



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΑΙ
ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ**

**ΚΑΜΠΕΤΣΗΣ ΟΔΥΣΣΕΥΣ (ΑΜ 2598)
(πρώην Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε, ΤΕΙ ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑΣ)**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΤΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ, 2022

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Ακόμα δηλώνω ότι αυτή η γραπτή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ειδικά για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία και ότι θα αναλάβω πλήρως τις συνέπειες εάν η εργασία αυτή αποδειχθεί ότι δεν μου ανήκει.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

Καμπετσής Οδυσσεύς

ΑΜ

2598

ΥΠΟΓΡΑΦΗ



Περίληψη

Με την ταχεία ανάπτυξη της επιστήμης των υπολογιστών, η τεχνολογία αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως, εκτός από την οποία η τεχνολογία εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας αποτελούν μέρος των σημαντικών κατευθύνσεων εφαρμογής. Η εικονική πραγματικότητα (VR) αναφέρεται στο ότι οι χρήστες εισέρχονται κατευθείαν στον τρισδιάστατο κόσμο που δημιουργείται από έναν υπολογιστή, αντί να χρησιμοποιούν την παραδοσιακή διεπαφή ή άλλα μέσα. Η εικονική πραγματικότητα ενσωματώνει την τρισδιάστατη τεχνολογία γραφικών υπολογιστή, την τεχνολογία αντίχνευσης, την τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης κ.λπ. Η επαυξημένη πραγματικότητα αναπτύσσεται με βάση την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας, όπου μπορεί ο χρήστης να προσθέσει καθώς και να εντοπίσει ένα εικονικό αντικείμενο ή πληροφορίες με τη χρήση γραφικών του υπολογιστή και της τεχνολογίας απεικόνισης και, στη συνέχεια, "να τοποθετήσει" τα εικονικά αντικείμενα με ακρίβεια στο πραγματικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αντίχνευσης, η οποία μπορεί να συνδυάσει με επιτυχία τα εικονικά και πραγματικά αντικείμενα μέσω κάποιου σχετικού εξοπλισμού, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ενοποίηση πληροφοριών του πραγματικού κόσμου με τον εικονικό κόσμο, φέρνοντας ένα είδος αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο στους παρατηρητές. Παρακάτω πρόκειται να γίνει μια παρουσίαση πληροφοριών σχετικά με τις τεχνολογίες επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας και αντίστοιχα τους τομείς εφαρμογής τους.

Λέξεις κλειδιά : Επαυξημένη πραγματικότητα, εικονική πραγματικότητα, αντικείμενο, χρήστης, τεχνητή νοημοσύνη.

Abstract

With the rapid development of computer science, human-computer interaction technology has been widely used, in addition to which virtual and augmented reality technology are part of the important application directions. Virtual reality (VR) refers to users directly entering the 3D world created by a computer, rather than using a traditional interface or other means. Virtual reality incorporates 3D computer graphics technology, sensing technology, artificial intelligence technology, etc. Augmented reality is developed based on virtual reality technology, where the user can add as well as locate a virtual object or information using computer graphics and imaging technology, and then "place" the virtual objects with accuracy in the real environment using detection technology, which can successfully combine the virtual and real objects through some relevant equipment, so as to achieve the integration of real world information with the virtual world, bringing a kind of real-time interaction to observers . Below is going to be a presentation of information about augmented and virtual reality technologies and their fields of application respectively.

Key words : Augmented reality, virtual reality, object, user, artificial intelligence.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract.....	6
Περιεχόμενα.....	7
Περιεχόμενα εικόνων	9
Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1 ^ο : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας ...	12
1.1 Η τεχνολογία και τα στοιχεία της εικονικής πραγματικότητας	13
1.1.1 Τα στοιχεία εικονικής πραγματικότητας.....	15
1.2 Η ταξινόμηση των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας.....	18
1.3 Η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας χαμηλού κόστους και η λειτουργία της.....	20
1.4 Τα εργαλεία και οι πόροι ανάπτυξης της εικονικής πραγματικότητας.....	21
1.5 Οι εφαρμογές και οι εξελίξεις στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας	26
1.6 Ο αντίκτυπος της εικονικής πραγματικότητας.....	30
1.7 Η χρησιμότητα και τα οφέλη και τα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί της εικονικής πραγματικότητας	36
1.7.1 Τα πλεονεκτήματα και οι χρήσεις της εικονικής πραγματικότητας	36
1.7.2 Τα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί της εικονικής πραγματικότητας	37
Κεφάλαιο 2 ^ο : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της επαυξημένης πραγματικότητας	39
2.1 Ο ορισμός της επαυξημένης πραγματικότητας	39
2.2 Οι συσκευές της επαυξημένης πραγματικότητας.....	40
2.2.1 Οθόνες.....	41
2.2.2 Συσκευές εισόδου, συσκευές παρακολούθησης και υπολογιστές.....	43
2.3 Οι διεπαφές της επαυξημένης πραγματικότητας.....	44

2.3.1 Οι απτές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας	45
2.3.2 Οι συνεργατικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας	46
2.3.3 Οι υβριδικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας	46
2.3.4 Οι πολυτροπικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας	47
2.5 Τα συστήματα της επαυξημένης πραγματικότητας.....	47
2.5.1 Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων.....	49
2.5.2 Η τεχνολογία παρακολούθησης για συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων	53
2.6 Οι εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας.....	55
2.6.1 Διαφήμιση και εμπορικότητα	55
2.6.2 Ψυχαγωγία και εκπαίδευση	58
2.6.3 Οι ιατρικές εφαρμογές	61
2.7 Οι μελλοντικές εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας	65
Κεφάλαιο 3 ^ο : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της μικτής πραγματικότητας.....	68
3.1 Ο ορισμός της μικτής πραγματικότητας.....	68
3.2 Η αρχιτεκτονική των συστημάτων της μικτής πραγματικότητας	70
3.2.1 Ζητήματα αρχιτεκτονικής	71
3.2.2 Ζητήματα διακομιστή	73
3.2.3 Ζητήματα δικτύου.....	75
3.3 Το ενδιάμεσο λογισμικό της μικτής πραγματικότητας.....	76
3.4 Οι εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας.....	78
3.5 Διεπαφή χρήστη.....	80
3.5.1 Ζήτημα διεπαφής χρήστη	80
3.5.2 Ευχρηστία.....	82
Επίλογος	84
Βιβλιογραφία	86

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1 : Το παιχνίδι ARCC.....	60
Εικόνα 2 : Σύστημα για προβολή μέσω του δέρματος.....	62

Εισαγωγή

Η εικονική πραγματικότητα μπορεί να οριστεί ως ένα εικονικό αντικείμενο σε ένα εικονικό περιβάλλον, πιο συγκεκριμένα μια προσομοίωση ή μια τεχνητή διαδικασία, δημιουργημένη από υπολογιστή, πραγματικό περιβάλλον ή κατάσταση, που κάνει τον χρήστη να εισέρθει δίνοντας του την εντύπωση ότι βιώνει μια προσομοιωμένη πραγματικότητα από πρώτο χέρι, κυρίως διεγείροντας την όραση και την ακοή του. Ένα καλό σύστημα εικονικής πραγματικότητας που ονομάζεται "εικονικό περιβάλλον" επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν φυσικά γύρω από τα αντικείμενα και να αγγίζουν αυτά τα αντικείμενα σαν να ήταν αληθινά, δηλαδή ένα περιβάλλον στο οποίο μπορεί να πλοηγηθεί ο χρήστης και πιθανώς να αλληλεπιδράσει μέσω μιας χρονικής προσομοίωσης με την χρήση μίας ή περισσότερων από τις πέντε αισθήσεις του που είναι πλήρως συντονισμένες στον πραγματικό κόσμο.

Η επαυξημένη πραγματικότητα καλύπτει μια μορφή χωρικά καταγεγραμμένης αύξησης στον φυσικό κόσμο. Ο χρήστης μπορεί να δει σε πραγματικό χρόνο τον κόσμο γύρω του, που αποτελείται από εικονικά αντικείμενα. Αυτά τα εικονικά αντικείμενα ενσωματώνονται στον κόσμο του χρήστη με την χρήση φορητών συσκευών. Η διαδραστική τεχνολογία σε πραγματικό χρόνο παρέχει στον χρήστη την αίσθηση ότι εικονικά αντικείμενα υπάρχουν ανάμεσα σε πραγματικά αντικείμενα, σαν να βρίσκεται στον φυσικό κόσμο. Η πιο σημαντική πτυχή της επαυξημένης πραγματικότητας είναι ότι η θέση του εικονικού πράγματος εμφανίζεται όσο πιο αληθινή, συμπαγής και αξιόπιστη γίνεται από το φυσικό πράγμα. Καθώς πολλοί ερευνητές επεκτείνουν τον ορισμό της επαυξημένης πραγματικότητας πέρα από ένα σύστημα που συμπληρώνει τον πραγματικό κόσμο με εικονικά (δημιουργημένα από υπολογιστή) αντικείμενα, η επαυξημένη πραγματικότητα γίνεται ένας αυξανόμενος τομέας διαδραστικής σχεδίασης, με την άνοδο των προσωπικών φορητών συσκευών ικανών να δημιουργήσουν συναρπαστικά περιβάλλοντα επαυξημένης πραγματικότητας.

Τέλος, η μικτή πραγματικότητα ορίζεται ως μια υβριδική πραγματικότητα, όπου ο πραγματικός και ο εικονικός κόσμος συνδυάζονται για να δημιουργήσουν νέα περιβάλλοντα και απεικονίσεις που συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο με φυσικά και ψηφιακά αντικείμενα. Η μικτή πραγματικότητα λαμβάνει χώρα

όχι μόνο στον φυσικό και εικονικό κόσμο, αλλά είναι ένας συνδυασμός κανονικής και εικονικής πραγματικότητας, που ενσωματώνει τόσο την επαυξημένη πραγματικότητα όσο και την επαυξημένη εικονικότητα. Η μικτή πραγματικότητα δίνει τη δυνατότητα συνδυασμού αποδιδόμενων αντικειμένων ψηφιακά στο πραγματικό περιβάλλον, που ονομάζεται επίσης ολογραφία.

Κεφάλαιο 1^ο : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας

Η εικονική πραγματικότητα (VR) δεν είναι μια εντελώς νέα έννοια, καθώς υπάρχει με διάφορες μορφές από τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Ήταν γνωστή με ονόματα όπως συνθετικό περιβάλλον, κυβερνοχώρος, τεχνητή πραγματικότητα, τεχνολογία προσομοιωτή και ούτω καθεξής, πριν τελικά υιοθετηθεί η έννοια της εικονικής πραγματικότητας. Η πιο πρόσφατη ένδειξη της εικονικής πραγματικότητας είναι η εικονική πραγματικότητα για υπολογιστές. Το Desktop VR είναι επίσης γνωστό με άλλα ονόματα όπως Window on World (WoW) ή non-immersive VR (Wohfel et al., 2021). Ως αποτέλεσμα της ταχείας εξάπλωσης της εικονικής πραγματικότητας για επιτραπέζιους υπολογιστές, η τεχνολογία συνέχισε να αναπτύσσει εφαρμογές που είναι λιγότερο πλήρως εμπυθιστικές. Αυτές οι μη εμπυθιστικές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας είναι πολύ λιγότερο δαπανηρές και τεχνικά αποθαρρυντικές και έχουν εισχωρήσει στην εκπαίδευση και την ανάπτυξη του κλάδου (Paíno Ambrosio et al., 2020).

Η εικονική πραγματικότητα ίσως επιτέλους μπήκε στη σφαίρα της δυνατότητας για γενική δημιουργία και χρήση ιδιαίτερα στην εκπαίδευση όπου τα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης που βασίζονται σε υπολογιστή (VLE) τοποθετούνται στην κατηγορία της εικονικής πραγματικότητας για επιτραπέζιους υπολογιστές. Αυτό, με τη σειρά του, δείχνει τον δρόμο για την ένταξή του σε εκπαιδευτικά προγράμματα. Αυτά τα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης που βασίζονται σε υπολογιστή (VLEs) έχουν ανοίξει νέους τομείς στη διδασκαλία, τη μάθηση και την πρακτική της ιατρικής, των φυσικών επιστημών και της μηχανικής μεταξύ άλλων (Akinola et al., 2020). Τα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης που βασίζονται σε υπολογιστή παρέχουν στους μαθητές την ευκαιρία να επιτυγχάνουν μαθησιακούς στόχους. Οι εφαρμογές που βασίζονται στα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης που βασίζονται σε υπολογιστή έχουν αναδειχθεί, στη γενική εκπαίδευση σε σχολεία και πανεπιστήμια, ως επιτυχημένα εργαλεία για τη συμπλήρωση των παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας (Lupinetti et al., 2019).

Αυτά τα μαθησιακά περιβάλλοντα έχουν ανακαλυφθεί ότι έχουν μεγαλύτερη παιδαγωγική αποτελεσματικότητα στους μαθητές. Τα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης παρέχουν τρισδιάστατες (3D) πληροφορίες για τις δομές και τις λειτουργίες οποιουδήποτε συστήματος. Οι μαθητές μπορούν έτσι να μάθουν τις αρχές ενός τέτοιου συστήματος με γρήγορο, αποτελεσματικό και ευχάριστο τρόπο αλληλεπιδρώντας και πλοηγώντας μέσα στο περιβάλλον που δημιουργήθηκε ένα τέτοιο σύστημα. Είναι γνωστό ότι η εικονική πραγματικότητα μπορεί να κάνει το τεχνητό τόσο ρεαλιστικό όσο και ακόμη πιο ρεαλιστικό από το πραγματικό (Saeed et al., 2017).

Υπάρχουν πολλές εξελίξεις σε βάθος χρόνου με την χρήση της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας. Η εικονική πραγματικότητα έχει καλύψει όλες τις πτυχές των ανθρώπινων προσπαθειών (κατασκευή/επιχειρήσεις, εξερεύνηση, άμυνα, δραστηριότητες αναψυχής και ιατρική, μεταξύ άλλων). Το συναρπαστικό πεδίο του της εικονικής πραγματικότητας έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τη ζωή πολλών ανθρώπων με πολλούς τρόπους. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας αυτή τη στιγμή και θα υπάρξουν πολλές ακόμη στο μέλλον (Sherman & Craig, 2019). Πολλές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας έχουν αναπτυχθεί για τους τομείς της κατασκευής, της εκπαίδευσης, της προσομοίωσης, της αξιολόγησης σχεδίασης, των αρχιτεκτονικών μελετών, των εργονομικών μελετών, της προσομοίωσης ακολουθιών συναρμολόγησης και των εργασιών συντήρησης, της βοήθειας για άτομα με ειδικές ανάγκες, της μελέτης και της θεραπείας φοβιών, της ψυχαγωγίας, της γρήγορης δημιουργία πρωτοτύπων και πολλά άλλα. Η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας αναγνωρίζεται πλέον ευρέως ως μια σημαντική ανακάλυψη στην τεχνολογική πρόοδο της επιστήμης (Yengin, 2017).

1.1 Η τεχνολογία και τα στοιχεία της εικονικής πραγματικότητας

Υπάρχουν μερικοί άνθρωποι για τους οποίους η εικονική πραγματικότητα είναι μια συγκεκριμένη συλλογή τεχνολογιών. Η εικονική πραγματικότητα ορίζεται ως ένα εξαιρετικά διαδραστικό περιβάλλον πολυμέσων που βασίζεται σε υπολογιστή στο οποίο ο χρήστης γίνεται ο συμμετέχων σε έναν κόσμο που δημιουργείται από υπολογιστές (Eadie, 2009). Είναι η προσομοίωση ενός πραγματικού ή φανταστικού περιβάλλοντος που μπορεί να βιωθεί οπτικά στις τρεις διαστάσεις πλάτους, ύψους και

βάθους και που μπορεί επιπλέον να προσφέρει μια διαδραστική εμπειρία οπτικά σε πλήρη κίνηση σε πραγματικό χρόνο με ήχο και πιθανώς με απτική και άλλες μορφές ανατροφοδότησης. Η εικονική πραγματικότητα είναι ένας τρόπος για τους ανθρώπους να οπτικοποιούν, να χειρίζονται και να αλληλεπιδρούν με υπολογιστές και εξαιρετικά πολύπλοκα δεδομένα. Είναι ένα τεχνητό περιβάλλον που δημιουργήθηκε με υλικό και λογισμικό υπολογιστή και παρουσιάζεται στον χρήστη με τέτοιο τρόπο ώστε να φαίνεται ότι βρίσκεται σε ένα πραγματικό περιβάλλον (Bis, 2018). Η εικονική πραγματικότητα είναι ένα τρισδιάστατο περιβάλλον που συντίθεται από υπολογιστή στο οποίο μια πλειάδα ανθρώπινων συμμετεχόντων, κατάλληλα διασυνδεδεμένων, μπορεί να εμπλέκεται και να χειρίζεται προσομοιωμένα φυσικά στοιχεία στο περιβάλλον και, σε ορισμένες μορφές, να εμπλέκεται και να αλληλεπιδρά με αναπαραστάσεις άλλων ανθρώπων, στο παρελθόν, παρόν ή μέλλον, ή με επινοημένα πλάσματα. Είναι μια τεχνολογία που βασίζεται σε υπολογιστή για την προσομοίωση οπτικοακουστικών και άλλων αισθητηριακών πτυχών σύνθετων περιβαλλόντων. Η εικονική πραγματικότητα ενσωματώνει τεχνολογίες 3D που δίνουν μια ψευδαίσθηση της πραγματικής ζωής. Η εικονική πραγματικότητα δημιουργεί μια προσομοίωση της πραγματικής κατάστασης (Vishnevskaya & Strekalova, 2021).

Ως εκ τούτου, η εικονική πραγματικότητα αναφέρεται σε ένα εμβυθιστικό, διαδραστικό, πολυαισθητηριακό, με επίκεντρο τον θεατή, τρισδιάστατο περιβάλλον που δημιουργείται από υπολογιστή και υπάρχει ένας συνδυασμός των τεχνολογιών που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός τέτοιου περιβάλλοντος. Βυθίζοντας τους θεατές σε ένα στερεοσκοπικό περιβάλλον που δημιουργείται από υπολογιστή, η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας καταρρίπτει τα εμπόδια μεταξύ ανθρώπων και υπολογιστών (Cipresso et al., 2018). Η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας προσομοιώνει φυσικές στερεοσκοπικές διαδικασίες προβολής χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του υπολογιστή για τη δημιουργία εικόνων με το δεξί και το αριστερό μάτι ενός δεδομένου τρισδιάστατου αντικειμένου ή μιας αντίστοιχης σκηνής (Noble et al., 2022). Ο εγκέφαλος του θεατή ενσωματώνει τις πληροφορίες από αυτές τις δύο προοπτικές για να δημιουργήσει την αντίληψη του τρισδιάστατου χώρου. Έτσι, η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι τα αντικείμενα στην οθόνη έχουν βάθος και παρουσία πέρα από την επίπεδη εικόνα που προβάλλεται στην οθόνη. Με την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας, οι θεατές μπορούν να αντιληφθούν την απόσταση και τις χωρικές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών

στοιχείων αντικειμένων πιο ρεαλιστικά και με ακρίβεια από ότι τα συμβατικά εργαλεία οπτικοποίησης (όπως τα παραδοσιακά εργαλεία CAD) (Chong et al., 2018).

1.1.1 Τα στοιχεία εικονικής πραγματικότητας

Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία και την εμπειρία της εικονικής πραγματικότητας χωρίζονται σε δύο κύρια στοιχεία όπου είναι τα στοιχεία υλικού (hardware) και τα στοιχεία λογισμικού (software). Τα στοιχεία υλικού και λογισμικού περιγράφονται αναλυτικότερα ως εξής (Mathivanan et al., 2017) :

- Στοιχεία υλικού : Τα στοιχεία υλικού χωρίζονται σε πέντε επιμέρους στοιχεία όπου είναι ο σταθμός εργασίας υπολογιστή, οι αισθητηριακές οθόνες, οι κάρτες επιτάχυνσης διεργασιών, το σύστημα παρακολούθησης και οι συσκευές εισόδου.
 - Σταθμός εργασίας υπολογιστή (computer workstation) : Ένας σταθμός εργασίας υπολογιστή είναι ένας μικροϋπολογιστής προηγμένης τεχνολογίας που έχει σχεδιαστεί για τεχνικές ή επιστημονικές εφαρμογές. Οι σταθμοί εργασίας που προορίζονται κυρίως να χρησιμοποιούνται από ένα άτομο τη φορά, συνδέονται συνήθως σε ένα τοπικό δίκτυο και εκτελούν λειτουργικά συστήματα πολλών χρηστών. Ο όρος σταθμός εργασίας έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για να αναφέρεται σε ένα τερματικό υπολογιστή mainframe ή έναν προσωπικό υπολογιστή (PC) συνδεδεμένο σε ένα δίκτυο. Οι σταθμοί εργασίας προσέφεραν υψηλότερη απόδοση από τους προσωπικούς υπολογιστές, ειδικά όσον αφορά την κεντρική μονάδα επεξεργασίας και τα γραφικά, τη χωρητικότητα μνήμης και τη δυνατότητα πολλαπλών εργασιών. Είναι βελτιστοποιημένα για την οπτικοποίηση και τον χειρισμό διαφορετικών τύπων σύνθετων δεδομένων, όπως η τρισδιάστατη μηχανική σχεδίαση, η κινούμενη εικόνα προσομοίωσης μηχανικής και η απόδοση εικόνων και τα μαθηματικά σχέδια. Οι σταθμοί εργασίας είναι το πρώτο τμήμα της αγοράς υπολογιστών που παρουσιάζει προηγμένα αξεσουάρ και διάφορα άλλα εργαλεία. Επί του παρόντος, η αγορά των σταθμών εργασίας είναι ιδιαίτερα εμπορευματοποιημένη και κυριαρχείται από

μεγάλους προμηθευτές υπολογιστών, όπως η Dell και η HP, που πωλούν Microsoft Windows/Linux που λειτουργούν σε Intel Xeon/AMD Opteron. Εναλλακτικές πλατφόρμες που βασίζονται στο UNIX παρέχονται από την Apple Inc., τη Sun Microsystems και τη Silicon Graphics International (SGI). Ο σταθμός εργασίας υπολογιστή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πολλών συσκευών οθόνης αισθητήρων για να εντάξει τον χρήστη σε ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον.

- Αισθητηριακές οθόνες (sensor displays) : Οι αισθητηριακές οθόνες χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση των προσομοιωμένων εικονικών κόσμων στον χρήστη. Οι πιο κοινές αισθητηριακές οθόνες είναι οι μονάδες οπτικής απεικόνισης, οι συσκευές προβολής που τοποθετούνται στο κεφάλι (HMD) για τρισδιάστατη απεικόνιση και τα ακουστικά για τρισδιάστατο ήχο.
 - Συσκευές προβολής (Head mounted displays) : Οι συσκευές προβολής (HMD) τοποθετούν μια οθόνη μπροστά από τα μάτια του θεατή. Η προβολή, δηλαδή το τμήμα του εικονικού περιβάλλοντος που δημιουργείται και εμφανίζεται, ελέγχεται από αισθητήρες προσανατολισμού που είναι τοποθετημένοι στο «κράνος». Η κίνηση του κεφαλιού αναγνωρίζεται από τον υπολογιστή και δημιουργείται μια νέα προοπτική της σκηνής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα σύνολο οπτικών φακών και καθρεπτών χρησιμοποιούνται για τη μεγέθυνση της όψης ώστε να γεμίσει το οπτικό πεδίο και να κατευθύνει τη σκηνή στα μάτια του χρήστη.
 - Binocular Omni-Orientation Monitor (BOOM) : Το συγκεκριμένο σύστημα είναι τοποθετημένο σε ενωμένο μηχανικό βραχίονα με αισθητήρες παρακολούθησης που βρίσκονται στις αρθρώσεις του χρήστη. Χρησιμοποιείται ένα αντίβαρο για τη σταθεροποίηση της οθόνης, έτσι ώστε όταν ο χρήστης αφήνει την οθόνη, να παραμένει στη θέση της. Για να δει το εικονικό περιβάλλον, ο χρήστης πρέπει να πιάσει την

οθόνη και να βάλει το πρόσωπο του επάνω στην οθόνη. Ο υπολογιστής θα δημιουργήσει μια κατάλληλη σκηνή με βάση τη θέση και τον προσανατολισμό των αρθρώσεων του χρήστη στον μηχανικό βραχίονα. Μερικά από τα προβλήματα που σχετίζονται με τις συσκευές προβολής μπορούν να λυθούν χρησιμοποιώντας μια οθόνη του συστήματος BOOM. Ο χρήστης δεν χρειάζεται να φοράει οθόνη BOOM όπως στην περίπτωση της συσκευής προβολής. Αυτό σημαίνει ότι το να ξεπεράσεις τα όρια μεταξύ ενός εικονικού κόσμου και του πραγματικού κόσμου είναι απλώς θέμα να απομακρύνεις τα μάτια σου από το συγκεκριμένο σύστημα.

- Μονάδα οπτικής απεικόνισης (VDU) ή οθόνης (Visual Display Unit) : Υπάρχουν δύο τύποι μονάδων οπτικής απεικόνισης υπολογιστή όπου είναι οι οθόνες CRT και οι οθόνες LCD.
- Κάρτες επιτάχυνσης διαδικασίας (process acceleration cards) : Αυτές οι κάρτες βοηθούν στην ενημέρωση της οθόνης με νέες αισθητηριακές πληροφορίες. Παραδείγματα είναι οι τρισδιάστατες κάρτες γραφικών και οι τρισδιάστατες κάρτες ήχου.
- Σύστημα παρακολούθησης (tracking system) : Αυτό το σύστημα παρακολουθεί τη θέση και τον προσανατολισμό ενός χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Αυτό το σύστημα χωρίζεται σε μηχανικούς, ηλεκτρομαγνητικούς, υπερηχητικούς και υπέρυθρους ιχνηλάτες.
- Συσκευές εισόδου : Χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον και τα αντικείμενα μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Παραδείγματα είναι το joystick, το πληκτρολόγιο, η αναγνώριση φωνής κ.λπ.
- Στοιχεία λογισμικού : Τα στοιχεία λογισμικού χωρίζονται σε τέσσερα επιμέρους στοιχεία όπου είναι το λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης, το

λογισμικό δισδιάστατων γραφικών, το λογισμικό επεξεργασίας ψηφιακού ήχου και το λογισμικό προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας.

- Λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης (3D modeling software) : Το λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης χρησιμοποιείται για την κατασκευή της γεωμετρίας των αντικειμένων σε έναν εικονικό κόσμο και καθορίζει τις οπτικές ιδιότητες αυτών των αντικειμένων.
- Λογισμικό δισδιάστατης μοντελοποίησης γραφικών (2D graphics software) : Το λογισμικό δισδιάστατης μοντελοποίησης γραφικών χρησιμοποιείται για τον χειρισμό της υφής που θα εφαρμοστεί στα αντικείμενα που βελτιώνουν τις οπτικές τους λεπτομέρειες.
- Λογισμικό επεξεργασίας ψηφιακού ήχου (digital sound editing software) : Το λογισμικό επεξεργασίας ψηφιακού ήχου χρησιμοποιείται για τη μίξη και την επεξεργασία ήχων που παράγουν αντικείμενα στο εικονικό περιβάλλον.
- Λογισμικό προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας : Το λογισμικό προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας συγκεντρώνει όλα τα στοιχεία. Χρησιμοποιείται για να προγραμματίσει πώς συμπεριφέρονται αυτά τα αντικείμενα και να ορίσει τους κανόνες που ακολουθεί ο εικονικός κόσμος.

1.2 Η ταξινόμηση των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

Η εικονική πραγματικότητα ταξινομείται σε τρεις κύριες κατηγορίες όπου είναι τα μη εμβυθιστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας, ημι-εμβυθιστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας και τα εμβυθιστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας (πλήρως εμβυθιστικά). Άλλες μορφές ταξινόμησης είναι τα επίπεδα και οι μέθοδοι εικονικής πραγματικότητας (Muñoz-Saavedra et al., 2020). Τα επίπεδα εικονικής πραγματικότητας ασχολούνται με τις προσπάθειες που καταβάλλονται για την ανάπτυξη των τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας. Κάτω από αυτήν την

ταξινόμηση υπάρχει το εισαγωγικό επίπεδο, το βασικό επίπεδο, το προηγμένο επίπεδο, τα εμβυθιστικά συστήματα και τα συστήματα μεγάλης χρονικής διάρκειας. Οι μέθοδοι ταξινόμησης εικονικής πραγματικότητας ασχολούνται με μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας (Allcoat & von Mühlenen, 2018). Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που βασίζονται στη προσομοίωση, τα συστήματα που βασίζονται σε προβολείς (projectors), τα συστήματα που βασίζονται σε εικόνα avatar και τα συστήματα που βασίζονται στις επιφάνειες εργασίας. Οι 3 κατηγορίες συστημάτων εικονικής πραγματικότητας περιγράφονται αναλυτικότερα ως εξής (Wohlgenannt et al., 2020) :

- Τα μη εμβυθιστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας (non-immersive VR systems) : Όπως υποδηλώνει το όνομα, τα μη εμβυθιστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας είναι η ελάχιστη εφαρμογή τεχνικών εικονικής πραγματικότητας. Περιλαμβάνει την εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας σε επιτραπέζιο υπολογιστή. Αυτή η κατηγορία είναι επίσης γνωστή ως Window on World (WoW). Χρησιμοποιώντας το σύστημα της επιφάνειας εργασίας, το εικονικό περιβάλλον προβάλλεται μέσω μιας πύλης ή ενός παραθύρου χρησιμοποιώντας μια τυπική οθόνη υψηλής ανάλυσης. Η αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον μπορεί να συμβεί με συμβατικά μέσα όπως πληκτρολόγιο, ποντίκι ή trackball
- Ημι-εμβυθιστικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας : Ένα ημι-εμβυθιστικό σύστημα εικονικής πραγματικότητας αποτελείται από ένα υπολογιστικό σύστημα γραφικών υψηλής απόδοσης, το οποίο μπορεί να συνδυαστεί είτε με μια μεγάλη οθόνη, είτε με ένα σύστημα προβολής μεγάλης οθόνης ή ένα σύστημα πολλαπλών τηλεοπτικών προβολών. Χρησιμοποιώντας ένα ευρύ οπτικό πεδίο, αυτά τα συστήματα αυξάνουν την αίσθηση της συγκέντρωσης ή της παρουσίας που βιώνει ο χρήστης και η στερεογραφική απεικόνιση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας κάποιου τύπου ειδικά γυαλιά.
- Εμβυθιστικά (πλήρως εμβυθιστικά) συστήματα εικονικής πραγματικότητας : Ένα εμβυθιστικό σύστημα εικονικής πραγματικότητας είναι η πιο άμεση

εμπειρία εικονικών περιβαλλόντων. Εδώ ο χρήστης είτε φοράει μια συσκευή προβολής εικονικής πραγματικότητας (HMD) είτε χρησιμοποιεί κάποιας μορφής οθόνη σύζευξης κεφαλής, όπως ένα σύστημα BOOM για να δει το εικονικό περιβάλλον, εκτός από ορισμένες συσκευές παρακολούθησης και απτικές συσκευές. Είτε με την μια είτε με την άλλη μέθοδο χρησιμοποιούνται μικρές οθόνες τοποθετημένες μπροστά από κάθε μάτι που παρέχουν στερεοφωνικές, διοφθαλμικές ή μονόφθαλμες εικόνες.

1.3 Η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας χαμηλού κόστους και η λειτουργία της

Η εικονική πραγματικότητα χαμηλού κόστους, που ονομάζεται επίσης εικονική πραγματικότητα που βασίζεται σε προσωπικό υπολογιστή (PC), χρησιμοποιεί φθηνές συσκευές όπως σταθμούς εργασίας υπολογιστή και γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, σε συνδυασμό με εφαρμογές λογισμικού με δυνατότητα εικονικής πραγματικότητας ή σταθμούς αναπαραγωγής και προβολείς, για να εμβαθύνει εν μέρει τους θεατές σε μια εικονική σκηνή. Το σύστημα εικονικής πραγματικότητας χαμηλού κόστους συνήθως αναπτύσσεται με τρεις σταθμούς αναπαραγωγής, έναν διακόπτη δικτύου και δύο προβολείς (Zhou & Deng, 2009).

Τα οφέλη της εικονικής πραγματικότητας χαμηλού κόστους υλικού είναι προφανή. Τα συστήματα υψηλής απόδοσης που προηγουμένως ήταν για αποκλειστική χρήση μόνο από ερευνητικά ιδρύματα με καλά χρηματοδοτούμενο προϋπολογισμό μπορούν πλέον να κατασκευαστούν σχετικά φθηνότερα. Ο μειωμένος δείκτης τιμής/απόδοσης έχει θετικές επιπτώσεις για νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, μουσεία και άλλους οργανισμούς όπου η χρηματοδότηση νέων τεχνολογιών είναι συχνά περιορισμένη (Jakubowska & Kazimierska-Zajac, 2020). Οι κοινότητες που είχαν προηγουμένως μειονεκτήσει μπορούν επίσης να επωφεληθούν από αυτή τη νέα τεχνολογία. Στην εκπαίδευση, η εικονική πραγματικότητα χαμηλού κόστους μπορεί να προσφέρει μαζική ποιοτική εκπαίδευση μέσω του διαδραστικού περιβάλλοντος μάθησης, ενώ τέλος στην ιατρική, η εικονική πραγματικότητα χαμηλού κόστους έχει αποδειχθεί ότι παρέχει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στον τομέα των θεραπειών (Jakubowska & Kazimierska-Zajac, 2020).

Η ιδέα πίσω από την εικονική πραγματικότητα είναι να προσφέρει μια αίσθηση ύπαρξης σε ένα σημείο δίνοντας τουλάχιστον στο χρήστη αυτό που θα είχε λάβει αν ήταν εκεί και, το πιο σημαντικό να αλλάζει η εικόνα αμέσως καθώς αλλάζει η οπτική γωνία του χρήστη. Η αντίληψη της χωρικής πραγματικότητας καθοδηγείται από διάφορες οπτικές ενδείξεις, όπως το σχετικό μέγεθος, τη φωτεινότητα και η γωνιακή κίνηση. Ένα από τα πιο δυνατά στοιχεία είναι η αντίληψη (οπτική), η οποία είναι ιδιαίτερα ισχυρή στη διόφθαλμη μορφή της, καθώς το δεξί και το αριστερό μάτι βλέπουν διαφορετικές εικόνες. Η συγχώνευση αυτών των εικόνων σε μια τρισδιάστατη αντίληψη είναι η βάση της στερεοφωνίας (Allcoat & von Mühlenen, 2018).

Η αντίληψη του βάθους που παρέχεται από κάθε μάτι που βλέπει μια ελαφρώς διαφορετική εικόνα, όπου ονομάζεται παράλλαξη των ματιών, είναι πιο αποτελεσματική για αντικείμενα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Τα αντικείμενα που βρίσκονται πιο μακριά δίνουν ουσιαστικά την ίδια εικόνα σε κάθε μάτι. Ο τυπικός ενδυματολογικός κώδικας για την εικονική πραγματικότητα είναι ένα κράνος με οθόνες που μοιάζουν με γυαλιά, ένα για κάθε μάτι (Wohlgenannt et al., 2020). Κάθε οθόνη παρέχει μια ελαφρώς διαφορετική οπτική εικόνα αυτού που θα βλέπατε αν ήταν κάποιος σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Καθώς κουνάει το κεφάλι του ο χρήστης, η εικόνα ενημερώνεται γρήγορα, έτσι ώστε να αισθάνεται ότι κάνει αυτές τις αλλαγές μετακινώντας το κεφάλι του (σε αντίθεση με τον υπολογιστή που ακολουθεί πραγματικά την κίνηση του χρήστη, όπως είναι). Τέλος, ο χρήστης νιώθει ότι είναι η αιτία και όχι το αποτέλεσμα (Muñoz-Saavedra et al., 2020).

1.4 Τα εργαλεία και οι πόροι ανάπτυξης της εικονικής πραγματικότητας

Υπάρχουν πολλά εργαλεία και πόροι ανάπτυξης εικονικής πραγματικότητας. Μερικά από αυτά τα εργαλεία και τους πόρους είναι δωρεάν (ανοιχτού κώδικα), μερικά είναι ιδιωτικά (κλειστού κώδικα). Η ανάπτυξη που σχετίζεται με την εικονική πραγματικότητα βρίσκεται σε εξέλιξη σχετικά με τη διαθεσιμότητα, τη χρησιμότητα και τη δυνατότητα προσαρμογής για υπάρχοντα εργαλεία και πόρους ανάπτυξης. Τα εργαλεία και οι πόροι ανάπτυξης εικονικής πραγματικότητας είναι αρκετά και μερικά παραδείγματα παρουσιάζονται ως εξής (Cipresso et al., 2018) :

- Virtual Heroes Inc. (VHI) : Πρόκειται για μια «Εταιρεία Τεχνολογίας Προηγμένης Μάθησης» που δημιουργεί συνεργατικές λύσεις διαδραστικής μάθησης για αγορές ομοσπονδιακών συστημάτων, υγειονομικής περίθαλψης και εταιρικής κατάρτισης. Οι εφαρμογές VHI διευκολύνουν την άκρως διαδραστική, αυτορυθμισμένη μάθηση και την καθοδηγούμενη από εκπαιδευτές, κατανεμημένη ομαδική εκπαίδευση στην πλατφόρμα Advanced Learning Technology (ALT). Τα κύρια στοιχεία αυτής της πλατφόρμας περιλαμβάνουν το Unreal Engine 3 της Epic Games και το Dynamic Virtual Human Technology (DVHT). Η πλατφόρμα Advanced Learning Technology αξιοποιεί τη μάθηση προσομοίωσης και τα ψηφιακά παιχνίδια μάθησης για να επιταχύνει τη μάθηση, να αυξήσει την επάρκεια και να μειώσει το κόστος. Το Dynamic Virtual Human Technology συνδυάζει την καλύτερη τεχνολογία ηλεκτρονικών παιχνιδιών υπολογιστή στην κατηγορία του με μια ψηφιακή μηχανή ανθρώπινης φυσιολογίας, μερικά ψηφιακά φαρμακοκινητικά μοντέλα φαρμάκων, μερικές ακριβείς εμβιομηχανικές παραμέτρους και υπορουτίνες τεχνητής νοημοσύνης για τους πιο ρεαλιστικούς εικονικούς χρήστες.
- Διαδραστικό εικονικό περιβάλλον μέσω διαδικτύου (On-Line Interactive Virtual Environment) : Αυτό είναι προϊόν της Forterra Systems Inc. Η Forterra Systems Inc. κατασκευάζει τεχνολογικά συστήματα κατανεμημένου εικονικού περιβάλλοντος και εφαρμογές-κλειδιά για την άμυνα, την εσωτερική ασφάλεια, την ιατρική, την εταιρική εκπαίδευση και τις βιομηχανίες ψυχαγωγίας. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογική πλατφόρμα του διαδραστικού εικονικού περιβάλλοντος μέσω διαδικτύου (OLIVE), οι πελάτες μπορούν να δημιουργήσουν γρήγορα ρεαλιστικά τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα που κλιμακώνονται εύκολα από εφαρμογές ενός χρήστη σε περιβάλλοντα προσομοίωσης μεγάλης κλίμακας που υποστηρίζουν πολλούς ταυτόχρονους χρήστες. Η τεχνολογία και οι υπηρεσίες της Forterra επιτρέπουν στους οργανισμούς να εκπαιδεύονται, να σχεδιάζουν, να κάνουν πρόβες και να συνεργάζονται με τρόπους που προηγουμένως θεωρούνταν αδύνατοι ή μη πρακτικοί. Το διαδραστικό εικονικό περιβάλλον μέσω διαδικτύου συνδυάζει πολυμέσα, κλιμακωτά μέσα και συνδεσιμότητα με τη δυνατότητα δικτύου για να παρέχει μια πλήρη πλατφόρμα IT-ready για την ανάπτυξη και την

υποστήριξη πραγματικά συνεργατικών, διαδραστικών εικονικών περιβαλλόντων για πολλούς χρήστες. Είναι μια τρισδιάστατη πλατφόρμα εικονικού κόσμου χρήστη-διακομιστή που χρησιμοποιεί υπολογιστές-χρήστες συνδεδεμένους σε έναν κεντρικό διακομιστή μέσω δικτύου. Η αρχιτεκτονική κλιμακώνεται από ένα περιβάλλον ανάπτυξης που βασίζεται στα Windows σε συμπλέγματα Linux μεγάλης κλίμακας. Αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει πολλές χιλιάδες ταυτόχρονους, γεωγραφικά κατανεμημένους χρήστες.

- Icarus Studios Inc. : Η εταιρεία προσφέρει εργαλεία και προϊόντα για τη δημιουργία διαδικτυακών περιβαλλόντων μαζικά πολλαπλών παικτών (MMO), εικονικών κόσμων και σοβαρών παιχνιδιών για χρήστες που θέλουν να ψυχαγωγηθούν, εταιρικούς και κυβερνητικούς χρήστες, κλπ. Η Icarus παρέχει τεχνολογία, εργαλεία και υπηρεσίες παραγωγής επόμενης γενιάς που επιτρέπουν στους εκδότες και τους εμπόρους να αναπτύξουν εμπιστευτικά περιβάλλοντα για τη δημιουργία νέων ροών εσόδων και ευκαιριών επωνυμίας. Τα προϊόντα της Icarus Studios περιλαμβάνουν συμβατότητα με βασικά εργαλεία του κλάδου όπως το 3D Max, το Collada και άλλες εφαρμογές 3D με απλές επεξεργασίες.
- OpenSimulator (OpenSim) : Το OpenSimulator είναι ένας διακομιστής εφαρμογών 3D. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος (κόσμου) στο οποίο είναι προσβάσιμο μέσω μιας ποικιλίας χρηστών, σε πολλαπλά πρωτόκολλα. Το OpenSimulator επιτρέπει να αναπτύξει ο χρήστης το περιβάλλον του χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που αισθάνονται ότι λειτουργούν καλύτερα. Το OpenSimulator έχει πολλά πλεονεκτήματα τα οποία μεταξύ άλλων είναι τα εξής :
 - Το OpenSimulator κυκλοφορεί με άδεια BSD, καθιστώντας το τόσο ανοιχτού κώδικα όσο και εμπορικά φιλικό για ενσωμάτωση σε προϊόντα.
 - Έχει πολλά εργαλεία για τους προγραμματιστές για να δημιουργήσουν διάφορες εφαρμογές (εφαρμογές συνομιλίας, avatar, κλπ).

- Το OpenSimulator μπορεί να επεκταθεί μέσω μονάδων για να δημιουργήσει εντελώς προσαρμοσμένες ρυθμίσεις.
 - Είναι ένας κόσμος που δημιουργεί εργαλεία για τη δημιουργία περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο στο περιβάλλον.
 - Υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού για την ανάπτυξη εφαρμογών όπως το Linden Scripting Language / OpenSimulator Scripting Language (LSL/OSSL), C# και/ή Jscript και VB.NET
 - Ενσωματώνει πλούσια και εύχρηστα έγγραφα και tutorials.
- Croquet : Το Croquet είναι μια τρισδιάστατη πλατφόρμα γραφικών ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται από έμπειρους προγραμματιστές λογισμικού για τη δημιουργία και την ανάπτυξη σε βάθος συνεργασίας διαδικτυακών εφαρμογών εικονικού κόσμου πολλών χρηστών και σε πολλαπλά λειτουργικά συστήματα και συσκευές. Το Croquet είναι ένα εικονικό λειτουργικό σύστημα (OS) επόμενης γενιάς γραμμένο σε Squeak. Το Squeak είναι μια σύγχρονη παραλλαγή του Smalltalk. Το Squeak εκτελείται μαθηματικά πανομοιότυπα σε όλα τα μηχανήματα. Το σύστημα Croquet διαθέτει ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων που βασίζεται σε ομοτίμους που μειώνει δραματικά την ανάγκη για υποδομές διακομιστή για την υποστήριξη της ανάπτυξης εικονικού κόσμου και διευκολύνει τους προγραμματιστές λογισμικού να δημιουργήσουν εφαρμογές σε βάθος συνεργασίας. Το Croquet παρέχει πλούσια σεμινάρια, πόρους και βίντεο ως εκπαιδευτικό υλικό για προγραμματιστές.
 - Ogoglio : Το Ogoglio είναι μια τρισδιάστατη πλατφόρμα γραφικών ανοιχτού κώδικα όπως το Croquet. Ο κύριος στόχος του Ogoglio είναι να χτίσει έναν διαδικτυακό χώρο αστικού στυλ για δημιουργική συνεργασία. Η πλατφόρμα Ogoglio είναι κατασκευασμένη από τις γλώσσες και τα πρωτόκολλα του διαδικτύου. Επομένως, η γλώσσα του σεναρίου είναι javascript. Το κύριο πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων είναι το πρωτόκολλο μεταφοράς

υπερκειμένου (HTTP), η δισδιάστατη διάταξη είναι η γλώσσα σήμανσης υπερκειμένου (HTML) και επικαλυπτόμενο φύλλο στυλ (CSS) και έχει μορφή γεωμετρίας αντικειμένων φωτός για το 3D. Το Ooglio διαφέρει πολύ από τις άλλες πλατφόρμες ανάπτυξης του περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας επειδή χρησιμοποιεί πλατφόρμες λειτουργικού συστήματος Windows, Linux, Solaris και εκτελείται σε προγράμματα περιήγησης ιστού όπως το Internet Explorer, το Firefox και το Safari.

- QuickDraw 3D (QD3D) : Το QuickDraw 3D είναι ένα API πρόγραμμα γραφικών 3D που αναπτύχθηκε από την Apple Inc. το 1995. Παραδόθηκε ως σύστημα πολλαπλών πλατφορμών, αν και αρχικά αναπτύχθηκε για τους υπολογιστές Macintosh. Το QuickDraw 3D παρέχει ένα API υψηλού επιπέδου με ένα πλούσιο σύνολο τρισδιάστατων στοιχείων που είναι γενικά πολύ πιο ολοκληρωμένα και πιο εύκολο στην ανάπτυξη από τα API χαμηλού επιπέδου όπως το OpenGL ή το Direct3D.
- Autodesk 3d Max (3D Studio MAX) : Το Autodesk 3d Max (παλαιότερα γνωστό ως 3D Studio MAX) είναι ένα πακέτο μοντελοποίησης, κίνησης και απόδοσης που αναπτύχθηκε από την Autodesk Media and Entertainment. Το 3d Max είναι το τρίτο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρόγραμμα τρισδιάστατων κινουμένων σχεδίων από επαγγελματίες της δημιουργίας περιεχομένου. Διαθέτει ισχυρές δυνατότητες μοντελοποίησης, ευέλικτη αρχιτεκτονική πρόσθετων και μεγάλη κληρονομιά στην πλατφόρμα Microsoft Windows. Χρησιμοποιείται κυρίως από προγραμματιστές βιντεοπαιχνιδιών, τηλεοπτικά εμπορικά στούντιο και στούντιο αρχιτεκτονικής οπτικοποίησης. Χρησιμοποιείται επίσης για εφέ ταινιών και προ-οπτικοποίηση ταινιών.
- Blink 3D Builder : Το Blink 3D Builder είναι ένα ιδιόκτητο εργαλείο συγγραφής για τη δημιουργία εμβυθιστικών τρισδιάστατων περιβαλλόντων. Τα περιβάλλοντα 3D μπορούν να προβληθούν χρησιμοποιώντας το Blink 3D Viewer στο διαδίκτυο ή τοπικά.

1.5 Οι εφαρμογές και οι εξελίξεις στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές και εξελίξεις στην τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας. Η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης προσπάθειας και έχουν αναπτυχθεί πολλές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας για την κατασκευή, την εκπαίδευση σε διάφορους τομείς (στρατιωτικός, ιατρικός, λειτουργία εξοπλισμού, κ.λπ.), την προσομοίωση, την αξιολόγηση σχεδιασμού (εικονική δημιουργία πρωτοτύπων), τις αρχιτεκτονικές επιδείξεις, τις εργονομικές μελέτες, την προσομοίωση ακολουθιών συναρμολόγησης και των εργασιών συντήρησης, την βοήθεια για άτομα με ειδικές ανάγκες, την μελέτη και θεραπεία φοβιών (π.χ. φόβος για το ύψος), την ψυχαγωγία, την γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων και πολλά άλλα. Αυτό κατέστη δυνατό χάρη στη δύναμη της εικονικής πραγματικότητας στη μεταφορά χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον και στην πεποίθησή τους για την παρουσία τους σε αυτό (Bis, 2018).

Στις βιομηχανίες, η εικονική πραγματικότητα έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για να βοηθήσει τους εργαζόμενους να αξιολογήσουν τα σχέδια των προϊόντων. Το 2019, η BMW διερεύνησε την ικανότητα της εικονικής πραγματικότητας για την επαλήθευση σχεδίων των αυτοκινήτων της. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η εικονική πραγματικότητα έχει τη δυνατότητα να μειώσει τον αριθμό των φυσικών προσχεδίων που απαιτούνται για τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του προϊόντος και να λαμβάνει γρήγορες απαντήσεις με διαισθητικό τρόπο κατά τη φάση της ιδέας ενός προϊόντος (Vishnevskaya & Strelakova, 2021). Επιπλέον, η Motorola ανέπτυξε ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας για την εκπαίδευση των εργαζομένων στη λειτουργία μιας γραμμής συναρμολόγησης τηλεειδοποίησης. Διαπίστωσαν ότι η εικονική πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιτυχή εκπαίδευση του προσωπικού του κατασκευαστικού τομέα και ότι οι συμμετέχοντες που εκπαιδεύονται σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας αποδίδουν καλύτερα στην εργασία τους από εκείνους που εκπαιδεύονται στον ίδιο χρόνο σε πραγματικά περιβάλλοντα (Wohfel et al., 2021).

Το 1998, η GE Corporate Research ανέπτυξε δύο εφαρμογές λογισμικού εικονικής πραγματικότητας, το Product Vision και το Galileo, οι οποίες επέτρεψαν στους μηχανικούς να πετούν διαδραστικά μέσω ενός εικονικού κινητήρα τζετ. Ανέφεραν ότι οι δύο εφαρμογές χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία για τη βελτίωση της επικοινωνίας σχεδιασμού και την έγκαιρη επίλυση προβλημάτων συντήρησης, με ελάχιστο κόστος, ελάχιστες καθυστερήσεις και ελάχιστη προσπάθεια. Ανέφεραν επίσης ότι η χρήση των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας βοήθησε στη διαδικασία της συντήρησης και χαρακτηρίστηκε αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού των προϊόντων τους (Mathivanan et al., 2017). Οι ιστορίες επιτυχίας από τις βιομηχανίες δείχνουν ότι οι επαγγελματίες που γνωρίζουν την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας είναι μια παρούσα και μελλοντική ανάγκη των βιομηχανιών. Ωστόσο, οι περισσότεροι μαθητές δεν έχουν αυτήν τη στιγμή την ευκαιρία να βιώσουν τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας ενώ φοιτούν. Επομένως, η εισαγωγή της εικονικής πραγματικότητας στα προγράμματα σπουδών σχεδιασμού και γραφικών είναι επιτακτική, προκειμένου να συμβαδίζει με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των βιομηχανιών (Sherman & Craig, 2019).

Η Boeing (ο μεγαλύτερος κατασκευαστής αεροσκαφών στον κόσμο) ανέπτυξε το Virtual Space eXperiment (VSX). Το Virtual Space eXperiment είναι μια επίδειξη του τρόπου με τον οποίο τα συστήματα εικονικού περιβάλλοντος μπορούν να εφαρμοστούν στο σχεδιασμό αεροσκαφών και άλλων πολύπλοκων συστημάτων που περιλαμβάνουν ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις. Είναι ένα τρισδιάστατο εικονικό μοντέλο του εσωτερικού και του εξωτερικού ενός αεροσκάφους με κλίση ρότορα σε εικονικό χώρο που επιτρέπει στα άτομα να αλληλεπιδρούν με διάφορα αντικείμενα, όπως η καταπακτή συντήρησης, η ράμπα φορτίων, κλπ. Η McDonnell Douglas χρησιμοποιεί το σύστημα ProVision 100 VPX για να αξιολογήσει πώς ένα εικονικό περιβάλλον μπορεί να βοηθήσει στο σχεδιασμό νέων τύπων κινητήρων (Han et al., 2018). Το σύστημα χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση των διαδικασιών εγκατάστασης και αφαίρεσης κινητήρων, ειδικά για την ανίχνευση της πιθανής διεπαφής με άλλες συσκευές. Η αυτοκινητοβιομηχανία αρχίζει να χρησιμοποιεί την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας για το σχεδιασμό και την κατασκευή αυτοκινήτων. Μπορεί να χρειαστεί περισσότερα χρόνια για να προχωρήσουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες από την ανάπτυξη μιας αρχικής ιδέας για έναν νέο τύπο αυτοκινήτου μέχρι τη στιγμή που μια

έκδοση παραγωγής αυτοκινήτου βγαίνει από τη γραμμή συναρμολόγησης (Akinola et al., 2020).

Ένα σύστημα point-and-direct (VR-PAD) που βασίζεται στην εικονική πραγματικότητα αναπτύχθηκε για να βελτιώσει την ευελιξία στην παθητική επιθεώρηση ρομπότ. Ένας χειριστής σε μια αίθουσα τηλεχειρισμού παρακολουθεί το πραγματικό περιβάλλον εργασίας μέσω ζωντανών προβολών βίντεο που εμφανίζονται στην οθόνη και χρησιμοποιεί την εικονική λαβή για να υποδείξει τις επιθυμητές τοποθεσίες συλλογής και τοποθέτησης (Chong et al., 2018). Το ρομπότ στο σύστημα επιθεώρησης ολοκληρώνει τον χειρισμό του υλικού όπως καθορίζεται, έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να επιτύχει τον εντοπισμό ελαττωμάτων. Το CERN (Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Φυσικής Σωματιδίων) πραγματοποίησε το πιλοτικό έργο που αξιολόγησε και προώθησε τη χρήση της τεχνολογίας εικονικού περιβάλλοντος για να βοηθήσει στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC). Το έργο αποτελείται από πολλές εφαρμογές, όπως σχεδιασμός και ενσωμάτωση δικτύου, μελέτη επιπτώσεων εδάφους και σχεδιασμός και έλεγχος συναρμολόγησης για την ανταπόκριση στις ανάγκες των μηχανικών του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (Paíno Ambrosio et al., 2020).

Η εικονική πραγματικότητα είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την εκπαίδευση, καθώς οι άνθρωποι κατανοούν τις εικόνες πολύ πιο γρήγορα από ότι αντιλαμβάνονται γραμμές κειμένου ή στήλες με αριθμούς. Η εικονική πραγματικότητα προσφέρει πολυαισθητηριακά εμπυθιστικά περιβάλλοντα που εμπλέκουν τους μαθητές και τους επιτρέπουν να οπτικοποιούν πληροφορίες. Οι καθηγητές Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών έχουν χρησιμοποιήσει εικονική πραγματικότητα για να εξηγήσουν αφηρημένα χωρικά δεδομένα. Οι Winn και Bricken (1992) χρησιμοποίησαν την εικονική πραγματικότητα για να βοηθήσουν τους μαθητές να μάθουν τη στοιχειώδη άλγεβρα. Χρησιμοποίησαν τον τρισδιάστατο χώρο για να εκφράσουν αλγεβρικές έννοιες και να αλληλεπιδράσουν με χωρικές αναπαραστάσεις σε ένα εικονικό περιβάλλον (Saeed et al., 2017). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η εικονική πραγματικότητα έχει τη δυνατότητα να κάνει σημαντική βελτίωση στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές μαθαίνουν τα μαθηματικά. Οι Haufmann, Schmalstieg & Wagner (2000) χρησιμοποίησαν την εικονική πραγματικότητα στην εκπαίδευση των μαθηματικών και της γεωμετρίας, ειδικά στη διανυσματική ανάλυση και την

περιγραφική γεωμετρία. Η έρευνά τους έδειξε ότι όλοι οι συμμετέχοντες (10 μαθητές) αξιολόγησαν την εικονική πραγματικότητα ως μια πολύ καλή «παιδική χαρά» για πειράματα και όλοι οι συμμετέχοντες ήθελαν να ξανά λάβουν μέρος στην διαδικασία της εικονικής πραγματικότητας. Οι μαθητές θεώρησαν επίσης ότι ήταν πιο εύκολο να δουν έναν τρισδιάστατο κόσμο στην εικονική πραγματικότητα παρά σε μια επίπεδη οθόνη (Vishnevskaya & Strekalova, 2021).

Η εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιήθηκε για την επίδειξη μοριακών μηχανισμών σε μαθήματα χημικής μηχανικής. Αν και δεν παρασχέθηκε στατιστική ανάλυση, αναφέρθηκαν ορισμένα στοιχεία βελτιωμένης μάθησης σε ορισμένες περιπτώσεις. Στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν, ο Vicher (Virtual Chemical Reactors) αναπτύχθηκε στο τμήμα χημικής μηχανικής για να διδάξει στους φοιτητές τη διάσπαση του καταλύτη, τα μη ισοθερμικά αποτελέσματα στην κινητική και το σχεδιασμό αντιδραστήρων και την ασφάλεια των χημικών εγκαταστάσεων (Vishnevskaya & Strekalova, 2021). Οι προγραμματιστές πίστευαν ότι οι άνθρωποι διατηρούν έως και το 90% των όσων μαθαίνουν μέσω της ενεργού συμμετοχής. Οι πιο συναρπαστικές δυνατότητες όσον αφορά την εκπαίδευση και την εικονική πραγματικότητα βρίσκονται καθώς εφαρμόζεται στην εκπαίδευση των ατόμων με ειδικές ανάγκες (Chong et al., 2018).

Οι Sulbaran και Baker (2000) δημιούργησαν ένα διαδικτυακό σύστημα μάθησης για να μελετήσουν την αποτελεσματικότητα της εικονικής πραγματικότητας στην εκπαίδευση πάνω στην μηχανική. Χρησιμοποίησαν την εικονική πραγματικότητα για να εκπαιδεύσουν τους συμμετέχοντες στο πώς να χειρίζονται μια κλειδαριά και να αναγνωρίζουν τις κατασκευαστικές μηχανές. Διαπίστωσαν ότι το 82% των μαθητών πίστευε ότι η μάθηση με εικονική πραγματικότητα ήταν πιο ελκυστική από την εκμάθηση μέσω της ανάγνωσης βιβλίων και την ακρόαση διαλέξεων χρησιμοποιώντας γραφικά ή εικόνες (Yengin, 2017). Διαπίστωσαν επίσης, στην πρώτη τους έρευνα, ότι το 69% των μαθητών πίστευαν ότι είχαν μάθει πώς λειτουργεί μια κλειδαριά και το 57% πίστευε ότι είχαν μάθει πώς να αναγνωρίζουν μηχανές κατασκευής. 7 έως 21 ημέρες αργότερα, το 92% των μαθητών ήταν ακόμη σε θέση να χειριστεί μια κλειδαριά και να αναγνωρίσει τις μηχανές κατασκευής. Τέλος, στη δεύτερη έρευνα τους, το 91% των μαθητών συμφώνησε ή συμφώνησε απόλυτα ότι η μαθησιακή εμπειρία επωφελείται από τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας (Han et al., 2018).

Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας υπόσχεται να συντομεύσει σημαντικά έναν κύκλο ανάπτυξης προϊόντων παρακάμπτοντας την ανάγκη για φυσικά προσχέδια. Η ομάδα ταυτόχρονης μηχανικής Alpha της Ford ανέπτυξε ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας εγκατάστασης διαδικασίας στη συναρμολόγηση αυτοκινήτων. Στην Ιαπωνία, οι πελάτες φέρνουν την αρχιτεκτονική διάταξη της κουζίνας του σπιτιού τους στο κατάστημα Matsushita και τη συνδέουν στο σύστημα υπολογιστή για να δημιουργήσουν το εικονικό της αντίγραφο (Saeed et al., 2017). Μπορούν να εγκαταστήσουν συσκευές και ντουλάπια και να αλλάξουν χρώματα και μεγέθη για να δουν πώς θα είναι η κουζίνα τους χωρίς να εγκαταστήσουν ποτέ ούτε ένα αντικείμενο στην πραγματική τους τοποθεσία. Ομοίως, η Mike Rosen and Associates χρησιμοποιεί μια διαδραστική και εμπυθιστική τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας για να βοηθήσει τους πελάτες της στον κατασκευαστικό κλάδο στο σχεδιασμό, την οπτικοποίηση, το μάρκετινγκ και τις πωλήσεις. Οι εφαρμογές επιτρέπουν στους πελάτες να συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία οπτικοποίησης, όπως να κάνουν αλλαγές χρωμάτων, υφών, υλικών, φωτισμού και επίπλων σε πραγματικό χρόνο (Wohlgenannt et al., 2020).

Ερευνητές στο Διαστημικό Κέντρο Johnson της NASA στο Τέξας ανέπτυξαν ένα εντυπωσιακό εικονικό περιβάλλον μάθησης για μαθητές γυμνασίου (ένα εικονικό εργαστήριο φυσικής που επιτρέπει στους μαθητές να εξερευνήσουν έννοιες όπως η βαρύτητα, η τριβή και η έλξη σε ένα διαδραστικό, εικονικό περιβάλλον) (Lupinetti et al., 2019). Οι μαθητές έχουν πολλές μπάλες και ένα εκκρεμές με το οποίο πρέπει να δουλέψουν. Έχουν επίσης πολλά ερευνητικά εργαλεία, όπως συσκευή μέτρησης απόστασης και ψηφιακό χρονόμετρο. Επιπλέον, ο υπολογιστής παρέχει πολλές ενδιαφέρουσες δυνατότητες, όπως η δυνατότητα προβολής δυναμικών γεγονότων σε αργή κίνηση ή εμφάνισης ιχνών σε αντικείμενα για καλύτερη εμφάνιση των κινήσεων τους (Jakubowska & Kazimierska-Zajac, 2020).

1.6 Ο αντίκτυπος της εικονικής πραγματικότητας

Έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τον πιθανό κοινωνικό αντίκτυπο της εικονικής πραγματικότητας. Η εικονική πραγματικότητα θα οδηγήσει σε μια σειρά από σημαντικές αλλαγές στην ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα. Ο Cline (2005)

υποστήριξε ότι η εικονική πραγματικότητα θα ενσωματωθεί στην καθημερινή ζωή και τη δραστηριότητα και θα χρησιμοποιηθεί με διάφορους ανθρώπινους τρόπους, θα αναπτυχθούν τεχνικές για να επηρεάσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά, τη διαπροσωπική επικοινωνία και τη γνώση (δηλαδή την εικονική γενετική) (Muñoz-Saavedra et al., 2020). Καθώς περνάμε όλο και περισσότερο χρόνο στον εικονικό χώρο, θα υπάρξει μια σταδιακή «μετάβαση στον εικονικό χώρο», με αποτέλεσμα σημαντικές αλλαγές στα οικονομικά, την κοσμοθεωρία και τον πολιτισμό και ο σχεδιασμός εικονικών περιβαλλόντων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επέκταση των βασικών ανθρωπίνων δικαιωμάτων σε εικονικό χώρο, για την προώθηση της ανθρώπινης ελευθερίας και ευημερίας και για την προώθηση της κοινωνικής σταθερότητας καθώς περνάμε από το ένα στάδιο της κοινωνικοπολιτικής ανάπτυξης στο άλλο (Raíno Ambrosio et al., 2020). Η εικονική πραγματικότητα είχε και εξακολουθεί να έχει αντίκτυπο στην κληρονομιά και την αρχαιολογία, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, τα βιβλία μυθοπλασίας, την τηλεόραση, τις κινηματογραφικές ταινίες, τα μουσικά βίντεο, τα παιχνίδια, τις καλές τέχνες, το μάρκετινγκ, την υγειονομική περίθαλψη, τις θεραπευτικές χρήσεις, τα ακίνητα και άλλα πολλά. Ο αντίκτυπος της εικονικής πραγματικότητας σε διάφορους τομείς περιγράφεται ως εξής (Noble et al., 2022) :

- Κληρονομιά και αρχαιολογία : Η πρώτη χρήση μιας παρουσίασης εικονικής πραγματικότητας σε μια εφαρμογή της κατηγορίας κληρονομιάς ήταν το 1994, όταν μια ερμηνεία επισκεπτών μουσείου παρείχε μια διαδραστική «βόλτα» μιας τρισδιάστατης ανακατασκευής του Κάστρου Ντάντλεϊ στην Αγγλία όπως ήταν το 1550. Αυτό αποτελείται από ένα ελεγχόμενο υπολογιστικό σύστημα βασισμένο σε δίσκο λέιζερ που σχεδιάστηκε από τον Βρετανό μηχανικό Colin Johnson. Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας στην κληρονομιά και την αρχαιολογία έχει τεράστιες δυνατότητες σε εφαρμογές μουσείων και κέντρων επισκεπτών. Έχουν γίνει πολλές ιστορικές ανακατασκευές. Αυτές οι ανακατασκευές παρουσιάζονται σε μορφή προ-απόδοσης σε μια κοινόχρηστη οθόνη βίντεο, επιτρέποντας έτσι σε περισσότερα από ένα άτομα να δουν έναν κόσμο που δημιουργείται από υπολογιστή, αλλά περιορίζει την αλληλεπίδραση που μπορεί να προσφέρει η εικονική πραγματικότητα πλήρους κλίμακας.

- Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης : Τα μέσα μαζικής ενημέρωσης υπήρξαν ένας μεγάλος υποστηρικτής και ίσως ένα μεγάλο εμπόδιο για την ανάπτυξη της εικονικής πραγματικότητας όλα αυτά τα χρόνια. Στις δεκαετίες του 1980 και του 1990, οι προβλέψεις των μέσων μαζικής ενημέρωσης σχετικά με τις δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας δημιούργησαν τις προσδοκίες της τεχνολογίας τόσο υψηλές που είναι αδύνατο να επιτευχθούν με την τεχνολογία τότε ή οποιαδήποτε τεχνολογία μέχρι σήμερα. Τα μέσα ψυχαγωγίας ενίσχυσαν αυτές τις έννοιες με φουτουριστικές εικόνες πολλών γενεών πέρα από τις σύγχρονες δυνατότητες.
- Βιβλία μυθοπλασίας : Υπάρχουν πολλά βιβλία επιστημονικής φαντασίας που περιγράφουν την εικονική πραγματικότητα. Ένα από τα πρώτα σύγχρονα έργα που χρησιμοποίησαν αυτή την ιδέα ήταν το μυθιστόρημα του Daniel F. Galouye «Simulacron-3». Το μυθιστόρημα «Kilobyte» του Piers Anthony ακολουθεί την ιστορία ενός παράλυτου αστυνομικού που παγιδεύεται σε ένα παιχνίδι εικονικής πραγματικότητας από έναν χάκερ, τον οποίο πρέπει να σταματήσει για να σώσει έναν συμπαγιδευμένο παίκτη με διαβήτη που σιγά σιγά υποκύπτει στο σοκ της ινσουλίνης. Το πρώτο μυθιστορηματικό έργο που περιέγραψε πλήρως την εικονική πραγματικότητα συμπεριλήφθηκε στο βιβλίο του 1951 - "The Illustrated Man". Η σειρά μυθιστορημάτων «Otherland» του Tad Williams δείχνει έναν κόσμο όπου το διαδίκτυο έχει γίνει προσβάσιμο μέσω εικονικής πραγματικότητας. Έχει γίνει τόσο δημοφιλές και κάπως συνηθισμένο που, με τη βοήθεια χειρουργικών εμφυτευμάτων, οι άνθρωποι μπορούν να συνδεθούν απευθείας σε αυτό το μελλοντικό περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Μερικά άλλα δημοφιλή φανταστικά έργα που χρησιμοποιούν την έννοια της εικονικής πραγματικότητας περιλαμβάνουν το «Neuromancer» του William Gibson που καθόρισε την έννοια του κυβερνοχώρου, το «Snow Crash» του Neal Stephenson, στο οποίο έκανε εκτενή αναφορά στον όρο avatar για να περιγράψει την αναπαράσταση κάποιου σε έναν εικονικό κόσμο και το "The Hacker and the Ants" του Rudy Rucker, στο οποίο ο προγραμματιστής Jerzy Rugby χρησιμοποιεί την εικονική πραγματικότητα για τον σχεδιασμό και την δοκιμή ρομπότ.

- Τηλεόραση : Ίσως το πιο πρώιμο παράδειγμα εικονικής πραγματικότητας στην τηλεόραση είναι μια σειρά με τίτλο Doctor Who "The Deadly Assassin". Αυτή η ιστορία εισήγαγε μια ονειρική πραγματικότητα που δημιουργήθηκε από υπολογιστή, γνωστή ως Matrix. Η πρώτη μεγάλη τηλεοπτική σειρά που παρουσίασε την εικονική πραγματικότητα ήταν το «Star Trek : the Next Generation». Παρουσίασαν το holodeck, μια εγκατάσταση εικονικής πραγματικότητας σε διαστημόπλοια που έδινε τη δυνατότητα στους χρήστες της να αναδημιουργήσουν και να βιώσουν οτιδήποτε ήθελαν. Μια διαφορά από την τρέχουσα τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας, ωστόσο, ήταν ότι οι αντιγραφείς, τα πεδία δυνάμεων, τα ολογράμματα και οι μεταφορείς χρησιμοποιήθηκαν για να αναδημιουργήσουν και να τοποθετήσουν αντικείμενα στο holodeck, αντί να βασίζονται αποκλειστικά στην ψευδαίσθηση φυσικών αντικειμένων, όπως γίνεται σήμερα.
- Κινηματογραφικές εικόνες : Υπάρχουν πολλές κινηματογραφικές ταινίες που εξερεύνησαν και χρησιμοποίησαν την ιδέα της εικονικής πραγματικότητας. Η ταινία του Steven Lisberger «TRON» ήταν η πρώτη ταινία που εξερεύνησε την εικονική πραγματικότητα. Αυτή η ιδέα έγινε δημοφιλής από τους αδερφούς Wachowski στην κινηματογραφική ταινία του 1999 "The Matrix". Το Matrix ήταν σημαντικό καθώς παρουσίαζε την εικονική πραγματικότητα και την πραγματικότητα ως συχνά επικαλυπτόμενο και μερικές φορές δυσδιάκριτο περιβάλλον. Το Total Recall και η ταινία του David Cronenberg «ExistenZ» ασχολήθηκαν με τον κίνδυνο σύγχυσης μεταξύ πραγματικότητας και εικονικής πραγματικότητας στα παιχνίδια στον υπολογιστή. Ο κυβερνοχώρος ήταν κάτι που οι περισσότερες ταινίες παρεξήγησαν εντελώς και φάνηκε στην ταινία με τίτλο "The Lawnmower Man". Επίσης, η βρετανική κωμωδία «Red Dwarf» χρησιμοποίησε σε αρκετά επεισόδια την ιδέα ότι η ζωή είναι ένα παιχνίδι εικονικής πραγματικότητας. Αυτή η ιδέα χρησιμοποιήθηκε επίσης στο "Spy Kids 3D: Game Over". Μια άλλη ταινία που έχει ένα περίεργο θέμα είναι το «Brainscan», όπου το νόημα του παιχνιδιού είναι να είσαι εικονικός δολοφόνος. Μια πιο καλλιτεχνική και φιλοσοφική προοπτική για το θέμα μπορεί να δει κανείς στο Avalon. Υπάρχει επίσης μια ταινία από το 1995 που ονομάζεται "Virtuosity" με τους Denzel Washington και Russell Crowe που ασχολείται με

τη δημιουργία ενός κατά συρροή δολοφόνου, που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του προσωπικού επιβολής του νόμου, ο οποίος δραπετεύει από την εικονική πραγματικότητα και μεταφέρεται στον πραγματικό κόσμο.

- Μουσικά βίντεο : Το μακροσκελές βίντεο για το single του σκληρού ροκ συγκροτήματος Aerosmith το 1993 «Amazing» απεικόνιζε την εικονική πραγματικότητα, φτάνοντας στο σημείο να δείχνει δύο νεαρούς να συμμετέχουν στο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας ταυτόχρονα από ξεχωριστούς προσωπικούς υπολογιστές τους (ενώ δεν γνώριζαν ότι και ο ένας και ο άλλος συμμετείχε επίσης σε αυτό) στο οποίο τα 2 άτομα συμμετείχαν σε μια συναρπαστική συνεδρία μακιγιάζ, έπρεπε να πέσουν από αεροπλάνο στον ελεύθερο ουρανό και να ξεκινήσουν μαζί ένα ταξίδι με μοτοσικλέτα.
- Βιντεοπαιχνίδια : Πολλές βιομηχανίες ξεπήδησαν και άρχισαν να αναπτύσσουν παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας. Το 1991, η W Industries κυκλοφόρησε ένα σύστημα παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας που ονομάζεται 1000CS. Αυτή ήταν μια stand-up εμπυθιστική πλατφόρμα συσκευών προβολής σε συνδυασμό με ένα τρισδιάστατο joystick. Το σύστημα διέθετε πολλά παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας, συμπεριλαμβανομένων των "Dactyl Nightmare", "Legend Quest", "Hero" και "Grid Busters". Αναπτύχθηκαν και άλλα παιχνίδια όπως «VR World 3D Color Ninja», το «VR Wireless TV Tennis Game», το «Mage: the Ascension», το «Kingdom Hearts II», το «System Shock», το «System Shock2» και το «VR 3D Drangonflight» μεταξύ άλλων.
- Καλές τέχνες : Οι καλές τέχνες επηρεάζονται επίσης από την εικονική πραγματικότητα. Οι καλλιτέχνες δήλωσαν ότι δημιουργούν εντυπωσιακά έργα χρησιμοποιώντας την εικονική πραγματικότητα. Ο David Em ήταν ο πρώτος καλλιτέχνης που δημιούργησε πλωτούς εικονικούς κόσμους. Ο Jeffrey Shaw εξερεύνησε τις δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας στις καλές τέχνες με πρώιμα έργα όπως το "Legible City", το "Virtual Museum" και το "Golden Calf". Ο Char Davies δημιούργησε εμπυθιστικά έργα τέχνης εικονικής πραγματικότητας στο "Osmose" και το "Ephémère". Έργα όπως το «Is God Flat», το «Tunnel under the Atlantic» και το «World Skin», του Maurice

Benayoun εισήγαγαν μεταφορικό, φιλοσοφικό ή πολιτικό περιεχόμενο, συνδυάζοντας την εικονική πραγματικότητα, το δίκτυο, τις γενιές και τους ευφυείς πράκτορες. Υπάρχουν και άλλοι πρωτοπόροι καλλιτέχνες που εργάζονται στην εικονική πραγματικότητα στην σημερινή εποχή.

- Μάρκετινγκ : Οι διαφημίσεις και τα εμπορεύματα έχουν συσχετιστεί με την εικονική πραγματικότητα. Υπάρχουν πολλές τηλεοπτικές διαφημίσεις που χρησιμοποιούν την εικονική πραγματικότητα. Η εικονική πραγματικότητα σε συνδυασμό με τις τηλεοπτικές διαφημίσεις προβάλλουν προϊόντα, όπως το "Virtual Andre" της Nike. Αυτή η διαφήμιση παρουσιάζει έναν έφηβο που παίζει τένις χρησιμοποιώντας ένα σύστημα γυαλιών και γαντιών ενάντια σε έναν υπολογιστή που δημιουργήθηκε από τον Andre Agassi.
- Τομέας υγείας : Η εικονική πραγματικότητα βρίσκει τον δρόμο της στην εκπαίδευση επαγγελματιών υγείας. Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας κυμαίνεται από οδηγίες ανατομίας έως προσομοιώσεις χειρουργικής επέμβασης. Η εικονική πραγματικότητα έχει επίσης πολλές εφαρμογές που μπορούν να σχετίζονται άμεσα με την υγειονομική περίθαλψη. Σε μια λευκή βίβλο σχετικά με τη χρήση των εικονικών περιβαλλόντων για την υγειονομική περίθαλψη, ο Moline (1995) υπέδειξε διάφορους τομείς στους οποίους η φροντίδα των ασθενών μπορεί να υποστηριχθεί με τεχνικές εικονικής πραγματικότητας. Αυτοί οι τομείς περιλαμβάνουν τη χρήση εικονικής πραγματικότητας για τηλεχειρουργική εξ αποστάσεως, τη χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας στην τοπική χειρουργική, όπως η ενδοσκόπηση, όπου ο χειρουργός χειρίζεται τα όργανα βλέποντας μια οθόνη, τη χρήση εικονικών περιβαλλόντων ως χειρουργικών προσομοιωτών ή εκπαιδευτών, τη χρήση εικονικών περιβαλλόντων ως συσκευές θεραπείας για τη μείωση του άγχους ή του φόβου, κλπ. Ένα παράδειγμα είναι οι οδοντίατροι που χρησιμοποιούν τρισδιάστατα γυαλιά για να αποσπάσουν την προσοχή του ασθενούς κατά τη διάρκεια των οδοντιατρικών επεμβάσεων και η χρήση εικονικών περιβαλλόντων για τη μείωση φοβιών όπως η αγοραφοβία και ο ίλιγγος.

- Θεραπευτικές χρήσεις : Η κύρια χρήση της εικονικής πραγματικότητας σε θεραπευτικό ρόλο είναι η εφαρμογή της σε διάφορες μορφές θεραπείας, που κυμαίνονται από θεραπείες φοβίας έως νεότερες προσεγγίσεις για τη θεραπεία της διαταραχής μετατραυματικού στρες (PTSD). Μια πολύ βασική προσομοίωση εικονικής πραγματικότητας με απλά μοντέλα όρασης και ήχου έχει αποδειχθεί ότι είναι ανεκτίμητη στη θεραπεία της φοβίας ως ένα βήμα μεταξύ της βασικής θεραπείας, όπως η χρήση προσομοιωτών. Μια πολύ πιο πρόσφατη εφαρμογή χρησιμοποιείται πιλοτικά από το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ για να χρησιμοποιήσει μια πολύ πιο σύνθετη προσομοίωση για να βυθίσει τους βετεράνους που πάσχουν από διαταραχή μετατραυματικού στρες σε προσομοιώσεις σκηνικών μάχης στην πόλη. Όπως και στη θεραπεία της φοβίας, η έκθεση στο θέμα του τραύματος ή του φόβου φαίνεται να οδηγεί σε απευαισθητοποίηση και σημαντική μείωση των συμπτωμάτων.
- Ακίνητα : Ο τομέας των ακινήτων έχει χρησιμοποιήσει τον όρο της εικονικής πραγματικότητας για ιστότοπους που προσφέρουν πανοραμικές εικόνες κολλημένες σε ένα πρόγραμμα προβολής, όπως το πρόγραμμα αναπαραγωγής QuickTime, στο οποίο ο θεατής μπορεί να περιστραφεί για να δει και τις 360 μοίρες της εικόνας.

1.7 Η χρησιμότητα και τα οφέλη και τα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί της εικονικής πραγματικότητας

1.7.1 Τα πλεονεκτήματα και οι χρήσεις της εικονικής πραγματικότητας

Οι ερευνητές στο πεδίο έχουν γενικά συμφωνήσει ότι η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας είναι συναρπαστική και μπορεί να προσφέρει έναν μοναδικό και αποτελεσματικό τρόπο μάθησης και ότι τα έργα εικονικής πραγματικότητας αποτελούν μεγάλο κίνητρο για τους μαθητές. Από την έρευνα, έχουν προκύψει αρκετές συγκεκριμένες καταστάσεις στις οποίες η εικονική πραγματικότητα έχει ισχυρά οφέλη ή πλεονεκτήματα (Wohlgenannt et al., 2020). Για παράδειγμα, η εικονική πραγματικότητα έχει μεγάλη αξία σε καταστάσεις όπου η εξερεύνηση περιβαλλόντων ή οι αλληλεπιδράσεις με αντικείμενα ή άτομα είναι αδύνατη ή άβολη ή όπου ένα

περιβάλλον μπορεί να υπάρχει μόνο σε μορφή που δημιουργείται από υπολογιστή. Η εικονική πραγματικότητα είναι επίσης πολύτιμη όταν η εμπειρία της πραγματικής δημιουργίας ενός προσομοιωμένου περιβάλλοντος είναι σημαντική για τη μάθηση. Η δημιουργία των δικών τους εικονικών κόσμων έχει αποδειχθεί ότι επιτρέπει σε ορισμένους μαθητές να κυριαρχήσουν στο περιεχόμενο και να κατανοήσουν όσα έχουν μάθει (Jakubowska & Kazimierska-Zajac, 2020).

Μία από τις ευεργετικές χρήσεις της εικονικής πραγματικότητας συμβαίνει όταν η οπτικοποίηση, ο χειρισμός και η αλληλεπίδραση με πληροφορίες είναι κρίσιμες για την κατανόηση της. Είναι, στην πραγματικότητα, η ικανότητα της εικονικής πραγματικότητας να επιτρέπει στους μαθητές να εμφανίζουν και να αλληλεπιδρούν με πληροφορίες και σε περιβάλλοντα που ορισμένοι πιστεύουν ότι είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της εικονικής πραγματικότητας (Wohfel et al., 2021). Τέλος, η εικονική πραγματικότητα είναι μια πολύτιμη εναλλακτική λύση διδασκαλίας και πρακτικής όταν η πραγματική κατάσταση είναι επικίνδυνη για τους μαθητές, τους εκπαιδευτές, τον εξοπλισμό ή το περιβάλλον. Αυτό το πλεονέκτημα της τεχνολογίας έχει αναφερθεί από προγραμματιστές και ερευνητές από διαφορετικούς τομείς όπως η πυρόσβεση, η αντιτρομοκρατική εκπαίδευση, ο παροπλισμός πυρηνικών, η οδήγηση και η ασφάλεια γερανών, η επιθεώρηση και η συντήρηση αεροσκαφών, η βαφή αυτοκινήτων με σπρέι και η ασφάλεια των πεζών για παιδιά (Muñoz-Saavedra et al., 2020).

1.7.2 Τα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί της εικονικής πραγματικότητας

Ένα σημαντικό ζήτημα στη χρήση της εικονικής πραγματικότητας είναι το υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων και κόστους που απαιτούνται για την ανάπτυξη και την εφαρμογή περιβαλλόντων εικονικής πραγματικότητας, ιδιαίτερα των εμβυθιστικών συστημάτων. Πολύ υψηλά επίπεδα τεχνογνωσίας προγραμματισμού και γραφικών και πολύ ακριβό υλικό και λογισμικό είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της εμβυθιστικής εικονικής πραγματικότητας και απαιτείται σημαντική ικανότητα για την αποτελεσματική χρήση της στη διδασκαλία (Akinola et al., 2020). Ενώ η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας επιτραπέζιου υπολογιστή έχει μειώσει δραματικά τις απαιτήσεις δεξιοτήτων και κόστους των εικονικών περιβαλλόντων, εξακολουθεί να απαιτεί κάποια επένδυση χρημάτων και χρόνου (Bis, 2018).

Ένα άλλο σύνολο περιορισμών των περιβαλλόντων εικονικής πραγματικότητας πηγάζει από τη φύση του εξοπλισμού που απαιτείται. Ένα μακροχρόνιο πρόβλημα με την εμπυθιστική εικονική πραγματικότητα ήταν οι ανησυχίες για την υγεία και την ασφάλεια των χρηστών της. Η πρώιμη βιβλιογραφία ήταν πολύ μεγάλη με μελέτες για πονοκεφάλους, ναυτίες, διαταραχές ισορροπίας και άλλες φυσικές επιπτώσεις των συστημάτων των συσκευών προβολής εικονικής πραγματικότητας (Mathivanan et al., 2017). Ενώ αυτά τα προβλήματα έχουν εκλείψει σε μεγάλο βαθμό από την τρέχουσα έρευνα της εικονικής πραγματικότητας, καθώς ο εξοπλισμός έχει βελτιωθεί και φαίνεται να απουσιάζει εντελώς στα νέα συστήματα επιτραπέζιων υπολογιστών, λίγα είναι γνωστά για τις μακροπρόθεσμες σωματικές ή ψυχολογικές επιπτώσεις της χρήσης της εικονικής πραγματικότητας (Sherman & Craig, 2019).

Ένας δεύτερος περιορισμός εξοπλισμού της εικονικής πραγματικότητας προκύπτει από το γεγονός ότι βασίζεται σε υπολογιστή και απαιτεί υλικό υψηλής τεχνολογίας για επιτυχή παρουσίαση. Ο ανεπαρκής εξοπλισμός υπολογιστή μπορεί να περιορίσει δραματικά τον χρόνο απόκρισης για πλοήγηση και αλληλεπίδραση σε εικονικό περιβάλλον, καταστρέφοντας πιθανώς την αίσθηση της παρουσίας της στους χρήστες και βλάπτοντας ή καταστρέφοντας τη χρησιμότητα της ως προσομοίωση της πραγματικότητας (Chong et al., 2018). Αυτή η κατάσταση απόκρισης που μερικές φορές αναφέρεται ως «πρόβλημα λανθάνοντος χρόνου» της εικονικής πραγματικότητας, μπορεί επίσης να προκύψει από περιορισμούς εύρους ζώνης όταν η εικονική πραγματικότητα διανέμεται μέσω ενός δικτύου ή του διαδικτύου (Akinola et al., 2020).

Κεφάλαιο 2^ο : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της επαυξημένης πραγματικότητας

2.1 Ο ορισμός της επαυξημένης πραγματικότητας

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια διαδραστική εμπειρία ενός πραγματικού περιβάλλοντος όπου τα αντικείμενα που βρίσκονται στον πραγματικό κόσμο ενισχύονται από αντιληπτικές πληροφορίες που δημιουργούνται από υπολογιστή, μερικές φορές σε πολλαπλές αισθητηριακές μεθόδους, όπως οπτική, ακουστική, απτική, σωματοαισθητική και οσφρητική μέθοδος. Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να οριστεί ως ένα σύστημα που ενσωματώνει τρία βασικά χαρακτηριστικά όπου είναι ένας συνδυασμός πραγματικού και εικονικού κόσμου, η αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο και η ακριβή τρισδιάστατη καταγραφή εικονικών και πραγματικών αντικειμένων (Carmigniani & Furht, 2011). Οι επικαλυπτόμενες αισθητηριακές πληροφορίες μπορεί να είναι εποικοδομητικές (δηλαδή προσθετικές στο φυσικό περιβάλλον) ή καταστροφικές (δηλαδή απόκρυψη του φυσικού περιβάλλοντος). Αυτή η εμπειρία είναι άσφουρα συνυφασμένη με τον φυσικό κόσμο, έτσι ώστε να γίνεται αντιληπτή ως μια εμπιστευτική πτυχή του πραγματικού περιβάλλοντος (Alkhamisi & Monowar, 2013). Με αυτόν τον τρόπο, η επαυξημένη πραγματικότητα αλλάζει τη συνεχή αντίληψη κάποιου για ένα περιβάλλον πραγματικού κόσμου, ενώ η εικονική πραγματικότητα αντικαθιστά πλήρως το πραγματικό περιβάλλον του χρήστη με ένα προσομοιωμένο περιβάλλον. Η επαυξημένη πραγματικότητα σχετίζεται με δύο συνώνυμους όρους όπου είναι η μικτή πραγματικότητα και η πραγματικότητα μέσω υπολογιστή (Chen et al., 2019).

Η πρωταρχική αξία της επαυξημένης πραγματικότητας είναι ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία του ψηφιακού κόσμου αναμειγνύονται στην αντίληψη ενός ατόμου για τον πραγματικό κόσμο, όχι ως απλή εμφάνιση δεδομένων, αλλά μέσω της ενσωμάτωσης εμπιστευτικών αισθήσεων, οι οποίες γίνονται αντιληπτές ως φυσικά μέρη ενός περιβάλλοντος (Bhosale et al., 2021). Τα πρώτα λειτουργικά συστήματα της επαυξημένης πραγματικότητας που παρείχαν εμπιστευτικές εμπειρίες μικτής πραγματικότητας στους χρήστες εφευρέθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ξεκινώντας με το σύστημα Virtual Fixtures που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο

Armstrong της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ το 1992. Οι εμπορικές εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας εισήχθησαν για πρώτη φορά σε επιχειρήσεις ψυχαγωγίας και τυχερών παιχνιδιών. Στη συνέχεια, οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας έχουν καλύψει εμπορικές βιομηχανίες όπως η εκπαίδευση, οι επικοινωνίες, η ιατρική και η ψυχαγωγία. Στην εκπαίδευση, το περιεχόμενο μπορεί να είναι προσβάσιμο με σάρωση ή προβολή μιας εικόνας με κινητή συσκευή ή χρησιμοποιώντας τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας χωρίς δείκτες (Sünger & Çankaya, 2019).

Η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιείται για να βελτιώσει φυσικά περιβάλλοντα ή καταστάσεις και να προσφέρει εμπλουτισμένες αντιληπτικά εμπειρίες. Με τη βοήθεια των προηγμένων τεχνολογιών της επαυξημένης πραγματικότητας (π.χ. επιπρόσθετη όραση υπολογιστή, ενσωμάτωση καμερών επαυξημένης πραγματικότητας σε εφαρμογές smartphone και αναγνώριση αντικειμένων), οι πληροφορίες σχετικά με τον περιβάλλοντα πραγματικό κόσμο του χρήστη γίνονται μέσω διαδραστικών και ψηφιακών χειρισμών. Οι πληροφορίες για το περιβάλλον και τα αντικείμενα του επικαλύπτονται στον πραγματικό κόσμο. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να είναι εικονικές (Peddie, 2017). Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι κάθε εμπειρία που είναι τεχνητή και προστίθεται στην ήδη υπάρχουσα πραγματικότητα. Η επαυξημένη πραγματικότητα έχει επίσης πολλές δυνατότητες στη συγκέντρωση και την ανταλλαγή σιωπηρής γνώσης. Οι τεχνικές επαύξεσης εκτελούνται συνήθως σε πραγματικό χρόνο και σε σημασιολογικά πλαίσια με περιβαλλοντικά στοιχεία. Οι εμπυθιστικές αντιληπτικές πληροφορίες συνδυάζονται μερικές φορές με συμπληρωματικές πληροφορίες. Αυτό συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο της τεχνολογίας της επαυξημένης πραγματικότητας όσο και της τεχνολογίας heads up display (HUD) (Carmigniani et al., 2010).

2.2 Οι συσκευές της επαυξημένης πραγματικότητας

Οι κύριες συσκευές για την επαυξημένη πραγματικότητα είναι οθόνες, συσκευές εισόδου, συσκευές παρακολούθησης και υπολογιστές.

2.2.1 Οθόνες

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι οθονών που χρησιμοποιούνται στην επαυξημένη πραγματικότητα όπου είναι οι οθόνες προβολής (HMD), οι οθόνες χειρός και οι χωρικές οθόνες. Οι οθόνες προβολής είναι συσκευές προβολής που φοριούνται στο κεφάλι ή ως μέρος κράνους και προβάλλονται τόσο οι εικόνες του πραγματικού όσο και του εικονικού περιβάλλοντος στα μάτια του χρήστη. Οι οθόνες προβολής μπορεί να είναι είτε προβολής βίντεο είτε οπτικής προβολής και μπορεί να έχει μονόφθαλμη ή διόφθαλμη οπτική οθόνη (White et al., 2014). Τα συστήματα προβολής βίντεο είναι πιο απαιτητικά από τα συστήματα οπτικής προβολής, καθώς απαιτούν από τον χρήστη να φοράει δύο κάμερες στο κεφάλι του και απαιτείται η επεξεργασία και των δύο καμερών για να παρέχει τόσο το «πραγματικό μέρος» της επαυξημένης σκηνής και τα εικονικά αντικείμενα με απaráμιλλη ανάλυση, ενώ η οπτική προβολή χρησιμοποιεί τεχνολογία που επιτρέπει τη διέλευση όψεων του φυσικού κόσμου μέσα από το φακό και τις πληροφορίες γραφικής επικάλυψης που αντανακλώνται στα μάτια του χρήστη (Wong et al., 2014).

Η σκηνή καθώς και ο πραγματικός κόσμος γίνεται αντιληπτός πιο φυσικά παρά στην ανάλυση της οθόνης. Από την άλλη πλευρά, στα συστήματα προβολής βίντεο, η επαυξημένη προβολή συντίθεται ήδη από τον υπολογιστή και επιτρέπει πολύ περισσότερο έλεγχο του αποτελέσματος (Arasu et al., 2018). Έτσι, ο έλεγχος του χρονισμού της πραγματικής σκηνής μπορεί να επιτευχθεί με το συγχρονισμό της εικονικής πραγματικότητας με τη σκηνή πριν από την εμφάνιση της, ενώ σε μια εφαρμογή οπτικής προβολής, η προβολή του πραγματικού κόσμου δεν μπορεί να παρουσιάζει καθυστέρηση, επομένως η χρονική καθυστέρηση εισάγεται στο σύστημα από τα γραφικά και την επεξεργασία εικόνας όπου γίνεται αντιληπτό από τον χρήστη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εικόνα που μπορεί να μην φαίνεται «κολλημένη» με τα πραγματικά αντικείμενα στα οποία υποτίθεται ότι αντιστοιχούν, να φαίνονται ασταθή, να τρέμουν ή να παρουσιάζουν κυματισμούς (Dey et al., 2018).

Οι φορητές οθόνες χρησιμοποιούν μικρές υπολογιστικές συσκευές με οθόνη που μπορεί να κρατήσει ο χρήστης στα χέρια του. Χρησιμοποιούν τεχνικές προβολής βίντεο για να επικαλύπτουν γραφικά στο πραγματικό περιβάλλον και χρησιμοποιούν αισθητήρες, όπως ψηφιακές πυξίδες και μονάδες GPS για τους αισθητήρες

παρακολούθησης, τα συστήματα πιστών δεικτών, όπως το ARToolKit ή/και μεθόδους όρασης υπολογιστή, όπως το SLAM. Επί του παρόντος, υπάρχουν τρεις διακριτές κατηγορίες εμπορικά διαθέσιμων οθονών χειρός που χρησιμοποιούνται για τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας και είναι τα έξυπνα τηλέφωνα, τα PDA και τα tablet (De et al., 2020). Τα έξυπνα τηλέφωνα είναι φορητές και διαδεδομένες συσκευές, και με τις πρόσφατες εξελίξεις παρουσιάζουν έναν συνδυασμό ισχυρής κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, κάμερας, επιταχυνσιόμετρου, GPS και πυξίδας στερεάς κατάστασης, καθιστώντας τα μια πολλά υποσχόμενη συσκευή για την επαυξημένη πραγματικότητα. Ωστόσο, το μικρό τους μέγεθος οθόνης είναι λιγότερο ιδανικό για τρισδιάστατες διεπαφές χρήστη. Οι συσκευές PDA παρουσιάζουν πολλά από τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των έξυπνων τηλεφώνων, αλλά γίνονται πολύ λιγότερο διαδεδομένα από τα έξυπνα τηλέφωνα από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις. Τα tablet είναι πολύ πιο ισχυρά από τα έξυπνα τηλέφωνα, αλλά είναι σημαντικά πιο ακριβά και πολύ βαριά στη χρήση με το ένα χέρι, ακόμη και για παρατεταμένη χρήση με δύο χέρια. Ωστόσο, με την κυκλοφορία των iPad, είναι γενικά αποδεκτό ότι τα tablet θα μπορούσαν να γίνουν μια πολλά υποσχόμενη πλατφόρμα για φορητές οθόνες επαυξημένης πραγματικότητας (Liberatore & Wagner, 2021).

Η χωρική επαυξημένη πραγματικότητα (SAR) χρησιμοποιεί βιντεοπροβολείς, οπτικά στοιχεία, ολογράμματα, ετικέτες ραδιοσυχνότητας και άλλες τεχνολογίες παρακολούθησης για την εμφάνιση γραφικών πληροφοριών απευθείας σε φυσικά αντικείμενα χωρίς να απαιτείται από τον χρήστη να φορά ή να μεταφέρει μια οθόνη. Οι χωρικές οθόνες διαχωρίζουν το μεγαλύτερο μέρος της τεχνολογίας από τον χρήστη και την ενσωματώνουν στο περιβάλλον (Bergman, 2012). Αυτό επιτρέπει στη χωρική επαυξημένη πραγματικότητα να κλιμακώνεται φυσικά σε ομάδες χρηστών, επιτρέποντας έτσι τη συνεργασία μεταξύ των χρηστών, αυξάνοντας το ενδιαφέρον για τέτοια συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας σε πανεπιστήμια, εργαστήρια, μουσεία και στην καλλιτεχνική κοινότητα. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις στη χωρική επαυξημένη πραγματικότητα που διαφέρουν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο επαυξάνουν το περιβάλλον όπου είναι η προβολή βίντεο, η οπτική προβολή και η άμεση επαύξηση (Sallow & Younis, 2019).

Στη χωρική επαυξημένη πραγματικότητα, οι οθόνες προβολής βίντεο βασίζονται σε μια οθόνη. Είναι μια κοινή τεχνική που χρησιμοποιείται εάν το σύστημα δεν χρειάζεται

να είναι κινητό, καθώς είναι οικονομικά αποδοτική τεχνική, λόγω ότι απαιτούνται μόνο εξαρτήματα υλικού εκτός ραφίου και τυπικός εξοπλισμός ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (Kim, 2010). Οι χωρικές οθόνες οπτικής προβολής δημιουργούν εικόνες που ευθυγραμμίζονται στο φυσικό περιβάλλον. Οι χωρικοί οπτικοί συνδυαστές, όπως οι επίπεδοι ή οι καμπύλοι διαχωριστές δέσμης καθρέφτη, οι διαφανείς οθόνες ή τα οπτικά ολογράμματα είναι βασικά στοιχεία τέτοιων οθονών. Ωστόσο, όπως και η προβολή βίντεο που βασίζεται στην οθόνη, η χωρική οπτική προβολή δεν υποστηρίζει εφαρμογές για κινητές συσκευές λόγω της ευθυγραμμισμένης οπτικής τεχνολογίας και της τεχνολογίας οθόνης. Τέλος, οι χωρικές οθόνες που βασίζονται σε προβολέα εφαρμόζουν μπροστινή προβολή για την απρόσκοπτη προβολή εικόνων απευθείας σε επιφάνειες φυσικών αντικειμένων (Billingham et al., 2015).

2.2.2 Συσκευές εισόδου, συσκευές παρακολούθησης και υπολογιστές

Συσκευές εισόδου

Υπάρχουν πολλοί τύποι συσκευών εισόδου για συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας. Ορισμένα συστήματα, όπως το κινητό επαυξημένο σύστημα χρησιμοποιεί γάντια. Άλλα, υπάρχουν και άλλα συστήματα όπως το ReachMedia όπου χρησιμοποιούν ένα ασύρματο βραχιόλι. Στην περίπτωση των έξυπνων τηλεφώνων, το ίδιο το τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συσκευή εντοπισμού. Για παράδειγμα, το Google Sky Map σε τηλέφωνο Android απαιτεί από τον χρήστη να κατευθύνει το τηλέφωνο του προς την κατεύθυνση των αστεριών ή των πλανητών που επιθυμεί να μάθει το όνομα τους (Sallow & Younis, 2019). Οι συσκευές εισόδου που επιλέγονται εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της εφαρμογής για την οποία αναπτύσσεται το σύστημα ή/και την επιλεγμένη οθόνη. Για παράδειγμα, εάν μια εφαρμογή απαιτεί από τον χρήστη να έχει την παλάμη του ανοιχτή, η επιλεγμένη συσκευή εισόδου θα είναι αυτή που επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιεί τις παλάμες του/της για την εφαρμογή χωρίς να απαιτεί επιπλέον αφύσικες χειρονομίες ή να κρατιέται από τον χρήστη. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών εισόδου περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση βλέμματος ή το ασύρματο βραχιόλι. Ομοίως, εάν ένα σύστημα χρησιμοποιεί μια οθόνη χειρός, οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια συσκευή εισόδου οθόνης αφής (Raajan et al., 2014).

Συσκευές παρακολούθησης

Οι συσκευές παρακολούθησης αποτελούνται από ψηφιακές κάμερες ή/και άλλους οπτικούς αισθητήρες, GPS, επιταχυνσιόμετρα, πυξίδες στερεάς κατάστασης, ασύρματους αισθητήρες κ.λπ. Κάθε μία από αυτές τις τεχνολογίες έχει διαφορετικό επίπεδο ακρίβειας και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του συστήματος που αναπτύσσεται. Η γενική τεχνολογία παρακολούθησης για την επαυξημένη πραγματικότητα προσδιορίζεται από τη μηχανική, τη μαγνητική ανίχνευση, το GPS, τους υπερήχους, την αδράνεια και την οπτική (van Krevelen & Poelman, 2010).

Υπολογιστές

Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας απαιτούν ισχυρή κεντρική μονάδα επεξεργασίας και σημαντική ποσότητα μνήμης RAM για την επεξεργασία εικόνων κάμερας. Μέχρι στιγμής, τα φορητά υπολογιστικά συστήματα χρησιμοποιούν έναν φορητό υπολογιστή, αλλά με την άνοδο της τεχνολογίας έξυπνων τηλεφώνων και των iPad, μπορούμε να ελπίζουμε ότι αυτή η διαμόρφωση θα αντικατασταθεί από ένα ελαφρύτερο και πιο εξελιγμένο σύστημα. Τα σταθερά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν παραδοσιακό σταθμό εργασίας με μια ισχυρή κάρτα γραφικών (Dünser & Billingham, 2011).

2.3 Οι διεπαφές της επαυξημένης πραγματικότητας

Μία από τις πιο σημαντικές πτυχές της επαυξημένης πραγματικότητας είναι η δημιουργία κατάλληλων τεχνικών για διαισθητική αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του εικονικού περιεχομένου των εφαρμογών της επαυξημένης πραγματικότητας. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τρόποι αλληλεπίδρασης σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας όπου είναι οι απτές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας, οι συνεργατικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας, οι υβριδικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας και οι αναδυόμενες πολυτροπικές διεπαφές (Chen et al., 2019).

2.3.1 Οι απτές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας

Οι απτές διεπαφές υποστηρίζουν την άμεση αλληλεπίδραση με τον πραγματικό κόσμο, αξιοποιώντας τη χρήση πραγματικών και φυσικών αντικειμένων και εργαλείων. Ένα κλασικό παράδειγμα της ισχύος των απτών διεπαφών χρήστη είναι η εφαρμογή VOMAR που αναπτύχθηκε από τους Kato, Billinghamurst, Poupyrev, Imamoto & Tachibana (2000) όπου επιτρέπει σε ένα άτομο να επιλέξει και να αναδιατάξει τα έπιπλα σε μια εφαρμογή σχεδιασμού σαλονιού επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιώντας μια πραγματική, φυσική ρακέτα. Οι κινήσεις της ρακέτας αντιστοιχίζονται σε διαισθητικές εντολές που βασίζονται σε χειρονομίες, όπως «λήψη» ενός αντικειμένου για να το επιλέξει ο χρήστης για κίνηση ή χτύπημα ενός αντικειμένου για να εξαφανιστεί, προκειμένου να παρέχεται στον χρήστη μια διαισθητική εμπειρία (Sünger & Çankaya, 2019).

Ένα πιο πρόσφατο παράδειγμα απτής διεπαφής χρήστη επαυξημένης πραγματικότητας είναι το TaRuMa. Το TaRuMa είναι μια επιτραπέζια απτή διεπαφή που χρησιμοποιεί φυσικά αντικείμενα για να αλληλεπιδράσει με ψηφιακούς προβαλλόμενους χάρτες χρησιμοποιώντας αντικείμενα πραγματικής ζωής που ο χρήστης κουβαλά μαζί του ως ερωτήματα για να βρει τοποθεσίες ή πληροφορίες στον χάρτη. Το πλεονέκτημα μιας τέτοιας εφαρμογής είναι ότι η χρήση αντικειμένων ως λέξεις-κλειδιά εξαλείφει το γλωσσικό εμπόδιο των συμβατικών γραφικών διεπαφών (αν και οι περισσότερες από αυτές έχουν πολλές γλώσσες, αλλά συχνά μεταφράζονται λάθος) (Carmigniani et al., 2010). Από την άλλη πλευρά, οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιούν αντικείμενα μπορεί επίσης να είναι διαφορετικές, καθώς μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία αντιστοιχίσεις σε ενέργειες ή πληροφορίες και διαφορετικά άτομα από διαφορετικά μέρη, ηλικιακή ομάδα και πολιτισμό έχουν διαφορετική σημασία για διαφορετικά αντικείμενα. Έτσι, αν και αυτό το σύστημα μπορεί να φαίνεται μάλλον απλό στη χρήση, «ανοίγει την πόρτα» σε ένα κύριο πρόβλημα στις διεπαφές χρήστη, όπου δείχνει στον χρήστη πώς να χρησιμοποιεί τα πραγματικά αντικείμενα για την αλληλεπίδραση με το σύστημα. Μια λύση που προτάθηκε ήταν να προσφέρονται εικονικές οπτικές υποδείξεις για το πραγματικό αντικείμενο που να δείχνουν πώς θα έπρεπε να μετακινηθεί. Ένα άλλο παράδειγμα απτών αλληλεπιδράσεων επαυξημένης πραγματικότητας περιλαμβάνει τη χρήση γαντιών ή περικάρπιου (White et al., 2014).

2.3.2 Οι συνεργατικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας

Οι συνεργατικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας περιλαμβάνουν τη χρήση πολλαπλών οθονών για την υποστήριξη απομακρυσμένων και κοινών δραστηριοτήτων. Η κοινή χρήση περιεχομένου χρησιμοποιεί τρισδιάστατες διεπαφές για τη βελτίωση του φυσικού συνεργατικού χώρου εργασίας. Στην απομακρυσμένη κοινή χρήση, η επαυξημένη πραγματικότητα είναι σε θέση να ενσωματώνει αβίαστα πολλές συσκευές με πολλές τοποθεσίες για να βελτιώσει τις τηλεδιασκέψεις (Arasu et al., 2018). Ένα παράδειγμα συστεγαζόμενης συνεργασίας μπορεί να δει κανείς με το Studierstube. Κατά την πρώτη παρουσίαση του Studierstube, οι σχεδιαστές είχαν κατά νου μια διεπαφή χρήστη που «χρησιμοποιεί τη συνεργατική επαυξημένη πραγματικότητα για να γεφυρώσει πολλαπλές διαστάσεις διεπαφής χρήστη δηλαδή πολλαπλούς χρήστες, περιβάλλοντα και τοπικές ρυθμίσεις καθώς και εφαρμογές, τρισδιάστατα παράθυρα, κεντρικούς υπολογιστές, πλατφόρμες προβολής και λειτουργικά συστήματα. Η απομακρυσμένη κοινή χρήση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των τηλεδιασκέψεων. Τέτοιες διεπαφές μπορούν να ενσωματωθούν με ιατρικές εφαρμογές για τη διενέργεια διαγνωστικών, χειρουργικών επεμβάσεων ή ακόμα και δραστηριοτήτων ρουτίνας συντήρησης (De et al., 2020).

2.3.3 Οι υβριδικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας

Οι υβριδικές διεπαφές συνδυάζουν μια ποικιλία διαφορετικών, αλλά συμπληρωματικών διεπαφών καθώς και τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μέσω ενός ευρέος φάσματος συσκευών αλληλεπίδρασης. Παρέχουν μια ευέλικτη πλατφόρμα για προγραμματίστη, καθημερινή αλληλεπίδραση όπου δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων ποιος τύπος οθόνης αλληλεπίδρασης ή συσκευές θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί μια υβριδική διεπαφή χρήστη με την χρήση οθόνης με ανίχνευση κεφαλής, διαφανή, φορεμένη στο κεφάλι οθόνη για να επικαλύψει την επαυξημένη πραγματικότητα και να παρέχει οπτικές και ακουστικές ανατροφοδοτήσεις (Liberatore & Wagner, 2021). Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας εφαρμόζεται στη συνέχεια για να υποστηρίξει τους τελικούς χρήστες στην εκχώρηση φυσικών συσκευών αλληλεπίδρασης σε λειτουργίες καθώς και εικονικά αντικείμενα στα οποία θα εκτελούν αυτές οι διαδικασίες και στην επαναδιαμόρφωση των

αντιστοιχίσεων μεταξύ συσκευών, αντικειμένων και λειτουργιών καθώς ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα (Kim, 2010).

2.3.4 Οι πολυτροπικές διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας

Οι πολυτροπικές διεπαφές συνδυάζουν την είσοδο πραγματικών αντικειμένων με φυσικές μορφές γλώσσας και συμπεριφορών όπως ομιλία, αφή, φυσικές χειρονομίες ή βλέμμα. Αυτοί οι τύποι διεπαφών εμφανίζονται πιο πρόσφατα. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τη φορητή διεπαφή χειρονομίας του MIT, που ονομάζεται WUW. Το WUW φέρνει στο χρήστη πληροφορίες που προβάλλονται σε επιφάνειες, τοίχους και φυσικά αντικείμενα μέσω φυσικών χειρονομιών, κίνησης των χεριών ή/και αλληλεπίδρασης με το ίδιο το αντικείμενο. Ένα άλλο παράδειγμα πολυτροπικής αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιεί το βλέμμα του χρήστη για να αλληλεπιδράσει με αντικείμενα (van Krevelen & Poelman, 2010). Αυτός ο τύπος αλληλεπίδρασης αναπτύσσεται τώρα σε μεγάλο βαθμό και είναι βέβαιο ότι θα είναι ένας από τους προτιμώμενους τύπους αλληλεπίδρασης για μελλοντικές εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς προσφέρουν μια σχετικά ισχυρή, αποτελεσματική, εκφραστική και εξαιρετικά κινητή μορφή αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή που αντιπροσωπεύει τους χρήστες ως ένα προτιμώμενο στυλ αλληλεπίδρασης (Dünser & Billinghamurst, 2011). Έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν την ικανότητα των χρηστών, να συνδυάζουν ευέλικτα τρόπους ή να αλλάζουν από τη μια λειτουργία εισαγωγής στην άλλη ανάλογα με την εργασία ή τη ρύθμιση. Επιπλέον, οι πολυτροπικές διεπαφές προσφέρουν την ελευθερία επιλογής του τρόπου αλληλεπίδρασης που προτιμά να χρησιμοποιήσει ο χρήστης ανάλογα με το περιβάλλον, δηλαδή δημόσιους χώρους, μουσεία, βιβλιοθήκες κ.λπ. Αυτή η ελευθερία επιλογής του τρόπου αλληλεπίδρασης είναι ζωτικής σημασίας για την ευρύτερη αποδοχή των διάχυτων συστημάτων σε δημόσιους χώρους (Carmigniani & Furht, 2011).

2.5 Τα συστήματα της επαυξημένης πραγματικότητας

Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες όπου είναι τα σταθερά συστήματα εσωτερικού χώρου, τα σταθερά συστήματα εξωτερικού χώρου, τα κινητά συστήματα εσωτερικού χώρου, τα κινητά

συστήματα εξωτερικού χώρου και τα κινητά συστήματα εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Ορίζεται ένα κινητό σύστημα ως ένα σύστημα που επιτρέπει στον χρήστη να κινείται και δεν περιορίζεται σε ένα δωμάτιο και έτσι επιτρέπει στον χρήστη να μετακινείται μέσω της χρήσης ενός ασύρματου συστήματος (Alkhamisi & Monowar, 2013). Το σταθερό σύστημα δεν μπορεί να μετακινηθεί και ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιήσει αυτά τα συστήματα όπου κι αν είναι εγκατεστημένα χωρίς να έχει την ευελιξία να μετακινηθεί, εκτός εάν μεταφέρει ολόκληρη την εγκατάσταση του συστήματος. Η επιλογή του τύπου συστήματος που θα κατασκευαστεί είναι η πρώτη επιλογή που πρέπει να κάνουν οι προγραμματιστές, καθώς θα βοηθήσει τους προγραμματιστές να αποφασίσουν ποιον τύπο συστήματος παρακολούθησης, επιλογή οθόνης και πιθανώς διεπαφή θα χρησιμοποιήσουν. Για παράδειγμα, τα σταθερά συστήματα δεν θα κάνουν χρήση της παρακολούθησης GPS, ενώ τα υπαίθρια κινητά συστήματα θα το κάνουν (Bhosale et al., 2021).

Σημειώνεται επίσης, ότι στα κινητά συστήματα εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, ένα από τα συστήματα που μελετήθηκαν (Costanza's eye-q) δεν χρησιμοποιεί τεχνικές παρακολούθησης, ενώ άλλα χρησιμοποιούν πολλαπλούς τύπους τεχνικών παρακολούθησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε ως προσωπική, λεπτή οθόνη ειδοποιήσεων (Peddie, 2017). Τα σταθερά συστήματα εξωτερικού χώρου μελετήθηκαν λόγω ότι αυτός ο τύπος συστήματος δεν είναι δημοφιλής εξαιτίας της αδιαλλαξίας του. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας βρίσκονται τώρα σε άνοδο και ενώ τα κινητά συστήματα εσωτερικού και εξωτερικού χώρου αντιπροσώπευαν μόνο το 12%, οι προγραμματιστές εξετάζουν όλο και περισσότερο αυτόν τον τύπο συστήματος καθώς διαθέτουν τις περισσότερες ευκαιρίες να κυκλοφορήσει στην αγορά (Wong et al., 2014).

Αν και αυτά τα αποτελέσματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γενικός κανόνας κατά την κατασκευή ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας, μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτης για το ποιος τύπος τεχνικών παρακολούθησης, προβολής ή διεπαφής είναι πιο δημοφιλής για κάθε τύπο συστήματος. Οι προγραμματιστές θα πρέπει επίσης να έχουν υπόψη τους ότι αυτές οι επιλογές εξαρτώνται επίσης από τον τύπο των εφαρμογών, αν και όπως φαίνεται, η εφαρμογή δεν καθοδηγεί απαραίτητα τον τύπο του συστήματος (Dey et al., 2018). Η οπτική παρακολούθηση προτιμάται

κυρίως σε σταθερά συστήματα, ενώ μια υβριδική προσέγγιση προτιμάται συχνότερα για κινητά συστήματα. Οι συσκευές προβολής είναι συχνά ο προτιμώμενος τύπος επιλογής οθόνης. Ωστόσο, προβλέπεται ότι θα πρέπει να γίνουν πιο αποδεκτές οι συσκευές προβολής για τα συστήματα που τα χρησιμοποιούν για να φτάσουν στην αγορά. Όσον αφορά τις διεπαφές, η πιο δημοφιλής επιλογή είναι οι απτές διεπαφές, αλλά προβλέπεται ότι οι πολυτροπικές διεπαφές θα γίνουν πιο διάσημες με τους προγραμματιστές μέσα στα επόμενα χρόνια, καθώς πιστεύεται ότι έχουν επίσης περισσότερες πιθανότητες να προσεγγίσουν την παγκόσμια βιομηχανία (Berryman, 2012).

2.5.1 Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων

Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων περιλαμβάνουν εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα καθώς και ασύρματα συστήματα. Τα φορητά συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας περιλαμβάνουν τη χρήση φορητών διεπαφών για φορητές συσκευές ώστε ο χρήστης να αλληλεπιδρά με ψηφιακές πληροφορίες που επικαλύπτονται σε φυσικά αντικείμενα ή επιφάνειες με φυσικό και κοινωνικά αποδεκτό τρόπο. Τα κινητά τηλέφωνα επαυξημένης πραγματικότητας παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Πράγματι, οι περισσότερες φορητές συσκευές στις μέρες μας είναι εξοπλισμένες με κάμερες, καθιστώντας τα κινητά τηλέφωνα μια από τις πιο βολικές πλατφόρμες για την εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας (Sallow & Younis, 2019). Επιπλέον, τα περισσότερα κινητά τηλέφωνα παρέχουν επιταχυνσιόμετρα, μαγνητόμετρα και GPS από τα οποία μπορεί να επωφεληθεί η επαυξημένη πραγματικότητα. Ωστόσο, παρά τις ραγδαίες προόδους στα κινητά τηλέφωνα, η υπολογιστική τους πλατφόρμα για εφαρμογές απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο εξακολουθεί να είναι μάλλον περιορισμένη εάν γίνεται χρήση της πλατφόρμας του κινητού τηλεφώνου (Billinghurst et al., 2015). Ως αποτέλεσμα, πολλές εφαρμογές στέλνουν δεδομένα σε έναν απομακρυσμένο υπολογιστή που κάνει τον υπολογισμό και στέλνει το αποτέλεσμα πίσω στην κινητή συσκευή, αλλά αυτή η προσέγγιση δεν είναι καλά προσαρμοσμένη στην επαυξημένη πραγματικότητα λόγω περιορισμένου εύρους ζώνης. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την ταχεία ανάπτυξη της υπολογιστικής ισχύος των φορητών συσκευών, μπορεί να θεωρηθεί εφικτή η ανάπτυξη εφαρμογής επαυξημένης

πραγματικότητας σε πραγματικό χρόνο που θα υποβάλλεται σε τοπική επεξεργασία στο εγγύς μέλλον (Raajan et al., 2014).

Ένα επιτυχημένο κινητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας ορίζεται ως μια εφαρμογή που επιτρέπει στον χρήστη να εστιάσει στην εφαρμογή ή το σύστημα αντί στις υπολογιστικές συσκευές, αλληλεπιδρά με τη συσκευή με φυσικό και κοινωνικά αποδεκτό τρόπο και παρέχει στον χρήστη προσωπικές πληροφορίες που μπορούν να κοινοποιούνται εάν είναι απαραίτητο. Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για ελαφριές, φορητές συσκευές ή φορητές συσκευές που είναι μοντέρνα αποδεκτές, ιδιωτικές και διαθέτουν ισχυρή τεχνολογία παρακολούθησης (Chen et al., 2019).

Κοινωνικά αποδεκτή τεχνολογία

Πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν θέσει το πρόβλημα της κοινωνικά αποδεκτής τεχνολογίας. Ιδιαίτερα τα κινητά συστήματα αντιμετωπίζουν συνεχώς ζητήματα κοινωνικής αποδοχής για να περάσουν από τα εργαστήρια στη βιομηχανία. Για να είναι επιτυχημένα τα συστήματα στην αγορά, οι προγραμματιστές πρέπει να λάβουν υπόψη ότι η συσκευή πρέπει να είναι κοινωνικά αποδεκτή, φυσική στην αλληλεπίδραση και μοντέρνα (Sünger & Çankaya, 2019).

Κοινωνική αποδοχή

Οι υπενθυμίσεις, τα μηνύματα, οι κλήσεις κ.λπ. για κινητά τηλέφωνα και τις συσκευές PDA έχουν κριθεί ότι αποσπούν την προσοχή και θεωρούνται ως επί το πλείστον ως μη κοινωνικά αποδεκτά, καθώς όχι μόνο ενοχλούν το άτομο του οποίου το τηλέφωνο ή το PDA λαμβάνει ένα μήνυμα ή υπενθυμίζει στον ιδιοκτήτη του περισσότερο ή λιγότερο σημαντικές πληροφορίες, αλλά και τα άλλα άτομα που βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο, είτε συνομιλούν με το άτομο που ενοχλείται (καθώς έτσι θα φαίνεται το άτομο του οποίου το τηλέφωνο διακόπτει την αίθουσα) είτε το άτομο που ενοχλείται βρίσκεται σε δημόσιο χώρο, όπως στο λεωφορείο (Peddie, 2017). Ως αποτέλεσμα, ερευνητικές ομάδες αποφάσισαν ότι η αλληλεπίδραση με συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας που εφαρμόζονται σε εφαρμογές για κινητές συσκευές πρέπει να είναι λεπτή και διακριτική, ώστε να μην ενοχλεί τον χρήστη εάν είναι υπό μεγάλο φόρτο εργασίας και η διαταραχή δεν είναι μεγάλης σημασίας (Bhosale et al., 2021).

Ένα σύστημα που είναι λεπτό και διακριτικό γίνεται κοινωνικά αποδεκτό. Πράγματι, το κύριο πρόβλημα με την κοινωνική αποδοχή προέρχεται από το επίπεδο διαταραχών που δημιουργούν οι φορητές συσκευές σε δημόσιους χώρους και κατά τη διάρκεια συνομιλιών. Τα σημάδια γίνονται όλο και λιγότερο ορατά ανάλογα με το επίπεδο συγκέντρωσης και τον φόρτο εργασίας του χρήστη, καθιστώντας τον φυσικά προσαρμοστικό στον γνωστικό φόρτο εργασίας και το άγχος των χρηστών, και δεδομένου ότι οι ενδείξεις είναι ορατές μόνο στον χρήστη, μπορούν να θεωρηθούν κοινωνικά αποδεκτές καθώς θα διαταράσσουν τον χρήστη μόνο ανάλογα με το επίπεδο συγκέντρωσης του και μπορεί να επιλέξει να μην απαντήσει στις ενδείξεις (Agasu et al., 2018). Επιπλέον, οι πολυτροπικές διεπαφές είναι ζωτικής σημασίας για την ευρύτερη αποδοχή των διάχυτων συστημάτων σε δημόσιους χώρους, καθώς προσφέρουν στον χρήστη την ελευθερία να επιλέξει από μια σειρά τρόπων αλληλεπίδρασης. Ως αποτέλεσμα, παρουσιάζεται στους χρήστες η ελευθερία να επιλέξουν το πιο κατάλληλο και κοινωνικά αποδεκτό μέσο επικοινωνίας με τις συσκευές τους (Dey et al., 2018).

Φυσική αλληλεπίδραση

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για τις κοινωνικά αποδεκτές συσκευές είναι ότι ο χρήστης πρέπει να μπορεί να αλληλεπιδρά μαζί τους με φυσικό τρόπο. Εάν η αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και της συσκευής είναι αφύσικη, θα φαίνεται άβολη η χρήση της σε δημόσιους χώρους. Δημιουργήθηκε ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας που χρησιμοποιεί ένα ασύρματο βραχιόλι που περιλαμβάνει έναν αναγνώστη RIFD, ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων και εγκαταστάσεις επικοινωνίας RF, ένα κινητό τηλέφωνο και ένα ασύρματο ακουστικό για να επιτρέπει στον χρήστη να αλληλεπιδρά με υπηρεσίες που σχετίζονται με αντικείμενα που χρησιμοποιούν ετικέτες RFID μέσω σιωπηρών χειρονομιών που βασίζονται στην αφή (De et al., 2020). Μόλις εντοπιστεί ένα αντικείμενο στο χέρι του χρήστη, ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με πληροφορίες σχετικά με αυτό το αντικείμενο χρησιμοποιώντας φυσικές κινήσεις του καρπού, ενώ οι προηγούμενες εμπορικές διεπαφές που υποστήριζαν λειτουργίες hands-free και eye-free απαιτούσαν αναγνώριση ομιλίας, η οποία όχι μόνο έχει κακή απόδοση και παρουσιάζει θορυβώδεις παρεμβολές, αλλά επίσης δεν είναι κοινωνικά αποδεκτή (Liberatore & Wagner, 2021).

Αποδοχή τάσης

Τα φορητά συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας που επιθυμούν να περάσουν από τα εργαστήρια στις βιομηχανίες θα αντιμετωπίσουν επίσης προβλήματα, καθώς οι χρήστες δεν θα θέλουν να φορούν συσκευές προβολής ή άλλες ορατές συσκευές. Ως αποτέλεσμα, οι προγραμματιστές συστημάτων κινητών τηλεφώνων θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις τάσεις που υπάρχουν, καθώς αυτό μπορεί να είναι ένα μεγάλο εμπόδιο που πρέπει να ξεπεραστεί. Ομάδες όπως το MIT Media Lab, προσπαθούν συνεχώς να μειώσουν τον αριθμό των ανεπιθύμητων ορατών συσκευών ή να τις τακτοποιήσουν σε διαφορετική σχεδιαστική επιλογή. Το πρώτο στάδιο ανάπτυξης του WUW ενσωμάτωσε την κάμερα και τον προβολέα σε ένα καπέλο και το δεύτερο στάδιο ανάπτυξης το ενσωμάτωσε σε ένα μενταγιόν (Sallow & Younis, 2019).

Αν και μπορεί να μην φαίνονται ακόμη πολύ μοντέρνα, αποτελούν ένα καλό βήμα προς την κατεύθυνση των μοντέρνων αποδεκτών συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το ReachMedia, το οποίο ενσωματώνει ένα βραχιόλι με ένα έξυπνο τηλέφωνο προκειμένου να αλληλεπιδρά με καθημερινά αντικείμενα χρησιμοποιώντας φυσικές μικρές χειρονομίες του χεριού και του καρπού. Ωστόσο, η αλληλεπίδραση ήχου με το τηλέφωνο ενδέχεται να απαιτεί τη χρήση ακουστικών για να παραμείνει διακριτική (Billinghurst et al., 2015).

Προσωπικά και ιδιωτικά συστήματα

Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων πρέπει να είναι ιδιωτικά, πράγμα που σημαίνει ότι οι εμφανιζόμενες πληροφορίες θα πρέπει να προβάλλονται από άλλους μόνο εάν το επιτρέπει ο χρήστης. Η τεχνολογία SixthSense του MIT αν και πολύ προηγμένη, δεν προσφέρει τέτοιο απόρρητο στον χρήστη της λόγω της χρήσης της τεχνικής άμεσης αύξησης χωρίς τη χρήση συσκευής προβολής για την προστασία των πληροφοριών. Οποιοσδήποτε μπορεί να δει το ίδιο πράγμα με τον χρήστη ανά πάσα στιγμή (Carmigniani & Furht, 2011). Αυτό θέτει ένα δίλημμα καθώς το να μην χρειάζεται να φοράει ή να μεταφέρει ο χρήστης μια επιπλέον συσκευή προβολής για το WUW αποτελεί πλεονέκτημα για τις μοντέρνες συσκευές. Ωστόσο, είναι ένα πρόβλημα όταν πρόκειται για την ιδιωτική ζωή. Αυτού του είδους τα

συστήματα προσφέρουν τέτοιο απόρρητο στον χρήστη με πληροφορίες που μπορεί να δει μόνο ο χρήστης. Αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να θεωρηθούν κοινωνικά αποδεκτά, καθώς είναι διακριτά και μοντέρνα. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα δεν προσφέρουν τη δυνατότητα κοινής χρήσης πληροφοριών εάν ο χρήστης το επιθυμεί. Ένα επιτυχημένο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων θα πρέπει να παρέχει στον χρήστη προσωπικές πληροφορίες που μπορούν να κοινοποιηθούν όταν ο χρήστης το επιθυμεί (Alkhamisi & Monowar, 2013).

Επιπλέον, τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων πρέπει να είναι προσεκτικά ώστε να μην παραβιάζουν το απόρρητο άλλων χρηστών και μη χρηστών με νέους τρόπους. Πράγματι, πληροφορίες που είναι διαθέσιμες και δεν θεωρούνται ιδιωτικές στα κοινωνικά δίκτυα, για παράδειγμα, μπορούν να θεωρηθούν ιδιωτικές στην καθημερινή ζωή. Ως αποτέλεσμα, τεχνολογίες όπως το WUW που κάνουν χρήση διαδικτυακών διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με άλλα άτομα για να τις εμφανίσουν στον χρήστη ενδέχεται να αντιμετωπίσουν ζητήματα απορρήτου λόγω του τρόπου με τον οποίο αποκαλύπτονται οι πληροφορίες (Carmigniani et al., 2010).

2.5.2 Η τεχνολογία παρακολούθησης για συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας κινητών τηλεφώνων

Είναι γνωστό ότι για να μπορέσει η επαυξημένη πραγματικότητα να ξεγελάσει τις ανθρώπινες αισθήσεις ώστε να πιστέψει ότι οι πληροφορίες που παράγονται από υπολογιστή συνυπάρχουν με το πραγματικό περιβάλλον, απαιτείται πολύ ακριβής παρακολούθηση θέσης και προσανατολισμού (Arasu et al., 2018). Ο πιο κοινός τύπος συστημάτων παρακολούθησης για συστήματα κινητών τηλεφώνων είναι ο συνδυασμός λίγων συμπληρωματικών τεχνικών παρακολούθησης για να περιλαμβάνει τα πλεονεκτήματα και των δύο και να υποστηρίζει τα μειονεκτήματα του άλλου, γεγονός που δημιουργεί υβριδική παρακολούθηση. Τα συστήματα εξωτερικού χώρου χρησιμοποιούν κυρίως GPS και τεχνική αδρανειακής παρακολούθησης με τη χρήση επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων, ηλεκτρονικών πυξίδων ή/και άλλων αισθητήρων περιστροφής, μαζί με ορισμένες τεχνικές παρακολούθησης μέσω υπολογιστή (White et al., 2014).

Το σύστημα GPS, αν και στερείται ακρίβειας, παρέχει ένα εύκολο σύστημα παρακολούθησης για εξωτερικά συστήματα που επιτρέπει την καλύτερη εκτίμηση της θέσης του χρήστη και του προσανατολισμού του όταν συνδυαστεί με ορισμένους αδρανειακούς αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο, το σημείο ενδιαφέροντος του χρήστη περιορίζεται και επιτρέπει την ευκολότερη οπτική παρακολούθηση με λιγότερες επιλογές. Τα συστήματα εσωτερικών χώρων όπου το GPS δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυάζουν την οπτική παρακολούθηση μόνο με αδρανειακές τεχνικές (Wong et al., 2014). Η οπτική παρακολούθηση επιτυγχάνει τα καλύτερα αποτελέσματα με κίνηση χαμηλής συχνότητας, αλλά είναι πολύ πιθανό να αποτύχει με γρήγορη κίνηση της κάμερας, όπως αυτές που θα συμβούν με τις συσκευές προβολής. Από την άλλη πλευρά, οι αισθητήρες αδρανειακής παρακολούθησης αποδίδουν καλύτερα με κίνηση υψηλής συχνότητας, ενώ οι αργές κινήσεις δεν παρέχουν καλά αποτελέσματα λόγω θορύβου και ολίσθησης. Η συμπληρωματική φύση αυτών των συστημάτων οδηγεί στο συνδυασμό των περισσότερων υβριδικών συστημάτων (Liberatore & Wagner, 2021).

Άλλα συστήματα βασίζονται στον υπολογιστή για την παρακολούθηση, αλλά τα περισσότερα είναι συστήματα εσωτερικού χώρου με τα οποία μπορεί να ελεγχθεί κάπως το περιβάλλον. Όταν πρόκειται για οπτική παρακολούθηση σε εξωτερικούς χώρους, ορισμένοι παράγοντες καθιστούν την παρακολούθηση εξαιρετικά δύσκολη. Επιπλέον, ορισμένα αντικείμενα παρουσιάζουν δυσκολίες παρακολούθησης (van Krevelen & Poelman, 2010). Ένα από τα πιο προηγμένα συστήματα οπτικής παρακολούθησης για κινητά τηλέφωνα είναι το Google Goggles. Ωστόσο, αυτή η εφαρμογή μπορεί να παρακολουθεί μόνο αντικείμενα κανονικής μορφής, όπως γραμμωτούς κώδικες και βιβλία, ή μέρη χάρη στο GPS και το επιταχυνσίμετρο που βοηθούν την εφαρμογή να αναγνωρίζει πού στέκεται ο χρήστης και τον προσανατολισμό του χρήστη για να περιορίσει τις επιλογές. Το Google Goggles δεν μπορεί να αναγνωρίσει πράγματα με ακανόνιστο σχήμα, όπως φύλλα, λουλούδια ή τρόφιμα (Sünger & Çankaya, 2019).

2.6 Οι εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας

Αν και υπάρχουν πολλές δυνατότητες για τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας με καινοτόμο τρόπο, υπάρχουν τέσσερις τύποι εφαρμογών που χρησιμοποιούνται συχνότερα για έρευνα στην επαυξημένη πραγματικότητα όπου είναι η διαφήμιση και η εμπορικότητα, η ψυχαγωγία και η εκπαίδευση, η ιατρική και η εφαρμογή για φορητές συσκευές για iPhone. Παρακάτω, αναφέρεται γιατί η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε να φέρει μια καλύτερη λύση σε ορισμένους τομείς, μια φθηνότερη λύση σε άλλους τομείς ή απλώς να δημιουργήσει μια νέα υπηρεσία. Αναφέρονται επίσης οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η επαυξημένη πραγματικότητα για να μεταφερθεί από τα εργαστήρια στον τομέα της βιομηχανίας (Chen et al., 2019).

2.6.1 Διαφήμιση και εμπορικότητα

Η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιείται κυρίως από επαγγελματίες του μάρκετινγκ για την προώθηση νέων προϊόντων στο διαδίκτυο. Οι περισσότερες τεχνικές χρησιμοποιούν δείκτες που οι χρήστες παρουσιάζουν μπροστά από την κάμερα είτε σε ειδικό λογισμικό είτε απλώς στον ιστότοπο της διαφημιστικής εταιρείας. Για παράδειγμα, τον Δεκέμβριο του 2008, η MINI, η διάσημη εταιρεία αυτοκινήτων, δημοσίευσε μια διαφήμιση επαυξημένης πραγματικότητας σε πολλά γερμανικά περιοδικά αυτοκινήτων (Dey et al., 2018). Ο αναγνώστης έπρεπε απλώς να μεταβεί στον ιστότοπο της MINI, να δείξει τη διαφήμιση μπροστά από την κάμερα και ένα 3-D MINI εμφανίζονταν στην οθόνη του. Το Beyond Reality κυκλοφόρησε ένα περιοδικό 12 σελίδων χωρίς διαφημίσεις, το οποίο θα μπορούσε να αναγνωριστεί και να κινηθεί από ένα λογισμικό που θα μπορούσε να κατεβάσει ο χρήστης από τον ιστότοπο του εκδότη ως αφετηρία για τα παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας. Παρατηρείται ότι με ένα τέτοιο σύστημα, θα μπορούσαν να προστεθεί μια "πληρωμένη" επιλογή στο λογισμικό που θα επέτρεπε στον χρήστη να έχει πρόσβαση σε πρόσθετο περιεχόμενο, όπως να δει ένα τρέιλερ και στη συνέχεια να κάνει κλικ σε έναν σύνδεσμο για να δει την πλήρη ταινία, αντικαθιστώντας το περιοδικό με εισιτήριο κινηματογράφου (De et al., 2020).

Η επαυξημένη πραγματικότητα προσφέρει επίσης μια λύση στο δαπανηρό πρόβλημα της κατασκευής πρωτοτύπων. Πράγματι, οι βιομηχανικές εταιρείες αντιμετωπίζουν την ανάγκη να κατασκευάσουν ένα προϊόν πριν από την εμπορευματοποίηση για να καταλάβουν εάν πρέπει να γίνουν αλλαγές και να δουν εάν το προϊόν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες τους. Εάν αποφασιστεί ότι πρέπει να γίνουν αλλαγές, και αυτό συμβαίνει τις περισσότερες φορές, πρέπει να κατασκευαστεί ένα νέο πρωτότυπο και να σπαταληθεί επιπλέον χρόνος και χρήματα (Liberatore & Wagner, 2021). Μια ομάδα του Ινστιτούτου Βιομηχανικών Τεχνολογιών και Αυτοματισμού (ITIA) του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας (CNR) της Ιταλίας στο Μιλάνο εργάζεται σε συστήματα επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας ως εργαλεία για την υποστήριξη εικονικών πρωτοτύπων. Το ITIA-CNR εμπλέκεται στην έρευνα για βιομηχανικά περιβάλλοντα και εφαρμογές χρησιμοποιώντας εικονική πραγματικότητα, επαυξημένη πραγματικότητα και τρισδιάστατη σχεδίαση σε πραγματικό χρόνο, ως υποστήριξη για τη δοκιμή, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση προϊόντων (Sallow & Younis, 2019). Μερικά παραδείγματα έργων εφαρμοσμένης έρευνας όπου έχουν εφαρμοστεί οι παραπάνω τεχνολογίες περιλαμβάνουν την κατασκευή πρωτοτύπων μοτοσυκλετών, την εικονική διάταξη ενός εργοστασίου και ενός γραφείου, την προσομοίωση εικονικού φωτός και την εικονική δοκιμή των παπουτσιών με τη διεπαφή Magic Mirror (Billingham et al., 2015).

Τα παπούτσια είναι τα αξεσουάρ που ακολουθούν περισσότερο τις τάσεις της μόδας και ανανεώνονται κάθε χρόνο, ειδικά για όσους ζουν σε πρωτεύουσες της μόδας, όπως το Μιλάνο, τη Νέα Υόρκη και το Παρίσι. Για αυτούς τους ανθρώπους, είναι πιο σημαντικό να φορούν μοντέρνα παπούτσια θυσιάζοντας την άνεση. Με το Magic Mirror, η ITIA του CNR στο Μιλάνο δημιούργησε ένα σύστημα το οποίο, σε συνδυασμό με τεχνολογία υποδημάτων υψηλής τεχνολογίας για μέτρηση, επιτρέπει στον χρήστη να δοκιμάσει εικονικά παπούτσια πριν τα αγοράσει/παραγγείλει (Bhosale et al., 2021). Ο χρήστης μπορεί να δει την αντανάκλαση του στο Magic Mirror με ένα εικονικό μοντέλο του ζευγαριού παπουτσιών που θα ήθελε να δοκιμάσει. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος έναντι της μετάβασης στο κατάστημα είναι ότι μόλις ο χρήστης επιλέξει παπούτσια για δοκιμή, έχει τη δυνατότητα να αλλάξει μερικές λεπτομέρειες, όπως το χρώμα, το τακούνι ή/και τη ραφή (Peddie, 2017). Για να γίνει αυτό, ο χρήστης φοράει κάποιες ειδικές «κάλτσες» με σφαιρικούς, αντανάκλαστικούς

δείκτες υπέρυθρων που χρησιμεύουν ως σύστημα παρακολούθησης για το Magic Mirror, το οποίο είναι στην πραγματικότητα μια οθόνη LCD που επεξεργάζεται πραγματικά τις πληροφορίες από τον ηλεκτρονικό κατάλογο και εισάγει δεδομένα από τον πελάτη για να δει εάν το επιλεγμένο μοντέλο έχει εγκριθεί, για να ανιχνεύσει και να αντικατοπτρίσει τις κινήσεις του (Agasu et al., 2018).

Για την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος, το ITIA-CNR στο Μιλάνο δημιούργησε τη βιβλιοθήκη, που ονομάζεται GIOVE. Η βιβλιοθήκη GIOVE έχει αναπτυχθεί (και είναι συνεχώς υπό ανάπτυξη) όχι μόνο για να προσεγγίσει αυτό το συγκεκριμένο έργο, αλλά για να το χρησιμοποιήσει το ITIA-CNR ως βιβλιοθήκη λογισμικού όταν χρειάζεται για οποιαδήποτε εφαρμογή, καθώς κάθε τύπος λειτουργικότητας μπορεί να προστεθεί στη βιβλιοθήκη GIOVE καθώς έχει κατασκευαστεί από την αρχή από το ITIA- CNR (De et al., 2020).

Το σύστημα πρέπει πρώτα να βαθμονομηθεί χρησιμοποιώντας μια μεγαλύτερη έκδοση δεικτών ARToolKit πάνω στους οποίους μια από τις μικρές σφαίρες παρακολούθησης (παρόμοιες με αυτές που τοποθετούνται στις «κάλτσες») τοποθετείται στη μέση. Στη συνέχεια, ο δείκτης τοποθετείται στο πορτοκαλί μαξιλαράκι που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει το σύστημα να αναγνωρίσει τη θέση όπου πρέπει να εισαχθούν τα εικονικά στοιχεία. Μερικές κάμερες με υπέρυθρες λυχνίες παρακολουθούν τα φώτα υπέρυθρων που ανακλώνται από τους δείκτες και δεδομένου ότι το σύστημα γνωρίζει εκ των προτέρων τη γεωμετρική τοποθέτηση των δεικτών, η εικονική θέση μπορεί να ανακατασκευαστεί με ακρίβεια (Chen et al., 2019). Οι "κάλτσες" έχουν κάποιο πορτοκαλί χρώμα, το οποίο είναι το χρώμα που καθορίζεται στο σύστημα για παρακολούθηση. Αυτό το χρώμα επιλέχθηκε από την ομάδα επειδή είναι ένα ασυνήθιστο χρώμα για παντελόνι. Ωστόσο, το σύστημα θα μπορούσε να παρακολουθεί οποιοδήποτε χρώμα υποδεικνύεται. Μια άλλη πρόκληση που έπρεπε να αντιμετωπίσει η ομάδα ITIA με ένα τέτοιο σύστημα ήταν ότι ο φακός της κάμερας παραμόρφωνε την πραγματική εικόνα ενώ η εικονική εικόνα που θα προστεθεί στο περιβάλλον θα παρέμενε τέλεια. Αυτή η λεπτομέρεια δεν γίνεται πάντα αντιληπτή σε κάθε σύστημα, αλλά με την εφαρμογή Magic Mirror, ήταν πολύ αισθητή (Sünger & Çankaya, 2019).

Η λύση σε ένα τέτοιο πρόβλημα είναι είτε να αντισταθμιστεί η πραγματική εικόνα ώστε να μην είναι πλέον τόσο αντιληπτή η παραμόρφωση είτε να παραμορφωθεί η εικονική εικόνα ώστε να μην είναι πια τόσο τέλεια. Η ομάδα ITIA επέλεξε να αντισταθμίσει την

πραγματική της εικόνα χρησιμοποιώντας μερικούς από τους τύπους λογισμικού του MatLab για να υπολογίσει τους βαθμούς παραμόρφωσης που πρέπει να αντισταθμίσει. Παρόμοια παραδείγματα με τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας του Magic Mirror για διαφημίσεις και εμπορικές εφαρμογές έγκειται στην πλήρη αντικατάσταση της ανάγκης δοκιμής στα καταστήματα, εξοικονομώντας έτσι σημαντικό χρόνο για τους πελάτες, όπου πιθανότατα θα χρησιμοποιηθεί για την δοκιμή περισσότερων ρούχων (πουκάμισα, φορέματα, ρολόγια, παντελόνια, κ.λπ.) και αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες πώλησης των ρούχων (Bhosale et al., 2021).

Η επαυξημένη πραγματικότητα δεν έχει φτάσει πλήρως στη βιομηχανική αγορά όσον αφορά τις εφαρμογές διαφήμισης, κυρίως επειδή πρέπει να γίνουν μερικές βελτιώσεις σε συστήματα παρόμοια με το Magic Mirror ή το κατάστημα λιανικής της Cisco. Πράγματι, για να είναι βιώσιμο το προϊόν στην αγορά, πρέπει να παρέχει στον χρήστη μια άψογη αναπαράσταση του πρωτοτύπου, όπου ο χρήστης θα πρέπει να έχει την εντύπωση ότι κοιτάζει ένα φυσικό πρωτότυπο προϊόν. Στην περίπτωση του συστήματος Magic Mirror, αυτό θα σήμαινε άψογη παρακολούθηση, έτσι ώστε όταν ο χρήστης κοιτάζει το σύστημα του Magic Mirror να νιώθει ότι φοράει πραγματικά τα παπούτσια και να μπορεί πραγματικά να δει πώς θα ήταν τα παπούτσια (De et al., 2020).

2.6.2 Ψυχαγωγία και εκπαίδευση

Οι εφαρμογές ψυχαγωγίας και εκπαίδευσης περιλαμβάνουν πολιτιστικές εφαρμογές με καθοδήγηση σε αξιοθέατα και μουσεία, εφαρμογές παιχνιδιών με παραδοσιακά παιχνίδια που χρησιμοποιούν διεπαφές επαυξημένης πραγματικότητας και ορισμένες εφαρμογές έξυπνων τηλεφώνων που χρησιμοποιούν την επαυξημένη πραγματικότητα για ψυχαγωγικό ή/και εκπαιδευτικό σκοπό. Στην πολιτιστική εφαρμογή, υπάρχουν μερικά συστήματα που χρησιμοποιούν την επαυξημένη πραγματικότητα για εικονική ανακατασκευή αρχαίων ερειπίων ή για εικονική καθοδήγηση του χρήστη σχετικά με την ιστορία της τοποθεσίας (Carmigniani & Furht, 2011).

Υπάρχουν επίσης μερικά συστήματα που εκμεταλλεύονται η επαυξημένη πραγματικότητα για καθοδήγηση μουσείων. Αυτά τα συστήματα είναι για κινητά τηλέφωνα, όπου ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διεπαφή ή απλώς για διαμόρφωση ενός μαγικού φακού. Υπάρχουν οφέλη από τη χρήση της επαυξημένης

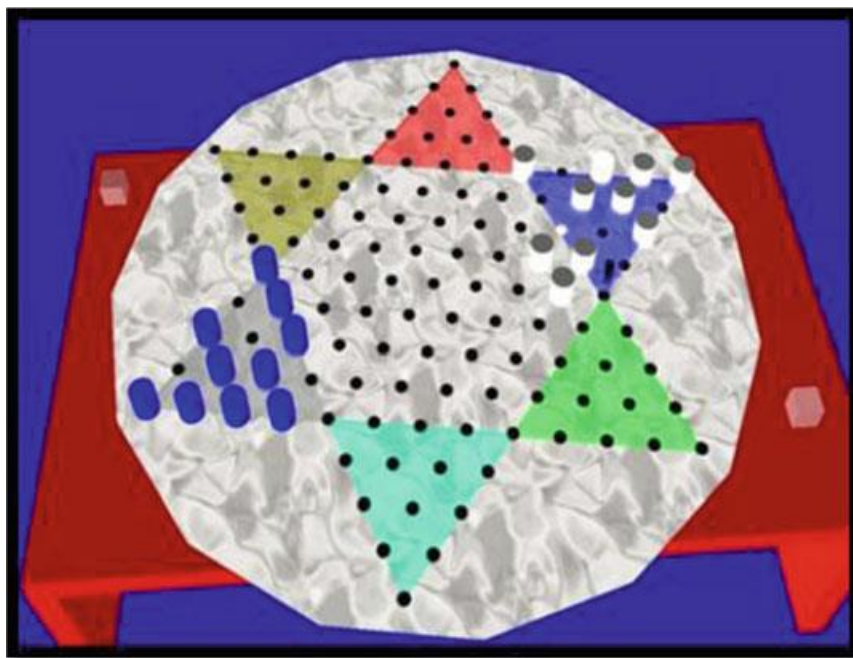
πραγματικότητας ως διεπαφής για τις πολιτιστικές εφαρμογές ως αποτελεσματική επικοινωνία με τον χρήστη μέσω παρουσιάσεων πολυμέσων, ως φυσικής και διαισθητικής τεχνικής και ως χαμηλό κόστος συντήρησης και απόκτησης για την τεχνολογία παρουσίασης των χειριστών μουσείων στην περίπτωση του έξυπνου τηλεφώνου που χρησιμοποιείται ως διεπαφή (Alkhamisi & Monowar, 2013).

Πράγματι, η χρήση ενός έξυπνου τηλεφώνου ή ακόμα και μιας άλλης έξυπνης συσκευής είναι μια πιο διαισθητική και φυσική τεχνική από την αναζήτηση ενός αριθμού που έχει εκχωρηθεί τυχαία στο αντικείμενο σε έναν μικρό γραπτό οδηγό, ειδικά όταν ο χρήστης μπορεί απλώς να χρησιμοποιήσει το τηλέφωνο σε έναν κόσμο όπου όλοι έχουν ήδη ένα. Ομοίως, οι χρήστες μπορούν να συσχετιστούν ευκολότερα με τις παρουσιάσεις πολυμέσων που έρχονται σε επαφή και θα ακούσουν, θα παρακολουθήσουν και/ή θα διαβάσουν πιο πρόθυμα για πληροφορίες που μπορούν να αποκτήσουν δείχνοντας απλώς ένα αντικείμενο χρησιμοποιώντας το τηλέφωνο τους αντί να το αναζητήσουν σε έναν οδηγό (Carmigniani et al., 2010).

Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μαθησιακό σκοπό στον εκπαιδευτικό τομέα. Στην πραγματικότητα, η επαυξημένη πραγματικότητα εμφανίστηκε πρόσφατα στον τομέα της εκπαίδευσης για να υποστηρίξει πολλές εκπαιδευτικές εφαρμογές σε διάφορα μαθήματα, όπως ιστορία, μαθηματικά κ.λπ. Για παράδειγμα, ο Mark Billingham ανέπτυξε το Magic Book, ένα βιβλίο του οποίου οι σελίδες ενσωματώνουν απλή τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας για να κάνουν την ανάγνωση πιο συναρπαστική. Οι Malaka, Schneider & Kretschmer (2004) κατασκεύασαν μια εφαρμογή συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας για κινητά εξωτερικού χώρου χρησιμοποιώντας το προηγουμένως αναπτυγμένο έργο GEIST για να βοηθήσει τους χρήστες στη μάθηση της ιστορίας μέσω ενός παιχνιδιού αφήγησης όπου ο χρήστης μπορεί να απελευθερώσει κάποιο φάντασμα από το παρελθόν (White et al., 2014).

Οι εφαρμογές παιχνιδιών επαυξημένης πραγματικότητας παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε άλλους φυσικούς πίνακες με τη δυνατότητα εισαγωγής κινούμενων εικόνων και άλλων παρουσιάσεων πολυμέσων. Η δυνατότητα εισαγωγής κινούμενων εικόνων μπορεί όχι μόνο να προσθέσει ενθουσιασμό σε ένα παιχνίδι, αλλά μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει έναν μαθησιακό σκοπό με σκοπό να βοηθήσει τους παίκτες να μάθουν το παιχνίδι ή να γνωρίζουν τότε κάνουν μια άκυρη κίνηση (Wong et al., 2014).

Έχει δημιουργηθεί ένα παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας κινεζικών πούλιων, που ονομάζεται ARCC που χρησιμοποιεί 3 συμβατικά σημάδια και κάμερες στερεωμένες στην οροφή για να παρακολουθούνται αυτά τα σημάδια. Δύο από τα συμβατικά σημάδια χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση τους σε μια σκακιέρα και το τρίτο χρησιμοποιείται για τον χειρισμό των κομματιών του παιχνιδιού. Έχοντας μόνο ένα εργαλείο για τον χειρισμό των κομματιών επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόσουν τη ρύθμιση τους σε διαφορετικούς τύπους παιχνιδιών, καθώς το μόνο που πρέπει να αλλάξουν είναι το GUI (γραφικό περιβάλλον χρήστη) που είναι το επιτραπέζιο παιχνίδι και η λογική του παιχνιδιού (εικόνα 1) (Berryman, 2012).



Εικόνα 1 : Το παιχνίδι ARCC

(πηγή : Berryman, 2012)

Το Beyond Reality παρουσιάζει δύο επιτραπέζια παιχνίδια, το PIT Strategy και το Augmented Reality Memory. Στο PIT Strategy, ο παίκτης είναι το «αφεντικό του pit» σε έναν αγώνα NASCAR και πρέπει να ενεργήσει σύμφωνα με τις δεδομένες καιρικές συνθήκες, τις προβλέψεις και την κατάσταση δρόμου. Στο Augmented Reality Memory, ο παίκτης γυρίζει μια κάρτα και βλέπει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο, γυρίζει μια δεύτερη κάρτα και βλέπει ένα άλλο τρισδιάστατο αντικείμενο. Εάν ταιριάζουν, θα

εμφανιστεί ένα κινούμενο σχέδιο επιτυχίας. Διαφορετικά, ο παίκτης μπορεί να συνεχίσει να ψάχνει για να συνδυάσει την πρώτη με την δεύτερη κάρτα. Αυτά τα δύο παιχνίδια είναι ακόμα υπό ανάπτυξη (Billinghamurst et al., 2015).

Η επαυξημένη πραγματικότητα δεν έχει αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές της να εισέλθει στη βιομηχανική αγορά. Για άλλη μια φορά, αυτό οφείλεται κυρίως στις τεχνολογικές προόδους, όπως το σύστημα παρακολούθησης. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε ότι τα λίγα συστήματα καθοδήγησης μουσείων που αναπτύχθηκαν ήταν εφαρμόσιμα μόνο για ένα μουσείο ή μια έκθεση όπου αναπτύχθηκαν και δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για άλλα μουσεία (Kim, 2010). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και τα δύο αυτά συστήματα βασίζονταν στην οργάνωση του μουσείου ή της έκθεσης για την αναγνώριση των αντικειμένων σε αντίθεση με την ανίχνευση των αντικειμένων αποκλειστικά με τη χρήση μιας συσκευής προβολής. Ορισμένα αντικείμενα έχουν ακανόνιστες μορφές και παρόλο που μπορεί να φαίνεται εύκολο να αναγνωριστούν, είναι πολύ δύσκολο για έναν υπολογιστή να εντοπίσει τι είναι αυτά τα αντικείμενα και αυτό συμβαίνει με τα περισσότερα τεχνουργήματα. Οι πίνακες δεν παρουσιάζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα για τα συστήματα όπως τα Google Goggles λόγω του κανονικού τους σχήματος, αλλά αντικείμενα, όπως αντικείμενα σύγχρονης τέχνης έχουν πολύ ακανόνιστο σχήμα που καθιστά δύσκολη την παρακολούθηση ενός καθορισμένου χαρακτηριστικού (Raajan et al., 2014).

2.6.3 Οι ιατρικές εφαρμογές

Οι περισσότερες από τις ιατρικές εφαρμογές ασχολούνται με την χειρουργική μέσω της καθοδήγησης εικόνας και χειρουργική με τη βοήθεια ρομπότ. Ως αποτέλεσμα, έχει γίνει σημαντική έρευνα για την ενσωμάτωση της επαυξημένης πραγματικότητας με την ιατρική απεικόνιση και τα όργανα που ενσωματώνουν τις διαισθητικές ικανότητες του γιατρού. Σημαντική ανακάλυψη έχει επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικών τύπων ιατρικής απεικόνισης και οργάνων, όπως εικόνες βίντεο που καταγράφονται από μια συσκευή ενδοσκοπικής κάμερας που παρουσιάζεται σε μια οθόνη που βλέπει το χειρουργείο (Dünser & Billinghamurst, 2011). Ωστόσο, αυτές οι ανακαλύψεις περιορίζουν επίσης τη φυσική, διαισθητική και άμεση τρισδιάστατη άποψη του ανθρώπινου σώματος από τον χειρουργό, καθώς οι χειρουργοί πρέπει να αντιμετωπίσουν οπτικές ενδείξεις από ένα πρόσθετο περιβάλλον που παρέχεται στην οθόνη (van Krevelen &

Roelman, 2010). Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να εφαρμοστεί έτσι ώστε η χειρουργική ομάδα να μπορεί να δει τα δεδομένα απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο ενώ η διαδικασία προχωρά. Έχει εισαχθεί ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας για προβολή μέσω του «πραγματικού» δέρματος σε εικονική ανατομία χρησιμοποιώντας μοντέλα πολυγωνικής επιφάνειας για να επιτραπεί η απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο. Ενσωματώθηκε επίσης η χρήση χειρουργικών εργαλείων πλοήγησης για να ενισχυθεί η άποψη του γιατρού μέσα στο ανθρώπινο σώμα κατά τη διάρκεια της επέμβασης (εικόνα 2) (Billinghamurst et al., 2015).



Εικόνα 2 : Σύστημα για προβολή μέσω του δέρματος

(πηγή : Billinghamurst et al., 2015)

Η τηλεχειρουργική με τη βοήθεια ρομπότ παρέχει στους χειρουργούς πρόσθετα πλεονεκτήματα έναντι της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής με βελτιωμένη ακρίβεια, επιδεξιότητα και οπτικοποίηση. Ωστόσο, η εφαρμογή άμεσης απτικής ανατροφοδότησης έχει περιοριστεί από την τεχνολογία ανίχνευσης και ελέγχου και επομένως περιορίζει τις φυσικές δεξιότητες του χειρουργού. Η έλλειψη απτικής ανάδρασης έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την απόδοση αρκετών χειρουργικών επεμβάσεων. Επίσης, προτείνεται μια μέθοδο αισθητηριακής υποκατάστασης που

παρέχει μια διαισθητική μορφή απτικής ανάδρασης στον χρήστη (Bhosale et al., 2021). Η πρακτική που εφαρμόζει ο χειρουργός αναπαρίσταται γραφικά και επικαλύπτεται σε ένα βίντεο ροής χρησιμοποιώντας ένα σύστημα κύκλων που αλλάζουν διακριτικά χρώματα σε τρία προκαθορισμένα εύρη (ζώνη χαμηλής δύναμης (πράσινο), ζώνη ιδανικής δύναμης (κίτρινο) και ζώνη υπερβολικής δύναμης (κόκκινο)) ανάλογα με την ποσότητα των δυνάμεων κάμψης που ανιχνεύονται από τους μετρητές τάσης (De et al., 2020).

Η ανάγκη μείωσης των χειρουργικών επεμβάσεων δεν είναι η μόνη που εξαρτάται από την προβολή ιατρικών δεδομένων απεικόνισης του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο. Η αναγκαιότητα βελτίωσης της ιατρικής διάγνωσης βασίζεται επίσης σε αυτό. Σε αυτό το ερευνητικό πεδίο, η ομάδα ICAR-CNR της Νάπολης εργάστηκε σε ένα διαδραστικό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας για τον έλεγχο του χεριού και του καρπού του ασθενούς για αρθρίτιδα, επικαλύπτοντας δεδομένα απεικόνισης 3D MR σε πραγματικό χρόνο απευθείας πάνω από το χέρι του ασθενούς. Δεδομένου ότι οι αναπηρίες της αρθρίτιδας συνδέονται στενά με την ένταση του πόνου και επομένως απαιτούν άμεσο χειρισμό της περιοχής του χεριού και του καρπού για τη διάγνωση, το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει τους γιατρούς επιτρέποντας τους να εκτελούν μορφολογικές και λειτουργικές αναλύσεις ταυτόχρονα (Liberatore & Wagner, 2021). Η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση του ιατρικού ιστορικού των πελατών. Θα πρέπει να φανταστούμε εάν το μόνο που έπρεπε να κάνει ένας γιατρός για να ελέγξει το ιατρικό ιστορικό ενός ασθενούς ήταν να τοποθετήσει μια οθόνη στο κεφάλι του ασθενούς και να κοιτάξει πάνω από τον ασθενή για να δει εικονικές ετικέτες που δείχνουν τα προηγούμενα τραύματα και τις ασθένειες του (Sallow & Younis, 2019).

Η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στον ιατρικό τομέα για την παροχή καλύτερων λύσεων σε τρέχοντα προβλήματα από τις ήδη υπάρχουσες λύσεις είναι άπειρη. Μερικοί ερευνητές χρησιμοποίησαν την επαυξημένη πραγματικότητα για να παρέχουν μια λύση χαμηλού κόστους και μικρότερου μεγέθους στο πρόβλημα αποκατάστασης χεριών μετά το εγκεφαλικό, το οποίο έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε κλινικές και ακόμη και στο σπίτι. Επίσης, η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει τους ασθενείς να καταπολεμήσουν διάφορων ειδών φοβίες και έτσι να δείξουν ότι η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί

να χρησιμοποιηθεί και για τη θεραπεία ψυχολογικών διαταραχών (Billingham et al., 2015). Επιπλέον, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει τα άτομα με προβλήματα όρασης, όπως για παράδειγμα για την υποστήριξη ατόμων με προβλήματα όρασης μέσω της επαυξημένης πλοήγησης. Έχουν αναπτυχθεί πολυτροπικές στρατηγικές ανατροφοδότησης για επαυξημένη πλοήγηση ατόμων με προβλήματα όρασης. Η συσκευή ανάδρασης αποτελούνταν από ένα Wiimote το οποίο παρείχε ηχητική και απτική ανάδραση για να λειτουργεί ως εργαλείο καθοδήγησης και να προειδοποιεί τον χρήστη όταν πλησιάζει σε τοίχους και άλλα εμπόδια (Sünger & Çankaya, 2019).

Δυστυχώς, εκτός από ορισμένα ζητήματα τεχνολογικής προόδου, όπως προβλήματα οθονών και παρακολούθησης, οι ιατρικές εφαρμογές αντιμετωπίζουν επίσης προβλήματα απορρήτου. Οι προκλήσεις των οθονών προκύπτουν κυρίως από το γεγονός ότι ο προτιμώμενος τύπος οθόνης για χρήση σε ιατρικές εφαρμογές είναι οι συσκευές προβολής, καθώς επιτρέπει στον γιατρό όχι μόνο να χρησιμοποιεί και τα δύο χέρια, αλλά είναι επίσης ευκολότερο να παρακολουθεί όλες τις λεπτομέρειες του ασθενούς. Ωστόσο, είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν συσκευές προβολής σε ιατρικές εφαρμογές (Peddie, 2017). Υπάρχουν προκλήσεις που προκύπτουν λόγω των ίδιων των συσκευών προβολής, όπως η ακριβής τοποθέτηση και εφαρμογή της αντίληψης βάθους σε τρισδιάστατα μοντέλα, και προκλήσεις που οφείλονται στον ίδιο τον ιατρικό τομέα, όπως το να μπορεί ένας χειρουργός να βλέπει τα εργαλεία του μέσα από τις προβαλλόμενες εικόνες. Ένας άλλος πιθανός τύπος οθόνης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί θα ήταν η χωρική απεικόνιση που επιτρέπει σε ολόκληρη την χειρουργική ομάδα να βλέπει το ίδιο πράγμα την ίδια στιγμή. Ανησυχίες για το απόρρητο προκύπτουν πάντα στον ιατρικό τομέα, ειδικά όταν συζητείται η θεραπεία του πολύ εμπιστευτικού ιατρικού ιστορικού των ασθενών (Dey et al., 2018).

Ένα άλλο είδος ζητημάτων που πιθανότατα θα πρέπει να αντιμετωπίσει η ιατρική εφαρμογή στην επαυξημένη πραγματικότητα είναι τα προβλήματα που προκύπτουν με την επανεκπαίδευση του ιατρικού προσωπικού για χρήση νέων εργαλείων. Οι περισσότερες εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας στοχεύουν στην απλοποίηση της χρήσης των εργαλείων επαυξημένης πραγματικότητας, έτσι ώστε να αντιστοιχούν σε αυτό που έχει συνηθίσει ο γιατρός (Bergman, 2012). Για παράδειγμα, ένα σύστημα ανάδρασης που αναπτύχθηκε δεν απαιτούσε από τους χειρουργούς να μάθουν

πραγματικά πώς να το χρησιμοποιούν, καθώς η εφαρμογή ενσωματώθηκε εύκολα στο χειρουργικό σύστημα που οι περισσότεροι χειρουργοί γνώριζαν πώς να το χρησιμοποιούν. Ακόμη και με αυτό το σύστημα, οι χειρουργοί πρέπει ακόμα να συνηθίσουν αυτό το είδος συστήματος απτικής ανάδρασης, αν και η εκπαίδευση είναι μάλλον σύντομη και φθηνή. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα συστήματα που απαιτούν πλήρη επανεκπαίδευση του προσωπικού για την αλληλεπίδραση με την εφαρμογή. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές που θα απαιτούν από τον χρήστη να αλληλεπιδρά με μια συσκευή εισόδου 3D σε αντίθεση με τις συσκευές εισόδου 2D όπως το ποντίκι, θα παρουσιάσουν ορισμένα προβλήματα εκπαίδευσης καθώς μπορεί να είναι πολύ δαπανηρά για τον ιατρικό τομέα για να τις κρίνει βιώσιμες (White et al., 2014).

2.7 Οι μελλοντικές εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας

Η επαυξημένη πραγματικότητα βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο και ως εκ τούτου, οι μελλοντικές πιθανές εφαρμογές είναι άπειρες. Η προηγμένη έρευνα στην επαυξημένη πραγματικότητα περιλαμβάνει τη χρήση οθονών που τοποθετούνται στο κεφάλι και εικονικών οθονών αμφιβληστροειδούς για σκοπούς απεικόνισης και κατασκευή ελεγχόμενων περιβαλλόντων που περιέχουν οποιονδήποτε αριθμό αισθητήρων και ενεργοποιητών. Το έργο MIT Media Lab «Sixth Sense» είναι το καλύτερο παράδειγμα έρευνας επαυξημένης πραγματικότητας. Προτείνει έναν κόσμο όπου οι άνθρωποι μπορούν να αλληλεπιδρούν απευθείας με πληροφορίες χωρίς να απαιτείται η χρήση οποιασδήποτε ενδιάμεσης συσκευής. Άλλες τρέχουσες έρευνες περιλαμβάνουν επίσης φακούς επαφής Babak Parviz AR καθώς και το έργο φακών επαφής της DARPA, πολλαπλές ερευνητικές εφαρμογές του MIT Media Lab όπως το My-Shopping Guide και TaPuMa (Sallow & Younis, 2019).

Ο φακός επαφής του Parviz ανοίγει την πόρτα σε ένα περιβάλλον όπου οι πληροφορίες μπορούν να προβληθούν μόνο από τον χρήστη. Φυσικά, αυτό μπορεί να γίνει και με τη χρήση γυαλιών σε αντίθεση με τους φακούς επαφής, αλλά το πλεονέκτημα και στις δύο περιπτώσεις σε σχέση με τη χρήση κινητού τηλεφώνου, για παράδειγμα, είναι ότι κανείς άλλος εκτός από τον χρήστη δεν μπορεί να δει τις προβαλλόμενες πληροφορίες, καθιστώντας τις πολύ προσωπικές. Η Cisco έχει φανταστεί έναν κόσμο όπου η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση

των παραδοσιακών χώρων τοποθέτησης δοκιμάζοντας εικονικά ρούχα, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και παρέχοντας τη δυνατότητα να δοκιμάσει κάποιος περισσότερα ρούχα, αυξάνοντας την ευκαιρία στα καταστήματα να πουλήσουν (Liberatore & Wagner, 2021).

Η επαυξημένη πραγματικότητα φέρνει επίσης τη δυνατότητα ενίσχυσης των αισθήσεων που λείπουν για ορισμένους χρήστες. Για παράδειγμα, η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως συσκευή αισθητηριακής υποκατάστασης. Οι χρήστες με προβλήματα ακοής θα μπορούσαν να λάβουν οπτικές ενδείξεις που τους ενημερώνουν για χαμένα ηχητικά σήματα και οι χρήστες με προβλήματα όρασης θα μπορούσαν να λάβουν ηχητικές ενδείξεις που τους ειδοποιούσαν για άγνωστα οπτικά συμβάντα. Είναι γενικά αντιληπτό, ότι οι νέες κινητές συσκευές, όπως το iPhone, οι συσκευές που βασίζονται σε Android και το iPad, δεν χρησιμοποιούνται καλά την τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας. Πράγματι, οι περισσότερες από τις τρέχουσες συσκευές περιλαμβάνουν παιχνίδια, εφαρμογές και άλλου είδους λειτουργίες, και οι περισσότεροι χρήστες πιστεύουν ότι πρόκειται για «καταπληκτικές εφαρμογές» (De et al., 2020).

Ακόμη και το μέλλον δεν απέχει πολύ από προκλήσεις για την επαυξημένη πραγματικότητα. Παρατηρούνται ζητήματα κοινωνικής αποδοχής, ανησυχίες για το απόρρητο και ηθικές ανησυχίες που προκύπτουν με το μέλλον των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στον κλάδο. Η κοινωνική αποδοχή προέρχεται κυρίως από κινητές συσκευές με την ανάγκη να είναι λεπτές και διακριτικές, αλλά και με συστήματα που απαιτούν επανεκπαίδευση του προσωπικού, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί μια τέτοια τεχνολογία. Παρατηρήθηκε ότι αυτό μπορεί να συμβαίνει με ορισμένες ιατρικές εφαρμογές και ότι το σύστημα υγείας μπορεί να αποφασίσει να μην χρησιμοποιήσει την επαυξημένη πραγματικότητα εάν αποφασίσει ότι η επανεκπαίδευση είναι πολύ δαπανηρή. Θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα σύστημα για την εύκολη ενσωμάτωση ενός τέτοιου συστήματος για την αποφυγή τέτοιων ζητημάτων (Dey et al., 2018).

Ανησυχίες για το απόρρητο δεν προκύπτουν μόνο με ιατρικές εφαρμογές, αλλά και με τεχνολογίες που έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν και να αναγνωρίζουν ανθρώπους. Για παράδειγμα, η παρουσίαση βίντεο τεχνολογίας WUW του MIT έχει μια εφαρμογή που είναι ικανή να αναγνωρίζει άτομα και να εμφανίζει πληροφορίες σχετικά με αυτά

τα άτομα για να τα δει ο χρήστης. Παρόλο που αυτές οι πληροφορίες θα μπορούσαν να βρεθούν στο διαδίκτυο από οποιονδήποτε σε ιστότοπους όπως για παράδειγμα στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, θα δημιουργήσει προβλήματα, καθώς πολλοί άνθρωποι δεν θα εκτιμήσουν ότι εντοπίζονται με αυτόν τον τρόπο, ακόμη και αν δεν τους πειράζει να έχουν αυτές τις πληροφορίες διαθέσιμες στο διαδίκτυο για να τις δει οποιοσδήποτε (Arasu et al., 2018). Μια λύση για εφαρμογές όπως αυτές που είναι παρόμοιες με το WUW, θα ήταν η δημιουργία ενός μέσου κοινωνικής δικτύωσης στους χρήστες αυτής της τεχνολογίας για να αποφασίσουν εάν θέλουν ή όχι να αναγνωρίζονται ή ποιες πληροφορίες σχετικά με αυτούς επιτρέπουν να εμφανίζονται. Οι μη χρήστες αυτής της τεχνολογίας δεν θα πρέπει να αναγνωρίζονται από το σύστημα, εκτός εάν το επιτρέψουν με την ένταξή τους στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Όταν πρόκειται για ηθικές ανησυχίες, η ανησυχία προέρχεται κυρίως από το γεγονός ότι οι άνθρωποι τείνουν να παρασύρονται από τις τεχνολογίες με πράγματα που βλέπουν στις ταινίες. Δεν γνωρίζουν οι ερευνητές πού να θέσουν όρια για τη χρήση της τεχνολογίας και να συνεχίσουν να ερευνούν καθώς παρατηρούν τις δυνατότητες να αυξάνονται (Peddie, 2017). Ωστόσο, με την επαυξημένη πραγματικότητα, θα είναι πολύ σημαντικό για τους προγραμματιστές να θυμούνται ότι η επαυξημένη πραγματικότητα στοχεύει στην απλοποίηση της ζωής του χρήστη βελτιώνοντας και αυξάνοντας τις αισθήσεις του χρήστη και όχι παρεμβαίνοντας σε αυτές (Sünger & Çankaya, 2019).

Για παράδειγμα, κατά την ανάγνωση των σχολίων σχετικά με το άρθρο του Babak Parviz για φακούς επαφής, υπήρξαν προτάσεις από αναγνώστες όπως «πατώντας το οπτικό νεύρο» ή «συνδέοντας τα οπτικά νεύρα και τους υποδοχείς αφής και όσφρησης» και πρότειναν ότι αυτές θα ήταν τελικά η «πιο εμπορεύσιμη προσέγγιση» και μια «πολύ πιο κομψή λύση». Αν και οι σχολιαστές αντιλαμβάνονται ότι σήμερα οι έρευνες απλώς δεν αναφέρουν αρκετά για το ανθρώπινο νευρικό σύστημα, το γεγονός ότι σκέψεις και ιδέες έχουν αρχίσει να αναδύονται προς αυτή την κατεύθυνση εγείρει ερωτήματα σχετικά με ηθικούς προβληματισμούς. Τέλος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η επαυξημένη πραγματικότητα αφορά την ενίσχυση του πραγματικού περιβάλλοντος με εικονικές πληροφορίες λόγω ότι πρόκειται για την ενίσχυση των δεξιοτήτων και των αισθήσεων των ανθρώπων που δεν μπορούν να αντικατασταθούν (Bhosale et al., 2021).

Κεφάλαιο 3^ο : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της μικτής πραγματικότητας

3.1 Ο ορισμός της μικτής πραγματικότητας

Ο πρώτος ορισμός της μικτής πραγματικότητας παρουσιάζεται από το συνδυασμό πραγματικότητας-εικονικότητας, όπου είναι μια αναπαράσταση κλάσεων σε έναν πραγματικό κόσμο που μοντελοποιεί μια κλίμακα που βασίζεται σε υπολογιστικές τεχνικές. Στην αριστερή πλευρά αυτής της κλίμακας βρίσκεται ο πραγματικός χώρος και στη δεξιά πλευρά ο εικονικός χώρος (δηλαδή, ένα περιβάλλον που δημιουργείται χρησιμοποιώντας τεχνικές γραφικών υπολογιστή). Η μικτή πραγματικότητα είναι τα πάντα μεταξύ επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και επαυξημένης ζωτικότητας (AV) (Speicher et al., 2019). Ο κύριος στόχος της μικτής πραγματικότητας είναι η δημιουργία ενός μεγάλου χώρου με τη συγχώνευση πραγματικών και εικονικών περιβαλλόντων όπου πραγματικά και εικονικά αντικείμενα συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο για τα διάφορα σενάρια των χρηστών. Η μικτή πραγματικότητα είναι μια κατηγορία προσομοιωτών που συνδυάζει εικονικά και πραγματικά αντικείμενα για να δημιουργήσει ένα υβρίδιο εικονικού και πραγματικού κόσμου. Περισσότερες λεπτομέρειες για την μικτή πραγματικότητα περιγράφονται ως εξής (Sobota et al., 2020) :

- Οι χαρακτήρες της μικτής πραγματικότητας : Οι χαρακτήρες της μικτής πραγματικότητας μπορούν να οριστούν με την χρήση 3 ορών όπου είναι η εμπύθιση, οι πληροφορίες και η αλληλεπίδραση. Η εμπύθιση αναφέρεται στην επεξεργασία και την ερμηνεία του περιβάλλοντος του χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το χώρο της μικτής πραγματικότητας πραγματοποιείται χωρίς κανένα έλεγχο, χρησιμοποιώντας φυσικούς τρόπους επικοινωνίας όπως χειρονομίες, φωνή και βλέμμα. Οι πληροφορίες αναφέρονται σε εικονικά αντικείμενα που καταχωρούνται σε χρόνο και χώρο στο περιβάλλον του χρήστη. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να αλληλεπιδρά με πραγματικά και εικονικά αντικείμενα στο ευρύτερο περιβάλλον του.

- Η πρώτη υλοποίηση της μικτής πραγματικότητας : Το πρώτο πρωτότυπο της μικτής πραγματικότητας εφαρμόστηκε από τον Αμερικανικό Στρατό Μικτής Πραγματικότητας (US Army MR) το 1990. Αυτή η υλοποίηση, σχετίζονταν με ένα εικονικό προσάρτημα, αναφέρεται στην επικάλυψη ενός καταχωρημένου εικονικού αντικειμένου στον πραγματικό χώρο του χρήστη για αύξηση της απόδοσης των υλοποιημένων συστημάτων.
- Τα οφέλη της μικτής πραγματικότητας : Το περιβάλλον της μικτής πραγματικότητας παρέχει πολλά οφέλη σε σύγκριση με άλλες υπολογιστικές ιδέες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και η εικονική πραγματικότητα.
- Οι προκλήσεις της μικτής πραγματικότητας : Παρά τη σημασία των περιβαλλόντων της μικτής πραγματικότητας, υπάρχουν δύο μεγάλες προκλήσεις για τη δημιουργία μιας τέτοιας πλατφόρμας όπου είναι η τεχνολογία οθόνης και το σύστημα παρακολούθησης. Η πλατφόρμα της μικτής πραγματικότητας πρέπει να χρησιμοποιεί κατάλληλη τεχνολογία οθόνης για να παρέχει εύλογη απόδοση με κατάλληλη ανάλυση και αντίθεση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το σύστημα πρέπει να λάβει υπόψη την οπτική γωνία του χρήστη. Η αλληλεπίδραση μεταξύ εικονικών και πραγματικών αντικειμένων απαιτεί τη χρήση ακριβών μεθόδων για την παρακολούθηση και των δύο αντικειμένων.
- Οι τεχνολογίες της μικτής πραγματικότητας : Η προβολή βίντεο ή η οπτική προβολή είναι οι δύο τύποι τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του περιβάλλοντος της μικτής πραγματικότητας. Στην οπτική προβολή, ο πραγματικός κόσμος μπορεί να παρατηρηθεί απευθείας σε εργαλεία όπως το διαφανές γυαλί. Στην τεχνολογία προβολής βίντεο, τόσο εικονικά όσο και πραγματικά αντικείμενα υπάρχουν σε μια οθόνη LCD (οθόνη υγρών κρυστάλλων). Τα εργαλεία απεικόνισης της μικτής πραγματικότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες όπου είναι η οθόνη τοποθετημένη στο κεφάλι, οι συσκευές οθόνης χειρός, οι προτζέκτορες που βασίζονται σε οθόνη και οι οθόνες προβολής. Για να χρησιμοποιηθεί ένα εργαλείο απεικόνισης στο περιβάλλον της μικτής πραγματικότητας, είναι απαραίτητο να δοθεί προσοχή στις δύο έννοιες, δηλαδή στην άνεση (π.χ.

θερμική διαχείριση) και στην εμβύθιση (π.χ. το οπτικό πεδίο). Αυτές οι έννοιες παρέχουν ευκολία στη χρήση που επιτρέπει την εκτέλεση του σεναρίου με τον κατάλληλο τρόπο για τον χρήστη.

Για να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον μικτής πραγματικότητας χρησιμοποιώντας τεχνολογίες οπτικής προβολής, απαιτούνται ορισμένα βήματα. Το πρώτο βήμα είναι το βήμα αναγνώρισης συσκευής, οι τύποι εργαλείων της μικτής πραγματικότητας που θα χρησιμοποιηθούν, όπως διαφάνεια ή κάμερα, που προσδιορίζονται με βάση τους στόχους του έργου. Στη συνέχεια, αυτές οι συσκευές ρυθμίζονται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο βαθμονόμησης. Το δεύτερο βήμα είναι το βήμα αναγνώρισης χώρου, όπου εκτελείται η μοντελοποίηση του χώρου για τη μοντελοποίηση κάποιου μέρους του πραγματικού κόσμου στο εικονικό περιβάλλον για την εκτέλεση του σεναρίου του χρήστη (Rokhsaritalemi et al., 2020). Στα βήματα αναγνώρισης αντικειμένου και παρακολούθησης, το αντικείμενο του πραγματικού κόσμου αναγνωρίζεται και παρακολουθείται. Στην αναγνώριση χαρτογράφησης, η εγγραφή και η χαρτογράφηση εκτελούνται για την επικοινωνία μεταξύ πραγματικών και εικονικών αντικειμένων. Αυτό παρέχει αλληλεπίδραση μεταξύ του εικονικού και του πραγματικού αντικειμένου (Chen & Duh, 2019). Στην οπτική αναγνώριση, μια υπηρεσία της μικτής πραγματικότητας υλοποιείται και στη συνέχεια οπτικοποιείται χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές γραφικών υπολογιστή. Αυτό το βήμα επικαλύπτει εικονικά αντικείμενα στη σκηνή του πραγματικού κόσμου. Στη φορητή αναγνώριση, χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο μοντέλο για την παράδοση δεδομένων και την ανακατασκευή της σκηνής. Αυτό το μοντέλο μειώνει τις περιττές πληροφορίες. Η φορητή αναγνώριση χρησιμοποιείται για κινητές συσκευές. Όλα αυτά τα βήματα χρειάζονται ένα κατάλληλο αναλυτικό μοντέλο (Pinéjer et al., 2018).

3.2 Η αρχιτεκτονική των συστημάτων της μικτής πραγματικότητας

Η ανάπτυξη ενός συστήματος μικτής πραγματικότητας για την ενοποίηση των προαναφερθέντων στοιχείων απαιτεί τη χρήση κατάλληλης αρχιτεκτονικής λογισμικού. Η χρήση κατάλληλης αρχιτεκτονικής κατά την ενσωμάτωση στοιχείων διευκολύνει τη σχέση μεταξύ τους και οδηγεί σε ταχύτερη εκτέλεση αλγορίθμων σε εφαρμογές μικτής πραγματικότητας (Costanza et al., 2009). Αυτή η αρχιτεκτονική

περιλαμβάνει τρία μέρη όπου είναι ο διακομιστής, ο χρήστης και το δίκτυο. Ο διακομιστής διαχειρίζεται δεδομένα και επεξεργάζεται την εκτέλεση. Το δίκτυο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του διακομιστή και του χρήστη για την εκτέλεση της εφαρμογής της μικτής πραγματικότητας. Επιπλέον, το ενδιάμεσο λογισμικό, είναι ένα συμπληρωματικό μέρος μεταξύ του πυρήνα του συστήματος και της εφαρμογής που αυξάνει την ταχύτητα του συστήματος. Το επίπεδο αρχιτεκτονικής περιέχει τρεις ενότητες όπου είναι τα ζητήματα αρχιτεκτονικής, τα ζητήματα διακομιστή και τα ζητήματα δικτύου (Denisov & Onykiienko, 2019). Η πρώτη ενότητα παρέχει παραδείγματα αρχιτεκτονικών δομών σε συστήματα μικτής πραγματικότητας και στη συνέχεια περιγράφει τη συνολική αρχιτεκτονική ενός συστήματος μικτής πραγματικότητας. Η δεύτερη ενότητα παρουσιάζει τους διαφορετικούς τύπους διακομιστών σε προηγούμενες μελέτες και περιγράφει τους ρόλους τους. Η τρίτη ενότητα περιγράφει τη σημασία του δικτύου στην αρχιτεκτονική της μικτής πραγματικότητας και συζητά μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά για την εφαρμογή ενός καλύτερου μηχανισμού δικτύωσης, όπως το απόρρητο και το πρωτόκολλο δικτύου, και συζητά νέες αρχιτεκτονικές δικτύου (Bhowmik, 2018).

3.2.1 Ζητήματα αρχιτεκτονικής

Διαφορετικές αρχιτεκτονικές κατασκευές έχουν χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες για εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας. Προτάθηκε μια αρχιτεκτονική χρήστη-διακομιστή για περιβάλλοντα συνεργατικού σχεδιασμού. Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να υποστηρίξει πολλούς χρήστες, οι οποίοι μπορούν ταυτόχρονα να επεξεργάζονται λειτουργίες σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Επίσης, προτάθηκε μια αρχιτεκτονική χρήστη-διακομιστή για κινητές πλατφόρμες μικτής πραγματικότητας, η οποία περιλαμβάνει τέσσερα χαρακτηριστικά όπου είναι ο διακομιστής μικτής πραγματικότητας, ο διακομιστής ροής, ο διακομιστής χρήστη και το thin client (Farshid et al., 2018). Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, μετά τη λήψη του περιεχομένου από τον χρήστη, ο διαμεσολαβητής είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση και την ενημέρωση του συστήματος. Επιπλέον, ο διακομιστής ροής παρέχει δυνατότητες απόδοσης μαζί με παρακολούθηση χρήστη και παρέχει στον χρήστη την υπηρεσία απόδοσης, η οποία αλλάζει με βάση τον διακομιστή ροής. Επιπλέον, έχει προταθεί μια αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στους πόρους για τη δημιουργία μιας πλατφόρμας διαδικτυακών υπηρεσιών (Nijholt, 2022). Αυτή η πλατφόρμα μπορεί να

υποστηρίζει γεωχωρικά πολυμέσα, όπως τρισδιάστατα αντικείμενα, cloud σημείων και πανόραμα διαδρομών, καθώς και ένα κοινωνικό δίκτυο για την υποστήριξη χρηστών που χρησιμοποιούν κινητές συσκευές (De Belen et al., 2019).

Έχει προταθεί και μια αρχιτεκτονική cloud χρήστη-διακομιστή, η οποία είναι πολυτροπική και υποστηρίζει διάφορα εργαλεία και εικονικά μοντέλα σε ένα συνεργατικό περιβάλλον. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, οι διακομιστές παρέχουν συνοχή μεταξύ διαφορετικών πελατών για να προσφέρουν ταυτόχρονα πρόσβαση σε οπτικοποίηση ή επεξεργασία εικονικών μοντέλων. Προτάθηκε επιπλέον μια αρχιτεκτονική ιστού προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (SOA) που παρέχει χρόνο εκτέλεσης για την υποστήριξη κατανεμημένων υπηρεσιών. Αυτή η αρχιτεκτονική περιέχει έναν μηχανισμό εντοπισμού αναζήτησης για την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης στην πλατφόρμα του διαδικτύου (Brigham, 2017). Επιπλέον, υπάρχει μια καινοτόμα αρχιτεκτονική που είναι ένα ατομικό μοντέλο μεταξύ peer-to-peer και πελάτη-διακομιστή για τη δημιουργία ενός κατανεμημένου MR. Αυτή η αρχιτεκτονική γίνεται διαχείριση της συλλογής δεδομένων από έναν αισθητήρα εγκατεστημένο σε πραγματικό χώρο και γίνεται διαχείριση των πόρων και της επικοινωνίας του κόμβου αισθητήρα χρησιμοποιώντας μια δομή βασισμένη σε πράκτορες. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, ο παράγοντας GUI εμφανίζει τη διεπαφή, ο παράγοντας του αισθητήρα συλλέγει δεδομένα και ο παράγοντας απόδοσης μοιράζεται το περιβάλλον με τη συσκευή της μικτής πραγματικότητας. Τα εργαλεία του παράγοντα συμπεριφοράς ζητούν νέα δεδομένα (Elawady & Sarhan, 2020).

Μια τέτοια αρχιτεκτονική παίζει σημαντικό ρόλο στη χρήση του συστήματος για ένα δυναμικό περιβάλλον. Μια αρχιτεκτονική με την οποία θα χρησιμοποιηθεί η μικτή πραγματικότητα στο διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), βασισμένη στην ενσωμάτωση του OneM2M ως τυπικής αρχιτεκτονικής για πλατφόρμες του διαδικτύου των πραγμάτων και τρεις διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης για τις συσκευές της μικτής πραγματικότητας, δηλαδή οπτικοποίηση δεδομένων αισθητήρα, ενεργοποιητής ελέγχου και μετάδοση δεδομένων με αισθητήρα της μικτής πραγματικότητας. Αυτή η αρχιτεκτονική συνδυάζει το Mobius ως μία πλατφόρμα M2M για το διαδίκτυο των πραγμάτων και το HoloLens ως συσκευή της μικτής πραγματικότητας (Papadopoulos et al., 2021).

Υπάρχει μια άλλη αρχιτεκτονική χρήστη-διακομιστή που υποστηρίζει τις χωρικές λειτουργίες του συστήματος γεωχωρικών πληροφοριών (GIS) για την εμφάνιση του μοντέλου ενός αρχαίου κτιρίου που τοποθετείται πάνω σε ερείπια. Αυτή η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τρία στοιχεία όπου είναι οι διακομιστές, οι κινητές μονάδες και τα δίκτυα. Ο διακομιστής διαχειρίζεται την αποθήκευση και παράδοση δεδομένων, καθώς και την απαραίτητη επεξεργασία (π.χ. την παρακολούθηση των χρηστών). Η κινητή μονάδα παρέχει την εμπειρία της μικτής πραγματικότητας στους χρήστες μέσω συνδέσεων διακομιστή. Το δίκτυο παρέχει τη σύνδεση μεταξύ της κινητής μονάδας και του διακομιστή (Kent et al., 2021).

Το περιεχόμενο της μικτής πραγματικότητας περιλαμβάνει χρήσιμα δεδομένα για εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας, όπως χάρτες, μοντέλα εικονικής λειτουργίας και το περιβάλλον χρήστη. Το περιβάλλον χρήστη περιέχει δεδομένα όπως μια τοποθεσία. Αυτά τα δεδομένα λαμβάνονται από εξωτερικές βάσεις δεδομένων, αισθητήρες ή φορητές συσκευές και μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Το στοιχείο του διακομιστή είναι ο πυρήνας του συστήματος, ο οποίος διαχειρίζεται το περιεχόμενο της μικτής πραγματικότητας, εκτελεί τις απαραίτητες διαδικασίες και στέλνει το αποτέλεσμα μαζί με τον μηχανισμό δικτύου στον χρήστη (Vasarainen et al., 2021). Οι διακομιστές εκτελούν διαφορετικές αναλύσεις, όπως επεξεργασία εικόνας, παρακολούθηση χρήστη και τρισδιάστατη απόδοση, και ορίζουν ιδιότητες, όπως το LOD. Εάν είναι απαραίτητο, παρέχονται πρόσθετα δεδομένα μέσω του αποθετηρίου για τον διακομιστή. Ένα καλό παράδειγμα από αυτή την άποψη είναι τα δεδομένα του καιρού, τα οποία λαμβάνονται από διαδικτυακές πηγές. Ο χρήστης ανταποκρίνεται με στόχο να οπτικοποιήσει το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας μηχανισμούς όπως η απόδοση και η διαχείριση περιβάλλοντος. Η διαχείριση περιβάλλοντος αυξάνει το επίπεδο συμπερίληψης των προτιμήσεων των χρηστών κατά την απόδοση (Piumsomboon et al., 2017).

3.2.2 Ζητήματα διακομιστή

Διαφορετικοί τύποι διακομιστών παρέχουν διαφορετικά οφέλη για την πλατφόρμα της μικτής πραγματικότητας. Έχει εξεταστεί ο διακομιστής εικονικού δικτύου υπολογιστών (VNC) σε μια εφαρμογή μικτής πραγματικότητας για τάξεις. Αυτός ο διακομιστής μοιράζεται εκτελέσιμες εφαρμογές στον διακομιστή για χρήστες

(πραγματικούς μαθητές ή εικονικούς μαθητές). Παρέχει επίσης συγχρονισμό μεταξύ του πραγματικού κόσμου (μαθητής του πραγματικού κόσμου) και του εικονικού κόσμου (διαδικτυακός μαθητής σε μια εικονική τάξη) για πρόσβαση σε πανομοιότυπες διαφάνειες κατά τη διδασκαλία με το avatar (Krauß et al., 2021). Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί ο διακομιστής πολυμέσων UPnP σε έξυπνες οικιακές εφαρμογές για την αποστολή αρχείων πολυμέσων (φωτογραφίες, βίντεο και εικόνες) για εμφάνιση στις αρχικές οθόνες. Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιεί το UPnP για την περιήγηση στο περιεχόμενο και στη συνέχεια παρέχει πρόσβαση του περιεχομένου στον διακομιστή. Αυτός ο μηχανισμός διαθέτει μια υπηρεσία αναζήτησης που μπορεί να εντοπίσει και να αποθηκεύσει περιεχόμενο στον διακομιστή για τον χρήστη (Bai et al., 2020). Επιπλέον, έχει χρησιμοποιηθεί ένας διακομιστής ιστού με VRML και X3D για την ανάκτηση ψηφιακού περιεχομένου (όπως ένα εικονικό τεχνούργημα) σε ένα εικονικό μουσείο. Αυτός ο διακομιστής δημιουργεί ένα κατάλληλο πρότυπο για το αποτέλεσμα εμφάνισης σε μια ιστοσελίδα χρησιμοποιώντας XSLT. Επιτρέπει επίσης την πρόσβαση στην εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για την εμφάνιση του τρισδιάστατου αποτελέσματος σε πραγματικό χώρο (Speicher et al., 2019).

Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία του διαδικτύου για να δημιουργήσει ένα περιβάλλον και να επιτρέψει την εμφάνιση διαφόρων πληροφοριών, όπως χάρτες ή πολυμέσα, χρησιμοποιώντας δεδομένα GPS με βάση τις θέσεις των χρηστών. Έχει χρησιμοποιηθεί ένας γεωχωρικός διακομιστής ιστού για τη δημιουργία τρισδιάστατων προβολών για ένα τρισδιάστατο έργο πόλης. Αυτός ο διακομιστής επιτρέπει το συνδυασμό διαφόρων πηγών, όπως αστικά τρισδιάστατα μοντέλα που είναι αποθηκευμένα στον γεωδιακομιστή και πληροφορίες αισθητήρων για την παρακολούθηση της αστικής κινητικότητας για την οπτικοποίηση των γεγονότων αστικής αλλαγής, όπως η κυκλοφορία (Rokhsaritalemi et al., 2020). Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ένας πανταχού παρόν διακομιστής σε μια εφαρμογή αεροδρομίου. Αυτός ο διακομιστής περιείχε μια βάση δεδομένων του αντικειμένου και των χωρικών του σχέσεων και πληροφοριών παρακολούθησης και παρέχει πληροφορίες παρακολούθησης για τη δημιουργία νέων σχέσεων (όπως το μοτίβο κίνησης). Αυτή η εφαρμογή είναι σε θέση να παρακολουθεί τη θέση του φρουρού για να ελέγξει την είσοδο των επισκεπτών σε ένα κατάστημα και να απεικονίσει το τρισδιάστατο αντικείμενο στην πραγματική σκηνή (Chen & Duh, 2019).

3.2.3 Ζητήματα δικτύου

Το δίκτυο είναι ένα σημαντικό μέρος της αρχιτεκτονικής της μικτής πραγματικότητας που παρέχει επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και του διακομιστή μέσω ενός μηχανισμού διαμόρφωσης. Όταν επιτευχθεί η IP του δικτύου, κάθε χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει με άλλους χρήστες και τον διακομιστή για πρόσβαση στο πακέτο της μικτής πραγματικότητας που περιέχει το εικονικό μοντέλο. Σε αυτόν τον μηχανισμό, η εξέταση ζητημάτων απορρήτου είναι απαραίτητη. Το απόρρητο στους χώρους της μικτής πραγματικότητας περιέχει δύο κανάλια όπου είναι το πραγματικό και το εικονικό, τα οποία απαιτούν ξεχωριστούς μηχανισμούς (Denisov & Onykiienko, 2019). Για παράδειγμα, όταν γίνεται κοινή χρήση περιεχομένου, η ανησυχία σχετικά με την πρόσβαση και την κρυπτογράφηση είναι σημαντική. Ωστόσο, ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να κατανοηθεί ποιος βρίσκεται μέσα στο χειρισμό. Το δίκτυο εκτελεί τη διαδικασία ακολουθώντας το τυπικό πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο δικτύου (όπως το TCP/IP) παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού διαφόρων πηγών πληροφοριών παρακολούθησης, αιτιολόγησης, μητρώου και άλλων πηγών, όπως τεχνητής νοημοσύνης και αναλυτικών μηχανών, και στη συνέχεια εκτελεί το διαδικτυακό σενάριο (Farshid et al., 2018).

Η χρήση του κατάλληλου πρωτοκόλλου είναι κρίσιμη, ειδικά κατά τη μεταφόρτωση ενός αρχείου βίντεο κατά τη διάρκεια του οποίου παρατηρείται αύξηση του αριθμού των πελατών και μείωση του εύρους ζώνης. Έχει προταθεί μια προσέγγιση με γνώμονα τη ζήτηση (η οποία, φυσικά, έχει την πρόκληση των καθυστερήσεων) ή μια λύση, όπως η μεταφόρτωση ενός βίντεο με ξεχωριστή καλωδίωση (η οποία πάσχει από προβλήματα συγχρονισμού) και αρχιτεκτονική πολλαπλής εκπομπής IP με βάση το 1 έως το N σχετικά με την επικοινωνία (De Belen et al., 2019). Οι δομές, όπως η κατακεκομμένη διαδραστική προσομοίωση (DIS), λαμβάνουν υπόψη την καθυστέρηση. Εκτός από αυτά τα ζητήματα, οι πλατφόρμες της μικτής πραγματικότητας απαιτούν μια νέα γενιά δικτύων που επιτρέπουν προσαρμογή με βάση το άτομο (χρήστη). Για παράδειγμα, όταν αποστέλλεται ένα αρχείο βίντεο, κάθε χρήστης πρέπει να εστιάσει σε μια συγκεκριμένη περιοχή και περιεχόμενο. Αυτό το πρόβλημα απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης δικτύου. Η χρήση ενός συστήματος 5G επιλύει το πρόβλημα χρησιμοποιώντας πολλαπλές εισόδους πολλαπλής εξόδου (mMIMO) ή ευρυζωνική

σύνδεση που δημιουργείται από συστήματα κυμάτων χιλιοστών (Elawady & Sarhan, 2020).

Φυσικά, παρά τη σημασία των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών, απαιτούνται μελέτες για την πρόταση μιας νέας αρχιτεκτονικής διαδικτύου. Αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει έννοιες όπως η δυναμική των σχημάτων και οι γεωμετρίες. Αυτή η αρχιτεκτονική παρέχει περισσότερα δεδομένα με βάση τα συμφραζόμενα και ανακαλύπτει σχετικές πληροφορίες μέσω της συσχετιστικής περιήγησης και ενορχηστρώσεως περιεχομένου για την υποστήριξη δεδομένων από διαφορετικές πηγές σε ένα δυναμικό περιβάλλον (Kent et al., 2021). Στην καταναεμημένη μικτή πραγματικότητα που βασίζεται στη χρήση δεδομένων αισθητήρα, η αύξηση του απομακρυσμένου συμμετέχοντα θα απαιτήσει τη χρήση πολλών κεντρικών ελέγχων και τεχνικών δυναμικής κοινής διαχείρισης κατάστασης που διατηρούν τη διαδραστικότητα. Το Edge computing μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει τις καθυστερήσεις και να αυξήσει την ποιότητα της υπηρεσίας ενώ στέλνει ένα τμήμα μεγάλων δεδομένων που απαιτούνται για εμφάνιση (Piumsomboon et al., 2017). Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει αναφορά στην εφαρμογή προσανατολισμένη στο δίκτυο της μικτής πραγματικότητας που χειρίζεται ένα ρομπότ μέσω χειρονομιών χρήστη και εμφανίζει πληροφορίες με επίγνωση της τοποθεσίας μέσω του διακομιστή άκρων. Σε αυτή τη δομή, ένας διακομιστής άκρων παρέχεται για το ρομπότ ενώ ένας άλλος χρησιμοποιείται για τις πληροφορίες του χρήστη. Αυτή η αρχιτεκτονική στέλνει μόνο το τμήμα των πληροφοριών που απαιτούνται για εμφάνιση για την εφαρμογή (Bai et al., 2020).

3.3 Το ενδιάμεσο λογισμικό της μικτής πραγματικότητας

Το ενδιάμεσο λογισμικό περιέχει δύο υποενότητες όπου το πρώτο μέρος εισάγει τις δυνατότητες του ενδιάμεσου λογισμικού για την υποστήριξη της μικτής πραγματικότητας και το δεύτερο μέρος παρέχει παραδείγματα των αναπτυγμένων τύπων ενδιάμεσου λογισμικού. Τα χαρακτηριστικά των δυνατοτήτων του ενδιάμεσου λογισμικού της μικτής πραγματικότητας, όπως η δυνατότητα δικτύωσης για υποστήριξη πολλαπλών χρηστών, η είσοδος δυναμικών χώρων σε λειτουργίες κινητών συσκευών, ιστού ή head-up, η υποστήριξη οθόνης για είσοδο στον διαδραστικό χώρο

που περιέχει τον εικονικό χώρο και τον πραγματικό χώρο, υποστηρίζοντας δυνατότητες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας και εναλλαγή μεταξύ τους, υποστήριξη τεχνητής νοημοσύνης για ζώα, ανθρωποειδής εικονική πραγματικότητα και δυνατότητα αλλαγής των ιδιοτήτων της εικονικής πραγματικότητας και των ρυθμίσεων που απαιτούνται για τους χρήστες (Sobota et al., 2020).

Σε προηγούμενες μελέτες έχουν προταθεί διαφορετικές δομές ενδιάμεσου λογισμικού. Έχει χρησιμοποιηθεί το εικονικό ενδιάμεσο λογισμικό αφής, το οποίο δημιουργεί μια σχέση μεταξύ των πληροφοριών του αισθητήρα και του εικονικού κόσμου. Αυτό το ενδιάμεσο λογισμικό ανιχνεύει το αντικείμενο σε πραγματικό χώρο χρησιμοποιώντας επεξεργασία εικόνας και μια συσκευή ανίχνευσης και στη συνέχεια μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες μέσω δέσμης ενεργειών στο εικονικό περιβάλλον (Costanza et al., 2009). Επιπλέον, έχει χρησιμοποιηθεί το ενδιάμεσο λογισμικό που βασίζεται στο σύστημα Corba για την εμφάνιση πληροφοριών πολυμέσων με βάση την τοποθεσία του χρήστη. Το ενδιάμεσο λογισμικό διευκολύνει τη διαμόρφωση και τη σύνδεση των εξαρτημάτων για να επιτρέψει την επιλογή του καλύτερου εργαλείου για την εμφάνιση πολυμέσων. Έχει προταθεί το ενδιάμεσο λογισμικό με βάση την τυπική δομή ηλεκτρονικού κωδικού προϊόντος (EPC) σε εφαρμογές εκμάθησης (Pinéjer et al., 2018). Αυτό το ενδιάμεσο λογισμικό διευκολύνει τη διαμόρφωση για τη μορφή εκπαίδευσης, το εικονικό περιβάλλον και την τεχνολογία ανίχνευσης. Το ενδιάμεσο λογισμικό που βασίζεται στο διαδίκτυο των πραγμάτων για τη δημιουργία παγκόσμιων πληροφοριών έχει την υποστήριξη των εφαρμογών της μικτής πραγματικότητας. Τέλος, έχει προταθεί το ενδιάμεσο λογισμικό προσανατολισμένο σε μηνύματα (MOM), το οποίο παρέχει συγχρονισμό ως απόκριση στην υπηρεσία και στη συνέχεια δημιουργεί τη δυνατότητα εκτέλεσης κατάλληλων μηνυμάτων σχετικά με την εντολή (Bhowmik, 2018).

Παρά τα οφέλη του προτεινόμενου ενδιάμεσου λογισμικού, πρέπει αυτό να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό. Ο χρόνος απόκρισης είναι ένα σημαντικό ζήτημα για αυτή τη βελτίωση. Αυτή η ιδέα είναι ιδιαίτερα σημαντική στο εικονικό ενδιάμεσο λογισμικό αφής. Σε μια κοινή δομή, οι χρήστες περιλαμβάνουν διαφορετικά μηνύματα μέσω ενοτήτων ενδιάμεσου λογισμικού λόγω επεξεργασίας σε διαφορετικούς διακομιστές. Επομένως, αυτοί οι διακομιστές πρέπει να εγκατασταθούν στο ίδιο τοπικό δίκτυο για να επιτευχθεί αποδεκτός χρόνος απόκρισης. Ωστόσο, οι σύγχρονες δομές θα διευκολύνουν τη διαδικασία (Nijholt, 2022). Η βελτίωση στο ενδιάμεσο λογισμικό

βοηθά στην υποστήριξη της δυνατότητας σε πραγματικό χρόνο για τη ροή βίντεο. Η βελτίωση στο ενδιάμεσο λογισμικό βοηθά στην εφαρμογή διαδραστικού ενδιάμεσου λογισμικού που υποστηρίζει τις υπηρεσίες πολυμέσων (Brigham, 2017).

3.4 Οι εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας

Με την επιλογή των στοιχείων της εφαρμογής πυρήνα της μικτής πραγματικότητας και την ανάπτυξή της με μια κατάλληλη αρχιτεκτονική και εργαλειοθήκη προσομοίωσης, υλοποιείται μια εφαρμογή μικτής πραγματικότητας. Η εφαρμογή μικτής πραγματικότητας παρέχει προτιμώμενες υπηρεσίες στους χρήστες. Για να επιτευχθεί αυτό, μια εφαρμογή παρέχει πρώτα συνδεσιμότητα με συσκευές ανίχνευσης και συσκευές μικτής πραγματικότητας, όπως μια συσκευή προβολής εγκατεστημένη στο πρόσωπο του χρήστη, και επιτρέπει την αλληλεπίδραση χρησιμοποιώντας εφαρμογές μέσω της διεπαφής του χρήστη (Papadopoulos et al., 2021). Η αλληλεπίδραση του χρήστη είναι δυνατή με διάφορους τρόπους, όπως με φωνητικές εντολές. Αυτή τη στιγμή, εκτελείται μια εφαρμογή και, ως εκ τούτου, εκτελείται ένα κατάλληλο αναλυτικό σενάριο που σχετίζεται με τον αλγόριθμο. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια υπηρεσία της μικτής πραγματικότητας που αποδίδει το αποτέλεσμα με κατάλληλες τεχνικές οπτικοποίησης. Οι εφαρμογές μικτής πραγματικότητας είναι πρακτικές για τη λήψη αποφάσεων σε καθημερινές δραστηριότητες (Vasarainen et al., 2021).

Η μικτή πραγματικότητα παρέχει μεγάλα οφέλη για τουριστικές εφαρμογές υπερβαίνοντας τους περιορισμούς των κοινών συστημάτων. Οι εφαρμογές μικτής πραγματικότητας παρέχουν καθηλωτικές εμπειρίες με τη συγχώνευση εικονικών και πραγματικών αντικειμένων. Με αυτό, ο χρήστης μπορεί να δει μια εικονική αναπαράσταση ενός κατεστραμμένου φυσικού αντικειμένου (όπως ένα τρισδιάστατο μοντέλο) ενσωματωμένο σε μια πραγματική σκηνή σε πραγματικό μέγεθος. Σε αυτήν την απεικόνιση, οι λεπτομέρειες του μοντέλου και του φωτισμού ρυθμίζονται σύμφωνα με τη θέση του χρήστη (Krauß et al., 2021). Σε τέτοιες καθηλωτικές εμπειρίες, ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με το εικονικό μοντέλο σε πραγματικό χώρο, όπως το άνοιγμα μιας πόρτας σε ένα ιστορικό κτίριο. Οι εφαρμογές μικτής πραγματικότητας χειρίζονται επίσης την εμφάνιση ζωντανών περιβαλλόντων που σχετίζονται με

ιστορικά αντικείμενα ενσωματωμένα σε πραγματικό περιβάλλον με καθηλωτικές εμπειρίες. Για παράδειγμα, ένα ψηφιακό διάγραμμα οπτικοποιεί την κίνηση ενός ιστορικού αντικειμένου, όπως μια παλιά ατμομηχανή, δείχνοντας το στην κινητή συσκευή, ενώ οι εφαρμογές που βασίζονται σε επαυξημένη πραγματικότητα αυξάνουν μόνο το ιστορικό περιεχόμενο, όπως εικόνες, βίντεο κ.λπ (De Belen et al., 2019).

Οι εφαρμογές παιχνιδιών που βασίζονται στη μικτή πραγματικότητα ξεπερνούν τους περιορισμούς των κοινών συστημάτων. Παρέχουν αλληλεπίδραση με αντικείμενα παιχνιδιού ενσωματωμένα σε πραγματικές σκηνές. Για παράδειγμα, σε ένα στρατηγικό παιχνίδι, ο χρήστης μετακινεί έναν πράκτορα σε μια περιοχή χρησιμοποιώντας μια προτιμώμενη μέθοδο, όπως φωνητικές εντολές. Στη συνέχεια, το σύστημα δείχνει την κίνηση του πράκτορα στην περιοχή σε πραγματικό χώρο, ενώ οι προηγούμενες εφαρμογές παιχνιδιών απεικονίζουν απλώς το παιχνίδι σε ψηφιακό περιβάλλον, όπως υπολογιστή ή φορητή συσκευή, χωρίς να παρέχουν αλληλεπίδραση με το αντικείμενο του παιχνιδιού στο πραγματικό περιβάλλον (Pinéjer et al., 2018). Υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί στα κοινά εκπαιδευτικά συστήματα που ξεπερνιούνται από τις έννοιες της μικτής πραγματικότητας. Οι εφαρμογές που βασίζονται στη μικτή πραγματικότητα παρέχουν μια καθηλωτική εμπειρία για τη λεγόμενη ενσωματωμένη μάθηση. Απεικονίζοντας σε μια εφαρμογή αστρονομίας, ο χρήστης κινείται σε μια περιοχή σε πραγματικό περιβάλλον και αλληλεπιδρά με εικονικά αντικείμενα όπως αστεροειδείς (Brigham, 2017). Στη συνέχεια, ο χρήστης αντιλαμβάνεται τις εξωτερικές δυνάμεις που επηρεάζουν την τροχιά του αστεροειδούς χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη μάθηση. Αντίθετα, στα κοινά συστήματα εκμάθησης, ο χρήστης χρησιμοποιεί υπολογιστή ή κινητό για να παρατηρήσει αντικείμενα αστρονομίας χωρίς μια καθηλωτική εμπειρία σε πραγματικό περιβάλλον (Rokhsaritalemi et al., 2020).

Η μικτή πραγματικότητα ανοίγει νέες δυνατότητες για ιατρικές εφαρμογές με λιγότερους περιορισμούς σε σύγκριση με εργαλεία μη μικτής πραγματικότητας. Σε εφαρμογές που βασίζονται σε μικτή πραγματικότητα όλα τα ιατρικά δεδομένα εμφανίζονται με το κατάλληλο μέγεθος. Αυτές οι πληροφορίες είναι ενσωματωμένες στην πραγματική σκηνή, όπως ένα χειρουργείο. Ο χρήστης, ως ένας χειρουργός, μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτές τις πληροφορίες χρησιμοποιώντας μια χειρουργική συσκευή (Denison & Onykienko, 2019). Ένα καλό παράδειγμα είναι μια πλατφόρμα καθοδήγησης μικτής πραγματικότητας για χειρουργική επέμβαση αποκατάστασης

μιτροειδούς βαλβίδας. Αυτή η απρόσκοπτη πλατφόρμα περιλαμβάνει την ενσωμάτωση του μοντέλου ανατομίας της καρδιάς, δεδομένων εικόνας, εργαλείων χειρουργικής επέμβασης και συσκευών προβολής σε πραγματικό περιβάλλον. Αυτή η εφαρμογή χρησιμοποιείται ως πλατφόρμα καθοδήγησης για τον χειρουργό κατά τη διάρκεια της επέμβασης αποκατάστασης της μιτροειδούς βαλβίδας. Αντίθετα, σε ιατρικές εφαρμογές που βασίζονται σε επαυξημένη πραγματικότητα, οι πληροφορίες απλώς επικαλύπτονται στο σώμα του ασθενούς χωρίς να διατηρείται το πραγματικό μέγεθος για μια ακριβή διαδικασία οπτικοποίησης (Speicher et al., 2019).

Η μικτή πραγματικότητα παρέχει μεγάλα οφέλη σε εφαρμογές σχεδιασμού που ξεπερνούν τους περιορισμούς των κοινών συστημάτων. Οι εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας δημιουργούν ένα συνεργατικό περιβάλλον σχεδιασμού. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, πολλοί χρήστες μπορούν να δουν το εικονικό αντικείμενο του σχεδίου, όπως ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Αυτό το μοντέλο είναι ενσωματωμένο σε ένα πραγματικό περιβάλλον με το κατάλληλο μέγεθος. Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτό το μοντέλο για να το χειριστεί (με κίνηση, κλίση και περιστροφή) χρησιμοποιώντας συσκευές μικτής πραγματικότητας όπως το HoloLens. Αντίθετα, σε προηγούμενες εφαρμογές σχεδιασμού, ο χρήστης μπορούσε να δει το μοντέλο σε ένα λογισμικό σχεδίασης χωρίς να αλληλεπιδράσει μαζί του ή να παρατηρήσει την οπτικοποίηση ενσωματωμένη στον πραγματικό χώρο (Bhowmik, 2018).

3.5 Διεπαφή χρήστη

3.5.1 Ζήτημα διεπαφής χρήστη

Η διεπαφή χρήστη έχει αλλάξει από την παραδοσιακή λειτουργία του WIMP (Windows, εικονίδια, μενού και κατάδειξης) στις εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας. Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιεί τεχνολογίες διαφορετικών μηχανισμών εμφάνισης που υπερκαλύπτουν το εικονικό περιεχόμενο στο περιβάλλον. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν την παρακολούθηση χρηστών για να παρέχουν μια υπηρεσία στην τοποθεσία του χρήστη. Αυτές οι διεπαφές είναι πολυτροπικές για να επιτρέπουν στον χρήστη να μεταβεί από διαφορετικές λειτουργίες, όπως 2D ή 3D που

βασίζεται στον ιστό σε λειτουργία εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτό το όφελος βελτιώνει το αποτέλεσμα απόδοσης για τον χρήστη (De Belen et al., 2019). Ο χρήστης αλληλεπιδρά με τη διεπαφή χρήστη χρησιμοποιώντας διαφορετικές στρατηγικές αλληλεπίδρασης, όπως αλληλεπίδραση με χειρονομίες ή αλληλεπίδραση με βάση τον ήχο. Αυτό απλοποιεί την επικοινωνία για τον χρήστη. Η εμφάνιση της πολλαπλής κλίμακας της μικτής πραγματικότητας δημιούργησε επίσης αλληλεπίδραση πολλαπλών κλιμάκων χρησιμοποιώντας αναδρομική κλιμάκωση. Αυτό είναι σημαντικό, ειδικά σε εφαρμογές εκμάθησης. Η απεικόνιση ενός εικονικού χρήστη, όπως ένας μαθητής, μπορεί να αλλάξει το μέγεθος του κατά την αλληλεπίδραση με εικονικά αντικείμενα στο μαθησιακό περιβάλλον (Elawady & Sarhan, 2020). Ο μαθητής μπορεί να συρρικνωθεί στη μικροκλίμακα για να παρατηρήσει κυτταρικούς μηχανισμούς ή να μεγεθύνει ξανά στο περιβάλλον της μικτής πραγματικότητας για να αλληλεπιδράσει με ένα εικονικό αστρονομικό αντικείμενο (Nijholt, 2022).

Η προσαρμογή της διεπαφής χρήστη για την εμφάνιση του κατάλληλου εικονικού στοιχείου είναι σημαντική. Αυτή η ιδέα παρέχει ευκολία στη χρήση σε μια εφαρμογή μικτής πραγματικότητας. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τεχνικές όπως η βελτιστοποίηση. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει τη δημιουργία ενός κανόνα για να αποφασιστεί πότε, πού και πώς θα εμφανιστεί το εικονικό στοιχείο. Με το χαμηλότερο γνωστικό φορτίο, εμφανίζεται η πλειονότητα των στοιχείων και των λεπτομερειών. Έχει προσφερθεί ένας συνδυασμός λήψης αποφάσεων βάσει κανόνων και βελτιστοποίησης για προσαρμογή διεπαφής χρήστη χρησιμοποιώντας εικονικό στοιχείο LOD και γνωστικό φορτίο (Denisov & Onykiienko, 2019).

Έχει μεγάλη σημασία η φιλικότητα προς τον χρήστη στη σχεδίαση διεπαφής του χρήστη. Η φιλικότητα προς τον χρήστη σχετίζεται με έννοιες όπως η εμφάνιση και η αλληλεπίδραση. Οι εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές εμφάνισης, όπως αναλύονται στην οπτικοποίηση, και απόδοσης για την οπτικοποίηση του εικονικού περιεχομένου που είναι ενσωματωμένο σε πραγματικό χώρο. Οι εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας αλληλεπιδρούν με τον χρήστη χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μεθόδους αλληλεπίδρασης (Vasarainen et al., 2021). Η επιλογή της μεθόδου αλληλεπίδρασης εξαρτάται από την εφαρμογή. Για παράδειγμα, στις κατασκευαστικές εργασίες, η αλληλεπίδραση με χρήση συσκευών προβολής είναι προτιμότερη από μια κινητή συσκευή. Οι συσκευές προβολής δεν

απαιτούν τα χέρια του χρήστη. Ως εκ τούτου, ο εργαζόμενος μπορεί να το χρησιμοποιήσει εύκολα σε πολύπλοκες εργασίες, όπως η συναρμολόγηση αγωγών (Kent et al., 2021).

Ενώ η διεπαφή χρήστη είναι σημαντική για την κατάλληλη αλληλεπίδραση με τον χρήστη, ο σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη περιλαμβάνει πολλές προκλήσεις. Ο σχεδιασμός διεπαφής χρήστη χρειάζεται ανάπτυξη λογισμικού και υλικού. Η μετάδοση πληροφοριών από την παραδοσιακή τρισδιάστατη απόδοση στο περιβάλλον της μικτής πραγματικότητας απαιτεί την εφαρμογή τεχνικών μητρώου, απεικόνισης και διαχείρισης. Για το Mobile UI, η υπολογιστική ισχύς και η διαχείριση χωρητικότητας πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η αλληλεπίδραση χρήστη με τις διεπαφές χρήστη πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο υποστήριξης δυναμικής πολυτροπικής αλληλεπίδρασης. Αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας διαφορετικές εισόδους, όπως η τυπική είσοδο, ο αισθητήρας και η απτή είσοδος (Brigham, 2017). Η αλληλεπίδραση που βασίζεται στον ήχο πρέπει να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας πρόσθετες πηγές ήχου και μεθόδους αναγνώρισης ήχου για την υποστήριξη της αλληλεπίδρασης πολλών χρηστών. Η προσαρμογή της διεπαφής χρήστη περιλαμβάνει προβλήματα όπως περιορισμούς του FOV των ακουστικών της μικτής πραγματικότητας και την εκτίμηση γνωστικού φορτίου. Το FOV επηρεάζει τον όγκο των πληροφοριών που εμφανίζονται. Η εκτίμηση του γνωστικού φορτίου απαιτεί τεχνικές που χρησιμοποιούν τη σύντηξη αισθητήρων για να χειριστούν ξαφνικές διακοπές και σφάλματα κατά τη διάρκεια αυτής της εκτίμησης (Chen & Duh, 2019).

3.5.2 Ευχρηστία

Η δοκιμή ευχρηστίας αξιολογεί τη διεπαφή της μικτής πραγματικότητας της διεπαφής χρήστη σχετικά με τη συμβατότητα και την ποιότητα της οπτικοποίησης εικονικού αντικειμένου. Η χρηστικότητα μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα, έχουν προταθεί ερωτηματολόγια / συνεντεύξεις, μεθόδους και δοκιμές χρηστών με βάση τις εργονομικές μεθόδους αξιολόγησης. Επίσης, έχει προταθεί ο συνδυασμός ευρετικής αξιολόγησης και διαμορφωτικής δοκιμής χρήστη σε συλλογική μικτή πραγματικότητα (Rokhsaritalemi et al., 2020). Αν και η αξιολόγηση χρηστικότητας είναι ένα σημαντικό ζήτημα για το σχεδιασμό της διεπαφής χρήστη της μικτής πραγματικότητας, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις σε αυτήν την αξιολόγηση.

Υπάρχουν διαφορετικές προκλήσεις, όπως περιορισμοί λόγω φυσικού χώρου (π.χ. αλλαγή θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του παραδείγματος προβολής βίντεο), περιορισμοί προβολής (π.χ. πότε πρέπει να αξιολογηθούν διαφορετικές ενότητες, όπως η χρήση χειρονομιών και φωνής) και εγκατάσταση δοκιμής χρήστη (επειδή ο χρήστης μπορεί να μην γνωρίζει όλα τα μέρη του συστήματος και η εκμάθηση μπορεί να πάρει χρόνο), μαζί με την ύπαρξη διαφορετικών συμβάντων (όπως πολλά αρχεία βίντεο ή πολλαπλές λειτουργίες) (Farshid et al., 2018).

Επίλογος

Αισθητηριακοί τρόποι εκτός του ήχου ή της οπτικής θα έχουν αυξημένο ενδιαφέρον καθώς επεκτείνονται οι τεχνολογικές δυνατότητες. Ειδικά τα καθηλωτικά απτικά συστήματα στοχεύουν επί του παρόντος σε μεγάλο βαθμό από την έρευνα και την ανάπτυξη της εικονικής πραγματικότητας, με πολυάριθμες επενδύσεις και προσπάθειες εκκίνησης σε αυτό το θέμα, με στόχο να φέρουν αίσθηση αφής και ανατροφοδότησης στους χρήστες που αλληλεπιδρούν με εικονικές σκηνές. Πολλά ζητήματα αντίληψης πρέπει ακόμη να γίνουν πλήρως κατανοητά και να επιλυθούν, όπως η περιβόητη συμπίεση απόστασης που παρατηρείται συνήθως στην εικονική πραγματικότητα, η οποία επηρεάζει δραστικά τις εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας, όπως το βιομηχανικό σχέδιο ή οι αρχιτεκτονικές περιγραφές. Η πλήρης κατανόηση όλων των αντιληπτικών διαστάσεων των εμπειριών της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας είναι ακόμα μακριά, με τη βιβλιογραφία να αναφέρει φαινομενολογικές παρατηρήσεις, αλλά να μην έχει θεσπίσει ακόμη αξιόπιστα μοντέλα που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων μεθοδολογικά ή τεχνολογικά.

Η συνεχώς βελτιούμενη βασική τεχνολογία των συστημάτων της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας λαμβάνει σταδιακά υπόψη τα αντιληπτικά κριτήρια σχεδιασμού, αλλά πολλές μεγάλες προκλήσεις μένουν να επιλυθούν εκτός από την απόδοση και την αλληλεπίδραση που βασίζεται στην αντίληψη. Η παρακολούθηση και η μοντελοποίηση ευρείας περιοχής θα επιτρέψουν την τρισδιάστατη αλληλεπίδραση σε πολύ μεγαλύτερους χώρους αλληλεπιδράσεων. Η φωτορεαλιστική απόδοση και ο (επανα)φωτισμός στην επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσαν να θολώσουν περαιτέρω τα όρια μεταξύ πραγματικών και εικονικών αντικειμένων, ανοίγοντας το δρόμο σε μια πιθανή συμβολή, ή τουλάχιστον συνέργεια, της εικονικής και της επαυξημένης πραγματικότητας. Η τρισδιάστατη ανακατασκευή, η προσομοίωση και η αλληλεπίδραση με εικονικά είδωλα πρέπει να βελτιωθούν δραστικά για να παράγουν ικανοποιητικές, καθηλωτικές κοινωνικές εμπειρίες και επιτυχημένες εικονικές ενσωματώσεις. Παρά την πρόσφατη πρόοδο όσον αφορά τη μάθηση, η πραγματική τεχνητή νοημοσύνη που υποστηρίζει τις εμπειρίες της εικονικής και της επαυξημένης πραγματικότητας βρίσκεται ακόμα σε πρωταρχικό βαθμό.

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, αν υποθεθεί ότι όλες αυτές οι δύσκολες τεχνολογικές προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν, προκύπτουν σημαντικές ηθικές και κοινωνικές προκλήσεις μέσω της ευρείας υιοθέτησης των συστημάτων της εικονικής και της επαυξημένης πραγματικότητας. Μια αφοσιωμένη ερευνητική προσπάθεια θα πρέπει να αξιολογήσει τον μακροπρόθεσμο αντίκτυπο αυτών των τεχνολογιών και θα μπορούσε να ορίσει έναν «κώδικα δεοντολογίας» της εικονικής και της επαυξημένης πραγματικότητας, διευκρινίζοντας τι συνιστά καλή ή κακή εφαρμογή.

Βιβλιογραφία

Akinola, Y., Agbonifo, O. and Oluwafemi, S. (2020) ‘Virtual Reality as a tool for learning: The past, present and the prospect’, *Journal of Applied Learning & Teaching*, vol. 3, no. 2.

Alkhamisi, A. O., and Monowar, M. M. (2013) ‘Rise of Augmented Reality: Current and Future Application Areas’, *International Journal of Internet and Distributed Systems*, vol. 1, no. 4, pp. 25–34.

Allcoat, D., and von Mühlénen, A. (2018) ‘Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement’, *Research in Learning Technology*, vol. 26, no. 1.

Arasu, D., AnisBasharuddin, S., ZulailaZulShukor, N., and Wan Zainon, W. M. N. (2018) ‘A Review on Augmented Reality Technology’, *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 22-36.

Bai, H., Sasikumar, P., Yang, J., and Billinghamurst, M. (2020) ‘A User Study on Mixed Reality Remote Collaboration with Eye Gaze and Hand Gesture Sharing’, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.

Berryman, D. R. (2012) ‘Augmented Reality: A Review’, *Medical Reference Services Quarterly*, vol. 31, no. 2, pp. 212–218.

Bhosale, S., Patil, R. and Karjulkar, J. (2021) ‘Augmented Reality’, *Contemporary Research In India*, vol. 2, no. 3, pp. 1-19.

Bhowmik, A. K. (2018) ‘Advances in Virtual, Augmented, and Mixed Reality Technologies’, *Information Display*, vol. 34, no. 5, pp. 18–21.

Billinghamurst, M., Clark, A., and Lee, G. (2015) ‘A Survey of Augmented Reality’, *Foundations and Trends in Human–Computer Interaction*, vol. 8, no. 2–3, pp. 73–272.

Bis, U. (2018) 'Virtual Reality. Now', *Social Communication*, vol. 4, no. 1, pp. 121–127.

Brigham, T. J. (2017) 'Reality Check: Basics of Augmented, Virtual, and Mixed Reality', *Medical Reference Services Quarterly*, vol. 36, no. 2, pp. 171–178.

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., and Ivkovic, M. (2010) 'Augmented reality technologies, systems and applications', *Multimedia Tools and Applications*, vol. 51, no. 1, pp. 341–377.

Carmigniani, J., and Furht, B. (2011) 'Augmented Reality: An Overview', *Handbook of Augmented Reality*, pp. 3–46.

Chen, Y., Wang, Q., Chen, H., Song, X., Tang, H., and Tian, M. (2019) 'An overview of augmented reality technology', *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1237, no. 2, pp. 22-40.

Chen, S. S. C., and Duh, H. (2019) 'Interface of mixed reality: from the past to the future', *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, vol. 1, no. 1, pp. 69–87.

Chong, H. T., Lim, C. K., and Tan, K. L. (2018) 'Challenges in virtual reality system: A review', *AIP Conference Proceedings*, vol. 1, no. 6, pp. 1-13.

Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., and Riva, G. (2018) 'The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature', *Frontiers in Psychology*, vol. 9, no. 1, pp. 1-12.

Costanza, E., Kunz, A., and Fjeld, M. (2009) 'Mixed Reality: A Survey', *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 47–68.

De, M., Desai, O., Desai, S. and Tikhe, K. (2020) 'Augmented Reality: A New Way to View the World', *International Journal of Engineering and Technical Research*, vol. 9, no. 3, pp. 1-12.

De Belen, R., Nguyen, H., Filonik, D., del Favero, D., and Bednarz, T. (2019) 'A systematic review of the current state of collaborative mixed reality technologies: 2013–2018', *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 181–223.

Denisov, R. V., and Onykiienko, Y. O. (2019) 'Prospects and development of mixed reality technologies', *Electronic and Acoustic Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 34–38.

Dey, A., Billinghamurst, M., Lindeman, R. W., and Swan, J. E. (2018) 'A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014', *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 5, no. 4, pp. 1-10.

Dünser, A., and Billinghamurst, M. (2011) 'Evaluating Augmented Reality Systems', *Handbook of Augmented Reality*, pp. 289–307.

Eadie, W. (2009) 'Virtual Reality and Presence', *21st Century Communication*, pp. 22-39.

Elawady, M., and Sarhan, A. (2020) 'Mixed Reality Applications Powered by IoE and Edge Computing: A Survey', *Internet of Things—Applications and Future*, pp. 125–138.

Farshid, M., Paschen, J., Eriksson, T., and Kietzmann, J. (2018) 'Go boldly! Explore augmented reality (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) for business', *Business Horizons*, vol. 61, no. 5, pp. 657–663.

Han, F., Ge, Z., and Zhou, R. (2018) 'Research on the Dissemination Path of Virtual Reality Book Publications', *Open Journal of Social Sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 108–121.

Jakubowska, L., and Kazimierska-Zajac, M. (2020) 'Difficulties in conducting research with the use of virtual reality (VR)', *E-Methodology*, vol. 6, no. 6, pp. 29–33.

Kim, I. J. (2010) 'Introduction to augmented reality and its applications', *ACM Siggraph Asia 2010 Courses on - SA '10*.

Kent, L., Snider, C., Gopsill, J., and Hicks, B. (2021) 'Mixed reality in design prototyping: A systematic review', *Design Studies*, vol. 7, no. 7, pp. 101-123.

Krauß, V., Jasche, F., Saßmannshausen, S. M., Ludwig, T., and Boden, A. (2021) 'Research and Practice Recommendations for Mixed Reality Design – Different Perspectives from the Community', *Proceedings of the 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*.

Liberatore, M. J., and Wagner, W. P. (2021) 'Virtual, mixed, and augmented reality: a systematic review for immersive systems research', *Virtual Reality*, vol. 25, no. 3, pp. 773–799.

Lupinetti, K., Bonino, B., Giannini, F., and Monti, M. (2019) 'Exploring the Benefits of the Virtual Reality Technologies for Assembly Retrieval Applications', *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 43–59.

Mathivanan, K., Swathi, T., Ashapriya, B. and Sruthi, R. (2017) 'A Study of Virtual Reality', *International Journal of Trend in Research and Development*, vol. 4, no. 3, pp. 374-387.

Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., and Domínguez-Morales, M. (2020) 'Augmented and Virtual Reality Evolution and Future Tendency', *Applied Sciences*, vol. 10, no. 1, pp. 3-22.

Nijholt, A. (2022) 'Virtual Worlds: A New Open Access Journal of Virtual Reality, Augmented and Mixed Reality Technologies, and Their Uses', *Virtual Worlds*, vol. 1, no. 1, pp. 18–29.

Noble, S. M., Saville, J. D., and Foster, L. L. (2022) 'VR as a choice: what drives learners' technology acceptance?' *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 19, no. 1, pp. 1-20.

Papadopoulos, T., Evangelidis, K., Kaskalis, T. H., Evangelidis, G., and Sylaiou, S. (2021) 'Interactions in Augmented and Mixed Reality: An Overview', *Applied Sciences*, vol. 11, no. 18, pp. 87-102.

Paíno Ambrosio, A., and Rodríguez Fidalgo, M. I. (2020) 'Past, present and future of Virtual Reality: Analysis of its technological variables and definitions', *Culture & History Digital Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 1-10.

Peddie, J. (2017) 'Types of Augmented Reality', *Augmented Reality*, pp. 29–46.

Piumsomboon, T., Day, A., Ens, B., Lee, Y., Lee, G., and Billingham, M. (2017) 'Exploring enhancements for remote mixed reality collaboration', *SIGGRAPH Asia 2017 Mobile Graphics & Interactive Applications on - SA '17*.

Pinđer, I., Milić, N., Puškarević, I., and Miketić, N. (2018) 'Conversion Of Virtual Reality Into A Mixed Reality', *Proceedings of 9th International Symposium on Graphic Engineering and Design*.

Raajan, N., Shivam, G., Mithun, P., and Vijayabhas, P. (2014) 'A Review on: Augmented Reality Technologies, Systems and Applications', *Journal of Applied Sciences*, vol. 14, no. 14, pp. 1485–1495.

Rokhsaritalemi, S., Sadeghi-Niaraki, A., and Choi, S. M. (2020) 'A Review on Mixed Reality: Current Trends, Challenges and Prospects', *Applied Sciences*, vol. 10, no. 2, pp. 6-16.

Saeed, A., Foad, L., and Fattouh, L. (2017) 'Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: a Survey', *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 6, pp. 26-50.

Sallow, A. B., and Younis, Y. M. (2019) 'Augmented Reality: A Review', *Academic Journal of Nawroz University*, vol. 8, no. 3, pp. 7-16.

Sherman, W. R., and Craig, A. B. (2019) 'Introduction to Virtual Reality', *Understanding Virtual Reality*, pp. 4–58.

Sobota, B., Korečko, T., Hudák, M., and Sivý, M. (2020) 'Mixed Reality: A Known Unknown', *Mixed Reality and Three-Dimensional Computer Graphics*.

Speicher, M., Hall, B. D., and Nebeling, M. (2019) 'What is Mixed Reality?', *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.

Sünger, B., and Çankaya, S. (2019) 'Augmented Reality: Historical Development and Area of Usage', *Journal of Educational Technology and Online Learning*, vol. 2, no. 3, pp. 118–133.

van Krevelen, D., and Poelman, R. (2010) 'A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations', *International Journal of Virtual Reality*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20.

Vasarainen, M., Paavola, S., and Vetoshkina, L. (2021) 'A Systematic Literature Review on Extended Reality: Virtual, Augmented and Mixed Reality in Working Life', *International Journal of Virtual Reality*, vol. 21, no. 2, pp. 1–28.

Vishnevskaya, E. V., and Strekalova, N. B. (2021) 'Synthesis of virtual reality technologies and design', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1083, no. 1, pp. 12-20.

White, J., Schmidt, D. C., and Golparvar-Fard, M. (2014) 'Applications of Augmented Reality [Scanning the Issue]', *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 2, pp. 120–123.

Wohlgenannt, I., Simons, A., and Stieglitz, S. (2020) 'Virtual Reality', *Business & Information Systems Engineering*, vol. 62, no. 5, pp. 455–461.

Wohfel, M., Hepperle, D., Purps, C., and Deuchler, J. (2021) 'Entering a new Dimension in Virtual Reality Research: An Overview of Existing Toolkits, their

Features and Challenges’, *International Journal of Automation and Computing*, vol. 1, no. 2, pp. 139–155.

Wong, K., Jamali, S. S., and Shiratuddin, M. F. (2014) ‘A Review of Augmented Reality and Mobile-Augmented Reality Technology’, *The International Journal of Learning in Higher Education*, vol. 20, no. 2, pp. 37–54.

Yengin, D. (2017) ‘Virtual Reality As Technology’, *The Turkish Online Journal Of Design, Art And Communication*, pp. 57–68.

Zhou, N. N., and Deng, Y. L. (2009) ‘Virtual reality: A state-of-the-art survey’, *International Journal of Automation and Computing*, vol. 6, no. 4, pp. 319–325.