

**ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



**Πτυχιακή Εργασία**

«Ανάπτυξη μιας Augmented Reality εφαρμογής για κινητές συσκευές»

**Φοιτητής**

Κωνσταντίνος Ψαρράς

Π2014004

**Επιβλέπων**

Στέργιος Παλαμάς

Επίκουρος Καθηγητής

Κέρκυρα - Αθήνα 2024

## **Τριμελής Επιτροπή**

Στέργιος Παλαμάς

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Ανδρέας Καναβός

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Άννα Σωτηροπούλου

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό

Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή εργασία αυτή εκπονήθηκε κατά τη φοίτησή μου στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο και συγκεκριμένα στο Τμήμα Πληροφορικής, κατά τα έτη 2022 έως 2024.

Κατά τη διάρκειά της παρουσιάστηκαν διάφορες δυσκολίες, τόσο τεχνικής φύσεως όσο και λόγω των υποχρεώσεων και των περιορισμών που επιβάλλει η ίδια η ζωή. Η ολοκλήρωσή της θα ήταν αδύνατη χωρίς κάποια άτομα τα οποία στάθηκαν πλάι μου στην προσπάθεια αυτή, με την κατανόηση, την υπομονή και την έμπρακτη στήριξή τους. Από την πρώτη στιγμή η ώθηση που μου έδωσε η οικογένεια μου, Δημήτρης, Ελένη και Ελευθερία, ο καθένας με τον τρόπο του, αποτέλεσε την κινητήριου δύναμη για την έναρξη αυτού του ταξιδιού και θέλω να τους ευχαριστήσω για όσα έχουν κάνει για εμένα. Οι συμφοιτητές μου Χρήστος, Δημήτριος, Νικόλαος και Παναγιώτης γέμισαν τα χρόνια μου στην Κέρκυρα με όμορφες αναμνήσεις και υπήρξαν πολύτιμοι συνοδοιπόροι μου. Στη σύντροφό μου Ιωάννα, η οποία παρέμεινε στοργική, υποστηρικτική και κατανοητική μέχρι και το τέλος, θέλω να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου και να της χαρίσω από εδώ και στο εξής απλόχερα τις όμορφες στιγμές που της αξίζουν.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Στέργιο Παλαμά, Επίκουρο καθηγητή του Ιονίου Πανεπιστημίου, για την ευκαιρία που μου προσέφερε να εργαστώ σε ένα θέμα το οποίο πραγματικά με ενδιαφέρει, την κατανόησή του αλλά και το χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Στο ίδιο πλαίσιο ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις καθηγήτριες και τους καθηγητές του Τμήματος Πληροφορικής για τις γνώσεις που με βοήθησαν να αποκτήσω, τη φοιτητική μέριμνα του πανεπιστημίου αλλά και τη γραμματεία του τμήματος που ήταν πάντα πρόθυμοι να κάνουν το καθήκον τους.

Οφείλω επίσης ένα στερνό ευχαριστώ στους ανθρώπους που βρέθηκαν στο δρόμο μου και περάσαμε όμορφες στιγμές κάνοντας παρέα κατά τη διάρκεια των χρόνων μου ως φοιτητής. Ενώ αυτό το ταξίδι μου φτάνει στο τέλος του, τους σκέφτομαι νιώθοντας μια χαρμολύπη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό να αναδείξει την εξέλιξη της επαυξημένης πραγματικότητας στον τομέα της πληροφορικής. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της είναι να εξετάσει τη διαθεσιμότητα εργαλείων και την ευκολία χρήσης τους για τη δημιουργία μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας προσιτής στο μέσο χρήστη, καθώς και να διερευνήσει τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των εργαλείων αυτών.

Βασικό μέρος της εργασίας αποτελεί μια ιστορική ανασκόπηση εφαρμογών της τεχνολογίας αυτής, τόσο ως μελέτες περιπτώσεων όσο και προς απόδειξη της μεγάλης ιστορίας και ανάπτυξης της επαυξημένης πραγματικότητας.

Έπειτα παρατίθενται διάφορα διαθέσιμα εργαλεία για την ανάπτυξη μιας τέτοιας εφαρμογής κατά την περίοδο της συγγραφής (2024), ενώ πραγματοποιείται σύγκρισή τους με σκοπό την ανάδειξη των εργαλείων που πραγματικά αποτελούν επιλογές στα πλαίσια μιας πτυχιακής εργασίας. Αφού βρέθηκαν τα εν λόγω εργαλεία, χρησιμοποιήθηκαν σε παραλληλία εντός μίας μόνο εφαρμογής, με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ τους όσον αφορά την ευκολία χρήσης και την απόδοσή τους. Για την αξιοπιστία της σύγκρισης, οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, ονομαστικά «Image Tracking» και «Plane Tracking», αποτελούν βασικές λύσεις που διατίθενται σε όλα σχεδόν τα διαθέσιμα εργαλεία. Για την κοινή υλοποίηση κρίθηκε ωφέλιμη επιλογή η χρήση της διαδεδομένης πλατφόρμας «Unity», στην οποία προστέθηκαν τα εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας «Vuforia Engine» και «AR Foundation» ως πακέτα επέκτασης της. Σε αυτή την αναμέτρηση λοιπόν πήραν μέρος (κατά σειρά αναφοράς) μια παλαιότερη και αναγνωρισμένη επιλογή στο χώρο για ανάπτυξη AR εμπειριών, και μια νέα αλλά πολλά υποσχόμενη.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε προδιαγραφή και ανάλυση μιας θεματικής εφαρμογής σε μορφή παιχνιδιού για κινητές συσκευές (Android), η οποία καλύπτει τις ανάγκες για την επίδειξη των δυνατοτήτων και των αδυναμιών κάθε εργαλείου. Κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής και στα δύο εργαλεία δεν παρατηρήθηκαν εμπόδια άξια αναφοράς καθώς υπάρχει και για τα δύο τους αρκετό υλικό που καλύπτει τον τρόπο δομής και λειτουργίας των μεθόδων του καθενός. Επίσης, η εμπειρία σε κάθε ένα τους ήταν επαρκώς παραμετροποιήσιμη για να ταιριάζει στις ανάγκες του έργου, έχοντας φυσικά υπόψη τους περιορισμούς των ίδιων των μεθόδων.

Τέλος στην πραγματική σύγκριση των υλοποιήσεων, το AR Core του AR Foundation αποδείχτηκε πιο αδύναμο στη μέθοδο ανίχνευσης και συγκεκριμένα της παρακολούθησης εικόνας, ενώ και τα δύο εργαλεία κρίθηκαν ισοδύναμα στη μέθοδο ανίχνευσης επιφάνειας.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Επαυξημένη Πραγματικότητα, Ανάπτυξη λογισμικού, Εφαρμογές κινητών, Ανίχνευση εικόνας, Ανίχνευση επιφάνειας

## **ABSTRACT**

The present thesis aims to highlight the evolution of augmented reality in the field of computer science. Specifically, its objective is to examine the availability of tools and their ease of use for creating an augmented reality application accessible to the average user, as well as to explore the capabilities and limitations of these tools.

A significant part of the paper comprises a historical review of applications of this technology, both as case studies and as evidence of the extensive history and development of augmented reality.

Various available tools for the development of such an application at the time of writing (2024) are presented, with a comparison aimed at identifying tools that truly represent viable options within the scope of a thesis. Once these tools were identified, they were concurrently utilized within a single application to compare their ease of use and performance. For the reliability of the comparison, the two methods used, namely "Image Tracking" and "Plane Tracking", are fundamental solutions available in almost all available tools. For the joint implementation, it was considered a beneficial choice to use the popular platform "Unity", to which the augmented reality application development tools "Vuforia Engine" and "AR Foundation" were added as its extension packages. In this comparison, therefore, the participants were (in order of reference) an older and recognized choice in the field for developing AR experiences, and a newer but promising one.

Following this, a specification and analysis of a thematic application in the form of a mobile game (for Android devices) were carried out, covering the needs for demonstrating the capabilities and weaknesses of each tool. During the development of the application using both tools, no notable obstacles were encountered, as there is sufficient material available for both covering the structure and operation of their methods. Additionally, the experience with each was sufficiently customizable to meet the project's needs, while keeping in mind the limitations of the methods themselves.

Finally, in the actual comparison of the implementations, AR Core of AR Foundation proved weaker in the image tracking method, while both tools were judged equivalent in the plane tracking method.

## **KEY WORDS**

Augmented Reality, Software development, Mobile applications, Image tracking, Plane tracking

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                    | 1  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή στην Επαυξημένη Πραγματικότητα.....        | 3  |
| 1.1 Εισαγωγή.....                                                | 3  |
| 1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας.....                               | 3  |
| 1.3 Εξοπλισμός.....                                              | 4  |
| 1.3.1 Οθόνες.....                                                | 4  |
| 1.3.2 Παρακολούθηση (tracking).....                              | 5  |
| 1.3.3 Κατά περίπτωση εξοπλισμός.....                             | 6  |
| 1.4 Εφαρμογές.....                                               | 7  |
| 1.4.1 Ιστορική αναδρομή.....                                     | 7  |
| 1.4.2 Η Επαυξημένη Πραγματικότητα σήμερα.....                    | 22 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Πλατφόρμες και Εργαλεία Ανάπτυξης Εφαρμογών AR..... | 24 |
| 2.1 Διαθέσιμες λύσεις/πλατφόρμες.....                            | 24 |
| 2.2 Συγκριτική θεώρηση διαθέσιμων λύσεων.....                    | 26 |
| 2.2.1 Vuuforia Engine.....                                       | 27 |
| 2.2.2 AR Foundation.....                                         | 29 |
| 2.2.3 Συμπεράσματα Σύγκρισης.....                                | 34 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Υλοποίηση AR Εφαρμογής για κινητές συσκευές.....    | 36 |
| 3.1 Ανάλυση της εφαρμογής.....                                   | 36 |
| 3.1.1 Λειτουργικές απαιτήσεις.....                               | 36 |
| 3.1.2 Μη λειτουργικές απαιτήσεις.....                            | 37 |
| 3.2 Σχεδίαση της εφαρμογής.....                                  | 38 |
| 3.2.1 Ροή πλοήγησης χρήστη.....                                  | 38 |
| 3.2.2 Σχεδίαση λογικής της λειτουργικότητας.....                 | 41 |
| 3.3 Ανάπτυξη της εφαρμογής.....                                  | 43 |
| 3.3.1 Προετοιμασία.....                                          | 43 |
| 3.3.2 Υλοποίηση.....                                             | 43 |
| 3.3.3 Επίδειξη.....                                              | 59 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....        | 60 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                | 63 |

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των κινητών συσκευών σε συνδυασμό με τη συνεχώς αυξανόμενη πρόσβαση μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού στον πλανήτη σε αυτές, έχει ανοίξει νέους ορίζοντες για τη δημιουργία εφαρμογών που ενσωματώνουν την επαυξημένη πραγματικότητα. Η AR επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους μέσω της προβολής εικονικών αντικειμένων και πληροφοριών σε αυτό, προσφέροντας έτσι εντυπωσιακές δυνατότητες σε διάφορους τομείς.

Το εξεταζόμενο θέμα αποτελεί ενδιαφέρον πεδίο στον τομέα της πληροφορικής, όχι μόνο για τα άτομα του κλάδου, εφόσον γίνεται πλέον όλο και περισσότερο κομμάτι της καθημερινότητάς μας, αποκτώντας εφαρμογές στην ψυχαγωγία, τη διασκέδαση, την κοινωνική ζωή, το εμπόριο, τη βιομηχανία, την εκπαίδευση, την τέχνη και την ιατρική, ενώ η λίστα μεγαλώνει συνεχώς. Με βασικές ακόμη τεχνικές που προσφέρουν τα διαθέσιμα εργαλεία, μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένες και εντυπωσιακές εμπειρίες στους χρήστες.

Τα βασικά ερευνητικά προβλήματα που τίθενται στο σημείο αυτό, είναι πως μπορεί κανείς να αναπτύξει μια εφαρμογή για κινητές συσκευές, που να ενσωματώνει βασικές λειτουργίες AR και τι επιλογές έχει όσον αφορά τα εργαλεία που θα τον βοηθήσουν να το πετύχει, με σκοπό τη βελτίωση της αντίληψης μιας εμπειρίας μέσω μιας ευχάριστης διαδικασίας.

Ο σκοπός εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι διττός. Πρώτον να εξεταστεί η διαθεσιμότητα και η ευκολία χρήσης εργαλείων για την δημιουργία μιας AR εμπειρίας προσβάσιμη από το μέσο χρήστη, μέσω της ανάπτυξης μιας AR εφαρμογής κινητών συσκευών. Δεύτερον, να διερευνηθούν οι δυνατότητες και οι περιορισμοί των επιλεχθέντων εργαλείων μέσα από τη σύγκρισή τους στα πλαίσια της εν λόγω υλοποίησης.

Η εργασία χωρίζεται σε διάφορα κεφάλαια, ενότητες και υποενότητες. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια της επαυξημένης πραγματικότητας, η σχέση της με συγγενείς όρους και η διαφοροποίησή τους. Επίσης εξηγείται η διαδικασία με την οποία η επαυξημένη πραγματικότητα πετυχαίνει το στόχο της και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά στα οποία βασίζεται για να το κάνει. Επιπλέον αναφέρονται εφαρμογές της και σημαντικά για αυτήν σημεία από την αρχή της μέχρι και σήμερα, με σκοπό την ιστορική αναδρομή, τη μελέτη των περιπτώσεων αλλά και των πεδίων εφαρμογής. Έπειτα στο δεύτερο κεφάλαιο απαριθμούνται και εξετάζονται τα πιο γνωστά διαθέσιμα εργαλεία που έχει ο σύγχρονος προγραμματιστής στη διάθεσή του, με την προοπτική χρήσης των πραγματικών επιλογών στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση και η σχεδίαση μιας πρωτότυπης AR εφαρμογής για κινητά με βάση τις πραγματικές διαθέσιμες λύσεις, και στη συνέχεια δίνονται λεπτομέρειες ως προς την υλοποίησή της. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας και των αποκομισμένων συμπερασμάτων καθώς και σχόλια σχετικά με μελλοντικές βελτιώσεις ή επεκτάσεις της εφαρμογής.

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να συμβάλει στην κατανόηση και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας AR σε κινητές συσκευές, ενθαρρύνοντας την εξέλιξη των εφαρμογών που μπορούν να δημιουργηθούν σε αυτόν τον επαναστατικό τομέα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή στην Επαυξημένη Πραγματικότητα

## 1.1 Εισαγωγή

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα, κυρίως γνωστή ως Augmented Reality ή AR, αποτελεί ένα τεχνολογικό επίτευγμα το οποίο συνδυάζει τον απτό κόσμο με τον ψηφιακό, επαναπροσδιορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε το περιβάλλον μας και αλληλεπιδρούμε με αυτό. Εξ ορισμού, η τεχνολογία AR επαυξάνει την πραγματικότητα μας προσθέτοντας εικονικά στοιχεία στο φυσικό μας περιβάλλον. [01][02]

Σε αντίθεση με την συγγενική του, Εικονική Πραγματικότητα, αλλιώς γνωστή ως Virtual Reality ή VR, η AR διατηρεί το πλαίσιο του πραγματικού κόσμου και στη συνέχεια το εμπλουτίζει με συμπληρωματικά επίπεδα πληροφοριών με τα οποία ο χρήστης συνήθως καλείται να αλληλεπιδράσει. Από την άλλη η VR είναι μια τεχνολογία η οποία βάζει το χρήστη στο επίκεντρο μιας εξ ολοκλήρου εικονικής εμπειρίας.

Ως συνδυασμός των δύο παραπάνω προκύπτει η Μεικτή Πραγματικότητα, αλλιώς γνωστή ως Mixed Reality ή MR, η οποία κάνει χρήση των AR και VR με σκοπό την προσθήκη στοιχείων εικονικής πραγματικότητας ως πρόσθετες στρώσεις στον πραγματικό κόσμο (όπως θα έκανε και η AR), δίνοντας όμως τη δυνατότητα στα στοιχεία κάθε πραγματικότητας (κατ επέκταση και στο χρήστη) να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με σύνθετο τρόπο αλλά και μεγάλη ακρίβεια στην εξομοίωση της φυσικής πίσω από αυτό (κίνηση, φωτισμός, αναπήδηση κ.ο.κ.) καθώς επίσης και στον υπολογισμό της τοποθέτησης των στοιχείων στο χώρο. Κάτι το οποίο δεν είναι ο στόχος της AR, αν και μπορεί να το κάνει ως ένα βαθμό.

Τέλος η Εκτεταμένη Πραγματικότητα, αλλιώς γνωστή ως Extended Reality ή XR είναι ένας γενικός όρος που καλύπτει όλους τους τύπους τεχνολογιών που ενισχύουν τις αισθήσεις μας και συμπεριλαμβάνει τις τρεις που προαναφέρθηκαν ως υποκατηγορίες της. [03]

## 1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Οι βασικές αρχές λειτουργίας της επαυξημένης πραγματικότητας περιλαμβάνουν την ανίχνευση του περιβάλλοντος, την επεξεργασία πληροφοριών, την προβολή και στοίχιση εικονικών στοιχείων στο περιβάλλον καθώς και τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με αυτά, δίνοντας στον χρήστη την εντύπωση ότι αυτά τα στοιχεία ενσωματώνονται αβίαστα στον πραγματικό κόσμο.

Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνει τα παραπάνω βασίζεται σε ένα περίπλοκο σύνολο από αισθητήρες, κάμερες και προηγμένους αλγόριθμους, τα οποία αποσκοπούν στην ανίχνευση και παρακολούθηση από επιφάνειες, εικόνες, αντικείμενα και περιβάλλοντα του πραγματικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χρήση των καμερών

και άλλων αισθητήρων, ώστε η AR εφαρμογή να έχει μια πρώτη αντίληψη του χώρου, από τον οποίο λαμβάνονται αρχικά δεδομένα. Στη συνέχεια αυτά αξιοποιούνται από τους αλγορίθμους με σκοπό τη δημιουργία αίσθησης προσανατολισμού, βάθους και φωτεινότητας περιβάλλοντος και κατ'επέκταση την ακριβή τοποθέτηση των εικονικών στοιχείων στην αρχική εικόνα του χρήστη, τα οποία ιδανικά θα είναι άψογα ενσωματωμένα σε αυτή. Τα εικονικά αυτά στοιχεία μπορεί να είναι από απλό σταθερό κείμενο, εικόνες, βίντεο έως και περίπλοκα τρισδιάστατα μοντέλα με εφέ κίνησης.

Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι υπεύθυνοι για την τοποθέτηση, την παρακολούθηση και την ενημέρωση της θέσης των ψηφιακών στοιχείων στην εικόνα που έχει η εφαρμογή για το φυσικό περιβάλλον του χρήστη, με βάση τα δεδομένα από τις κάμερες και τους αισθητήρες, ενώ αξίζει να αναφερθεί πως αποτελούν ένα υποσύνολο της Τεχνητής Νοημοσύνης, καθώς και το βασικό άξονα της AR τεχνολογίας. Όπως αποδεικνύεται μέσα από τα ίδια τα εργαλεία, διάφορες εκδοχές τέτοιων αλγορίθμων έχουν αναπτυχθεί για ποικίλες χρήσεις. Σε δεύτερη φάση, η ποιότητα της εμπειρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των αισθητήρων αλλά αυτό είναι ένα θέμα το οποίο δε θα αποτελέσει αντικείμενο προς εξέταση στην παρούσα εργασία.

### **1.3 Εξοπλισμός**

Για να πραγματοποιηθούν όσα περιγράφονται στο κεφάλαιο 1.2, μια συσκευή επαυξημένης πραγματικότητας χρειάζεται κατά περίπτωση, διάφορα επιμέρους υλικά. Στο σημείο λοιπόν αυτό θα γίνει απαρίθμηση και ανάλυσή τους με βάση τις χρήσεις τους στις μέχρι τώρα υλοποιήσεις.

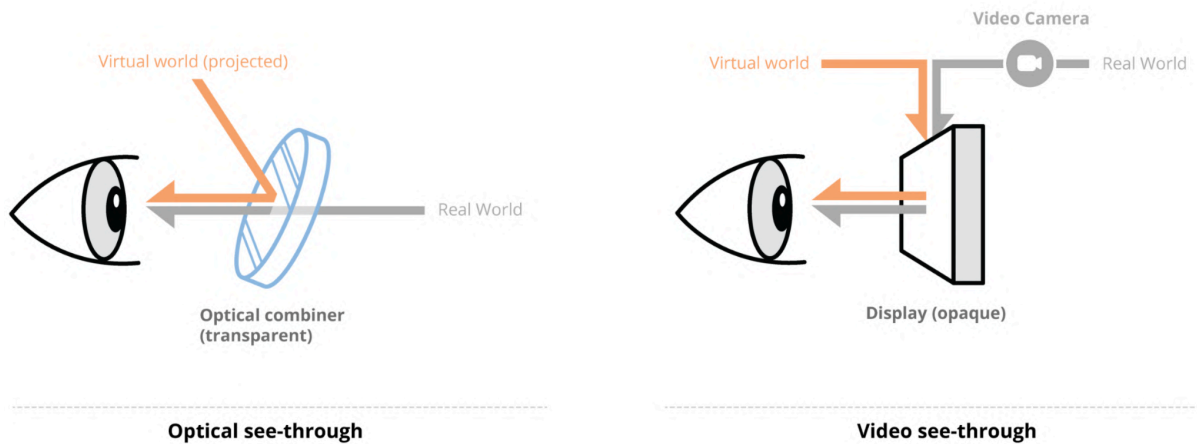
#### **1.3.1 Οθόνες**

Το πρώτο για το οποίο επιβάλλεται να γίνει λόγος είναι φυσικά κάποιου είδους οθόνη. Μέσω αυτής, ως κύριο μέσο προβολής του επιπρόσθετου περιεχομένου, ο χρήστης βρίσκεται σε θέση να βιώσει μια επαυξημένη εκδοχή του κόσμου που αντιλαμβάνεται το γυμνό μάτι του. Οι τύποι οθόνης που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς ποικίλουν με βάση το κόστος τους, τις δυνατότητες κάθε εποχής, αλλά και του στόχους που κλήθηκαν να πετύχουν.

Οι μέθοδοι προβολής που χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων στην επαυξημένη πραγματικότητα είναι οι δύο παρακάτω κατηγορίες.

Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται «optical see-through» (OST) και σε αυτή γίνεται προβολή του επιπρόσθετου περιεχομένου πάνω σε διαφανείς επιφάνειες, ως επί των πλείστων από γυαλί, χωρίς παράλληλα ο χρήστης να χάνει την άμεση οπτική επαφή με το περιβάλλον του. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε παρμπρίζ αυτοκινήτων, AR/MR HMDs τελευταίας γενιάς, smart glasses και AR φακούς επαφής.

Η δεύτερη ονομάζεται «video see-through» (VST), στην οποία το υλικό που λαμβάνει κάποια κάμερα —συνήθως τοποθετημένη κοντά στα μάτια του χρήστη— προβάλλεται μέσω μιας οθόνης, με την προσθήκη του ψηφιακού περιεχομένου μαζί με την αρχική εικόνα εντός της τελικής. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε smartphones, AR εμπειρίες με προβολείς και AR παιχνίδια από κονσόλες οικιακής χρήσης σε οθόνες-τηλεοράσεις.



#### 1.3.1.α. Διαφορά Optical και Video See-Through

#### 1.3.2 Παρακολούθηση (tracking)

Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος ενός χρήστη και η τοποθέτηση των ψηφιακών στοιχείων με ακρίβεια σε αυτό, βασίζονται σε δεδομένα που λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες που μπορεί να έχει η εκάστοτε συσκευή.

Το δεύτερο λοιπόν πιο σημαντικό συστατικό το οποίο συναντάται σε ένα σύστημα AR και συμβάλει στην επίτευξη αυτού είναι μια κάμερα ή ένα σύστημα από αυτές. Οι κάμερες μια συσκευής λοιπόν, βοηθούν το σύστημα να αποκτήσει αντίληψη του χώρου, παρέχοντας του τα πρώτα υλικά που θα χρειαστεί για τις διαδικασίες που καλείται να εκτελέσει. Αυτές μπορεί να αποτελούν για παράδειγμα την υλοποίηση μιας video see-through εμπειρίας όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 1.3.1, ή ακόμη διαδικασίες αναγνώρισης και επεξεργασίας μοτίβων που θα συμβάλουν στην τοποθέτηση, την πιο ακριβή παρακολούθηση και την διόρθωση θέσης των ψηφιακών στοιχείων «πάνω» στην αρχική εικόνα.

Ως επιπρόσθετη βοήθεια στην αντίληψη των καμερών για το περιβάλλον υπάρχουν και άλλοι αισθητήρες αντίληψής του. Ένας τύπος εξ αυτών είναι οι αισθητήρες βάθους που συνεισφέρουν συνήθως στους αλγόριθμους AR σχετικά με το μέγεθος που θα πρέπει να έχει ένα ψηφιακό αντικείμενο το οποίο μετακινείται στο χώρο, ανάλογα για παράδειγμα με το πόσο κοντά βρίσκεται στην κάμερα, ή το αν θα αποκρύπτεται τεχνητά μέρος αυτού (occlusion) σε περίπτωση που βρεθεί σε θέση στην οποία κάποιο φυσικό αντικείμενο στο χώρο, βάσει θέσης των δύο, θα πρέπει να εμφανίζεται σα να το υπερκαλύπτει. Μια άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται από τις Apple συσκευές, μέσω της υποστήριξης από την

τεχνολογία LiDAR (Light Detection And Ranging), υλοποιεί αυτό ακριβώς, με μεγάλη ακρίβεια ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, με επιπλέον εκτίμηση του φωτισμού στο χώρο για μεταγενέστερη αξιοποίησή του στην προσομοίωση του φωτισμού των ψηφιακών επιπρόσθετων στοιχείων. Κάνοντας χρήση του LiDAR αξίζει επίσης να σημειωθεί πως καθίσταται δυνατή και εύκολη η σάρωση χώρων για την δημιουργία 3D μοντέλων.

Εκτός των καμερών, βασικό ρόλο έχουν σε ένα τέτοιο σύστημα και ορισμένοι αισθητήρες για την αντίληψη αδρανειακών μονάδων μέτρησης ή Inertial Measurement Units (IMUs). Αυτές συνήθως αποτελούνται από τρία τουλάχιστον επιταχυνσιόμετρα (ένα για κάθε άξονα κίνησης), γυροσκόπιο, και κάποιες φορές μαγνητόμετρα, επιτρέποντας διορθώσεις αποκλίσεων στον προσανατολισμό, οι οποίες παρατηρούνται αρκετά συχνά στους αισθητήρες IMU.

Η επίτευξη της παρακολούθησης δε θα ήταν δυνατή χωρίς την παρουσία κάποιου επεξεργαστή, ο οποίος όντας ο κεντρικός κόμβος του υπό εξέταση συστήματος, καλείται να εκτελέσει το AR λογισμικό που περιέχει τους βασικούς αλγόριθμους τοποθέτησης, αναπαραγωγής, παρακολούθησης και ενημέρωσης του ψηφιακού περιεχομένου με βάση την ανάλυση που προκύπτει από την εισαγωγή δεδομένων που συλλέγονται από τις κάμερες, τα IMUs και τους λοιπούς αισθητήρες. Παράλληλα με αυτά καλείται να κάνει βασικές διαδικασίες αξιοποιώντας τα επιπλέον και κατά περίπτωση προαιρετικά επιμέρους υλικά που αναφέρονται παρακάτω.

### 1.3.3 Κατά περίπτωση εξοπλισμός

Ο ήχος, μέσω ακουστικών ή ηχείων, επίσης αποτελεί στοιχείο που δε μπορεί να λείπει εν έτει 2024 από μια οπτικοακουστική εμπειρία, δίνοντας μάλιστα με την προσθήκη και την κατάλληλη αξιοποίησή του ένα επιπλέον επίπεδο διαδραστικότητας και ποιότητας της εμπειρίας, για παράδειγμα με τη διαφοροποίηση της έντασης ή του τόνου κάποιου ήχου με βάση την απόστασή του από τον παρατηρητή-ακροατή. Συσκευές που υποστηρίζουν χωρικό ήχο έχουν αναπτυχθεί από διάφορες εταιρίες είτε για XR εμπειρίες είτε όχι, ανεβάζοντας το επίπεδο τόσο στην ακρόαση μουσικής, την προβολή οπτικοακουστικού υλικού (διαδραστικού ή μη) και των εμπειριών εξομοίωσης.

Για την επικοινωνία και διάδραση του χρήστη με το μικτό περιεχόμενο μιας AR εφαρμογής απαραίτητη κρίνεται συνήθως και η χρήση κάποιου μέσου εισαγωγής δεδομένων από το χρήστη προς το σύστημα. Το μέσο αυτό μπορεί να είναι μια οθόνη αφής, κάποιος είδους χειριστήριο, ένας αλγόριθμος αναγνώρισης κινήσεων, αντικειμένων ή του ίδιου του σώματος του χρήστη.

Για κάποιες εφαρμογές κινητών συσκευών, προαπαιτούμενη για τη λειτουργία τους είναι η ύπαρξη αισθητήρα γεωεντοπισμού GPS, καθώς είναι σχεδιασμένες να ενεργοποιούν ή να εναλλάσσουν το ψηφιακό περιεχόμενο προς προβολή ανάλογα με το που βρίσκεται ο χρήστης.

Διάφορες συσκευές επίσης μπορεί να χρήζουν ποικίλων συνδέσεων, όπως αυτή του Bluetooth, των δικτύων Wi-Fi ή των δικτύων κινητών με σκοπό το συγχρονισμό ή την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών, την υποστήριξη εμπειριών πολλών χρηστών, την κατ' απαίτηση λήψη περιεχομένου ή την online επεξεργασία δεδομένων.

Ανάλογα με τη φύση του συστήματος AR, πιθανή είναι επίσης η ανάγκη για τροφοδότηση κάποιων, ή και όλων των συσκευών από τις οποίες αποτελείται, με μπαταρίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα smartphones και τα αυτόνομα HMDs, με ή χωρίς παρελκόμενα.

## 1.4 Εφαρμογές

### 1.4.1 Ιστορική αναδρομή

1968

Ο επιστήμονας στον τομέα των υπολογιστών και καθηγητής του Χάρβαρντ Ivan Sutherland εφηύρε μαζί με τον φοιτητή του, Bob Sproull μια συσκευή που ονόμασε «Sword of Damocles», η οποία και αποτέλεσε την πρώτη μορφή συσκευής επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτή ήταν στην ουσία μια οθόνη με μηχανισμό στήριξης στο κεφάλι του χρήστη, γνωστή και ως Head Mounted Display (HMD) που κρεμόταν από την οροφή. Ο χρήστης μέσω αυτού μπορούσε να δει το περιβάλλον του με την προσθήκη γραφικών ακριβώς μπροστά του, και συγκεκριμένα το σκελετό ενός κύβου ο οποίος περιστρέφονταν σύμφωνα με την αντίστοιχη περιστροφή του χρήστη γύρω από τον εαυτό του. Τα HMDs χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα σε XR υλοποιήσεις τελευταίας τεχνολογίας. [04]



1.4.1α. Ο Ivan Sutherland φορώντας τη συσκευή «Sword of Damocles».

1974

Μια σημαντική εξέλιξη που ακολούθησε ήταν από τον Myron Krueger με το έργο του, εν ονόματι «Videoplace». Σε αυτό, χρησιμοποίησε ένα σύνολο προβολέων (projectors)

και βιντεοκαμερών για να δημιουργήσει σκιές (ανθρώπινες σιλουέτες), τις οποίες στη συνέχεια προέβαλε σε μια οθόνη μαζί με επιπρόσθετα γραφικά. Αυτό επέτρεπε στον χρήστη να αλληλεπιδράσει με τα γραφικά, δημιουργώντας μια αίσθηση ζωντανού και διαδραστικού περιβάλλοντος. [05]

1990

Οι επιστήμονες της Boeing, Thomas Caudell και David Mizell ανέπτυξαν ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, όπου HDMs χρησιμοποιήθηκαν προβάλλοντας εικόνες πάνω στο τι έβλεπαν οι χρήστες του, για την υποβοήθησή τους σε διαδικασίες τοποθέτησης καλωδίων στο αεροσκάφος 777. Λίγο αργότερα οι ίδιοι εδραιώνουν τον όρο «επαυξημένη πραγματικότητα». Η συγκεκριμένη εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής αποτέλεσε χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης της και παραμένει εξαιρετικά δημοφιλής στον τομέα της βιομηχανίας ακόμη και σήμερα. [06]



1.4.1β. Ο Thomas Caudell επιδεικνύοντας τη σχετική υλοποίηση.

1992

Ο Louis Rosenberg αναπτύσσει το Virtual Fixtures κατά τη διάρκεια της θητείας του στο Ερευνητικό Εργαστήριο Armstrong του Πολεμικού Αεροπορικού Στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών. Το εν λόγω έργο πραγματοποίησε μια καινοτόμο και επαναστατική σύζευξη της επαυξημένης πραγματικότητας και αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής. Αναλυτικότερα, κάνοντας χρήση ενός HMD σε συνδυασμό με έναν εξωσκελετό για το πάνω μέρος του σώματος μπορούσε κανείς μέσω αυτού να πραγματοποιήσει εργασίες μέσω απομακρυσμένων χεριών ρομπότ, υποβοηθούμενος από γραφικά στοιχεία-οδηγίες κατά τη διάρκεια τους. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε στην εκπαίδευση πιλότων της πολεμικής αεροπορίας μέσω εικονικών προσομοιώσεων μανούβρων και την εκμάθηση ασφαλέστερων μεθόδων πτήσης. Το πεδίο εφαρμογής της συγκεκριμένης ιδέας έχει πλέον επεκταθεί και σε άλλους τομείς όπου η ακριβής χρήση μηχανών κρίνεται αναγκαία, όπως η βιομηχανία και η χειρουργική ιατρική. [07][08]

1993

Ο Steven Feiner, ο Blair Macintyre και η Doree Seligmann υποβάλλουν μια εργασία για το πρότυπο KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance

Assistance). Το σύστημα KARMA μπορεί να συνδυάζει την αυτοματοποιημένη επισήμανση φυσικών αντικειμένων με την προβολή σχετικών εικονικών γραφικών και πληροφοριών, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα πλούσιο περιβάλλον-οδηγό για τους τεχνικούς συντήρησης. Η συγκεκριμένη υλοποίηση καλείται να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια των εργασιών συντήρησης, μειώνοντας τον χρόνο αναζήτησης πληροφοριών και αυξάνοντας την ασφάλεια καθώς και την ακρίβεια των διαδικασιών. [09]



1.4.1γ. Επίδειξη του συστήματος KARMA.

1996

Το 1996, ο Schmalstieg και η ομάδα του παρουσίασαν το Studierstube, ένα πρωτοποριακό σύστημα AR που επέτρεπε τη συνεργασία πολλών χρηστών. Αυτό το καινοτόμο σύστημα επέτρεπε σε πολλούς συμμετέχοντες να αλληλεπιδρούν με εικονικές οντότητες μέσα σε ένα κοινό πραγματικό περιβάλλον. Κάθε συμμετέχων φορούσε μια παρακολουθούμενη οθόνη που τοποθετείται στο κεφάλι (HMD), η οποία παρουσίαζε μια ξεχωριστή, προοπτικά ορθή στερεοσκοπική προβολή. Αυτό που έκανε το Studierstube να ξεχωρίζει ήταν η ικανότητά του να διατηρεί τις φυσικές μεθόδους επικοινωνίας, όπως η φωνή, οι χειρονομίες και η γλώσσα του σώματος, καθώς τα εικονικά στοιχεία ενσωματώθηκαν απρόσκοπτα στο τυπικό περιβάλλον συνεργασίας χωρίς σημαντικές διαταραχές. Μια περίπτωση χρήσης αυτού του συστήματος ήταν η εφαρμογή του σε μια τάξη γεωμετρίας, η οποία δοκιμάστηκε αποτελεσματικά με μαθητές λυκείου. [10]



1.4.1δ. Δουλεύοντας στο Construct3D. Ο καθηγητής βοηθά τους μαθητές ενώ εργάζονται στο μοντέλο.

1997

Ο Steve Mann πειραματίζεται στο MIT Media Lab στα πλαίσια αυτού που ονόμασε «Mediated Reality». Η συγκεκριμένη υλοποίηση είχε ως βάση έναν φορητό υπολογιστή σε συνδυασμό με ένα video see-through HMD, το οποίο επέτρεπε στο χρήστη να βιώνει μια επαυξημένη οπτική πραγματικότητα. Μέσω του έργου WearCam, ο Mann διερεύνει τη «φορητή πληροφορική» και τη διαμεσολαβημένη πραγματικότητα. Το έργο του έπαιξε μεγάλο ρόλο στην καθιέρωση της φορητής πληροφορικής ως ακαδημαϊκό πεδίο, η οποία, κατά την πρώτη περίοδο της ζωής της συμπεριλάμβανε πολύ συχνά την επαυξημένη πραγματικότητα. [11][12]

Λίγο αργότερα τον ίδιο χρόνο ο Steven Feiner, ο Blair MacIntyre, ο Tobias Höllerer και ο Tony Webster, δημιουργούν το πρώτο γνωστό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας με optical see-through HMD, για εξωτερική χρήση. Το σύστημα βασιζόταν εκτός από το HMD, σε έναν υπολογιστή με διάφορους αισθητήρες και GPS τον οποίο ο χρήστης κουβαλούσε σε τσάντα πλάτης. Αυτό του έδινε τη δυνατότητα να περιηγηθεί στην πανεπιστημιούπολη του Columbia University βλέποντας πληροφορίες για τα κτίρια και τα τμήματά τους. Στη συνέχεια δινόταν η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ένα τμήμα και να περιηγηθεί στην ιστοσελίδα του, μέσω μιας φορητής συσκευής που έμοιαζε με μια πρόωμη μορφή ενός tablet, συνδεδεμένης ασύρματα στο διαδίκτυο. [13]



1.4.1ε. Επίδειξη της συσκευής στο χώρο της πανεπιστημιούπολης.

1998

Η Sportsvision χρησιμοποιεί για πρώτη φορά έναν εικονικό κίτρινο δείκτη που χρησιμοποιείται για να αναδείξει το «first down» κατά τη διάρκεια ενός ζωντανού αγώνα NFL. Παραλλαγές της συγκεκριμένης υλοποίησης χρησιμοποιούνται ακόμη σε διάφορα αθλήματα. [14]

Ο Bruce Thomas και η ομάδα του παρουσιάζουν το «Map-In-The-Hat», ένα φορητό υπολογιστικό σύστημα που φοριέται σαν σακίδιο πλάτης, εξοπλισμένο με GPS, μια ηλεκτρονική πυξίδα και ένα HMD. Η αρχική υλοποίηση του συστήματος είχε ως στόχο την περιήγηση σε ένα χώρο στον πραγματικό κόσμο, αλλά αργότερα εξελίχθηκε στο Tinmith (This-Is-Not-Map-In-The-Hat), μια ευέλικτη και ισχυρή για την εποχή πλατφόρμα AR που αποτέλεσε τη βάση για διάφορα έργα AR. [15][16]

1999

Οι ερευνητές του Πολεμικού Ναυτικού αρχίζουν να εργάζονται πάνω στην Επαυξημένη Πραγματικότητα Πεδίου Μάχης (Battlefield Augmented Reality - BARS). [17]

Η NASA ενσωματώνει ένα σύστημα AR στο X-38 διαστημόπλοιό της, για υποβοήθηση των πιλότων σε δοκιμαστικές πτήσεις. [18]

Ο Hirokazu Kato δημιουργεί το ARToolKit, την πρώτη πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα για AR. Περιείχε μια βιβλιοθήκη τρισδιάστατης παρακολούθησης που χρησιμοποιούσε ασπρόμαυρα διακριτικά, εύκολα στην δημιουργία και την εκτύπωση. Ο έξυπνος σχεδιασμός του λογισμικού, σε συνδυασμό με την αυξημένη διαθεσιμότητα των webcams, έκανε το ARToolKit ευρέως δημοφιλές για μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ άνοιξε παράλληλα το δρόμο για την πραγματοποίηση πλήθους ερευνών επί της επαυξημένης πραγματικότητας. [19]



1.4.1ς. Επίδειξη του AR ToolKit.

#### *Τέλη δεκαετίας του 1990*

Το Γερμανικό Ομοσπονδιακό Υπουργείο Εκπαίδευσης και Έρευνας ξεκινά ένα πρόγραμμα για βιομηχανική AR, το ARVIKA. Διάφορες ερευνητικές ομάδες δούλεψαν με σκοπό την ανάπτυξη συστημάτων AR, ιδίως για τη γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία, πράγμα το οποίο συνέβαλε στην προώθηση της επαυξημένης πραγματικότητας στο χώρο της βιομηχανίας. [20]

Αρχίζουν να διοργανώνονται διάφορα συνέδρια και οργανισμοί σχετικά με την AR, όπως:

- Το International Symposium on Augmented Reality (ISAR) και το International Symposium on Mixed Reality (ISMR), τα οποία λίγο αργότερα συγχωνεύονται στο International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). [21]
- Το εργαστήριο Designing Augmented Reality Environments (DARE). [22]
- Το Εργαστήριο Συστημάτων Μικτής Πραγματικότητας ή Mixed Reality systems Laboratory (MRLab). [23]

2000

Το παιχνίδι AR Quake, μια έκδοση επαυξημένης πραγματικότητας του δημοφιλούς παιχνιδιού, κυκλοφορεί. Το εν λόγω παιχνίδι βασίζεται σε ένα σύστημα από HMD, φορητό υπολογιστή, ανιχνευτή κεφαλής και GPS, και επέτρεπε στο χρήστη να περιηγηθεί στο φυσικό περιβάλλον και να συμμετέχει σε μάχες με εικονικούς αντιπάλους από το σύμπαν του Quake. Η υλοποίησή του έγινε στην πλατφόρμα Tinmith. [24]



1.4.1ζ. Επίδειξη του παιχνιδιού AR Quake.

2003

Οι Wagner και Schmalstieg κατάφεραν να αναπτύξουν μια πρωτοποριακή AR φορητή συσκευή, η οποία λειτουργούσε ανεξάρτητα ως προσωπικός ψηφιακός βοηθός βασισμένος στο ARToolKit το οποίο προσαρμόστηκε να λειτουργεί σε μια συσκευή PocketPC Windows CE. Η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να θεωρηθεί πρόδρομος των σύγχρονων smartphones. [25]



1.4.1η. Αναπαράσταση συνεδρίας EyeToy: Play.

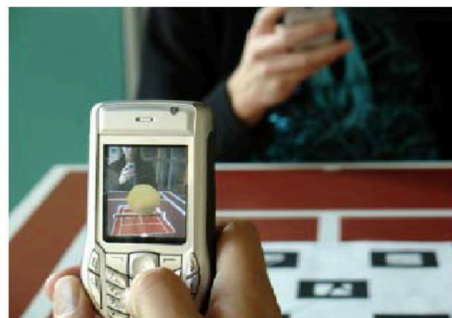
Η Sony Playstation λανσάρει το EyeToy με παιχνίδια όπως το EyeToy: Play, τα οποία τοποθετούσαν έναν έως 4 παίκτες ταυτόχρονα μέσα στο παιχνίδι μέσω μιας κάμερας. Ο χρήστης έκανε κινήσεις με το σώμα του για να σημειώσει πρόοδο στο παιχνίδι ή να νικήσει τους αντιπάλους του. Η Sony συνέχισε να ενσωματώνει το AR και σε άλλες κονσόλες της, όπως στο παιχνίδι του PSP «Invizimals: Shadow Zone» του 2010, λίγα παιχνίδια στο PlayStation 3 και την τελευταία μέχρι τώρα AR υλοποίηση της στο PSVita 2011 με αναμενόμενα βελτιωμένη AR εμπειρία. Την κίνησή της ακολούθησαν και εταιρείες όπως η

Nintendo με το 3DS το 2011. Άλλες κονσόλες όπως τα Microsoft Xbox 360 και Nintendo Wii παρόλο που έκαναν χρήση για την ανίχνευση του περιβάλλοντος και των κινήσεων του χρήστη, έδιναν ένα εξ ολοκλήρου ψηφιακό αποτέλεσμα, μην κάνοντας χρήση οπτικών στοιχείων από την κάμερα. [26][27][28][29][30][31]

2005

Το «Αόρατο Τρένο» υλοποιείται από τον Pintaric και την ομάδα του, και αποτελεί ένα παιχνίδι AR πολλαπλών παικτών για φορητές συσκευές. Η παρουσίαση του εν λόγω έργου πραγματοποιήθηκε στον εκθεσιακό χώρο του SIGGRAPH Emerging Technologies, όπου πολλοί χρήστες είχαν την ευκαιρία να το δουν από κοντά. [32][33]

Αξιοποιώντας τις δυνατότητες των σύγχρονων κινητών συσκευών, η Nokia παρουσιάζει ένα παιχνίδι τένις σε AR. Σχεδιασμένο ειδικά για τα Nokia 6600 και 6630, χάρη στις ανώτερες οθόνες, τους επεξεργαστές και τις κάμερες τους, το παιχνίδι αυτό επέτρεπε στους χρήστες να παίζουν εικονικό τένις, χτυπώντας μια μπάλα ψηφιακών γραφικών, με τα κινητά τους ως ρακέτες παίζοντας σε ένα επίσης ψηφιακό γήπεδο που έκανε την εμφάνισή του μπροστά από τους χρήστες. Το παιχνίδι χρησιμοποιούσε επικοινωνία Bluetooth μεταξύ των συσκευών για να διασφαλίσει τη συντονισμένη κίνηση της μπάλας στις συσκευές και των δύο συμμετεχόντων. [34]



1.4.10. Επίδειξη της λειτουργίας του AR Tennis με αντίπαλο και εικονικό γήπεδο.

2008

Η BMW κάνει επιστράτευση της AR τεχνολογίας για τη διαφημιστική καμπάνια του νέου της MINI Cabrio, ανιχνεύοντας μέσω webcam την επιφάνεια του σχετικού φυλλαδίου της και προβάλλοντας το 3D μοντέλο του αυτοκινήτου πάνω της. [35]



#### 1.4.1α. Επίδειξη της υλοποίησης με χρήση του διαφημιστικού φυλλαδίου της BMW, μέσω webcam σε laptop.

Μια από τις σημερινές διαθέσιμες λύσεις στην υλοποίηση AR εμπειριών, το Wikitude της Mobilizy, κυκλοφορεί μια εφαρμογή για κινητά με το όνομα Wikitude World Browser, σε παραλληλία με την κυκλοφορία του πρώτου κινητού Android. Μέσω της εφαρμογής αυτής ο χρήστης μπορούσε να στρέψει την κάμερα της συσκευής του στο περιβάλλον του, να γίνει αναγνώριση σημείων ενδιαφέροντος και στη συνέχεια προσθήκη ψηφιακών στοιχείων σχετικά με αυτά πάνω τους. Η εφαρμογή αντλούσε τα στοιχεία και τις φωτογραφίες από διαφορετικές ανεξάρτητες υπηρεσίες. [36]

2009

Το περιοδικό Esquire σε συνεργασία με τον Robert Downey Jr. πραγματοποιεί μια ολόκληρη εμπειρία AR στο έντυπό του υλικό. Με τη χρήση του εν λόγω λογισμικού μπορούσε κανείς μέσω κάμερας να σαρώσει τον κωδικό του τεύχους και να παρακολουθήσει τον ηθοποιό να ξεπετάγεται από το εξώφυλλο μαζί με άλλα γραφικά, να μιλά στο χρήστη αλλά και να πραγματοποιεί συγκεκριμένες ενέργειες ανάλογα με την οπτική γωνία της κάμερας προς την επιφάνεια του περιοδικού. [37][38]



#### 1.4.1α. Το εξώφυλλο του AR τεύχους από το περιοδικό Esquire.

Η Laya, μια προηγμένη για την εποχή AR browser εφαρμογή για κινητά, κάνοντας χρήση του GPS και του 3G της συσκευής, φέρνει τη δική της, καλύτερη εκδοχή αυτού που έκανε το Wikitude World Browser το 2008, με τη βασική διαφορά ότι σε αυτήν, οι ίδιοι οι χρήστες μπορούσαν να προσθέσουν τα δικά τους tags μέσω μιας διεπαφής (οπτικά όμοιας με το Google maps) μέσω της ίδιας της πλατφόρμας, δημοσιεύοντας ευκαιρίες για σπίτια ή εργασία, προτάσεις για μαγαζιά, αξιολογήσεις και άλλα. [39]

2011

Την εμφάνισή της κάνει η πρώτη εκδοχή της Vuforia, παρέχοντας στους προγραμματιστές τη δυνατότητα να δημιουργήσουν AR εμπειρίες με τη χρήση δεικτών (marker-based), αναγνωρίζοντας και ιχνηλατώντας τους, με σκοπό την προσθήκη εικονικού περιεχομένου πάνω τους, περίπου όπως γινόταν και με το ARToolKit. Αποκτά επίσης επιλογή ενσωμάτωσης με τη Unity επιτρέποντας σε προγραμματιστές να χρησιμοποιούν μια πλατφόρμα με μεγάλη κοινότητα και απήχηση, για την ανάπτυξη AR εμπειριών. Η κίνηση αυτή έκανε τη Vuforia πιο προσιτή για ένα ευρύτερο φάσμα προγραμματιστών. [40]

2013

Η Volkswagen αναπτύσει την εφαρμογή MARTA (Mobile Augmented Reality Technical Assistance) ως έναν εικονικό οδηγό για την επισκευή αυτοκινήτων Volkswagen. Ο τεχνικός χρησιμοποιούσε την εφαρμογή σε ένα iPad που ήταν στραμμένο προς ένα αυτοκίνητο. Στη συνέχεια, τρισδιάστατα μέρη του αυτοκινήτου έκαναν την εμφάνισή τους, ενώ παράλληλα δίνονταν οδηγίες για τη συντήρηση και την επισκευή του οχήματος. [41]



1.4.1ιβ. Επίδειξη της εφαρμογής MARTA σε iPad.

2014

Η Google αποκαλύπτει στον κόσμο τα νέα της γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας, επιτρέποντας στους χρήστες να βιώσουν την AR με έναν νέο τρόπο. Σχεδιασμένα με ελαφρύ σκελετό, διέθεταν μια μικρή οθόνη στην επάνω δεξιά γωνία, παρέχοντας στους χρήστες ψηφιακές πληροφορίες χωρίς να εμποδίζουν το πεδίο της όρασής τους. Τα γυαλιά θα

μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με πολλαπλές εφαρμογές της Google, όπως οι χάρτες Google. Ο έλεγχος της συσκευής ήταν κυρίως φωνητικός. [42]

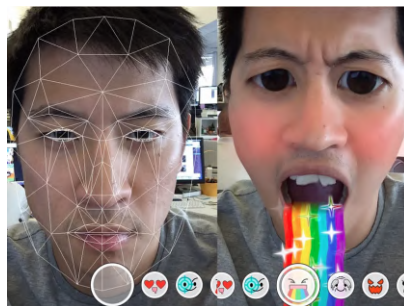


#### 1.4.1γ. Google Glass γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας.

Τον ίδιο χρόνο η Google παρουσίασε επίσης το Project Tango, ένα έργο που εισήγαγε προηγμένες δυνατότητες αντίληψης χώρου για βελτιωμένες εμπειρίες AR. Αυτό έθεσε τα θεμέλια για το ARCore και αργότερα (2017) αποσύρθηκε για να δώσει τη θέση του σε αυτό. [43]

2015

Για πρώτη φορά στις πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης γίνεται διαθέσιμη η AR τεχνολογία από την εφαρμογή Snapchat. Η υλοποίησή της αφορά την εφαρμογή φίλτρων στην εικόνα που δέχεται μια συσκευή μέσω της κάμεράς της. Τα λεγόμενα «Lenses» πολύ γρήγορα έκλεψαν τις εντυπώσεις, κερδίζοντας την προσοχή τόσο των χρηστών όσο και άλλων εταιρειών. Μετά την επιτυχία του Snapchat, τη συγκεκριμένη πορεία ακολουθούν και άλλες πλατφόρμες όπως το Facebook και το Instagram, εδραιώνοντας έτσι μια νέα τάση στα κοινωνικά δίκτυα η οποία κρατά πολύ καλά μέχρι και σήμερα. Η επιτυχία της λογικής των φίλτρων στα κοινωνικά δίκτυα θεωρείται ευρέως πως ευδοκίμησε με τον τρόπο αυτό, εν μέρει λόγω της διαφήμισης της λειτουργίας από τους ίδιους τους χρήστες. [44][45][46]



#### 1.4.1ιδ. Επίδειξη του «Rainbow Puke», ενός από τα πρώτα lenses του Snapchat.

2016

HMD συσκευές AR όπως το Meta 2 και το Microsoft HoloLens κάνουν την εμφάνισή τους και μπαίνουν δυνατά στην αγορά. [47][48]



#### 1.4.1ιε. HMD επαυξημένης πραγματικότητας Meta 2.

Το HoloLens κάνει για πρώτη φορά στην AR χρήση του ToF (Time of Flight) για την ενίσχυση των δυνατοτήτων χωρικής χαρτογράφησης και αλληλεπίδρασης. Ο αισθητήρας εκπέμπει ακτίνες υπέρυθρου φωτός, οι οποίοι ανακλώνται από αντικείμενα στο περιβάλλον και επιστρέφουν στον αισθητήρα. Μετρώντας το χρόνο που χρειάζονται οι ακτίνες αυτές για να ταξιδέψουν προς και από κάθε επιφάνεια, το HoloLens υπολογίζει την απόσταση από διάφορα αντικείμενα. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη δημιουργία ενός λεπτομερούς χάρτη βάθους του περιβάλλοντος, επιτρέποντας την ακριβή τοποθέτηση ψηφιακού περιεχομένου και την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτό σε πραγματικούς χώρους. [49]



#### 1.4.1ις. HMD επαυξημένης πραγματικότητας Microsoft HoloLens.

Το παιχνίδι Pokémon GO κυκλοφορεί από την Niantic και δίνει τη δυνατότητα σε παίκτες αλλά και άτομα ενθουσιασμένα με το concept να δουν φανταστικά πλάσματα σε μορφή ψηφιακών animated 3D μοντέλων στον πραγματικό κόσμο. Η εφαρμογή κυκλοφόρησε για smartphones και χρησιμοποιούσε την τοποθεσία του χρήστη, την κάμερα και τα δεδομένα του για το σκοπό αυτό. Έως και σήμερα το Pokemon GO αποτελεί μια δημοφιλή υλοποίηση παιχνιδιού επαυξημένης πραγματικότητας για κινητές συσκευές, ενώ συνεχίζει να έχει ενεργή κοινότητα εξάπτοντας συνεχώς το ενδιαφέρον των χρηστών. Άλλες εφαρμογές προσπάθησαν αργότερα να ακολουθήσουν την ίδια λογική, χωρίς όμως ανάλογη επιτυχία. [50]

2017

Η Apple και η Google κυκλοφορούν τα δικά τους SDKs, αντίστοιχα ARKit και ARCore, για την υποστήριξη και την ανάπτυξη AR εμπειριών για τις συσκευές τους, προκαλώντας μεγάλη έξαρση στην ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών. [51][52]

Η IKEA λανσάρει την εφαρμογή IKEA Place, με σκοπό να βελτιώσει την εμπειρία αγοράς επίπλων. Μέσω της εφαρμογής, οι χρήστες μπορούν να τοποθετήσουν εικονικά έπιπλα στον χώρο τους χρησιμοποιώντας την κάμερα του κινητού ή του tablet τους, με

απώτερο σκοπό να φανταστούν πώς θα φαινόταν ένα έπιπλο στον πραγματικό τους χώρο πριν το αγοράσουν. [53]



1.4.1ιζ. Επίδειξη της εφαρμογής IKEA Place.

Η γκαλερί τέχνης AGO στο Οντάριο του Καναδά πραγματοποίησε τη δική της έκθεση AR το 2017 με την ονομασία ReBlink. Η εμπειρία ReBlink συνδύασε την παραδοσιακή τέχνη με την τεχνολογία AR. Ως εκ τούτου, οι επισκέπτες μπορούσαν να σαρώσουν ιστορικούς πίνακες ζωγραφικής με τα smartphones τους και να παρακολουθήσουν την τέχνη να ζωντανεύει, αναδεικνύοντας την αντίθεση μεταξύ της παλιάς τέχνης και της σύγχρονης τεχνολογίας. [54]



1.4.1η. Επίδειξη της εφαρμογής ReBlink από την έκθεση της γκαλερί AGO στον Καναδά.

2018

Η Unity ανακοινώνει και κυκλοφορεί το AR Foundation. Το framework αυτό είχε ως στόχο να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις της ανάπτυξης εφαρμογών AR για πολλαπλές πλατφόρμες με διαφορετικές τεχνολογίες AR και APIs. Το AR Foundation υποστηρίζει τα ARKit και ARCore που αναφέρθηκαν προηγουμένως, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να δημιουργούν εμπειρίες AR που είναι συμβατές με ένα ευρύ φάσμα συσκευών. Το AR Foundation απλοποιεί τη διαδικασία ανάπτυξης και μειώνει την ανάγκη για κώδικα που σχετίζεται με συγκεκριμένη πλατφόρμα. Αυτό διευκολύνει τους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές AR που μπορούν να τρέξουν τόσο σε συσκευές iOS όσο και σε συσκευές Android. [55]

Η 8th Wall κυκλοφορεί μια διαδικτυακή πλατφόρμα AR, η οποία επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εμπειρίες AR που εκτελούνται απευθείας σε προγράμματα περιήγησης ιστού. Αυτή η διαδικτυακή προσέγγιση διευκόλυνε τους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε περιεχόμενο AR χωρίς να κατεβάζουν ειδικές εφαρμογές. Η πλατφόρμα περνά στην ιδιοκτησία της Niantic το 2022. [56]

Τον ίδιο χρόνο, το Google Arts & Culture λανσάρει τη λειτουργία «Art Projector» στην εφαρμογή του, επιτρέποντας στους χρήστες να χρησιμοποιούν την επαυξημένη πραγματικότητα για να προβάλλουν διάσημα έργα τέχνης στο περιβάλλον τους. [57]

Το Google Maps κυκλοφορεί δική του εφαρμογή με μια λειτουργία AR που χρησιμοποιεί την κάμερα ενός smartphone για την αντίληψη του περιβάλλοντος με σκοπό την προβολή ψηφιακών οδηγιών πλοήγησης με βάση αυτό, απλοποιώντας την πλοήγηση σε άγνωστα περιβάλλοντα. [58]

Η LEGO λανσάρει την εφαρμογή AR Playgrounds, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με σετ LEGO σε επαυξημένη πραγματικότητα, αναδεικνύοντας πώς η AR θα μπορούσε να βελτιώσει τα παραδοσιακά παιχνίδια. [59]

Η Magic Leap, μια εταιρεία AR, παρουσιάζει ύστερα από προηγούμενες αναφορές στην κυκλοφορία αυτού, το πρώτο της προϊόν, το Magic Leap One Creator Edition. Το εν λόγω headset σχεδιάστηκε για να συνδυάζει το ψηφιακό περιεχόμενο απρόσκοπτα με τον πραγματικό κόσμο, υποσχόμενο μια μοναδική εμπειρία επαυξημένης αλλά και μικτής πραγματικότητας. [60]



1.4.1ιθ. HMD επαυξημένης πραγματικότητας Magic Leap One Creator Edition.

2019

Η Microsoft κυκλοφορεί το HoloLens 2, ένα προηγμένο headset επαυξημένης και μικτής πραγματικότητας που συνδυάζει άψογα εικονικά και φυσικά στοιχεία. Γνώρισε μεγάλη απήχηση με συχνές εφαρμογές σε κλάδους όπως η υγειονομική περίθαλψη, η εκπαίδευση και η μηχανική. [61]



1.4.1κα. HMD επαυξημένης και μεικτής πραγματικότητας Microsoft HoloLens 2.

Η Mojang Studios λανσάρει το «Minecraft Earth», ένα AR παιχνίδι που επιτρέπει στους παίκτες να εξερευνήσουν τον πραγματικό κόσμο και να χτίσουν σε αυτόν χρησιμοποιώντας τουβλάκια και άλλα αντικείμενα του δημοφιλούς τίτλου. [62]

2020

Λόγω της πανδημίας του Covid-19, ο κλάδος του λιανικού εμπορίου υπέστη τεράστιο πλήγμα λόγω του κλεισίματος φυσικών καταστημάτων. Αυτό επέτρεψε στην AR να επεκταθεί στον κλάδο της λιανικής πώλησης με μεγάλες εταιρείες όπως η Adidas να δημιουργούν τις δικές τους εφαρμογές AR για να βλέπουν οι πελάτες τα προϊόντα τους. Αυτός ο νέος τρόπος προβολής και δοκιμής ρούχων στο δοκιμαστήριο AR επιτρέπει στους πελάτες να συνδεθούν με την επιχείρηση και τα προϊόντα της χωρίς να επισκεφθούν ένα κατάστημα. [63]

Η Meta ανακοινώνει το Project ARIA στόχος του οποίου είναι να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη προκλήσεις όπως η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα. Το συγκεκριμένο καλείται να υλοποιήσει ένα φορητό σύστημα που μοιάζει με γυαλιά οράσεως και παρόλο που δεν απευθύνεται στον καταναλωτή, αλλά σε ερευνητές και χομπίστες, αναμένεται να συμβάλει στη δημιουργία βελτιωμένων προϊόντων AR. [64]



#### 1.4.1κβ. Meta Project ARIA γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας.

Η Niantic, η ίδια δηλαδή εταιρία που κυκλοφόρησε το Pokemon Go, κάνει διαθέσιμο το δικό της AR SDK με το όνομα «Lightship ARDK», αποσκοπώντας στο να δώσει βελτιωμένες εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας σε κινητές συσκευές, εστιάζοντας στον τομέα του gaming. [65]

Η Apple ενσωματώνει την τεχνολογία LiDAR στις συσκευές, ενισχύοντας την αντίληψη βάθους για εμπειρίες AR. [66]

2021

Η AR βρίσκει εφαρμογή στα NFTs (non-fungible tokens) και τη δημιουργία διαδραστικών AR εμπειριών με αυτά, κυρίως στον τομέα της τέχνης. [67]

Το WebXR κάνει την δημόσια εμφάνισή του, και αποτελεί μια πρόταση του World Wide Web Consortium (W3C) για εντυπωσιακές XR εμπειρίες σε προγράμματα περιήγησης (browsers). Στο AR κομμάτι του εγχειρίματος, επιτρέπει την επικάλυψη ψηφιακού περιεχομένου στον πραγματικό κόσμο μέσω της κάμερας μιας συσκευής, επιτρέποντας στους

χρήστες να έχουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη τεχνολογία χωρίς τη λήψη ειδικών εφαρμογών. [68]

2023

Η Meta λανσάρει το νέο της HMD με όνομα Quest 3 ως μια οικονομική εναλλακτική για το μέσο καταναλωτή, το οποίο θα ενσωματώνει πλέον τις AR και MR τεχνολογίες, σε αντίθεση με τα προγενέστερα headsets της που υποστηρίζουν πλήρως μόνο τη VR. [69]



1.4.1κγ. HMD επαυξημένης και μεικτής πραγματικότητας Meta Quest 3.

Παράλληλα η ίδια κυκλοφορεί το headset Quest Pro ως μια πιο ποιοτική επιλογή, περιλαμβάνοντας χαρακτηριστικά όπως παρακολούθηση των ματιών, του προσώπου και βελτιωμένη παρακολούθηση των χειριστηρίων. Από την άλλη η εικόνα του, δεν θεωρείται άμεσα ανώτερη από το Quest 3, επομένως η σύγκρισή τους δεν είναι τόσο απλή. [70]



1.4.1κδ. HMD επαυξημένης και μεικτής πραγματικότητας Meta Quest Pro.

Η Apple παρουσιάζει μια νέα συσκευή επαυξημένης και μεικτής πραγματικότητας, το Apple Vision Pro. Η αυτόνομη αυτή συσκευή ελέγχεται με τα μάτια, τα χέρια και τη φωνή του χρήστη και υπόσχεται να ενσωματώσει υψηλής ανάλυσης ψηφιακά αντικείμενα στο περιβάλλον του να ανήκουν πραγματικά εκεί. Η κυκλοφορία του ωστόσο αναμένεται να πραγματοποιηθεί εντός του επόμενου έτους. [71]



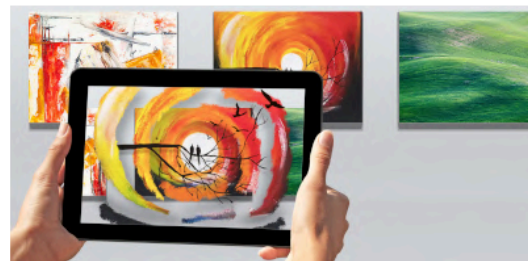
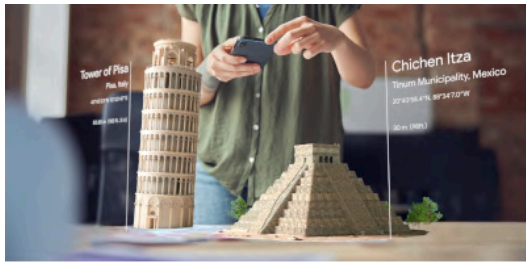
1.4.1κε. HMD επαυξημένης και μεικτής πραγματικότητας Apple Vision Pro.

#### 1.4.2 Η Επαυξημένη Πραγματικότητα σήμερα

Η ευελιξία της AR της δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής σε πολλούς τομείς, μεταξύ των οποίων και η χρήση της σε διαδικασίες εκπαίδευσης και εξομειώσεων. Στην εκπαίδευση πολύπλοκα θέματα όπως η ανατομία, η ιστορία, η αστρονομία, η χημεία παίρνουν υπόσταση μέσω αυτής και επιτυγχάνεται οπτική υποβοηθούμενη εκμάθηση. Αρχιτέκτονες και σχεδιαστές αξιοποιούν τις δυνατότητές της στη δημιουργία διαδραστικών προτύπων που μπορούν να αντιπαρατεθούν σε χώρους του πραγματικού κόσμου, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να εμβαθύνουν, να κατανοήσουν και να αξιολογήσουν τα σχέδια πριν από την πραγματική κατασκευή. Στην υγειονομική περίθαλψη αναγνωρίζεται ως αξιόπιστη βοηθός προσφέροντας απεικονίσεις σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια περίπλοκων επεμβάσεων, ενισχύοντας την ακρίβεια των διαδικασιών και την ικανότητα λήψης αποφάσεων. Στον τομέα των πωλήσεων, ο καταναλωτής έχει πλέον τη δυνατότητα εικονικής προεπισκόπησης του προϊόντος που σκοπεύει να αγοράσει, μέσω εφαρμογών με δυνατότητα «εικονικών δοκιμών». Ο τομέας της ψυχαγωγίας αποτελεί αναπόφευκτα ένα ακόμη μεγάλο και δημοφιλές πεδίο εφαρμογής της, κατά κύριο λόγο μέσω παιχνιδιών και εφαρμογών κινητών συσκευών που εμπλουτίζονται με AR φέρνοντας το χρήστη σε άμεση επαφή με φανταστικά σενάρια, δημιουργικά πλην παιχνιδιάρικα εφέ και χαρακτήρες μυθοπλασίας, κάνοντάς τα μέρος του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη γκάμα μορφών ψυχαγωγίας για διάφορες ηλικιακές ομάδες.

Όσον αφορά το κομμάτι της ασφάλειας, υπάρχουν αν μη τι άλλο ανησυχίες που προκύπτουν κυρίως λόγω της χρήσης της καμερας και άλλων αισθητήρων των συσκευών. Το βάρος της συγκεκριμένης ευθύνης πέφτει κυρίως στους δημιουργούς για την θέσπιση και τήρηση ηθικών και υπεύθυνων πλαισίων ώστε να μην υπάρχει εκμετάλλευση δεδομένων και πόρων των χρηστών.

Εν κατακλείδι η ραγδαία αύξηση χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας, η εφαρμογή της σε όλο και πιο πολλούς τομείς, με στόχους την ευκολία, την εκπαίδευση, την υποστήριξη αποφάσεων και την ψυχαγωγία, καθώς και η συνεχής εξέλιξή της ως τεχνολογία σε συνάρτηση με το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων μεγάλων εταιριών αλλά και χρηστών για αυτήν, δείχνουν πως ήρθε για να μείνει.



1.4.2α. Διάφορα παραδείγματα εφαρμογών της επανυξημένης πραγματικότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Πλατφόρμες και Εργαλεία Ανάπτυξης Εφαρμογών AR

### 2.1 Διαθέσιμες λύσεις/πλατφόρμες

Σε περίπτωση που κάποιος ενδιαφέρεται να ασχοληθεί με την τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας εν έτει 2024, έχει στη διάθεσή του διάφορα εργαλεία για να το κάνει. Αυτά όμως ποικίλουν ανάλογα με την οικονομική δυνατότητα, τις φιλοδοξίες, τους στόχους και τις γνώσεις του εν δυνάμει δημιουργού.

Βάσει των πόρων που μπορεί και θέλει κανείς να διαθέσει για την ανάπτυξη μιας τέτοιας εφαρμογής θα χρειαστεί πέρα από τη συσκευή ή τις συσκευές στις οποίες θα κληθεί αυτή να τρέξει, ένας υπολογιστής με την ανάλογη ισχύ καθώς επίσης ίσως και κάποια οικονομική συνδρομή στο AR εργαλείο που θα διαλέξει για το σκοπό του. Όσον αφορά το τελευταίο, μπορεί κανείς να βρει εργαλεία με προκαθορισμένα πακέτα χρηματικών συνδρομών, εργαλεία με κάποια δωρεάν δοκιμαστική περίοδο και απεριόριστη χρήση του συνόλου των δυνατοτήτων τους, εργαλεία με περιορισμό των δυνατοτήτων τους με βάση τα συνδρομητικά πακέτα που προσφέρει και τέλος την πιο δημοφιλή κατηγορία, τα δωρεάν εργαλεία χωρίς περιορισμούς στο χρόνο διάθεσής τους ή στις δυνατότητες που προσφέρουν, τόσο στο δημιουργό όσο και στο χρήστη.

Δευτερευόντως, οι διαθέσιμες λύσεις διαφοροποιούνται μεταξύ τους σύμφωνα με το κατά πόσο ο δημιουργός μιας τέτοιας εφαρμογής θα μπορεί να την παραμετροποιήσει για να προσφέρει μια μοναδική, μη τυποποιημένη εμπειρία. Επίσης πόσο εύκολη θα είναι η διαδικασία υλοποίησης του στόχου του συγκριτικά με κάποιο άλλο εργαλείο, τόσο όσον αφορά τον κόπο που θα έχει μια διαδικασία υλοποίησης ενός feature σε κάθε ένα, όσο και τις γνώσεις που θα χρειαστεί κανείς για την υλοποίηση αυτή.

Κατά τα πρώτα βήματα εκπόνησης της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε μια έρευνα αγοράς με σκοπό την εύρεση του πλέον κατάλληλου εργαλείου για την ανάπτυξη της εφαρμογής που θα προδιαγραφεί στη συνέχεια, απαριθμώντας τις διαθέσιμες λύσεις και αποκλείοντας τις ακατάλληλες για το σκοπό αυτό με βάσει τα παραπάνω.

Οι διαθέσιμες λύσεις που υπήρχαν για να δημιουργήσει κανείς μια εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας κατά την περίοδο της σύλληψης αυτού του έργου ως ιδέα, περί το 2020, ήταν διάφορες, υπάρχουν όμως ομολογουμένως αρκετοί περιορισμοί και ανησυχίες όσον αφορά την επιλογή του εργαλείου. Με γνώμονα τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν πραγματοποιήθηκε μια εκτεταμένη έρευνα με βάση το οικονομικό υπόβαθρο, τα εργαλεία που απαιτούσε η υλοποίηση της εφαρμογής τόσο σε λογισμικό όσο και σε hardware σε παραλληλισμό με τη διαθεσιμότητά τους, τις δυνατότητες που διαθέτει κάθε εργαλείο, την ήδη υπάρχουσα εμπειρία σε γλώσσες προγραμματισμού και πλατφόρμες και την προϋπάρχουσα γνώση στη δημιουργία πολυμεσικού περιεχομένου. Επίσης λήφθηκε υπόψη η συμβατότητα με τις συσκευές στις οποίες απευθύνεται, η βιωσιμότητα της υλοποίησης σε βάθος χρόνου, η δυνατότητα μελλοντικής βελτίωσης ή και επέκτασης της, η χρησιμότητά του τόσο στον δημιουργό όσο και σαν μελέτη περίπτωσης (case study) στην

άμεση (ακαδημαϊκή) κοινότητα που πλαισιώνει την εργασία ή τη γενικότερη κοινότητα του τομέα της πληροφορικής.

| Εργαλείο        | Άδεια χρήσης                           | Πλατφόρμες                        | Υποστήριξη Unity | Image Tracking (Marker-based) | Plane Tracking (Marker-less) | Υποστήριξη εργαλείου |
|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Vuforia [40]    | Δωρεάν <sup>(1)</sup> & Επί πληρωμή    | Android, iOS, UWP                 | ✓                | ✓                             | ✓                            | ★★★★★                |
| ARCore [52][72] | Δωρεάν                                 | Android, iOS                      | ✓ <sup>(2)</sup> | ✓                             | ✓                            | ★★★★★                |
| ARKit [51][72]  | Δωρεάν                                 | iOS                               | ✓ <sup>(2)</sup> | ✓                             | ✓                            | ★★★★★                |
| LightShip [65]  | Δωρεάν                                 | Android, iOS                      | ✓                | ✓                             | ✓                            | ★★★★☆                |
| ARToolKit [73]  | Δωρεάν                                 | Android, iOS, MacOSX, Windows     | ✓                | ✓                             | ✗                            | ★★☆☆☆                |
| EasyAR [74]     | Δωρεάν (περ. δυν.) & Επί πληρωμή       | Android, iOS, MacOS, UWP, Windows | ✓                | ✓                             | ✓                            | ★★★★☆                |
| Maxst [75]      | Δωρεάν (περ. δυν.+χρόν.) & Επί πληρωμή | Android, iOS, MacOS, Windows      | ✓                | ✓                             | ✓                            | ★★☆☆☆                |
| Wikitude [76]   | Επί πληρωμή                            | Android, iOS, Windows (tablets)   | ✓                | ✓                             | ✓                            | ★★☆☆☆                |
| Kudan [77]      | Επί πληρωμή                            | Android, iOS                      | ✓                | ✓                             | ✓                            | ★☆☆☆☆                |

2.1.α. Σύγκριση διαθέσιμων εργαλείων για την ανάπτυξη εφαρμογών για κινητές συσκευές.

Το εργαλείο λοιπόν με την πιο σημαντική υποψηφιότητα από την πρώτη στιγμή και το οποίο στη συνέχεια επιλέχθηκε ήταν το Vuforia Engine SDK, χρησιμοποιώντας ως βάση την πλατφόρμα της Unity. Αυτό γιατί εκτός του ότι ήταν ήδη για καιρό μια πολύ ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση, συνεπώς με επαρκή τεκμηρίωση και πολλά διαθέσιμα παραδείγματα υπολοίψεων, πληρούσε όλα σχεδόν τα κριτήρια που τέθηκαν για την επιλογή εργαλείου. Αυτό δυστυχώς με την εξαίρεση της περιορισμένης άδειας χρήσης και της ύπαρξης υδατογραφήματος στη δωρεάν εκδοχή του<sup>(1)</sup>, πράγμα το οποίο σε μεταγενέστερο

χρόνο, ευτυχώς αναιρέθηκε από την ιδιοκτήτρια εταιρεία, PTC, καθιστώντας την επιλογή του, σαφώς, επιτυχή.

Απαρατήρητη δεν πέρασε η ανερχόμενη και πολλά υποσχόμενη λύση που έθεσε ως πρόταση η ίδια η πλατφόρμα της Unity το 2018, εν ονόματι «AR Foundation»<sup>(2)</sup>, η οποία περιλάμβανε το ARCore της Google για την υλοποίηση της τεχνολογίας σε κινητές συσκευές με λογισμικό Android, το ARKit της Apple για συσκευές με iOS αλλά και το OpenXR της Khronos Group, το οποίο καλείται να κάνει το ίδιο για αυτόνομες συσκευές HMD διαφόρων εταιριών. Παρά την έλλειψη εκτεταμένης τεκμηρίωσης τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του AR Foundation και των υποεργαλείων του, δεν άργησε να λάβει μεγάλη αναγνώριση από την κοινότητα, σημαντικές αναβαθμίσεις και βελτιώσεις, και να γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία ανάπτυξης AR τόσο από τους προγραμματιστές όσο και από τις εταιρείες που είχαν την πρόθεση να συμπεριλάβουν τις κινητές συσκευές στις XR υλοποιήσεις τους. Έτσι έγιναν απόπειρες για μια παράλληλη υλοποίηση της εφαρμογής με τη χρήση του εν λόγω εργαλείου, οι οποίες και εν τέλει απέδωσαν καρπούς.

## 2.2 Συγκριτική θεώρηση διαθέσιμων λύσεων

Στα πλαίσια του Apple Worldwide Developers Conference το έτος 2005, η Unity Technologies ανακοίνωσε και κυκλοφόρησε επίσημα το ομώνυμο εργαλείο «Unity» ως μια μηχανή ανάπτυξης παιχνιδιών αποκλειστικά για το Apple MAC OS X. Αυτή η πρόταση γνώρισε γρήγορα τεράστια απήχηση. Όλο και περισσότεροι προγραμματιστές από μεγάλα, μικρά στούντιο ή και ανεξάρτητοι, άρχισαν να στρέφονται στη λύση αυτή, για διάφορους λόγους όπως η οικονομική προσβασιμότητα, η ευκολία χρήσης του εργαλείου, η συνεχής εξέλιξη και υποστήριξή του και η ενεργή κοινότητα των προγραμματιστών που μεγάλωνε διαρκώς λόγω των παραπάνω. Σε σύντομο χρονικό διάστημα η Unity άρχισε να υποστηρίζει όλο και περισσότερες πλατφόρμες όπως τα Microsoft Windows, τα Linux, τα Apple iPhones, τα Android, τις οικιακές παιχνιδιομηχανές Microsoft Xbox και Sony PlayStation, κάποιες τηλεοράσεις και τέλος υποστηρίζοντας πλατφόρμες εκτεταμένης πραγματικότητας, καθιστώντας την ένα πολύ δυνατό εργαλείο ανάπτυξης λογισμικού για ακόμη πιο πολλούς προγραμματιστές, καταλαμβάνοντας ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της αγοράς και τοποθετώντας το εργαλείο της Unity ανάμεσα στα πιο δημοφιλή εργαλεία ανάπτυξης παιχνιδιών όλων των εποχών.

Ένας από τους λόγους που έκανε τη Unity ένα δημοφιλές εργαλείο ανάπτυξης παιχνιδιών για διάφορες πλατφόρμες αλλά και να επιλεγεί για την υλοποίηση της εφαρμογής της συγκεκριμένης εργασίας είναι η δυνατότητα της για επαναχρησιμοποίηση του ίδιου σχεδόν κώδικα για κάθε πλατφόρμα.

Επιπλέον, υποστηρίζει μια τεράστια γκάμα βιβλιοθηκών και plugins, τα οποία μπορούν να προστεθούν ως επεκτάσεις για να προσφέρουν επιπλέον λειτουργίες στην πλατφόρμα της Unity. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να επεκτείνουν και να προσαρμόζουν το περιβάλλον ανάπτυξής τους ανάλογα με τις ανάγκες τους. Παράλληλα βοηθά τις εταιρείες που προσφέρουν λύσεις για ανάπτυξη λογισμικού συγκεκριμένου σκοπού

όπως οι τρεις που επιλέχθηκαν να ενσωματώσουν τις λύσεις τους σαν επεκτάσεις της Unity, βοηθώντας τις να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε ένα ευρύτερο φάσμα προγραμματιστών, να κερδίσουν αναγνώριση και πιθανώς να επεκτείνουν το πελατολόγιό τους σε περίπτωση που προσφέρουν και υπηρεσίες επί πληρωμή. [78]

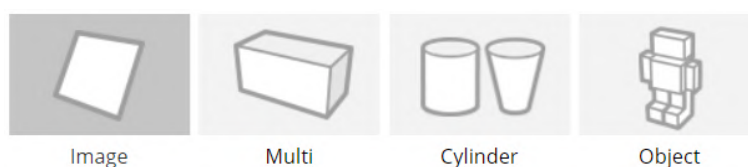
### 2.2.1 Vuforia Engine

Η Vuforia Engine αποτελεί ένα SDK (Software Development Kit) ανάπτυξης λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας το οποίο δημιουργήθηκε το 2011 από την Qualcomm, μια εταιρία κυρίως γνωστή για τους επεξεργαστές της κατά την περίοδο εκείνη. Στη συνέχεια, το 2015, από την Qualcomm αγοράσε τη Vuforia μια εταιρία εν ονόματι PTC Inc με σκοπό να την χρησιμοποιήσει στο δικό της πεδίο δραστηριοποίησης, αυτό της βιομηχανίας. Έχοντας πολυετή εμπειρία στο χώρο του AR, η Vuforia έχει χτίσει γερά θεμέλια σε αυτόν, αναπτύσσοντας βασικές αλλά σταθερές και αξιόπιστες λύσεις όσον αφορά αλγόριθμους αναγνώρισης και παρακολούθησης.



Για τη χρήση του SDK, τα ελάχιστα προαπαιτούμενα είναι να έχει κανείς λογαριασμό και μια τουλάχιστον ενεργή βασική άδεια προγραμματιστή από την επίσημη ιστοσελίδα της Vuforia. Οι πλατφόρμες για τις οποίες μπορεί να αναπτύξει κανείς μια εφαρμογή μέσω του εργαλείου αυτού είναι οι κινητές συσκευές με λειτουργικά συστήματα Android και iOS, διάφορες συσκευές της Microsoft μέσω της UWP (Universal Windows Platform) επιλογής, και σε Magic Leap μέσω της επιλογής Lumin. Το SDK διατίθεται επίσης ως πρόσθετο της πλατφόρμας της Unity Technologies, εν ονόματι Unity Engine και η λύση αυτή επιλέχθηκε για την εκπόνηση τμήματος του πρακτικού μέρους αυτής της εργασίας.

Οι βασικές υποκατηγορίες που υποστηρίζονται από τους αλγόριθμους αυτούς είναι η ανίχνευση από μια εικόνα (Image), πολλές εικόνες ταυτόχρονα συχνά δομημένες ως γεωμετρικά σχήματα (Multi), ή ακόμη και κυλινδρικά αντικείμενα (Cylinder). Επιπροσθέτως, μια κάπως πιο προχωρημένη δυνατότητα της σε σχέση με τα προηγούμενα είναι η αναγνώριση και παρακολούθηση τρισδιάστατων αντικειμένων (Object).



Εικόνα 2.2.1.α. Στιγμιότυπο διαθέσιμων μεθόδων αναγνώρισης δεικτών (marker based tracking).

Ξεκινώντας από την ανίχνευση των εικόνων (Image Target), το πιο δημοφιλές και πολυ-χρησιμοποιημένο ίσως από τα παραπάνω, η Vuforia μπορεί να αναγνωρίσει μια ή και παραπάνω προκαθορισμένες εικόνες ταυτόχρονα και στη συνέχεια να δώσει τη δυνατότητα

στον προγραμματιστή να εμφανίσει κάποιο ψηφιακό στοιχείο πάνω στην αρχική εικόνα του χρήστη από το πραγματικό του περιβάλλον, συνήθως με σημείο αναφοράς την εικόνα που ανιχνεύθηκε. Το ίδιο καλείται να κάνει η ταυτόχρονη ανίχνευση πολλών στόχων (Multi Targets), κυλινδρικών αντικειμένων (Cylinder Targets) ή τρισδιάστατων αντικειμένων (Model Targets). Με τη βασική διαφορά ότι η ανίχνευση εικόνων μπορεί να βασιστεί σε διαδικτυακή αναγνώριση, με περιορισμό όμως στο πόσες εικόνες και αναγνωρίσεις μπορούν να γίνουν ανά μήνα, τόσο στο δωρεάν, όσο και στο προχωρημένο πακέτο της πλατφόρμας. Αντίστοιχους περιορισμούς, εκτός της ανάγκης για δημιουργία και μετατροπή του μοντέλου προς ανίχνευση (μέσω του Vuforia Model Target Generator) έχει και η ανίχνευση τρισδιάστατων αντικειμένων, έχοντας ωστόσο διαφορά μεταξύ των προαναφερθέντων προσφερόμενων πακέτων, τουλάχιστον κατά την περίοδο συγγραφής του παρόντος κειμένου.



Εικόνα 2.2.1.β. Παράδειγμα Vumark - Marker για tracking της Vuforia.

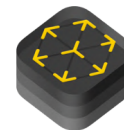
Η Vuforia επίσης προσφέρει ανίχνευση ενός δικού της τύπου code (VuMark) και ανάγνωση barcodes. Το πρώτο αποτελεί μια προηγμένη υλοποίηση του δευτέρου, επιτυγχάνοντας προσαρμοστικότητα στο σχεδιασμό (μέσω του Vuforia VuMark Designer), κωδικοποίηση δεδομένων (όπως ένα QR code) και ευελιξία στην εφαρμογή τους. Όσον αφορά την ανάγνωση barcodes, πρόκειται για τη βασική λειτουργικότητα που μπορεί να έχει κάποιος κατά νου, δεν προσφέρεται ωστόσο στο δωρεάν πακέτο του εργαλείου, απευθυνόμενο συνεπώς σε επαγγελματίες, κυρίως του κλάδου της βιομηχανίας.

Τέλος προσφέρει λύσεις μεγαλύτερης κλίμακας, δίνοντας την επιλογή αναγνώρισης και παρακολούθησης ευρύτερων περιοχών. Αυτής των οριζόντιων επιφανειών (Ground Plane) όπου ο προγραμματιστής μπορεί έχοντας σαρώσει και εντοπίσει μια οριζόντια επιφάνεια όπως το έδαφος ή ένα τραπέζι, να τοποθετήσει στο οπτικό περιβάλλον ένα ψηφιακό στοιχείο το οποίο κατά την περιήγηση του χρήστη διατηρεί τη σχετική θέση του σε αυτό. Η τοποθέτηση του αντικειμένου μπορεί να γίνει «πάνω» σε μια τέτοια επιφάνεια ή σε μια απόσταση από αυτό (Mid-air). Αν επιλεγθεί, η τοποθέτηση των ψηφιακών στοιχείων δύναται να γίνει μη αυτοματοποιημένα, από το χρήστη αφού ωστόσο έχει προηγηθεί εντοπισμός της επιφάνειας σε κάθε περίπτωση. Μια άλλη λύση μεγάλης κλίμακας αποτελεί αυτή της ανίχνευσης μιας ορισμένης περιοχής. Ωστόσο αυτή η λειτουργία είναι αρκετά απαιτητική, προχωρημένη και περίπλοκη για τα πλαίσια αυτής της εργασίας. Επίσης υπάρχει περιορισμός χρήσης με βάση τα τιμολογιακά πακέτα της Vuforia. Η λογική πίσω από τη συγκεκριμένη λειτουργία αφορά τη σάρωση ενός χώρου με συγκεκριμένο εξοπλισμό ώστε να ληφθεί μιας προαπαιτούμενης μορφής άποψη του χώρου που θέλουμε να ανιχνεύεται. Στη συνέχεια τη μετατροπή της σάρωσης αυτής σε μια μορφή χρήσιμη για το εργαλείο, μέσω δικού της μετατροπέα ειδικού σκοπού (Vuforia Area Target Generator), με τελικό σκοπό την ανίχνευση επιπρόσθετου ψηφιακού περιεχομένου εντός των ορίων της περιοχής αυτής.

Πέραν όμως των βασικών λειτουργιών της Vuforia Engine, υπάρχουν και κάποιες επιπλέον δυνατότητες του εργαλείου που αξίζει να αναφερθούν και αποτελούν σημαντικά χαρακτηριστικά του. Ένα από τα πιο πρόσφατα εξ αυτών είναι το Vuforia Fusion. Μια λειτουργία η οποία καθιστά τη συσκευή ενήμερη σχετικά με τις πραγματικές δυνατότητες που διαθέτει (όπως η υποστήριξη της AR λειτουργικότητας από ARKit/ARCore) και συγχωνεύει ομαλά τις λειτουργίες της με το Vuforia API, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να αποδώσουν μια βέλτιστη εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας. Ύστερα, πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό αποτελεί η ύπαρξη του «Device Tracking», το οποίο αφορά την ανίχνευση και τον εντοπισμό της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής στον πραγματικό χώρο, με αποτέλεσμα οι εμπειρίες AR να παραμένουν σταθερές σε σχέση με το περιβάλλον, ακόμα και όταν η συσκευή κινείται. Είναι επίσης αυτό που δίνει στον προγραμματιστή τη δυνατότητα να γνωρίζει την έναρξη, το τέλος ή την ποιότητα μιας ανίχνευσης, με σκοπό όχι μόνο τη διασφάλιση ποιότητας αλλά και την αξιοποίηση των συγκεκριμένων πληροφοριών με επιπλέον λειτουργικότητα κατά περίπτωση. Μια πολύ χρήσιμη δυνατότητα του εργαλείου όταν χρησιμοποιείται με τη Unity, είναι το Play Mode Simulator, μέσω του οποίου ο προγραμματιστής μπορεί να κάνει προσομοίωση της εφαρμογής του, εκτελώντας τη στον υπολογιστή που πραγματοποιείται η ανάπτυξή της, με την προϋπόθεση ύπαρξης webcam σε αυτόν για την εξομοίωση της κάμερας της συσκευής προορισμού. Ένα ακόμη εργαλείο στην ανάπτυξη και επίδειξη μιας εφαρμογής είναι η επιλογή καταγραφής που δίνει η Vuforia (Recording and Playback). Τέλος δίνεται η δυνατότητα συγγραφής κάποιου Driver Framework από οποιονδήποτε για την υποστήριξη δικού του εξοπλισμού (External Camera). [40]

### 2.2.2 AR Foundation

Το έτος 2018 η Unity Technologies ανακοινώνει την κυκλοφορία ενός framework ειδικά σχεδιασμένου για τη δημιουργία εμπειριών επαυξημένης πραγματικότητας μια φορά, στην πλατφόρμα Unity Engine και στη συνέχεια αυτή να δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας της εφαρμογής εύκολα για διάφορες συσκευές AR. Το AR Foundation, όπως ονομάστηκε, περιέχει σημαντικές λειτουργίες-κλειδιά των ARKit, ARCore, Magic Leap και HoloLens, καθώς επίσης και σχετικές λειτουργίες της Unity, τις οποίες ενσωματώνει σε μια μια-για-όλα πρόταση που υπόσχεται να κάνει την ανάπτυξη εφαρμογών AR εύκολη απλοποιώντας τη ροή της διαδικασίας. Το συγκεκριμένο γίνεται πράξη με την προσθήκη ενός αφηρημένου επιπέδου πάνω από τις πραγματικές υλοποιήσεις, το οποίο στη συνέχεια διαχειρίζεται τη μετάφραση της κάθε λειτουργίας στην αντίστοιχη που καταλαβαίνει και χρησιμοποιεί το κάθε SDK. Κατά την περίοδο της συγγραφής της παρούσας εργασίας, το εργαλείο υποστηρίζει επίσημα κινητές συσκευές Android (Google ARCore XR Plug-in), iOS (Apple ARKit XR Plug-in), HoloLens 2 (OpenXR Plug-in) και Meta Quest (Meta OpenXR Feature).



Για τη χρήση του AR Foundation δεν απαιτείται κάτι άλλο πέρα από την εγκατάστασή του στην πλατφόρμα Unity Engine μαζί με τα επιμέρους πακέτα των SDKs που θα χρειαστούν για κάθε συσκευή για την οποία θα χτιστεί η εφαρμογή.

Οι λειτουργίες που έχει να προσφέρει το framework είναι αρκετές και παρόλο που δεν προσφέρονται όλες για όλα τα SDKs που περιλαμβάνει, οι περισσότερες από αυτές υποστηρίζονται από τα δύο τα οποία θα εξεταστούν στα πλαίσια της εργασίας. Καθώς λοιπόν δεν υπάρχει ανάγκη για ανάλυση διαθεσιμότητας των λειτουργιών για το OpenXR (HoloLens και Meta Quest), θα γίνει σκόπιμη παράλειψή του (προς αποφυγή σύγχυσης).

Τόσο το ARKit όσο και το ARCore, στην νεότερη έκδοση του framework (5.1.2) υποστηρίζουν το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργιών που έχει να προσφέρει. Οι βασικές, των οποίων η ύπαρξη αποτελεί προϋπόθεση για την δημιουργία μιας AR εμπειρίας είναι η διαχείριση της συνεδρίας (Session), η διαχείριση της κάμερας (Camera) και η ανίχνευση συσκευής (Device tracking).

Μέσω της πρώτης από αυτές, ο προγραμματιστής μπορεί να διαχειριστεί την γενική εικόνα της AR λειτουργικότητας σε μια εφαρμογή, όπως το αν και κατά πόσο υποστηρίζεται από μια συσκευή, αν θα είναι ενεργή ή ανενεργή, τι τύπου ανίχνευση θα υποστηρίζει, ποιός θα είναι ο ρυθμός ανανέωσης των καρτέ στη συσκευή αλλά και αν η ανίχνευση των κινήσεων θα έχουν να κάνουν μόνο με τον προσανατολισμό ή αν θα λαμβάνεται υπόψη και η θέση της συσκευής. Στη συνέχεια μπορεί να αξιοποιήσει τις παραπάνω πληροφορίες με σκοπό την διαχείριση της AR συνεδρίας και τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής με βάση την κατά περίπτωση συσκευή-στόχο και εφαρμογή προς υλοποίηση.

Το δεύτερο βασικό από τα τρία, η διαχείριση της κάμερας ή των καμερών, αφορά τη ρύθμιση τους σε μια συσκευή. Ειδικότερα αναφέρεται στην απενεργοποίηση ή ενεργοποίηση τους, την εστίαση, τα χρώματα, το φακό, την έκθεση, την εκτίμηση της φωτεινότητας, τον προσανατολισμό (selfie/rear camera) και τη μετάδοση της εικόνας.

Η λειτουργία της ανίχνευσης συσκευής αφορά τη θέση της στο περιβάλλον και τη μετατροπή των θέσεων των ψηφιακών ανιχνεύσιμων στοιχείων σε τύπο συντεταγμένων της Unity, σύμφωνα πάντα με τις κινήσεις της συσκευής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συνεχής και ακριβής επανατοποθέτηση του επιπρόσθετου ψηφιακού περιεχομένου, με σκοπό τη βέλτιστη εμπειρία ανίχνευσης.

Όπως η Vuforia Engine έτσι και το AR Foundation παρέχουν κάποιες βασικές μεθόδους αναγνώρισης και παρακολούθησης στοιχείων στο πραγματικό περιβάλλον. Τρεις από αυτές, οι οποίες διατίθενται και στη Vuforia είναι η ανίχνευση εικόνων (Image tracking), η ανίχνευση επιφανειών (Plane detection) και η ανίχνευση αντικειμένων (Object Tracking).

Στην ανίχνευση εικόνων, ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να συσχετίσει εικόνες ή οπτικά μοτίβα τα οποία μπορεί η κάμερα της συσκευής να ανιχνεύσει, με άλλα εικονικά στοιχεία διαφόρων ειδών, μέσω μιας τοπικής βιβλιοθήκης. Στη μέθοδο δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ο μέγιστος αριθμός ταυτόχρονα ανιχνεύσιμων εικόνων, επιλογής φυσικού μεγέθους που μπορεί να παρατηρηθεί το μοτίβο στο φυσικό κόσμο, ή ακόμη μαζί με τα επιπρόσθετα εικονικά στοιχεία, αν υπάρχει ανάγκη, να γίνει προβολή της εικόνας που ορίστηκε για ανίχνευση στην ψηφιακή της δισδιάστατη μορφή, επικαλύπτοντας την

ανιχνευμένη. Είναι επίσης δυνατή η προσθήκη ενός διαχειριστή ανίχνευσης εικόνων ή ακόμη και η προσθήκη νέων εικόνων για ανίχνευση κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μιας εφαρμογής. Κατά τη διάρκεια του εντοπισμού μιας εικόνας, δίνονται επίσης πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα της ανίχνευσης για την αξιοποίησή τους στον εμπλουτισμό ή τη βελτίωση της εμπειρίας με εξατομικευμένες ενέργειες σε κάθε περίπτωση. Το AR Foundation λοιπόν, μπορεί με λίγα λόγια να κάνει όσα και η Vuforia Engine με την αντίστοιχη μέθοδο ανίχνευσής της, αλλά και λίγα πράγματα ακόμη.

Στη δεύτερη ευρέως διαδεδομένη μέθοδο ανίχνευσης, αυτή των επιφανειών, το AR Foundation μπορεί να αναγνωρίσει επιφάνειες, τόσο οριζόντιες όσο και κάθετες, με δυνατότητα επικάλυψης ως επισήμανση αυτών, συνήθως με κάποιου είδους οπτικό μοτίβο. Η ανίχνευση (και συγχώνευση σε κάποιες περιπτώσεις) των επιφανειών αυτών έχει συνεχή πρόοδο για όλη τη διάρκεια που η συσκευή σαρώνει το χώρο, παρέχοντας επίσης σχετικές πληροφορίες ή και τη δυνατότητα απενεργοποίησης κατά την εκτέλεση, σε περίπτωση που ο προγραμματιστής το επιλέξει. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται για την κατανόηση του περιβάλλοντος, με απώτερο σκοπό την τοποθέτηση αντικειμένων πάνω τους, τη διαδραστικότητα με αυτά, την προσομοίωση της φυσικής (εμπόδια ή επιφάνειες αναπήδησης), τη χρήση τους ως σημεία αναφοράς ή την απόκρυψη ψηφιακών αντικειμένων που μπορεί να υπερκαλύπτουν. Συνεπώς και αυτή η μέθοδος του framework προσφέρει μια εμπλουτισμένη εκδοχή του Ground Plane της Vuforia.

Όσον αφορά την ανίχνευση τρισδιάστατων αντικειμένων, υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισής τους μέσω χρήσης μιας βιβλιοθήκης, παρόμοιας με αυτήν που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εικόνων. Αυτό επιτρέπει την αντιστοίχιση μεταξύ των ανιχνεύσιμων τρισδιάστατων αντικειμένων και των ψηφιακών στοιχείων. Σε αυτήν τη λειτουργία παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και την ποιότητα της ανίχνευσης, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα προσθήκης διαχειριστή κατά την εκτέλεση της εφαρμογής. Παρότι η ανίχνευση τρισδιάστατων αντικειμένων είναι περιορισμένη στο AR Foundation, με το ARKit να αποτελεί το μοναδικό εργαλείο του SDK που την υποστηρίζει προς το παρόν, θα μπορούσαμε να πούμε πως αυτή η μέθοδος είναι κάπως πιο εξελιγμένη σε σχέση με αυτή της Vuforia.

Μια πολύ δημοφιλής λειτουργία ανίχνευσης που διατίθεται επίσης από το AR Foundation, είναι αυτή του προσώπου ή Face tracking. Αυτή η μέθοδος είναι ευρέως γνωστή από την εποχή που το Snapchat άρχισε να πειραματίζεται με τα AR lenses το 2015. Μέσω αυτής της λειτουργικότητας, ο προγραμματιστής μπορεί να κάνει μια συσκευή να ανιχνεύσει ταυτόχρονα έναν προκαθορισμένο αλλά παραμετροποιήσιμο αριθμό ανθρώπινων προσώπων. Κατά τη διαδικασία της ανίχνευσης, πραγματοποιείται μια βασική χαρτογράφηση του προσώπου του χρήστη. Στη συνέχεια, συνήθως επικαλύπτεται από κάποιο επιπρόσθετο, προκαθορισμένο γραφικό στοιχείο. Αυτό έχει τη δυνατότητα στρέβλωσης και τεντώματος εφόσον εφαρμόζεται κατευθείαν πάνω στο δημιουργημένο αντικείμενο της προηγούμενης χαρτογράφησης. Τα πρόσωπα μπορούν να προστεθούν, να ενημερωθούν ή να αφαιρεθούν και κάθε ενέργεια παρέχει πληροφορίες προς αξιοποίηση από τον δημιουργό, ακόμη κι αν δεν έχουν επιλεγεί γραφικά στοιχεία για την επικάλυψη των προσώπων.

Εντυπωσιακή επίσης είναι η λειτουργία ανίχνευσης ανθρώπινου σώματος ή Body Tracking, η οποία παρέχεται από το framework, επί του παρόντος, μόνο μέσω του ARKit. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δισδιάστατης ή τρισδιάστατης αναγνώρισης του ανθρώπινου σώματος και την επικάλυψή του με ψηφιακά στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η επιπλέον ενίσχυση της εικονικής πραγματικότητας με προσθήκη τρισδιάστατων μοντέλων, ρούχων ή εφέ γραφικών, όπως για παράδειγμα ένα τρισδιάστατο μοντέλο ενός φανταστικού χαρακτήρα, ενδυμάτων ή ειδικών εφέ όπως φωτιές, κεραυνοί και άλλα. Τέλος, πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της ανίχνευσης είναι επίσης διαθέσιμες σε αυτή τη λειτουργία, παρέχοντας περαιτέρω επίγνωση στον προγραμματιστή σχετικά με την απόδοση και την ποιότητα της διαδικασίας.

Μια επίσης χρήσιμη, υποστηρικτικής κυρίως φύσεως λειτουργία που προσφέρεται είναι αυτή των Point Clouds. Αναλυτικότερα, μέσω της λειτουργίας αυτής γίνεται σάρωση του χώρου από την κάμερα της συσκευής και στη συνέχεια διάφορα στοιχεία που εντοπίζονται να έχουν κάποιο χαρακτηριστικό οπτικό γνώρισμα, μαρκάρονται ως σημεία αναφοράς. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται προαιρετικά με τη χρήση κάποιου γραφικού στοιχείου, (π.χ. μπάλες, κύβους, σταυρούς) και αποθηκεύονται με βάση τη θέση τους στον τρισδιάστατο εικονικό χώρο. Η χρήση της λειτουργίας αυτής μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη αναγνώριση του περιβάλλοντος, επιτρέποντας την βελτιωμένη τοποθέτηση όλων των ψηφιακών στοιχείων στο χώρο. Επιπλέον βοηθά στην καλύτερη αναγνώριση επιφανειών και παρέχει υποστήριξη στον χρήστη κατά τη διαδικασία σάρωσης του χώρου.

Σχετική επίσης με την αντίληψη του χώρου είναι και η λειτουργία Anchor. Μέσω αυτής επιτυγχάνεται μια βελτιωμένη εμπειρία ιχνηλάτησης τοποθετημένων ψηφιακών στοιχείων. Ο χρήστης, για παράδειγμα, μπορεί να ζωγραφίσει στον εικονικό χώρο σε άξονα τριών διαστάσεων, να τοποθετήσει ή να μετακινήσει αντικείμενα με μεγάλη ακρίβεια θέσης κατά τη διαδικασία, να μετρήσει αποστάσεις, και να έχει μια καλύτερη εμπειρία σε σκηνές που περιέχουν πολλά εικονικά στοιχεία μέσω της καλύτερης αντίληψης των μεταξύ τους αποστάσεων. Επιπλέον, η λειτουργία Anchor επιτρέπει την κοινή ιχνηλάτηση πολλών συσκευών ή ατόμων σε μια εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας.

Μια ακόμη μέθοδος είναι τα Raycasts, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως μια μορφή εκπομπής ακτίνων από την κάμερα προς κάποιο σημείο σε ένα ψηφιακό χαρτογραφημένο περιβάλλον. Η χρήση τους συνήθως έχει σκοπό να βελτιώσει τη διάδραση του χρήστη με το περιβάλλον του. Συνήθως, αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τοποθέτησης αντικειμένων στο ψηφιακό περιβάλλον ή την αλληλεπίδραση μαζί τους, την βασική χρήση γραφικού περιβάλλοντος (UI ή User Interface) ή γενικότερα την ανατροφοδότηση της εφαρμογής με απτικές ενέργειες του χρήστη.

Μια προηγμένη λειτουργία που είναι διαθέσιμη μέχρι στιγμής και πάλι μόνο από το ARKit είναι το Meshing. Αυτό πραγματοποιεί σάρωση του περιβάλλοντος του χρήστη μέσω προηγμένων αισθητήρων ειδικού σκοπού και στη συνέχεια τη χαρτογράφηση ή και την αποτύπωση της γεωμετρίας του σε τρισδιάστατα πλέγματα (meshes). Η χρησιμότητα της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι μεγάλη και αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μια βελτιωμένη εκδοχή της λειτουργίας ανίχνευσης επιφανειών. Αναλυτικότερα μπορεί να εφαρμοστεί για την αναγνώριση επιφανειών, την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος, την απόκρυψη

τμημάτων εικονικών στοιχείων (occlusion) σε περίπτωση που επικαλύπτεται από κάποια ανίχνευμένη επιφάνεια του πραγματικού κόσμου (όπως ένας τοίχος), την καλύτερη αλληλεπίδραση των εικονικών στοιχείων με το περιβάλλον όσον αφορά τη λογική της φυσικής, την υποβοήθηση σε AR εμπειρίες πλοήγησης αλλά και την παραμετροποίηση επιφανειών (όπως την αλλαγή χρώματος). Η πυκνότητα (λεπτομέρεια), οι εφαπτόμενες, οι συντεταγμένες και το χρώμα των πλεγμάτων είναι παραμετροποιήσιμα αλλά δεν υποστηρίζονται από όλες τις συσκευές. Το πλήθος των παράλληλων υπολογισμών του πλέγματος στη μορφή που καταλαβαίνει και μπορεί να αξιοποιήσει η Unity είναι επίσης παραμετροποιήσιμο και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την ομαλή λειτουργία και την αποτελεσματική χρήση των πόρων.

Εντυπωσιακά είναι επίσης τα οπτικά εφέ που μπορούν να δημιουργηθούν με τη χρήση των Environment Probes. Αυτά τα εφέ, ανάλογα με το περιβάλλον του χρήστη, μπορούν να συμβάλουν στην υλοποίηση εξαιρετικά ρεαλιστικού φωτισμού, σκίασης και αντανακλάσεων πάνω σε ένα αντικείμενο. Τα Environment Probes αντιλαμβάνονται τα όσα βλέπει η κάμερα ανα πάσα στιγμή, κάνει εκτίμηση των συνθηκών και τα συνδυάζει με την προβολή ενός στιγμιότυπου του περιβάλλοντος στην ίδια την επιφάνεια του αντικειμένου. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την δημιουργία εντυπωσιακών οπτικών εφέ που μιμούνται τον πραγματικό κόσμο και προσφέρουν ρεαλιστική απεικόνιση των σκηνών AR.

Η μερική απόκρυψη ψηφιακού περιεχομένου ή Occlusion είναι εφικτή στο AR Foundation τεχνητά, μέσω αντίληψης επιφανειών και εφαρμογή φίλτρων σε αυτές, ωστόσο υπάρχει και η αυτοματοποιημένη λύση του προσφέρεται σαν μια ακόμη αυτόνομη λειτουργία του. Στην υλοποίηση αυτή, ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει απόκρυψη του ψηφιακού περιεχομένου βάσει των επιλογών που διατίθενται. Αυτή η απόκρυψη συμβαίνει σύμφωνα με την εικονική θέση των ψηφιακών αντικειμένων σε σχέση με φυσικά αντικείμενα που βρίσκονται μπροστά από αυτά στον κοινόχρηστο AR χώρο. Οι επιλογές που παρέχονται για παραμετροποίηση περιλαμβάνουν το επίπεδο αντίληψης του περιβαλλοντικού βάθους, την απόσταση βάθους μεταξύ ψηφιακού στοιχείου και αναγνωρισμένου ανθρώπινου σώματος, καθώς και το επίπεδο ομαλότητας της απόκρυψης όταν ένα ψηφιακό στοιχείο βρίσκεται πίσω από ένα σώμα. Παρόλο που αποτελεί μια ενδιαφέρουσα λειτουργία, υπάρχουν ακόμη περιθώρια βελτίωσης.

Μια ακόμη λειτουργία που περιλαμβάνεται στο framework, ωστόσο προς το παρόν διατίθεται μόνο μέσω του ARKit, είναι οι Participants. Μέσω αυτής της λειτουργίας, είναι δυνατή η υλοποίηση AR εμπειριών πολλών χρηστών. Συγκεκριμένα, δύο ή περισσότεροι χρήστες που τρέχουν ταυτόχρονα την ίδια εφαρμογή στον ίδιο χώρο μπορούν να βλέπουν τα ίδια επιπρόσθετα ψηφιακά στοιχεία, τοποθετημένα στο ίδιο σημείο στον πραγματικό χώρο. Η ανίχνευση, προσθήκη και αφαίρεση κάποιου συμμετέχοντα γίνεται αυτοματοποιημένα, εφόσον έχει γίνει η κατάλληλη ρύθμιση της λειτουργίας.

Εκτός από τις παραπάνω βασικές λειτουργίες που υπάρχουν και στην επίσημη σελίδα και τον οδηγό του AR Foundation από τη Unity, υπάρχουν και άλλες προηγμένες λειτουργίες που αξίζει να αναφερθούν.

Μια νέα λειτουργία του framework, που επί του παρόντος είναι διαθέσιμη μόνο για το ARCore, είναι το Geospatial. Αυτό καθιστά δυνατή την προσθήκη AR περιεχομένου σε

περιοχές με κάλυψη Street View. Αξιοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες της συσκευής, αλλά και του GPS πραγματοποιείται ο αρχικός εντοπισμός της τοποθεσίας του χρήστη. Στη συνέχεια, μέσω του Visual Positioning System (VPS) της Google, προσφέρεται μια πιο λεπτομερής ανίχνευση της θέσης του στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα συγχωνεύονται οι συντεταγμένες από τις δύο πηγές. Βασίζόμενο στις εικόνες από το Street View, με τη χρήση του VPS, πραγματοποιείται σύγκριση και αναγνώριση στοιχείων στην εικόνα του περιβάλλοντος του χρήστη, δημιουργώντας σημεία αναφοράς μέσω της λειτουργίας Point Clouds που περιγράφηκε παραπάνω. Στη συνέχεια, με τη χρήση των Anchors, πραγματοποιείται η τοποθέτηση του AR περιεχομένου. Παραδείγματα χρήσης του Geospatial περιλαμβάνουν την εφαρμογή σε οδηγούς περιήγησης και τη δημιουργία AR εμπειριών, όπως παιχνίδια ή εφαρμογές αυτοέκφρασης, βασισμένες στην τοποθεσία. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αυτών ονομάζεται Geospatial Creator και είναι επίσης διαθέσιμο για τη Unity.

Μια ακόμη λειτουργία του AR Foundation, αποκλειστικά διαθέσιμη στο ARCore προς το παρόν, είναι το Scene Semantics. Μέσω αυτής της λειτουργίας, μια εφαρμογή μπορεί να αναγνωρίσει τα διάφορα μοτίβα και αντικείμενα που μπορεί να εντοπίσει η κάμερα της συσκευής με σκοπό την καλύτερη αντίληψη του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, σε αυτό το στάδιο, μπορεί να αναγνωρίσει τον ουρανό, κτίρια, δέντρα, δρόμους, οχήματα, πεζοδρόμια, γρασίδι, κατασκευές, νερό, ανθρώπους και αντικείμενα.

Έχοντας τελειώσει με την απαρίθμηση των λειτουργιών που προσφέρει το framework για τουλάχιστον ένα από τα δύο εξεταζόμενα SDKs, αξίζει όπως και για τη Vuforia να αναφερθεί ο τρόπος που μπορεί ο προγραμματιστής να κάνει πρόχειρες δοκιμές του λογισμικού που έχει αναπτυχθεί. Σε αντίθεση με τη Vuforia, που χρησιμοποιεί την κάμερα του υπολογιστή για αυτόν τον σκοπό, το AR Foundation υιοθετεί διαφορετική προσέγγιση μέσω ενός εξομειωτή περιβάλλοντος και των λειτουργιών που έχουν ενσωματωθεί στην εφαρμογή. Η συγκεκριμένη λύση δεν προσφέρει την ίδια ευκολία για τόσες πολλές λειτουργίες, ιδίως μάλιστα εφόσον οι περισσότερες απαιτούν χρήση αισθητήρων συσκευής ειδικού σκοπού για την εκτέλεσή τους. [51]

### 2.2.3 Συμπεράσματα Σύγκρισης

Με βάση τις προαναφερθείσες αναλύσεις και εξετάζοντας την εφαρμογή των εργαλείων αποκλειστικά για κινητές συσκευές, ως μια πρώτη εικόνα για τη σύγκριση αυτών προκύπτουν τα παρακάτω.

Η Vuforia αποτελεί μια εδραιωμένη, εύχρηστη λύση για την ανάπτυξη AR εμπειριών, με μεγάλη ιστορία στο χώρο, δυνατούς μηχανισμούς ανίχνευσης και ανεξαρτησία από λογισμικό τρίτων. Επίσης διαθέτει αναγνώριση στόχων μέσω διαδικτύου και υποστηρίζεται από τη Unity. Ωστόσο περιορίζεται κυρίως σε βασικές λειτουργίες, χρειάζεται διατήρηση άδειας προγραμματιστή στην ομώνυμη πλατφόρμα ή και χρηματική συνδρομή για κάποιες από τις λειτουργίες και έχει πλέον περιορισμένη υποστήριξη για προγραμματιστές που θέλουν να εξερευνήσουν τις δυνατότητες της επαυξημένης πραγματικότητας με σκοπό την

εκμάθηση ή την υλοποίηση καινοτόμων εφαρμογών. Επιπλέον η PTC στην οποία ανήκει το SDK έχει ως στόχο την βιομηχανία, πράγμα που σημαίνει ότι εφόσον το εργαλείο αυτό δεν είναι ανοιχτού κώδικα, πιθανόν να μην υπάρξουν μελλοντικές επεκτάσεις που θα καλύπτουν τον τομέα του καταναλωτή ή του προγραμματιστή που επιδιώκει να εξερευνήσει προοπτικές επενδύοντας χρόνο στο συγκεκριμένο εργαλείο.

Σε αντίθεση, το AR Foundation, παρά τη μικρή του ιστορία στον χώρο του AR, αποτελεί ένα σχετικά εύχρηστο εργαλείο το οποίο επιτρέπει στους προγραμματιστές να μην χρειάζεται να μοχθήσουν ιδιαίτερα για την ανάπτυξη μιας λύσης σε διαφορετικές πλατφόρμες. Η ανάπτυξη πραγματοποιείται σε ένα αφηρημένο επίπεδο της Unity και μεταφράζεται από την ίδια στην υλοποίηση της πλατφόρμας για το κάθε SDK χωρίς περαιτέρω προσπάθεια. Λόγω της διάθεσης της λύσης απευθείας από την Unity, έχει επίσης το πλεονέκτημα της άμεσης υποστήριξης από αυτή, εξασφαλίζοντας θεωρητικά καλύτερη συμβατότητα και διασύνδεση μεταξύ των συστατικών του framework και της πλατφόρμας της Unity. Επιπλέον, λόγω αυτού προβλέπεται μεγαλύτερη ελαστικότητα εντός του οικοσυστήματος της Unity, καθώς οι προγραμματιστές μπορούν να αξιοποιήσουν απρόσκοπτα άλλα στοιχεία και εργαλεία της. Ένας ακόμη λόγος που το AR Foundation είναι η λύση που προτείνεται να επενδύσει κανείς, είναι η δωρεάν παροχή των λειτουργιών του αλλά και το γεγονός ότι τα δύο υπό εξέταση SDKs αναπτύσσονται από δύο εταιρείες κολοσσούς στο χώρο της πληροφορικής, τη Google και την Apple. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχής βελτίωση σε αυτά, άμεση υποστήριξη της λειτουργικότητας από την εκάστοτε συσκευή (Android ή iOS) και τον πιο εύκολο εγκλιματισμό των προγραμματιστών στην ανάπτυξη σχετικών εφαρμογών, βάσει της ήδη υπάρχουσας γνώσης, υποδομών, υποστήριξης και μέγεθος της εκάστοτε κοινότητας σε κάθε μια από αυτές. Όσον αφορά τις λειτουργίες που ήδη προσφέρονται από το framework, το πλήθος και το εύρος τους είναι σαφώς μεγαλύτερα σε σχέση με τη Vuforia, ενώ με βεβαιότητα αναμένεται ο εμπλουτισμός και η βελτίωση της ποιότητάς τους.

Συνεπώς, με βάση τα προαναφερθέντα, παρότι η Vuforia έχει φροντίσει να βελτιώσει τις λειτουργίες της, υποβοηθούμενη από τα ARCore και ARKit μέσω της λειτουργίας Vuforia Fusion, η συνολική αξιολόγηση των δύο εργαλείων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το AR Foundation έχει το προβάδισμα στην υλοποίηση λύσεων επαυξημένης πραγματικότητας εν έτει 2024.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Υλοποίηση AR Εφαρμογής για κινητές συσκευές

Στο παρόν κεφάλαιο, έχοντας πλέον αναφερθεί σε σημαντικά στοιχεία που αφορούν την εξέλιξη της επαυξημένης πραγματικότητας αλλά και έχοντας εξετάσει τα εργαλεία που αποτελούν πραγματικές επιλογές στα πλαίσια μιας πτυχιακής εργασίας, καθώς και τους λόγους που θεωρούνται ως τέτοιες, θα πραγματοποιηθούν η προδιαγραφή, η σχεδίαση και η ανάπτυξη μιας εφαρμογής AR για κινητές συσκευές. Σκοπός της εν λόγω εφαρμογής είναι να παρουσιάσει τη λειτουργία βασικών AR μεθόδων αναγνώρισης και ιχνηλάτησης μεταξύ των δύο εργαλείων που επιλέχθηκαν, τη σύγκριση της υλοποίησης και απόδοσης μεταξύ αυτών, καθώς και να μελετήσει στην πράξη μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας.

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε σύλληψη, ανάλυση, σχεδίαση και ανάπτυξη μιας εφαρμογής για κινητές συσκευές Android. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιεί την τέχνη ως πεδίο-βάση για τη λειτουργικότητά της και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα διαδραστικό παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας με συγκεκριμένη θεματολογία, σκοπό, αρχή, μέση και τέλος.

Στην εφαρμογή δόθηκε το όνομα «Project A.R.T.», με το ART να έχει διπλή χρήση υποδηλώνοντας την εμπλοκή της τέχνης στο εγχείρημα, αλλά και ως το ακρωνύμιο για τις λέξεις Augmented Reality Thesis· δηλαδή πτυχιακή εργασία επαυξημένης πραγματικότητας.

### 3.1 Ανάλυση της εφαρμογής

Οι χρήστες της συγκεκριμένης εφαρμογής μπορούν να είναι μόνο μιας φύσης, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για σύνδεση διαφόρων ρόλων σε ένα παιχνίδι του οποίου ο σκοπός είναι η εξομοίωση μιας εμπειρίας πρώτου προσώπου.

Πρόκειται συγκεκριμένα για μια εφαρμογή, μέσω της οποίας ο χρήστης, βρισκόμενος μπροστά σε ένα προκαθορισμένο έργο graffiti (ή μιας εικόνας για την εξομοίωση της συνθήκης), θα είναι σε θέση να το αναγνωρίζει με τη χρήση της κάμερας στη συσκευή του. Στη συνέχεια, του παρέχεται η δυνατότητα να παίζει ένα παιχνίδι μέσω του οποίου θα βιώνει τη διαδικασία δημιουργίας του έργου, σε μια τρισδιάστατη εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας.

#### 3.1.1 Λειτουργικές απαιτήσεις

Οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός συστήματος ή μιας εφαρμογής, είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις λειτουργίες που πρέπει αυτό να περιλαμβάνει. Δηλαδή το τι πρέπει να είναι σε θέση να κάνει η εν λόγω εφαρμογή, ώστε να θεωρείται ότι πετυχαίνει το στόχο της.

Ως αποτέλεσμα των αρχών της επαυξημένης πραγματικότητας και την προβολή τους πάνω σε αυτή την εφαρμογή προκύπτουν οι παρακάτω λειτουργικές απαιτήσεις.

1. Η εφαρμογή πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιήσει το υλικό μιας βασικής σύγχρονης κινητής συσκευής (κάμερα, αισθητήρες, ηχείο, οθόνη, επεξεργαστής κ.α.).
2. Μέσω της διεπαφής χρήστη (UI) πρέπει να παρέχονται επαρκείς και κατανοητές οδηγίες για τη χρήση της εφαρμογής σε όλα τα στάδια.
3. Η εφαρμογή πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει το περιβάλλον και τα μοτίβα προς ανίχνευση ή τις οριζόντιες επιφάνειες σε αυτό.
4. Πρέπει επίσης να μπορεί να τοποθετεί και να προσαρμόζει ψηφιακό περιεχόμενο στο περιβάλλον.
5. Ο χρήστης θα πρέπει να μπορεί να αλληλεπιδρά τόσο με τη διεπαφή χρήστη (UI) όσο και με το επιπρόσθετο AR περιεχόμενο.

### 3.1.2 Μη λειτουργικές απαιτήσεις

Από την άλλη πλευρά, οι μη λειτουργικές απαιτήσεις ενός συστήματος ή μιας εφαρμογής περιγράφουν τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες που απαιτούνται για να επιτευχθεί η ικανοποίηση των λειτουργικών απαιτήσεων της εφαρμογής.

Με βάση λοιπόν τις λειτουργικές απαιτήσεις που προδιαγράφονται, και τη βασική λογική μιας τέτοιας φύσης εφαρμογής, παρουσιάζονται οι εξής μη λειτουργικές απαιτήσεις.

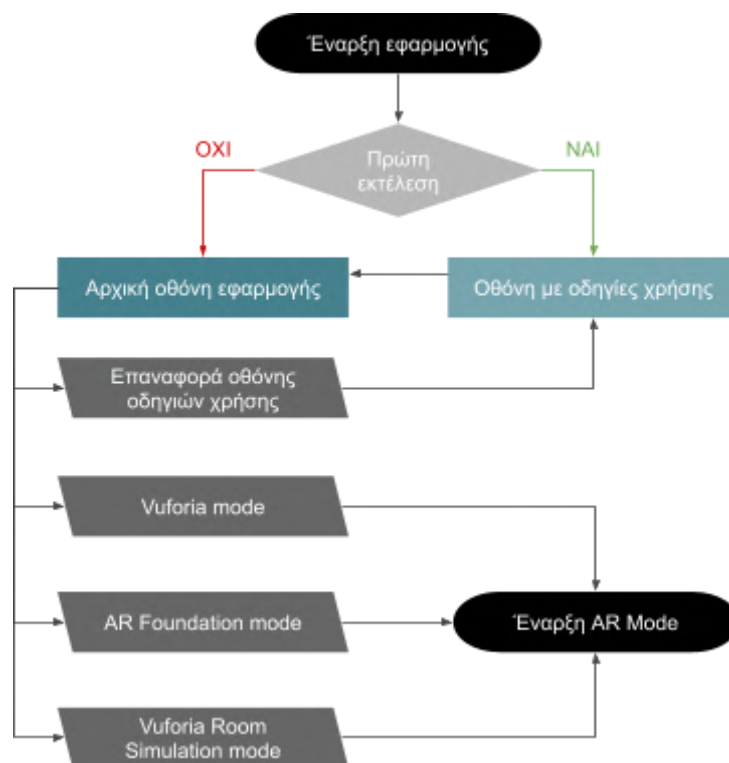
1. Η εφαρμογή πρέπει να μην χρησιμοποιεί την κάμερα, τα αρχεία ή τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη χωρίς την ενημέρωσή του.
2. Παρόλο που μια εφαρμογή AR έχει αυξημένες απαιτήσεις από μια συσκευή κατά την εκτέλεσή της, πρέπει να είναι σε θέση να εκτελείται χωρίς σοβαρές επιπτώσεις ή καθυστερήσεις σε αυτή.
3. Δεν πρέπει επίσης να περιέχει λάθη υλοποίησης που να την αποτρέπουν από το να ικανοποιεί τις λειτουργικές απαιτήσεις, αλλά να είναι αξιόπιστη.
4. Πρέπει να είναι διαθέσιμη σε όσο το δυνατό περισσότερες συσκευές.
5. Η εφαρμογή πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα με ελάχιστες αλλαγές.
6. Πρέπει ακόμη, εφόσον ο χρήστης έχει διαβάσει τις σχετικές πληροφορίες που του δίνονται, να είναι εύκολη στη χρήση και κατανοητή.
7. Επιπλέον θα πρέπει να είναι εύκολη στη συντήρηση και την ενημέρωσή της.
8. Το παιχνίδι που περιλαμβάνεται πρέπει να έχει μια ευελιξία στο επίπεδο δυσκολίας ώστε να προσαρμόζεται στις δυνατότητες του κάθε χρήστη.
9. Η υλοποίηση πρέπει να συμμορφώνεται με τους ισχύοντες νόμους και κανονισμούς.

## 3.2 Σχεδίαση της εφαρμογής

### 3.2.1 Ροή πλοήγησης χρήστη

Για τη σωστή υλοποίηση της εμπειρίας του χρήστη στην εφαρμογή, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της ροής που πρέπει να ακολουθείται. Ο στόχος ήταν να εξασφαλιστεί ότι η ανάπτυξη της εφαρμογής θα είναι δομημένη, χωρίς μονοπάτια που δεν οδηγούν σε κάποιο αποτέλεσμα και ο τρόπος που υλοποιήθηκε κάθε διαδικασία να έχει κάποιο λειτουργικό νόημα.

Για να είναι δυνατή η ενσωμάτωση των λύσεων και από τα δύο εργαλεία σε μια εφαρμογή χωρίς να επηρεάζουν το ένα το άλλο, προηγήθηκε κατάλληλη σχεδίαση της δομής της ώστε να πραγματοποιηθεί υλοποίηση σε διαφορετικές «σκηνές», με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται να γίνεται χειροκίνητη εκκίνηση, χειρισμός και τερματισμός των διαδικασιών στις οποίες στηρίζεται το κάθε εργαλείο. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η αξιοπιστία του αποτελέσματος, μειώνονται οι χρόνοι αναμονής που απαιτούνται για τις μεταβάσεις και η εφαρμογή διαιρείται πιο αποτελεσματικά σε κατανοητά υποτιμήματα. Επιπλέον η συντήρηση και η επέκταση της εφαρμογής καθίστανται πολύ πιο εύκολες. Το παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνει τη δομή της εφαρμογής στην αρχική οθόνη και τη ροή της πλοήγησης του χρήστη σε αυτή.

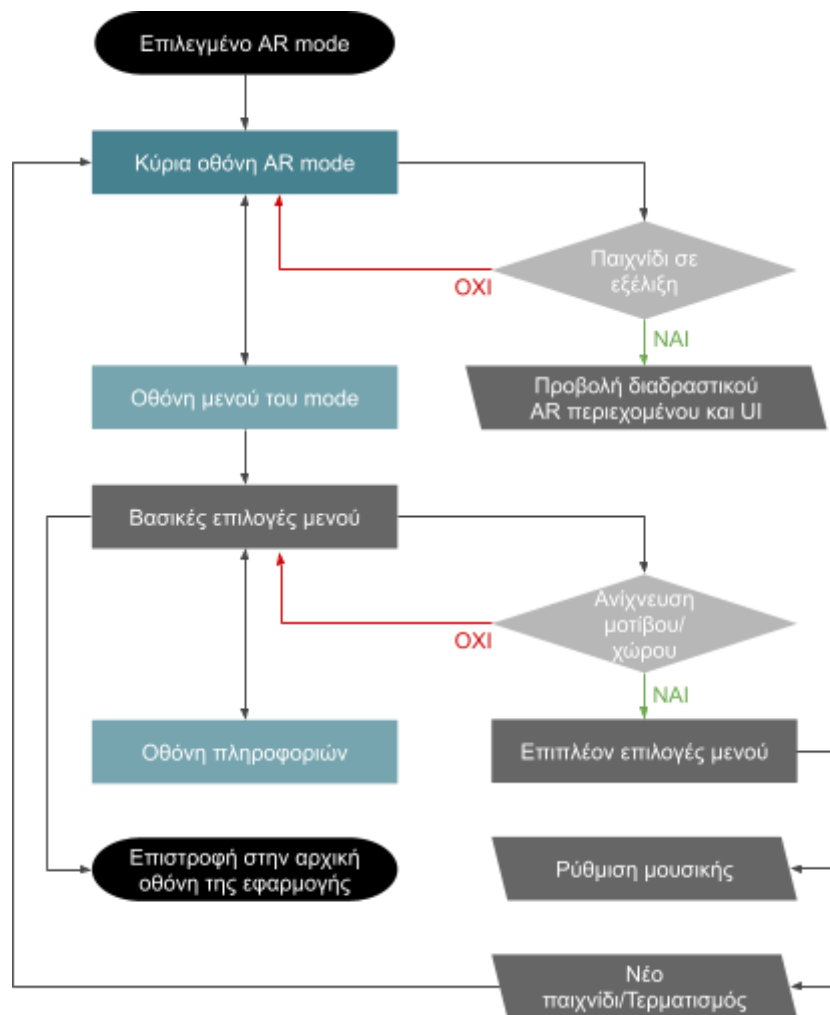


Σχήμα 3.2.1.α. Διάγραμμα Ροής Πλοήγησης Χρήστη - Αρχική οθόνη της εφαρμογής

Όπως φαίνεται λοιπόν, ο χρήστης εκκινώντας για πρώτη φορά την εφαρμογή, καλωσορίζεται από μια οθόνη με πληροφορίες σχετικά με αυτή, οδηγίες για τη χρήση της και κάποιες πληροφορίες για την επαυξημένη πραγματικότητα. Στη συνέχεια μπορεί να δει την **αρχική οθόνη της εφαρμογής**, τον πρώτο κύριο τύπο οθόνης που χρησιμοποιείται, η οποία περιέχει τα κουμπιά για την πλοήγηση στα **διάφορα διαθέσιμα modes** που έχουν ενσωματωθεί στην εφαρμογή, με βάση τα εργαλεία και τις επιμέρους λειτουργίες που επιλέχθηκαν προς σύγκριση από το κάθε ένα. Είναι επίσης διαθέσιμη η επιλογή να επισκεφτεί ξανά την οθόνη των οδηγιών χρήσης ανά πάσα στιγμή από την οθόνη του αρχικού μενού. Σε αυτό το σημείο είναι ορατή, πίσω από σκούρο ημιδιαφανές φόντο, η εικόνα που λαμβάνεται από την κάμερα της συσκευής, ώστε να πραγματοποιείται μια ομαλή οπτική μετάβαση για το χρήστη, μεταξύ του πλήρως ψηφιακού UI της συσκευής του και της λειτουργικότητας της εφαρμογής η οποία χρησιμοποιεί στο μεγαλύτερο ποσοστό την εικόνα που λαμβάνει από την κάμερα. Επιπροσθέτως, με τον τρόπο αυτό εκκινούνται οι διαδικασίες που χρειάζονται για να λάβει η εφαρμογή την άδεια χρήσης της κάμερας της συσκευής και επιτυγχάνεται η πρόωρη διερώτηση του χρήστη. Αυτό γίνεται με σκοπό να μη διακοπεί η εμπειρία του αργότερα, όταν προσπαθήσει να πλοηγηθεί σε κάποιο από τα modes.

Στη συνέχεια ο χρήστης αφού έχει επιλέξει ένα από τα modes που διατίθενται, μπορεί να πλοηγηθεί στην οθόνη AR mode της εφαρμογής. Η δομή του κάθε mode έχει διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να ταιριάζει στον τρόπο που λειτουργεί κάθε εργαλείο. Επίσης σχεδιάστηκε να είναι εύκολη στην κατανόηση, την αποτύπωση, τη χρήση, τη συντήρηση και την επέκτασή του, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται η διευκόλυνση των ελέγχων διασφάλισης ποιότητας που διενεργούνται σε αυτό.

Στο ακόλουθο λοιπόν διάγραμμα αποτυπώνεται η ροή πλοήγησης του χρήστη εντός κάποιου AR mode.



3.2.1.β Διάγραμμα Ροής Πλοήγησης Χρήστη - Κύρια οθόνη AR mode της εφαρμογής

Όπως φαίνεται λοιπόν, ένας χρήστης που επέλεξε να πλοηγηθεί σε ένα από τα modes που εμφανίζονται στην αρχική οθόνη ως κουμπιά, μπορεί πλέον να δει τον δεύτερο κύριο τύπο οθόνης, την **κύρια οθόνη AR mode**, με προφανή πλέον τη χρήση της κάμερας από την εφαρμογή.

Ενός αυτής, ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί στην οθόνη μενού του mode, το οποίο θα έχει αρχικά μόνο τις βασικές επιλογές πλοήγησης στην οθόνη πληροφοριών ή την **επιστροφή στην αρχική οθόνη της εφαρμογής**.

Σε περίπτωση που η κάμερα εντοπίσει το μοτίβο προς ανίχνευση (στα image tracking modes) ή έχει τοποθετηθεί η σκηνή στην οποία θα λάβει χώρο το παιχνίδι (στα plane tracking modes), τότε η οθόνη μενού εμπλουτίζεται με τις επιλογές-κουμπιά της ρύθμισης μουσικής (on/off) και έναρξης/τερματισμού συνεδρίας παιχνιδιού. Επιλέγοντας την εκκίνηση του παιχνιδιού, ο χρήστης καλείται να κατατάξει τον εαυτό του σε μια εκ των τριών αυτοπεριγραφικών κατηγοριών παίκτη, ώστε θα επιλεγεί το κατάλληλο επίπεδο δυσκολίας του παιχνιδιού για αυτόν, και στη συνέχεια επιστρέφει στην κύρια οθόνη AR για την άμεση εκκίνηση του.

Κατά τη διάρκειά του, στο χρήστη παρουσιάζονται γραφικά στοιχεία για την πληροφόρησή του, μέσω της διεπαφής της εφαρμογής. Κάποια από αυτά παρέχουν βασικές οδηγίες για τον τρόπο που παίζεται το παιχνίδι, ενώ άλλα αποτυπώνουν την εξέλιξη της προόδου του στο παιχνίδι, με την οποία προστίθενται αναλόγως σημαντικά τρισδιάστατα στοιχεία στο περιβάλλον του χρήστη.

### 3.2.2 Σχεδίαση λογικής της λειτουργικότητας

#### Modes

Με την εκκίνηση ενός AR mode, τα κριτήρια βάσει των οποίων θεωρείται το παιχνίδι έτοιμο προς εκκίνηση ποικίλλουν ανάλογα με την αρχιτεκτονική της μεθόδου.

Αν ο χρήστης έχει επιλέξει από το αρχικό μενού κάποιο «image tracking mode», τότε αρκεί η αναγνώριση του προκαθορισμένου μοτίβου, ώστε να εμφανιστούν οι επιπλέον επιλογές μενού, και κατ' επέκταση ο χρήστης να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει την εκκίνηση του παιχνιδιού.

Σε περίπτωση που έχει επιλεγεί ένα «plane tracking mode» (το οποίο στοχεύει σε μια εμπειρία εξομοίωσης δωματίου), τότε ο χρήστης πρέπει μετά την επαρκή —χειροκίνητη αλλά σύντομη— σάρωση του χώρου, να τοποθετήσει τη σκηνή που θα λάβει χώρα η εμπειρία. Στη συνέχεια, καθίσταται δυνατή η εκκίνηση του παιχνιδιού από σχετικές επιλογές που κάνουν την εμφάνισή τους στο μενού, αντίστοιχες αυτών που προαναφέρθηκαν.

#### Διεπαφή χρήστη

Με την εκκίνηση του παιχνιδιού, η κύρια «AR mode» οθόνη της εφαρμογής εμπλουτίζεται από UI στοιχεία, με σκοπό την υποβοήθηση του χρήστη στην επίτευξη του στόχου του και κατά συνέπεια την πρόοδό του στο παιχνίδι. Αυτά περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις ενέργειες που πρέπει να κάνει ο χρήστης, καθώς και τι επιτυγχάνεται μέσω αυτών.

Πιο συγκεκριμένα στο χρήστη εμφανίζεται βοηθητικό κείμενο, το οποίο τον ενημερώνει ότι θα πρέπει να συλλέξει συγκεκριμένο αριθμό από προμήθειες, ώστε να αρχίσει να χτίζει κομμάτι-κομμάτι την ψηφιακή εκδοχή του graffiti έργου μπροστά του. Επίσης εμφανίζεται το πλήθος των αναλώσιμων που έχει συλλέξει, ενώ μειώνονται αυτόματα όταν συναντά τον απαιτούμενο αριθμό για τον σχεδιασμό κάθε στρώσης του έργου. Με την πρόοδο του χρήστη, τα μηνύματα υποβοήθησης ενημερώνονται και στην ολοκλήρωση της διαδικασίας όλα τα UI στοιχεία που παρακολουθούν και κατευθύνουν το χρήστη προσαρμόζονται αναλόγως.

## Οπτικά AR ψηφιακά στοιχεία

Με την ανίχνευση του προκαθορισμένου μοτίβου από την εφαρμογή, εμφανίζονται στο σημείο ενδιαφέροντος διακριτικά γραφικά για την πληροφόρηση του χρήστη σχετικά με το ότι οι προϋποθέσεις πληρούνται. Στο plane tracking mode (εξομοίωσης δωματίου), το σημείο αυτό θα είναι προκαθορισμένο και σταθερό.

Με την εκκίνηση του παιχνιδιού, αρχίζουν να αναπηδούν αναλώσιμα σχετικά με το θέμα της εμπειρίας (φιάλες σπρέι και βαλβίδες), αυστηρά γύρω από το χρήστη. Η φορά αναπήδησης είναι πάντα προφανώς κάθετη στην επιφάνεια της γης και δεν επηρεάζεται από την περιστροφή της οπτικής γωνίας της συσκευής στους άξονες X και Z. Αντιθέτως, επηρεάζεται μόνο στον άξονα Y, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της περιστροφής του χρήστη γύρω από τον εαυτό του και τα νέα αναλώσιμα να κάνουν ανά πάσα στιγμή την εμφάνισή τους εντός του οπτικού πεδίου του χρήστη. Τα ορισμένα σημεία για την εμφάνιση (spawning) των αναλώσιμων είναι μπροστά και κάτω από το χρήστη, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση στην οποία κοιτάζει. Στον αριθμό τους, τα σημεία αυτά είναι τοποθετημένα ανά πεντάδες, σε διαφορετική απόσταση από τη συσκευή για κάθε τύπο αντικειμένου λόγω της ποικιλίας των μεγεθών τους, λογική με την οποία η ορατότητά τους από το χρήστη παραμένει επαρκής, ενώ παράλληλα η τυχούσα αλληλεπίδραση μεταξύ τους εξακολουθεί να υπακούει σε μια κοινή λογική τεχνητών νόμων της φυσικής (physics). Οι χρόνοι μεταξύ κάθε εμφάνισης αντικειμένου ποικίλουν σε ένα εύρος διαφορετικό για κάθε αντικείμενο, με σκοπό την υλοποίηση μιας ελεγχόμενης ψευδο-τυχειότητας. Τέλος, τα αντικείμενα που εμφανίζονται αποκτούν τη δική τους θέση τους στο χώρο και δεν εξαρτώνται από τη θέση ή την περιστροφή της συσκευής σε αυτόν.

Με την κάθε επιτυχή συλλογή του αναγκαίου αριθμού αναλώσιμων, στο σημείο ενδιαφέροντος στο περιβάλλον προστίθεται μια στρώση από την ψηφιακή εκδοχή του έργου. Με την ολοκλήρωση του έργου, μέσω της αναδρομικής συλλογής αντικειμένων, και κατ' επέκταση την συλλογή όλων των στρώσεων από τις οποίες αποτελείται, γίνεται εμφάνιση επιπλέον στοιχείων στο περιβάλλον, επιβραβεύοντας το χρήστη με μια ακόμη πιο πλούσια AR οπτική εμπειρία. Τα στοιχεία παραμένουν στο περιβάλλον μέχρι τον τερματισμό της τρέχουσας συνεδρίας παιχνιδιού.

## Ηχητικά AR στοιχεία

Κατά την εξέλιξη του παιχνιδιού την εμπειρία συνοδεύει μουσική, η οποία έχει σχεδιαστεί ειδικά ώστε να εμπλουτίζεται σταδιακά με την πρόοδο του χρήστη, προσθέτοντας νέα ηχητικά στοιχεία κάθε φορά που σημειώνεται πρόοδος. Με την εμφάνιση μιας νέας στρώσης αναπαράγεται επίσης μοναδικός ήχος που τη συνοδεύει, αποσκοπώντας στην ενίσχυση υπόδειξης της προόδου στην εμπειρία. Τέλος, ως μια σημαντική προσθήκη ως προσπάθεια επίτευξης μιας πιο ρεαλιστικής AR ακουστικής εμπειρίας, τα αναλώσιμα κάνουν ήχους σε όλα σχεδόν τα στάδια του κύκλου ζωής τους, δηλαδή κατά την εμφάνιση, την σύγκρουσή τους με άλλα αναλώσιμα στη σκηνή, αλλά και τη συλλογή τους από το χρήστη.

### 3.3 Ανάπτυξη της εφαρμογής

Στο σημείο αυτό θα γίνει εμβάθυνση στη λογική των διαδικασιών, τη διαδικασία ανάπτυξης της εφαρμογής, τη δομή και την υλοποίηση της εμπειρίας. Επίσης θα παρουσιαστούν εικόνες από την ανάπτυξη και την πρόοδο της, καθώς και κομμάτια κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν. Για τις ανάγκες αυτού, θα πραγματοποιηθεί τμηματική αφήγηση των βασικών βημάτων που ακολουθήθηκαν, παρουσιάζοντας παράλληλα σχετικά στιγμιότυπα από την δημιουργική διαδικασία.

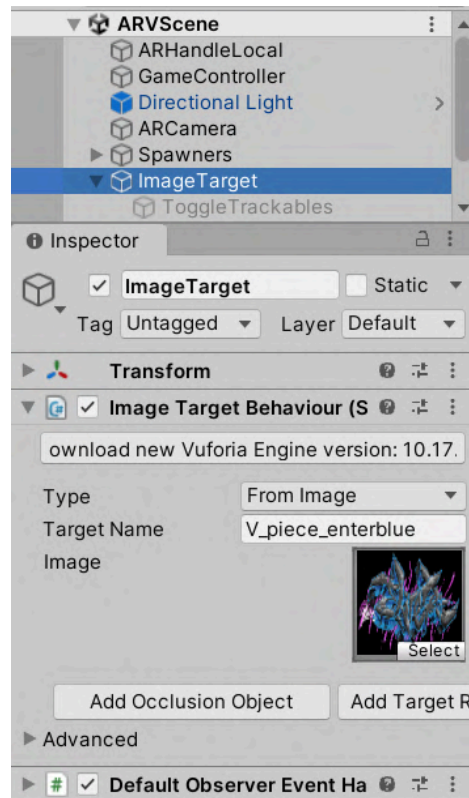
#### 3.3.1 Προετοιμασία

Αρχικά, για την εκκίνηση του όλου εγχειρήματος, σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα «Microsoft Windows 11» που χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό, έγινε λήψη και εγκατάσταση του δωρεάν λογισμικού «Unity Hub», και στη συνέχεια μέσω αυτού της «Unity Engine», η οποία επίσης έρχεται χωρίς κάποιο κόστος. Χρησιμοποιώντας ως βάση ένα κενό template, στο project εγκαταστάθηκε αμέσως μετά, το SDK της Vuforia Engine, όπως μπορεί να βρεθεί στο developer portal της ιστοσελίδας της, ως πακέτο της Unity. Και για τις δύο παραπάνω ενέργειες απαιτείται λογαριασμός στην εκάστοτε σελίδα. Έπειτα έγινε λήψη και εγκατάσταση των απαραίτητων πακέτων για την υλοποίηση της λειτουργικότητας του AR Foundation και των επιμέρους ARCore και ARKit πρόσθετων. Έγιναν επίσης απαραίτητες προσαρμογές στις ρυθμίσεις του έργου ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις που έχει μια τέτοια υλοποίηση, όπως η επιλογή της κατάλληλης μηχανής γραφικών και η χρήση ελάχιστης έκδοσης λειτουργικού συστήματος για τη συσκευή προορισμού.

#### 3.3.2 Υλοποίηση

##### Image Tracking - Vuforia Engine

Ξεκινώντας από μια κενή σκηνή στο έργο, έγινε αντικατάσταση της αρχικής κάμερας με την ειδικού σκοπού «ARCamera» της Vuforia, στις ρυθμίσεις της οποίας έγιναν προσαρμογές, ενώ επίσης προσαρτήθηκε το κλειδί μιας δωρεάν άδειας της πλατφόρμας, το οποίο δημιουργήθηκε σε προηγούμενο χρόνο στη σελίδα της Vuforia. Έπειτα, προστέθηκε στη σκηνή αντικείμενο Canvas και UI στοιχείων σε αυτό, τα οποία θα επιτρέψουν τη μελλοντική πλοήγηση του χρήστη στην εφαρμογή. Στη συνέχεια προστέθηκε ένα αντικείμενο (GameObject) ειδικού σκοπού της Vuforia για ανίχνευση εικόνας που ονομάζεται «ImageTarget».

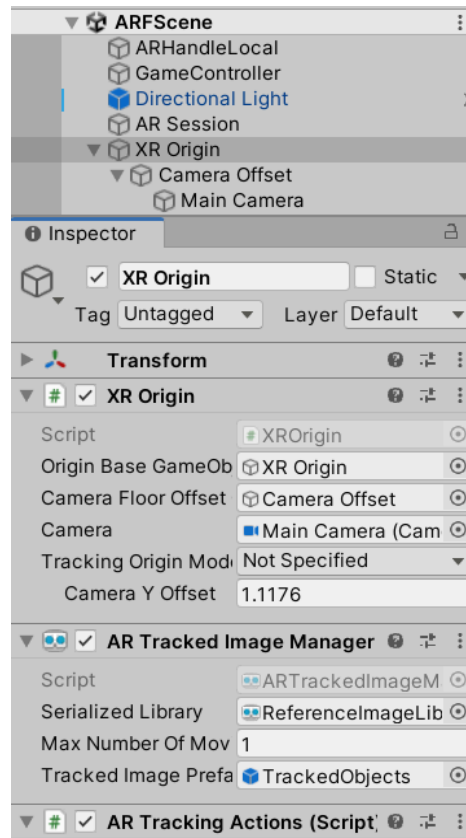


3.3.2α. Τμήμα από στιγμιότυπο κατά την υλοποίηση Image Tracking της Vuforia.

Εκτός του ομώνυμου component του αντικειμένου, για τον ορισμό εικόνας προς ανίχνευση έγινε χρήση του «Default Observer Handler», το οποίο θα διαχειριστεί την πραγματοποίηση συγκεκριμένων ενεργειών όταν συμβεί η ταυτοποίηση της εικόνας που δόθηκε στο περιβάλλον. Στην εικόνα μπορεί επίσης κανείς να δώσει τιμές διαστάσεων αυτής στον πραγματικό κόσμο, για τον καλύτερο υπολογισμό των αναλογιών μεταξύ της ανιχνεύσιμης εικόνας και των εικονικών στοιχείων.

### Image Tracking - AR Foundation

Σε μια διαφορετική σκηνή, συγκεκριμένα αυτή που δημιουργήθηκε για το AR Foundation, προστέθηκε το αντικείμενο «AR Session» αλλά και το αντικείμενο «XR Origin», η ύπαρξη των οποίων είναι απαραίτητη στη συγκεκριμένη υλοποίηση. Ύστερα προστέθηκαν στο δεύτερο τα components «AR Tracked Image Manager» και το custom script «AR Tracking Actions» για την υλοποίηση της ανίχνευσης εικόνας και διενέργεια συγκεκριμένων πράξεων όταν αυτή συμβεί (όπως και στην υλοποίηση της Vuforia). Για την εισαγωγή της εικόνας (στο πρώτο component) απαιτείται η δημιουργία και χρήση μιας «Reference Image Library» στην οποία καταχωρούνται όλες οι εικόνες που θα δώσουν το ίδιο αποτέλεσμα.



3.3.2β. Τμήμα από στιγμιότυπο κατά την υλοποίηση Image Tracking του AR Foundation.

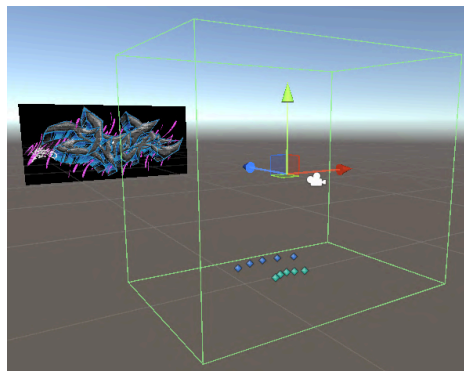
### Image Tracking - Κοινά μέρη

Ως εικόνα προς ανίχνευση για το project δόθηκε η φωτογραφία από ένα κομμάτι graffiti το οποίο πληροί τις προδιαγραφές για τη μετατροπή και χρήση του ως τρισδιάστατο μοντέλο. Στο αντικείμενο αυτό δόθηκαν επίσης εντολές για συγκεκριμένες ενέργειες κατά τον εντοπισμό της εικόνας όπως η ενεργοποίηση κάποιων απενεργοποιημένων αρχικά κουμπιών UI. Αυτά υπάρχουν σε κάθε mode και δημιουργήθηκαν με βάση το προδιαγεγραμμένο μενού του σχήματος 3.2.1β, ώστε ο χρήστης να μπορεί να ξεκινήσει το παιχνίδι. Εκτός από την εκκίνηση του παιχνιδιού, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να απενεργοποιήσει τη μουσική και να μάθει λίγες ακόμη πληροφορίες για την εφαρμογή, το project και τα μέρη που εμπλέκονται, ενώ δίνεται και η δυνατότητα ανακατεύθυνσης στον ιστό.

Για την πιο εύκολη διαχείριση της διαδικασίας, δημιουργήθηκε ένα ξεχωριστό αντικείμενο «prefab» για το χειρισμό όλων των αντικειμένων που επρόκειτο να συμπεριληφθούν αργότερα ως πρόσθετο ψηφιακό περιεχόμενο που θα εμφανίζεται όταν εντοπιστεί η εικόνα. Ο χειρισμός του ψηφιακού αυτού περιεχομένου πραγματοποιείται μέσω του εν λόγω αντικειμένου το οποίο έχει πολλά παιδιά, όχι γιατί είναι αναγκαίο στην υλοποίηση της Vuforia, αλλά γιατί με αυτό τον τρόπο λειτουργεί το AR Foundation.

Επιπλέον, με τον τρόπο αυτό καθιστάται πιο εύκολη η συντήρηση αλλά και η επέκταση της λειτουργικότητας, μέσω ενός κοινού σημείου αναφοράς.

Έπειτα προστέθηκαν στη σκηνή σημεία σε πεντάδες, ως παιδιά ενός κεντρικού spawner, για την εμφάνιση των αναλώσιμων που προδιαγράφονται. Το κεντρικό αυτό αντικείμενο προγραμματίστηκε να ακολουθεί τη θέση της συσκευής στο χώρο και την περιστροφή της στον άξονα Y. Με τον τρόπο αυτό τα αναλώσιμα κάνουν την εμφάνισή τους πάντα με συγκεκριμένη φορά μπροστά από το χρήστη. Στη συνέχεια κινούνται ανεξάρτητα στο χώρο.



### 3.3.2γ. Τμήμα από στιγμιότυπο κατά την υλοποίηση Image Tracking.

Σε αυτό απεικονίζονται η κάμερα, τα σημεία από τα οποία θα εμφανίζονται τα αναλώσιμα, καθώς και η εικόνα πως ανίχνευση.

Ενδεικτικά δίνεται το παρακάτω, το οποίο προσαρτήθηκε στο spawner που περιέχει τις πεντάδες ως παιδιά του. Στο παρακάτω επιλέχθηκε μόνο ο επιθυμητός άξονας από τον Inspector της Unity:

---

```
public class FollowCamera : MonoBehaviour
{
    //public Transform sourceObject;
    public bool inheritXAxis = true;
    public bool inheritYAxis = true;
    public bool inheritZAxis = true;

    private Vector3 initialRotationOffset;
    public Transform mainCamera;

    private void Start()
```

```

{
    if (mainCamera != null)
    {
        mainCamera = Camera.main.transform;
        // Calculate the initial rotation offset between the two objects
        initialRotationOffset = transform.rotation.eulerAngles - mainCamera.rotation.eulerAngles;
    }
    else if (mainCamera == null)
    {
        Debug.LogWarning("Camera object could not be found.");
        //enabled = false;
    }
}

private void LateUpdate()
{
    if (mainCamera != null)
    {
        // Create a new rotation based on the source object's rotation and the initial offset
        Vector3 newEulerAngles = new Vector3(
            inheritXAxis ? mainCamera.rotation.eulerAngles.x + initialRotationOffset.x : transform.rotation.eulerAngles.x,
            inheritYAxis ? mainCamera.rotation.eulerAngles.y + initialRotationOffset.y : transform.rotation.eulerAngles.y,
            inheritZAxis ? mainCamera.rotation.eulerAngles.z + initialRotationOffset.z : transform.rotation.eulerAngles.z
        );

        transform.rotation = Quaternion.Euler(newEulerAngles);

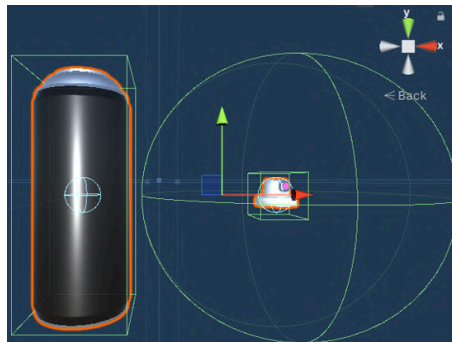
        Vector3 mainCameraPosition = mainCamera.position;
        transform.position = mainCameraPosition;
    }
}
}

```

---

Για την αποφυγή της κατάχρησης των πόρων της συσκευής, δόθηκε συγκεκριμένος χώρος γύρω από το `spawner` στον οποίο τα αναλώσιμα μπορούν να είναι ενεργά. Όταν τα

αναλώσιμα βγουν εκτός του χώρου αυτού ή ξεπεράσουν μια προκαθορισμένη διάρκεια ζωής, καταστρέφονται για να εμφανιστούν νέα, διατηρώντας τον αριθμό των ενεργών ίδιο καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού. Τα αναλώσιμα αυτά μπορεί ο χρήστης να δει και να συλλέξει μόνο κατά τη διάρκεια μιας ενεργής συνεδρίας παιχνιδιού η οποία δε βρίσκεται σε κατάσταση παύσης. Η λογική στη φυσική και την ταχύτητα κίνησης τους είναι πλήρως προσαρμοσμένη και αλλάζει ποικιλοτρόπως ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας που επιλέγει ο χρήστης. Επιπλέον, στη σύγκρουση μεταξύ των αναλώσιμων έχει αναπτυχθεί ξεχωριστή λογική για την ηχητική προσομοίωση τους με διαφορετικό ήχο, τόνο και ένταση, ανάλογα με τον τύπο των αντικειμένων που εμπλέκονται σε αυτή και τη δύναμη της σύγκρουσης.



### 3.3.2δ. Σύγκριση των αναλώσιμων και επισήμανση των τριών colliders τους.

Ενδεικτικά δίνεται το παρακάτω το οποίο λειτουργεί προσαρτημένο στο εκάστοτε αναλώσιμο, ως μέρος της εξατομικευμένης συμπεριφοράς του:

---

```
private void OnCollisionEnter(Collision collision)
{
    float hitForce = collision.relativeVelocity.magnitude;
    float hitVol = collision.relativeVelocity.magnitude * velToVol;

    if (collision.gameObject.CompareTag("Spraycap"))
    {
        if (spraycapAudioSource != null && spraycap2spraycapClip != null)
        {
            if (hitForce < spraycap2spraycapLowestPitch)
            {
                HandleCollisionSounds(spraycap2spraycapLowestPitch, hitVol);
            }
            else if (hitForce > spraycap2spraycapHighestPitch)
```

```

    {
        HandleCollisionSounds(spraycap2spraycapHighestPitch, hitVol);
    }
    else
    {
        HandleCollisionSounds(hitForce, hitVol);
    }
}
else
{
    Debug.LogError("Cap Audio Source or spraycap2spraycap AudioClip is null.");
}
}
}

private void HandleCollisionSounds(float hF, float hV)
{
    spraycapAudioSource.pitch = hF;
    spraycapAudioSource.PlayOneShot(spraycap2spraycapClip, hV);

    if (gameController != null && gameController.spraycapCollisionForce != null && gameController.spraycapCollisionVolume != null)
    {
        gameController.spraycapCollisionForce.text = hF.ToString("F2");
        gameController.spraycapCollisionVolume.text = hV.ToString("F2");
    }
}
}

```

---

Καθ' όλη τη διάρκεια συλλογής των αντικειμένων, το παιχνίδι συνοδεύεται από μουσική υπόκρουση ειδικά φτιαγμένη για το σκοπό αυτό. Πιο συγκεκριμένα, κάθε φορά που ο χρήστης ξεκλειδώνει μια νέα στρώση του graffiti, προστίθενται στο μουσικό κομμάτι νέα στοιχεία όπως μελωδία μπάσου και διαφορετικά κομμάτια από μια ολοκληρωμένη μελωδία πιάνου.

Με την ανίχνευση της εικόνας και την εμφάνιση των κουμπιών για εκκίνηση του παιχνιδιού, εμφανίζονται πλέον νέα σχετικά στοιχεία στο UI για την καθοδήγηση του χρήστη. Αμέσως μετά την επιλογή του χρήστη για εκκίνηση και την επιλογή επιπέδου

δυσκολίας, ακολουθεί μια σύντομη αντίστροφη μέτρηση και ύστερα τα αναλώσιμα αρχίζουν να ξεπερνούν γύρω του. Ο χρήστης μπορεί να τα ακουμπήσει και μέσω σχετικού ανιχνευτή (collider) στο εκάστοτε αναλώσιμο να τα συλλέξει λαμβάνοντας σχετική ανταπόκριση, τόσο οπτική όσο και ακουστική. Τη διαδικασία μπορούν να επιταχύνει η συλλογή των ειδικών αντικειμένων σπρέι που δίνουν επιπλέον πόντους, ενώ παράλληλα αυξάνουν προσωρινά το όριο των ταυτόχρονων αντικειμένων στη σκηνή, προκαλώντας την εμφάνιση ενός κύματος αντικειμένων που είναι κανείς δύσκολο να αγνοήσει. Με την επιτυχή συλλογή των απαιτούμενων αντικειμένων γίνονται ένα-ένα ενεργά τα μέρη του graffiti κομματιού, μέχρι να γίνει ενεργό και το τελευταίο. Κατά την ολοκλήρωση του κομματιού, ο χρήστης λαμβάνει σχετική πληροφόρηση και επιπλέον ψηφιακά στοιχεία κάνουν την εμφάνισή τους ως μια μορφή επιβράβευσης, επίδειξης των δυνατοτήτων της AR τεχνολογίας και ένα μέσο στιγμιαίας κορύφωσης του ενθουσιασμού του χρήστη.



### 3.3.2.ε. Στιγμιότυπο από ολοκληρωμένη συνεδρία παιχνιδιού σε (Vuforia) Image Tracking mode

Τα στοιχεία αυτά είναι κατά βάση ένα ανθρώπινο τρισδιάστατο μοντέλο που εμφανίζεται για να δώσει το σεβασμό του στο χρήστη για το κομμάτι που δημιούργησε και να επιδείξει τις χορευτικές του ικανότητες. Ενδεικτικά δίνεται το παρακάτω ως μέρος ενός κεντρικού χειριστή της σκηνής:

---

```
public void suppliesCheck()
{
    if ((spraycanCount >= spraycansNeeded) && (spraycapCount >= spraycapsNeeded) && (progress != graffitiPiece.transform.childCount))
    {
        spraycanCount = spraycanCount - spraycansNeeded;
        spraycanCountText.text = spraycanCount.ToString() + (" / ") + spraycansNeeded.ToString();
        spraycapCount = spraycapCount - spraycapsNeeded;
```

```

spraycapCountText.text = spraycapCount.ToString() + (" / ") + spraycapsNeeded.ToString();
progress += 1;

if (musicAudioSource != null)
{
    musicAudioSource.Stop();
    musicAudioSource.PlayOneShot(freshScratch);
}
else { Debug.LogError("Beat Interaction Audio Source is null."); }
Invoke(nameof(playBeat), 5);

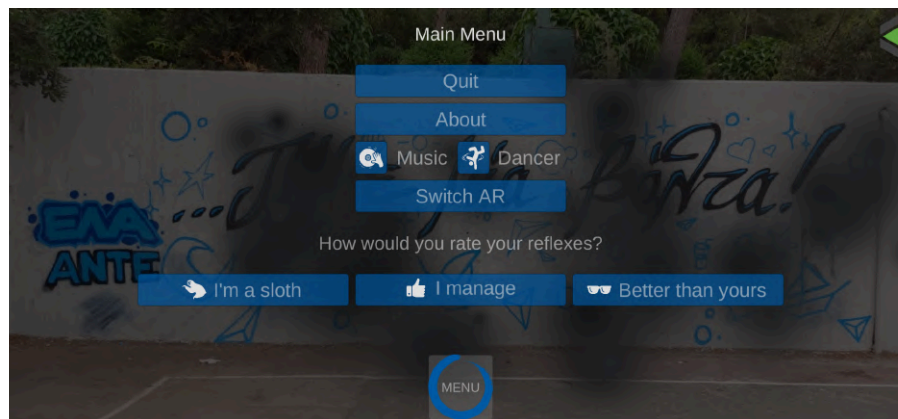
if (progress <= graffitiPiece.transform.childCount)
{
    graffitiPiece.transform.Find("piecePart" + progress).gameObject.SetActive(true);
    footerMainMessage.text = "Nice! You have painted layer " + progress + ".";
    footerSecMessage.text = "Collect " + spraycapsNeeded + " Caps & " + spraycansNeeded + " Cans for each layer.";
    Debug.Log("A FRESH LAYER WAS PAINTED: LEVEL " + progress);
    if (progress == graffitiPiece.transform.childCount)
    {
        footerMainMessage.text = "Congratulations! You have just completed a Graffiti piece.";
        footerSecMessage.text = "You might as well keep playing though.";
        spraycanCountText.text = spraycanCountSession.ToString();
        spraycapCountText.text = spraycapCountSession.ToString();
    }
}
}
}

```

---

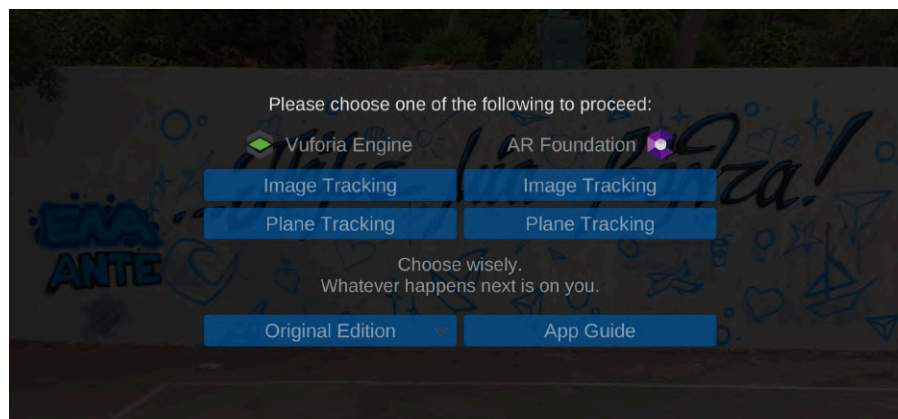
Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει επιλέξει να παίξει το παιχνίδι χωρίς μουσική, ο χορευτής δεν εμφανίζεται έως ότου να ενεργοποιηθεί η μουσική από το μενού του mode. Κάθε φορά που η μουσική ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται, ο χορευτής εμφανίζεται και εξαφανίζεται αναλόγως. Ο χρήστης σε αυτό το σημείο έχει τη δυνατότητα να συνεχίσει να παίξει το παιχνίδι ή να σταματήσει τη μουσική, το χορευτή και τη συνεδρία του παιχνιδιού, αφήνοντας ενεργό μόνο το κομμάτι graffiti, μέχρι να φύγει από το mode ή να ξεκινήσει νέα συνεδρία. Ολοκληρώνοντας το κομμάτι, ο χρήστης μπορεί είτε να συνεχίσει να παίζει, είτε

να φύγει από το τρέχον mode, μέσω της επιλογής «Switch AR» από το μενού που προδιαγράφεται στο σχήμα 3.2.1.β.



3.3.2.ς. Υλοποίηση μενού mode του σχήματος 3.2.1.β.

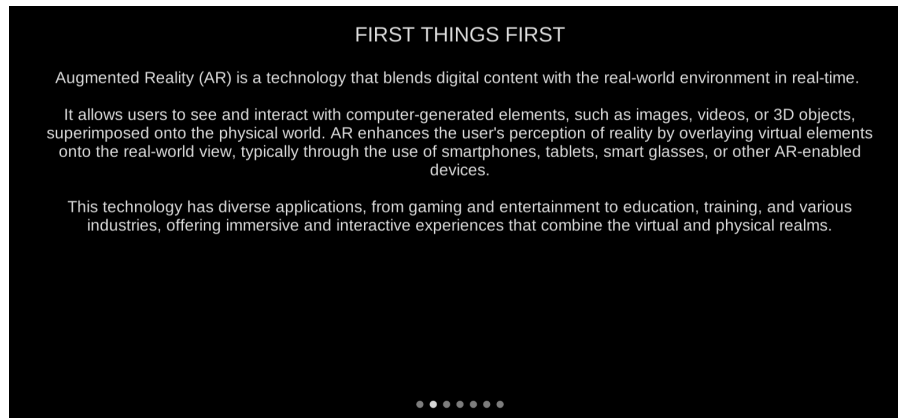
Στη δεύτερη περίπτωση θα ανακατευθυνθεί σε μια αρχική οθόνη που θα εμφανίζεται με την έναρξη της εφαρμογής. Η συγκεκριμένη οθόνη, η οποία προδιαγράφεται στο σχήμα 3.2.1.α. υλοποιήθηκε σε ξεχωριστή σκηνή, με μόνες επιλογές τα κουμπιά ανακατεύθυνσης σε κάθε ένα από τα modes και ένα ακόμη για εμφάνιση οδηγιών χρήσης.



3.3.2.ζ. Υλοποίηση βασικού μενού εφαρμογής του σχήματος 3.2.1.α.

Τα κουμπιά για πλοήγηση στο κάθε mode εμφανίζονται κατηγοριοποιημένα ανά εργαλείο υλοποίησης. Για την εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών εκδόσεων της εφαρμογής διατίθεται κουμπί με λειτουργικότητας τύπου πτυσσόμενου μενού. Αυτό επηρεάζει διάφορα σημεία της εφαρμογής όπως γραφικά της διεπαφής, το τρισδιάστατο graffiti μοντέλο και το ειδικό σπρέι προς συλλογή. Το επιπλέον κουμπί με τίτλο «App Guide» εμφανίζει μια οθόνη μέσα από την οποία παρέχονται στο χρήστη πληροφορίες για το σκοπό της εφαρμογής, το αντικείμενο που εξετάζει αλλά και πως να τη χρησιμοποιήσει. Ο οδηγός εμφανίζεται σε μορφή πολλαπλών διαφανειών πλήρους οθόνης, με το χρήστη να μπορεί να πλοηγηθεί

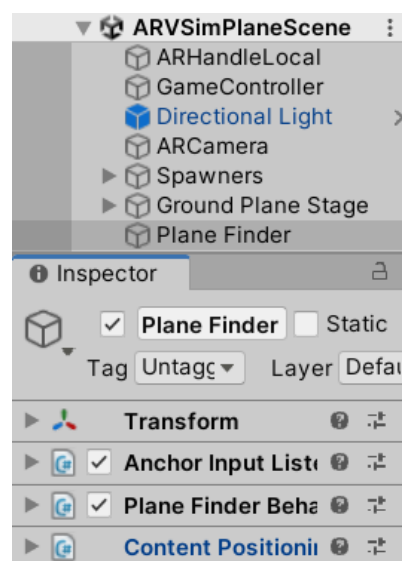
κάνοντας κύλιση αριστερά και δεξιά. Η εμφάνιση του συμβαίνει κάθε φορά που ένας χρήστης εγκαθιστά την εφαρμογή εκ νέου ή διαγράφει τα δεδομένα της (cache) όπου και αποθηκεύεται σχετική πληροφορία ως τύπος ρύθμισης. Η υλοποίηση της υπο-οθόνης αυτής είναι μια αρκετά τροποποιημένη εκδοχή του Unity asset «Simple Scroll Snap» από τον Daniel Lochner. [79]



3.3.2.η. Υλοποίηση οθόνης οδηγιών χρήσης «App Guide».

### Plane Tracking - Vuforia Engine

Πέραν της υλοποίησης ανίχνευσης εικόνας, προσφέρεται ένα ακόμη mode σε κάθε ένα από τα εργαλεία. Αυτό ονομάζεται τεχνικά Plane Tracking, και στην παρούσα εφαρμογή καλείται να αποδώσει ένα σενάριο στο οποίο ο χρήστης βρίσκεται εμφανώς κατά το μεγαλύτερο μέρος εντός κάποιου χώρου.



3.3.2.θ. Τμήμα από στιγμιότυπο κατά την υλοποίηση Plane Tracking της Vuforia.

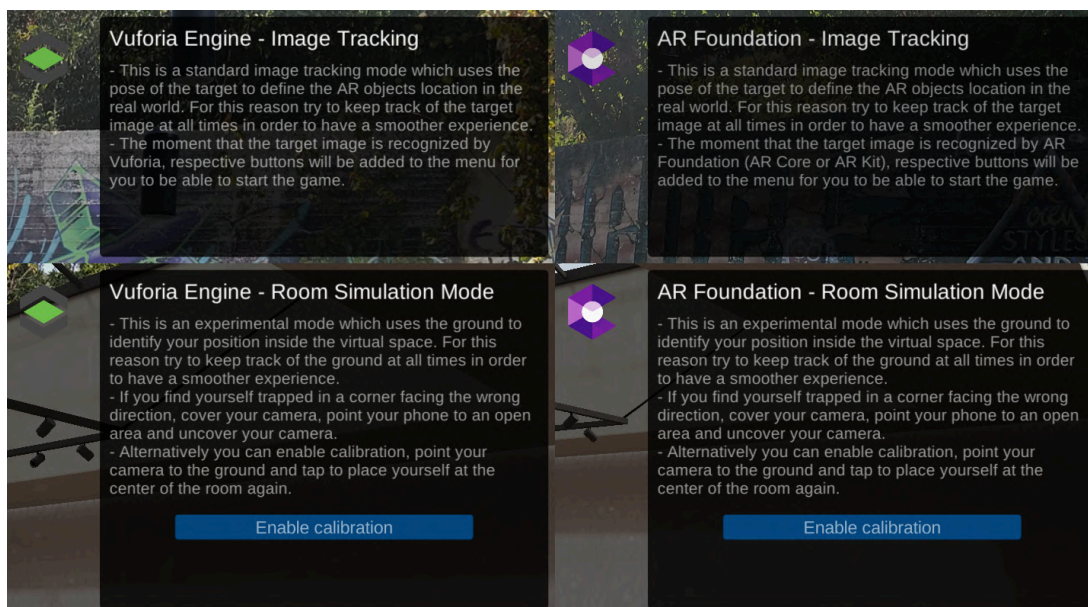
Στη σκηνή του εν λόγω mode, όπως και στο TargetImage της Vuforia, προστέθηκε μια ARCamera με τις ίδιες ρυθμίσεις και κλειδί άδειας. Έπειτα προστέθηκε το αντικείμενο ειδικού σκοπού «Plane Finder», μέσα από το οποίο μπορεί κανείς να προσδιορίσει τη συμπεριφορά της τοποθέτησης περιεχομένου στη σκηνή και τι θα γίνεται όταν αυτό συμβεί. Τέλος, ένα ακόμη σχετικό αντικείμενο είναι απαραίτητο για την ολοκλήρωση της λειτουργίας. Αυτό είναι το «Ground Plane Stage» και περιέχει ρυθμίσεις για τον τύπο τοποθέτησης των AR αντικειμένων στη σκηνή και τι ενέργειες πρέπει να γίνουν όταν ανιχνευθεί μια επιφάνεια που θα πληροί τις προϋποθέσεις. Όπως και στη λογική της ανίχνευση εικόνας της Vuforia, έτσι και σε αυτό το mode, το αντικείμενο prefab που περιέχει τα AR στοιχεία προς εμφάνιση θα πρέπει να είναι παιδί του Ground Plane Stage αντικειμένου.

Στο συγκεκριμένο mode είναι διαθέσιμο ένα ακόμη τρισδιάστατο μοντέλο στην σκηνή. Ο αντίκτυπος όμως που έχει στην όλη εμπειρία είναι πολύ μεγάλος. Με την εκκίνηση του mode αυτού, ο χρήστης σαρώνει για λίγα δευτερόλεπτα το έδαφος με αργές κινήσεις ώστε να δώσει στην εφαρμογή την ευκαιρία να κατανοήσει το στόχο της. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να «δείξει» ένα σημείο στο έδαφος για να τοποθετηθεί το κέντρο της σκηνής του, τοποθετώντας τον ίδιο σε ένα μεγάλο δωμάτιο όπου θα λάβει χώρα η προδιεγραμμένη εμπειρία. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί στο ψηφιακό δωμάτιο που καλύπτει όλο σχεδόν το πραγματικό περιβάλλον εκτός του ουρανού, περπατώντας στον πραγματικό κόσμο. Όλες οι επιμέρους λειτουργίες όσον αφορά το παιχνίδι και την πλοήγηση στα μενού του mode παραμένουν οι ίδιες.



### 3.3.2.1. Στιγμιότυπο από ολοκληρωμένη συνεδρία παιχνιδιού σε Vuforia Plane Tracking mode.

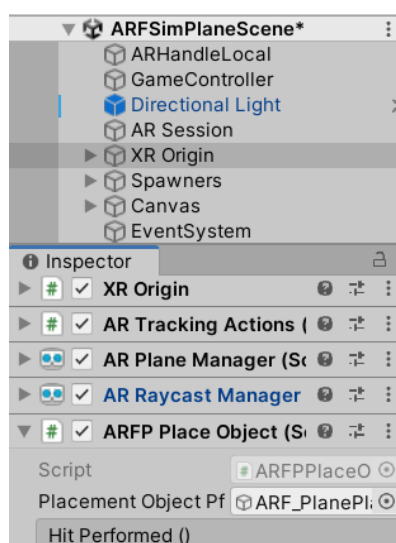
Για κάθε mode στην εφαρμογή διατίθεται στο πάνω δεξιά μέρος της οθόνης ένα εικονίδιο το οποίο υποδεικνύει το εργαλείο που χρησιμοποιείται στη σκηνή. Πατώντας πάνω σε αυτό, μπορεί κανείς να λάβει κάποιες σύντομες πληροφορίες για το πως λειτουργεί το mode στο οποίο βρίσκεται. Στα Plane Tracking modes μάλιστα, έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει την επανατοποθέτηση του δωματίου, σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο κάτι έχει πάει λάθος και τα αντικείμενα του δωματίου έχουν εξαφανιστεί ή έχουν χάσει τη σωστή θέση τους στον πραγματικό κόσμο.



3.3.2.1α. Μέρη από τέσσερα στιγμιότυπα με πληροφορίες για το mode του εργαλείου, ένα από την κάθε σκηνή

### Plane Tracking - AR Foundation

Παίρνοντας ως βάση την υλοποίηση της σκηνής Image Tracking του AR Foundation, αντικαταστάθηκε το «AR Tracked Image Manager» component του αντικειμένου «XR Origin». Αυτό έγινε ώστε να σταματήσει να λειτουργεί η ανίχνευση εικόνας και να πάρει τη θέση της η ανίχνευση επιφανειών.



3.3.2.1β. Τμήμα από στιγμιότυπο κατά την υλοποίηση Plane Tracking του AR Foundation.

Στη συνέχεια, για τις ανάγκες του έργου επιλέχθηκε η ανίχνευση μόνο των οριζόντιων επιφανειών. Ύστερα προστέθηκε στο ίδιο αντικείμενο (XR Origin), component «AR Raycast Manager» για την τοποθέτηση αντικειμένων σε κάποια εντοπισμένη επιφάνεια. Για τη διαχείριση της λειτουργικότητας σχετικά με την τοποθέτηση του δωματίου στη σκηνή, αλλά και την επανατοποθέτησή του στις σωστές συντεταγμένες, δημιουργήθηκε νέο προσαρμοσμένο component στο ίδιο και πάλι αντικείμενο, με σκοπό τη χρήση custom script που θα κληθεί να κάνει την εν λόγω διαχείριση. Ενδεικτικά δίνεται το παρακάτω ως μέρος του χειριστή:

---

```
private void FingerDown(EnhancedTouch.Finger finger)
{
    if (finger.index != 0) return;

    if (aRRaycastManager.Raycast(finger.currentTouch.screenPosition, hits, TrackableType.PlaneWithinPolygon))
    {
        foreach (ARRaycastHit hit in hits)
        {
            Debug.Log("hits: " + hit);
            Pose pose = hit.pose;

            foreach (var placedObject in _placedObjects)
            {
                placedObject.transform.position = pose.position;
                HitPerformed?.Invoke();
                Debug.Log("Repositioned action scene object: " + placedObject);
            }
            if (_placedObjects.Count == 0)
            {
                _placedObjects.Add(Instantiate(PlacementObjectPf, pose.position, pose.rotation));
                HitPerformed?.Invoke();
                Debug.Log("Placed new action scene object.");
            }
        }
    }
}
```

}

}

Με τον τρόπο αυτό, μετά τη σάρωση του εδάφους, ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει το δωμάτιο για να ξεκινήσει το παιχνίδι και με τη χρήση του πλευρικού εργαλείου της εικόνας 3.3.2.δ μπορεί να επανατοποθετήσει το δωμάτιο σε περίπτωση που κριθεί αναγκαίο. Η υλοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε ως μια εναλλακτική μορφή αυτής που χρησιμοποιείται ήδη από τη Vufoia, ώστε ο χρήστης να λαμβάνει υπόψη του μια και μόνο λογική στην μέθοδο του Plane Tracking και για τα δύο εργαλεία.

#### Assets και επιμέρους εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

Για τις ανάγκες της παραπάνω υλοποίησης κρίθηκε απαραίτητη η χρήση κάποιων στοιχείων (assets). Εξ αυτών, άλλα βρέθηκαν αρχικά στο διαδίκτυο και στη συνέχεια τροποποιήθηκαν για να ταιριάζουν στις ανάγκες του έργου και άλλα δημιουργήθηκαν από την αρχή με βάση τις ανάγκες αυτές.

Η ψηφιακή εκδοχή του κομματιού graffiti που χρησιμοποιήθηκε, δημιουργήθηκε με βάση φωτογραφία πραγματικού έργου, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή του Αγρινίου. Η δισδιάστατη μορφή του σχηματίστηκε στο πρόγραμμα Adobe Illustrator και στη συνέχεια μετατράπηκε στην τρισδιάστατη μορφή του στο Blender. Το έργο ήταν αρκετά απλό ώστε να ταιριάζει στην υλοποίηση της εφαρμογής, αλλά αρκετά σύνθετο ώστε να αναδείξει τις δυνατότητές της. Επιπλέον, το έργο αποτελείται από την αγγλική λέξη «Enter», η οποία φάνηκε ταιριαστή για ένα project του τομέα της πληροφορικής, προσθέτοντας μάλιστα στην ψηφιακή του εκδοχή τις λέξεις «Augmented Reality».

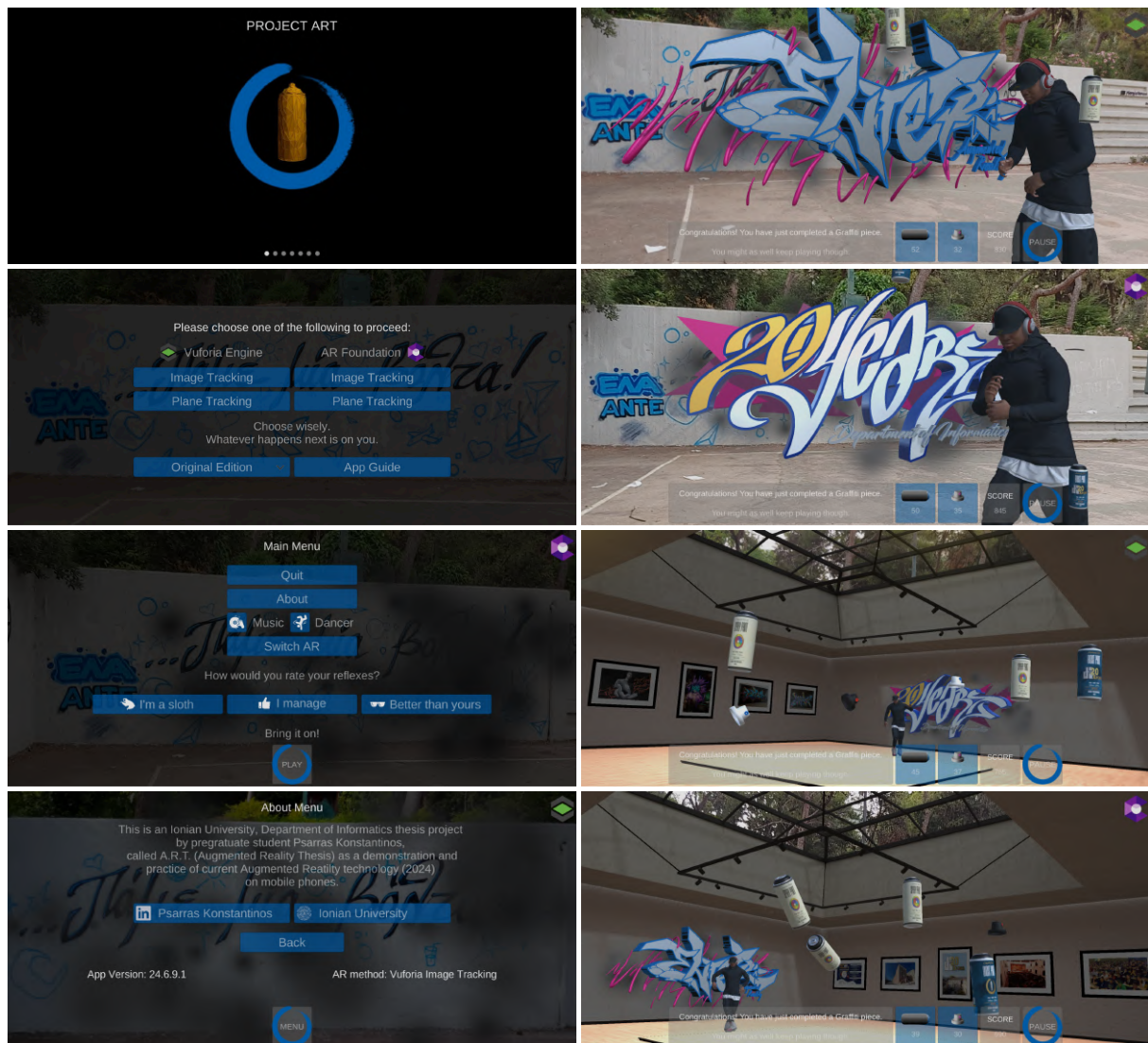
Τα υπόλοιπα τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν βρέθηκαν σε διάφορες σελίδες στο διαδίκτυο. Τα μοντέλα της φιάλης σπρέι και της βαλβίδας προήλθαν από την επεξεργασμένη μορφή ενός δωρεάν αρχείου από τη σελίδα [cgtrader.com](http://cgtrader.com). [80] Τα textures που προστέθηκαν στις φιάλες δημιουργήθηκαν από την αρχή στο πρόγραμμα «Gimp». Τα μοντέλα του δωματίου και των κάδρων αποτελούν επίσης δωρεάν assets από τη σελίδα [sketchfab.com](http://sketchfab.com). [81] Τέλος, το μοντέλο του χορευτή (James) καθώς και οι κινήσεις του (animations), βρέθηκαν από τη σελίδα [mixamo.com](http://mixamo.com). [82]

Τα ηχητικά εφέ των αναλώσιμων που χρησιμοποιήθηκαν ηχογραφήθηκαν με τη χρήση μιας κινητής συσκευής Apple iPhone 11. Συγκεκριμένα, αποτελούνται από το εφέ κατά την εμφάνιση, τη σύγκρουση φιαλών, τη σύγκρουση βαλβίδων, τη σύγκρουση φιαλών και βαλβίδων μεταξύ τους και τα ξεχωριστά εφέ συλλογής του κάθε τύπου αναλώσιμου. Το τμήμα scratch με τη λέξη «fresh», που χρησιμοποιήθηκε κατά το σχηματισμό μιας νέας στρώσης του κομματιού στο παιχνίδι, ηχογραφήθηκε σε μια συσκευή Numark PT-01 από το βινύλιο «Wax Cutters 7». Στη συνέχεια όλα τα παραπάνω τροποποιήθηκαν στο πρόγραμμα Audacity για να φτάσουν να πληρούν τις ανάγκες του έργου.

Η μουσική που χρησιμοποιήθηκε βρέθηκε σε 3 κομμάτια (drums, μπάσο, πιάνο) στη σελίδα [looperman.com](http://looperman.com) και στη συνέχεια το κάθε ένα προσαρμόστηκε στο Audacity, ώστε να αποδοθούν σε διάφορες στρώσεις, σχηματίζοντας έτσι περισσότερες πιθανές εκδοχές για την διαδοχική τους αναπαραγωγή, με σκοπό την δημιουργία αίσθησης προόδου στο παιχνίδι. [83][84][85]

Τέλος, μέρος από το λογότυπο της εφαρμογής πάρθηκε από ένα τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο ήταν αρχικά σχεδιασμένο για 3D εκτύπωση. Το μοντέλο βρέθηκε στη σελίδα [www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com) και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή του ως εικόνα, αλλά και η επεξεργασία του ως τέτοια. [86]

### 3.3.3 Επίδειξη



#### 3.3.3.α. Στιγμιότυπα από όλες τις οθόνες και τα modes της εφαρμογής.

Σύνδεσμος για την παρακολούθηση της επίδειξης από την τελική μορφή της εφαρμογής:

<https://www.youtube.com/watch?v=I0FGIN0AB9w>

Σύνδεσμος για τη λήψη της εφαρμογής:

<https://appdistribution.firebase.dev/i/3e0ae784a59a2792>

Σε περίπτωση που ο παρών σύνδεσμος έχει λήξει, αναζητήστε την εφαρμογή στο Google Play με το όνομα «Project A.R.T.» ή επικοινωνήστε μαζί μου στο [p14psar@gmail.com](mailto:p14psar@gmail.com).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό, έχοντας αναφέρει σημαντικά ιστορικά σημεία και εφαρμογές για την τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας, παρουσιάζοντας παράλληλα διάφορους τομείς στους οποίους έχει εφαρμοστεί κατά καιρούς, και έχοντας πλέον προδιαγράψει και υλοποιήσει μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για κινητές συσκευές, υπάρχουν πλέον οι βάσεις για κάποια συμπεράσματα από το όλο εγχείρημα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως η επαυξημένη πραγματικότητα είναι ένα κομμάτι της τεχνολογίας, που όπως φάνηκε από τις μέχρι τώρα εφαρμογές έχει πάρει διάφορες μορφές (χωρίς αυτό να είναι αρνητικό, αντιθέτως προσφέρει ευελιξία) ενώ επιπροσθέτως βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη. Για το λόγο αυτό, τα συμπεράσματα που παρατίθενται αφορούν τη χρονική περίοδο εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας, με γνώμονα τη δωρεάν ή σχετικά μικρού κόστους διαθεσιμότητα και προσβασιμότητα σε πληροφορίες, εργαλεία και υλικού (hardware), στα πλαίσια μιας ατομικής πτυχιακής εργασίας.

### Γενικά για την Επαυξημένη Πραγματικότητα

Η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας έχει περάσει από διάφορες φάσεις στη μέχρι τώρα πορεία της αλλά με το διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον μεγάλων εταιριών προς αυτή (και άλλες XR εμπειρίες) μπορεί να ειπωθεί με ασφάλεια ότι το έτος 2024 είναι ένα πολύ καλό σημείο στην ιστορία και πορεία της τεχνολογίας μέχρι τώρα. Με την συνεχή εμπλοκή όλο και περισσότερων μερών στην AR, μπορούμε να περιμένουμε ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση στις εμπειρίες και τα εργαλεία για την ανάπτυξή τους, αλλά και στις συσκευές στις οποίες θα κληθούν να τρέξουν τις εμπειρίες αυτές (όπως στην πρόσφατη περίπτωση του LiDAR της Apple).

### Επί της υλοποιημένης εφαρμογής

Η εφαρμογή που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αποτέλεσε έναυσμα και μέσο για την περαιτέρω διερεύνηση και εκμάθηση της ιστορίας, των εργαλείων και της λογικής της επαυξημένης πραγματικότητας.

Όσον αφορά την ανάπτυξη της εφαρμογής για κάθε εργαλείο δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές σε επίπεδο δυσκολίας που αξίζει να αναφερθούν. Και για τα δύο μπορεί κανείς να βρει πληθώρα οδηγιών για την εγκατάστασή τους με σκοπό να ξεκινήσουν. Ειδικότερα στην υλοποίηση των μεθόδων κάθε ενός, υπάρχουν διάφορα παραδείγματα τόσο από τους δημιουργούς κάθε εργαλείου, όσο και από την κοινότητα, συνήθως χωρίς αυτά να διέπονται από υψηλή πολυπλοκότητα, έχοντας κυρίως ως στόχο να αναδείξουν τον τρόπο λειτουργίας τους. Από το σημείο αυτό και έπειτα, έγκειται στον εκάστοτε προγραμματιστή να αξιοποιήσει τις πληροφορίες αυτές, προδιαγράφοντας και υλοποιώντας μια εμπειρία που θα

αξιοποιεί σωστά τις δυνατότητες του εκάστοτε εργαλείου, έχοντας πάντα υπόψη τους περιορισμούς του.

Σημαντική διαφορά υπήρξε στη λειτουργικότητα της παρακολούθησης μιας εικόνας, της εμφάνισης ψηφιακού περιεχομένου πάνω σε αυτήν και την ενημέρωσης της θέσης του πάνω της, σύμφωνα με την κίνηση ή την κλίση της. Από τη μια πλευρά, η Vuuforia είναι ικανή να τοποθετεί σωστά τα ψηφιακά στοιχεία στο περιβάλλον και να ενημερώνει άμεσα την κλίση ή την θέση των αντικειμένων σε αυτό, σύμφωνα με την εικόνα προς ανίχνευση. Σε περίπτωση που η ιχνηλάτηση χαθεί, αυτό συμβαίνει για σύντομο χρονικό διάστημα και η επαναφορά των επιπρόσθετων στοιχείων στη σωστή θέση γίνεται ομαλά, σε εύλογο χρονικό διάστημα, χωρίς η εμπειρία να χαρακτηριστεί κακή. Από την άλλη, το AR Foundation χάνει πολύ πιο συχνά την ιχνηλάτηση της εικόνας, ειδικά αν η κάμερα δεν έχει άμεση επαφή με ολόκληρη την εικόνα προς ανίχνευση, με αποτέλεσμα το ψηφιακό περιεχόμενο να μην είναι σταθερό. Επιπροσθέτως, στο AR Foundation, στην περίπτωση που η κάμερα της συσκευής δεν είναι στραμμένη προς την εικόνα για εύλογο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα το αντικείμενο να χάσει τη σωστή του θέση πάνω της, τότε με το που στραφεί η κάμερα ξανά προς την εικόνα, το επιπρόσθετο περιεχόμενο παίρνει λίγη ώρα να αντιληφθεί ότι είναι τοποθετημένο λάθος και να διορθώσει τη θέση του· αυτή μάλιστα δεν έχει πάντα τα σωστά αποτελέσματα. Για την επαλήθευση του παραπάνω πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές, με εικόνες που πέτυχαν χαμηλό και άλλες με χαμηλό σκορ στο εργαλείο αξιολόγησης του arcade εργαλείου (εφόσον οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν μόνο σε Android). Μεταξύ των δύο κατηγοριών παρατηρήθηκε κάποια βελτίωση στο φαινόμενο, ωστόσο η αδυναμία αυτή του εργαλείου καθιστά πολύ μικρό το εύρος στο οποίο μια εικόνα προς ανίχνευση θεωρείται ποιοτική. Αυτός απαιτεί μια εικόνα η οποία θα έχει ιδανικά αναλογίες 1:1, με πάρα πολλές μοναδικές μεταξύ τους λεπτομέρειες και μη επαναλαμβανόμενα γεωμετρικά μοτίβα. Γεγονός το οποίο περιορίζει σημαντικά τις πραγματικές επιλογές σε εικόνες. Επομένως ο αλγόριθμος της Vuuforia φαίνεται να είναι πολύ πιο εξελιγμένος στο κομμάτι του Image Tracking. Στην τοποθέτηση των αναλώσιμων στη συγκεκριμένη λειτουργία δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές καθώς η θέση τους δεν επηρεάζεται άμεσα από την ανίχνευση συγκεκριμένου στοιχείου στο περιβάλλον.

Στην υλοποίηση που κλήθηκε να πραγματοποιήσει το Plane Tracking της Vuuforia, η διαφοράς τόσο στην υλοποίηση όσο και στην ποιότητα μεταξύ αυτής και της προσπάθειας που πραγματοποιήθηκε με το AR Foundation ήταν αρκετά μεγάλες. Πιο συγκεκριμένα η ανίχνευση του εδάφους, η τοποθέτηση της σκηνής και η παρακολούθηση του ψηφιακού περιεχομένου μέσω της Vuuforia, αποτέλεσε μεγάλη επιτυχία, με το tracking να χάνεται στιγμιαία μόνο όταν ο χρήστης χάνει πλήρως την οπτική επαφή με το έδαφος (κοιτώντας για παράδειγμα τον ουρανό) ή λόγω της ολοκληρωτικής κάλυψη της κάμερας της συσκευής του. Στις περιπτώσεις αυτές, το αντικείμενο του δωματίου είτε διατηρούσε μια προσωρινή και λανθασμένη κατάσταση περιστροφής (μέχρι η κάμερα να εντοπίσει ξανά το έδαφος), είτε λάμβανε νέες λανθασμένες συντεταγμένες στον πραγματικό κόσμο, είτε εξαφανιζόταν τελείως από τη σκηνή σε περίπτωση που η ιχνηλάτηση χανόταν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Από την άλλη πλευρά, το AR Foundation είχε μεγαλύτερη καθυστέρηση στον εντοπισμό μιας και μόνο επιφάνειας εδάφους (συγχωνεύοντας μικρότερα εντοπισμένα τμήματα αυτής) και κατ'επέκταση στην παρακολούθηση ενός τόσο μεγάλου αντικειμένου σε

αυτή όπως το δωμάτιο του συγκεκριμένου mode. Το tracking σε αυτό χανόταν στις ίδιες συνθήκες όπως και στη Vuforia, με τη μια διαφορά στη συμπεριφορά του αντικειμένου όταν η θέση του ήταν ασαφής, καθώς κάποιες φορές παρατηρήθηκε να υπάρχει διαρκής ολίσθηση προς κάποια κατεύθυνση. Αξίζει να σημειωθεί πως η σταθερότητα των αντικειμένων της σκηνής στην υλοποίηση του AR Foundation Plane Tracking mode αποδείχτηκε καλύτερη από αυτή του Image Tracking του.

Πιο αναλυτικά, επί της πραγματικής απόδοσης κάθε εργαλείου και μεθόδου στην εφαρμογή, υπήρξαν πράγματι διαφορές. Συγκεκριμένα, παρόλο που η Vuforia αποτελεί ένα εργαλείο θεωρητικά ξεπερασμένο από άποψη διαθέσιμων λειτουργιών, έχει πολύ καλύτερη απόδοση στην ανίχνευση και παρακολούθηση μιας εικόνας από ότι το AR Foundation. Με την ανίχνευση της δηλαδή, η οποία εξετάστηκε τόσο με εικόνες πολλών χαρακτηριστικών όσο και με εικόνες λίγων, ήταν πάντα άμεση. Αντίθετα, το AR Foundation είναι ένα εργαλείο που προσφέρει πολλές μεθόδους ανίχνευσης και ιχνηλάτησης. Στην πράξη όμως οι δυνατότητες του με βάση αυτές που εξετάστηκαν, δεν είχαν την ποιότητα της Vuforia. Αυτό μάλιστα αφορά όχι μόνο τους χρόνους ανίχνευσης, αλλά και τα υπόλοιπα στάδια της διαδικασίας, όπως το πόσο γρήγορα συμβαίνει η ενημέρωση της θέσης των εικονικών στοιχείων στον πραγματικό κόσμο, τη διατήρηση της σωστής σε βάθος χρόνου, αλλά και τη σταθερότητα των συντεταγμένων τους όταν το περιβάλλον παραμένει σταθερό.

Με βάση τα εργαλεία που επιλέχθηκαν για την ανάπτυξη της προκύπτουν φυσικά κάποια συμπεράσματα, τα οποία θα μπορούσαν να είναι κάπως διαφορετικά αν υπήρχε διαθεσιμότητα συσκευών τελευταίας τεχνολογίας και υψηλών προδιαγραφών για την αξιολόγηση της υλοποίησης σε κάθε εργαλείο. Όσον αφορά την επίδοση του κάθε εργαλείου, μπορούν και οι δύο υλοποιήσεις να δώσουν επαρκή καρέ ανά δευτερόλεπτο σε κάθε συσκευή που δοκιμάστηκαν, με μια εύλογη υπερθέρμανση των συσκευών λόγω των υψηλών απαιτήσεων μιας τέτοιας εφαρμογής από αυτές.

Ως μελλοντική επέκταση και των δύο υλοποιήσεων δεν θεωρείται πως υπάρχει κάποια σημαντική και εντυπωσιακή επέκταση που μπορεί να πραγματοποιηθεί, καθώς εξετάστηκαν μόνο βασικές μέθοδοι που υπάρχουν στα περισσότερα εργαλεία, με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ τους. Η υλοποίηση ωστόσο του AR Foundation μπορεί να μην είναι το ίδιο αποδοτική με τη λύση της Vuforia αυτή τη στιγμή, αλλά λόγω του ότι το AR Foundation προσφέρει πληθώρα άλλων λειτουργιών, σε συνδυασμό με το ότι βρίσκεται σε διαρκή βελτίωση και εμπλουτισμό των δυνατοτήτων του, θα μπορούσε ίσως στο μέλλον να δώσει τις βάσεις για μια online προσέγγιση της υλοποίησης, μέσω της Geospatial μεθόδου, για εντοπισμό τέχνης σε όλες τις περιοχές με κάλυψη Google Street View και την προβολή προσαρμοσμένων εμπειριών επαυξημένης πραγματικότητας κατά τον εντοπισμό τους, σύμφωνα με τις τεχνικές υλοποίησης του εκάστοτε έργου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

01. Microsoft. (n.d.). “Τι είναι η επανζημένη πραγματικότητα (ΕΠ) | Microsoft Dynamics 365”. Διαθέσιμο στο: <https://dynamics.microsoft.com/el-gr/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
02. Schmalstieg, D. & Höllerer, T. (2016). “*Augmented Reality - Principles and Practice*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2516729> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
03. U.S. Government Accountability Office. (2022, 26 Ιανουαρίου). “*Science & Tech Spotlight: Extended Reality Technologies*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.gao.gov/products/gao-22-105541> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
04. Sutherland, I. (1968, 9 Δεκεμβρίου). “*A head-mounted three dimensional display*”. Διαθέσιμο στο: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1476589.1476686> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
05. VintageCG. (2009, 14 Αυγούστου). “*Videoplace (1985)*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο: <https://www.youtube.com/watch?v=d4DUieXSEpk> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
06. Caudell, T. & Mizell, D. (1992). “*Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes*”. System Sciences. 2. 659-669. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/303803052\\_Augmented\\_reality\\_an\\_application\\_of\\_heads-up\\_display\\_technology\\_to\\_manual\\_manufacturing\\_processes](https://www.researchgate.net/publication/303803052_Augmented_reality_an_application_of_heads-up_display_technology_to_manual_manufacturing_processes) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
07. Rosenberg, L. (1992). “*The Use of Virtual Fixtures as Perceptual Overlays to Enhance Operator Performance in Remote Environments*”. 52. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/235116787\\_The\\_Use\\_of\\_Virtual\\_Fixtures\\_as\\_Perceptual\\_Overlays\\_to\\_Enhance\\_Operator\\_Performance\\_in\\_Remote\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/235116787_The_Use_of_Virtual_Fixtures_as_Perceptual_Overlays_to_Enhance_Operator_Performance_in_Remote_Environments) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
08. Rosenberg, L. (2022, 7 Απριλίου). “*How a Parachute Accident Helped Jump-start Augmented Reality*”. IEEE Spectrum. Διαθέσιμο στο: <https://spectrum.ieee.org/history-of-augmented-reality> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
09. Feiner, S., Macintyre, B., Seligmann, D. (1993). “*Knowledge-Based Augmented Reality*”. Commun. ACM. 36. 53-62. 10.1145/159544.159587. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/220420450\\_Knowledge-Based\\_Augmented\\_Reality](https://www.researchgate.net/publication/220420450_Knowledge-Based_Augmented_Reality) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
10. Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., Szalavári, Z., Encarnação, L., Gervautz, M., Purgathofer, W. (2002). “*The Studierstube Augmented Reality Project*”. Presence. 11. 33-54. Διαθέσιμο στο:

- [https://www.researchgate.net/publication/220089684\\_The\\_Studierstube\\_Augmented\\_Reality\\_Project](https://www.researchgate.net/publication/220089684_The_Studierstube_Augmented_Reality_Project) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
11. Mann, S. (1997, Μάρτιος). “*Wearable computing: A first step toward personal imaging*”. Computer. 30. 25 - 32. 10.1109/2.566147. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/2954704\\_Wearable\\_computing\\_A\\_first\\_step\\_toward\\_personal\\_imaging](https://www.researchgate.net/publication/2954704_Wearable_computing_A_first_step_toward_personal_imaging) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  12. University of Toronto. (2012, July 20). “*University of Toronto: Mediated Reality & Wearable Computers*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο: <https://www.youtube.com/watch?v=GRKMFFDcoUk> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  13. Feiner, S., Macintyre, B., Höllerer, T., Webster, A. (1997). “*A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment*”. Personal Technologies. 1. 74-81. 10.1007/BF01682023. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/221240775\\_A\\_Touring\\_Machine\\_Prototyping\\_3D\\_Mobile\\_Augmented\\_Reality\\_Systems\\_for\\_Exploring\\_the\\_Urban\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/221240775_A_Touring_Machine_Prototyping_3D_Mobile_Augmented_Reality_Systems_for_Exploring_the_Urban_Environment) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  14. Didier, T. (2021, 15 Ιανουαρίου). “*1998 - Augmented Reality & Football*”. Διαθέσιμο στο: <https://atomicdigital.design/blog-post/1998-augmented-reality-football> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  15. Thomas, B., Demczuk, V., Piekarski, W., Hepworth, D., Gunther, B. (1998, Οκτώβριος). “*A wearable computer system with augmented reality to support terrestrial navigation*”. Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215), Pittsburgh, PA, USA, 1998, pp. 168-171, doi: 10.1109/ISWC.1998.729549. Διαθέσιμο στο: <https://ieeexplore.ieee.org/document/729549> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  16. Piekarski, W. (2007). “*Tinmith - Mobile outdoor augmented reality*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.tinmith.net/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  17. Julier, S., Baillot, Y., Lanzagorta, M., Brown, D., Rosenblum, L. (2004). “*BARS: Battlefield Augmented Reality System*”. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/2942099\\_BARS\\_Battlefield\\_Augmented\\_Reality\\_System](https://www.researchgate.net/publication/2942099_BARS_Battlefield_Augmented_Reality_System) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  18. Delgado, F., Altman, S., Abernathy, M., White, J. (2000, Ιούνιος). “*Virtual cockpit window for the X-38 crew return vehicle*”. 10.1117/12.389361. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/253787774\\_Virtual\\_cockpit\\_window\\_for\\_the\\_X-38\\_crew\\_return\\_vehicle](https://www.researchgate.net/publication/253787774_Virtual_cockpit_window_for_the_X-38_crew_return_vehicle) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
  19. Kato, H., Billinghurst, M. (1999, Οκτώβριος). “*Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System*”. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99). Διαθέσιμο στο: <https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/Papers/IWAR99.kato.pdf> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]

20. Friedrich, W. (2002). “*ARVIKA – Augmented Reality for Development, Production and Service*”. Zeitschrift Für Interaktive Und Kooperative Medien - ICOM. 2. 3- 4. 10.1109/ISMAR.2002.1115059. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/3981771\\_ARVIKA\\_-\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_Development\\_Production\\_and\\_Service](https://www.researchgate.net/publication/3981771_ARVIKA_-_Augmented_Reality_for_Development_Production_and_Service) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
21. ISMAR. (n.d.). “ISMAR - The IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality”. Διαθέσιμο στο: <https://www.ismar.net/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
22. Interaction Design Foundation. (n. d.). “*Designing Augmented Reality Environments 2000*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.interaction-design.org/literature/conference/designing-augmented-reality-environments-2000> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
23. TU Wien. (n.d.). “*Mixed Reality Lab – Research Unit Virtual & Augmented Reality*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.vr.tuwien.ac.at/mrlab/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
24. Piekarski, W. (2007). “*ARQuake: Interactive Outdoor Augmented Reality Collaboration System*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.tinmith.net/arquake/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
25. Wagner, D., Schmalstieg, D. (2003). “*ARToolkit on PocketPC platform*”. 14 - 15. 10.1109/ART.2003.1320418. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/4085540\\_ARToolkit\\_on\\_PocketPC\\_platform](https://www.researchgate.net/publication/4085540_ARToolkit_on_PocketPC_platform) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
26. Marks, R. (2010, 3 Νοεμβρίου). “*EyeToy, Innovation and beyond*”. PlayStation.Blog. Διαθέσιμο στο: <https://blog.playstation.com/2010/11/03/eyetoy-innovation-and-beyond/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
27. Video Games End Stuff. (2017, 15 Δεκεμβρίου). “*EyeToy: Groove (2003 trailer)*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο: <https://www.youtube.com/watch?v=DR0O1ZyfvVM> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
28. IGN. (2011, 8 Απριλίου). “*Augmented Reality Gaming - PlayStation Exclusive*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο: <https://www.youtube.com/watch?v=i4BfVzIpLeU> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
29. De Leon, A. (2011, 7 Ιουνίου). “*From EyeToy to NGP: PlayStation’s Augmented Reality legacy*”. PlayStation.Blog. Διαθέσιμο στο: <https://blog.playstation.com/2011/04/08/from-eyetoy-to-ngp-playstations-augmented-reality-legacy-2/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
30. Nintendo of Europe GmbH. (n.d.). “*AR Games: Augmented reality*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.nintendo.co.uk/Hardware/Nintendo-3DS-Family/Instant-Software/AR-Games-Augmented-Reality/AR-Games-Augmented-Reality-115169.html> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]

31. CNET. (2020, 2 Οκτωβρίου). “*Turn your room into a remote-controlled AR Mario Kart track*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.youtube.com/watch?v=fan5FruiNPo> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
32. Wagner, D., Pintaric, T., Schmalstieg, D. (2004). “*The invisible train: a collaborative handheld augmented reality demonstrator*”. 12. 10.1145/1186155.1186168.  
Διαθέσιμο στο:  
[https://www.researchgate.net/publication/234782435\\_The\\_invisible\\_train\\_a\\_collaborative\\_handheld\\_augmented\\_reality\\_demonstrator](https://www.researchgate.net/publication/234782435_The_invisible_train_a_collaborative_handheld_augmented_reality_demonstrator) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
33. ISMAROrlando. (2009, 28 Απριλίου). “*The Invisible Train: A Collaborative Handheld Augmented Reality Game*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.youtube.com/watch?v=6LE98k0YMLM> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
34. Henrysson, A., Billinghurst, M., Ollila, M. (2006). “*AR tennis*”.  
<http://doi.acm.org/10.1145/1179849.1179865>. 10.1145/1179133.1179135. Διαθέσιμο στο:  
[https://www.researchgate.net/publication/29488914\\_AR\\_tennis](https://www.researchgate.net/publication/29488914_AR_tennis) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
35. BMW Group. (2008, 1 Δεκεμβρίου). “*The Convertible in your hands! The new MINI Convertible launch campaign is surprising everyone with new communication elements*”. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0012044EN/the-convertible-in-your-hands-the-new-mini-convertible-launch-campaign-is-surprising-everyone-with-new-communication-elements?language=en> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
36. World Summit Awards. (2010). “*Wikitude World Browser*”. Διαθέσιμο στο:  
<https://wsa-global.org/winner/wikitude-world-browser/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
37. Ridden, P. (2009). “*Esquire magazine to release augmented reality edition*”. New Atlas. Διαθέσιμο στο: <https://newatlas.com/esquire-augmented-reality-edition/13353/>  
[Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
38. Esquire. (2012, 27 Μαρτίου). “*Robert Downey Jr. on Esquire's Augmented Reality Cover: A Demo*” [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.youtube.com/watch?v=wp2z36kKn0s> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
39. Layar AR. (2014, 18 Φεβρουαρίου). “*Layar - How to Use the Layar App*”. [Video]. YouTube. Διαθέσιμο στο: <https://www.youtube.com/watch?v=bxSPb3htcrg>  
[Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
40. Vuforia. (2023). “*Getting started | Vuforia Library*”. Διαθέσιμο στο:  
<https://developer.vuforia.com/library/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
41. Wehner, M. (2016). “*Volkswagen unveils MARTA, an iOS auto repair app*”. Engadget. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.engadget.com/2013-10-01-volkswagen-unveils-marta-an-ios-auto-repair-app.html> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]

42. Nguyen, V., Gruteser, M. (2015, Ιανουάριος). “*First Experiences with GOOGLE GLASS in Mobile Research*”. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. 18. 44-47. 10.1145/2721914.2721931. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/273304424\\_First\\_Experiences\\_with\\_GOOGLE\\_GLASS\\_in\\_Mobile\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/273304424_First_Experiences_with_GOOGLE_GLASS_in_Mobile_Research) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
43. Kastrenakes, J. (2017, 15 Δεκεμβρίου). “*Google’s Project Tango is shutting down because ARCore is already here*”. The Verge. Διαθέσιμο στο: <https://www.theverge.com/2017/12/15/16782556/project-tango-google-shutting-down-arcore-augmented-reality> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
44. O’Connell, B. (2020). “*History of Snapchat: Timeline and Facts*”. TheStreet. Διαθέσιμο στο: [History of Snapchat: Timeline and Facts - TheStreet](https://www.thestreet.com/history-of-snapchat-timeline-and-facts) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
45. INDE. (2023). “*The Brief History of Social Media Augmented Reality Filters*”. Διαθέσιμο στο: [The Brief History of Social Media Augmented Reality Filters – INDE](https://www.inde.com/the-brief-history-of-social-media-augmented-reality-filters) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
46. Snap Inc. (2022, 31 Μαρτίου). “*Bringing Locations to Life with AR*”. Διαθέσιμο στο: <https://eng.snap.com/life-with-ar-landmarkers> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
47. Matney L. (2016, 2 Μαρτίου). “*Hands-on with the \$949 mind-bending Meta 2 augmented reality headset*”. TechCrunch. Διαθέσιμο στο: <https://techcrunch.com/2016/03/02/hands-on-with-the-949-mind-bending-meta-2-augmented-reality-headset/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
48. lolambean, beelia, SethPaniagua. (2019, 16 Σεπτεμβρίου). “*HoloLens (1st gen) hardware*”. Microsoft Learn. Διαθέσιμο στο: <https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens1-hardware> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
49. Hübner, P., Clintworth, K., Liu, Q., Weinmann, M., Wurstthorn, S. (2020). “*Evaluation of HoloLens Tracking and Depth Sensing for Indoor Mapping Applications*”. Sensors. 20. 1021:1-23. 10.3390/s20041021. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/339376481\\_Evaluation\\_of\\_HoloLens\\_Tracking\\_and\\_Depth\\_Sensing\\_for\\_Indoor\\_Mapping\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/339376481_Evaluation_of_HoloLens_Tracking_and_Depth_Sensing_for_Indoor_Mapping_Applications) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
50. Pokemon GO Wiki. (n.d.). “*Pokémon GO/Development and release | Pokémon GO Wiki*”. Διαθέσιμο στο: [https://pokemongo.fandom.com/wiki/Pok%C3%A9mon\\_GO/Development\\_and\\_release](https://pokemongo.fandom.com/wiki/Pok%C3%A9mon_GO/Development_and_release) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
51. Apple Inc. (n.d.). “*ARKIT 6 - Augmented Reality - Apple Developer*”. Διαθέσιμο στο: <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
52. Google. (2023). “*Build new augmented reality experiences that seamlessly blend the digital and physical worlds | ARCore | Google for Developers*”. Διαθέσιμο στο: <https://developers.google.com/ar> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]

53. Inter IKEA newsroom. (2017, 12 Σεπτεμβρίου). “*IKEA Place app launched to help people virtually place furniture at home*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.ikea.com/global/en/newsroom/innovation/ikea-launches-ikea-place-a-new-app-that-allows-people-to-virtually-place-furniture-in-their-home-170912/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
54. Ricci, T. (2018). “*AGO's ReBlink exhibit combines augmented reality and classic paintings*”. CBC. Διαθέσιμο στο: <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/art-exhibit-combines-augmented-reality-and-classic-paintings-1.4452158> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
55. Unity Technologies. (n.d.). “*Unity's AR Foundation Framework*”. Διαθέσιμο στο: <https://unity.com/unity/features/arfoundation> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
56. 8th Wall. (n.d.). “*8th Wall | Press*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.8thwall.com/press> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
57. Google. (n.d.). “*Google Arts & Culture - Art Projector*”. Διαθέσιμο στο: <https://artsandculture.google.com/art-projector> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
58. Gartenberg, C. (2018, 8 Μαΐου). “*Google Maps is getting augmented reality directions and recommendation features*”. The Verge. Διαθέσιμο στο: <https://www.theverge.com/2018/5/8/17332480/google-maps-augmented-reality-directions-walking-ar-street-view-personalized-recommendations-voting> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
59. Lego Group. (2018, 6 Δεκεμβρίου). “*LEGO® Playgrounds – first ever portal to discover and play with the latest LEGO mixed reality experiments*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.lego.com/en-us/aboutus/news/2019/october/lego-playgrounds?locale=en-us> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
60. Magic Leap. (n.d.). “*Magic Leap 1 Devices*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.magicleap.com/ml1-devices> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
61. Bohn, D. (2019, 24 Φεβρουαρίου). “*Microsoft's HoloLens 2: a \$3500 mixed reality headset for the factory*”. The Verge. Διαθέσιμο στο: <https://www.theverge.com/2019/2/24/18235460/microsoft-hololens-2-price-specs-mixed-reality-ar-vr-business-work-features-mwc-2019> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
62. Stone, T. (2019, 18 Νοεμβρίου). “*Minecraft Earth Early Access*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.minecraft.net/en-us/article/minecraft-earth-early-access> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
63. Manalac, A. (2019, 28 Δεκεμβρίου). “*Adidas AR Sneakers Try-On App*”. Virtual Reality Marketing. Διαθέσιμο στο: <https://www.virtualrealitymarketing.com/case-studies/adidas-ar-sneakers-try-on-app-2/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
64. Meta. (2023). “*Introducing Project Aria*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.projectaria.com> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]

65. Niantic. (n.d.). “*Lightship ARDK*”. Διαθέσιμο στο: <https://lightship.dev/products/ardk/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
66. Apple. (2020, 18 Μαρτίου). “*Apple unveils new iPad Pro with LiDAR Scanner and trackpad support in iPadOS*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.apple.com/gr/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
67. Ripert, D. (2021, 30 Μαρτίου). “*Augmented reality NFTs: benefits and how to create them*”. Poplar.Studio. Διαθέσιμο στο: <https://poplar.studio/blog/augmented-reality-nfts/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
68. Immersive Web. (n.d.). “*Web XR*”. Διαθέσιμο στο: <https://immersiveweb.dev/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
69. Meta. (n.d.). “*Meta Quest 3: New Mixed Reality VR Headset*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.meta.com/quest/quest-3/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
70. Meta. (n.d.). “*Meta Quest Pro: Premium Mixed Reality*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.meta.com/quest/quest-pro/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
71. Apple. (n.d.). “*Apple Vision Pro*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
72. Unity Technologies. (2023, 22 Σεπτεμβρίου). “*Unity | AR Foundation Manual | 5.1.0*”. Διαθέσιμο στο: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@5.1/manual/index.html> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
73. Perdan, W. (n.d.). “*ARToolKit Documentation | artoolkit-docs*”. Διαθέσιμο στο: <https://kalwalt.github.io/artoolkit-docs/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
74. EasyAR. (n.d.). “*EasyAR|Augmented Reality & AR SDK*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.easyar.com/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
75. MAXST. (n.d.). “*Perfect AR App development*”. Διαθέσιμο στο: <https://developer.maxst.com/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
76. WikiTude. (n.d.). “*Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR SDK*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.wikitude.com/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
77. Kudan. (n.d.). “*World leader in SLAM technology*”. Διαθέσιμο στο: <https://www.kudan.io/> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
78. World of the Abyss. (2023, 28 Σεπτεμβρίου). “*Unity: Development History and the Influence of This Game Engine on the Game Development Industry*”. Διαθέσιμο στο: [https://medium.com/@wota\\_mmorpg/unity-development-history-and-the-influence-of-this-game-engine-on-the-game-development-36dc7a7a3b9d](https://medium.com/@wota_mmorpg/unity-development-history-and-the-influence-of-this-game-engine-on-the-game-development-36dc7a7a3b9d) [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]

Σύνδεσμοι για έτοιμα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση

79. Lochner, D. (2022, 3 Μαρτίου). “*Simple Scroll-Snap*” [Unity asset]. Unity Asset Store. Διαθέσιμο στο:  
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/simple-scroll-snap-140884>  
[Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
80. Miha29076. (2020, 6 Μαΐου). “*Spray paint free 3D model*” [3D model]. CGTrader. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/various/various-models/spray-paint-dedbb7ae-cda1-427f-ab8d-716be16c98be> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
81. Mavrichiev, M. (2021, 27 Ιουλίου). “*VR Gallery 3D Model*” [3D model]. SketchFab. Διαθέσιμο στο:  
<https://sketchfab.com/3d-models/vr-gallery-1e087aa25dc742e680accb15249bd6be>  
[Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
82. Mixamo. (n.d.). “James” [3D model]. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.mixamo.com/#/?page=1&query=james&type=Character> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
83. Prodtiptoe. (2023, 9 Μαΐου). “*Piano - Prodtiptoe*” [Audio]. LooperMan. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.looperman.com/loops/detail/331141/piano-prodtiptoe-free-88bpm-weird-piano-loop> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
84. Snoogazi. (2023, 2 Ιουνίου). “*Deep Bass*” [Audio]. LooperMan. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.looperman.com/loops/detail/333119/deep-bass-free-88bpm-hip-hop-bass-synth-loop> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
85. Snoogazi. (2023, 2 Ιουνίου). “*Deep Drums*” [Audio]. LooperMan. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.looperman.com/loops/detail/333120/deep-drums-free-88bpm-hip-hop-drum-loop> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]
86. Blkfleece. (2019, 8 Σεπτεμβρίου). “*Spray Paint Can*” [3d model]. Thingiverse. Διαθέσιμο στο: <https://www.thingiverse.com/thing:3850682> [Προβλήθηκε 11 Ιουνίου 2024]