρά να έχει και αντίκτυπο στην προβολή της κληρονομιάς και στη διάδοσή της, που τελικώς μπορεί να επιτελέσει και το όχημα, σε εθνικό επίπεδο, για την αξιοποίηση του πλούτου της διαθέσιμης κληρονομιάς για την προσέλκυση τουριστών. Ειδικότερα και στοχευμένα στο πλαίσιο του πολιτιστικού τουρισμού, μπορεί να αποτελέσει πόλο έλξης και, μέσω της παροχής υψηλών παροχών και υπηρεσιών, να αναβαθμίσει και να δημιουργήσει προστιθέμενη αξία στο πολιτιστικό προϊόν της χώρας.

Έτσι θα ήταν σκόπιμο να κινηθούν προς αυτή την κατεύθυνση όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς, ξεκινώντας από το Υπουργείο Πολιτισμού, τις Εφορείες Αρχαιοτήτων, το Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων αλλά και τα μουσεία της χώρας, που εμπλέκονται θεσμικά με θέματα που άπτονται του πολιτισμού, της διαχείρισης, της ανάδειξης και διαφύλαξης της πολιτιστικής κληρονομιάς, για να κάνουν αυτό το βήμα προς το μέλλον μέσω χρηματοδότησης δράσεων για την περαιτέρω ανάδειξή της. Πρόκειται σαφώς για δύσκολο και μεγάλο εγχείρημα, που προϋποθέτει και απαιτεί, πέραν από σημαντικούς οικονομικούς πόρους, και έννοιες όπως οργάνωση και συντονισμός. Εξίσου σημαντικές όμως έννοιες αποτελούν και η καταγραφή και τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, γεγονός που επισημαίνεται και από πολλούς ερευνητές και ασχολούμενους με την καταγραφή πολιτιστικών αντικειμένων, πρέπει να υπάρξει πολυεπιστημονική προσέγγιση και συνεργασία, χωρίς να υπάρχουν κλαδικές αγκυλώσεις, από επιστήμονες όπως αρχαιολόγοι και μουσειολόγοι, μηχανικοί και μηχανικοί πληροφορικής, για την επίλυση ζητημάτων και τον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων, έτσι ώστε οι τρισδιάστατες ανακατασκευές αλλά και το σύνολο ενός τέτοιου συστήματος να αποτελεί εργαλείο για όλους τους πιθανούς αποδέκτες.

Το όραμα στη συμβολή της πολιτιστικής μας κληρονομιάς θα ήταν να μπορεί ένας επισκέπτης ενός μουσείου ή χώρου πολιτιστικού ενδιαφέροντος να πλοηγηθεί με μία φορητή συσκευή στο αντικείμενο της επίσκεψής του και αυτή να του παρέχει εξατομικευμένα, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη τις προσωπικές του προτιμήσεις αλλά και τις δικές του ανάγκες (πχ. άτομα ΑμεΑ), όλες τις απαραίτητες κατά το δυνατόν πληροφορίες για το παρατηρούμενο αντικείμενο ή έκθεμα ή χώρο

πολιτιστικού ενδιαφέροντος, τόσο βιβλιογραφικής φύσεως όσο και μέσω τρισδιάστατων απεικονίσεων των αντικειμένων αυτών.

Δηλαδή, λόγου χάριν, θα ήταν επιθυμητό και θεμιτό να μπορεί να δει ένας επισκέπτης φυσικού χώρου, μέσω μιας συσκευής, ένα μνημείο όπως ο Παρθενώνας ή ο Ναός του Ολυμπίου Διός σε πλήρη ανάπτυξη και στην ολότητά του, όσο θα κινείται μέσα στον αρχαιολογικό χώρο. Αντίστοιχα, ένας επισκέπτης εικονικού χώρου, μέσω μιας εφαρμογής και του ανάλογου εξοπλισμού να μπορεί να πλοηγηθεί και να δει τα αντίστοιχα με τον επισκέπτη της πραγματικής τοποθεσίας, με τη διαφορά ότι θα μπορεί να βρίσκεται σε μια αίθουσα VR προβολών, πόσω δε μάλλον πχ. στον καναπέ του σπιτιού του. Βέβαια, σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί πως αφού θα έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί πχ. από το σπίτι του, συνεπώς δεν θα έχει λόγο να προσέλθει στον πραγματικό χώρο. Όμως, η δυνατότητα που δίνεται σε αυτή την περίπτωση είναι της δημοσιότητας των πολιτιστικών χώρων και αντικειμένων, η οποία είναι σημαντική και προσθέτει κίνητρα για την επίσκεψή τους. Και δεν χρειάζεται να επισημανθεί ότι, σε κάθε περίπτωση, ουδεμία τεχνητή προσέγγιση αυτών των χώρων και αντικειμένων μπορεί να υποκαταστήσει την πραγματική εμπειρία κατά την οποία ο επισκέπτης μπορεί να αφουγκραστεί την αύρα όσων παρατηρεί.

Υπό αυτό το σκεπτικό, όλες αυτές οι δυνατότητες που δίνονται από τις νέες τεχνολογίες αποτελούν ιδανικό τρόπο διαφήμισης, διάδοσης και προβολής της πολιτιστικής μας κληρονομιάς και ενισχύουν την άποψη πως όλο και περισσότεροι επισκέπτες θα θελήσουν να πραγματοποιήσουν μια πραγματική επίσκεψη στους υφιστάμενους πραγματικούς χώρους και μνημεία, προκειμένου να αποκτήσουν ιδίους όμμασι εμπειρία των στοιχείων που απαρτίζουν την πολιτισμική μας κληρονομιά.

Αποφώνηση

Εν κατακλείδι, και όσον αφορά στην εικονική πραγματικότητα, με τον έναν ή τον άλλο τεχνολογικά τρόπο, εκτιμάται πως αποτελεί την τεχνολογία του μέλλοντος, αφού πρόκειται για μια τεχνολογία που μπορεί να κάνει «τα πάντα εφικτά».

Και...

... οι τοπογράφοι και άλλοι μηχανικοί θα πρέπει να πάρουν πρωτοβουλίες και να ωθήσουν προς την κατεύθυνση των τρισδιάστατων ανακατασκευών αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς, χωρίς να περιμένουν την πρωτοβουλία από αλλού. Διότι, όπως δήλωσε κάποτε ο αμερικανός βιομήχανος Henry Ford:

«Αν είχα ρωτήσει τους ανθρώπους τι ήθελαν θα έλεγαν πιο γρήγορα άλογα».

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Sensorama_Introducing_Flyer. Η μηχανή Sensorama του Morton Heilig

Πηγή:

<https://web.opendrive.com/api/v1/download/file.json/MI8xNTA4ODQyMzBf?inline=1> [accessed 21/06/2020].

2. Sensorama Simulator. Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας # 3.050.870.

Πηγή:

<https://web.opendrive.com/api/v1/download/file.json/MI8xNTA4NjQyOTJf?inline=1>, [accessed 21/06/2020].

3. Telesphere Mask. Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας υπ. αριθ. #2.955.156.

Πηγή:

<https://web.opendrive.com/api/v1/download/file.json/MI8xNTA4NjQyNzJf?inline=1>, [accessed 21/06/2020].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Βοσινάκης, Σ. 2015. *Εικονικοί Κόσμοι* (ηλεκτρ. βιβλ.), Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/3187>).

Γεωργόπουλος, Α. 2015. Οι ψηφιακές τεχνολογίες στην υπηρεσία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Η περίπτωση των βυζαντινών εκκλησιών του Τροόδου. *Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς, EuroMed2015*, σσ. 517-524.

Γιαννακούλα, Χ. 2018. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων με Νέες Τεχνολογίες. Εφαρμογή στο Ναό της Δήμητρας στη Νάξο*. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Πάτρα,.

Δημούλας, Χ. 2015. *Τεχνολογίες Συγγραφής και Διαχείρισης Πολυμέσων* (ηλεκτρ. βιβλ.), Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4343>).

Δρουβιώτη, Ν., Δ. Ντούρα 2017. *Εμπειρία του Χρήστη (UX User Experience) & Ηλεκτρονικό Εμπόριο - Η Εικονική Πραγματικότητα & η Επαυξημένη Πραγματικότητα στις Εφαρμογές Ηλεκτρονικού Εμπορίου*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ.

Ευελπίδου, Ν., Β. Αντωνίου 2015. *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών* [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1044>).

Ζησόπουλος, Α.,Δ. Παραδείσης 2006. *Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS)*, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας ΕΜΠ, Αθήνα.

Κάβουρας, Μ., Α. Δάρρα, Σ. Κονταξάκη, Ε. Τομαή 2016. *Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας - Αρχές και Τεχνολογίες*. [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/6392>).

Καινουργάκη, Στ. 2011. *Η χρήση της Εικονικής Πραγματικότητας στο Χώρο του Πολιτισμού*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Κακογιάννου, Μ. 2017. *Προγραμματισμός και Αξιολόγηση Φωτοτριγωνισμού με Αυτοβαθμονόμηση σε Εικόνες Άγνωστης Διάταξης*, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Καρκάλου, Ε. 2015. *Προγραμματισμός και Αξιολόγηση Μεθόδων Υποσύνολης Συνταύτισης Εικόνων (Semi-Global Matching)*, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Κόκοτου, Κ., Η. Νομπιλάκης 2015. Η συμβολή της ψηφιοποίησης της πολιτιστικής κληρονομιάς στον τουρισμό και η επίδραση αυτής στο ευρωπαϊκό και εγχώριο ΑΕΠ. *Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς, EuroMed2015*, 221.

Κουρτζέλης, Γ. 2008. Εικονική αρχαιολογία και η συμβολή των τρισδιάστατων γραφικών στην αρχαιολογική έρευνα. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 109, σσ. 11-16.

Κουρτζέλης, Γ. 2009. Κριτική προσέγγιση των ψηφιακών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων μνημείων. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 113, σσ. 11-16.

Κουσκουρίδας, Ρ., Β. Μπελαγιάννης, Δ. Χρυσοστόμου, Α. Γαστεράτος. 2009. Συγκριτική Μελέτη Αλγορίθμων Εξαγωγής Χαρακτηριστικών, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ρομποτικής, ΤΕΕ, Αθήνα, 23-24 Φεβρουαρίου.

Λαμπριανίδης Ν. 2015. *Εντοπισμός Θέσης και Χαρτογράφηση με Χρήση Αισθητήρα RGB-D Εφαρμογή σε Αυτοκινούμενο Ρομπότ*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων & Αυτόματου Ελέγχου, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λέπουρας, Γ., Α. Αντωνίου, Ν. Πλατής, Δ. Χαρίτος 2015. *Ανάπτυξη Συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας* (ηλεκτρ. βιβλ.), Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2546>).

Μουστάκας, Κ., Ι. Παλιόκας, Δ. Τζοβάρας, Α. Τσακίρης 2015. *Γραφικά και Εικονική Πραγματικότητα* (ηλεκτρ. βιβλ.), Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4491>).

Μπήτρος, Ι. 2010. *Μελέτη και Ανάπτυξη Συστήματος Υποστήριξης Κίνησης Εικονικών Διαδραστικών Χαρακτήρων*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Μπήτρος, Ι., Λ. Δημητρόπουλος, Ι. Βρέλλης, Μ. Βέρρα, Χ. Σιντόρης, Ν. Αβούρης 2010. Μαθαίνοντας σε εικονικά μουσεία. *Πρακτικά Εργασιών 7^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»*, τ. ΙΙ, Κόρινθος, 23-26 Σεπτεμβρίου, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, σσ. 737-744.

Μπούρου, Σ. 2015. *Προγραμματισμός και Αξιολόγηση Αυτόματου Φωτοτριγωνισμού με Αυτοβαθμονόμηση σε Λωρίδες Επίγειων Λήψεων*, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Οικονόμου, Μ. 2004. Νέες τεχνολογίες και μουσεία: εργαλείο, τροχοπέδη ή συρμός; *Museology International Scientific Electronic Journal*, τ.1, Department of Cultural Technology and Communication, University of the Aegean.

Πανταζής, Γ. 2010. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Τεχνητών και Φυσικών Κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες*, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Παρχαρίδης, Ι. 2015. Η τηλεπισκόπηση με την χρήση της μικροκυματικής ακτινοβολίας. Στο Ι. Παρχαρίδης, *Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης* [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, κεφ 7 (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/3967>).

Περάκης, Κ., Α. Μωυσιάδης, Ι. Φαρασλής 2015. *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες* [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1840>).

Πέτσα, Ε. 2007. *Ανάπτυξη Αλγορίθμων για την Αυτόματη Παραγωγή Φωτορρεαλιστικών Μοντέλων Ακριβείας με Συνδυασμό Τεχνικών Φωτογραμμετρίας, Επεξεργασίας Εικόνας και Laser Scanning – Εφαρμογή σε Θέματα Πολιτιστικής Κληρονομιάς*, Τελική Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού

Προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ “Αρχιμήδης ΙΙ”, Μέτρο 2.2, ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα Τοπογραφίας.

Petsa, E., L. Grammatikopoulos 2016. *Photogrammetry & Computer Vision*, ΤΕΙ- Athens, M.Sc. Geospatial Technologies (Παρουσίαση).

Σαββαΐδης, Π., Ι. Υφαντής, Κ. Λακάκης 2010. *Τοπογραφία και Θεματική Χαρτογραφία*. Σημειώσεις, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ.

Σαρατζίδου, Σ. 2017. *Εικονικό Μουσείο: Ορισμός και Προοπτικές*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μουσειολογία-Διαχείριση Πολιτισμού», Τμήμα Αρχιτεκτόνων ΑΠΘ.

Σηφάκη, Ε. - Ι. Σηφάκης 2007. *Πολιτιστικό μάρκετινγκ και νέες τεχνολογίες στην υπηρεσία των πολιτιστικών οργανισμών*. Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου Νέες Τεχνολογίες & Marketing, Ιεράπετρα, 24-25 Μαΐου, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Τμήμα Εμπορίας & Διαφήμισης, σσ. 262-266.

Σκαμαντζάρη, Μ. 2015. *Δημιουργία Εικονικού Μουσείου με Εκμετάλλευση Τρισδιάστατων Απεικονίσεων. Εφαρμογή στη Στοά του Αττάλου*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Συκκά, Γ. 2020. Τα μουσεία της Ευρώπης κινητοποιούνται, *Η Καθημερινή*, ηλεκτρονική έκδοση 30-4-2020. <https://www.kathimerini.gr/1075952/gallery/politismos/eikastika/ta-moyseia-ths-eyrwphs-kinhtopoiouyntai>

Χίου, Θ. 2015. No photos please!, Ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς: ο δημόσιος τομέας υπό διωγμό; *Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς, EuroMed2015*, σ. 399).

3Δ Ψηφιοποίηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς (Δικτυακός τόπος: http://culturalinformatics.georgepavlidis.info/_content/a2.12.theory.pdf).

DIGITECH III: Μελέτη τεχνολογιών ψηφιοποίησης σε τρεις διαστάσεις, Εγχειρίδιο Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης Κινητών Πολιτιστικών Αντικειμένων. Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας, Κέντρο Εφαρμογών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας & Πληροφορίας 2005 (<http://www.ipet.gr/digitech/docs/objects.pdf>).

Ξενόγλωσση

Amin, D., S. Govilkar 2015. Comparative study of augmented reality SDK's. *International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA)*, vol. 5, no.1, February, 11-26.

Albourae, A.T., C. Armenakis, M. Kyan 2017. Architectural heritage visualization using interactive technologies. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W5, 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August-1 September 2017, Ottawa, Canada, 7-13.

- Azuma, R. 1997. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4, August, 355-385.
- Bach, B., R. Sicat, J. Beyer, M. Cordeil, H.P. Pfister 2017. The hologram in my hand: how effective is interactive exploration of 3D visualizations in immersive tangible augmented reality?. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, no. 1, 457-467.
- Battini, C., G. Landi 2015. 3D tracking based augmented reality for cultural heritage data management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-5/W4, 375-379.
- Biocca, F. 1997. The Cyborg's Dilemma: progressive embodiment in virtual environments, *Journal of Computer-Mediated Communication* 3(2).
- Billinghurst, M., 2017. "What is Mixed Reality. <https://medium.com/@marknb00/what-is-mixed-reality-60e5cc284330>, [accessed 28/7/2020].
- Billinghurst, M., A. Clark, G. Lee 2015. A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, vol. 8, no. 2-3, 73-272.
- Boehler, W., G. Heinz 1999. Documentation, surveying, photogrammetry. *XVII CIPA Symposium*, Recife, Onlinda.
- Bouras, Ch., E. Giannaka, Th. Tsiatsos 2008. Exploiting virtual environments to support collaborative e-learning communities. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, 3(2), 1-22, April-June.
- Burdea, G., P. Coiffet 1994. *Virtual Reality Technology*. John Wiley and Son Inc., New York, USA.
- Canevese, E.P., T. De Gottardo 2017. Beyond point clouds and virtual reality innovative methods and technologies for the protection and promotion of cultural heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-5/W1, *Geomatics & Restoration – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, Florence 22–24 May 2017*, 685-691.
- Canciani, M., E. Conigliaro, M. Del Grasso, P. Papalini, M. Saccone 2016. 3D survey and augmented reality for cultural heritage. The case of Aurelian Wall at Castra Praetoria in Rome. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B5, *XXIII ISPRS Congress, Prague 12-19 July 2016*, 931-937.
- Chakravarthula, P., D. Dunn, K. Aksit, H. Fuchs 2018. FocusAR: auto-focus augmented reality eyeglasses for both real world and virtual imagery. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 10 September 2018, 24 (11), 2906-2916.
- Chang, Y.-L., H.-T. Hou, C.-Y. Pan, Y.-T. Sung, K.-E. Chang 2015. Apply an augmented reality in a mobile guidance to increase sense of place for heritage places. *Journal of Educational Technology & Society*, 18 (2), 166-178.

Clark, C. D., Garrod S. M., Parker Pearson M., 1998. Landscape archaeology and remote sensing in southern Madagascar. *International journal of remote sensing*, vol. 19, No. 8, pp. 1461-1477.

Croubois, H., J.Ph. Farrugia, J.-C. Iehl 2014. *Fast Image Based Lighting for Mobile Realistic AR*, LIRIS UMR CNRS 5205, ENS Lyon, Research Report.

Daniela, L. 2020. Virtual museums as learning agents, *Sustainability*, 12,7, 2698.

Damala, A., P. Cubaud, A. Bationo, P. Houlier, I. Marchal 2008. Bridging the gap between the digital and the physical: design and evaluation of a mobile augmented reality guide for the museum visit. *Dimea'08, 3rd International Conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts, Athens, September 2008*, ACM Press, New York.

Damala, A., I. Marchal, P. Houlier 2007. Merging augmented reality based features in mobile multimedia museum guides. *Anticipating the Future of the Cultural Past, CIPA Conference 2007, 1-6 October 2007, Athens*, 259-264.

De Jong, S.M., F.D van der Meer,, J.G.P.W. Clevers, 2014. *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain*, Κεφάλαιο Basics of Remote Sensing, Kluwer Academic Publishers

Dunleavy, M., Ch. Dede, R. Mitchell 2009. Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 1, 7-22.

Ellis, S.R. 1991. Nature and origin of virtual environments: a bibliographic essay. *Computing Systems in Engineering*, vol. 2, issue 4, 321-347.

Ellis, S.R. 1994. What are virtual environments?, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14 , issue: 1 (January).

Fuchs, H., G. Bishop, K. Arthur, L. McMillan, R. Bajcsy, S.W. Lee, H. Farid, T. Kanade 1994. *Virtual Space Teleconferencing Using a Sea of Cameras*. Technical Report. University of North Carolina at Chapel Hill, USA.

Geronikolakis, E., P. Zikas, S. Kateros, N. Lydatakis, S. Georgiou, M. Kentros, G. Papagiannakis 2019. A True AR Authoring Tool for Interactive Virtual Museums. *Visual Computing for Cultural Heritage*, 225-242.

Gobbetti, E., R. Scateni 1998. Virtual reality: past, present, and future. *Studies in Health Technology and Informatics* 58, 3-20.

Gonizzi Barsanti, S, G. Caruso, L.L. Micoli, M. Covarrubias Rodriguez, G. Guidi 2015. 3D visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-5/W7, *25th International CIPA Symposium 2015, 31 August-4 September 2015, Taipei, Taiwan*.

Haugstvedt, A.-C., J. Krogstie 2012. Mobile augmented reality for cultural heritage: a technology acceptance study. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 247-255.

- Heeter, C. 1992. Being there: the subjective experience of presence. *Presence Teleoperators & Virtual Environments* 1(2), 262-271.
- Higgett, N. 2016. A user experience evaluation of the use of augmented and virtual reality in visualising and interpreting Roman Leicester 210AD. *Athens Journal of History*, vol. 2, issue 1 (January), 7-22.
- Keenaghan, G., I. Horváth 2014. State of the art of using virtual reality technologies in built environment education. *Proceedings of TMCE 2014, 19-23 May 2014*, Budapest, Hungary.
- Kersten, T.P., F. Tschirschwitz, S. Deggim 2017. Development of a virtual museum including a 4D presentation of building history in virtual reality. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W3, *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, 1-3 March 2017, Nafplio, Greece, 361-367.
- Laudazi, A., R. Boccaccini 2014. Augmented museums through mobile apps. *Proceedings of the Workshop on Horizon2020 and Creative Europe vs Digital Heritage: A European Projects Crossover, Flash News Co-Located with the International Conference Museums and the Web Florence 2014*, 12-17.
- Lazaridou, M., A., Patmios E. N. 2012. Photogrammetry - remote sensing and geoinformation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXIX-B6, *XXII ISPRS Congress, Melbourne 25 August – 01 September 2012, Australia*
- Liarokapis, F., I. Greatbatch, D. Mountain, A. Gunesh, V. Brujic-Okretic 2005. Mobile augmented reality techniques for geovisualisation. *Proceedings of the 9th International Conference on Information Visualisation (IV'05)*, IEEE Computer Society, IEEE Computer Society, 6-8 July 2005, 745-751.
- Lombard, M. 2000. *Resources for the Study of Presence: Presence Explication*. Retrieved September 3, 2000 from the World Wide Web:<http://nimbus.temple.edu/~mlombard/Presence/explicat.htm>.)
- Luna, U., P. Rivero, N. Vicent 2019. Augmented reality in heritage apps: current trends in Europe. *Applied Sciences*, 9 (13), 2756, July 2019.
- Magenat-Thalmann, N., G. Papagiannakis 2006. Virtual worlds and augmented reality in cultural heritage applications. *Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, Proceedings of the International Workshop, Centro Stefano Francini, Monte Verita, Ascona, Switzerland, 22-27 May 2005*, Baltasvias et al. (eds), 419-430.
- Marques, L., J.A. Tenedório, M. Burns, T. Romão, F. Birra, J. Marques, A. Pires 2017. Cultural heritage 3D modelling and visualisation within an augmented reality environment based on geographic information technologies and mobile platforms. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 11 (33), 117-136.

- Milgram, P., F. Kishino 1994. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E77-D, no. 12, 12-12-1994, 1321-1329.
- Milgram, P., H. Takemura, A. Utsumi, F. Kishino 1994. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, Proc. SPIE vol. 2351, , 282-292.
- Mine, M. 1995. *Virtual Environment Interaction Techniques*. Technical Report no. TR95-018, Chapel Hill, University of North Carolina.
- Neamțu, C., R. Comes, D. Popescu 2016. Methodology to create digital and virtual 3D artefacts in archaeology. *Journal of Ancient History and Archaeology*, no. 3.4.
- Papagiannakis, G., M. Ponder, T. Molet, S. Kshirsagar, F. Cordier, N. Magnenat-Thalmann, D. Thalmann 2002. LIFEPLUS: Revival of life in ancient Pompeii. *Virtual Systems and Multimedia (VSMM02)*, Gyeongju, September 2002.
- Remondino, F., S. Campana 2014. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*, BAR International Series 2598. (https://www.researchgate.net/publication/265383181_3D_Recording_and_Modelling_in_Archaeology_and_Cultural_Heritage_-_Theory_and_Best_Practices).
- Ren, D., T. Goldschwendt, Y.S. Chang, T. Höllerer 2016. Evaluating wide-field-of-view augmented reality with mixed reality. *IEEE Virtual Reality Conference, 19-23 March 2016*, Greenville, USA, 93-102.
- Roussou, M. 2001. Immersive interactive virtual reality in the museum. *Proceedings of TiLE - Trends in Leisure Entertainment*, London, UK: Aldrich, UK, 2001.
- Roussou, M., G. Drettakis 2003. Photorealism and non-photorealism in virtual heritage representation. *1st Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage [Online] Brighton, United Kingdom, 2003. 10. Proceedings of the International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*.
- Sandor, C., M. Fuchs, A. Cassinelli, H. Li, R. Newcombe, G. Yamamoto, S. Feiner 2015. Breaking the barriers to true augmented reality. *ArXiv e-prints*, ArXiv 1512.05471.
- Schuemie, M., P. Van der Straaten, M. Krijn, Ch. Ven der Mast 2001. Research on presence in virtual reality: a survey. *Cyberpsychology & Behavior*, vol. 4, no. 2.
- Schwind, V., P. Knierim, N. Haas, N. Henze 2019. Using presence questionnaires in virtual reality. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings, May 2019*, ACM, New York.
- Sheridan, T. 1992. Musings on telepresence and virtual presence. *Presence Teleoperators & Virtual Environments* 1, 120-126.
- Skamantzari, M., A. Georgopoulos A. 2016. 3D visualization for virtual museum development. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B5, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic.

- Slater, M., M. Usoh, A. Steed 1994. Depth of presence in virtual environments. *Presence* 3, 130-144.
- Spacca, S., E. Dellapiana, A. Sanna 2018. Promoting industrial cultural heritage by augmented reality application and assessment. *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, vol. 12, 61-71.
- Steuer, J. 1993. *Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence*, SRCT Paper #104.
- Sutherland, I. 1968. A head-mounted three dimensional display, *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 9-11 December 1968*, vol. 33, 757-764.
- Sutherland, I. 1965. The ultimate display. *Proceedings of IFIP Congress*, vol. 2, 506-508, 1965.
- Sylaïou, S., F. Liarokapis, K. Kotsakis, P. Patias 2009. Virtual museums, a survey and some issues for consideration. *Journal of Cultural Heritage*, 10, 520-528.
- Sylaïou, S., F. Liarokapis, L. Sechidis, P. Patias, O. Georgoula 2005. Virtual museums first results of a survey on methods and tools. *Proceedings of the CIPA and the ISPRS Conference*, Torino, Italy.
- Teo, T., L. Lawrence, G. Lee, M. Billingham, M. Adcock 2019. Mixed reality remote collaboration combining 360 video and 3D reconstruction. *Proceedings of the 2019 CHI Conference of Human Factors in Computing Systems, May*, Paper no. 201, Glasgow, Scotland UK.
- Vargas, J.C.G., R. Fabregat, A. Carrillo-Ramos, T. Jové 2020. Survey: using augmented reality to improve learning motivation in cultural heritage studies. *Applied Sciences*, 10(3), 897, January.
- Vergara, D., M.P. Rubio, M. Lorenzo 2017. On the design of virtual reality learning environments in engineering. *Multimodal Technologies and Interaction* 1, 11.
- Virtual Reality Augmented Reality White Paper*, China Academy of Information and Communications Technology (CAICT), Huawei Technologies Co., Ltd, December 2017.
- Vlahakis, V., N. Ioannidis, J. Karigiannis, M. Tsotros, M. Gounaris, D. Stricker, T. Gleue, P. Daehne, L. Almeida 2002. Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites. *IEEE Computer Graphics and Applications, Computer Graphics in Art History and Archaeology*, 22(5), 52-59, September/October.
- Vlahos, P. 1965. The three-dimensional display its cues and techniques, information display. *Journal of the Society for Information Display*, vol. 2, no. 6, November/December.
- Weech, S., S. Kenny, M. Barnett-Cowan 2019. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: a review. *Frontiers in Psychology*, vol. 10, article 158, February.
- Witmer, B.G., M.J. Singer 1998. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. *Presence* 7, 225-240.

Wolf, P., B.A., Dewitt, B.E. Wilkinson 2014. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, 4th Ed. (eBook), McGraw-Hill Education.

Xiao, R., H. Benko 2016. Augmenting the field-of-view of head-mounted displays with sparse peripheral displays. *CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May, 1221-1232.

Zabulis, X., C. Meghini, N. Partarakis, C. Beisswenger, A. Dubois, M. Fasoula, V. Nitti, S. Ntoa, I. Adami, A. Chatziantoniou, V. Bartalesi, D. Metilli, N. Stivaktakis, N. Patsiouras, P. Doulgeraki, E. Karuzaki, E. Stefanidi, A. Qammaz, D. Kaplanidi, I. Neumann-Janßen, U. Denter, H. Hauser, A. Petraki, I. Stivaktakis, E. Mantinaki, A. Rigaki, G. Galanakis 2020. Representation and preservation of heritage crafts. *Sustainability* 12 (4), 1461; February.

Zhao, Z.X. 2002. Virtual reality technology: an overview, *Journal of Southeast University*, vol. 32, no. 2A, 1-10.

Zhou. F., H.B.L. Duh, M. Billinghurst 2008. Trends in augmented reality tracking interaction and display: a review of ten years of ISMAR. *ISMAR '08: Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, September, 193-202.

Zhou, N.-N., Y.-L. Deng 2009. Virtual reality: a state-of-the-art survey. *International Journal of Automation and Computing* 6(4), November, 319-325.