ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ: Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών (Η.Υ.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας για χώρους πολιτισμού

Study and Development of a Mobile Mixed Reality System for Cultural Spaces

Διπλωματική Εργασία

του

ΚΑΒΒΕΤΣΟΥ ΙΩΑΝΝΗ

Επιβλέπων: Νικόλαος Αβούρης

Πατρα, Ιούλιος 2020

Πιστοποίηση

Πιστοποείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα:

Σχεδίαση και ανάπτυξη εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας για χώρους πολιτισμού
Study and Development of a Mobile Mixed Reality System for Cultural Spaces

Του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

ΚΑΒΒΕΤΣΟΥ ΙΩΑΝΝΗ

Αριθμός Μητρώου: 1019400

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών στις:
27/07/2020

Ο Επιβλέπων	Ο Διευθυντής του Τομέα
.....	.....
Νικόλαος Αβούρης	Παλιουράς Βασίλης
Καθηγητής	Καθηγητής

Περίληψη

Με την εργασία αυτή υλοποιείται το εκπαιδευτικό παιχνίδι Taggling σε μία συσκευή μικτής πραγματικότητας, τα Hololens. Επίσης εξετάζεται μέσω αξιολόγησης, η εμπειρία και η εμβύθιση των χρηστών κατά την χρήση τους παιχνιδιού.

Αρχικά, παρουσιάζεται το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο. Παραθέτονται δηλαδή, οι κατηγορίες των εκπαιδευτικών παιχνιδιών και δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην συσχέτισή τους με την πολιτιστική κληρονομιά. Στην συνέχεια, περιγράφονται οι τεχνολογίες της εικονικής, της επαυξημένης και της μικτής πραγματικότητας, με την τελευταία να αποτελεί την θεωρητική βάση της συσκευής των Microsoft Hololens. Για το επαναστατικό αυτό εργαλείο, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του και οι πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών, όπως η Unity και το Microsoft Visual Studio.

Κατόπιν, περιγράφεται λεπτομερώς ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της εφαρμογής TagglingMR, η οποία έχει σαν βασικό σκοπό, μέσω της δημιουργίας ενός εικονικού μουσείου σε οποιοδήποτε δωμάτιο, την αντιστοίχηση και συσχέτιση εκθεμάτων με έναν αριθμό από συνημμένες σε αυτά ετικέτες. Οι ετικέτες αυτές είναι αρχικά τυχαία μοιρασμένες στα εκθέματα και μπορούν να μεταφερθούν σε ένα σακούλι από τον χρήστη, μέσω του οποίου επιτρέπεται η αντιστοίχηση της καθεμιάς στο σωστό έκθεμα, δηλαδή σε αυτό με το οποίο έχουν τις μεγαλύτερες οπτικές ομοιότητες.

Η μελέτη που διεξάγεται στην συνέχεια σε ένα τυπικό δωμάτιο σπιτιού, χρησιμοποιεί ένα δείγμα δέκα ατόμων και ξεκινά με την συλλογή στοιχείων σχετικά με την προηγούμενη εμπειρία τους σε αυτές τις τεχνολογίες. Στην συνέχεια, μετά την χρήση της εφαρμογής από τον κάθε συμμετέχοντα, εξάγονται συμπεράσματα από δύο ερωτηματολόγια, από το καταγεγραμμένο βίντεο και τις συζητήσεις με τον χρήστη σχετικά με την εμπειρία και τα προβλήματα που αντιμετώπισε. Κατόπιν, τα στοιχεία αναλύονται με σκοπό την μέτρηση και την αξιολόγηση της εμπειρίας παιχνιδιού και το ποσοστό εμβύθισης, όπως και τον εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων της εφαρμογής.

Στο τέλος, παρουσιάζονται οι μελλοντικές κατευθύνσεις και αποφάσεις που μπορούν να ακολουθηθούν με βάση τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις.

Λέξεις - Κλειδιά

Εκτεταμένη Πραγματικότητα, Επαυξημένη Πραγματικότητα, Μικτή Πραγματικότητα, Hololens, χωρική χαρτογράφηση, χωροευαίσθητα παιχνίδια, εκπαιδευτικά παιχνίδια, Unity, Microsoft Visual Studio, Αξιολόγηση

Abstract

This thesis implements the educational game Taggling on a mixed reality device, ”Hololens”. It is also examined through a user study, the experience and immerision of users while playing the game.

First, the theoretical and technological background is presented. In other words, the categories of educational games are listed and special emphasis is given to their correlation with cultural heritage. Afterwards, virtual, augmented and mixed reality technologies are described, with the latter being the theoretical basis of the Microsoft Hololens device. The basic features and development platforms such as Unity and Microsoft Visual Studio are presented for this revolutionary tool.

We conduct a user study by having a sample of ten people, in a typical home room and begins by gathering data on their previous experience with these technologies. Then, after the use of the application by each participant, conclusions are drawn from two questionnaires, from the recorded video and the discussions with the user about the experience and the problems encountered. The data is then analyzed to measure and evaluate the gaming experience and immersion rate, as well as to identify possible application errors.

Finally, we present the future directions and decisions that can be followed based on the latest technological developments.

Keywords

Extended Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, Hololens, Spatial Mapping, Location-based Games, Educational Games, Unity, Microsoft Visual Studio, Evaluation

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του Πανεπιστήμιου Πατρών, Γιώργο Ράπτη, για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε, τις ιδέες, τις υποδείξεις και τη βοήθειά του σε όλα τα στάδια ανάπτυξης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ.Αβούρη για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναλάβω αυτό το θέμα υπό την επίβλεψή του.

Τέλος, ευχαριστώ τόσο τα άτομα τα οποία πήραν μέρος στη διαδικασία της αξιολόγησης και συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας καθώς και στα πρόσωπα του οικογενειακού και φιλικού μου περιβάλλοντος που με στήριξαν ψυχολογικά κατά τη διάρκεια αυτής της πολύμηνης διαδικασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη i

Abstract iii

Ευχαριστίες v

Περιεχόμενα viii

Κατάλογος Σχημάτων x

1 Εισαγωγή 1
- 1.1 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας . . . 3

2 Θεωρητικό - Τεχνολογικό Υπόβαθρο 5
- 2.1 Εκπαιδευτικά Παιχνίδια . . . 5
  - 2.1.1 Ορισμός . . . 5
  - 2.1.2 Ηλεκτρονικά Εκπαιδευτικά Παιχνίδια . . . 6
  - 2.1.3 Παιχνίδια και Πολιτιστική Κληρονομιά . . . 7
  - 2.1.4 Χωροευαίσθητα παιχνίδια . . . 7
- 2.2 Εκτεταμένη Πραγματικότητα . . . 10
  - 2.2.1 Εικονική Πραγματικότητα . . . 10
  - 2.2.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα . . . 10
  - 2.2.3 Μικτή Πραγματικότητα . . . 11
- 2.3 Microsoft HoloLens . . . 13
  - 2.3.1 Περιγραφή συσκευής . . . 14
  - 2.3.2 Αλληλεπίδραση Χρήστη . . . 17
  - 2.3.3 Εργαλεία Ανάπτυξης Εφαρμογών των HoloLens . . . 20

3 Σχεδίαση και Ανάπτυξη του TagglingMR 25
- 3.1 Taggling . . . 25
  - 3.1.1 Περιγραφή Παιχνιδιού . . . 25

3.1.2 Περιορισμοί Εφαρμογής 27
3.2 Σχεδίαση του TagglingMR 27
3.2.1 Επιλογές Σχεδίασης 27
3.2.2 Σενάριο Εφαρμογής 29
3.2.3 Περιορισμοί 29
3.2.4 Σύγκριση μεταξύ των δύο εκδόσεων του Taggling 30
3.3 Ανάπτυξη του TagglingMR 31
3.3.1 Εισαγωγή 31
3.3.2 Χωρική Χαρτογράφηση 32
3.3.3 Τοποθέτηση αντικειμένων στους τοίχους 34
3.3.4 Τρόποι αλληλεπίδρασης 35
3.3.5 Σακούλι 36
3.3.6 Φωνητικές Εντολές 37
3.3.7 Ενδείξεις προόδου 38

4 Αξιολόγηση του TagglingMR 41
4.1 Μέθοδος 41
4.1.1 Συμμετέχοντες 41
4.1.2 Μετρικές και εργαλεία 42
4.1.3 Διαδικασία 43
4.2 Αποτελέσματα 46
4.2.1 Σφάλματα κατά την εκτέλεση του TagglingMR 46
4.2.2 Απόδοση παικτών 47
4.2.3 Εμπειρία παιχνιδιού (PXI) 47
4.2.4 Εμβύθιση των παικτών (IEQ) 49

5 Προεκτάσεις και Επίλογος 53
5.1 Μελλοντικές Προεκτάσεις 53
5.2 Επίλογος 54

Α΄ Κώδικας Εφαρμογής 55

Β΄ Ερωτηματολόγιο Αξιολόγησης 85

Κατάλογος Σχημάτων

2.1 Η κλίμακα μεταξύ πραγματικού και εικονικού κόσμου όπως προτάθηκε από τους Paul Milgram και Fumio Kishino [35]. 11
2.2 Συνοπτική απεικόνιση των τριών τεχνολογιών XR και των βασικών διαφορών τους [15]. 12
2.3 Το Microsoft HoloLens Headset. 14
2.4 Τα διάφορα μέρη των Microsoft HoloLens. 14
2.5 Η μητρική κάρτα με τις μονάδες επεξεργασίας [33]). 15
2.6 Το σύστημα προβολής ολογραμμάτων [33]). 16
2.7 Το σύστημα των αισθητήρων [33]). 16
2.8 Αλληλεπίδραση μέσω Gaze [33]). 17
2.9 Το πλαίσιο χειρονομιών των HoloLens [33]. 18
2.10 Η λειτουργία Air-Tap [33]. 19
2.11 Η αρχική θέση του χεριού για το Bloom [33]. 19
2.12 Η βασική διεπαφή της Unity 22

3.1 Τρεις οθόνες της εφαρμογής του Taggling σε λειτουργικό Android. Στα αριστερά η κεντρική οθόνη με όλα τα εκθέματα. Στο κέντρο απεικονίζεται το κάθε έκθεμα με τις ετικέτες που έχουν επισυναφθεί. Στα δεξιά φαίνεται το σακούλι. 26
3.2 Η σκηνή της Unity. 31
3.3 Τα Game Objects στο Hierarchy της Unity με όλα τους τα παιδιά τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω. Το κάθε έκθεμα έχει σαν παιδί (child) τις δύο ετικέτες του. 32
3.4 Η διαδικασία της σάρωσης κατά την εκκίνηση της εφαρμογής. Παρέχονται τρία στατιστικά: το εμβαδόν των κάθετων επιφανειών, των οριζόντιων και το συνολικό. 33
3.5 Έκθεμα με τις δύο μπάρες ενδείξεων στο πάνω μέρος. 36
3.6 Έκθεμα με τα δύο Tags αριστερά και δεξιά. 36
3.7 Το σακούλι με τρεις ετικέτες εντός του. 37

3.8 Η περίπτωση όπου σε ένα έκθεμα αντιστοιχίζονται οι δύο σωστές ετικέτες και το χρώμα των εικονιδίων γίνεται πράσινο. 39
3.9 Η ολοκλήρωση του παιχνιδιού με το σωστό μήνυμα. 39

4.1 Συμμετέχων κατά την διάρκεια του πειράματος. 45
4.2 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ερωτηματολόγιο PXI. 49
4.3 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ερωτηματολόγιο IEQ. 51

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Οι τέχνες και γενικότερα τα στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελούν διαδικασίες μέσω των οποίων ο άνθρωπος αφήνει το αποτύπωμά του στον κόσμο. Η ενασχόληση με τις τέχνες ικανοποιεί την έμφυτη δημιουργικότητα και ανάγκη αυτοέκφρασης. Προσφέρει ψυχαγωγία όχι μόνο στον δημιουργό αλλά και σε αυτόν που απολαμβάνει τα δημιουργήματα της τέχνης (έργα τέχνης). Είναι προφανές ότι δημιουργείται ένα δίπολο: αυτό του καλλιτέχνη ή γενικότερα δημιουργού, ο οποίος λειτουργεί σαν πομπός, και του θεατή ή δέκτη που επιζητά την αισθητική απόλαυση.

Η γνωριμία και η κατανόησή των τεχνών και της πολιτιστικής κληρονομιάς δεν έχουν σαν αποτέλεσμα μόνο τη ψυχαγωγία αλλά, μέσω της απαίτησης για ενεργοποίηση της συνθετικής και αναλυτικής σκέψης του ανθρώπου, συμβάλλουν στην διεύρυνση των πνευματικών οριζόντων του. Η γνωριμία αυτή λοιπόν, μπορεί προφανώς να ταυτιστεί με τις έννοιες της μόρφωσης και της εκπαίδευσης, τα πολλαπλά οφέλη των οποίων έχουν ως βασικό άξονα την διαδικασία της μάθησης.

Τις τελευταίες δεκαετίες και ιδιαίτερα μετά την ανάπτυξη του Διαδικτύου, ο μέσος άνθρωπος εκτίθεται σε πληθώρα πληροφοριών. Η υπερβολική αυτή έκθεση καθιστά τη διαδικασία της μάθησης όλο και πιο δύσκολη.

Για την αποτελεσματικότερη γνωριμία με την πολιτιστική κληρονομιά και κατ΄ επέκταση για τη βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας έχει αποδειχτεί ότι τα εκπαιδευτικά παιχνίδια μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά με τις υπάρχουσες μεθόδους, στοχεύοντας φυσικά τους επιθυμητούς εκπαιδευτικούς στόχους [55]. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν εμφανιστεί διαφόρων ειδών εκπαιδευτικά παιχνίδια με χρήση σε διάφορους κλάδους και χώρους επιστημών.

Η κυριαρχία της τεχνολογίας σε παιχνίδια και εφαρμογές εκπαιδευτικού σκοπού αποτελεί μία τάση με αυξανόμενους ρυθμούς. Ένα χαρακτηριστικό παιχνίδι που συμβάλλει μέσω της τεχνολογίας στην κατανόηση των τεχνών και της πολιτισμικής κληρονομιάς είναι το Taggling [30]. Μέσω του βασικού τρόπου παιχνιδιού, δηλαδή της ομαδοποίησης έργων τέχνης, που θυμίζει την ταξινόμηση καρτών [30], ο χρήστης χρη-

σιμοποιεί την συνθετική και αναλυτική του σκέψη ώστε να κατανοήσει και να μελετήσει τα εκάστοτε εκθέματα.

Η αυξανόμενη σημασία της τεχνολογίας στα εκπαιδευτικά παιχνίδια δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη χρήση πολλών νέων εργαλείων και εννοιών. Νέες μέθοδοι όπως η μικτή πραγματικότητα (Mixed Reality) προσφέρουν εντυπωσιακές δυνατότητες για τον συνδυασμό του πραγματικού και του ψηφιακού-εικονικού κόσμου. Οι σημαντικότερες διαστάσεις αυτής της τεχνολογίας αποτελούν η επαυξημένη (augmented) και η εικονική (virtual) πραγματικότητα.

Η επαυξημένη πραγματικότητα έχει ήδη κάνει τα πρώτα βήματα ώστε να αφήσει το αποτύπωμά της στη μελέτη και κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Εφαρμογές μέσω των οποίων ανακατασκευάζονται εικονικά αρχαιολογικοί χώροι και συνδυάζονται με τον πραγματικό κόσμο ή δημιουργούν ένα εικονικό μουσείο αποτελούν κάποιες από τις ήδη υπάρχουσες συνεισφορές της τεχνολογίας αυτής. Με βάση το φυσικό περιβάλλον, η τεχνολογία αυτή μπορεί να προσαρμόσει το εικονικό και να προσφέρει στον χρήστη δυνατότητες και πληροφορίες με έναν πραγματικά μοναδικό τρόπο.

Οι δυνατότητες της επαυξημένης πραγματικότητας δεν θα μπορούσαν να μην αξιοποιηθούν από τον κλάδο των εκπαιδευτικών παιχνιδιών. Οι χρήστες έχουν την ευχέρεια να χρησιμοποιήσουν το φυσικό τους περιβάλλον και να το συνδυάσουν με τον εικονικό κόσμο προσφέροντας στο εκάστοτε παιχνίδι τη δυνατότητα να πετύχει ακόμα πιο αποτελεσματικά του εκπαιδευτικούς του στόχους. Εφαρμογές όπως το Taggling θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν την μοναδική συσχέτιση μεταξύ του πραγματικού και του ψηφιακού κόσμου. Το ερευνητικό ερώτημα λοιπόν που γεννάται και καλούμαστε να απαντήσουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, διατυπώνεται ως εξής:

Είναι δυνατό χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αιχμής της επαυξημένης πραγματικότητας να υλοποιηθεί ένα εικονικό εκπαιδευτικό παιχνίδι πολιτιστικής κληρονομιάς με βάση του Taggling; Εάν ναι, πως θα επηρεάζεται η απόδοση των χρηστών και αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών στόχων;

Η απάντηση στο ερώτημα αυτό μπορεί να αποδοθεί μέσω της χρήσης ενός εργαλείου που έχει αναδειχθεί ως το κορυφαίο στον κλάδο της επαυξημένης πραγματικότητα. Το εργαλείο αυτό είναι η φορητή συσκευή κεφαλής Microsoft HoloLens. Η παρούσα διπλωματική εργασία λοιπόν υλοποιεί και αξιολογεί μία έκδοση του εκπαιδευτικού παιχνιδιού Taggling στον χώρο της επαυξημένης πραγματικότητας.

1.1 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία είναι χωρισμένη σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάσαμε την εισαγωγή και το ερευνητικό ερώτημα της διπλωματικής εργασίας, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τη σχεδίαση και την υλοποίηση του παιχνιδιού Taggling σε περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την αξιολόγηση του παιχνιδιού, και στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις μελλοντικές προεκτάσεις και τον επίλογο της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό - Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε το θεωρητικό και τεχνολογικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα θα επικεντρωθούμε στα εκπαιδευτικά παιχνίδια και τον τρόπο που αυτά χρησιμοποιούνται στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς (Ενότητα 2.1), θα παρουσιάσουμε το πλαίσιο της εκτεταμένης πραγματικότητας και θα δώσουμε έμφαση στις έννοιες της εικονικής, επαυξημένης, και μικτής πραγματικότητας (Ενότητα 2.2), και τέλος θα παρουσιάσουμε τη συσκευή μικτής πραγματικότητας Microsoft HoloLens καθώς και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη εφαρμογών για αυτή τη συσκευή (Ενότητα 2.3).

2.1 Εκπαιδευτικά Παιχνίδια

2.1.1 Ορισμός

Η εκπαιδευτική διαδικασία υφίσταται πληθώρα μεταβολών κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Η ανάγκη για την αναθεώρηση των παραδοσιακών μεθόδων γεννήθηκε από τα τεράστια τεχνολογικά άλματα που πραγματοποιούνται τα τελευταία χρόνια. Κανείς δεν μπορεί να παραγνωρίσει την επιρροή που ασκεί ο αχανής χώρος του Διαδικτύου στον τρόπο σκέψης του σύγχρονου ανθρώπου και το γεγονός ότι δυσχεραίνεται το έργο σημαντικών πνευματικών διαδικασιών όπως αυτή της μάθησης, αφού δημιουργείται ένα περίπλοκο τοπίο που απαιτεί την ανάπτυξη νέων ικανοτήτων [24]. Όμως, παρά τις δυσκολίες, μέσω των νέων τεχνολογιών προσφέρονται τα εργαλεία για την πλοήγηση σε αυτό το πρωτοφανές περιβάλλον και για την πραγματοποίηση βημάτων προόδου στην μορφωτική διαδικασία [24].

Επιπλέον, η παραδοσιακή εκπαίδευση στοχεύει στην ανάπτυξη των λεγόμενων "hard skills", δηλαδή των γνώσεων και δεξιοτήτων πάνω σε συγκεκριμένους επιστη-

μονικούς κλάδους, ενώ αποτυγχάνει στην ενδυνάμωση των "soft skills", δηλαδή των ικανοτήτων για επικοινωνία, επίλυση προβλημάτων και ομαδική εργασία [24]. Επομένως, χωρίς την αναθεώρηση των σημερινών μαθησιακών δογμάτων και χωρίς την προσθήκη νέων, εναλλακτικών μεθόδων, αφαιρείται από τον σύγχρονο άνθρωπο η δυνατότητα χρήσης εξαιρετικά σημαντικών γνωστικών εργαλείων. Τα κλασικά μοντέλα μάθησης, λοιπόν, κατά τα οποία ένα άτομο (δάσκαλος) μεταδίδει γνώση σε ένα άλλο (μαθητής), δεν αρκούν για να προσφέρουν τις βέλτιστες λύσεις [50].

Οι ιλιγγιώδεις τεχνολογικές ανακαλύψεις των τελευταίων χρόνων προσφέρουν πλήθος νέων μεθόδων για την βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας της μάθησης. Νέες τεχνολογίες επιτρέπουν την χρήση εννοιών όπως αυτή της επαυξημένης πραγματικότητας συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς στο ευρύ κοινό. Ουσιαστικά, διευκολύνεται η επίτευξη των εκπαιδευτικών στόχων μέσω της ψυχαγωγίας του χρήστη λόγω της χρήσης των γραφικών και των διάφορων λειτουργιών που προσφέρονται από τις συσκευές της επαυξημένης πραγματικότητας [50].

Τα εκπαιδευτικά παιχνίδια πραγματώνουν αυτήν την ανάγκη για εναλλακτικές μεθόδους μάθησης και συνδυάζοντας την τεχνολογία δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την βελτίωση των εκπαιδευτικών μοντέλων. Έχει παρατηρηθεί ότι δίνουν μεγαλύτερο κίνητρο αφού δίνουν την δυνατότητα για μάθηση σε συνδυασμό με την ψυχαγωγία [55].

2.1.2 Ηλεκτρονικά Εκπαιδευτικά Παιχνίδια

Όπως προαναφέρθηκε, η ανάγκη για αμεσότερες και αποτελεσματικότερες μεθόδους μάθησης απαιτεί, τον ενεργό ρόλο της τεχνολογίας. Η πλούσια διαθεσιμότητα εργαλείων ανάλυσης δεδομένων, προσομοιώσεων, εργαλείων μικτής πραγματικότητας, εκπαιδευτικών παιχνιδιών και εργαλείων για συνεργατική μάθηση αποδεικνύουν τις εντυπωσιακές δυνατότητες της σύγχρονης τεχνολογίας.

Η αποτελεσματικότητα και η δυναμική των ηλεκτρονικών εκπαιδευτικών παιχνιδιών οφείλεται στις δυνατότητες για εικονική αναπαράσταση της πληροφορίας, στους μηχανισμούς που προωθούν την συνεργασία και στην ψυχαγωγία. Τα οφέλη λοιπόν των εκπαιδευτικών παιχνιδιών, δηλαδή ηλεκτρονικών παιχνιδιών με εκπαιδευτικό στόχο, πολλαπλασιάζονται με την χρήση τεχνολογικών μέσων [1]. Ο νέος αυτός κλάδος εξερευνά τον τρόπο όχι μόνο για δημιουργία των κατάλληλων κινήτρων για μάθηση αλλά και την παροχή των δυνατοτήτων για πλούσια μαθησιακά περιβάλλοντα που προωθούν την κατανόηση περίπλοκων προβλημάτων [24].

Η προσαρμοστικότητα και η τεράστια ποικιλία κλάδων στους οποίους μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα εκπαιδευτικά παιχνίδια αποτελούν τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματά τους. Εφαρμογές στον χώρο της ιστορίας και του πολιτισμού πολλαπλασιάζονται συνεχώς. Εκπαιδευτικά παιχνίδια στους κλάδους της ιατρικής και της βιολογίας ση-

μειώνουν και αυτά συνεχή πρόοδο. Επομένως, εμφανίζεται η ανάγκη για εργαλεία τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν εκπαιδευτικά παιχνίδια πέρα από τον συνηθισμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παιχνίδια που λειτουργούν, λοιπόν, σε φορητές συσκευές (κινητά τηλέφωνα, ταβλετ κλπ), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα στους χώρους ενός μουσείου ξεκλειδώνουν τις βέλτιστες δυνατότητες των εργαλείων αυτών.

2.1.3 Παιχνίδια και Πολιτιστική Κληρονομιά

Τα τελευταία χρόνια, οι μέθοδοι μελέτης και κατανόησης της πολιτιστικής κληρονομιάς υφίστανται συνεχείς μεταβολές. Όσον αφορά την έρευνα και εξαγωγή συμπερασμάτων, έχει εμφανιστεί μια εντυπωσιακή ποικιλία εφαρμογών από τον εντοπισμό και την ανάλυση αρχαιολογικών χώρων μέχρι εξέταση βιολογικών ευρημάτων [8]. Σχετικά με την εξαιρετικά χρήσιμη αναπαράσταση και απεικόνιση των εκάστοτε συμπερασμάτων, οι τεχνολογίες της μικτής πραγματικότητας προσφέρουν αποδεδειγμένα χρήσιμες λύσεις.

Τα εκπαιδευτικά παιχνίδια προσφέρουν μία νέα διάσταση στις τεχνολογίες που συνδέονται με την πολιτιστική κληρονομιά, αφού ασχολούνται με την επαφή και γνωριμία του κοινού με τις τέχνες και τα πολιτισμικά ευρήματα. Η επίτευξη των στόχων τους βασίζεται στην απόκτηση των απαραίτητων γνώσεων από τον χρήστη με την ξεκάθαρη οργάνωση του χώρου ή καλύτερα του εικονικού κόσμου (Virtual World) και την δημιουργία ενός αριθμού από στόχους στον χώρο αυτόν [4].

2.1.4 Χωροευαίσθητα παιχνίδια

Τα ηλεκτρονικά εκπαιδευτικά παιχνίδια περιλαμβάνουν μία πολύ ενδιαφέρουσα υποκατηγορία, της οποίας η λειτουργία βασίζεται στον χώρο τον οποίο βρίσκεται ο χρήστης. Τα παιχνίδια αυτά ονομάζονται χωροευαίσθητα (location-based) και στόχος τους αποτελεί ο συνδυασμός της μάθησης με την διασκέδαση σε χώρους πολιτισμού και μουσεία [17]. Υπάρχουν μάλιστα, παραδείγματα εφαρμογών όπως τα Storyhunt in Tzoumerka και το If...in Malvasia [43] οι οποίες λαμβάνουν χώρα εντός ολόκληρων οικισμών οι οποίοι προφανώς διαθέτουν κάποιο πολιτισμικό και ιστορικό ενδιαφέρον.

Τα χωροευαίσθητα παιχνίδια μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, με βάση την συλλογιστική και τους κύριους στόχους τους [2]:

1. Παιχνίδια με κυριότερο στόχο την διασκέδαση (ludic tradition) [6],[5].

2. Εφαρμογές με αποκλειστικά εκπαιδευτικό χαρακτήρα (pedagogic tradition).

3. Το υβρίδιο των δύο παραπάνω περιπτώσεων όπου η διασκέδαση και η μάθηση έχουν παρόμοια σπουδαιότητα (hybrid tradition) [30].

Στην πρώτη κατηγορία, τα παιχνίδια διαθέτουν μία ξεκάθαρη πλοκή ή οποία στοχεύει πρωταρχικά να διασκεδάσει τον χρήστη. Ωστόσο μέσω ενός ελκυστικού σχεδιασμού μέσω του οποίου πιθανώς θα απορροφηθεί ο χρήστης, μπορούν να τον οδηγήσουν στην λήψη πολιτισμικών πληροφοριών και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων πετυχαίνοντας παράπλευρους εκπαιδευτικούς στόχους. Τα παιχνίδια αυτά χωρίζονται σε τρεις κύριες υποκατηγορίες που χαρακτηρίζονται από τον διαφορετικό τρόπο παιχνιδιού [36]:

- Το κυνήγι θησαυρού (treasure hunt) στα οποία οι χρήστες προσπαθούν να βρουν διάφορα αντικείμενα σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.
- Παιχνίδια δράσης όπου η πλοκή αποκτά δευτερεύοντα ρόλο και δίνει την θέση της στην δράση [2]. Τα μαθησιακά κέρδη για τους χρήστες επικεντρώνονται στην στρατηγική σκέψη και την λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, συνήθως απαιτείται από τον χρήστη έντονη φυσική δραστηριότητα και κίνηση στον πραγματικό χώρο.
- Τα παιχνίδια ρόλων (role playing games) όπου η πλοκή έχει πρωτεύουσα σημασία και ο χρήστης αποκτά έναν συγκεκριμένο ρόλο σύμφωνα με τον οποίον κινείται [14].

Όσον αφορά την λιγότερο δημοφιλή κατηγορία, δηλαδή τις εφαρμογές με αποκλειστικά εκπαιδευτικό χαρακτήρα, η διασκέδαση δεν αποτελεί στόχο των σχεδιαστών τους [2]. Καίριας σημασίας θεωρείται η ενεργοποίηση του χρήστη με αποκλειστικό στόχο την μάθηση. Κι εδώ προκύπτουν τρεις κύριες υποκατηγορίες:

- Τα παιχνίδια εξομοίωσης (participatory simulation) αποτελούν ένα πολύ συνηθισμένο παράδειγμα και μοιάζουν με τα παιχνίδια ρόλων που προαναφέρθηκαν [14]. Με τον ενεργό ρόλο του χρήστη διευκολύνεται η κατανόηση εννοιών σε περίπλοκες μαθησιακές καταστάσεις [53].
- Οι εφαρμογές εκμάθησης ξένων γλωσσών, οι οποίες στοχεύουν μέσω της χρήσης ρεαλιστικών καταστάσεων στην αποτελεσματικότερη μαθησιακή εμπειρία μίας γλώσσας [29].
- Παιχνίδια δράσης τα οποία ναι μεν θυμίζουν συνήθως τα αντίστοιχα παιχνίδια δράσης της προηγούμενης κατηγορίας αφού απαιτούν φυσική δραστηριότητα αλλά στοχεύουν, όπως είναι προφανές, αποκλειστικά στην μάθηση [51].

Τελειώνοντας με τις κατηγορίες των χωροευαίσθητων παιχνιδιών, πρέπει να αναφερθεί αυτή των υβριδικών εφαρμογών. Συνήθως σχεδιάζονται για το ευρύ κοινό από οργανισμούς, εκπαιδευτικά ιδρύματα που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά και μουσεία [45]. Και σε αυτήν την κατηγορία μπορούν να εντοπιστούν τρία υποείδη [47]:

- Τα διαδραστικά παιχνίδια μουσείων (Museum mobile interactive games), τα οποία πέρα από τα στοιχεία σχετικά με τα εκθέματα, παρέχουν στους επισκέπτες τα κατάλληλα εργαλεία για να οργανώσουν και να ελέγξουν την παρεχόμενη πληροφορία [2] [30].

- Τα παιχνίδια ρόλων (Museum role playing games), όπου χρησιμοποιούνται πιο λεπτομερή σενάρια και αφηγηματικές πλοκές με τους επισκέπτες να αποκτούν ένα συγκεκριμένο ρόλο. Επίσης, μπορούν να πάρουν την μορφή παιχνιδιών μυστηρίου, με τους επισκέπτες αναλαμβάνουν ξεχωριστούς ρόλους εντός μία ομάδας, προσπαθώντας λόγου χάρη, να λύσουν ένα έγκλημα [25]. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και παιχνίδια όπως το Museum Scrabble [44] τα οποία αναγκάζουν τον χρήστη αφού αναλύσει τα εκθέματα ενός μουσείου, να τα συσχετίσει με διάφορες ιδέες και να τα τοποθετήσει εντός κάποιου γενικού ιστορικού ή πολιτισμικού πλαισίου.

- Τα παιχνίδια φαντασίας (Mobile Fiction) αποτελούν μία υποκατηγορία, της οποίας οι εφαρμογές οδηγούν τον χρήστη μέσω μιας ξεκάθαρης αφηγηματικής πλοκής. Οι διαδραστικές δυνατότητες βασίζονται σε αυτήν την πλοκή. Ο χρήστης ακολουθεί το σενάριο κινούμενος στον χώρο και λύνοντας γρίφους ή παζλ. Εμφανίζονται όπως είναι φυσικό, και εδώ παραδείγματα παιχνιδιών μυστηρίου και επίλυσης εγκληματικών υποθέσεων [41].

Τα χωροευαίσθητα εκπαιδευτικά παιχνίδια ναι μεν αποτελούν μία πολυποίκιλη ομάδα εκπαιδευτικών εφαρμογών, τα οποία κατέχουν καίριο ρόλο στην ανάδειξη της πολιτισμικής κληρονομιάς αλλά παρουσιάζουν μία σειρά από προβλήματα.

Είτε ένα παιχνίδι έχει σχεδιαστεί για εσωτερικό χώρο όπως ένα μουσείο είτε για έναν εξωτερικό, τα διάφορα χαρακτηριστικά του χώρου αποτελούν δημιουργούν συχνά προβλήματα. Ξεκινώντας με τον σχεδιασμό, η επιστημονική έρευνα είναι διχασμένη όσον αφορά την σπουδαιότητα της αφηγηματικής πλοκής και του σεναρίου στο τελικό μαθησιακό αποτέλεσμα. Επίσης, παρατηρείται ότι η ρόλος της πλοκής - η οποία καθορίζεται από τον σχεδιαστή - με αυτόν της διαδραστικότητας - η οποία καθορίζεται από τα κίνητρα του χρήστη - έχουν αντιστρόφως ανάλογη σχέση [2].

Ακόμα, γεννιόνται ερωτήματα σχετικά με τα χωρικά χαρακτηριστικά: Είναι οποιοσδήποτε χώρος κατάλληλος για ένα χωροευαίσθητο παιχνίδι [2]· Επιπλέον, σχεδόν όλα τα παιχνίδια αυτού του είδους είναι σχεδιασμένα για έναν συγκεκριμένο χώρο. Δηλαδή προκύπτει ο περιορισμός ότι ο εκάστοτε αρχαιολογικός χώρος ή το εκάστοτε μουσείο αποτελούν τα μοναδικά μέρη που οι εφαρμογές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στους χώρους αυτούς συνήθως συρρέει πλήθος κόσμου και επικρατεί υψηλός θόρυβος πράγμα που μόνο αρνητικό ρόλο μπορεί να έχει ως προς την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών. Υψηλό βαθμό δυσκολίας προσθέτουν και οι συνθήκες των χώρων

αυτών, όπως λόγου χάριν το άπλετο φως ενός αρχαιολογικού χώρου ή το υπερβολικά χαμηλό φως σε δωμάτια μερικών μουσείων απαιτούν την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα και ευελιξία των χρησιμοποιούμενων τεχνολογικών μέσων [12].

Τα ζητήματα αυτά λοιπόν πρέπει να εξεταστούν και να ερευνηθεί η δυνατότητα για χρήση των απαραίτητων τεχνολογιών οι οποίες θα αντιμετωπίσουν τις προαναφερθείσες ιδιαιτερότητες και θα δώσουν την ευκαιρία χρήσης εκπαιδευτικών παιχνιδιών πέρα από τα στενά όρια των χώρων πολιτισμού.

2.2 Εκτεταμένη Πραγματικότητα

2.2.1 Εικονική Πραγματικότητα

Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality - VR) αποτελεί μία όλο και πιο δημοφιλής τάση με εργαλεία όπως το Oculus Rift και το HTC Vive να έχουν ήδη αναδειχθεί σε μεγάλες εμπορικές επιτυχίες. Χρησιμοποιώντας μία τέτοια συσκευή, ο χρήστης εισέρχεται σε έναν τελείως εικονικό κόσμο ο οποίος δεν συσχετίζεται με το περιβάλλον του χρήστη. Η νέα αυτή πραγματικότητα αποτελεί το σύνολο των ερεθισμάτων που λαμβάνουν οι αισθήσεις του (όραση, ακοή, κλπ.) αποκλειστικά από την συσκευή που χρησιμοποιεί. Η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμογές σε δύο κύριους τομείς:

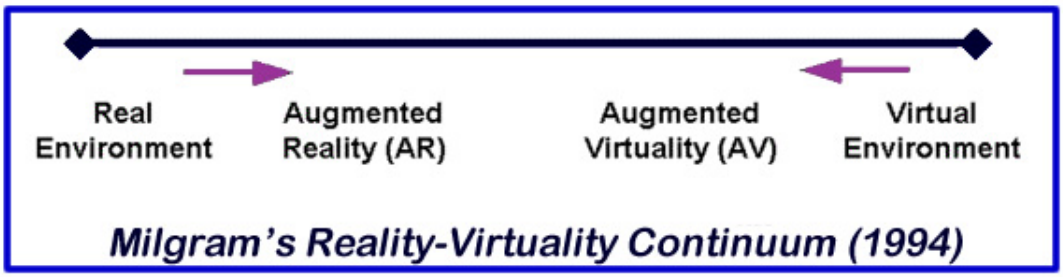
- Στην διασκέδαση και ψυχαγωγία μέσω της δημιουργίας εικονικών κόσμων σε βιντεοπαιχνίδια [13], [52], [48].
- Σε εκπαιδευτικούς σκοπούς μέσω προσομοιώσεων πραγματικών καταστάσεων [37], [10], [31].

2.2.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα

Η έννοια της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality - AR), διαφέρει σε μεγάλο βαθμό με αυτήν της εικονικής. Πρώτα απ΄ όλα, ο χρήστης μίας συσκευής επαυξημένης πραγματικότητας διατηρεί επαφή με τον πραγματικό κόσμο χρησιμοποιώντας κανονικά τις αισθήσεις του (όραση, ακοή, κλπ.). Τα αντικείμενα του εικονικού κόσμου προβάλλονται μέσω των κατάλληλων γραφικών ενσωματωμένα στο πραγματικό, δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να ξεχωρίσει τις δύο πραγματικότητες. Η ενσωμάτωση αυτή πραγματώνεται μέσω της χρήσης στρωμάτων (layers) πάνω στον πραγματικό κόσμο από την εκάστοτε συσκευή. Όπως είναι προφανές, οι εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής έχουν ήδη επεκταθεί σε αρκετούς κλάδους.

- Στην διασκέδαση και ψυχαγωγία με πολύ γνωστό παράδειγμα αποτελεί η εξαιρετικά δημοφιλής εφαρμογή Pokemon Go [40].

- Στον χώρο της τηλεόρασης όπου χρησιμοποιείται σε αθλητικές μεταδόσεις και δελτία καιρού.
- Στην εκπαίδευση, αφού η τεχνολογία αυτή συμβάλλει στην απεικόνιση ιδεών και εννοιών διαφορετικά και πολλές φορές πιο αποτελεσματικά σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ιδιαίτερα για τις μικρότερες ηλικίες, η επαφή με συσκευές που χρησιμοποιούν επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί αποδεδειγμένα να αυξήσει το κίνητρο και το ενδιαφέρον για το εκπαιδευτικό αντικείμενο [16] [54].
- Στον χώρο της υγείας, αφού προσφέρεται ένας νέος τρόπος απεικόνισης του ανθρωπίνου σώματος. Επίσης, μπορεί να συμβάλλει στην πληρέστερη επικοινωνία μεταξύ του ιατρικού προσωπικού και να πολλαπλασιάσει τις δυνατότητες της τηλεϊατρικής. [18] [38] [46].
- Στον χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς και των τεχνών με εφαρμογές όπως το Civilisations AR [11]. Στον τομέα αυτό, η επαυξημένη πραγματικότητα προσφέρει σε χώρους πολιτισμού και μουσεία την ευκαιρία να περάσουν σε μία νέα εποχή εικονικής μεταφοράς των εκθεμάτων τους πέρα από τα στενά όρια του εκάστοτε χώρου [3].
- Στον σχεδιασμό εσωτερικών χώρων με καινοτόμες εφαρμογές όπως το Amikasa [20] και το IKEA Place.

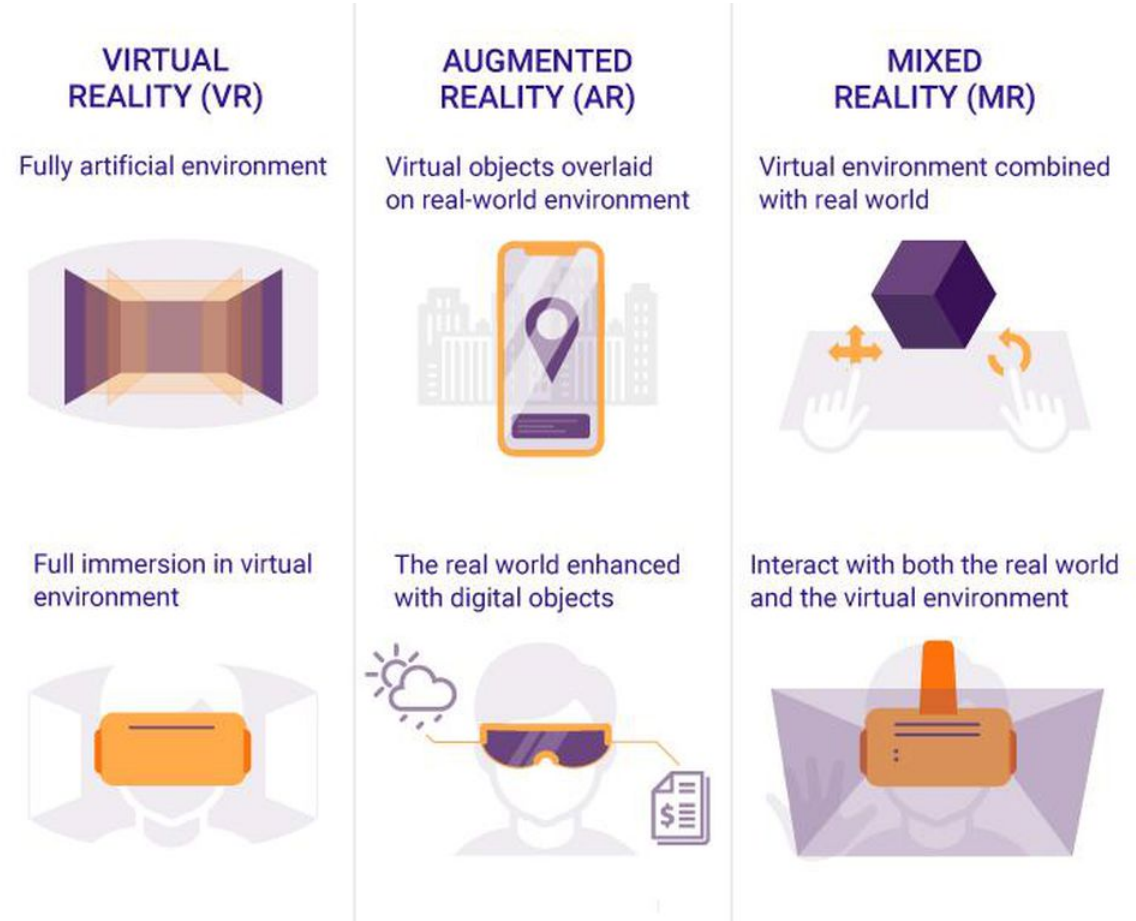


Σχήμα 2.1: Η κλίμακα μεταξύ πραγματικού και εικονικού κόσμου όπως προτάθηκε από τους Paul Milgram και Fumio Kishino [35].

2.2.3 Μικτή Πραγματικότητα

Η μικτή πραγματικότητα (Mixed Reality - MR) αποτελεί τον χώρο με τις σπουδαιότερες εξελίξεις τα τελευταία χρόνια. Θα μπορούσε να δοθεί ένας απλοϊκός και αφαιρετικός ορισμός: ¨Η Μικτή Πραγματικότητα αποτελεί μία μίξη των τεχνολογιών της επαυξημένης και της εικονικής πραγματικότητας¨. Ουσιαστικά, από την μία μπορεί να θεωρηθεί ως μία εξελιγμένη εκδοχή της επαυξημένης πραγματικότητας, αφού

τα αντικείμενα που εμφανίζονται μέσω γραφικών στον χρήστη συσκευών μικτής πραγματικότητας, έχουν την δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με τον πραγματικό κόσμο. Από την άλλη, προσφέρει την ευκαιρία δημιουργίας εξ' ολοκλήρου εικονικών κόσμων -όπως και η εικονική πραγματικότητα- προσαρμοσμένων, όμως, στο περιβάλλον του χρήστη. Καθίσταται λοιπόν, προφανής η σπουδαίος ρόλος που κατέχει το περιβάλλον του χρήστη για την τεχνολογία αυτή. Πιο συγκεκριμένα, οι εκάστοτε συσκευές μικτής πραγματικότητας μέσω των κατάλληλων εργαλείων, έχουν την δυνατότητα σάρωσης του περιβάλλοντος και δημιουργίας ενός εικονικού με βάση τα ληφθέντα δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό, προσαρμόζεται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά ο εικονικός κόσμος στον πραγματικό. Η συσχέτιση και ο συνδυασμός λοιπόν, των δύο κόσμων αποτελεί την ουσία της μικτής πραγματικότητας.



Σχήμα 2.2: Συνοπτική απεικόνιση των τριών τεχνολογιών XR και των βασικών διαφορών τους [15].

Οι συσκευές που εφαρμόζουν την τεχνολογία αυτή είναι προφανώς φορητές διατάξεις κεφαλής (ή αλλιώς Headsets) με τα Microsoft HoloLens 1 και 2 και τα Magic Leap 1 να αποτελούν δύο δημοφιλή συστήματα στην αγορά. Μέσω αυτών, η μικτή

πραγματικότητα έχει καταφέρει να επεκτείνει τις εφαρμογές της σε διάφορους κλάδους:

- Στην διασκέδαση και ψυχαγωγία μέσω βιντεοπαιχνιδιών [39], [21] τα οποία προσφέρουν πρωτότυπες οπτικοακουστικές εμπειρίες χρησιμοποιώντας καινοτόμα το περιβάλλον του χρήστη.
- Στην επικοινωνία μέσω εφαρμογών που ουσιαστικά προβάλλουν τον συνομιλητή ως ολόγραμμα στον χώρο [9], [23].
- Στον χώρο της εκπαίδευσης όπου προσφέρονται νέες καινοτόμες μέθοδοι αναπαράστασης ιδεών και εννοιών από διαφορετική οπτική γωνία. Επίσης, όπως και στην περίπτωση της εικονικής πραγματικότητας αυξάνεται συνεχώς η δημοφιλία των προσομοιώσεων [27], [28].
- Στην βιομηχανία μέσω των εξαιρετικών δυνατοτήτων της μικτής πραγματικότητας στον σχεδιασμό προϊόντων, στην αναπαράσταση ιδεών και στην τρισδιάστατη απεικόνιση δεδομένων data visualization. Όπως και με την επαυξημένη πραγματικότητα, έτσι και εδώ, είναι προφανή τα οφέλη στον χώρο της αρχιτεκτονικής και στον σχεδιασμό εσωτερικών χώρων και όχι μόνο μέσω της συσχέτισης του φυσικού με τον εικονικό κόσμο [42], [26].

2.3 Microsoft HoloLens

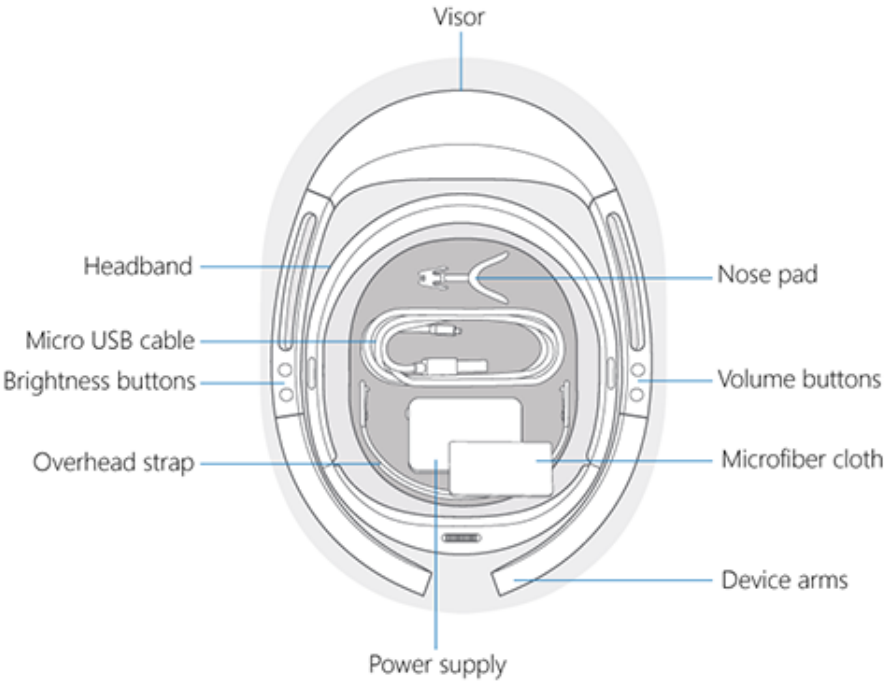
Λόγω των σπουδαίων αλμάτων των τελευταίων χρόνων στους χώρους της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, τα οποία οδήγησαν στην καινοτομία της μικτής πραγματικότητας, εμφανίστηκε η ανάγκη για την παραγωγή και κυκλοφορία συσκευών που θα υποστήριζαν την τεχνολογία μικτής πραγματικότητας. Για τον λόγο αυτό, ο τεχνολογικός κολοσσός της Microsoft ξεκίνησε την έρευνα για την ανάπτυξη ενός εργαλείου το οποίο θα ικανοποιήσει την ζήτηση της αγοράς. Τα πρώτα βήματα έγιναν με ένα πρόσθετο (add-on) για την κονσόλα Xbox της Microsoft το οποίο κυκλοφόρησε το 2010. Το εργαλείο αυτό είναι εξοπλισμένο με κάμερες, μικρόφωνα και υπέρυθρους αισθητήρες, καταφέρνοντας με την χρήση του κατάλληλου λογισμικού την αναγνώριση χειρονομιών, ομιλίας και των κινήσεων του σώματος έως τεσσάρων χρηστών ταυτόχρονα.

Στην συνέχεια, τον Μάρτιο του 2016, η ίδια εταιρία προχώρησε στην κυκλοφορία των Hololens (σε Development Edition) στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Τον Οκτώβριο του ίδιου έτους, το προϊόν έγινε διαθέσιμο και στις Ευρωπαϊκές χώρες. Ένα ζευγάρι των Hololens κοστίζει 3000 δολάρια με την έκδοση για επαγγελματική χρήση (Commercial Suite) φτάνει στα 5000 δολάρια και την Microsoft να δίνει την δυνατότητα ενοικίασης για ένα χρονικό διάστημα σε ιδιώτες.

Σχήμα 2.3: Το Microsoft HoloLens Headset.

2.3.1 Περιγραφή συσκευής

Σε πρώτο επίπεδο, η συσκευή μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύρια κομμάτια: την ζώνη (headband) που περιβάλλει το κεφάλι, αλλά χωρίς να στηρίζεται στα αυτιά και την προσωπίδα (visor), η οποία επιτρέπει στον χρήστη να βλέπει. Μέσω του σχεδιασμού του και του χαμηλού βάρους των 579 γραμμαρίων επιτρέπει την άνετη κίνηση του κεφαλιού [34].



Σχήμα 2.4: Τα διάφορα μέρη των Microsoft HoloLens.

Μέσω μίας ροδέλας στην ζώνη μεταβάλλεται η διάμετρος του εσωτερικού δακτυλίου ώστε να προσαρμοστούν σωστά και άνετα τα Hololens στο κεφάλι του χρήστη [34]. Εντός της ζώνης βρίσκονται τα ηλεκτρονικά μέρη, δηλαδή οι επεξεργαστές, η μνήμη, οι κάμερες και τα ηχεία, με τα τελευταία να βρίσκονται πάνω από το κάθε αυτί. Τα ηχεία είναι σχεδιασμένα να εφαρμόζουν την επαναστατική τεχνολογία του χωρικού ήχου (Spatial Sound), προσφέροντας μία μοναδική ακουστική εμπειρία αφού ταυτόχρονα με την οπτική αντίληψη των εικονικών αντικειμένων, αναπαρίστανται και οι απαραίτητοι ήχοι στον χώρο δίνοντας την αίσθηση ότι έρχονται από διάφορες κατευθύνσεις.

Στην αριστερή μεριά της ζώνης υπάρχουν δύο κουμπιά (Brightness buttons) που ρυθμίζουν την φωτεινότητα και στην δεξιά μεριά ακόμα δύο (Volume buttons) που αυξομειώνουν την ένταση του ήχου [34]. Επίσης, προφανώς υπάρχει και ένα κουμπί για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του συστήματος, το οποίο βρίσκεται πίσω και δεξιά στην ζώνη.

Όσον αφορά τα εσωτερικά ηλεκτρονικά μέρη, τα Hololens διαθέτουν μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας (central processing unit - CPU), μία μονάδα επεξεργασίας γραφικών (graphics processing unit - GPU), και την καινοτόμα μονάδα ολογραφικής επεξεργασίας (holographic processing unit - HPU). Η τελευταία αναπτύχθηκε αποκλειστικά για την συσκευή αυτή και αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων που έρχονται από τους αισθητήρες [19]. Προωθεί τα επεξεργασμένα αυτά δεδομένα αυτά στην CPU, και αυτή με την σειρά της στα προγράμματα που λειτουργούν εκείνη την στιγμή και χρειάζονται τις απαραίτητες πληροφορίες από τους αισθητήρες [7]. Επιπροσθέτως, το ζευγάρι γυαλιών είναι εφοδιασμένα με 2 Giga bytes RAM, 1 Giga byte RAM που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από την μονάδα ολογραφικής επεξεργασίας και μνήμη 64 Giga bytes .

Σχήμα 2.5: Η μητρική κάρτα με τις μονάδες επεξεργασίας [33]).

Εντός της προσωπίδας βρίσκονται 2 φακοί πάνω στους οποίους προβάλλονται τα ολογράμματα με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται η απαραίτητη ψευδαίσθηση για την τρισδιάστατη απεικόνιση. Η ανάλυση φτάνει τα 2.3 Mega Pixels και υπάρχει η δυνατότητα αυτόματου καλιμπραρίσματος της απόστασης των ματιών από την οθόνη έτσι ώστε να προβάλλονται τα ολογράμματα προσαρμοσμένα στην ανατομία του χρήστη

[34].

Σχήμα 2.6: Το σύστημα προβολής ολογραμμάτων [33]).

Όσον αφορά τις κάμερες, η συσκευή διαθέτει 4 κάμερες (2 από κάθε πλευρά) οι οποίες αναλαμβάνουν του έργο της περιβαλλοντικής αντίληψης, μία ακόμα για καταγραφή βίντεο και φωτογραφιών και μία μπροστινή υπέρυθρη κάμερα που σε συνδυασμό με έναν υπέρυθρο προβολέα laser επιτρέπει την αντίληψη του βάθους [34]. Η τελευταία λειτουργία αποτελεί ένα καίριας σημασίας χαρακτηριστικό, το οποίο δίνει την δυνατότητα για σάρωση του χώρου και των αντικειμένων του μέσω της εκπομπής υπέρυθρων ακτίνων και την λήψη τους από την αντίστοιχη κάμερα. Αυτό, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί ένα από τα κυριότερα γνωρίσματα των τεχνολογιών της μικτής πραγματικότητας.

Ακόμα υπάρχουν τέσσερα ξεχωριστά μικρόφωνα που εκτός τον άλλων, προσφέρουν την δυνατότητα αναγνώρισης ομιλίας και ανάπτυξης εφαρμογών οι οποίες δέχονται φωνητικές εντολές (voice commands).

Τελειώνοντας με την περιγραφή της συσκευής πρέπει να αναφερθεί η πολύ αποτελεσματική και μεγάλης σπουδαιότητας μονάδα αδρανειακής μέτρησης (inertial measurement unit - IMU) αποτελούμενη από ένα επιταχυνσιόμετρο (accelerometer), ένα γυροσκόπιο (gyroscope), και ένα μαγνητόμετρο (magnetometer). Σε συνδυασμό με τις κάμερες λοιπόν, οι αισθητήρες αυτοί είναι επιφορτισμένοι με το έργο της περιβαλλοντικής αντίληψης, προσφέροντας τις απαραίτητες πληροφορίες στην μονάδα ολογραφικής επεξεργασίας ώστε να τοποθετηθούν τα ολογράμματα των εικονικών αντικειμένων.

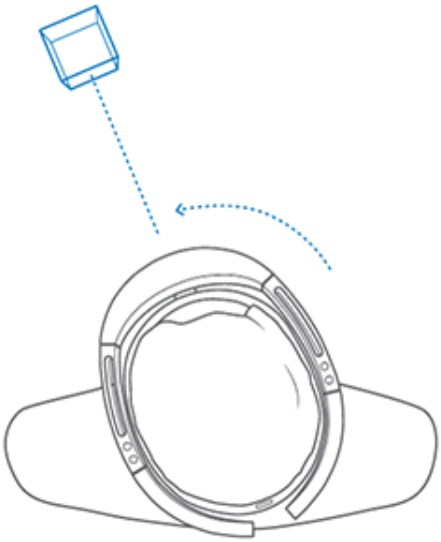
Σχήμα 2.7: Το σύστημα των αισθητήρων [33]).

2.3.2 Αλληλεπίδραση Χρήστη

Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με την συσκευή και κατ΄ επέκταση με τα ολογράμματα μέσω τριών τρόπων:

- Βλέμμα ή Gaze.
- Χειρονομίες ή Gestures.
- και φωνητικές εντολές ή voice commands.

Ο πρώτος τρόπος και πιο άμεσος τρόπος, δηλαδή το Gaze, μπορεί να γίνει αντιληπτός μέσω της παρακάτω λογικής: Στην κατεύθυνση προς την οποία κοιτάει ο χρήστης ή ακριβέστερα προς την οποία έχει στραμμένο το κεφάλι του εμφανίζεται ένας κέρσορας (μία κουκίδα), ο οποίος παίζει τον ίδιο ρόλο με τον κέρσορα της οθόνης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και βρίσκεται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα με αρχή ανάμεσα στα μάτια του χρήστη.

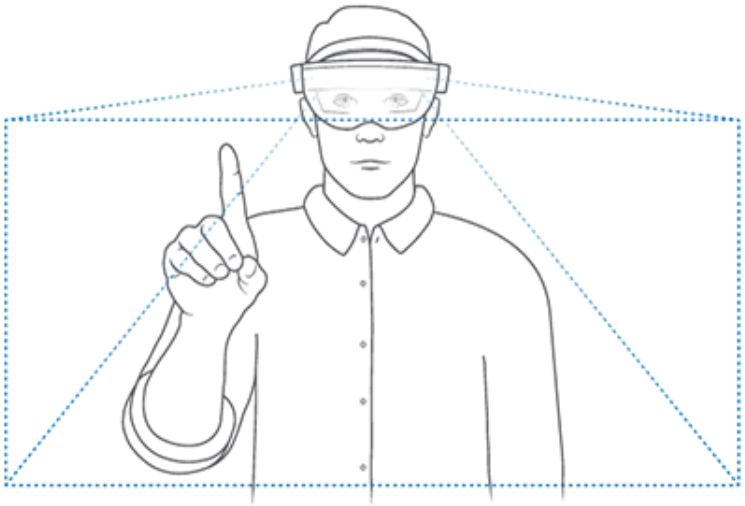


Σχήμα 2.8: Αλληλεπίδραση μέσω Gaze [33]).

Προχωρώντας στις χειρονομίες, τα HoloLens διαθέτουν τρεις διαφορετικές επιλογές:

- Το Air-Tap.
- Το Bloom.
- και το Tap and Hold .

Για την σωστή εκτέλεση οποιασδήποτε χειρονομίας υπάρχει μία βασική προϋπόθεση: Το χέρι του χρήστη πρέπει να είναι εντός ενός πλαισίου (Gesture Frame) έτσι ώστε η κάμερες της συσκευής να το αναγνωρίσουν όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τα HoloLens είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε όταν το χέρι βρεθεί εντός αυτού του πλαισίου να μεταβάλλουν το σχήμα του κέρσορα από κουκίδα σε ένα δαχτυλίδι. Με τον τρόπο αυτό, ο χρήστης μπορεί εύκολα να καταλάβει εάν η συσκευή είναι έτοιμη να αντιληφθεί την χειρονομία.



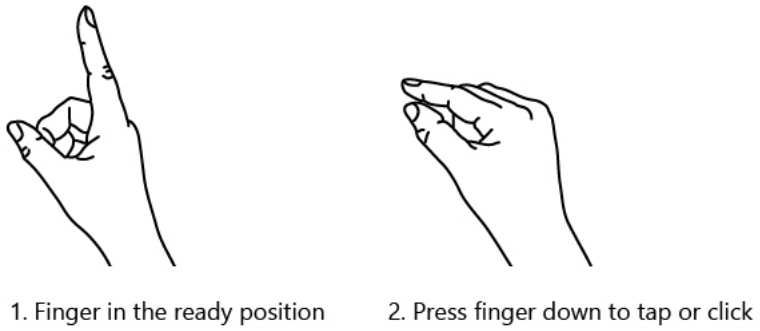
Σχήμα 2.9: Το πλαίσιο χειρονομιών των HoloLens [33].

Το Air-Tap αποτελεί την πιο βασική και συνηθισμένη χειρονομία των HoloLens και για να γίνει πιο κατανοητό, μπορεί να το αντιστοιχίσει κανείς με το αριστερό κλικ του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Για την ορθή λειτουργία του Air-Tap πρέπει αν ακολουθηθούν τα παρακάτω τρία βήματα [33]:

1. Ο χρήστης κάνει Gaze το αντικείμενο που θέλει να επιλέξει.
2. Υψώνει το δείκτη του χεριού του προς τα πάνω.
3. Air-Tap: Χαμηλώνει τον δείκτη και αμέσως τον υψώνει ξανα.

Με την επόμενη χειρονομία, το Bloom , δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ανοίξει και να κλείσει το βασικό μενού της έναρξης. Μάλιστα, με τον ίδιο τρόπο, μπορεί να σταματήσει την λειτουργία της εφαρμογής που λειτουργεί. Η χειρονομία αυτή εκτελείται μέσω δύο βημάτων:

1. Ο χρήστης κρατάει την παλάμη του κλειστή, όπως στην παρακάτω εικόνα.
2. Τα ανοίγει έτσι ώστε η παλάμη του να είναι ανοιχτή.



Σχήμα 2.10: Η λειτουργία Air-Tap [33].

Σχήμα 2.11: Η αρχική θέση του χεριού για το Bloom [33].

Η τελευταία χειρονομία, το Tap and Hold αποτελεί μία διαφορετική εκδοχή του Air-Tap . Όταν δηλαδή ο χρήστης κατεβάζει τον δείκτη του, τον κρατάει σταθερά κάτω χωρίς να τον ξανασηκώνει. Συνήθως χρησιμοποιείται για κύλιση - scroll και σύρσιμο - drag του δρομέα, zoom, (ξε)καρφίτσωμα -(un)pin, απεγκατάσταση εφαρμογών, αλλαγή μεγέθους, περιστροφή, μετακίνηση εφαρμογών και/ή ολογραμμάτων.

Άλλη μία μέθοδος επικοινωνίας του χρήστη με το σύστημα αποτελούν φωνητικές εντολές (voice commands). Όπως και με τις χειρονομίες έτσι και εδώ, ο χρήστης πρέπει πρώτα να κάνει Gaze στο αντικείμενο που θέλει. Φωνητικές εντολές αποτελούν μία συντομότερη χρονικά λύση κατά την χρήση του πληκτρολογίου. Τα HoloLens δίνουν την δυνατότητα χρήσης voice commands για πλοήγηση στο λειτουργικό τους σύστημα με έναν πολύ αποτελεσματικό και πολλές φορές πιο γρήγορο τρόπο από το Air-Tap . Μάλιστα, η χρήση των φωνητικών εντολών διευκολύνεται ακόμα περισ-

σότερο με την χρήση ενός πρακτικού συστήματος που ονομάζεται 'See it, say it' και εμφανίζει δίπλα από τα διάφορα κουμπιά την ετικέτα της φωνητικής εντολής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά από το Air-Tap .

2.3.3 Εργαλεία Ανάπτυξης Εφαρμογών των HoloLens

Unity

Η ανάπτυξη εφαρμογών στα HoloLens αποτέλεσε για την κατασκευάστρια εταιρία, την Microsoft το σημείο κλειδί για την εμπορική επιτυχία του προϊόντος. Όσο πιο εύκολη η ανάπτυξη μιας εφαρμογής για την συσκευή τόσο μεγαλύτερο το κίνητρο για τους επίδοξους προγραμματιστές να ασχοληθούν με την καινοτόμα αυτή τεχνολογία. Φυσικά, το ζήτημα με την περίπτωση των HoloLens αποτέλεσε η απουσία εργαλείων προγραμματισμού αποκλειστικά για εφαρμογές μικτής πραγματικότητας. Η Microsoft έλυσε το πρόβλημα αυτό μέσω της συνεργασίας της με την Unity , μία πλατφόρμα της Unity Technologies, δίνοντας την ευκαιρία ενός φιλικού περιβάλλοντος ανάπτυξης για στους επίδοξους προγραμματιστές.

Η Unity αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα εργαλεία ανάπτυξης βιντεοπαιχνιδιών (game engine) και εφαρμογών γενικότερα. Από τον Ιούνιο του 2005 που διατίθεται στο κοινό έφτασε σταδιακά στο σημείο να αναγνωρίζεται ως η δημοφιλέστερη πλατφόρμα ανάπτυξης παιχνιδιών στον κόσμο. Τα κυριότερα αίτια δημοφιλίας της Unity θεωρούνται η πληρότητα της παρεχόμενης τεκμηρίωσης (documentation), η αχανής κοινότητα με διάφορες ιστοσελίδες, πολυάριθμους χώρους συζήτησης (forums) και διδακτικού υλικού (tutorials). Μέσω αυτών των πλεονεκτημάτων, η πλατφόρμα της Unity θέτει στέρεες βάσεις για οποιονδήποτε νέο προγραμματιστή ο οποίος επιθυμεί να ασχοληθεί με την ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών. Η C# αποτελεί την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται και σε συνδυασμό με την ένα πολύ αποτελεσματικό σύστημα αποσφαλμάτωσης (debugging), η συγγραφή κώδικα διευκολύνεται κατά πολύ. Αυτήν την στιγμή χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις διαφορετικές εκδόσεις της πλατφόρμας: η 2017, η 2018, η 2019 με μικρές διαφορές η μεταξύ τους. Κάθε μία από αυτές τις εκδόσεις υπόκειται σε συχνές ανανεώσεις (τλυπδατες) για την επίλυση bugs και την προσθήκη νέων λειτουργιών.

Δομικά Στοιχεία (Unity Basics)

Η βασική λογική σύμφωνα με την οποία δομείται η πλατφόρμα της Unity είναι ιδέα του σχεδιασμού υψηλού επιπέδου. Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης μιας εφαρμογής, ο προγραμματιστής βασίζεται στον συνδυασμό κομματιών κώδικα (scripts) με διάφορες έννοιες και αντικείμενα που διατίθενται στην πλατφόρμα. Μέσα από τον συνδυασμό αυτό, η έννοιες του προγραμματιστή και του σχεδιαστή ταυτίζονται δίνοντας την ευκαιρία

ανάπτυξης παιχνιδιών και εφαρμογών, προϋποθέτοντας απλά μία επιφανειακή γνώση της γλώσσας προγραμματισμού. Επίσης, ο εκάστοτε δημιουργός οφείλει να εξετάζει την πορεία ανάπτυξης με έναν σφαιρικό τρόπο αφού δεν χρειάζεται να εργάζεται στα χαμηλά επίπεδα προγραμματισμού. Αυτή η επαναστατική και συνάμα σύγχρονη θεώρηση στην ανάπτυξη λογισμικού (software development) προσφέρει στην πλατφόρμα της Unity τεράστια ευελιξία και μπορεί να προστεθεί στους προαναφερθέντες λόγους της επιτυχίας της.

Τα αντικείμενα με τα οποία αναφέρθηκε παραπάνω ότι συνδυάζονται με τον κώδικα ανήκουν σε μία μεγάλη ομάδα με το όνομα GameObjects . Ένα GameObject αποτελεί την πιο θεμελιώδη έννοια σχεδιασμού αφού όλα τα αντικείμενα μίας εφαρμογής μπορούν να χαρακτηριστούν με αυτόν τον όρο 'ομπρέλα'. Σε κάθε αντικείμενο αυτού του τύπου μπορούν να του ανατεθούν διάφορες ιδιότητες που ονομάζονται Components, οι οποίες καθορίζουν την συμπεριφορά του στην εφαρμογή. Components θεωρούνται και τα κομμάτια κώδικα που αναθέτει ο προγραμματιστής στα GameObjects .

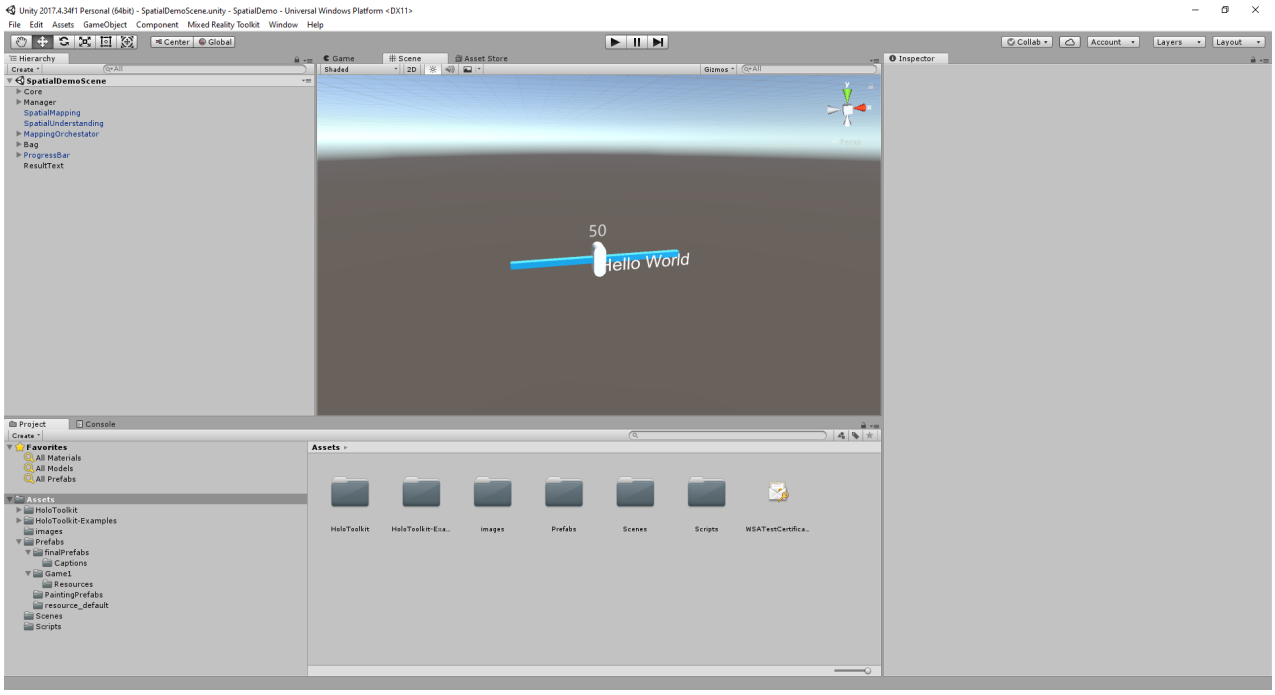
Ένας ακόμα βασικός όρος είναι αυτός του έργου (Project), το οποίο περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα και γενικότερα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή είτε αυτά είναι GameObjects , είτε υλικά Materials, είτε κομμάτια κώδικα (τλ^α Σςριπτς) κλπ. Οποιοδήποτε λοιπόν, αντικείμενο περιλαμβάνεται σε ένα έργο, ονομάζεταιAsset. Τα διάφορα περιβάλλοντα και επίπεδα της εφαρμογής που περιέχει ένα έργο, ονομάζονται σκηνές (Scenes).

Η ανάγκη για χρήση ενός GameObject παραπάνω από μία φορές στην ίδια σκηνή, δηλαδή η δημιουργία διπλοτύπων και η ανάγκη για επεξεργασία του κάθε αντιγράφου ξεχωριστά οδήγησε στην δημιουργία μίας έννοιας που ονομάζεται prefab (απο το prefabricated - προκατασκευασμένος). Αποθηκεύοντας ένα prefab ως ένα αρχέτυπο αντικείμενο, είναι δυνατή η χρήση και επεξεργασία αντιγράφων του με την εκάστοτε συμπεριφορά που θέλουμε.

Βασική διεπαφή (Interface)

Σχετικά με την διεπαφή, η οποία έχει μικρές διαφορές μεταξύ των διαφόρων εκδόσεων της Unity , είναι προφανές από την παρακάτω εικόνα ότι χωρίζεται σε διάφορα κομμάτια (windows):

- **Project** : Ξεκινώντας, όπως προαναφέρθηκε, το έργο (Project) αποτελεί μία θεμελιώδης έννοια για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής. Επομένως, είναι λογικό να αφιερώνεται ένα ολόκληρο κομμάτι της διεπαφής σε αυτήν, στο οποίο είναι διαθέσιμα όλα τα αντικείμενα και οι σκηνές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, δηλαδή όλα τα Assets. Η οργάνωση είναι σε δομή φακέλων και αρχείων με την ρίζα της δομής να θεωρείται ο φάκελος Assets που βρίσκεται στο directory



Σχήμα 2.12: Η βασική διεπαφή της Unity

του υπολογιστή που έχει επιλεγεί για το παρών έργο. Υπάρχει και μία μπάρα αναζήτησης ώστε να διευκολύνεται η πλοήγηση και η επιλογή του Asset που επιθυμεί ο χρήστης.

- **Scene** : Σε αυτό το παράθυρο απεικονίζεται το περιβάλλον της σκηνής με όλα τα GameObjects , την κάμερα και τις πηγές φωτός. Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τρισδιάστατη ή δισδιάστατη απεικόνιση. Αφού περιέχει όλα τα αντικείμενα της σκηνής, δίνεται και η δυνατότητα στον χρήστη να επεξεργαστεί χειροκίνητα τα φυσικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε GameObject , όπως η θέση, το μέγεθος κλπ. Επίσης, επιλέγοντας το Game View προβάλλεται η εικόνα που λαμβάνει η κάμερα κατά την εκκίνηση του παιχνιδιού, που σημαίνει ότι επιλέγοντας το Play button ξεκινάει κανονικά το παιχνίδι και ο προγραμματιστής μπορεί να δει την λειτουργία του από την οπτική γωνία του χρήστη.

- **Hierarchy** : Στο κομμάτι αυτό προβάλλονται όλα τα GameObjects της σκηνής οργανωμένα σε μορφή γονεϊκού συστήματος (parenting system). Μέσω αυτού του συστήματος, τα 'παιδιά' κληρονομούν τι ιδιότητες του 'γονέα'. Το παράθυρο λοιπόν του Hierarchy προσφέρει έναν εύκολο και άμεσο τρόπο προβολής της οργανωτικής δομής των αντικειμένων της σκηνής αλλά και επιλογής του κάθε GameObject ξεχωριστά.

- **Inspector** : Εδώ προβάλλονται αναλυτικά όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για το GameObject που έχει επιλεγεί. Αυτό σημαίνει πως εδώ προβάλλονται τα Components που έχουν ανατεθεί στο κάθε GameObject δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη όχι μόνο να μεταβάλλει τις τιμές των μεταβλητών των Components, αλλά και να προσθαφαιρέσει τα Components που επιθυμεί.

- **Console** : Τελειώνοντας, η λειτουργία του Console Window αφορά τα διάφορα σφάλματα (errors), τις προειδοποιήσεις (warnings), και διάφορα μηνύματα της Υνιτψ. Χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση της διαδικασίας του debugging. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να τυπώσει μέσω του κώδικα και τα δικά του μηνύματα για την αποσφαλμάτωση, ώστε να επαληθεύση την λειτουργία των διάφορων μεθόδων και scripts που χρησιμοποιεί.

Mixed Reality Toolkit

Ένα εξαιρετικά σημαντικό κομμάτι της ανάπτυξης εφαρμογών στα HoloLens αποτελεί η εργαλειοθήκη του Mixed Reality Toolkit ή MRTK (και παλαιότερα Holotoolkit), της οποίας η δημιουργία είχε ως στόχο την διευκόλυνση της διαδικασίας του σχεδιασμού. Οι αρχικές δυσκολίες στο κομμάτι του προγραμματισμού λύθηκαν σταδιακά μέσω της χρήσης της MRTK, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί ένα σύνολο από Scripts και Υνιτψ ὃμπονεντς ειδικά σχεδιασμένα για την ανάπτυξη εφαρμογών μικτής πραγματικότητας. Υπάρχουν οι εξής κατηγορίες APIs:

- **Build**: Αυτοματοποίηση της διαδικασίας 'χτισίματος' ενός Unity Project μέσω του Visual Studio.

- **Boundary**: Στοιχεία που διευκολύνουν την αναγνώριση του δαπέδου και χωρικών 'συνόρων' από τα HoloLens.

- **Input**: Αφορά τις μεθόδους αλληλεπίδρασης με τα HoloLens (gaze, hand gestures, voice).

- **Sharing**: Στοιχεία που επιτρέπουν τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών συσκευών HoloLens στην ίδια εφαρμογή.

- **Spatial Mapping**: Scripts που επιτρέπουν την πολύ δημοφιλή λειτουργία χωρικής χαρτογράφησης των HoloLens.

- **Spatial Sound**: Αντίστοιχη με το Spatial Mapping για τους χωρικούς ήχους.

- **Spatial Understanding**: Συλλογή από στοιχεία που επιτρέπουν στα HoloLens να αναγνωρίζουν μετά από επεξεργασία του Spatial Mapping επιφάνειες όπως

τοίχους, τραπέζια, καρέκλες και άλλα μέσα από το σχήμα και τη θέση τους στο χώρο. Αποτελεί ουσιαστικά το δεύτερο του Spatial Mapping πολλαπλασιάζοντας τα οφέλη και τις δυνατότητες του τεελυταίου.

- **UX Controls**: Αφορούν την βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη (user experience - UX) κατά τη διάρκεια χρήσης της εφαρμογής.
- **Utilities**: Οτιδήποτε δεν ανήκει στις υπόλοιπες κατηγορίες.

Παράλληλα, σε ξεχωριστό φάκελο παρέχονται διάφορα παραδείγματα σκηνών που αναδεικνύουν διαφορετικές λειτουργίες των HoloLens.

Microsoft Visual Studio

Η εφαρμογή του Visual Studio αποτελεί γενικά ένα από τα δημοφιλέστερα εργαλεία συγγραφής κώδικα (editor) και ανάπτυξης εφαρμογών για έναν μεγάλο αριθμός από γλώσσες προγραμματισμού. Επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την γλώσσα C# που απαιτεί η Unity . Παράλληλα με την επεξεργασία των scripts, το Visual Studio χρησιμοποιείται για το καίριας σημασίας 'χτίσιμο' (build) της εφαρμογής στην συσκευή. Πιο συγκεκριμένα, αφού μέσω της Unity ολοκληρωθεί η διαδικασία του χτισίματος, Visual Studio χρησιμοποιεί τα αρχεία που παράγει η Unity , ώστε είτε μέσω ασύρματης σύνδεσης (Wi-fi) είτε μέσω σειριακής επικοινωνίας (π.χ., μέσω θύρας USB) να εγκαταστήσει την εφαρμογή στα HoloLens .

Microsoft HoloLens Emulator

Η Microsoft ανέπτυξε το HoloLens Emulator ώστε να δώσει την δυνατότητα σε όσους δεν έχουν στην κατοχή τους τα HoloLens να έρθουν σε επαφή με την διαδικασία ανάπτυξης εφαρμογών στην συσκευή. Επιπλέον, ακόμα και όσοι διαθέτουν τα HoloLens , χρησιμοποιώντας την εφαρμογή μπορούν να επιταχύνουν την διαδικασία ανάπτυξης και ελέγχου της αφού μέσω του Emulator προβάλλεται στην οθόνη του υπολογιστή τους μία πιστή αναπαράσταση του περιβάλλοντος της συσκευής. Το Gaze , οι χειρονομίες και οι διάφορες φωνητικές εντολές εξομοιώνονται μέσω του πληκτρολογίου και του ποντικιού.

Κεφάλαιο 3

Σχεδίαση και Ανάπτυξη του TagglingMR

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τη σχεδίαση και ανάπτυξη του TagglingMR. Το TagglingMR αποτελεί τη μεταφορά του χωροευαίσθητου παιχνιδιού Taggling στον κόσμο της μικτής πραγματικότητας. Συγκεκριμένα θα παρουσιάσουμε την αρχική έκδοση του παιχνιδιού Taggling (Ενότητα 3.1) και στη σύνέχεια θα παρουσιάσουμε τη σχεδίαση (Ενότητα 3.2) και την ανάπτυξη (Ενότητα 3.3) του παιχνιδιού στην μικτή πραγματικότητα.

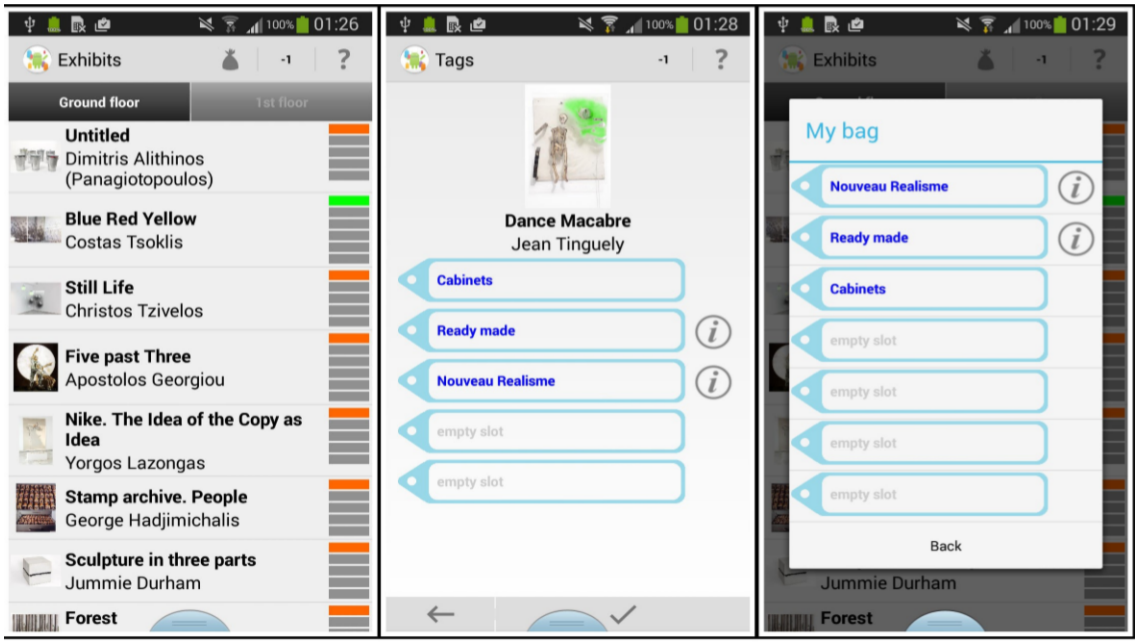
3.1 Taggling

3.1.1 Περιγραφή Παιχνιδιού

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χωροευαίσθητου εκπαιδευτικού παιχνιδιού, που στοχεύει στην γνωριμία με τις τέχνες και την πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί το Taggling. Ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών χωροευαίσθητων παιχνιδιών και εντάσσεται στο υποείδος των διαδραστικών παιχνιδιών μουσείων (Museum mobile interactive games). Αποτελεί μία εφαρμογή για το λειτουργικό σύστημα android και μπορούν να συμμετάσχουν παραπάνω από ένας παίκτες, ακόμα και σε ομάδες, με μία συσκευή ανά παίκτη ή ανά ομάδα. Το παιχνίδι ξεκινάει με την τυχαία αντιστοίχηση ετικετών (Tags), δηλαδή έργων τέχνης, σε μουσειακά εκθέματα τα οποία αναγνωρίζονται μέσω QR Code. Στόχος του χρήστη είναι να δημιουργήσει το κατάλληλο σετ από ετικέτες για το κάθε έκθεμα [30]. Κάθε ένα από αυτά τα εκθέματα λοιπόν, διαθέτει ένα αριθμό θέσεων ετικέτες (tag-slots) και κάθε συσκευή έναν σάκο (bag) στον οποίο τοποθετούνται προσωρινά τα ετικέτες, με μέγιστο πλήθος τα εφτά.

Πιο συγκεκριμένα, με την εκκίνηση της εφαρμογής γίνεται η τυχαία τοποθέτηση των ετικέτες στις διαθέσιμες θέσεις των εκθεμάτων και στον σάκο. Η μεταφορά μιας

ετικέτας από το έκθεμα στον σάκο και αντίστροφα αποτελούν τις δύο διαθέσιμες λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει ο παίκτης. Στην εφαρμογή, για κάθε ετικέτα και για κάθε έκθεμα είναι διαθέσιμα το όνομα της έκθεσης στην οποία ανήκει, ο δημιουργός του και μία εικόνα μικρών διαστάσεων. Επιπλέον, για κάθε έκθεμα, ο χρήστης ενημερώνεται σχετικά με το πλήθος των σωστά και των λανθασμένα τοποθετημένων ετικέτα, αλλά δεν γνωρίζει συγκεκριμένα την ορθότητα του καθενός. Για κάποιες από τις "ετικέτες" διατίθενται επιπλέον επεξηγηματικές πληροφορίες με στόχο την υποβοήθηση του χρήστη.



Σχήμα 3.1: Τρεις οθόνες της εφαρμογής του Taggling σε λειτουργικό Android. Στα αριστερά η κεντρική οθόνη με όλα τα εκθέματα. Στο κέντρο απεικονίζεται το κάθε έκθεμα με τις ετικέτες που έχουν επισυναφθεί. Στα δεξιά φαίνεται το σακούλι.

Ουσιαστικά, το Taggling βασίζεται στην ιδέα ότι το κάθε έργο τέχνης ή έκθεμα, αποτελεί ένα αντικείμενο σύνδεσης και συσχέτισης ιδεών [30]. Κάθε ετικέτα αντιπροσωπεύει μία οπτική γωνία του εκθέματος και μπορεί να εκφραστεί μέσω μιας λέξης ή μιας σύντομης φράσης. Στόχος του βασικού σχεδιασμού του αποτελεί η πολυεπίπεδη γνωριμία και οικειοποίηση του χρήστη με το έκθεμα είτε μέσω οπτικών ομοιοτήτων και φυσικών χαρακτηριστικών (υλικό, μέγεθος, κλπ.) είτε μέσω θεωρητικών χαρακτηριστικών όπως η βασική ιδέα και το περιεχόμενο του έργου. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται ποικιλοτρόπως η κατανόηση και ερμηνεία της τέχνης και η αναγνώριση των κύριων στοιχείων των εκθεμάτων προσφέροντας την ευκαιρία γνωριμίας του επισκέπτη με αυτά πριν μία πιο προσεκτική περιήγηση του εκθεσιακού χώρου ή μουσείου.

Το Taggling αποδεδειγμένα συμβάλλει στην αρτιότερη και βαθύτερη γνωριμία των επισκεπτών με τα εκθέματα του μουσείου [30]. Πιο συγκεκριμένα, η ανάγκη ανάλυσης

των χαρακτηριστικών ενός εκθέματος και η ανάγκη για τη συσχέτισή του με κάποια ετικέτα οδήγησε σε γόνιμους διαλόγους μεταξύ των μελών των ομάδων, με αποτέλεσμα την πληρέστερη κατανόηση των έργων τέχνης από κάθε άτομο ξεχωριστά. Όπως προχωράει η ροή του παιχνιδιού και οι χρήστες συνδυάζουν και βρίσκουν καινούριες πληροφορίες καταλήγουν μερικές φορές να μεταβάλλουν την αρχική τους διαπίστωση για το κάθε έκθεμα, πράγμα που ερμηνεύεται ως μία θετική εξέλιξη της ενεργητικής προσπάθειας των παικτών να τακτοποιήσουν και να αντιστοιχίσουν τις ετικέτες στις σωστές θέσεις. Επομένως, τα μαθησιακά οφέλη είναι προφανή και η λογική πάνω στην οποία βασίζεται το παιχνίδι χαρακτηρίζεται επιτυχής.

3.1.2 Περιορισμοί Εφαρμογής

Η εφαρμογή αυτή, παρά την επιτυχία της, έφερε στην επιφάνεια ένα προφανές ζήτημα, το οποίο αφορά την φύση της αλλά και τα μέσα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίησή της. Το ζήτημα που κυριαρχεί αποτελεί ο περιορισμός σύμφωνα με τον οποίο η εφαρμογή αδυνατεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε άλλον χώρο πέρα από αυτόν για τον οποίον έχει σχεδιαστεί. Το Taggling όπως προαναφέρθηκε μπορεί να εκτελεστεί σε μουσεία και γενικότερα σε χώρους πολιτισμού με φυσικά εκθέματα στον χώρο. Είναι αδύνατο κάποιον που ενδιαφέρεται να χρησιμοποιήσει την εφαρμογή σε κάποιον άλλον χώρο, όπως για παράδειγμα στο σπίτι του, ώστε να έρθει σε επαφή με τα έργα τέχνης μίας έκθεσης και να τα γνωρίσει μέσω ενός διασκεδαστικού τρόπου.

3.2 Σχεδίαση του TagglingMR

Κύριος στόχος της σχεδίασης του TagglingMR είναι η μεταφορά του παιχνιδιού Taggling στον κόσμο της μικτής πραγματικότητας έχοντας ως σκοπό να ξεπεράσει τον χωρικό περιορισμό που θέτει η αρχική έκδοση του παιχνιδιού, όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα.

3.2.1 Επιλογές Σχεδίασης

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα HoloLens για την παρούσα διπλωματική εργασία, σχεδιάστηκε με γνώμονα την αντιμετώπιση των περιορισμών του παιχνιδιού Taggling. Ουσιαστικά, απαντήθηκε το γενικότερο ερώτημα: 'Είναι δυνατόν να μετατραπεί το δωμάτιο ενός σπιτιού σε εικονικό μουσείο·'. Είναι προφανές λοιπόν πως η χρήση μία συσκευής μικτής πραγματικότητας αποτελεί την καταλληλότερη πλατφόρμα ανάπτυξης μίας εφαρμογής που θα φέρνει τον κόσμο του μουσείου στο σπίτι. Επομένως, πρέπει να ξεκαθαριστούν πρώτα οι αποφάσεις που λήφθηκαν πριν παρουσιαστεί η υλοποίηση.

Το Taggling βασίζεται στην ύπαρξη εκθεμάτων στον φυσικό χώρο ενός χώρου πολιτισμού, τα οποία με την σειρά τους συσχετίζονται με κάποιες ετικέτες. Ο τρόπος προβολής των εκθεμάτων στον εικονικό χώρο των HoloLens ώστε να προσομοιάζεται με τον πραγματικό χώρο ενός μουσείου απαιτεί την προσαρμογή στα φυσικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε δωματίου. Όπως έχει ξεκαθαριστεί, το βασικότερο χαρακτηριστικό των συσκευών μικτής πραγματικότητας, το οποίο τις διαχωρίζει από τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας αποτελεί η προσαρμογή του εικονικού κόσμου στο περιβάλλον του χρήστη. Επομένως, μέσω μία λειτουργίας χαρτογράφησης του περιβάλλοντος είναι δυνατή η προσαρμογή και η διασπορά των έργων τέχνης στον χώρου του παίκτη με σκοπό την δημιουργία ενός εικονικού μουσείου. Τα HoloLens διαθέτουν την απαραίτητη λειτουργία, η οποία αποτελεί και την βάση στην οποία στηρίζεται η εφαρμογή και ονομάζεται χωρική χαρτογράφηση ή αλλιώς Spatial Mapping. Πριν, λοιπόν, ξεκινήσει η διαδικασία του παιχνιδιού πρέπει να χαρτογραφηθεί ο χώρος του χρήστη ώστε να τοποθετηθούν εκεί τα εκθέματα με τα οποία στην συνέχεια θα αλληλεπιδράσει.

Αφού λοιπόν χαρτογραφηθεί ο χώρος πρέπει να τοποθετηθούν και τα έργα τέχνης. Με βάση την εικόνα ενός μουσείου, αποφασίστηκε ότι τα εκθέματα πρέπει να τοποθετηθούν στους τοίχους του δωματίου. Η αναγνώριση λοιπόν, των τοίχων και η εύρεση των πιθανών θέσεων στις οποίες μπορεί να τοποθετηθεί για παράδειγμα ένας πίνακας αποτελεί μία ακόμα αναγκαία λειτουργία που το TagglingMR υλοποιεί.

Στο κομμάτι της αλληλεπίδρασης του χρήστη με τα εκθέματα και της προβολής των ετικετών τους η συσκευή μέσω της αμεσότητας των χειρονομιών προσφέρει πολύτιμες λύσεις. Πρέπει να τονιστεί ότι στο αυθεντικό Taggling τα εκθέματα αναγνωρίζονται μέσω QR Code από την κινητή συσκευή ώστε να εμφανιστούν στην οθόνη της οι ετικέτες που έχουν αντιστοιχηθεί και ο χρήστης να επιλέξει ποιες από αυτές θα μεταφερθούν στο σακούλι. Στην εφαρμογή των HoloLens η ανάλογη διαδικασία είναι αμεσότατη, αφού μόλις ολοκληρωθεί η χωρική χαρτογράφηση, ακολουθεί η τοποθέτηση των εκθεμάτων στις κατάλληλες θέσεις των τοίχων, παράλληλα με την αντιστοίχηση των ετικετών στα εκθέματα αυτά. Με την χρήση του Air-tap σε έναν πίνακα, εμφανίζονται σε κοντινές θέσεις στους τοίχους τα έργα τέχνης με τις αντίστοιχες ετικέτες τους. Οι ετικέτες μεταφέρονται στο σακούλι πάλι μέσω της χρήσης της χειρονομίας του Air-tap. Η αμεσότητα αυτής της λειτουργίας στο TagglingMR είναι, λοιπόν, προφανής.

Τέλος, στο κομμάτι του σακουλιού, η εφαρμογή το εμφανίζει στον χρήστη όποτε αυτός επιθυμεί ώστε να μελετήσει τα έργα που έχει μαζέψει και να τα τοποθετήσει στα σωστά, κατά την άποψή του εκθέματα. Μέσω της λειτουργίας των φωνητικών εντολών, εκτελείται άμεσα αυτή η λειτουργία εμφανίζοντας όλες τις ετικέτες που έχει επιλέξει σε μορφή συλλογής σε μία απόσταση μπροστά του. Με μία ακόμα φωνητική εντολή εξαφανίζεται το σακούλι με τις ετικέτες πράγμα που αποδεικνύει τους αποτελεσματικούς τρόπους αλληλεπίδρασης που προσφέρουν τα HoloLens στον χρήστη.

3.2.2 Σενάριο Εφαρμογής

Το σενάριο της εφαρμογής κινείται πάνω στο βασικό σενάριο του Taggling. Με την εκκίνηση της εφαρμογής, ζητείται από τον χρήστη να κινηθεί στον χώρο και να σαρώσει το δωμάτιο στο οποίο βρίσκεται έτσι ώστε τα HoloLens να εκτελέσουν της χωρική χαρτογράφηση. Ο χρήστης αποφασίζει πότε σταματάει η διαδικασία αυτή μέσω της χρήσης της φωνητικής εντολής 'Stop' και η εφαρμογή προχωράει στην επόμενη φάση. Εμφανίζονται λοιπόν στους τοίχους του δωματίου τα εκθέματα του εικονικού μουσείου. Πάνω από κάθε έκθεμα υπάρχει μία ένδειξη για τον αριθμό των ετικετών του που βρίσκονται στην σωστή θέση και από κάτω μία λεζάντα με τον τίτλο του έργου τέχνης και τον δημιουργό. Επίσης, στο κάτω μέρος του της οθόνης του χρήστη υπάρχει άλλη μία μπάρα ένδειξης για την εξέλιξη του με τιμές από το μηδέν έως τον αριθμό εκατό, ο οποίος δηλώνει ότι το παιχνίδι έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς. Στην συνέχεια, ο χρήστης μέσω της χειρονομίας του Air-tap στο εκάστοτε έκθεμα μπορεί να εμφανίσει τις ετικέτες που βρίσκονται σε αυτό. Αυτές θα εμφανιστούν πάνω στον τοίχο και δίπλα από το έκθεμα. Πάλι μέσω του Ait-tap, αλλά τώρα ξεχωριστά σε κάθε ετικέτα, μπορεί να μεταφέρει στο σακούλι όποια επιθυμεί από το έκθεμα στο οποίο ανήκει. Τα αντικείμενα που βρίσκονται εντός του σακουλιού εμφανίζονται μπροστά από τον χρήστη μέσω της φωνητικής εντολής 'Show' και αποκρύπτονται μέσω της φωνητικής εντολής 'Hide¨. Όταν το σακούλι εμφανίζεται μπροστά του, επιλέγει οποιαδήποτε ετικέτα επιθυμεί μέσω του Air-tap και μέσω ενός δεύτερου Air-tap σε κάποιο έκθεμα, η ετικέτα ανατίθεται σε αυτό και αποσπάται από το σακούλι. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν, πως εκτελούνται οι δύο κινήσεις του χρήστη στο παιχνίδι του Taggling, δηλαδή η μεταφορά ετικέτας από ένα έκθεμα στο σακούλι και αντίστροφα. Το παιχνίδι τελειώνει όταν όλες οι ετικέτες βρίσκονται στις σωστές θέσεις, πράγμα που θα γίνει αντιληπτό και μέσω των ενδείξεων.

3.2.3 Περιορισμοί

Όπως είναι φυσικό, η σχεδίαση ενός χωροευαίσθητου παιχνιδιού σε πλατφόρμα μικτής πραγματικότητας ήταν αναμενόμενο εξ αρχής πως θα έχει κάποιους περιορισμούς οι οποίοι δεν συναντώνται στις παραδοσιακές φορητές συσκευές. Για την εφαρμογή λοιπόν, που περιγράφεται τώρα, ο χώρος κατέχει σπουδαίο ρόλο. Επομένως, οι περιορισμοί της θα σχετίζονται με τα χωρικά χαρακτηριστικά.

Ξεκινώντας με την χωρική χαρτογράφηση, η εφαρμογή σχεδιάστηκε ώστε εάν το σαρωμένο εμβαδόν είναι μικρότερο από ένα όριο, να μην επιτρέπεται η τοποθέτηση των εκθεμάτων, αφού εμποδίζεται σε σημαντικό βαθμό η ορθή λειτουργία του παιχνιδιού. Ακόμα, το μέγεθος ενός δωματίου είναι κατά πολύ μικρότερο από τους τεράστιους, συνήθως, χώρους των μουσείων και υπάρχει ανάγκη ώστε τα εκθέματα να μην έχουν

υπερβολικά μικρό μέγεθος για να επιτρέπεται η άνετη και λεπτομερή μελέτη τους. Για τους δύο αυτούς λόγους η εφαρμογή μπορεί να υποστηρίξει μικρότερο αριθμό εκθεμάτων και ετικετών σε σχέση με το Taggling στις κινητές φορητές συσκευές.

Επιπλέον χαρακτηριστικά του χώρου κατέχουν σημαντική θέση ειδικά στο κομμάτι της χωρικής χαρτογράφησης. Πιο συγκεκριμένα, ως κατάλληλο περιβάλλον ορίζεται ένας εσωτερικός χώρος με επαρκές φως και πολύ χώρο. Είναι χρήσιμο να αποφεύγονται σκοτεινά μέρη ή δωμάτια με σκοτεινές, πολύ φωτεινές ή διαφανείς επιφάνειες.

3.2.4 Σύγκριση μεταξύ των δύο εκδόσεων του Taggling

Η παρουσίαση του βασικού σχεδιασμού του TagglingMR επιτρέπει μία σύγκριση μεταξύ των δύο διαφορετικών εκδόσεων της εφαρμογής. Ξεκινώντας με την αρχική εφαρμογή, ξεκαθαρίστηκε πως μπορεί να εκτελεστεί σχεδόν αποκλειστικά σε χώρους πολιτισμού και μουσεία για τα οποία μάλιστα, είναι αποκλειστικά σχεδιασμένη. Αυτό προφανώς, πρέπει να συμπεριληφθεί στα μειονεκτήματά της, ειδικά συγκρινόμενη με το TagglingMR, του οποίου οι δυνατότητες εκτέλεσης δεν εμφανίζουν κάποιον περιορισμό χώρου. Η νέα εφαρμογή διαθέτει τεράστια ευελιξία, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε εσωτερικό χώρο ή δωμάτιο επιθυμεί ο χρήστης.

Φυσικά, ακριβώς επειδή το TagglingMR χρησιμοποιείται σε οποιοδήποτε δωμάτιο, τα χαρακτηριστικά του χώρου παίζουν σημαντικό ρόλο. Όπως δηλαδή προαναφέρθηκε, εάν ένα δωμάτιο έχει υπερβολικά μικρό μέγεθος δεν επιτρέπει την ορθή λειτουργία της εφαρμογής. Ακόμα και εάν ένας κανονικού μεγέθους οικιακός χώρος δεν μπορεί να συγκριθεί με τις μεγάλες αίθουσες των μουσείων, πράγμα που θέτει έναν περιορισμό στον αριθμό των εκθεμάτων που τοποθετούνται στο δωμάτιο του χρήστη. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβάνονται στα μειονεκτήματα της έκδοσης μικτής πραγματικότητας του Taggling. Αντιθέτως, η πρωταρχική έκδοση του παιχνιδιού έχει την δυνατότητα υποστήριξης υψηλότερου αριθμού εκθεμάτων.

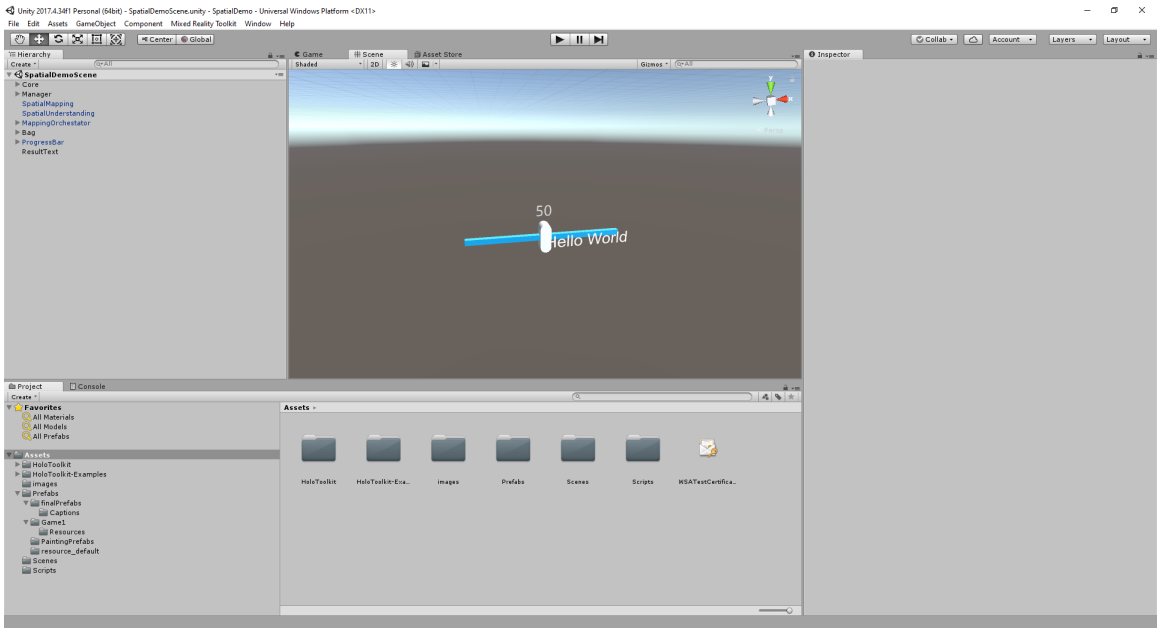
Επίσης, πρέπει να γίνει λόγος και για τα χαρακτηριστικά των ίδιων των συσκευών. Το απλό Taggling έχει σχεδιαστεί για φορητές συσκευές με δημοφιλέστατο λειτουργικό Android. Στις φορητές αυτές συσκευές συμπεριλαμβάνονται τα συνηθισμένα κινητά τηλέφωνα (Smartphones) και οι ταμπλέτες (Tablets) με τα οποία οι περισσότεροι χρήστες είναι αρκετά εξοικειωμένοι, το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της εφαρμογής αυτής. Για το TagglingMR, όμως, απαιτείται η χρήση ενός ζευγαριού HoloLens που αποτελεί μία οικονομικά δυσπρόσιτη επιλογή για τον μέσο καταναλωτή λόγω της υψηλής τιμής της, πράγμα που συγκαταλέγεται ως μειονέκτημα. Από την άλλη, η εξαιρετικά καινοτόμα τεχνολογία της μικτής πραγματικότητας που υποστηρίζουν τα HoloLens , μπορεί να προσφέρει υψηλότερο κίνητρο στους χρήστες ώστε να χρησιμοποιήσουν την εφαρμογή TagglingMR για να έρθουν σε επαφή με την επαναστατική αυτή τεχνολογία. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν, πως τα χαρακτηριστικά των συσκευών που

υποστηρίζουν τις δύο εφαρμογές αποτελούν έναν εξαιρετικά σημαντικό τομέα στον οποίο συγκρίνονται οι δύο εφαρμογές.

3.3 Ανάπτυξη του TagglingMR

3.3.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε με την χρήση της Unity και του Mixed Reality Toolkit με το χτίσιμο (build) της εφαρμογής στην συσκευή να εκτελείται με το Microsoft Visual Studio. Η Unity αποτελεί όπως προαναφέρθηκε μία από τις δημοφιλέστερες πλατφόρμες για ανάπτυξη συνηθισμένων desktop και mobile εφαρμογών.



Σχήμα 3.2: Η σκηνή της Unity.

Προφανώς, η ανάπτυξη των εφαρμογών αυτών εμφανίζει πολλές διαφορές σε σχέση με τις αντίστοιχες εφαρμογές μικτής πραγματικότητας. Ένα εξαιρετικά βασικό στοιχείο στο οποίο διαφέρουν αποτελεί η θέση της κάμερας. Αυτό σημαίνει πως η Unity πρέπει να προσαρμόσει τις λειτουργίες της κάμερας στον καινοτόμο και διαφορετικό τρόπο λειτουργίας των HoloLens . Η προσαρμογή επιτελείται από το Mixed Reality Toolkit το οποίο αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 και που ο χρήστης εισάγει (import) στο περιβάλλον της Unity. Εισάγοντας, λοιπόν, το Mixed Reality Toolkit, η κάμερα τοποθετείται στις μηδενικές συντεταγμένες ώστε να προσαρμοστεί στις συνθήκες της επαυξημένης πραγματικότητας. Το χαρακτηριστικό της θέσης (position) όπως και αυτά της περιστροφής (rotation) και της κλίμακας (scale) περιλαμβάνονται στο "Transform" Component. Το Mixed Reality Toolkit εφαρμόζει κάποιες επιπλέον ρυθμίσεις

που αφορούν την σκηνή (Scene) και την Universal Windows Platform (UWP), μία πλατφόρμα που βοηθάει στην ανάπτυξη εφαρμογών για όλα τα λειτουργικά συστήματα της Microsoft [32].

Ολόκληρος ο κώδικας της εφαρμογής παρατίθεται στο παράρτημα. Έγινε συγγραφή οκτώ διαφορετικών scripts. Το σημαντικότερο από αυτά είναι το ScanManager.cs το οποίο βρίσκεται στο MappingOrchestrator Game Object και το οποίου η μέθοδος Update ορίζει τις 3 κύριες φάσεις της εφαρμογής: την χωρικής χαρτογράφηση, την διαδικασία ολοκλήρωσης αυτής και το παιχνίδι.

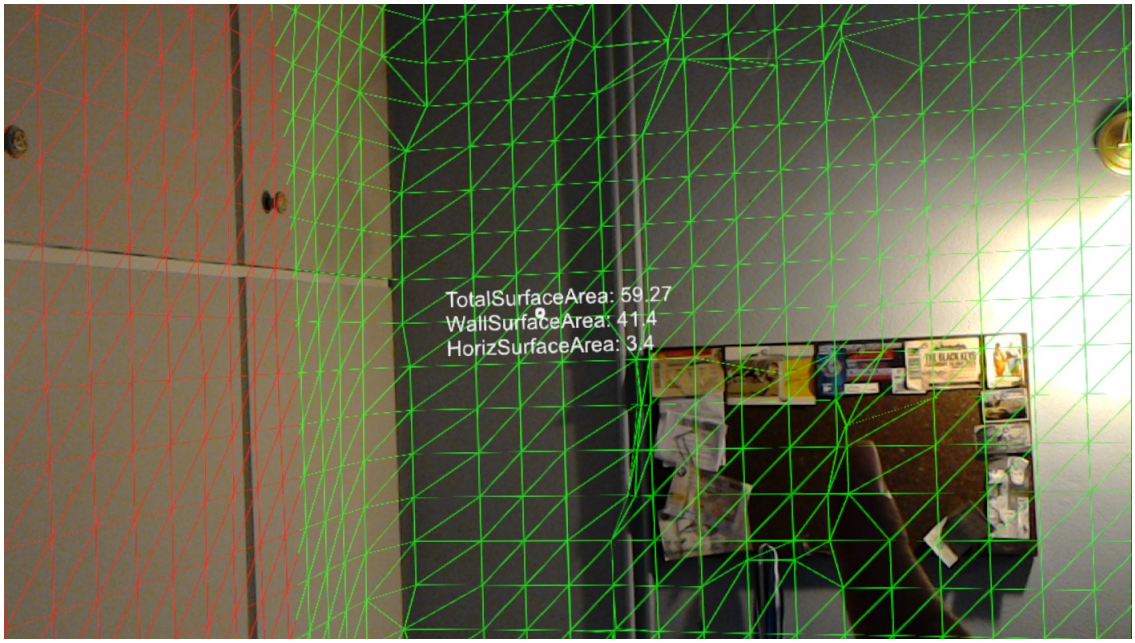
Σχήμα 3.3: Τα Game Objects στο Hierarchy της Unity με όλα τους τα παιδιά τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω. Το κάθε έκθεμα έχει σαν παιδί (child) τις δύο ετικέτες του.

3.3.2 Χωρική Χαρτογράφηση

Το πιο καινοτόμο χαρακτηριστικό των τεχνολογιών της μικτής πραγματικότητας αποτελεί η λειτουργία της χωρικής χαρτογράφησης, η χρήση της οποίας διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό μέσω του Mixed Reality Toolkit. Εισάγοντας το Spatial Mapping Prefab εκτελείται μία βασική χωρική χαρτογράφηση. Χρησιμοποιώντας και ένα ακόμα αντικείμενο, το Spatial Understanding Prefab δίνεται η δυνατότητα για ακόμα πιο λεπτομερή ανάλυση του χαρτογραφημένου περιβάλλοντος, πράγμα που είναι αναγκαίο για την ακριβή σάρωση και καταγραφή του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι το ποιο βασικό σχήμα για να αναπαρασταθεί μία επιφάνεια είναι το τρίγωνο. Το Spatial Mapping Prefab χρησιμοποιεί τρίγωνα απλά για να αναπαραστήσει των περιβάλλοντα χώρο. Όμως, το Spatial Understanding Prefab πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα προσθαφαιρώντας τρίγωνα με σκοπό την αναγνώριση επιφανειών (τοίχοι, ταβάνι, πάτωμα κλπ) και την τοποθέτηση αντικειμένων σε συγκεκριμένες θέσεις.

Η χωρική χαρτογράφηση εκτελείται κατά την εκκίνηση της εφαρμογής μέσω του Scan Manager.cs, το οποίο φυσικά χρησιμοποιεί τις παρεχόμενες μεθόδους από τα Spatial Mapping και Spatial Understanding Game Objects.

Για την αποτελεσματική χαρτογράφηση του χώρου, υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης του Spatial Mapping, η οποία συμβάλει στην αποτελεσματική κατανόηση της διαδικασίας από τον χρήστη, αφού αναπαρίσταται γραφικά η σαρωμένη επιφάνεια. Επιλέχθηκε λοιπόν, το Spatial Understanding Wireframe κατά την διάρκεια της σάρωσης, ενώ μόλις αυτή ολοκληρωθεί, παύει και η απεικόνιση του σαρωμένου περιβάλλοντος. Το χρώμα των γραφικών αυτών μεταβάλλεται με βάση την απόσταση της σαρωμένης επιφάνειας από τον χρήστη.



Σχήμα 3.4: Η διαδικασία της σάρωσης κατά την εκκίνηση της εφαρμογής. Παρέχονται τρία στατιστικά: το εμβαδόν των κάθετων επιφανειών, των οριζόντιων και το συνολικό.

Οι εξαιρετικά σημαντικές δυνατότητες που προσφέρει το Spatial Understanding Prefab αξιοποιούνται και αφότου ολοκληρώνεται η διαδικασία της χωρικής χαρτογράφησης, μέσω της αναγνώρισης των επιφανειών. Για την τοποθέτηση των εκθεμάτων στο δωμάτιο απαιτείται να αναγνωριστεί η επιφάνεια του τοίχου. Με την κατάλληλη μέθοδο που παρέχεται από τα scripts του Spatial Understanding Prefab, επιλέγονται τα κομμάτια του σαρωμένου mesh τα οποία ταυτοποιούνται ως τοίχοι, πάνω στους οποίους προκύπτει ένας αριθμός από σημεία για την τοποθέτηση αντικειμένων. Αυτά ακριβώς τα σημεία αξιοποιούνται για τις θέσεις των εκθεμάτων και των Tags.

Άλλη μία εντυπωσιακή λειτουργία των hololens αποτελεί η αποθήκευση των σαρωμένων χώρων στο σύστημα. Τα δεδομένα είναι πλήρως προστατευμένα αφού αποθηκεύονται τοπικά στην συσκευή και είναι προσβάσιμα μόνο από τον χρήστη. Η

διαδικασία βασίζεται στο αποτύπωμα του ασύρματου δικτύου που είναι συνδεδεμένη η συσκευή, το οποίο συσχετίζεται με τα χωρικά δεδομένα του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, η διεύθυνση Media Access Control (MAC) του δρομολογητή ενός δικτύου είναι διαθέσιμη ακόμα και χωρίς πραγματική σύνδεση, που σημαίνει ότι μέσω αυτής τα HoloLens αναγνωρίζουν τον χώρο και τον συγκρίνουν με τους χώρους που έχουν ήδη αποθηκεύσει.

3.3.3 Τοποθέτηση αντικειμένων στους τοίχους

Η διαδικασία που ακολουθείται μετά το Spatial Mapping είναι η τοποθέτηση των εκθεμάτων και των ετικετών. Η διευκόλυνση που προσφέρει το Mixed Reality Toolkit είναι καίριας σημασίας αφού μέσω του Spatial Understanding Prefab παρέχεται πλήθος δεδομένων για την τροφοδοσία των πολυάριθμων μεθόδων που παρέχονται. Πιο συγκεκριμένα, οι σαρωμένες επιφάνειες που ορίζονται ως οι τοίχοι του δωματίου, εξακριβώνονται μέσω της κατεύθυνσης των κάθετων προς την επιφάνεια διανυσμάτων (normals) των τριγώνων από τα οποία αποτελούνται. Με την βοήθεια μίας εκ των πολυάριθμων μεθόδων που παρέχονται, προκύπτουν όλες οι δυνατές θέσεις των τοίχων στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν αντικείμενα. Επιλέγονται οι θέσεις που απαιτούνται με βάση το μέγεθος του εκάστοτε αντικειμένου ώστε να υπάρχουν οι κατάλληλες αποστάσεις. Η μέθοδος που παράγει τις θέσεις αυτές παίρνει ως δεδομένα κάποιες μεταβλητές που μπορεί να ορίσει ο προγραμματιστής: το ελάχιστο ύψος και πλάτος του τοίχου, το ελάχιστο ύψος από το πάτωμα και η ελάχιστη απόσταση από την οποία δεν πρέπει να υπάρχει εμπόδιο μπροστά από τον τοίχο.

Στην Unity το κάθε έκθεμα και η κάθε ετικέτα αντιπροσωπεύονται από ένα Game Object, όπως φαίνεται και στην εικόνα του Hierarchy. Οι θέσεις αυτών των αντικειμένων λοιπόν, είναι αυτές που ορίζονται από τον κώδικα. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της τοποθέτησης, σε κάθε ένα Game Object ορίζεται η θέση και η περιστροφή που υπολογίστηκαν όπως και το έργο τέχνης που πρέπει να προβληθεί. Επίσης κάθε έκθεμα και κάθε ετικέτα, δηλαδή όλα τα έργα τέχνης χρησιμοποιούνται μέσω μίας δομής με το όνομα 'PieceOfArt' που περιλαμβάνει το αντικείμενο της εικόνας και την λεζάντα που την συνοδεύει.

Όπως προαναφέρθηκε κάθε ένα από τα τρία έκθεμα διαθέτει δύο θέσεις για ετικέτες. Ιδανικά οι ετικέτες τοποθετούνται αριστερά και δεξιά του εκθέματος. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι κάποιες φορές μία ετικέτα μπορεί να βρεθεί μακρύτερα από την ιδανική της θέση. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε περιπτώσεις όπως για παράδειγμα όταν μία βιβλιοθήκη τοποθετημένη κατακόρυφα στο χώρο χωρίζει έναν τοίχο σε δύο μεγάλα κομμάτια. Εάν η θέση του εκθέματος έχει πολύ μικρή απόσταση από την βιβλιοθήκη, σημαίνει ότι η μία ετικέτα θα εμφανιστεί σωστά πλάι στο έκθεμα με την άλλη να τοποθετείται από την άλλη μεριά της βιβλιοθήκης έχοντας σημαντική απόστα-

ση από την ιδανική της θέση. Διατηρώντας τον αρχικό στόχο της μετατροπής ενός δωματίου σε εικονικό μουσείο, το φαινόμενο αυτό δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα αφού σε κάθε περίπτωση τα αντικείμενα τοποθετούνται πάνω σε κάθετες επιφάνειες, όπως τοίχοι και ντουλάπες. Φαίνονται λοιπόν, οι ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος και ο πολύ σημαντικός τους ρόλος στην ανάπτυξη και την εξέλιξη του παιχνιδιού.

3.3.4 Τρόποι αλληλεπίδρασης

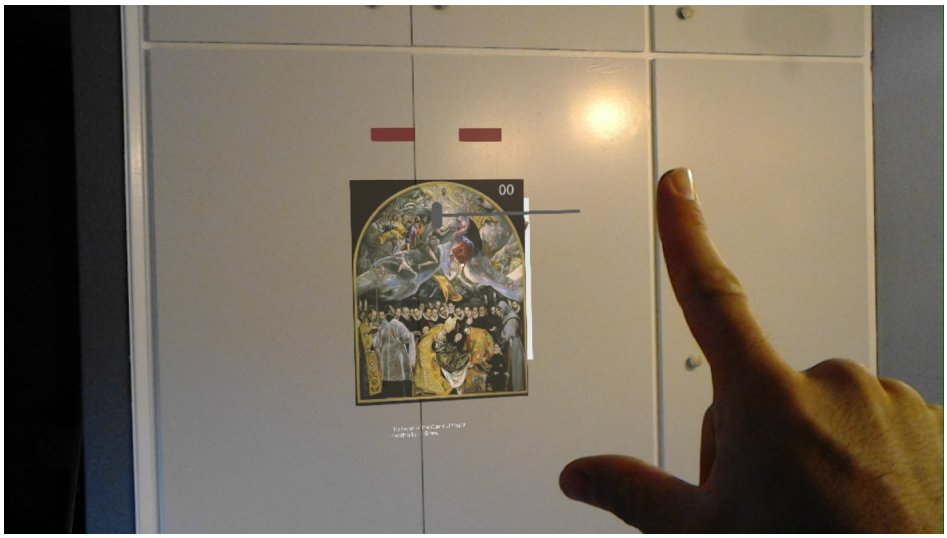
Σύμφωνα με τους κανόνες του Taggling, στον χρήστη δίνεται η δυνατότητα για δύο μόνο κινήσεις:

- Μετακίνηση μιας ετικέτας από ένα έκθεμα στο σακούλι.
- Μετακίνηση μίας ετικέτας από το σακούλι, πίσω σε κάποιο έκθεμα.

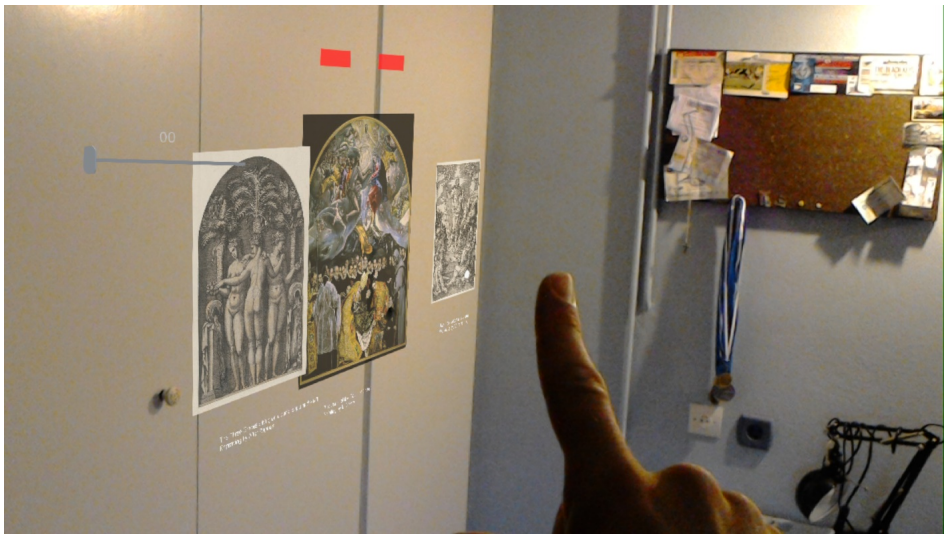
Αυτό ακριβώς ισχύει και για το TagglingMR. Με την τοποθέτηση και την εμφάνιση των εκθεμάτων ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτά. Μέσω ενός Air-Tap πάνω σε ένα έκθεμα εμφανίζονται οι ετικέτες και με ένα δεύτερο αποκρύπτονται ξανά. Αυτή η δυνατότητα εμφάνισης και απόκρυψης των ετικετών συμπεριλήφθηκε με στόχο την διευκόλυνση το χρήστη κατά την περιήγησή του στον χώρο αλλά και με βάση το απλό Taggling στο οποίο επιλέγονται τα εκθέματα για να εμφανιστούν οι ετικέτες. Η λειτουργία αυτή εκτελείται μέσω κατάλληλων μεθόδων εντός των ShowTags.cs & TagInPainting.cs scripts. Το ShowTags.cs επισυνάπτεται στα Game Objects των εκθεμάτων και το TagInPainting.cs επισυνάπτεται στα παιδιά των εκθεμάτων, δηλαδή στις ετικέτες, περιλαμβάνοντας μεθόδους που αφορούν την προβολή του εκάστοτε έργου τέχνης, την εμφάνιση και την απόκρυψη καθώς και την αφαίρεσή του κατά την διαδικασία μεταφοράς του στο σακούλι.

Η πρώτη λοιπόν, από τις διαθέσιμες κινήσεις ξεκινά από TagInPainting.cs, μέσω μίας μεθόδου που λειτουργεί κατά το Air-tap στο αντικείμενο. Η μέθοδος αυτή αποθηκεύει την ετικέτα στο σακούλι και το αφαιρεί από το έκθεμα. Το TagsMenu.cs που είναι συνημμένο στο Game Object "Bag", αναλαμβάνει από δω και πέρα την διαχείριση της ετικέτας αυτής ξεκινώντας με την αποθήκευσή της σε διαθέσιμη θέση του σακουλιού.

Η αντίστροφη κίνηση, δηλαδή από το σακούλι σε κάποιο έκθεμα ξεκινά από το TagInBag.cs το οποίο είναι συνημμένο σε κάθε παιδί του Game Object Bag και μέσω της ίδιας συνάρτησης που αντιδρά στο Air-tap του χρήστη, αποθηκεύει σε μία καθολική (global) μεταβλητή το έκθεμα. Η διαδικασία προχωράει όταν ο χρήστης επιλέξει κάποιο από τα εκθέματα, πράγμα για το οποίο είναι επιφορτισμένο το ShowTags.cs. Η ετικέτα αποθηκεύεται σε όποια από τις δύο θέσεις είναι διαθέσιμη. Εάν και οι δύο είναι γεμάτες, ο χρήστης προχωράει επιλέγοντας κάποιο άλλο έκθεμα για την αποθήκευση της ετικέτας.



Σχήμα 3.5: Έκθεμα με τις δύο μπάρες ενδείξεων στο πάνω μέρος.



Σχήμα 3.6: Έκθεμα με τα δύο Tags αριστερά και δεξιά.

3.3.5 Σακούλι

Το Game Object "Bag" όπως φαίνεται και στο Unity Hierarchy αναλαμβάνει τις λειτουργίες του σακουλιού. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διαθέτει έξι παιδιά (children), όσα και το σύνολο των ετικετών στο παιχνίδι. Για τον σχεδιασμό του αντικειμένου αυτού έπρεπε να ληφθούν κάποιες αποφάσεις με βάση τον ρόλο του στο αρχικό Tagging, όπου επειδή ο χρήστης διέθετε φορητή συσκευή, μπορούσε ανά πάσα στιγμή να προσπελάσει το περιεχόμενο του σακουλιού. Αυτή η λειτουργία λοιπόν έπρεπε να μεταφερθεί όσο το δυνατόν πιο αυτούσια στο TagglingMR. Δηλαδή, να προσφέρεται η δυνατότητα στον χρήστη προβολής και απόκρυψης των αντικειμένων του σακουλιού οπουδήποτε στον χώρο. Αποφασίστηκε τελικά πως μέσω δύο φωνητικών εντολών να

προβάλλεται και να αποκρύπτεται το σακούλι στον χώρο εμπρός του χρήστη. Το Game Object "Bag", λοιπόν, μετακινείται στον χώρο όπως μετακινείται η συσκευή. Ευτυχώς, το Mixed Reality Toolkit διαθέτει τα απαραίτητα Components που με την επισύναψή τους στο Game Object "Bag", υλοποιούν τη αυτήν την λειτουργία:

- Το 'Tagalong¨, το οποίο διατηρεί ένα ολόγραμμα εντός του οπτικού πεδίου του χρήστη ακολουθώντας την κίνησή του.
- Το 'Billboard¨, που προσανατολίζει ένα έκθεμα συνεχώς προς τον χρήστη.

Όταν τα παραπάνω λειτουργούν ταυτόχρονα, το αντικείμενο ακολουθεί την συσκευή στον χώρο και προσανατολίζεται σταθερά προς αυτήν, όπως ακριβώς οφείλει να λειτουργεί το σακούλι. Με την φωνητική εντολή 'Show' παύει η λειτουργία των Components αυτών, ώστε να σταθεροποιηθεί και να προβληθεί και αφού γίνει χρήση της εντολής 'Hide¨, ενεργοποιούνται ξανά.

Σχήμα 3.7: Το σακούλι με τρεις ετικέτες εντός του.

3.3.6 Φωνητικές Εντολές

Η υποστήριξη φωνητικών εντολών αποτελεί άλλη μία εξαιρετική δυνατότητα των HoloLens και μάλιστα λειτουργούν με εντυπωσιακή αποτελεσματικότητα. Οι τρόποι αλληλεπίδρασης της συσκευής χαρακτηρίζονται ως καινούριοι και άγνωστοι για τον μέσο άνθρωπο, πράγμα που σημαίνει πως οι φωνητικές εντολές μπορούν να δώσουν πρακτικές λύσεις. Από τις εντολές που υπάρχουν στην εφαρμογή, πρώτη χρονικά χρησιμοποιείται η λέξη ¨tlΣτοπ¨, με την οποία ολοκληρώνεται η διαδικασία της σάρωσης. Στην συνέχεια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως χρησιμοποιούνται οι εντολές 'Show' και 'Hide' για την προβολή και την απόκρυψη του σακουλιού.

Η υλοποίηση στην Unity βασίζεται στο Game Object "Speech", στο οποίο καταχωρούνται όλες οι φωνητικές εντολές της σκηνής με την βοήθεια του Component "Speech Input Source". Κάθε εντολή πρέπει να πυροδοτεί και μία συνάρτηση εντός κάποιου script, το οποίο υλοποιείται εντός του ScanManager.cs. Προϋπόθεση για την λειτουργία αυτή αποτελεί η επισύναψη του Component Speech Input Handler στο Mapping Orchestrator.

3.3.7 Ενδείξεις προόδου

Οι ενημέρωση του χρήστη δυναμικά όσον αφορά την εξέλιξη του παιχνιδιού αποτελεί άλλο ένα στοιχείο που υπάρχει στο αρχικό Taggling και πρέπει να προστεθεί και στο TagglingMR. Αναπτύχθηκαν δύο είδη δυναμικού ελέγχου: δύο μπάρες πάνω από το κάθε έκθεμα και ένα Slider Component, δηλαδή ένα ορθογώνιο εικονίδιο, που αφορά την συνολική εξέλιξη του παιχνιδιού. Με το πρώτο είδος, γίνεται η ενημέρωση σχετικά με την κατάσταση των ετικετών του κάθε εκθέματος ξεχωριστά. Δηλαδή εάν μία ετικέτα δεν βρίσκεται στο λάθος έκθεμα, το αντίστοιχο εικονίδιο παίρνει κόκκινο χρώμα ενώ εάν βρίσκεται στο σωστό παίρνει πράσινο. Επίσης, εάν δεν υπάρχει ετικέτα σε κάποια θέση, το εικονίδιο λαμβάνει γκρίζο χρώμα. Το δεύτερο είδος ένδειξης αποτελεί ένα Game Object Prefab που περιλαμβάνεται στο Mixed Reality Toolkit, το οποίο κανονικά λειτουργεί ως μπάρα για μεταβολή μιάς τιμής μεταβλητής από τον ίδιο τον χρήστη μέσω της χειρονομίας Tap and Hold. Φυσικά για την εφαρμογή απενεργοποιήθηκε αυτή η λειτουργία ώστε το αντικείμενο να έχει μόνο πληροφοριακό σκοπό.

Για τις δύο αυτές ενδείξεις χρησιμοποιείται το GamingManager.cs που είναι συνημμένο στο Mapping Orchestrator Game Object. Μέσω μίας τυπικής Update μεθόδου ελέγχει ανά πάσα στιγμή την κάθε ετικέτα ώστε να αντιστοιχίζονται στα εκθέματα που έχουν οριστεί ως σωστά. Με βάση τον αριθμό των σωστών ετικετών μεταβάλλεται και η τιμή της μπάρας. Για τον έλεγχο της κάθε ετικέτας αποφασίστηκε πως κάθε μία πρέπει να έχει ένα μοναδικό κλειδί το οποίο χρησιμοποιείται παράλληλα με το κάθε έργο τέχνης. Για παράδειγμα, όταν μεταφέρεται μία ετικέτα από στο σακούλι, μαζί με το έργο τέχνης κινείται και το κλειδί του ώστε να επιτρέπεται ο έλεγχός του από το GamingManager.cs. Άρα, μέσω ενός λεξικού που έχει αποθηκευμένα τα κλειδιά σε σωστή σειρά εκτελείται ο έλεγχος.

Σχήμα 3.8: Η περίπτωση όπου σε ένα έκθεμα αντιστοιχίζονται οι δύο σωστές ετικέτες και το χρώμα των εικονιδίων γίνεται πράσινο.

Σχήμα 3.9: Η ολοκλήρωση του παιχνιδιού με το σωστό μήνυμα.

Κεφάλαιο 4

Αξιολόγηση του TagglingMR

Ο στόχος της αξιολόγησης του TagglingMR ήταν διπλός. Αφενός, θέλαμε να ελέγξουμε αν εμφανίζονται σφάλματα σε τυπικά σενάρια που ένας παίκτης παίζει το παιχνίδι και αφετέρου να μετρήσουμε και να αξιολογήσουμε την εμπειρία παιχνιδιού και το ποσοστό εμβύθισης (immersion) που είναι σημαντική διάσταση για την εμπειρία του χρήστη σε εφαρμογές μικτής πραγματικότητας. Επίσης, σημαντική παράμετρος είναι και η συνολική απόδοση των παικτών, δηλαδή, το ποσοστό των παικτών που ολοκλήρωσαν επιτυχώς το παιχνίδι και ο χρόνος που χρειάστηκαν. Για να πετύχουμε τον παραπάνω στόχο, διεξήγαμε μια μελέτη με τελικούς χρήστες (π.χ., χρήστες της εφαρμογής) που να προσομοιώνει όσο το περισσότερο την βασική λογική της παρούσας εργασίας, δηλαδή την μετατροπή ενός δωματίου σε χώρο πολιτισμού μικτής πραγματικότητας. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται η μέθοδος και τα αποτελέσματα της μελέτης μας.

4.1 Μέθοδος

4.1.1 Συμμετέχοντες

Συνολικά 10 άτομα συμμετείχαν στη μελέτη αξιολόγησης του TagglingMR (6 άνδρες και 4 γυναίκες) με μέση ηλικία τα 26 χρόνια ($SD = 4$). Γενικά, οι συμμετέχοντες είχαν εμπειρία με την χρήση ηλεκτρονικών παιχνιδιών ($M = .585$, $SD = .359$) και επισκέπτονται συχνά χώρους πολιτισμού ($M = .729$, $SD = .238$). Επίσης, οι περισσότεροι (8/10) δεν είχαν χρησιμοποιήσει ξανά τη συσκευή Microsoft HoloLens. Ο αριθμός των συμμετεχόντων είναι μικρός αλλά επαρκής για την εξαγωγή στοιχειωδών και βασικών συμπερασμάτων. Προφανώς, για μία πιο αποτελεσματική έρευνα και ανάλυση των αποτελεσμάτων απαιτείται συμπληρωματική αξιολόγηση με αυξημένο δείγμα χρηστών.

4.1.2 Μετρικές και εργαλεία

Εντοπισμός σφαλμάτων - Παρατήρηση χρηστών

Ένα εξαιρετικά σημαντικό κομμάτι της αξιολόγησης αποτέλεσε το η ζωντανή μετάδοση, μέσω της κάμερας της συσκευής. Κατά την διάρκεια παιχνιδιού του κάθε συμμετέχοντα, μεταδιδόταν σε έναν φορητό υπολογιστή η εικόνα ζωντανά (live streaming), με την βοήθεια της σχετικής εφαρμογής των Hololens για Windows. Παρατηρώντας με τον τρόπο αυτό τους χρήστες, δινόταν η ευκαιρία για εξαιρετικές παρατηρήσεις σχετικά με τις διάφορες δυσκολίες που αντιμετώπισαν και για έναν αριθμό από σφάλματα του παιχνιδιού τα οποία προέκυψαν στην πορεία. Ο εντοπισμός σφαλμάτων βασίστηκε σχεδόν ολοκληρωτικά στην ζωντανή μετάδοση αλλά και στην μετέπειτα μελέτη του βίντεο που καταγραφόταν ταυτόχρονα. Οι παρατηρήσεις αυτές θα αποβούν καίριας σημασίας για τις μελλοντικές βελτιώσεις της εφαρμογής.

Εμπειρία παιχνιδιού

Για να μετρήσουμε την εμπειρία του κάθε παίκτη κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο Player Experience Inventory (PXI) [49]. Το PXI είναι ένα ερωτηματολόγιο που συμπληρώνεται από τους παίκτες μετά το τέλος του παιχνιδιού και αξιολογεί την εμπείρια τους σε δέκα διαστάσεις: κατανόηση, αυθεντία, συγκέντρωση, αυτονομία, περιέργεια, ευκολία ελέγχου, πρόκληση, ανάδραση προόδου, ελκυστικότητα, και κατανόηση στόχων και κανόνων. Οι απαντήσεις δίνονταν σε γραμμική κλίμακα από το ένα (Διαφωνώ πολύ) έως το επτά (Συμφωνώ πολύ), αλλά για την ανάλυση των αποτελεσμάτων κανονικοποίησαμε τις απαντήσεις. Συνεπώς, το τελικό σκορ για την κάθε κατηγορία είναι στην κλίματα $[0-1]$. Όσο υψηλότερο είναι το σκορ, τόσο καλύτερη είναι η εμπειρία του χρήστη στις επιμέρους διαστάσεις και στη συνολική εμπειρία. Όλες οι ερωτήσεις διατηρήθηκαν στην αρχική τους διατύπωση στην Αγγλική γλώσσα και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

Εμβύθιση των παικτών

Για να μετρήσουμε το ποσοστό εμβύθισης του κάθε παίκτη κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο Immersive Experience Questionnaire (IEQ) [22]. Το IEQ είναι ένα ερωτηματολόγιο που συμπληρώνεται από τους παίκτες μετά το τέλος του παιχνιδιού και αξιολογεί το ποσοστό απορρόφησής τους από το παιχνίδι σε πέντε διαστάσεις: γνωστική εμπλοκή, συναισθηματική εμπλοκή, αποσύνδεση από τον πραγματικό κόσμο, έλεγχος, και πρόκληση. Όπως και στο PXI, οι απαντήσεις δίνονταν σε γραμμική κλίμακα από το ένα έως το επτά, αλλά για την ανάλυση των αποτελεσμάτων κανονικοποίησαμε τις απαντήσεις. Συνεπώς, το τελικό σκορ για την κάθε κατηγορία είναι στην κλίματα $[0-1]$. Όσο υψηλότερο είναι το σκορ, τόσο μεγαλύτερο είναι το

ποσοστό εμβύθισης του χρήστη στις επιμέρους διαστάσεις και στη συνολική εμπειρία. Όλες οι ερωτήσεις διατηρήθηκαν στην αρχική τους διατύπωση στην Αγγλική γλώσσα και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

Συνέντευξη με τους συμμετέχοντες

Μετά το τέλος του παιχνιδιού, είχαμε μια συζήτηση με τους συμμετέχοντες ώστε να μοιραστούν μαζί μας τις σκέψεις τους και περισσότερα πράγματα σχετικά με την εμπειρία τους και να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα τα προβλήματα που εντόπισαν, τα χαρακτηριστικά του παιχνιδιού που δεν τους άρεσαν, αλλά και τα χαρακτηριστικά που τους τράβηξαν την προσοχή. Για κάθε συμμετέχοντα, καταγράψαμε τη συνέντευξη και κρατήσαμε σημειώσεις σχετικά με τα σημαντικότερα σχόλια τους ως προς την εμπειρία τους χρησιμοποιώντας το TagglingMR.

4.1.3 Διαδικασία

Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιάσουμε τη διαδικασία της μελέτης. Η μελέτη διεξήχθη σε δωμάτιο ενός τυπικού φοιτητικού σπιτιού στο κέντρο της Πάτρας τρεις διαδοχικές μέρες του Ιουλίου του 2020. Το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε είναι το εξής:

1. Αρχικά, ενημερώσαμε τους συμμετέχοντες για τον σκοπό της έρευνας και αναφέραμε τα βήματα διαδικασίας. Τους ενημερώσαμε πως μπορούν να τερματίσουν τη διαδικασία όποτε αυτοί επιθυμούν. Η συμμετοχή τους ήταν εθελοντική. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες έδωσαν τη συγκατάθεσή τους για τη συμμετοχή τους στη μελέτη.

2. Στη συνέχεια κανονίσαμε από κοινού με τους συμμετέχοντες συγκεκριμένες ώρες και μέρες για τη διεξαγωγή της μελέτης. Συμπληρώσαμε διάφορα τυπικά στοιχεία (π.χ., μοναδικός κωδικός χρήστη για λόγους ανωνυμίας, ημερομηνία και ώρα διεξαγωγής της μελέτης) μέσω ηλεκτρονικής φόρμας.

3. Στο τρίτο βήμα, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο (Google Form) σχετικά με διάφορα χαρακτηριστικά (π.χ., ηλικία, φύλο), την εμπειρία τους με συσκευές μικτής/εικονικής/επαυξημένης πραγματικότητας και αντίστοιχες εφαρμογές, την συχνότητα που επισκέπτονται χώρους πολιτισμού, και την συχνότητα που παίζουν ηλεκτρονικά παιχνίδια.

4. Με δεδομένο πως οι περισσότεροι συμμετέχοντες δεν είχαν εμπειρία χρήσης των HoloLens , έγινε η απαραίτητη ενημέρωση για την συσκευή. Συγκεκριμένα εξηγήσαμε τους υποστηριζόμενους τρόπους αλληλεπίδρασης με την συσκευή όπως

και το βασικό τρόπο λειτουργίας τους. Στη συνέχεια, ενημερώσαμε τους συμμετέχοντες για την εφαρμογή που υλοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, ενημερώσαμε τους συμμετέχοντες για το ποιοι είναι οι κανόνες, ο στόχος, οι απαιτούμενες φωνητικές λειτουργίες, και οι διάφορες φάσεις του παιχνιδιού.

5. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες φοράνε τα HoloLens και τους δίνεται η δυνατότητα να εξοικειωθούν με την συσκευή μέσω της περιήγησης τους στο κεντρικό μενού, την κατανόηση των χειρονομιών, και την αλληλεπίδραση με τα ολογράμματα.

6. Στο έκτο βήμα, ξεκινά η καταγραφή βίντεο με την κάμερα της συσκευής αφού με τον τρόπο αυτό προστίθεται άλλος ένας τρόπος συλλογής στοιχείων, συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς και της εμπειρίας των συμμετεχόντων.

7. Στο κυριότερο μέρος της μελέτης, γίνεται η χρήση της εφαρμογής από τους συμμετέχοντες. Όπως προαναφέρθηκε, το παιχνίδι ξεκινά πρώτα με την χωρική χαρτογράφηση του χώρου μέχρι να την σταματήσει ο χρήστης με φωνητική εντολή. Μόλις γίνει αυτό, είναι ορατά στους τοίχους τα τρία εκθέματα και ξεκινά η επίλυση του προβλήματος του παιχνιδιού. Αυτό σημαίνει πως οι συμμετέχοντες κινήθηκαν αρχικά στο δωμάτιο με σκοπό την σάρωση. Στην συνέχεια εντόπισαν στον χώρο τα εκθέματα και άρχισαν να αλληλεπιδρούν μαζί τους. Μόλις μάζεψαν έναν αριθμό από ετικέτες στο σακούλι, έκαναν χρήση της κατάλληλης φωνητικής εντολής για εμφάνιση του σακουλιού. Οι συμμετέχοντες προχώρησαν την διαδικασία επίλυσης μέχρι είτε την επιτυχή ολοκλήρωση του παιχνιδιού, είτε την παύση του επειδή το ζήτησαν.

8. Μετά το τέλος της αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων με το TagglingMR, ολοκληρώνεται και η καταγραφή του βίντεο.

9. Στο επόμενο βήμα, ξεκινά μία ολιγόλεπτη ανοιχτή συζήτηση με τους συμμετέχοντες, η οποία ηχογραφείται. Παράλληλα κρατάμε σημειώσεις με τα κυριότερα σχόλιά τους. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες ερωτώνται σχετικά με την εμπειρία του, προβλήματα που αντιμετώπισαν και διάφορες προτάσεις που σκέφτονται για την βελτίωση της εφαρμογής. Επίσης, τους δίνεται η δυνατότητα να εκφράσουν οποιεσδήποτε απόψεις και ιδέες έχουν σχετικά με την γενικότερη κατηγορία των εκπαιδευτικών παιχνιδιών σε χώρους πολιτισμού.

10. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες συμπληρώνουν τα δυο ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια (Google Forms) σχετικά με την εμπειρία του παιχνιδιού (ερωτηματολόγιο PXI) και το ποσοστό εμβύθισής τους (ερωτηματολόγιο IEQ).

11. Μετά τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων προχωρήσαμε στο στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, τα οποία παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Σχήμα 4.1: Συμμετέχων κατά την διάρκεια του πειράματος.

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα δεδομένα από τα οποία θα βγουν τα απαραίτητα συμπεράσματα συλλέγονται σε διάφορες μορφές. Πέρα από τα δύο ερωτηματολόγια και την αρχική φόρμα σχετικά με την εξοικείωση με συσκευές μικτής πραγματικότητας και την επαφή με τους χώρους πολιτισμού, έγινε εξαγωγή σημαντικών παρατηρήσεων από τις ηχογραφημένες συζητήσεις και τις καταγραφές βίντεο από την κάμερα της συσκευής. Στην εικόνα 4.1 βλέπουμε έναν συμμετέχοντα που παίζει το TagglingMR κατά τη διάρκεια της μελέτης μας.

4.2 Αποτελέσματα

4.2.1 Σφάλματα κατά την εκτέλεση του TagglingMR

Σε γενικές γραμμές, οι συμμετέχοντες χρησιμοποίησαν την εφαρμογή όπως αναμενόταν αλλά παρατηρήσαμε τα εξής προβλήματα:

- Κατά την διάρκεια της χωρικής χαρτογράφησης του δωματίου, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε ένα πλέγμα (wireframe) από το Mixd Reality Toolkit για να υποδεικνύει στον χρήστη τις σαρωμένες επιφάνειες, παίρνοντας διαφορετικό χρώματα ανάλογα με την απόσταση του χρήστη από αυτές. Αυτός ο έντονος και εναλλάσσων χρωματισμός προβλημάτισε έναν χρήστη στην προσπάθειά του να κατανοήσει τα σαρωμένα μέρη του χώρου. Ιδανικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα μονοχρωματικό πλέγμα.

- Υπήρξαν δυσκολίες εντοπισμού των εκθεμάτων και των ετικετών στους τοίχους. Οι θέσεις τους δηλαδή δεν ήταν πάντα οι αναμενόμενες από τους χρήστες. Ναι μεν οι περισσότερες ετικέτες εμφανίζονταν πλησίον των εκθεμάτων στα οποία ήταν συνημμένες αλλά παρατηρήθηκαν περιπτώσεις κατά τις οποίες εντοπίζονταν σε μεγαλύτερη απόσταση. Το αναμενόμενο αυτό ζήτημα, προαναφέρθηκε στο κομμάτι της σχεδίασης παραπάνω, όπου και αιτιολογήθηκε λόγω των μεθόδων εύρεσης θέσεων του Mixed Reality Toolkit. Μέσω της αξιολόγησης προκύπτει ένας ακόμα λόγος εμφάνισης του προβλήματος αυτού. Στον κώδικα ορίζεται ο αριθμός των επιθυμητών θέσεων που αναμένεται να υπολογίσει η σχετική μέθοδος. Αυτές οι θέσεις μοιράζονται αναλογικά στον χώρο. Αυτό σημαίνει ότι εάν το πλήθος των θέσεων είναι μικρό, αλλά το σαρωμένο εμβαδόν των τοίχων είναι σχετικά μεγάλο, οι αποστάσεις των θέσεων μεταξύ τους προκύπτουν και αυτές αυξημένες. Στον κώδικα που δοκιμάστηκε στην αξιολόγηση, ορίστηκαν λοιπόν λίγες θέσεις, πράγμα που σημαίνει ότι σε μικρό εμβαδόν χαρτογράφησης, οι θέσεις και κατ΄ επέκτασιν τα έργα τέχνης τοποθετούνταν σε πλήρως φυσιολογικές θέσεις. Όμως όταν κάποιοι χρήστες σάρωσαν ένα αρκετά αυξημένο εμβαδόν, οι αποστάσεις των εκθεμάτων και των ετικετών ήταν και αυτές αυξημένες, γεγονός που τους ανάγκαζε να κινηθούν αρκετά στον χώρο και να δυσκολευτούν να τα εντοπίσουν. Συνοπτικά, υπάρχει μία λύση οι οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε δύο στάδια. Αρχικά, να οριστεί ένας υψηλός αριθμός θέσεων, ώστε τα έργα τέχνης να τοποθετούνται, όσο είναι δυνατόν, το ένα κοντά στο άλλο. Δεύτερον, το πλήθος των εκθεμάτων και των ετικετών να μεταβάλλεται αυτόματα με βάση το μέγεθος της σαρωμένης επιφάνειας, ώστε ο χώρος να φαίνεται πάντα ¨γεμάτος' με αντικείμενα όπως και σε ένα συνηθισμένο μουσείο.

- Σε μία περίπτωση, κατά την σάρωση ενός τοίχου με μπαλκονόπορτα, χαρτογρα-

φήθηκε και ο χώρος του μπαλκονιού αφού τα τζάμια δεν αποτελούν εμπόδιο για το λέιζερ και την κάμερα βάθους της συσκευής. Αυτό σημαίνει ότι μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης, τοποθετήθηκε και ένα έκθεμα στον εξωτερικό τοίχο του κτηρίου, γεγονός που καθιστούσε εξαιρετικά δύσκολη την αλληλεπίδραση μαζί του. Ένας τρόπος για να αποφεύγονται ανάλογα σφάλματα θα ήταν η οριοθέτηση του δωματίου που χαρτογραφείται, ώστε οποιοσδήποτε χώρος πέρα από αυτό να μην λαμβάνεται υπόψη κατά την τοποθέτηση των έργων τέχνης.

- Κάποιοι συμμετέχοντες ενοχλήθηκαν από την μπάρα προόδου οι οποία τους ακολουθούσε συνεχώς και τους εμπόδιζε μερικές φορές στην επιλογή των εκθεμάτων επειδή εμφανίζεται πάντα σε μία απόσταση μπροστά από τον χρήστη. Θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε κάποιο σημείο πιο χαμηλά ή πιο ψηλά ώστε ναι μεν να είναι πάντα ορατή αλλά να μην ενοχλεί τον χειρισμό.

- Για κάποιους χρήστες, οι φωνητικές εντολές εμφάνισαν προβλήματα αφού έπρεπε να δοκιμάσουν αρκετές φορές να πουν την απαραίτητη λέξη ώστε να εκτελεστεί η σχετική λειτουργία. Αυτό αιτιολογείται από δυσκολίες στην προφορά της αγγλικής γλώσσας. Όποια και αν είναι η αιτία, κρίνεται σκόπιμο να προσφέρεται και ένας εναλλακτικός τρόπος αλληλεπίδρασης, όπως κάποια χειρονομία, ώστε η χρήση των φωνητικών λειτουργιών να είναι προαιρετική για την ολοκλήρωση του παιχνιδιού.

- Ένας συμμετέχων παρατήρησε πως όταν άδειασε το σακούλι δεν ήταν σίγουρος ότι ήταν εντελώς άδειο ή ότι το απέκρυψε με την φωνητική εντολή 'Hide'. Μία βελτίωση θα ήταν η εμφάνιση κάποιου σχετικού μηνύματος όταν αδειάζει το σακούλι.

4.2.2 Απόδοση παικτών

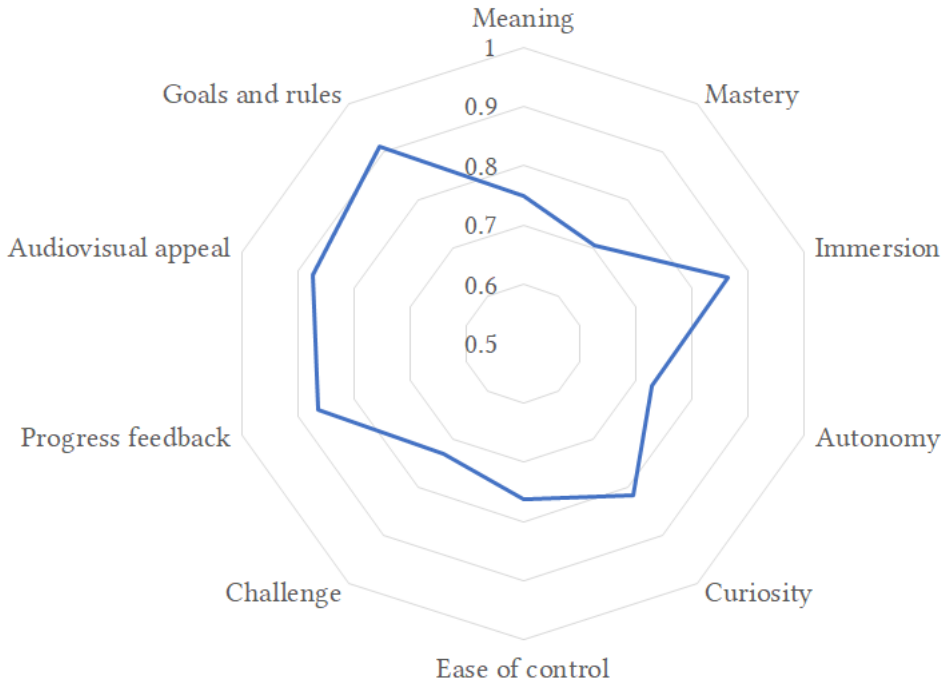
Όλοι οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν επιτυχώς το παιχνίδι, καθώς αντιστοίχησαν όλες τις διαθέσιμες κάρτες στα σωστά εκθέματα. Οι χρόνοι ολοκλήρωσης διέφεραν, όμως, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ($M = 33$ λεπτά, $SD = 9$ λεπτά).

4.2.3 Εμπειρία παιχνιδιού (PXI)

Συνολικά, η εμπειρία του παιχνιδιού (σύμφωνα με την κλίμακα PXI), είναι θετική ($M = .802$, $SD = .079$). Η ανάλυση (One-way repeated-measures ANOVA) έδειξε πως η εμπειρία των παικτών ήταν στατιστικά σημαντικά διαφορετική στις διάφορες διαστάσεις ($F = 2.255$, $p = .035$, $\eta^2 = .311$). Τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 4.2.

Οι συμμετέχοντες εμφάνισαν χαμηλότερα σκορ (< .8) σχετικά με τις διαστάσεις της κατανόησης, της αυθεντίας, της αυτονομίας, του ελέγχου, και της πρόκλησης. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες μας είπαν πως ενώ κατανόησαν τους κανόνες και την ιδέα του παιχνιδιού, δεν ήταν σίγουροι αν η απόδοσή τους ήταν καλή. Αυτή η εμπειρία ενδεχομένως επηρεάστηκε από το γεγονός πως οι συμμετέχοντες δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία με τα Hololens και τους τρόπους αλληλεπίδρασης. Επίσης, το γεγονός πως οι περισσότεροι συμμετέχοντες δεν είχαν εμπειρία με τα Hololens τους οδήγησε να αισθάνονται πως δεν έχουν καλό έλεγχο καθώς δυσκολεύονταν να εκτελέσουν τις απαιτούμενες χειρονομίες αλληλεπίδρασης ή η εφαρμογή δεν καταλάβαινε και δεν δεχόταν πάντα τις φωνητικές εντολές. Οι συμμετέχοντες μας είπαν επίσης πως ενώ το παιχνίδι τους δίνει τη δυνατότητα να έρθουν σε επαφή με εκθέματα που μόνο σε έναν χώρο πολιτισμού (π.χ. μουσείο) θα μπορούσαν να βρουν, στην ίδια στιγμή το γεγονός πως η έκθεση θα πρέπει να χωρέσει σε ένα δωμάτιο μικρότερο από αυτό του χώρου πολιτισμού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα και επηρεάζει την αίσθηση αυτονομίας που έχουν. Τέλος, οι συμμετέχοντες μας είπαν πως το παιχνίδι θα μπορούσε να είναι πιο δύσκολο (π.χ., να υπάρχουν περισσότερες πίστες, περισσότερα εκθέματα, περισσότερες διαθέσιμες κάρτες), κάτι που επηρέασε την αίσθηση πρόκλησης που εισάγει το παιχνίδι. Ωστόσο, αυτό ήταν αποτέλεσμα του περιορισμού του χώρου καθώς και της ύπαρξης μόνο ενός επιπέδου του παιχνιδιού. Ιδανικά, το παιχνίδι θα πρέπει να υποστηρίζει διάφορους βαθμούς δυσκολίας ανάλογα με τις προτιμήσεις το παίκτη αλλά και τη διαθέσιμη πολιτισμική πληροφορία.

Οι συμμετέχοντες εμφάνισαν υψηλά σκορ (> .8) σχετικά με τις διαστάσεις συγκέντρωσης, περιέργειας, ανάδρασης, οπτικοακουστικής ελκυστικότητας, στόχων και κανόνων. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες μας είπαν ότι ένιωσαν πως απορροφήθηκαν στον κόσμο της μικτής πραγματικότητας και ότι ένιωσαν πως ήταν πλήρως συγκεντρωμένοι στο παιχνίδι. Επίσης, ήθελαν να εξερευνήσουν τις δυνατότητες του παιχνιδιού όσο περισσότερο μπορούσαν και τους ενδιέφερε σε μεγάλο βαθμό η πλοκή και η εξέλιξη του παιχνιδιού. Οι συμμετέχοντες τόνισαν πως το παιχνίδι τους παρείχε ξεκάθαρη ανάδραση, καθώς μπορούσαν να δουν την πρόοδό τους με εύκολο και γρήγορο τρόπο. Το παιχνίδι τους φάνηκε ελκυστικό ως προς τα οπτικοακουστικά του χαρακτηριστικά, καθώς τους άρεσαν ο αισθητικός σχεδιασμός και ο τρόπος παρουσίασης της πληροφορίας (π.χ., εκθέματα, κάρτες). Τέλος, ο σχεδιασμός του παιχνιδιού ήταν τέτοιος που τους επέτρεπε να γνωρίζουν με σαφήνεια τους στόχους και τους κανόνες του παιχνιδιού καθώς και το τι τους ζητούνταν να κάνουν σε κάθε σημείο του παιχνιδιού, και με ποιον τρόπο.



Σχήμα 4.2: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ερωτηματολόγιο PXI.

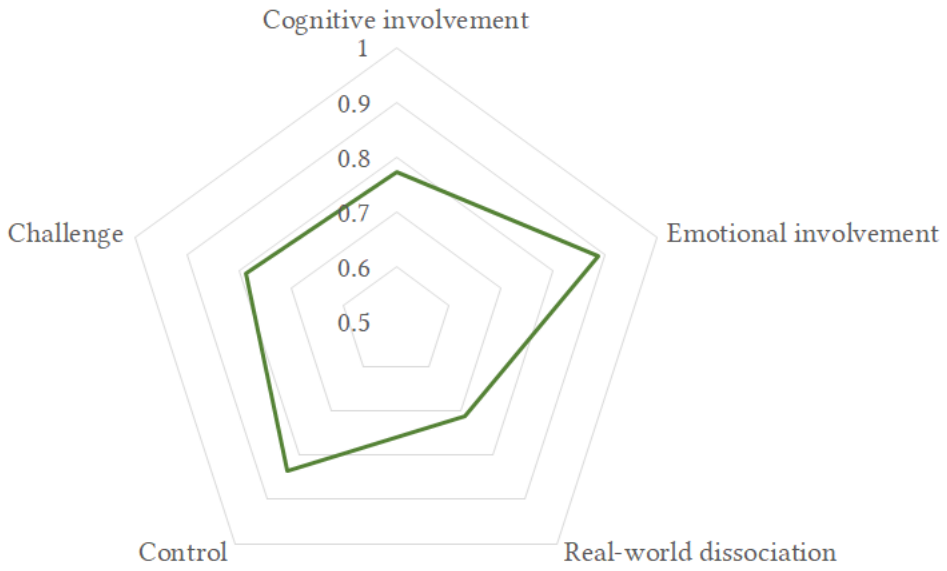
4.2.4 Εμβύθιση των παικτών (IEQ)

Συνολικά, το ποσοστό εμβύθισης των παικτών (σύμφωνα με την κλίμακα IEQ), ήταν υψηλό ($M = .792$, $SD = .048$). Η ανάλυση (One-way repeated-measures ANOVA) έδειξε πως το ποσοστό εμβύθισης των παικτών ήταν στατιστικά σημαντικά διαφορετική στις διάφορες διαστάσεις ($F = 4.224$, $p = .012$, $\eta^2 = .458$). Τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 4.3.

Οι συμμετέχοντες εμφάνισαν χαμηλότερα σκορ ($< .8$) σχετικά με τις διαστάσεις της γνωστικής εμπλοκής, της αποσύνδεσης από τον πραγματικό κόσμο, και της πρόκλησης. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες μας είπαν πως ενώ ο συνδυασμός πραγματικού και εικονικού κόσμου ήταν κάτι που τους άρεσε, φάνηκε να μην τους βοηθά να επικεντρώσουν πλήρως την προσοχή τους στο παιχνίδι και συνεπώς χρειάστηκε να καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια (σε σύγκριση με τη χρήση συμβατικών τεχνολογιών) για να μην επηρεάζονται από εξωγενείς παράγοντες και να μείνουν προσηλωμένοι στο παιχνίδι. Όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα, οι συμμετέχοντες δεν ήταν σίγουροι σχετικά με το πόσο καλά τα πάνε στο παιχνίδι κυρίως λόγω του γεγονότος πως έχαναν εύκολα την επαφή με τον χρόνο. Επίσης, οι συμμετέχοντες είχαν υψηλό κίνητρο για την ολοκλήρωση του παιχνιδιού αλλά λόγω περιορισμένου επίπεδου δυσκο-

λίας και συνεπώς λόγω του μειωμένου ποσοστού πρόκλησης που εισήγαγε το παιχνίδι, μειώθηκε το ενδιαφέρον για να τελειώσουν γρήγορα και να κερδίσουν τους άλλους παίκτες, όσον αφορά τον χρόνο της ολοκλήρωσης του παιχνιδιού.

Οι συμμετέχοντες εμφάνισαν υψηλότερα σκορ ($> .8$) σχετικά με τις διαστάσεις της συναισθηματικής εμπλοκής και της αίσθηση ελέγχου. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες μας είπαν πως παίζοντας το Taggling στον κόσμο της μικτής πραγματικότητας τους φάνηκε μια πρωτόγνωρη και εξαιρετική εμπειρία, την οποία απόλαυσαν και δεν έπαιζαν απλά για να παίζουν και να ολοκληρώσουν επιτυχώς το παιχνίδι. Αισθάνθηκαν ότι δέθηκαν σε μεγάλο βαθμό με τα έργα πολιτισμού που παρουσιάστηκαν στο παιχνίδι και τους άρεσε πολύ το γεγονός πως μπορούσαν να τα πλησιάσουν και να τα εξερευνήσουν από κοντινή απόσταση, κάτι που ίσως να μην ήταν δυνατό σε έναν χώρο πολιτισμού (π.χ., μια έκθεση έργων τέχνης). Επίσης, οι συμμετέχοντες μας είπαν πως βρήκαν την εμπειρία διασκεδαστική, ότι θα ξαναέπαιζαν το παιχνίδι, και θα τους ενδιέφερε να υπάρχουν περισσότερα επίπεδα δυσκολίας, περισσότερα εκθέματα, περισσότερες κάρτες, και περισσότεροι κόσμου (π.χ., αρχαίος Ελληνικός πολιτισμός, ιστορία του Β΄ παγκοσμίου πολέμου). Όσον αφορά την διάσταση του ελέγχου, οι συμμετέχοντες μας είπαν πως ενώ η αλληλεπίδραση με τα Hololens ήταν κάτι πρωτόγνωρο για αυτούς, τους ήταν σαφείς οι τρόποι αλληλεπίδρασης, είτε στη μορφή χειρονομιών είτε στη μορφή φωνητικών εντολών. Τέλος, μας είπαν πως αισθάνθηκαν ότι είχαν τον έλεγχο των κινήσεων τους και ότι μπορούσε σε οποιοδήποτε σημείο του παιχνιδιού να εκτελέσουν τις εντολές που επιθυμούσαν.



Σχήμα 4.3: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ερωτηματολόγιο IEQ.

Κεφάλαιο 5

Προεκτάσεις και Επίλογος

5.1 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία σημείωσε ένα πρώτο σημαντικό βήμα για αξιοποίηση των τεχνολογιών μικτής πραγματικότητας στον χώρο του πολιτισμού και της πολιτιστικής κληρονομιάς. Είναι ξεκάθαρο πως οι δυνατότητες των καινοτόμων αυτών τεχνολογιών και ειδικά των HoloLens, είναι τεράστιες αφού υπάρχει ένας μεγάλος φάσμα τομέων που έχουν την ευκαιρία να επωφεληθούν από αυτές μέσω της έρευνας και της ανάπτυξης των κατάλληλων εφαρμογών. Για παράδειγμα, τα HoloLens 2, τα οποία παρουσιάστηκαν το 2019 και κυκλοφορούν ήδη, πέτυχαν εντυπωσιακές βελτιώσεις σε σχέση με την πρώτη έκδοση, αφού είναι ελαφρύτερα, μικρότερα σε μέγεθος και υπολογιστικά ισχυρότερα.

Προφανώς, είναι δυνατή η διεξαγωγή συμπληρωματικών ερευνών με μεγαλύτερο δείγμα συμμετεχόντων για εξαγωγή πιο ασφαλών συμπερασμάτων. Μέσω περαιτέρω ερευνών θα μπορούσαν να λυθούν και τα όποια προβλήματα εντοπίστηκαν κατά την διαδικασία της αξιολόγησης και να υλοποιηθούν οι κατάλληλες βελτιώσεις.

Στο κομμάτι των εκπαιδευτικών παιχνιδιών, εφαρμογές όπως αυτή που αναπτύχθηκε μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά στην εκπαιδευτική διαδικασία πολλαπλασιάζοντας τα κίνητρα για μάθηση σε σπουδαστές και μαθητές. Μέσω της χωρικής χαρτογράφησης, οι συσκευές μικτής πραγματικότητας προσφέρουν επαναστατικούς τρόπους απεικόνισης δεδομένων και πληροφοριών. Παράλληλα, όπως προκύπτει και από το πείραμα, σε εφαρμογές των Hololens όπως αυτή που αναπτύχθηκε, οι χρήστες λύνουν τα ζητούμενα προβλήματα εργαζόμενοι απορροφημένοι και εξαιρετικά συγκεντρωμένοι στους στόχους τους. Αυτό όπως είναι προφανές, υποδεικνύει τα εξαιρετικά οφέλη που προσφέρουν τα παιχνίδια μικτής πραγματικότητας στους χρήστες αφού έρχονται σε επαφή με ένα γνωστικό αντικείμενο πλήρως συγκεντρωμένοι και ενεργητικοί. Ανάλογα χωροευαίσθητα εκπαιδευτικά παιχνίδια λοιπόν, μπορούν να αναπτυχθούν για διάφορα επιστημονικά αντικείμενα για χρήστες διαφόρων γνωστικών και μαθησιακών

επιπέδων δίνοντας νέες διαστάσεις στην κλασική εκπαιδευτική διαδικασία.

5.2 Επίλογος

Μέσω της παρούσας διπλωματικής, υλοποιήθηκε ένα χωροευαίσθητο εκπαιδευτικό παιχνίδι, το οποίο αποτελεί μία εφαρμογή μικτής πραγματικότητας χρησιμοποιώντας τα HoloLens. Παρουσιάστηκε λεπτομερώς ολόκληρη η διαδικασία έρευνας, σχεδιασμού, ανάπτυξης και αξιολόγησης. Το παιχνίδι αυτό μετατρέπει ένα οποιοδήποτε δωμάτιο σε εικονικό μουσείο τοποθετώντας και έναν αριθμό από εκθέματα, μέσω της χωρικής χαρτογράφησης του περιβάλλοντος. Η αξιολόγηση εξέτασε την εμπειρία των χρηστών και την εμβύθισή τους κατά την χρήση του παιχνιδιού, εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα.

Παρότι η εφαρμογή αυτή δεν αποτελεί ένα ολοκληρωμένο προϊόν, μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για περαιτέρω έρευνα στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς και τις τεχνολογίες μικτής πραγματικότητας.

Παράρτημα Α΄

Κώδικας Εφαρμογής

Παρακάτω παρατίθενται όλα τα scripts που συντάχθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής. Σε κάθε script υπάρχει μια μικρή περιγραφή της λειτουργίας του καθώς και το Game Object στο οποίο επισυνάφθηκε στη σκηνή της Unity .

ScanManager.cs

Αποτελεί την βάση της εφαρμογής. Διαχειρίζεται την διαδικασία της σάρωσης και τοποθετεί τα αντικείμενα στον χώρο. Επίσης μεταφέρει στα υπόλοιπα Game Objects τα απαραίτητα δεδομένα.

```
using System;
using HoloToolkit.Unity;
using HoloToolkit.Unity.InputModule;
using HoloToolkit.Unity.SpatialMapping;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;
using System.Collections.Generic;

public class ScanManager : MonoBehaviour, ISpeechHandler
{

    public TextMesh InstructionTextMesh;
    public GameObject progressBar;

    // Values to be filles from Unity Editor:
    public List<GameObject> Paintings;
    public List<TextMesh> paintingCaptions;
    public List<GameObject> Tags;
```

```
19      public List<TextMesh> tagCaptions;
20      [SerializeField]
21      public List<int> Keys;
22      [SerializeField]
23      public Material Transparent;
24
25      //
26      public List<GameObject> paintingChildren;
27      private List<GameObject> allPaintings = new List<
            GameObject>();
28
29      private GameObject SpatialUnder;
30      private SpatialUnderstandingCustomMesh customMeshScript;
31
32      private GameObject bag;
33      private bool hidden = true;
34
35      // Use this for initialization
36      void Start()
37      {
38          InputManager.Instance.PushFallbackInputHandler(this.
                gameObject);
39          SpatialUnderstanding.Instance.RequestBeginScanning()
                ;
40          SpatialUnderstanding.Instance.ScanStateChanged +=
                ScanStateChanged;
41
42          SpatialUnder = GameObject.FindWithTag("Understanding
                ");
43          customMeshScript = SpatialUnder.GetComponent<
                SpatialUnderstandingCustomMesh>();
44          bag = GameObject.FindWithTag("Bag");
45          progressBar.SetActive(false);
46          gameObject.GetComponent<GamingManager>().enabled =
                false;
47
48          for (int i = 0; i < 3; i++)
49          {
```

```
50                paintingChildren.Add(transform.GetChild(i).
                      gameObject);
51            }
52        }
53
54        // SPEECH //
55        public void OnSpeechKeywordRecognized(SpeechEventData
              eventData)
56        {
57            if (eventData.RecognizedText == "Stop")
58            {
59                StopScan(eventData.RecognizedText);
60            }
61            if (eventData.RecognizedText == "Show")
62            {
63                ShowBag(eventData.RecognizedText);
64            }
65            if (eventData.RecognizedText == "Hide")
66            {
67                HideBag(eventData.RecognizedText);
68            }
69        }
70
71        public void StopScan(string command)
72        {
73            SpatialUnderstanding.Instance.RequestFinishScan();
74        }
75
76        public void ShowBag(string command)
77        {
78            if(hidden == true)
79            {
80                bag.GetComponent<Billboard>().enabled = false;
81                bag.GetComponent<Tagalong>().enabled = false;
82                bag.GetComponent<BoxCollider>().enabled = false;
83
84                bag.GetComponent<TagsMenu>().ShowBag();
85                hidden = false;
```

```
86          }
87      }
88
89      public void HideBag(string command)
90      {
91          if (hidden == false)
92          {
93              bag.GetComponent<Billboard>().enabled = true;
94              bag.GetComponent<Tagalong>().enabled = true;
95              bag.GetComponent<BoxCollider>().enabled = true;
96
97              bag.GetComponent<TagsMenu>().HideBag();
98              hidden = true;
99          }
100     }
101
102     private void ScanStateChanged()
103     {
104         if (SpatialUnderstanding.Instance.ScanState ==
                SpatialUnderstanding.ScanStates.Scanning)
105         {
106             LogSurfaceState();
107         }
108         else if (SpatialUnderstanding.Instance.ScanState ==
                SpatialUnderstanding.ScanStates.Done)
109         {
110             customMeshScript.MeshMaterial = Transparent;
111             InstantiatePaintingsOnWalls();
112         }
113     }
114
115     //private void OnDestroy()
116     //{
117     //     SpatialUnderstanding.Instance.ScanStateChanged -=
            ScanStateChanged;
118     //}
119
120     // Update is called once per frame
```

```
121     void Update()
122     {
123         switch (SpatialUnderstanding.Instance.ScanState)
124         {
125             case SpatialUnderstanding.ScanStates.None:
126             case SpatialUnderstanding.ScanStates.ReadyToScan
                    :
127                 break;
128             case SpatialUnderstanding.ScanStates.Scanning:
129                 this.LogSurfaceState();
130                 break;
131             case SpatialUnderstanding.ScanStates.Finishing:
132                 this.InstructionTextMesh.text = "State: ␣
                        Finishing␣Scan";
133                 break;
134             case SpatialUnderstanding.ScanStates.Done:
135                 this.InstructionTextMesh.text = null;
136                 break;
137             default:
138                 break;
139         }
140     }
141
142     public void RestartGame(string command)
143     {
144         SceneManager.LoadScene("SpatialDemoScene");
145     }
146     private void LogSurfaceState()
147     {
148         IntPtr statsPtr = SpatialUnderstanding.Instance.
                UnderstandingDLL.GetStaticPlayspaceStatsPtr();
149         if (SpatialUnderstandingDll.Imports.
                QueryPlayspaceStats(statsPtr) != 0)
150         {
151             var stats = SpatialUnderstanding.Instance.
                    UnderstandingDLL.GetStaticPlayspaceStats();
152             this.InstructionTextMesh.text = string.Format("
                    TotalSurfaceArea: ␣{0:0.##}\nWallSurfaceArea: ␣
```

```
                {1:0.##}\nHorizSurfaceArea: {2:0.##}", stats.
                TotalSurfaceArea, stats.WallSurfaceArea,
                stats.HorizSurfaceArea);
153         }
154     }
155
156     private void InstantiatePaintingsOnWalls()
157     {
158         // Shuffle the Tags List
159
160         // Assign Tags to Paintings
161         AssignTagsToPaintings(Keys, Tags, tagCaptions);
162
163         //
164         //  ALGORITHM FOR POSITIONING
165         //
166         // Add every gameobject that I want to show in a
            list
167         GeneralLists();
168
169         const int QueryResultMaxCount = 128;
170         SpatialUnderstandingDllTopology.TopologyResult[]
            _resultsTopology = new
            SpatialUnderstandingDllTopology.TopologyResult[
            QueryResultMaxCount];
171         var minHeightOfWallSpace = 0.5f;
172         var minWidthOfWallSpace = 0.5f;
173         var minHeightAboveFloor = 1.0f;
174         var minFacingClearance = 0.2f;
175
176         var resultsTopologyPtr = SpatialUnderstanding.
            Instance.UnderstandingDLL.PinObject(
            _resultsTopology);
177         var locationCount = SpatialUnderstandingDllTopology.
            QueryTopology_FindPositionsOnWalls(
            minHeightOfWallSpace, minWidthOfWallSpace,
            minHeightAboveFloor, minFacingClearance,
            _resultsTopology.Length, resultsTopologyPtr);
```

```
178
179         int lastIndex = 0;
180
181         if (locationCount > 0)
182         {
183             //
184             // Finding Position and rotation of Paintings
185             //
186             GlobalVariables.objPositions.Add(
                    _resultsTopology[0].position);// first
                    painting
187             GlobalVariables.objRotations.Add(Quaternion.
                    LookRotation(_resultsTopology[0].normal,
                    Vector3.up));
188
189             // last topology index is zero
190             int paintCounter = 0;
191             // for the rest paintings
192             for(int i = 1; i < allPaintings.Count; i++)
193             {
194                 // Checking every topology location
195                 for(int j = lastIndex + 1; j < locationCount
                        ; j++)
196                 {
197                     // Check if this GameObject is too close
                            with with the previous one
198                     if(IsDistanceBetween(i, _resultsTopology
                            [j].position))
199                     {
200                         // Assign positions
201                         Vector3 pos = new Vector3(
                                _resultsTopology[j].position.x,
                                _resultsTopology[j].position.y,
                                _resultsTopology[j].position.z);
202                         Quaternion rot = Quaternion.
                                LookRotation(_resultsTopology[j].
                                normal, Vector3.up);
203
```

```
204                     GlobalVariables.objPositions.Add(pos
                            );
205                     GlobalVariables.objRotations.Add(rot
                            );// first painting
206
207                     lastIndex = j;
208                     break;
209                 }
210             }
211         }
212
213         for(int z = 0; z < allPaintings.Count; z++)
214         {
215             // Instantiate PAINTINGS
216             if ((z - 1) % 3 == 0)
217             {
218                 paintingChildren[paintCounter].transform
                        .position = GlobalVariables.
                        objPositions[z];
219                 paintingChildren[paintCounter].transform
                        .rotation = GlobalVariables.
                        objRotations[z];
220                 InstantiatePaintingWithCaption(
                        paintingChildren[paintCounter],
                        paintingCaptions[paintCounter],
                        Paintings[paintCounter]);
221
222                 paintCounter++;
223             }
224             else
225             {
226                 // Position TAGS
227                 if (z % 3 == 0)
228                 {
229                     paintingChildren[z / 3].GetComponent
                            <ShowTags>().PositionTag(0,
                            GlobalVariables.objPositions[z],
                            GlobalVariables.objRotations[z]);
```

```
                    }
                    else
                    {
                        paintingChildren[z / 3].GetComponent<ShowTags>().PositionTag(1, GlobalVariables.objPositions[z], GlobalVariables.objRotations[z]);
                    }
                }
            }

            // Position the bag and its children
            bag.transform.position = new Vector3(0, 0, 1.0f);
            bag.transform.rotation = Quaternion.LookRotation(Vector3.forward);

            bag.GetComponent<TagsMenu>().PositionBag();

            // Instantiate Bars now that I have the Sizes of the painting objects (or box colliders)
            foreach(GameObject child in paintingChildren)
            {
                child.GetComponent<ShowTags>().InstantiateBars();
            }
            progressBar.SetActive(true);
            gameObject.GetComponent<GamingManager>().enabled = true;
        }
        else
        {
            this.InstructionTextMesh.text = "I can't find enough space to place the painting.";
        }
    }

    private void GeneralLists()
```

```
    {

        int sizeOfList = Paintings.Count + Tags.Count;
        int i = 0, j = 0;
        foreach (GameObject obj in paintingChildren)
        {
            allPaintings.Add(Tags[i]);
            allPaintings.Add(Paintings[j]);
            allPaintings.Add(Tags[i + 1]);
            i += 2;
            j++;
        }
    }

    private void AssignTagsToPaintings(List<int> keys, List<
        GameObject> objs, List<TextMesh> caps)
    {
        int j = 0;
        foreach (GameObject item in paintingChildren)
        {
            PieceOfArt piece;
            int k = 0;
            for (int i = 2 * j; i < 2 * j + 2; i++)
            {
                piece = new PieceOfArt(objs[i], caps[i]);

                item.GetComponent<ShowTags>().tagsInPainting
                    .Add(keys[i], piece);
                item.transform.GetChild(k).GetComponent<
                    TagInPainting>().key = keys[i];
                item.transform.GetChild(k).GetComponent<
                    TagInPainting>().piece = piece;
                k++;
            }
            j++;
        }
    }

```

```
    private bool IsDistanceBetween(int index, Vector3 posCurrent)
    {
        Vector3 posPrevious = GlobalVariables.objPositions[index - 1];
        float lengthPrevious = allPaintings[index - 1].GetComponent<SpriteRenderer>().bounds.size.x;
        float lengthCurrent = allPaintings[index].GetComponent<SpriteRenderer>().bounds.size.x;
        float desiredDistance = lengthCurrent*0.5f + lengthPrevious*0.5f;
        float dis = Vector3.Distance(posCurrent, posPrevious);

        if (dis > desiredDistance && Vector3.Distance(posCurrent, GlobalVariables.objPositions[0]) > desiredDistance)
        {
            return true;
        }
        return false;
    }

    private void InstantiatePaintingWithCaption(GameObject paint, TextMesh cap, GameObject art)
    {
        GameObject instantiatedPainting;
        Vector3 rendererSize;
        float captionYPos, captionXPos;

        // Painting attributes

        paint.transform.position = paint.transform.position + paint.transform.TransformDirection(new Vector3(0, 0, 0.05f));

        // Add and resize BoxCollider
        paint.AddComponent<BoxCollider>();
```

```
320         BoxCollider box = paint.GetComponent<BoxCollider>();
321         SpriteRenderer sprite = art.GetComponent<
                SpriteRenderer>();
322         box.size = new Vector3(sprite.bounds.size.x, sprite.
                bounds.size.y, 0.01f);
323
324         // Instantiate Paintings
325         instantiatedPainting = Instantiate(art, paint.
                transform.position, paint.transform.rotation);
326
327         rendererSize = instantiatedPainting.GetComponent<
                Renderer>().bounds.size; // Size of Instantiated
                Object using Renderer Component
328
329         // Caption Position
330         captionYPos = -rendererSize.y * 0.5f - 0.05f; // On
                y axis  get relative position to the box collider
                 size
331         captionXPos = rendererSize.x * 0.5f;
332         cap.transform.position = paint.transform.position +
                paint.transform.TransformDirection(new Vector3(
                captionXPos, captionYPos, 0));
333
334         // Caption Rotation
335         Vector3 rotEuler;
336         cap.transform.rotation = paint.transform.rotation;
337         rotEuler = cap.transform.rotation.eulerAngles;
338         rotEuler = new Vector3(rotEuler.x, rotEuler.y + 180,
                 rotEuler.z);
339         cap.transform.rotation = Quaternion.Euler(rotEuler);
340
341         // Instantiate Captions
342         Instantiate(cap, cap.transform.position, cap.
                transform.rotation);
343     }
344 }
```

ShowTags.cs

Επισυνάπτεται στα Game Objects των εκθεμάτων και εκκινεί την διαδικασία προβολής των ετικετών σε αυτά.

```
1
2
3 using System.Collections;
4 using System.Collections.Generic;
5 using UnityEngine;
6 using HoloToolkit.Unity.InputModule;
7
8 public class ShowTags : MonoBehaviour, IInputClickHandler
9 {
10     private List<Vector3> tagPositions = new List<Vector3>()
        ;
11     private List<Quaternion> tagRotations = new List<
        Quaternion>();
12
13     private GameObject Bag;
14     private bool created = false;
15     private bool visible = false;
16
17     public List<GameObject> children;
18     public int paintingID;
19     public GameObject checkBar;
20     public GameObject LeftInstantiatedCheckBar,
        RightInstantiatedCheckBar;
21     public Dictionary<int, PieceOfArt> tagsInPainting = new
        Dictionary<int, PieceOfArt>(); // from ScanManager.cs
22
23     // Use this for initialization
24     void Start()
25     {
26         Bag = GameObject.FindWithTag("Bag");
27         for (int i = 0; i < 2; i++)
28         {
29             children.Add(transform.GetChild(i).gameObject);
30         }
31     }
```

```
32
33      public void OnInputClicked(InputClickedEventData
            eventData)
34      {
35          if (GlobalVariables.pieceToTranspose == null)
36          {
37              if (created == false)
38              {
39                  created = true; // I instantiated the
                        Paintings
40                  visible = true; // I showed the paintings
41
42                  int i = 0;
43                  foreach (var item in tagsInPainting)
44                  {
45                      children[i].transform.rotation =
                            tagRotations[i];
46                      children[i].transform.position =
                            tagPositions[i];
47
48                      Vector3 pos = children[i].transform.
                            position;
49                      pos = pos + children[i].transform.
                            TransformDirection(new Vector3(0, 0,
                            0.1f));
50                      children[i].transform.position = pos;
51
52                      children[i].GetComponent<TagInPainting
                            >().key = item.Key;
53                      children[i].GetComponent<TagInPainting
                            >().piece = item.Value;
54                      children[i].GetComponent<TagInPainting
                            >().ShowInPainting();
55                      i++;
56                  }
57              }
58              else
59              {
```

```
60                  if (visible == true)
61                  {
62                      // If the paintings are visible, hide
                            them
63                      ToogleVisibilities(visible);
64                      visible = false;
65                  }
66                  else
67                  {
68                      // If the paintings are hidden, show
                            them
69                      ToogleVisibilities(visible);
70                      visible = true;
71                  }
72              }
73          }
74          else
75          {
76              TagsBackInPaintings();
77          }
78      }
79
80      public void PositionTag(int index, Vector3 tagPosition,
            Quaternion tagRotation)
81      {
82          tagRotations.Add(tagRotation);
83          tagPositions.Add(tagPosition);
84      }
85
86      public void InstantiateTag(int child, int id, PieceOfArt
            piece)
87      {
88          children[child].GetComponent<TagInPainting>().key =
                id;
89          children[child].GetComponent<TagInPainting>().piece
                = piece;
90          children[child].GetComponent<TagInPainting>().
                ShowInPainting();
```

```
91      }
92
93      private void ToogleVisibilities(bool v)
94      {
95          foreach(GameObject child in children){
96              child.GetComponent<TagInPainting>().
                    ToogleVisibility(!v);
97          }
98      }
99
100     public void UpdateGlobals()
101     {
102         GlobalVariables.pieceToTranspose = null;
103         GlobalVariables.presentKey = -1;
104     }
105
106     public void TagsBackInPaintings()
107     {
108         if (children[0].GetComponent<TagInPainting>().
                instantiatedTag == null)
109         {
110             InstantiateTag(0, GlobalVariables.presentKey,
                    GlobalVariables.pieceToTranspose);
111             UpdateGlobals();
112         }
113         else
114         {
115             if (children[1].GetComponent<TagInPainting>().
                    instantiatedTag == null)
116             {
117                 InstantiateTag(1, GlobalVariables.presentKey
                        , GlobalVariables.pieceToTranspose);
118                 UpdateGlobals();
119             }
120         }
121     }
122
123     public void InstantiateBars(){
```

```
        //
        // CheckBar Position and Size
        //
        float barXPos, barZPos;
        Vector3 rendererSize, leftPos, rightPos;
        checkBar.transform.rotation = transform.rotation;
        checkBar.transform.Rotate(90, 0, 0);

        // CheckBar Position
        rendererSize = gameObject.GetComponent<BoxCollider
            >().size;
        barZPos = -rendererSize.y * 0.5f - 0.1f;
        barXPos = -rendererSize.x * 0.25f;
        checkBar.transform.position = transform.position +
            checkBar.transform.TransformDirection(new Vector3
            (barXPos, 0, barZPos));

        rightPos = checkBar.transform.position;
        leftPos = rightPos + checkBar.transform.
            TransformDirection(new Vector3(rendererSize.x *
            0.5f, 0, 0));

        RightInstantiatedCheckBar = Instantiate(checkBar,
            rightPos, checkBar.transform.rotation);
        LeftInstantiatedCheckBar = Instantiate(checkBar,
            leftPos, checkBar.transform.rotation);
    }
}
```

TagInPainting.cs

Το script αυτό είναι συνημμένο στα Game Objects των ετικετών, δηλαδή τα παιδιά των εκθεμάτων. Εκκινεί την διαδικασία μεταφοράς ετικέτας από το έκθεμα στο σακούλι.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
```

```
5 using HoloToolkit.Unity.InputModule;
6
7 public class TagInPainting : MonoBehaviour,
    IInputClickHandler
8 {
9     public int key; // from ShowTags.cs
10    public PieceOfArt piece; // from ShowTags.cs
11    public Vector3 position;
12    public GameObject instantiatedTag;
13    private TextMesh instantiatedTagCaption;
14    private GameObject bag;
15    private GameObject mapping;
16
17    private void Start() {
18        bag = GameObject.FindWithTag("Bag");
19        mapping = GameObject.FindWithTag("Mapping");
20    }
21
22    public void OnInputClicked(InputClickedEventData
        eventData)
23    {
24        // If tag isn't in the Bag
25        if (bag.GetComponent<TagsMenu>().IsTagInBag(key) ==
            false)
26        {
27            bag.GetComponent<TagsMenu>().AddTags(key, piece)
                ;
28            RemoveTagFromPainting();
29        }
30    }
31
32    public void ShowInPainting()
33    {
34        Vector3 tagRendererSize;
35        float captionYPos, captionXPos;
36        Quaternion rot = transform.rotation;
37
38        // Add and resize BoxCollider
```

```
39          gameObject.AddComponent<BoxCollider>();
40          BoxCollider box = gameObject.GetComponent<
                BoxCollider>();
41          SpriteRenderer sprite = piece.pieceOfArt.
                GetComponent<SpriteRenderer>();
42          box.size = new Vector3(sprite.bounds.size.x, sprite.
                bounds.size.y, 0.01f);
43
44          // Instantiate Paintings
45          instantiatedTag = Instantiate(piece.pieceOfArt,
                transform.position, rot);
46
47          // Caption Position
48          tagRendererSize = instantiatedTag.GetComponent<
                Renderer>().bounds.size; // Size of Instantiated
                Object using Renderer Component
49          captionYPos = -tagRendererSize.y * 0.5f - 0.05f; //
                On y axis  get relative position to the box
                collider size
50          captionXPos = tagRendererSize.x * 0.5f;
51          piece.caption.transform.position = transform.
                position + transform.TransformDirection(new
                Vector3(captionXPos, captionYPos, 0));
52
53          // Caption Rotation
54          piece.caption.transform.rotation = rot;
55          piece.caption.transform.Rotate(0, 180, 0);
56
57          // Instantiate Caption
58          instantiatedTagCaption = Instantiate(piece.caption,
                piece.caption.transform.position, piece.caption.
                transform.rotation);
59      }
60
61      public void ToogleVisibility(bool visibility)
62      {
63          if(instantiatedTag != null){
64              gameObject.SetActive(visibility);
```

```
65                  instantiatedTag.GetComponent<Renderer>().enabled
                        = visibility;
66                  instantiatedTagCaption.GetComponent<Renderer>().
                        enabled = visibility;
67              }
68          }
69
70          private void RemoveTagFromPainting(){
71              gameObject.GetComponentInParent<ShowTags>().
                    tagsInPainting.Remove(key);
72              piece = null;
73              key = -1;
74              Destroy(instantiatedTag);
75              Destroy(GetComponent<BoxCollider>());
76              Destroy(instantiatedTagCaption);
77          }
78 }
```

TagsMenu.cs

Αποτελεί την βάση όλων των διαδικασιών που αφορούν το σακούλι. Επισυνάπτεται στο Game Object "Bag" και αποτελεί τον συνδετικό κρίκο των δύο κινήσεων που μπορεί να εκτελέσει ο χρήστης.

```
1
2 using System;
3 using HoloToolkit.Unity;
4 using HoloToolkit.Unity.InputModule;
5 using UnityEngine;
6 using System.Collections.Generic;
7
8 public class TagsMenu : MonoBehaviour
9 {
10      public Dictionary<int, PieceOfArt> tagsInBagList = new
            Dictionary<int, PieceOfArt>();
11      public List<GameObject> children;
12
13      private void Start()
14      {
```

```
15          for (int i = 0; i < 6; i++)
16          {
17              children.Add(transform.GetChild(i).gameObject);
18          }
19      }
20
21      // Tags
22      public void AddTags(int key, PieceOfArt piece)
23      {
24          int i = 0;
25          foreach(GameObject item in children)
26          {
27              i++;
28              if(item.GetComponent<TagInBag>().piece == null)
29              {
30                  item.GetComponent<TagInBag>().key = key;
31                  item.GetComponent<TagInBag>().piece = piece;
32                  tagsInBagList.Add(key, piece);
33                  break;
34              }
35          }
36      }
37
38      public void PositionBag()
39      {
40          foreach(GameObject child in children){
41              child.transform.rotation = gameObject.transform.
                    rotation;
42          }
43          children[0].transform.position = transform.position
                + transform.TransformDirection(new Vector3(-0.3f,
                  0, 0.1f));
44          children[1].transform.position = transform.position
                + transform.TransformDirection(new Vector3(-0.3f,
                  0.4f, 0.1f));
45          children[2].transform.position = transform.position
                + transform.TransformDirection(new Vector3(0.3f,
                 0.4f, 0.1f));
```

```
46          children[3].transform.position = transform.position
               + transform.TransformDirection(new Vector3(0.3f,
               0, 0.1f));
47          children[4].transform.position = transform.position
               + transform.TransformDirection(new Vector3(0.3f,
               -0.4f, 0.1f));
48          children[5].transform.position = transform.position
               + transform.TransformDirection(new Vector3(-0.3f,
                -0.4f, 0.1f));
49      }
50
51      public bool IsTagInBag(int id)
52      {
53          return tagsInBagList.ContainsKey(id);
54      }
55
56      public void ShowBag()
57      {
58          foreach (GameObject item in children)
59          {
60              if(item.GetComponent<TagInBag>().piece != null)
61              {
62                  item.GetComponent<TagInBag>().ShowInBag();
63              }
64          }
65      }
66
67      public void HideBag()
68      {
69          foreach (GameObject item in children)
70          {
71              TagInBag tagInBag = item.GetComponent<TagInBag
                   >();
72              Destroy(tagInBag.instantiatedBagTag);
73              Destroy(tagInBag.GetComponent<BoxCollider>());
74          }
75      }
76
```

```
77      public void RemoveTagFromBag()
78      {
79          tagsInBagList.Remove(GlobalVariables.presentKey);
80          Debug.Log("REMOVE tag with key: " + GlobalVariables.
                presentKey + " and List SIZE: " + tagsInBagList.
                Count);
81      }
82  }
```

TagInBag.cs

Είναι συνημμένο στα παιδιά του Game Object "Bag", προβάλει την εκάστοτε ετικέτα στο σακούλι και εκκινεί την διαδικασία μεταφοράς της τελευταία από αυτό πίσω προς κάποιο έκθεμα.

```
1
2  using System.Collections;
3  using System.Collections.Generic;
4  using UnityEngine;
5  using HoloToolkit.Unity.InputModule;
6
7  public class TagInBag : MonoBehaviour, IInputClickHandler
8  {
9      public int key;
10     public PieceOfArt piece;
11     public GameObject instantiatedBagTag;
12     public BoxCollider box;
13
14     public void OnInputClicked(InputClickedEventData
           eventData)
15     {
16         // Store Globals
17         if(GlobalVariables.pieceToTranspose == null){
18             GlobalVariables.pieceToTranspose = piece;
19             GlobalVariables.presentKey = key;
20
21             piece = null;
22             key = -1;
23             Destroy(instantiatedBagTag);
```

```
24                Destroy(gameObject.GetComponent<BoxCollider>());
25                gameObject.GetComponentInParent<TagsMenu>().
                      RemoveTagFromBag();
26            }
27        }
28
29        public void ShowInBag()
30        {
31            Quaternion rot;
32            Vector3 rotEuler;
33
34            rot = transform.rotation;
35            rotEuler = transform.rotation.eulerAngles;
36            rotEuler = new Vector3(rotEuler.x, rotEuler.y + 180,
                  rotEuler.z);
37            rot = Quaternion.Euler(rotEuler);
38
39            // Instantiate
40            instantiatedBagTag = Instantiate(piece.pieceOfArt,
                  transform.position, rot);
41
42            box = gameObject.AddComponent<BoxCollider>();
43            Renderer rend = instantiatedBagTag.GetComponent<
                  Renderer>();
44            box.size = new Vector3(rend.bounds.size.x, rend.
                  bounds.size.y, 0.001f);
45            Debug.Log("INSTANTIATE IN BAG KEY: " + key);
46        }
47    }
```

GamingManager.cs

Με το script αυτό ελέγχεται εάν μία ετικέτα βρίσκεται στην σωστή θέση ή όχι. Αυτό σημαίνει ότι μέσω του GamingManager.cs ολοκληρώνεται το παιχνίδι με την νίκη του χρήστη.

```
1
2
3 using System.Collections;
```

```
4 using System.Collections.Generic;
5 using HoloToolkit.Unity;
6 using HoloToolkit.Examples.InteractiveElements;
7 using UnityEngine;
8
9 public class GamingManager : MonoBehaviour
10 {
11     public List<GameObject> paintings;
12     public TextMesh ResultText;
13     public GameObject progressBar;
14     [SerializeField]
15     public List<int> correctKeys;
16     private List<List<int>> keysDictionary = new List<List<
          int>>();
17     private bool flag = false;
18     private int counter;
19
20     private void Start()
21     {
22
23         for (int i = 0; i < 3; i++)
24         {
25             paintings.Add(this.gameObject.transform.GetChild
                  (i).gameObject);
26         }
27
28         // Fill the dictionary with the correct keys per
              exhibit
29         int z = 0;
30         for (int i = 0; i < 3; i++)
31         {
32             List<int> subList = new List<int>();
33             for (int j = 0; j < 2; j++)
34             {
35                 subList.Add(correctKeys[z]);
36                 z++;
37             }
38             keysDictionary.Add(subList);
```

```
39          }
40          ResultText.text = null;
41      }
42
43      // Update is called once per frame
44
45      private void Update()
46      {
47          switch(flag)
48          {
49              case false:
50                  CheckResult();
51                  break;
52              case true:
53                  InstantiateWin();
54                  break;
55              default:
56                  break;
57          }
58      }
59
60      private bool CheckResult()
61      {
62          counter = 0;
63
64          for (int i = 0; i < 3; i++)
65          {
66              TagInPainting tag1 = paintings[i].transform.
                    GetChild(0).GetComponent<TagInPainting>();
67              if(tag1.piece == null)
68              {
69                  paintings[i].GetComponent<ShowTags>().
                        RightInstantiatedCheckBar.GetComponent<
                        Renderer>().material.SetColor("_Color",
                        Color.gray);
70              }
71              else if (tag1.key == keysDictionary[i][0] ||
                    tag1.key == keysDictionary[i][1])
```

```
72              {
73                  paintings[i].GetComponent<ShowTags>().
                        RightInstantiatedCheckBar.GetComponent<
                        Renderer>().material.SetColor("_Color",
                        Color.green);
74                  counter++;
75              }
76              else
77              {
78                  paintings[i].GetComponent<ShowTags>().
                        RightInstantiatedCheckBar.GetComponent<
                        Renderer>().material.SetColor("_Color",
                        Color.red);
79              }
80
81              TagInPainting tag2 = paintings[i].transform.
                    GetChild(1).GetComponent<TagInPainting>();
82              if (tag2.piece == null)
83              {
84                  paintings[i].GetComponent<ShowTags>().
                        LeftInstantiatedCheckBar.GetComponent<
                        Renderer>().material.SetColor("_Color",
                        Color.gray);
85              }
86              else if (tag2.key == keysDictionary[i][0] ||
                    tag2.key == keysDictionary[i][1])
87              {
88                  paintings[i].GetComponent<ShowTags>().
                        LeftInstantiatedCheckBar.GetComponent<
                        Renderer>().material.SetColor("_Color",
                        Color.green);
89                  counter++;
90              }
91              else
92              {
93                  paintings[i].GetComponent<ShowTags>().
                        LeftInstantiatedCheckBar.GetComponent<
                        Renderer>().material.SetColor("_Color",
```

```
                    Color.red);
94              }
95          }
96
97          progressBar.GetComponent<SliderGestureControl>().
               SetSliderValue(16.67f * counter);
98
99          if (counter == 6)
100         {
101             flag = true;
102             return true;
103         }
104         return false;
105     }
106
107     private void InstantiateWin(){
108         progressBar.SetActive(false);
109         ResultText.text = "YOU WON !";
110     }
111 }
```

PieceOfArt.cs

Αποτελεί την δομή στην οποία εντάσεται το κάθε έργο τέχνης.

```
1
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using UnityEngine;
5
6 public class PieceOfArt {
7
8         public GameObject pieceOfArt;
9         public TextMesh caption;
10
11        public PieceOfArt(GameObject newPieceOfArt, TextMesh
              newCaption){
12                pieceOfArt = newPieceOfArt;
13                caption = newCaption;
```

```
14          }
15 }
```

GlobalVariables.cs

Εδώ περιλαμβάνονται οι καθολικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στον κώδικα.

```
1
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using UnityEngine;
5
6 public static class GlobalVariables {
7
8     public static List<Vector3> objPositions = new List<
        Vector3>();
9     public static List<Quaternion> objRotations = new List<
        Quaternion>();
10
11    public static List<GameObject> instatiatedBagTags = new
        List<GameObject>();
12
13    public static int presentKey;
14    public static PieceOfArt pieceToTranspose;
15    public static int paintingid;
16 }
```

Παράρτημα Β΄

Ερωτηματολόγιο Αξιολόγησης

Παρακάτω δίνεται αναλυτικά τα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν οι χρήστες μετά το τέλος της εμπειρίας τους και από το οποίο αντλήσαμε τα δεδομένα μας για την αξιολόγηση του HoloNav:

Ερωτηματολόγιο PXI

1. Playing the game was meaningful to me.
2. The game felt relevant to me.
3. Playing this game was valuable to me.
4. I felt capable while playing the game.
5. I felt I was good at playing this game.
6. I felt a sense of mastery playing this game.
7. I was no longer aware of my surroundings while I was playing.
8. I was immersed in the game.
9. I was fully focused on the game.
10. I felt a sense of freedom about how I wanted to play this game.
11. I felt free to play the game in my own way.
12. I felt like I had choices regarding how I wanted to play this game.
13. I felt eager to discover how the game continued.
14. I wanted to explore how the game evolved.

15. I wanted to find out how the game progressed.
16. I thought the game was easy to control.
17. The actions to control the game were clear to me.
18. It was easy to know how to perform actions in the game.
19. The game was challenging but not too challenging.
20. The game was not too easy and not too hard to play.
21. The challenges in the game were at the right level of difficulty for me.
22. The game gave clear feedback on my progress towards the goals.
23. I could easily assess how I was performing in the game.
24. The game informed me of my progress in the game.
25. I enjoyed the way the game was styled.
26. I liked the look and feel of the game.
27. I appreciated the aesthetics of the game.
28. The goals of the game were clear to me.
29. I grasped the overall goal of the game.
30. I understood the objectives of the game.

Ερωτηματολόγιο IEQ

1. To what extent did the game hold your attention?
2. How much effort did you put into playing the game?
3. Did you feel that you were trying you best?
4. To what extent did you lose track of time, e.g. did the game absorb your attention so that you were not bored?
5. To what extent did you feel consciously aware of being in the real world whilst playing?
6. To what extent did you forget about your everyday concerns?

7. To what extent were you aware of yourself in your surroundings?
8. To what extent did you notice events taking place around you?
9. Did you feel the urge at any point to stop playing and see what was happening around you?
10. To what extent did you feel that you were interacting with the game environment?
11. To what extent did you feel as though you were separated from your real-world environment?
12. To what extent did you feel that the game was something fun you were experiencing, rather than a task you were just doing?
13. To what extent was your sense of being in the game environment stronger than your sense of being in the real world?
14. At any point did you find yourself become so involved that you were unaware you were even using controls, e.g. it was effortless?
15. To what extent did you feel as though you were moving through the game according to your own will?
16. To what extent did you find the game challenging?
17. Were there any times during the game in which you just wanted to give up?
18. To what extent did you feel motivated while playing?
19. To what extent did you find the game easy?
20. To what extent did you feel like you were making progress towards the end of the game?
21. How well do you think you performed in the game?
22. To what extent did you feel emotionally attached to the game?
23. To what extent were you interested in seeing how the game's events would progress?
24. How much did you want to "win" the game?
25. Were you in suspense about whether or not you would do well in the game?

26. At any point did you find yourself become so involved that you wanted to speak to the game directly?
27. To what extent did you enjoy the graphics and the imagery?
28. How much would you say you enjoyed playing the game?
29. When it ended, were you disappointed that the game was over?
30. Would you like to play the game again?
31. How immersed did you feel?

Bibliography

[1] Anderson, E. F., McLoughlin, L., Liarokapis, F., Peters, C., Petridis, P., and de Freitas, S. *Serious Games in Cultural Heritage.* 2009.

[2] Avouris, N., and Yiannoutsou, N. A review of mobile location-based games for learning across physical and virtual spaces. *Journal of Universal Computer Science* (2012).

[3] BEKELE, M. K., PIERDICCA, R., FRONTONI, E., MALINVERNI, E. S., and GAIN, J. A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage.

[4] Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., D'ursi, A., and Fiore, V. A serious game model for cultural heritage. *J. Comput. Cult. Herit. 5*, 4 (Jan. 2013).

[5] BENFORD, S., CRABTREE, A., FLINTHAM, M., DROZD, A., ANASTASI, R., and PAXTON, M. Can you see me now? *ACM Transactions* (2006).

[6] Benford, S., Flintham, M., Drodz, A., Tandavanitj, N., adn Ju Row Farr, M. A., and Theory, B. The design and experience of the location-based performance uncle roy all around you. *Leonardo Electronic Almanac 14* (2006).

[7] BRIGHT, P. Microsoft sheds some light on its mysterious holographic processing unit, 2016.

[8] Brogni, A., and Avizzano, C. A. *Technological Approach for Cultural Heritage: Augmented Reality.* february 1999.

[9] Chen, H., Lee, A., Swift, M., and Tang, J. 3d collaboration method over hololens™ and skype™ end points, 2015.

[10] Crespo, R., García, R., and Quiroza, S. Virtual reality application for simulation and off-line programming of the mitsubishi movemaster rv-m1 robot integrated with the oculus rift to improve students training, 2015.

[11] Development, B. R. . Civilisations ar, 2018.

[12] Dimitrios Raptis, Nikolaos Tselios, N. A. Context-based design of mobile applications for museums: A survey of existing practices, 2005.

[13] Dufour, T., Torregrossa, T., Cortes, R. I., Pellarrey, V., Nachbaur, V., Clermont, J., Chagnon, P., Li, C., Dumas, F., and Majdoubi, A. Ascent: A first person mountain climbing game on the oculus rift, 2014.

[14] Facer, Joiner, Stanton, Reid, Hull, and Kirk. Savannah: mobile gaming and learning? *Journal of Computer Assisted Learning* (2004).

[15] Gleb. Vr vs ar vs mr: Differences and real-life applications, 2017.

[16] Gweon, G., Kim, B., Kim, J., Lee, K. J., Rhim, J., and Choi, J. Mable: Mediating young children's smart media usage with augmented reality, 2018.

[17] Hall, and Bannon. Designing ubiquitous computing to enhance children's interaction in museums, 2005.

[18] Hodge, J., Balaam, M., Hastings, S., and Morrissey, K. Exploring the design of tailored virtual reality experiences for people with dementia, 2018.

[19] Holmdahl, T. Build 2015: A closer look at the microsoft hololens hardware, 2015.

[20] INDG. Amikasa, 2018.

[21] Jang, J., and Bednarz, T. Holosensor for smart home, health, entertainment, 2018.

[22] Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., and Walton, A. Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies 66*, 9 (2008), 641–661.

[23] Joachimczak, M., Liu, J., and Ando, H. Real-time mixed-reality telepresence via 3d reconstruction with hololens and commodity depth sensors, 2017.

[24] Klopfer, E. *Augmented learning : research and design of mobile educational games.* The MIT Press, 2008.

[25] Klopfer, E., Perry, J., Squire, K., Jan, M.-F., and Steinkuehler, C. Mystery at the museum – a collaborative game for museum education, 2005.

[26] Kritzler, M., Funk, M., Michahelles, F., and Rohde, W. The virtual twin: Controlling smart factories using a spatially-correct augmented reality representation, 2017.

[27] Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., and Johnson, E. K. Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation.

[28] Litts, B. K., Chauhan, A., Mortensen, C. K., and Matthias, K. I'm drowning in squirrels!: How children embody and debug computational algorithms through designing mixed reality games, 2019.

[29] Liu, and Chu. Using ubiquitous games in an english listening and speaking course: Impact on learning outcomes and motivation.

[30] Manoli, V., Sintoris, C., Yiannoutsou, N., and Avouris, N. Taggling game: Learning about contemporary art through game play. *Proceedings EDULEARN* (2015), 7684–7690.

[31] Marquess, M., Pinegar, S., Johnston, Williams, N., Giordano, C., Leiby, B., Hurwitz, M., Dicker, A., Robert, and Den. A pilot study to determine if the use of a virtual reality education module reduces anxiety and increases comprehension in patients receiving radiation therapy.

[32] Microsoft. What's a universal windows platform (uwp) app?, 2018.

[33] Microsoft. Getting around hololens (1st gen), 2019.

[34] Microsoft. Hololens (1st gen) hardware, 2019.

[35] MILGRAM, P., and KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays.

[36] Montola, Stenros, and Waern. *Pervasive Games: Theory and Design.* Morgan Kaufmann, 2009.

[37] Moro, C., Stromberga, Z., Raikos, A., and Stirling, A. Combining virtual (oculus rift gear vr) and augmented reality with interactive applications to enhance tertiary medical and biomedical curricula, 2016.

[38] Moro, C., Stromberga, Z., Raikos, A., and Stirling, A. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy.

[39] Nakagawa, R., Komatsubara, R., Ota, T., and Ohmura, H. Air maestros: A multi-user audiovisual experience using mr, 2018.

[40] Niantic. Pokemon go, 2016.

[41] Paay, J., Kjeldskov, J., Christensen, A., Ibsen, A., Jensen, D., Nielsen, G., and Vutborg, R. Location-based storytelling in urban environment, 2008.

[42] Rodrigues, D. G., Jain, A., Rick, S. R., Shangley, L., Suresh, P., and Weibel, N. Exploring mixed reality in specialized surgical environments, 2017.

[43] Sintoris, C., Avouris, N., and Yiannoutsou, N. The interplay between space and micro-narratives in location based mobile games, 2018.

[44] Sintoris, C., Papadimitriou, I., and Yiannoutsou, N. Museumscrabble: Design of a mobile game for children's interaction with a digitally augmented cultural space. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction* (2010).

[45] Tallon, and Walker. *Digital Technologies and the Museum Experience: Handheld Guides and Other Media.* AltaMira Press, 2008.

[46] Teng, C., Jensen, N., Smith, T., Forbush, T., Fletcher, K., and Hoover, M. Interactive augmented live virtual reality streaming: A health care application, 2018.

[47] Tselios, N., Papadimitriou, I., Raptis, D., Yiannoutsou, N., Komis, V., and Avouris, N. *Design for Mobile Learning in Museums.* IGI-Global, 2009.

[48] Tsoupikova, D., Rettberg, S., Coover, R., and Nishimoto, A. The battle for hearts and minds: Interrogation and torture in the age of war. an adaptation for oculus rift, 2016.

[49] Vero Vanden Abeele, Kata Spiel, L. N. D. J. K. G. Development and validation of the player experience inventory: A scale to measure player experiences at the level of functional and psychosocial consequences. *International Journal of Human-Computer Studies 135* (2020), 102370.

[50] Vocaturo, E., Zumpano, E., Caroprese, L., Pagliuso, S. M., and Lappano, D. Educational games for cultural heritage. In *VIPERC@ IRCDL* (2019), pp. 95–106.

[51] Wijers, M., Jonker, V., and Drijvers, P. Mobilemath: exploring mathematics outside the classroom.

[52] Yildirim, C., Carroll, M., Hufnal, D., Johnson, T., and Pericles, S. Video game user experience: To vr, or not to vr?, 2018.

[53] Yin, C., Song, Y., Tabata, Y., Ogata, H., and Hwang, G.-J. Developing and implementing a framework of participatory simulation for mobile learning using scaffolding.

[54] Zhang, L., Luczak, T., Smith, E., and Burch, R. F. Using micr using microsoft hololens t osoft hololens to improve memor e memory recall in anat ecall in anatomy and physiology: A pilot study to examine the efficacy of using augmented reality in education.

[55] Çankaya, S., and Karamete, A. The effects of educational computer games on students' attitudes towards mathematics course and educational computer games. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 1*, 1 (2009), 145 – 149. World Conference on Educational Sciences: New Trends and Issues in Educational Sciences.