



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

## Συγκριτική Αξιολόγηση Μεθόδων και Λογισμικών Επαυξημένης Πραγματικότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ-ΔΗΜΗΤΡΑ

**Επιβλέπων :** Ιωαννίδης Χαράλαμπος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

## Συγκριτική Αξιολόγηση Μεθόδων και Λογισμικών Επαυξημένης Πραγματικότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ-ΔΗΜΗΤΡΑ

**Επιβλέπων :** Ιωαννίδης Χαράλαμπος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2022.

(Υπογραφή)

.....  
Γεωργόπουλος Ανδρέας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Δουλάμης Αναστάσιος  
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Ιωαννίδης Χαράλαμπος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022

*(Υπογραφή)*

.....

**ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ-ΔΗΜΗΤΡΑ**

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

© 2022 – All rights reserved

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία και συνεπώς τις σπουδές μου Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωπληροφορική», του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, δεν θα μπορούσα παρά να αναγνωρίσω την πολύτιμη βοήθεια που μου δόθηκε για την εκπλήρωση των στόχων μου.

Αρχικά, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χαράλαμπο Ιωαννίδη, Καθηγητή ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης τη συγκεκριμένης εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το εν λόγω αντικείμενο μελέτης. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Σοφία Σοϊλέ, ΕΔΙΠ ΕΜΠ για τις συμβουλές και τη βοήθεια που μου παρείχε σε οτιδήποτε χρειάστηκα. Ακόμα, δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω την Αργυρώ-Μαρία Μπούτση, υποψήφια διδάκτωρ ΕΜΠ, για τον χρόνο, τη βοήθεια, τις συμβουλές και την στήριξη που μου διέθεσε απλόχερα καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εν λόγω εργασίας.

Έχω την τύχη να περιβάλλομαι από ανθρώπους πρόθυμους να στηρίξουν κάθε μου προσπάθεια, να με συμβουλεύσουν και να με παροτρύνουν να προσπαθήσω για το καλύτερο. Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σπυρίδωνα Σαντριβανόπουλο Αγρονόμο & Τοπογράφο Μηχανικό, για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που μου παρείχε μέσα από τις συμβουλές και τις γνώσεις του.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά και τους φίλους μου για την υπομονή και υποστήριξη που έδειξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς και την αδερφή μου για την υποστήριξή τους σε κάθε στάδιο της ζωής μου και την πίστη τους σε εμένα και τις δυνατότητές μου.



## Περίληψη

Η επαυξημένη πραγματικότητα αποτελεί έναν ραγδαία αναπτυσσόμενο πεδίο, με εφαρμογή σε πλήθος ερευνητικών, οικονομικών, ψυχαγωγικών, εκπαιδευτικών και άλλων δραστηριοτήτων. Η σημαντική εξέλιξη που παρουσιάζουν οι σύγχρονες συσκευές κινητών τηλεφώνων συμβάλει στην αυξανόμενη χρήση τους ως συσκευές θέασης AR εμπειριών και στην δημιουργία πλήθους νέων εφαρμογών κινητής επαυξημένης πραγματικότητας (Mobile Augmented Reality -MAR).

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην ανάπτυξη και αξιολόγηση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας για κινητές συσκευές, αξιοποιώντας διαφορετικές μεθόδους και τεχνικές υπέρθεσης αντικειμένων, με χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων και αλγορίθμων όρασης υπολογιστών και μηχανικής μάθησης.

Οι εφαρμογές αναπτύχθηκαν στο Unity με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C# και απευθύνονται σε συσκευές Android. Οι ουσιώδεις διεργασίες που αφορούν σε μία εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας, όπως ο εντοπισμός (tracking), η ανίχνευση χαρακτηριστικών σημείων (feature points), επιφανειών (planes) κ.ά. υλοποιούνται με την χρήση του πακέτου ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Kit – SDK) ARCore. Στο πλαίσιο της εν λόγω εργασίας αξιοποιείται το σύνολο των αισθητήρων που διαθέτει μία κινητή συσκευή (GPS, IMU, κάμερα) για την υπέρθεση διαφορετικών αντικειμένων.

Η πρώτη εφαρμογή αφορά στον εντοπισμό οριζόντιων επιπέδων και επιλογή της θέσης του αντικειμένου στον χώρο σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη. Στην δεύτερη εφαρμογή η υπέρθεση των αντικειμένων πραγματοποιείται με βάση διαφορετικές εικόνες πρότυπο (image tracking). Μία ακόμα εφαρμογή αφορά στην χρήση του αισθητήρα GPS και τον προσδιορισμό της θέσης των αντικειμένων στο χώρο με γεωγραφικές συντεταγμένες. Τέλος, αξιολογήθηκε η χρήση ενός νευρωνικού δικτύου εντοπισμού αντικειμένων (object detection) στο πλαίσιο μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας.

Ως αναφορά για την αξιολόγηση των εφαρμογών που δημιουργήθηκαν αξιοποιήθηκαν αντίστοιχες εφαρμογές – πρότυπο που παρέχονται από το πακέτο ανάπτυξης λογισμικού Wikitude SDK.

**Λέξεις Κλειδιά:** <<επαυξημένη πραγματικότητα, Android Augmented Reality, Mobile Augmented Reality, AR Unity, AR Image Tracking, AR Object Detection, AR Foundation, ARCore>>





## Abstract

Augmented Reality (AR) is a fast-evolving field, with applications in many research, financial, entertainment, educational and other activities. The radical evolution of contemporary mobile phones contributes to their increasing usage as AR displays and the creation of many new mobile augmented reality (MAR) applications.

The present diploma thesis deals with the creation and evaluation of mobile augmented reality applications, using different methods and techniques to create the augmented scene with photogrammetric methods, computer vision and machine learning algorithms.

The applications are developed using Unity and programming language C# to run on Android devices. The main processes regarding an AR application, such as tracking, feature point and plane detection are implemented using ARCore Software Development Kit (SDK). Within the context of this diploma thesis different virtual objects are placed in the augmented scene using various sensors (GPS, IMU, camera) of the mobile device.

The first application developed deals with horizontal plane detection and manual object placement, where the position of the virtual object is specified by each user in real time. In the second application image tracking is used to compose the augmented scene. Another application is developed, where GPS sensor is used and the location of the virtual object is described by geographic coordinates. Finally, a Convolutional Neural Network is used to place the virtual object on specific detected objects of the real world.

In order to evaluate the developed apps Wikitude SDK's template apps were used.

**Keywords:** <<επαυξημένη πραγματικότητα, Android Augmented Reality, Mobile Augmented Reality, AR Unity, AR Image Tracking, AR Object Detection, AR Foundation, ARCore>>



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Περίληψη</i> .....	v
<i>Abstract</i> .....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	3
<b>1 ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>7</b>
1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - ΟΡΙΣΜΟΣ .....	7
1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	9
1.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ .....	24
1.3.1. <i>Ιατρική</i> .....	24
1.3.2. <i>Εκπαίδευση</i> .....	26
1.3.3. <i>Στρατός</i> .....	27
1.3.4. <i>Τέχνη – πολιτισμός – τουρισμός</i> .....	28
1.3.5. <i>Ψυχαγωγία – ενημέρωση – αθλητισμός</i> .....	30
1.3.6. <i>Παιχνίδια</i> .....	31
1.3.7. <i>Πολεοδομικός Σχεδιασμός – Κτηματολόγιο - Αρχιτεκτονική</i> .....	32
1.3.8. <i>Πλοήγηση</i> .....	32
1.3.9. <i>Εμπόριο – Διαφήμιση</i> .....	33
1.3.10. <i>Υποστήριξη Εργασιών – Βιομηχανική Παραγωγή και Κατασκευές</i> .....	35
1.3.11. <i>Άλλες Εφαρμογές</i> .....	36
<b>2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΘΕΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗΣ ΣΚΗΝΗΣ</b> .....	<b>37</b>
2.1. ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ .....	37
2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗΣ .....	38
2.3. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΕΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗΣ ΣΚΗΝΗΣ.....	39
2.3.1. <i>Προσαρτημένα επί κεφαλής (ή επί κράνους) συστήματα παρουσίασης (Head Mounted Display AR)</i> .....	40
2.3.2. <i>Ειδικά Γυαλιά</i> .....	40
2.3.3. <i>Ειδικοί Φακοί Επαφής</i> .....	41
2.3.4. <i>Φορητές Συσκευές Χειρός (Handheld AR)</i> .....	41
2.3.5. <i>Χωρικές Συσκευές Απεικόνισης</i> .....	42
2.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	43
2.4.1. <i>Στερεοσκοπική ή μονοσκοπική παρουσίαση</i> .....	44
2.4.2. <i>Εστίαση (Focus)</i> .....	44
2.4.3. <i>Οπτική Παρεμπόδιση (occlusion)</i> .....	45
2.4.4. <i>Ανάλυση εικόνας και Ρυθμός Ανανέωσης (Resolution &amp; Refresh Rate)</i> .....	46
2.4.5. <i>Οπτικό Πεδίο (FOV)</i> .....	46

2.4.6.	<i>Παραμορφώσεις – Εκτροπές (distortions – aberrations)</i> .....	47
2.4.7.	<i>Σφάλματα συγχρονισμού (temporal errors)</i> .....	48
2.5.	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ AR.....	48
2.6.	MOBILE AUGMENTED REALITY .....	49
2.6.1.	<i>Mobile Augmented Reality: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα</i> .....	51
<b>3</b>	<b>ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ</b> .....	<b>53</b>
3.1.	ΧΩΡΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (SITUATED VISUALIZATION).....	54
3.2.	ΟΠΤΙΚΗ ΣΥΝΟΧΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (VISUAL COHERENCE) .....	55
3.3.	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ (INTERACTION) .....	55
3.4.	ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ (COLLABORATION).....	56
3.5.	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ .....	56
3.6.	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (CALIBRATION).....	57
3.7.	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (REGISTRATION)..	58
3.8.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΗΣ AR ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ (TRACKING) .....	60
3.8.1.	<i>Είδη Tracking</i> .....	61
3.8.2.	<i>Συστήματα Tracking – Κινητοί Αισθητήρες (Mobile Sensors)</i> .....	62
3.8.3.	<i>Οπτικοί τρόποι Tracking</i> .....	64
3.8.4.	<i>Tracking - Localization and Mapping</i> .....	68
<b>4</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ</b> .....	<b>71</b>
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	71
4.2.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ: UNITY.....	72
4.3.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ: ARFOUNDATION ΚΑΙ ARCORE .....	74
4.4.	UNITY ΚΑΙ ARCORE .....	77
4.5.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: PLANE AND FEATURE POINT DETECTION .....	79
4.6.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: IMAGE DETECTION .....	87
4.7.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: LOCATION BASED – GPS .....	92
4.8.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: CNN OBJECT DETECTION .....	95
<b>5</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ – WIKITUDE</b> .....	<b>105</b>
5.1.	PLANE AND FEATURE POINT DETECTION .....	106
5.2.	IMAGE TRACKING.....	109
5.3.	LOCATION BASED AR – GPS.....	110
5.4.	OBJECT TRACKING.....	112
<b>6</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ</b> .....	<b>115</b>
<b>7</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>123</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1-1: ΤΟ ΣΥΝΕΧΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΕΙΚΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ (REALITY - VIRTUALITY CONTINUUM), MILGRAM AND KISHINO, 1994.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 1-2: SENSORAMA, Ο ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ .....	9
ΕΙΚΟΝΑ 1-3: ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ IVAN SUTHERLAND (SUTHERLAND, 1968) .....	10
ΕΙΚΟΝΑ 1-4: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VIDEORLACE ΠΗΓΗ: <a href="http://thedigitalage.pbworks.com/w/page/22039083/Myron%20Krueger">HTTP://THEDIGITALAGE.PBWORKS.COM/W/PAGE/22039083/MYRON%20KRUEGER</a> .....	11
ΕΙΚΟΝΑ 1-5: ΣΚΗΝΗ ΑΠΟ ΤΟ VIDEORLACE.....	11
ΕΙΚΟΝΑ 1-6: Η ΣΥΣΚΕΥΗ "EYE-TAR" ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΕ Ο STEVE MANN .....	11
ΕΙΚΟΝΑ 1-7: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ ΠΗΓΗ: <a href="https://wordpress.cs.vt.edu/ccs2018f/2018/10/31/history-of-augmented-reality-and-getting-started/">HTTPS://WORDPRESS.CS.VT.EDU/CCS2018F/2018/10/31/HISTORY-OF-AUGMENTED-REALITY-AND-GETTING-STARTED/</a> .....	12
ΕΙΚΟΝΑ 1-8: Η ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΑΝ ΟΙ CAUDELL ΚΑΙ MIZELL (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ (ΔΕΞΙΑ).....	12
ΕΙΚΟΝΑ 1-9:ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ "VIRTUAL FIXTURES", LOUIS ROSENBERG.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 1-10: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ KARMA (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ Η ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΘΕΑΣΗΣ .....	13
ΕΙΚΟΝΑ 1-11: ΣΚΗΝΗ ΑΠΟ ΤΟ "DANCING IN CYBERSPACE", ΤΗΣ JULIE MARTIN.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1-12: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ NAVICAM (ΡΕΚΙΜΟΤΟ AND NAGAO 1995).....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1-13: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CYBERCODE .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1-14: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ "MAP-IN-HAT" .....	15
ΕΙΚΟΝΑ 1-15: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LANDFORM .....	15
ΕΙΚΟΝΑ 1-16: Ο ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ B.A.R.S. (OFFICE OF NAVAL RESEARCH, VIRGINIA) .....	16
ΕΙΚΟΝΑ 1-17: Η ΣΥΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ARQUAKE (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ (ΔΕΞΙΑ).....	16
ΕΙΚΟΝΑ 1-18: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ "ARCHEOGUIDE". Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ Η ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ (ΔΕΞΙΑ) (VLACHAKIS, ET AL., 2001) .....	17
ΕΙΚΟΝΑ 1-19: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΠΟ ΤΟ "HUMAN PACKMAN", CHEOK ET AL., 2003 .....	17
ΕΙΚΟΝΑ 1-20: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ILAMP, RASKAR ET AL., 2003 .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1-21: ΤΟ SIEMENS SX1 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΜΕ ΤΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ "MOZZIES"(ΔΕΞΙΑ) .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1-22: 3Δ ΣΤΟΧΟΙ (3D MARKERS), MATTHIAS MÖHRING ET AL., 2004 .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 1-23: ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ REITMAYR ΚΑΙ DRUMMOND ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ). ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΙ ΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (ΚΕΝΤΡΟ). ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΟΘΟΝΗΣ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΚΜΩΝ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (ΔΕΞΙΑ), REITMAYR AND DRUMMOND, 2006.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 1-24: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ MARA, NOKIA, 2006 .....	20

ΕΙΚΟΝΑ 1-25: Η ΠΡΩΤΗ ΑΡ ΔΙΑΦΗΜΙΣΗ - WELLINGTON ZOO	
ΠΗΓΗ: <a href="https://theinspirationroom.com/daily/2007/augmented-reality-at-wellington-zoo/">HTTPS://THEINSPIRATIONROOM.COM/DAILY/2007/AUGMENTED-REALITY-AT-WELLINGTON-ZOO/</a> .....	20
ΕΙΚΟΝΑ 1-26: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ WAGNER, ET AL., 2008.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1-27: Η ΘΟΝΗ ΠΕΡΙΓΗΓΗΣ ΤΟΥ WIKITUDE AR.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1-28: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΑΝ Ο HAGBI, ET AL. ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, HAGBI ET AL, 2009 .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 1-29: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΗΑΡΜΑ, ALEX HILL, BLAIR MACINTYRE ET AL., 2010 .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 1-30: ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ JOHNS HOPKINS .....	25
ΕΙΚΟΝΑ 1-31: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ. ....	26
ΕΙΚΟΝΑ 1-32: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ HEAD-UP_DISPLAY .....	27
ΕΙΚΟΝΑ 1-33: ΤΟ ΕΡΓΟ "REVOLUTIONS", ΤΗΣ NANCY BAKER CAHILL.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 1-34: ΑΡΧΑΙΑ ΟΛΥΜΠΙΑ: ΚΟΙΝΟΣ ΤΟΠΟΣ .....	29
ΕΙΚΟΝΑ 1-35: ΑΡΧΑΙΑ ΟΛΥΜΠΙΑ: ΚΟΙΝΟΣ ΤΟΠΟΣ - MICROSOFT HOLOLENS 2.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 1-36: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΓΩΝΑ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΟΥ.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 1-37: ΗΑΔΟ - ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟ. ....	31
ΕΙΚΟΝΑ 1-38: ΤΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΡΟΚΕΜΟΝ GO .....	31
ΕΙΚΟΝΑ 1-39: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΡ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 1-40: ΘΟΝΗ HEAD-UP ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ MBUX ΤΗΣ MERCEDES-BENZ.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 1-41: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΡ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ .....	33
ΕΙΚΟΝΑ 1-42: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ "DIGITAL BOX" ΤΗΣ LEGO .....	34
ΕΙΚΟΝΑ 1-43: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ IKEA PLACE.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 1-44: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΗΓΗ: <a href="https://sitevision.trimble.com/blog/the-future-for-cadastral-surveyors-augmented-reality/">HTTPS://SITEVISION.TRIMBLE.COM/BLOG/THE-FUTURE-FOR-CADASTRAL-SURVEYORS-AUGMENTED-REALITY/</a> .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 2-1: ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ OPTICAL SEE-THROUGH DISPLAY. AZUMA, 1997 .....	38
ΕΙΚΟΝΑ 2-2: ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ VIDEO SEE-THROUGH DISPLAY. AZUMA, 1997 .....	39
ΕΙΚΟΝΑ 2-3: ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PROJECTION-BASED AR.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 2-4: Η ΣΥΣΚΕΥΗ GOOGLE GLASS ENTERPRISE EDITION 2. ....	41
ΕΙΚΟΝΑ 2-5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ VRDS.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 2-6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΡ ΣΕ SMARTPHONE.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 2-7: ΤΟ "SANDBOX" ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΣΩ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΓΙΑ ΝΑ ΔΕΙΞΕΙ ΤΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΠΟΥ Ο ΧΡΗΣΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΣΤΗΝ ΑΜΜΟ.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 2-8: ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ ΣΚΗΝΗ ΧΩΡΙΣ OCCLUSION (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΜΕ OCCLUSION (ΔΕΞΙΑ). ....	45
ΕΙΚΟΝΑ 2-9: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MOBILE AUGMENTED REALITY .....	50
ΕΙΚΟΝΑ 2-10: ΣΥΣΤΗΜΑ MAR - ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ MAR DEVICE ΚΑΙ MAR TASKS, CAO ET AL., 2021 .....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3-1: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΜΙΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ (PINHOLE IMAGING MODEL) .....	57

ΕΙΚΟΝΑ 3-2: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΘΕΤΙΚΗΣ (PINCUSHION) ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΗΣ (BARREL) ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ (OBJECT).....	58
ΕΙΚΟΝΑ 3-3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 3-4: ΟΙ ΓΩΝΙΕΣ YAW, PITCH, ROLL.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 3-5: ΟΙ ΓΩΝΙΕΣ Ω, Φ, Κ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 3-6: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ FIDUCIAL MARKERS.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 3-7: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΥΞΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ MARKER. WAGNER AND SCHMALSTIEG, 2007.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 3-8: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ POSE ΜΕΣΩ ΤΟΥ TRACKING ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 3-9: ΤΑ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ FAST.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 3-10: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ (FASTVO). CAO, ET AL., 2020.....	69
ΕΙΚΟΝΑ 3-11: ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ VSLAM. TANG ET AL., 2020.....	69
ΕΙΚΟΝΑ 4-1: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ AR FOUNDATION.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 4-2: ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ARCORE ΩΣ PLUG-IN PROVIDER.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 4-3: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΙΑΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΣΚΗΝΗΣ AR ΠΗΓΗ: <a href="https://docs.unity3d.com/packages/com.unity.xr.foundation@4.2/manual/index.html">HTTPS://DOCS.UNITY3D.COM/PACKAGES/COM.UNITY.XR.ARFOUNDATION@4.2/MANUAL/INDEX.HTML</a>	78
ΕΙΚΟΝΑ 4-4: TRACKABLE MANAGERS ΣΤΟ UNITY.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 4-5: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ, ΟΠΩΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΩΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (COMPONENTS) ΤΟΥ AR SESSION ORIGIN.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 4-6: ΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΠΡΟΣ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΣΚΗΝΗ ΤΟΥ UNITY.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 4-7: ΤΟ ΒΥΤΤΟΝ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΓΓΕΙΟΥ.....	83
ΕΙΚΟΝΑ 4-8: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ ARCOREIMG.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 4-9: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ ARCOREIMG.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 4-10: ΟΙ ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΩΣ ΑΝΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΡΑΧΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΟ ΑΓΑΛΜΑ (ΚΕΝΤΡΟ) ΚΑΙ ΤΟ ΑΓΓΕΙΟ (ΔΕΞΙΑ).....	89
ΕΙΚΟΝΑ 4-11: Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ REFERENCE IMAGE LIBRARY ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	89
ΕΙΚΟΝΑ 4-12: AR TRACKED IMAGE MANAGER.....	90
ΕΙΚΟΝΑ 4-13: ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ IMAGE TRACKING ΤΟΥ AR SESSION ORIGIN.....	90
ΕΙΚΟΝΑ 4-14: ΤΑ ΤΕΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ AR SESSION ORIGIN.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 4-15: Η ΘΘΟΝΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΒΟΧ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 4-16: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 4-17: Η ΘΕΣΗ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΣΚΗΝΗ ΤΟΥ UNITY.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 4-18: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ YOLO, REDMON ET AL., 2015.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 4-19: Η ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ, REDMON ET AL., 2015.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 4-20: ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 4-21: ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΕΙΣΑΓΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 4-22: ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΣΚΗΝΗΣ (AR SESSION ORIGIN COMPONENTS).....	101

ΕΙΚΟΝΑ 5-1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ WIKITUDE .....	105
ΕΙΚΟΝΑ 5-2: ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ SMART.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 5-3: ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ CONTROLLER .....	107
ΕΙΚΟΝΑ 5-4: ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ INSTANT TRACKER .....	107
ΕΙΚΟΝΑ 5-5: ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ PLANE DETECTION.....	108
ΕΙΚΟΝΑ 5-6: Η ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΟ WIKITUDE STUDIO.....	109
ΕΙΚΟΝΑ 5-7: ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ IMAGE TRACKER .....	109
ΕΙΚΟΝΑ 5-8: Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΚΗΝΗΣ (SCENE HIERARCHY) .....	110
ΕΙΚΟΝΑ 5-9: ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ .....	110
ΕΙΚΟΝΑ 5-10: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ .....	111
ΕΙΚΟΝΑ 5-11: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ POI CONTROLLER .....	112
ΕΙΚΟΝΑ 5-12: Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ.....	112
ΕΙΚΟΝΑ 5-13: ΤΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ, ΟΠΩΣ ΑΥΤΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΣΤΟ WIKITUDE STUDIO .....	113
ΕΙΚΟΝΑ 5-14: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ OBJECT TRACKER.....	113
ΕΙΚΟΝΑ 5-15: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ OBJECT TRACKABLE.....	114
ΕΙΚΟΝΑ 6-1: PLANE DETECTION AND OBJECT PLACEMENT ARCORE.....	117
ΕΙΚΟΝΑ 6-2: PLANE DETECTION AND OBJECT PLACEMENT WIKITUDE.....	117
ΕΙΚΟΝΑ 6-3: UNITY PROFILER - PLANE DETECTION AND OBJECT PLACEMENT ARCORE .....	118
ΕΙΚΟΝΑ 6-4: UNITY PROFILER – PLANE DETECTION AND OBJECT PLACEMENT WIKITUDE .....	118
ΕΙΚΟΝΑ 6-5: IMAGE TRACKING – ARCORE .....	118
ΕΙΚΟΝΑ 6-6: IMAGE TRACKING – WIKITUDE .....	119
ΕΙΚΟΝΑ 6-7: UNITY PROFILER - IMAGE TRACKING ARCORE .....	119
ΕΙΚΟΝΑ 6-8: UNITY PROFILER - IMAGE TRACKING WIKITUDE .....	119
ΕΙΚΟΝΑ 6-9: OBJECT TRACKING ARCORE .....	120
ΕΙΚΟΝΑ 6-10: OBJECT TRACKING WIKITUDE.....	120
ΕΙΚΟΝΑ 6-11: UNITY PROFILER - OBJECT TRACKING ARCORE .....	121
ΕΙΚΟΝΑ 6-12: UNITY PROFILER - OBJECT TRACKING WIKITUDE .....	121



# 1

## *Επαυξημένη Πραγματικότητα:*

### *Εισαγωγή*

Ο όρος Επαυξημένη Πραγματικότητα αφορά στην τεχνολογία που επιτρέπει την ενσωμάτωση στον πραγματικό κόσμο, όπως αυτός εκλαμβάνεται από το χρήστη μέσα από τις αισθήσεις του, πληροφορία και υλικό που δεν υπάρχουν σε αυτόν, αλλά έχουν δημιουργηθεί ψηφιακά. Μία τέτοια εφαρμογή, διαμορφώνεται συνδυάζοντας διαφορετικές τεχνολογίες των εξής επιμέρους συστημάτων:

- Ανίχνευση (tracking) και εγγραφή (registration)
- Μοντελοποίηση σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας
- Υλικό, οθόνες προβολής και κινητές συσκευές για εισαγωγή και ανίχνευση
- Διεπαφές αλληλεπίδρασης

Ειδικότερα στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται κάποια στοιχεία σχετικά με το πώς ορίζεται η Επαυξημένη Πραγματικότητα, καθώς και ποιες είναι οι βασικές απαιτήσεις για την υλοποίηση τέτοιων εφαρμογών. Δίνονται πληροφορίες για την εξέλιξή της στο χρόνο, ενώ παρουσιάζονται τομείς και παραδείγματα αξιοποίησής της. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα στοιχεία διεπαφής που επιτρέπουν τον χειρισμό εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς και οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση εικονικών πληροφοριών στον πραγματικό κόσμο.

#### 1.1. Γενική Περιγραφή - Ορισμός

Ως επαυξημένη πραγματικότητα ορίζεται η τεχνολογία η οποία επιτρέπει την προσθήκη πληροφοριών, που παράγονται από έναν υπολογιστή, στον πραγματικό κόσμο σε πραγματικό χρόνο, μέσω κατάλληλων συσκευών. Σε αντίθεση με τις περιπτώσεις εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας, η επαυξημένη πραγματικότητα συμπληρώνει το πραγματικό περιβάλλον και δεν το αντικαθιστά (Azuma, 1997). Τα πραγματικά αντικείμενα συνυπάρχουν

με τα εικονικά και ταυτόχρονα τα εικονικά αντικείμενα επιδεικνύουν πληροφορία η οποία δεν είναι άμεσα ανιχνεύσιμη από το χρήστη μέσω των αισθήσεών του, ενώ δεν αφορά αποκλειστικά στην όραση. Η επιπλέον πληροφορία που παρέχεται στον χρήστη πέραν αυτής που αφομοιώνει από το πραγματικό περιβάλλον μπορεί να σχετίζεται και με τις υπόλοιπες αισθήσεις π.χ. ακοή και αφή. (Milgram and Kishino, 1994).

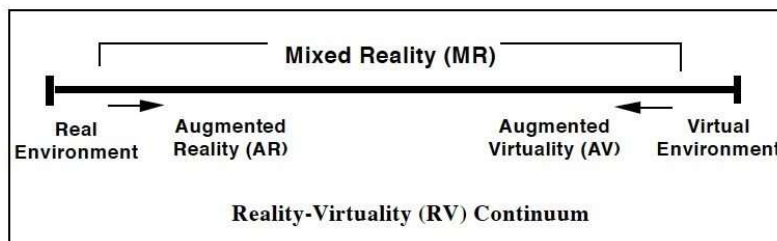
Στο πλαίσιο μιας τέτοιας εφαρμογής, η τρισδιάστατη δομή της πραγματικής σκηνής ανιχνεύεται με μία κάμερα για την υπέρθεση εικονικών αντικειμένων με γεωμετρική συνέπεια σε πραγματικό χρόνο. Τα εικονικά αντικείμενα συνήθως απεικονίζονται μέσω μίας από τις εξής τρεις συσκευές: προσαρτημένα επί κεφαλής συστήματα προβολής (HMD), φορητές οθόνες χειρός ή χωρικές συσκευές απεικόνισης. Τέλος, στη βάση του λειτουργικού συστήματος και του λογισμικού, σχεδιάζονται οι διεπαφές αλληλεπίδρασης χρήστη για την παροχή του γραφικού περιβάλλοντος και του συνόλου των διαδραστικών ενεργειών.

Σύμφωνα με τον Ronald Azuma (1997) τα τρία χαρακτηριστικά που καθορίζουν την επαυξημένη πραγματικότητα είναι τα εξής:

1. Συνδυάζει το πραγματικό και το εικονικό
2. Είναι διαδραστική σε πραγματικό χρόνο
3. Η πληροφορία χωροθετείται σε τρεις διαστάσεις

Με χρήση σύγχρονων τεχνολογιών προσδιορισμού της θέσης του χρήστη (GPS – Global Positioning System), αισθητήρων κίνησης, αδράνειας και διεύθυνσης, καμερών ενσωματωμένων σε συσκευές και αισθητήρων βάθους, αποκτάται πληροφορία για το πού βρίσκεται ο χρήστης, προς τα πού κοιτάει, πώς είναι ο χώρος στον οποίο βρίσκεται και τι είναι το αντικείμενο με το οποίο αλληλεπιδρά στον πραγματικό κόσμο. Αξιοποιώντας τα παραπάνω, η επαυξημένη πραγματικότητα ως τεχνολογία, επιτρέπει τη χωρική συσχέτιση πληροφορίας που παράγει ο υπολογιστής και την εμφανίζει σε τρισδιάστατη υπέρθεση με το φυσικό κόσμο, σε πραγματικό χρόνο.

Σύμφωνα με τους Milgram and Kishino (1994), η επαυξημένη πραγματικότητα ανήκει στην τεχνολογία της μικτής πραγματικότητας (mixed reality), ενώ ορίζουν το «συνεχές πραγματικότητας – εικονικότητας» (reality-virtuality continuum).



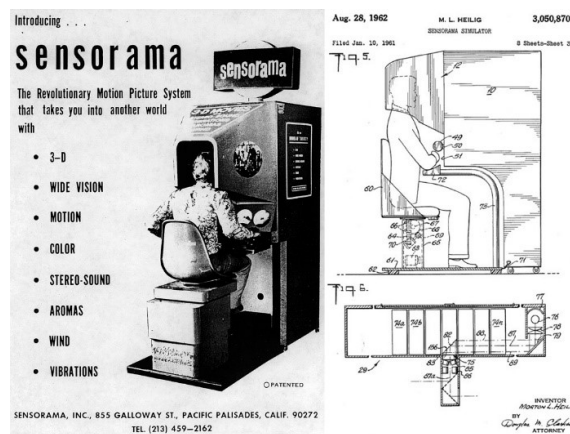
Εικόνα 1-1: Το Συνεχές Πραγματικότητας – Εικονικότητας (Reality - Virtuality Continuum), Milgram and Kishino, 1994.

Σύμφωνα με την θεώρηση αυτή, το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον βρίσκονται στα δύο απέναντι άκρα του συνεχούς, ενώ οτιδήποτε μεταξύ των δύο αυτών άκρων – αντικείμενα του πραγματικού και εικονικού κόσμου – αφορά στο περιβάλλον μικτής πραγματικότητας και παρουσιάζεται μαζί σε μία συσκευή θέασης.

Η μικτή πραγματικότητα περιλαμβάνει την επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality) και την επαυξημένη εικονικότητα (augmented virtuality). Στην επαυξημένη πραγματικότητα, το περιβάλλον που παρατηρείται είναι κυρίως αληθινό με κάποιες προσθήκες που έχουν παραχθεί ψηφιακά. Αντίθετα, στην επαυξημένη εικονικότητα το παρατηρούμενο περιβάλλον είναι κυρίως εικονικό και επαυξάνεται με τη χρήση πραγματικών δεδομένων.

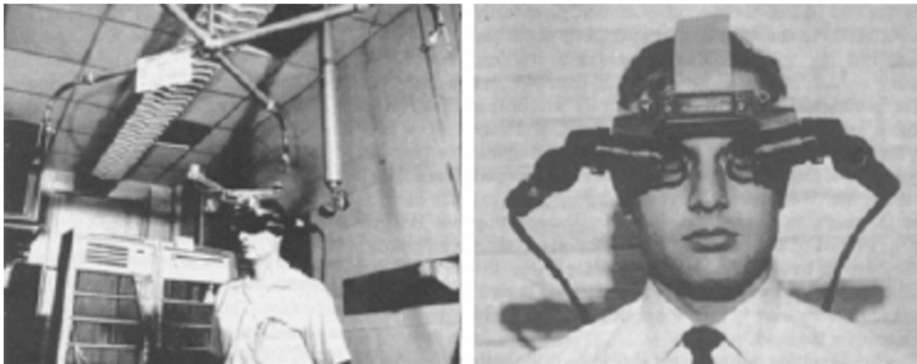
## 1.2. Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη αναφορά σε τεχνολογία με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά της επαυξημένης πραγματικότητας έγινε το 1901, από τον συγγραφέα L. Frank Baum, στο μυθιστόρημά του «The Master Key». Ο Baum στο έργο του οραματίστηκε ένα είδος γυαλιών τα οποία πρόβαλλαν στο μέτωπο του κάθε ανθρώπου ένα γράμμα που περιγράφει το χαρακτήρα του. Το 1962 ο κινηματογραφιστής Morton Heilig, ο οποίος είχε την πεποίθηση ότι ο κινηματογράφος ως μορφή τέχνης θα έπρεπε να εμπλέκει τους θεατές στα γεγονότα που διαδραματίζονται στις οθόνες τους, δημιούργησε και κατοχύρωσε τον προσομοιωτή Sensorama που έδινε στους θεατές μία εμπειρία εικόνας, ήχου, δόνησης και οσμών.



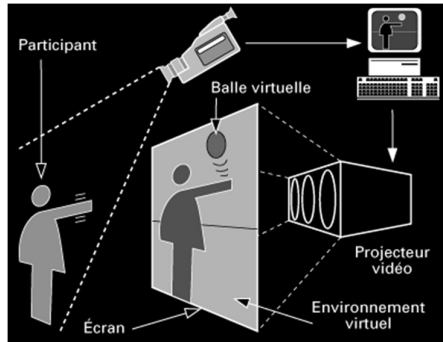
Εικόνα 1-2: Sensorama, ο τεχνικός πίνακας και οι εικόνες που εμφανίζονται στην παρουσίαση του πειραματικού προϊόντος

Το 1966 ο Ivan Sutherland εφευρίσκει την οθόνη κεφαλής (head-mounted-display), ενώ δύο χρόνια αργότερα, ο ίδιος, δημιουργεί το πρώτο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας. Μία οπτική διαφανής οθόνη κεφαλής («The Sword of Damocles») που τοποθετείται στο κεφάλι του χρήστη με σκοπό την πρόσθεση τρισδιάστατων πληροφοριών στο οπτικό του πεδίο. Η ιδέα στην οποία στηρίχτηκε η κατασκευή ήταν ότι ο χρήστης, φορώντας τη συσκευή, θα έβλεπε στο κάθε μάτι του κατάλληλες δισδιάστατες εικόνες που θα δημιουργούσαν την οφθαλμαπάτη τρισδιάστατης προοπτικής. Καθώς ο χρήστης κινούνταν, προβάλλονταν διαφορετικές εικόνες βάσει της θέσης και του προσανατολισμού του. Λόγω των τεχνικών περιορισμών της εποχής, τα τρισδιάστατα αντικείμενα που παρουσιάζονταν στο χρήστη δεν ήταν συμπαγή αλλά διάφανα και καθορίζονταν από τα περιγράμματά τους.



*Εικόνα 1-3: Το πρώτο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας από τον Ivan Sutherland (Sutherland, 1968)*

Το 1975 ο Myron Krueger δημιουργεί το “Videoplace”, ένα εργαστήριο τεχνητής πραγματικότητας όπου οι χρήστες έμπαιναν σε ένα διαδραστικό περιβάλλον που ανταποκρινόταν στις κινήσεις τους, χωρίς τη χρήση ειδικών γυαλιών ή γαντιών. Το “Videoplace” αποτελείται από διαφορετικά δωμάτια οποιασδήποτε απόστασης μεταξύ τους, το καθένα από τα οποία διαθέτει μία οθόνη προβολής και ειδικές συσκευές. Μέσω του συστήματος, η εικόνα κάθε χρήστη παρουσιάζεται ως σιλουέτα στην οθόνη προβολής, η οποία πραγματοποιεί τις ίδιες κινήσεις με αυτού, ενώ δίνεται η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με άλλους χρήστες και εικονικά αντικείμενα.



Εικόνα 1-4: Αρχιτεκτονική του συστήματος Videoplace

Πηγή:

<http://thedigitalage.pbworks.com/w/page/22039083/Myron%20Krueger>

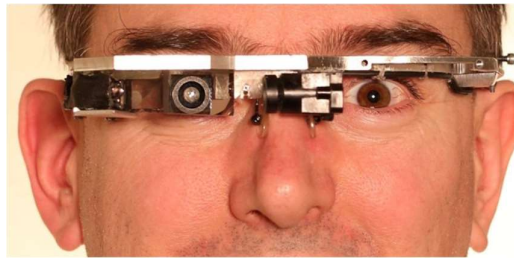


Εικόνα 1-5: Σκηνή από το Videoplace

Πηγή:

<http://thedigitalage.pbworks.com/w/page/22039083/Myron%20Krueger>

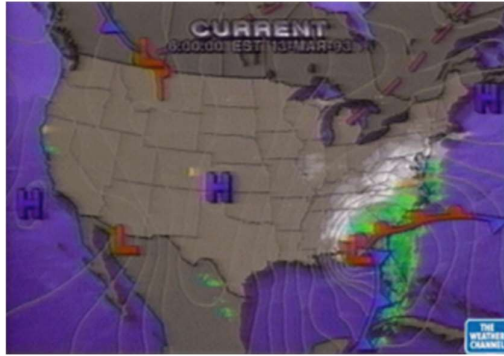
Τρία χρόνια αργότερα, το 1978, ο Steve Mann δημιουργεί την πρώτη φορητή συσκευή επαύξησης του πραγματικού κόσμου. Το EyeTap είναι μια ιδέα για μια φορητή υπολογιστική συσκευή που φοριέται μπροστά στο μάτι και λειτουργεί ως κάμερα για την εγγραφή της σκηνής που είναι ορατή, καθώς και ως οθόνη για την υπέρθεση εικόνων, που έχουν δημιουργηθεί ψηφιακά, στην αρχική σκηνή.



Εικόνα 1-6: Η συσκευή "EyeTap" που δημιούργησε ο Steve Mann

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/EyeTap>

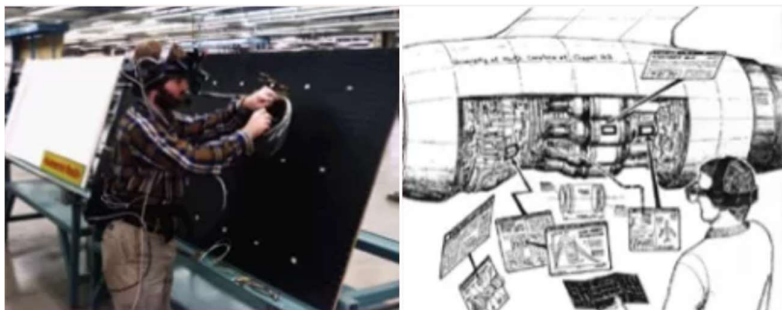
Το 1980 δημοσιεύεται η έρευνα του Gavan Lintern από το Πανεπιστήμιο του Ιλινόις. Πρόκειται για την πρώτη δημοσιευμένη εργασία που δείχνει την αξία ενός "heads-up-display" συστήματος για τη διδασκαλία δεξιοτήτων πτήσης στον πραγματικό κόσμο. Ένα χρόνο αργότερα, ο Dan Reitan, δημιουργεί χάρτες συνδυάζοντας δορυφορικές εικόνες και μετεωρολογικά δεδομένα από ραντάρ, με χάρτες της γήινης επιφάνειας για την τηλεοπτική μετάδοση μετεωρολογικών προγνώσεων. Η εφαρμογή αυτή, αποτελεί πρόδρομο της χρήσης επαυξημένης πραγματικότητας στην τηλεόραση.



Εικόνα 1-7: Εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας για καιρικές μεταδόσεις Πηγή: <https://wordpress.cs.vt.edu/ccs2018f/2018/10/31/history-of-augmented-reality-and-getting-started/>

Η πιο ευρέως διαδεδομένη μορφή AR περιγράφεται το 1986, από τον Ron Feigenblatt, στην IBM. Αφορά στη χρήση μιας μικρής «έξυπνης» επίπεδης οθόνης που τοποθετείται και προσανατολίζεται χειροκίνητα. Το 1987 οι Douglas George και Robert Morris παρουσιάζουν ένα λειτουργικό πρωτότυπο ενός συστήματος “heads-up-display” τοποθετημένο σε αστρονομικό τηλεσκόπιο.

Ο Thomas Caudell και ο David Mizell εισάγουν τον όρο επαυξημένη πραγματικότητα για πρώτη φορά, τρία χρόνια μετά την εισαγωγή του όρου «εικονική πραγματικότητα» από τον Jaron Lanier (1989), το 1992. Ο Caudell μαζί με το συνάδελφό του David Mizell εργάζονται στην εταιρία Boeing πάνω σε ένα πρόγραμμα βελτίωσης της κατασκευής αεροσκαφών και συγκεκριμένα υποβοήθησης των εργατών στη συναρμολόγηση των καλωδιώσεων. Έτσι, κατασκευάζουν ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας με συσκευή θέασης που προσαρτάται στο κεφάλι των εργατών (Head-Mounted Display, HMD) και μπορεί να υπερθέσει στον πίνακα, στον οποίο αυτοί συνδέουν τις καλωδιώσεις, διαγράμματα που δείχνουν τις θέσεις στις οποίες τα καλώδια πρέπει να τοποθετηθούν.



Εικόνα 1-8: Η συσκευή που δημιούργησαν οι Caudell και Mizell (αριστερά) και παρουσίασή της (δεξιά)

Πηγή: Boeing

Το ίδιο έτος ο Louis Rosenberg ανέπτυξε ένα από τα πρώτα λειτουργικά συστήματα AR, που ονομάζονται Virtual Fixtures, στο Ερευνητικό Εργαστήριο Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών — Armstrong, το οποίο έδειξε οφέλη για την ανθρώπινη αντίληψη, ενώ

οι Steven Feiner, Blair MacIntyre και Doree Seligmann παρουσιάζουν σε συνέδριο το πρώτο κύριο άρθρο πάνω σε ένα πρωτότυπο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας. Το σύστημα αυτό, με την ονομασία KARMA («Knowledge-based Augmented Reality Maintenance Assistance»), χρησιμοποιεί ένα σύστημα HMD για την υποβοήθηση του τελικού χρήστη κατά τη συντήρηση ενός εκτυπωτή laser.



Εικόνα 1-9: Το σύστημα “Virtual Fixtures”, Louis Rosenberg

Πηγή: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4231>



Εικόνα 1-10: Το σύστημα KARMA (αριστερά) και η εικόνα που εμφανίζεται μέσω της συσκευής θέασης

Πηγή: <https://graphics.cs.columbia.edu/projects/karma/karma.html>

Το 1993 δημιουργείται ένας τύπος αισθητήρα εικόνας (αισθητήρας CMOS-Complementary Metal Oxide Semiconductor) στο εργαστήριο Jet Propulsion της NASA. Οι αισθητήρες CMOS χρησιμοποιούνται αργότερα ευρέως για την οπτική ανίχνευση (optical tracking) στην τεχνολογία AR. Το ίδιο έτος, ο Mike Abernathy κ.ά., αναφέρουν την πρώτη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στον εντοπισμό διαστημικών απορριμμάτων χρησιμοποιώντας το Rockwell WorldView με την υπέρθεση δορυφορικών τροχιών σε ζωντανό βίντεο, ενώ η Loral WDL, με χορηγία της STRICOM, πραγματοποίησε την πρώτη επίδειξη συνδυάζοντας οχήματα εξοπλισμένα με AR και επανδρωμένους προσομοιωτές. Ένα χρόνο μετά, ο Paul Milgram παρουσίασε το συνεχές εικονικότητας-πραγματικότητας, το οποίο αποκαλείται και συνεχές επαυξημένης πραγματικότητας.

Το 1994 η Julie Martin δημιουργεί την πρώτη θεατρική παραγωγή επαυξημένης πραγματικότητας με την ονομασία «Dancing in Cyberspace», στην οποία χορευτές και

ακροβάτες αλληλεπιδρούν με εικονικά αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο, τα οποία προβάλλονται στη σκηνή.



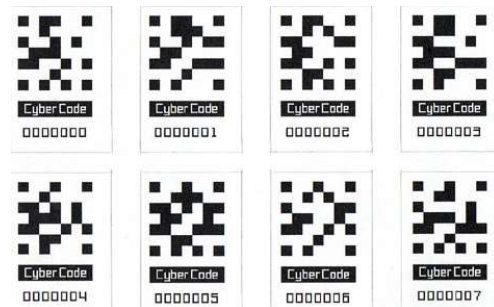
Εικόνα 1-11: Σκηνή από το "Dancing in Cyberspace", της Julie Martin

Πηγή: <https://time.graphics>

Το 1995 ο Jun Rekimoto αναπτύξετε το πρώτο φορητό σύστημα χειρός επαυξημένης πραγματικότητας που βασίζεται σε έγχρωμους επίπεδους στόχους, και το ονόμασε NaviCam. Το επόμενο έτος, ο ίδιος, δημιούργησε ένα 2D barcode σύστημα για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, με βάση τα ασπρόμαυρα τετράγωνα markers δύο διαστάσεων, που το αποκάλεσε CyberCode. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτός ο τύπος marker χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα.



Εικόνα 1-12: Το σύστημα NaviCam (Rekimoto and Nagao 1995)



Εικόνα 1-13: Παραδείγματα επίπεδων στόχων του συστήματος CyberCode

Πηγή: <http://www.sonyinsider.com/wp-content/uploads/2011/05/cybercode.jpg>

Το 1996 η General Electric αναπτύσσει σύστημα για την προβολή πληροφοριών από τρισδιάστατα μοντέλα CAD στον πραγματικό χώρο.

Το 1997 δημοσιεύτηκε από τον Ronald Azuma μία λεπτομερής έρευνα πάνω στο πεδίο της επαυξημένης πραγματικότητας, ενώ ένα έτος μετά παρουσιάζεται στο Πανεπιστήμιο της



Βόρειας Καρολίνας στο Chapel Hill από τους Ramesh Raskar, Greg Welch, Henry Fuchs, η χωρική επαυξημένη πραγματικότητα.

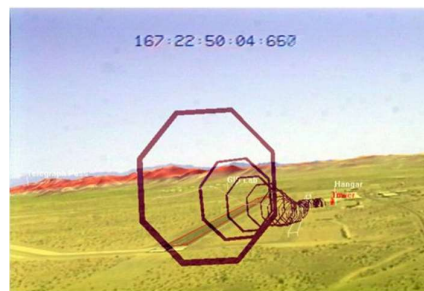
Το 1998 οι Bruce Thomas κ.ά. επιχειρούν να επεκτείνουν την επαυξημένη πραγματικότητα σε εξωτερικούς χώρους, όταν αναπτύσσουν ένα οπτικό σύστημα πλοήγησης για πεζούς, το «Map-in-the-hat». Πρόκειται για ένα φορητό υπολογιστικό σύστημα, εφοδιασμένο με GPS, ψηφιακή πυξίδα και μία οθόνη επί κεφαλής. Το σύστημα αυτό, ενώ αρχικά περιορίζεται μόνο σε εφαρμογές πλοήγησης, αργότερα εξελίσσεται στο σύστημα Tinmith, μία πλατφόρμα επαυξημένης πραγματικότητας που χρησιμοποιείται σε πλήθος αντίστοιχων εφαρμογών.



Εικόνα 1-14: Το σύστημα "Map-in-hat"

Πηγή: Thomas et al., 1998

Το 1999 αποτελεί έτος σημαντικής προόδου όσον αφορά στην εφαρμογή τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας. Οι Frank Delgado, Mike Abernathy κ.ά. αναφέρουν την επιτυχία της δοκιμαστικής εφαρμογής του λογισμικού LandForm, μέσω του οποίου πραγματοποιείται επαύξηση βίντεο με διαδρόμους προσγείωσης/απογείωσης, τροχόδρομους αεροδρομίων, δρόμους και ονόματα δρόμων. Το λογισμικό LandForm χρησιμοποιήθηκε, το ίδιο έτος, στο όχημα επανεισόδου της NASA, X-38.



Εικόνα 1-15: Στιγμιότυπο από την χρήση του Landform

Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality)

Κατά το ίδιο έτος το Εργαστήριο Ναυτικής Έρευνας των ΗΠΑ συμμετέχει σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα διάρκειας δεκαετίας που ονομάζεται Σύστημα Επαυξημένης Πραγματικότητας στο πεδίο της μάχης (Battlefield Augmented Reality System - BARS). Αντικείμενο του

προγράμματος αποτελεί η δημιουργία φορητών συστημάτων για στρατιώτες που λειτουργούν σε αστικό περιβάλλον, με στόχο την συμβολή στην επίγνωση της περιβάλλουσας κατάστασης, με την υπέρθεση πληροφοριών για το περιβάλλον ή και πιθανά σημεία που θα μπορούσαν να στηθούν εχθρικές ενέδρες.



Εικόνα 1-16: Ο πρωτότυπος εξοπλισμός του συστήματος B.A.R.S. (Office of Naval Research, Virginia)

Ακόμα, ο Tobias Höllerer κ.ά. δημιουργούν ένα φορητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, το οποίο παρέχει στον χρήστη ξενάγηση εντός πανεπιστημιούπολης με την υπέρθεση προηγούμενων κτηρίων. Πρόκειται για την πρώτη εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας που χρησιμοποιεί RTK GPS και αδρανειακό σύστημα.

Την ίδια χρονιά, ο Hirokazu Kato αναπτύσσει την ARToolKit βιβλιοθήκη για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, η οποία δίνεται στο κοινό ως βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα από το εργαστήριο HIT Lab (Human Interface Technology Laboratory) του Πανεπιστημίου της Washington. Η βιβλιοθήκη αυτή παρέχει στο προγραμματιστή τη δυνατότητα της λήψης βίντεο και την τοποθέτηση εικονικών μοντέλων, σε πραγματικό χρόνο, όταν εντοπίζει markers στην εκάστοτε σκηνή. Η βιβλιοθήκη ARToolKit αποτελεί τη βάση για πολλές εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα.

Το 2000 οι Bruce Thomas et al. δημιουργούν το πρώτο παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας εξωτερικού χώρου, το ARQuake, που αποτελεί μία παραλλαγή του διάσημου παιχνιδιού Quake για ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι χρήστες εφοδιάζονται με ένα φορητό υπολογιστή στην πλάτη τους, ένα HMD και μία απλή συσκευή εισόδου.



Εικόνα 1-17: Η συσκευή του ARQuake (αριστερά) και στιγμιότυπο από την εικόνα που παρουσιάζεται στον χρήστη (δεξιά)

Πηγή: <http://www.tinmith.net/arquake/>

Το 2001, από τους Bob Kooper και Blair MacIntyre, δημιουργείται το πρώτο πρόγραμμα περιήγησης επαυξημένης πραγματικότητας, Real-World Wide Web, μια εφαρμογή που παραθέτει δεδομένα από τον Παγκόσμιο Ιστό στον πραγματικό κόσμο, μέσω μιας συσκευής HMD.

Την ίδια χρονιά οι Βλαχάκης κ.ά. παρουσιάζουν το "Archeoguide", ένα φορητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας για χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Το σύστημα επικεντρώνεται στο αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Ολυμπίας στην Ελλάδα. Περιλαμβάνει μία διεπαφή περιήγησης, τρισδιάστατα μοντέλα των αρχαίων ναών και αγαλμάτων, καθώς και φιγούρες να αγωνίζονται. Ο ακριβής εντοπισμός της θέσης του χρήστη πραγματοποιείται με χρήση GPS.



Εικόνα 1-18: Στιγμιότυπο από την εφαρμογή "Archeoguide". Η πραγματική κατάσταση του μνημείου (αριστερά) και η εικόνα με υπέρθεση της ανακατασκευής του (δεξιά) (Vlachakis, et al., 2001)

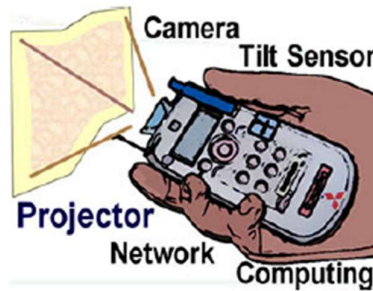
Το 2002 ο Michael Kalkusch, κ.ά. παρουσιάζουν ένα φορητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας με σκοπό την πλοήγηση ενός χρήστη σε ένα άγνωστο κτήριο προς ένα δωμάτιο προορισμού.

Το 2003 ο Adrian David Cheok κ.ά. παρουσιάζουν το "Human Pacman". Πρόκειται για ένα διαδραστικό παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας. Ο εντοπισμός της θέσης και του προσανατολισμού βασίζεται στη χρήση GPS και αδρανειακών αισθητήρων.



Εικόνα 1-19: Στιγμιότυπο από το "Human Pacman", Cheok et al., 2003

Το ίδιο έτος παρουσιάζεται το iLamps, το πρώτο σύστημα παρουσίασης ψηφιακής πληροφορίας πάνω σε πραγματικά αντικείμενα, οποιασδήποτε γεωμετρίας, με χρήση μικρού φορητού προβολέα.



Εικόνα 1-20: Το σύστημα iLamp, Raskar et al., 2003

Το 2003, κυκλοφορεί, επίσης, το Siemens SX1, το οποίο αποτελεί το πρώτο εμπορικό κινητό τηλέφωνο με παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας, το Mozzies (γνωστό και ως “Mosquito Hunt”). Η υπέρθεση των αντικειμένων πραγματοποιείται σε βίντεο που λαμβάνεται από την κάμερα του κινητού, ενώ η σκόπευση πραγματοποιείται με μετακίνηση της συσκευής.



Εικόνα 1-21: Το Siemens SX1 (αριστερά) με το παιχνίδι "Mozzies"(δεξιά)

Πηγή: <https://www.gsmarena.com/>

Το 2004 παρουσιάζεται από τους Mathias Möhring et al., το πρώτο σύστημα ανίχνευσης τρισδιάστατων στόχων, σε κινητό τηλέφωνο. Υποστηρίζει τη διάκριση και τον προσδιορισμό διαφορετικών τρισδιάστατων στόχων και την σωστή ενσωμάτωση τρισδιάστατων γραφικών σε ζωντανό βίντεο του πραγματικού κόσμου.



Εικόνα 1-22: 3D στόχοι (3D markers), Mathias Möhring et al., 2004

Το ίδιο έτος παρουσιάζεται το “The Invisible Train”, η πρώτη εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για πολλούς χρήστες σε συσκευές χειρός.

Το 2006, οι Reitmayr and Drummond παρουσιάζουν ένα υβριδικό σύστημα εντοπισμού επαύξησης της πραγματικότητας για εξωτερικούς χώρους, το οποίο παρέχει ακριβή, και σε πραγματικό χρόνο υπέρθεση μέσω μιας συσκευής χειρός. Το σύστημα χρησιμοποιεί ανίχνευση ακμών για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του αντικείμενου και μετρήσεις από το γυροσκόπιο της συσκευής για τον εντοπισμό απότομων κινήσεων. Σε περίπτωση αστοχίας ή παρεμπόδισης της οπτικής επαφής με το αντικείμενο το σύστημα πραγματοποιεί αυτόματη επανέναρξη της διαδικασίας υπέρθεσης.



Εικόνα 1-23: Χρήση του συστήματος των Reitmayr και Drummond σε αστικό περιβάλλον (αριστερά). Στιγμιότυπο που εμφανίζει την εικόνα από την ανίχνευση του κτηρίου (κέντρο). Στιγμιότυπο οθόνης με υπέρθεση των ακμών του κτηρίου (δεξιά), Reitmayr and Drummond, 2006

Το ίδιο έτος, η Nokia παρουσιάζει το πρόγραμμα MARA (Mobile Augmented Reality Applications project). Πρόκειται για μία εφαρμογή που χρησιμοποιεί επιταχυνσιόμετρο, πυξίδα και GPS για τον υπολογισμό της (προσεγγιστικής) θέσης και του προσανατολισμού του κινητού τηλεφώνου, με αποτέλεσμα να υπερθέτει σε ζωντανό βίντεο πληροφορίες για τα πραγματικά αντικείμενα, εκμεταλλευόμενη τις δυνατότητες του κινητού τηλεφώνου για ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο, αφού αντλεί πληροφορίες από μία βάση δεδομένων.



Εικόνα 1-24: Το σύστημα MARA, Nokia, 2006

Το 2007 οι Klein και Murray παρουσιάζουν ένα σύστημα ικανό για ακριβή εντοπισμό και αποτύπωση σε πραγματικό χρόνο για μικρούς χώρους. Πρόκειται για παραλλαγή της μεθόδου SLAM (simultaneous localization and mapping). Η μέθοδος SLAM επιτρέπει την αποτύπωση του περιβάλλοντος χώρου ενός κινούμενου αντικειμένου και τον προσδιορισμό της θέσης αυτού σε πραγματικό χρόνο.

Το ίδιο έτος δημιουργείται η πρώτη διαφήμιση επαυξημένης πραγματικότητας σε κινητά τηλέφωνα για τη Wellington Zoo.



Εικόνα 1-25: Η πρώτη AR διαφήμιση - Wellington Zoo

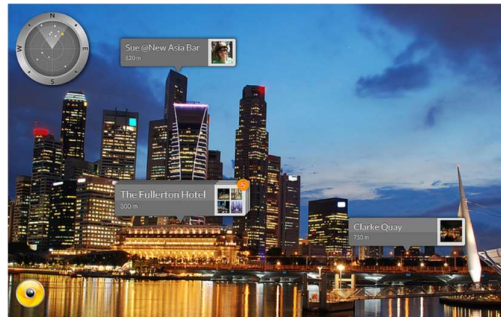
Πηγή: <https://theinspirationroom.com/daily/2007/augmented-reality-at-wellington-zoo/>

Το 2008 οι Wagner κ.ά. παρουσιάζουν την πρώτη εφαρμογή εντοπισμού και παρακολούθησης φυσικών χαρακτηριστικών, 6 βαθμών ελευθερίας, σε πραγματικό χρόνο για κινητά τηλέφωνα. Για την επίτευξη μεγαλύτερης ταχύτητας και τη μείωση των απαιτήσεων σε μνήμη, τροποποίησαν σημαντικά τις μεθόδους συνταύτισης εικόνων SIFT και Ferns.



Εικόνα 1-26: Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου των Wagner, et al., 2008

Το ίδιο έτος δημιουργείται το πρόγραμμα περιήγησης επαυξημένης πραγματικότητας Wikitude. Πρόκειται για μία εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας βάσει θέσης, που χρησιμοποιεί δεδομένα GPS, επιταχυνσιόμετρο και πυξίδα και την κάμερα του κινητού τηλεφώνου για να υπερθέσει στο βίντεο πληροφορίες από το διαδίκτυο για τον περιβάλλοντα χώρο, σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 1-27: Η οθόνη περιήγησης του Wikitude AR

Το 2009 η εταιρία SPRXmobile δημιουργεί το πρόγραμμα περιήγησης επαυξημένης πραγματικότητας βάσει θέσης Layer, μία προηγμένη παραλλαγή του Wikitude. Το ίδιο έτος, το ARToolkit μεταφέρθηκε στο Adobe Flash (FLARToolkit) από τη Saqosha, φέρνοντας την επαυξημένη πραγματικότητα στο πρόγραμμα περιήγησης ιστού.

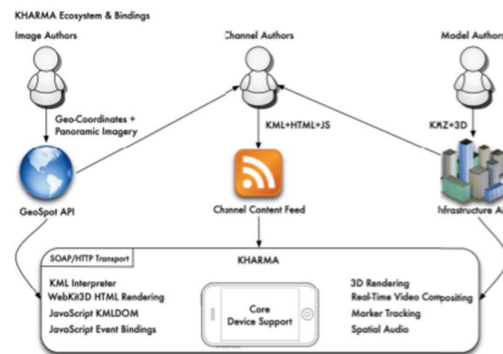
Το ίδιο έτος, οι Hagbi, κ.ά., παρουσιάζουν μία προσέγγιση που επιτρέπει τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου με την σκόπευση εικόνων προτύπων. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα συστήματα, η εν λόγω εφαρμογή επιτρέπει τον εντοπισμό πολλών διαφορετικών επίπεδων σχημάτων, ενώ ο χρήστης είναι δυνατό να «εκπαιδεύσει» το σύστημα για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση νέων. Τα σχήματα αυτά διατηρούνται σε μία βιβλιοθήκη παρέχοντας τη δυνατότητα για νέες διαφορετικές εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας.



Εικόνα 1-28: Η εφαρμογή που δημιούργησαν ο Hagbi, et al. για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση σχημάτων, Hagbi et al, 2009

Από τα τέλη του 2009 έως και σήμερα η έρευνα και η ανάπτυξη εφαρμογών που αφορούν στην επαυξημένη πραγματικότητα εμφανίζει αλματώδη εξέλιξη με τεράστιες επενδύσεις από παγκόσμιας κλάσης επιχειρήσεις, όπως οι Microsoft, Facebook, Google κ.ά. Ταυτόχρονα δραστικές εξελίξεις πραγματοποιούνται και στην κατασκευή συσκευών κινητών τηλεφώνων. Τα πλεονεκτήματα των δυνατοτήτων των συσκευών κινητών τηλεφώνων εισάγουν ένα ισχυρό κίνητρο προς την αξιοποίησή τους, ενώ η δυνατότητα της επεξεργασίας των δεδομένων μέσω ενός υπολογιστικού νέφους (cloud computing) ενισχύει την πρόταση για την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας αρχιτεκτονικής client-server. Το 2010 αρχίζει να κυριαρχεί η χρήση συστημάτων SLAM στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας.

Το 2010 δημιουργείται η KHARMA ( KML/HTML Architecture for Mobile Augmented Reality Applications), από τους Alex Hill, Blair MacIntyre, κ.ά. Πρόκειται για μία αρχιτεκτονική αναφοράς και παράδοσης περιεχομένου με στόχο τις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας σε παγκόσμια κλίμακα. Χρησιμοποιεί KML για την περιγραφή της γεωχωρικής ή σχετικής συσχέτισης του περιεχομένου και τεχνολογίες σε HTML, JavaScript και CSS για την ανάπτυξη και την παροχή του.



Εικόνα 1-29: Η αρχιτεκτονική KHARMA, Alex Hill, Blair MacIntyre et al. , 2010



Το ίδιο έτος η Microsoft δημιούργησε τη συσκευή Kinect η οποία αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας και κυρίως βιντεοπαιχνιδιών.

Το 2011 η Qualcomm ανακοινώνει την κυκλοφορία της πλατφόρμας ανάπτυξης λογισμικού QCAR, η οποία αργότερα θα ονομαστεί Vuforia και αποτελεί μέχρι και σήμερα μία από τις πιο διαδεδομένες πλατφόρμες ανάπτυξης λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας.

Το ίδιο έτος παρουσιάζεται το KinectFusion, όπου εικόνες βάθους από τον αισθητήρα Kinect χρησιμοποιούνται για την σύνθεση ενός μοντέλου επιφανείας.

Το 2011, επίσης, αρχίζει η ευρεία χρήση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, με την κυκλοφορία του Snapchat. Η παραπάνω τάση γενικεύεται με την ανακοίνωση του Meta, το οποίο αποτελεί εξέλιξη της πλέον διαδεδομένης πλατφόρμας κοινωνικής δικτύωσης, Facebook, ενσωματώνοντας τεχνολογίες επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας.

Το 2012 κυκλοφορεί το Lyteshot , μια διαδραστική πλατφόρμα τυχερών παιχνιδιών AR που χρησιμοποιεί έξυπνα γυαλιά για δεδομένα παιχνιδιού, ενώ ένα χρόνο αργότερα η Mina Luna δημιούργησε την πρώτη ταινία μόδας με επαυξημένη πραγματικότητα.

Το 2014 κυκλοφόρησαν τα Google Glasses, όπου είναι ένας "υπολογιστής που φοριέται" με σχήμα ενός ζευγαριού γυαλιών. Αντί για γυάλινους φακούς διαθέτει μια οθόνη στο ύψος του δεξιού ματιού και προσφέρει επαυξημένη εμπειρία της πραγματικότητας.

Το 2015 η Microsoft ανακοινώνει τα Windows Holographic και τα σύστημα κεφαλής επαυξημένης πραγματικότητας HoloLens . Το σύστημα χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες και μια μονάδα επεξεργασίας για να συνδυάζει «ολογράμματα» υψηλής ευκρίνειας με τον πραγματικό κόσμο.

Τον Ιούλιο του 2016 η Niantic κυκλοφόρησε το Pokémon Go για iOS και Android. Το παιχνίδι έγινε γρήγορα μια από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές smartphone και εκτοξεύει τη δημοτικότητα των παιχνιδιών επαυξημένης πραγματικότητας.

Το 2017 η Magic Leap ανακοινώνει τη χρήση της τεχνολογίας Digital Lightfield που είναι ενσωματωμένη στο σύστημα κεφαλής Magic Leap One .

Το 2018 η Google ανακοινώνει την κυκλοφορία του ARCore, ενός συστήματος ανάπτυξης λογισμικού, που επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Έχει προηγηθεί η κυκλοφορία αντίστοιχου συστήματος από την Apple, το 2017, με το όνομα ARKit.

Το 2019 η Microsoft ανακοινώνει το HoloLens 2 με σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά το οπτικό πεδίο και την εργονομία.

### 1.3. Παραδείγματα Εφαρμογών

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς και οι έξυπνες συσκευές αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της καθημερινότητας των ανθρώπων, έχουν αναπτυχθεί πολλές εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας με σκοπό την εξυπηρέτηση του χρήστη σε διάφορους τομείς.

Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο αναφέρονται, σε εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου, αλλά και με βάση το βαθμό ελευθερίας που παρέχουν στον χρήστη για κίνηση. Ακόμα μία διάκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το είδος των πληροφοριών που παρουσιάζονται. Η πρώτη κατηγορία αφορά σε εφαρμογές οι οποίες υπερθέτουν πληροφορίες στον χρήστη οι οποίες δεν αποτελούν μέρος του φυσικού κόσμου, για παράδειγμα τα ιστορικά στοιχεία ενός εκθέματος σε μουσείο, ενώ άλλες απεικονίζουν επιπρόσθετες πληροφορίες με τρόπο τέτοιο ώστε να μην ξεχωρίζουν από το πραγματικό περιβάλλον. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η υπέρθεση της ανακατασκευής ενός μνημείου, στην πραγματική του θέση και διαστάσεις.

#### 1.3.1. Ιατρική

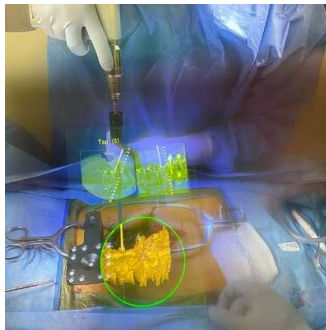
Ένα από τα πρώτα και πιο σημαντικά πεδία αξιοποίησης εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας είναι η ιατρική. Το πρώτο εικονικό σύστημα εισάγεται στην ιατρική το 1965, από τον Robert Mann. Ενώ, το 2006 παρουσιάζεται η αξιοποίηση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας στην ιατρική, με μια συσκευή για τους παρόχους υγείας η οποία μπορεί να απεικονίζει το σύστημα των φλεβών του κάθε ασθενή. Η αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογιών προσφέρει μια νέα προσέγγιση για ιατρικές διαγνώσεις, θεραπείες, αλλά και όσον αφορά στην εκπαίδευση των φοιτητών ιατρικής. Βοηθά στον προγραμματισμό της χειρουργικής επέμβασης και τη θεραπεία ασθενών, καθώς και στην εξήγηση περίπλοκων ιατρικών καταστάσεων στους ασθενείς και τους συγγενείς τους. Αυτό που κάνει την επαυξημένη πραγματικότητα ξεχωριστή και πιο χρήσιμη στην ιατρική είναι ότι συγχωνεύει εικονικά αντικείμενα με τον πραγματικό κόσμο, συμπεριλαμβανομένων πραγματικών αντικειμένων και πραγματικών ανθρώπων. Αυτό σημαίνει ότι ο χειρουργός, ο γιατρός ή η νοσοκόμα θα μπορούσαν να δουν πράγματα μπροστά τους χρησιμοποιώντας την επαυξημένη πραγματικότητα που διαφορετικά δεν θα μπορούσαν -- όπως οι φλέβες που

διατρέχουν το χέρι ενός ασθενή, ένα σπασμένο οστό, μία ακτινογραφία ή τα αρχεία υγείας του ασθενή, χωρίς να αφαιρέσουν την προσοχή τους από αυτόν για να κοιτάξουν κάποια άλλη οθόνη.

Οι γιατροί θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τέτοιες εφαρμογές για να σχεδιάσουν πολύπλοκες επεμβάσεις, αλλά και βοηθητικά κατά τη διάρκεια επεμβάσεων διαφόρων ειδών. Για παράδειγμα δεδομένα που συλλέγονται με τη μορφή ψηφιακών εικόνων από έναν μαγνητικό ή αξονικό τομογράφο ή ακόμα και απεικονίσεις υπερήχων μπορούν να συνδυαστούν για τη δημιουργία επαυξημένων σκηνών με ανατομικές πληροφορίες ενός ασθενή. Αντίστοιχα, αποτελούν δεδομένα εξαιρετικής σημασίας στον τομέα της χειρουργικής. Παρέχοντας πληροφορίες της ανατομίας του ασθενούς στους θεράποντες ιατρούς, χωρίς την πραγματοποίηση μεγαλύτερων τομών, ενισχύεται η πραγματοποίηση λιγότερο επεμβατικών χειρουργικών επεμβάσεων.

Τον Ιούνιο του 2020, νευροχειρουργοί στο Πανεπιστήμιο Johns Hopkins στη Βαλτιμόρη ανακοίνωσαν την πρώτη χειρουργική επέμβαση επαυξημένης πραγματικότητας. Χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας κατά τη διάρκεια επέμβασης στην σπονδυλική ασθενή για την τοποθέτηση έξι βιδών. Η ίδια τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε στην συνέχεια για την αφαίρεση όγκου από την σπονδυλική στήλη ενός άλλου ασθενή.

Με χρήση ενός ακουστικού και μιας οθόνης, οι γιατροί μπορούσαν να δουν μέσα από το άτομο, προβάλλοντας εικόνες από ακτίνες Χ ή αξονικές τομογραφίες, για παράδειγμα, στο σώμα του ασθενή.



*Εικόνα 1-30: Υπέρθεση ιατρικών εικόνων και δεδομένων στη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης στο νοσοκομείο Johns Hopkins*

*Πηγή: <https://www.hopkinsmedicine.org/news/articles/johns-hopkins-performs-its-first-augmented-reality-surgeries-in-patients>*

Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να δώσει λύσεις στον τομέα της υγείας, διευκολύνοντας όχι μόνο τους γιατρούς στο έργο τους, αλλά και τους φοιτητές ιατρικής στην εκμάθηση της επιστήμης τους. Στο NYU Langone, φοιτητές και καθηγητές χρησιμοποιούν εργαλεία επαυξημένης πραγματικότητας για να αποκτήσουν πρόσβαση σε εκπαιδευτικό

υλικό και να μάθουν την ανθρώπινη ανατομία. Για παράδειγμα, μπορούν να περιστρέψουν ένα λεπτομερές τρισδιάστατο μοντέλο της καρδιάς σε έναν υπολογιστή ή τηλέφωνο.

### 1.3.2. Εκπαίδευση

Στο εκπαιδευτικό περιβάλλον, η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιείται για να συμπληρώσει ένα τυπικό πρόγραμμα σπουδών. Κείμενο, γραφικά, βίντεο και ήχος μπορούν να τοποθετηθούν στο περιβάλλον του μαθητή σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας παράλληλα την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το εικονικό περιβάλλον. Για παράδειγμα ένα σχολικό εγχειρίδιο μπορεί να περιλαμβάνει ενσωματωμένους στόχους ή markers, οι οποίοι όταν σαρωθούν από μία συσκευή επαυξημένης πραγματικότητας να υπερτίθενται στον μαθητή πληροφορίες με την μορφή πολυμέσων. Οι τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να παροτρύνουν τους μαθητές να συμμετάσχουν πιο ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, ενώ παρέχεται η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το μαθησιακό περιβάλλον. Για παράδειγμα, η προσομοίωση ιστορικών γεγονότων μέσω ενός υπολογιστή είναι δυνατό να συμβάλλει ώστε οι μαθητές να κατανοήσουν και να μάθουν λεπτομέρειες για αυτά. Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, το Construct3D, ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, επιτρέπει στους μαθητές να μάθουν έννοιες μηχανολογίας, μαθηματικών ή γεωμετρίας. Οι φοιτητές ανατομίας μπορούν να οπτικοποιήσουν διαφορετικά συστήματα του ανθρώπινου σώματος σε τρεις διαστάσεις. Η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας ως εργαλείου για την εκμάθηση ανατομικών δομών έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει τη γνώση του εκπαιδευόμενου. Εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας είναι επίσης δυνατό να συμβάλλουν κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης μονάδων και υπηρεσιών σχετικών με την πολιτική προστασία, σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, όπως για παράδειγμα στην εκπαίδευση του πυροσβεστικού σώματος για τη διαχείριση κάποιων πυρκαγιών.



Εικόνα 1-31: Παράδειγμα αξιοποίησης της επαυξημένης πραγματικότητας στην εκπαίδευση.

Πηγή: <http://www.technocult.net/2010/01/11/augmented-reality-medical-app/>

### 1.3.3. Στρατός

Μία πρώιμη εφαρμογή της τεχνολογίας της επαυξημένης πραγματικότητας αποτελεί η δημιουργία από την Rockwell International βίντεο με υπέρθεση δορυφορικών τροχιών και διαστημικών απορριμμάτων στο πλαίσιο των διαστημικών παρατηρήσεων. Αυτό επέτρεψε στους χειριστές των διαστημικών τηλεσκοπίων επιτήρησης να αναγνωρίσουν δορυφόρους και να εντοπίσουν δυνητικά επικίνδυνα διαστημικά απορρίμματα.

Ξεκινώντας το 2003, ο στρατός των Η.Π.Α. ενσωμάτωσε το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας SmartCam3D στο Shadow Unmanned Aerial System, ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους, για να βοηθήσει τους χειριστές στον εντοπισμό ατόμων ή σημείων ενδιαφέροντος. Το σύστημα συνδύαζε την παρουσίαση γεωγραφικών πληροφοριών, όπως ονόματα δρόμων, σημείων ενδιαφέροντος, αεροδρομίων και σιδηροδρόμων με ζωντανό βίντεο από την κάμερα του αεροσκάφους.

Στα μαχητικά αεροσκάφη, τα Head-Up Displays (HUDs) και τα Helmet-Mounted Displays (HMDs) παρέχουν στους πιλότους οπτικές ενδείξεις για τους στόχους, τις απειλές και άλλες πληροφορίες – όπως την ταχύτητα ή το υψόμετρο – ενσωματωμένες στον πραγματικό κόσμο. Τα πρώτα αποτελούν μία διάφανη συσκευή που τοποθετείται στο οπτικό πεδίο των πιλότων και δείχνει τις επιπρόσθετες πληροφορίες, ενώ τα HMDs προσαρμόζονται στο κράνος τους και προβάλλουν πληροφορίες μπροστά στα μάτια τους. Έτσι, δεν απαιτείται η απόσπαση της προσοχής των πιλότων για να δουν πληροφορίες που χρειάζονται σε άλλα όργανα, αποφεύγοντας έτσι τον κίνδυνο ενδεχόμενου λανθασμένου χειρισμού.



Εικόνα 1-32: Παράδειγμα Head-Up\_Display

Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Head-up\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display)

Στο πεδίο της μάχης, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα σύστημα που αποδίδει χρήσιμα δεδομένα που αφορούν στον περιβάλλοντα χώρο, σε πραγματικό χρόνο. Άτομα και διάφορα αντικείμενα μπορούν να επισημανθούν με ειδικές ενδείξεις για να προειδοποιήσουν τους στρατιώτες για πιθανούς κινδύνους. Εικονικοί χάρτες μπορούν επίσης να αποδοθούν για να βοηθήσουν την πλοήγηση των στρατιωτών στο πεδίο μάχης.

### 1.3.4. Τέχνη – πολιτισμός – τουρισμός

Η πρώτη περιγραφή της επαυξημένης πραγματικότητας στην λογοτεχνία πραγματοποιείται το 1994, στο μυθιστόρημα του William Gibson "Virtual Light". Η Ιαπωνίδα ποιητής ni ka εμπνεόμενη από το καταστροφικό σεισμό και τσουνάμι στην Ιαπωνία, χρησιμοποιεί ποιήματα της συλλογής Die Niemandsgrose, του Paul Celan σε συνδυασμό με εικόνες για να εκφράσει το πένθος και τη θλίψη για την καταστροφή.

Με την εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στις εικαστικές τέχνες παρέχεται η δυνατότητα στους επισκέπτες των μουσείων να δουν τα έργα τέχνης με πολυδιάστατο τρόπο μέσω των οθονών του κινητού τους τηλεφώνου. Το Μουσείο Μοντέρνας Τέχνης στη Νέα Υόρκη δημιούργησε μια έκθεση όπου οι θεατές μπορούν να δουν έργα τέχνης με στοιχεία επαυξημένης πραγματικότητας. Το μουσείο έχει αναπτύξει την προσωπική του εφαρμογή, που ονομάζεται MoMAR Gallery, την οποία οι επισκέπτες του μουσείου μπορούν να κατεβάσουν και να χρησιμοποιήσουν στην εξειδικευμένη γκαλερί επαυξημένης πραγματικότητας για να δουν τους πίνακες του μουσείου με διαφορετικό τρόπο. Αυτό επιτρέπει στα άτομα να δουν κρυφές πτυχές και πληροφορίες σχετικά με τους πίνακες και να μπορούν επίσης να έχουν μια διαδραστική τεχνολογική εμπειρία με τα έργα τέχνης. Η τεχνολογία AR χρησιμοποιήθηκε επίσης στα έργα "Margin of Error" και "Revolutions" της Nancy Baker Cahill . Πρόκειται για δύο δημόσια έργα τέχνης που δημιούργησε για την έκθεση Desert X του 2019, τοποθετημένα σε διακριτές τοποθεσίες της κοιλάδας Caochella, στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ.



*Εικόνα 1-33: Το έργο "Revolutions", της Nancy Baker Cahill.*

*Πηγή: <https://desertx.org/dx/archive/revolutions-margin-of-error>*

Επίσης, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θεατρικές παραστάσεις, συναυλίες και κονσέρτα, όπως έχει ήδη γίνει στο πλαίσιο του «Duran Duran Project», όπου το συγκρότημα δημιούργησε εφέ επαυξημένης πραγματικότητας για το κοινό.

Σημαντικές είναι και οι δυνατότητές της στον τομέα του τουρισμού, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της παρατήρησης αξιοθέατων, τοπίων, αλλά και αρχαιολογικών χώρων, με την υπέρθεση σημαντικών πληροφοριών ή λεπτομερειών για το εκάστοτε μέρος. Οι ταξιδιώτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την επαυξημένη πραγματικότητα για να αποκτήσουν πρόσβαση σε ενημερωτικές οθόνες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με μια τοποθεσία και σχόλια ή περιεχόμενο που παρέχονται από προηγούμενους επισκέπτες. Υπάρχουν, επίσης, αντίστοιχες εφαρμογές που περιλαμβάνουν προσομοιώσεις ιστορικών γεγονότων, τόπων και αντικειμένων που αποδίδονται στο τοπίο. Επιπλέον, πολύ σημαντική πτυχή της είναι η δυνατότητα που δίνει για εικονική ανακατασκευή των αρχαιολογικών χώρων όπως ακριβώς υπήρχαν στην αρχαιότητα. Μία πρόσφατη τέτοια προσπάθεια αποτελεί το έργο «Αρχαία Ολυμπία: Κοινός Τόπος» που πραγματοποιήθηκε από το Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού σε συνεργασία με την Microsoft Corp. Τα κτήρια και τα μνημεία του αρχαιολογικού χώρου της Αρχαίας Ολυμπίας, αποκαθίστανται στην αρχική τους μορφή δίνοντας τη δυνατότητα στους επισκέπτες, μέσω μιας διαδραστικής εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα, να εξερευνήσουν την Αρχαία Ολυμπία όπως ήταν πριν από περισσότερα από 2000 χρόνια. Αντίστοιχη εμπειρία παρέχεται μέσω υπολογιστή, καθώς και της έκθεσης του Microsoft HoloLens 2, που στεγάζεται στο Ολυμπιακό Μουσείο Αθηνών.



Εικόνα 1-34: Αρχαία Ολυμπία: Κοινός Τόπος

Πηγή: <https://digitalculture.gov.gr/2021/11/archea-olimpia-kinos-topos-i-psifiaki-anaviosi-tis-archeas-olimpias-apo-to-ippo-a-ke-ti-microsoft/>



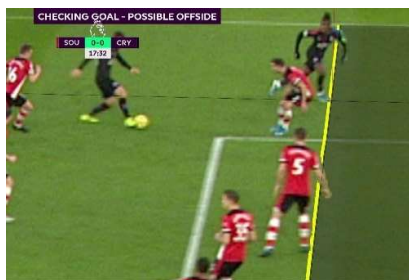
Εικόνα 1-35: Αρχαία Ολυμπία: Κοινός Τόπος - Microsoft HoloLens 2

Πηγή: <https://digitalculture.gov.gr/2021/11/archea-olimpia-kinos-topos-i-psifiaki-anaviosi-tis-archeas-olimpias-apo-to-ippo-a-ke-ti-microsoft/>

### 1.3.5. Ψυχαγωγία – ενημέρωση – αθλητισμός

Η πρώτη εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στην τηλεόραση αφορούσε στην μετάδοση δελτίων καιρού. Πλέον αποτελεί καθιερωμένο τρόπο παρουσίασης μετεωρολογικών προγνώσεων η προβολή βίντεο σε συνδυασμό με σύμβολα τρισδιάστατων γραφικών και δορυφορικές λήψεις. Πλέον, η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες τηλεοπτικές εκπομπές, όπως δελτία ειδήσεων με στόχο η περιγραφή των εξελίξεων να αποκτά πιο ρεαλιστικά χαρακτηριστικά για τον τηλεθεατή, συμβάλλοντας στην κατανόησή τους και την προσέλκυση του ενδιαφέροντος. Υπάρχουν εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, όπως το Word Lens, που μπορούν να μεταφράσουν το κείμενο, από πινακίδες και καταλόγους εστιατορίων για παράδειγμα, και να το υπερθέσουν στην οθόνη του χρήστη στη γλώσσα που αυτός έχει επιλέξει. Είναι δυνατό, επίσης, ο προφορικός λόγος να μεταφραστεί και να εμφανιστεί με τη μορφή υποτίτλων.

Η επαυξημένη πραγματικότητα εφαρμόζεται κατά την αναμετάδοση αθλητικών γεγονότων. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η παραγόμενη γραμμή που εμφανίζεται κατά την μετάδοση της επανάληψης μιας φάσης ενός ποδοσφαιρικού αγώνα στους τηλεοπτικούς δέκτες, ώστε να είναι πιο εύκολη η κατανόηση κάποιας παράβασης των κανονισμών του παιχνιδιού ή μια αντίστοιχη γραμμή που εμφανίζεται στον τερματισμό των πρώτων αθλητών σε αγώνες στίβου, κ.ά. Κατά την μετάδοση τέτοιων γεγονότων είναι δυνατή η χρήση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας για την υπέρθεση διαφημιστικών προϊόντων κατά τη διάρκεια του προγράμματος σε συγκεκριμένες περιοχές της μεταδιδόμενης εικόνας.

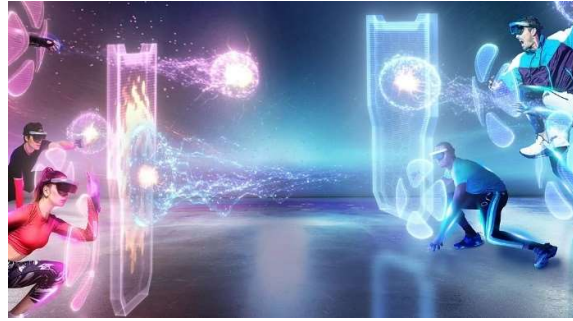


Εικόνα 1-36: Η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας σε μετάδοση αγώνα ποδοσφαίρου

Πηγή: <https://www.thetimes.co.uk/article/var-lines-to-be-thicker-next-season-in-bid-to-end-arnpit-offsidess-p30srmd3f>



Το 2021, στη Διεθνή Έκθεση Θεσσαλονίκης, παρουσιάστηκε το πρώτο παγκοσμίως «τεχνο-άθλημα», που εισάγει την τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας στον αθλητισμό. Πρόκειται για το HADO, το οποίο λαμβάνει χώρο σε ένα πραγματικό γήπεδο διαστάσεων 6x10 μέτρα και δίνει τη δυνατότητα στους παίκτες να δημιουργούν ενεργειακές μπάλες και ασπίδες με τα χέρια τους. Τα παραπάνω πραγματοποιούνται αξιοποιώντας τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας και δίκτυα τηλεπικοινωνιών 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G).



Εικόνα 1-37: HADO - επαυξημένη πραγματικότητα στον αθλητισμό.

Πηγή: <https://www.thessalonikifair.gr/el/hado>

### 1.3.6. Παιχνίδια

Η χρήση επαυξημένης πραγματικότητας σε παιχνίδια έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση καθημερινών σκηνών της πραγματικότητας του χρήστη στο υπόβαθρο εξέλιξης του παιχνιδιού. Το αποτέλεσμα είναι περισσότερο αληθοφανές, μετατρέποντας τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο του παιχνιδιού πιο συναρπαστικές. Εφαρμογή ορόσημο όσον αφορά τα παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας αποτελεί το “Pokémon GO”, το οποίο κυκλοφόρησε ως εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα το 2016.

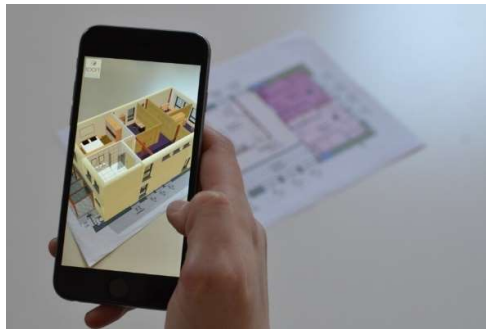


Εικόνα 1-38: Το παιχνίδι Pokémon GO

Πηγή: <https://www.ubergizmo.com/2017/06/pokemon-go-1-2-billion-revenue/>

### 1.3.7. Πολεοδομικός Σχεδιασμός – Κτηματολόγιο - Αρχιτεκτονική

Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά εργαλεία σχεδιασμού και απεικόνισης με βάση το δομημένο περιβάλλον. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία χαρτών επαυξημένης πραγματικότητας απεικόνισης κτηρίων, χρήσεων γης και άλλων στοιχείων στο πλαίσιο μιας πολεοδομικής ή κτηματολογικής μελέτης. Με την δυνατότητα υπέρθεσης των τρισδιάστατων μοντέλων κτηρίων ή άλλων έργων στο μέρος που πρόκειται να κατασκευαστούν, η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας επιτρέπει να εξετασθεί για παράδειγμα ο βαθμός στον οποίο το εν λόγω έργο εναρμονίζεται με τυχόν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής σε πραγματικό τόπο και χρόνο.



Εικόνα 1-39: Εφαρμογή AR αρχιτεκτονικής

Πηγή: [https://www.architectmagazine.com/technology/products/three-augmented-and-virtual-reality-apps-for-design-and-construction\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/products/three-augmented-and-virtual-reality-apps-for-design-and-construction_o)

### 1.3.8. Πλοήγηση

Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πλοήγηση, τόσο σε εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους, βελτιώνοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα απλών εφαρμογών της κατηγορίας αυτής. Σκοπός τέτοιων εφαρμογών είναι η παροχή οδηγιών στους χρήστες οι οποίες εμφανίζονται ως υπέρθεση στο πραγματικό περιβάλλον.

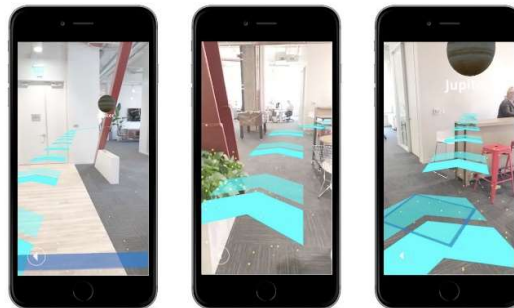
Για παράδειγμα, υπάρχουν εφαρμογές πλοήγησης που απευθύνονται σε οδηγούς αυτοκινήτων και αξιοποιούν τις δυνατότητες της επαυξημένης πραγματικότητας. Η πορεία που πρέπει να ακολουθήσουν εμφανίζεται ως σιχείο του πραγματικού κόσμου μέσω κατάλληλων γραφικών. Τα τελευταία χρόνια, τέτοιες εφαρμογές αξιοποιούνται από τις

περισσότερες εταιρίες αυτοκινήτων, ενσωματώνοντας σε νέα μοντέλα οθόνες head-up-display.



Εικόνα 1-40: Οθόνη head-up επαυξημένης πραγματικότητας MBUX της Mercedes-Benz

Πηγή: <https://www.mercedes-benz.gr/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqs/saloon-v297/equipment.pi.html/mercedes-benz-cars/models/eqs/saloon-v297/equipment/individualization/mbux-ar-hud>



Εικόνα 1-41: Παράδειγμα εφαρμογής AR πλοήγησης σε εσωτερικό χώρο

Πηγή: <https://blog.mapbox.com/indoor-navigation-in-ar-with-unity-6078afe9d958>

### 1.3.9. Εμπόριο – Διαφήμιση

Πολλές εταιρίες εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες της επαυξημένης πραγματικότητας για να προωθήσουν τα προϊόντα τους. Υπάρχουν παραδείγματα εταιριών, οι οποίες χρησιμοποιούν ειδικές εικόνες – markers, οι οποίες εάν σαρωθούν από μία συσκευή κινητού τηλεφώνου που υποστηρίζει εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, υπερθέτουν πληροφορίες και πολυμέσα για διαφημιστικούς σκοπούς. Ακόμα, υπάρχουν εταιρίες οι οποίες επιλέγουν την χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας για την βελτίωση της δυνατότητας επισκόπησης των προϊόντων τους. Για παράδειγμα, να δει ένας πελάτης το περιεχόμενο μιας συσκευασίας χωρίς να την ανοίξει ή να «δοκιμάσει» κάποιο ρούχο ή γυαλιά μέσω διαδικτύου, χρησιμοποιώντας την κάμερα του ηλεκτρονικού του υπολογιστή. Τα καταστήματα παιχνιδιών Lego, το 2009, ξεκίνησαν την εφαρμογή μίας τεχνολογίας (“Digital Box”) η οποία επιτρέπει στους πελάτες να κρατούν κουτιά των παιχνιδιών μπροστά από ένα σύστημα

κάμερας και οθόνης, στην οποία εμφανίζεται ένα τρισδιάστατο κινούμενο μοντέλο του περιεχομένου της συσκευασίας.

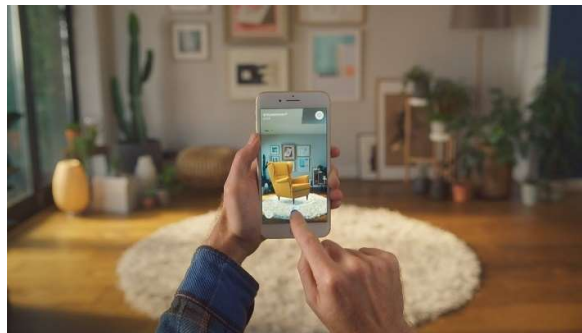


Εικόνα 1-42: Η εφαρμογή "Digital Box" της Lego

Πηγή: <https://www.flickr.com/photos/antjeverena/3327157260>

Το 2018 η καναδική εταιρία λιανικού εμπορίου Shopify ξεκίνησε να παρέχει τη δυνατότητα στους εμπόρους να δημοσιεύουν τρισδιάστατα μοντέλα των προϊόντων τους στο διαδίκτυο ώστε οι χρήστες να μπορούν να τα δουν στο πραγματικό περιβάλλον μέσω ενός προγράμματος περιήγησης.

Η τεχνολογία AR χρησιμοποιείται επίσης από εταιρίες επίπλων, οι οποίες μέσω εφαρμογής προσφέρουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να δουν τα προϊόντα τους στο χώρο τους πριν τα αγοράσουν. Το 2017, για παράδειγμα, η IKEA ανακοίνωσε το IKEA Place. Μία εφαρμογή που περιέχει έναν κατάλογο με περισσότερα από 2.000 προϊόντα που μπορεί κανείς να τοποθετήσει οπουδήποτε σε ένα δωμάτιο με το τηλέφωνό του.



Εικόνα 1-43: Η εφαρμογή IKEA Place

Πηγή: <https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050>

### 1.3.10. Υποστήριξη Εργασιών – Βιομηχανική Παραγωγή και Κατασκευές

Στη βιομηχανική παραγωγή, η επαυξημένη πραγματικότητα αποδεικνύεται ότι έχει ουσιαστικό ρόλο σε όλες της πτυχές της δημιουργίας ενός προϊόντος, ξεκινώντας από το σχεδιασμό έως την κατασκευή του, αλλά και την επισκευή και συντήρηση των απαιτούμενων για τη δημιουργία του μηχανημάτων. Η λογική τέτοιων εφαρμογών είναι η υπέρθεση στο οπτικό πεδίο των εργαζομένων, πληροφοριών, οδηγιών και γραφικών στοιχείων, ώστε να διευκολυνθεί και να επιταχυνθεί όσο το δυνατόν η διαδικασία συναρμολόγησης, επισκευής κτλ. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η αποφυγή λαθών αλλά και πιθανών ατυχημάτων. Η πρώτη εταιρία που χρησιμοποίησε την επαυξημένη πραγματικότητα κατά τη διαδικασία παραγωγής ήταν η Boeing. Τα επόμενα χρόνια ακολούθησαν και άλλες εταιρίες, όπως η BMW και η Volkswagen, οι οποίες αξιοποίησαν τέτοιες τεχνολογίες κατά το στάδιο της συναρμολόγησης αλλά και για την παρακολούθηση της γραμμής παραγωγής.

Στον τομέα των κατασκευών, εκτός του πεδίου της Αρχιτεκτονικής, σημαντική συμβολή μπορούν να έχουν τέτοιες τεχνολογίες και σε άλλα πεδία. Για παράδειγμα, στις εργασίες που καλείται να πραγματοποιήσει ένας Τοπογράφος Μηχανικός, είτε αυτές αφορούν σε εργασίες χάραξης είτε πρόκειται για τοπογραφική αποτύπωση. Σήμερα υπάρχουν διάφορα όργανα και λογισμικά πακέτα, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης με GPS ή Γεωδαιτικό Σταθμό και την εμφάνιση σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών και λεπτομερειών που αφορούν στην εκάστοτε εργασία. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι τα σημεία ή ο άξονας μιας χάραξης, σημεία που σκοπεύθηκαν σε μία αποτύπωση ή ακόμα και νέφος σημείων από τη σάρωση με κάποιο ανάλογο σύστημα.



Εικόνα 1-44: Παράδειγμα επαυξημένης πραγματικότητας σε τοπογραφικές εργασίες  
Πηγή: <https://sitevision.trimble.com/blog/the-future-for-cadastral-surveyors-augmented-reality/>

### 1.3.11. Άλλες Εφαρμογές

Οι παραπάνω αποτελούν κάποιους ενδεικτικούς τομείς αξιοποίησης της επαυξημένης πραγματικότητας. Υπάρχει πληθώρα άλλων εφαρμογών όπου η χρήση τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να συμβάλλει σημαντικά. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η διαχείριση έκτακτων αναγκών και κινδύνων. Από το 2009 παρουσιάζεται αρθρογραφία σε επιστημονικά περιοδικά που αναφέρεται στην χρήση τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας για τη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η υπέρθεση ονομάτων δρόμων και τοποθεσιών στο χειριστή κάμερας αεροσκάφους κατά την διάρκεια επιχείρησης διάσωσης πεζοπόρου. Με τον εντοπισμό του από αέρος ήταν ευκολότερη η παροχή οδηγιών ώστε να κατευθυνθούν τα σωστικά συνεργεία στην τοποθεσία του.

Οι ερευνητές στο Εργαστήριο Έρευνας και Αεροπορίας του Πανεπιστημίου του Ιλινόις χρησιμοποίησαν επαυξημένη πραγματικότητα κατά την εκπαίδευση πιλότων. Χρησιμοποιώντας έναν προσομοιωτή πτήσης υπέρθεταν την γραμμή πτήσης που έπρεπε να ακολουθήσουν οι εκπαιδευόμενοι ως στοιχείο του περιβάλλοντος, σε περίπτωση που απέκλιναν από αυτή. Αποδείχθηκε ότι οι σπουδαστές κατάφεραν να προσγειώνουν στον προσομοιωτή ένα ελαφρύ αεροσκάφος πιο γρήγορα σε σχέση με όσους εκπαιδεύτηκαν χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή χωρίς επαύξηση της σκηνής.

Η επαυξημένη πραγματικότητα, μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στη συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων μιας επιχείρησης. Για παράδειγμα, μπορεί να διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ απομακρυσμένων μελών μιας ομάδας εργασίας χρησιμοποιώντας οθόνες αφής, διαδραστικούς πίνακες κ.ά.

# 2

## *Τεχνολογίες Θέασης της Επαυξημένης*

### *Σκηηνής*

Η τεχνολογία θέασης αποτελεί ένα από τα βασικότερα συστατικά στοιχεία των συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας και αφορά στον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας αντιλαμβάνεται το αποτέλεσμα αυτής. Η διαφορά τους σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα παρουσίασης έγκειται στο γεγονός ότι καλούνται να συνδυάσουν εικονικά αλλά και πραγματικά ερεθίσματα.

Τα συστήματα παρουσίασης περιλαμβάνουν οπτικά αλλά και μη συστήματα λειτουργίας. Αν και έχουν πραγματοποιηθεί ενέργειες στο πεδίο των μη οπτικών συστημάτων παρουσίασης, όπως είναι παρουσίαση μέσω αφής, όσφρησης ή και γεύσης, κυριαρχεί η ανάπτυξη και αξιοποίηση οπτικών συστημάτων παρουσίασης.

#### 2.1. Οπτική αντίληψη

Η ανθρώπινη όραση οφείλεται για την απόκτηση περίπου του 70% των πληροφοριών που λαμβάνει ο ανθρώπινος εγκέφαλος μέσα από τις αισθήσεις. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα οι τεχνολογίες παρουσίασης επαυξημένης πραγματικότητας να εστιάζουν κυρίως σε εφαρμογές όπου η αποδιδόμενη πληροφορία στον πραγματικό κόσμο γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη μέσω της όρασης.

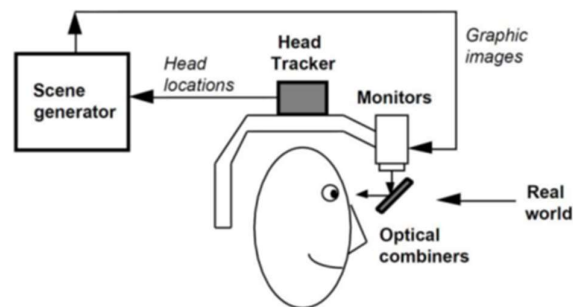
Το οπτικό πεδίο της ανθρώπινης όρασης είναι συνήθως, συνδυάζοντας και τα δύο μάτια, 200-200 μοίρες στο οριζόντιο επίπεδο, όμως, η περιοχή της βέλτιστης οπτικής αντίληψης του ανθρώπου καλύπτει μόνο 1 ή 2 μοίρες. Εκτός αυτού του πεδίου, η οπτική αντίληψη του ανθρώπου μειώνεται σε αναλογία με την γωνία θέασης. Οι άνθρωποι για να αντιληφθούν διαφορετικά αντικείμενα του πραγματικού κόσμου μετακινούν τα μάτια τους ώστε το αντικείμενο ενδιαφέροντος να βρίσκεται στην περιοχή αυτή, ενώ, η ανθρώπινη όραση έχει τη δυνατότητα προσαρμογής ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού. Τέλος, ακόμα ένα εξαιρετικά σημαντικό χαρακτηριστικό της ανθρώπινης όρασης είναι η δυνατότητα στερεοσκοπικής παρατήρησης του κόσμου.

Μία υψηλού επιπέδου εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας απαιτεί συσκευές θέασης που λαμβάνουν υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά της ανθρώπινης όρασης. Μία συσκευή θέασης πρέπει να παρουσιάζει με ικανοποιητική ανάλυση την επαυξημένη σκηνή, ιδιαίτερα στο πεδίο βέλτιστης οπτικής αντίληψης του ανθρώπου, ενώ ταυτόχρονα χρειάζεται να διαθέτει την ικανότητα προσαρμογής σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Η στερεοσκοπική παρατήρηση της σκηνής μπορεί να πραγματοποιηθεί παρέχοντας στον χρήστη δύο ξεχωριστές εικόνες ταυτόχρονα, μία σε κάθε μάτι.

## 2.2. Μέθοδοι επαύξησης

Η πιο προφανής απαίτηση, η οποία αποτελεί και την βασική διάκριση των συσκευών θέασης που χρησιμοποιούνται στην επαυξημένη πραγματικότητα σε σχέση με τις συμβατικές, είναι η ανάγκη σύνδεσης του εικονικού με το πραγματικό περιβάλλον. Στην περίπτωση όπου η επαυξημένη σκηνή γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη μέσω ενός φακού ή μίας οθόνης, αναφερόμαστε σε *see-through* συστήματα θέασης, τα οποία διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν οπτική τεχνολογία (*optical see-through display*) ή βίντεο/κάμερα (*video see-through display*). Αντίθετα, στην περίπτωση όπου το εικονικό αντικείμενο προβάλλεται στα φυσικά αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, αναφερόμαστε σε εφαρμογές χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας (*spatial AR* ή *projection-based AR*).

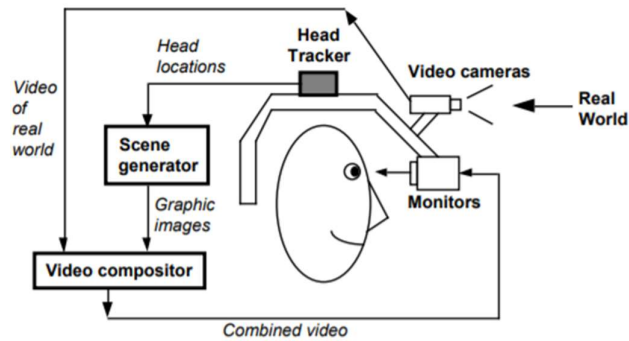
1. *Optical see-through*: Αφορά τις οπτικά διαφανείς οθόνες προβολής για απευθείας επισκόπηση του πραγματικού κόσμου. Τα οπτικά συστήματα παρουσίασης τοποθετούν μπροστά από τα μάτια του χρήστη «οπτικούς συνδυαστές» (συνήθως ημιδιαπερατά και ημιανακλαστικά κάτοπτρα), που του επιτρέπουν να δει τόσο το πραγματικό περιβάλλον γύρω του, όσο και τις παραγόμενες από υπολογιστή εικόνες που ανακλούνται μέσω των κατόπτρων.



Εικόνα 2-1: Εννοιολογικό διάγραμμα *Optical see-through Display*. Azuma, 1997

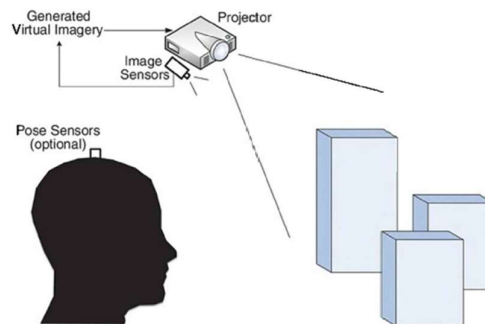


2. Video see-through: Η άλλη κατηγορία συστημάτων θέασης περιλαμβάνει αυτά που χρησιμοποιούν βίντεο τεχνολογία για την παρουσίαση της επαυξημένης σκηνής. Αξιοποιούν μία ή δύο κάμερες λήψης βίντεο, οι οποίες του παρέχουν μία θέα του πραγματικού κόσμου. Το βίντεο από τις κάμερες αυτές και οι παραγόμενες εικονικές σκηνές συνδυάζονται μεταξύ τους και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στις οθόνες που βρίσκονται μπροστά από τα μάτια του χρήστη.



Εικόνα 2-2: Εννοιολογικό διάγραμμα Video see-through Display. Azuma, 1997

3. Projection-based AR: Η χωρική επαυξημένη πραγματικότητα (Spatial Augmented Reality – SAR) είναι μία πρακτική απεικόνισης που χρησιμοποιεί οπτικά στοιχεία ενταγμένα, όμως, σε ένα χωρικό πλαίσιο. Το εικονικό αντικείμενο απεικονίζεται απευθείας στον πραγματικό κόσμο μέσω ενός προβολέα.



Εικόνα 2-3: Εννοιολογικό διάγραμμα projection-based AR.

Πηγή: *Augmented Reality: Principles and Practice*, Schmalstieg and Höllerer, 2016

### 2.3. Συσκευές θέασης της επαυξημένης σκηνής

Τα συστήματα μέσω των οποίων υλοποιείται η θέαση στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. «Φορετές» συσκευές στο κεφάλι ή σε μέρος του κεφαλιού του χρήστη (Head-Mounted Display - HMD)
2. Φορητές συσκευές χειρός με μικρή οθόνη μέσω της οποίας προβάλλεται στο οπτικό πεδίο του χρήστη το αποτέλεσμα της εφαρμογής ( Handheld Devices – HD).
3. Συστήματα χωρικής επαυξημένης πραγματικότητας. Η χρήση τέτοιων συστημάτων δεν απαιτεί ο χρήστης να φέρει πάνω του ειδικό εξοπλισμό, αλλά παρατηρεί την επαυξημένη σκηνή με γυμνό μάτι. Η υπέρθεση του αντικειμένου πραγματοποιείται με χρήση ψηφιακού προβολέα.

### 2.3.1. Προσαρτημένα επί κεφαλής (ή επί κράνους) συστήματα παρουσίασης (Head Mounted Display AR)

Το σύστημα Head-Mounted Display (HMD) είναι μία συσκευή προσαρτημένη στο κεφάλι του χρήστη, η οποία συνδυάζει την εικόνα του πραγματικού κόσμου με εικονικά αντικείμενα ή πληροφορίες. Η επαυξημένη σκηνή παρουσιάζεται στον χρήστη μέσω οπτικής ή βίντεο τεχνολογίας.

Το HMD αναφέρεται και ως Helmet-Mounted Display. Πρόκειται για ένα σύστημα επαύξησης της πραγματικότητας προσαρτημένο στο κράνος του χρήστη. Τέτοια συστήματα αξιοποιούνται στην αεροπορία, ιδιαίτερα από πιλότους μαχητικών αεροσκαφών.

### 2.3.2. Ειδικά Γυαλιά

Επαυξημένες σκηνές μπορούν να παρουσιαστούν και μέσω ειδικών συσκευών πολύ όμοιων με τα γυαλιά οράσεως ή ηλίου. Κάποιες από αυτές χρησιμοποιούν κάμερες για τη λήψη εικόνων του πραγματικού κόσμου τις οποίες χρησιμοποιούν για τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Η τελική αυτή σκηνή εμφανίζεται εκ νέου στον χρήστη μέσω των προσοφθάλμιων φακών. Υπάρχουν, επίσης γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας με τα οποία τα στοιχεία που συνθέτουν την επαυξημένη σκηνή προβάλλονται μέσω των επιφανειών των φακών τους ή ανακλώνται από αυτές. Το πιο δημοφιλές παράδειγμα ειδικών γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας είναι η συσκευή Google Glass, της Google. Η συσκευή έχει το σχήμα γυαλιών οράσεως και φοριέται στο κεφάλι. Αντί για γυάλινους φακούς διαθέτει μία οθόνη στο ύψος του ενός ματιού μέσω της οποίας προσφέρεται μία εμπειρία της επαυξημένης πραγματικότητας.

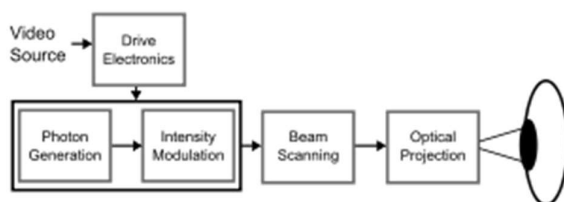


Εικόνα 2-4: Η συσκευή Google Glass Enterprise Edition 2.

Πηγή: <https://www.google.com/glass/start/>

### 2.3.3. Ειδικό Φακό Επαφής

Οι συσκευές αυτές είναι γνωστές ως Virtual Retinal Displays (VRDs) ή Retinal Scan Displays (RSDs). Πρόκειται για τεχνολογίες απεικόνισης, οι οποίες με τη χρήση πηγής φωτός laser, χαμηλής ισχύος, σχηματίζουν εικόνες απευθείας στον αμφιβληστροειδή ου ματιού. Μέσω αυτών των συσκευών οι χρήστες βλέπουν τον πραγματικό κόσμο με τα στοιχεία επαύξησης της σκηνής να «αιωρούνται» μπροστά τους.



Εικόνα 2-5: Διάγραμμα λειτουργίας VRDs

Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_retinal\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_retinal_display)

### 2.3.4. Φορητές Συσκευές Χειρός (Handheld AR)

Οι συσκευές απεικόνισης χειρός είναι συσκευές μικρού μεγέθους που διαθέτουν οθόνη μέσα από την οποία ο χρήστης που τις κρατά μπορεί να παρατηρήσει την επαυξημένη σκηνή. Διαθέτουν, επίσης, ενσωματωμένη κάμερα με την οποία πραγματοποιείται λήψη βίντεο του πραγματικού περιβάλλοντος ώστε στη συνέχεια να επαυξηθεί με γραφική πληροφορία και να παρουσιαστεί στον χρήστη. Η παραπάνω διαδικασία απαιτεί την ύπαρξη και χρήση διαφορετικών αισθητήρων της συσκευής, όπως ψηφιακές πυξίδες και GPS. Τα τελευταία χρόνια διατίθενται τέτοιες συσκευές με ενσωματωμένες κάμερες βάθους ή συστήματα LiDAR.

Η πιο διαδεδομένη κατηγορία φορητών συσκευών χειρός για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας είναι τα «έξυπνα» κινητά τηλέφωνα (smartphones). Πλέον υπάρχει η δυνατότητα ένα κινητό τηλέφωνο να διαθέτει πρόσβαση στο διαδίκτυο, έγχρωμη οθόνη αφής, πολλαπλές κάμερες υψηλής ανάλυσης, ταχύτατο επεξεργαστή, GPS, αδρανειακό σύστημα, ακόμη και εξειδικευμένα τσιπ τρισδιάστατων γραφικών, αισθητήρες LiDAR ή κάμερες βάθους. Τα παραπάνω, καθιστούν τη χρήση τους σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας ιδιαίτερα δημοφιλή.



Εικόνα 2-6: Εφαρμογή AR σε smartphone

Πηγή: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/08/16/augmented-reality-benefits-us-all/?sh=3d81880f3643>

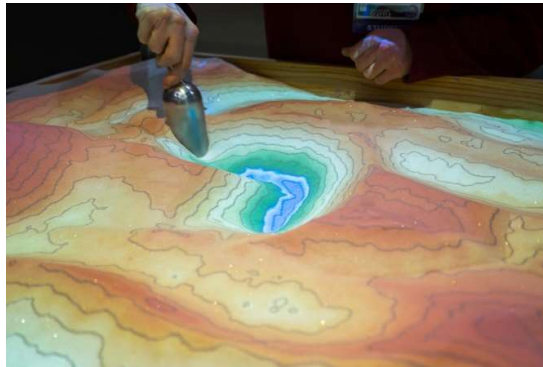
### 2.3.5. Χωρικές Συσκευές Απεικόνισης

Οι χωρικές συσκευές απεικόνισης δημιουργούν επαυξημένες σκηνές χωρίς τη χρήση ειδικών οθονών, γυαλιών με την εμφάνιση της εικονικής πληροφορίας απευθείας πάνω στα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες χωρικών συσκευών απεικόνισης ανάλογα με τον τρόπο που επαυξάνουν το περιβάλλον: χωρικές συσκευές απεικόνισης με χρήση βίντεο (video see-through), με χρήση οπτικής τεχνολογίας (optical see-through) και άμεσης επαύξεσης (direct augmentation).

1. **Συσκευές Απεικόνισης σε οθόνη με χρήση βίντεο τεχνολογίας:** Οι απεικονίσεις μέσω οθόνης με χρήση βίντεο είναι γνωστές και ως «παράθυρο στον κόσμο». Χρησιμοποιείται σύνθεση βίντεο με τις επαυξημένες εικόνες να εμφανίζονται σε μία οθόνη υπολογιστή. Αποτελεί μία από τις πιο αποδοτικές επιλογές όσον αφορά στο κόστος. Ωστόσο παρουσιάζει περιορισμούς όσον αφορά στην «εμβύθιση» του χρήστη στην AR εμπειρία.
2. **Χωρικές συσκευές απεικόνισης με χρήση οπτικής τεχνολογίας:** Οι χωρικές οπτικές απεικονίσεις παράγουν εικόνες που τοποθετούνται σε σωστή θέση εντός του

πραγματικού περιβάλλοντος με χρήση επίπεδων ή καμπυλωμένων κατόπτρων, διάφανων οθονών ή οπτικών ολογραφημάτων. Τα οπτικά ολογραφήματα είναι εικόνες τριών διαστάσεων που δημιουργούνται με τη βοήθεια ενός laser, ενώ η παρατήρησή τους μπορεί να γίνει από διάφορες θέσεις.

3. **Χωρικές συσκευές απεικόνισης μέσω προβολής:** Οι χωρικές συσκευές απεικόνισης μέσω προβολής προβάλλουν άμεσα τις εικόνες πάνω στις φυσικές επιφάνειες των αντικειμένων.



Εικόνα 2-7: Το "Sandbox" χρησιμοποιεί απεικόνιση μέσω προβολής για να δείξει το ανάγλυφο που ο χρήστης δημιουργεί στην άμμο

Πηγή: <https://www.usgs.gov/media/galleries/augmented-reality-ar-sandbox-photos>

## 2.4. Απαιτήσεις και χαρακτηριστικά

Οι τεχνολογίες θέασης που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας καλούνται να ανταποκριθούν σε συγκεκριμένες προκλήσεις όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας τους. Ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας απαιτείται να έχει την δυνατότητα δημιουργίας ρεαλιστικών σκηνών, όπου τα τρισδιάστατα αντικείμενα υπερθέτονται στον πραγματικό κόσμο ως φυσικό του στοιχείο. Από τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης όρασης που παρουσιάστηκαν, αλλά και το σκοπό της επαυξημένης πραγματικότητας προκύπτουν οι βασικές απαιτήσεις όσον αφορά ένα σύστημα θέασης επαυξημένης πραγματικότητας.

### 2.4.1. Στερεοσκοπική ή μονοσκοπική παρουσίαση

Κατά την παρατήρηση του φυσικού κόσμου μέσα από έναν, κάποιου είδους, φακό εξετάζεται εάν διατηρούνται οι τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου και εάν είναι δυνατή η στερεοσκοπική παρατήρηση της επαυξημένης σκηνής. Κατά τη χρήση συσκευών θέασης μονοσκοπικής απεικόνισης, η επαυξημένη σκηνή εμφανίζεται μόνο στο ένα μάτι του χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι αντικειμενικά υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί όσον αφορά στην «εμβύθισή» του σε αυτήν, γεγονός που οδήγησε στον σημαντικό περιορισμό χρήσης τους. Πλέον, υπάρχουν περιπτώσεις συστημάτων, συνήθως video see-through head-mounted systems, όπου εικόνα της επαυξημένης σκηνής απεικονίζεται και στα δύο μάτια, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερος βαθμός «εμβύθισης». Η εικόνα αυτή προέρχεται από μία κάμερα βίντεο, για παράδειγμα κάμερα κινητού τηλεφώνου, και είναι η ίδια και για τα δύο μάτια με αποτέλεσμα να μην αποτελεί στερεοσκοπική απεικόνιση. Τα HMDs με δυνατότητα στερεοσκοπικής παρατήρησης παρουσιάζουν στερεοσκοπικά ζεύγη εικόνων, παρέχοντας καλύτερης ποιότητας εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας, έχοντας όμως και μεγαλύτερο κόστος. Σε τέτοια συστήματα απαιτείται η χρήση δύο ή μίας κατάλληλα διαχωρισμένης οθόνης, καθώς και τουλάχιστον δύο κάμερες εγγραφής βίντεο, πλήρως συγχρονισμένα ώστε να εμφανίζουν τις εικόνες ταυτόχρονα.

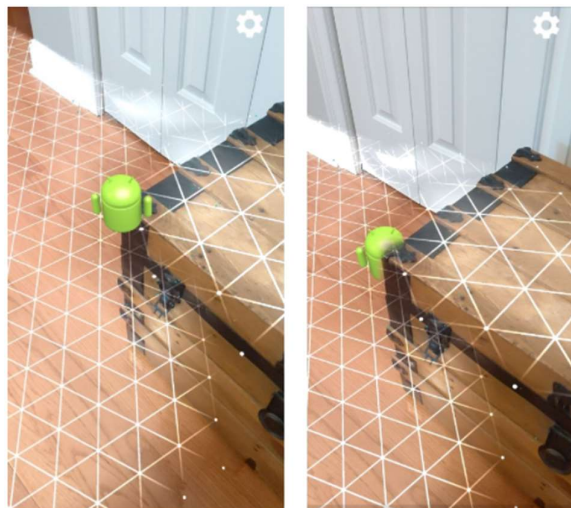
### 2.4.2. Εστίαση (Focus)

Μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας πραγματοποιείται υπέρθεση εικονικών-ψηφιακά παραγόμενων-αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο, ή εικόνες αυτού, σε πραγματικό χρόνο. Η εστίαση αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα του τρόπου που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον κόσμο και συνεπώς αφορά σημαντικά και τις τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας. Αφορά στην ευκρίνεια με την οποία γίνεται αντιληπτή η σκηνή, ο τρόπος με τον οποίο τονίζεται ένα αντικείμενο ή μία κατάσταση. Αντίστοιχα με το οπτικό πεδίο, το ζήτημα της εστίασης αφορά κυρίως σε συστήματα απεικόνισης που χρησιμοποιούν κάμερα ή βίντεο. Κατά τη χρήση μίας συσκευής θέασης επαυξημένης πραγματικότητας η θέση τόσο του χρήστη όσο και του αντικείμενου στην επαυξημένη σκηνή μπορεί να αλλάζουν. Το αντικείμενο, όμως, απαιτείται να συνεχίσει να προβάλλεται μέσω της συσκευής απεικόνισης με τρόπο φυσικό, όπως ένα φυσικό αντικείμενο του πραγματικού κόσμου στο οποίο κοιτά ο χρήστης. Είναι, συνεπώς αναγκαίο, τα συστήματα απεικόνισης να λαμβάνουν υπόψη το πού

εστιάζει ο χρήστης κατά την απεικόνιση της επαυξημένης σκηνής και να απεικονίζουν αντίστοιχα και το εικονιζόμενο αντικείμενο στο πλαίσιο αυτής. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της εστίασης και ανάλογα με το σύστημα είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν διαφορετικοί τρόποι. Μπορεί, για παράδειγμα, να γίνει χρήση μεθόδων eye tracking, συσκευών πολλαπλής εστίασης ή ακόμα και συστημάτων SLAM για την αναγνώριση της απόστασης του αντικειμένου.

### 2.4.3. Οπτική Παρεμπόδιση (occlusion)

Η οπτική παρεμπόδιση ανάμεσα στα εικονικά και πραγματικά αντικείμενα αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της επαυξημένης σκηνής. Η εφαρμογή της οπτικής παρεμπόδισης ανάμεσα στα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου είναι δεδομένη, ενώ μεταξύ ψηφιακών αντικειμένων είναι εύκολο να υλοποιηθεί. Παρόλα αυτά ο προσδιορισμός από το σύστημα θέασης εάν, σε μία επαυξημένη σκηνή, ένα εικονικό αντικείμενο είναι μπροστά από ένα πραγματικό και το αντίθετο, είναι μία πιο σύνθετη διαδικασία. Βασικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την απόκρυψη ή όχι ενός αντικειμένου ή τμήματος αυτού στην επαυξημένη σκηνή αποτελεί η θέση του και η απόστασή του από την κάμερα. Η πιο διαδεδομένη λύση, για την σωστή εφαρμογή της οπτικής παρεμπόδισης σε μία επαυξημένη σκηνή, είναι η δημιουργία και χρήση εικόνων βάθους. Με αυτό τον τρόπο όλα τα αντικείμενα της σκηνής, εικονικά και πραγματικά, ακολουθούν τους φυσικούς νόμους, με αποτέλεσμα μία πιο ρεαλιστική και φυσική AR εμπειρία.



Εικόνα 2-8: Επαυξημένη σκηνή χωρίς occlusion (αριστερά) και με occlusion (δεξιά).

Πηγή: <https://developers.google.com/ar/develop/depth>

Η εφαρμογή της οπτικής παρεμπόδισης είναι πιο δύσκολη κατά τη χρήση συστημάτων οπτικής τεχνολογίας.

#### 2.4.4. Ανάλυση εικόνας και Ρυθμός Ανανέωσης (Resolution & Refresh Rate)

Η ανάλυση της συσκευής θέασης έχει σημαντική επίδραση στην ποιότητα της τελικής εικόνας, ενώ αφορά κυρίως συστήματα θέασης που χρησιμοποιούν κάμερα. Η ανάλυση είναι ο αριθμός των pixel που μπορούν να εμφανιστούν σε μία συσκευή θέασης. Υψηλότερη ανάλυση σημαίνει πιο ευκρινείς και λεπτομερείς εικόνες. Στόχος των συστημάτων θέασης είναι η επίτευξη ικανοποιητικής ανάλυσης, ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση στοιχείων στις επαυξημένες εικόνες, τα οποία οδηγούν στον χρήστη στην διάκρισή τους από αυτές του πραγματικού κόσμου (π.χ. εμφάνιση pixel)

Ο ρυθμός ανανέωσης είναι ο αριθμός των φορών ανά δευτερόλεπτο που η οθόνη παίρνει μια νέα εικόνα από τη κάρτα γραφικών (GPU) και επιδρά στην ομαλότητα με την οποία παρουσιάζεται η κίνηση στη συσκευή θέασης. Υψηλότερος ρυθμός ανανέωσης σημαίνει μικρότερη καθυστέρηση μεταξύ των καρέ και συνεπώς ομαλότερη κίνηση. Η καθυστέρηση λόγω των περιορισμών του ρυθμού ανανέωσης μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας τον ρυθμό ανανέωσης.

#### 2.4.5. Οπτικό Πεδίο (FOV)

Το οπτικό πεδίο (Field Of View – FOV) είναι η έκταση του πραγματικού κόσμου που μπορεί να παρατηρηθεί σε κάθε δεδομένη στιγμή. Αναφέρεται τόσο στην ανθρώπινη όραση όσο και στο εύρος του παρατηρούμενου κόσμου σε μία συσκευή απεικόνισης. Χρησιμοποιείται, επίσης, και για να περιγράψει την γωνία μέσω της οποίας κάποιος μπορεί να δει τον παρατηρούμενο κόσμο. Η επίτευξη οπτικού πεδίου, αντίστοιχου με αυτό της ανθρώπινης όρασης, μέσω οπτικών συσκευών είναι συχνά δύσκολο να επιτευχθεί, αποτελεί όμως στόχο για τα περισσότερα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς θεωρείται ότι όσο ευρύτερο είναι το οπτικό πεδίο, τόσο πιο ρεαλιστική είναι η εμπειρία που παρέχεται στον χρήστη.



Στην επαυξημένη πραγματικότητα ορίζονται το οπτικό πεδίο που αφορά στο τμήμα της σκηνής γύρω από το εικονικό αντικείμενο (overlay FOV) που έχει δημιουργηθεί από έναν υπολογιστή και το περιφερειακό FOV (peripheral FOV), το οποίο αφορά το τμήμα της σκηνής που απεικονίζεται ο πραγματικός κόσμος, χωρίς στοιχεία επαύξησης.

Στην πραγματικότητα δεν έχουν όλα τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας περιορισμούς όσον αφορά στο εύρος του οπτικού πεδίου. Για παράδειγμα, οι χωρικές συσκευές απεικόνισης με χρήση οπτικής τεχνολογίας ή μέσω προβολής υπερθέτουν το εικονικό αντικείμενο απευθείας στον πραγματικό κόσμο, χωρίς να περιορίζεται το οπτικό πεδίο του χρήστη με κάποιον τρόπο. Αντίθετα, συστήματα που εμφανίζουν στον χρήστη την επαυξημένη σκηνή μέσω εικόνων επιδρούν στο εύρος του οπτικού πεδίου. Η επαυξημένη εικόνα ή βίντεο που εμφανίζεται προκύπτει με χρήση μιας ή περισσότερων καμερών. Σε μία εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας, το οπτικό πεδίο του χρήστη ισοδυναμεί με το εύρος του πραγματικού κόσμου που είναι ορατό μέσα από τον φακό της κάμερας και εμφανίζεται σε αυτόν ως επαυξημένη σκηνή.

Η κυρίαρχη άποψη που αφορά στο οπτικό πεδίο συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας υποστηρίζει ότι όσο ευρύτερο είναι το οπτικό πεδίο τόσο πιο ρεαλιστική είναι η εμπειρία. Ένα ευρύ οπτικό πεδίο δημιουργεί μία πλήρη «εμβύθιση» στην εικονική ή επαυξημένη σκηνή, όμως, σε περιπτώσεις εφαρμογών όπου απαιτείται η απεικόνιση λεπτομερούς και υψηλής ανάλυσης περιεχομένου το ιδανικό σύστημα θέασης αφορά σε μία μεγάλη μεγέθους ή κόστους συσκευή. Με βάση αυτό, ο Thad Starner, καθηγητής στο Georgia Tech και ένας από τους δημιουργούς του Google Glass, υποστηρίζει ότι η λογική «όσο το δυνατόν μεγαλύτερο το οπτικό πεδίο τόσο το καλύτερο» δεν ισχύει στην περίπτωση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας, αλλά έμφαση πρέπει να δοθεί στην ποιότητα της εικόνας αλλά και στην εργονομία των συσκευών.

#### 2.4.6. Παραμορφώσεις – Εκτροπές (distortions – aberrations)

Τόσο τα συστήματα θέασης που χρησιμοποιούν οπτική τεχνολογία, όσο και αυτά με βίντεο περιλαμβάνουν τη χρήση κάποιου είδους φακού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη παραμορφώσεων στην παραγόμενη εικόνα. Για παράδειγμα, η χρήση μίας κάμερας με μικρή εστιακή απόσταση (fish-eye) για την επίτευξη ευρύτερου οπτικού πεδίου οδηγεί στην λήψη εικόνων με σημαντικές παραμορφώσεις, ιδιαίτερα στις άκρες. Στις περιπτώσεις χρήσης

ψηφιακών μέσων για τη λήψη και απόδοση της επαυξημένης σκηνής μπορεί να υπάρξουν, επίσης, αλλοιώσεις που αφορούν στην ραδιομετρία της εικόνας. Η χρωματική εκτροπή είναι μία από τις αλλοιώσεις αυτές και προκύπτει από την αδυναμία ενός φακού να εστιάσει όλα τα χρώματα στο ίδιο σημείο. Η χρήση συστημάτων υψηλής ποιότητας και η βαθμονόμηση των συσκευών είναι δυνατό να ελαχιστοποιήσει τέτοια προβλήματα.

#### 2.4.7. Σφάλματα συγχρονισμού (temporal errors)

Τα σφάλματα συγχρονισμού αφορούν στην αδυναμία έγκαιρης υπέρθεσης ενός εικονικού αντικειμένου στην σωστή θέση. Η επίδραση του χρόνου στον προσδιορισμό της θέσης έγκειται στο γεγονός ότι εάν για παράδειγμα τα εικονικά στοιχεία στη συσκευή θέασης καθυστερούν να εμφανιστούν, ο χρήστης μπορεί να έχει μετακινηθεί με αποτέλεσμα να γίνει υπέρθεσή τους σε λάθος τμήμα της εικόνας. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι και ο συγχρονισμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα μιας εμπειρίας επαυξημένης πραγματικότητας.

### 2.5. Λογισμικό και Εργαλεία Ανάπτυξης Εφαρμογών AR

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι για να βιώσουν οι χρήστες μία εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας. Ο πρώτος αφορά σε εφαρμογές λογισμικού που έχουν εγκατασταθεί στη συσκευή και αναφέρεται κυρίως σε συσκευές κινητών τηλεφώνων (smartphones), ενώ ο δεύτερος περιλαμβάνει εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας στον ιστό.

1. Τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας βασισμένες σε εφαρμογές (App-based AR): Παρέχουν εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας προσβάσιμες μέσω εφαρμογών με δυνατότητα λήψης. Αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας εργαλεία με ισχυρές δυνατότητες για ανίχνευση αντικειμένων, επιφανειών, βάθους και συνθηκών φωτισμού.
2. Τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας που βασίζονται στον ιστό (Web AR): Αφορά σε εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας που είναι προσβάσιμες μέσω ενός προγράμματος περιήγησης ιστού, αντί μιας εφαρμογής. Το γεγονός αυτό προσφέρει στους χρήστες μεγαλύτερη ευκολία πρόσβασης, με αποτέλεσμα τέτοιου είδους εφαρμογές να είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς. Σε σύγκριση με το App-based AR, η

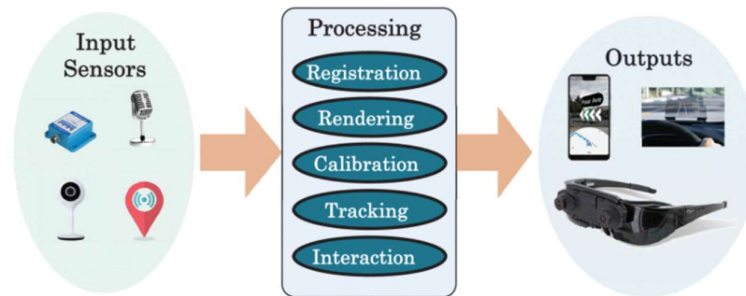
επαυξημένη πραγματικότητα που βασίζεται στον ιστό έχει περιορισμένες δυνατότητες, καθώς υποστηρίζεται η υπέρθεση λιγότερο σύνθετων αντικειμένων, βίντεο. Ακόμα, υπάρχουν αδυναμίες όσον αφορά τον φωτισμό, αλλά και τον εντοπισμό αντικειμένων.

## 2.6. Mobile Augmented Reality

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην επαυξημένη πραγματικότητα και στις προσφερόμενες τεχνολογίες. Σκοπός του εν λόγω κεφαλαίου είναι η περεταίρω ανάλυση των στοιχείων που αφορούν σε εφαρμογές κινητής επαυξημένης πραγματικότητας (mobile augmented reality – MAR).

Έχει ήδη αναφερθεί η δυνατότητα αξιοποίησης συσκευών κινητών τηλεφώνων (smartphones) ως συσκευές θέασης επαυξημένης πραγματικότητας. Το παραπάνω καθιστά εφικτό την παρακολούθηση εμπειριών επαυξημένης πραγματικότητας οπουδήποτε, καθώς η συσκευή θέασης για τον χρήστη είναι το κινητό του τηλέφωνο. Το χαρακτηριστικό αυτό, σε συνδυασμό με τις όλο και αυξανόμενες δυνατότητες των σύγχρονων συσκευών κινητών τηλεφώνων καθιστά τις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας ιδιαίτερα δημοφιλείς.

Μία εφαρμογή κινητής επαυξημένης πραγματικότητας δέχεται κάποια δεδομένα εισόδου, τα οποία επεξεργάζονται με στόχο την δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Τα δεδομένα εισόδου περιλαμβάνουν τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους διαφορετικούς αισθητήρες της συσκευής. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών αξιοποιείται ώστε να δημιουργηθεί η επαυξημένη σκηνή, ενώ το τελικό αποτέλεσμα αφορά στην επαύξηση του περιβάλλοντος, με την προβολή του εικονικού αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο λαμβάνοντας υπόψη την οπτική γωνία του χρήστη.

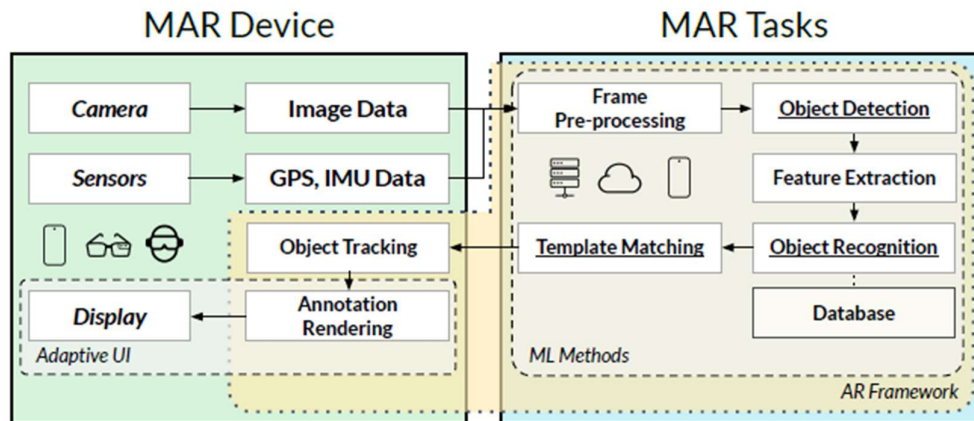


Εικόνα 2-9: Συστατικά μέρη ενός συστήματος Mobile Augmented Reality

Πηγή: Siriwardhana et al., 2021

Οι συσκευές εισόδου αφορούν στους διαφορετικούς αισθητήρες που διαθέτει η συσκευή. Αυτοί μπορεί να είναι μία κάμερα, σύστημα GPS και IMU, ακόμα και μία οθόνη αφής ή σύστημα LiDAR. Η επεξεργασία των δεδομένων από τις παραπάνω συσκευές μπορεί να πραγματοποιηθεί στη συσκευή, αξιοποιώντας τις δυνατότητες που διαθέτει (CPU ή GPU), ή να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι επεξεργασίας μέσω κάποιου server (cloud computing). Βασικά τμήματα της επεξεργασίας είναι οι διαδικασίες παρακολούθησης (tracking), βαθμονόμησης (calibration), συσχέτισης (registration), απόδοσης (rendering), κ.ά.

Τα παραπάνω είναι δυνατό να διαχωριστούν σε τμήματα που αφορούν στην συσκευή (MAR device) και σε αυτά που αφορούν στις διεργασίες (MAR Tasks), οι οποίες εκτελούνται είτε στην συσκευή είτε σε κάποιον server (Cao, κ.ά., 2021). Συνοπτικά, οι αισθητήρες της συσκευής συλλέγουν δεδομένα, μεταξύ των οποίων και εικόνες του πραγματικού κόσμου, τα οποία τροφοδοτούνται στο τμήμα των MAR Tasks. Η πρώτη επεξεργασία αφορά τον καθαρισμό και την προετοιμασία των δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η αξιοποίησή τους για την άντληση πληροφοριών που αφορούν στα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Τέτοιες διαδικασίες μπορεί να είναι ο εντοπισμός αντικειμένων και ομόλογων σημείων, αλλά και η συνταύτιση εικόνων. Οι εν λόγω διαδικασίες αφορούν σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης και χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων τροφοδοτείται στην συσκευή για την απεικόνιση της επαυξημένης σκηνής.



Εικόνα 2-10: Σύστημα MAR - Διαχωρισμός σε MAR Device και MAR Tasks, Cao et al., 2021

Τα συστατικά μέρη ενός συστήματος MAR αναλύονται στο κεφάλαιο που ακολουθεί και αφορά στα χαρακτηριστικά και τη γεωμετρία της επαυξημένης πραγματικότητας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται επιπλέον στοιχεία που αφορούν τους αισθητήρες μιας συσκευής MAR, περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες επεξεργασίας και ο στόχος κάθε μίας, καθώς και οι απαραίτητες λειτουργίες για την σύνθεση και απεικόνιση της τελικής επαυξημένης σκηνής.

### 2.6.1. Mobile Augmented Reality: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Στις εφαρμογές κινητής επαυξημένης πραγματικότητας υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα, πολλά εκ των οποίων έχουν αναφερθεί, παρουσιάζονται όμως και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα αφορούν κυρίως στη δυνατότητα που παρέχεται στον χρήστη για την παρακολούθηση μιας εμπειρίας επαυξημένης πραγματικότητας οποιοδήποτε μέρος ή χρονική στιγμή. Τα μειονεκτήματα σχετίζονται στην πλειοψηφία τους με τους περιορισμούς που υπεισέρχονται εξαιτίας της δυνατότητας κίνησης που παρέχουν οι συσκευές θέασης.

Το πιο βασικό πλεονέκτημα των εφαρμογών MAR είναι η δυνατότητα θέασης της επαυξημένης σκηνής στον τόπο όπου έχει περισσότερο νόημα. Για παράδειγμα, μία εφαρμογή που αφορά στην ψηφιακή ανακατασκευή και αναστήλωση αρχαίων μνημείων, αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον όταν παρατηρείται στον πραγματικό χώρο όπου υπάρχουν τα

εναπομείναντα στοιχεία των μνημείων. Μία συσκευή κινητού με δυνατότητα υποστήριξης τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας παρέχει την δυνατότητα αυτή στον χρήστη.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα αφορά στο μειωμένο κόστος σε σχέση με άλλα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας, ενώ οι περισσότεροι άνθρωποι ήδη διαθέτουν ένα τέτοιο σύστημα. Το παραπάνω αφορά στις «έξυπνες» συσκευές κινητών (smartphones), οι οποίες ήδη διαθέτουν τα απαραίτητα λειτουργικά χαρακτηριστικά (επεξεργαστής, οθόνη, αισθητήρες, πρόσβαση στον διαδίκτυο) για την υποστήριξη τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας.

Όσον αφορά στα μειονεκτήματα, αυτά αφορούν κυρίως στους περιορισμούς της τεχνολογίας φορητών συσκευών, αλλά και στην έλλειψη ελέγχου του περιβάλλοντος όπου ο χρήστης θα επιλέξει να χρησιμοποιήσει την εφαρμογή και να βιώσει την εμπειρία.

Οι τεχνολογικοί περιορισμοί στις εφαρμογές MAR αφορούν κυρίως στην περιορισμένη μνήμη και επεξεργαστική ισχύ που διαθέτουν οι συσκευές κινητών τηλεφώνων. Ακόμα, περιλαμβάνουν αντίστοιχους περιορισμούς στα γραφικά, στις επιλογές εισόδου και εξόδου και ιδιαίτερα στον περιορισμένο μέγεθος της οθόνης. Οι περιορισμοί που προκύπτουν από τις συνθήκες περιβάλλοντος στο οποίο χρησιμοποιείται η εφαρμογή, αφορούν σε παραμέτρους και χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος που επιδρούν στην ποιότητα της επαυξημένης σκηνής, αλλά είναι δύσκολο να ληφθούν υπόψη εκ των προτέρων, όπως για παράδειγμα ο φωτισμός της σκηνής.

# 3

## *Επαυξημένη Πραγματικότητα:*

### *Χαρακτηριστικά και Γεωμετρία*

Ο βαθμός αξιοπιστίας και ποιότητας ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας καθορίζεται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Ιδεατά κάθε εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στοχεύει στην επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων όσον αφορά τα εξής:

1. Τον βαθμό σταθερότητας στην εγγραφή των εικονικών αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή. Κάθε εικονικό αντικείμενο που τοποθετείται σε μία θέση της πραγματικής σκηνής, οφείλει να διατηρεί την ίδια θέση και προσανατολισμό στον τρισδιάστατο χώρο εφόσον δεν υπάρχει κάποιου άλλου είδους αλληλεπίδραση.
2. Την ποιότητα δυναμικής υπέρθεσης των εικονικών αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή. Κατά την κίνηση του αντικειμένου ή του χρήστη, η αλλαγή στην όψη του αντικειμένου εξαιτίας της αλλαγής της οπτικής γωνίας του χρήστη, πρέπει να απεικονίζεται με τρόπο ομαλό και φυσικό.
3. Το επίπεδο διάκρισης των εικονικών από τα πραγματικά αντικείμενα. Η πλήρης και φυσική ενσωμάτωση των εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο αφορά στην φωτορεαλιστική τους απόδοση, αλλά και τη διατήρηση των φυσικών κανόνων. Για παράδειγμα, είναι καθοριστικής σημασίας για το επίπεδο ρεαλισμού της εφαρμογής η σωστή εφαρμογή των οπτικών επικαλύψεων (occlusions) μεταξύ των αντικειμένων. Αυτό ισχύει τόσο στην περίπτωση όπου εικονικά αντικείμενα επικαλύπτουν πραγματικά, όσο και σε εφαρμογές όπου αντικείμενα του πραγματικού κόσμου επικαλύπτουν εικονικά. Ένα ακόμα στοιχείο που συμβάλει στη δημιουργία μιας ρεαλιστικής επαυξημένης σκηνής είναι ο φωτισμός του εικονικού αντικειμένου. Κατά την υπέρθεση ενός αντικειμένου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο φωτισμός της πραγματικής σκηνής, ώστε να αποδίδεται σε αυτό η κατάλληλη φωτεινότητα.
4. Στο πλαίσιο διατήρησης των φυσικών κανόνων, τα εικονικά αντικείμενα πρέπει να παρουσιάζουν αντίστοιχη συμπεριφορά με ένα αντίστοιχο αντικείμενο του πραγματικού κόσμου.
5. Το επίπεδο αναγκαίας εκ των προτέρων βαθμονόμησης του συστήματος. Πριν τη χρήση ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας η ανάγκη εκτεταμένων

ρυθμίσεων και διαδικασιών θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ελάχιστη. Στόχος είναι η δημιουργία συστημάτων που δεν απαιτούν επιπλέον ενέργειες από τον χρήστη πριν τη χρήση μιας AR εφαρμογής.

6. Το επίπεδο κόστους. Είναι σαφές ότι όσο μικρότερο είναι το κόστος απόκτησης ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας τόσο περισσότερες δυνατότητες διαμορφώνονται για εκτεταμένη χρήση. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται από την τεράστια ανάπτυξη που παρουσιάζουν τέτοιες εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα.

Η κύρια πρόκληση, λοιπόν, για ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας είναι η συμπλήρωση του πραγματικού κόσμου με εικονικά αντικείμενα, με τρόπο τέτοιο ώστε να μην είναι δυνατή από τον χρήστη η διάκριση μεταξύ πραγματικού και εικονικού, αλλά να αντιλαμβάνεται ένα ενιαίο περιβάλλον.

Στο πλαίσιο της επαυξημένης πραγματικότητας, η θέση και ο προσανατολισμός των αντικειμένων που συνθέτουν την επαυξημένη σκηνή σχετίζεται με τρεις σημαντικές έννοιες: την παρακολούθηση και συσχέτιση των αντικειμένων (tracking και registration) και την βαθμονόμηση των συσκευών και αισθητήρων (calibration).

### 3.1. Χωροθετημένη Οπτικοποίηση (Situated Visualization)

Η οπτικοποίηση καθορίζει τον τρόπο παρουσίασης των ψηφιακών πληροφοριών. Στην επαυξημένη πραγματικότητα, αποκτά την έννοια του προσδιορισμού των επιπλέον πληροφοριών που θα παρουσιαστούν στον χρήστη, καθώς αυτός ήδη λαμβάνει πληροφορίες από την παρατήρηση του πραγματικού κόσμου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το υπόβαθρο της επαυξημένης σκηνής δεν επιδρά στο νόημα της απεικόνισης. Υπάρχουν, όμως και εφαρμογές όπου η εμφάνιση του εικονικού αντικειμένου έχει νόημα μόνο σε συγκεκριμένο χωρικό πλαίσιο. Η έννοια της χωροθετημένης οπτικοποίησης (situated visualization) χρησιμοποιήθηκε από τον S.White το 2009. Αποτελεί αρχή της οπτικοποίησης στο πλαίσιο εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας, όπου οι πληροφορίες είναι συνδεδεμένες με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου και εμφανίζονται μόνο στο πλαίσιο όπου έχουν νόημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η υπέρθεση πληροφοριών για σημεία ενδιαφέροντος σε έναν τουριστικό AR οδηγό. Η εμφάνιση των πληροφοριών έχει νόημα μόνο όταν ο χρήστης βρίσκεται στην περιοχή, στην οποία οι πληροφορίες αναφέρονται.



### 3.2. Οπτική Συνοχή Αντικειμένων (Visual Coherence)

Σε πολλές περιπτώσεις, στόχος των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας είναι οι οπτικές επαυξήσεις να συνδυάζονται με τον πραγματικό κόσμο με οπτικά συνεκτικό τρόπο. Αυτή η οπτική συνοχή μπορεί να παρέχει στον χρήστη ισχυρότερες οπτικές ενδείξεις σχετικά με τη θέση, το σχήμα και τα χαρακτηριστικά των εικονικών αντικειμένων και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και των πραγματικών αντικειμένων. Επιπλέον, η οπτική συνοχή μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη των κύριων στόχων ορισμένων ειδικών εμπειριών AR.

Η οπτική συνοχή της επαυξημένης σκηνής κρίνεται στο βαθμό ομοιογένειας στην παρουσίαση των πραγματικών και εικονικών αντικειμένων, ιδιαίτερα όσον αφορά στον φωτισμό και την σκίαση αυτών. Ένα ρεαλιστικά εισαγόμενο εικονικό αντικείμενο στο φυσικό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας. Η επίτευξη οπτικής συνοχής απαιτεί τον προσδιορισμό συγκεκριμένων γεωμετρικών και φωτομετρικών χαρακτηριστικών της σκηνής. Η γεωμετρία αφορά στον προσδιορισμό των ακριβών γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πραγματικού κόσμου. Τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά, στην ουσία, αφορούν στην προσομοίωση του φωτισμού του συνόλου της σκηνής ώστε τα εικονικά αντικείμενα να εμφανίζουν όλα τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων πραγματικών αντικειμένων.

### 3.3. Αλληλεπίδραση (Interaction)

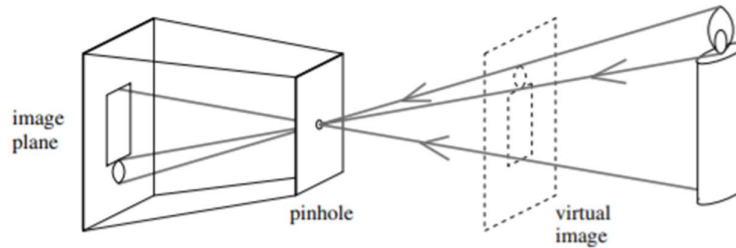
Η αλληλεπίδραση στις τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας εστιάζει στο βαθμό σύνδεσης και διάδρασης του χρήστη με την επαυξημένη σκηνή, και ιδιαίτερα το εικονικό αντικείμενο. Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των τεχνικών αλληλεπίδρασης είναι η προσπάθεια ένταξης του πραγματικού περιβάλλοντος που βρίσκεται ο χρήστης ως τμήμα της συνολικής εμπειρίας. Οι πληροφορίες πρέπει να παρουσιάζονται με τρόπο κατανοητό και οργανωμένο, ενώ σε κάθε περίπτωση ο τρόπος αλληλεπίδρασης καλείται να συμπληρώσει και να εξυπηρετήσει τον σκοπό κάθε εφαρμογής.

### 3.4. Συνεργασία (Collaboration)

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες της επαυξημένης πραγματικότητας είναι η δυνατότητα αξιοποίησής της ως μέσο επικοινωνίας. Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας αποτελούν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για ταυτόχρονη συνεργασία, όπου η επαυξημένη σκηνή παρατηρείται από περισσότερους από έναν χρήστες, ενώ όλοι έχουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με αυτή. Εξίσου σημαντικό πεδίο είναι η δυνατότητα απομακρυσμένης συνεργασίας. Για παράδειγμα, οι συνεργαζόμενοι χρήστες μπορούν να δουν κοινά τρισδιάστατα εικονικά αντικείμενα με τα οποία αλληλεπιδρούν ή ένας χρήστης μπορεί να σχολιάσει τη ζωντανή προβολή βίντεο ενός απομακρυσμένου εργαζόμενου, επιτρέποντάς τους να συνεργάζονται εξ αποστάσεως.

### 3.5. Κεντρική Προβολή

Στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που απευθύνονται σε συσκευές κινητών τηλεφώνων, ο βασικός αισθητήρας που αφορά το σύνολο των εφαρμογών AR, είναι η κάμερα της συσκευής, καθώς μέσω αυτής συλλέγονται πληροφορίες για την κατάσταση και την γεωμετρία του πραγματικού κόσμου που θα αποτελέσει τμήμα της επαυξημένης σκηνής. Το σημαντικότερο τμήμα μιας κάμερας είναι οι φακοί που χρησιμοποιεί καθώς μέσω αυτών οι οπτικές ακτίνες που αντανακλώνται από το φυσικό αντικείμενο συλλέγονται και κατευθύνονται προς τον αισθητήρα (CCD ή CMOS) της φωτομηχανής, ο οποίος με τη σειρά του μετατρέπει την ανακλώμενη ακτινοβολία σε ηλεκτρονικό σήμα – ψηφιακή εικόνα. Κάθε φακός χαρακτηρίζεται από την απόσταση μεταξύ του φακού και του αισθητήρα στο εσωτερικό της κάμερας, η απόσταση αυτή αναφέρεται ως εστιακή απόσταση. Το μέγεθος της εστιακής απόστασης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της γεωμετρίας που ακολουθεί η οπτική δέσμη στο εσωτερικό της μηχανής, του τρόπου που οι οπτικές ακτίνες συλλέγονται από τον αισθητήρα και συνεπώς της απεικόνισης των αντικειμένων.



Εικόνα 3-1: Το μοντέλο απεικόνισης πραγματικών αντικειμένων μέσω μιας φωτογραφικής μηχανής (pinhole imaging model)

Πηγή: *Computer Vision – A modern approach, Forsyth and Ponce, 2012*

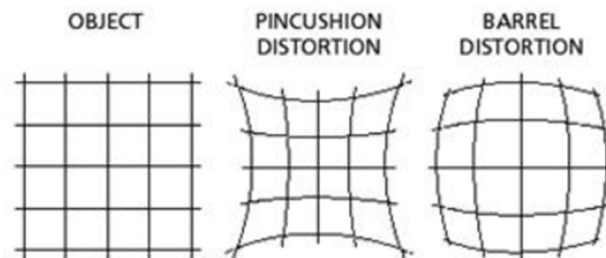
Το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τη διαδικασία απεικόνισης ενός φυσικού αντικειμένου ή σκηνής του πραγματικού κόσμου μέσω μιας κάμερας είναι αυτό της κεντρικής προβολής. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται τόσο στην φωτογραμμετρία όσο και σε εφαρμογές όρασης υπολογιστών, συνεπώς αποτελεί αναπόσπαστο χαρακτηριστικό της γεωμετρίας στο πλαίσιο εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Ουσιαστικά αποτελεί τη σύνδεση των παρατηρούμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων στην εικόνα με τα αντίστοιχα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

### 3.6. Βαθμονόμηση αισθητήρων και συσκευών (Calibration)

Η βαθμονόμηση των αισθητήρων και συσκευών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην ακριβή απόδοση της επαυξημένης σκηνής. Είναι η διαδικασία σύγκρισης και ελέγχου των μετρήσεων του αισθητήρα σε σχέση με κάποια αποτελέσματα αναφοράς. Στόχος είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων που περιγράφουν τη λειτουργία της συσκευής, ώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που παρέχει να είναι αξιόπιστα.

Η βαθμονόμηση αφορά στον προσδιορισμό των παραμέτρων εκείνων που περιγράφουν την λειτουργία της κάμερας και επιδρούν στην γεωμετρία των αντικειμένων που παρατηρούνται μέσω αυτής. Στόχος της βαθμονόμησης μιας κάμερας ουσιαστικά είναι η αποκατάσταση της γεωμετρίας των οπτικών ακτινών στο εσωτερικό της κάμερας (εσωτερικός προσανατολισμός). Οι παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία της κάμερας και αφορούν στην γεωμετρία των οπτικών ακτινών, αναφέρονται ως στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού.

Βασικό χαρακτηριστικό μιας λήψης μέσω φωτογραφικής μηχανής είναι η ακτινική διαστρόφη των φακών (radial distortion). Αφορά στις παραμορφώσεις που εμφανίζονται στην οπτική δέσμη καθώς αυτή διέρχεται από τον φωτογραφικό φακό. Οι παραμορφώσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα η γεωμετρία που ακολουθείται να διαφέρει από το μοντέλο της κεντρικής προβολής. Στην εικόνα η επίδραση της ακτινικής διαστρόφης έχει ως αποτέλεσμα ευθείες γραμμές να απεικονίζονται ως καμπύλες, ενώ ο βαθμός της παραμόρφωσης των απεικονιζόμενων αντικειμένων αυξάνεται αναλογικά με την απόστασή τους από το κέντρο της εικόνας. Η επίδραση της ακτινικής διαστρόφης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κλίμακας απεικόνισης του αντικειμένου (πιθωειδής ή αρνητική διαστρόφη) ή το αντίθετο (μηνωειδής ή θετική διαστρόφη).



Εικόνα 3-2: Παραδείγματα θετικής (pincushion) και αρνητικής (barrel) διαστρόφης σε σχέση με τη γεωμετρία του αντικειμένου (object).

Πηγή: <http://robocup.mi.fu-berlin.de/buch/chap9/ComputerVision.htm>

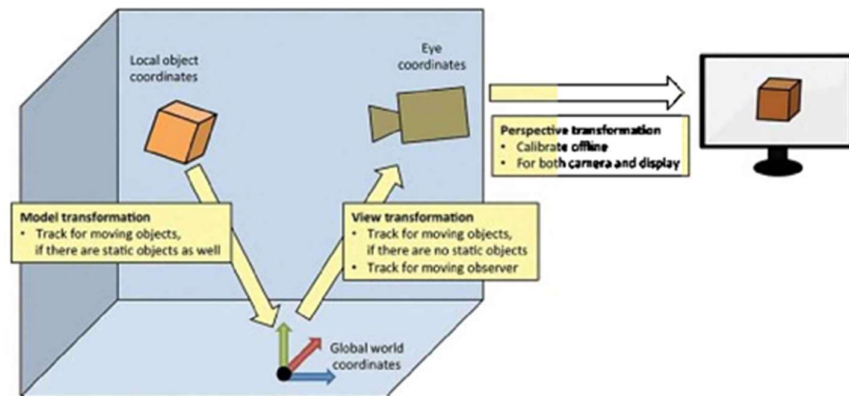
Η επίδραση που έχει η ακτινική διαστρόφη περιγράφεται συνήθως με τη χρήση πολυωνύμων, των οποίων οι παράμετροι υπολογίζονται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Στις περιπτώσεις των συσκευών κινητών τηλεφώνων και των ψηφιακών καμερών τα στοιχεία της ακτινικής διαστρόφης του φακού αποδίδονται από τον κατασκευαστή. Βέβαια, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ακρίβεια είναι αναγκαία η εκ νέου βαθμονόμηση της κάμερας, πριν την χρήση της για την εκάστοτε εφαρμογή.

### 3.7. Συσχέτιση συστημάτων συντεταγμένων πραγματικών και εικονικών αντικειμένων (Registration)

Κύρια πρόκληση για κάθε εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας είναι ο συνδυασμός του πραγματικού κόσμου με εικονικά αντικείμενα, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ τους από κάποιον παρατηρητή. Για να διατηρηθεί η ψευδαίσθηση στον

χρήστη παρατηρώντας την επαυξημένη σκηνή ότι πρόκειται για ένα ενιαίο πραγματικό περιβάλλον απαιτείται μία συνεχής συσχέτιση των εικονικών αντικειμένων με τον πραγματικό κόσμο σε πραγματικό χρόνο (registration). Η συσχέτιση αναφέρεται στις χωρικές ιδιότητες των αντικειμένων όσον αφορά την μεταξύ τους θέση και προσανατολισμό, σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς.

Το παραπάνω μπορεί να αναχθεί σε πρόβλημα υπολογισμού των σχέσεων μεταξύ τριών διαφορετικών συστημάτων αναφοράς. Η διαδικασία λήψης, σύνθεσης και απεικόνισης της επαυξημένης σκηνής αποτελείται από τρεις μετασχηματισμούς. Ο πρώτος αφορά στην θέση του εικονικού αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο (model transformation), ο δεύτερος στην κάμερα (view transformation) και ο τελευταίος στην απεικόνιση της 3D σκηνής στην 2D οθόνη της συσκευής θέασης (projective transformation).



Εικόνα 3-3: Συστήματα αναφοράς και μετασχηματισμοί στην επαυξημένη πραγματικότητα

Πηγή: *Augmented Reality: Principles and Practice*, Schmalstieg and Höllerer, 2016

1. Σχέση εικονικού στοιχείου – πραγματικού κόσμου (model transformation): Ο μετασχηματισμός αυτός περιγράφει τη σχέση του τρισδιάστατου, τοπικού συστήματος αναφοράς του εικονικού αντικειμένου με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Καθορίζει την θέση και τον προσανατολισμό του εικονικού αντικειμένου στο σύστημα αναφοράς που αφορά στην πραγματική σκηνή.
2. Σχέση πραγματικού κόσμου – κάμερας (view transformation): Περιγράφει την σχέση μεταξύ του συστήματος αναφοράς του πραγματικού κόσμου και της κάμερας. Οι περισσότερες εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας «επιτρέπουν» στον χρήστη να μετακινείται στον πραγματικό κόσμο. Αυτό σημαίνει ότι αλλάζει ο τρόπος (θέση και προσανατολισμός) με τον οποίο παρατηρεί την επαυξημένη σκηνή.

3. Ο προβολικός μετασχηματισμός αφορά στην σχέση του 3D συστήματος αναφοράς της κάμερας και του 2D συστήματος αναφοράς της οθόνης όπου απεικονίζεται η επαυξημένη σκηνή. Αφορά, δηλαδή, στην προβολή της 3D σκηνής σε δύο διαστάσεις.

Σφάλματα στον προσδιορισμό των παραπάνω σχέσεων οδηγούν σε αστοχίες κατά την δημιουργία και απόδοση της επαυξημένης σκηνής και γίνονται εύκολα αντιληπτά από τον χρήστη. Τα είδη των εν λόγω σφαλμάτων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Azuma, 1997). Η πρώτη αφορά στα στατικά σφάλματα, τα οποία εμφανίζονται ακόμα και σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης παραμένει ακίνητος κατά την παρατήρηση της επαυξημένης σκηνής, ενώ η δεύτερη αφορά σε σφάλματα τα οποία παρουσιάζονται μόνο σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλεται η οπτική γωνία του χρήστη ή υπάρχει μετατόπιση των εικονικών αντικειμένων (δυναμικά σφάλματα).

### 3.8. Υπολογισμός Θέσης και Προσανατολισμού της AR συσκευής σε πραγματικό χρόνο (Tracking)

Η έννοια της παρακολούθησης (tracking) στην επαυξημένη πραγματικότητα αναφέρεται στον συνεχή υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού (pose) μιας οντότητας. Ως οντότητες μπορούν να χαρακτηριστούν το κεφάλι ή τα μάτια του χρήστη, μία συσκευή θέασης, μία κάμερα αλλά και οποιοδήποτε αντικείμενο συμπεριλαμβάνεται στην επαυξημένη σκηνή.

Οι μετασχηματισμοί που αναφέρθηκαν προηγουμένως (model, view και projective) αφορούν τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται κατά τη δημιουργία και απεικόνιση της επαυξημένης σκηνής. Η οπτική πληροφορία μπορεί να έχει ως σημείο αναφοράς τον πραγματικό κόσμο, ένα αντικείμενο ή ακόμα και την όψη της σκηνής που έχει ο χρήστης. Με βάση αυτόν το διαχωρισμό οι εικονικές πληροφορίες διακρίνονται σε αυτές που είναι σταθερές ως προς το σύστημα αναφοράς του πραγματικού κόσμου (world-stabilized), αυτές που είναι σταθερές σε σχέση με ένα αντικείμενο (object stabilized) και απεικονίζονται σε σταθερό σημείο στην οθόνη του χρήστη (screen-stabilized). Συνεπώς, για την ομαλή και επιτυχημένη απεικόνιση της επαυξημένης σκηνής απαιτείται ο συνεχής υπολογισμός της θέσης και του προσανατολισμού (pose) της συσκευής, των εικονικών αντικειμένων αλλά και των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου, ώστε να είναι δυνατή η συσχέτισή τους σε ενιαίο τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (registration).

Κατά τη λήψη μιας εικόνας πραγματικού κόσμου, η γεωμετρία της οπτικής δέσμης περιγράφεται από συγκεκριμένες παραμέτρους που αφορούν το εσωτερικό της μηχανής (εσωτερικός προσανατολισμός), αλλά και τη θέση και τον προσανατολισμό της στο χώρο (εξωτερικός προσανατολισμός). Με άλλα λόγια τα χαρακτηριστικά του φακού (στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού) σε συνδυασμό με την θέση και τον προσανατολισμό της συσκευής σε κάθε στιγμή καθορίζουν τον τρόπο απεικόνισης του πραγματικού κόσμου. Στις εφαρμογές κινητής επαυξημένης πραγματικότητας (MAR) η παρατήρηση της επαυξημένης σκηνής από τον χρήστη πραγματοποιείται μέσω της οθόνης του κινητού από εικόνες που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο από την κάμερα της συσκευής. Αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία του εσωτερικού αλλά και εξωτερικού προσανατολισμού επηρεάζουν όχι μόνο την απεικόνιση του πραγματικού κόσμου αλλά και τη γεωμετρία του εικονικού αντικειμένου. Οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού αφορούν στην κάμερα που χρησιμοποιείται και δεν αλλάζουν κατά τη χρήση της ίδιας συσκευής. Αντίθετα, η θέση και ο προσανατολισμός της συσκευής μεταβάλλονται καθώς μετακινείται ο χρήστης. Είναι λοιπόν αναγκαίος ο συνεχής προσδιορισμός τους σε πραγματικό χρόνο καθόλη τη διάρκεια παρατήρησης της επαυξημένης σκηνής.

### 3.8.1. Είδη Tracking

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες διάταξης των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για το tracking:

1. Η πρώτη αφορά σε αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε σταθερές θέσεις στο περιβάλλον και παρατηρούν ένα κινούμενο αντικείμενο στόχο (outside-in tracking). Μέσω αυτής της διάταξης είναι δυνατή η επίτευξη υψηλής ακρίβειας στον προσδιορισμό της θέσης το αντικειμένου-στόχου, όμως στον προσδιορισμό του προσανατολισμού υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα. Η εν λόγω προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι οι χρήστες δεν επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων, όπως για παράδειγμα το βάρος, ενώ ταυτόχρονα δεν υπάρχει περιορισμός στην χρήση πολλαπλών αισθητήρων.
2. Η άλλη περίπτωση tracking (inside-out tracking), αφορά σε αισθητήρες οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στο αντικείμενο που παρακολουθείται και χρησιμοποιούν σταθερές αναφορές στο περιβάλλον. Σε σχέση με το outside-in tracking, η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης είναι μικρότερη, αλλά υπερτερεί στον προσδιορισμό

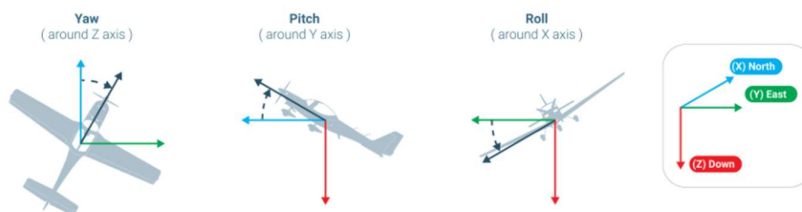
του προσανατολισμού. Αυτή η κατηγορία tracking αποτελεί και την πιο διαδεδομένη, καθώς υποστηρίζει την δημιουργία εφαρμογών κινητής επαυξημένης πραγματικότητας.

Στο πλαίσιο εφαρμογών κινητής επαυξημένης πραγματικότητας είναι σαφές ότι αναφερόμαστε σε αισθητήρες συσκευών smartphones, συνεπώς κινητούς αισθητήρες.

### 3.8.2. Συστήματα Tracking – Κινητοί Αισθητήρες (Mobile Sensors)

Οι περισσότερες συσκευές κινητών τηλεφώνων διαθέτουν σειρά διαφορετικών αισθητήρων. Η αλήθεια είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις η επίδοση των αισθητήρων αυτών είναι περιορισμένη, παρέχουν όμως σημαντικές δυνατότητες στην ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν κάποιοι βασικοί αισθητήρες που βρίσκονται στις περισσότερες συσκευές κινητών τηλεφώνων, οι οποίοι όμως δεν παρέχουν οπτική πληροφορία. Συστήματα που παρέχουν οπτική πληροφορία (πχ εικόνες ή εικόνες βάθους), όπως η κάμερα, αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο σε συνδυασμό με τις μεθόδους παρακολούθησης (tracking) που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές AR.

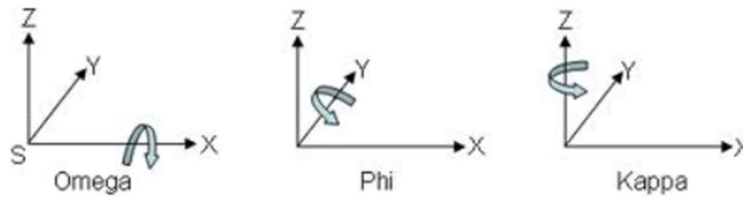
Προκειμένου να προσδιοριστεί πλήρως η θέση και ο προσανατολισμός της συσκευής απαιτείται ο υπολογισμός των έξι παραμέτρων που περιγράφουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν την κίνηση (X, Y, Z) και τον προσανατολισμό του αντικειμένου στους τρεις άξονες. Ο προσανατολισμός του αντικειμένου καθορίζεται από τις γωνίες στροφής (yaw), κλίσης (pitch) και κύλισης (roll) ή τις αντίστοιχες γωνίες  $\omega$  (ως προς τον άξονα X),  $\phi$  (ως προς τον άξονα Y) και  $\kappa$  (ως προς τον άξονα Z). Η βασική διαφορά μεταξύ των γωνιών yaw, pitch, roll και ωμέγα, φι, κάπα είναι ότι οι πρώτες αφορούν στην στροφή του αντικειμένου σε σχέση με το σύστημα πλοήγησης, για παράδειγμα ενός αεροσκάφους, ενώ οι γωνίες  $\omega$ ,  $\gamma$ ,  $\kappa$  προσδιορίζουν την στροφή μεταξύ του συστήματος αναφοράς της εικόνας και του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς.



Εικόνα 3-4: Οι γωνίες yaw, pitch, roll



Πηγή: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558969-Yaw-Pitch-Roll-and-Omega-Phi-Kappa-angles>



Εικόνα 3-5: Οι γωνίες  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$

Πηγή: [https://kb.orbitgt.com/190/technology/3d\\_mapping/supported\\_resources](https://kb.orbitgt.com/190/technology/3d_mapping/supported_resources)

Οι περιστροφικές κινήσεις ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας αδρανειακά συστήματα (Inertial Measurement Units – IMUs), όπως γυροσκόπια, μαγνητόμετρα ή επιταχυνσιόμετρα, ενώ στον εντοπισμό της θέσης συνήθως χρησιμοποιούνται δέκτες GPS που διαθέτει η πλειοψηφία των συσκευών κινητών τηλεφώνων.

- Global Navigation Satellite Systems (GNSS): Η χρήση δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (GNSS) συχνά αναφέρεται και ως χρήση GPS (Global Positioning System). Και οι δύο όροι αφορούν στη δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης μέσω δορυφόρων. Ο όρος GNSS αφορά διαφορετικά συστήματα πλοήγησης εκ των οποίων το πιο διαδεδομένο είναι το GPS, το οποίο αναπτύχθηκε από τις Η.Π.Α. Εκτός από αυτό, το GNSS περιλαμβάνει και άλλα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, όπως το GLONASS (Ρωσία), Galileo (ΕΕ) και Beidou (Κίνα). Τα εν λόγω συστήματα καταγράφουν τη χρονική διάρκεια εκπομπής – λήψης ενός δορυφορικού σήματος από κάποιον GNSS δέκτη. Στην περίπτωση λήψης σημάτων από περισσότερους των τεσσάρων δορυφόρων είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης του δέκτη στη γήινη επιφάνεια. Η ακρίβεια των μετρήσεων διαφέρει και εξαρτάται από τον αριθμό των «ορατών» δορυφόρων, την ύπαρξη φυσικών εμποδίων (π.χ. κτίρια ή βλάστηση) και την ποιότητα του δέκτη. Σε μία συσκευή τηλεφώνου η ακρίβεια των μετρήσεων είναι συνήθως της τάξης των μερικών μέτρων, με τις χειρότερες επιδόσεις να παρατηρούνται σε δομημένο περιβάλλον.
- Ασύρματα Δίκτυα: Ασύρματα δίκτυα, όπως το WiFi ή τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της θέσης της συσκευής. Οι συσκευές κινητών τηλεφώνων έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης και λήψης δεδομένων από τα εν λόγω δίκτυα. Είναι, λοιπόν, δυνατός ένας προσεγγιστικός προσδιορισμός της θέσης τους.
- Ψηφιακές Πυξίδες: Χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της γωνίας διεύθυνσης της συσκευής σε σχέση με τον μαγνητικό βορά, παρέχοντας πληροφορία για τον

προσανατολισμό της συσκευής στον χώρο. Οι μετρήσεις, συνήθως, πραγματοποιούνται στους τρεις άξονες. Στην πράξη, τα αποτελέσματα αυτών των αισθητήρων είναι πολλές φορές αναξιόπιστα καθώς πρόκειται για αισθητήρες ευαίσθητους σε παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

- Αδρανειακές Τεχνολογίες: Βασίζονται σε αισθητήρες, όπως τα γυροσκόπια και τα επιταχυνσιόμετρα. Τα γυροσκόπια δεν παρέχουν πληροφορίες για την θέση της συσκευής, αλλά έχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού του προσανατολισμού της συσκευής. Αξιοποιούνται συνήθως συμπληρωματικά στα δεδομένα των δεκτών GPS για την απόκτηση πληροφορίας εκτός της θέσης και όσον αφορά στις γωνίες yaw, pitch, roll της συσκευής.

### 3.8.3. Οπτικοί τρόποι Tracking

Οι οπτικοί τρόποι παρακολούθησης (tracking) έχουν ως στόχο την ανίχνευση στοιχείων του περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας τεχνικές όρασης υπολογιστών, ώστε να πραγματοποιηθεί ο εντοπισμός της θέσης της συσκευής και η υπέρθεση των εικονικών αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή. Όπως αναφέρθηκε, ο βασικότερος αισθητήρας μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου είναι η κάμερα. Μέσω αυτής απεικονίζονται τα στοιχεία του πραγματικού κόσμου που περιλαμβάνονται στην επαυξημένη σκηνή, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη σε αυτή.

Η διάκριση των μεθόδων tracking που χρησιμοποιούν εικόνες από την κάμερα της συσκευής μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες εξετάζοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά τους. Ο πρώτη διάκριση αφορά στο εάν είναι διαθέσιμο ένα τρισδιάστατο μοντέλο αναφοράς για τη διαδικασία του tracking (model-based tracking) ή εάν αυτό δημιουργείται σε πραγματικό χρόνο από την συσκευή (model-free tracking). Η επόμενη διάκριση εξετάζει την χρήση δεικτών αναφοράς κατά τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του εικονικού αντικειμένου στην επαυξημένη σκηνή (marker-based) ή όχι (marker-less). Τέλος, υπάρχουν εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που αξιοποιούν την τοποθεσία της συσκευής, η εν λόγω κατηγορία εντάσσεται στις εφαρμογές marker-less AR.

- Model Based Tracking vs Free Model Tracking: Η χρήση εικόνων από μία κάμερα απαιτεί τη σύγκρισή τους με κάποιο μοντέλο αναφοράς. Στην περίπτωση που ένα τέτοιο μοντέλο είναι διαθέσιμο πριν την έναρξη της διαδικασίας του tracking τότε πρόκειται για μία προσέγγιση βασισμένη σε αυτό (model-based tracking). Σε

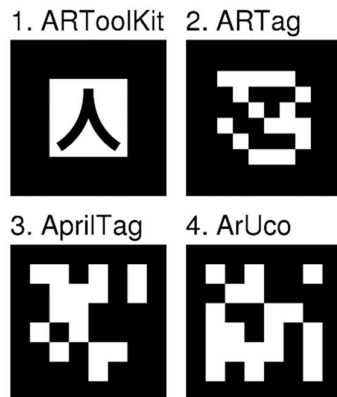
αντίθετη περίπτωση δημιουργείται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διαδικασία της παρακολούθησης, γεγονός που αυξάνει την ευελιξία τέτοιων συστημάτων. Υπάρχουν, ακόμα τεχνικές (π.χ. Simultaneous Localization And Mapping – SLAM) με δυνατότητα συνδυασμού της τρισδιάστατης παρακολούθησης (3D tracking) και σάρωσης (3D scanning) του πραγματικού περιβάλλοντος. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού μόνο σχετικά με το σημείο έναρξης της διαδικασίας tracking.

- Συστήματα AR βάσει δεικτών (marker-based) vs συστήματα χωρίς δείκτες (markerless): Τα markers είναι διακριτά μοτίβα στην σκηνή τα οποία είναι εύκολα αναγνωρίσιμα με τεχνικές όρασης υπολογιστών. Μπορεί να έχουν τη μορφή μιας εικόνας ή ενός QR code και χρησιμοποιούνται ως στόχοι για τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής. Η χρήση τους συμβάλλει στην δημιουργία απλούστερων και πιο αποτελεσματικών εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις όπου η τοποθέτηση markers στο πραγματικό περιβάλλον δεν είναι δυνατή και γίνεται χρήση markerless συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας. Στα συστήματα αυτά η συσκευή καλείται να εντοπίσει και να παρακολουθεί χαρακτηριστικά σημεία του φυσικού κόσμου (natural features – based).
- Συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας με βάση την τοποθεσία (location-based AR): Πρόκειται για ένα είδος συστημάτων marker-less AR. Κατά την χρήση τους δεν απαιτείται η ύπαρξη ειδικών markers, καθώς αξιοποιούν δεδομένα GPS και ψηφιακής πυξίδας για τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής.

### 3.8.3.1. Marker Based Tracking

Στους οπτικούς τρόπους tracking ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής σε σχέση με την σκηνή πραγματοποιείται αξιοποιώντας εικόνες του πραγματικού κόσμου. Η χρήση markers αποσκοπεί στην ύπαρξη κατάλληλων στοιχείων αναφοράς στις εικόνες για τον καθορισμό της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας σε σχέση με αυτά. Στην περίπτωση των εφαρμογών marker-based AR τα στοιχεία αναφοράς είναι τοποθετημένα τεχνητά στο περιβάλλον και αποτελούν εικόνες τις οποίες η συσκευή μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει. Οι εικόνες που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό ονομάζονται καθοδηγητικοί δείκτες (fiducial markers). Είναι συνήθως φυσικά αντικείμενα, όπως για

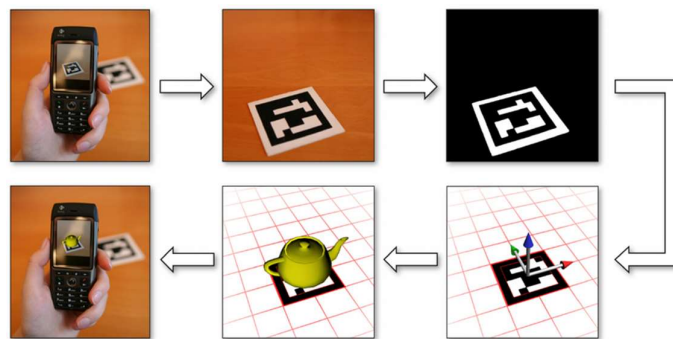
παράδειγμα τυπωμένες ασπρόμαυρες εικόνες, αλλά είναι δυνατόν να απεικονίζονται και ηλεκτρονικά, π.χ. στην οθόνη μιας συσκευής.



Εικόνα 3-6: Παραδείγματα fiducial markers

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/ARtag>

Η διαδικασία του tracking με χρήση markers αφορά αρχικά στην αναγνώριση του marker. Με την αναγνώριση του marker είναι δυνατός ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο απεικονίζεται στην κάμερα και συνεπώς της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας σε σχέση με αυτό. Η ποιότητα και αξιοπιστία του εντοπισμού των markers εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα είναι κομβικής σημασίας οι δείκτες να μην έχουν χαρακτηριστικά συμμετρίας ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός του προσανατολισμού της συσκευής. Με την αναγνώριση του δείκτη και τον προσδιορισμό του pose της συσκευής, είναι δυνατή στη συνέχεια η υπέρθεση ενός εικονικού αντικειμένου σε αυτόν.

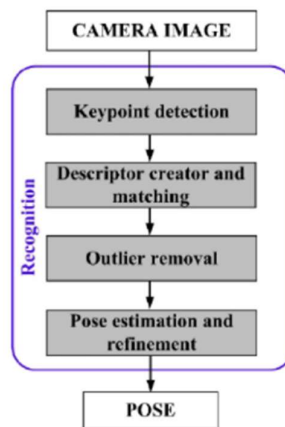


Εικόνα 3-7: Παράδειγμα επαύξησης με χρήση marker. Wagner and Schmalstieg, 2007

### 3.8.3.2. Natural Features Based Tracking

Η παρακολούθηση χρησιμοποιώντας φυσικά χαρακτηριστικά (natural features based tracking) είναι μία μέθοδος οπτικού tracking, στην οποία ανιχνεύονται και παρακολουθούνται χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου που απεικονίζονται στις εικόνες που λαμβάνονται από την κάμερα του συστήματος AR. Τα χαρακτηριστικά που αφορούν στον πραγματικό κόσμο μπορεί να είναι γωνίες, ακμές, δομές blobs, κ.ά. Υπάρχουν διαφορετικοί αλγόριθμοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία εντοπισμού και παρακολούθησης φυσικών χαρακτηριστικών, όπως οι αλγόριθμοι SIFT (Scale Invariant Feature Tracking), SURF (Speeded-Up Robust Features), Ferns, κ.ά. Η διαφορά τους κυρίως αφορούν στο είδος των χαρακτηριστικών τα οποία εντοπίζονται. Για παράδειγμα η συνταύτιση χαρακτηριστικών σημείων με τον αλγόριθμο SURF στηρίζεται στην περιγραφή τους (descriptors), ενώ ο αλγόριθμος Ferns στηρίζεται στην ταξινόμηση των χαρακτηριστικών σημείων.

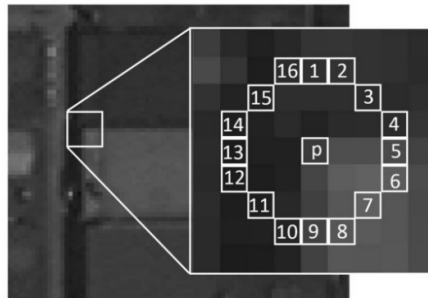
Παρά τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την συνταύτιση χαρακτηριστικών σημείων, η διαδικασία του προσδιορισμού της θέσης και του προσανατολισμού αφορά κοινά στάδια. Η εικόνα από την κάμερα αξιοποιείται για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων στα οποία στη συνέχεια αποδίδεται μια περιγραφή και με βάση αυτή δημιουργούνται οι κατάλληλες συσχετίσεις. Στη συνέχεια αξιοποιώντας διάφορες μεθόδους αφαιρούνται σημεία που θεωρούνται ως θόρυβος και αφορούν σε εσφαλμένες συνταυτίσεις. Με βάση το τελικό σύνολο χαρακτηριστικών σημείων προσδιορίζεται η θέση και ο προσανατολισμός της συσκευής.



Εικόνα 3-8: Διαδικασία προσδιορισμού του pose μέσω του tracking φυσικών χαρακτηριστικών.

Πηγή: Čuković et al., 2015

Το στάδιο του εντοπισμού σημείων ενδιαφέροντος (keypoint detection) συνήθως επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο FAST (Features from Accelerated Segment Test, Rosten and Drummond, 2006). Ο αλγόριθμος FAST χρησιμοποιεί έναν κύκλο 16 εικονοστοιχείων (pixels) ώστε να ταξινομήσει ένα σημείο (κέντρο του κύκλου) ως γωνία ή όχι. Αν ένα σύνολο συνεχόμενων εικονοστοιχείων του κύκλου (κυκλικό τόξο) έχουν την επιθυμητή αντίθεση σε σχέση με το κεντρικό pixel, τότε αυτό ταξινομείται ως γωνία.



Εικόνα 3-9: Τα εικονοστοιχεία που χρησιμοποιούνται κατά τον αλγόριθμο FAST.

Πηγή: [https://en.wikipedia.org/Natural\\_Features\\_Based\\_-\\_Descriptors](https://en.wikipedia.org/Natural_Features_Based_-_Descriptors)

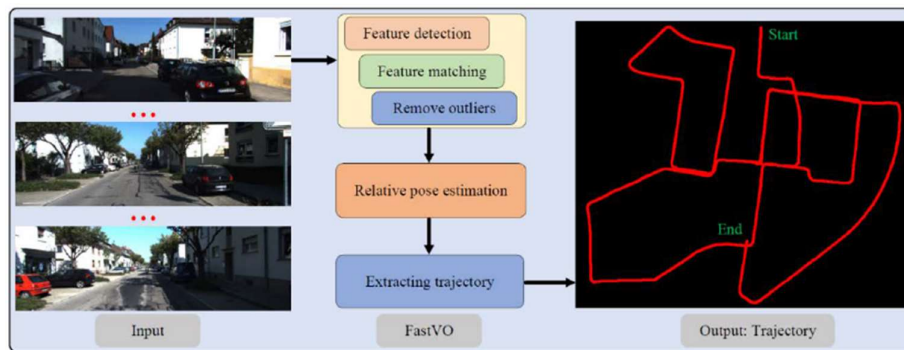
Μετά τον προσδιορισμό ενός σημείου ως σημείο ενδιαφέροντος απαιτείται η σύνδεση του σημείου αυτού με μία περιγραφή που αφορά στα χαρακτηριστικά των γειτονικών του εικονοστοιχείων. Η περιγραφή αυτή χρησιμοποιείται στη συνέχεια κατά τη διαδικασία της συνταύτισης αντίστοιχων σημείων. Ακολουθεί η αφαίρεση σημείων που ταξινομούνται ως θόρυβος. Μία τεχνική απόρριψης των άκυρων ομολογιών είναι ο έλεγχος εάν αυτές επαληθεύουν τη γεωμετρική σχέση που συνδέει τις δύο εικόνες. Ο συνηθέστερος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι ο RANSAC (Random SAMpling Consensus, Fischler and Bolles, 1981).

### 3.8.4. Tracking - Localization and Mapping

Στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που δεν γίνεται χρήση markers ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής πραγματοποιείται συνήθως χρησιμοποιώντας τεχνικές οπτικής οδομετρίας (visual odometry) ή SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).

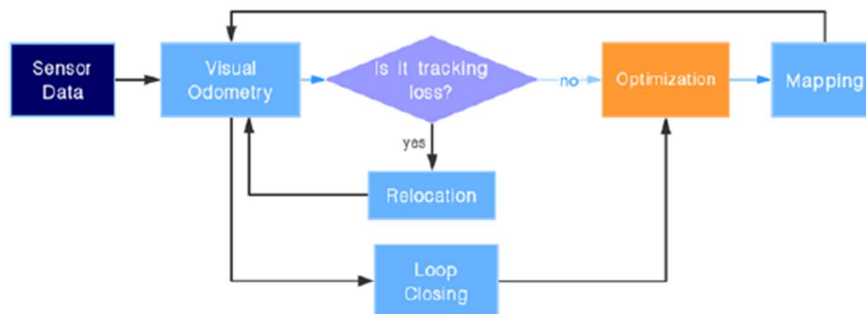
Την τελευταία δεκαετία, η χρήση της οπτικής οδομετρίας εμφανίζει σημαντική πρόοδο, κυρίως εξαιτίας της ανάπτυξης των τεχνολογιών όρασης υπολογιστών. Οι υπάρχουσες, όμως,

μέθοδοι αφορούν κυρίως στον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού οχημάτων παρά συσκευών κινητών τηλεφώνων. Οι μέθοδοι οπτικής οδομετρίας που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας αποτελούνται από τρία συστατικά μέρη: τον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων, τον προσδιορισμό της σχετικής θέσης και προσανατολισμού της συσκευής και τελικά της τροχιάς που ακολουθήθηκε. Η οπτική οδομετρία αποτελεί μία ειδική περίπτωση της τεχνικής SfM (Structure from Motion) μέσω της οποίας πραγματοποιείται η τρισδιάστατη ανακατασκευή της σκηνής του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας τη στιγμή λήψης συνόλου εικόνων.



Εικόνα 3-10: Παράδειγμα εφαρμογής οπτικής οδομετρίας για τον προσδιορισμό της κίνησης συσκευών κινητών τηλεφώνων (FastVO). Cao, et al., 2020

Η χρήση τεχνικών SLAM αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο οπτικής παρακολούθησης στο πλαίσιο μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας, κυρίως εξαιτίας του μικρού υπολογιστικού κόστους που έχουν αυτές οι τεχνικές. Ο όρος SLAM αφορά στον προσδιορισμό της θέσης ενός κινούμενου αντικειμένου-συσκευής στον χώρο, ενώ ταυτόχρονα το περιβάλλον στο οποίο κινείται η συσκευή χαρτογραφείται. Οι πιο συνηθισμένοι αισθητήρες ενός τέτοιου συστήματος είναι αισθητήρες LiDAR, αδρανειακά συστήματα και κάμερες. Η αξιοποίηση τεχνικών SLAM με χρήση κάμερας ονομάζεται, οπτικό (visual) SLAM ή VSLAM.



Εικόνα 3-11: Το διάγραμμα ροής της τεχνολογίας VSLAM. Tang et al., 2020

Ένα σύστημα VSLAM απαρτίζεται κυρίως από τέσσερις βασικές διαδικασίες: visual-inertial odometry, optimization, loop closing, mapping.

Η οπτική-αδρανειακή οδομετρία (visual-inertial odometry) αποτελεί τον συνδυασμό οπτικών δεδομένων με πληροφορίες του αδρανειακού συστήματος της συσκευής για τον προσδιορισμό της μετατόπισης και αλλαγής του προσανατολισμού της συσκευής μεταξύ διαδοχικών λήψεων. Η βελτιστοποίηση (optimization) αφορά στην εξάλειψη του θορύβου από τη διαδικασία προσδιορισμού της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής και καθορίζει την συνεπή επίλυση η οποία θα αξιοποιηθεί για τη δημιουργία της τροχιάς κίνησης της συσκευής. Η διακοπή της επανάληψης (loop closing) λύνει το πρόβλημα της συσσώρευσης σφαλμάτων. Η συσκευή διαρκώς εξετάζει το εάν το περιβάλλον που απεικονίζεται είναι το ίδιο με αυτό του σημείου έναρξης ή με αυτό κάποιου προηγούμενου χρόνου, και στη συνέχεια ενημερώνει την απεικόνιση του περιβάλλοντος. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η εισαγωγή λάθος πληροφοριών στην τελική απεικόνιση.



# 4

## *Σχεδιασμός και Υλοποίηση Εφαρμογών*

### 4.1. Εισαγωγή – Γενικοί στόχοι εφαρμογών

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά και ο σκοπός των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς και οι διαφορετικές τεχνολογίες που αξιοποιούνται για την δημιουργία μιας επαυξημένης σκηνής. Ιδιαίτερη αναφορά πραγματοποιήθηκε στις εφαρμογές κινητής επαυξημένης πραγματικότητας (mobile augmented reality), με τις οποίες ασχολείται και η εν λόγω εργασία. Στόχος κάθε εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας είναι η υπέρθεση εικονικών αντικειμένων σε εικόνες ή σειρά εικόνων (video) του πραγματικού κόσμου με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι δυνατή η διάκριση από τον χρήστη των πραγματικών και των εικονικών στοιχείων που συνθέτουν την επαυξημένη σκηνή. Κάθε εικονικό αντικείμενο διαθέτει συγκεκριμένα γεωμετρικά και φωτομετρικά χαρακτηριστικά, τα οποία το χαρακτηρίζουν και πρέπει να απεικονίζονται με ορθό τρόπο στην σκηνή. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν στις διαστάσεις, την υφή, το χρώμα κλπ. Η γεωμετρική συνέπεια στην απεικόνιση του αντικειμένου εξασφαλίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους κανόνες της προβολικής γεωμετρίας, καθώς αυτοί ορίζουν τον τρόπο προβολής ενός 3D αντικειμένου στην 2D οθόνη μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου. Η δημιουργία της επαυξημένης σκηνής μπορεί να ορισθεί κατά μία έννοια ως ένα αντίστροφο φωτογραμμετρικό πρόβλημα. Η φωτογραμμετρία αφορά στην απόκτηση μετρητικής πληροφορίας για αντικείμενα χρησιμοποιώντας εικόνες τους. Η εξαγωγή τέτοιας πληροφορίας προϋποθέτει την γνώση ή τον προσδιορισμό των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού και της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας κατά την στιγμή λήψης της εικόνας. Αντίθετα, κατά τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής, απαιτείται η απεικόνιση ενός 3D αντικειμένου γνωστών γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε μία 2D εικόνα. Και οι δύο διαδικασίες, εφόσον πρόκειται για απεικονίσεις που πραγματοποιούνται μέσω μιας κάμερας, γεωμετρικά αφορούν περιπτώσεις κεντρικών προβολών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών στα οποία αξιοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι επαύξησης της σκηνής του πραγματικού κόσμου. Στην πρώτη εφαρμογή το εικονικό αντικείμενο τοποθετείται στη θέση που επιλέγει ο χρήστης, ενώ στις

υπόλοιπες τρεις, η τοποθέτηση του αντικειμένου πραγματοποιείται αυτόματα, μέσω του εντοπισμού μιας εικόνας – προτύπου, χρησιμοποιώντας τη θέση του χρήστη και ανιχνεύοντας κάποιο αντικείμενο του πραγματικού κόσμου. Η υλοποίηση των εφαρμογών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Unity σε συνδυασμό με πακέτα ανάπτυξης λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας, όπως το ARFoundation και το ARCore. Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιείται η θέση του χρήστη και του εικονικού αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο, αξιοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Marbox. Τέλος, αντίστοιχες εφαρμογές δημιουργήθηκαν μέσω του πακέτου ανάπτυξης λογισμικού Wikitude, ώστε να αξιοποιηθούν στο στάδιο της αξιολόγησης.

## 4.2. Παρουσίαση λογισμικού: Unity

Το λογισμικό Unity αποτελεί ένα εργαλείο ανάπτυξης ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Αναπτύχθηκε το 2005 από την εταιρία Unity Technologies και παρουσιάστηκε ως σύστημα ανάπτυξης παιχνιδιών για το λειτουργικό σύστημα Mac OS X. Πλέον, υποστηρίζει την ανάπτυξη εφαρμογών για σταθερές (desktop) και κινητές (mobile) συσκευές, κονσόλες παιχνιδιών, αλλά και πλατφόρμες εικονικής πραγματικότητας. Μπορεί να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία 2D και 3D εφαρμογών, ενώ χρησιμοποιείται και σε τομείς εκτός της ανάπτυξης παιχνιδιών, όπως σε ταινίες, στις κατασκευές, κ.ά. Από το λογισμικό παρέχεται πλήθος εργαλείων για την ανάπτυξη εφαρμογών, τα οποία αφορούν στη δημιουργία 3D ή 2D γραφικών, τις οπτικές τους ιδιότητες, αλλά και την «συμπεριφορά» τους στο πλαίσιο της εφαρμογής. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης επιπλέον προσφερόμενων πακέτων, ανάλογα με τις ανάγκες κάθε εφαρμογής, που μπορεί να αφορούν στην ενσωμάτωση διαδικασιών και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, λειτουργίες επαυξημένης πραγματικότητας, κ.ά. Η ιδιότητες και η λειτουργία των οντοτήτων στο πλαίσιο της εφαρμογής είναι, επίσης, δυνατό να προσδιοριστεί και με τμήματα κώδικα (σε γλώσσα C#) που δημιουργεί ο χρήστης του λογισμικού.

Το Unity έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη κάποιων από τα δημοφιλέστερα παιχνίδια για κινητά τηλέφωνα, όπως το παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας “Pokémon GO”, το 2016, το Call Of Duty: Mobile, κ.ά.

Σε κάθε εφαρμογή που δημιουργείται στο Unity αξιοποιείται ένα σύνολο εννοιών, κάθε μία ορίζει συγκεκριμένες οντότητες στο πλαίσιο της εφαρμογής. Οι κύριες έννοιες που

χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο του λογισμικού είναι τα αγαθά (Assets), τα αντικείμενα (GameObjects), τα συστατικά (Components) και τα προ-κατασκευάσματα (Prefabs).

Ως Asset ορίζεται η ψηφιακή αναπαράσταση οποιουδήποτε στοιχείου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της εφαρμογής. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι τρισδιάστατα μοντέλα, εικόνες, βίντεο, κ.ά., τα οποία μπορούν να εισαχθούν στο έργο ή να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας το λογισμικό. Ακόμα, στην κατηγορία των assets υπάγονται και κάποια ακόμα συστατικά μέρη μιας εφαρμογής, όπως η σκηνή που δημιουργείται, οι κάμερες, οι κώδικες που χρησιμοποιούνται, κ.ά. GameObjects ονομάζονται τα στοιχεία που περιλαμβάνονται σε μία σκηνή. Κάθε σκηνή είναι ένα διαφορετικό επίπεδο της εφαρμογής ή του παιχνιδιού που δημιουργείται στο Unity. Τα τρισδιάστατα αντικείμενα αποτελούνται από πολυγωνικά πλέγματα (polygon mesh), δηλαδή είναι ένα σύνολο από κορυφές, ακμές και έδρες. Επιπλέον, σε κάθε αντικείμενο είναι δυνατό η απόδοση συγκεκριμένου υλικού (material), το οποίο καθορίζει τον τρόπο απεικόνισής του στη συσκευή του χρήστη. Η δημιουργία ενός GameObjects αφορά καταρχήν στον προσδιορισμό της γεωμετρίας του. Στο πλαίσιο μιας εφαρμογής, υπάρχει η ανάγκη κάποια από τα αντικείμενα να έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες και λειτουργία. Η απόδοση των επιθυμητών ιδιοτήτων σε αυτά γίνεται μέσα από την προσθήκη Components σε αυτά. Κάθε GameObject χαρακτηρίζεται από ένα Component που αφορά στη θέση, τον προσανατολισμό και την κλίμακα του αντικειμένου στο πλαίσιο της σκηνής. Το εν λόγω συστατικό δημιουργείται ταυτόχρονα με το αντικείμενο και δεν μπορεί να αφαιρεθεί. Υπάρχουν, όμως, και άλλα χαρακτηριστικά που μπορούν να αποδοθούν σε ένα αντικείμενο με την μορφή Component, όπως η υπακοή του σε νόμους της φυσικής (π.χ. βαρύτητα). Τέλος, τα Prefabs, αποτελούν ένα επαναχρησιμοποιούμενο Asset και αποτελούνται από κάποιο GameObject σε συνδυασμό με το υλικό και τις ιδιότητες που το συνοδεύουν.

Ένα ειδικό παράδειγμα Asset είναι τα Scripts που χρησιμοποιούνται ως συστατικά ενός αντικειμένου και προσδιορίζουν τις ιδιότητες ή την λειτουργία του στο πλαίσιο της εφαρμογής. Το Unity υποστηρίζει τη δημιουργία Scripts σε γλώσσα προγραμματισμού C#, ενώ παρέχει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες ώστε κάθε δυνατή λειτουργία στο πλαίσιο του λογισμικού να μπορεί να προσδιοριστή μέσω κώδικα.

Η εργαλειοθήκη που παρέχεται για την ανάπτυξη διεπαφών χρήστη στο πλαίσιο μιας εφαρμογής, είναι η Unity: UI. Πρόκειται για ένα σύστημα διεπαφής που αποτελεί GameObject. Η διαμόρφωση της κατανομής, της θέσης και του στυλ των διεπαφών πραγματοποιείται με τροποποίηση των χαρακτηριστικών του. Το σύνολο των στοιχείων

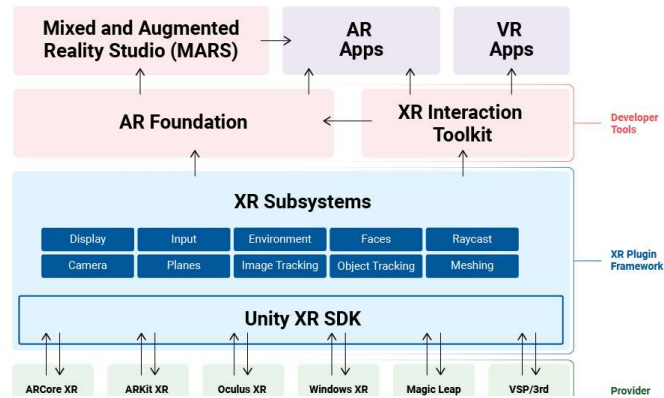
διεπαφής περιέχονται στο αντικείμενο Canvas. Αυτά μπορεί να είναι εικόνες, κείμενο, κουμπιά (buttons) τα οποία εκτελούν κάποια ενέργεια όταν επιλεγθούν κ.ά.

### 4.3. Παρουσίαση λογισμικού: ARFoundation και ARCore

Το Unity παρέχει τη δυνατότητα χρήσης πακέτων για την επέκταση των δυνατοτήτων του λογισμικού και την υποστήριξη συγκεκριμένων εφαρμογών. Το πακέτο ARFoundation αποτελεί την βάση για την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στο πλαίσιο του Unity. Η εγκατάσταση και αξιοποίηση, όμως, των εφαρμογών αυτών απαιτεί τον συνδυασμό του πακέτου ARFoundation με ξεχωριστά πακέτα που αφορούν κάθε πλατφόρμα. Για παράδειγμα, για τη δημιουργία εφαρμογών AR που απευθύνονται σε συσκευές Android, απαιτείται η χρήση του ARCore XR Plug-in, για iOS το ARKit XR Plug-in, κ.τ.λ. Στο πλαίσιο της εν λόγω εργασίας αναπτύχθηκαν εφαρμογές που απευθύνονταν σε συσκευές Android, συνεπώς έγινε χρήση του πακέτου ARCore.

- AR Foundation

Η δομή του AR Foundation απαρτίζεται από διαφορετικά επίπεδα. Το πρώτο αφορά στα ξεχωριστά πακέτα ανάπτυξης λογισμικού για κάθε πάροχο (π.χ. ARCore για Android, ARKit για iOS, κ.τ.λ.). Σε αυτό το επίπεδο δημιουργείται η σύνδεση των λειτουργιών που περιγράφονται από την εφαρμογή με τις αντίστοιχες λειτουργίες επαυξημένης πραγματικότητας στο πλαίσιο κάθε πακέτου ανάπτυξης λογισμικού. Αποτελεί το μοναδικό επίπεδο στο οποίο λαμβάνεται υπόψη το είδος της συσκευής στην οποία απευθύνεται η εφαρμογή. Στα υπόλοιπα, οι λειτουργικότητες και οι συναρτήσεις που παρέχονται είναι κοινές στο πλαίσιο του AR Foundation. Το αμέσως επόμενο επίπεδο αφορά στα XR Subsystems, τα οποία παρέχουν τις ξεχωριστές λειτουργίες επαυξημένης πραγματικότητας, όπως για παράδειγμα η κατανόηση του περιβάλλοντος, ο εντοπισμός αντικειμένων, επιπέδων κ.τ.λ. Η ψ, πραγματοποιείται μέσα από τμήματα κώδικα και πακέτα που περιλαμβάνονται στο AR Foundation. Το σύνολο των παραπάνω αποτελούν και τη δομή της λειτουργίας μιας εφαρμογής στο πλαίσιο του Unity. Κάποια επιπλέον εργαλεία παρέχονται μέσα από το Mixed and Augmented Reality Studio (MARS) του Unity, τα οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και απαιτούν συγκεκριμένη άδεια χρήσης.



Εικόνα 4-1: Η αρχιτεκτονική του AR Foundation

Πηγή: <https://blog.unity.com/technology/unity-xr-platform-updates>

- ARCore

Το ARCore είναι ένα πακέτο ανάπτυξης λογισμικού που αναπτύχθηκε από την Google, το 2017, και στοχεύει στην ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας για συσκευές Android. Αποτελεί ένα σύνολο εργαλείων που παρέχει στους δημιουργούς των εφαρμογών όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας υψηλού επιπέδου. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρθηκαν τα χαρακτηριστικά και οι τεχνολογίες που αποτελούν συστατικά μέρη των τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας. Το ARCore χρησιμοποιεί τρεις βασικές ιδιότητες για την υπέρθεση του εικονικού αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο. Αυτές είναι η καταγραφή της κίνησης (motion tracking), η κατανόηση του περιβάλλοντος (environmental understanding) και ο προσδιορισμός των συνθηκών φωτισμού της σκηνής (light estimation)

- Καταγραφή κίνησης (Motion Tracking): Αφορά στον συνεχή προσδιορισμό της θέσης της συσκευής θέασης στην επαυξημένη σκηνή. Μέσω της ανίχνευσης κίνησης είναι δυνατή η μετακίνηση του χρήστη χωρίς την αλλοίωση της επαυξημένης σκηνής. Το εικονικό αντικείμενο παραμένει στην αρχική του θέση και η μετακίνηση του χρήστη έχει ως συνέπεια την θέασή του από διαφορετικές οπτικές γωνίες, με αντίστοιχο τρόπο όπως ένα φυσικό αντικείμενο του πραγματικού κόσμου στη θέση αυτή. Αυτό επιτυγχάνεται αξιοποιώντας την κάμερα και το αδρανειακό σύστημα της συσκευής, με χρήση της τεχνολογίας SLAM που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Κατανόηση του περιβάλλοντος (Environmental Understanding): Η ιδιότητα αυτή αφορά στην δυνατότητα που παρέχεται στην συσκευή για τον εντοπισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου που περιλαμβάνονται στην επαυξημένη σκηνή. Περιλαμβάνει τη δυνατότητα εντοπισμού

χαρακτηριστικών σημείων και επιφανειών που υπάρχουν στο περιβάλλον του χρήστη μέσα από διαδοχικές εικόνες του πραγματικού κόσμου.

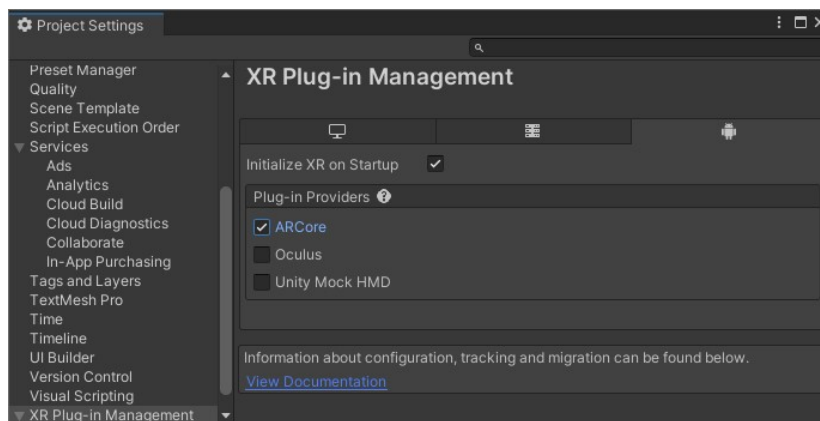
- Εκτίμηση συνθηκών φωτισμού (Light Estimation): Για την επιτυχή δημιουργία μιας επαυξημένης σκηνής καθοριστική είναι η υπέρθεση ενός εικονικού αντικειμένου με αντίστοιχα χαρακτηριστικά ενός φυσικού αντικειμένου. Βασικό στοιχείο της ομαλή υπέρθεσης του εικονικού αντικειμένου είναι να διαθέτει συνεπή φωτισμό σε σχέση με τον φωτισμό του πραγματικού περιβάλλοντος. Το ARCore παρέχει τη δυνατότητα της αυτόματης εκτίμησης των συνθηκών φωτισμού ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία επαυξημένων σκηνών υψηλού επιπέδου.

Η δημιουργία μιας επαυξημένης σκηνής μέσω του ARCore, ανεξάρτητα από την μέθοδο υπέρθεσης που χρησιμοποιείται περιέχει κάποιες συγκεκριμένες λειτουργίες. Η πρώτη αφορά στον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων της σκηνής (feature points). Τα σημεία αυτά εντοπίζονται σε διαδοχικές λήψεις (στιγμιότυπα βίντεο) της σκηνής του πραγματικού κόσμου, σε πραγματικό χρόνο. Ο εντοπισμός feature points αποτελεί μια συνεχή διαδικασία κατά τη διάρκεια της εφαρμογής καθώς αυτά, σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους αισθητήρες της συσκευής, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας (pose) στον χώρο. Ο όρος Pose αφορά στα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της κάμερας κατά τη στιγμή λήψης κάθε frame. Ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας επιτρέπει την ορθή τοποθέτηση του εικονικού αντικειμένου στην επαυξημένη σκηνή, λαμβάνοντας υπόψη την οπτική γωνία του χρήστη. Το ARCore, εκτός του εντοπισμού χαρακτηριστικών σημείων, διαθέτει τη δυνατότητα προσδιορισμού οριζόντιων και κατακόρυφων επιφανειών (Planes), στις οποίες είναι δυνατόν να τοποθετηθούν τα εικονικά αντικείμενα. Η τοποθέτηση των εικονικών αντικειμένων εκτός του προσδιορισμού μιας επιφάνειας ή κάποιου χαρακτηριστικού σημείου, προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου σημείου αγκίστρωσης (Anchor). Τα Anchors είναι σημεία του εικονικού χώρου, τα οποία περιγράφουν μια σταθερή θέση και προσανατολισμό στον πραγματικό κόσμο. Συνδέοντας το εικονικό αντικείμενο με αυτά διασφαλίζεται η σταθερότητά τους στην επαυξημένη σκηνή. Στο πλαίσιο της ενίσχυσης της προσπάθειας για κοινές εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας από διαφορετικούς χρήστες, το ARCore υποστηρίζει τη χρήση CloudAnchors. Μέσω αυτών πληροφορίες για την θέση και τον προσανατολισμό των εικονικών αντικειμένων στο χώρο αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων σε κάποιον server και διαμοιράζονται στους διαφορετικούς χρήστες μέσω αυτού. Εφόσον η συσκευή υποστηρίζει την απεικόνιση του βάθους, το ARCore προσφέρει την δυνατότητα κατανόησης του βάθους και συνεπώς τις αποστάσεις των αντικειμένων. Η

κατανόηση του βάθους αποτελεί βασικό στοιχείο για την σωστή οπτική παρεμπόδιση μεταξύ των αντικειμένων, πραγματικών και εικονικών.

## 4.4. Unity και ARCore

Για τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας για συσκευές Android με το Unity αρχικά απαιτείται η εγκατάσταση των πακέτων AR Foundation και ARCore XR Plug-in. Στο πλαίσιο μιας εφαρμογής είναι καθοριστικής σημασίας η επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων ανάλογα με την συσκευή στην οποία απευθύνεται και τις δυνατότητές της. Εφόσον, λοιπόν, εγκατασταθούν τα απαραίτητα πακέτα, πραγματοποιείται η ρύθμιση των προδιαγραφών της εφαρμογής (Build Settings) ώστε να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου Android. Αρχικά μέσω των Build Settings προσδιορίζεται το είδος της πλατφόρμας για την οποία αναπτύσσεται η εφαρμογή (Android). Στη συνέχεια είναι δυνατή η διαμόρφωση επιμέρους χαρακτηριστικών της εφαρμογής, όπως το όνομα, αλλά και ο προσδιορισμός των λειτουργικών της απαιτήσεων. Βασικά στοιχεία αυτών αποτελεί η ελάχιστη έκδοση λογισμικού που υποστηρίζεται, ο τρόπος απόδοσης της σκηνής, κ.ά. Για μία εφαρμογή AR με το ARCore, δεν υποστηρίζεται η διεπαφή γραφικών Vulcan, ενώ η ελάχιστη έκδοση λογισμικού που μπορεί να υποστηρίξει το ARCore είναι η Android 7.0 'Nougat' (API Level 24). Στη συνέχεια ενεργοποιείται η χρήση του ARCore ως plug-in επαυξημένης πραγματικότητας (Plug-in Providers).



Εικόνα 4-2: Ενεργοποίηση του ARCore ως Plug-in Provider

Στην καρτέλα ρυθμίσεων του ARCore είναι δυνατόν να ρυθμιστούν κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά που το αφορούν, όπως η αναγκαιότητά του ή όχι ώστε να εκτελεστεί η

εφαρμογή, ή εάν η εφαρμογή εκτελείται μόνο σε συσκευές που υποστηρίζουν τη δημιουργία εικόνων βάθους (Depth API).

- Σκηνή Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR Scene)

Μία σκηνή επαυξημένης πραγματικότητας (AR Scene) περιέχει δύο βασικά αντικείμενα (GameObjects), τα AR Session και AR Session Origin, που περιλαμβάνονται στο AR Foundation. Η ενεργοποίηση του AR Session ως στοιχείο της σκηνής αφορά στην λειτουργία του συνόλου των λειτουργιών που παρέχει το ARCore στο πλαίσιο της επαυξημένης πραγματικότητας, όπως motion tracking, lighting estimation κ.τ.λ. Ακόμα, μέσω του ARSession ελέγχεται εάν η συσκευή υποστηρίζει εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας και πραγματοποιείται διαχείριση της κατάστασης της εφαρμογής. Το δεύτερο αντικείμενο που αναφέρθηκε, το AR Session Origin, αφορά στην εφαρμογή των απαραίτητων μετασχηματισμών (θέση, προσανατολισμός και κλίμακα) μεταξύ των στοιχείων του πραγματικού κόσμου που εντοπίζονται στην σκηνή και των αντικειμένων προς υπέρθεση. Τα αντικείμενα που είναι δυνατό να εντοπισθούν (trackables) μέσω του ARCore εντάσσονται στο σύστημα αναφοράς της συσκευής (session space). Η θέση και ο προσανατολισμός τους, δηλαδή, αναφέρονται σε σχέση με τη συσκευή. Αντίθετα, τα αντικείμενα προς υπέρθεση στο Unity αναφέρονται σε συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου. Σκοπός του AR Session Origin είναι ο μετασχηματισμός των σημείων ή επιφανειών που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής (trackables) από τον χώρο της εφαρμογής (σε σχέση με την συσκευή) στο χώρο της σκηνής του Unity (πραγματικός κόσμος).



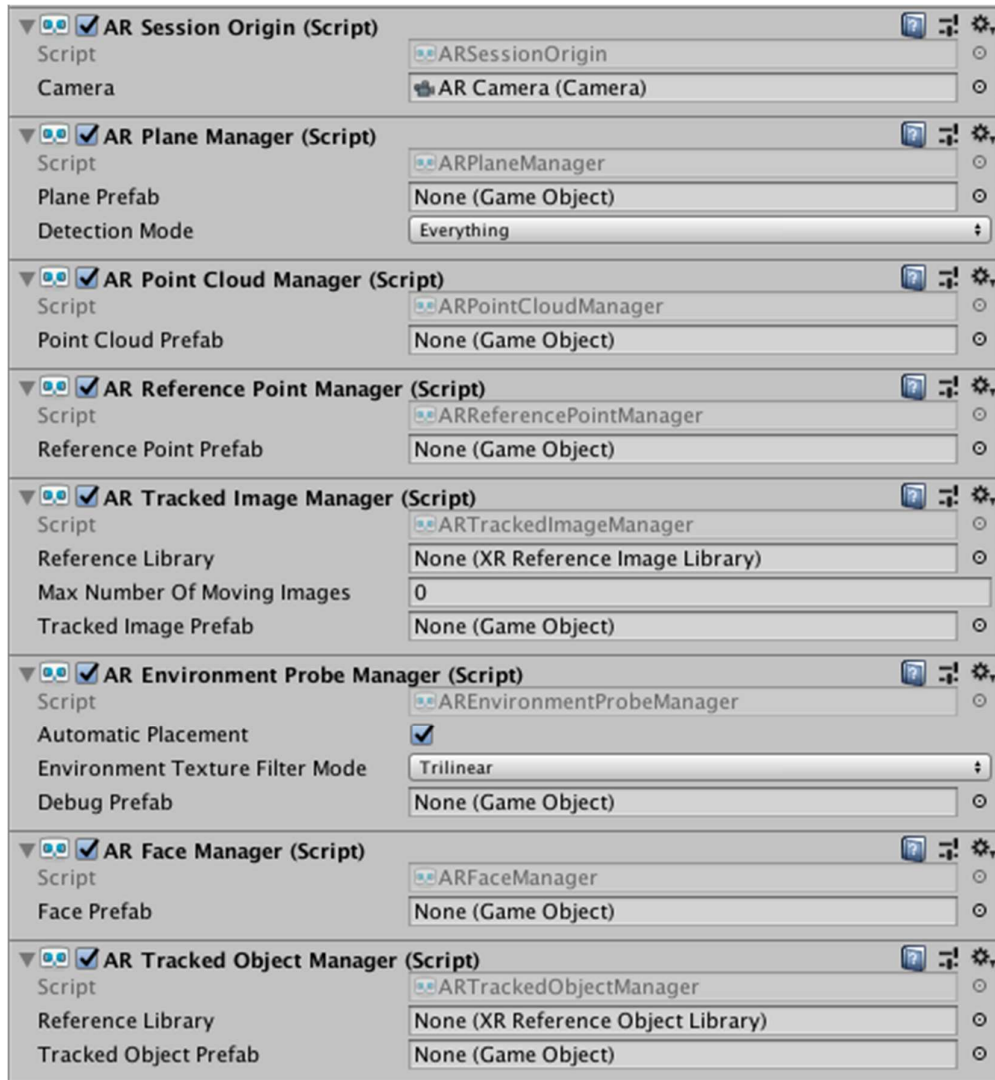
Εικόνα 4-3: Αντικείμενα μιας βασικής σκηνής AR

Πηγή: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.2/manual/index.html>

Το αντικείμενο AR Session Origin περιέχει το GameObject AR Camera, που αφορά στην εικονική κάμερα μέσα από την οποία παρατηρείται η επαυξημένη σκηνή. Βασικό στοιχείο της AR Camera είναι το AR Pose Driver. Μέσω αυτού πραγματοποιείται ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού της σε σχέση με τα στοιχεία εντοπισμού της συσκευής. Μέσω του στοιχείου AR Camera Manager, το οποίο επίσης αφορά στην AR Camera, επιλέγεται η κάμερα της συσκευής που θα χρησιμοποιηθεί (world-facing ή user-facing) και



προσδιορίζονται επιμέρους χαρακτηριστικά της, όπως η αυτόματη εστίαση (Auto Focus) και ο η φωτεινότητα της σκηνής (Light Estimation).



Εικόνα 4-4: Trackable managers στο Unity

Πηγή: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.foundation@4.2/manual/trackable-managers.html>

## 4.5. Παρουσίαση εφαρμογής: Plane and feature point detection

Η πρώτη εφαρμογή αφορά στη δημιουργία μιας απλής επαυξημένης σκηνής, στην οποία τα εικονικά αντικείμενα τοποθετούνται σε θέση που επιλέγει ο χρήστης. Στόχος της εν λόγω εφαρμογής είναι η χρήση και παρουσίαση κάποιων βασικών χαρακτηριστικών της

επαυξημένης πραγματικότητας, όπως ο τρόπος προσδιορισμού της θέσης των εικονικών αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή, η μέθοδος που αξιοποιείται ώστε να διασφαλισθεί η σταθερότητά τους σε αυτή και η παρατήρησή τους ανάλογα με την κίνηση του χρήστη στον πραγματικό κόσμο. Το AR Foundation χρησιμοποιεί τον όρο trackables για να προσδιορίσει όλα τα στοιχεία του πραγματικού κόσμου, τα οποία μπορούν να εντοπισθούν και παρακολουθηθούν μεταξύ διαδοχικών εικόνων του πραγματικού κόσμου. Αυτά μπορεί να αφορούν σε βασικά στοιχεία, όπως νέφη σημείων, επίπεδα και επιφάνειες, αλλά και πιο σύνθετα, όπως ανίχνευση αντικειμένων, προσώπου, κ.ά. Κάθε είδος trackable διαθέτει την αντίστοιχη κλάση manager. Μέσω αυτής είναι δυνατή η αλληλεπίδραση με το GameObject – trackable στο οποίο αναφέρεται, αλλά και η παρακολούθηση αλλαγών που το αφορούν.

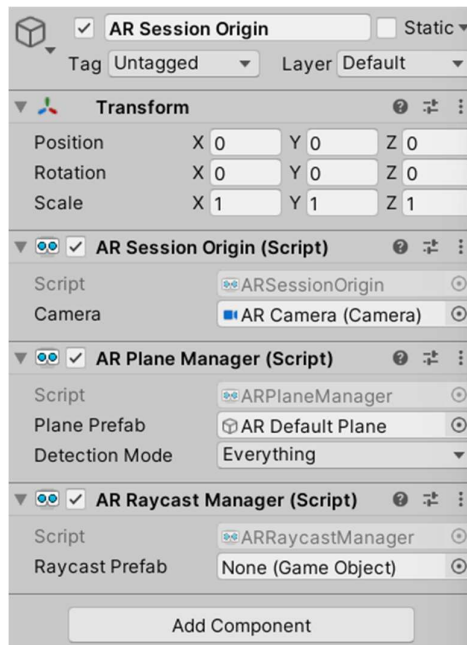
- Νέφος Σημείων (Point Cloud): Το νέφος σημείων αφορά σε χαρακτηριστικά σημεία (feature points), τα οποία εντοπίζονται μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας και χρησιμοποιούνται ως αναφορά για τον εντοπισμό και την τοποθέτηση άλλων στοιχείων, όπως επιφάνειες ή σημεία υπέρθεσης αντικειμένων (anchors). Τα χαρακτηριστικά σημεία που εντοπίζονται συνοδεύονται από πληροφορίες που αφορούν τη θέση τους στην σκηνή, την αβεβαιότητα προσδιορισμού τους, καθώς και από έναν μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό. Τα εν λόγω δεδομένα αποθηκεύονται σε ξεχωριστές δομές – πίνακες, οι οποίες μπορούν να κληθούν μέσα από τμήμα κώδικα.
- Επίπεδα (Planes): Συνήθως τα εικονικά αντικείμενα τοποθετούνται σε κάποια επίπεδα επιφάνεια του πραγματικού κόσμου. Ο εντοπισμός επιπέδων, λοιπόν, αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτό πραγματοποιείται εξαιτίας της σταθερότητας που χαρακτηρίζει τον εντοπισμό επιπέδων, ενώ αφορούν κάποια φυσική δομή του πραγματικού κόσμου μεγαλύτερης έκτασης που μπορεί να αξιοποιηθεί ως αναφορά.

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη δημιουργία της σκηνής είναι η εξής: εντοπισμός επιφανειών, επιλογή αντικειμένου προς τοποθέτηση, έλεγχος εάν υπήρξε υπόδειξη από τον χρήστη για τοποθέτηση του αντικειμένου. Στην περίπτωση υπόδειξης το αντικείμενο τοποθετείται στην θέση αυτή.

Ο εντοπισμός των επιπέδων πραγματοποιείται με τη χρήση του AR Plane Manager ως συστατικό του AR Session Origin. Ο AR Plane Manager δημιουργεί αντικείμενα GameObjects για κάθε επιφάνεια που εντοπίζεται στο περιβάλλον. Η επιφάνεια που δημιουργείται χαρακτηρίζεται από τη θέση, τον προσανατολισμό, τις διαστάσεις και τα όριά της. Η

οπτικοποίηση των εντοπιζόμενων επιφανειών πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα GameObject το οποίο παρέχεται από το πακέτο ARFoundation, με όνομα AR Default Plane.

Η θέση του εικονικού αντικειμένου επιλέγεται από τον χρήστη με άγγιγμα στην οθόνη της συσκευής. Ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού του αντικειμένου στην επαυξημένη σκηνή πραγματοποιείται με τη χρήση ενός AR Raycast Manager. Η διαδικασία του Ray Casting αφορά στον προσδιορισμό της θέσης όπου μία ακτίνα, η οποία προσδιορίζεται από την αφετηρία και τον προσανατολισμό της, τέμνει ένα επίπεδο ή ένα σημείο που έχει εντοπισθεί.

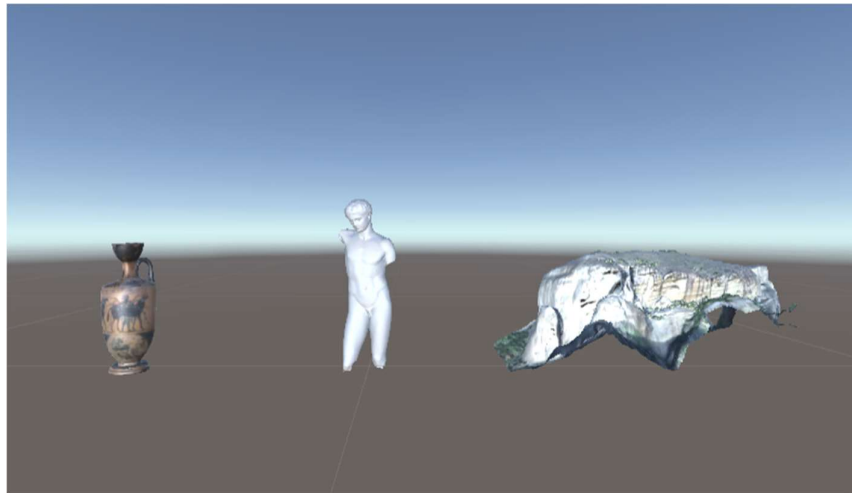


Εικόνα 4-5: Λειτουργίες της εφαρμογής, όπως απεικονίζονται ως συστατικά (components) του AR Session Origin

Για να επιτραπεί στον χρήστη η επιλογή της θέσης του εικονικού αντικειμένου στην πραγματική σκηνή χρησιμοποιείται η μέθοδος raycast. Η μέθοδος αυτή εξετάζει εάν μία ακτίνα (ray) με συγκεκριμένη αφετηρία και κατεύθυνση, τέμνει κάποιο από τα αντικείμενα (trackables) της σκηνής, όπως ένα σημείο (feature point) ή μία επιφάνεια (plane). Στο AR Foundation υποστηρίζεται η χρήση raycast μία φορά (single raycast) ώστε να τοποθετηθεί ένα αντικείμενο ή σε κάθε frame (persistent raycast). Η αξιοποίηση της λειτουργίας raycast, πραγματοποιείται μέσω του AR Raycast Manager στο πλαίσιο τμήματος κώδικα. Εν προκειμένω, για τις ανάγκες της πρώτης εφαρμογής, αφετηρία του raycast αποτελεί το σημείο της οθόνης που επιλέγει ο χρήστης, ενώ η φορά της είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζει η συσκευή με φορά προς την σκηνή. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η τοποθέτηση ενός αντικειμένου στο σημείο τομής που υποδεικνύεται μέσω του raycast δεν

είναι σταθερή με την έννοια ότι η θέση δεν έχει προσδιοριστεί με βάση το φυσικό αντικείμενο, αλλά αφορά τη σχετική θέση του αντικειμένου στην επαυξημένη σκηνή. Ο προσδιορισμός της θέσης του αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο πραγματοποιείται με τη χρήση Anchors. Τα Anchors, ουσιαστικά συμβάλουν στην συνεχή σύνδεση του συστήματος αναφοράς της εικονικής σκηνής με αυτό του πραγματικού κόσμου.

Όπως αναφέρθηκε, στόχος της πρώτης εφαρμογής είναι η δυνατότητα υπέρθεσης διαφορετικών αντικειμένων μέσα από επιλογή του χρήστη. Τα αντικείμενα που προσφέρονται για υπέρθεση αφορούν σε τρισδιάστατα μοντέλα ενός αγγείου, ενός αγάλματος και ενός βράχου.



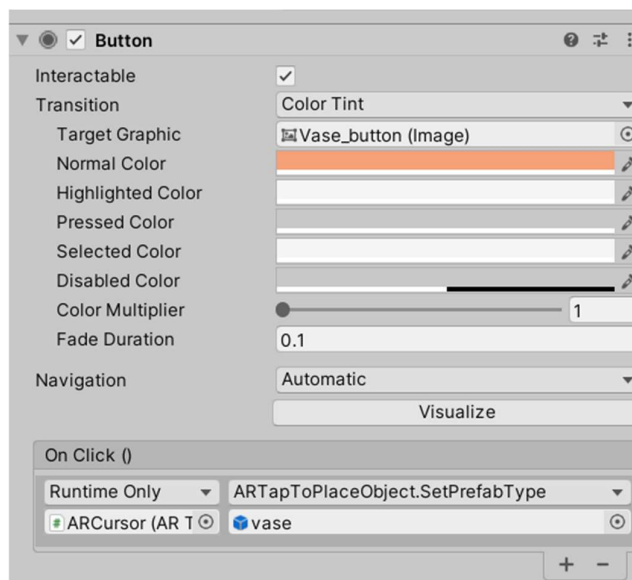
*Εικόνα 4-6: Τα αντικείμενα προς υπέρθεση στην σκηνή του Unity*

Για να είναι δυνατή η επιλογή του αντικειμένου προς υπέρθεση από τον χρήστη είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιου γραφικού περιβάλλοντος και μιας αντίστοιχης λειτουργίας στην εφαρμογή. Σε αυτό το πλαίσιο δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά buttons, ένα για κάθε αντικείμενο. Με επιλογή κάθε ενός από αυτά ο χρήστης διαλέγει το μοντέλο προς υπέρθεση. Η διαδικασία δημιουργίας των buttons αφορά αρχικά τη γραφική τους παρουσίαση, όπως θέση στην οθόνη, μέγεθος κ.τ.λ., ενώ στη συνέχεια προσδιορίζονται οι ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά την επιλογή τους (On Click).

Η επιθυμητή ενέργεια για τις ανάγκες της εφαρμογής είναι η επιλογή του αντικειμένου που θα τοποθετηθεί στην επαυξημένη σκηνή. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε τμήμα κώδικα (C#). Για να είναι η εφαρμογή περισσότερο εύχρηστη, δημιουργήθηκε και ένα ακόμα

αντικείμενο το οποίο χρησιμοποιείται ως κέρσορας (ARCursor) και υποδεικνύει το σημείο όπου η ακτίνα (raycast) τέμνει το επίπεδο που εντοπίζεται.

Ο κώδικας αφορά στον προσδιορισμό της «συμπεριφοράς» τριών διαφορετικών στοιχείων: του κέρσορα, της επιλογής του αντικειμένου και του ελέγχου εάν επιλέχθηκε η τοποθέτησή του σε κάποιο επίπεδο (hit test). Κατά τον έλεγχο για τυχόν επιλογές του χρήστη όσον αφορά τη θέση, ο κώδικας εξετάζει εάν υπήρξε κάποιο άγγιγμα (touch). Είναι, λοιπόν, σημαντικό μεταξύ του συνόλου των αγγιγμάτων στην οθόνη να διακρίνεται ποια αφορούν την επιλογή της θέσης και ποια την επιλογή του αντικειμένου προς υπέρθεση (επιλογή button). Αυτό πραγματοποιείται αξιοποιώντας μία συνθήκη ελέγχου εάν το hit πραγματοποιήθηκε σε κάποιο αντικείμενο με Tag (χαρακτηρισμό) "Button" σε αυτή την περίπτωση δεν λαμβάνεται υπόψη ως υπόδειξη θέσης. Στην περίπτωση hit σε κάποιο άλλο object χρησιμοποιώντας τον AR Raycast Manager λαμβάνεται η πληροφορία για την θέση και τον προσανατολισμό του. Αποδίδοντας τα στοιχεία αυτά στο αντικείμενο πραγματοποιείται η υπέρθεσή του στην σκηνή. Για την επιλογή αντικειμένου αξιοποιείται η αντίστοιχη συνάρτηση με όρισμα το ίδιο το αντικείμενο, ενώ ο χαρακτηρισμός της συνάρτησης ως public, επιτρέπει τον προσδιορισμό του μέσα από το γραφικό περιβάλλον του Unity.



Εικόνα 4-7: Το button που δημιουργήθηκε για την υπέρθεση του αγγείου.

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται το παράδειγμα του button που δημιουργήθηκε για την τοποθέτηση του αγγείου. Εμφανίζονται τα γραφικά χαρακτηριστικά του, αλλά και οι ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά την επιλογή του από τον χρήστη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εκτελείται η συνάρτηση SetPrefabType από το τμήμα κώδικα που δημιουργήθηκε (ARTapToPlaceObject). Ο κώδικας ARTapToPlaceObject αποτελεί συστατικό

(component) του αντικειμένου ARCursor (κέρσορας) που δημιουργήθηκε. Αυτό επιλέχθηκε καθώς μεταξύ άλλων προσδιορίζει την λειτουργία του ίδιου του αντικειμένου (ARCursor).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια τμήματα του κώδικα που συντάχθηκε και αφορά στην κλάση ARTapToPlaceObject. Κάθε αρχείο κώδικα C# ξεκινά με τον προσδιορισμό των απαιτούμενων βιβλιοθηκών και τον χρησιμοποιούμενων μεταβλητών. Ιδιαίτερα όσον αφορά σε scripts που χρησιμοποιούνται στο Unity για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, κάθε λειτουργία που παρέχεται αντιστοιχεί και στην αντίστοιχη βιβλιοθήκη. Για παράδειγμα με χρήση των UnityEngine.XR.ARFoundation και UnityEngine.XR.ARSubsystems είναι δυνατή η αλληλεπίδραση με στοιχεία και συναρτήσεις που αφορούν τα πακέτα AR Foundation και AR Subsystems. Με κλήση των κατάλληλων βιβλιοθηκών του Unity, π.χ. UnityEngine, είναι δυνατή η διαχείριση των αντικειμένων ως μεταβλητές στο πλαίσιο του κώδικα, ως τύπος GameObject.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.XR.ARFoundation;
using UnityEngine.XR.ARSubsystems;
using System;
using UnityEngine.EventSystems;

public class ARTapToPlaceObject : MonoBehaviour
{
    // code
}
```

Εισαγωγή των απαραίτητων βιβλιοθηκών και δήλωση της κλάσης ARTapToPlaceObject.

Κάθε κλάση στο Unity αποτελείται από δύο συναρτήσεις ή αλλιώς μεθόδους (void). Η πρώτη αφορά στις ενέργειες που εκτελούνται κατά την εκκίνηση της εφαρμογής (void Start()) και η δεύτερη στα ενέργειες που πραγματοποιούνται σε κάθε ανανέωση του συστήματος, δηλαδή σε κάθε frame (Update()).

Κατά την έναρξη της εφαρμογής στον χρήστη εμφανίζεται ο βοηθητικός κέρσορας, ο οποίος υποδεικνύει το σημείο που βρίσκεται στο κέντρο της σκηνής και αποτελεί οπτικοποίηση του σημείου όπου θα τοποθετηθεί το αντικείμενο. Πρακτικά, αυτό πραγματοποιείται με την ενεργοποίηση του GameObject που αναφέρεται στον κέρσορα κατά την εκκίνηση της εφαρμογής (μέθοδος Start()).

```
void Start ()
{
    cursorChildObject.SetActive (useCursor);
}
```

Προσδιορισμός της μεθόδου Start().

Το σύνολο των λειτουργιών που αφορούν στην αλληλεπίδραση του χρήστη με την επαυξημένη σκηνή περιλαμβάνεται στη μέθοδο Update(). Η πρώτη λειτουργία που πρέπει να πραγματοποιηθεί είναι η συνεχής ανανέωση της θέσης του κέρσορα στην σκηνή. Η θέση προσδιορίζεται με χρήση της μεθόδου Raycast. Αρχικά δηλώνεται η αφετηρία της ακτίνας στην οθόνη, ως δυσδιάστατο διάνυσμα (Vector2), ενώ στη συνέχεια δημιουργείται μια λίστα, η οποία περιέχει τα στοιχεία όλων των σημείων τομής της ακτίνας με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου (trackables) που εντοπίζονται. Τα παραπάνω αποτελούν τα ορίσματα της μεθόδου Raycast, ενώ είναι δυνατή και η επιλογή του είδους των trackables για τα οποία θα καταγράφονται hits. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η λίστα των hits από την οποία είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού ενός αντικειμένου (pose). Επιλέγοντας κάποιο από τα hits είναι δυνατή η λήψη πληροφορίας για το pose που το περιγράφει (pose.position, pose.rotation). Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη μέθοδο transform, πραγματοποιείται η υπέρθεση του αντικειμένου στην σκηνή.

```
void UpdateCursor ()
{
    Vector2 screenPosition = Camera.main.ViewportToScreenPoint(new Vector2(0.5f, 0.5f));
    List<ARRaycastHit> hits = new List<ARRaycastHit>();
    raycastManager.Raycast(screenPosition, hits,
        UnityEngine.XR.ARSubsystems.TrackableType.Planes);

    if (hits.Count > 0)
    {
        transform.position = hits[0].pose.position;
        transform.rotation = hits[0].pose.rotation;
    }
}
```

Η τοποθέτηση του αντικειμένου πραγματοποιείται αξιοποιώντας την ίδια μέθοδο με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε για την εμφάνιση του κέρσορα στην επαυξημένη σκηνή. Η μόνη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το εικονικό αντικείμενο δεν εμφανίζεται στην επαυξημένη σκηνή αυτόματα, όπως ο κέρσορας, αλλά μόνο εάν υπάρξει υπόδειξη από τον χρήστη. Συνεπώς είναι απαραίτητο ο κώδικας να «δέχεται» ως είσοδο (Input) τη θέση που υποδεικνύεται και με βάση αυτή να χρησιμοποιείται η μέθοδος Raycast.

Αρχικά ελέγχεται εάν υποδεικνύονται σημεία από τον χρήστη τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υπέρθεση του αντικειμένου, εάν δηλαδή έχει εντοπισθεί σε αυτά κάποιο GameObject. Στη συνέχεια διασφαλίζεται ότι μόνο εφόσον το GameObject που έχει εντοπισθεί δεν έχει χαρακτηρισμό "Button", το input θα θεωρηθεί ως υπόδειξη τοποθέτησης του αντικειμένου.

Η επιλογή του αντικειμένου που θα τοποθετηθεί πραγματοποιείται μέσω τριών διαφορετικών buttons που δημιουργήθηκαν, με το άγγιγμά τους στην οθόνη. Αν δεν εξετασθεί το GameObject που αφορά το input touch είναι δυνατόν ένα άγγιγμα για επιλογή του αντικειμένου να θεωρηθεί από το σύστημα ως υπόδειξη της θέσης.

```
if (EventSystem.current.IsPointerOverGameObject())
{
    PointerEventData pointerData = new PointerEventData(EventSystem.current)
    {
        pointerId = -1,
    };

    pointerData.position = Input.GetTouch(0).position;

    List<RaycastResult> results = new List<RaycastResult>();
    EventSystem.current.RaycastAll(pointerData, results);

    if (results.Count > 0)
    {
        for (int i = 0; i < results.Count; ++i)
        {
            if (results[i].gameObject.CompareTag("Button"))
                isOverTaggedElement = true;
        }
    }
}
```

---

Στη συνέχεια εφόσον πρόκειται για έγκυρη είσοδο από τον χρήστη, πραγματοποιείται υπέρθεση του αντικειμένου.

```
if (Input.touchCount > 0 && Input.GetTouch(0).phase == TouchPhase.Began && placedPrefabCount < maxPrefabSpawnCount)
{
    List<ARRaycastHit> hits = new List<ARRaycastHit>();
    raycastManager.Raycast(Input.GetTouch(0).position, hits, UnityEngine.XR.ARSubsystems.TrackableType.Planes);
    if (hits.Count > 0 && isOverTaggedElement == false)
    {
        spawnedObject = GameObject.Instantiate(objectToPlace, transform.position, transform.rotation);
        placedPrefabList.Add(spawnedObject);
        placedPrefabCount++;
    }
}
```

---

Η σύνδεση του αντικειμένου που επιλέχθηκε μέσω του button με την μεταβλητή που αναφέρεται σε αυτό στον κώδικα πραγματοποιείται με τη δημιουργία μιας μεθόδου (SetPrefabType). Η χρήση της μεθόδου ως χαρακτηριστικό (component) κάθε button, δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού των GameObjects προς υπέρθεση μέσω του γραφικού περιβάλλοντος του Unity. Στη συνέχεια η συνάρτηση δέχεται ως όρισμα το αντικείμενο που επιλέχθηκε και το αναθέτει στην αντίστοιχη μεταβλητή του κώδικα.

```
public void SetPrefabType(GameObject prefabType)
{
    objectToPlace = prefabType;
}
```

---



Τέλος, δημιουργήθηκε συνάρτηση για την προβολή χαρακτηριστικών που αφορούν στα χαρακτηριστικά σημεία ου εντοπίζονται κατά τη διαδικασία του tracking. Η συνάρτηση αυτή εμφανίζει τα στοιχεία αυτά ως στοιχείο Text του Canvas.

```
if (!_pointCloud.positions.HasValue ||
    !_pointCloud.identifiers.HasValue ||
    !_pointCloud.confidenceValues.HasValue)
    return;

var positions = _pointCloud.positions.Value;
var identifiers = _pointCloud.identifiers.Value;
var confidence = _pointCloud.confidenceValues.Value;

if (positions.Length == 0) return;

var logText = "Number of points: " + positions.Length + "\nPoint info: x = "
    + positions[0].x + ", y = " + positions[0].y + ", z = " + positions[0].z
    + ",\n Identifier = " + identifiers[0] + ", Confidence = " + confidence[0];
```

---

## 4.6. Παρουσίαση εφαρμογής: Image Detection

Η δυνατότητα tracking 2D εικόνων παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας anchors στον πραγματικό κόσμο. Το εν λόγω σύστημα στο ARCore καλείται Augmented Images. Στο πλαίσιο του συστήματος απαιτείται η δημιουργία και χρήση κατάλληλων εικόνων, ως αναφορά, οι οποίες στη συνέχεια τοποθετούνται στον πραγματικό κόσμο. Το AR Foundation έχει την ικανότητα να διακρίνει τις εικόνες αυτές στην σκηνή και να παρακολουθεί την τοποθεσία τους σε αυτή. Η δυνατότητα 2D image tracking μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπου απαιτείται η αναγνώριση αντικειμένων του πραγματικού κόσμου, η υπέρθεση πληροφοριών σε αυτά. Ακόμα, μπορεί να συμβάλλει σε εφαρμογές πλοήγησης σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους. Ένα βασικό χαρακτηριστικό το οποίο την καθιστά δημοφιλή είναι η ταχύτητα του συστήματος στον εντοπισμό εικόνων σε σχέση για παράδειγμα με τον εντοπισμό επιπέδων.

Φυσικά η ποιότητα της διαδικασίας του εντοπισμού και παρακολούθησης εξαρτάται από το είδος και τα χαρακτηριστικά των εικόνων. Σύμφωνα με την επίσημη περιγραφή της λειτουργίας Augmented Images του ARCore οι εικόνες πρέπει να είναι στατικές και επίπεδες, με ελάχιστες διαστάσεις 15cm x 15cm στον πραγματικό κόσμο, ενώ για να είναι δυνατός ο εντοπισμός τους απαιτείται να καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 25% κάθε λήψης της σκηνής (frame). Η λειτουργία επιτρέπει τη χρήση έως και 1000 διαφορετικών εικόνων ως αναφορά, οι οποίες περιέχονται στην αντίστοιχη βάση δεδομένων στην συσκευή. Είναι δυνατή η χρήση πολλαπλών βάσεων, αλλά μόνο μία είναι δυνατόν να είναι ενεργοποιημένη κατά τη λειτουργία της εφαρμογής. Από τις εικόνες αυτές, είναι δυνατή η ταυτόχρονη

παρακολούθηση έως 20 εικόνων, ενώ εικόνες αναφοράς μπορούν να εισάγονται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής. Η αποθήκευση των εικόνων δεν αφορά στα αρχικά αρχεία, αλλά σε μετα-δεδομένα που περιγράφουν αυτά.

Για να είναι δυνατός ο εντοπισμός των εικόνων μέσα από μία συσκευή κινητού τηλεφώνου απαιτείται αυτές να είναι εύκολα ορατές αλλά και να διακρίνονται από το περιβάλλον. Επιπλέον, απαιτείται η χρήση εικόνων υψηλής αντίθεσης με πλήθος χαρακτηριστικών που μπορούν να αξιοποιηθούν ως feature points, χωρίς επαναλαμβανόμενα μοτίβα που μπορούν να οδηγήσουν σε λάθος συνταύτιση χαρακτηριστικών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το χρώμα δεν επιδρά στην ποιότητα του εντοπισμού, καθώς στο πλαίσιο του συστήματος οι εικόνες μετατρέπονται σε grayscale.

Το ARCore διαθέτει το εργαλείο `arcoreimg`, για την εκτίμηση της ποιότητας των εικόνων στο πλαίσιο μιας εφαρμογής `image tracking`. Η εκτίμηση της ποιότητας μιας εικόνας πραγματοποιείται σε μία κλίμακα 0 – 100, όπου με 100 περιγράφεται η ποιότητα μιας ιδανικής εικόνας. Οι εικόνες που παρουσιάζονται στη συνέχεια αποτελούν δύο παραδείγματα αξιολόγησης εικόνων με το εργαλείο `arcoreimg` (Εικόνα 4-8 και 4-9).



Εικόνα 4-8: Παράδειγμα εικόνας με ελάχιστη βαθμολογία στο `arcoreimg`

Πηγή:

<https://developers.google.com/ar/develop/augmented-images>



Εικόνα 4-9: Παράδειγμα εικόνας με μέγιστη βαθμολογία στο `arcoreimg`

Πηγή:

<https://developers.google.com/ar/develop/augmented-images>

Η πρώτη εικόνα (Εικόνα 4-8) αφορά ένα αντικείμενο με πλήθος επαναλαμβανόμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Η χρήση μιας τέτοιας εικόνας είναι πολύ πιθανό να οδηγήσει σε λάθος εντοπισμό ομόλογων σημείων σε διαδοχικά frames και συνεπώς λάθος προσδιορισμού της θέσης και του προσανατολισμού του εικονικού αντικειμένου. Για το λόγο αυτό αποτελεί παράδειγμα χαμηλής βαθμολογίας στο `arcoreimg`. Αντίθετα η δεύτερη εικόνα (Εικόνα 4-9) διαθέτει πλήθος διακριτών χαρακτηριστικών, γεγονός που την καθιστά ιδανική για εφαρμογές `image detection`.

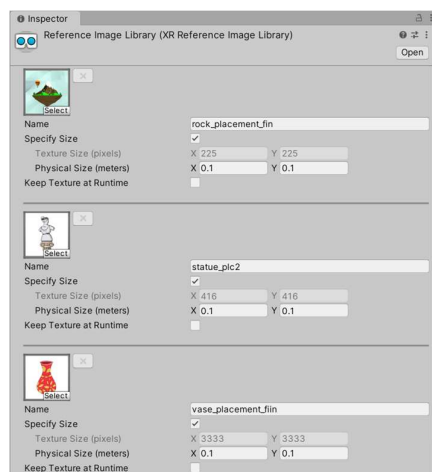
Στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής πραγματοποιείται ο εντοπισμός τριών διαφορετικών εικόνων πρότυπα για τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Από τη στιγμή όπου κατά την χρήση της εφαρμογής εντοπίζεται κάποια από αυτές, το αντίστοιχο εικονικό αντικείμενο τοποθετείται στην σκηνή.



Εικόνα 4-10: Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά για τον βράχο (αριστερά), το άγαλμα (κέντρο) και το αγγείο (δεξιά)

Ο εντοπισμός 2D εικόνων πραγματοποιείται με χρήση του AR Tracked Image Manager, ο οποίος για κάθε εικόνα που εντοπίζεται δημιουργεί GameObjects. Πριν εντοπισθεί μία εικόνα απαιτείται ο προσδιορισμός της ως εικόνα αναφοράς (reference image) με την εισαγωγή της στην αντίστοιχη βιβλιοθήκη (reference image library). Δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού πολλών διαφορετικών εικόνων που αναφέρονται, όμως, στο ίδιο GameObject.

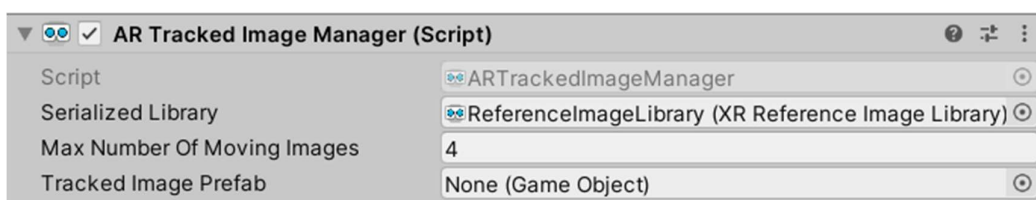
Κατά την προσθήκη μιας εικόνας στη βιβλιοθήκη Reference Image Library είναι δυνατός ο προσδιορισμός διαφορετικών ιδιοτήτων της, όπως το όνομά της αλλά και τις πραγματικές της διαστάσεις. Ακόμα μία επιλογή αφορά στην διατήρηση της υφής, το οποίο απαιτείται μόνο σε περίπτωση που η υφή θα χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία της σκηνής και όχι για το tracking. Στο πλαίσιο της εφαρμογής, λοιπόν, αρχικά δημιουργήθηκε η βιβλιοθήκη (Reference Image Library), στην οποία εισήχθησαν οι τρεις εικόνες (μία για κάθε αντικείμενο) αναφοράς.



Εικόνα 4-11: Η αντίστοιχη βιβλιοθήκη Reference Image Library της εφαρμογής

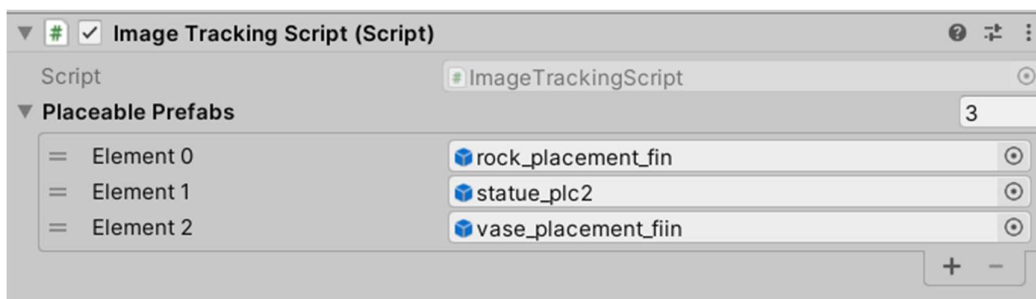
Στο AR Foundation χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά είδη βιβλιοθηκών. Η πρώτη βιβλιοθήκη που δημιουργείται είναι μία `XRRferenceImageLibrary`, η οποία παραμένει αμετάβλητη κατά τη διάρκεια της εφαρμογής. Κατά την εκτέλεση της εφαρμογής, η εν λόγω βιβλιοθήκη μετατρέπεται σε μία ειδική έκδοση εκτέλεσης, `RuntimeReferenceImageLibrary`.

Η λειτουργία `image tracking` ενεργοποιείται με την εισαγωγή του αντίστοιχου `manager` στο αντικείμενο `AR Session Origin`. Κατά τον προσδιορισμό του ως συστατικό του, απαιτείται η σύνδεσή του με την αντίστοιχη `Reference Image Library` (`XRRferenceImageLibrary`) που δημιουργήθηκε.



Εικόνα 4-12: AR Tracked Image Manager

Όπως αναφέρθηκε, στο πλαίσιο της εφαρμογής στόχος είναι η αντιστοίχιση κάθε εικόνας αναφοράς με ξεχωριστό αντικείμενο. Αυτό πραγματοποιήθηκε με δημιουργία της κατάλληλης κλάσης (`Image Tracking Script`) και τον ορισμό της ως συστατικό (`components`) του `AR Session Origin`.



Εικόνα 4-13: Συστατικό `Image Tracking` του `AR Session Origin`

Κατά την έναρξη της εφαρμογής η κλάση `Image Tracking Script` «εντοπίζει» το συστατικό `ARTrackedImageManager` (`FindObjectOfType`) και αρχικοποιεί όλα τα αντικείμενα που θα υπερτεθούν στην επαυξημένη σκηνή. Ο προσδιορισμός των αντικειμένων πραγματοποιείται μέσω μιας λίστας με τα ονόματά τους.

```

private void Awake()
{
    trackedImageManager = FindObjectOfType<ARTrackedImageManager>();

    foreach(GameObject prefab in placeablePrefabs)
    {
        GameObject newPrefab = Instantiate(prefab, Vector3.zero, Quaternion.identity);
        newPrefab.name = prefab.name;
        spawnedPrefabs.Add(prefab.name, newPrefab);
    }
}

```

---

Ο AR Tracked Image Manager παρέχει πληροφορίες για τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στις εικόνες αναφοράς, με τη μορφή event. Στο πλαίσιο της εφαρμογής, αξιοποιείται για να υποδείξει τις περιπτώσεις όπου εντοπίζεται κάποια διαφορετική εικόνα από το σύστημα. Οι αλλαγές που καταγράφονται μεταξύ διαδοχικών events αφορούν σε τρία διαφορετικά είδη:

- Added: σε περίπτωση που μία νέα εικόνα αναφοράς προστίθεται
- Updated: για τον έλεγχο της κατάστασης του tracking. Σε περίπτωση που το tracking της εικόνας διακόπτεται, το εικονικό αντικείμενο παύει να εμφανίζεται στην επαυξημένη σκηνή.
- Removed: σε περίπτωση απόκρυψης ή διαγραφής του εικονικού μοντέλου

Ο έλεγχος και η καταγραφή των παραπάνω events πραγματοποιείται με τη μέθοδο ImageChanged που δημιουργήθηκε, ενώ ταυτόχρονα ανάλογα με την εικόνα που εντοπίζεται πραγματοποιείται υπέρθεση του αντίστοιχου αντικειμένου.

```

private void ImageChanged(ARTrackedImagesChangedEventArgs eventArgs)
{
    foreach(ARTrackedImage trackedImage in eventArgs.added)
    {
        UpdateImage(trackedImage);
    }

    foreach (ARTrackedImage trackedImage in eventArgs.updated)
    {
        UpdateImage(trackedImage);
    }

    foreach (ARTrackedImage trackedImage in eventArgs.removed)
    {
        spawnedPrefabs[trackedImage.name].SetActive(false);
    }
}

```

---

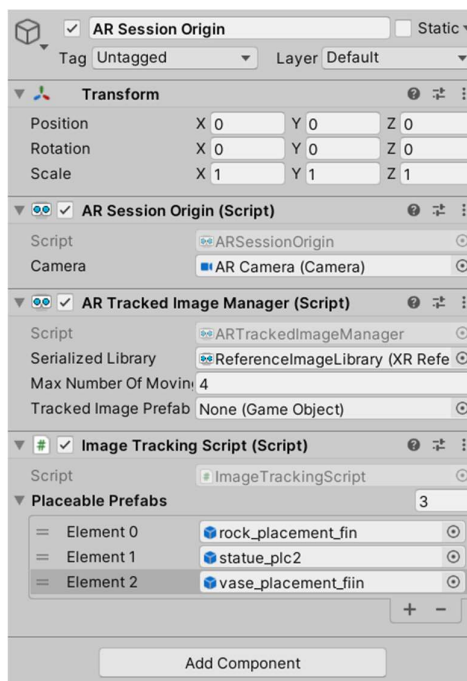
Σε κάθε αντικείμενο αποδόθηκε το ίδιο όνομα με αυτό που έχει η αντίστοιχη εικόνα αναφοράς στην βιβλιοθήκη Reference Image Library. Με αυτόν τον τρόπο, μέσω του κώδικα, για κάθε εικόνα που εντοπίζεται, αποθηκεύεται εκτός της θέσης και του προσανατολισμού

της, το όνομά της (μέθοδος UpdateImage). Στη συνέχεια, με χρήση ενός λεξικού (dictionary) εντοπίζεται το αντικείμενο με το ίδιο όνομα, στο οποίο αποδίδεται η ίδια θέση και προσανατολισμός στη σκηνή, ενώ παράλληλα αυτό χαρακτηρίζεται ως «ενεργό» (Active). Αυτό σημαίνει ότι απεικονίζεται στην σκηνή.

```
private void UpdateImage(ARTrackedImage trackedImage)
{
    string name = trackedImage.referenceImage.name;
    Vector3 position = trackedImage.transform.position;

    GameObject prefab = spawnedPrefabs[name];
    prefab.transform.position = position;
    prefab.SetActive(true);
}
```

Τα αντικείμενα στον κώδικα ορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η επιλογή τους μέσα από το γραφικό περιβάλλον του Unity.



Εικόνα 4-14: Τα τελικά στοιχεία του AR Session Origin

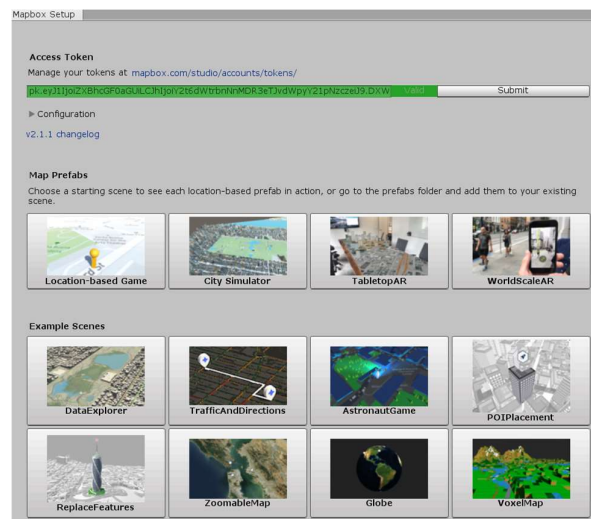
## 4.7. Παρουσίαση εφαρμογής: Location Based – GPS

Στην εν λόγω εφαρμογή στόχος είναι η υπέρθεση των αντικειμένων σε συγκεκριμένες θέσεις του πραγματικού κόσμου, οι οποίες περιγράφονται από το γεωγραφικό τους μήκος και

πλάτος. Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής, λαμβάνονται τα δεδομένα από τον δέκτη GPS και το αδρανειακό σύστημα της συσκευής, προσδιορίζοντας τη θέση και τον προσανατολισμό του χρήστη. Αξιοποιώντας ένα υπόβαθρο χάρτη, με πληροφορίες του πραγματικού κόσμου, τοποθετούνται τα σημεία ενδιαφέροντος που αφορούν στη θέση και των προσανατολισμό των εικονικών αντικειμένων.

Ένα ιδιαίτερα δημοφιλές εργαλείο ανάπτυξης εφαρμογών βασιζόμενων στην τοποθεσία του χρήστη, με το λογισμικό Unity, αποτελεί η εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού Mapbox Maps SDK. Πρόκειται για μία συλλογή εργαλείων στο πλαίσιο της ανάπτυξης εφαρμογών που βασίζονται σε δεδομένα τοποθεσίας και απευθύνονται σε κινητές και σταθερές συσκευές, καθώς και εφαρμογές ιστού. Η χρήση του ως επέκταση στις δυνατότητες του Unity επιτρέπει την πρόσβαση σε διαδικτυακές υπηρεσίες που παρέχονται από την Mapbox, όπως υπηρεσίες χαρτογράφησης (Mapping), γεω-κωδικοποίησης (Geocoding) και οδηγιών πλοήγησης (Navigation).

Για τη χρήση των υπηρεσιών απαιτείται η δημιουργία λογαριασμού και η παροχή ενός κλειδαριθμού πρόσβασης (Access Token), εντός της μηχανής ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση σε αυτές. Το Mapbox δίνει την δυνατότητα χρήσης προ-εγκατεστημένων παραδειγμάτων ως αφετηρία για την ανάπτυξη location-based εφαρμογών.

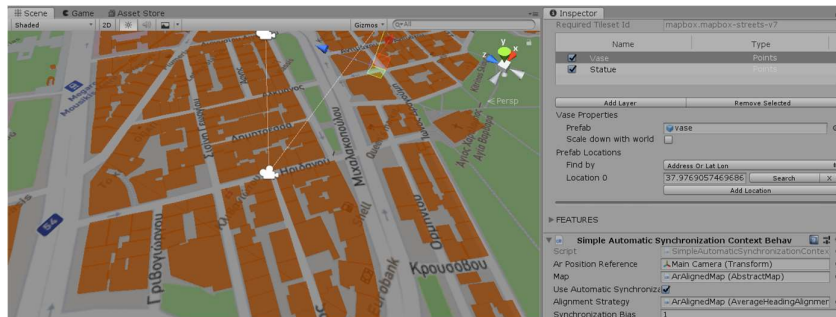


Εικόνα 4-15: Η οθόνη ενεργοποίησης του Mapbox με τα προσφερόμενα υποδείγματα εφαρμογών

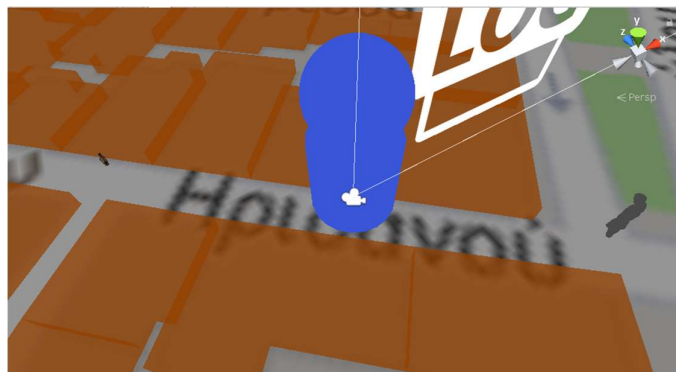
Μέσω των υπηρεσιών του Mapbox, οι δημιουργοί εφαρμογών έχουν πρόσβαση σε πλήθος διανυσματικών (vector) και κανονικοποιημένων (raster) χαρτογραφικών δεδομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, παρέχεται η δυνατότητα χρήσης υποβάθρων διανυσματικών χαρτών (World Vector Map), δορυφορικών χαρτών (Cloudless Satellite Base

Map), ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Global Digital Elevation Model), κ.ά., και η εισαγωγή σε αυτά πρόσθετων δεδομένων από τον χρήστη.

Η διαδικασία δημιουργία μιας εφαρμογής AR με χρήση του Mapbox αφορά αρχικά στον ορισμό του χάρτη που θα αξιοποιηθεί ως υπόβαθρο για την εφαρμογή (AR Aligned Map). Αυτό πραγματοποιείται με τον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους και πλάτους της περιοχής που αφορά στα σημεία ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια τοποθετούνται στον χάρτη τα σημεία ενδιαφέροντος (Points of interest – POIs). Πρόκειται για τις θέσεις των εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο και περιγράφονται επίσης από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Σε κάθε POI αντιστοιχεί το εικονικό αντικείμενο που θα υπερτεθεί στο πλαίσιο της εφαρμογής στις συντεταγμένες που περιγράφουν το σημείο.



Εικόνα 4-16: Προσδιορισμός του υποβάθρου του χάρτη και εισαγωγή αντικειμένων



Εικόνα 4-17: Η θέση και ο προσανατολισμός των αντικειμένων στην σκηνή του Unity

Βασική διαδικασία της δημιουργίας μίας εφαρμογής location-based AR με το Mapbox αποτελεί η στίχιση του χάρτη που λειτουργεί ως υπόβαθρο και αντιπροσωπεύει τον πραγματικό κόσμο με τον τρόπο που «αντιλαμβάνεται» η συσκευή τη θέση της σε αυτόν. Οι σύγχρονες συσκευές κινητών τηλεφώνων διαθέτουν πλήθος αισθητήρων ικανών να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας. Η ύπαρξη αδρανειακών συστημάτων και δεκτών GPS σε συσκευές κινητών τηλεφώνων θεωρητικά εξασφαλίζει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη δημιουργία επαυξημένων σκηνών με



χρήση της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής στον χώρο. Στην πραγματικότητα, όμως, υπάρχουν ακόμα σημαντικοί περιορισμοί, εξαιτίας κυρίως της ακρίβειας των μετρήσεων που προέρχονται από τους αισθητήρες αυτούς. Τόσο ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης όσο και της θέσης της συσκευής με χρήση μόνο των αισθητήρων που διαθέτει παρουσιάζουν αποκλίσεις, οι οποίες στο πλαίσιο μιας εφαρμογής AR είναι σημαντικές. Στο πλαίσιο του Marbox, οι αποκλίσεις αυτές υπολογίζονται και λαμβάνονται υπόψη κατά την τοποθέτηση του εικονικού αντικειμένου στην επαυξημένη σκηνή.

#### 4.8. Παρουσίαση εφαρμογής: CNN object detection

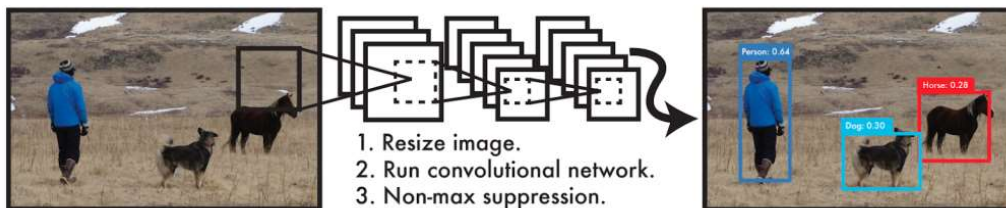
Στην τελευταία εφαρμογή ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού του αντικειμένου στην επαυξημένη σκηνή πραγματοποιείται αξιοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης, και πιο συγκεκριμένα μέσω του εντοπισμού αντικειμένων. Για την αναγνώριση των διαφορετικών αντικειμένων στις εικόνες που λαμβάνονται από την κάμερα της συσκευής αξιοποιείται το νευρωνικό δίκτυο Tiny YOLOv3. Στη συνέχεια ελέγχεται η συνθήκη εάν το αντικείμενο που εντοπίστηκε ανήκει σε συγκεκριμένη κλάση (για παράδειγμα car) και στην περίπτωση που η συνθήκη ικανοποιείται το εικονικό αντικείμενο τοποθετείται στη θέση του αντικειμένου που εντοπίστηκε.

Ο αλγόριθμος εντοπισμού YOLO (You Only Look Once) αποτελεί έναν από τους πιο εξελιγμένους αλγορίθμους στο πεδίο του εντοπισμού αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο (real-time object detection), καθώς έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης πολλαπλών διαφορετικών αντικειμένων σε κάθε στιγμιότυπο (frame) ενός βίντεο. Δημιουργήθηκε από τον Joseph Redmon το 2015, ενώ μέχρι σήμερα υπάρχουν νεότερες εκδόσεις, όπως YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4 και YOLOv5.

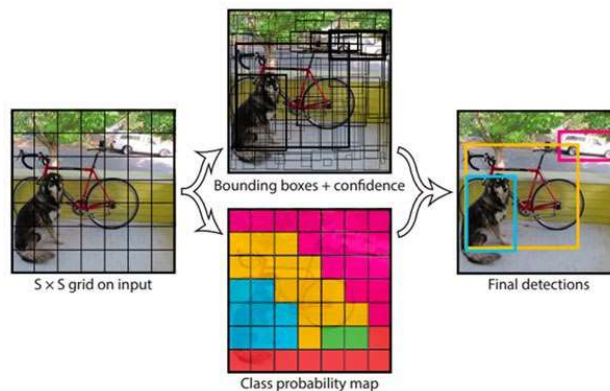
Σε σύγκριση με άλλα συστήματα εντοπισμού, ο αλγόριθμος YOLO, χρησιμοποιεί μία διαφορετική προσέγγιση, αξιοποιώντας ένα νευρωνικό δίκτυο για το σύνολο της εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι η πρόβλεψη στο σύνολο κάθε εισαγόμενης εικόνας πραγματοποιείται μέσα σε ένα κύκλο του αλγορίθμου στο τέλος του οποίου πραγματοποιείται πρόβλεψη για την πιθανότητα ύπαρξης διαφορετικών αντικειμένων στην εικόνα αυτή σε συνδυασμό με τη θέση τους. Η θέση κάθε αντικειμένου προσδιορίζεται με τη μορφή ενός περιμετρικού πλαισίου (bounding box) που το περιέχει.

Η δυνατότητα του αλγορίθμου για εντοπισμό αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, με υψηλή ακρίβεια σε συνδυασμό με τις εξαιρετικές μαθησιακές δυνατότητες που τον χαρακτηρίζουν αποτελούν στοιχεία που καθιστούν τον εν λόγω αλγόριθμο ιδιαίτερα δημοφιλή σε εφαρμογές object detection.

Ο αλγόριθμος διαχωρίζει την εισαγόμενη εικόνα σε έναν πλέγμα διαστάσεων  $S \times S$ , σε κάθε κελί του οποίου (cell grid) πραγματοποιείται πρόβλεψη για το αντικείμενο που βρίσκεται στο κέντρο του (residual blocks). Τελικά, για κάθε κελί προκύπτει ένας αριθμός  $B$  ορθογώνιων παραλληλόγραμμων, τα οποία περικλείουν κάθε ξεχωριστό αντικείμενο που εντοπίστηκε (bounding box) και το επίπεδο βεβαιότητας για κάθε ένα από αυτά, δηλαδή η ακρίβεια προσδιορισμού του είδους και της θέσης του αντικειμένου αυτού.



Εικόνα 4-18: Η διαδικασία που ακολουθεί ο αλγόριθμος YOLO, Redmon et al., 2015



Εικόνα 4-19: Η ακρίβεια προσδιορισμού αντικειμένων, Redmon et al., 2015

Κάθε περιμετρικό πλαίσιο (bounding box) χαρακτηρίζεται από το πλάτος, το ύψος, το κέντρο του καθώς και την κατηγορία στην οποία ανήκει το αντικείμενο που περιέχεται σε αυτό.

Η αξιοποίηση νευρωνικών δικτύων (CNNs) στο πλαίσιο μιας εφαρμογής που δημιουργείται στο Unity, είναι εφικτή μέσω της βιβλιοθήκης Barracuda. Η διαδικασία που αφορά στη χρήση της βιβλιοθήκης περιλαμβάνει τα εξής:

- Εισαγωγή του μοντέλου στο Unity project: Η βιβλιοθήκη αφορά στην εισαγωγή και χρήση ήδη εκπαιδευμένων μοντέλων, τα οποία εισάγονται σε μορφή ONNX (Open

Neural Network Exchange). Η εν λόγω μορφή επιτρέπει την χρήση νευρωνικών δικτύων που έχουν δημιουργηθεί, εκπαιδευθεί και αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικά εργαλεία (frameworks), όπως PyTorch, TensorFlow και Keras.

- Φόρτωση μοντέλου ως Asset: Με την εισαγωγή του στο project, το αρχείο ONNX αναγνωρίζεται ως Asset είδους NNModel. Στη συνέχεια, δημιουργώντας το κατάλληλο script είναι δυνατή η φόρτωση του μοντέλου για την περαιτέρω αξιοποίησή του.
- Δημιουργία worker: Η μετατροπή του μοντέλου σε μία σειρά από εκτελέσιμες διαδικασίες, από τον επεξεργαστή (CPU) ή την κάρτα γραφικών (GPU) της συσκευής πραγματοποιείται μέσω κάποιου worker.
- Αξιοποίηση του μοντέλου: Τα δεδομένα εισόδου στο πλαίσιο μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας αφορούν σε εικόνες που λαμβάνονται από την κάμερα της συσκευής. Οι εικόνες αυτές μετατρέπονται στην κατάλληλη μορφή, όσον αφορά τις διαστάσεις των δεδομένων που δέχεται το μοντέλο (resize, crop, κ.τ.λ.), αλλά και το είδος τους ως μεταβλητές στο πλαίσιο του κώδικα (Tensors). Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά τροφοδοτούνται στο μοντέλο.
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων: Αξιοποιώντας τα δεδομένα που εισάγονται το μοντέλο πραγματοποιεί τις αντίστοιχες προβλέψεις. Στην περίπτωση μιας εφαρμογής object detection, προσδιορίζει τη θέση και τις διαστάσεις ενός bounding box και το είδος του αντικειμένου που αυτό περικλείει.

Πιο αναλυτικά όσον αφορά στην υλοποίηση της εφαρμογής οι ενέργειες που ακολουθήθηκαν μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά στην εκπαίδευση του δικτύου και την αξιολόγηση των επιδόσεών του, ενώ η δεύτερη αφορά στην αξιοποίησή του στο πλαίσιο μιας εφαρμογής AR. Στο πλαίσιο της εφαρμογής επιλέχθηκε η χρήση του αλγορίθμου Tiny – YOLO v3, μιας παραλλαγής του YOLOv3, η οποία είναι μικρότερη σε μέγεθος, διαθέτει λιγότερες παραμέτρους, απλούστερη αρχιτεκτονική και συνεπώς η απαίτηση σε υπολογιστική ισχύ και μνήμη είναι μικρότερη.

Στο πλαίσιο της εν λόγω εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένας ήδη εκπαιδευμένος αλγόριθμος TINY\_Yolo v3, στο σύνολο δεδομένων COCO. Το COCO είναι ένα σύνολο εικόνων μεγάλης κλίμακας που παρέχεται για την εκπαίδευση και αξιολόγηση αλγορίθμων ταξινόμησης, εντοπισμού αντικειμένων, κ.ά. Περιλαμβάνει περισσότερες από 200000 εικόνες με τις αντίστοιχες κλάσεις τους, για περισσότερες από 80 κατηγορίες αντικειμένων. (<https://cocodataset.org/#home>).

Εφόσον το επίπεδο αξιοπιστίας του αλγορίθμου κρίθηκε ικανοποιητικό, το δίκτυο μαζί με τα αντίστοιχα βάρη εξήχθησαν σε μορφή ONNX ώστε να αποτελέσουν μέρος του Unity project.

Η δομή της εφαρμογής είναι δυνατό να διακριθεί στα αντικείμενα που αφορούν στην λειτουργία του δικτύου και σε αυτά που αφορούν στην επαυξημένη σκηνή. Η εισαγωγή της δυνατότητας ανίχνευσης αντικειμένων στην εφαρμογή πραγματοποιείται με χρήση κώδικα, ο οποίος αφορά το σύνολο των ενεργειών ώστε να προσδιορισθούν οι τελικές θέσεις των αντικειμένων που ανιχνεύθηκαν στην σκηνή. Στο εν λόγω script ορίζονται το δίκτυο, το αρχείο των κλάσεων και ο αριθμός τους, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, καθώς και το επίπεδο εμπιστοσύνης για τον τελικό προσδιορισμού κάθε bounding box.

Με την είσοδο των παραπάνω ως μεταβλητές, ακολουθεί το τμήμα επεξεργασίας των εισαγόμενων εικόνων από την κάμερα ώστε να μπορούν να τροφοδοτηθούν στο δίκτυο. Η επεξεργασία αφορά καταρχήν την μετατροπή τους σε μεταβλητές Tensor, ενώ στη συνέχεια προσαρμόζονται οι διαστάσεις τους και κανονικοποιούνται οι τιμές κάθε pixel.

```
public static Tensor TransformInput(Color32[] pic, int width, int height)
{
    float[] floatValues = new float[width * height * 3];

    for (int i = 0; i < pic.Length; ++i)
    {
        var color = pic[i];

        floatValues[i * 3 + 0] = (color.r - IMAGE_MEAN) / IMAGE_STD;
        floatValues[i * 3 + 1] = (color.g - IMAGE_MEAN) / IMAGE_STD;
        floatValues[i * 3 + 2] = (color.b - IMAGE_MEAN) / IMAGE_STD;
    }

    return new Tensor(1, height, width, 3, floatValues);
}
```

Για κάθε bounding box που εντοπίζεται ελέγχεται εάν το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι υψηλότερο από αυτό που ορίσθηκε, σε αντίθετη περίπτωση το εν λόγω bounding box δεν λαμβάνεται υπόψη. Στη συνέχεια υπολογίζονται η θέση και οι διαστάσεις κάθε έγκυρου περιγράμματος και αποθηκεύονται σε μία λίστα μαζί με το επίπεδο εμπιστοσύνης και την κατηγορία στην οποία αναφέρονται.

```
boxes.Add(new BoundingBox
{
    Dimensions = new BoundingBoxDimensions
    {
        X = (mappedBoundingBox.X - mappedBoundingBox.Width / 2),
        Y = (mappedBoundingBox.Y - mappedBoundingBox.Height / 2),
        Width = mappedBoundingBox.Width,
        Height = mappedBoundingBox.Height,
    },
    Confidence = topScore,
    Label = labels[topResultIndex],
    Used = false
});
```

Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την συγχώνευση περιγραμμάτων που αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο (Intersection Over Union) και την αφαίρεση όσων χρησιμοποιούνται ήδη.

```
private float IntersectionOverUnion(Rect boundingBoxA, Rect boundingBoxB)
{
    var areaA = boundingBoxA.width * boundingBoxA.height;

    if (areaA <= 0)
        return 0;

    var areaB = boundingBoxB.width * boundingBoxB.height;

    if (areaB <= 0)
        return 0;

    var minX = Math.Max(boundingBoxA.xMin, boundingBoxB.xMin);
    var minY = Math.Max(boundingBoxA.yMin, boundingBoxB.yMin);
    var maxX = Math.Min(boundingBoxA.xMax, boundingBoxB.xMax);
    var maxY = Math.Min(boundingBoxA.yMax, boundingBoxB.yMax);

    var intersectionArea = Math.Max(maxY - minY, 0) * Math.Max(maxX - minX, 0);

    return intersectionArea / (areaA + areaB - intersectionArea);
}
```

```
private IList<BoundingBox> FilterBoundingBoxes(IList<BoundingBox> boxes, int limit, float threshold)
{
    var activeCount = boxes.Count;
    var isActiveBoxes = new bool[boxes.Count];
    for (int i = 0; i < isActiveBoxes.Length; i++)
    {
        isActiveBoxes[i] = true;
    }
    var sortedBoxes = boxes.Select((b, i) => new { Box = b, Index = i })
        .OrderByDescending(b => b.Box.Confidence).ToList();
    var results = new List<BoundingBox>();
    for (int i = 0; i < boxes.Count; i++)
    {
        if (isActiveBoxes[i])
        {
            var boxA = sortedBoxes[i].Box;
            results.Add(boxA);

            if (results.Count >= limit)
                break;

            for (var j = i + 1; j < boxes.Count; j++)
            {
                if (isActiveBoxes[j])
                {
                    var boxB = sortedBoxes[j].Box;

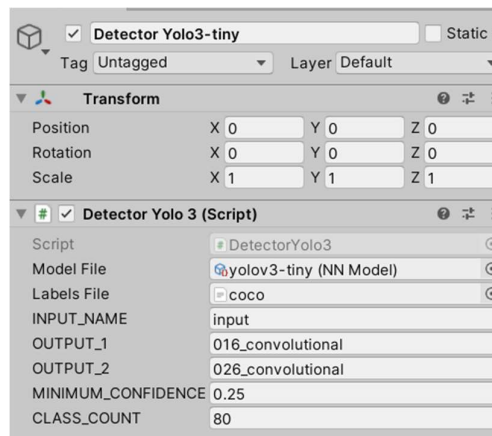
                    if (IntersectionOverUnion(boxA.Rect, boxB.Rect) > threshold)
                    {
                        isActiveBoxes[j] = false;
                        activeCount--;

                        if (activeCount <= 0)
                            break;
                    }
                }
            }

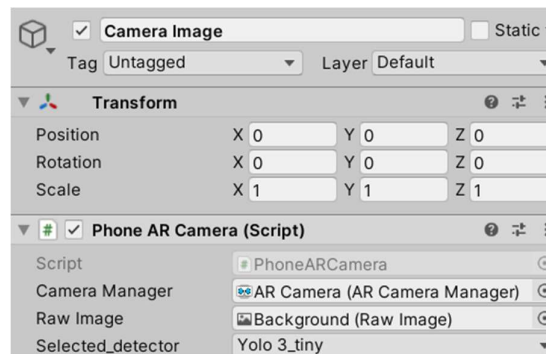
            if (activeCount <= 0)
                break;
        }
    }
    return results;
}
```

Η σύνδεση των λειτουργιών του κώδικα που παρουσιάστηκε με τα δεδομένα εισόδου (κάμερα) και εξόδου (οθόνη) της συσκευής πραγματοποιήθηκε δημιουργώντας, επίσης, τμήμα κώδικα. Η τελική τοποθέτηση των περιγραμμάτων στην οθόνη πραγματοποιείται εφόσον αυτά παραμένουν αμετάβλητα για συγκεκριμένο αριθμό frames, σε αντίθετη περίπτωση η διαδικασία προσδιορισμού τους συνεχίζεται για το εν λόγω αντικείμενο. Σε συνδυασμό με το περίγραμμα για κάθε εντοπισμένο αντικείμενο εμφανίζεται η κατηγορία και το επίπεδο εμπιστοσύνης στο προσδιορισμό του.

Μέχρι το σημείο αυτό έχουν δημιουργηθεί τα τμήματα κώδικα που αφορούν στον εντοπισμό αντικειμένων σε διαδοχικά frames της κάμερας και στην εμφάνιση των αποτελεσμάτων στην οθόνη του χρήστη. Κάθε ξεχωριστό script συνδέεται ως συστατικό με αντίστοιχο GameObject ώστε να είναι δυνατή η χρήση του στη λειτουργία άλλων αντικειμένων.



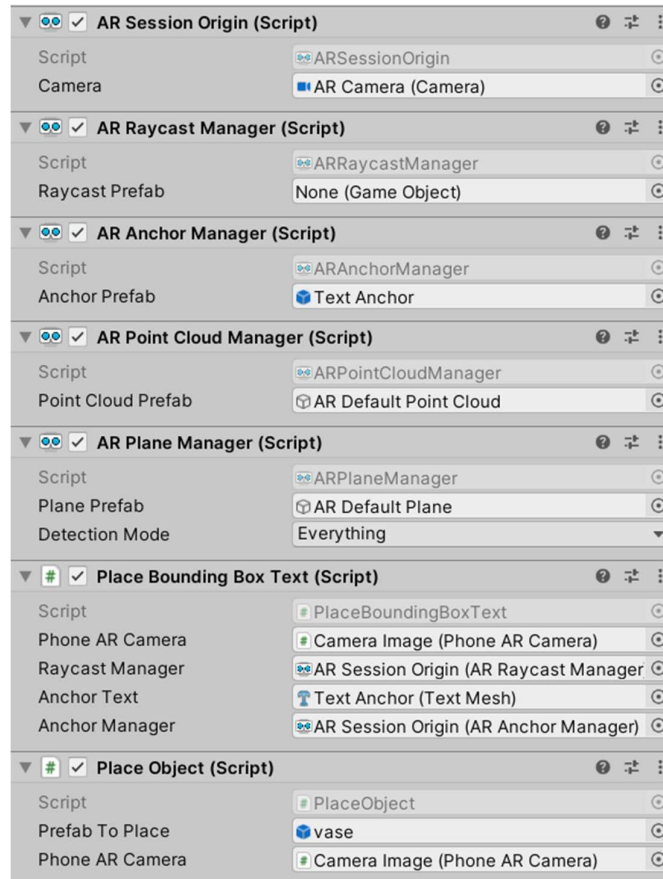
Εικόνα 4-20: Τα συστατικά του αντικειμένου που δημιουργήθηκε για το δίκτυο



Εικόνα 4-21: Το αντικείμενο διαχείρισης δεδομένων που εισάγονται στο δίκτυο και των αποτελεσμάτων που εμφανίζονται στον χρήστη

Το επόμενο τμήμα των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν αφορά στην αξιοποίηση των παραπάνω για τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Στόχος είναι για κάθε αντικείμενο του πραγματικού κόσμου που εντοπίζεται να εμφανίζεται το bounding box που το προσδιορίζει σε συνδυασμό με την κλάση στην οποία ανήκει και το βαθμό εμπιστοσύνης. Στην περίπτωση που το αντικείμενο που εντοπίστηκε ανήκει στην κατηγορία 'car' τότε στη θέση του πραγματοποιείται υπέρθεση ενός εικονικού αντικειμένου. Η θέση και ο προσανατολισμός τόσο του παραλληλόγραμμου περιγράμματος όσο και του αντικειμένου συνδέονται με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που εντοπίζεται. Παράλληλα, εφόσον τοποθετηθούν στη σκηνή η θέση και ο προσανατολισμός τους πρέπει να μένουν αμετάβλητα στο χώρο αυτής, ανεξάρτητα από την μετακίνηση του χρήστη. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η αξιοποίηση λειτουργιών του ARCore, όπως η ανίχνευση χαρακτηριστικών

σημείων και επιφανειών, σε συνδυασμό με την εισαγωγή anchors για την τοποθέτηση των εικονικών αντικειμένων που περιλαμβάνονται στην επαυξημένη σκηνή.



Εικόνα 4-22: Τα στοιχεία της επαυξημένης σκηνής (AR Session Origin Components)

Λειτουργίες που αφορούν την ανίχνευση επιπέδων και χαρακτηριστικών σημείων σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου αξιοποιούνται στο πλαίσιο scripts για τον προσδιορισμό του pose αυτών στην επαυξημένη σκηνή.

Τα εικονικά αντικείμενα που τοποθετούνται στην επαυξημένη σκηνή αφορούν στην περιγραφή του αποτελέσματος του αλγορίθμου εντοπισμού αντικειμένων (label και bounding box) και στο αντικείμενο που τοποθετείται στην περίπτωση που εντοπισθεί συγκεκριμένο στοιχείο της σκηνής. Για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα scripts.

Η τοποθέτηση της κλάσης κάθε αντικείμενου που εντοπίζεται μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο εμπιστοσύνης τοποθετείται στο κέντρο του παραλληλογράμμου που το περιέχει, χρησιμοποιώντας τη λειτουργία raycast. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζοντας το σημείο (hit) όπου η ακτίνα με αφετηρία το κέντρο ενός bounding box τέμνει το επίπεδο που εντοπίσθηκε

στην σκηνή (trackable plane) προσδιορίζεται το pose του κειμένου στην επαυξημένη σκηνή. Κάθε hit αποθηκεύεται σε μία λίστα ανάλογα με την απόστασή του από την συσκευή. Ως έγκυρο σημείο χαρακτηρίζεται το πλησιέστερο στον χρήστη, καθώς πιθανότατα αφορά στο αντικείμενο που βρίσκεται στο επίκεντρο της προσοχής του.

```
private bool Position2Anchor(float x, float y, BoundingBox outline)
{
    AnchorText.text = $"{outline.Label}: {(int)(outline.Confidence * 100)}%";
    if (m_RaycastManager.Raycast(new Vector2(x, y), s_Hits, trackableTypes))
    {
        var hit = s_Hits[0];
        var anchor = CreateAnchor(hit);
        if (anchor)
        {
            anchorDic.Add(anchor, outline);
            return true;
        }
        else
            return false;
    }
    return false;
}
```

Κατά τον προσδιορισμό του σημείου που θα αποτελέσει αφητηρία για το raycast πραγματοποιούνται συγκεκριμένοι μετασχηματισμοί, οι οποίοι οφείλονται στο ότι το κέντρο του bounding box, όπως αυτό υπολογίζεται από τον αλγόριθμο αναφέρεται σε σύστημα συντεταγμένων με αφητηρία το πάνω αριστερά εικονοστοιχείο της εικόνας. Αντίθετα, κατά τη χρήση της AR Camera στο Unity το σύστημα αναφοράς για τον προσδιορισμό της θέσης των εικονοστοιχείων έχει ως αφητηρία το κάτω αριστερά άκρο της.

```
var xMin = outline.Dimensions.X * this.scaleFactor + this.shiftX;
var width = outline.Dimensions.Width * this.scaleFactor;
var yMin = outline.Dimensions.Y * this.scaleFactor + this.shiftY;
yMin = Screen.height - yMin;
var height = outline.Dimensions.Height * this.scaleFactor;

float center_x = xMin + width / 2f;
float center_y = yMin - height / 2f;
```

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε αντικείμενο που εντοπίζεται στην σκηνή, με συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης σε κάθε frame. Κατά την τοποθέτηση κάθε label, εξετάζεται το είδος αυτού. Εφόσον, το αντικείμενο που εντοπίστηκε ανήκει στην κλάση 'car', τότε στο κέντρο του αντίστοιχου bounding box και με προσανατολισμό αντίστοιχο του trackable που περιγράφει το αντικείμενο στην πραγματική σκηνή, τοποθετείται ένα επιλεγμένο εικονικό αντικείμενο.



Η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό του pose είναι αντίστοιχη με αυτή που παρουσιάστηκε προηγουμένως με τη διαφορά ότι πραγματοποιείται μόνο σε περίπτωση όπου ικανοποιείται η συνθήκη της κλάσης (label = 'car').

```
foreach (var outline in boxSavedOutlines)
{
    label = outline.Label;
    if(label == "car" && placedObj == false)
    {
        var xmin = outline.Dimensions.X * this.scaleFactor + this.shiftX;
        var width = outline.Dimensions.Width * this.scaleFactor;
        var ymin = outline.Dimensions.Y * this.scaleFactor + this.shiftY;
        yMin = Screen.height - yMin;
        var height = outline.Dimensions.Height * this.scaleFactor;

        float center_x = xmin + width / 2f;
        float center_y = yMin - height / 2f;

        if (_raycastManager.Raycast(new Vector2(center_x, center_y), Hits, TrackableType.All))
        {
            var hitPose = Hits[0].pose;
            CreateAnchor(Hits[0]);
            placedObj = true;
        }
    }
}
```

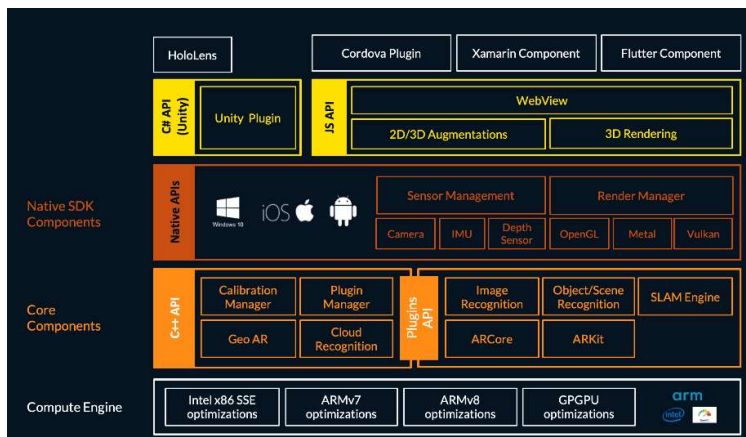
---



# 5

## Εφαρμογές Αναφοράς – Wikitude

Η αξιολόγηση των επιδόσεων των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν πραγματοποιήθηκε σε σχέση με τις αντίστοιχες εφαρμογές που παρέχονται ως πρότυπο από το πακέτο ανάπτυξης λογισμικού Wikitude. Πρόκειται για ένα αντίστοιχο πακέτο με το ARFoundation, με πλήθος δυνατοτήτων για τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας, αξιοποιώντας, κυρίως, οπτική πληροφορία για τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής (vision based augmented reality). Αποτελείται από διαφορετικά στοιχεία (components) κάθε ένα από τα οποία αναφέρεται σε συγκεκριμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE), ενώ απευθύνεται σε διαφορετικές πλατφόρμες.



Εικόνα 5-1: Στοιχεία Wikitude

Πηγή: <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/unity/gettingstartedunity.html#introduction-to-the-wikitude-sdk>

Εν συντομία, όπως παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4-2) το Wikitude περιλαμβάνει ένα σύνολο διεπαφών οι οποίες επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών AR για διαφορετικές πλατφόρμες, παρόμοια με αυτή του AR Foundation. Πυρήνα της αποτελούν οι λειτουργίες που αφορούν στην επεξεργασία και αξιοποίηση δεδομένων από τους αισθητήρες της συσκευής, κυρίως της κάμερας, για την δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Περιλαμβάνει, λειτουργίες αξιοποίησης τεχνολογιών SLAM, καθώς και ανίχνευσης εικόνων και αντικειμένων.

Η άδεια χρήσης του παρέχεται δωρεάν στο πλαίσιο δοκιμής (trial), ενώ υπάρχουν και ειδικές άδειες που αφορούν στην αξιοποίησή του στο πλαίσιο μη-εμπορικών ή εκπαιδευτικών εφαρμογών.

## 5.1. Plane and feature point detection

Η διαδικασία εντοπισμού χαρακτηριστικών σημείων και επιφανειών στο πλαίσιο του Wikitude αναφέρεται ως Instant Tracking και περιλαμβάνει αντίστοιχες λειτουργίες με αυτές του ARCore και AR Foundation (Plane και Feature Tracking). Η λειτουργία του αλγορίθμου Instant Tracking περιλαμβάνει δύο διαφορετικές καταστάσεις, τη φάση της αρχικοποίησης (Initialization) και της παρακολούθησης (Tracking).

1. **Initialization:** Αφορά στον προσδιορισμό της αφετηρίας του tracking, η επιβεβαίωση της οποίας πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη. Κατά το στάδιο αυτό παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη προσδιορισμού του ύψους της συσκευής, για τον σωστό προσδιορισμό της κλίμακας των εικονικών αντικειμένων στην σκηνή.
2. **Tracking:** Αποτελεί την φάση του Instant Tracking κατά την οποία είναι δυνατή η υπέρθεση των εικονικών αντικειμένων στην σκηνή.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η διαδικασία της δημιουργίας μιας επαυξημένης σκηνής με χρήση τεχνολογιών SLAM επηρεάζεται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου. Μέσω της διεπαφής Seamless AR Tracking (SMART), η οποία περιέχει λειτουργίες tracking (SLAM) από τα SDKs ARKit, ARCore και Wikitude, παρέχεται η δυνατότητα ενίσχυσης της διαδικασίας του tracking, με περιορισμούς όμως σε κάποιες άλλες λειτουργίες του Wikitude.

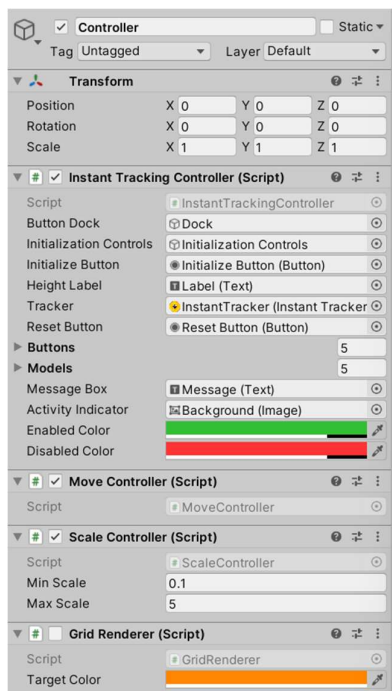
Features	SMART ON and platform assisted tracking supported	SMART OFF
Improved Tracking	✓	×
Plane Orientation	×	✓
Camera Control	×	✓
Save and Load Instant Targets	×	✓
Plane Detection	×	✓

Εικόνα 5-2: Περιορισμοί και λειτουργίες του SMART

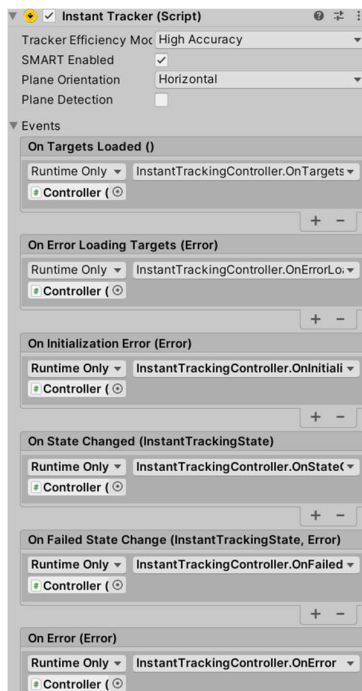
Πηγή: <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/unity/instanttrackingnative.html#instant-tracking>

Η σκηνή Instant Tracking που παρέχεται ως υπόδειγμα με το πακέτο Wikitude SDK Unity αποτελείται από τα εξής GameObjects:

- WikitudeCamera: αφορά στις ρυθμίσεις της κάμερας που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του πραγματικού κόσμου, ως τμήμα της επαυξημένης σκηνής. Μεταξύ των ιδιοτήτων που προσδιορίζονται είναι η ανάλυση της κάμερας (camera resolution) και ο ρυθμός ανανέωσης frame (camera framerate). Λόγω των απαιτήσεων του αλγορίθμου, δίνεται η δυνατότητα επιλογής χαμηλότερων επιπέδων ανάλυσης και framerate, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία των αντίστοιχων εφαρμογών και σε παλαιότερες συσκευές.
- UI: Αφορά στο γραφικό περιβάλλον που παρουσιάζεται στον χρήστη για την αλληλεπίδραση με τις λειτουργίες της εφαρμογής.
- Controller: περιέχει διάφορα scripts για τον έλεγχο της λειτουργίας της εφαρμογής και των εικονικών αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή (μετακίνηση και μεγέθυνση/σμίκρυνση).
- Ground: ένα διάφανο επίπεδο το οποίο επιτρέπει την απεικόνιση σκιών, αλλά και τη φυσική αλληλεπίδραση των εικονικών αντικειμένων με αυτό (collider)
- Instant Tracker: Πρόκειται για το αντικείμενο όπου περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες του tracking



Εικόνα 5-3: Τα συστατικά του αντικειμένου Controller

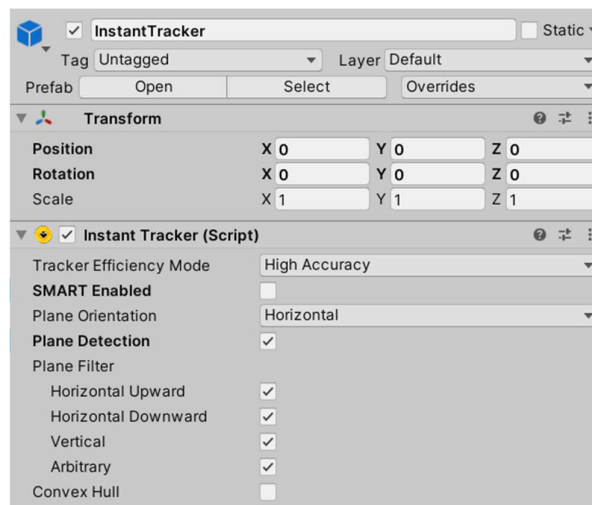


Εικόνα 5-4: Τα συστατικά του Instant Tracker

Με την ενεργοποίηση της λειτουργίας εντοπισμού επιφανειών (Plane Detection) κατά την εκτέλεση της εφαρμογής πραγματοποιείται αναζήτηση επίπεδων επιφανειών στο σύνολο των χαρακτηριστικών σημείων που εντοπίζονται στην σκηνή (point cloud). Οι επιφάνειες που εντοπίζονται μπορούν να διακριθούν ανάλογα με την κλίση τους στις εξής κατηγορίες:

- Horizontal Up: Οριζόντιες επιφάνειες πάνω στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν εικονικά αντικείμενα, όπως το έδαφος ή κάποιο τραπέζι κ.τ.λ.
- Horizontal Down: Οριζόντιες επιφάνειες από τις οποίες «κρέμονται» τα εικονικά αντικείμενα, όπως το ταβάνι.
- Vertical: Κατακόρυφες επιφάνειες, όπως οι τοίχοι.
- Arbitrary: Διάφορες άλλες επιφάνειες, όπως κεκλιμένες ράμπες, σκάλες, κ.ά.

Η ενεργοποίηση της λειτουργίας Plane Detection πραγματοποιείται με την αντίστοιχη επιλογή στα χαρακτηριστικά του αντικειμένου InstantTracker. Η εν λόγω λειτουργία δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί σε συνδυασμό με την επιλογή για ενισχυμένο tracking SMART.



Εικόνα 5-5: Ενεργοποίηση και ρυθμίσεις της λειτουργίας Plane Detection

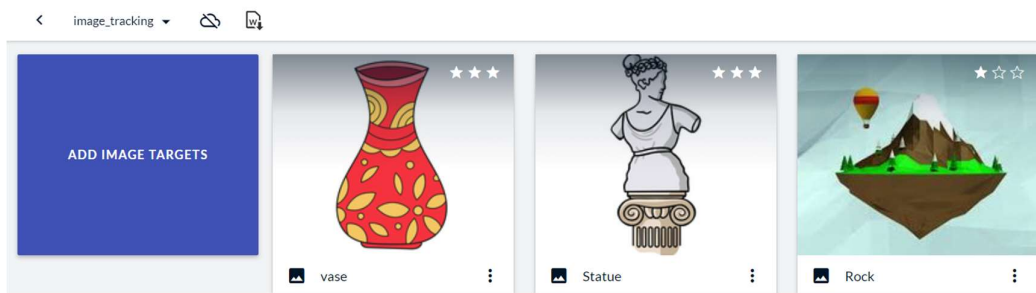
Η διαχείριση της διαδικασίας τοποθέτησης των αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή πραγματοποιείται μέσω της λειτουργίας InstantTrackerable.

## 5.2. Image Tracking

Η διαδικασία της δημιουργίας επαυξημένων σκηνών με χρήση εικόνων αναφοράς (Image Tracking) στο πλαίσιο του Wikitude αναφέρεται ως Image Recognition. Χρησιμοποιεί ένα σύνολο εικόνων αναφοράς (Target Collection) και έναν αλγόριθμο ο οποίος αναλύει τις εικόνες εισόδου από την κάμερα και εντοπίζει τις εικόνες target (Image Tracker). Υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού εικόνων από μεγαλύτερες αποστάσεις, αξιοποιώντας την υψηλή ανάλυση που προσφέρεται από την κάμερα, με τη λειτουργία Extended Recognition Range.

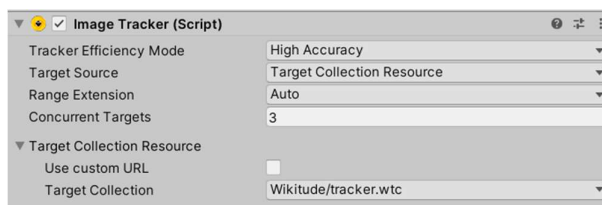
Η δημιουργία μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας με δυνατότητα image recognition του Wikitude στηρίζεται στη λειτουργία δύο GameObjects της σκηνής στο Unity, του αντικειμένου WikitudeCamera και του ImageTracker.

- Image Tracker: Αφορά στον αλγόριθμο εντοπισμού των εικόνων αναφοράς. Χρησιμοποιεί μία συλλογή με πληροφορίες που περιγράφουν τις εικόνες αυτές (Wikitude Target Collection). Κάθε αρχείο συλλογής (wtc) μπορεί να δημιουργηθεί με το Wikitude Studio, ένα δωρεάν διαδικτυακό εργαλείο που παρέχεται από το Wikitude, το οποίο επίσης αξιολογεί τις εικόνες ως εικόνες αναφοράς, ενώ προσφέρει και τη δυνατότητα επεξεργασίας τους.



Εικόνα 5-6: Η συλλογή των εικόνων στο Wikitude Studio

Ένας αλγόριθμος ImageTracker είναι δυνατό να εντοπίσει πολλαπλούς στόχους ταυτόχρονα (Concurrent Targets).



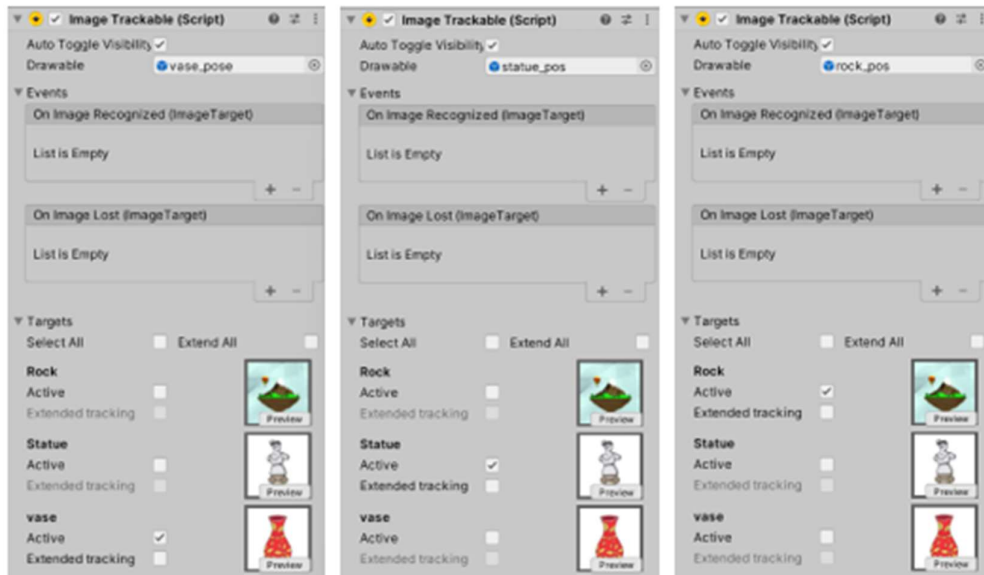
Εικόνα 5-7: Ορισμός πολλαπλών εικόνων αναφοράς στον αλγόριθμο Image Tracker

Για να ορισθούν οι κατάλληλες επαυξήσεις που αναφέρονται σε κάθε εικόνα, για κάθε ξεχωριστό αντικείμενο δημιουργείται το αντίστοιχο Trackable, ως υπο-αντικείμενο του ImageTracker.



Εικόνα 5-8: Η δομή της σκηνής (Scene Hierarchy)

Σε κάθε GameObject που αποτελεί trackable επιλέγεται η εικόνα αναφοράς (target) του και το εικονικό αντικείμενο που θα υπερτεθεί σε περίπτωση εντοπισμού του target.



Εικόνα 5-9: Αντιστοίχιση εικόνων αναφοράς και αντικειμένων

### 5.3. Location Based AR – GPS

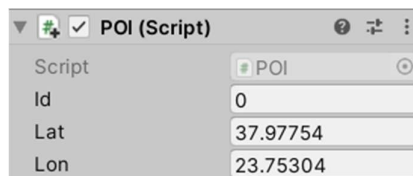
Το πακέτο ανάπτυξης λογισμικού Wikitude παρέχει ένα πλαίσιο εργαλείων για τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας αξιοποιώντας τη γεωαναφορά εικονικών αντικειμένων σε συνδυασμό με τη θέση του χρήστη, το Geo AR. Το εν λόγω εργαλείο



περιλαμβάνεται σε εκδόσεις του πακέτου που αναφέρονται σε συγκεκριμένες πλατφόρμες, για παράδειγμα εφαρμογών για iOS και Android με JavaScript. Για εφαρμογές που αναπτύσσονται με χρήση του Unity παρέχεται ως εξωτερικό πρόσθετο (external plugin), το οποίο δεν υποστηρίζεται, όμως, τεχνικά από τη Wikitude. Πρόκειται για το LBAR (Location-based AR for Unity), το οποίο ουσιαστικά επιτρέπει την υπέρθεση εικονικών αντικειμένων στην επαυξημένη σκηνή χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της θέσης τους στον πραγματικό κόσμο.

Μέσω του πακέτου προσφέρονται διαφορετικά εργαλεία για τη δημιουργία και διαχείριση των αντικειμένων της σκηνής στο Unity, με τη μορφή scripts. Αυτά αφορούν στη διαχείριση της κάμερας, των σημείων ενδιαφέροντος, και την τοποθέτηση των εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο.

Η θέση του πραγματικού αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο προσδιορίζεται από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του σημείου τοποθέτησης. Η σύνδεση κάθε σημείου με το αντίστοιχο αντικείμενο πραγματοποιείται με την αξιοποίηση του script "POI" που περιλαμβάνεται στο πακέτο LBAR, ως συστατικό κάθε εικονικού αντικειμένου που θα αποτελεί τμήμα της επαυξημένης σκηνής.



Εικόνα 5-10: Προσδιορισμός θέσης εικονικού αντικειμένου

Η διαχείριση του συνόλου των εικονικών αντικειμένων πραγματοποιείται με το script "World" ως στοιχείο του αντικειμένου POI Controller. Σε αυτό προσδιορίζονται τα αντικείμενα που θα υπερτεθούν, κάποιες παράμετροι για την εμφάνισή τους στην σκηνή, ενώ υπάρχει η επιλογή εμφάνισης ενός βοηθητικού αντικειμένου για τον προσανατολισμό του χρήστη σε σχέση με τη θέση των αντικειμένων.



Εικόνα 5-11: Παράμετροι αντικειμένου POI Controller

Για τον προσανατολισμό του χρήστη σε σχέση με την τοποθεσία του εικονικού αντικειμένου, κατά την εκτέλεση της εφαρμογής, χρησιμοποιείται ένα είδος χάρτη με τη μορφή ραντάρ. Σε αυτό παρουσιάζεται η θέση του αντικειμένου σε σχέση με τη θέση και τον προσανατολισμό του χρήστη.

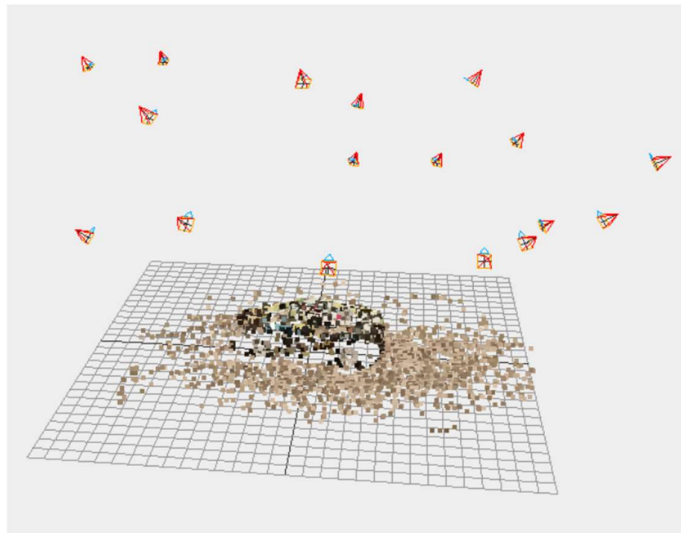


Εικόνα 5-12: Η θέση του αντικειμένου σε σχέση με τον χρήστη

## 5.4. Object Tracking

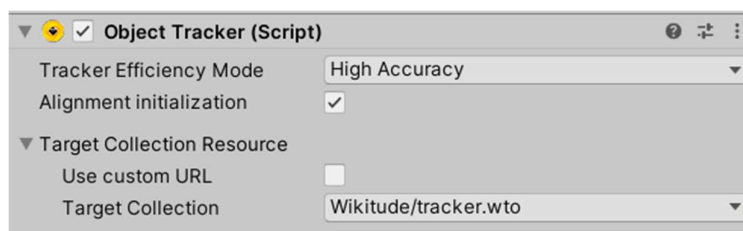
Ο εντοπισμός και η παρακολούθηση αντικειμένων (Object Recognition and Tracking) διευρύνει τις δυνατότητες του Wikitude SDK για χρήση διαφορετικών αντικειμένων στο πλαίσιο της δημιουργίας μιας επαυξημένης σκηνής. Η λειτουργία που αφορά στο Object Tracking και η δομή της αντίστοιχης σκηνής στο Unity, είναι παρόμοιες με τα αντίστοιχα στοιχεία της διαδικασίας εντοπισμού εικόνων.

Ο εντοπισμός των αντικειμένων αναφοράς (target object) πραγματοποιείται με χρήση του αλγόριθμου Object Tracker. Ο αλγόριθμος αυτός αξιοποιεί ένα σύνολο πληροφοριών που περιγράφουν το αντικείμενο (αρχείο Wikitude Object Collection) για να το εντοπίσει τον χώρο και να προσδιορίσει τη σχετική του θέση και προσανατολισμό σε σχέση με την οπτική γωνία του χρήστη. Η δημιουργία του αρχείου αυτού πραγματοποιείται μέσω του Wikitude Studio και στην ουσία αφορά σε ένα νέφος σημείων από την συνταύτιση των εικόνων.

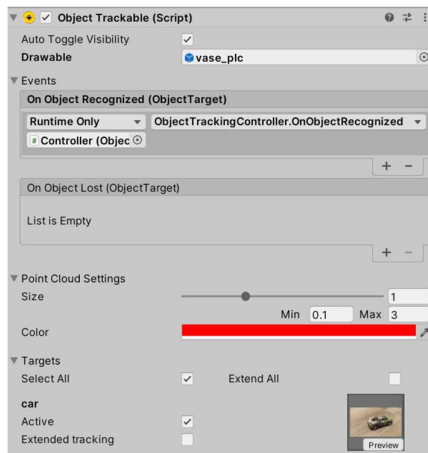


Εικόνα 5-13: Το νέφος σημείων από τις εικόνες του αντικειμένου, όπως αυτό δημιουργείται στο Wikitude Studio

Η λειτουργία Object Tracking ενεργοποιείται ως συστατικό ενός GameObject, ενώ ο προσδιορισμός του αντικειμένου προς υπέρθεση (Trackable) πραγματοποιείται με την απόδοση σε αυτό της αντίστοιχης ιδιότητας μέσω script (Object Trackable).



Εικόνα 5-14: Χαρακτηριστικά Object Tracker



Εικόνα 5-15: Χαρακτηριστικά Object Trackable

# 6

## Αξιολόγηση

Η αξιολόγηση αφορά στις εφαρμογές που δημιουργήθηκαν με τα πακέτα ανάπτυξης λογισμικού ARFoundation και ARCore σε σύγκριση με τις αντίστοιχες εφαρμογές του Wikitude. Αρχικά εξετάζεται ποιοτικά η απόδοση της επαυξημένης σκηνής, όσον αφορά τη θέση και τον προσανατολισμό των εικονικών αντικειμένων, τη σταθερότητά τους στην σκηνή, καθώς και την ταχύτητα των εφαρμογών.

Στη συνέχεια αναλύεται η απόδοση της εφαρμογής παρατηρώντας κάποια μετρητικά στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία της συσκευής κατά την εκτέλεσή της. Ένα εργαλείο για την ανάλυση της απόδοσης της εφαρμογής, που προσφέρει το Unity, είναι το Unity Profiler. Το εργαλείο αυτό καταγράφει, συλλέγει και εμφανίζει σε μια σειρά γραφημάτων δεδομένα σχετικά με την συνολική απόδοση της εφαρμογής καθώς και με το επιμέρους υλικό. Έμφαση δίνεται:

- Στην ανταποκρισιμότητα και ταχύτητα της αναγνώρισης προτύπου, της γεωαναφοράς και γενικότερα, κατά την εκτέλεση των κύριων διεργασιών επαυξημένης πραγματικότητας και όρασης υπολογιστών.
- Στην επίδοση γραφικών.
- Στους υπολογιστικούς πόρους και στην μνήμη που καταναλώνει η εφαρμογή συνολικά αλλά και οι επιμέρους διεργασίες.

Επομένως, στο πλαίσιο αξιολόγησης των εφαρμογών πραγματοποιήθηκαν προκαθορισμένες δοκιμές και μετρήσεις για την εκτίμηση των παραπάνω. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν κάτω από αντίστοιχες συνθήκες, όσον αφορά τη συσκευή, τις συνθήκες φωτισμού κ.τ.λ.

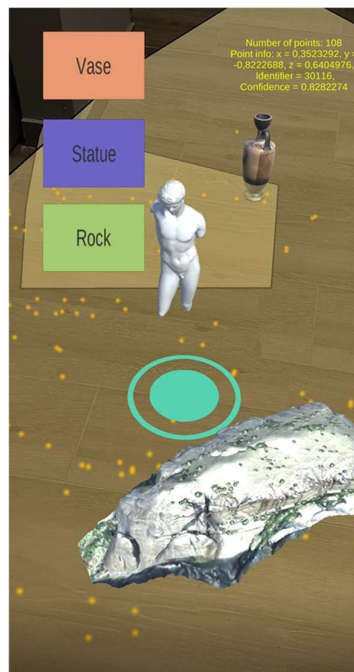
- CPU και Frame Rate (καρέ/ ρυθμός ανανέωσης σε fps – frames per second): Το module CPU Usage Profiler καταγράφει τον χρόνο και την απόδοση της στον επεξεργαστή (main thread). Από τις κατηγορίες που εμφανίζονται εξετάστηκαν τα στοιχεία που αφορούν στο Rendering και τα Scripts. Τα καρέ ανά δευτερόλεπτο δείχνουν τον αριθμό των φορών που μία στατική εικόνα εμφανίζεται στην οθόνη σε διάστημα ενός δευτερολέπτου. Οι κινητές συσκευές υποστηρίζουν ρυθμό ανανέωσης 60 fps, δηλαδή η προβολή ανανεώνεται/ενημερώνεται 60 φορές σε ένα δευτερόλεπτο. Η απόδοση της εφαρμογής ΕΠ στα 60 fps αντιστοιχεί σε υψηλή

ανταποκρισιμότητα, απόδοση γραφικών χωρίς καθυστέρηση ή κολλήματα (stutters), φόρτωση υφής στην αρχική της ανάλυση κ.τ.λ. Βέβαια, όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός ανανέωσης, τόσο περισσότερη μπαταρία καταναλώνει η συσκευή και τόσο περισσότερο αυξάνεται η κατανάλωση πόρων συστήματος. Η τήρηση ενός σταθερού ρυθμού με ελάχιστο όριο τα 30 fps είναι τα κριτήρια που διαμορφώνουν μια ικανοποιητική και απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη. Η πτώση ενός καρέ ισοδυναμεί με μια καθυστέρηση της τάξης των 16.67 ms, επομένως μια πτώση πχ. 20 frames για απόδοση 40 fps αντιστοιχεί σε χρόνο 0.3 s, αμελητέα καθυστέρηση στις περιπτώσεις που ο φόρτος επεξεργασίας και απόδοσης γραφικών είναι υψηλός. Ο ρυθμός καρέ μπορεί να τεθεί εξ' αρχής στα 40 ή 50 fps για να εξισορροπηθεί ο χρόνος εκτέλεσης έναντι του υπολογιστικού φορτίου και της κατανάλωσης ενέργειας.

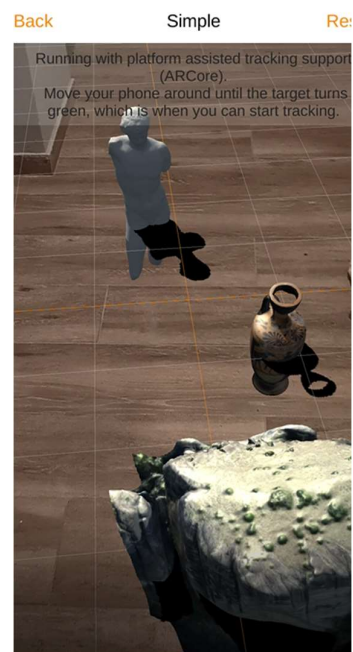
- Κατανάλωση μνήμης: Εξετάζεται η χρήση και κατανομή της μνήμης από την εφαρμογή. Εκτός από το συνολικό ποσοστό, παρέχονται πληροφορίες για τον αριθμό των αντικειμένων που έχουν φορτωθεί και πόση μνήμη καταλαμβάνουν ανά κατηγορία (μνήμη σε CPU/GPU). Από τις κατηγορίες που αναφέρονται εξετάστηκαν οι μετρήσεις για τα Total Allocated, Texture, Mesh και Material Memory καθώς και Object Count στην σκηνή και ως Assets.

Από το σύνολο των εφαρμογών που δημιουργήθηκαν δεν αναλύονται σε βάθος τα αποτελέσματα που αφορούν στις location based εφαρμογές, καθώς κατά την εκτέλεσή τους, τόσο με το ARCore – Marbox όσο και με το Wikitude, παρουσιάστηκαν προβλήματα συνέπειας στην αναπαράσταση της επαυξημένης σκηνής. Τα βασικά προβλήματα που εμφανίστηκαν και στις δύο περιπτώσεις αφορούσαν κυρίως σε αδυναμία αρχικοποίησης της σκηνής, στοίχισης δηλαδή της AR σκηνής με τον πραγματικό κόσμο, αλλά και στην σταθερότητα των εικονικών αντικειμένων στην σκηνή. Πιο συγκεκριμένα, υπήρξαν περιπτώσεις όπου εμφανίστηκε αδυναμία στον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη κατά την εκκίνηση των εφαρμογών, κυρίως σε περιοχές όπου το σήμα του δέκτη GPS ήταν ασθενές με μεγάλη αβεβαιότητα (π.χ. δρόμοι μικρού πλάτους με κτίρια εκατέρωθεν). Σε περιοχές με ισχυρότερο σήμα και καλύτερο εντοπισμό, τα εικονικά αντικείμενα τοποθετούνταν στην σκηνή, σε θέσεις όμως που μεταβάλλονταν κάθε χρονική στιγμή ανανέωσης της θέσης της συσκευής. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται κυρίως στους περιορισμούς που εξορισμού η ακρίβεια και οι δυνατότητες των δεκτών GPS σε συσκευές κινητών τηλεφώνων εμπεριέχουν. Όσον αφορά τις υπόλοιπες εφαρμογές, τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στη συνέχεια σε συνδυασμό με τη συγκριτική τους αξιολόγηση.

1. Εντοπισμός επιπέδων και υπέρθεση αντικειμένων με υπόδειξη του χρήστη: Η τοποθέτηση των εικονικών αντικειμένων πραγματοποιείται μέσω υπόδειξης του χρήστη σε επίπεδες επιφάνειες του πραγματικού κόσμου που έχουν εντοπισθεί. Και στις δύο εφαρμογές τόσο η επιλογή όσο και η τοποθέτηση των αντικειμένων πραγματοποιούνται επιτυχώς, με τη θέση και τον προσανατολισμό τους να μην μεταβάλλεται κατά την κίνηση του χρήστη στην σκηνή. Η λειτουργία της εφαρμογής δεν παρουσιάζει προβλήματα καθυστερήσεων ή άλλες ενδείξεις υπολογιστικής επιβάρυνσης της συσκευής. Οπτικά η σκηνή που δημιουργείται με το Wikitude μπορεί να χαρακτηριστεί καλύτερη με την έννοια ότι περιλαμβάνει περισσότερα χαρακτηριστικά ενσωμάτωσης των εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο, όπως σκιές, φωτισμός κ.ά. Όσον αφορά την σταθερότητα των αντικειμένων καλύτερα αποτελέσματα παρατηρούνται στην εφαρμογή που δημιουργήθηκε με το ARCore.

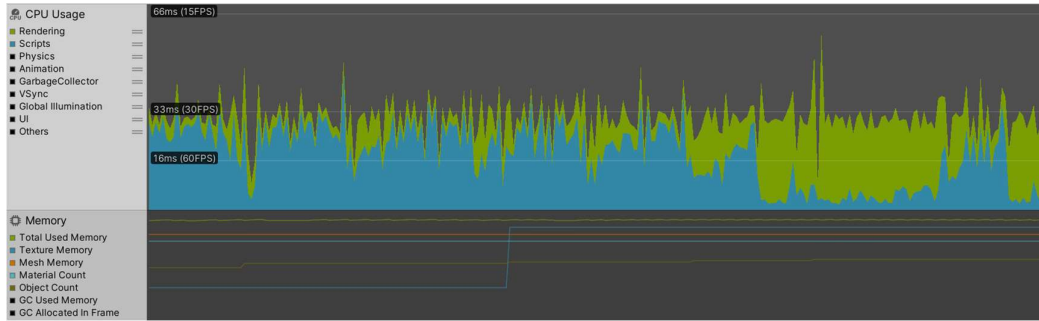


Εικόνα 6-1: Plane Detection and Object Placement  
ARCore

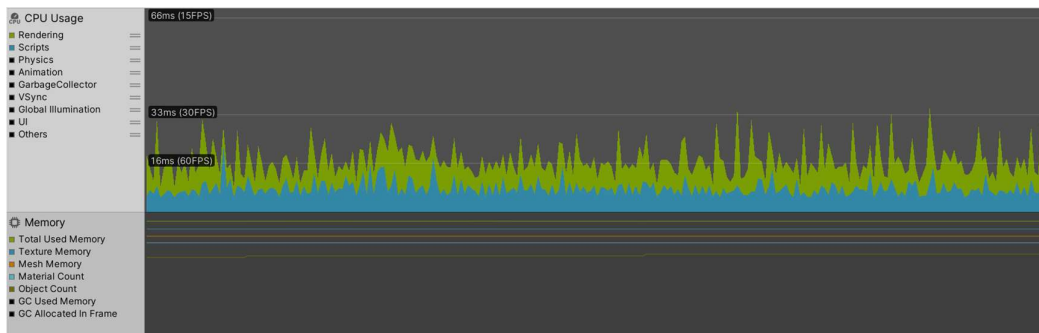


Εικόνα 6-2: Plane Detection and Object Placement  
Wikitude

Η ομαλή λειτουργία των εφαρμογών επιβεβαιώνεται και από τους ελέγχους στο Unity Profiler, ενώ προκύπτει ότι η εφαρμογή με το ARCore είναι πιο απαιτητική σε υπολογιστικούς πόρους σε σχέση με αυτή του Wikitude.



Εικόνα 6-3: Unity Profiler - Plane Detection and Object Placement ARCore



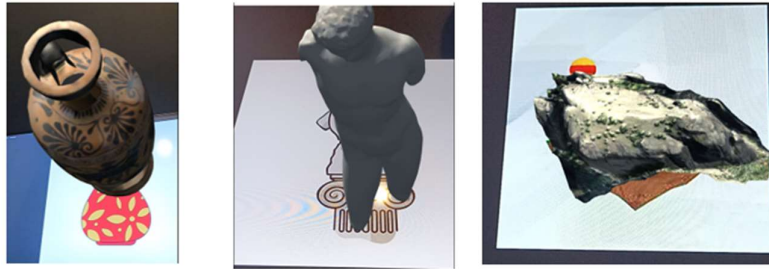
Εικόνα 6-4: Unity Profiler – Plane Detection and Object Placement Wikitude

2. Εντοπισμός εικόνων για την υπέρθεση αντικειμένων: Η υπέρθεση των εικονικών αντικειμένων πραγματοποιείται μέσω εικόνων αναφοράς, οι οποίες υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο και προσδιορίζουν την θέση και τον προσανατολισμό του αντικειμένου σε αυτόν. Για κάθε ένα από τα εικονικά αντικείμενα αξιοποιήθηκε διαφορετική εικόνα πρότυπο, ενώ τα αποτελέσματα των εφαρμογών παρουσιάζονται ακολούθως.



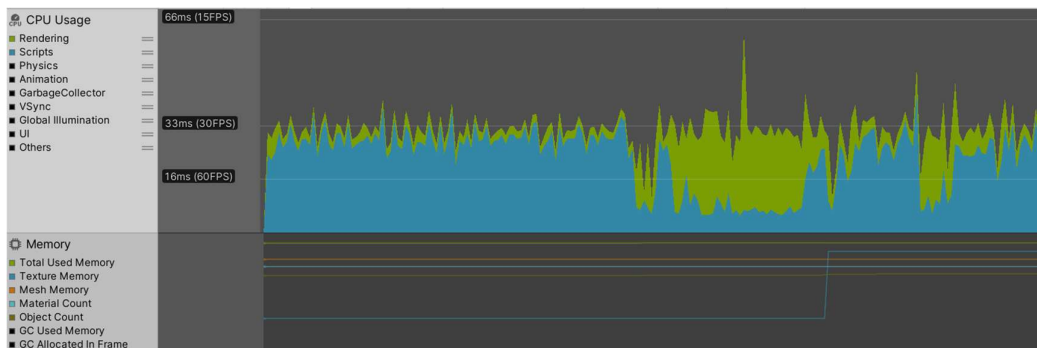
Εικόνα 6-5: Image Tracking – ARCore



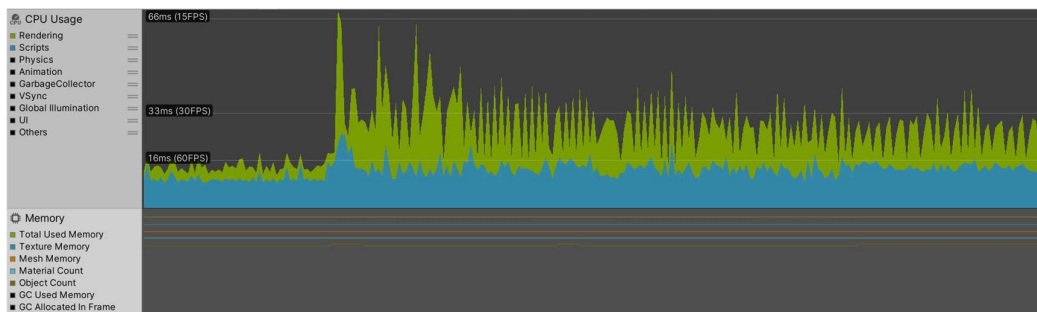


Εικόνα 6-6: Image Tracking – Wikitude

Κατά τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής, η χρήση του ARCore και ARFoundation επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα όσον αφορά στην σταθερότητα των αντικειμένων σε αυτή και τον εντοπισμό των εικόνων αναφοράς, σε σχέση με την αντίστοιχη εφαρμογή του Wikitude SDK. Από την αξιολόγηση με το εργαλείο Unity Profiler και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται περίοδοι όπου ο ρυθμός ανανέωσης των frames μειώνεται και αφορούν στις χρονικές στιγμές υπέρθεσης των αντικειμένων. Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις η λειτουργία των εφαρμογών δεν παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα.



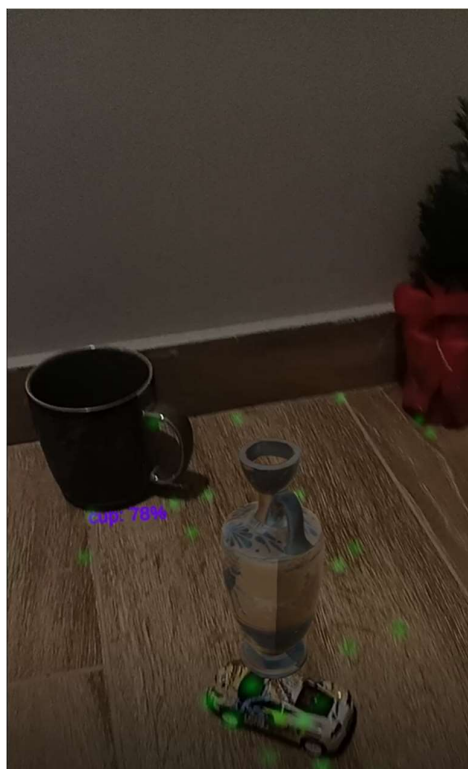
Εικόνα 6-7: Unity Profiler - Image Tracking ARCore



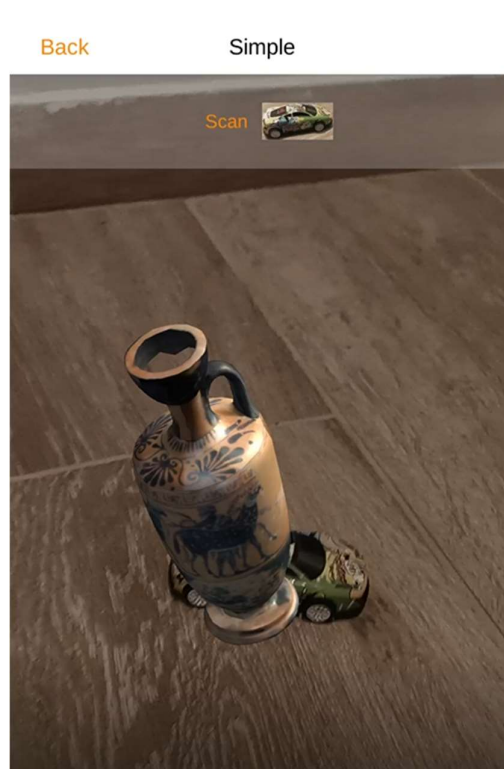
Εικόνα 6-8: Unity Profiler - Image Tracking Wikitude

3. Εντοπισμός αντικειμένων για τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής: Η υπέρθεση των εικονικών αντικειμένων πραγματοποιείται κατά τον προσδιορισμό ενός

συγκεκριμένου στοιχείου του πραγματικού κόσμου στην σκηνή. Στην πρώτη εφαρμογή πραγματοποιείται εντοπισμός για το σύνολο των αντικειμένων της σκηνής και η υπέρθεση με έλεγχο μίας συνθήκης. Αντίθετα στην εφαρμογή που δημιουργήθηκε με το Wikitude SDK ο εντοπισμός αφορά σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, σαφώς ορισμένο από ένα αραιό νέφος σημείων που προέκυψε μέσω της συνταύτισης διαφορετικών εικόνων του. Παρόλο που οι λειτουργίες των δύο εφαρμογών διαφέρουν και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής.



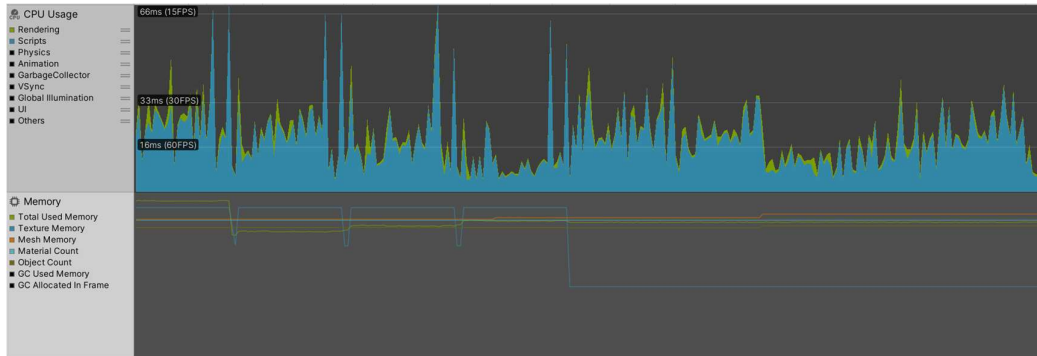
Εικόνα 6-9: Object Tracking ARCore



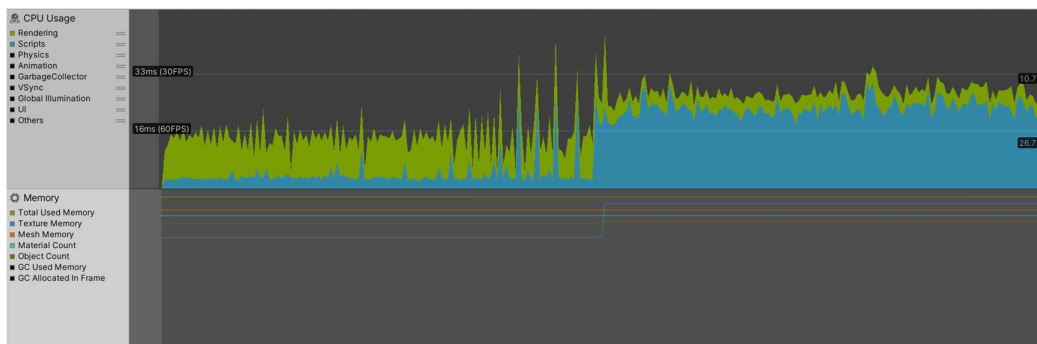
Εικόνα 6-10: Object Tracking Wikitude

Στην περίπτωση του ARCore, η χρήση ενός CNN και η ανίχνευση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο επιβαρύνει υπολογιστικά την συσκευή, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σύνθετων σκηνών με πολλά διαφορετικά αντικείμενα και απότομες αλλαγές της οπτικής γωνίας του χρήστη. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία της εφαρμογής να ανταποκριθεί στη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Συνεπώς, η εφαρμογή του ARCore περιέχει περιορισμούς, όμως επιτυγχάνεται η υπέρθεση του αντικειμένου με σωστό τρόπο. Σημαντική διαφορά εντοπίζεται στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την έναρξη της εφαρμογής μέχρι τον εντοπισμό του

αντικειμένου στο χώρο, με την εφαρμογή του Wikitude να είναι αισθητά γρηγορότερη, καθώς δεν πραγματοποιείται αναζήτηση του συνόλου των αντικειμένων της σκηνής, αλλά ενός συγκεκριμένου. Τα παραπάνω παρουσιάζονται και κατά την αξιολόγηση των εφαρμογών με το εργαλείο Unity Profiler.



Εικόνα 6-11: Unity Profiler - Object Tracking ARCore



Εικόνα 6-12: Unity Profiler - Object Tracking Wikitude



# 7

## Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων επαύξησης του πραγματικού κόσμου, μέσα από την δημιουργία αντίστοιχων εφαρμογών. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε μία περιγραφή της έννοιας της επαυξημένης πραγματικότητας, παρουσιάστηκε το θεωρητικό υπόβαθρο των διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μιας επαυξημένης σκηνής, ενώ παρουσιάστηκε η διαδικασία δημιουργίας, με χρήση διαφορετικών πακέτων ανάπτυξης λογισμικού, και αξιολόγησης των εφαρμογών. Από τα παραπάνω προκύπτουν παρατηρήσεις και συμπεράσματα που κρίνεται αναγκαίο να επισημανθούν, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντική βελτίωση αυτών.

Τα αποτελέσματα της πλειοψηφίας των εφαρμογών κρίνονται ικανοποιητικά, καθώς η υπέρθεση των εικονικών αντικειμένων πραγματοποιείται με επιτυχία και συνέπεια όσον αφορά στη θέση και τον προσανατολισμό τους στην επαυξημένη σκηνή. Επιμέρους διαφοροποιήσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των πακέτων ανάπτυξης λογισμικού που αξιοποιήθηκαν δεν συνιστούν στοιχεία αδυναμίας του ενός έναντι του άλλου συνολικά, αλλά αφορούν στον τρόπο που επιλέχθηκε να αντιμετωπισθεί κάθε περίπτωση. Δύο ουσιαστικές διαφοροποιήσεις παρουσιάστηκαν, όσον αφορά στον εντοπισμό εικόνων και στον εντοπισμό αντικειμένων, οι οποίες όμως οφείλονται στον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται από κάθε πακέτο. Πιο συγκεκριμένα, η αστάθεια των εικονικών αντικειμένων της επαυξημένης σκηνής που εντοπίζεται στην εφαρμογή Image Tracking με το Wikitude SDK, οφείλεται στο γεγονός ότι ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού της εντοπιζόμενης εικόνας δεν διακόπτεται τη στιγμή υπέρθεσης του εικονικού αντικειμένου αλλά ανανεώνεται συνεχώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη περιπτώσεων όπου το εικονικό αντικείμενο μετατοπίζεται στην σκηνή, χωρίς αντίστοιχη μετατόπιση της εικόνας αναφοράς. Αντίστοιχα, η καθυστέρηση στον εντοπισμό του αντικειμένου αναφοράς με το πακέτο ανάπτυξης λογισμικού ARCore προκύπτει από την εξέταση του συνόλου των αντικειμένων που περιέχονται στο απεικονιζόμενο από την κάμερα τμήμα της σκηνής.

Η μοναδική περίπτωση όπου δεν επήλθαν ικανοποιητικά αποτελέσματα αφορά στις εφαρμογές όπου αξιοποιήθηκε η γεωαναφορά των εικονικών αντικειμένων για τη δημιουργία της επαυξημένης σκηνής. Περιορισμοί και σφάλματα που αφορούν γενικά τον

προσδιορισμό της θέσης με χρήση δεκτών GPS κινητών τηλεφώνων είχαν ως αποτέλεσμα αδυναμία των εφαρμογών να προσδιορίσουν ορθά τη θέση και την κατεύθυνση κίνησης του χρήστη, ενώ η αβεβαιότητα στις μετρήσεις του δέκτη οδηγούσε σε ασταθή αντικείμενα στην εικονική σκηνή.

Από το σύνολο των εφαρμογών προκύπτει ότι η ποιότητα της επαυξημένης σκηνής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια και την αντίστοιχη ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία του tracking. Σφάλματα στις πληροφορίες που αξιοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη στον χώρο οδηγούν σε λάθος μετασχηματισμούς μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην επαυξημένη πραγματικότητα και συνεπώς αδυναμία στην ορθή δημιουργία της επαυξημένης σκηνής.

Οι δυνατότητες που προσφέρουν οι σύγχρονες συσκευές κινητών τηλεφώνων, ιδιαίτερα όσον αφορά την ποιότητα των εικόνων και την ταυτόχρονη ύπαρξη διαφορετικών αισθητήρων, μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάπτυξη αξιόπιστων εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Ο συνδυασμός των δεδομένων που προσφέρονται κατά την ταυτόχρονη αξιοποίηση των παραπάνω μπορεί να αξιοποιηθεί για την αντιμετώπιση σημείων όπου η χρήση μεμονωμένων αισθητήρων υστερεί. Η χρήση για παράδειγμα δεδομένων από τον δέκτη GPS της συσκευής σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο ανίχνευσης αντικειμένων ή εικόνας θα μπορούσε να συμβάλει καθοριστικά στην αντιμετώπιση προβλημάτων που εντοπίστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agrawal, A., Thakkar, A., & Pang, A. (2018). *GeoAR: Android Application with POI Helper*. Santa Cruz: University of California.
- Alismail, H., Browning, B., & Lucey, S. (2016). *Photometric Bundle Adjustment for Vision-Based SLAM*. Carnegie Mellon University.
- Arth, C., Grasset, R., Gruber, L., Langlotz, T., Mulloni, A., & Wagner, D. (2015). *The History of Mobile Augmented Reality*. Ithaca, NY, USA: Cornell University.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Cao, M., Zheng, L., Jia, W., & Liu, X. (2020). Fast monocular visual odometry for augmented reality on smartphones. *IEEE Consumer Electronics Magazine*.
- Chen, X., Lu, H., Xiao, J., Zhang, H., & Wang, P. (2017). Robust relocalization based on active loop closure for real-time monocular SLAM. *The 11th International Conference on Computer Vision Systems*. Shenzhen, China.
- Cheok, A. D., Goh, K. H., Liu, W., Farbiz, F., Fong, S. W., Teo, S. L., . . . Yang, X. (2004). Human Pacman: A Mobile, Wide-Area Entertainment System Based on Physical, Social, and Ubiquitous Computing. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(2), 71-81.
- Craig, A. B. (2013). Mobile Augmented Reality. Στο A. B. Craig, *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications* (σσ. 209-220). San Francisco, CA, United States: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Ćuković, S., Gattullo, M., Pankratz, F., Devedzic, G., Carrabba, E., & Baizid, K. (2015). Marker Based vs. Natural Feature Tracking Augmented Reality Visualization of the 3D Foot Phantom. *Proceedings of the International Conference on Electrical and Bio-medical Engineering, Clean Energy and Green Computing*, (σσ. 24-31). Dubai.
- David, F., & Jean, P. (2011). *Computer Vision: A Modern Approach. (Second edition)*. Prentice Hall.
- Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. *Commun ACM*, 24(6), 381-395.
- Fuhrmann, A., Schmalstieg, D., & Purgathofer, W. (1999). Fast Calibration for Augmented Reality. *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (σσ. 166-167). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Hagbi, N., Grasset, R., Bergig, O., Billingham, M., & El-Sana, J. (2015). In-Place Sketching for Augmented Reality Games. *Computers in Entertainment*, 1-18.

- Hill, A., MacIntyre, B., Gandy, M., Davidson, B., & Rouzati, H. (2010). KHARMA: An open KML/HTML architecture for mobile augmented reality applications. *9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2010: Science and Technology, ISMAR 2010 - Proceedings*, (σ. 233-234).
- Horn, B. K. (2000). *Tsai's camera calibration method revisited*. McGraw-Hill, Cambridge, New York: MIT Press.
- Julier, S., Lanzagorta, M., Baillet, Y., Lanzagorta, M., Brown, D., & Rosenblum, L. (2004). *BARS: Battlefield Augmented Reality System*.
- Klein, G., & Murray, D. (2007). Parallel tracking and mapping for small AR workspaces. *ISMAR. IEEE*, 225-234.
- Maidi, M., Ababsa, F. E., & Mallem, M. (2006). Robust augmented reality tracking based visual pose estimation. *ICINCO 2006 - 3rd International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Proceedings*, (σ. 346-351).
- Marchand, E., Uchiyama, H., & Spindler, F. (2016). Pose Estimation for Augmented Reality: A Hands-On Survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22(12), 2633-2651.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77, 1321-1329.
- Mohring, M., Lessig, C., & Bimber, O. (2004). Video See-Through AR on Consumer Cell-Phones. *Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, (σ. 252-253).
- Moustakas, K., Paliokas, I., Tzovaras, D., & Tsakiris, A. (2015). Επαυξημένη Πραγματικότητα. Στο K. Moustakas, I. Paliokas, D. Tzovaras, & A. Tsakiris, *Γραφικά και εικονική πραγματικότητα*. Athens: Kallipos, Open Academic Editions.
- Neumann, U., & You, S. (1999). Natural Feature Tracking for Augmented Reality. *IEEE Transactions on Multimedia*, 53-64.
- Nistér, D., Naroditsky, O., & Bergen, J. (2004). Visual Odometry. *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004*.
- Pentenrieder, K., Meier, P., & Klinker, G. (2007). *Analysis of Tracking Accuracy for Single-Camera Square-Marker-Based Tracking*.
- Raj, A., & Lowney, M. P. (2016). *Model Based Tracking for Augmented Reality on Mobile Devices*. Stanford, CA, USA: Stanford University.



- Raskar, R., Baar, J., Beardsley, P., Willwacher, T., Rao, S., & Forlines, C. (2003). iLamps: Geometrically aware and self-configuring projectors. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 22, 809-818.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (σσ. 779-788).
- Reitmayr, G., & Drummond, T. (2006). Going out: Robust model-based tracking for outdoor augmented reality. *Proceedings - ISMAR 2006: Fifth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, (σσ. 109-118).
- Rekimoto, J., & Nagao, K. (1995). The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. *Proceedings of the 8th Annual ACM Symposium on User Interface and Software Technology*, (σσ. 29-36).
- Rosten, E., Porter, R., & Drummond, T. (2010). Faster and Better: A Machine Learning Approach to Corner Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(1), 105-119.
- Schmalstieg, D., & Höllerer, T. (2016). *Augmented Reality: Principles and Practice*. Boston: Addison-Wesley.
- Singh, V. K., Ali, A., & Nair, P. S. (2014). A Report on Registration Problems in Augmented Reality. *International journal of engineering research and technology*, 3.
- Siriwardhana, Y., Porambage, P., Liyanage, M., & Ylianttila, M. (2021). A Survey on Mobile Augmented Reality With 5G Mobile Edge Computing: Architectures, Applications, and Technical Aspects. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23, 1160-1192.
- Song, J., & Kook, J. (2022). Visual SLAM Based Spatial Recognition and Visualization Method for Mobile AR Systems. *Applied System Innovation*, 5(1).
- Strasdat, H., Montiel, J., & Davison, A. (2010). Real-time monocular SLAM: Why filter? *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2657-2664.
- Sutherland, I. E. (1968). A Head-Mounted Three Dimensional Display. *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, (σσ. 757-767).
- Tang, B., & Cao, S. (2020). A Review of VSLAM Technology Applied in Augmented Reality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Thomas, B., Demczuk, V., Piekarski, W., Hepworth, D., & Gunther, B. (1998). A wearable computer system with augmented reality to support terrestrial navigation. *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers*, (σσ. 168-171).

- Vallino, J. (1998). *Interactive Augmented Reality*. New York: University of Rochester.
- Verykokou, S., Boutsis, A., & Ioannidis, C. (2021). Mobile Augmented Reality for Low-End Devices Based on Planar Surface Recognition and Optimized Vertex Data Rendering. *Applied Sciences*, 11.
- Vlahakis, V., Ioannidis, M., Karigiannis, J., Tsotros, M., Gounaris, M., Stricker, D., . . . Almeida, L. (2002). Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites. 22(5), 52-60.
- Wagner, D., & Schmalstieg, D. (2007). ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices. *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop CVWW07*.
- Wagner, D., Reitmayr, G., Mulloni, A., Drummond, T., & Schmalstieg, D. (2008). Pose tracking from natural features on mobile phones. *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, ISMAR 2008*, 125-134.
- White, S. (2009). *Interaction and Presentation Techniques for Situated Visualization*. PhD thesis. Columbia University.
- Williams, B. P., Klein, G. S., & Reid, I. D. (2011). Automatic Relocalization and Loop Closing for Real-Time Monocular SLAM. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33, 1699-1712.
- Yi-Bo, L., Shao-Peng, K., Zhi-Hua, Q., & Qiong, Z. (2008). Development actuality and application of registration technology in augmented reality. *Proceedings of the 2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design*, (σσ. 69-74).
- Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), 1330-1334.
- Βερυκόκου, Σ. (2013). *Ανάπτυξη Εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας Βάσει Επιπέδου Προτύπου*. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.
- Γεωργόπουλος, Ν. (2018). *Επαυξημένη Πραγματικότητα & Πολιτιστική Κληρονομιά*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών.
- Δαμιανός, Μ. (2020). *Επισκόπηση & Συγκριτική Ανάλυση Εργαλείων Ανάπτυξης Χωροευαίσθητων Παιχνιδιών*. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής.
- Σαρλίδου, Α. (2018). *Επαυξημένης Πραγματικότητας: Διαχείριση βιβλιοθήκης με το εργαλείο ARCore*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πληροφορικής.