

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ



ΘΕΜΑ: Αξιολόγηση Τεχνολογικών Λύσεων Υλισμικού και Υποδομών Λογισμικού
Ανάπτυξης Εφαρμογών ΕΠ για Χρήση σε Σύγχρονα Αποθηκευτικά Κέντρα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΥΡΟΣ ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: κ. ΣΤΑΥΡΟΣ ΠΟΝΗΣ

Αθήνα, Μάιος 2020

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής Διπλωματικών εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Σπύρος Μιχαηλίδης

Ευχαριστίες

Δεδομένου ότι πλησιάζει η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να αναγνωρίσω τη συμβολή ορισμένων ατόμων, χωρίς τους οποίους η εργασία δε θα είχε πραγματοποιηθεί.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και πρωτίστως τον υπεύθυνο καθηγητή μου, κ. Σταύρο Πόνη. Χωρίς εκείνον δε θα μπορούσε να περατωθεί σε κανένα επίπεδο η συγκεκριμένη εργασία. Επίσης ξεχωρίζει ο διδακτορικός ερευνητής Κωνσταντίνος Αγαλιανός, με τον οποίο συνεργάστηκα στενά καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου και ο οποίος με καθοδήγησε υπομονετικά ώστε να πετύχω τα επιθυμητά αποτελέσματα στην έρευνα μου.

Συμπληρωματικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (ΕΠΙΣΕΥ), από το οποίο άντλησα σημαντικές πληροφορίες που με βοήθησαν στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εργοδότη μου, την εταιρία Παπαστράτος, και ιδιαίτερα τον Θοδωρή Ποντικάκη και τη φιλή Χατζηγιάννου. Τα τελευταία δύο χρόνια, όσο εργάζομαι εκεί, μου επέτρεψαν να ασχοληθώ με τη σχολή, τα μαθήματα και τη διπλωματική μου, όσο έπρεπε και επιθυμούσα, χωρίς να θέτουν τροχοπέδη, αλλά αντιθέτως βοηθώντας την ακαδημαϊκή μου πορεία.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου οι οποίοι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην πορεία και πρόοδό μου όλα τα χρόνια των σπουδών. Με τη γενικότερη στήριξή τους σε όλους τους τομείς αλλά και παρεμβολές ή τοποθετήσεις εντός συγκεκριμένου πλαισίου, με βοήθησαν να περατώσω επιτυχώς τα μαθήματα, τη διπλωματική εργασία και τελικά τις σπουδές μου.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, όλο και πιο εξελιγμένες τεχνολογικές λύσεις εφαρμόζονται στη διαδικασία συλλογής παραγγελιών (picking) σε αποθηκευτικά κέντρα. Η έντονη προσπάθεια των εταιριών να εκσυγχρονίσουν τη διαδικασία συλλογής, έγκειται στο μεγάλο κόστος της. Υπολογίζεται πως διαδικασίες όπως η εισαγωγή αγαθών στην αποθήκη, η καταμέτρηση και η σωστή τοποθέτησή τους αγγίζει το 20% του κόστους λειτουργίας, ενώ η διαδικασία συλλογής των παραγγελιών, το 60%.

Η τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ), σε συνδυασμό με τα ενδυτά συστήματα, προσφέρουν τη δυνατότητα μείωσης του παραπάνω κόστους αλλά και γενικότερης αύξησης της αποδοτικότητας της διαδικασίας. Τη δεδομένη στιγμή, το Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής του ΤΒΔ&ΕΕ υλοποιεί ερευνητικό έργο με κεντρικό αντικείμενο την εισαγωγή της ΕΠ για την υποστήριξη των διαδικασιών συλλογής στα σύγχρονα εφοδιαστικά κέντρα. Πιο συγκεκριμένα, το υπό μελέτη έργο, εξετάζει τη δημιουργία ενός συστήματος συλλογής παραγγελιών, με τη χρήση έξυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Ο εργαζόμενος, λαμβάνει μέσα από τα έξυπνα γυαλιά οδηγίες για το που πρέπει να πάει (διάδρομος – ράφι), ποιο αντικείμενο να συλλέξει (κωδικός SKU) και σε ποια ποσότητα. Η οπτική σάρωση / ανάγνωση (σκανάρισμα) του κωδικού του αντικειμένου γίνεται μέσα από την κάμερα των γυαλιών. Με αυτόν τον τρόπο, ο εργαζόμενος (picker) μπορεί να εκτελεί τη διαδικασία συλλογής ακριβέστερα και ταχύτερα, και το κυριότερο έχοντας και τα δύο χέρια του ελεύθερα, για να φέρει σε πέρας με πιο ξεκούραστο και ασφαλή τρόπο τις χειρωνακτικές εργασίες που περιλαμβάνει η διαδικασία συλλογής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στα αποτελέσματα του πιο πάνω έργου και επιχειρεί να υποστηρίξει τις εργασίες του μέσα από μια τεχνολογική μελέτη των εναλλακτικών επιλογών σε υλισμικό και λογισμικό που θα πλαισιώσει την ανάπτυξη του συστήματος που το έργο αναπτύσσει προτείνοντας τις καταλληλότερες με βάση τις προδιαγραφές του έργου. Για το σκοπό αυτό, εκπονείται τεχνολογική μελέτη χωρισμένη σε τέσσερα στάδια. Στο πρώτο αναλύονται οι διαθέσιμες επιλογές υλισμικού, δηλαδή έξυπνων γυαλιών που καλύπτουν τις απαιτήσεις του έργου και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της υλοποίησης του. Η τελική επιλογή γίνεται με τη χρήση πολυκριτήριας μεθόδου η οποία καταλήγει σε πρόταση αφού αξιολογηθούν όλα τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά των γυαλιών και οι μεταξύ τους συσχετίσεις. Στο δεύτερο στάδιο μελετώνται οι διαθέσιμες επιλογές λογισμικού και πιο συγκεκριμένα οι ΕΠ εργαλειοθήκες ανάπτυξης (Software Development Kits – SDK) μέσω των οποίων προσδίδονται τα χαρακτηριστικά επαυξημένης πραγματικότητας στην εφαρμογή. Στο τρίτο στάδιο μελετώνται τα διαθέσιμα περιβάλλοντα ανάπτυξης τα οποία εξασφαλίζουν την καλή συνεργασία με την επιλεγείσα εργαλειοθήκη του προηγούμενου σταδίου και ικανοποιούν τις προδιαγραφές ανάπτυξης του υπό μελέτη έργου. Τέλος, στο τέταρτο στάδιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας αναλύονται οι διαθέσιμες επιλογές τεχνολογιών που μπορούν να υποστηρίξουν τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικό χώρο, όπως ένα αποθηκευτικό κέντρο.

Οι τελικές επιλογές όπως προκύπτουν από την παρούσα εργασία δημιουργούν ένα τεχνολογικό οικοσύστημα, το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις του προτεινόμενου έργου ενώ

ταυτόχρονα, είναι αρκετά γενικό, χρησιμοποιεί λογισμικό κατά βάση ανοικτού κώδικα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς με μικρό σχετικά κόστος. Αλλά ακόμα και στην περίπτωση της εμπορικής χρήσης, η διάθεση του απαιτούμενου λογισμικού γίνεται με βάση το μοντέλο SaaS (Software as a Service) ή/και PaaS (Platform as a Service), οπότε δεν υπάρχει ανάγκη για αρχική δέσμευση μεγάλου κεφαλαίου πλην του απαιτούμενου για την κτήση των έξυπνων γυαλιών.

Abstract

In recent years, more and more advanced technological solutions have been applied in the process of collecting orders in storage centers, known as picking. The intense effort of companies to redefine the picking process, lies in its high cost. It is estimated that procedures such as the import of goods into the warehouse, their counting and proper adjustment reaches 20% of the operating costs, while the order collection process, 60%.

Augmented Reality (AR) technology, combined with wearable systems, offers the chance to reduce costs and increase the process efficiency. At the moment, the Production Management Laboratory of SIM&OR is implementing a research project with main object the introduction of AR in the picking process, in modern supply centers. More specifically, the project under consideration examines the creation of an order collection system, using augmented reality smart glasses. The employee, receives instructions on where to go (corridor - shelf), which object to collect (SKU code) and in which quantity, through the smart glasses. The visual scanning of the object code is completed through the glasses' camera. In this way, the picker can perform the collection process more accurately and quickly, and most importantly, complete the manual work involved in the process in a more relaxed and safe way, having his both hands free.

This diploma thesis is based on the results of the above project and attempts to support its work through a technological study of hardware and software alternatives that will be used on the system under development, by proposing the most appropriate ones based on the project's specifications. To this end, a four-stage technological study is being carried out. The first analyzes the available hardware alternatives, meaning the smart glasses which meet the requirements of the project and could be used in its implementation. The final selection is made using a multi-criteria method which results in a proposal after evaluating all the available characteristics of the glasses and the correlations between them. In the second stage, the available software alternatives are examined and more specifically the AR Software Development Kits (SDK) through which the augmented reality features of the application are created. In the third stage, the study examines the available software development engines, which ensure good cooperation with the selected SDK of the previous stage and meet the required development specifications of the project under study. Finally, the fourth stage of this thesis analyzes the available options of technologies which can locate an object's position in an indoor space, such as a storage center.

The final choices, as evidenced by the present work, create a technological ecosystem that meets the requirements of the proposed project while at the same time, is quite general, uses open source software and can be used for research purposes at relatively low cost. But even in the case of commercial use, the required software is available based on the SaaS (Software as a Service) and / or PaaS (Platform as a Service) model, so there is no need for a big initial investment, other than the required for the acquisition of smart glasses.

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----------|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 12 |
| 2. ΓΥΑΛΙΑ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ | 17 |
| 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ..... | 18 |
| 2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 20 |
| 2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ..... | 20 |
| 2.3.1 VUZIX M300..... | 20 |
| 2.3.2 RealWear HMT-1 | 22 |
| 2.3.3 Microsoft HoloLens | 23 |
| 2.3.4 Epson Moverio BT-300..... | 24 |
| 2.3.5 Toshiba DynaEdge | 25 |
| 2.3.6 Google Glass Enterprise Edition 2..... | 26 |
| 2.3.7 Magic Leap 1..... | 27 |
| 2.3.8 Optinvent Ora-2..... | 28 |
| 2.3.9 X2 THIRDEYE GEN | 29 |
| 2.4 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ..... | 30 |
| 2.5 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ | 33 |
| 2.5.1 Η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (Analytic Hierarchy Process) | 33 |
| 2.5.2 Εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (AHP) για την Επιλογή των Γυαλιών Επαυξημένης Πραγματικότητας | 36 |
| 2.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 46 |
| 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ | 47 |
| 3.1 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ANDROID ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ | 47 |
| 3.2 ΕΡΓΑΛΕΙΟΘΗΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (SDK) ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ | 48 |
| 3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗ | 48 |
| 3.4 ΕΡΓΑΛΕΙΟΘΗΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗ | 52 |
| 3.4.1 Wikitude..... | 53 |
| 3.4.2 Vuforia | 53 |
| 3.4.3 ARCore | 54 |
| 3.4.4 Kudan..... | 55 |
| 3.4.5 EasyAR | 56 |
| 3.4.6 MaxST..... | 56 |
| 3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ | 57 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4. | ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ | 59 |
| 4.1 | UNITY3D EDITOR | 59 |
| 4.1.1 | Προγραμματισμός σε Unity3D Editor | 61 |
| 4.1.2 | Στοιχεία Αντικειμένων (Components) | 62 |
| 4.2 | ANDROID STUDIO | 65 |
| 4.2.1 | Προγραμματισμός σε Android Studio | 65 |
| 4.3 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ | 68 |
| 5. | ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ | 70 |
| 5.1 | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΡΟΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗ | 71 |
| 5.1.1 | Εντοπισμός Θέσης μέσω Bluetooth | 71 |
| 5.1.2 | Εντοπισμός Θέσης μέσω Wi-Fi | 73 |
| 5.1.3 | Εντοπισμός Θέσης μέσω Ultra-Wideband | 76 |
| 5.1.4 | Εντοπισμός Θέσης μέσω Οπτικών Σημάτων | 77 |
| 5.1.5 | Λοιπές Εναλλακτικές Εντοπισμού Θέσης | 79 |
| 5.2 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 80 |
| 6. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | 81 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ | 85 |

Κατάλογος Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1.1: Οι βιομηχανικές επαναστάσεις..... | 12 |
| Σχήμα 1.2: Εργαζόμενος λαμβάνει οδηγίες από σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας . | 14 |
| Σχήμα 1.3: Μεθοδολογία έρευνας και επιλογής επιμέρους στοιχείων | 16 |
| Σχήμα 2.1: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών VUZIX M300 | 20 |
| Σχήμα 2.2: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών RealWear HMT-1 | 22 |
| Σχήμα 2.3: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Microsoft HoloLens..... | 23 |
| Σχήμα 2.4: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Epson Moverio BT-300 | 24 |
| Σχήμα 2.5: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Toshiba DynaEdge | 25 |
| Σχήμα 2.6: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Google Glass Enterprise Edition 2 | 26 |
| Σχήμα 2.7: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Magic Leap 1..... | 27 |
| Σχήμα 2.8: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Optinvent Ora-2..... | 28 |
| Σχήμα 2.9: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών X2 THIRDEYE GEN | 29 |
| Σχήμα 2.10: Το βασικό μητρώο της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process) | 34 |
| Σχήμα 2.11: Τελική Κατάταξη Έξυπνων Γυαλιών βάσει της AHP..... | 46 |
| Σχήμα 3.1: Τέσσερα σχήματα που δηλώνουν τι είναι φυσικό χαρακτηριστικό | 49 |
| Σχήμα 3.2: Παράδειγμα καλής εικόνας-στόχου, με πλήθος χαρακτηριστικών, διατεταγμένα μοναδικά | 50 |
| Σχήμα 3.3: Τοποθετώντας το αντικείμενο που πρόκειται να σκαναριστεί πάνω στον target scanner, προσδιορίζονται οι άξονες XYZ και τα σημεία ενδιαφέροντος..... | 51 |
| Σχήμα 3.4: Επιτυχής αναγνώριση κειμένου σε εκτυπωμένο χαρτί | 52 |
| Σχήμα 3.5: Το λογότυπο του SDK Wikitude..... | 53 |
| Σχήμα 3.6: Το λογότυπο του SDK Vuforia | 53 |
| Σχήμα 3.7: Το λογότυπο του SDK ARCore | 54 |
| Σχήμα 3.8: Το λογότυπο του SDK Kudan | 55 |
| Σχήμα 3.9: Το λογότυπο του SDK EasyAR..... | 56 |
| Σχήμα 3.10: Το λογότυπο του SDK MaxST | 56 |
| Σχήμα 4.1: Το λογότυπο του Unity..... | 59 |
| Σχήμα 4.2: Η διεπαφή χρήστη του Unity3D Editor | 61 |
| Σχήμα 4.3: Το λογότυπο του Android Studio | 65 |
| Σχήμα 4.4: Η διεπαφή χρήστη του Android Studio..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Σχήμα 5.1: Οι τεχνικές προσδιορισμού της γωνίας άφιξης ή αναχώρησης του σήματος Bluetooth..... | 72 |
| Σχήμα 5.2: Προσδιορισμός της θέσης σημείου μέσω τριπλευρισμού | 75 |
| Σχήμα 5.3: Μέθοδος μέτρησης της γωνίας άφιξης του σήματος | 75 |
| Σχήμα 5.4: Χρήση τριπλευρισμού για να βρεθεί η θέση μέσω UWB τεχνολογίας..... | 77 |
| Σχήμα 5.5: Σύστημα πλοήγησης βασισμένο στην αναγνώριση κωδικών εικόνων..... | 78 |

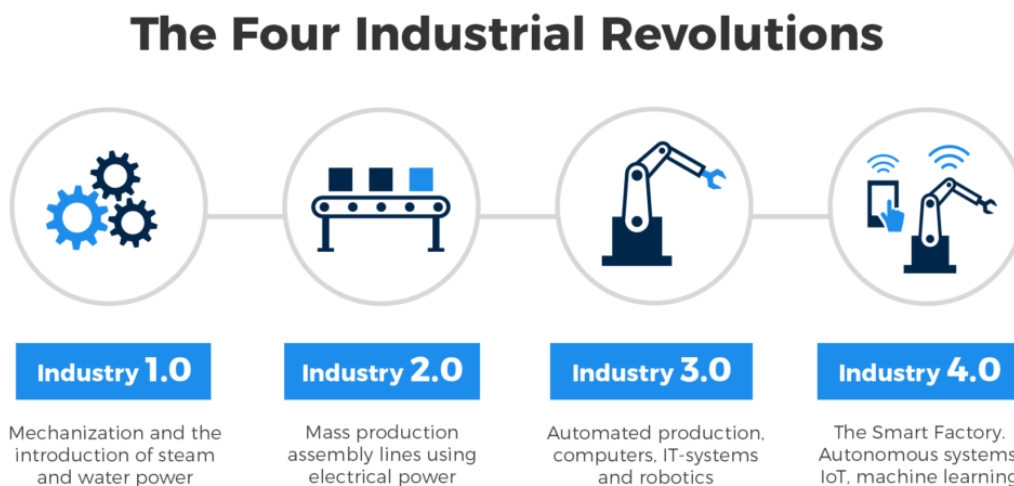
Κατάλογος Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά των έξυπνων γυαλιών ανά κατηγορία και μοντέλο..... | 31 |
| Πίνακας 2.2: Οι βαθμολογικές βαρύτητες της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process) | 34 |
| Πίνακας 2.3: Προτεινόμενοι από τον Saaty Δείκτες Συμβιβαστότητας ανά πλήθος στοιχείων n | 36 |
| Πίνακας 2.4: Βαθμολόγηση και Σύγκριση Κριτηρίων | 39 |
| Πίνακας 2.5: Βαθμολόγηση Μοντέλων ανά Κριτήριο..... | 40 |
| Πίνακας 2.6: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει του Λειτουργικού Συστήματος | 41 |
| Πίνακας 2.7: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της Απόδοσης | 41 |
| Πίνακας 2.8: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της Συνδεσιμότητας..... | 42 |
| Πίνακας 2.9: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της ποιότητας Οθόνης | 42 |
| Πίνακας 2.10: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει του Βάρους | 43 |
| Πίνακας 2.11: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της Ποιότητας της Κάμερας..... | 43 |
| Πίνακας 2.12: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάση της Τιμής..... | 44 |
| Πίνακας 2.13: Τελικός Πίνακας Κατάταξης | 45 |
| Πίνακας 3.1: : Πλήθος αποτελεσμάτων ανά AR SDK στη μηχανή αναζήτησης της Google.... | 57 |

1. Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή, οι βιομηχανίες εστιάζουν όλο και περισσότερο στην αξιοποίηση της τεχνολογίας για τη βελτίωση των διαδικασιών τους. Η βελτίωση είναι πολύπλευρη. Περιλαμβάνει την αύξηση της ταχύτητας, της απόδοσης και της παραγωγικότητας. Ακόμη, ενδιαφέρει η αξιοπιστία των διαδικασιών αλλά και η μείωση του κόστους τους. Ανέκαθεν οι βιομηχανίες ενδιαφέρονταν για τους παραπάνω παράγοντες, ωστόσο οι νέες τεχνολογίες μπορούν να δώσουν λύσεις οι οποίες οδηγούν σε εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Τα τελευταία χρόνια, μία σειρά τεχνολογιών και εφευρέσεων, έχουν ανατρέψει τα δεδομένα στη βιομηχανία φέρνοντας την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, γνωστή και ως Industry 4.0. Το Industry 4.0 ουσιαστικά έγκειται στην ψηφιοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Η χρήση των υπολογιστών στην παραγωγή, η οποία είχε ξεκινήσει από την τρίτη βιομηχανική επανάσταση, έρχεται να εμπλουτιστεί με έξυπνα συστήματα και τεχνολογίες αυτοματοποίησης, μέσω των δεδομένων και της εκμάθησης μηχανών (machine learning). Το Σχήμα 1.1 υποδεικνύει τις διαφορές ανάμεσα στις τέσσερις βιομηχανικές επαναστάσεις.



Σχήμα 1.1: Οι βιομηχανικές επαναστάσεις

Τα παραπάνω στοιχεία, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη σύνδεση και επικοινωνία των υπολογιστών και κατ' επέκταση των μηχανών, μεταξύ τους. Η διασύνδεση αυτή περιγράφεται από τον όρο Internet of Things (IoT) (Okano, 2017). Χάρη στο IoT, οι συσκευές μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους και με το δίκτυο, ανταλλάσσοντας ιδιαιτέρως χρήσιμες για τη λειτουργία τους πληροφορίες. Έτσι πλέον, πολλές διαδικασίες αυτοματοποιούνται, αφού οι μηχανές στέλνουν μόνες τους τις απαιτούμενες για τον μηχανικό πληροφορίες και δεν χρειάζεται κάποιος να τις συλλέξει χειροκίνητα.

Όλες οι διαδικασίες που αυτοματοποιούνται, κερδίζουν ιδιαιτέρως σημαντικό χρόνο στις επιχειρήσεις. Ο χρόνος αυτός έχει να κάνει και με τη δυνατότητα λειτουργίας της μηχανής χωρίς διακοπές για ελέγχους, αλλά και με τη μείωση των δραστηριοτήτων των εργαζομένων. Επίσης, η συλλογή όλων των δεδομένων επιτρέπει να γίνονται μελέτες και κατόπιν

παρεμβάσεις βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και τα δεδομένα που συλλέγονται αυξάνονται, τόσο η παραγωγή γίνεται αποδοτικότερη.

Πέρα από την αξιοποίηση των ίδιων των δεδομένων, η ψηφιοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας ανοίγει νέους ορίζοντες και δυνατές εφαρμογές. Σε αυτές, περιλαμβάνονται οι αυτόνομες μηχανές και τα οχήματα, τα οποία εξελίσσονται ραγδαία. Τέτοια μπορεί να είναι για παράδειγμα τα ράφια σε σύγχρονα κέντρα της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα οποία μετακινούνται και πηγαίνουν στον εργαζόμενο (picker) (Inside an Amazon Warehouse, Robots' Ways Rub Off on Humans, 2020). Επίσης, μεγάλο είναι το εύρος των εφαρμογών όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν έξυπνα ρομπότ (Masood and Egger, 2019). Από τη μετακίνηση αγαθών και τη συσκευασία τους, στη ρύθμιση της παραγωγής και τον έλεγχο των προϊόντων, οι εφαρμογές είναι απεριόριστες. Ακόμη, η τρισδιάστατη εκτύπωση αντικειμένων (3D-Printing) βελτιώνεται συνεχώς και έχει αλλάξει την διαδικασία προτυποποίησης (Fox and Subic, 2019). Πλέον δεν χρειάζεται να δημιουργηθεί καλούπι για το αρχικό πρωτότυπο, αλλά μπορεί να δημιουργηθεί απευθείας από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή, κάνοντας την διαδικασία πολύ ταχύτερη.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να ενταχθούν στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Μία ακόμη σημαντική προσθήκη, στην οποία η παρούσα εργασία επικεντρώνεται, είναι η τεχνολογία της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality – AR). Η επαυξημένη πραγματικότητα έγκειται στην ζωντανή και διαδραστική εναπόθεση ψηφιακών πληροφοριών πάνω στο πραγματικό περιβάλλον μέσω συσκευών όπως τα έξυπνα γυαλιά ή τα έξυπνα τηλέφωνα (4 ways the supply chain industry will use Augmented Reality, 2020). Η ιδέα της επαυξημένης πραγματικότητας δεν είναι καινούργια, αφού το πιο δημοφιλές σχετικό άρθρο (Azuma, 1997) δημοσιεύθηκε τριάντα χρόνια πριν. Παρ' όλα αυτά, το λογισμικό και υλισμικό που απαιτούνταν για τη χρήση της ήταν εξαιρετικά σπάνια και κοστοβόρα για την εποχή. Την τελευταία δεκαετία ωστόσο, η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση έχει δώσει χώρο σε τεχνολογίες που βοηθούν και μειώνουν το κόστος χρήσης της ΕΠ. Αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με την εκμάθηση μηχανών, και τη βελτίωση των εφαρμογών με την αξιοποίηση των δεδομένων από τις διάφορες συσκευές χρήσης.

Βάσει των παραπάνω, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλέον σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, διευκολύνοντας τις διαδικασίες συντήρησης, κατασκευής, επιδιόρθωσης και συναρμολόγησης προϊόντων και μηχανών (Masood and Egger, 2019). Πιο συγκεκριμένα, μπορεί κανείς να εντοπίσει πολυάριθμες δημοσιεύσεις εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στην βιομηχανία. Κάποιες από αυτές περιγράφονται παρακάτω.

Η ομάδα του Feiner (Feiner, Macintyre and Seligmann, 1993), περιέγραψε πρώτη το πρωτότυπο KARMA, μέσω του οποίου ο τεχνικός μπορούσε να ολοκληρώσει την συντήρηση ενός εκτυπωτή laser, μέσω κατευθύνσεων που λάμβανε από εφαρμογή στην οθόνη κεφαλής. Έτσι η συντήρηση ολοκληρώνεται χωρίς την ανάγκη χρήσης εξωτερικών εγγράφων και οδηγιών.

Άλλες εφαρμογές επιτρέπουν την χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας για την αποδοτική εκπαίδευση τεχνικών με τρόπο ταχύτερο σε σχέση με τους παραδοσιακούς, λόγω

της διάδρασης με το τεχνολογικό σύστημα (Webel et al., 2013). Στον ίδιο τομέα, η ομάδα του Haritos (Haritos and Macchiarella, 2005) περιγράφει ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας για την εκπαίδευση συντηρητών αεροσκαφών. Έτσι οι τεχνικοί εκπαιδεύονται πριν χρειαστεί να επέμβουν σε κάποιο αεροσκάφος, όπως συμβαίνει παραδοσιακά. Ακόμη, ο Ferrise (Ferrise et al., 2017), μας περιγράφει πώς μέσω της συγκεκριμένης τεχνολογίας, ένας έμπειρος τεχνικός, μπορεί να βοηθήσει έναν λιγότερο εξασκημένο, και μάλιστα εξ αποστάσεως.

Έπειτα, στη δημοσίευση του Regenbrecht (Regenbrecht, Baratoff and Wilke, 2005), παρουσιάζονται εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας στην αυτοκινητοβιομηχανία αλλά και την αεροδιαστημική. Συγκεκριμένα περιγράφεται πως η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στην συντήρηση αλλά και την συναρμολόγηση κομματιών αυτοκινήτων και αεροπλάνων. Το Σχήμα 1.2 δείχνει μία περίπτωση επιδιόρθωσης εξαρτήματος με τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας.



Σχήμα 1.2: Εργαζόμενος λαμβάνει οδηγίες από σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας

Αντίστοιχη εφαρμογή περιγράφεται και από τον Masoni (Masoni et al., 2017), αφού με τον τρόπο αυτό ο έμπειρος τεχνικός μπορεί να υποστηρίξει γρήγορα όσους έχουν ανάγκη γνωμοδότησης, ακόμη και αν βρίσκονται μακριά από αυτόν, ακόμη και σε άλλη βιομηχανική μονάδα ή χώρα. Στο ίδιο πλαίσιο αλλά διαφορετική λογική, κινείται η ομάδα της Bordegoni (Bordegoni, 2014). Αυτή τη φορά η απομακρυσμένη υποστήριξη συντήρησης, δίνεται από τον τεχνικό σε πελάτη της επιχείρησης. Έτσι μειώνονται τα έξοδα αλλά και ο χρόνος των τεχνικών, ενώ η βοήθεια μπορεί να είναι πολύ αμεσότερη.

Οι παραπάνω εφαρμογές αποτελούν ορισμένες από τις πιο δημοφιλείς όσον αφορά την χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στη βιομηχανία. Ωστόσο υπάρχουν περισσότερες, ίσως λιγότερο δημοφιλείς, και σε άλλους βιομηχανικούς τομείς. Ένας σημαντικός κλάδος όπου η επαυξημένη πραγματικότητα έχει μεγάλες προοπτικές χρήσης, είναι η εφοδιαστική

αλυσίδα. Στα εφοδιαστικά κέντρα βλέπουμε όλο ένα και περισσότερες εφαρμογές, ορισμένες από τις οποίες εστιάζονται συγκεκριμένα στην διαδικασία συλλογής των παραγγελιών, γνωστή ως picking.

Μέχρι στιγμής, οι εργαζόμενοι στα κέντρα (pickers), χρησιμοποιούσαν χαρτί και μολύβι για την συλλογή παραγγελιών, ή σε ποιο εξελιγμένα κέντρα υπολογιστές χειρός, προκειμένου να εντοπίσουν τα προϊόντα που πρέπει να συλλέξουν και να σημειώσουν ποια από αυτά έχουν βρει. Η επαυξημένη πραγματικότητα έρχεται να δώσει νέες λύσεις στον τομέα αυτό. Ορισμένες εταιρίες με μεγάλα κέντρα διανομής, όπως η DHL, χρησιμοποιούν ήδη την τεχνολογία για να βελτιώσουν τη διαδικασία. Σύμφωνα με την DHL (Glockner, Jannek, Mahn and Theis, 2014), η χρήση ενδυτών συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας για τη συλλογή παραγγελιών, καλείται vision picking και μπορεί να εκμηδενίσει τα λάθη των εργαζομένων αλλά και να μειώσουν τον απαιτούμενο χρόνο για τη συλλογή των παραγγελιών (Elbert and Sarnow, 2019).

Στο παραπάνω αντικείμενο, εστιάζει ερευνητικό έργο που υλοποιείται τη δεδομένη στιγμή από το Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής του ΤΒΔ&ΕΕ. Το έργο στοχεύει στην ένταξη της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας στη διαδικασία συλλογής παραγγελιών σε εφοδιαστικά κέντρα. Συγκεκριμένα μελετάται πώς η χρήση έξυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας, μπορεί να αναβαθμίσει τη διαδικασία, δίνοντας στον εργαζόμενο οδηγίες σχετικά με το αγαθό που πρέπει να συλλέξει, την τοποθεσία και την ποσότητά του. Ο κωδικός του προϊόντος δε, μπορεί να σαρωθεί από την κάμερα των γυαλιών. Έτσι εκτελείται όλη η διαδικασία χωρίς ο εργαζόμενος να πρέπει να χρησιμοποιήσει τα χέρια του για να ελέγξει το τεχνολογικό σύστημα, επομένως αυξάνεται η παραγωγικότητα, η ασφάλεια και η ακρίβειά του.

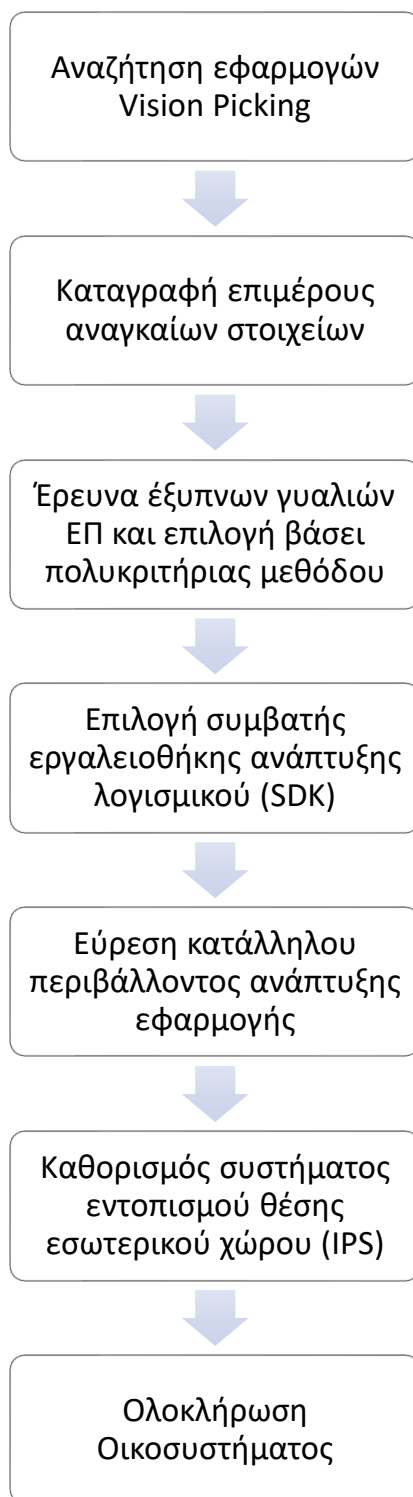
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να υποστηρίξει το παραπάνω έργο, μελετώντας και προτείνοντας τις καταλληλότερες λύσεις όσον αφορά το λογισμικό και υλισμικό που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι, η μελέτη χωρίζεται σε τέσσερα στάδια, κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει ένα αντικείμενο έρευνας.

Το πρώτο αφορά στα έξυπνα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας που είναι κατάλληλα για χρήση από τον εργαζόμενο (picker) κατά τη βάρδια του. Αφού ερευνώνται τα διαθέσιμα στην αγορά μοντέλα, αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους μέσω μίας πολυκριτήριας μεθόδου και προτείνεται το καταλληλότερο. Στη συνέχεια μελετάται το λογισμικό. Στο δεύτερο στάδιο αναλύονται οι εργαλειοθήκες ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Kits – SDK), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόσδοση των επιθυμητών χαρακτηριστικών επαυξημένης πραγματικότητας στην εφαρμογή. Στο τρίτο στάδιο ερευνώνται τα συμβατά με την αμέσως προηγούμενη επιλογή, περιβάλλοντα ανάπτυξης λογισμικού, ώστε να μπορέσει να υλοποιηθεί η εφαρμογή και να είναι λειτουργική. Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο της έρευνας, γίνεται αναζήτηση των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους, ώστε να είναι γνωστή η θέση της συσκευής και κατ' επέκταση του εργαζομένου, κάθε στιγμή.

Οι επιλογές που προτείνονται σε κάθε ένα από τα στάδια, αποτελούν στο σύνολό τους ένα ολιστικό σύστημα μέσω του οποίου μπορεί να υλοποιηθεί η διαδικασία συλλογής παραγγελιών σε σύγχρονα αποθηκευτικά κέντρα με τη βοήθεια της επαυξημένης

πραγματικότητας (vision picking). Οι επιλογές είναι προσαρμοσμένες στις ανάγκες και απαιτήσεις του έργου, ενώ μπορεί με αλλαγή των παραμέτρων, να προσαρμοστούν σε οποιαδήποτε παρόμοια εφαρμογή.

Παρακάτω, στο Σχήμα 1.3: Μεθοδολογία έρευνας και επιλογής επιμέρους στοιχείων φαίνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την παρούσα διπλωματική εργασία.



Σχήμα 1.3: Μεθοδολογία έρευνας και επιλογής επιμέρους στοιχείων

2. Γυαλιά Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality – AR) είναι ένας νέος, αποτελεσματικός τρόπος παροχής και επεξεργασίας πληροφοριών. Μέσω της τεχνολογίας και με τη χρήση μίας ηλεκτρονικής οθόνης, το φυσικό περιβάλλον επαυξάνεται με ψηφιακό περιεχόμενο. Πληθώρα εφαρμογών δημιουργείται τα τελευταία χρόνια προωθώντας τη χρήση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας σε όλο και περισσότερους τομείς. Μέχρι στιγμής, η μεγαλύτερη εμπορική της επιτυχία, σημειώνεται στη βιομηχανία και συγκεκριμένα στη χρήση από τους εργαζόμενους της «πρώτης γραμμής». Έτσι, ενώ οι εφαρμογές της δεν είναι ευρέως γνωστές και διαδεδομένες για καθημερινή χρήση, στη βιομηχανία η υιοθέτηση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας αυξάνεται συνεχώς.

Τα έξυπνα γυαλιά, αποτελούν μία συσκευή που ανήκει στην κατηγορία της ενδυτής τεχνολογίας (wearable technology). Συχνά μοιάζουν με συνήθη γυαλιά οράσεως, ωστόσο εμπεριέχουν έναν φορητό υπολογιστή ο οποίος επιτρέπει την επεξεργασία, μετάδοση και λήψη πληροφοριών, από τον χρήστη που τα φοράει.

Η χρήση «έξυπνων» γυαλιών (smart glasses) με ενσωματωμένη τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας, μπορεί να προσφέρει μία εμπειρία ανταλλαγής πληροφοριών, χωρίς τη χρήση των χεριών. Η λήψη της πληροφορίας γίνεται μέσω της όρασης. Όσον αφορά την αποστολή της, οι περισσότεροι κατασκευαστές γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας ενσωματώνουν στην κατασκευή μικρόφωνα και μεγάφωνα. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιεί τη χειρωνακτική εργασία του, δεχόμενος πληροφορίες και αλληλοεπιδρώντας με το πληροφοριακό σύστημα χωρίς να χρησιμοποιεί τα χέρια του.

Τα βήματα λειτουργίας μίας συσκευής επαυξημένης πραγματικότητας, μπορούν να συνοψιστούν στα εξής τέσσερα:

1. Η συσκευή προσλαμβάνει ένα ερέθισμα από το φυσικό περιβάλλον ή τον χρήστη μέσω των αισθητήριων οργάνων.
2. Από την επεξεργασία του ερεθίσματος και ενδεχομένως μέσω ειδικών τοποθετημένων (QR Codes, Barcodes) σημάτων αναγνωρίζει το σημείο στο οποίο πρέπει να προβάλει την επιθυμητή πληροφορία.
3. Μόλις καθοριστεί το σημείο, η συσκευή ανακαλεί την πληροφορία που πρέπει να προβληθεί στο περιβάλλον
4. Η πληροφορία αναπαράγεται στο επιθυμητό σημείο, επαυξάνοντας την πραγματικότητα του χρήστη.

Αυτή τη στιγμή, το Android, το λειτουργικό σύστημα της Google, είναι το κυρίαρχο ανάμεσα στα έξυπνα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας. Ωστόσο χρησιμοποιούνται και άλλα λειτουργικά συστήματα όπως τα Windows και τα Linux. Το λειτουργικό σύστημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό αφού βάσει αυτού γίνεται η ανάπτυξη των διαφόρων εφαρμογών από τους προγραμματιστές. Τα εργαλεία μέσα από τα οποία δημιουργούνται οι εφαρμογές εξετάζονται αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια.

2.1 Χαρακτηριστικά προς Εξέταση

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας, περιλαμβάνουν τις μονάδες επεξεργασίας, τους αισθητήρες και τις συσκευές μετάδοσης εικόνας και ήχου, όπως η οθόνη κεφαλής (HMD – Head Mounted Display) και τυχόν ακουστικά που μπορεί να συμπεριλαμβάνονται. Προκειμένου να καταλήξουμε και να επιλέξουμε τα καταλληλότερα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, πρέπει να εξετάσουμε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία στη συνέχεια θα αναλυθούν για κάθε διαθέσιμο μοντέλο. Ύστερα από έρευνα στα υπάρχοντα μοντέλα και τεχνολογίες γυαλιών, παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους (Smart Glasses Guide: Learn more about AR glasses | ESSERT DIGITAL, 2020).

Λειτουργικό Σύστημα

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της συσκευής, είναι το λογισμικό βάσει του οποίου λειτουργεί. Το μοντέλο που θα επιλεγεί θα πρέπει να είναι συμβατό με το αντίστοιχο λογισμικό στο οποίο θα γίνει η ανάπτυξη των εφαρμογών. Αντίστροφα, θα πρέπει να μην περιορίζει τις επιλογές προγραμμάτων, εμφανίζοντας συμβατότητα με την πλειοψηφία των εναλλακτικών.

Επεξεργαστής

Ο επεξεργαστής πρέπει σίγουρα να ληφθεί υπόψιν αφού καθορίζει την υπολογιστική ισχύ του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί. Στα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας οι επεξεργαστές είναι σημαντικοί τόσο για την επεξεργασία των πληροφοριών που προέρχονται από το περιβάλλον όσο και την απόδοσή τους σε αυτό.

Μνήμη (RAM)

Μαζί με τον επεξεργαστή, η μνήμη RAM αποτελούν τα βασικότερα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την υπολογιστική ικανότητα του υλισμικού που χρησιμοποιείται. Έτσι η μνήμη πρέπει να επιτρέπει την ομαλή λειτουργία του λογισμικού και της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Θα πρέπει να εξεταστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ομάδας λογισμικού.

Bluetooth

Η συγκεκριμένη τεχνολογία αφορά στη συνδεσιμότητα του μοντέλου γυαλιών με άλλα συστήματα και συσκευές. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες Bluetooth και επηρεάζουν μεταξύ άλλων την ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας και την κατανάλωση ισχύος, δηλαδή μπαταρίας. Η τεχνολογία λειτουργεί με συγκεκριμένα πρωτόκολλα, επομένως όσο πιο καινούργιο είναι το πρωτόκολλο του Bluetooth της συσκευής, τόσο πιο επιθυμητό είναι.

Wi-Fi

Το Wi-Fi επίσης αποτελεί τεχνολογία σχετική με τη συνδεσιμότητα της συσκευής. Το Wi-Fi είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού πέρα από τη σύνδεση στο δίκτυο, ενδεχομένως να αποτελεί και μέρος του συστήματος καθορισμού θέσης (GPS) της συσκευής και επομένως του picker, όπως εξετάζεται αναλυτικά σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Οθόνη

Η οθόνη κεφαλής (HMD – Head Mounted Display) αποτελεί άλλο ένα χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψη αφού είναι η βασική πηγή μετάδοσης πληροφορίας στον χρήστη. Επομένως πρέπει να ελεγχθεί η τεχνολογία της και το μέγεθός της. Να σημειωθεί ότι η επιλογή της κατάλληλης οθόνης, μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της εργονομίας του εξαρτήματος. Πέρα από το είδος οθονών κεφαλής, όπου η πληροφορία εμφανίζεται σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο εντός του πεδίου οράσεως, υπάρχουν ορισμένα μοντέλα, όπου ολόκληρος ο φακός του γυαλιού αποτελεί οθόνη. Στην περίπτωση ολόκληρο σχεδόν το πεδίο οράσεως μετατρέπεται σε οθόνη.

Βάρος

Το βάρος είναι άλλος ένας παράγοντας που καθορίζει την εργονομία του μοντέλου. Καθώς ο χρήστης θα φορά τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας του, δηλαδή μία οχτάωρη βάρδια, είναι σημαντικό να είναι κατά το δυνατόν πιο ελαφριά για να μη τον κουράζουν. Θα πρέπει δηλαδή ο εργαζόμενος να μπορεί να κάνει όλες τις κινήσεις που έκανε με το κεφάλι του και πριν, χωρίς τα γυαλιά να τον εμποδίζουν ή να δημιουργούν κούραση και δυσκολία.

Μπαταρία

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα γυαλιά θα χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια μία βάρδιας. Επομένως είναι σημαντικό να μπορούν να λειτουργούν αυτή τη διάρκεια της βάρδιας ώστε να μη χρειάζεται ο χρήστης να αλλάξει ζευγάρι και να αφήσει το πρώτο να φορτίσει. Σημαντικό βέβαια είναι το γεγονός, πως ανεξάρτητα από τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τη λύση για μία βάρδια χωρίς φόρτιση μπορεί να δώσει μία εξωτερική μπαταρία (power bank). Έτσι με ένα μικρό επιπλέον κόστος, ένα στέλεχος μπορεί να δεθεί στη ζώνη του εργαζόμενου, και με ένα μικρό καλώδιο να δίνει ρεύμα στα έξυπνα γυαλιά.

Τιμή

Φυσικά όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά ενός μοντέλου, επηρεάζουν την τιμή του. Έτσι θα επιλεγεί το μοντέλο με τα καλύτερα χαρακτηριστικά εντός του χρηματικού ορίου που μπορεί να διατεθεί για την απόκτησή του. Τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας έχουν διάφορα επίπεδα τιμών, ξεκινώντας περίπου από τα 500\$ ανά ζευγάρι και φτάνοντας μέχρι χιλιάδες δολάρια. Σημειώνεται, πως η τιμή συνήθως δεν είναι μοναδική και ενιαία για κάθε ζευγάρι. Εξαρτάται από τον αγοραστή, την εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιηθούν και τον αριθμό των μοντέλων που θα αγοραστούν. Επομένως, συνήθως άλλη είναι η τιμή για έναν προγραμματιστή με σκοπό την ανάπτυξη νέων εφαρμογών, άλλη η τιμή λιανικής για έναν ιδιώτη και διαφορετική για μία επιχείρηση που σκοπό έχει τη βελτίωση των διαδικασιών της και την αύξηση του κέρδους της. Το υπό μελέτη έργο, υπάγεται στην τελευταία κατηγορία.

2.2 Μεθοδολογία Επιλογής Μοντέλου

Για την τελική επιλογή του μοντέλου, θα συλλεχθούν οι πληροφορίες περί των ανωτέρω χαρακτηριστικών για τα δημοφιλέστερα μοντέλα γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας που υπάρχουν στην αγορά (Díaz, 2020). Στη συνέχεια, για τη σύγκριση και κατάταξη των μοντέλων, χρησιμοποιείται η αναλυτική ιεραρχική μέθοδος (analytical hierarchy process), η οποία περιγράφεται παρακάτω.

Στόχος της χρήσης της μεθόδου, της βαθμολόγησης των χαρακτηριστικών και καθιέρωσης συντελεστών, είναι μεταξύ άλλων και η δυνατότητα αξιοποίησης της συγκεκριμένης ανάλυσης και σε άλλα έργα. Βάσει του πίνακα ο οποίος θα δημιουργηθεί, θα μπορεί να γίνει προσαρμογή των συντελεστών, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τον καθένα για το έργο που μελετά. Επομένως, θα μπορεί να προκύψει το βέλτιστο μοντέλο γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας για την εκάστοτε εφαρμογή.

Για την εύρεση των χαρακτηριστικών του κάθε μοντέλου, η κύρια πηγή είναι η ίδια η εταιρία που το κατασκεύασε. Έτσι αναζητούνται πληροφορίες στην ιστοσελίδα της εταιρίας και σε ενδεχόμενα τεχνικά φυλλάδια που διατίθενται για υποψήφιους πελάτες και προγραμματιστές. Σε περίπτωση που κάποιο χαρακτηριστικό λείπει, ερχόμαστε σε απευθείας επαφή με την κατασκευάστρια για να συλλέξουμε την πληροφορία. Φυσικά στη διάθεσή μας είναι κάθε πηγή που μπορεί να παρέχει επιπλέον πληροφορίες ή κριτικές για το μοντέλο που εξετάζουμε.

2.3 Μοντέλα προς Εξέταση

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα πιθανώς κατάλληλα και διαθέσιμα στην αγορά μοντέλα γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

2.3.1 VUZIX M300



Σχήμα 2.1: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών VUZIX M300

Τα Vuzix M300 είναι ένα ζευγάρι έξυπνων γυαλιών, σχεδιασμένο ειδικά για επαγγελματική χρήση, το οποίο πρώτο-κυκλοφόρησε το 2016 (Vuzix | Augmented Reality Smart Glasses, 2020). Κατασκευάζεται από την Vuzix που έχει έδρα στις ΗΠΑ και είναι ίσως η πιο εδραιωμένη εταιρία ανάπτυξης, σχεδίασης και κατασκευής έξυπνων γυαλιών στον κόσμο. Τα Vuzix M300 συναντώνται κυρίως σε δραστηριότητες στην ιατρική, τη βιομηχανία και την εφοδιαστική αλυσίδα. Είναι μία εργονομικά σχεδιασμένη και ανθεκτική φορητή συσκευή που βασίζεται σε λειτουργικό σύστημα Android.

Κύριο χαρακτηριστικό είναι το μικρό μέγεθος και βάρος τους. Ζυγίζουν μόλις 127 γραμμάρια, γεγονός που τα καθιστά ένα από τα ελαφρύτερα μοντέλα στην αγορά. Το χαμηλό βάρος επιτρέπει την πολύωρη χρήση χωρίς ενοχλήσεις για τον εργαζόμενο. Διαθέτουν επεξεργαστή Intel Atom διπλού πυρήνα (Dual Core) και μνήμη (RAM) 2GB. Όσον αφορά τη συνδεσιμότητα, διαθέτουν Wi-Fi και Bluetooth 4.1, το οποίο είναι τεχνολογία χαμηλής ενέργειας. Η οθόνη είναι τύπου HMD (Head Mounted Display) και τεχνολογίας Occluded LCD, ενώ μπορεί να προσαρμοστεί στη δεξιά ή την αριστερή πλευρά των γυαλιών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Η οθόνη είναι συνδεδεμένη με την 13MP (Mega Pixel) κάμερα που επιτρέπει τη μαγνητοσκόπηση του χώρου. Επίσης διαθέτουν πεδίο αφής 2 κατευθύνσεων στο πλάι για καλύτερο και εύκολο χειρισμό ενώ είναι σχεδιασμένα για να αντέχουν στη σκόνη το νερό και τις πτώσεις

Το λογισμικό Android επίσης αποτελεί πλεονέκτημα αφού δίνει τη δυνατότητα προγραμματισμού και ανάπτυξης εφαρμογών με πολλά εργαλεία. Η VUZIX επιπρόσθετα, μαζί με τα γυαλιά παρέχει μία συλλογή βιβλιοθηκών για την εφαρμογή που θα αναπτύξουν οι προγραμματιστές, δίνοντας τη δυνατότητα σάρωσης Barcodes και επικοινωνίας μέσω φωνητικών εντολών.

Τέλος, το κόστος αγοράς τους για την εφαρμογή είναι 999\$, η οποία είναι κάτω από τη μέση τιμή των υπό εξέταση μοντέλων.

Όλα αυτά τα καθιστούν ιδιαίτερα καλά για την εφαρμογή μας. Όλα τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα σύγκρισης με τα υπόλοιπα μοντέλα.

2.3.2 RealWear HMT-1



Σχήμα 2.2: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών RealWear HMT-1

Το ζευγάρι έξυπνων γυαλιών HMT-1 είναι η λύση της Ιαπωνικής εταιρίας RealWear για ένα μοντέλο επαγγελματικής χρήσης. Παρουσιάστηκαν πρώτη φορά στο “Wearable Technology 2017” και χαρακτηρίστηκαν ως το βιομηχανικό ενδυτό tablet (HMT - Head Mounted Tablet), αφού η οθόνη που βλέπει ο χρήστης είναι 7 ιντσών (HMT-1 Specifications - RealWear, 2020). Το τελευταίο αποτελεί ειδοποιό διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα όπου οι οθόνες είναι μικρότερες.

Διαθέτουν επεξεργαστή Qualcomm Snapdragon™ 625 και μνήμη (RAM) 2GB. Η ενσωματωμένη κάμερα είναι 16MP, η οποία είναι η υψηλότερη ανάλυση ανάμεσα σε όλα συγκρινόμενα μοντέλα. Η μπαταρία τους μπορεί να διαρκέσει έως και 10 ώρες, επομένως μία ολόκληρη βάρδια χωρίς εξωτερική μπαταρία. Το λογισμικό τους είναι Android, όπως και στα VUZIX M300 αλλά και την πλειοψηφία των μοντέλων. Σημειώνεται ότι διαθέτουν επίσης Wi-Fi και Bluetooth χαμηλής ενέργειας.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν έχουν κουμπιά ή χειριστήρια, αλλά λειτουργούν εξολοκλήρου με φωνητικές εντολές. Για να επιτευχθεί το παραπάνω, το μοντέλο αυτό διαθέτει τέσσερα ενσωματωμένα μικρόφωνα και τρέχει ειδικούς αλγόριθμους για την αποκοπή του αταίριαστου ήχου, δηλαδή του θορύβου, ο οποίος στα βιομηχανικά περιβάλλοντα κυμαίνεται συνήθως σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Τέλος, είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικά υλικά, για να αντέχουν στο βιομηχανικό περιβάλλον όπως και τα VUZIX M300.

Όλα τα παραπάνω, καθιστούν το συγκεκριμένο μοντέλο ιδιαίτερα καλό. Ωστόσο παρουσιάζει δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Αρχικά, είναι αρκετά βαρύ, ζυγίζοντας 430 γραμμάρια, παραπάνω από τρεις φορές το βάρος των Vuzix M300. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2 διαθέτει υποστηρικτικό κεφαλής, προκειμένου το βάρος να μην στηρίζεται στα αυτιά του χρήστη αλλά στο κεφάλι του, κάνοντας τη χρήση πιο ξεκούραστη. Το δεύτερο και μεγαλύτερο μειονέκτημα, είναι η τιμή αγοράς τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο κοστίζει 2.500\$, γεγονός που το καθιστά ένα από τα ακριβότερα στην αγορά. Επομένως η αγορά θα

πρέπει να γίνει εφόσον τα χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι απαραίτητα για το έργο και δεν μπορούν να καλυφθούν οι απαιτήσεις με κάποιο οικονομικότερο μοντέλο.

2.3.3 Microsoft HoloLens



Σχήμα 2.3: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Microsoft HoloLens

Τα Microsoft HoloLens είναι μία συσκευή μικτής πραγματικότητας (mixed reality). Αυτό σημαίνει ότι ξεπερνάνε τα όρια και τις δυνατότητες των μοντέλων υπολοίπων μοντέλων επαυξημένης πραγματικότητας. Τα HoloLens συνδυάζουν οπτική και αισθητήρες για να τοποθετούν τρισδιάστατα ολογράμματα στον πραγματικό κόσμο (HoloLens 2—Overview, Features, and Specs | Microsoft HoloLens, 2020). Με τα γυαλιά αυτά ο χρήστης μπορεί όχι απλά να δει ψηφιακές πληροφορίες στο φυσικό περιβάλλον, αλλά και να αλληλοεπιδράσει με αυτές.

Είναι κατασκευασμένα από την Microsoft και αποτελούν την πρώτη συσκευή λειτουργίας της πλατφόρμας Windows Mixed Reality του λειτουργικού Windows. Η Microsoft τα παρουσιάζει ως τον πρώτο αυτόνομο ολογραφικό υπολογιστή.

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ίσως το πιο προηγμένο της αγοράς λόγω του λογισμικού του, αλλά και με επεξεργαστή Intel, 2GB μνήμη, δυνατότητες σύνδεσης Wi-Fi και Bluetooth αλλά και τη δυνατότητα χρήσης όλου του φακού ως οθόνη. Ωστόσο πρόκειται ταυτόχρονα για μία από τις πιο ογκώδεις συσκευές γυαλιών, καθώς διαθέτει πολλές κάμερες και αισθητήρες για να υποστηρίζουν τις λειτουργίες του.

Το τελευταίο, τα καθιστά ενδεχομένως ακατάλληλα για τους σκοπούς του έργου. Ο μεγάλος όγκος τους φαίνεται στο Σχήμα 2.3, ενώ σε συνδυασμό με το βάρος τους, κάνουν δύσκολη τη χρήση τους κατά τη διάρκεια μίας οχτάωρης βάρδιας. Σίγουρα άλλωστε οι δυνατότητες τους ξεπερνάνε τις ανάγκες του έργου.

Βεβαίως η προηγμένη τεχνολογία έρχεται στην αντίστοιχη τιμή. Πέρα από το βάρος και τον όγκο, το κόστος των 3.500\$ τα καθιστά δύσκολα προσεγγίσιμα για την εφαρμογή μας.

2.3.4 Epson Moverio BT-300



Σχήμα 2.4: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Epson Moverio BT-300

Τα Moverio είναι τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας της εταιρίας Epson. Είναι και αυτά φτιαγμένα με κύριο σκοπό τη βιομηχανική χρήση. Η κατασκευάστρια εταιρία αναδεικνύει την προηγμένης τεχνολογίας Si-OLED οθόνη, χάρη στην οποία η εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας μοιάζει πιο αληθινή.

Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνονται ο επεξεργαστής Intel Atom, η μνήμη RAM 2GB, και η συνδεσιμότητα μέσω Wi-Fi αλλά και Bluetooth. Η ποιότητα της κάμερας του μοντέλου είναι σχετικά κακή με ανάλυση μόλις 5MP.

Σημαντικό επίσης είναι το λογισμικό που χρησιμοποιούν. Το λογισμικό Moverio, είναι ανοιχτού κώδικα, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να γίνει ανάπτυξη των επιθυμητών εφαρμογών για το εκάστοτε έργο. Ωστόσο δεν αποτελεί κάποια από τις ευρέως γνωστές πλατφόρμες, το οποίο σημαίνει ότι θα χρειαζόταν εκμάθηση πριν τη χρήση του.

Στα αρνητικά, είναι η αδυναμία χειρισμού χωρίς χέρια. Τα Moverio BT-300 λειτουργούν με χειριστήριο χείρας στο οποίο υπάρχουν πέρα από τη μονάδα επεξεργασίας, κουμπιά και χωρητική οθόνη (touchpad), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Το γεγονός αυτό δεν τα καθιστά ιδανικά για την υπό μελέτη εφαρμογή, αφού θα πρέπει ο εργαζόμενος να τα ελέγχει κατεβάζοντας τα χέρια στη ζώνη του όπου θα είναι το χειριστήριο.

Δεδομένου ωστόσο ότι όλος ο μηχανισμός βρίσκεται στο χειριστήριο, το μοντέλο είναι ένα από τα ελαφρύτερα της αγοράς με βάρος μόλις 47 γραμμάρια.

Η τιμή τους είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστική, αφού κοστίζουν μόλις 699\$.

2.3.5 Toshiba DynaEdge



Σχήμα 2.5: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Toshiba DynaEdge

Τα DynaEdge έχουν κυκλοφορήσει στην αγορά από την εταιρία Toshiba. Είναι σχεδιασμένα για επαγγελματικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Ουσιαστικά αποτελούνται από το βασικό κομμάτι που είναι στα γυαλιά και μία εξωτερική μονάδα επεξεργασίας που συνδέεται με USB-C, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.5. Αυτό επιτρέπει στο εξάρτημα κεφαλής να έχει το ιδιαίτερα μικρό βάρος των 47g, αφού μεγάλο μέρος των εξαρτημάτων βρίσκονται στην εξωτερική μονάδα. Το κομμάτι που βρίσκεται στα γυαλιά, ενσωματώνει την κάμερα και την οθόνη κεφαλής. Διαθέτει επίσης τρία κουμπιά και ένα πεδίο αφής για εύκολο χειρισμό. Επιπλέον χειριστήρια είναι τοποθετημένα στην εξωτερική μονάδα επεξεργασίας.

Αξίζει να σημειωθεί πως η μονάδα κεφαλής είναι κατασκευασμένη από την εταιρία VUZIX (Vuzix Begins Mass Production of the World's First Windows-based Smart Glasses for Toshiba: Vuzix Corporation (VUZI), 2020). Έτσι οι ομοιότητες των χαρακτηριστικών με το αντίστοιχο μοντέλο της VUZIX είναι σημαντικές.

Η μεγαλύτερη διαφορά των DynaEdge είναι πως λειτουργούν με λογισμικό Windows, το οποίο μειονεκτεί σε σχέση με το Android ως προς τη συμβατότητα με προγράμματα ανάπτυξης εφαρμογών αλλά συνήθως και στην ταχύτητα.

Η εξωτερική μονάδα διατίθεται σε δύο εκδόσεις, τη βασική και την έκδοση επιδόσεων. Η μνήμη (RAM) και των δύο είναι 8GB, ενώ η διαφορά έγκειται στον επεξεργαστή, όπου η πρώτη έκδοση διαθέτει επεξεργαστή Intel Pentium και η δεύτερη Intel Core.

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι από τα σχετικά ακριβά της αγοράς, αφού η βασική έκδοση πωλείται έναντι 2.400\$. Επομένως η τιμή είναι στα αρνητικά του.

2.3.6 Google Glass Enterprise Edition 2



Σχήμα 2.6: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Google Glass Enterprise Edition 2

Το μοντέλο Glass είναι το αποτέλεσμα ενός μεγάλου project της Google του οποίου ο στόχος ήταν η δημιουργία έξυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Η εταιρία Google, ενώ στην αρχή προόριζε το προϊόν για μαζική χρήση από καταναλωτές, εν τέλει κατέληξε στη διάθεση των γυαλιών μόνο για επαγγελματίες και επιχειρήσεις.

Φυσικά το λογισμικό τους είναι Android, το λειτουργικό σύστημα της εταιρίας. Η Google μάλιστα διαφημίζει την πλατφόρμα Android Open Source Project (AOSP), μέσω της οποίας μπορεί να γίνει ανάπτυξη εφαρμογών που να καλύπτουν ακριβώς τις ανάγκες του πελάτη.

Τα γυαλιά διαθέτουν επεξεργαστή Qualcomm Quad Core και 3GB μνήμη RAM, το οποίο είναι άνω του μετρίου. Διαθέτουν Wi-Fi και Bluetooth έκδοσης 5. Η ποιότητα της κάμερας είναι 8MP. Διαθέτουν γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα και μαγνητικού αισθητήρες ώστε να μπορούν να ανιχνεύουν την κίνηση. Όπως και αρκετά άλλα μοντέλα, διαθέτουν πεδίο αφής για καλύτερο χειρισμό, πέραν των φωνητικών εντολών.

Καθώς είναι φτιαγμένα για βιομηχανικό περιβάλλον, διαθέτουν πλαϊνά προστατευθητικά για τους οφθαλμούς του χρήστη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6, ενώ είναι ανθεκτικά στο νερό και τη σκόνη.

Επίσης είναι ιδιαίτερα ελαφρύα. Η βασική μονάδα ζυγίζει 46 γραμμάρια και μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε κάποιο άλλο ζευγάρι γυαλιών, είτε σε αυτό που δίνει η εταιρία.

Η τιμή τους είναι κάτω του μέσου όρου, αφού πωλούνται έναντι 1.195\$.

2.3.7 Magic Leap 1



Σχήμα 2.7: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Magic Leap 1

Τα Magic Leap 1 είναι ένα μοντέλο έξυπνων γυαλιών, τα οποία όπως και τα Microsoft HoloLens, ξεπερνάνε τα όρια της επαυξημένης πραγματικότητας και περνάνε στο χώρο της μεικτής πραγματικότητας. Είναι σχεδιασμένα τόσο για κατ' οίκον χρήση όσο και για επαγγελματική. Το μοντέλο αποτελείται από το εξάρτημα κεφαλής, μία εξωτερική μονάδα επεξεργασίας και ένα ασύρματο χειριστήριο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7.

Ενώ το Magic Leap 1 είναι ένα αρκετά εξελιγμένο μοντέλο και οι δυνατότητες που προσφέρει είναι περισσότερες από αυτές ενός συνηθισμένου μοντέλου γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Ο χρήστης μπορεί να βλέπει ψηφιακό περιεχόμενο όχι απλά πάνω σε μία οθόνη αλλά σε όλο το εύρος των φακών, και να αλληλοεπιδρά με αυτήν. Η αδυναμία χειρισμού χωρίς χρήση των χεριών ωστόσο, αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα για την υπό σχεδίαση εφαρμογή.

Φυσικά όπως και στην περίπτωση των Microsoft HoloLens, οι επιπλέον δυνατότητες έρχονται στην αντίστοιχη τιμή, αφού το μοντέλο κοστίζει 2.295\$.

2.3.8 Optinvent Ora-2



Σχήμα 2.8: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών Optinvent Ora-2

Τα ORA-2 της Γαλλικής εταιρίας Optinvent είναι ένα μοντέλο γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας, φτιαγμένα τόσο για καθημερινή, όσο και επαγγελματική χρήση. Όσον αφορά τη χρήση από ιδιώτες, υπάρχουν ήδη εγκατεστημένες εφαρμογές από την κατασκευάστρια εταιρία, ώστε ο χρήστης να μπορεί να τα εκκινήσει εύκολα. Σε αυτές περιλαμβάνονται η πλοήγηση στο διαδίκτυο, η κάμερα, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, οι χάρτες και το ημερολόγιο. Από την άλλη, το λογισμικό Android επιτρέπει την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών ή και άλλων εφαρμογών για ειδικά έργα. Η Optinvent μάλιστα μαζί με την αγορά των γυαλιών διαθέτει και μία εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού με αποτέλεσμα η διαδικασία να γίνεται ευκολότερη.

Τα συγκεκριμένα γυαλιά είναι επίσης αρκετά ελαφριά ζυγίζοντας μόλις 90g. Επομένως είναι δυνατή η χρήση τους κατά τη διάρκεια μίας βάρδιας. Φαίνεται άλλωστε ο μικρός τους όγκος στο Σχήμα 2.8.

Ο χειρισμός τους γίνεται και εδώ μέσω ενός πεδίου αφής που βρίσκεται στο μπράτσο των γυαλιών, ενώ υπάρχει Wi-Fi και Bluetooth για τη σύνδεση με δίκτυα ή άλλες συσκευές. Η ανάλυση της κάμερας 5MP.

Ένα μειονέκτημα των γυαλιών είναι πως η κατασκευάστρια εταιρία δεν δίνει συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με τον επεξεργαστή και τη μνήμη του μοντέλου, γεγονός το οποίο μας αποτρέπει από την αγορά τους, αφού δεν υπάρχει διαφάνεια.

Η τιμή τους είναι πλεονέκτημα αφού κοστίζουν μόλις 699\$.

2.3.9 X2 THIRDEYE GEN



Σχήμα 2.9: Το μοντέλο έξυπνων γυαλιών X2 THIRDEYE GEN

Τα έξυπνα γυαλιά X2 της εταιρίας ThirdEye, είναι γυαλιά μικτής πραγματικότητας, σχεδιασμένα και για επαγγελματική χρήση. Μπορούν να ελεγχθούν δια βοής είτε μέσω χειρονομιών (Augmented Reality Technology Smart Glasses Developer Company | AR Enterprise, 2020).

Το Android 8 επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών για χρήση ανάλογα με τις ανάγκες του πελάτη, όπως και στα περισσότερα μοντέλα επαυξημένης πραγματικότητας. Η ποιότητα της κάμερας του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ιδιαιτέρως καλή με ανάλυση 13MP.

Όπως και τα Microsoft HoloLens αλλά και τα Magic Leap 1, για να μπορέσουν να υποστηριχθούν οι λειτουργίες και δυνατότητες της μικτής πραγματικότητας, υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη σε υλισμικό, όπως μικρόφωνα, κάμερες και αισθητήρες κίνησης. Το μειονέκτημα που απορρέει από το παραπάνω, είναι πως ο όγκος και το βάρος του μοντέλου αυξάνεται σημαντικά, όπως υποδηλώνει το Σχήμα 2.9. Επομένως η χρήση για το υπό μελέτη έργο καθίσταται δύσκολη.

Η τιμή του μοντέλου είναι λίγο άνω του μετρίου με κόστος αγοράς 1.950\$.

2.4 Συνοπτική Παρουσίαση Χαρακτηριστικών

Αφού παρουσιάστικαν όλα τα μοντέλα έυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας, είναι σκόπιμη η δημιουργία ενός συγκεντρωτικού πίνακα όπου συνοψίζονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, ώστε να διευκολυνθεί η βαθμολόγηση και σύγκριση στη συνέχεια. Έτσι, ο Πίνακας 2.1 μας δείχνει όλα τα μοντέλα που παρουσιάστικαν παραπάνω, με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Τα χαρακτηριστικά για τα οποία έχουν βρεθεί δεδομένα για σχεδόν όλα τα μοντέλα και τα οποία είχε νόημα να μπουν στον συγκεντρωτικό πίνακα φαίνονται παρακάτω.

- ΦΟΝ (ΓΩΝΙΑ ΘΕΑΣΗΣ)
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ
- ΜΝΗΜΗ (RAM)
- ΒΛΥΕΤΟΟΤΗ
- WIFI
- ΟΘΟΝΗ
- ΒΑΡΟΣ
- ΜΠΑΤΑΡΙΑ
- ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΜΕΡΑΣ
- ΤΙΜΗ

Βλέποντας ο ερευνητής τον πίνακα με τα παραπάνω στοιχεία, μπορεί σύντομα να αποκτήσει μία πλήρη εικόνα και αντίληψη για όλα τα μοντέλα και τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά των έξυπνων γυαλιών ανά κατηγορία και μοντέλο

| Χαρακτηριστικό | VUZIX M300 | Realwear HMT-1 | Microsoft HoloLens | Epson Moverio BT-300 | Tosiba DynaEdge | Google Glass | Magic Leap 1 | Optinvent Ora-2 | X2 THIRDEYE |
|----------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|
| FOV | 20° | 20° | | 23° | | 80° | 50° | 20° | 42° |
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ | Android 6 | Android 8.1.0 (AOSP) | Windows 10 | Moverio (Open Source) | Windows 10 | Android Oreo | Lumin OS | Android AOSP 4.4.2 | Android 8.1.0 (AOSP) |
| ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ | Dual-core Intel Atom | Qualcomm Snapdragon 625 | Intel 32-bit (1GHz) | Intel® Atom™ x5 1,44GHz Quad Core | Intel® Core™ m7-6Y75 | Qualcomm Quad Core, 1.7GHz, 10nm | NVIDIA® Parker SOC | dual core processor w/ GPU | |
| ΜΝΗΜΗ (RAM) | 2GB | 2GB | 2GB | 2GB | Up to 16GB (on board) | 3GB LPDDR4 | 8GB | | 4GB |
| BLUETOOTH | 4.1 BR/EDR/BLE | Bluetooth 4.1 Low Energy | Bluetooth 4.1 Low Energy | Bluetooth Smart Ready | 260 Bluetooth™ | Bluetooth 5.x AoA | Bluetooth 4.2 | Bluetooth Low Energy | Integrated Bluetooth |
| WIFI | 2.4/5Ghz 802.11a/b/g/n/ac | 802.11a/b/g/n/ac | Wi-Fi 802.11ac | IEEE 802.11a/b/g/n/ac | Intel® Dual-Band Wireless - AC | 802.11ac, dual-band, single antenna | WiFi 802.11ac/b/g/n | WiFi B/G/N | Integrated WiFi |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--|-------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|---------|--------------|---------------|
| ΟΘΟΝΗ | Occluded LCD | 0.33inch diagonal / resolution: WVGA (854x480) | 2.3 MP widescreen see-through | Sharp 720p HD resolution OLED (1280 x 720) | 0.26inch / resolution: 640x360 | 640x360 Optical Display Module | | | 1280 × 720 px |
| ΒΑΡΟΣ | 127g | 430g | 579g | 69g (mech only) +129g control | 47g +310g | 46g (pod only) | 316g | 90g | 170g |
| ΜΠΑΤΑΡΙΑ | 12h | 10h | 3h | 6h | 5h | 820mAh with fast charge | 3.5h | 5h (1200mAh) | 1750mAh |
| ΚΑΜΕΡΑ | 13MP | 16MP Monocular | 8MP | 5MP Binocular | 5MP | 8MP | | 5MP | 13MP |
| ΤΙΜΗ | 999\$ | 2.500\$ | 3.500\$ | 699\$ | 1.899\$ | 1.195\$ | 2.295\$ | 699\$ | 1.950\$ |

2.5 Βαθμολόγηση και Σύγκριση

Αφού έχουν περιγραφεί τα προς σύγκριση μοντέλα και έχει γίνει πλήρης καταγραφή των χαρακτηριστικών τους, είναι η ώρα να γίνει η σύγκριση και βαθμολόγησή τους, προκειμένου να καταλήξουμε στο μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί. Τα χαρακτηριστικά, φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα παραπάνω.

Για τη σύγκριση των χαρακτηριστικών και την αντίστοιχη βαθμολόγησή τους, αναζητούνται πληροφορίες που έχουν να κάνουν με την απόδοση, την ποιότητα, την αξιοπιστία αλλά και την καταλληλότητα για το συγκεκριμένο έργο.

Η αρχική ιδέα, ήταν να χρησιμοποιηθεί μία κλίμακα από το ένα μέχρι το δέκα. Αντίστοιχα, σε μία ίδια κλίμακα θα κυμαίνονταν και οι συντελεστές βαρύτητας που χρησιμοποιούνται για το κάθε χαρακτηριστικό. Το νόημα του παραπάνω, είναι τόσο να μετριάσει ή εξυψώσει τη σημασία ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού στην ανάλυσή μας, όσο και να προσαρμόσει την ανάλυση στο προς εφαρμογή έργο. Έτσι, αν σε μία εφαρμογή σχεδιάζουμε ένας απομακρυσμένος ειδικός να συμβουλευεί ζωντανά τον εργαζόμενο, βλέποντας από την κάμερα και δίνοντάς του φωνητικές εντολές, οι ποιότητα της εικόνας που αναμεταδίδεται έχει μεγάλη σημασία, και έτσι αντίστοιχα το χαρακτηριστικό «Ποιότητα Κάμερας» θα πάρει υψηλότερο συντελεστή.

Βέβαια, μετά την πρόσθεση των γινομένων της εκάστοτε βαθμολογίας με τον αντίστοιχο συντελεστή, διαιρούμε με το άθροισμα των συντελεστών, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι στα 10. Για το άθροισμα των γινομένων, στο excel χρησιμοποιούμε τη συνάντηση SUMPRODUCT.

Η μέθοδος που περιγράφηκε στα παραπάνω βήματα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ικανοποιητική. Ωστόσο ο μεγαλύτερος περιορισμός που παρουσιάζει είναι πως δεν λαμβάνει υπόψιν κριτήρια πέραν των καθαρά ποσοτικών. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, τα χαρακτηριστικά συνδέονται μεταξύ τους με ποιοτικές σχέσεις, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά την αξιολόγηση.

Έτσι αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η αναλυτική ιεραρχική μέθοδος (analytical hierarchy process - AHP), η οποία είναι μία πολύ-κριτηριακή μέθοδος λήψης αποφάσεων, (Multi Criteria Decision Making method – MCDM) (Multi-criteria Decision Making Methods, 2020).

2.5.1 Η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (Analytic Hierarchy Process)

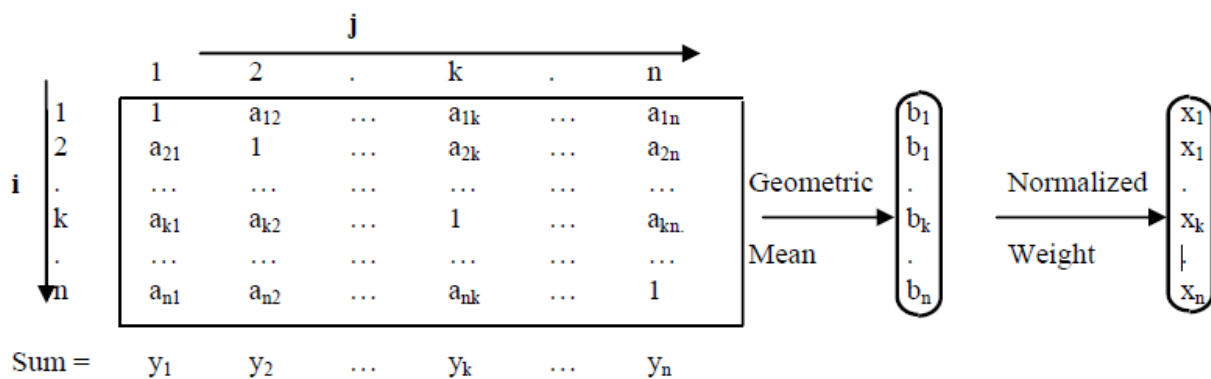
Η αναλυτική ιεραρχική μέθοδος (analytical hierarchy process), είναι μία μέθοδος λήψης αποφάσεων, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Saaty το 1977 (Thomas L. Saaty, 1977). Χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, από στρατηγικές αποφάσεις επενδύσεων, έως την επιλογή κατάλληλου προσωπικού ή τεχνολογικού λογισμικού (D. Goepel, 2013). Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η ικανότητα ποσοτικοποίησης των ποιοτικών σχέσεων μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων εναλλακτικών. Είναι δημοφιλής λόγω της ακέραιας μαθηματικής βάσης της, ωστόσο για τον ίδιο λόγο σε ορισμένες περιπτώσεις αποφεύγεται (Sultana Sumi, 2010).

Το βασικό για την επιτυχία της μεθόδου, είναι η ικανότητα του ερευνητή να καθορίζει τη σημαντικότητα των σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών χαρακτηριστικών που λαμβάνονται υπόψιν (Vargas, 1990). Τις βαθμολογίες που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο για τη βαρύτητα των συσχετίσεων, όπως έχουν περιγραφεί από τον Saaty, παρουσιάζει ο Πίνακας 2.2 παρακάτω.

Πίνακας 2.2: Οι βαθμολογικές βαρύτητες της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process)

| Level of importance/ preference weights | Definition | Explanation |
|--|------------------------------------|--|
| 1 | Equally Preferred | Two activities contribute equally to the objective |
| 3 | Moderately | Experience and judgment slightly favor one activity over another |
| 5 | Strong importance | Experience and judgment strongly or essentially favor one activity over another |
| 7 | Noticeable dominance | An activity is strongly favored over another and its dominance demonstrated in practice |
| 9 | Extreme importance | The evidence favoring one activity over another is of the highest degree possible of affirmation |
| 2,4,6,8 | Intermediate values | Used to represent compromise between the preferences listed above |
| Reciprocals | Reciprocals for inverse comparison | |

Ο μαθηματικός πίνακας που αξιοποιεί τις παραπάνω βαρύτητες και υπολογίζεται σε κάθε βήμα, φαίνεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10: Το βασικό μητρώο της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process)

Η μέθοδος μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα βήματα (L. Saaty, 2008):

Αρχικά, υποθέτοντας n κριτήρια σε μία ιεραρχία, η διαδικασία ξεκινά δημιουργώντας ένα $n \times n$ πίνακα A ζευγών (βλ. σχήμα 10), όπου εμφανίζονται οι παραπάνω βαθμολογίες-συγκρίσεις a_{ij} μεταξύ των κριτηρίων. Ο πίνακας αυτός επιτρέπει τη σύγκριση στο 1^ο επίπεδο της ιεραρχίας. Έτσι το στοιχείο $a_{ij} = 5$ δείχνει ότι το κριτήριο i είναι αρκετά πιο σημαντικό από το j , ενώ το στοιχείο $a_{ij} = 9$ δείχνει ότι το κριτήριο i είναι εξαιρετικά πιο σημαντικό από το j . Οι υπόλοιπες τιμές λειτουργούν αντίστοιχα.

Επίσης, είναι σαφές ότι αν το στοιχείο $a_{ij} = \kappa$, τότε το στοιχείο $a_{ji} = 1/\kappa$. Βεβαίως τα στοιχεία της διαγώνιου του πίνακα θα ισούνται με τη μονάδα αφού είναι η συσχέτιση μεταξύ ενός κριτηρίου και του εαυτού του.

Έπειτα, για κάθε στήλη υπολογίζεται το **άθροισμα των στοιχείων**:

$$Y_{\kappa} = \sum a_{ij}, \text{ όπου } i = 1, 2, \dots, n \text{ και } j = 1, 2, \dots, n$$

Ο **γεωμετρικός μέσος** κάθε κριτηρίου προκύπτει από την έκφραση:

$$b_{\kappa} = \prod a_{kj}^{\frac{1}{n}}, \text{ όπου } \kappa = 1, 2, \dots, n \text{ και } j = 1, 2, \dots, n$$

Τέλος οι **κανονικοποιημένοι συντελεστές βαρύτητας** υπολογίζονται ως:

$$X_{\kappa} = \frac{b_{\kappa}}{\sum b_{\kappa}}, \text{ όπου } \kappa = 1, 2, \dots, n$$

Μετά τη δημιουργία του παραπάνω πίνακα σύγκρισης των κριτηρίων, δημιουργείται μητρώο όπου κάθε μία από τις εναλλακτικές, βαθμολογείται σε κάθε ένα κριτήριο. Αυτός θα ήταν ο πίνακας που θα δημιουργούσαμε σε περίπτωση απλής σύγκρισης των εναλλακτικών μεταξύ τους, χωρίς τη χρήση της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process).

Στη συνέχεια, οι τιμές του παραπάνω μητρώου, χρησιμοποιούνται προκειμένου να δημιουργηθεί πίνακας αντίστοιχος του αρχικού (βλ. σχήμα 10), για κάθε ένα κριτήριο, όπου γίνεται η αξιολόγηση στο 2^ο επίπεδο της ιεραρχίας. Ο πίνακας κάθε κριτηρίου επομένως θα έχει ως γραμμές και στήλες τις εναλλακτικές προς αξιολόγηση και θα είναι πάλι $n \times n$. Σε αυτά τα μητρώα θα πρέπει να υπολογιστούν αντίστοιχα με παραπάνω, τα αθροίσματα, οι γεωμετρικοί μέσοι και οι κανονικοποιημένοι συντελεστές βαρύτητας, οι οποίοι θα αξιοποιηθούν για την τελική κατάταξη.

Ύστερα από τη δημιουργία των μητρώων για κάθε ένα κριτήριο, δημιουργείται ο τελικός πίνακας κατάταξης. Σε αυτόν οι εναλλακτικές καταλαμβάνουν τις γραμμές και τα κριτήρια τις στήλες. Το μητρώο συμπληρώνεται με τις τιμές των κανονικοποιημένων συντελεστών βαρύτητας που υπολογίστηκαν σε κάθε έναν από τους προηγούμενους πίνακες. Οι τιμές αυτές πολλαπλασιάζονται με τους κανονικοποιημένους συντελεστές βαρύτητας από τον αρχικό πίνακα σύγκρισης των κριτηρίων και από το άθροισμα των γινομένων προκύπτει η τελική κατάταξη.

Κάτι ακόμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εφαρμογή της μεθόδου, είναι το γεγονός ότι οι πολλαπλές συγκρίσεις, προκαλούν ορισμένες ασυνέπειες. Οι ασυνέπειες αυτές,

μπορούν να θεωρηθούν αποδεκτές εντός ορίων, όπως αποδείχτηκε από τον Saaty, δημιουργό της μεθόδου. Για τον υπολογισμό τους, χρησιμοποιείται ο συντελεστής συμβιβαστότητας (C.R. - Consistency Ratio).

Ο συντελεστής συμβιβαστότητας ορίζεται ως το κλάσμα με αριθμητή τον δείκτη συμβιβαστότητας και παρονομαστή έναν προτεινόμενο δείκτη συμβιβαστότητας, όπως έχει δημιουργηθεί από τον Saaty:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

Ο δείκτης συμβιβαστότητας C.I. ορίζεται ως:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

όπου λ_{max} είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του μητρώου και υπολογίζεται ως:

$$\lambda_{max} = Y_1X_1 + Y_2X_2 + \dots + Y_kX_k + \dots + Y_nX_n = \sum Y_kX_k, \text{ όπου } k = 1, 2, \dots, n$$

Ο Πίνακας 2.3 παρουσιάζει τους προτεινόμενους δείκτες του Saaty για τις διάφορες τιμές των κριτηρίων n.

Πίνακας 2.3: Προτεινόμενοι από τον Saaty Δείκτες Συμβιβαστότητας ανά πλήθος στοιχείων n

| <i>n</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| <i>R.I.</i> | 0 | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 |

Αν ο συντελεστής συμβιβαστότητας C.R. προκύπτει μικρότερος ή ίσος του 10%, τότε το επίπεδο της ασυνέπειας θεωρείται αποδεκτό.

2.5.2 Εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (AHP) για την Επιλογή των Γυαλιών Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η συγκεκριμένη μέθοδος, κρίθηκε κατάλληλη για να εφαρμοστεί για την επιλογή των έξυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Είναι ιδιαίτερα δημοφιλής ανάμεσα σε εταιρίες, όταν πρέπει να παρθούν στρατηγικές αποφάσεις που συνδυάζουν ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, όπως ακριβώς είναι και η επιλογή των γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Η ακέραια μαθηματική βάση είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό που ενθαρρύνει τη χρήση της μεθόδου (L. Saaty, 2008).

Όπως όλες οι μαθηματικές τεχνικές, έτσι και η συγκεκριμένη υπόκειται σε περιορισμούς και εκτελεί υπολογισμούς έως ένα συγκεκριμένο επίπεδο ακρίβειας. Όσον αφορά τους

περιορισμούς, είναι απαραίτητο για τη χρήση της ο ερευνητής να είναι σε θέση να βαθμολογήσει και ποσοτικοποιήσει τη σημασία και βαρύτητα κάθε χαρακτηριστικού σε σχέση με τα υπόλοιπα. Φυσικά η διαδικασία απαιτεί ορισμένες εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις και ολιστική αντίληψη των αναγκών της εφαρμογής. Έπειτα, οι ανακρίβειες περιγράφονται από τον λεγόμενο συντελεστή συμβιβαστότητας, στον οποίο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα, αφού δηλώνει το κατά πόσο τα αποτελέσματα είναι μαθηματικώς αποδεκτά.

Μπορεί κανείς να βρει πολυάριθμες αντίστοιχες εφαρμογές της μεθόδου στη βιβλιογραφία. Η μέθοδος για παράδειγμα, χρησιμοποιείται κατά την αξιολόγηση προσφορών αγοράς εξοπλισμού γραφείου και υπολογιστών (Atanasova–Pachemska, 2014). Αντίστοιχα παρουσιάζεται ως εργαλείο αποδοτικότερων καταναλωτικών αποφάσεων (Sultana Sumi, 2010), όπως είναι και τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας. Ο Goepel υποδεικνύει πως η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επιχειρήσεις ως μία γενική πολύ-κριτηριακή μέθοδος για κάθε λογής απόφαση με πολλαπλά δεδομένα που πρέπει να ληφθούν υπόψιν (D. Goepel, 2013).

Όλα τα παραπάνω στοιχεία, οδήγησαν στην επιλογή της μεθόδου για τη λήψη της απόφασης των καταλληλότερων έξυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας για το υπό μελέτη έργο. Παρακάτω παρουσιάζεται η αναλυτική εφαρμογή της πολύ-κριτηριακής μεθόδου.

Για την εφαρμογή της διαδικασίας, πρέπει να προηγηθεί ο τελικός καθορισμός των μοντέλων έξυπνων γυαλιών προς σύγκριση, αλλά και τα κριτήρια βάσει των οποίων θα συγκριθούν. Είναι σκόπιμο να μην μπουν στη διαδικασία της σύγκρισης ορισμένα μοντέλα, αφού δεν πληρούν κάποια βασικά κριτήρια και θα απορρίπτονταν ανεξάρτητα άλλων χαρακτηριστικών όπως είναι για παράδειγμα η μνήμη και ο επεξεργαστής.

Αυτά είναι αρχικά τα Microsoft HoloLens, τα Magic Leap 1 και τα X2 της Thirdeye. Τα μοντέλα αυτά, καθώς είναι μικτής πραγματικότητας είναι ιδιαίτερος ογκώδη, περιορίζουν τη φυσική όραση και δεν κρίνονται κατάλληλα για καθημερινή χρήση μέσα στην αποθήκη από τους εργαζόμενους. Επίσης, ακριβώς επειδή προσφέρουν δυνατότητες μικτής πραγματικότητας, είναι αρκετά ακριβά, ενώ τα οφέλη που προσφέρουν δεν είναι απαραίτητα για την εφαρμογή μας.

Το άλλο ζευγάρι που απορρίπτεται είναι τα Toshiba Dyna Edge, τα οποία επί της ουσίας είναι το ίδιο μοντέλο με αυτό της Vuzix, ωστόσο αρκετά ακριβότερα. Επίσης η εξωτερική μονάδα επεξεργασίας και τα χειριστήριά της δεν ενδιαφέρουν στην εφαρμογή, αφού στόχος είναι η χρήση κατά το δυνατόν χωρίς τα χέρια.

Έτσι, τα μοντέλα που θα συγκριθούν είναι τα:

- 1. VUZIX M300**
- 2. RealWear HMT-1**
- 3. Epson Moverio BT-300**
- 4. Google Glass Enterprise Edition 2**
- 5. Optinvent Ora-2**

Αντίστοιχα, τα κριτήρια σύγκρισης αποφασίστηκε να απλοποιηθούν, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψιν αυτά που κάνουν διαφορά στο έργο, αλλά και να ομαδοποιηθούν με βάση τον σκοπό στον οποίο συνεισφέρουν. Έτσι, ο επεξεργαστής και η μνήμη συγχωνεύτηκαν σε ένα κριτήριο με το όνομα απόδοση, και το Bluetooth με το Wi-Fi, συγχωνεύτηκαν σε άλλο ένα με το όνομα συνδεσιμότητα. Το τελευταίο υποστηρίζεται από τη μέθοδο, αφού κατά τη σύγκριση των χαρακτηριστικών η μνήμη και ο επεξεργαστής για παράδειγμα, ενδιαφέρουν εξίσου σε σχέση με την τιμή για παράδειγμα, αφού ο σκοπός που εξυπηρετούν είναι που πραγματικά επηρεάζει τη βαθμολόγηση.

Από τα κριτήρια του πίνακα των χαρακτηριστικών, αποκλείστηκαν η γωνία θέασης, αφού μας ενδιαφέρει η προβολή μόνο συγκεκριμένης πληροφορίας και η μπαταρία, αφού όπως εξηγήθηκε μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από μία εξωτερική μονάδα ισχύος, στη ζώνη του εργαζόμενου.

Έτσι, τα κριτήρια σύγκρισης θα είναι τα:

- 1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**
- 2. ΑΠΟΔΟΣΗ** (Επεξεργαστής και Μνήμη)
- 3. ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ** (Wi-Fi και Bluetooth)
- 4. ΟΘΟΝΗ**
- 5. ΒΑΡΟΣ**
- 6. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΜΕΡΑΣ**
- 7. ΤΙΜΗ**

Πλέον, ξεκινά η κατάστρωση των πινάκων, και ο υπολογισμός των διαφόρων βαθμολογιών, για την οποία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MS Excel.

Ο Πίνακας 2.4 συγκρίνει τα κριτήρια μεταξύ τους, αξιοποιώντας τους συντελεστές που προτάθηκαν από τον Saaty.

Πίνακας 2.4: Βαθμολόγηση και Σύγκριση Κριτηρίων

| Βαθμολογίες 1 έως 9 | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ | ΑΠΟΔΟΣΗ | ΣΥΝΔ/ΤΗΤΑ | ΟΘΟΝΗ | ΒΑΡΟΣ | ΚΑΜΕΡΑ | ΤΙΜΗ | Γεωμετρικοί Μέσοι | Κανον/μένοι Συντελεστές |
|------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|----------------------|----------------------------|
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ | 1 | 7 | 7 | 5 | 1 | 3 | 1 | 2,567 | 0,260 |
| ΑΠΟΔΟΣΗ | 1/7 | 1 | 3 | 3 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 0,559 | 0,057 |
| ΣΥΝΔΕΣ/ΤΑ | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/7 | 0,310 | 0,031 |
| ΟΘΟΝΗ | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 0,367 | 0,037 |
| ΒΑΡΟΣ | 1 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 2,508 | 0,254 |
| ΚΑΜΕΡΑ | 1/3 | 3 | 5 | 3 | 1/5 | 1 | 1/5 | 0,930 | 0,094 |
| ΤΙΜΗ | 1 | 5 | 7 | 5 | 1 | 5 | 1 | 2,632 | 0,267 |
| <i>Αθροίσματα</i> | 3,82 | 21,67 | 29,00 | 23,00 | 3,80 | 14,87 | 3,74 | 9,873 | 1,000 |

Όπου για $n=7$, $R.I.= 1,32$

$\lambda_{max}= 7,35$

$C.I.= 0,06$

C.R.= 4,4%

Επομένως ο δείκτης αξιοπιστίας είναι μικρότερος του 10% άρα τα αποτελέσματα θα είναι αξιόπιστα.

Έπειτα, καταstrώνεται ο Πίνακας 2.5, όπου το κάθε ένα από τα 5 μοντέλα, βαθμολογείται σε κάθε ένα από τα 7 κριτήρια.

Πίνακας 2.5: Βαθμολόγηση Μοντέλων ανά Κριτήριο

| AR Glasses Model | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ | ΑΠΟΔΟΣΗ | ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ | ΟΘΟΝΗ | ΒΑΡΟΣ | ΚΑΜΕΡΑ | ΤΙΜΗ |
|----------------------|-------------|---------|---------------|-------|-------|--------|------|
| VUZIX M300 | 10 | 6 | 8 | 7 | 7 | 9 | 9 |
| Realwear HMT-1 | 10 | 7 | 8 | 8 | 5 | 10 | 5 |
| Epson Moverio BT-300 | 5 | 8 | 8 | 10 | 10 | 5 | 10 |
| Google Glass | 10 | 9 | 9 | 7 | 8 | 6 | 8 |
| Optinvent Ora-2 | 10 | 5 | 6 | 5 | 9 | 5 | 10 |

Οι βαθμολογίες στο κάθε μοντέλο μπήκαν σε συνέχεια των κατωτέρω:

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: Τέσσερα στα πέντε μοντέλα που εξετάζονται βασίζονται σε Android. Το λογισμικό αυτό είναι ιδανικό αφού είναι εξαιρετικά ευέλικτο και συμβατό με τα περισσότερα εργαλεία της αγοράς. Από την άλλη τα Windows δεν είναι φημισμένα για την ανάπτυξη εφαρμογών. Έτσι τα πρώτα παίρνουν 10 και τα Epson 5. Η έκδοση του Android δεν ενδιαφέρει, αφού με μία αναβάθμιση όλα μοντέλα αποκτούν την τελευταία.

ΑΠΟΔΟΣΗ: Εδώ όπως έχει αναφερθεί συμπεριλαμβάνονται η μνήμη RAM και ο επεξεργαστής. Η μνήμη στα τρία πρώτα μοντέλα είναι 2GB ενώ στα Google Glass 3GB. Οι επεξεργαστές των 4 πρώτων μοντέλων, βαθμολογούνται βάση των χαρακτηριστικών τους και αποτελεσμάτων από τεστ επιδόσεων. Προκύπτει καλύτερος ο Qualcomm Quad Core, 1.7GHz, 10nm, έπειτα ο Intel® Atom™ x5 1,44GHz Quad Core, ύστερα ο Qualcomm Snapdragon 625 και τέλος ο Dual-core Intel Atom. Για τα Optinvent Ora-2 η εταιρία δεν αναφέρει λεπτομέρειες σχετικά με τη μνήμη ή τον επεξεργαστή, γεγονός που μας αναγκάζει να τα βαθμολογήσουμε με 5, λόγω ουσιαστικά έλλειψης αξιοπιστίας.

ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ: Στη συνδεσιμότητα λαμβάνονται υπόψη οι τεχνολογίες Wi-Fi και Bluetooth. Όσον αφορά το δεύτερο, έχουμε Bluetooth 4.1 σε 3 μοντέλα, 4.0 στα Epson Moverio και 5 στα Google Glass. Το Wi-Fi υπερσχύει στα Epson Moverio και στα Google Glass.

ΟΘΟΝΗ / ΒΑΡΟΣ / ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΜΕΡΑΣ / ΤΙΜΗ: Για τα τέσσερα αυτά κριτήρια η βαθμολόγηση είναι εύκολη, αφού όλα είναι ποσοτικά. Επομένως με αναγωγή στα 10 και κανονικοποίηση (προκειμένου οι διαφορές να μην είναι πολύ μεγάλες κα παραπλανητικές) προκύπτουν οι βαθμολογίες.

Στη συνέχεια, για κάθε ένα χαρακτηριστικό, καταστρώνεται ένας πίνακας με τα πηλίκα των βαθμολογιών των υποψήφιων μοντέλων στο συγκεκριμένο κριτήριο. Σύνολο δηλαδή, καταστρώνονται 7 τέτοιοι πίνακες, ο Πίνακας 2.6, ο Πίνακας 2.7 ο Πίνακας 2.8, ο Πίνακας 2.9, ο Πίνακας 2.10, ο Πίνακας 2.11 και ο Πίνακας 2.12, οι οποίοι παρατίθενται παρακάτω.

Πίνακας 2.6: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει του Λειτουργικού Συστήματος

| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ | VUZIX M300 | Realwear HMT-1 | Epson Moverio BT-300 | Google Glass | Optinvent Ora-2 | Γεωμετρικοί Μέσοι | Κανον/μένοι Συντελεστές |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| VUZIX M300 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,149 | 0,222 |
| Realwear HMT-1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,149 | 0,222 |
| Epson Moverio BT-300 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1/2 | 1/2 | 0,574 | 0,111 |
| Google Glass | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,149 | 0,222 |
| Optinvent Ora-2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,149 | 0,222 |
| Αθροίσματα | 4,50 | 4,50 | 9,00 | 4,50 | 4,50 | 5,169 | 1,000 |

Πίνακας 2.7: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της Απόδοσης

| ΑΠΟΔΟΣΗ | VUZIX M300 | Realwear HMT-1 | Epson Moverio BT-300 | Google Glass | Optinvent Ora-2 | Γεωμετρικοί Μέσοι | Κανον/μένοι Συντελεστές |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| VUZIX M300 | 1 | 6/7 | 3/4 | 2/3 | 1 1/5 | 0,875 | 0,171 |
| Realwear HMT-1 | 1 1/6 | 1 | 7/8 | 7/9 | 1 2/5 | 1,021 | 0,200 |
| Epson Moverio BT-300 | 1 1/3 | 1 1/7 | 1 | 8/9 | 1 3/5 | 1,167 | 0,229 |
| Google Glass | 1 1/2 | 1 2/7 | 1 1/8 | 1 | 1 4/5 | 1,313 | 0,257 |
| Optinvent Ora-2 | 5/6 | 5/7 | 5/8 | 5/9 | 1 | 0,730 | 0,143 |
| Αθροίσματα | 5,83 | 5,00 | 4,38 | 3,89 | 7,00 | 5,107 | 1,000 |

Πίνακας 2.8: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της Συνδεσιμότητας

| ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ | <i>VUZIX M300</i> | <i>Realwear HMT-1</i> | <i>Epson Moverio BT-300</i> | <i>Google Glass</i> | <i>Optinvent Ora-2</i> | <i>Γεωμετρικοί Μέσοι</i> | <i>Κανον/μένοι Συντελεστές</i> |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| <i>VUZIX M300</i> | 1 | 1 | 1 | 8/9 | 1 1/3 | 1,035 | 0,205 |
| <i>Realwear HMT-1</i> | 1 | 1 | 1 | 8/9 | 1 1/3 | 1,035 | 0,205 |
| <i>Epson Moverio BT-300</i> | 1 | 1 | 1 | 8/9 | 1 1/3 | 1,035 | 0,205 |
| <i>Google Glass</i> | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 | 1 1/2 | 1,164 | 0,231 |
| <i>Optinvent Ora-2</i> | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 2/3 | 1 | 0,776 | 0,154 |
| Αθροίσματα | 4,88 | 4,88 | 4,88 | 4,33 | 6,50 | 5,043 | 1,000 |

Πίνακας 2.9: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της ποιότητας Οθόνης

| ΟΘΟΝΗ | <i>VUZIX M300</i> | <i>Realwear HMT-1</i> | <i>Epson Moverio BT-300</i> | <i>Google Glass</i> | <i>Optinvent Ora-2</i> | <i>Γεωμετρικοί Μέσοι</i> | <i>Κανον/μένοι Συντελεστές</i> |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| <i>VUZIX M300</i> | 1 | 7/8 | 7/10 | 1 | 1 2/5 | 0,970 | 0,189 |
| <i>Realwear HMT-1</i> | 1 1/7 | 1 | 4/5 | 1 1/7 | 1 3/5 | 1,108 | 0,216 |
| <i>Epson Moverio BT-300</i> | 1 3/7 | 1 1/4 | 1 | 1 3/7 | 2 | 1,385 | 0,270 |
| <i>Google Glass</i> | 1 | 7/8 | 7/10 | 1 | 1 2/5 | 0,970 | 0,189 |
| <i>Optinvent Ora-2</i> | 5/7 | 5/8 | 1/2 | 5/7 | 1 | 0,693 | 0,135 |
| Αθροίσματα | 5,29 | 4,63 | 3,70 | 5,29 | 7,40 | 5,126 | 1,000 |

Πίνακας 2.10: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει του Βάρους

| ΒΑΡΟΣ | VUZIX M300 | Realwear HMT-1 | Epson Moverio BT-300 | Google Glass | Optinvent Ora-2 | Γεωμετρικοί Μέσοι | Κανον/μένοι Συντελεστές |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| VUZIX M300 | 1 | 1 2/5 | 7/10 | 7/8 | 7/8 | 0,944 | 0,184 |
| Realwear HMT-1 | 5/7 | 1 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 0,674 | 0,132 |
| Epson Moverio BT-300 | 1 3/7 | 2 | 1 | 1 1/4 | 1 1/4 | 1,349 | 0,263 |
| Google Glass | 1 1/7 | 1 3/5 | 4/5 | 1 | 1 | 1,079 | 0,211 |
| Optinvent Ora-2 | 1 1/7 | 1 3/5 | 4/5 | 1 | 1 | 1,079 | 0,211 |
| Αθροίσματα | 5,43 | 7,60 | 3,80 | 4,75 | 4,75 | 5,125 | 1,000 |

Πίνακας 2.11: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάσει της Ποιότητας της Κάμερας

| ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΜΕΡΑΣ | VUZIX M300 | Realwear HMT-1 | Epson Moverio BT-300 | Google Glass | Optinvent Ora-2 | Γεωμετρικοί Μέσοι | Κανον/μένοι Συντελεστές |
|-----------------------------|---------------|-------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| VUZIX M300 | 1 | 9/10 | 1 4/5 | 1 1/2 | 1 4/5 | 1,343 | 0,257 |
| Realwear HMT-1 | 1 1/9 | 1 | 2 | 1 2/3 | 2 | 1,493 | 0,286 |
| Epson Moverio BT-300 | 5/9 | 1/2 | 1 | 5/6 | 1 | 0,746 | 0,143 |
| Google Glass | 2/3 | 3/5 | 1 1/5 | 1 | 1 1/5 | 0,896 | 0,171 |
| Optinvent Ora-2 | 5/9 | 1/2 | 1 | 5/6 | 1 | 0,746 | 0,143 |
| Αθροίσματα | 3,89 | 3,50 | 7,00 | 5,83 | 7,00 | 5,224 | 1,000 |

Πίνακας 2.12: Βαθμολόγηση επιπέδου 2 βάση της Τιμής

| ΤΙΜΗ | <i>VUZIX M300</i> | <i>Realwear HMT-1</i> | <i>Epson Moverio BT-300</i> | <i>Google Glass</i> | <i>Optinvent Ora-2</i> | Γεωμετρικοί Μέσοι | Κανον/μένοι Συντελεστές |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| <i>VUZIX M300</i> | 1 | 1 4/5 | 9/10 | 1 1/8 | 9/10 | 1,104 | 0,214 |
| <i>Realwear HMT-1</i> | 5/9 | 1 | 1/2 | 5/8 | 1/2 | 0,613 | 0,119 |
| <i>Epson Moverio BT-300</i> | 1 1/9 | 2 | 1 | 1 1/4 | 1 | 1,227 | 0,238 |
| <i>Google Glass</i> | 8/9 | 1 3/5 | 4/5 | 1 | 4/5 | 0,981 | 0,190 |
| <i>Optinvent Ora-2</i> | 1 1/9 | 2 | 1 | 1 1/4 | 1 | 1,227 | 0,238 |
| Άθροίσματα | 4,67 | 8,40 | 4,20 | 5,25 | 4,20 | 5,152 | 1,000 |

Σημειώνεται, πως στους επτά παραπάνω πίνακες, ο δείκτης αξιοπιστίας προκύπτει αρνητικός, επομένως νοείται ως μηδέν (C.R. = 0%) , και τα αποτελέσματα θεωρούνται αξιόπιστα.

Τέλος, καταστρώνεται ο Πίνακας 2.13, ο οποίος περιλαμβάνει τους κανονικοποιημένους συντελεστές βαρύτητας, κάθε μοντέλου, για κάθε χαρακτηριστικό. Από τον πίνακα αυτό, με βάση το τελικό αποτέλεσμα από το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών των μοντέλων με τους συντελεστές των χαρακτηριστικών, προκύπτει η τελική κατάταξη, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 2.11.

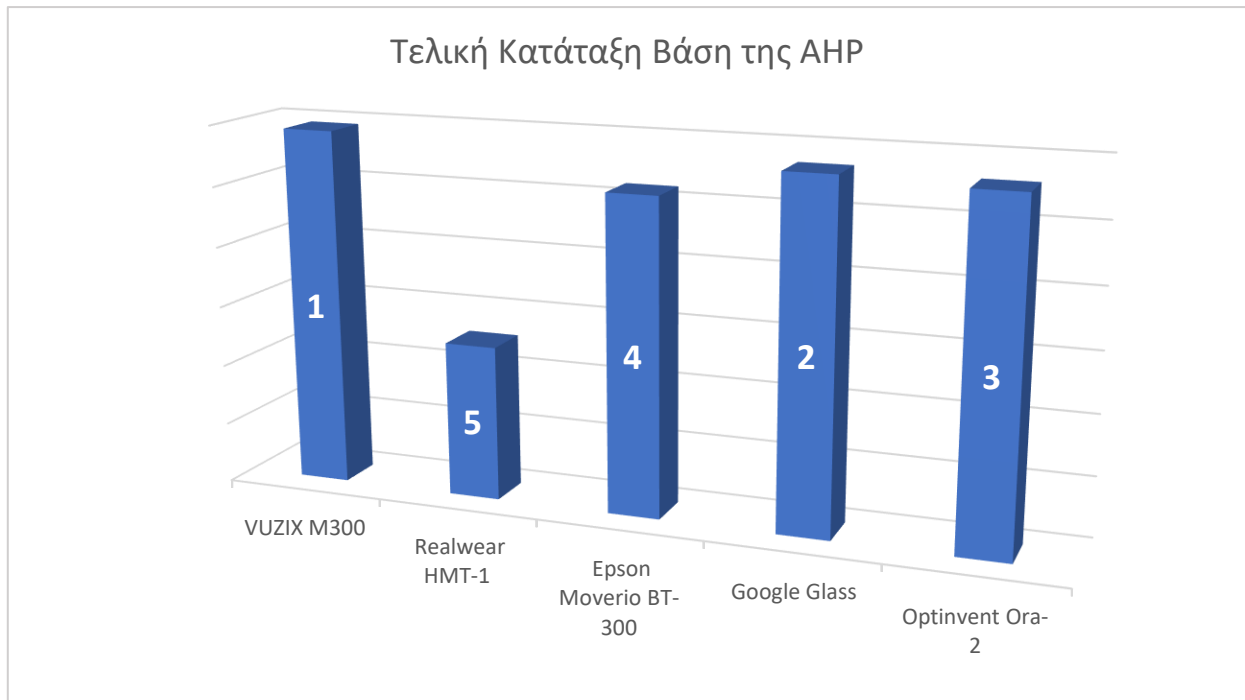
Πίνακας 2.13: Τελικός Πίνακας Κατάταξης

Characteristics and Weights

Άθροισμα
Γινομένων Τελική
Κατάταξη

AR Glasses

| <i>Models</i> | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ | ΑΠΟΔΟΣΗ | ΣΥΝΔ/ΤΗΤΑ | ΟΘΟΝΗ | ΒΑΡΟΣ | ΚΑΜΕΡΑ | ΤΙΜΗ | | |
|-------------------------------------|-------------|---------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------------|----------|
| | 0,260 | 0,057 | 0,031 | 0,037 | 0,254 | 0,094 | 0,267 | | |
| <i>VUZIX M300</i> | 0,222 | 0,171 | 0,205 | 0,189 | 0,184 | 0,257 | 0,214 | 0,209 | 1 |
| <i>Realwear HMT-1</i> | 0,222 | 0,200 | 0,205 | 0,216 | 0,132 | 0,286 | 0,119 | 0,176 | 5 |
| <i>Epson Moverio BT-300</i> | 0,111 | 0,229 | 0,205 | 0,270 | 0,263 | 0,143 | 0,238 | 0,202 | 4 |
| <i>Google Glass</i> | 0,222 | 0,257 | 0,231 | 0,189 | 0,211 | 0,171 | 0,190 | 0,207 | 2 |
| <i>Optinvent Ora-2</i> | 0,222 | 0,143 | 0,154 | 0,135 | 0,211 | 0,143 | 0,238 | 0,206 | 3 |



Σχήμα 2.11: Τελική Κατάταξη Έξυπνων Γυαλιών βάσει της AHP

2.6 Συμπεράσματα

Βάσει όλων των παραπάνω αναλύσεων και της περάτωσης της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process), το μοντέλο που προκύπτει ως καταλληλότερο για την υπό σχεδιασμό εφαρμογή, είναι το VUZIX M300.

Το εταιρία είναι ιδιαίτερος εδραιωμένη στον χώρο και εξειδικεύεται στα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας για βιομηχανικές εφαρμογές. Επομένως υπάρχει σχετική αξιοπιστία στη χρήση αυτών των γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας.

Σημειώνεται ότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η όλη αναλυτική ιεραρχική μέθοδος (analytical hierarchy process), βασίζεται στα κριτήρια και τις βαθμολογίες που θέτει ο ερευνητής. Έτσι, εάν τα σημεία βαρύτητας αλλάξουν, με απλή αναπροσαρμογή των συντελεστών στο Excel, προκύπτει διαφορετική κατάταξη και για τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας.

3. Υπολογιστικά Εργαλεία

Στην προηγούμενη ενότητα μελετήθηκε και τεκμηριώθηκε η απόφαση για τα έξυπνα γυαλιά που θα χρησιμοποιηθούν, τα οποία θα είναι τα VUZIX M300. Το συγκεκριμένο μοντέλο λειτουργεί βάσει του λογισμικού Android. Επομένως, το επόμενο βήμα είναι να αποφασιστεί η Εργαλειοθήκη Ανάπτυξης Λογισμικού (Software Development System – SDK), η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη της εφαρμογής του έργου.

Έτσι, γίνεται αναζήτηση σχετικά με τις διαθέσιμες στην αγορά εργαλειοθήκες ανάπτυξης λογισμικού για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας (Best Augmented Reality Software | 2020 Reviews of the Most Popular Tools & Systems, 2020). Αφού βρεθούν οι δημοφιλέστερες, αναλύονται και συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά τους, όπως έγινε και με τα έξυπνα γυαλιά. Στη συνέχεια τίθενται τα κριτήρια επιλογής και οι εναλλακτικές αξιολογούνται βάσει των αναγκών του έργου. Πριν από τα παραπάνω βέβαια, έχει νόημα η παρουσίαση της βασικής ανατομίας μίας Android εφαρμογής, ώστε να είναι εύληπτες από τον αναγνώστη οι ανάγκες για την εργαλειοθήκη ανάπτυξής της.

3.1 Ανατομία Android Εφαρμογής

Μία Android εφαρμογή αποτελείται από πολλά διαφορετικά συστατικά, τα οποία χωρίζονται σε τέσσερα είδη. Κάθε είδος εξυπηρετεί συγκεκριμένη λειτουργία και έχει ορισμένο κύκλο ζωής για τα συστατικά του. Τα τέσσερα είδη συστατικών ονομάζονται building blocks και είναι οι δραστηριότητες (Activities), οι υπηρεσίες (Services), οι πάροχοι περιεχομένου (Content Providers) και οι δέκτες αναμετάδοσης (Broadcast Receivers) (Android Developers, 2020).

Ένα Activity αντιπροσωπεύει μία οθόνη με συγκεκριμένη διεπαφή χρήστη (user interface). Τα activities είναι ανεξάρτητα, ωστόσο συνεργάζονται για να δημιουργήσουν τη συνολική εμπειρία του χρήστη. Το Service σε αντίθεση με το activity δεν έχει διεπαφή χρήστη. Τρέχει στο υπόβαθρο (background) και διεκπεραιώνει διαδικασίες απαραίτητες για τη λειτουργία της εφαρμογής. Το Content Provider διαχειρίζεται τα διαμοιραζόμενα δεδομένα της εφαρμογής. Μέσω αυτού μπορεί να γίνει η ανταλλαγή πληροφοριών με άλλες εφαρμογές. Τέλος, ένα broadcast receiver επικοινωνεί στον χρήστη γενικότερες πληροφορίες της συσκευής κατά τη λειτουργία της εφαρμογής, όπως η ειδοποίηση χαμηλής μπαταρίας.

Τα τρία από τα παραπάνω building blocks, τα activities, services και broadcast receivers, ενεργοποιούνται από ένα μήνυμα που ονομάζεται intent. Για τα δύο πρώτα, τα intents ορίζουν τις ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν, όπως ένα user interface που πρέπει να ανοίξει. Για τα broadcast receiver, τα intents ορίζουν το μήνυμα που πρέπει να μεταδοθεί.

Δύο ακόμα στοιχεία που αξίζει να αναφερθούν σχετικά με την ανατομία της εφαρμογής Android, είναι το αρχείο Manifest και οι πόροι (resources). Το αρχείο Manifest, ορίζεται από την εφαρμογή και περιέχει όλα τα συστατικά των παραπάνω ειδών ώστε να δίνει την πληροφορία για την ύπαρξή τους ή μη στο λειτουργικό σύστημα. Έτσι, πριν το Android θέσει σε λειτουργία ένα συστατικό, επικοινωνεί με το αρχείο. Το αρχείο Manifest προσδιορίζει τις

άδειες του χρήστη, τα χαρακτηριστικά της συσκευής που χρησιμοποιείται και τις βιβλιοθήκες με τις οποίες συνδέεται, όπως περιγράφονται παρακάτω. Τέλος, στα resources περιλαμβάνουν όλα τα αρχεία εικόνας, ήχου ή οποιασδήποτε άλλης μορφής που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία της εφαρμογής.

Αφού έχουν μελετηθεί όλα τα παραπάνω στοιχεία, μπορεί να παρουσιαστεί η εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού, και τα σημεία εκείνα στα οποία συμβάλει και επιδρά.

3.2 Εργαλειοθήκη Ανάπτυξης Λογισμικού (SDK) Επαυξημένης Πραγματικότητας

Ένα SDK επαυξημένης πραγματικότητας είναι το βασικό εργαλείο ανάπτυξης λογισμικού που επιτρέπει τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Ο ρόλος του είναι σημαντικός και έγκειται στη σύντηξη ψηφιακού περιεχομένου και πληροφοριών με τον πραγματικό κόσμο (What Software is Used for Augmented Reality?, 2020). Οι δυνατότητες του SDK θα καθορίσουν τα τελικά χαρακτηριστικά και τη λειτουργία της εφαρμογής, επομένως είναι σημαντικό να επιλεγεί η καταλληλότερη πλατφόρμα, βάσει των απαιτήσεων του έργου.

Γενικά ένα SDK, χρησιμοποιείται με κάποια μηχανή ανάπτυξης λογισμικού. Ουσιαστικά παρέχει στη μηχανή όλα τα απαραίτητα εργαλεία και δεδομένα για να αποκτήσει η εφαρμογή τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Έτσι, κάθε διαφορετική εφαρμογή απαιτεί κάποιο εξειδικευμένο SDK. Για τον λόγο αυτό περιορίζουμε την έρευνα σε SDK επαυξημένης πραγματικότητας.

3.3 Χαρακτηριστικά προς Σύγκριση

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση των διαφορετικών SDK, παρουσιάζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες του καθενός που θα μας βοηθήσουν να καταλήξουμε στο καταλληλότερο για το έργο μας (What's the difference between an "SDK" and an "engine?", 2020). Μεταξύ των χαρακτηριστικών περιλαμβάνονται το content rendering, το AR tracking, και το scene recognition όπως και οι μηχανές λογισμικού με τις οποίες υπάρχει συμβατότητα. Το κόστος αποτελεί και εδώ καθοριστικό παράγοντα. Σημειώνεται ότι το κόστος για τα εργαλεία λογισμικού συνήθως είναι ανά μήνα και ανά χρήστη, δηλαδή αριθμό αδειών.

Παρακάτω, παρουσιάζονται αρχικά ορισμένες κατηγορίες και τεχνικές των SDK και έπειτα επεξηγούνται οι λειτουργίες και οι αντίστοιχες δυνατότητες που παρέχουν και τις καθιστούν σημαντικές.

Marker-based vs Marker-less apps

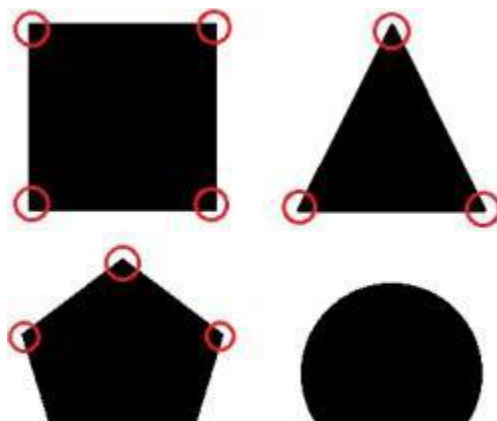
Ο πρώτος διαχωρισμός χαρακτηριστικών που γίνεται σχετίζεται με την απαίτηση ή όχι του λογισμικού, για συγκεκριμένα σημάδια στο φυσικό περιβάλλον, που ενεργοποιούν το ψηφιακό περιεχόμενο. Τα σημάδια αυτά μπορεί να είναι κάποιοι συγκεκριμένοι οπτικοί κωδικοί (Barcodes / QR codes), εικόνες ή σύμβολα προκαθορισμένα, τα οποία αναγνωρίζονται μέσω της κάμερας. Έτσι οι εφαρμογές που βασίζονται σε αυτά (Marker-Based Augmentation), ενεργοποιούν την ψηφιακή πληροφορία μόλις τα εντοπίσουν και στο

σημείο που υποδεικνύεται από αυτά. Από την άλλη, οι εφαρμογές που δε χρησιμοποιούν σημάδια (Marker-Less Augmentation), ενεργοποιούνται βάσει πληροφοριών που συλλέγουν από την κάμερα (αναγνώριση χώρου ή τοπίου), το σύστημα εντοπισμού θέσης ή και επιταχυνσιόμετρα. Έτσι εντοπίζουν την τοποθεσία και το περιβάλλον της εφαρμογής και ενεργοποιούν την εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας.

Natural Feature Tracking & Targets

Ο εντοπισμός φυσικών χαρακτηριστικών εκμεταλλεύεται τα έντονα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου, όπως είναι οι γωνίες υψηλής αντίθεσης στις κορυφές τριγώνων. Η τεχνική αυτή, βασίζεται στη θεωρία ότι κάθε εικόνα μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικά κομμάτια. Τα κομμάτια που ανήκουν σε ένα σχήμα, όπως μία ευθεία, θα ακολουθούν μία κατεύθυνση και θα εμφανίζουν παρόμοιες τιμές στη χρωματική κλίμακα (RGB). Στην κάθετη κατεύθυνση της ευθείας, οι τιμές RGB θα παρουσιάζουν αποκλίσεις. Έτσι κοντά σε μία γωνία, θα υπάρχουν έντονες αλλαγές τιμών οι οποίες επιτρέπουν στον αλγόριθμο να εντοπίσει το σχήμα.

Συμπερασματικά, ο αλγόριθμος μπορεί να δημιουργεί πατρών από χαρακτηριστικά, το οποίο ονομάζεται στόχος (target). Όταν εντοπιστεί ο στόχος, μπορεί να προσδιοριστεί και η πόζα του (pose), δηλαδή η σχετική του θέση στον χώρο σε σχέση με τη συσκευή αναγνώρισης. Ο στόχος σημειώνεται ότι είναι προκαθορισμένος, από τον προγραμματιστή, μέσω του SDK. Οι στόχοι μπορεί να ποικίλουν από δισδιάστατες εικόνες, κυβοειδή αντικείμενα, κυλίνδρους ή τρισδιάστατα αντικείμενα. Στη συνέχεια η εφαρμογή ενεργοποιεί το ψηφιακό περιεχόμενο που έχει προεπιλεγεί. Σημειώνεται πως σε ορισμένα λογισμικά υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης πολλαπλών στόχων (Multi Target Tracking), όπου εκεί παρακολουθούνται ταυτόχρονα οι προεπιλεγμένοι στόχοι. Στο Σχήμα 3.1, φαίνονται ορισμένα σχήματα και στόχοι. Αξίζει να σημειωθεί πως στο τέταρτο σχήμα δεν υπάρχει χαρακτηριστικό αφού δεν υπάρχουν γωνίες.



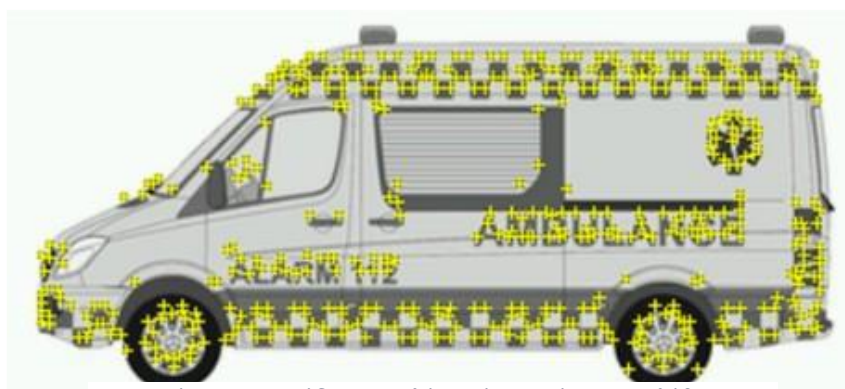
Σχήμα 3.1: Τέσσερα σχήματα που δηλώνουν τι είναι φυσικό χαρακτηριστικό

Image tracking

Ο εντοπισμός εικόνας, επιτρέπει στο λογισμικό να εντοπίζει και να παρακολουθεί συγκεκριμένες δισδιάστατες εικόνες-στόχους. Στη συνέχεια οι εικόνες χρησιμοποιούνται ως

διακόπτες ενεργοποίησης του ψηφιακού περιεχομένου (Augmented Reality based on Image Recognition and Tracking, 2020). Η σύνθεση και το πλήθος των χαρακτηριστικών από τα οποία απαρτίζονται οι εικόνες, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για το πόσο εύκολα μπορεί ο στόχος να εντοπιστεί.

Πιο συγκεκριμένα, ένας καλός στόχος αποτελείται από μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών διατεταγμένα με τον κατά το δυνατόν πιο μοναδικό τρόπο. Επεξηγηματικά, μία δισδιάστατη εικόνα μπορεί να εμπεριέχει πλήθος χαρακτηριστικών, ωστόσο αν είναι διατεταγμένα με τρόπο επαναλαμβανόμενο και όχι μοναδικό, το λογισμικό δε θα μπορέσει να προσδιορίσει την ίδια ή την κατεύθυνσή της στον χώρο. Αντίστοιχα, εικόνες που περιέχουν στρογγυλά σχήματα και στερούνται γωνίες αποτελούν κακούς στόχους. Ένα παράδειγμα καλού στόχου φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 3.2. Εμπεριέχει πλήθος στοιχείων διατεταγμένα μοναδικά.

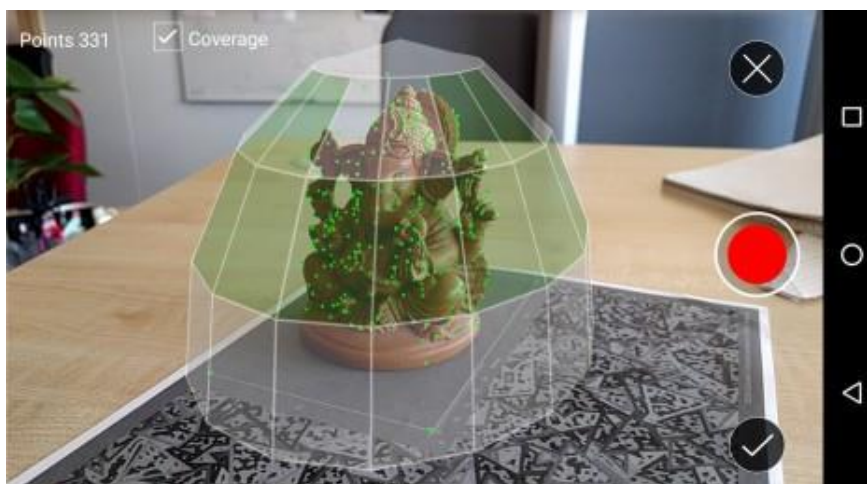


Σχήμα 3.2: Παράδειγμα καλής εικόνας-στόχου, με πλήθος χαρακτηριστικών, διατεταγμένα μοναδικά

Object tracking

Ο εντοπισμός αντικειμένου, λειτουργεί αντίστοιχα με την παραπάνω δυνατότητα, εντοπίζοντας αυτή τη φορά τρισδιάστατα αντικείμενα-στόχους. Ενώ κατά βάση η αναγνώριση τρισδιάστατων αντικειμένων χρησιμοποιεί την αναγνώριση φυσικών χαρακτηριστικών που περιγράφηκε παραπάνω, η διαδικασία δημιουργίας στόχων διαφέρει από αυτή των εικόνων. Στην αναγνώριση εικόνας, η εικόνα-στόχος, δημιουργείται με την ανάλυση δισδιάστατων χαρακτηριστικών μέσω των εικονοκυττάρων (pixels). Στην αναγνώριση αντικειμένων ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ο τρίτος άξονας.

Με τη χωρική αναγνώριση, και καθώς το αντικείμενο έχει εντοπιστεί, η επαύξηση ενεργοποιείται και διατηρείται ενώ το βλέπουμε από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Το παραπάνω μπορεί να γίνει με διαφορετικές τεχνικές και αλγόριθμους. Ένα παράδειγμα είναι η αντιστοίχιση των διαφορετικών χαρακτηριστικών και πλευρών ενός αντικειμένου, πάνω σε μία θεωρητική επιφάνεια-στόχο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Το πρόγραμμα σαρώνει το αντικείμενο και αποθηκεύει κάποιες πρότυπες εικόνες του και πατρών των χαρακτηριστικών του, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων σημείων ενδιαφέροντος (target points). Ύστερα, καθώς αυτά εντοπίζονται, συγκρίνονται με τα αποθηκευμένα και υπολογίζεται ο προσανατολισμός του αντικειμένου στους άξονες XYZ.



Σχήμα 3.3: Τοποθετώντας το αντικείμενο που πρόκειται να σκαναριστεί πάνω στον target scanner, προσδιορίζονται οι άξονες XYZ και τα σημεία ενδιαφέροντος

Scene tracking

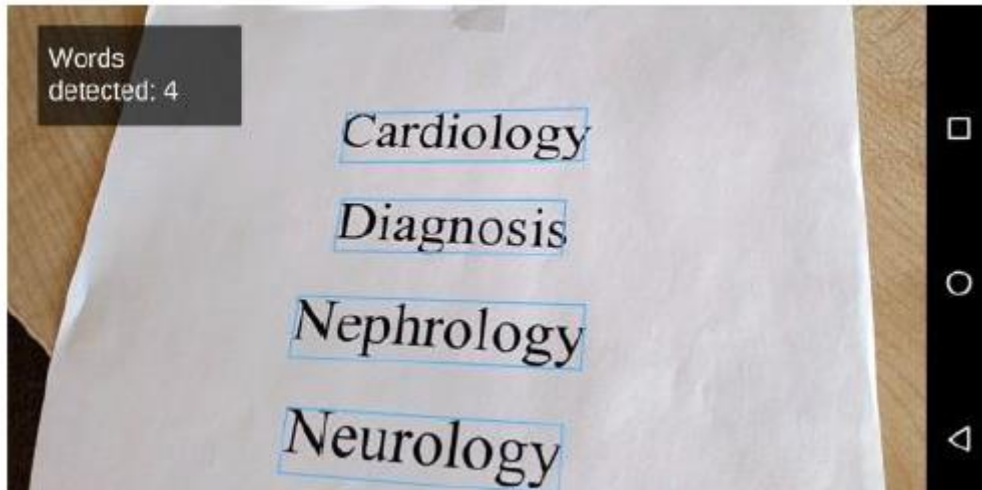
Ο εντοπισμός σκηνής, διευρύνει τις παραπάνω λειτουργίες αναγνωρίζοντας ως στόχους ολόκληρα δωμάτια και αρκετά μεγαλύτερα αντικείμενα από τα συνήθη, διευρύνοντας τις δυνατότητες του προγράμματος επαυξημένης πραγματικότητας.

Geo Location

Μέσω της προχωρημένης αυτής δυνατότητας, οι προγραμματιστές μπορούν να συνδέουν ψηφιακό περιεχόμενο με γεωγραφικά σημεία ενδιαφέροντος. Επομένως αντίθετα με τεχνικές που χρησιμοποιούν σημάδια, όπως ο εντοπισμός εικόνων ή αντικειμένων, το Geo AR δεν χρειάζεται κάποιον φυσικό στόχο για να ενεργοποιήσει το ψηφιακό περιεχόμενο (Geo AR: Location-based Augmented Reality Use Cases, 2020). Αυτό εμφανίζεται απλά όταν ο χρήστης βρίσκεται στο επιθυμητό σημείο. Φυσικά το περιεχόμενο μπορεί να είναι οτιδήποτε από μοντέλα, βίντεο, κείμενα ή οτιδήποτε άλλο θέλουμε να συνδεθεί με μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

Text Recognition

Η αναγνώριση κειμένου είναι άλλη μία δυνατότητα που μπορεί να μας παρέχει ένα AR SDK. Η αναγνώριση κειμένου συνήθως πραγματοποιείται μέσω της τεχνικής οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR - Optical Character Recognition), η οποία αναγνωρίζει γράμματα μέσα σε εικόνες. Μετά την εισαγωγή της εικόνας, γίνεται προεργασία ώστε να μειωθεί ο θόρυβος της, δηλαδή η περιττή πληροφορία, οπότε το κείμενο διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα στοιχεία που μπορεί να υπάρχουν. Η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων βασίζεται στην κωδικοποίηση UTF-8, αναγνωρίζοντας κάθε χαρακτήρα μεμονωμένα, στη συνέχεια συντίθενται σε λέξεις. Η αναγνώρισή τους φαίνεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Επιτυχής αναγνώριση κειμένου σε εκτυπωμένο χαρτί

Cloud Recognition

Η αναγνώριση «νέφους» ουσιαστικά επιτρέπει την αναγνώριση στόχων που είναι αποθηκευμένοι σε μία βάση δεδομένων στο διαδίκτυο, αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τους διαθέσιμους στόχους που έχει το πρόγραμμα και διευκολύνοντας την αναγνώριση του φυσικού περιβάλλοντος. Φυσικά για την αξιοποίηση της δυνατότητας απαιτείται σύνδεση με το διαδίκτυο.

SLAM Technology

Η τεχνολογία ταυτόχρονης τοπικής προσαρμογής και χαρτογράφησης (SLAM - Simultaneous Localization And Mapping) είναι η πλέον εξελιγμένη τεχνολογία σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας. Χάρη στην τεχνολογία αυτή, μία συσκευή μπορεί να χαρτογραφεί μία άγνωστη για αυτή περιοχή, και ταυτόχρονα να προσδιορίζει τη θέση της μέσα σε αυτή και σε σχέση με το περιβάλλον της, σε πραγματικό χρόνο. Η παραπάνω λειτουργίες, επιτρέπουν την ακριβέστερη εναπόθεση ψηφιακών αντικειμένων στο φυσικό περιβάλλον.

Content Rendering

Η απόδοση περιεχομένου (content rendering) αφορά στην εναπόθεση του ψηφιακού περιεχομένου της εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο.

3.4 Εργαλειοθήκες Ανάπτυξης Λογισμικού προς Σύγκριση

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα δημοφιλέστερα SDK επαυξημένης πραγματικότητας που είναι διαθέσιμα στην αγορά. Φυσικά εξετάζονται μόνο τα SDK εκείνα που επιτρέπουν την ανάπτυξη Android εφαρμογών, αφού το μοντέλο γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας που έχει επιλεγεί λειτουργεί με Android λογισμικό.

3.4.1 Wikitude



Σχήμα 3.5: Το λογότυπο του SDK Wikitude

Το Wikitude είναι ένα SDK ειδικά σχεδιασμένο για την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας σε κινητές συσκευές. Ο βασικός στόχος της εταιρίας για το συγκεκριμένο SDK, ήταν εξαρχής η δυνατότητα αναγνώρισης της τοποθεσίας της συσκευής και η διαμόρφωση του επαυξημένου περιβάλλοντος βάσει αυτής (Geo Location). Διαθέτει επίσης λειτουργίες εντοπισμού (tracking) αντικειμένων, αναγνώρισης εικόνας και σχημάτων (Augmented Reality based on Image Recognition and Tracking, 2020). Το λογότυπο φαίνεται στο Σχήμα 3.5.

Ακόμη, το SDK υποστηρίζει την τεχνολογία ταυτόχρονης αναγνώρισης θέσης και χαρτογράφησης περιβάλλοντος (SLAM - Simultaneous Localization and Mapping), η οποία διευκολύνει τον εντοπισμό και αναγνώριση χωρίς ίχνη (marker less tracking). Επίσης υποστηρίζει το cloud recognition, αυξάνοντας κατά πολύ τους αναγνωρίσιμους στόχους.

Με το SDK, διατίθεται και το περιβάλλον ανάπτυξης της εταιρίας, Wikitude Studio. Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει τη δημιουργία και δοκιμή επαυξημένου περιεχομένου, χωρίς να χρειάζεται ο χειριστής να γράψει κώδικα, αλλά μέσω της εργονομικής διεπαφής χρήστη (user interface).

Είναι ένα από τα πιο δημοφιλή AR SDK με πάνω από 140.000 εγγεγραμμένους χρήστες, 40.000 δημιουργημένες εφαρμογές ενώ βρίσκεται σε περισσότερες από 180 χώρες.

Το απλούστερο πακέτο κοστίζει 2.490€ εφ' άπαξ και χωρίς αναβαθμίσεις, ενώ η επόμενη έκδοση με αναβαθμίσεις χρεώνεται 2.990€ ετησίως.

3.4.2 Vuforia



Σχήμα 3.6: Το λογότυπο του SDK Vuforia

Το Vuforia είναι το πιο διαδεδομένο SDK επαυξημένης πραγματικότητας. Επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν γρήγορα αξιόπιστες εφαρμογές για κινητές συσκευές. Αξιοποιεί την τεχνολογία μηχανικής όρασης (computer vision) για να αναγνωρίζει και να

εντοπίζει εικόνες-στόχους και τρισδιάστατα αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει επίσης τον προσανατολισμό ψηφιακών αντικειμένων, όπως τρισδιάστατων μοντέλων, στο φυσικό περιβάλλον και σε σχέση με τη συσκευή αναγνώρισης. Έτσι η ψηφιακή πληροφορία μπορεί να τοποθετείται στον πραγματικό κόσμο μέσα από μία οθόνη, δημιουργώντας την εμπειρία επαυξημένης πραγματικότητας. Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται το λογότυπο του SDK.

Η Vuforia υποστηρίζει ένα σύνολο διδιάστατων και τρισδιάστατων στόχων, όπως εικόνες-στόχους χωρίς σήμανση, διαμορφώσεις πολλαπλών στόχων (Multi-targets), και σημεία αναφοράς γνωστά ως “VuMark”. Ορισμένες από τις επιπλέον ιδιότητες της Vuforia περιλαμβάνουν τη δυνατότητα ανάπτυξης και προσαρμογής στόχων στον χρόνο λειτουργίας (run-time).

Μέσω της επέκτασης σε Unity, η Vuforia υποστηρίζει διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API - Application Programming Interface) σε γλώσσα προγραμματισμού Java, C++, Objective C++ και .NET. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η ευκολία της εγκατάστασης και εκκίνησης του SDK και η εργονομία του περιβάλλοντος ανάπτυξης της εφαρμογής.

Το SDK υπάρχει και σε δωρεάν έκδοση για την ανάπτυξη των εφαρμογών αλλά και η πληρωμή μπορεί να γίνει πριν την τελική δημιουργία της εφαρμογής. Το απλούστερο πακέτο ξεκινά από 42\$ ανά μήνα ή 504\$ το χρόνο.

3.4.3 ARCore



Σχήμα 3.7: Το λογότυπο του SDK ARCore

Το ARCore είναι το SDK επαυξημένης πραγματικότητας που έχει αναπτύξει η εταιρία Google. Το “Core”, προκύπτει από το αγγλικό πυρήνας, όπως αποτυπώνεται και στο Σχήμα 3.7. Επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας για συσκευές που λειτουργούν με Android, αλλά και συσκευές της Apple που χρησιμοποιούν iOS. Το AR Core διαθέτει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά που του επιτρέπουν την εναρμόνιση του ψηφιακού και φυσικού περιβάλλοντος. Αρχικά, η εκτίμηση φωτισμού (Light Estimation) αναγνωρίζει τις συνθήκες φωτισμού του φυσικού περιβάλλοντος για να επιτύχει καλύτερη αναγνώριση των στόχων. Η αναγνώριση περιβάλλοντος (Environmental Understanding), εντοπίζει το μέγεθος και την τοποθεσία οριζόντιων, κάθετων και υπό κλίση επιφανειών, ενώ η ανίχνευση κίνησης (Motion Tracking), αντιλαμβάνεται τη θέση και κίνηση της συσκευής σε σχέση με το περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη χαρτογράφηση του γύρω χώρου.

Όλη η τεχνολογία του ARCore είναι βασισμένη σε δύο βασικά συστατικά. Τη ζωντανή ανίχνευση (live tracking) αντικειμένων στον χώρο, σε συνδυασμό με τον υπολογισμό της θέσης της συσκευής, με αποτέλεσμα την ακριβέστερη σύντηξη ψηφιακών αντικειμένων με το φυσικό περιβάλλον.

Σημειώνεται πως το ARCore διατίθεται δωρεάν. Η εταιρία Google βγαίνει κερδισμένη από τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας για το λογισμικό της, Android.

3.4.4 Kudan



Σχήμα 3.8: Το λογότυπο του SDK Kudan

Ο στόχος της εταιρίας που δημιούργησε το Kudan, είναι η διαμόρφωση αλγορίθμων τεχνητής αντίληψης (Artificial Perception), που θα είναι ισάξιοι της λειτουργίας της ανθρώπινης όρασης. Το SDK επομένως του οποίου το λογότυπο φαίνεται στο Σχήμα 3.8, δημιουργήθηκε για να βοηθήσει στην επίτευξη του.

Το Kudan χρησιμοποιεί την τεχνολογία SLAM ώστε ταυτόχρονα να εντοπίζει τη θέση της συσκευής ως προς το περιβάλλον και να δημιουργεί μία τρισδιάστατη χαρτογράφηση του γύρω χώρου. Το Kudan φημίζεται για τη μικρή κατανάλωση πόρων της συσκευής, αφού χρησιμοποιεί περίπου το 5% της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU) μίας μέσης κινητής συσκευής.

Τρία χαρακτηριστικά που η εταιρία διαφημίζει είναι αρχικά η πλήρως ιδιόκτητη τεχνολογία, γεγονός που βοηθά στην καλύτερη απόδοση αλλά και ταχύτερη ανάπτυξη εφαρμογών. Έπειτα, η ευελιξία του λογισμικού, αφού μπορεί να τροποποιηθεί και να προσαρμοστεί στις ανάγκες του κάθε χρήστη, όσον αφορά και το υλισμικό που χρησιμοποιείται αλλά και το αντίστοιχο έργο. Τέλος, η εταιρία υποστηρίζει πως η σύντηξη της τεχνολογίας του Kudan με άλλα προγράμματα και εργαλεία μίας εταιρίας είναι εύκολη και ευέλικτη, ώστε να δημιουργηθεί το καλύτερο μοντέλο.

Σχετικά με το κόστος, οι άδειες χρήσης για το Kudan ξεκινάνε από 1.000€ τον χρόνο ανά εφαρμογή.

3.4.5 EasyAR



Σχήμα 3.9: Το λογότυπο του SDK EasyAR

Το EasyAR είναι ένα σχετικά δημοφιλές AR SDK, λόγω της αποδοτικότητας και ευκολίας στη χρήση. Είναι ικανό να αναγνωρίζει εικόνες ή αντικείμενα στόχους, πολύ-στόχους, επιφάνειες και κινήσεις. Δίνονται ακόμη η δυνατότητα αναγνώρισης και παρακολούθησης τρισδιάστατων αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο ενώ ταυτόχρονα, το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται και χαρτογραφεί το φυσικό περιβάλλον (SLAM Technology). Μπορεί επίσης να υποστηρίξει το Cloud Recognition, για την αύξηση των διαθέσιμων στόχων. Η απλότητα του SDK αποτυπώνεται και στο λογότυπό του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9.

Το SDK έχει συμβατότητα τόσο με κινητές συσκευές όσο και προσωπικούς υπολογιστές με τα συνηθέστερα λειτουργικά συστήματα, μέσω δικών του API. Έχει χρησιμοποιηθεί από μεγάλες εταιρείες όπως η Pepsi και η KFC, ενώ χρησιμοποιείται από περισσότερους από εκατό χιλιάδες προγραμματιστές.

Υπάρχει σε δωρεάν έκδοση για ανεξάρτητους προγραμματιστές, ενώ η φθηνότερη έκδοση επί πληρωμή ξεκινά από 39\$ ανά μήνα.

3.4.6 MaxST



Σχήμα 3.10: Το λογότυπο του SDK MaxST

Το MaxST SDK έχει στοχεύει σε αρκετές βιομηχανίες πέραν των παιχνιδιών, όπως αυτή της μόδας με τη δημιουργία εικονικών δοκιμαστηρίων ρούχων. Επιτρέπει την αναγνώριση και παρακολούθηση εικόνας και αντικειμένων, μέσω νέφους (cloud recognition) είτε τοπικής (offline) πληροφορίας. Επίσης αναγνωρίζει QR Codes και Barcodes βάσει των οποίων μπορεί να γίνει η ενεργοποίηση του ψηφιακού περιεχομένου. Το MaxST επίσης, υποστηρίζει την τεχνολογία SLAM, αυξάνοντας έτσι τις δυνατότητες και ευκαιρίες επαύξησης. Σημειώνεται ότι η εταιρία το έχει βελτιστοποιήσει για έξυπνα γυαλιά. Στο Σχήμα 3.10 φαίνεται και το λογότυπο του SDK.

Διατίθεται δωρεάν με περιορισμένες δυνατότητες, ενώ η επί πληρωμή άδεια μέχρι εκατό χιλιάδες εφαρμογές έχει χρέωση 50\$ ανά μήνα.

3.5 Ανάλυση και Σύγκριση

Παραπάνω παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν ορισμένες από τις πιο δημοφιλείς εργαλειοθήκες ανάπτυξης λογισμικού της αγοράς. Οι βασικές πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργίες και τις δυνατότητες του καθενός, αντλήθηκαν από τις ιστοσελίδες και τα εγχειρίδια τους. Η αναζήτηση αυτή έδειξε, πως τα βασικά χαρακτηριστικά των SDK επαυξημένης πραγματικότητας, όπως είχαν αναλυθεί παραπάνω, πληρούνται και από τα έξι διαφορετικά SDK που περιλαμβάνονται στην έρευνα. Επομένως από πλευράς δυνατοτήτων, δε μας περιορίζει κάποια εργαλειοθήκη ως προς την επιλογή της. Έτσι η σύγκριση για την καταλληλότερη εναλλακτική πρέπει να γίνει σε δεύτερο επίπεδο, και όχι στο μόνο επίπεδο των λειτουργιών.

Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να εξεταστούν άλλα στοιχεία, τα οποία ενδεχομένως δεν είναι διαθέσιμα από τις κατασκευάστριες εταιρίες. Επομένως, γίνεται εκτενής αναζήτηση επιστημονικών και μη άρθρων, σχετικά με τα SDK επαυξημένης πραγματικότητας και τη χρήση τους. Μετά την αναζήτηση αυτή, γίνεται σαφές στον ερευνητή πως τα δημοφιλέστερα AR SDK, είναι το Vuforia και το ARCore, ενώ τρίτο είναι το Wikitude. Τα επόμενα τρία, Kudan, EasyAR και MaxST, είναι σημαντικά λιγότερο δημοφιλή. Το τελευταίο έγινε σαφές κατά την αναζήτηση πληροφοριών για τα SDK, αφού για τα τελευταία τρία οι πόροι ήταν εμφανώς περιορισμένοι σε σχέση με τρία πρώτα. Η διαφορά στη δημοτικότητα των πλατφορμών, γίνεται σαφής και από το πλήθος των αποτελεσμάτων που εμφανίζονται στη μηχανή αναζήτησης της Google, αναζητώντας την ονομασία του εργαλείου μαζί με το ακρωνύμιο SDK. Τα αποτελέσματα απεικονίζει ο Πίνακας 3.1.

| <i>Όρος Αναζήτησης</i> | <i>Πλήθος αποτελεσμάτων</i> |
|------------------------|-----------------------------|
| <i>Vuforia SDK</i> | 551.000 |
| <i>ARCore SDK</i> | 429.000 |
| <i>Wikitude SDK</i> | 132.000 |
| <i>Kudan SDK</i> | 59.300 |
| <i>EasyAR SDK</i> | 20.800 |
| <i>MaxST SDK</i> | 11.300 |

Πίνακας 3.1: : Πλήθος αποτελεσμάτων ανά AR SDK στη μηχανή αναζήτησης της Google

Είναι πλέον σαφής η απόλυτη κυριαρχία στην αγορά των SDK επαυξημένης πραγματικότητας για Android, των Vuforia και ARCore. Η επιλογή ενός εκ των δύο επικρατέστερων SDK, είναι στη διακριτική ευχέρεια του προγραμματιστή ή ερευνητή. Το σημαντικό πλεονέκτημα που

προκύπτει από την επιλογή ενός εκ των δύο, έχει να κάνει με την ύπαρξη πολύ περισσότερου υποστηρικτικού περιεχομένου και πληροφοριών, το οποίο είναι συνήθως το σημαντικότερο εργαλείο ενός προγραμματιστή.

Ειδικά για το Wikitude, ενώ δεν είναι τόσο δημοφιλές όσο τα δύο πρώτα AR SDKs, δεν είναι εύκολο να απορριφθεί, καθώς οι δυνατότητες του θεωρούνται εξελιγμένες. Πράγματι, διαβάζοντας σχετικά άρθρα και δημοσιεύματα, παρατηρούμε ότι το Wikitude είναι κρίνεται ιδιαίτερα θετικά από προγραμματιστές και λαμβάνει υψηλές βαθμολογίες, κατά κύριο λόγο χάρη στις επιδόσεις και την ταχύτητά του. Ωστόσο, η εξαιρετικά υψηλή τιμή του σε συνδυασμό με την όχι εξαιρετική δημοτικότητά του, μας κάνουν να το απορρίπτουμε.

Εν τέλει επομένως, απομένουν τα Vuforia και AR Core. Δεδομένης της σχετικής ισοπαλίας στα παραπάνω, αναζητούνται επιπλέον στοιχεία και πληροφορίες. Πριν από αυτό, σημειώνεται πως το Vuforia αξιοποιεί όλες του τις δυνατότητες μονάχα σε πακέτα επί πληρωμή, ενώ το ARCore διατίθεται δωρεάν. Επομένως το ARCore πλεονεκτεί όσον αφορά το κόστος, ωστόσο και η τιμή του Vuforia δεν είναι ιδιαίτερος υψηλή. Παρ' όλα αυτά, το Vuforia παρουσιάζει δύο χαρακτηριστικά σημαντικά για το έργο.

Είναι βελτιστοποιημένο για ανίχνευση αντικειμένων και σημαδιών (markers), όπως και για βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτή είναι και η περίπτωση του υπό μελέτη έργου. Εφόσον το έργο σχεδιάζεται για το εσωτερικό μίας αποθήκης της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα παραπάνω χαρακτηριστικά ταιριάζουν απόλυτα. Επεξηγηματικά, είναι εύκολο μέσα στην αποθήκη να τοποθετηθούν στόχοι-σημάδια και άλλα αντικείμενα στα οποία το Vuforia εξειδικεύεται. Από την άλλη, το ARCore, απευθυνόμενο κατά κύριο λόγο σε Android κινητά, εστιάζει περισσότερο σε εμπορικές εφαρμογές που περιλαμβάνουν καταναλωτές. Η εξειδίκευση του Vuforia, σε βιομηχανικές εφαρμογές άλλωστε, έχει το πλεονέκτημα, εκτός των λειτουργιών του, πως θα υπάρχει και περισσότερη πληροφορία στο διαδίκτυο σχετικά με εφαρμογές ανάλογες της υπό σχεδιασμού.

Όλα τα παραπάνω, μας οδηγούν στην τελική επιλογή του Vuforia. Αποτελεί τη δημοφιλέστερη και πιο εδραιωμένη εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας αυτή τη στιγμή στην αγορά. Διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες που θα ήθελε ο προγραμματιστής να έχει ως εργαλεία για τη δημιουργία μιας επιτυχημένης και αποδοτικής εφαρμογής, ενώ η τιμή του είναι σχετικά χαμηλή. Έτσι, θεωρείται το καταλληλότερο για το υπό μελέτη έργο.

4. Περιβάλλον Ανάπτυξης Λογισμικού

Το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού, αποτελεί μία πλατφόρμα στην οποία αναπτύσσονται και δημιουργούνται εφαρμογές, δηλαδή εκτελέσιμα αρχεία λογισμικού. Ένα περιβάλλον ανάπτυξης, παρέχει στον προγραμματιστή όλα τα απαραίτητα στοιχεία που θα χρειαστεί, έτσι ώστε να ξεκινήσει από το μηδέν και να καταφέρει να δημιουργήσει μία λειτουργική εφαρμογή. Έτσι, από τη μια η εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού (SDK), περιλαμβάνει εξειδικευμένες βιβλιοθήκες και εργαλεία, στο πλαίσιο ενός συγκεκριμένου στόχου, όπως είναι στην περίπτωση μας οι λειτουργίες επαυξημένης πραγματικότητας. Από την άλλη, ένα περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού εμπεριέχει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη γενικότερη λειτουργία της εφαρμογής, την αλληλεπίδραση με τον χρήστη μέσω της διεπαφής (user interface), την επικοινωνία της με τη συσκευή στην οποία θα τρέχει αλλά και ενδεχόμενα δίκτυα.

Επομένως, εφόσον έχει αποφασιστεί ότι η Vuforia είναι η εξειδικευμένη εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού η οποία θα χρησιμοποιηθεί, το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του περιβάλλοντος ανάπτυξης εντός του οποίου θα αναπτυχθεί η εφαρμογή και θα αξιοποιηθούν τα εργαλεία της Vuforia. Έτσι πρέπει να εξεταστούν τα περιβάλλοντα εκείνα με τα οποία είναι συμβατή η Vuforia και μέσω των οποίων μπορεί να αναπτυχθεί μία εφαρμογή για Android. Οι εναλλακτικές που διατίθενται είναι δύο, οι:

- Unity3D Editor
- Android Studio

Έτσι, πρέπει να μελετηθούν τα δύο αυτά περιβάλλοντα, οι δυνατότητές, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους, προκειμένου να καταλήξουμε στο καταλληλότερο, πάντα σύμφωνα με το έργο και τις ανάγκες της υπό σχεδιασμού εφαρμογής. Παρακάτω αναλύονται οι δύο εναλλακτικές.

4.1 Unity3D Editor



Σχήμα 4.1: Το λογότυπο του Unity

Η Unity είναι μία μηχανή ανάπτυξης παιχνιδιών για κάθε είδους πλατφόρμα (cross-platform), όπως το Android και το iOS. Ωστόσο, το εύρος των δυνατοτήτων της, την καθιστά ιδανική, για ανάπτυξη όχι μόνο παιχνιδιών, αλλά και εφαρμογών για τη βιομηχανία ή τον εκπαιδευτικό τομέα. Στα σημαντικά χαρακτηριστικά της μηχανής αυτής περιλαμβάνονται τα εξειδικευμένα εργαλεία ανάπτυξης τρισδιάστατων εφαρμογών, το εύχρηστο και φιλικό προς τον χρήστη

περιβάλλον εργασίας αλλά και η ενεργή κοινότητα χρηστών, αφού καθίσταται με αυτήν ευκολότερη η αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων (troubleshooting) αλλά και αποριών που μπορεί να προκύψουν.

Η Unity, της οποίας το λογότυπο απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1, διατίθεται σε δύο εκδόσεις. Τη δωρεάν, η οποία απευθύνεται κυρίως σε ανεξάρτητους προγραμματιστές και την επί πληρωμή (Unity Pro), η οποία προσφέρει σημαντικά περισσότερες δυνατότητες σε σχέση με την πρώτη και στοχεύει σε επαγγελματίες και εταιρίες ανάπτυξης μεγάλων και περίπλοκων παιχνιδιών.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της Unity είναι η μεταφερισιμότητα (Unity (game engine), 2020). Η μεταφερισιμότητα ουσιαστικά καθιστά εφικτή την έκδοση παιχνιδιών για υπολογιστές (Windows/Mac), κονσόλες (PS4/Xbox), έξυπνα κινητά τηλέφωνα (iOS/Android) είτε και παιχνίδια φυλλομετρητών (browser games), με ελάχιστες αλλαγές στον κώδικα του παιχνιδιού. Ως γνωστόν, στο υπό μελέτη έργο ενδιαφέρει η έκδοση Android παιχνιδιού για έξυπνα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας. Ωστόσο η μεταφερισιμότητα παραμένει ένα θετικό στοιχείο αφού επιτρέπει τη μελλοντική επέκταση του έργου ή χρήση άλλης συσκευής ή και λειτουργικού συστήματος.

Το περιβάλλον ανάπτυξης της Unity είναι ιδιαίτερα εύχρηστο και εργονομικό. Χαρακτηριστική είναι η δυνατότητα εισαγωγής νέου περιεχομένου (assets), απλά με σύρσιμο και εναπόθεση (drag and drop), χωρίς δηλαδή να είναι απαραίτητη η συγγραφή κώδικα σε κάθε βήμα. Ακόμη, ιδιαιτέρως χρήσιμη είναι η δυνατότητα άμεσης προεπισκόπησης της εφαρμογής οποιαδήποτε στιγμή. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια της προεπισκόπησης είναι προσβάσιμες και μπορούν να τροποποιηθούν όλες οι μεταβλητές του κώδικα. Έτσι, μελετάται σε ζωντανό χρόνο η συμπεριφορά της εφαρμογής με τη μεταβολή των παραμέτρων της.

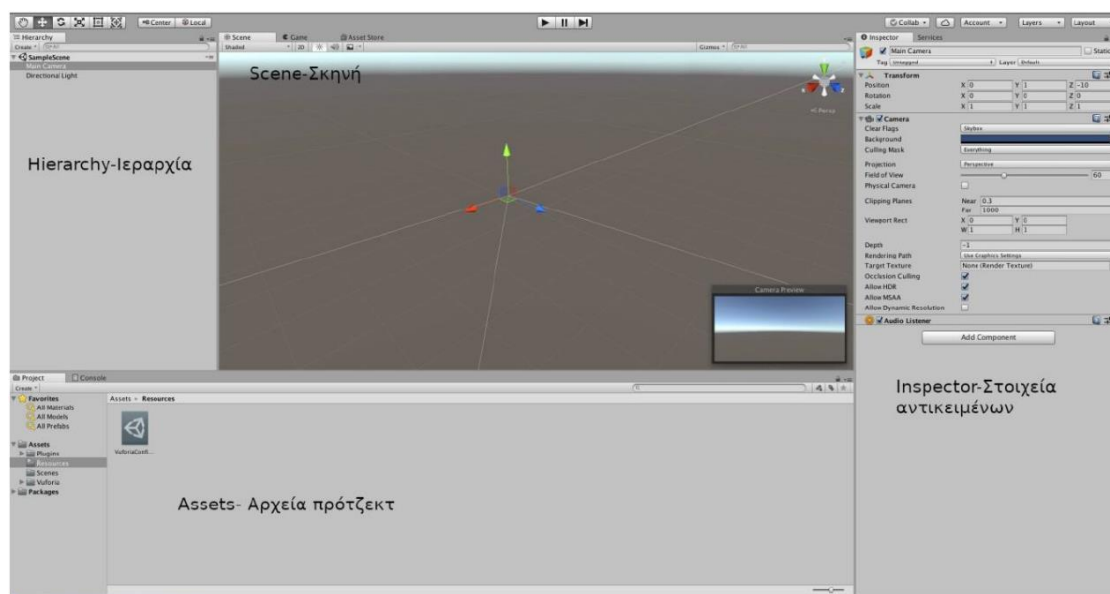
Εξίσου σημαντικό είναι πως η Unity είναι συμβατή με την πλειοψηφία των προγραμμάτων τρισδιάστατων γραφικών όπως τα Maya και 3D Studio Max, μέσω των οποίων μπορεί να δημιουργηθεί πληρέστερο και πιο αληθινό περιεχόμενο. Σημειώνεται ακόμη ότι και η ίδια η μηχανή Unity, πέρα από τα πρόσθετα που χρησιμοποιεί, θεωρείται ιδιαίτερα ανεπτυγμένη τεχνολογικά και ανταγωνίζεται και ακριβότερες μηχανές ανάπτυξης παιχνιδιών της αγοράς (Polsinelli, 2020), στο σύνολο των χαρακτηριστικών της όπως η προσομοίωση περιεχομένου (rendering), ο φωτισμός, η παραγωγή και επεξεργασία ήχου και η μηχανή φυσικής για την προσομοίωση του πραγματικού κόσμου.

Για την εξοικείωση με την πλατφόρμα παρέχεται μεγάλος αριθμός εκπαιδευτών βίντεο και άρθρων (tutorials) καθώς και έτοιμα παραδείγματα (Unity Reference: Main Page, 2020). Όπως αναφέρθηκε, η κοινότητα υποστήριξης είναι πολύ μεγάλη και ενεργή με χαρακτηριστική τη σελίδα Unity Answers όπου μπορεί κανείς να βρει τις απαντήσεις στις περισσότερες απορίες που μπορεί να προκύψουν κατά τη χρήση της μηχανής.

4.1.1 Προγραμματισμός σε Unity3D Editor

Το πρωταρχικό στοιχείο στη Unity είναι η εφαρμογή που αναπτύσσεται, η οποία ονομάζεται πρότζεκτ (Project). Ένα πρότζεκτ αποτελείται από μία ή περισσότερες σκηνές (Scenes), οι οποίες περιέχουν ένα ή περισσότερα αντικείμενα τα οποία ονομάζονται GameObjects. Τα αντικείμενα είναι ιεραρχικά τοποθετημένα στο project και η κατάλληλη τοποθέτησή τους στη σκηνή δημιουργεί το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Κάθε αντικείμενο αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία (components). Τα στοιχεία αυτά καθορίζουν τις ιδιότητες του αντικειμένου, την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον της εφαρμογής και τη συμπεριφορά που θα έχει κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της. Όλα τα αρχεία που ενδέχεται να χρειαστούν κατά την υλοποίηση του πρότζεκτ, όπως αρχεία ήχου, εικόνες ή αρχεία τρισδιάστατων μοντέλων, αποθηκεύονται στον φάκελο αρχείων (Assets).

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η διεπαφή χρήστη (user interface) της μηχανής κατά τη δημιουργία ενός νέου πρότζεκτ.



Σχήμα 4.2: Η διεπαφή χρήστη του Unity3D Editor

Το κεντρικό περιβάλλον είναι ο Editor, ο οποίος αποτελείται από μικρότερα παράθυρα, τα λεγόμενα views, στα οποία φαίνονται οι οντότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αναλυτικά έχουμε:

Assets

Στα Assets περιλαμβάνονται όλα τα αρχεία που χρησιμοποιεί η εφαρμογή, ταξινομημένα σε φακέλους. Μέσω των Assets γίνεται η οργάνωση όλου του περιεχομένου, όπως γραφικά, μοντέλα, αρχεία ήχου, σκηνές ή scripts.

Hierarchy

Στην ιεραρχία περιλαμβάνονται όλα τα αντικείμενα (GameObjects) τα οποία τοποθετούνται στην ενεργό σκηνή. Η πρόσθεση ή αφαίρεση δηλαδή ενός αντικειμένου από την ενεργό σκηνή, θα συνεπάγεται και την αντίστοιχη ενέργεια στην ιεραρχία. Η ύπαρξη της ιεραρχίας, καθιστά εύκολη την επιλογή και τον εντοπισμό των αντικειμένων στη σκηνή, προκειμένου να

γίνουν τροποποιήσεις και διαμορφώσεις. Η έννοια της ιεραρχίας, στηρίζεται και από την ύπαρξη σχέσεων γονέα-παιδιού (parenting). Κατά αυτήν, ένα αντικείμενο μπορεί να οριστεί ως πατέρας ή παιδί ενός άλλου, προκειμένου τα δύο να συνδεθούν. Τα συνδεδεμένα αντικείμενα τότε έχουν σχετική θέση και αλληλεπίδραση, ενώ το παιδί κληρονομεί την ιδιότητα «transform» του πατέρα, την οποία θα δούμε παρακάτω.

Scene View

Το παράθυρο της σκηνής είναι από τα βασικότερα του μενού, αφού σε αυτό προβάλλεται η υπό επεξεργασία σκηνή του παιχνιδιού. Μέσω των εργαλείων της Unity, μπορεί ο προγραμματιστής να επεξεργαστεί τη σκηνή, να τοποθετήσει σε αυτήν τα μοντέλα, τις κάμερες, τα φώτα και τα υπόλοιπα στοιχεία που τον ενδιαφέρουν.

Game View

Μόλις πατηθεί το κουμπί έναρξης (play), εμφανίζεται μία προεπισκόπηση της υπό επεξεργασίας εφαρμογής. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον προγραμματιστή να εκτελέσει την εφαρμογή χωρίς να πρέπει να δημιουργήσει εκτελέσιμο αρχείο. Η οπτική γωνία προέρχεται από τις κάμερες που έχουν τοποθετηθεί στο παράθυρο της σκηνής. Όσες αλλαγές γίνουν κατά την εκτέλεση της εφαρμογής στο παράθυρο παιχνιδιού, στη συνέχεια αναιρούνται. Είναι δηλαδή ένα περιβάλλον δοκιμαστικό.

Inspector

Τέλος, ο επιθεωρητής (Inspector) δίνει λεπτομερείς πληροφορίες για τα στοιχεία και τις ιδιότητες του εκάστοτε GameObject. Το κάθε GameObject σημειώνεται ότι περιλαμβάνει αρκετά στοιχεία (Components) από τα οποία καθορίζεται. Έτσι, τροποποιώντας τα components του αντικειμένου, διαμορφώνεται η συμπεριφορά του στην εφαρμογή. Σημαντικό είναι ότι όλα τα components που εμφανίζονται στον Inspector, μπορούν να τροποποιηθούν χωρίς τη συγγραφή κώδικα. Στον Inspector είναι επίσης ορατές οι δημόσιες μεταβλητές του κώδικα (public script variants), οπότε μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να βρεθεί η ιδανική τιμή για την επιθυμητή συμπεριφορά ενός αντικειμένου.

4.1.2 Στοιχεία Αντικειμένων (Components)

Αφού μελετήθηκε το περιβάλλον του Unity και τα μενού/παράθυρα με τις αντίστοιχες λειτουργίες τους, το επόμενο σημαντικό χαρακτηριστικό προς εξέταση είναι τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζονται τα αντικείμενα. Η μελέτη τους είναι καίρια, αφού μέσα από αυτά προσδίδονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες στα αντικείμενα. Έτσι, πέρα από τα παραπάνω, τα οποία αφορούσαν τον τρόπο επεξεργασίας της πληροφορίας, πρέπει να μελετηθεί και η ίδια η πληροφορία. Ο προσδιορισμός της θα κρίνει σε μεγάλο βαθμό την καταλληλότητα της μηχανής για το συγκεκριμένο έργο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικότερα από αυτά.

Transform

Το transform είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του αντικειμένου αφού καθορίζει τη θέση, τη γωνία και τις διαστάσεις του αντικειμένου στους τρεις άξονες x, y, z.

Δημιουργείται μαζί με το αντικείμενο και το συνοδεύει πάντα. Στα αντικείμενα με σχέση γονέα-παιδιού, το transform του παιδιού προσδιορίζεται σε σχέση με το transform του γονέα.

Camera

Μέσω της κάμερας γίνεται η προβολή της σκηνής. Οι ρυθμίσεις της μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες της εφαρμογής. Μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από μία κάμερες στη σκηνή, ωστόσο κάθε στιγμή είναι ενεργή μόνο μία. Έτσι μπορούν να γίνονται εναλλαγές στην οπτική του χρήστη.

Meshes

Για την προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων στη σκηνή, χρησιμοποιούνται δίκτυα γεωμετρίας (Meshes). Αυτά σχεδιάζονται με τη βοήθεια ειδικών προγραμμάτων μοντελοποίησης όπως τα 3Ds Max, Autodesk Inventor ή Cinema 4D, με τα οποία δημιουργούνται αρχεία που εισάγονται στο Unity. Έτσι, όταν εισάγεται ένα τέτοιο αρχείο και κατ' επέκταση μοντέλο, δημιουργούνται σε αυτό τα στοιχεία MeshFilter και MeshRenderer. Το πρώτο ευθύνεται για τον σχηματισμό της γεωμετρίας του μοντέλου και το δεύτερο για την προβολή του στη σκηνή και τις ιδιότητες εμφάνισής του, όπως ο φωτισμός, οι αντανάκλασεις και οι σκιές.

Rigidbody

Μέσω του Rigidbody, το αντικείμενο εκτίθεται στη μηχανή φυσικής της Unity. Μέσω της μηχανής φυσικής, τα αντικείμενα ακολουθούν συμπεριφορά που υπακούει στους νόμους της φυσικής και αλληλοεπιδρούν τόσο μεταξύ τους, όσο και με το περιβάλλον τους. Έτσι δέχονται την επίδραση της βαρύτητας και είναι εφικτές οι μεταξύ τους συγκρούσεις.

Collider

Σε συνέχεια του παραπάνω, το collider είναι υπεύθυνο για την ανίχνευση των συγκρούσεων μεταξύ των αντικειμένων. Το collider είναι επί της ουσίας ένα αόρατο σχήμα γύρω από το αντικείμενο, το οποίο μάλιστα δεν σχετίζεται άμεσα με το δίκτυο γεωμετρίας του, αλλά έχει σχήμα κουτιού, σφαίρας ή κάψουλας. Η μη-συσχέτιση με το δίκτυο γεωμετρίας του αντικειμένου, στοχεύει στην απλοποίηση των υπολογισμών για τον προσδιορισμό των συγκρούσεων. Σε κάθε περίπτωση, η απλή γεωμετρία των collider προσεγγίζει ικανοποιητικά τη γεωμετρία των αντικειμένων στις περισσότερες περιπτώσεις. Εάν υπάρχει ανάγκη ακριβούς προσέγγισης τους σχήματος του αντικειμένου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Mesh Collider. Εναλλακτικά είναι δυνατή και η χρήση πολλών collider, ταυτόχρονα σε ένα αντικείμενο, ως ενδιάμεση λύση.

Materials & Shader

Τα δύο αυτά στοιχεία, είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνα για την εμφάνιση του αντικειμένου στη σκηνή. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για το χρώμα και την υφή του αντικειμένου, ενώ το δεύτερο για τον ακριβή προσδιορισμό του χρώματος, δεδομένων των συνθηκών φωτισμού. Είναι ξεκάθαρο πως τα δύο στοιχεία αυτά λειτουργούν σε συνδυασμό. Υπάρχουν

διαφορετικά Shaders για τη δημιουργία ειδικών εφέ, ωστόσο συνήθως όταν δεν υπάρχουν ειδικές ανάγκες, χρησιμοποιείται ο Standard Shader.

Scripts

Τα scripts είναι το σημαντικότερο στοιχείο για τη συμπεριφορά ενός αντικειμένου. Τα scripts είναι σύνολα γραμμών κώδικα που έχουν συνταχθεί από κάποιον προγραμματιστή. Μέσω των scripts μπορεί να τροποποιηθεί οποιαδήποτε συμπεριφορά του αντικειμένου ή κάποιου στοιχείου του. Στο περιβάλλον της Unity, οι υποστηριζόμενες γλώσσες προγραμματισμού είναι η C# και η Javascript. Τα script εντάσσονται στη Unity μέσω της κλάσης MonoBehaviour, η οποία δημιουργεί της αντίστοιχες συναρτήσεις Start και Update για τη σωστή λειτουργία τους.

Συγκεκριμένα, η συνάρτηση Start() αρχικοποιεί τις μεταβλητές του script και εκτελείται πριν την πρώτη του εκτέλεση. Η συνάρτηση Update() από την άλλη, ενημερώνει τις μεταβλητές του script βάσει των εκάστοτε συνθηκών την ώρα της εκτέλεσης. Οι συνθήκες αλλάζουν ανάλογα με το frame της εφαρμογής. Τα frame ανανεώνονται συνεχώς και ο ρυθμός ανανέωσής τους μετριέται ανά δευτερόλεπτο (Frames Per Second – FPS). Ως FPS δηλαδή ορίζεται ο αριθμός των εικόνων που προβάλλονται στην οθόνη κάθε δευτερόλεπτο.

Prefabs

Μέσω των αντικειμένων prefabs, δημιουργούνται πολλαπλά στιγμιότυπα (instances) του αρχικού αντικειμένου, τα οποία διατηρούν όλες τις ιδιότητές του. Η δημιουργία τους είναι δυνατή και μέσω κώδικα αλλά και μέσω του γραφικού περιβάλλοντος. Έτσι, αν γίνει μία αλλαγή σε ένα αντικείμενο, αλλάζουν αυτόματα και όλα τα στιγμιότυπά του, και δεν πρέπει να δημιουργηθούν ή τροποποιηθούν εκ νέου.

Συμπερασματικά, ο μελετητής μπορεί να κατανοήσει πως το Unity εμπεριέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία μίας τρισδιάστατης εφαρμογής. Οι λειτουργίες και δυνατότητες μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες ενός προγραμματιστή και να υποστηρίξουν την υλοποίηση των ιδεών του. Επιπρόσθετα, όλα τα παραπάνω έρχονται να συνδεθούν και με την εργαλειοθήκη της Vuforia (Getting Started with Vuforia Engine in Unity, 2020). Έτσι, αξιοποιώντας τα χαρακτηριστικά του Unity και εμπλουτίζοντάς τα με τα εργαλεία που παρέχει η Vuforia, μπορεί να προχωρήσει η ανάπτυξη της εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας.

Από όλα τα παραπάνω φαίνεται πως το Unity μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες του έργου. Μένει η σύγκριση με το Android Studio, προκειμένου να προκύψει το καταλληλότερο.

4.2 Android Studio



Σχήμα 4.3: Το λογότυπο του Android Studio

Το εναλλακτικό περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού, με το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Nuforia SDK με σκοπό τη δημιουργία μίας Android εφαρμογής, είναι το Android Studio της εταιρίας Google. Το Android Studio είναι το προεπιλεγμένο από την Google πρόγραμμα δημιουργίας Android Εφαρμογών. Το λογότυπό του φαίνεται στο Σχήμα 4.3.

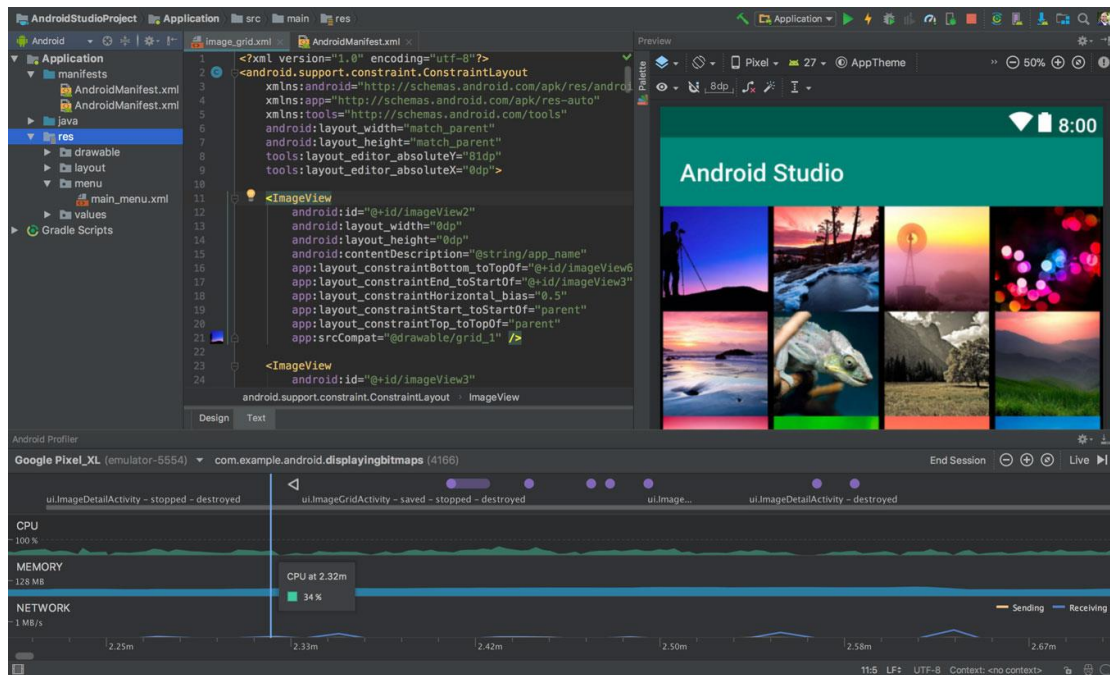
Το λειτουργικό σύστημα Android, είναι βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Java (Android Developers, 2020). Ενώ έχει δημιουργηθεί από τον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος Linux, μεγάλα κομμάτια του οποίου είναι γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού C, το Android SDK χρησιμοποιεί την Java ως βάση για τις Android εφαρμογές. Σημειώνεται ότι δεν χρησιμοποιεί την εικονική μηχανή (virtual machine) της Java για τη δημιουργία της εφαρμογής, αλλά μεταφράζει τον κώδικα με τη δική του εικονική μηχανή, την Dalvik. Όλα τα παραπάνω στοιχεία και εργαλεία συνοψίζονται πλέον στο πρόγραμμα ανάπτυξης εφαρμογών Android Studio.

Για να χρησιμοποιηθεί το Android Studio πρέπει ο προγραμματιστής να έχει στον υπολογιστή του εγκατεστημένη κάποια έκδοση της Java. Έτσι το πρόγραμμα αποκτά αυτόματα πρόσβαση στις βιβλιοθήκες της Java οι οποίες χρησιμοποιούνται και διευκολύνουν την ανάπτυξη των εφαρμογών, βάσει όσων αναφέρθηκαν παραπάνω.

Σημειώνεται ότι το Android Studio διατίθεται υπό την άδεια Apache License 2.0, είναι δηλαδή ελεύθερο προϊόν. Αφού έχουν σημειωθεί τα βασικά χαρακτηριστικά του, παρακάτω αναλύονται οι λειτουργίες του.

4.2.1 Προγραμματισμός σε Android Studio

Το κεντρικό περιβάλλον της πλατφόρμας, περιλαμβάνει αρχικά το παράθυρο σύνταξης του κώδικα (editor), στο οποίο γίνεται ουσιαστικά η ανάπτυξη της εφαρμογής. Ο επεξεργαστής του κώδικα είναι ιδιαίτερος αποδοτικός, αφού κατά τη σύνταξη μίας εντολής παρέχονται οι οδηγίες για την ορθή δόμησή της. Το πρόγραμμα περιέχει επίσης διορθωτή (debugger), ο οποίος εντοπίζει εύκολα τυχόν λάθη και τα υποδεικνύει στον χρήστη.



Σχήμα 4.4: Η διεπαφή χρήστη του Android Studio

Πέρα από τον editor, για την ανάπτυξη της εφαρμογής περιλαμβάνεται και γραφικό περιβάλλον, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.4. Εκεί μπορεί να δημιουργηθεί η εκάστοτε οθόνη διεπαφής που θα βλέπει ο μελλοντικός χρήστης της υπό σχεδιασμού εφαρμογής. Χρησιμοποιώντας σύρσιμο και εναπόθεση (drag and drop), ο προγραμματιστής μπορεί να επιλέξει τα επιθυμητά στοιχεία και να τα προσθέσει στην υπό επεξεργασία οθόνη. Κατά τη διαδικασία αυτή, το πρόγραμμα επί της ουσίας καλεί την κατάλληλη κλάση κώδικα (script), ώστε να δημιουργηθεί το αντίστοιχο στιγμιότυπο αυτόματα, χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να γράψει κώδικα.

Το κεντρικό μενού περιλαμβάνει επίσης τους φακέλους των αρχείων με σαφή οργάνωση, οπότε γίνεται ευκολότερη και ταχύτερη η αναγνώριση και χρήση τους.

Στη συνέχεια μελετώνται ορισμένες από τις ειδικές δυνατότητες του Android Studio.

APK Analyzer

Ο αναλυτής της εφαρμογής (APK Analyzer – Android Package Kit Analyzer), αποτελεί ένα έξυπνο εργαλείο βελτιστοποίησης του σχεδιασμού της εφαρμογής. Το εργαλείο σαρώνει και εντοπίζει τα περιεχόμενα στοιχεία του αρχείου της εφαρμογής (APK), ακόμη και εάν αυτή δεν έχει δημιουργηθεί με το Android Studio. Στη συνέχεια αναλύοντάς τας, εντοπίζει σημεία που θα μπορούσαν να τροποποιηθούν ώστε να μειωθεί το μέγεθος του αρχείου. Μετά την περάτωση των αλλαγών, ο χρήστης μπορεί μέσα από τον αναλυτή να δει πως το μέγεθος άλλαξε ανάμεσα στις εκδόσεις. Τελικά η ίδια πληροφορία και εφαρμογή, καταλαμβάνει λιγότερο χώρο στη συσκευή.

Fast Emulator

Με τον γρήγορο εξομοιωτή και το εργαλείο εικονικής συσκευής (Android Virtual Device), μπορούν να δημιουργηθούν προσομοιώσεις συσκευών εντός του προγράμματος. Ο

προγραμματιστής μπορεί έτσι να χρησιμοποιήσει την εφαρμογή στις συσκευές αυτές, ώστε να κάνει τους επιθυμητούς ελέγχους και δοκιμές κατά τη σύνταξη του κώδικα. Με τον τρόπο αυτό παρακάμπτεται η δημιουργία τελικού αρχείου και εγκατάστασής του σε πραγματική συσκευή, γεγονός που καθιστά την ανάπτυξη της εφαρμογής πολύ ταχύτερη.

Intelligent code editor

Ο έξυπνος επεξεργαστής κώδικα, έχει ως στόχο την απλοποίηση της συγγραφής κώδικα αλλά και την αύξηση της ταχύτητάς της. Κατά τη σύνταξη των εντολών, ο επεξεργαστής μπορεί να αναγνωρίσει την επιθυμητή εντολή προτού τελειώσει η συγγραφή της και να προτείνει την πρόσθεσή της στην κλάση (script). Επομένως ο προγραμματιστής δεν χρειάζεται να ολοκληρώνει τη συγγραφή κάθε εντολής. Απλώς να την ξεκινάει και τη συνέχεια αναλαμβάνει το πρόγραμμα.

Flexible build system

Build ονομάζεται η διαδικασία δημιουργίας ενός τελικού αρχείου εφαρμογής από τον πηγαίο κώδικα και τα σχετικά αρχεία που εμπεριέχονται στο περιβάλλον ανάπτυξης. Το Android Studio χρησιμοποιεί το εργαλείο Gradle, το οποίο αυτοματοποιεί τη διαδικασία για τον προγραμματιστή. Είναι σημαντικό ότι μέσω του εργαλείου ο προγραμματιστής μπορεί εύκολα να καθορίσει και να τροποποιήσει τις παραμέτρους του τελικού αρχείου, παράγοντας έτσι διαφορετικά τελικά αρχεία για το ίδιο πρότζεκτ.

Realtime profilers

Οι profilers είναι εργαλεία ανάλυσης της απόδοσης της εφαρμογής. Παρακολουθούν τα στατιστικά της εφαρμογής, όσον αφορά τη χρήση μνήμης, επεξεργαστή και δικτύου, σε πραγματικό χρόνο. Έτσι ο προγραμματιστής μπορεί να προσδιορίσει σημεία συμφόρησης της απόδοσης (performance bottlenecks), επιθεωρώντας τις κατανομές χρήσης των πόρων και να δει εισερχόμενα και εξερχόμενα φορτία δικτύου, ώστε να προβεί σε βελτιώσεις.

Visual layout editor

Με τον επεξεργαστή οπτικής διάταξης ο προγραμματιστής μπορεί δημιουργήσει και να προσθέσει σταθερά σημεία αναφοράς σε κάθε σελίδα και παράθυρο της εφαρμογής. Έτσι καταφέρνει με εύκολο τρόπο να διατηρήσει μία ομοιομορφία ανάμεσα στις σελίδες που δημιουργεί. Στη συνέχεια, μπορεί να κάνει προεπισκόπηση της σελίδας σε συγκεκριμένες συνθήκες και διαστάσεις, που προσομοιάζουν την επιθυμητή συσκευή.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, καθιστούν το Android Studio ένα πολύ εύχρηστο και αποδοτικό πρόγραμμα ανάπτυξης εφαρμογών. Περιέχει εργαλεία που βοηθούν τον προγραμματιστή να αναπτύξει την επιθυμητή εφαρμογή, όσο πιο γρήγορα και αποδοτικά γίνεται. Φυσικά οι εφαρμογές που δημιουργούνται με τη συγκεκριμένη πλατφόρμα προορίζονται για συσκευές με το \ σύστημα Android, όπως είναι και τα έξυπνα γυαλιά VUZIX M300.

Η εγκατάσταση του Vuforia SDK στο Android Studio, ενοποιεί τις δυνατότητες των δύο με στόχο τη δημιουργία της εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας. Για την τελική απόφαση

του καταλληλότερου περιβάλλοντος ανάπτυξης λογισμικού για την υπό σχεδιασμό εφαρμογή, ακολουθεί η σύγκριση των δύο εναλλακτικών.

4.3 Σύγκριση

Από τις περιγραφές των προγραμμάτων που προηγήθηκαν, είναι σαφές πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσά τους. Έτσι κρίνεται καταλληλότερο εκείνο που μπορεί να καλύψει πληρέστερα τις ανάγκες του έργου.

Η βασική διαφορά τους έγκειται στον σκοπό για τον οποίο κάθε πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί. Το παραπάνω γίνεται σαφές παρατηρώντας την κεντρική διεπαφή χρήστη (user interface) του καθενός. Το Unity, αποτελεί επί της ουσίας μία μηχανή ανάπτυξης παιχνιδιών. Περιλαμβάνει επομένως όλα τα απαραίτητα για τον προγραμματιστή στοιχεία, όπως τρισδιάστατα μοντέλα, μηχανή φυσικής και κάμερα, ενώ δίνει τη δυνατότητα αναπαραγωγής του παιχνιδιού και προσαρμογής των ρυθμίσεων οποιαδήποτε στιγμή. Χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο την C# ή την Javascript ωστόσο γενικά προσπαθεί να εκμηδενίσει την ανάγκη συγγραφής κώδικα.

Από την άλλη, το Android Studio είναι ένα πρόγραμμα συγγραφής κώδικα (scripting software) γενικού σκοπού. Αυτό σημαίνει ότι δεν εξειδικεύεται στα παιχνίδια και τις τρισδιάστατες εφαρμογές. Χρησιμοποιεί τις γλώσσες προγραμματισμού Java ή Kotlin για την ανάπτυξη των λειτουργιών της εφαρμογής και XML για τον σχεδιασμό του γραφικού περιβάλλοντος της (application look and feel).

Αξίζει να σημειωθεί, πως εάν οι δυνατότητες και των δύο πλατφορμών κάλυπταν εξίσου τις προγραμματιστικές ανάγκες, κάποια τυχόν προηγούμενη εμπειρία και εξοικείωση του χρήστη, θα ήταν ένα επαρκές κριτήριο επιλογής, αφού θα καθόριζε σε μεγάλο βαθμό τον αναγκαίο χρόνο ανάπτυξης. Ο προγραμματιστής επομένως θα επέλεγε την πλατφόρμα που γνωρίζει ήδη, αφού η εκμάθηση της άλλης από την αρχή κοστίζει χρονικά.

Ωστόσο στην περίπτωση μας, οι λόγοι επιλογής είναι ευρύτεροι. Ο στόχος είναι η δημιουργία μίας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας που θα αναγνωρίζει το περιβάλλον (μέσω του Vuforia SDK) και θα εναποθέτει σε αυτό ψηφιακό περιεχόμενο και τρισδιάστατα μοντέλα. Η εφαρμογή δηλαδή θα έχει ένα ευρύ γραφικό περιβάλλον και άρα τις αντίστοιχες ανάγκες. Επομένως θα μπορούσε να παρομοιαστεί περισσότερο με ένα παιχνίδι, παρά με μία εφαρμογή όπως εκείνη για τα email ή το notepad. Έτσι το Unity μπορεί να φανεί ιδιαίτερος χρήσιμος στη δημιουργία αυτού του επαυξημένου κόσμου γραφικών με όλα τα έτοιμα εργαλεία που διαθέτει, σε σχέση με το Android Studio. Το Unity3D λοιπόν κρίνεται ως η βέλτιστη εναλλακτική.

Η επιλογή επιβεβαιώνεται και από τα χαρακτηριστικά νούμερα χρήσης του Unity. Από το 2018, το Unity έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία σχεδόν των μισών παιχνιδιών για κινητές συσκευές, και το 60% των εφαρμογών επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας. Το νούμερο αυτό εκτοξεύεται στο 90% όταν κανείς επικεντρωθεί σε πλατφόρμες όπως η Microsoft HoloLens ή η Samsung Gear VR. Το Unity κυριαρχεί στη βιομηχανία εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας.

Σημειώνεται επίσης η πρόσθετη αξία της επιλογής δεδομένου ότι το Unity μπορεί να δημιουργήσει εφαρμογές για πολλές πλατφόρμες (cross platform), σε αντίθεση με το Android Studio που είναι μόνο για Android. Έτσι, εάν θέλουμε μελλοντικά η εφαρμογή να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικά έξυπνα γυαλιά τα οποία δεν λειτουργούν με Android, μέσω του Unity θα είναι εξαιρετικά εύκολο.

Ένας σημαντικός παράγοντας που δε μπορεί να παραληφθεί είναι το κόστος. Ενώ το Android Studio διατίθεται δωρεάν, η πλήρης έκδοση του Unity είναι επί πληρωμή. Υπάρχει δωρεάν έκδοση ωστόσο δεν προσφέρει το σύνολο των δυνατοτήτων. Ο παράγοντας του κόστους δεν λήφθηκε υπόψιν στη συγκεκριμένη περίπτωση, αφού η ομάδα προγραμματιστών διαθέτει ήδη άδειες χρήσης του Unity για διαφορετικά έργα. Σε άλλη περίπτωση όμως, ο παράγοντας θα έπρεπε να ληφθεί υπόψιν και να υπολογιστεί ανάλογα με το διαθέσιμο κεφάλαιο για το έργο.

Φυσικά η προηγούμενη χρήση του Unity από την ομάδα προγραμματιστών προσμετράται ως θετικό, αφού δεν χρειάζεται εκμάθηση του προγράμματος, και έτσι μειώνεται κατά πολύ ο χρόνος εκκίνησης αλλά και ολοκλήρωσης του πρότζεκτ. Όλα τα παραπάνω λοιπόν, καθιστούν το Unity ιδανική επιλογή.

5. Σύστημα Εντοπισμού Θέσης

Η εφαρμογή η οποία μελετάται κατά την έκταση αυτής της εργασίας, αφορά στην κατεύθυνση εργαζομένων (pickers) εντός μίας αποθήκης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο στόχος του έργου είναι η εύρεση των προς συλλογή αντικειμένων σε συντομότερο χρόνο και με αποδοτικότερο τρόπο σε σχέση με πριν. Είναι κατανοητό επομένως πως για τη δημιουργία της εφαρμογής, απαιτείται ένα αξιόπιστο σύστημα εντοπισμού θέσης των εργαζομένων, εντός της αποθήκης.

Το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι σύστημα εσωτερικού εντοπισμού θέσης (IPS - Indoor Positioning System), το οποίο διαφέρει από το γνωστό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS - Global Positioning System). Το τελευταίο, ενώ είναι εξαιρετικά διαδεδομένο και εν γένει αρκετά αξιόπιστο, βασίζεται σε τεχνολογία και επικοινωνία μέσω δορυφόρων. Εντός μίας αποθήκης, δηλαδή ενός εσωτερικού χώρου, η τεχνολογία αυτή στερείται ακρίβειας είτε αποτυγχάνει πλήρως, λόγω των εμποδίων και παρεμβολών που βρίσκονται στα δομικά υλικά της κατασκευής, επομένως η χρήση της απορρίπτεται.

Ένα εσωτερικό σύστημα εντοπισμού θέσης, ουσιαστικά αποτελείται από ένα δίκτυο συσκευών, όλες εντός του χώρου όπου θέλουμε να γίνει ο εντοπισμός. Η μέθοδος, η τεχνολογία αλλά και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται, δεν είναι καθορισμένα όπως στην περίπτωση του GPS, αλλά διαφέρουν από εφαρμογή σε εφαρμογή (Methods and Tools to Construct a Global Indoor Positioning System - IEEE Journals & Magazine, 2020). Οι πομποί και οι δέκτες μπορεί να επικοινωνούν μέσω τεχνολογίας Wi-Fi ή Bluetooth, μέσω ραδιοκυμάτων, ακουστικών κυμάτων, μαγνητικών πεδίων ή και άλλων μεθόδων που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Τα σήματα αυτά αναλύονται και κατόπιν υπολογισμών προσδιορίζεται η θέση του στόχου.

Σημειώνεται πως συνήθως σε εφαρμογές όπως τα εμπορικά κέντρα, όπου ενδιαφέρει ο εντοπισμός των καταναλωτών, χρησιμοποιούνται τα κινητά τους τηλέφωνα ως συσκευές επικοινωνίας με τις προ-τοποθετημένες συσκευές.

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμο σε μία αποθήκη ή ένα εργοστάσιο για πληθώρα λόγων. Χρησιμοποιώντας το, αρχικά αυξάνεται η παραγωγικότητα αφού περιορίζονται οι άσκοπες αναζητήσεις και μετακινήσεις εργαζομένων και προϊόντων, το οποίο αποτελεί τον βασικό λόγο χρήσης και στη δική μας εφαρμογή. Επίσης, ενισχύεται η ασφάλεια του χώρου, γνωρίζοντας τις θέσεις τόσο των εργαζομένων όσο και των αντικειμένων. Ακόμη μπορεί να μελετηθεί και κατόπιν βελτιωθεί η ροή εργασίας (workflow) και η χωροταξία της αποθήκης, αναλύοντας τις κινήσεις και διαδρομές στον χώρο.

Η ακρίβεια των συστημάτων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους, μπορούν να προσεγγίσουν τη θέση μίας συσκευής με ακρίβεια έως και 2 εκατοστά σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Συνεπώς μπορούν κάλλιστα να καλύψουν τις ανάγκες της εφαρμογής. Ωστόσο, όπως ισχύει συνήθως, όσο μεγαλύτερη η ακρίβεια τόσο μεγαλύτερο και το κόστος. Επομένως είναι λογικό να επιλεγεί η μεγαλύτερη ακρίβεια στο όριο κόστους που τίθεται από το έργο, είτε η μικρότερη αναγκαία ακρίβεια, σύμφωνα με τις απαιτήσεις.

5.1 Τεχνολογίες Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών Χώρων προς Σύγκριση

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται οι εναλλακτικές μέθοδοι συστημάτων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, προκειμένου να επιλεγεί η ιδανικότερη για την εφαρμογή. Μεταξύ των χαρακτηριστικών που παρουσιάζονται, μας ενδιαφέρει η ακρίβεια εντοπισμού, η ταχύτητα καθώς και η κατανάλωση ενέργειας για τη συσκευή που εντοπίζεται. Σημειώνεται πως η τελική επιλογή θα πρέπει να είναι συμβατή με το μοντέλο γυαλιών που έχει επιλεγεί, δηλαδή τα VUZIX M300. Τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας αυτά, υπενθυμίζεται πως διαθέτουν τόσο Bluetooth, όσο και Wi-Fi, δύο από τις συνηθέστερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Επίσης διαθέτουν κάμερα, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί από τεχνολογίες που εντοπίζουν τη θέση μέσω σάρωσης οπτικών κωδικών (QR Code), είτε μέσω αναγνώρισης πεδίου. Ακολουθούν οι εναλλακτικές τεχνολογίες.

5.1.1 Εντοπισμός Θέσης μέσω Bluetooth

Το Bluetooth είναι μία ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ συσκευών. Οι συσκευές μπορεί να είναι κινητές ή σταθερές ή συνδυασμός τους. Λειτουργεί χρησιμοποιώντας μικρού μήκους κύματος υπερ-υψηλής συχνότητας (UHF – Ultra-High Frequency) ραδιοκύματα. Οι συχνότητες κυμαίνονται στα 2.402 με 2.480 GHz του ραδιοφάσματος που προορίζεται διεθνώς για βιομηχανικούς, επιστημονικούς και ιατρικούς σκοπούς (ISM - Industrial, Scientific, Medical) και όχι για τις τηλεπικοινωνίες. Μέσω της επικοινωνίας των συσκευών ένας χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το προσωπικό του δίκτυο συσκευών (PAN - Personal Area Network), όπου αυτές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες, προσφέροντας ποικίλες δυνατότητες, πλέον εξαιρετικά διαδεδομένες.

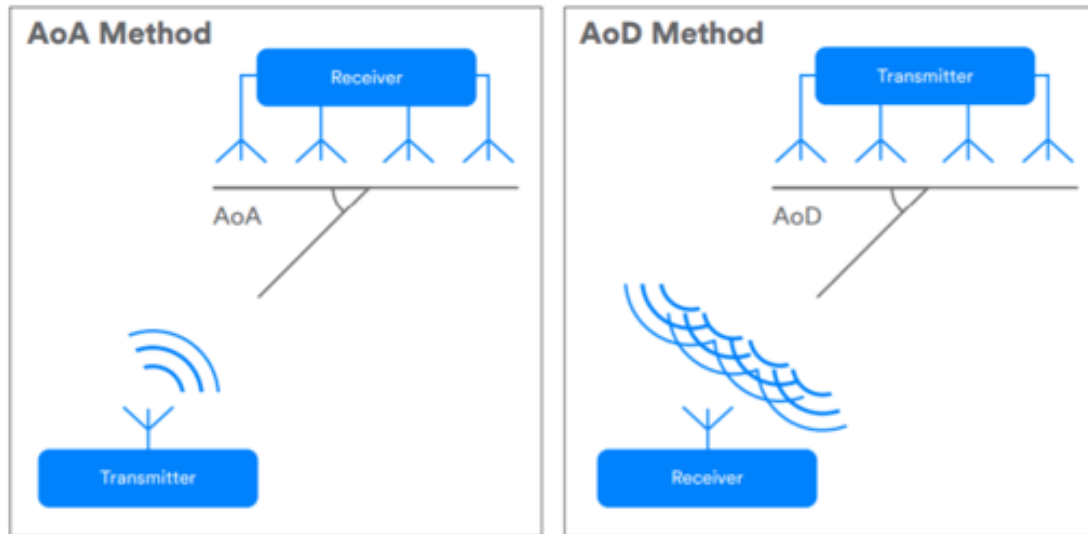
Η τεχνολογία Bluetooth, σύμφωνα με τον οργανισμό διαχείρισής του (Bluetooth Special Interest Group) σχετιζόταν πάντοτε με στόχο την εγγύτητα και όχι την ακρίβεια. Δηλαδή μέσω του Bluetooth μπορούσε να προσεγγιστεί μεν η θέση μίας συσκευής, αλλά όχι να προσδιοριστεί επακριβώς. Ωστόσο, από την προσέγγιση της θέσης και μέσω της δημιουργίας μίας ψηφιακής περιμέτρου, μπορεί να αποτελέσει λύση συστήματος εντοπισμού της θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Δύο τεχνολογίες που μπορούν να ανατρέψουν τους παραπάνω περιορισμούς και να κάνουν την τεχνολογία Bluetooth ικανή για επακριβή προσδιορισμό θέσης, είναι η τεχνολογία Bluetooth 5.1 και οι φάροι Bluetooth (Bluetooth Beacons).

Bluetooth 5.1

Η έκδοση 5.1 της τεχνολογίας Bluetooth λανσαρίστηκε τον Ιανουάριο του 2019. Αποτελεί έκδοση Bluetooth χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (BLE - Bluetooth Low Energy), όπως όλες οι εκδόσεις μετά την 4.0. Η μεγαλύτερη προσθήκη σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση είναι η δυνατότητα προσδιορισμού της γωνίας άφιξης του σήματος (AoA - Angle of Arrival) και της γωνίας αναχώρησης του σήματος (AoD - Angle of Departure). Έτσι, σε συνδυασμό

μίας εκ των δύο γωνιών, με την ένταση του σήματος, είναι εφικτός ο εντοπισμός μίας συσκευής με ακρίβεια εκατοστού. Η μέθοδοι απεικονίζονται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Οι τεχνικές προσδιορισμού της γωνίας άφιξης ή αναχώρησης του σήματος Bluetooth

Στη μέθοδο προσδιορισμού της γωνίας άφιξης του σήματος (AoA), μία κινητή συσκευή-πομπός στέλνει σήμα μέσω μίας κεραίας ενώ η σταθερή συσκευή-δέκτης διαθέτει συστοιχία κεραιών, οι οποίες το δέχονται. Λόγω της σχετικής γωνίας των συσκευών, δημιουργούνται διαφορετικές αποστάσεις του πομπού με κάθε κεραία του δέκτη άρα και διαφορετικοί χρόνοι άφιξης. Με την ανάλυση των διαφορών στους χρόνους αυτούς, μπορεί να προσδιοριστεί η γωνία του σήματος.

Στη μέθοδο προσδιορισμού της γωνίας αναχώρησης του σήματος (AoD), συμβαίνει το αντίθετο. Μία σταθερή συσκευή-πομπός που διαθέτει μία συστοιχία κεραιών, στέλνει ένα πακέτο σημάτων και η κινητή συσκευή-δέκτης το λαμβάνει από τη μοναδική της κεραία. Αναλύοντας τους διαφορετικούς χρόνους άφιξης, μπορεί να προσδιοριστεί η γωνία αναχώρησης του σήματος.

Ο προγραμματιστής μπορεί να επιλέξει την καλύτερη εναλλακτική για την εφαρμογή που τον ενδιαφέρει. Η τεχνολογία ανίχνευσης της γωνίας άφιξης (AoA) επιτρέπει οι υπολογισμοί της τοποθεσίας να γίνονται από το υπολογιστικό σύστημα, μέσω της λήψης του σήματος από μία σταθερή συσκευή. Η τεχνολογία ανίχνευσης της γωνίας αναχώρησης (AoD) δίνει τη δυνατότητα οι υπολογισμοί να γίνονται από την κινητή συσκευή. Έτσι, στην περίπτωση ενός εμπορικού κέντρου για παράδειγμα όπου εντοπίζεται η τοποθεσία ενός καταναλωτή, οι υπολογισμοί μπορούν να γίνονται στο κινητό του, προσφέροντας μεγαλύτερη ιδιωτικότητα. Είναι σαφές πως για την εφαρμογή μας είναι προτιμότερη η πρώτη μέθοδος (AoA).

Bluetooth Beacons

Οι φάροι Bluetooth (Bluetooth Beacons) είναι αρκετά διαδεδομένοι για τον εντοπισμό θέσεως σε εσωτερικούς χώρους. Αποτελούν μικρές συσκευές, οι οποίες τοποθετούνται σε έναν χώρο και λειτουργούν ως κεραιές μετάδοσης σημάτων τεχνολογίας Bluetooth. Εκπέμπουν σήματα σε απόσταση έως 30 μέτρα περίπου. Η τεχνολογία Bluetooth χαμηλής ενέργειας επιτρέπει στα beacons να μπορούν να λειτουργούν για πολλά χρόνια με τις ίδιες

μπαταρίες, ωστόσο μπορούν να συνδεθούν και στη γραμμή ηλεκτροδότησης. Πέραν των παραπάνω, η δημοτικότητά τους οφείλεται στην ευκολία εγκατάστασης, τη διακριτικότητα, αλλά και τη χαμηλή τιμή. Ένα beacon ξεκινά από 3€ και συνήθως δεν ξεπερνά τα 30€.

Ένα beacon μόνο του μπορεί συνήθως να προσδιορίσει τη θέση με ακρίβεια ενός μέτρου, ενώ όπως αναλύθηκε στην περιγραφή του Bluetooth 5.1, μπορεί να λειτουργήσει ως σταθερή είτε κινητή συσκευή, κάνοντας αντιστοίχως και τους υπολογισμούς. Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται ως client based, ενώ η δεύτερη ως server based (Beacon based indoor positioning system using weighted centroid localization approach - IEEE Conference Publication, 2020).

Σημειώνεται, ότι τα beacons μπορούν να καταγράψουν και μεταδώσουν δεδομένα και ως γενικότεροι αισθητήρες με τις κατάλληλες προσθήκες. Έτσι μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ατμοσφαιρική πίεση ή το μαγνητικό πεδίο. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ως κινητές συσκευές μπορούν να καταγράψουν και στοιχεία της κίνησης. Επομένως το εύρος και τα πλεονεκτήματα χρήσης τους διευρύνονται ακόμη περισσότερο.

Εν γένει, τα σήματα των beacons δεν παρεμβαίνουν σε άλλα ραδιοκύματα, ωστόσο αν εγκατασταθούν σε χώρους με πολλά Wi-Fi δίκτυα, μπορεί να υπάρξουν παρεμβολές, αφού τόσο τα σήματα Wi-Fi όσο και Bluetooth κυμαίνονται στις ίδιες συχνότητες (στα 2.4GHz). Το πρόβλημα ωστόσο λύνεται συνήθως εύκολα με την αλλαγή των καναλιών που κάθε τεχνολογία χρησιμοποιεί (Indoor Tracking and Indoor Navigation Using Beacons, 2020). Αντίστοιχα μπορεί να υπάρξουν κάποια εμπόδια στα υλικά που βρίσκονται στον χώρο. Παρόλα αυτά με την κατάλληλη τοποθέτηση και ορθή χωροταξία, η τεχνολογία μπορεί να λειτουργήσει κανονικά. Οι παραπάνω παράγοντες επομένως πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψιν και να μελετώνται προσεκτικά.

Η χρήση ενός συστήματος Bluetooth για τον εντοπισμό θέσης, είναι μία από τις οικονομικότερες επιλογές, δεδομένης της χαμηλής τιμής της τεχνολογίας και των αντίστοιχων συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επομένως η τιμή προστίθεται στα θετικά της συγκεκριμένης εναλλακτικής. Οι δύο δημοφιλέστεροι τύποι Beacon είναι τα iBeacons, της εταιρίας Apple, και τα Eddystone της εταιρίας Google. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, αυξάνεται η ακρίβεια αλλά και το εύρος εντοπισμού. Σε κάθε περίπτωση πάντως, τα beacons αποτελούν ήδη μία από τις δημοφιλέστερες λύσεις παγκοσμίως.

5.1.2 Εντοπισμός Θέσης μέσω Wi-Fi

Το Wi-Fi, περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνολογιών ασύρματου δικτύου βασισμένες στο πρότυπο 802.11 της IEEE. Σήμερα αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο σύνδεσης συσκευών τόσο μεταξύ τους, όσο και με το διαδίκτυο. Ο οργανισμός Wi-Fi Alliance διαχειρίζεται την τεχνολογία, πιστοποιώντας τα προϊόντα που πληρούν τις προϋποθέσεις διασυνδεσιμότητας (interoperability) που ορίζει. Οι διαφορετικές εκδόσεις της τεχνολογίας, ακολουθούν διαφορετικά πρωτόκολλα του προτύπου, παρουσιάζοντας διαφορές στις συχνότητες, το εύρος ή την ένταση του σήματος. Η πιο κοινή τεχνολογία εκπέμπει στα 2.4GHz ή τα 5GHz, όπου η κάθε μία συχνότητα διαθέτει διαφορετικά κανάλια εκπομπής. Μία κεραία Wi-Fi

συνήθως φτάνει τα 20 μέτρα εμβέλεια, ωστόσο μπορεί να ξεπεράσει και τα 100. Σημειώνεται ότι τα φυσικά εμπόδια επηρεάζουν την εμβέλεια του σήματος (WinIPS: WiFi-Based Non-Intrusive Indoor Positioning System With Online Radio Map Construction and Adaptation - IEEE Journals & Magazine, 2020).

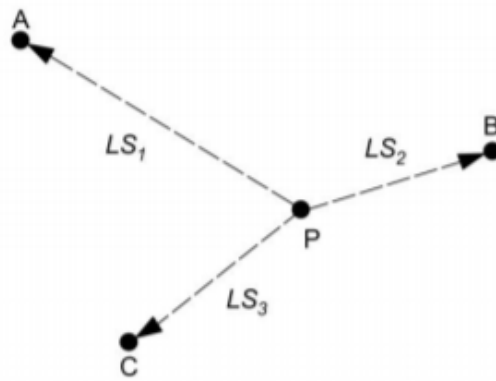
Το σύστημα εντοπισμού μέσω Wi-Fi, γνωστό ως WPS (Wi-Fi Positioning System) χρησιμοποιεί τα ασύρματα σημεία σύνδεσης (Wi-Fi hotspots) ενός χώρου, για τον εντοπισμό της θέσης μίας συσκευής, η οποία ωστόσο πρέπει να είναι συνδεδεμένη σε αυτό. Η συσκευή επομένως εντοπίζεται και η θέση της σε σχέση με τα σημεία σύνδεσης υπολογίζεται μέσω διαφόρων τεχνολογικών και μαθηματικών τεχνικών, όπως η ανάλυση της ισχύος του αφικνούμενου σήματος (RSSI – Received Signal Strength Indication), η μέθοδος χαρτογράφησης (fingerprinting), η ανάλυση της γωνίας άφιξης (AoA – Angle of Arrival) όπως και στο Bluetooth και η διάρκεια ταξιδιού (ToF – Time of Flight). Οι τεχνικές αυτές συνδυάζουν τις μετρήσεις με τις θέσεις των κεραιών και υπολογίζουν το τελικό αποτέλεσμα.

Προκειμένου να είναι εφικτή η αξιοποίηση των μεθόδων, είναι απαραίτητο να καταγραφούν τα σημεία πρόσβασης δικτύου, δηλαδή οι κεραιές του χώρου, σε μία βάση δεδομένων στην οποία το σύστημα ανατρέχει κάθε φορά που προσπαθεί να υπολογίσει τη θέση μίας συσκευής (Kotaru, Joshi, Bharadia and Katti, 2015). Η ακρίβεια της μεθόδου μάλιστα, συνδέεται με την πληθώρα των σημείων πρόσβασης που έχουν καταγραφεί.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικές τεχνικές υπολογισμού της θέσης μίας συσκευής .

Ανάλυση ισχύος του αφικνούμενου σήματος (RSSI - Received Signal Strength Indication)

Η συγκεκριμένη τεχνική, βασίζεται κατά βάση στη μέτρηση της έντασης του σήματος μίας συσκευής προς διαφορετικές κεραιές. Η πληροφορία αυτές συνδυάζονται και με μαθηματικά μοντέλα προσδιορίζεται η γωνία. Ένα από τα διασημότερα ονομάζεται μοντέλο εξασθένισης σήματος (signal propagation model), το οποίο συνδυάζει τις τιμές με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη καμπύλη που προσεγγίζει τα δεδομένα. Ένα άλλο μοντέλο είναι αυτό του τριπλευρισμού (trilateration). Ο τριπλευρισμός είναι το απλουστευμένο, δισδιάστατο μοντέλο του τριγωνισμού (lateration) και έγκειται στον προσδιορισμό της θέσης ενός άγνωστου σημείου, μετρώντας τις αποστάσεις προς άλλα 3 τουλάχιστον σημεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2. Στην περίπτωση ύπαρξης παραπάνω σημείων, υπάρχουν βαθμοί ελευθερίας στους υπολογισμούς, επομένως η μέθοδος παίρνει τις ονομασία πολυπλευρισμός (multilateration).



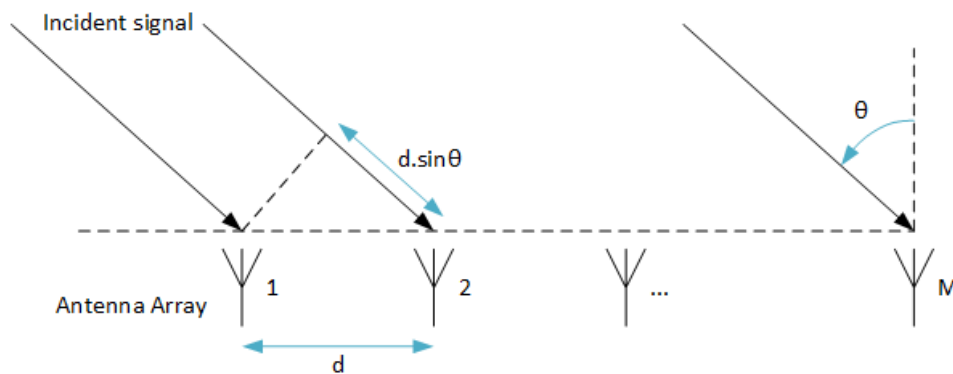
Σχήμα 5.2: Προσδιορισμός της θέσης σημείου μέσω τριπλευρισμού

Χαρτογράφηση (Fingerprinting)

Στη μέθοδο της χαρτογράφησης, χρησιμοποιούνται ως βάση και πάλι μετρήσεις έντασης της ισχύος του σήματος, αλλά ο υπολογισμός της θέσης γίνεται με πλήρως διαφορετικό τρόπο. Σαν πρώτο στάδιο της μεθόδου, έχουμε την κατασκευή ενός χάρτη εντάσεων στον οποίο βαθμονομείται ο χώρος. Ο χάρτης μπορεί να κατασκευαστεί με εμπειρική είτε αναλυτική μέθοδο. Οι τιμές έντασης του χάρτη ανά σημείο καταγράφονται σε μία βάση δεδομένων. Έτσι, όταν μία συσκευή δώσει ένα σήμα έντασης, η τιμή συγκρίνεται με αυτές της βάσης και θεωρείται ότι βρίσκεται στο σημείο με την πλησιέστερη τιμή. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι πως η μετακίνηση αντικειμένων εντός του χώρου μετά τη χαρτογράφηση, επηρεάζει τις μετρούμενες τιμές και οδηγεί σε ανακρίβειες.

Γωνία Άφιξης (Angle of Arrival)

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, αντίστοιχα με το Bluetooth, χρησιμοποιείται συστοιχία κεραιών σε γνωστή απόσταση μεταξύ τους, όπως υποδεικνύεται στο Σχήμα 5.3. Η διαφορά φάσης του αφικνούμενου σήματος στις κεραιές, επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης του (Rodríguez-Navarro et al., 2017). Η τεχνική υπολογισμού είναι συνήθως αυτή του τριγωνισμού. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να προσδιορίσει τη θέση με ακρίβεια εκατοστών.



Σχήμα 5.3: Μέθοδος μέτρησης της γωνίας άφιξης του σήματος

Διάρκεια πτήσης (ToF – Time of Flight)

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, καταγράφεται η χρονική διάρκεια ταξιδιού των σημάτων Wi-Fi από τα σημεία πρόσβασης στη συσκευή. Με την πληροφορία της διάρκειας, μπορεί να προσδιοριστεί η σχετική θέση της συσκευής ως προς τις κεραιές. Δεδομένου ότι οι χρονικές διαφορές στις διάρκειες των ταξιδιών από διαφορετικές κεραιές σε μία συσκευή είναι της τάξεως των νάνο-δευτερολέπτων, μπορούν να προκύψουν ανακρίβειες στους υπολογισμούς. Το πλεονέκτημα μέτρησης της απόστασης μέσω της διάρκειας πτήσης και όχι της ισχύος του σήματος, είναι πως τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα τρέχουν με την ταχύτητα του φωτός, η οποία επηρεάζεται από τα αντικείμενα του χώρου λιγότερο από ότι η ένταση. Και εδώ θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια μαθηματική μέθοδος από τις προαναφερθείσες για τον τελικό υπολογισμό της θέσης.

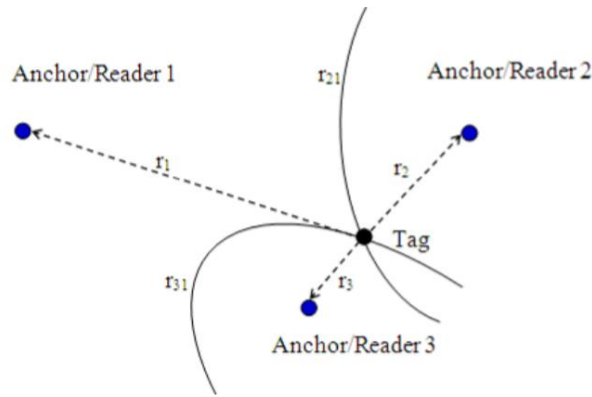
5.1.3 Εντοπισμός Θέσης μέσω Ultra-Wideband

Η τεχνολογία των συχνοτήτων ευρέως φάσματος (UWB – Ultra-Wide Band), επιτρέπει την ύπαρξη συχνοτήτων σε εύρος μεγαλύτερο των 500MHz. Είναι τεχνολογία χαμηλής ενέργειας γεγονός που οφείλεται στην εξαιρετικά μικρή διάρκεια παλμού, ενώ χρησιμοποιείται για μικρές σχετικά αποστάσεις. Πλεονεκτεί στη σχεδόν μηδενική παρεμβολή από άλλα αντικείμενα και υλικά λόγω του μεγάλου εύρους που χρησιμοποιείται (Ultra-Wideband Technology for Indoor Positioning - Technologies, 2020).

Εξαιρετικά σημαντικό, είναι πως με τη συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια μερικών εκατοστών, η οποία υπερτερεί σε σχέση με τα περισσότερα συστήματα Wi-Fi ή Bluetooth. Ταυτόχρονα, ο ρυθμός ανανέωσης είναι εξαιρετικά υψηλός, επομένως δεν υπάρχουν καθυστερήσεις. Ακόμη, η απόσταση στην οποία μπορεί να φτάσει το σήμα, σε ορισμένες εφαρμογές ξεπερνά τα 100m, το οποίο είναι επίσης σημαντικό. Στα αρνητικά συγκαταλέγεται η ανάγκη ειδικού εξοπλισμού, σε σχέση με τη χρήση Wi-Fi ή Bluetooth τεχνολογίας. Για τη λειτουργία με τα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας δηλαδή θα απαιτείται η πρόσθεση ενός UWB πομπού.

Στη συγκεκριμένη τεχνολογία, δε χρησιμοποιούνται μέθοδοι που σχετίζονται με την ένταση του σήματος, αλλά μέθοδοι που βασίζονται στη χρονική διάρκεια μετάδοσής του. Επομένως, μέσω της μεθόδου Time of Flight, μπορεί να δοθούν αρκετά ακριβή αποτελέσματα στον υπολογισμό της θέσης μίας συσκευής. Άλλωστε η μέτρηση της χρονικής διάρκειας πλεονεκτεί στην ευκρίνεια των μετρήσεων, σε αντίθεση με τη μέτρηση της έντασης, λόγω των πιθανών παρεμβολών από άλλα αντικείμενα.

Για να λειτουργήσει το σύστημα, χρησιμοποιούνται σταθερές (anchors) και κινητές (tags) κεραιές. Για την επίτευξη ακρίβειας απαιτούνται τρία ή περισσότερα σταθερά σημεία, των οποίων οι θέσεις είναι βεβαίως γνωστές. Σαν πρώτο βήμα, μετριέται η χρονική διάρκεια του σήματος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και στη συνέχεια χρησιμοποιείται κάποια μαθηματική τεχνική, όπως ο τριπλευρισμός για τον επακριβή προσδιορισμό της θέσης. Η τεχνική φαίνεται στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4: Χρήση τριπλευρισμού για να βρεθεί η θέση μέσω UWB τεχνολογίας

Στο τελευταίο, υπάγεται και το μεγαλύτερο μειονέκτημα της εναλλακτικής των Ultra-Wide Band σημάτων. Οι σταθερές κεραίες αναγνώρισης σήματος (anchors) είναι αρκετά ακριβές, και σίγουρα πιο ακριβές από τις αντίστοιχες κεραίες Bluetooth και Wi-Fi, οι οποίες άλλωστε πολλές φορές ήδη υπάρχουν στον χώρο. Έτσι η συγκεκριμένη εναλλακτική καθίσταται η πιο δαπανηρή όλων. Επιλέγεται συνήθως για εφαρμογές που η ακρίβεια εκατοστών που προσφέρει είναι πράγματι αναγκαία. Επιπρόσθετα, όσον αφορά την υπό μελέτη εφαρμογή, η κεραία των UWB σημάτων θα πρέπει να προστεθεί στα γυαλιά, ενώ οι κεραίες Wi-Fi και Bluetooth υπάρχουν ήδη.

5.1.4 Εντοπισμός Θέσης μέσω Οπτικών Σημάτων

Η μέθοδος των οπτικών σημάτων, διαφέρει σημαντικά από τις προηγούμενες, αφού δεν χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την ανταλλαγή πληροφοριών. Αντί για κεραίες, εδώ χρησιμοποιείται η κάμερα, της συσκευής που θέλουμε να εντοπίσουμε. Στη συγκεκριμένη τεχνική, τοποθετούνται ορισμένα οπτικά σημάδια εντός του χώρου στον οποίο γίνεται ο εντοπισμός (Kalkusch et al., 2002). Συνήθως τα σημάδια είναι κάποια κωδική εικόνα, όπως ένα QR Code. Τα σημάδια αυτά είναι φορτωμένα στο σύστημα, σε μία βάση δεδομένων. Μαζί με την εικόνα, για το καθένα αποθηκεύονται οι συντεταγμένες του στο χώρο, δηλαδή το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του, αλλά και το ύψος, σε περίπτωση ύπαρξης ορόφων. Έτσι μόλις η κάμερα εντοπίσει ένα από τα σημάδια, το σύστημα βάσει των συντεταγμένων του μπορεί να αναγνωρίσει και τη θέση της κάμερας και επομένως της συσκευής (Leopold Ecklbauer, 2014). Μάλιστα για τον ακριβέστερο εντοπισμό της θέσης της συσκευής, μετριέται και η οπτική γωνία μεταξύ κάμερας και οπτικού σημαδιού. Επομένως, από τον συνδυασμό των δύο πληροφοριών, μπορεί να προκύψει η ακριβής θέση της συσκευής. Ένα τέτοιο σύστημα σε εφαρμογή, φαίνεται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Σύστημα πλοήγησης βασισμένο στην αναγνώριση κωδικών εικόνων

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μπορεί να υλοποιηθεί η οπτική αναγνώριση, θα ήταν χωρίς την ύπαρξη σημαδιών. Στη μέθοδο αυτή, η βάση δεδομένων δεν εμπεριέχει συγκεκριμένα σημάδια, αλλά εικόνες-στιγμιότυπα από την κάμερα. Για κάθε στιγμιότυπο σημειώνεται στο σύστημα και η πληροφορία της τοποθεσίας της κάμερας τη στιγμή που τραβήχτηκε η φωτογραφία. Κατά την περιήγηση στον χώρο, το σύστημα «διαβάζει» τις εικόνες από την κάμερα, και συγκρίνοντας τις με τις αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων, μπορεί να προσδιορίσει εκείνη με την οποία υπάρχει μεγαλύτερη ταύτιση και επομένως να βρει την τοποθεσία της συσκευής. Η τελευταία μέθοδος στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), όπως και το αντίστοιχο χαρακτηριστικό αναγνώρισης του περιβάλλοντος που είδαμε μελετώντας τις εργαλειοθήκες λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας.

Το σύστημα εντοπισμού με χρήση οπτικών σημάτων συχνά αναφέρεται και ως οπτικό σύστημα εντοπισμού (VPS – Visual Positioning System). Πλεονεκτεί σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα ραδιοκυμάτων, αφού δεν υπάρχουν παρεμβολές με υλικά ή άλλα συστήματα. Φυσικά ωστόσο, για να λειτουργήσει το σύστημα θα πρέπει να υπάρχει καθαρή εικόνα του στόχου-σημαδιού. Για αυτό σε ρομποτικές εφαρμογές, τα σημάδια αυτά βρίσκονται στο πάτωμα και η κάμερα στο κάτω μέρος των ρομπότ.

Η μέθοδος αυτή, είναι ιδιαίτερος ακριβής, αγγίζοντας ακρίβεια χιλιοστών. Ταυτόχρονα, το κόστος υλοποίησης είναι χαμηλό, αφού ο εξοπλισμός είναι φθηνός και αυτό που ουσιαστικά απαιτείται είναι το πρόγραμμα αναγνώρισης. Έτσι καθιστά μία καλή επιλογή.

5.1.5 Λοιπές Εναλλακτικές Εντοπισμού Θέσης

Παρακάτω, παρουσιάζονται ορισμένες λιγότερο δημοφιλής και δοκιμασμένες τεχνικές εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους, οι οποίες ωστόσο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν για λόγους πληρότητας.

Ακουστικά Συστήματα

Μία άλλη λύση χρησιμοποιεί παλμούς υπερήχων από τις άγνωστης τοποθεσίας συσκευές οι οποίοι ανιχνεύονται από σταθερές συσκευές εντοπισμού. Το σύστημα λειτουργεί παρόμοια με το εκείνο των συχνοτήτων ευρέως φάσματος (UWB), χρησιμοποιώντας ήχο αντί για ραδιοκύματα (Qi and Liu, 2017). Αφού ο υπέρηχος εκπνεμφθεί, ανιχνεύεται από τη συσκευή εντοπισμού, η οποία βάση του χρόνου ταξιδιού προσδιορίζει τη θέση του. Ωστόσο, δεδομένου ότι μπορεί να υπάρχουν αντανακλάσεις των υπερήχων στα αντικείμενα του χώρου, δημιουργούνται περισσότερες διαδρομές των παλμών, επομένως ο δέκτης θα πρέπει να αναλύσει το σύνολο των διαδρομών για να βρει την τοποθεσία. Η τεχνική αυτή, ενώ είναι αποτελεσματική, δε συστήνεται για υπάρχοντες χώρους, αφού θα πρέπει να τοποθετηθούν οι αισθητήρες (και καλωδιωθούν αντίστοιχα), σε όλα τα δωμάτια του χώρου που μας ενδιαφέρει. Για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιείται παρά σε λίγες εφαρμογές.

Υπέρυθρα Συστήματα

Αντίστοιχα με τα συστήματα ηχητικών παλμών, λειτουργούν και τα συστήματα υπέρυθρων ακτινών. Σε κάθε δωμάτιο της εγκατάστασης τοποθετείται ένας ανιχνευτής υπέρυθρων, ο οποίος διαβάζει τα σήματα από τους πομπούς που βρίσκονται στις άγνωστης τοποθεσίας συσκευές. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, μπορεί να δώσει την πληροφορία σε ακρίβεια ενός δωματίου, αφού η υπέρυθρη ακτινοβολία από τη μία δεν διαπερνά τους τοίχους και από την άλλη η αναγνώριση της ισχύος του σήματος είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Έτσι η χρήση της τεχνολογίας περιορίζεται σε εφαρμογές που ενδιαφέρει ο προσδιορισμός μίας συσκευής εντός ενός δωματίου, όπως για παράδειγμα στα νοσοκομεία.

Μαγνητικά Συστήματα

Τα μαγνητικά συστήματα αναγνώρισης τοποθεσίας, εκμεταλλεύονται τον μαγνητικό χάρτη ενός χώρου, ο οποίος καταγράφει τις ανωμαλίες μαγνητικής έντασης εξαιτίας των υλικών που εμπεριέχονται στον χώρο, όπως τα δομικά υλικά ή μεταλλικά αντικείμενα. Ο χώρος επομένως εντός του οποίου μας ενδιαφέρει ο εντοπισμός χαρτογραφείται, καταγράφοντας σε κάθε σημείο την ένταση της μαγνητικής ακτινοβολίας. Όταν η άγνωστης τοποθεσίας συσκευή περιηγείται στον χώρο, γίνεται σύγκριση των τιμών ακτινοβολίας που καταγράφονται με αυτές του χάρτη που υπάρχει στη βάση δεδομένων και έτσι προσδιορίζεται η τοποθεσία της συσκευής. Για να λειτουργήσει το σύστημα απαιτείται βέβαια η συσκευή να μπορεί να μετρήσει τη μαγνητική ένταση. Τα περισσότερα έξυπνα κινητά έχουν αυτή τη δυνατότητα λόγω της λειτουργίας της πυξίδας. Τα έξυπνα γυαλιά ωστόσο όχι. Επίσης η μέθοδος μειονεκτεί στην εύκολη μεταβολή του πεδίου με τη μετακίνηση αντικειμένων, η οποία βεβαίως οδηγεί σε ανακρίβειες.

Αδρανειακά Συστήματα

Για τη λειτουργία ενός αδρανειακού συστήματος εντοπισμού θέσης, απαιτείται η ύπαρξη ενός αδρανειακού μηχανισμού μέτρησης και ενός μηχανισμού επεξεργασίας των μετρήσεων. Ο πρώτος, συνήθως περιλαμβάνει τρία επιταχυνσιόμετρα και τρία γυροσκόπια κάθετα μεταξύ τους στον χώρο, τα οποία καταγράφουν τις κινήσεις και περιστροφές της συσκευής. Έτσι αρκεί η γνώση της αρχικής θέσης για να βρεθεί κάθε επόμενη, επομένως και η θέση της συσκευής κάθε στιγμή. Δεδομένου ωστόσο ότι κάθε υπολογισμός εμπεριέχει κάποιο σφάλμα και κάθε θέση υπολογίζεται βάσει της προηγούμενης, τα σφάλματα πληθαίνουν σε κάθε βήμα. Ως αποτέλεσμα η μέθοδος είναι σχετικά ανακριβής. Το πλεονέκτημα έγκειται στο ότι δεν απαιτείται η εγκατάσταση ανιχνευτικών συσκευών στον χώρο αλλά μπορεί να λειτουργήσει μόνο με τη συσκευή την οποία θέλουμε να εντοπίσουμε.

5.2 Σύγκριση και Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την προηγηθείσα ανάλυση, οι μέθοδοι οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση ενός συστήματος εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους ποικίλουν. Οι επιλογές είναι πολλές και διαφοροποιούνται σε αρκετούς τομείς, όπως η τεχνολογία, η ακρίβεια, η δυσκολία υλοποίησης, το κόστος και οι υπολογιστικές μέθοδοι.

Οι πιο δημοφιλείς, αφορούν τη χρήση Bluetooth και Wi-Fi. Το γεγονός αυτό, πέρα από την ακρίβεια και αξιοπιστία της εκάστοτε μεθόδου, μπορεί να αποδοθεί και σε έναν ακόμη παράγοντα. Μεγάλο μέρος των εφαρμογών και έργων όπου απαιτείται η χρήση ενός συστήματος εντοπισμού θέσης εσωτερικών χώρων, αφορά καταναλωτικές ενέργειες. Επομένως, όταν ο εντοπισμός γίνεται λόγω χάρη σε ένα εμπορικό κέντρο, οι συσκευές προς εντοπισμό είναι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα των καταναλωτών. Οι συσκευές αυτές διαθέτουν ήδη κεραίες Bluetooth και Wi-Fi, επομένως η χρήση αυτών των τεχνολογιών ενδείκνυται. Από την άλλη, δε θα μπορούσαν να τοποθετηθούν οπτικά σημάδια όπως QR Codes διάσπαρτα στους τοίχους ενός εμπορικού κέντρου και να απαιτείται από τους καταναλωτές να προχωρούν με τα κινητά τους τηλέφωνα σηκωμένα, ώστε η κάμερα να αναγνωρίζει τους κωδικούς.

Αντίθετα συμβαίνει στις βιομηχανικές εφαρμογές. Η εκτύπωση και τοποθέτηση κωδικών σε μία αποθήκη δεν αποτελεί πρόβλημα και επιπρόσθετα στο υπό μελέτη έργο οι εργαζόμενοι έχουν ενσωματωμένη κάμερα στα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας που φορούν. Έτσι η μέθοδος είναι εξαιρετικά εύκολο να χρησιμοποιηθεί. Αυτός είναι ο λόγος άλλωστε που η συγκεκριμένη λύση έχει υιοθετηθεί από τις μεγαλύτερες εταιρίες και αποθήκες στον κόσμο όπως η Amazon και η Alibaba.

Βάσει όλων των παραπάνω, η χρήση της αναγνώρισης με οπτικά σημάδια, κρίνεται η καταλληλότερη. Προσφέρει την επιθυμητή ακρίβεια με μικρό κόστος. Τα συστήματα Bluetooth και Wi-Fi προσφέρουν αξιοπιστία, ωστόσο απαιτούν την εγκατάσταση επιπλέον τεχνολογικού εξοπλισμού και μετέπειτα υπολογιστικές διαδικασίες. Η μέθοδος UWB έχει υψηλό κόστος, ενώ και για τις υπόλοιπες αναφέρθηκαν μειονεκτήματα στην προηγηθείσα ανάλυση.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Σε συνέχεια όλων των παραπάνω αναλύσεων και μελετών, ο ερευνητής έχει καταλήξει στις βέλτιστες επιλογές υλισμικού και λογισμικού βάσει των παραμέτρων του υπό μελέτη έργου. Αρχικά αναλύθηκαν η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και η θέση της επαυξημένης πραγματικότητας σε αυτή. Αναζητήθηκαν εφαρμογές συλλογής παραγγελιών μέσω της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας (vision picking) και καταγράφηκαν τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται για την λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος. Έπειτα η έρευνα χωρίστηκε σε τέσσερα στάδια, τα οποία περιλάμβαναν τα έξυπνα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας, την εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού, το περιβάλλον ανάπτυξης της εφαρμογής και το σύστημα εντοπισμού θέσης αντίστοιχα. Σε κάθε ένα στάδιο αναλύθηκαν οι εναλλακτικές και επιλέχθηκε η καταλληλότερη βάσει των αναγκών του έργου, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα σχετικά κριτήρια. Παρακάτω γίνεται μία σύνοψη των τεσσάρων επιλογών που εν τέλει αποτελούν το τεχνολογικό οικοσύστημα της εφαρμογής vision picking.

Όσον αφορά τα έξυπνα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας, επιλέχθηκαν τα VUZIX M300. Η κατασκευάστρια εταιρία είναι εδραιωμένη στον χώρο και τα γυαλιά αποτελούν μία από τις κορυφαίες εναλλακτικές, σε καλή τιμή συγκρίνοντας με τον ανταγωνισμό. Οι δυνατότητες τους καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες του έργου. Παρουσιάζουν καλές επιδόσεις, έχουν κάμερα υψηλής ανάλυσης, οθόνη κεφαλής ενώ είναι ελαφριά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια μίας βάρδιας χωρίς να κουράζουν τον εργαζόμενο. Επίσης μπορεί ο χειρισμός τους να γίνει χωρίς τη χρήση χεριών, αλλά μέσω φωνητικών εντολών. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά αναλύθηκαν, μελετήθηκαν και έκαναν το μοντέλο να ξεχωρίσει ως η βέλτιστη επιλογή μέσω της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (analytical hierarchy process).

Σχετικά με την εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού, επιλέχθηκε το Vuforia SDK. Η εργαλειοθήκη αυτή είναι η επικρατέστερη για Android εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας. Επιλέγεται από χιλιάδες προγραμματιστές παγκοσμίως αφού προσφέρει όλες τις δυνατότητες που θα μπορούσαν να ζητηθούν, όπως marker based, object και image recognition και τεχνολογία SLAM. Η Vuforia επίσης είναι cross-platform, επομένως μπορεί να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία εφαρμογών σε πολλές πλατφόρμες πέραν του Android, δίνοντας έτσι την ευκαιρία για μελλοντική αλλαγή της συσκευής που χρησιμοποιείται.

Το περιβάλλον ανάπτυξης που θα χρησιμοποιηθεί, είναι το Unity3D Editor. Το Unity είναι η δημοφιλέστερη μηχανή ανάπτυξης παιχνιδιών παγκοσμίως. Η σκέψη πίσω από τη χρήση του Unity, είναι πως προσφέρει όλες τις δυνατότητες τρισδιάστατου σχεδιασμού και απεικόνισης, που χρειαζόμαστε για την εφαρμογή. Σε αυτήν, οι κατευθύνσεις θα είναι τρισδιάστατα βέλη που θα εναποτίθενται πάνω στον τρισδιάστατο χώρο, μέσω της οθόνης των έξυπνων γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Έτσι έχει ιδιαίτερο νόημα η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του Unity. Άλλωστε το πολύ ευρύ κοινό που το χρησιμοποιεί μπορεί να παρέχει σημαντική υποστήριξη και πληροφορίες σχετικά με όσα θέλουμε να υλοποιηθούν εντός της εφαρμογής.

Τέλος, το σύστημα εντοπισμού θέσης, σε περίπτωση που επιλεγεί, είναι το σύστημα εντοπισμού μέσω οπτικών σημάδιων (VPS - Vision Positioning System). Η μέθοδος αυτή

επιτρέπει τον εντοπισμό της θέσης μίας συσκευής μέσω της αναγνώρισης συγκεκριμένων γνωστών οπτικών κωδικών (QR Codes) που είναι τοποθετημένοι στον χώρο. Έτσι, καθώς ο εργαζόμενος κινείται, η κάμερα των γυαλιών διαβάζει τους κωδικούς, και το λογισμικό βάσει της γωνίας της εικόνας και σε σύγκριση με αυτή που υπάρχει στη βάση δεδομένων, μπορεί να υπολογίσει τη θέση της συσκευής. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα οικονομική σε σχέση με τις υπόλοιπες ενώ η υλοποίησή της είναι εύκολη.

Όλα τα παραπάνω εργαλεία προτείνεται να χρησιμοποιηθούν στο υπό μελέτη έργο. Παρακάτω συνοψίζονται οι επιλογές:

- Γυαλιά Επαυξημένης πραγματικότητας: **Vuzix M300**
- Υπολογιστικά Εργαλεία: **Vuforia SDK**
- Περιβάλλον Ανάπτυξης Λογισμικού: **Unity3D Editor**
- Σύστημα Εντοπισμού Θέσης: **Vision Positioning System**

Σημειώνεται δε, ότι δεν μπορούν όλες οι επιλογές να εφαρμοστούν καθολικά, αλλά υπάρχουν σχετικοί περιορισμοί. Περιορισμοί εμφανίζονται σε όλα τα στάδια της έρευνας. Ένα σημαντικό στοιχείο το οποίο πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψιν είναι το κόστος. Ειδικά όσον αφορά τα έξυπνα γυαλιά, τα οποία αποτελούν τη βασική αρχική επένδυση για ένα τέτοιο έργο, η επιλογή γίνεται βάσει του διαθέσιμου προϋπολογισμού του έργου. Έπειτα υπάρχουν διάφοροι τεχνικοί περιορισμοί. Για παράδειγμα η οθόνη των γυαλιών μπορεί να προβάλλει συγκεκριμένες πληροφορίες, λόγω του μεγέθους και της ποιότητάς της, επομένως θα πρέπει κάθε χαρακτηριστικό να λαμβάνεται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό της εφαρμογής. Αντίστοιχα η κάμερα για να εντοπίσει ένα σημάδι ή σκηνή, περιορίζεται από την ανάλυσή της. Έτσι δε μπορεί ο εργαζόμενος να σκανάρει τον κωδικό ενός προϊόντος από πολύ μεγάλη απόσταση.

Με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και το λογισμικό, το οποίο σχεδιάζεται με τρόπο συγκεκριμένο και προσφέρει αντίστοιχες δυνατότητες. Αρχικά τα λογισμικά που έχουν επιλεγεί, όπως και το μοντέλο γυαλιών, σχεδιάζονται για Android. Επομένως θα πρέπει να υπάρχει συμβατότητα σε όλα τα προγράμματα σχεδιασμού. Ακόμη, για να αναγνωριστεί κάτι ως σημάδι θα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον ένα ποσοστό της συνολικής εικόνας και να μην είναι σε γωνία μεγαλύτερη της οριακής τιμής, ανάλογα με την εργαλειοθήκη λογισμικού. Όσον αφορά το σύστημα εντοπισμού θέσης, όπως αναλύθηκε είναι συνήθως ευάλωτο σε αλλαγές του τοπίου και μετακινήσεις αντικειμένων ή μηχανών. Εάν ένα αντικείμενο βρίσκεται μπροστά από ένα οπτικό κωδικό, η αναγνώριση δεν είναι εφικτή. Αντίστοιχα ένα μεταλλικό εξάρτημα μπορεί να επηρεάσει τον ηλεκτρομαγνητικό χάρτη του χώρου. Έτσι θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή σε τέτοιες περιπτώσεις. Γενικώς, με την απαιτούμενη προσοχή στα χαρακτηριστικά των επιλογών, μπορεί το οικοσύστημα να λειτουργήσει στις περισσότερες συνθήκες.

Για την ένταξη του οικοσυστήματος σε ένα αποθηκευτικό κέντρο, θα πρέπει η υπεύθυνη ομάδα να ακολουθήσει τα βήματα έρευνας, αντίστοιχα ως βήματα εφαρμογής. Επομένως, οφείλει να ξεκινήσει από το υπό σχεδιασμό έργο και να σημειώσει τυχούσες ιδιαίτερες απαιτήσεις. Έπειτα να προχωρήσει στα έξυπνα γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας, το βασικότερο εξάρτημα, και να βεβαιωθεί ότι τόσο τα χαρακτηριστικά όσο και η τιμή του

επιλεγμένου μοντέλου πληροί τα κριτήριά της. Αντίστοιχα ισχύει και για το λογισμικό. Εδώ θα πρέπει η ομάδα σχεδιασμού να είναι βέβαιη πως το επιλεγμένο λογισμικό καλύπτει όλες τις πιθανές ανάγκες της εφαρμογής, όπως για παράδειγμα η ικανότητα αναγνώρισης τρισδιάστατων αντικειμένων, η οποία δεν υποστηρίζεται από όλες τις εργαλειοθήκες ανάπτυξης λογισμικού. Έπειτα το πρόγραμμα ανάπτυξης της εφαρμογής θα πρέπει να εναρμονίζεται με την εργαλειοθήκη που επιλέχθηκε και να δίνει στους προγραμματιστές όλες τις δυνατότητες που χρειάζονται για την σχεδίαση και δημιουργία της τελικής εφαρμογής. Τέλος, είναι σημαντικό το σύστημα εντοπισμού θέσης να είναι κατάλληλο για τον χώρο στον οποίο θα λάβει χώρα η εφαρμογή. Επεξηγηματικά, δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα αναγνώρισης οπτικών σημάτων σε έναν χώρο με πολλές κινούμενες μηχανές. Αντίστοιχοι περιορισμοί ισχύουν και για τις υπόλοιπες τεχνολογίες και θα πρέπει η υπεύθυνη ομάδα να βεβαιωθεί πως η επιλογή είναι η βέλτιστη για το περιβάλλον εφαρμογής.

Αφού έχουν μελετηθεί διεξοδικά τα παραπάνω, θα πρέπει η ομάδα των προγραμματιστών να προχωρήσει με τον σχεδιασμό της εφαρμογής ή την αγορά κάποιου έτοιμου λογισμικού το οποίο θα εγκατασταθεί και παραμετροποιηθεί για το αντίστοιχο περιβάλλον. Το τελευταίο υποδεικνύει τη δυνατότητα όλου του οικοσυστήματος να εγκατασταθεί σε ένα συγκεκριμένο αποθηκευτικό κέντρο, με την τροποποίηση ορισμένων μόνο παραμέτρων. Μπορούν επομένως όλα τα παραπάνω να αποτελούν μέρος ενός πακέτου το οποίο η επιχείρηση αγοράζει και μία εξωτερική ομάδα εγκαθιστά στον χώρο της. Ο βασικός περιορισμός είναι ο συντονισμός όλων των εντολών συλλογής παραγγελιών και γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας, των εργαζομένων της αποθήκης. Έτσι ανάλογα με το μέγεθος της εταιρίας, θα πρέπει να χωρίζονται οι παραγγελίες στον αντίστοιχο αριθμό των εργαζομένων και να συντονίζονται σωστά οι οδηγίες ώστε να μην γίνονται λάθη, όπως θα ήταν η οδηγία για λήψη ενός αντικειμένου από έναν εργαζόμενο, το οποίο μόλις εξάντλησε ένας άλλος.

Σε κάθε περίπτωση, όλο το τεχνολογικό οικοσύστημα δύναται να αποτελεί μία ολοκληρωμένη λύση συλλογής παραγγελιών με τη βοήθεια της επαυξημένης πραγματικότητας, για οποιοδήποτε αποθηκευτικό κέντρο.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει ακόμα να συνεισφέρει αρκετά στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας στη βιομηχανία, και συγκεκριμένα στο vision picking. Αρχικά, όσο τα έξυπνα γυαλιά εξελίσσονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλο και περισσότερες εφαρμογές (Merlino and Sproge, 2017). Προς στιγμήν, το βάρος, η διάρκεια της μπαταρίας, η οθόνη αλλά και η τιμή τους, καθιστά τη χρήση τους δύσκολη για την πλειοψηφία των εταιριών. Όλα ωστόσο τα χαρακτηριστικά βελτιώνονται με την πάροδο των χρόνων. Αντίστοιχα συμβαίνει και με τις εργαλειοθήκες και τα προγράμματα ανάπτυξης των εφαρμογών.

Άλλωστε το 2019 ήταν η χρονιά με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη για την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας, αγγίζοντας τις 1.5 δισεκατομμύρια συσκευές που την υποστηρίζουν. Σύμφωνα με το Forrester, έως το 2025, 14 εκατομμύρια Αμερικανοί εργαζόμενοι αναμένεται να χρησιμοποιούν έξυπνα γυαλιά καθημερινά στη δουλειά τους.

Η βιομηχανία των αυτοκινήτων είναι ένας από τους τομείς όπου η τεχνολογία αναμένεται να βρει μεγάλη εφαρμογή. Πληροφορίες όπως η πλοήγηση και οι ενδείξεις του οχήματος μπορούν μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας να εναποθέτονται στο παρμπρίζ του αυτοκινήτου, επομένως ο οδηγός δεν θα χρειάζεται να απομακρύνει τα μάτια του από τον δρόμο για να τις δει.

Ως τελειόφοιτος φοιτητής, όλη η προηγηθείσα μελέτη και διπλωματική εργασία, με βοήθησε ιδιαίτερα στη βαθύτερη κατανόηση των γνώσεων που είχα λάβει καθόλα τα χρόνια των σπουδών μου. Το βασικότερο στοιχείο είναι πως η έρευνα είναι ολιστική και αφορά στην πλήρη περάτωση ενός έργου. Η μελέτη επομένως ξεκίνησε από το γενικό, την αναζήτηση αντίστοιχων εφαρμογών και συνέχισε με την καταγραφή των ιδιαίτερων απαιτήσεων του έργου και την έρευνα πάνω σε όλα τα απαιτούμενα στοιχεία. Ήταν σημαντικό πως έπρεπε να μελετηθούν όλα τα κομμάτια, και να γίνει έρευνα που λαμβάνει υπόψιν τις μεταξύ τους συνδέσεις. Έτσι κατανόησα πώς διαφορετικοί άνθρωποι με διαφορετικά αντικείμενα, πρέπει να συνεργάζονται για να φέρουν εις πέρας ένα έργο.

Πέρα από τα παραπάνω, είχα την ευκαιρία να μελετήσω και να κατανοήσω νέες τεχνολογίες και εφαρμογές. Με βασική την ιδέα της επαυξημένης πραγματικότητας, εξερεύνησα τις δυνατότητές της, κατάλαβα πως λειτουργούν τα έξυπνα γυαλιά, αλλά και πως χρησιμοποιούνται οι εργαλειοθήκες ανάπτυξης λογισμικού και τα αντίστοιχα προγράμματα, για την δημιουργία μίας εφαρμογής.

Τέλος, ίσως το σημαντικότερο ήταν η αναζήτηση αντίστοιχων εφαρμογών, όπου κατανόησα πως δουλεύουν ορισμένες επιχειρήσεις, τι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στον χώρο αλλά και ποιες είναι οι πιο τεχνολογικά εξελιγμένες, στοιχεία που θα με βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων καθ' όλη την πορεία της μελλοντικής μου καριέρας.

Βιβλιογραφία – Πηγές

- 4 ways the supply chain industry will use Augmented Reality. Allerin.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.allerin.com/blog/4-ways-the-supply-chain-industry-will-use-augmented-reality>.
- 8th Wall. 8thwall.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.8thwall.com/faq>.
- Android Developers. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://developer.android.com/>.
- AR for Logistics and Warehouse Operations | Atheer Augmented Reality. Atheer. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://atheerair.com/ar-logistics-warehouse-operations/>.
- ARKit vs ARCore vs Vuforia vs 8th Wall - Unity Answers. Answers.unity.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://answers.unity.com/questions/1456462/arkit-vs-arcore-vs-vuforia-vs-8th-wall.html>.
- ARKit?, A. (2020). Are there any limitations in Vuforia compared to ARCore and ARKit?. Stack Overflow. Retrieved 11 May 2020, from <https://stackoverflow.com/questions/50811770/are-there-any-limitations-in-vuforia-compared-to-arcore-and-arkit>.
- ARToolKit. En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://en.wikipedia.org/wiki/ARToolKit>.
- Atanasova–Pachemska, T. (2014). ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS (AHP) METHOD APPLICATION IN THE PROCESS OF SELECTION AND EVALUATION. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. Retrieved 11 May 2020, from https://www.researchgate.net/publication/276985609_ANALYTICAL_HIERARCHICAL_PROCESS_AHP_METHOD_APPLICATION_IN_THE_PROCESS_OF_SELECTION_AND_EVALUATION.
- Augmented Reality based on Image Recognition and Tracking. Wikitude. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.wikitude.com/augmented-reality-image-recognition/>.
- Augmented Reality based on Object and Scene Recognition. Wikitude. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.wikitude.com/augmented-reality-object-scene-recognition/>.
- Augmented Reality Technology Smart Glasses Developer Company | AR Enterprise. Thirdeyegen.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.thirdeyegen.com/x2-smart-glasses/>.
- Beacon based indoor positioning system using weighted centroid localization approach - IEEE Conference Publication. Ieeexplore.ieee.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7536951>.
- Best AR SDK for development for iOS and Android | Thinkmobiles. Thinkmobiles. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>.

- Best Augmented Reality SDKs. Invisible.toys. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://invisible.toys/best-augmented-reality-sdk/>.
- Best Augmented Reality Software | 2020 Reviews of the Most Popular Tools & Systems. Capterra.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.capterra.com/augmented-reality-software/#buyers-guide>.
- Best available SDK for developing AR applications.. Medium. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://arvrjourney.com/best-ar-sdk-for-developing-ar-applications-560b8222f0fa>.
- Bluetooth 4.0 and 5.1 Radio Transmitters (Beacons). Infsoft.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.infsoft.com/technology/transmitter-hardware/ble-40-51-tags>.
- Bluetooth 5.1 Refines Location Accuracy. FierceElectronics. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.fierceelectronics.com/components/bluetooth-5-1-refines-location-accuracy>.
- Bluetooth Special Interest Group. En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Special_Interest_Group.
- Bluetooth. En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#Bluetooth_5.2.
- Cantón Paterna, V., Calveras Augé, A., Paradells Aspas, J., & Pérez Bullones, M. (2017). A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering. *Sensors*, 17(12), 2927. <https://doi.org/10.3390/s17122927>
- Chang, P. (2020). AR In Logistics And Supply Chain Management | ARPost. ARPost. Retrieved 11 May 2020, from <https://arpost.co/2018/09/03/ar-in-logistics-and-supply-chain-management/>.
- Comparing ARCore vs ARKit vs Vuforia: The Best Augmented Reality Toolkit. BlueWhaleApps. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://bluewhaleapps.com/blog/comparing-arkit-vs-arcore-vs-vuforia-the-best-augmented-reality-toolkit>.
- D. Goepel, K. (2013). IMPLEMENTING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AS A STANDARD METHOD FOR MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN CORPORATE ENTERPRISES – A NEW AHP EXCEL TEMPLATE WITH MULTIPLE INPUTS. Retrieved 11 May 2020, from https://www.researchgate.net/profile/Klaus_Goepel/publication/275584446_Implementing_the_Analytic_Hierarchy_Process_as_a_Standard_Method_for_Multi-Criteria_Decision_Making_in_Corporate_Enterprises_-_a_New_AHP_Excel_Template_with_Multiple_Inputs/links/554031fa0cf29680de9dd8c2/Implementing-the-Analytic-Hierarchy-Process-as-a-Standard-Method-for-Multi-Criteria-Decision-Making-in-Corporate-Enterprises-a-New-AHP-Excel-Template-with-Multiple-Inputs.pdf.

- D'Antoni, L., & Dunn, A. (2020). Operating System Support for Augmented Reality Applications. Cs.columbia.edu. Retrieved 11 May 2020, from http://www.cs.columbia.edu/~suman/docs/hotos13_aros.pdf.
- Diaz, J. (2020). Augmented Reality Glasses: What You Can Buy Now (or Soon). Tom's Guide. Retrieved 11 May 2020, from <https://www.tomsguide.com/reference/ar-glasses>.
- DreamGlass Air: Private AR Screen for PHONE PS4 XBOX SWITCH. Kickstarter. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.kickstarter.com/projects/dreamglassair/dreamglass-air-the-worlds-first-portable-ar-private-theater>.
- dynaEdge smart glass solution - dynabook. Emea.dynabook.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://emea.dynabook.com/generic/dynaedge/>.
- Elbert, R., & Sarnow, T. (2019). Augmented Reality in Order Picking - Boon and Bane of Information (Over-) Availability. Retrieved 11 May 2020, from https://www.researchgate.net/publication/330178053_Augmented_Reality_in_Order_Picking-Boon_and_Bane_of_Information_Over-_Availability.
- Everything You Need to Know to Build Location-Based AR App (Updated) - Vakoms Blog. Vakoms Blog. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://blog.vakoms.com/everything-you-need-to-knowto-build-location-based-ar-app/>.
- Framework vs Library vs Platform vs API vs SDK vs Toolkits vs IDE. Medium. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://medium.com/@shashvatshukla/framework-vs-library-vs-platform-vs-api-vs-sdk-vs-toolkits-vs-ide-50a9473999db>.
- Geo AR: Location-based Augmented Reality Use Cases and How-to - Wikitude. Wikitude. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.wikitude.com/blog-geo-ar-location-based-augmented-reality-use-cases-and-how-to/>.
- Getting Started with Vuforia Engine in Unity. Library.vuforia.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://library.vuforia.com/articles/Training/getting-started-with-vuforia-in-unity.html>.
- Glass Enterprise Edition 2: faster and more helpful. Google. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.blog.google/products/hardware/glass-enterprise-edition-2/>.
- Glockner, H., Jannek, K., Mahn, J., & Theis, B. (2014). AUGMENTED REALITY IN LOGISTICS Changing the way we see logistics – a DHL perspective. Retrieved 11 May 2020, from https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/csi_augmented_reality_report_290414.pdf.
- HMT-1 Specifications - RealWear. RealWear. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.realwear.com/knowledge-center/hmt-1/product-overview/specifications/>.

- HoloLens 2—Overview, Features, and Specs | Microsoft HoloLens. Microsoft.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware>.
- Home - Satisfactory Project. Satisfactory Project. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <http://www.satisfactory-project.eu/>.
- How you can become an AR/VR developer - Pusher Blog. Pusher Blog. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://blog.pusher.com/how-you-can-become-an-ar-vr-developer/>.
- Improve required distance/target size for Augmented Images · Issue #283 · google-ar/arcore-unity-sdk. GitHub. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://github.com/google-ar/arcore-unity-sdk/issues/283>.
- Indoor Navigation – Solutions by infsoft. Infsoft.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.infsoft.com/solutions/application-fields/indoor-navigation>.
- Indoor navigation using visual technology by Accuware. Accuware. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.accuware.com/blog/visual-indoor-navigation/>.
- Indoor positioning digital twin. Ripplesiot.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.ripplesiot.com/indoor-positioning/>.
- Indoor positioning system. En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_positioning_system.
- Indoor Tracking and Indoor Navigation Using Beacons. Infsoft.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.infsoft.com/technology/positioning-technologies/bluetooth-low-energy-beacons>.
- Invisible.toys. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://invisible.toys/best-augmented-reality-sdk/>.
- Kalkusch, M., Lidy, T., Knapp, N., Reitmayr, G., Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. Structured visual markers for indoor pathfinding. The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit,. <https://doi.org/10.1109/art.2002.1107018>
- Karwowski, W., & Ahram, T. Intelligent Human Systems Integration 2019.
- Kotaru, M., Joshi, K., Bharadia, D., & Katti, S. (2015). SpotFi: Decimeter Level Localization Using WiFi. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 45(4), 269-282. <https://doi.org/10.1145/2829988.2787487>
- L. Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, 1(1). Retrieved 11 May 2020, from.
- Leal, J. (2020). AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. Methodsx, 7, 100748. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
- Leonard, J. (2020). Bluetooth 5.1 Puts Bluetooth In Its Place. Blog.nordicsemi.com. Retrieved 11 May 2020, from <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/bluetooth-5.1-puts-bluetooth-in-its-place>.

- Leopold Ecklbauer, B. (2014). A Mobile Positioning System for Android based on Visual Markers. Retrieved 11 May 2020, from https://www.academia.edu/7503224/A_Mobile_Positioning_System_for_Android_based_on_Visual_Markers.
- Lin, B., Tang, X., Ghassemlooy, Z., Lin, C., & Li, Y. (2017). Experimental Demonstration of an Indoor VLC Positioning System Based on OFDMA. *IEEE Photonics Journal*, 9(2), 1-9. <https://doi.org/10.1109/jphot.2017.2672038>
- List of augmented reality software. *En.wikipedia.org*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_augmented_reality_software.
- Mastrolonardo, R. (2020). GPS for indoors? The smartphone tech that guides you inside big buildings | ZDNet. *ZDNet*. Retrieved 11 May 2020, from <https://www.zdnet.com/article/gps-for-indoors-the-smartphone-tech-that-guides-you-inside-big-buildings/>.
- Merlino, M., & Sproge, I. (2017). The Augmented Supply Chain. *Procedia Engineering*, 178, 308-318. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.053>
- Methods and Tools to Construct a Global Indoor Positioning System - *IEEE Journals & Magazine*. *ieeexplore.ieee.org*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7805133>.
- Mooi, E., & Sarstedt, M. (2011). *A Concise Guide to Market Research*. Springer Berlin Heidelberg.
- Multi-criteria Decision Making Methods. *Google Books*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://books.google.gr/books?id=IPPiBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=el#v=onepage&q&f=false>.
- Overview. *Library.vuforia.com*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://library.vuforia.com/getting-started/overview.html>.
- Personal area network. *En.wikipedia.org*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_area_network.
- Picking - KNAPP. *KNAPP*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.knapp.com/en/solutions/technologies/picking/>.
- Polsinelli, P. (2020). Why is Unity so popular for videogame development? - *Design a Game*. *Design a Game*. Retrieved 11 May 2020, from <https://designagame.eu/2013/12/unity-popular-videogame-development/>.
- Precise indoor location in 3D using SLAM using a camera without a lidar | *Dragonfly*. *Dragonfly*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.dragonflycv.com/>.
- Qi, J., & Liu, G. (2017). A Robust High-Accuracy Ultrasound Indoor Positioning System Based on a Wireless Sensor Network. *Sensors*, 17(11), 2554. <https://doi.org/10.3390/s17112554>

- Quora.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.quora.com/Is-it-easier-to-develop-Android-games-in-Unity3D-or-in-Android-Studio>.
- Ray, B. (2020). How An Indoor Positioning System Works. Airfinder.com. Retrieved 11 May 2020, from <https://www.airfinder.com/blog/indoor-positioning-system>.
- refit, I., & Michel, R. (2020). Information Management: Wearables come in for a refit. Mmh.com. Retrieved 11 May 2020, from https://www.mmh.com/article/information_management_wearables_come_in_for_a_refit.
- Rodríguez-Navarro, D., Lázaro-Galilea, J., De-La-Llana-Calvo, Á., Bravo-Muñoz, I., Gardel-Vicente, A., Tsirigotis, G., & Iglesias-Miguel, J. (2017). Indoor Positioning System Based on a PSD Detector, Precise Positioning of Agents in Motion Using AoA Techniques. *Sensors*, 17(9), 2124. <https://doi.org/10.3390/s17092124>
- Schwerdtfeger, B. (2009). Pick-by-Vision: Bringing HMD-based Augmented Reality into the Warehouse. Retrieved 11 May 2020, from <https://mediatum.ub.tum.de/doc/992985/992985.pdf>.
- Senion Indoor Positioning System - Senion | Smart Office Solution. Senion | Smart Office Solution. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://senion.com/senion-ips/>.
- Six Top Tools to Build Augmented Reality Mobile Apps. InfoQ. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.infoq.com/articles/augmented-reality-best-skds/>.
- Smart Glasses Guide: Learn more about AR glasses | ESSERT DIGITAL. ESSERT DIGITAL. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.essert.digital/en/smart-glasses-guide>.
- Smartglasses. En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Smartglasses>.
- Spacey, J. (2020). 16 Types of Technology Platform. Simplicable. Retrieved 11 May 2020, from <https://simplicable.com/new/technology-platform>.
- Sultana Sumi, R. (2010). Analytical Hierarchy Process for Higher Effectiveness of Buyer Decision Process. *Global Journal Of Management And Business Research*. Retrieved 11 May 2020, from https://globaljournals.org/GJMbr_Volume10/gjmbr_vol10_issue2_1.pdf.
- Technologies, P. (2020). Ultra-Wideband Technology for Indoor Positioning. Infsoft.com. Retrieved 11 May 2020, from <https://www.infsoft.com/technology/positioning-technologies/ultra-wideband>.
- Technologies, U. (2020). Architecture, Engineering & Construction | Unity. Unity. Retrieved 11 May 2020, from <https://unity.com/solutions/architecture-engineering-construction>.
- Technologies, U. (2020). Unity - Unity. Unity. Retrieved 11 May 2020, from <https://unity.com/>.
- Ten Things You Need to Know About Indoor Positioning. *Directionsmag.com*. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.directionsmag.com/article/1598>.

The Future of Indoor Positioning Systems is Bluetooth 5.1 | Favendo. Favendo. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.favendo.com/wayfinding/the-future-of-indoor-positioning-systems-is-bluetooth-5-1>.

Ultimate AR Comparison Guide | Circuit Stream. Circuit Stream. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://circuitstream.com/blog/augmented-reality-guide/>.

Ultra-wideband. En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>.

Unity (game engine). En.wikipedia.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)#Supported_platforms](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine)#Supported_platforms).

Unity Reference: Main Page. Library.vuforia.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/reference/unity/index.html>.

Vargas, L. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal Of Operational Research*, 48(1), 2-8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-h](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-h)

Vuforia vs ARKit vs Arcore: Choosing an Augmented Reality SDK - Skywell Software. Skywell Software. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://skywell.software/blog/vuforia-vs-arkit-vs-arcore-choosing-an-augmented-reality-sdk/>.

Vuzix | Augmented Reality Smart Glasses. Vuzix.com. (2020). Retrieved 5 May 2020, from <https://www.vuzix.com/products>.

Vuzix Begins Mass Production of the World's First Windows-based Smart Glasses for Toshiba :: Vuzix Corporation (VUZI). Ir.vuzix.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://ir.vuzix.com/press-releases/detail/1622/vuzix-begins-mass-production-of-the-worlds-first>.

Wang, W., Wang, F., Song, W., & Su, S. (2020). Application of Augmented Reality (AR) Technologies in inhouse Logistics. *E3S Web Of Conferences*, 145, 02018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014502018>

What is a Platform? - Definition from Techopedia. Techopedia.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.techopedia.com/definition/3411/platform>.

What is Indoor Positioning System and its Uses? – IoTDunia. IoTDunia-Helping you to succeed with the Internet of Things. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://iotdunia.com/what-is-indoor-positioning-system/>.

What is Technology Platforms | IGI Global. Igi-global.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://www.igi-global.com/dictionary/green-ict-system-architecture-frameworks/29539>.

What is Unity 3D & What is it Used For?. Concept Art Empire. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://conceptartempire.com/what-is-unity/>.

- What Software is Used for Augmented Reality?. Medium. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://arvrjourney.com/what-software-is-used-for-augmented-reality-9c134bab9bb6>.
- What's the difference between an "SDK" and an "engine?". Game Development Stack Exchange. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://gamedev.stackexchange.com/questions/75498/whats-the-difference-between-an-sdk-and-an-engine>.
- WinIPS: WiFi-Based Non-Intrusive Indoor Positioning System With Online Radio Map Construction and Adaptation - IEEE Journals & Magazine. Ieeexplore.ieee.org. (2020). Retrieved 11 May 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8057286>.
- XLSTAT Support Center. Help.xlstat.com. (2020). Retrieved 11 May 2020, from https://help.xlstat.com/s/article/analytic-hierarchy-process-ahp-in-excel-tutorial?language=en_US.
- Zhou, Y., Law, C., & Xia, J. (2012). Ultra low-power UWB-RFID system for precise location-aware applications. 2012 IEEE Wireless Communications And Networking Conference Workshops (WCNCW). <https://doi.org/10.1109/wcncw.2012.6215480>
- Χατζής, Π. (2018). Υλοποίηση και Διερεύνηση Τεχνικών Διαφορικού Wi-Fi για Εντοπισμό σε Εσωτερικούς Χώρους. Retrieved 11 May 2020, from.