



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ανάλυση Εικονικής Πλοήγησης σε Εφαρμογή Πολιτιστικού Περιεχομένου

Ηλίας Μαρής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Κολομβάτσος Κωνσταντίνος
Αναπληρωτής καθηγητής

Λαμία έτος 2024-2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ανάλυση Εικονικής Πλοήγησης σε Εφαρμογή Πολιτιστικού Περιεχομένου

Ηλίας Μαρής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Κολομβάτσος Κωνσταντίνος
Αναπληρωτής καθηγητής

Λαμία έτος 2024-2025



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Virtual Navigation Analysis in Cultural Heritage Application

Ilias Maris

FINAL THESIS

ADVISOR

Kolomvatsos Konstantinos

Associate Professor

Lamia year 2024-2025

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.

2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 01/02/2025

Ο – Η Δηλ.

ΗΛΙΑΣ ΜΑΡΗΣ



(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την πτυχιακή ερευνάται η υλοποίηση μιας εφαρμογής που αξιοποιεί την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας για να ενισχύσει την πολιτισμική κληρονομιά και να καταγράψει τις διάφορες εμπειρίες και αντιδράσεις των χρηστών σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Η μελέτη ξεκινάει με την αναθεώρηση της τεχνολογίας του VR (Virtual Reality), και της ιστορίας του. Έπειτα η διπλωματική παρουσιάζει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος βασισμένου στην εικονική πραγματικότητα με στόχο την παρακολούθηση των δεδομένων πλοήγησης των χρηστών και την παροχή αξιοποιήσιμων πληροφοριών στους διαχειριστές των πολιτισμικών αντικειμένων. Τα αποτελέσματα επιδεικνύουν την ικανότητα του συστήματος να παρέχει ακριβείς και ουσιαστικές αναλύσεις, οι οποίες μπορούν να ενημερώσουν το σχεδιασμό και την διατήρηση μελλοντικών εφαρμογών πολιτιστικής κληρονομιάς με τελικό στόχο την βελτιστοποίηση των εμπειριών των χρηστών. Η εργασία ολοκληρώνεται με αξιολόγηση του αντίκτυπου του συστήματος, πιθανές εφαρμογές σε άλλους τομείς και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις. Η εργασία αυτή αναδεικνύει τις μετασχηματιστικές δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας στην πολιτιστική κληρονομιά και θέτει τις βάσεις για περαιτέρω καινοτομίες σε εικονικά περιβάλλοντα για την εκπαίδευση, τη συντήρηση και την εξερεύνηση.

ABSTRACT

This thesis examines the implementation of an application that utilizes the technologies of virtual reality with the purpose of enhancing cultural heritage by recording various experiences and interactions from users in a specially developed virtual environment. This study begins by providing a general and theoretical overview of virtual reality and its history. A showcase of the architecture follows, based on virtual reality, with the goal of extracting and monitoring crucial data from users' interactions for administrators and experts of cultural heritage exhibits. The results demonstrate the ability of the designed system to provide detailed and helpful analytics, which can assist in the design and maintenance of future cultural heritage applications, with the ultimate goal of optimizing users' experiences. The project is completed with a final evaluation of the impact of the system, some possible applications in other domain and suggestions for future improvements. This work highlights the transformative potential of virtual reality in cultural heritage and sets the stage for further innovations in virtual environments for education, conservation and exploration.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	III
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</u>	<u>1</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....</u>	<u>3</u>
2.1: ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	3
2.2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	6
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ.	10
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</u>	<u>13</u>
3.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	14
3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	16
3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	18
3.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΙΝΑΚΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</u>	<u>28</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	<u>34</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>35</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα κατορθώματα της ανθρωπότητας είναι η διατήρηση της Πολιτιστικής κληρονομιάς, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο πυλώνα της διατήρησης της ιστορίας, της παράδοσης και την ταυτότητα που πρεσβεύει η εκάστοτε κοινωνία. Όμως, η πρόσβαση με φυσική παρουσία - "φυσικό τρόπο", σε τοποθεσίες που θεωρούνται πολιτιστική κληρονομία ή διαθέτουν αντικείμενα που αποτελούν πολιτισμική κληρονομία, είναι περιορισμένη συχνά λόγω γεωγραφικών, οικονομικών ή άλλων ειδών περιορισμών που αφορούν την ασφάλεια τους. Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας (VR - Virtual Reality) έχει αναδειχθεί ως ένα ισχυρό βοηθητικό εργαλείο πολλών ειδών εμπειριών στους περισσότερους τομείς, ένας από αυτούς είναι ο πολιτιστικός τομέας, δίνοντας την δυνατότητα στους χρήστες να εξερευνούν ιστορικούς χώρους και αντικείμενα με διαδραστικό τρόπο.

Αυτήν η εργασία στοχεύει να μελετήσει και να πειραματιστεί με τρόπους με τους οποίους μπορεί να καταγράψει και να αναλύσει τις αλληλεπιδράσεις των χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον με σκοπό την απόκτηση γνώσεων σχετικά με την δέσμευση, τα δεδομένα τάσεις και τα πρότυπα συμπεριφοράς.

Ο βασικός στόχος αυτής της έρευνας είναι η παρακολούθηση της κίνησης και των αλληλεπιδράσεων των χρηστών μέσα σε μια προσομοίωση VR ενός χώρου που διαθέτει πολιτιστικά αντικείμενα. Συλλέγοντας και αναλύοντας δεδομένα πλοήγησης, επιδιώκουμε να κατανοήσουμε πώς οι χρήστες εξερευνούν το εικονικό περιβάλλον, ποια στοιχεία τραβούν περισσότερο την προσοχή τους και πώς οι διαφορετικές επιλογές σχεδίασης επηρεάζουν την εμπειρία τους. Η μελέτη αυτή μπορεί να δημιουργήσει μια δομημένη προσέγγιση στους μηχανισμούς εξαγωγής δεδομένων, επιτρέποντας βαθύτερες γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των χρηστών και ενημερώνοντας τη βελτιστοποίηση των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς αλλά και σε άλλους τομείς.

Σε αυτήν την εργασία, προτείνεται μια δομημένη αρχιτεκτονική που ενσωματώνει την εικονική πραγματικότητα με την ανάλυση δεδομένων. Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία:

1. Εικονική προσομοίωση σε μουσείο (Unity) – Ένα εικονικό περιβάλλον που επιτρέπει στους χρήστες να εξερευνήσουν πολιτιστικά αντικείμενα. Η εμπειρία VR καταγράφει δεδομένα των αλληλεπιδράσεων.
2. Αποθήκη δεδομένων (ASP.NET Core API - PostgreSQL) – Μια υπηρεσία υποστήριξης υπεύθυνη για τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων πλοήγησης από την προσομοίωση VR και την αποθήκευσή τους σε δομημένη μορφή.
3. Πίνακας Διαχείρισης – Μια διεπαφή που επιτρέπει σε ερευνητές και διαχειριστές να έχουν πρόσβαση και να αναλύουν την πλοήγηση μέσω των δεδομένων, στατιστικών και διαγραμμάτων.

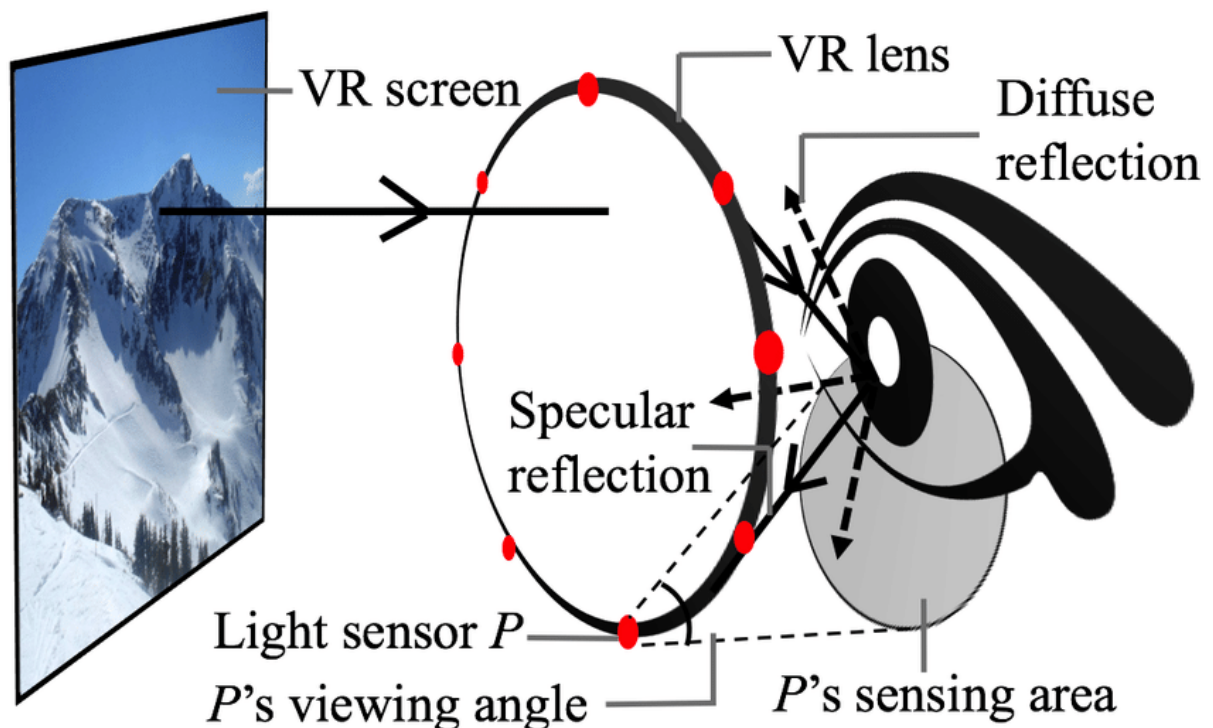
Στα επόμενα κεφάλαια, θα διερευνήσουμε τα θεωρητικά θεμέλια και την αφομοίωση της εικονικής πραγματικότητας στην ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς, το τεχνολογικό πλαίσιο που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μελέτη και τις μεθοδολογίες που εφαρμόζονται για την ανάλυση των δεδομένων πλοήγησης των χρηστών. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της υλοποίησης και θα αναφερθούν μελλοντικές προεκτάσεις για έρευνα και ανάπτυξη σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας σε αυτόν τον τομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Εικονική Πραγματικότητα

2.1: Ορισμός και εξέλιξη της εικονικής πραγματικότητας

Τι είναι η εικονική πραγματικότητα; Η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR), είναι μια διαδεδομένη πλέον τεχνολογία, η οποία συναποτελεί κομμάτι των τεχνολογιών εκτεταμένης πραγματικότητας (Extended Reality). Η συγκεκριμένη τεχνολογία εμβυθίζει το χρήστη σε ένα πλήρως ψηφιακό περιβάλλον, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση μιας παρουσίασης ενός κόσμου δημιουργημένου από ψηφιακά γραφικά. Σε αντίθεση με τις εμπειρίες στις καθιερωμένες διδιάστατες οθόνες (2D), η εικονική πραγματικότητα "τοποθετεί" τον χρήστη σε ένα τριδιάστατο χώρο (3D), δίνοντας την δυνατότητα να αλληλεπιδράσει με ψηφιακά/εικονικά αντικείμενα, να περιηγηθεί σε διάφορες σχεδιασμένες τοποθεσίες και να ασχοληθεί με το περιβάλλον και τα αντικείμενα σαν να είχαν φυσική παρουσία στον χώρο.

Γενικά ο στόχος της εικονικής πραγματικότητας είναι "να σε κάνει να νιώσεις ότι βρίσκεσαι σε κάποιον άλλον χώρο", και το επιτυγχάνει πείθοντας τον ανθρώπινο εγκέφαλο, πιο συγκεκριμένα τον φλοιό της κόρης του ματιού και τα μέρη του εγκεφάλου τα οποία είναι υπεύθυνα για την αντίληψη της κίνησης. Κύριο και σημαντικό συστατικό αποτελεί η δημιουργία ενός περιβάλλοντος, το οποίο αντιδρά και επιδρά άμεσα στον χρήστη, από τις κινήσεις που εκτελεί ο ίδιος, επιτρέποντας μια μεγαλύτερη εμβύθιση και καλύτερη τελική εμπειρία στην οποία μπορεί να προσομοιωθούν πτυχές του πραγματικού κόσμου στο ψηφιακά υλοποιημένο περιβάλλον.



Εικόνα 1: Ένας αισθητήρας φωτός σε ένα περίγραμμα φακού VR ανιχνεύει το φως που αντανακλάται από μια περιοχή του ματιού. Η κόρη απορροφά το φως και η θέση της επηρεάζει το ανακλώμενο φως που ανιχνεύεται από τη φωτοδίοδο

Η εικονική πραγματική μπορεί να θεωρηθεί ως μια νέα καινοτομία και πρωτοερχόμενη τον 21ο αιώνα, όμως η προέλευση της χρονολογείται αρκετές δεκαετίες πιο πριν, με ιδέες και πειράματα να θέτουν την αρχή και την βάση που έχουν οι σημερινές καθηλωτικές ψηφιακές εμπειρίες. Η ιδέα της δημιουργίας τεχνητών περιβάλλοντων για την προσομοίωση της πραγματικότητας είχε και έχει ελκύσει επιστήμονες, προγραμματιστές και καλλιτέχνες για πάνω από έναν αιώνα.

Η έννοια του VR πρωτο-παρουσιάστηκε τον 19ο αιώνα με την εφεύρεση των στερεοσκοπικών εικόνων (stereoscopic images). Το 1838, ο Sir Charles Wheatstone έδειξε ότι η προβολή δύο ελαφρώς διαφορετικών εικόνων μέσω ενός στερεοσκοπίου δημιουργούσε την ψευδαίσθηση του βάθους, ένα πρώτο βήμα των σύγχρονων συσκευών VR. Αυτή η αρχή της διόφθαλμης όρασης γίνεται αργότερα βάση για την τεχνολογία απεικόνισης VR.

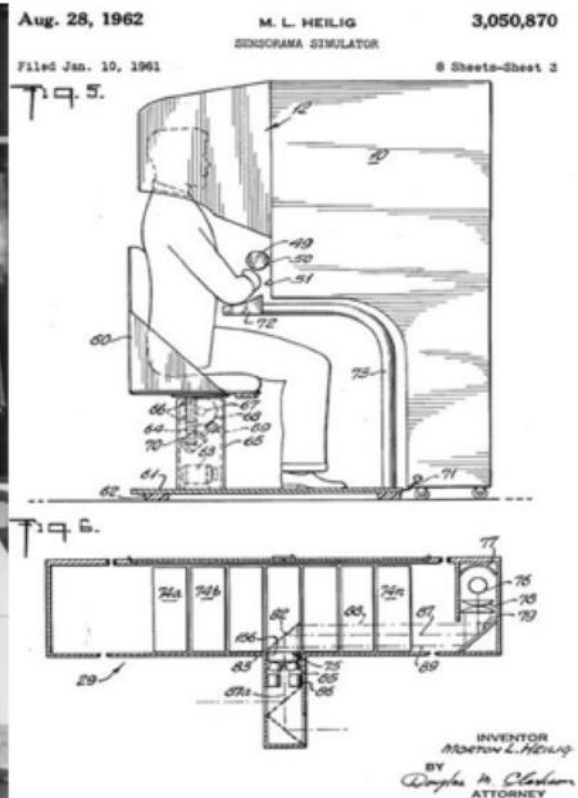


Εικόνα 2: Παράδειγμα στερεοσκοπικής εικόνας

Οι πρώτες πραγματικές προσπάθειες δημιουργίας εμπειριών που μοιάζουν με τα σημερινά VR εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1950. Ο Morton Heilig, διευθυντής φωτογραφίας, ανέπτυξε το Sensorama (1962), μια μηχανή τύπου arcade που έδινε μια πολυαισθητηριακή εμπειρία χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα γραφικά, ήχο, δονήσεις αλλά και μυρωδιές για να βυθίσει τους χρήστες σε διαφορετικά σενάρια όπως η οδήγηση μιας μοτοσυκλέτας σε μια πόλη. Αν και το Sensorama δεν παράχθηκε ποτέ μαζικά, έδειξε τις δυνατότητες της μιας καθηλωτικής τεχνολογίας.



Εικόνα 3: Sensorama (1962)



Σημαντική πρόοδος σημειώθηκε την δεκαετία του 1980, ο Jaron Lanier, πρωτοπόρος στον τομέα, επινόησε τον όρο "Εικονική Πραγματικότητα" και ίδρυσε την VPL Research, μια από τις πρώτες εταιρείες που ανέπτυξαν υλικό και λογισμικό VR. Η VPL δημιούργησε τον καινοτόμο εξοπλισμό VR όπως το DataGlove (ένα γάντι με αισθητήρες για παρακολούθηση των χεριών) και το EyePhone HMD, που έθεσαν τις βάσεις για τα σύγχρονα VR Headset.

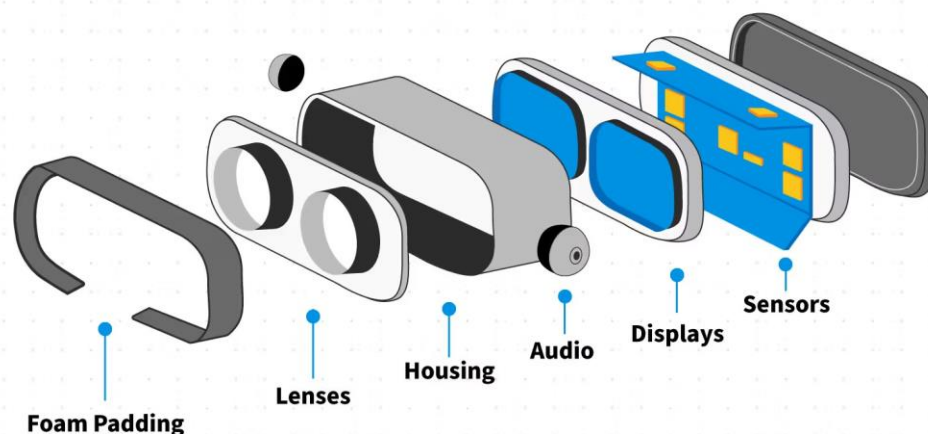
Τέλος, και σημαντικότερη περίοδος την τεχνολογικής εξέλιξη του VR, αποτέλεσε η δεκαετία του 2010, όπου σηματοδότησε την αναβίωση της τεχνολογίας VR με την κυκλοφορία του Oculus Rift το 2012 από την σημερινή meta, με εταιρίες όπως η HTC, η Sony και η Valve να την ακολουθούν. Σήμερα, η εικονική πραγματικότητα πιο προσβάσιμη και πιο καθηλωτική από ποτέ, με εφαρμογές που καλύπτουν τομείς όπως η διασκέδαση, η εκπαίδευση, περιθάλψη και πολιτισμική κληρονομιά. Με τις εξελίξεις να μην σταματάνε στην τεχνητή νοημοσύνη, την απτική ανάδραση και την μικτή πραγματικότητα, η εικονική πραγματικότητα εξελίσσεται σε μια μετασχηματιστική τεχνολογία που αναδιαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι - "και όχι μόνο", αλληλοεπιδρούν με τους ψηφιακούς κόσμους.

2.2 Συστατικά μέρη των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω θεωρητικά, η εικονική πραγματικότητα είναι το τέχνασμα της ψευδαισθησης που προκαλείται στους υπεύθυνους υποδοχείς του εγκεφάλου. Πέρα από αυτό πολλά ακόμα συστατικά μέρη αποτελούν κρίσιμα για την επίτευξη αλλά και την βελτιστοποίηση μιας VR εμπειρίας. Τα συστατικά μέρη αυτά διακρίνονται ως εξής:

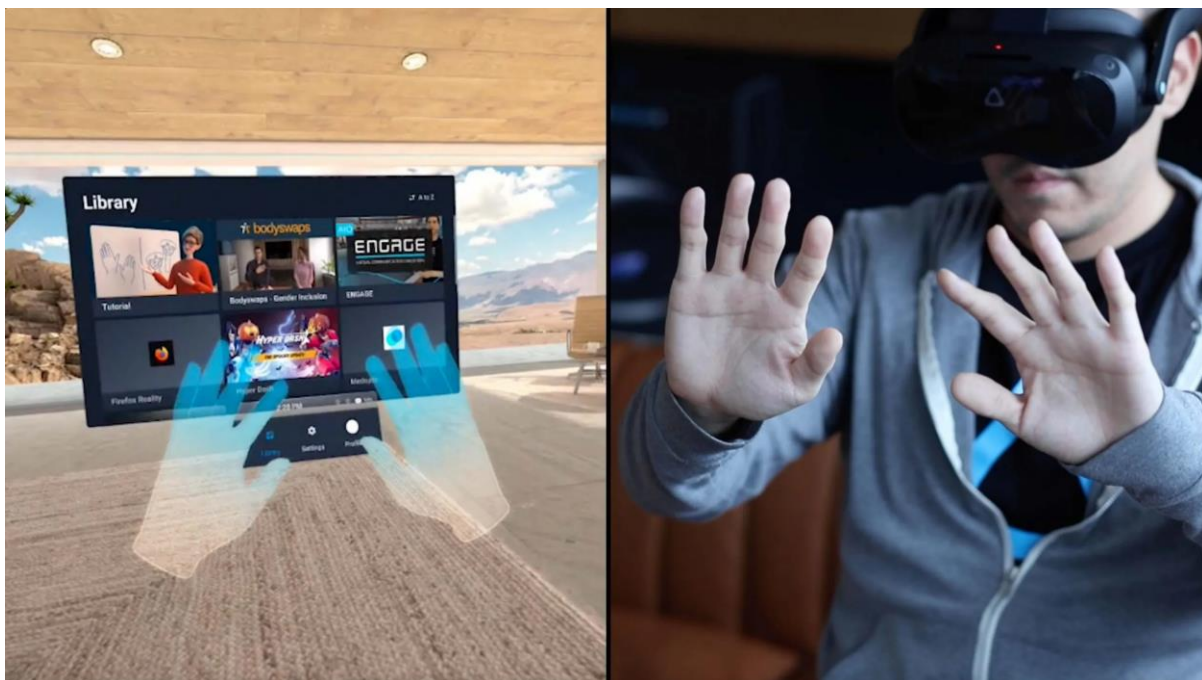
1. Οθόνες που τοποθετούνται στο κεφάλι - Head-Mounted Displays (HMDs), το οποίο αποτελεί το βασικότερο κομμάτι της εικονικής πραγματικότητας, μια συσκευή που τοποθετείτε στο κεφάλι του χρήστη, καλύβοντας και τοποθετώντας μπροστά στα μάτια, οθόνες υψηλής ανάλυσης. Οι οθόνες αυτές αντικατοπτρίζουν στερεοσκοπικές εικόνες όπου προσομοιώνουν το βάθος, κάνοντας αντικείμενα να λαμβάνουν τρισδιάστατες διαστάσεις (3D). Δημοφιλείς συσκευές Headset, είναι τα Meta Quest series, PlayStation VR, HTC Vive και Valve Index.

Components of a VR headset



Εικόνα 4: Συσκευή Headset VR

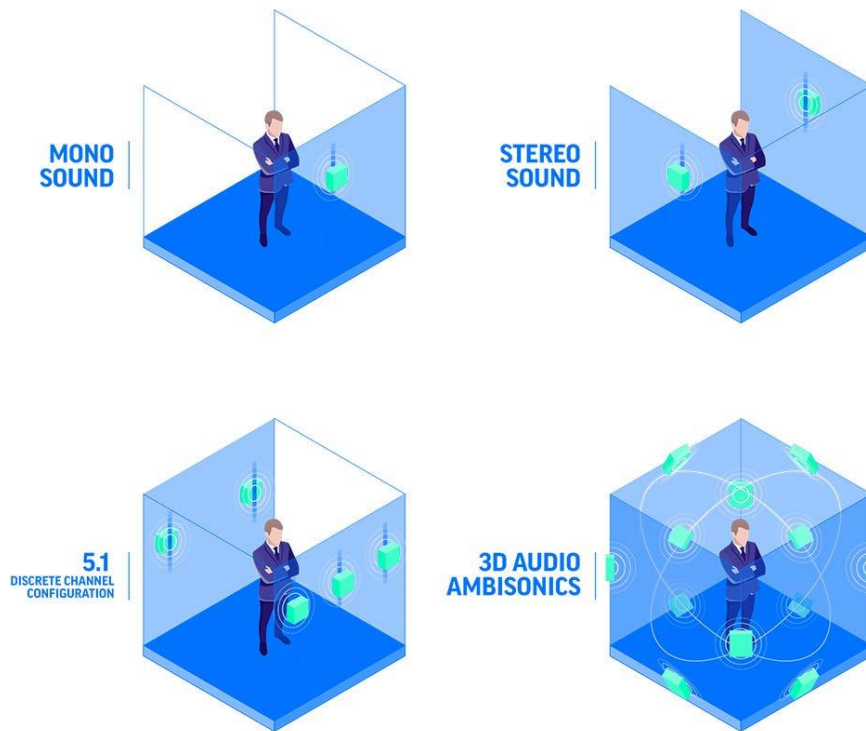
2. Παρακολουθητές κίνησης και αισθητήρες - Motion Tracking and Sensors, Για να βελτιώσουν τον ρεαλισμό, τα συστήματα VR παρακολουθούν τις κινήσεις του κεφαλιού του χρήστη και προσαρμόζουν ανάλογα την εμφανιζόμενη εικόνα και τον ψηφιακό του εαυτό. Αυτό επιτυγχάνεται με γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα και εξωτερικές κάμερες ή αισθητήρες υπέρυθρων. Οι πιο προηγμένες ρυθμίσεις VR περιλαμβάνουν επίσης τεχνολογίες παρακολούθησης ολόκληρου του σώματος (Full-body tracking) και παρακολούθησης των χεριών (Hands Tracking).



Εικόνα 5: Hand Tracking

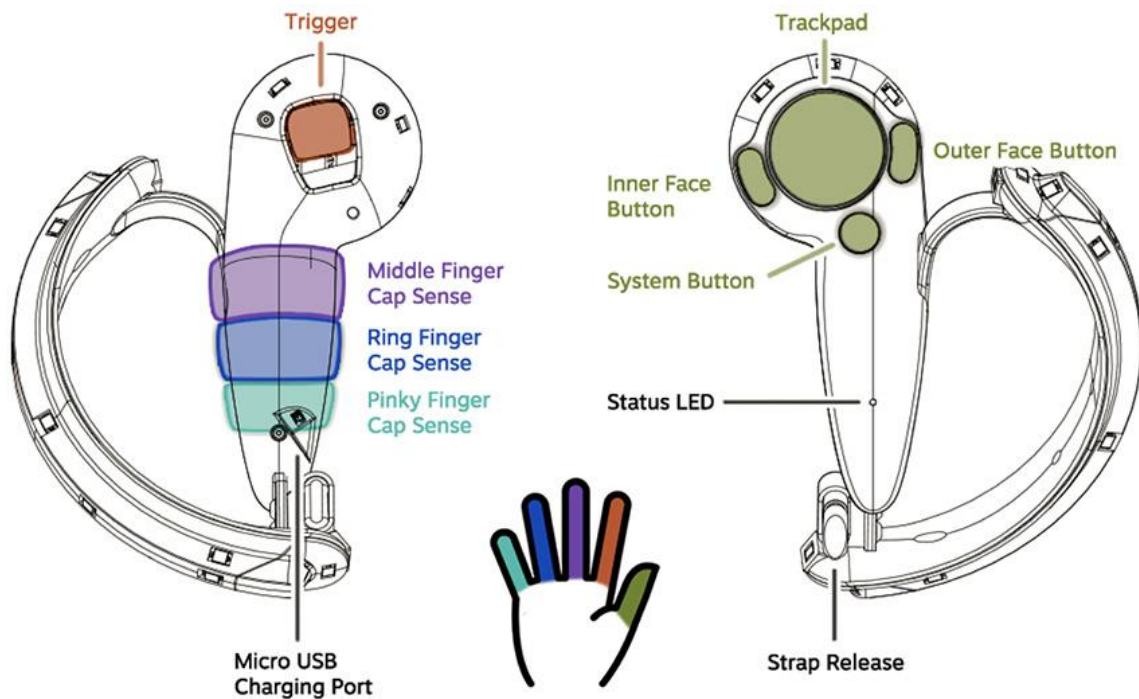
3. Χωρικός ήχος - Spatial Audio, γνωστός και ως τρισδιάστατος ήχος (3D Audio) ή ήχος θέση (Positional Audio), είναι ένα συστατικό που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της εικονικής πραγματικότητας, διότι ενισχύει την βύθιση αναπαράγοντας τον τρόπο συμπεριφοράς του ήχου στον πραγματικό κόσμο. Στα παραδοσιακά συστήματα ήχου, ο ήχος αναπαράγεται συνήθως μέσω στερεοφωνικών καναλιών (δεξιά και αριστερά). Ωστόσο, στο VR, ο χωρικός ήχος εξελίσσεται ακόμη πιο πολύ,

προσαρμόζοντας δυναμικά τον ήχο με βάση τη θέση και την κίνηση του χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον.



Εικόνα 6: Παράδειγμα τύπων ήχων και χωρικός ήχος

4. Απτική ανάδραση - Haptic feedback, για την εμπλοκή των αισθήσεων σε μεγαλύτερο βαθμό, τα συστήματα VR μπορεί να περιλαμβάνουν ή να προστεθούν συσκευές απτικής ανάδρασης, όπως ελεγκτές (controllers) ή γάντια που προσομοιώνουν την πραγματική αφή. Αυτά δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες να "αισθάνονται" εικονικά αντικείμενα μέσω δονήσεων, αντίστασης ή ανατροφοδότησης.
5. Διαδραστικοί ελεγκτές και παρακολουθητές χεριών (Controllers - Hand Tracking), για την αλληλεπίδραση των χρηστών με τον ψηφιακό κόσμο, χρησιμοποιούνται ελεγκτές (controllers) ή συστήματα παρακολούθησης των χεριών. Οι συσκευές αυτές επιτρέπουν ενέργειες από τον χρήστη, όπως την αρπαγή αντικειμένων, μετακίνηση του ψηφιακού τους εαυτού στο εικονικό περιβάλλον και ακόμη η πραγματοποίηση χειρονομιών στην περίπτωση της παρακολούθησης των χεριών. Ορισμένα συστήματα VR, όπως το Meta Quest και το Apple Vision Pro, ενσωματώνουν παρακολούθηση χεριών για αλληλεπίδραση χωρίς ελεγκτή.



Εικόνα 7: Παράδειγμα VR controller



Εικόνα 8: Παράδειγμα Hand Tracking

6. Επεξεργαστές γραφικών - Real-Time Renderers - Graphics Processor, η επεξεργασία γραφικών υψηλής απόδοσης είναι απαραίτητη για την απόδοση ρεαλιστικών και ανταποκρινόμενων περιβαλλόντων. Το VR απαιτεί ισχυρές GPU (Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών) για τη διατήρηση ενός ομαλού ρυθμού καρτέ, ιδανικά στα 90 Hz ή υψηλότερο, για την πρόληψη της ασθένειας κίνησης (motion sickness) και τη διατήρηση της ομαλής εμπύθισης.

2.3 Εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης της εικονικής πραγματικότητας στην πολιτιστική κληρονομιά.

Όπως αυτήν η εργασία στην υλοποίηση της περιλαμβάνει μια τρισδιάστατη αίθουσα μουσείου με πολιτιστικά αντικείμενα, έτσι υπάρχουν και άλλες επιχειρήσεις αφομοίωσης της εκτεταμένης πραγματικότητας που καλύπτει τον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς. Παρακάτω αναφέρονται μερικά από αυτά ακολουθούν παρόμοια λογική στο κομμάτι της εκτεταμένης πραγματικότητας.

Musées d'Orsay

Αρχικό και πιο ευρύς γνωστό παράδειγμα, αποτελεί το "Musées d'Orsay", κατέχοντας την εμπειρία εν ονόματι "Van Gogh's Palette", προσφέροντας στους χρήστες ένα εμβυθιστικό ταξίδι μέσα στο δημιουργικό κόσμο του καλλιτέχνη Van Gogh. Από τις 3 Οκτωβρίου 2023 έως τις 4 Φεβρουαρίου 2024, αυτή η 10λεπτη διαδραστική εμπειρία επέτρεψε στους συμμετέχοντες να εξερευνήσουν τις τεχνικές και τα αριστουργήματα του Βαν Γκογκ από την περίοδο του Auvers-sur-Oise. Έχοντας εξοπλισμένο τον χώρο με συσκευές VR, οι επισκέπτες περεβρίσκονται στο δωμάτιο ζωγραφικής του "Doctor Gachet" όπου ο διάσημος καλλιτέχνης Van Gogh δημιούργησε το πορτρέτο "Marguerite Gachet". Με ένα λερωμένο παλέτο τοποθετημένο στο τραπέζι το οποίο λειτουργεί ως πύλη μεταφοράς από την μια σκηνή στην άλλη, με στοιχεία από πολλούς γνωστούς πίνακες "The Kingfisher" να αποκτούν παρουσία στον τρισδιάστατο περιβάλλον.



Εικόνα 9: Παράδειγμα Musées d'Orsay VR

Curious Alice: The VR Experience

Το Curious Alice είναι μια καθηλωτική προσαρμογή εικονικής πραγματικότητας του Alice's Adventures in Wonderland, σχεδιασμένη να μεταφέρει τους χρήστες στον ιδιότροπο και σουρεαλιστικό κόσμο της κλασικής ιστορίας του Lewis Carroll. Αναπτύχθηκε ως μέρος μιας διαδραστικής έκθεσης στη Βρετανική Βιβλιοθήκη, αυτή η εμπειρία VR επαναπροσδιορίζει τη Χώρα των Θαυμάτων μέσα από έναν ονειρικό φακό, όπου οι παίκτες αναλαμβάνουν τον ρόλο της Αλίκης και ξεκινούν ένα εξερευνητικό ταξίδι γεμάτο παζλ, οπτικές ψευδαισθήσεις και αλληλεπιδράσεις με τους πιο διάσημους της ιστορίας χαρακτήρες. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές προσαρμογές, αυτή η εμπειρία δεν επαναλαμβάνει απλώς την ιστορία, αλλά επιτρέπει στους χρήστες να μπουν μέσα σε αυτήν, εμπλέκοντας απευθείας με το παράξενο και απρόβλεπτο περιβάλλον της Χώρας των Θαυμάτων.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά του Curious Alice είναι η χρήση της χωρικής μηχανικής VR για να ενισχύσει την αίσθηση της παρουσίας στον εικονικό κόσμο. Η εμπειρία αξιοποιεί την προηγμένη παρακολούθηση κίνησης, επιτρέποντας στους χρήστες να κινούνται φυσικά και να αλληλοεπιδρούν με αντικείμενα χρησιμοποιώντας τα χέρια τους. Το παιχνίδι παίζει επίσης με την προοπτική με τρόπο που ευθυγραμμίζεται με τα θέματα της Χώρας των Θαυμάτων, επιτρέποντας στους χρήστες να βιώσουν τις περίφημες αλλαγές μεγέθους της Αλίκης — να συρρικνώνονται και να μεγαλώνουν ως απάντηση στις ενέργειές τους. Αυτοί οι μηχανισμοί δημιουργούν μια αίσθηση σωματικότητας που ενισχύει τη βύθιση, κάνοντας τη Χώρα των Θαυμάτων να νιώθει σαν ένας απτός χώρος και όχι απλώς μια οπτική αναπαράσταση. Η επιτυχία του Curious Alice αναδεικνύει τις δυνατότητες του VR ως μέσου για την αφήγηση και τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Με τη συγχώνευση της λογοτεχνικής παράδοσης με τις ψηφιακές τεχνικές αιχμής, δημιουργεί μια εμπειρία που είναι όχι μόνο εντυπωσιακή αλλά και πνευματικά ελκυστική, ενθαρρύνοντας τους χρήστες να αλληλοεπιδράσουν, να εξερευνηθούν και το πιο σημαντικό, να υποκύψουν στην περιέργεια — ακριβώς όπως κάνει η ίδια η Αλίκη.



Εικόνα 10: Παράδειγμα - Curious Alice: The VR Experience

Εκθεσιακός χώρος "Ελληνικός κόσμος" - Hellenic Cosmos Cultural Centre

Το Κέντρο Πολιτισμού «Ελληνικός Κόσμος» είναι ένα από τα πιο καινοτόμα πολιτιστικά ιδρύματα της Ελλάδας, που συνδυάζει την ιστορία με την τεχνολογία αιχμής για τη δημιουργία καθηλωτικών εκπαιδευτικών εμπειριών. Λειτουργείται από το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού (ΙΜΕ) και είναι αφιερωμένο στη διατήρηση και παρουσίαση της ελληνικής πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω διαδραστικών εκθέσεων, ψηφιακών αναπαραστάσεων και αφηγήσεων εικονικής πραγματικότητας. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μουσεία, ο «Ελληνικός Κόσμος» δεν βασίζεται αποκλειστικά σε φυσικά αντικείμενα, αλλά αντίθετα χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνικές οπτικοποίησης για να μεταφέρει τους επισκέπτες σε καιριές στιγμές της ελληνικής ιστορίας. Μέσω της ενσωμάτωσης της εικονικής πραγματικότητας, επιτρέπει στο κοινό να ασχοληθεί με την ιστορία με τρόπο που είναι τόσο ενημερωτικός όσο και βαθιά καθηλωτικός.

Εξχωριστό χαρακτηριστικό του κέντρου είναι η «Θόλος», ένα θέατρο εικονικής πραγματικότητας σε σχήμα θόλου που επιτρέπει στους επισκέπτες να εξερευνήσουν τρισδιάστατες αναπαραστάσεις αρχαίων ελληνικών πόλεων και μνημείων. Αυτή η διαδραστική εμπειρία παρέχει μια μοναδική αίσθηση παρουσίας, καθώς οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν σε ψηφιακά περιβάλλοντα που ζωντανεύουν ιστορικές τοποθεσίες. Από το περπάτημα στους πολυσύχναστους δρόμους της αρχαίας Μιλήτου μέχρι την παρακολούθηση του μεγαλείου της κλασικής Αθήνας, το Tholos επιτρέπει μια εξερεύνηση της ιστορίας που είναι δυναμική και συμμετοχική. Σε αντίθεση με τις στατικές μουσειακές οθόνες, η τεχνολογία VR στο **Tholos** προσαρμόζεται στην αλληλεπίδραση του χρήστη, προσφέροντας ξεναγήσεις όπου το κοινό μπορεί να επιλέξει τη διαδρομή του, να εξετάσει ιστορικές δομές από πολλαπλές οπτικές γωνίες και ακόμη και να εμπλακεί με εικονική ιστορική φιγούρα



Εικόνα 11: Παράδειγμα - Tholos

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Σχεδιασμός και Ανάπτυξη συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν και θα αναλυθούν όλα τα συστατικά μέρη που συνθέτουν το όλο το σύστημα. Η διαδικασία της υλοποίησης θα αναλυθεί μέχρι ένα βαθμό κατανόησης, ξεκινώντας από την ανάπτυξη εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας, η οποία αποτελεί η κύρια διεπαφή για το μέσο χρήστη που θα συμμετάσχει στο σύστημα. Περιλαμβάνοντας και τη δημιουργία του τρισδιάστατου περιβάλλοντος, τους μηχανισμούς αλληλεπιδράσεις και το σύστημα παρακολούθησης που καταγράφει τις κινήσεις και τα δεδομένα που παράγει ο χρήστης στο εικονικό περιβάλλον. Ο στόχος είναι η δημιουργία μια απρόσκοπτης εμπειρίας με όλες τις αλληλεπιδράσεις να καταγράφονται.

Πέρα από την εμπειρία εικονικής πραγματικότητας που συναντάει ο χρήστης, το κεφάλαιο αυτό θα καλύψει επίσης την υλοποίηση της πλατφόρμας του διαχειριστή, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην επεξεργασία και την οπτικοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται. Το backend σύστημα είναι υπεύθυνο για την εξαγωγή, την αποθήκευση και την εμφάνιση βασικών μετρήσεων που σχετίζονται με την πλοήγηση και τις αλληλεπιδράσεις των χρηστών. Επιτρέπει στους διαχειριστές, τους ερευνητές και άλλους ενδιαφερόμενους να αναλύουν τη συμπεριφορά των χρηστών, αποκτώντας πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες εμπλέκονται με το περιβάλλον και τα αντικείμενα εικονικής πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι λεπτομέρειες υλοποίησης αυτής της πλατφόρμας θα περιλαμβάνουν τις δομές βάσεων δεδομένων, την επικοινωνία API μεταξύ της εφαρμογής VR και της διαδικτυακής διεπαφής, καθώς και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση των δεδομένων.

3.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου το σύστημα αποτελείται από αρκετά υποσυστήματα, τα οποία επικοινωνούν με συγκεκριμένες κατευθύνσεις μεταξύ τους. Τα υποσυστήματα αυτά διακρίνονται σε: Standalone εφαρμογή VR, ένα Web API, μια βάση δεδομένων και μια web εφαρμογή για την προβολή των δεδομένων.

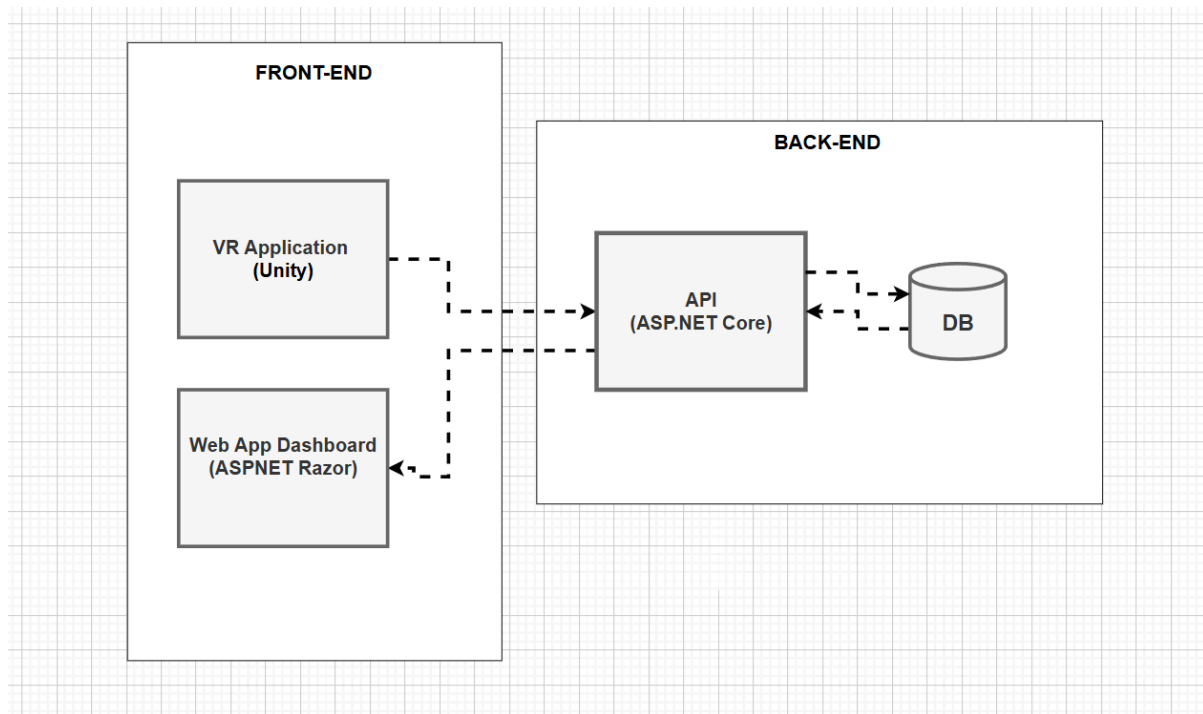
Κύριο μέρος, είναι το Back-end του συστήματος, για τη διαχείριση της αποθήκευσης, επεξεργασίας και ανάκτησης δεδομένων. Υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το ASP.NET Core Web API, εξασφαλίζοντας ασφαλή και αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ της εφαρμογής VR και της διεπαφής διαχείρισης. Ο διακομιστής (Server) λαμβάνει δεδομένα αλληλεπίδρασης από την εφαρμογή VR και τα αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων PostgreSQL, η οποία είναι δομημένη για την αποτελεσματική διαχείριση μεγάλων συνόλων δεδομένων που σχετίζονται με τις συνεδρίες πλοήγησης των χρηστών. Οι παραγόμενοι API σύνδεσμοι (endpoints) επιτρέπουν στο προγραμματιστικό κομμάτι των υπόλοιπων υποσυστημάτων, να ζητούν αυτά τα δεδομένα δυναμικά, φιλτράροντας με βάση τον χρήστη, τη σύνοδο ή συγκεκριμένους τύπους αλληλεπίδρασης.

Έπειτα έχουμε τα υπόλοιπα δύο κομμάτια του συστήματος, τον πομπό των δεδομένων, δηλαδή την εφαρμογή VR που αποτελεί και σημείο "παραγωγής" δεδομένων από τους χρήστες και τον τελικό δέκτη η τελική διεπαφή των διαχειριστών - ειδικών που παρουσιάζει τα δεδομένα.

Η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας χρησιμεύει ως το κύριο σημείο αλληλεπίδρασης για τους χρήστες, προσφέροντας μια καθηλωτική εμπειρία κατά την οποία περιηγούνται σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Το περιβάλλον VR αναπτύχθηκε στο Unity και ενσωματώνει το XR Interaction Toolkit για τη διευκόλυνση της κίνησης και της αλληλεπίδρασης. Οι χρήστες μπορούν να εξερευνήσουν αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, να αλληλοεπιδράσουν μαζί τους και να λάβουν πληροφορίες σχετικά με την πλοήγηση τους.

Η εφαρμογή VR επικοινωνεί με το backend μέσω κλήσεων API, στέλνοντας τα δεδομένα που συλλέγονται στον διακομιστή (Server) για αποθήκευση και περαιτέρω ανάλυση.

Και τέλος, η διεπαφή του διαχειριστή είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή βασισμένη στο Razor (ASP.NET Core) που παρέχει μια δομημένη προβολή των δεδομένων που συλλέγονται. Αυτή η διεπαφή επιτρέπει στους διαχειριστές και τους ερευνητές να έχουν πρόσβαση σε λεπτομερείς οπτικές αναλύσεις. Η διαδικτυακή πλατφόρμα επικοινωνεί με το backend μέσω κλήσεων API, ανακτώντας και εμφανίζοντας τα απαιτούμενα δεδομένα με διαδραστικό τρόπο.



Εικόνα 12: Αναπαράσταση αρχιτεκτονικής ολόκληρου το συστήματος

Όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία, εκτός από την εφαρμογή VR, είναι container και αναπτύσσονται με τη χρήση του Docker. Κάθε συστατικό λειτουργεί μέσα στο δικό του απομονωμένο Container, εξασφαλίζοντας την αρθρωτότητα, την επεκτασιμότητα και την ευκολία ανάπτυξης. Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα κύρια Containers: Web API, Web App, βάση δεδομένων PostgreSQL και pgAdmin 4. Αυτά τα Container διαχειρίζονται και ενορχηστρώνονται χρησιμοποιώντας το Docker Compose, το οποίο τους επιτρέπει να εκτελούνται ταυτόχρονα κάτω από το ίδιο εικονικό δίκτυο, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ των backend υπηρεσιών. Αυτή η προσέγγιση ενισχύει τη συντηρησιμότητα του συστήματος, απλοποιεί τις ενημερώσεις και επιτρέπει την ευέλικτη κλιμάκωση ανάλογα με τις ανάγκες.

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	dev-env	-	-	0.03%	321.86MB / 92.64	1.36%	0B / 0B	<input type="checkbox"/>	:	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	postgres	postgres:la	5432:5432	0%	20.74MB / 23.16G	0.09%	0B / 0B	<input type="checkbox"/>	:	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	pgadmin	dpage/pgadmin4	8080:80	0.02%	181.3MB / 23.16G	0.76%	0B / 0B	<input type="checkbox"/>	:	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	vrmuseum-dashboard-1	dev-env-vrmuseum	2222:2222	0.01%	58.72MB / 23.16G	0.25%	0B / 0B	<input type="checkbox"/>	:	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	vrmuseum-api-1	dev-env-vrmuseum	5000:5000	0%	61.1MB / 23.16G	0.26%	0B / 0B	<input type="checkbox"/>	:	<input type="checkbox"/>
[+] Running 4/4											
	<input checked="" type="checkbox"/>	Container postgres		Started							0.2s
	<input checked="" type="checkbox"/>	Container pgadmin		Started							0.7s
	<input checked="" type="checkbox"/>	Container dev-env-vrmuseum-api-1		Started							0.6s
	<input checked="" type="checkbox"/>	Container dev-env-vrmuseum-dashboard-1		Started							1.0s

Εικόνα 13: Στιγμιότυπο από το Docker Desktop και terminal

3.2 Δεδομένα συστήματος

Ένα κρίσιμο στοιχείο όλου συστήματος και ο απώτερος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο μηχανισμός συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Τα δεδομένα χρησιμεύουν ως βάση για την καταγραφή των αλληλεπιδράσεων και των συμπεριφορών των χρηστών εντός του εικονικού περιβάλλοντος, επιτρέποντας ουσιαστικές γνώσεις που θα ενημερώσουν αργότερα την οπτικοποίηση των στατιστικών μετρήσεων. Αυτές οι γνώσεις θα είναι καθοριστικές για την κατανόηση της εμπλοκής των χρηστών και τη βελτίωση της εικονικής εμπειρίας.

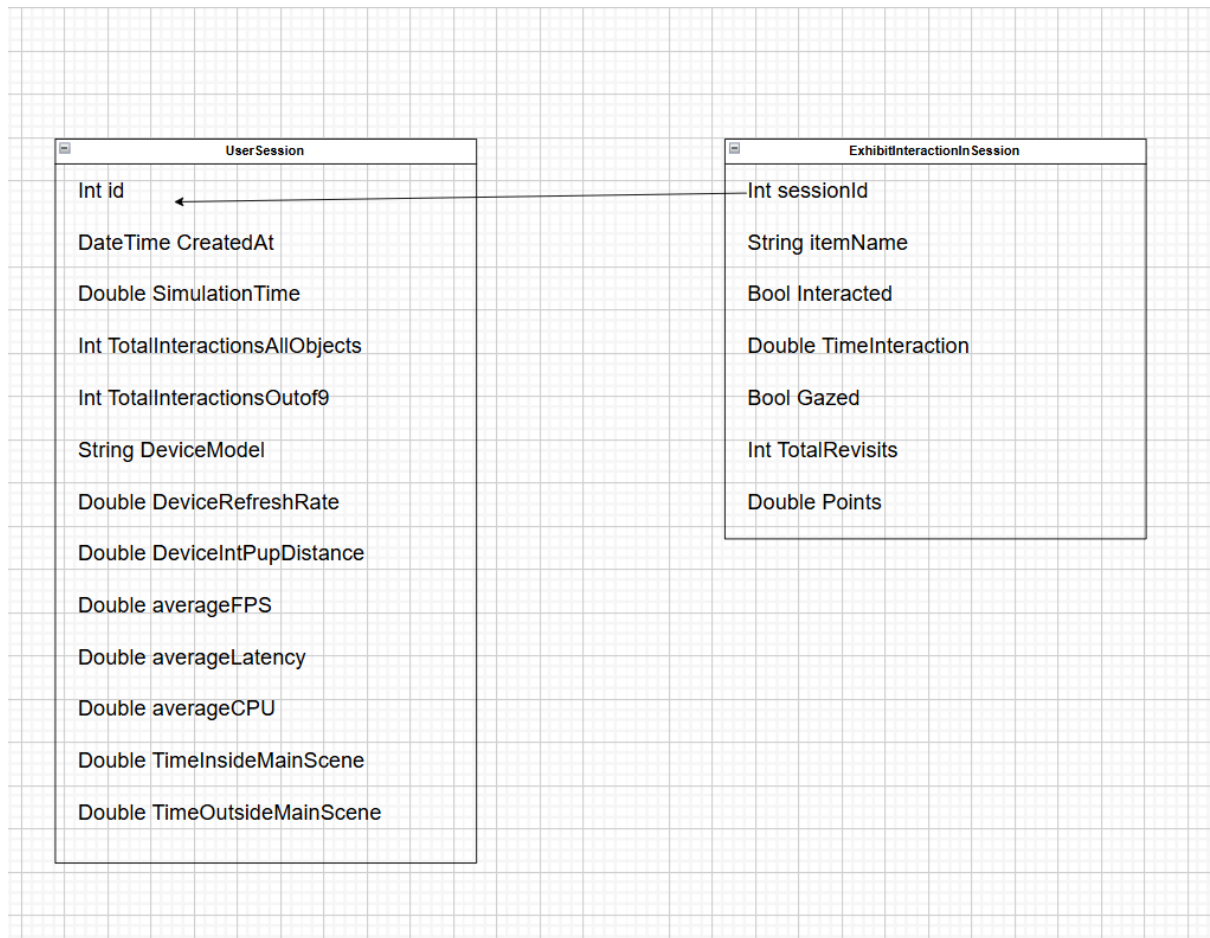
Το σύστημα διακρίνει μεταξύ μη επεξεργασμένων δεδομένων και επεξεργασμένων δεδομένων με βάση το στάδιο στο οποίο γίνεται ο χειρισμός τους.

Μη επεξεργασμένα: Αναφέρονται στις άμεσες παρατηρήσεις που καταγράφονται από την εφαρμογή VR. Αυτά τα σημεία δεδομένων συλλέγονται καθώς οι χρήστες πλοηγούνται στο περιβάλλον, αλληλοεπιδρούν με αντικείμενα και περνούν χρόνο σε διάφορες περιοχές. Παραμένουν αδόμητα και μη ομαδοποιημένα μέχρι να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία.

Επεξεργασμένα δεδομένα: Μόλις συλλεχθούν τα μη επεξεργασμένα δεδομένα, αποστέλλονται στη διεπαφή διαχείρισης, όπου μετατρέπονται σε δομημένες γνώσεις. Αυτός ο μετασχηματισμός μπορεί να περιλαμβάνει τη συγκέντρωση πολλαπλών δεδομένων, την εξαγωγή στατιστικών μέτρων ή την εφαρμογή τύπων για την ανάλυση των προτύπων συμπεριφοράς των χρηστών.

Ανεξάρτητα από το αν τα δεδομένα είναι επεξεργασμένα ή όχι, είναι σημαντικό τόσο η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας όσο και η διεπαφή του διαχειριστή να ακολουθούν μια συνεπή μορφή δεδομένων και δομή τύπων. Αυτό εξασφαλίζει την απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων, την ακριβή αποθήκευση και την αποτελεσματική ανάκτηση.

Το σχήμα της βάσης δεδομένων έχει σχεδιαστεί για την αποτελεσματική οργάνωση και διαφοροποίηση της συνεδρίας (session) κάθε χρήστη. Η μέθοδος καταγραφής διασφαλίζει ότι όλα τα δεδομένα κάθε συνεδρίας (session) αποθηκεύονται μετά την ολοκλήρωση μιας συνεδρίας (session) περιήγησης, διατηρώντας ένα δομημένο ιστορικό (entry) των αλληλεπιδράσεων του χρήστη.



Εικόνα 14: Database schema

Πίνακας UserSessions

- id (Int): Μοναδικό αναγνωριστικό για κάθε συνεδρία
- CreatedAt (DateTime): Ημερομηνία-Χρόνος δημιουργίας της συνεδρίας
- SimulationTime (Double): Συνολικός χρόνος προσομοίωσης
- TotalInteractionsAllObjects (Int): Συνολικός αριθμός καταγεγραμμένων αλληλεπιδράσεων
- TotalInteractionsOutof9 (Int): Συνολικές αλληλεπιδράσεις ως προς το σύνολο των αντικειμένων
- DeviceModel (String): Μοντέλο της συσκευής VR που χρησιμοποιήθηκε
- DeviceRefreshRate (Double): Ρυθμός ανανέωσης της συσκευής
- DeviceIntPupDistance (Double): Ρύθμιση της ενδοφθάλμιας απόστασης (Interpupillary distance)
- averageFPS (Double): Μέσος όρος καρτέ ανά δευτερόλεπτο κατά τη διάρκεια της συνεδρίας
- averageLatency (Double): Μέση καταγεγραμμένη καθυστέρηση συστήματος
- averageCPU (Double): Χρήση CPU κατά τη διάρκεια της συνεδρίας
- TimeInsideMainScene (Double): Χρόνος που δαπανάται εντός του κύριου περιβάλλοντος όπου βρίσκονται τα εκθέματα
- TimeOutsideMainScene (Double): Χρόνος που δαπανάται εκτός του κύριου περιβάλλοντος όπου βρίσκονται τα εκθέματα

Πίνακας ExhibitInteractionInSession

- sessionId (Int): UserSessions

- itemName (String): Όνομα του εκθέματος με το οποίο έγινε αλληλεπίδραση
- Interacted (Bool): Εάν ο χρήστης αλληλεπίδρασε με το αντικείμενο
- TimeInteraction (Double): Διάρκεια αλληλεπίδρασης με το έκθεμα
- Gazed (Bool): Εάν ο χρήστης κοίταξε το αντικείμενο
- TotalRevisits (Int): Αριθμός φορών που ο χρήστης επισκέφθηκε ξανά το έκθεμα
- Points(Double): Μετρική βαθμολόγησης για την εμπλοκή

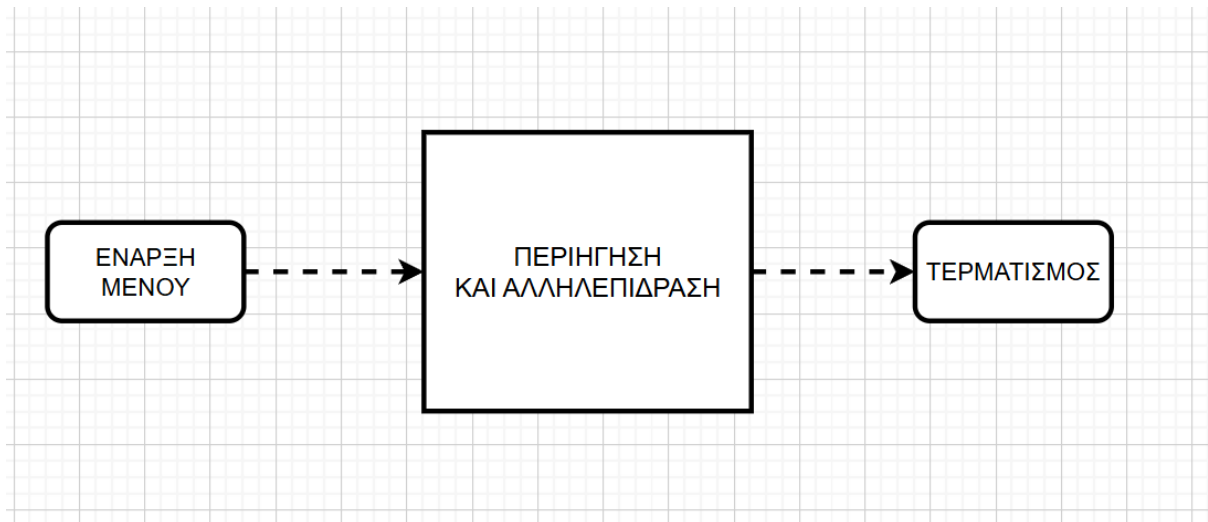
Οι συγκεκριμένες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή κάθε τύπου δεδομένων θα περιγράφουν λεπτομερώς στο επόμενο υποκεφάλαιο, το οποίο επικεντρώνεται στην υλοποίηση της εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας. Επιπλέον, οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία αυτών των δεδομένων, μαζί με τις προκύπτουσες γνώσεις και αναλυτικές επισκοπήσεις, θα εξεταστούν στο υποκεφάλαιο που αναφέρεται στην υλοποίηση της διεπαφής διαχείρισης.

3.3 Ανάπτυξη εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας

Η ανάπτυξη μιας προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας (VR) απαιτεί ένα συνδυασμό μηχανικής λογισμικού, τρισδιάστατης μοντελοποίησης, προσομοίωσης φυσικής και σχεδιασμού σεναρίου για τη δημιουργία ενός εμβυθιστικού και διαδραστικού ψηφιακού περιβάλλοντος. Ο στόχος είναι η αναπαραγωγή σεναρίων του πραγματικού κόσμου ή η δημιουργία εμπειρίας με την οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει κατά τρόπο αληθοφανή. Αυτό το κεφάλαιο διερευνά τις τεχνικές πτυχές της ανάπτυξης της προσομοίωσης VR, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας περιβάλλοντος, των αλληλεπιδράσεων με τους χρήστες και την ενσωμάτωση του συστήματος.

Σενάριο VR

Το σενάριο - storyboard που θα συμμετέχει ο χρήστης είναι απλό, αρχικά με την εκκίνηση της εφαρμογής εικονικής εμφανίζεται μπροστά από ένα μενού έναρξης, σε αυτό ο χρήστης θα πρέπει να ξεκινήσει την συνεδρία πατώντας το κουμπί με το κείμενο "click to start". Έπειτα εξαφανίζεται το μενού και σηματοδοτείται η πλοήγηση του χρήστη στην προσομοίωση. Στο κέντρο του περιβάλλοντος βρίσκονται 9 εκθέματα στοιχισμένα σε μορφή 3 σειρών και 3 γραμμών (3x3) και τοποθετημένα σε εκθεσιακούς πάγκους για την ευκολότερη πρόσβαση. Η κάθε σειρά από εκθέματα προσδιορίζει μια διαφορετική ιστορική περίοδο. Στην 1η σειρά έχουμε τα εκθέματα από την Αιγυπτιακή εποχή, στην 2η σειρά έχουμε τα εκθέματα από την Αρχαία Ελλάδα και στην 3η σειρά έχουμε εκθέματα που ανήκουν στην εποχή των Αζτέκων. Ο χρήστης μπορεί να μετακινηθεί οπουδήποτε επιθυμεί στην σκηνή και μπορεί να αλληλεπιδράσει με όλα τα εκθέματα με οποιαδήποτε σειρά. Στο τέλος της πλοήγησης/αλληλεπίδρασης του χρήστη, ο χρήστης θα πρέπει να πατήσει το κουμπί με κείμενο "END" για να τερματίσει την προσομοίωση, ώστε να ολοκληρωθεί η συνεδρία.



Εικόνα 15: Σειρά σεναρίου VR

Υλοποίηση

Για το κομμάτι των 3D αντικείμενων, ερευνήθηκαν και επιλέχθηκαν αντικείμενα με πιστοποιητικό για ελεύθερη μη κερδοσκοπική χρήση. Μερικά από τα αντικείμενα δεν αποτελούν αληθινά πολιτιστικά αντικείμενα, αλλά χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό της αναπαράστασης ενός περιβάλλοντος μουσείου και ενός σεναρίου με πολιτιστικά εκθέματα. Τα αντικείμενα/εκθέματα διακρίνονται ως εξής:

Εποχή Αρχαίας Αιγύπτου:

- a. Statue of Ramesses II, the 'Younger Memnon - (<https://sketchfab.com/3d-models/statue-of-ramesses-ii-the-younger-memnon-42cc89bb3fd840d7b0356bd536379a92>)
- b. Seated statue of Amenhotep III - (<https://sketchfab.com/3d-models/seated-statue-of-amenhotep-iii-53bbbed1b8c034cb5ba4f719b5a98e771>)
- c. Horus (Falcon)- (<https://sketchfab.com/3d-models/horus-falcon-f16eb0a359aa4354af848744c6916c87>)

Εποχή Αρχαίας Ελλάδας:

- a. Greek Vase – (<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/architectural/decoration/greek-vase-3c42ab16-3193-406e-ad19-1939ecc25206>)
- b. Spartan Helmet – (<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/military/armor/spartan-helmet-1fd0bfcc-bb24-4fb3-a3e0-bf308dc68534>)
- c. Greek Slave sculpture – (<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/architectural/decoration/greek-slave-sculpture>)

Εποχή των Αζτέκων:

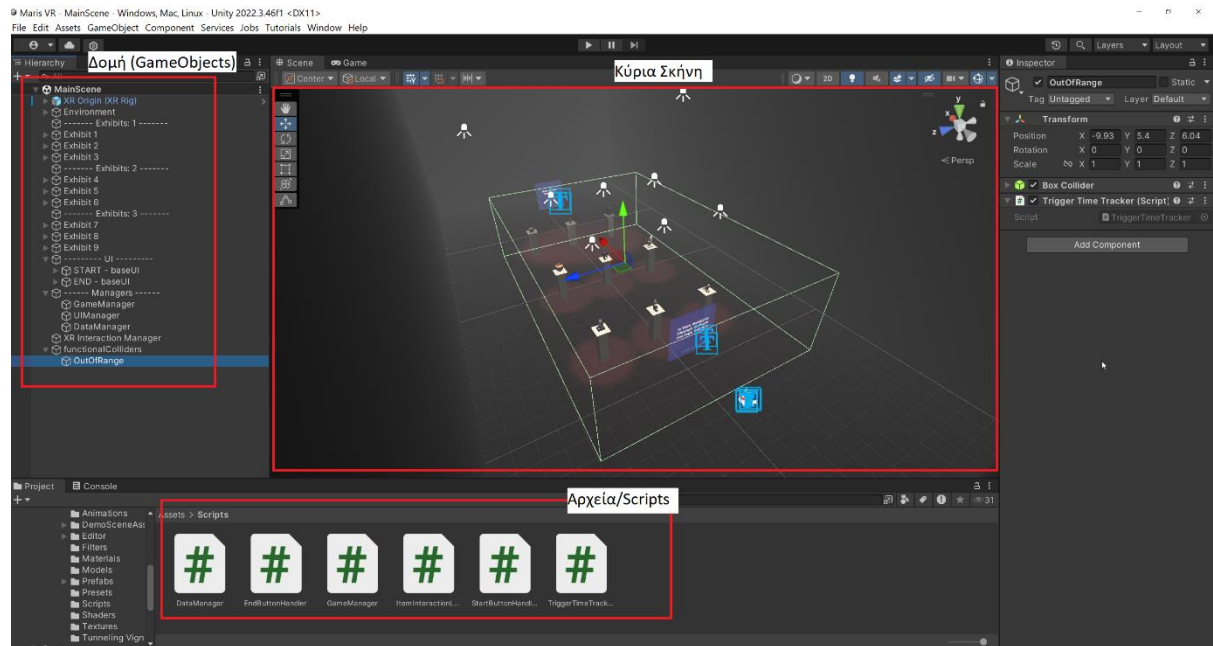
- a. Aztec Block – (<https://sketchfab.com/3d-models/aztec-block-a-415b2d7d208a4e73a63ba1b3bd682269>)
- b. Cast of Aztec stone – (<https://sketchfab.com/3d-models/cast-of-aztec-stone-effigy-81034f59f5134d78a62d64f4dcbfe3b4>)

- c. Aztec Head Statue – (<https://sketchfab.com/3d-models/aztec-head-statue-e3a7c83226c34e5599ae4d3118330e71>)

Έπειτα το κάθε αντικείμενο υπέστη επεξεργασία στο εργαλείο blender για την ελαχιστοποίηση των τριγώνων με σκοπό την ομαλή ροή και των καρτέ κατά την διάρκεια της περιήγησης (έχοντας υπόψη τα 500.000 τρίγωνα ανά καρτέ/frame που υποστηρίζουν τα περισσότερα VR Headsets).

Εισαγωγή στο περιβάλλον unity

Το επόμενο βήμα της υλοποίησης είναι η χρήση των αντικειμένων αυτών σε μία μηχανή παιχνιδιών. Η μηχανή παιχνιδιών που επιλέχτηκε είναι το Unity (version: 2022.3.46f1) και με βασική βιβλιοθήκη υποστήριξης μεθόδων αλληλεπίδρασης, το XR Interaction Toolkit. Έπειτα αφού έχουμε δημιουργήσει ένα νέο project σε περιβάλλον unity, δημιουργούμε την σκηνή και εντάσσουμε τα παραπάνω προαναφερόμενα αντικείμενα σε αυτήν. Σημαντικό στάδιο που σχετίζεται με το οπτικό κομμάτι της σκηνής είναι η δημιουργία και τοποθέτηση των materials για το κάθε αντικείμενο και η εισαγωγή προβολών φωτός προς κάθε έκθεμα.



Εικόνα 16: Δομή περιβάλλοντος εργασίας



Εικόνα 17: Τελική Σκηνή

Scripts και μέθοδοι

Στο Unity, τα scripts χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των αντικειμένων του παιχνιδιού και τον καθορισμό της συμπεριφοράς διαφόρων στοιχείων σε μια σκηνή. Γράφονται κυρίως σε C# και λειτουργούν ως στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν με αντικείμενα του παιχνιδιού. Τα scripts επιτρέπουν στους προγραμματιστές να χειρίζονται εισόδους, να χειρίζονται αντικείμενα, να ελέγχουν κινούμενα σχέδια και να αλληλεπιδρούν με τη μηχανή φυσικής του Unity. Κάθε σενάριο περιέχει συνήθως μεθόδους όπως η Start(), η οποία εκτελείται μία φορά κατά την αρχικοποίηση του αντικειμένου, και η Update(), η οποία εκτελείται σε κάθε καρέ. Τροποποιώντας τις ιδιότητες και καλώντας συναρτήσεις μέσα σε αυτές τις μεθόδους, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν δυναμικές αλληλεπιδράσεις, συμπεριφορές AI και μηχανισμούς παιχνιδιού. Το σύστημα σεναρίων της Unity ενσωματώνεται με τα χαρακτηριστικά της μηχανής, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να δημιουργούν αποτελεσματικά πολύπλοκη λογική παιχνιδιού.

Scripts για την ροή της περιήγησης

Τα βασικά script ροής του σεναρίου που υλοποιήθηκαν είναι το GameManager.cs, StartButtonHandler.cs και EndButtonHandler.cs. Με το GameManager να διαχειρίζεται τα στάδια του σεναρίου κάθε φορά Στάδιο1: Αρχικό Μενού, Στάδιο2: Περιήγηση και Στάδιο3: Τερματισμός προσομοίωσης. Τα scripts StartButtonHandler και EndButtonHandler ενσωματώνονται πάνω στα κουμπιά εκκίνησης και τερματισμού της περιήγησης αντίστοιχα αλλά και για την καταγραφή του χρόνου διάρκειας της προσομοίωσης.

```
// Timer
1 reference
public void StartTimer()
{
    startTime = Time.time;
    Debug.Log("Timer started!");
}

1 reference
public void StopTimer()
{
    elapsedTime = Time.time - startTime;
    Debug.Log($"Timer stopped! Total elapsed time: {elapsedTime:F2} seconds");
}
```

Εικόνα 18: Παράδειγμα κώδικα - καταγραφής χρόνου

Script: Καταγραφή τοποθεσία χρήστη (Εκτός και εντός κύριας σκηνής)

Για τον υπολογισμό του χρόνου και τον αριθμό των φορών που ο χρήστης βγήκε και ξαναμπήκε στην κύρια σκηνή, δημιουργήθηκε ένα script με όνομα TriggerTimeTracker.cs. Εχόντας ένα Collider (πράσινο - σχήμα κύβου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 16), υπολογίζεται η τοποθεσία του collider σε σχέση με την τοποθεσία του χρήστη, σε περίπτωση που ο χρήστης κάνει "collide" θα αυξηθεί η τιμή του "timeOutside" αν έρχεται από έξω ή θα αυξηθεί η τιμή του "timeInside" αν κάνει "collide" από μέσα.

Καταγραφή Interactions

Μέσα από το Unity και την βιβλιοθήκη XR Interaction Toolkit, προστέθηκαν δύο ειδών αλληλεπιδράσεις, grab και focus. Με το grab να αποτελεί το πιάσιμο των αντικειμένων και το focus να αποτελεί η απλή εστίασή αυτών των αντικειμένων. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές καταγράφονται από το script ItemInteractionLogger.cs, κρατώντας στην μνήμη δεδομένα όπως πχ εάν αλληλοεπίδρασε ο χρήστης με x αντικείμενο, αν το έπιασε κτλ. για το κάθε αντικείμενο ξεχωριστά.

```
1 reference
private bool IsBeingGazed()
{
    // Use XRayInteractor or another custom method to detect gaze
    UnityEngine.XR.Interaction.Toolkit.Interactors.XRayInteractor[] interactors = FindObjectsOfType<UnityEngine.XR.
    Interaction.Toolkit.Interactors.XRayInteractor>();
    foreach (var interactor in interactors)
    {
        if (interactor.TryGetCurrent3DRaycastHit(out RaycastHit hit))
        {
            if (hit.transform == transform)
            {
                DataManager.Instance.UpdateExhibit(key:keyItem,newInteraction: true, newPickedUp: true,newTimeInteraction:
                totalGrabTime, newRevisits: pickupCount);
                return true;
            }
        }
    }
    return false;
}
```

Εικόνα 19: Παράδειγμα κώδικα - καταγραφής χρόνου

Εκτός από τις πληροφορίες που παράγει ο χρήστης, καταγράφονται και πληροφορίες που παράγονται από την συσκευή VR, όπως το όνομα της συσκευής που χρησιμοποιείται, τον Ρυθμό ανανέωσης της συσκευής, Ρύθμιση της ενδοφθάλμιας απόστασης, τα καρτέ ανά δευτερόλεπτο, Μέση καταγεγραμμένη καθυστέρηση συστήματος και χρήση CPU κατά τη διάρκεια της συνεδρίας.

Τελειώνοντας την περιήγηση ο χρήστης ενεργοποιεί την λειτουργία τερματισμού της σκηνής πατώντας το κουμπί με κείμενο "END" ή τερματίζοντας την εφαρμογή ακαριαία, ενεργοποιείται το script με τίτλο DataManager.cs. Το script αυτό, έχοντας καταγράψει και αποθηκεύσει όλα τα δεδομένα που αναφέρθηκαν, μέσω του endpoint που έχουμε φτιάξει στο API, γίνεται API call με μέθοδο post για την αποστολή των δεδομένων που καταγράφηκαν στην συγκεκριμένη συνεδρία του χρήστη.

```
{
  $id: "1",
  $values: [
    {
      $id: "2",
      id: 1,
      simulationTime: 0,
      totalInteractions: 0,
      howManyInteractionsOutOfNine: 0,
      deviceModel: "Oculus Quest 2",
      deviceRefreshRate: 0,
      deviceIntPupDistance: 1,
      averageFPS: 66,
      averageLatency: 1,
      averageCPU: 0,
      timeInsideMainScene: 5,
      timeOutsideMainScene: 1,
      createdAt: "2025-01-29T19:51:32.769186+00:00",
      exhibitInteractions: {
        $id: "3",
        $values: [
          {
            $id: "4",
            id: 1,
            userSessionId: 1,
            itemName: "Item1",
            interaction: true,
            timeInteraction: 0,
            gazed: true,
            pickedUp: true,
            revisits: 0,
            points: 0,
            userSession: {
              $ref: "2"
            }
          }
        ]
      }
    }
  ]
}
```

Εικόνα 20: Παράδειγμα δεδομένων που καταγράφονται μετά από κάθε συνεδρία

3.4 Ανάπτυξη πίνακα ελέγχου

Η διεπαφή προβολής δεδομένων και στατιστικών, υλοποιήθηκε με Razor Pages. Το Razor Pages είναι ένα μοντέλο προγραμματισμού με επίκεντρο τη σελίδα στο ASP.NET Core που επιτρέπει τη δημιουργία δυναμικών εφαρμογών ιστού με βάση τα δεδομένα. Ακολουθεί μια προσέγγιση βασισμένο στο μοντέλο MVVM (Model-View-ViewModel), όπου κάθε Razor Page αποτελείται από ένα αρχείο .cshtml (για την προβολή) και ένα αντιστοιχό αρχείο .cshtml.cs (για το μοντέλο σελίδας). Το μοντέλο σελίδας περιέχει λογική και χειρίζεται αιτήσεις HTTP.

Στο VRMuseum Dashboard, υλοποιήθηκε μια κύρια σελίδα ταμπλό που παρέχει μια επισκόπηση των στατιστικών στοιχείων session χρηστών, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου προσομοίωσης, των αλληλεπιδράσεων, των πληροφοριών συσκευής, των μετρήσεων απόδοσης και άλλες.

Η κύρια σελίδα του ταμπλό αποτελείται από:

1. Ένα αρχείο .cshtml που εμφανίζει στατιστικές πληροφορίες με οργανωμένο τρόπο.
2. Ένα αρχείο .cshtml.cs που αντλεί δεδομένα από ένα API, τα επεξεργάζεται και τα παρέχει στην προβολή (.cshtml).

Με την βοήθεια λοιπόν του αρχείου .cshtml.cs γίνεται ανάκτηση των δεδομένων με κλήση GET του API. Και με την βοήθεια των δεδομένων που λήφθηκαν υπολογίζονται και εμφανίζονται σε αυτήν την διεπαφή διάφορα στατιστικά στοιχεία και διαγράμματα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις των χρηστών στην εικονική εμπειρία μουσείου.

Αναφορά των υπολογιζόμενων και εμφανιζόμενων δεδομένων στην διεπαφή

A. Γενική επισκόπηση (Περίληψη στατιστικών στοιχείων)

1. Συνολικές συνεδρίες: Ο αριθμός των καταγεγραμμένων συνεδριών VR.
2. Συνολικός χρόνος προσομοίωσης: Η αθροιστική διάρκεια όλων των συνεδριών.
3. Συνολικές αλληλεπιδράσεις: Ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων που πραγματοποίησαν οι χρήστες.
4. Average FPS: Ο μέσος ρυθμός καρέ κατά τη διάρκεια των συνεδριών.
5. Μέση καθυστέρηση: Η μέση καθυστέρηση δικτύου που παρατηρείται.
6. Μέση χρήση CPU: Η χρήση της CPU κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων.
7. Συνολικοί πόντοι: Οι πόντοι που κερδίζουν οι χρήστες στην εμπειρία VR.
8. Εύρος ημερομηνιών: Η περίοδος μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας καταγεγραμμένης συνεδρίας.
9. Μέσος όρος αλληλεπιδράσεων ανά συνεδρία: Ο μέσος αριθμός αλληλεπιδράσεων ανά συνεδρία.
10. Διάμεσος των πόντων ανά έκθεμα

B. Εμφανίζει τη διάμεση βαθμολογία που κερδίζουν τα διάφορα εκθέματα στην εμπειρία VR. (Πόντοι = exhibit.Revisits * 10 * exhibit.TimeInteraction)

Γ. Αναλύσεις αλληλεπιδράσεων χρηστών

1. Ένας πίνακας που δείχνει τις συνολικές αλληλεπιδράσεις ανά αντικείμενο, ταξινομημένες κατά φθίνουσα σειρά.
2. Μια οπτική διαδρομή των αλληλεπιδράσεων των χρηστών, που απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες πλοηγούνται μεταξύ των αντικειμένων.

Δ. Αναλύσεις ανά εποχή

1. Εμφανίζει τις συνολικές αλληλεπιδράσεις σε διάφορες ιστορικές ενότητες (Εποχή Αρχαίας Αιγύπτου, Εποχή Αρχαίας Ελλάδας και Εποχή Αζτέκων).

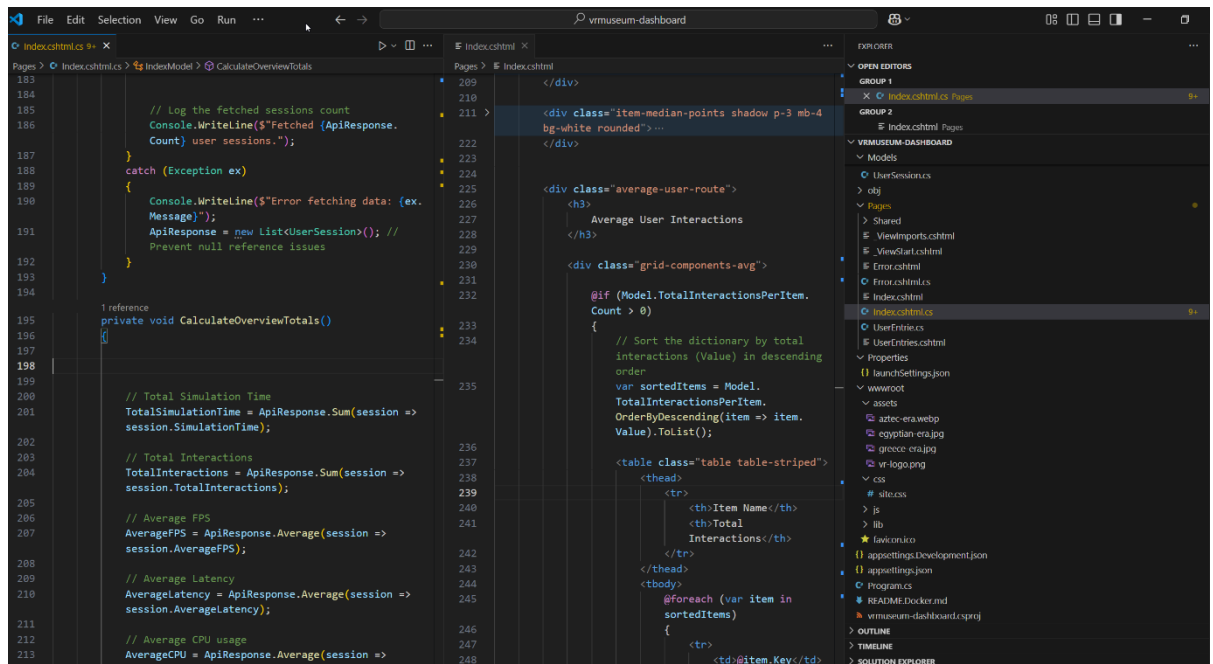
Ε. Διαγράμματα & οπτικοποιήσεις

1. Διάγραμμα πίτας: Κατανομή των αλληλεπιδράσεων των χρηστών σε διάφορες ενότητες/εποχές.
2. Ραβδόγραμμα: Αριθμός αλληλεπιδράσεων ανά στοιχείο.
3. Διάγραμμα διασποράς: Μετακίνηση του χρήστη εντός και εκτός της κύριας σκηνής κατά τη διάρκεια των συνεδριών.

Ζ. Πίνακας όλων των καταγεγραμμένων συνεδριών

Παραθέτει όλες τις καταγεγραμμένες συνεδρίες VR με λεπτομέρειες όπως:

1. ID συνεδρίας
2. Χρόνος προσομοίωσης
3. Σύνολο αλληλεπιδράσεων
4. Μοντέλο συσκευής & ρυθμός ανανέωσης
5. Αριθμός αλληλεπιδράσεων (Ως το σύνολο των αντικειμένων)
6. Μοντέλο συσκευής
7. Ρυθμός ανανέωσης συσκευής (Hz)
8. Ρύθμιση της ενδοφθάλμιας απόστασης (Interpupillary distance)
9. Μέσο FPS
10. Μέση καθυστέρηση
11. Μέση CPU
12. Ημερομηνία συνεδρίας.

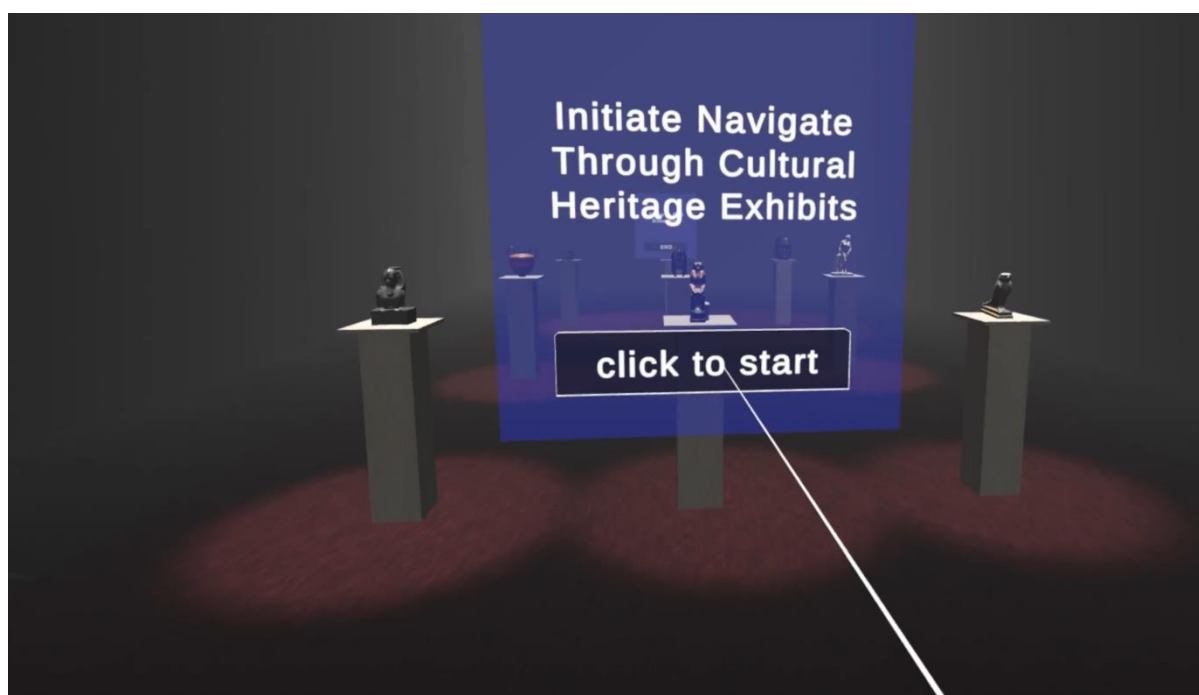


Εικόνα 21: Στιγμιότυπο χώρου εργασία κώδικα - VRMuseum Dashboard

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Εκτέλεση και αποτελέσματα συστήματος

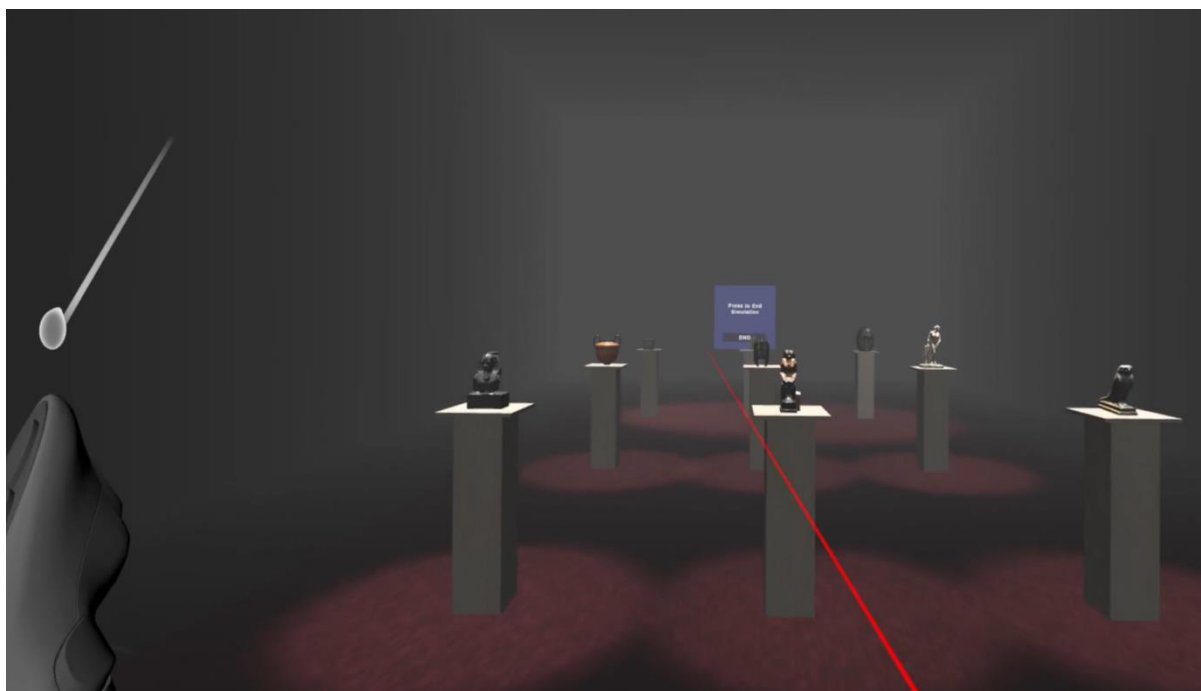
Έχοντας ολοκληρώσει την υλοποίηση και των τριών υποσυστημάτων, σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της διαδικασίας χρήσης της εφαρμογής VR από την μεριά του χρήστη και την εμφάνιση της διεπαφής διαχείρισης με τα τελικά αποτελέσματα και δεδομένα μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του σεναρίου VR, με την ενσωμάτωση στιγμιότυπων για το κάθε βήμα της διαδικασίας.

Αρχικά με την εκκίνηση της εφαρμογής VR, ο χρήστης βλέπει ένα αρχικό μενού με το κουμπί "click to start" για την αρχή της περιήγησης και για να το πατήσει, αρκεί να δείξει με το δεξι ή αριστερό χέρι το κουμπί και να πατήσει το πλήκτρο "trigger" στο χειριστήριο.



Εικόνα 22: Μενού για την έναρξη της πλοήγησης στο 3D περιβάλλον

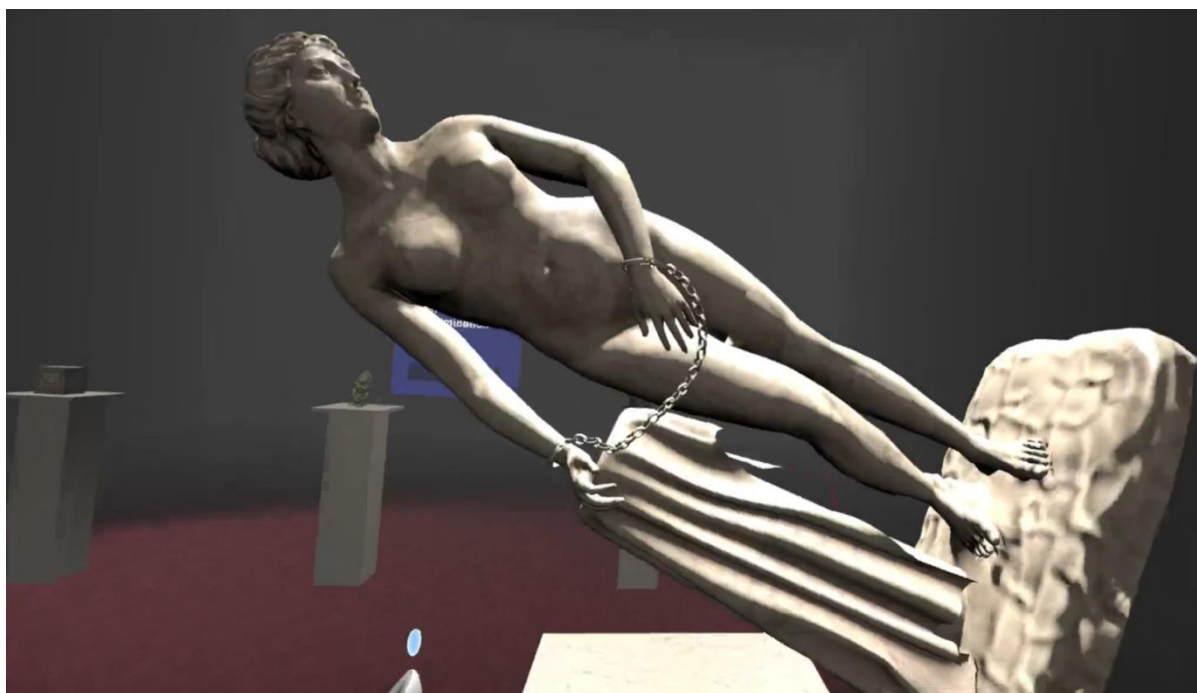
Αμέσως μετά, ο χρήστης μπορεί να προηγηθεί σε όλη την σκηνή με τα thumbstick των χειριστηρίων. Φυσικά σημαντικό κομμάτι της προσομοίωσης είναι η αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα, ο χρήστης μπορεί να πιάσει πατώντας το "grab" κουμπί πάνω στο χειριστήριο του, και να τα δει όλα τα αντικείμενα από κοντά περιστρέφοντας τα.



Εικόνα 23: Ελεύθερη πλοήγηση στο περιβάλλον

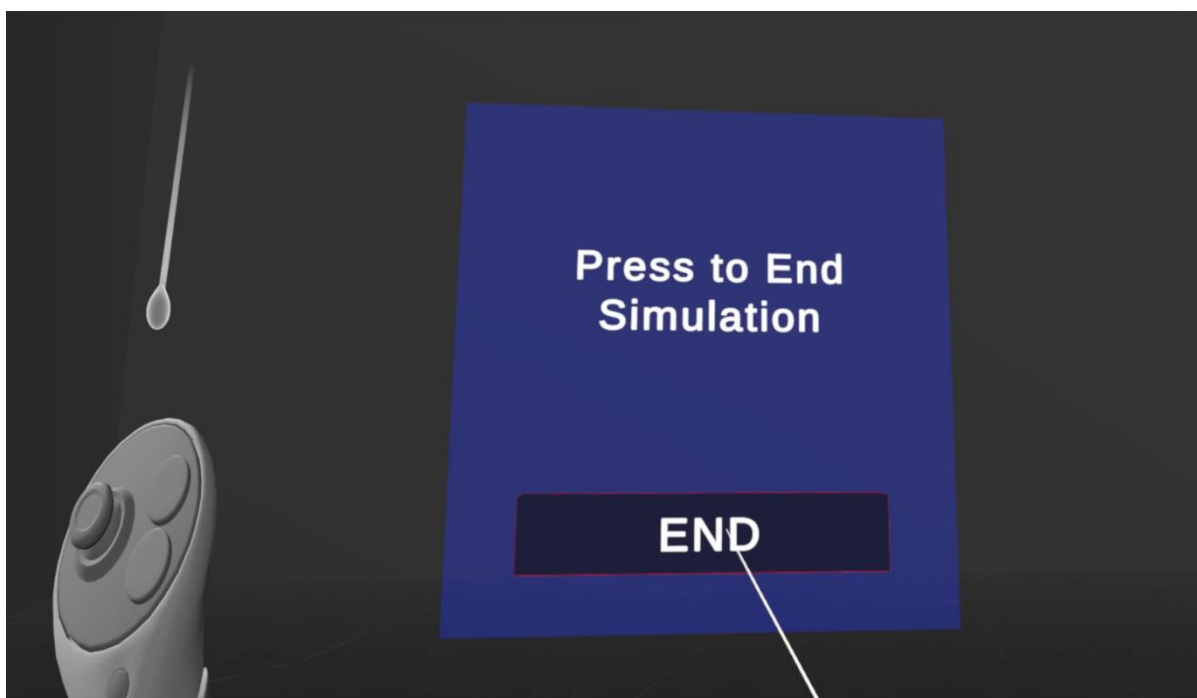


Εικόνα 24: Πιάσιμο και περιστροφή αντικειμένων



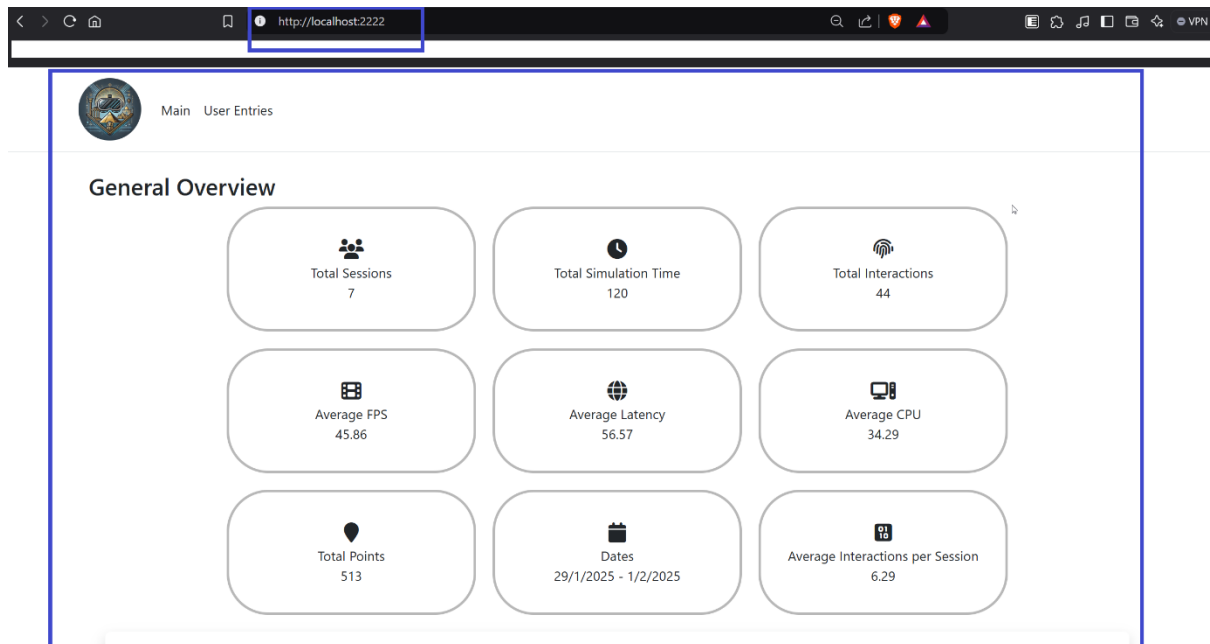
Εικόνα 25: Πιάσιμο και περιστροφή αντικειμένων

Και αφού ολοκληρώσει την περιήγηση του ο χρήστης, θα πρέπει να τερματίσει την προσομοίωση πατώντας το κουμπί με κείμενο "END", με τον ίδιο τρόπο που ξεκίνησε την προσομοίωση στο αρχικό μενού.



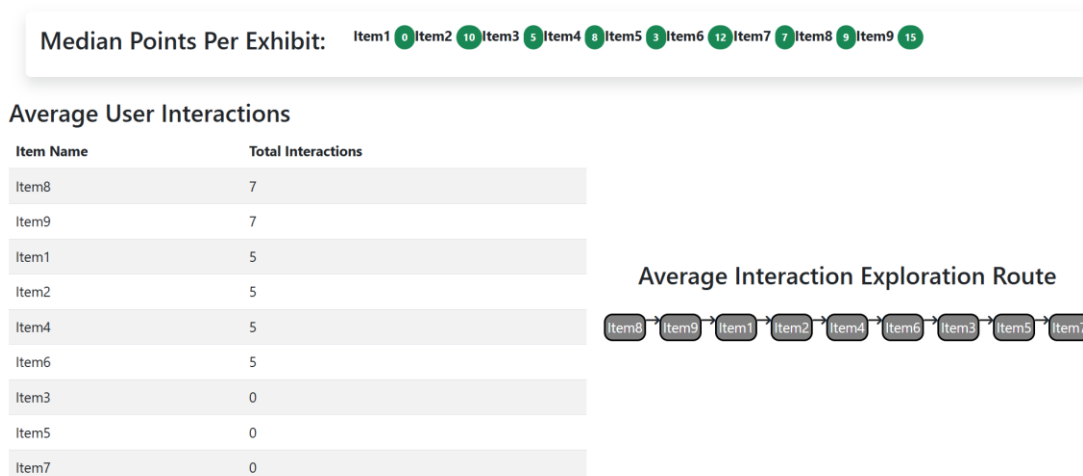
Εικόνα 26: Τερματισμός σκηνής

Μέχρι και το τελευταίο στιγμιότυπο, αναφέρεται στην μεριά του χρήστη, που χρησιμοποίησε την εφαρμογή VR, πλοηγήθηκε ελεύθερα και έπειτα τερμάτισε την εφαρμογή. Στο επόμενο στάδιο έχουμε την μεριά του διαχειριστή, όπου θα μπει στην κατάλληλη διεπαφή για να δει τα δεδομένα και στατιστικά που έχουν συλλεχθεί από την τελευταία συνεδρία και για όλες τις συνεδρίες μαζί σε σχέση με τον περιβάλλον και τα εκθέματα. Με το πρώτο βήμα η πλοήγηση από οποιοδήποτε browser στην Web App εφαρμογή (στην προκειμένη περίπτωση έχουμε <http://localhost:2222/>)



Εικόνα 27: Αρχική σελίδα με την επίσκεψη στο σωστό σύνδεσμο της Web App εφαρμογής

Μόλις ο χρήστης επισκεφτεί την σωστή σελίδα «Dashboard», θα του εμφανιστούν όλα τα δεδομένα και στατιστικά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο ανάπτυξης του πίνακα ελέγχου. Παρακάτω ακολουθούν όλες οι υποενότητες δεδομένων που εμφανίζονται σε αυτόν τον πίνακα ελέγχου.



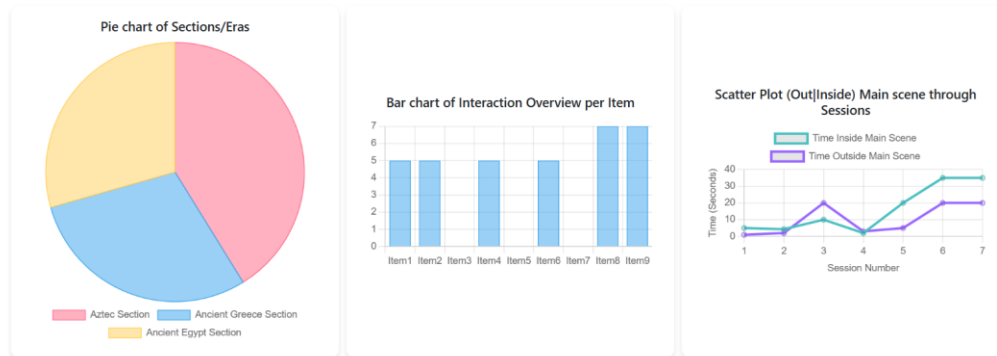
Εικόνα 28: Μέση αλληλεπίδραση, διάμεσος πόντων ανά έκθεμα και μέση διαδρομή χρήστη

Analytics Per Era



Εικόνα 29: Συνολικές επισκέψεις ανα κατηγορία αντικείμενων

Charts



Εικόνα 30: Γραφήματα δεδομένων

Και τέλος, έχουμε όλες τις εγγραφές, για κάθε ξεχωριστή συνεδρία με όλα τα δεδομένα, με τελευταία συνεδρία την τελευταία γραμμή του πίνακα.

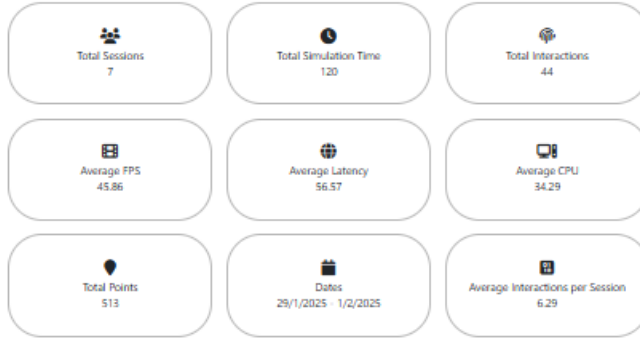
All Recorded Sessions

Simulation ID	Simulation Time	Total Interactions	How many Interactions Out of 9	Device Model	Device Refresh Rate (Hz)	InterPupillary Distance (IPD)	Average FPS	Average Latency	Average CPU	Created At
1	0	0	0 / 9	Oculus Quest 2	0	1	66	1	0	01/29/2025 19:51:32
2	5	4	9 / 9	Oculus Quest 2	40	0	20	33	0	01/29/2025 19:56:44
35	5	4	9 / 9	Oculus Quest 1	40	1	20	2	0	01/29/2025 20:00:18
36	5	4	9 / 9	HTC Vive Pro	40	0	35	150	0	01/29/2025 20:00:24
37	25	14	3 / 9	Oculus Quest 3	40	1	60	70	0	01/30/2025 12:02:33
70	45	14	5 / 9	Oculus Quest 2	40	1	60	70	120	01/30/2025 19:52:04
71	35	4	5 / 9	Oculus Quest 2	40	1	60	70	120	02/01/2025 13:31:50

Εικόνα 31: Πίνακας συνεδριών και τελευταία συνεδρία



General Overview



Median Points Per Exhibit: Item1 10 Item2 10 Item3 5 Item4 8 Item5 3 Item6 12 Item7 7 Item8 1 Item9 15

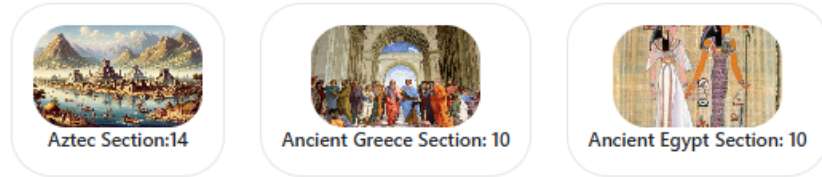
Average User Interactions

Item Name	Total Interactions
Item8	7
Item9	7
Item1	5
Item2	5
Item4	5
Item6	5
Item3	0
Item5	0
Item7	0

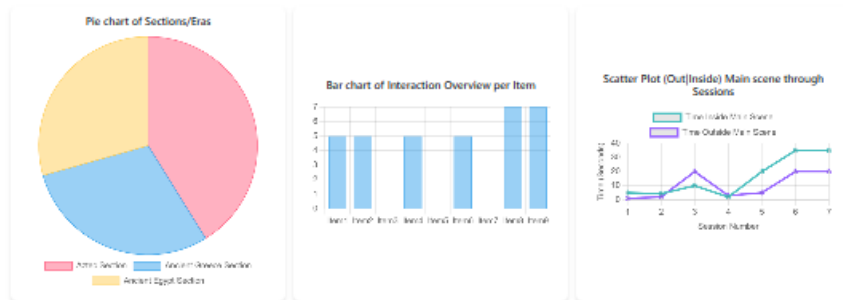
Average Interaction Exploration Route



Analytics Per Era



Charts



All Recorded Sessions

Simulation ID	Simulation Time	Total Interactions	How many Interactions Out of 9	Device Model	Device Refresh Rate (Hz)	InterPupillary Distance (IPD)	Average FPS	Average Latency	Average CPU	Created At
1	0	0	0 / 9	Oculus Quest 2	0	1	66	1	0	01/29/2025 19:51:32
2	5	4	9 / 9	Oculus Quest 2	40	0	20	33	0	01/29/2025 19:56:44
35	5	4	9 / 9	Oculus Quest 1	40	1	20	2	0	01/29/2025 20:00:18
36	5	4	9 / 9	HTC Vive Pro	40	0	35	150	0	01/29/2025 20:00:24
37	25	14	3 / 9	Oculus Quest 3	40	1	60	70	0	01/30/2025 12:02:33
70	45	14	5 / 9	Oculus Quest 2	40	1	60	70	120	01/30/2025 19:52:04
71	35	4	5 / 9	Oculus Quest 2	40	1	60	70	120	02/01/2025 13:31:50

Εικόνα 32: Συνολική σελίδα "VR Dashboard"

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Μετά το πέρας της ανάπτυξης αυτής της προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας για εφαρμογή στο τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς κατέδειξε τις δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας ως εργαλείο εμπύθισης για την εκπαίδευση, την εξερεύνηση και την κατανόηση δεδομένων. Σε όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας, αναλύσαμε την αρχιτεκτονική του συστήματος, περιγράφοντας λεπτομερώς την ενσωμάτωση διάφορων στοιχείων, από την ίδια την εφαρμογή VR έως τη διεπαφή διαχείρισης που επεξεργάζεται τα δεδομένα των χρηστών. Η καταγραφή και η ανάλυση των αλληλεπιδράσεων των χρηστών έθεσαν σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών, επιτρέποντας την εξαγωγή ουσιαστικών πληροφοριών. Με την εφαρμογή ενός δομημένου μηχανισμού συλλογής δεδομένων, το σύστημα διασφαλίζει ότι τόσο τα μη επεξεργασμένα όσο και τα επεξεργασμένα δεδομένα αποθηκεύονται, ανακτώνται και αναλύονται αποτελεσματικά για περαιτέρω χρήση. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη, αλλά παρέχει επίσης πολύτιμη ανατροφοδότηση για τη βελτίωση του εικονικού περιβάλλοντος.

Μια από τις βασικές συνεισφορές αυτής της εργασίας είναι ο δομημένος μηχανισμός που γεφυρώνει την προσομοίωση εικονικής πραγματικότητας με την επεξεργασία δεδομένων στο backend. Ο αρθρωτός σχεδιασμός, που διευκολύνεται μέσω τεχνολογιών container όπως το Docker, έχει εξασφαλίσει την επεκτασιμότητα και την ευελιξία στην ανάπτυξη του συστήματος. Η εμπειρία VR διαμορφώθηκε προσεκτικά ώστε να παρέχει διαισθητικές αλληλεπιδράσεις, ρεαλιστικό περιβαλλοντικό σχεδιασμό και απρόσκοπτη ενσωμάτωση με μηχανισμούς παρακολούθησης. Η δυνατότητα παρακολούθησης των αλληλεπιδράσεων του χρήστη εντός της προσομοίωσης ανοίγει νέες δυνατότητες για τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη και την προσαρμογή των εφαρμογών εικονικής κληρονομιάς σε διαφορετικά κοινά. Επιπλέον, τα καταγεγραμμένα δεδομένα, τα οποία περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά της συνεδρίας και τις αλληλεπιδράσεις με τα εκθέματα, παρέχουν στους ερευνητές και τους διαχειριστές πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τα πρότυπα δέσμευσης.

Τέλος, το μέλλον της εικονικής πραγματικότητας στην πολιτιστική κληρονομιά είναι πολλά υποσχόμενο. Οι εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση θα μπορούσαν να βελτιώσουν περαιτέρω την αλληλεπίδραση των χρηστών παρέχοντας εξατομικευμένες εμπειρίες με βάση την ανάλυση της συμπεριφοράς. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της εικονικής πραγματικότητας με τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας (AR) θα μπορούσε να δημιουργήσει υβριδικές εμπειρίες που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου, επιτρέποντας στους χρήστες να εξερευνήσουν ιστορικές τοποθεσίες τόσο εικονικά όσο και σε πραγματικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [Βιβλίο] - Learning Virtual Reality Developing Immersive Experiences and Applications for Desktop, Web and Mobile, Tony Parisi | (2015)
2. [Βιβλίο] - The VR Book by Jason Jerald
3. [Paper] - Ultra-Low Power Gaze Tracking for Virtual Reality
https://www.researchgate.net/publication/323788480_Ultra-Low_Power_Gaze_Tracking_for_Virtual_Reality
4. [Paper] - Personal Identifiability of User Tracking Data During VR Training <https://ieeexplore.ieee.org/document/9419165>
5. [Paper] - A Qualitative Evaluation of Student Experience with a Virtual Heritage Application, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9090525/>
6. [Website] - <https://www.museumnext.com/article/how-museums-are-using-virtual-reality/>
7. [Website] - <https://www.vam.ac.uk/articles/curious-alice-the-vr-experience>
8. [Website] - <https://www.hellenic-cosmos.gr/vr-headsets>
9. [Website] - <https://learnvr.org/how-is-virtual-reality-tracked/>
10. [Website] - <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
11. [Website] - <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>