

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημιουργία Εικονικού Περιβάλλοντος στο Unity με χρήση τρισδιάστατων καμερών. Μελέτη Περίπτωσης: Αποτύπωση του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος.



Του φοιτητή
Τούμπα Δημητρίου
Αρ. Μητρώου: 175128

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο Κοκκόνης Γεώργιος
Βαθμίδα Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία 29/05/2025

Τίτλος Δ.Ε. Δημιουργία Εικονικού Περιβάλλοντος στο Unity με χρήση τρισδιάστατων καμερών.
Μελέτη Περίπτωσης: Αποτύπωση του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών
Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος

Κωδικός Δ.Ε. 24122

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών Τούμπας Δημήτριος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΚΚΩΝΗΣ

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 13/02/2024

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 29/05/2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Τούμπα Δημητρίου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος αυτής της πτυχιακής εργασίας προέκυψε από το αυξανόμενο ενδιαφέρον μου για τις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας (VR) και τη φωτογραμμετρία, καθώς και τη δυνατότητα να συνδυαστούν αυτές οι τεχνολογίες για την δημιουργία καινοτόμων εφαρμογών με χρήση του Unity. Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη του 3D scanning και της φωτογραμμετρίας και στη δημιουργία μιας εφαρμογής εικονικού περιβάλλοντος για περιήγηση σε χώρους μέσω του Virtual Reality και της μηχανής Unity.

Αυτή η επιλογή με βοήθησε να αναπτύξω τεχνικές δεξιότητες σε διάφορα εργαλεία και τεχνολογίες, όπως η Unity, το 3D scanning και η φωτογραμμετρία. Επιπλέον, η εργασία αυτή μου προσέφερε τη δυνατότητα να εμβαθύνω στις διαδικασίες δημιουργίας ρεαλιστικών και διαδραστικών εικονικών περιβαλλόντων, τα οποία έχουν ευρεία εφαρμογή σε τομείς όπως η εκπαίδευση, ο τουρισμός, το gaming και άλλα. Η συνολική εμπειρία ήταν εξαιρετικά επωφελής, καθώς μου επέτρεψε να συνδυάσω θεωρητική γνώση με πρακτικές εφαρμογές, και να συμβάλλω στην ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη και ανάπτυξη μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality) με τη χρήση τεχνικών τρισδιάστατης σάρωσης, φωτογραμμετρίας και της μηχανής ανάπτυξης Unity. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε το εσωτερικό του κτηρίου του Τμήματος Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων. Αρχικά πραγματοποιήθηκε καταγραφή του χώρου με κάμερα 360°, ενώ στη συνέχεια έγινε εξαγωγή καρέ (frames) και πανοραμικών φωτογραφιών μέσω του λογισμικού Blender. Ακολούθησε η διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με χρήση φωτογραμμετρίας στο λογισμικό Metashape, όπου εφαρμόστηκαν και υφές (textures). Το τελικό μοντέλο (.obj) τροποποιήθηκε και χρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογή εικονικής περιήγησης μέσω Unity για δύο πλατφόρμες: WebGL και Android VR.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε και μία δεύτερη μορφή περιήγησης, βασισμένη σε επιλεγμένες πανοραμικές φωτογραφίες 360°, όπου η δυνατότητα μετακίνησης μεταξύ χώρων επιτυγχάνεται μέσω διαδραστικών UI κουμπιών, τόσο σε WebGL όσο και σε VR περιβάλλον. Τέλος, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση και σύγκριση των δύο μορφών περιήγησης μέσω ερωτηματολογίου, το οποίο απαντήθηκε από φοιτητές του Τμήματος. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν πλεονεκτήματα και αδυναμίες κάθε προσέγγισης, συμβάλλοντας στην κατανόηση της εμπειρίας χρήστη σε εικονικά περιβάλλοντα και της αποτελεσματικότητας των τεχνικών φωτογραμμετρίας και VR σε εφαρμογές παρουσίας και εκπαίδευσης.

«Study and Development of a Virtual Reality Application Using 3D Scanning, Photogrammetry, and Unity: A Case Study of the Department of Information Technology and Electronic Systems Engineering»

«Dimitrios Toumpas»

Abstract

This thesis focuses on the study and development of a Virtual Reality (VR) application using 3D scanning, photogrammetry, and the Unity game engine. The case study centers on the interior of the Department of Information Technology and Electronic Systems Engineering building. Initially, the interior space was captured using a 360° camera. The recorded video was processed in Blender to extract frames as panoramic images, which were then used in Agisoft Metashape to generate a textured 3D model through photogrammetry. The resulting model (.obj) was edited and imported into Unity to develop an interactive virtual tour, targeting both WebGL and Android VR platforms.

In addition to the 3D model-based tour, a second VR experience was developed using selected 360° panoramic photos. In this version, users navigate between different spaces by interacting with UI buttons, which load the next panorama. This tour was also deployed for WebGL and Android VR environments.

Finally, a user evaluation was conducted to compare the two VR experiences. Questionnaires were distributed to students of the department and others to gather feedback regarding usability, immersion, and overall experience. The results highlighted the strengths and limitations of each approach, offering insights into user preferences and the effectiveness of photogrammetry and panoramic photography in immersive applications. The findings contribute to a better understanding of how different VR techniques can be applied for educational and presentation purposes.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κοκκώνη Γεώργιο, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις συμβουλές και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας. Η συμβολή του υπήρξε καθοριστική τόσο στον σχεδιασμό όσο και στην υλοποίηση του έργου.

Επίσης, τον ευχαριστώ για την ευγενική παραχώρηση του εξοπλισμού, και συγκεκριμένα της 360° κάμερας και της συσκευής εικονικής πραγματικότητας (VR), που ήταν απαραίτητα για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
Περίληψη	5
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα	8
Κατάλογος Σχημάτων	11
Κατάλογος Πινάκων	11
Συντομογραφίες	12
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	13
1.1 Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)	13
1.2 Εικονικές Περιηγήσεις (VR Tours)	13
1.3 Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)	14
1.4 Φωτογραμμετρία και 360° Εικόνες	14
1.5 Σύγχρονες Τάσεις και Προσβασιμότητα	15
Κεφάλαιο 2ο: 3D Scanning και 3D Modeling	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.3 Τεχνολογίες	18
2.4 Τεχνολογία LiDAR στο 3D Σκανάρισμα	19
2.5 Σύγκριση LiDAR – Φωτογραμμετρίας	19
2.6 Διαδικασία και Εξοπλισμός	20
2.7 Επίλογος	21
Κεφάλαιο 3ο: Φωτογραμμετρία	22
3.1 Ορισμός	22
3.2 Εφαρμογές Φωτογραμμετρίας	22
3.3 Εμπειρία Χρήσης	23
3.4 Ροή Εργασίας Φωτογραμμετρίας	24
3.5 Κύριοι Αλγόριθμοι που Χρησιμοποιούνται στη Φωτογραμμετρία	26
3.6 Επίλογος	30
Κεφάλαιο 4ο: Unity 3D Engine	31
4.1 Εισαγωγή	31
4.2 Ανάλυση του Unity Real-Time Development Platform	31
4.3 Προγραμματισμός στο Unity με C#	31
Σχήμα 3.1: Life cycle of the Unity script	32
4.4 Unity για VR app development	33
4.5 Εφαρμογή – Ανάπτυξη Πρωτοτύπου	33
4.6 Επίλογος	33
Κεφάλαιο 5ο: Δημιουργία 3D model & Texture	34
5.1 Διαδικασία	34
5.2 Προβλήματα	35
5.3 Metashape	36
5.4 Αποτελέσματα Φωτογραμμετρίας	38
Κεφάλαιο 6ο: Ανάπτυξη Εφαρμογής	48

6.1	Εισαγωγή	48
6.2	Προετοιμασία	48
6.3	Πακέτα και Assets	48
6.5	Οργάνωση του Project και Βασική Υλοποίηση	49
6.6	3D/Dollhouse Tour version	52
6.7	Κώδικας	55
3.7	Μαθηματικά και Κίνηση στον 3D Χώρο	63
3.8	Deployment	65
3.9	Επίλογος	65
Κεφάλαιο 7ο: Σενάρια Χρήσης και User Journeys		67
7.1	Εισαγωγή	67
7.2	Σενάριο Χρήσης: Εικονική Ξενάγηση Επισκεπτών (Virtual Tour)	67
7.3	Σενάριο Χρήσης: Αρχιτεκτονική Μελέτη και Τεκμηρίωση	67
7.4	Σενάριο Χρήσης: Εκπαιδευτική Εμπειρία σε Ιστορικό ή Πολιτιστικό Κτίριο	68
7.5	Σενάριο Χρήσης: Πρόσβαση για Άτομα με Αναπηρία (Accessibility)	68
7.6	Σενάριο Χρήσης: Προώθηση Τουριστικού ή Πολιτιστικού Χώρου	68
Κεφάλαιο 8ο: Αξιολόγηση UI και UX σε Εφαρμογές VR/360		70
8.1	Σχετική Βιβλιογραφία (Related Work)	70
8.2	Συνήθη Ερωτηματολόγια Αξιολόγησης UX σε VR	70
8.3	Χρήση Ερωτηματολογίων ως Εργαλείο Αξιολόγησης Λογισμικού	70
8.4	Επιλογή του UEQ για την Παρούσα Μελέτη	71
8.5	Επίλογος	71
Κεφάλαιο 9ο: Ερωτηματολόγιο και αποτελέσματα		73
9.1	Μεθοδολογία έρευνας	73
9.2	Δομή ερωτηματολογίου	73
9.3	Αποτελέσματα	76
9.4	Αποτελέσματα VR	77
9.5	Αποτελέσματα Web Virtual Tour	83
9.6	Συμπεράσματα από την σύγκριση	87
9.7	Επίλογος	90
Κεφάλαιο 10ο: Συγκριτική Ανάλυση		91
10.1	Συγκριτική Ανάλυση με Εμπορικές Λύσεις	91
10.1.1	Επισκόπηση Εμπορικών Πλατφορμών	91
10.1.2	Σύγκριση με την Προτεινόμενη Εφαρμογή	92
10.2	Ηθικά Ζητήματα & Προσβασιμότητα	93
10.2.1	Προσβασιμότητα	93
10.2.2	Ηθικά Ζητήματα	94
10.3	Συνοπτικά Συμπεράσματα	94
10.4	Επίλογος	94
Κεφάλαιο 11ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης		94
11.1	Συμπεράσματα	94
11.2	Προτάσεις βελτίωσης και μελλοντικής ανάπτυξης	96
11.3	Επίλογος	96
ΑΝΑΦΟΡΕΣ		97

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3.1: Life cycle of the Unity script	33
---	----

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 9.1 : Scale means per person VR app version	77
Πίνακας 9.2 : Μέσες Τιμές, Διακυμάνσεις και Τυπικές Αποκλίσεις ανά Αντικείμενο και Κλίμακα VR εφαρμογή	78
Πίνακας 9.3 : Μέσες Τιμές Κλιμάκων UEQ	80
Πίνακας 9.4 : Scale means per person	82
Πίνακας 9.5 : Μέσες Τιμές, Διακυμάνσεις και Τυπικές Αποκλίσεις ανά Αντικείμενο και Κλίμακα	84
Πίνακας 9.6 : Δεδομένα Mean and Variance	86
Πίνακας 9.7: Σύγκριση Μέσων Κλίμακας	87
Πίνακας 9.8 : T-Test δύο δειγμάτων υποθέτοντας άνισες διακυμάνσεις	88
Πίνακας 10.1: Σύγκριση Εμπορικών Προτάσεων	91

Συντομογραφίες

ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
et al.	et alii (και άλλοι)
Virtual Reality	VR

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)

Η Εικονική Πραγματικότητα, γνωστή διεθνώς ως Virtual Reality (VR), αποτελεί έναν νέο τρόπο αλληλεπίδρασης ανθρώπου και υπολογιστή, ο οποίος επιτρέπει στον χρήστη να βιώσει έναν τρισδιάστατο, προσομοιωμένο κόσμο σαν να βρίσκεται πραγματικά μέσα σε αυτόν. Μέσω της εμβύθισης (immersion), ο χρήστης αισθάνεται ότι συμμετέχει ενεργά σε αυτό το περιβάλλον, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό όπως γυαλιά VR, χειριστήρια κίνησης, ακόμη και απτικά γάντια.

Η Εικονική Πραγματικότητα συνδυάζει αισθητηριακά ερεθίσματα, όπως εικόνα, ήχο και κάποιες φορές αφή, προκειμένου να δημιουργήσει μία πλήρως αλληλεπιδραστική εμπειρία. Ο χρήστης μπορεί να κινείται ελεύθερα στον εικονικό χώρο, να αλληλεπιδρά με αντικείμενα ή ακόμα και να αλλάζει το περιβάλλον. Η εφαρμογή της VR σήμερα εκτείνεται σε πολλούς τομείς, από την ψυχαγωγία και την εκπαίδευση, μέχρι την αρχιτεκτονική, την ιατρική και τη βιομηχανία. [1]

1.2 Εικονικές Περιηγήσεις (VR Tours)

Μια ειδική εφαρμογή της Εικονικής Πραγματικότητας είναι οι Εικονικές Περιηγήσεις (Virtual Tours ή VR Tours). Οι περιηγήσεις αυτές επιτρέπουν στον χρήστη να εξερευνήσει μια τοποθεσία ή έναν χώρο εξ αποστάσεως, σαν να βρισκόταν εκεί φυσικά. Οι εικονικές περιηγήσεις συνήθως δημιουργούνται με χρήση φωτογραφιών ή βίντεο 360°, συνδυασμένες με στοιχεία πολυμέσων όπως αφήγηση, μουσική ή αλληλεπιδραστικά σημεία ενδιαφέροντος.

Οι πρώτες εφαρμογές εικονικών περιηγήσεων έγιναν σε μουσειακούς και τουριστικούς χώρους, ωστόσο σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως σε τομείς όπως τα ακίνητα, η εκπαίδευση, η προβολή επιχειρήσεων και η πολιτιστική κληρονομιά. Η χρήση τεχνολογιών όπως το Google Street View, το Matterport και επαγγελματικών 360° καμερών όπως η Insta360 Pro 2 έχουν διευκολύνει τη δημιουργία φωτορεαλιστικών και διαδραστικών εμπειριών.

Η Insta360 Pro 2 είναι μία επαγγελματική κάμερα 360° που διαθέτει έξι φακούς, καταγράφει βίντεο 8K και υποστηρίζει λήψη RAW φωτογραφιών υψηλής ποιότητας, καθιστώντας την κατάλληλη για δημιουργία VR περιηγήσεων, 3D αναπαραστάσεων και περιεχομένου για φωτογραμμετρική επεξεργασία. [2]

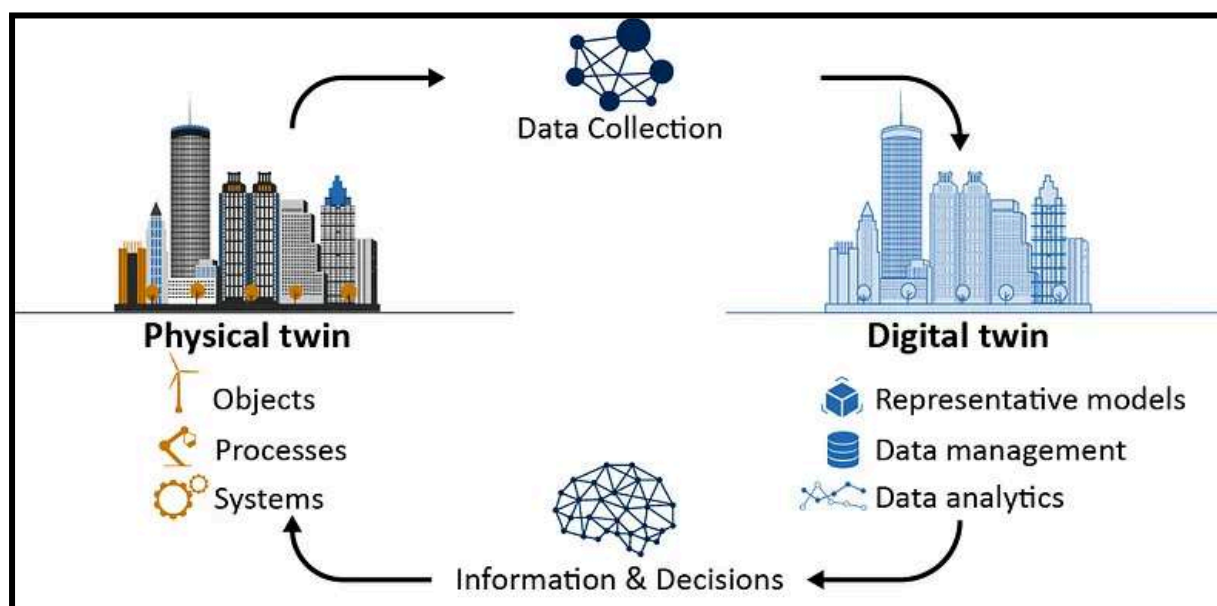


Εικόνα 1.3.1 : Εικονική Πραγματικότητα Στον Τουρισμό [42]

1.3 Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)

Ο όρος "Ψηφιακό Δίδυμο" ή "Digital Twin" αναφέρεται στην ψηφιακή αναπαράσταση ενός πραγματικού αντικειμένου, χώρου ή συστήματος, η οποία ενημερώνεται δυναμικά από δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο. Πρόκειται για μια τεχνολογία που ξεκίνησε στον τομέα της βιομηχανίας και της μηχανικής, ωστόσο πλέον επεκτείνεται σε πολλούς τομείς όπως η αρχιτεκτονική, οι έξυπνες πόλεις, η διαχείριση εγκαταστάσεων και η εικονική πραγματικότητα. [3]

Τα Ψηφιακά Δίδυμα συχνά συνδυάζονται με τεχνολογίες όπως το VR και η φωτογραμμετρία, με στόχο την ακριβή αποτύπωση και προσομοίωση του φυσικού χώρου σε ψηφιακή μορφή.



Εικόνα 1.3.2 : Ψηφιακό Δίδυμο [35]

1.4 Φωτογραμμετρία και 360° Εικόνες

Η φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη της εξαγωγής γεωμετρικών πληροφοριών από εικόνες. Με την πρόοδο της υπολογιστικής όρασης, η χρήση 360° φωτογραφιών στη φωτογραμμετρία κερδίζει συνεχώς έδαφος. Οι εικόνες 360° καλύπτουν το πλήρες οπτικό πεδίο και επιτρέπουν την πιο ολοκληρωμένη αποτύπωση ενός χώρου, μειώνοντας τα "τυφλά σημεία".

Ο συνδυασμός εικόνων από επαγγελματικές κάμερες όπως η Insta360 Pro 2 με φωτογραμμετρικά λογισμικά προσφέρει υψηλή ακρίβεια σε τρισδιάστατες ανακατασκευές, καθιστώντας τη μέθοδο ιδανική για αρχιτεκτονική τεκμηρίωση, πολιτιστική κληρονομιά και χαρτογράφηση εσωτερικών χώρων.

Ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία σε αυτό τον τομέα είναι το Agisoft Metashape. Το Metashape είναι λογισμικό που επιτρέπει την επεξεργασία φωτογραφιών (συμβατικών και 360°) για την παραγωγή 3D μοντέλων, ortho-mosaics, point clouds και άλλων χωρικών προϊόντων. Το λογισμικό είναι συμβατό με φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης, διαθέτει προηγμένους αλγορίθμους ευθυγράμμισης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε μικρής κλίμακας είτε σε μεγάλης ακρίβειας επαγγελματικά έργα.

1.5 Σύγχρονες Τάσεις και Προσβασιμότητα

Η ταχύτατη πρόοδος της τεχνολογίας κινητών συσκευών, των αισθητήρων και του υπολογιστικού νέφους έχει καταστήσει τις λύσεις εικονικής πραγματικότητας, ψηφιακών διδύμων και φωτογραμμετρίας πιο προσβάσιμες από ποτέ. Εργαλεία όπως τα cardboard VR, οι 360° κάμερες, και λογισμικά όπως το Metashape και το Matterport, προσφέρουν σε κάθε επαγγελματία ή δημιουργό τη δυνατότητα να παράγει καθηλωτικές ψηφιακές εμπειρίες με ακρίβεια και αισθητική.

Οι συνδυασμένες τεχνολογίες VR, εικονικών περιηγήσεων και τρισδιάστατης αποτύπωσης διαμορφώνουν το νέο ψηφιακό περιβάλλον στο οποίο καταργούνται τα γεωγραφικά και φυσικά όρια, προσφέροντας νέες ευκαιρίες στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε, καταγράφουμε και αλληλεπιδρούμε με τον κόσμο γύρω μας.

Κεφάλαιο 2ο: 3D Scanning και 3D Modeling

2.1 Εισαγωγή

Το αντικείμενο της μελέτης που πραγματοποιήθηκε για την εργασία χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη: το κομμάτι του 3D σκαναρίσματος και το κομμάτι της εφαρμογής για 360° ξενάγηση. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε το κομμάτι του 3D σκαναρίσματος του χώρου, δηλαδή τις τεχνολογίες και τις τεχνικές που μελέτησα, καθώς και τα εργαλεία που χρησιμοποίησα αλλά και την διαδικασία που ακολούθησα για να παράγω το 3D μοντέλο του εσωτερικού χώρου του κτιρίου μελέτης.

2.2 3D σκανάρισμα

Το 3D σκανάρισμα είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη τρισδιάστατων δεδομένων από ένα αντικείμενο ή μια επιφάνεια. Επιπλέον το 3D σκανάρισμα εσωτερικού χώρου κτιρίου πιο εξειδικευμένα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ακριβών τρισδιάστατων ψηφιακών αναπαραστάσεων των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει πολλές εφαρμογές και πλεονεκτήματα σε διάφορους τομείς όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική, η ανακαίνιση, και ο τουρισμός.

Η διαδικασία της τεχνολογίας αυτής μπορεί να περιλαμβάνει τουλάχιστον μια ή τον συνδυασμό της Σάρωσης με Λείζερ (LiDAR) και Φωτογραμμετρίας. Υπηρετούν το σκοπό συσκευές με ενσωματωμένες κάμερες και αισθητήρες. [4]



Εικόνα 2.1 : 1ST HORIZON 3D Τοπογράφος με σαρωτή λέιζερ [44]

Η ακρίβεια της αναπαράστασης του χώρου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Χρησιμοποιώντας μόνο φωτογραμμετρία, η ακρίβεια του 3D μοντέλου βασίζεται στην ποιότητα και τον αριθμό των φωτογραφιών, καθώς και στη δυνατότητα του λογισμικού να αναγνωρίσει και να συνδυάσει τα κοινά σημεία μεταξύ των εικόνων. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προσφέρει εξαιρετική λεπτομέρεια, ειδικά για επιφάνειες με πολλά χαρακτηριστικά, αλλά μπορεί να

είναι λιγότερο ακριβής σε μεγάλες ή ομοιογενείς επιφάνειες. Από την άλλη πλευρά, η χρήση μόνο LiDAR προσφέρει υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις αποστάσεων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ακόμα και σε περιβάλλοντα με χαμηλό φωτισμό ή χωρίς καθόλου χαρακτηριστικά. Ωστόσο, τα δεδομένα LiDAR μπορεί να έχουν λιγότερη χρωματική και υλική λεπτομέρεια. Ο συνδυασμός φωτογραμμετρίας και LiDAR προσφέρει το καλύτερο από τους δύο κόσμους: την ακριβή γεωμετρία και λεπτομέρεια του LiDAR με την πλούσια χρωματική πληροφορία και τα υλικά της φωτογραμμετρίας, δημιουργώντας έτσι μια πιο ολοκληρωμένη και ακριβή αναπαράσταση του χώρου.

2.3 Τεχνολογίες

- Σάρωση με Λείζερ (LiDAR)

Χρήση συσκευών LiDAR (Light Detection and Ranging) που σαρώνουν τον χώρο με λέιζερ και καταγράφουν την απόσταση από τις επιφάνειες. Οι σαρώσεις αυτές δημιουργούν ένα σύννεφο σημείων (point cloud) που αντιπροσωπεύει τον χώρο.



Εικόνα 2.1 : Wireless Ray II laser 3D scanner, συσκευή με LiDAR

- Φωτογραμμετρία

Η φωτογραμμετρία είναι μια τεχνολογία και επιστήμη που χρησιμοποιείται για τη λήψη μετρήσεων και την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων από φωτογραφίες. Βασίζεται στη λήψη πολλαπλών φωτογραφιών ενός αντικειμένου ή χώρου από διαφορετικές γωνίες και την επεξεργασία αυτών των εικόνων για να παραχθεί ένα ακριβές και λεπτομερές 3D μοντέλο. Οι φωτογραφίες αναλύονται από ειδικό λογισμικό για να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Η φωτογραμμετρία είναι σχεδόν τόσο παλιά όσο και η ίδια η φωτογραφία. Από την ανάπτυξή της πριν από περίπου 150 χρόνια, η φωτογραμμετρία έχει περάσει από μια καθαρά αναλογική, οπτικο-μηχανική τεχνική σε αναλυτικές μεθόδους που βασίζονται σε λύσεις μαθηματικών αλγορίθμων με τη βοήθεια υπολογιστή και, τέλος, σε ψηφιακή ή softcopy φωτογραμμετρία που βασίζεται σε ψηφιακές εικόνες και όραση υπολογιστή, η οποία στερείται οποιουδήποτε οπτικο-μηχανικού υλικού. [5]

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι φωτογραμμετρίας: η εναέρια (με την κάμερα στον αέρα) και η επίγεια (με την κάμερα στο χέρι ή σε τρίποδο).

2.4 Τεχνολογία LiDAR στο 3D Σκανάρισμα

Η τεχνολογία LiDAR (Light Detection and Ranging) αποτελεί μία από τις πιο προηγμένες και ακριβείς μεθόδους για την απόκτηση τρισδιάστατων δεδομένων από τον φυσικό κόσμο. Λειτουργεί με την εκπομπή παλμών λέιζερ προς τις επιφάνειες του περιβάλλοντος και την καταγραφή του χρόνου που απαιτείται ώστε αυτοί να επιστρέψουν στον αισθητήρα, υπολογίζοντας με ακρίβεια την απόσταση κάθε σημείου. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένα τρισδιάστατο σύννεφο σημείων (point cloud), το οποίο αναπαριστά τη γεωμετρία του χώρου με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας.

Η τεχνολογία LiDAR παρουσιάζει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα σε περιβάλλοντα με χαμηλό φωτισμό ή σε επιφάνειες χωρίς ορατά χαρακτηριστικά, όπου άλλες τεχνικές, όπως η φωτογραμμετρία, δυσκολεύονται να αποδώσουν με ακρίβεια. Επίσης, προσφέρει σταθερά αποτελέσματα ανεξαρτήτως φωτιστικών συνθηκών και μπορεί να αποδώσει με ακρίβεια μεγάλες επιφάνειες και σύνθετες γεωμετρικές δομές. [36]

Η εφαρμογή του LiDAR στο 3D σκανάρισμα κτιρίων και εσωτερικών χώρων χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπως η αρχιτεκτονική τεκμηρίωση, η συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς, η τοπογραφία και η χαρτογράφηση. Παρότι το κόστος εξοπλισμού και η πολυπλοκότητα της επεξεργασίας δεδομένων LiDAR είναι υψηλότερα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, η ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική για εφαρμογές που απαιτούν λεπτομερή αποτύπωση του χώρου.

2.5 Σύγκριση LiDAR – Φωτογραμμετρίας

Η επιλογή μεταξύ LiDAR και φωτογραμμετρίας εξαρτάται από τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής, καθώς και από τους περιορισμούς του διαθέσιμου εξοπλισμού και χώρου.

- Ακρίβεια Γεωμετρίας

Η φωτογραμμετρία προσφέρει μέτρια έως υψηλή ακρίβεια στη γεωμετρία, ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα των εικόνων που χρησιμοποιούνται. Αντιθέτως, το LiDAR παρέχει πολύ υψηλή γεωμετρική ακρίβεια, ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού ή καθόλου φωτισμού.

- Λεπτομέρεια Υφής και Χρώματος

Η φωτογραμμετρία υπερέρχει στην απεικόνιση της υφής και του χρώματος, προσφέροντας πολύ υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας. Από την άλλη πλευρά, το LiDAR δεν παρέχει επαρκή πληροφορία για υλικά και χρωματική απεικόνιση, οπότε απαιτείται ο συνδυασμός του με φωτογραφίες για να καλυφθεί αυτό το κενό.

- Κόστος Εξοπλισμού

Η φωτογραμμετρία απαιτεί εξοπλισμό χαμηλού έως μέτριου κόστους, όπως κάμερες υψηλής ανάλυσης ή ακόμα και smartphones. Το LiDAR, αντιθέτως, βασίζεται σε εξοπλισμό υψηλού κόστους, κατάλληλο κυρίως για επαγγελματική χρήση.

- Απόδοση σε Ομοιογενείς Επιφάνειες

Η φωτογραμμετρία αντιμετωπίζει περιορισμούς σε ομοιογενείς επιφάνειες χωρίς εμφανή χαρακτηριστικά, καθώς δυσκολεύεται να εντοπίσει σημεία αναφοράς. Το LiDAR αποδίδει άριστα σε τέτοιες επιφάνειες, καθώς βασίζεται σε μέτρηση αποστάσεων και όχι σε οπτικά χαρακτηριστικά.

- Ευαισθησία σε Φωτισμό

Η φωτογραμμετρία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις συνθήκες φωτισμού, επηρεάζοντας την ποιότητα των εικόνων και κατά συνέπεια την ακρίβεια του μοντέλου. Το LiDAR, αντίθετα, λειτουργεί ανεξάρτητα από το φως, καθιστώντας το ιδανικό για σκοτεινά ή δύσκολα περιβάλλοντα.

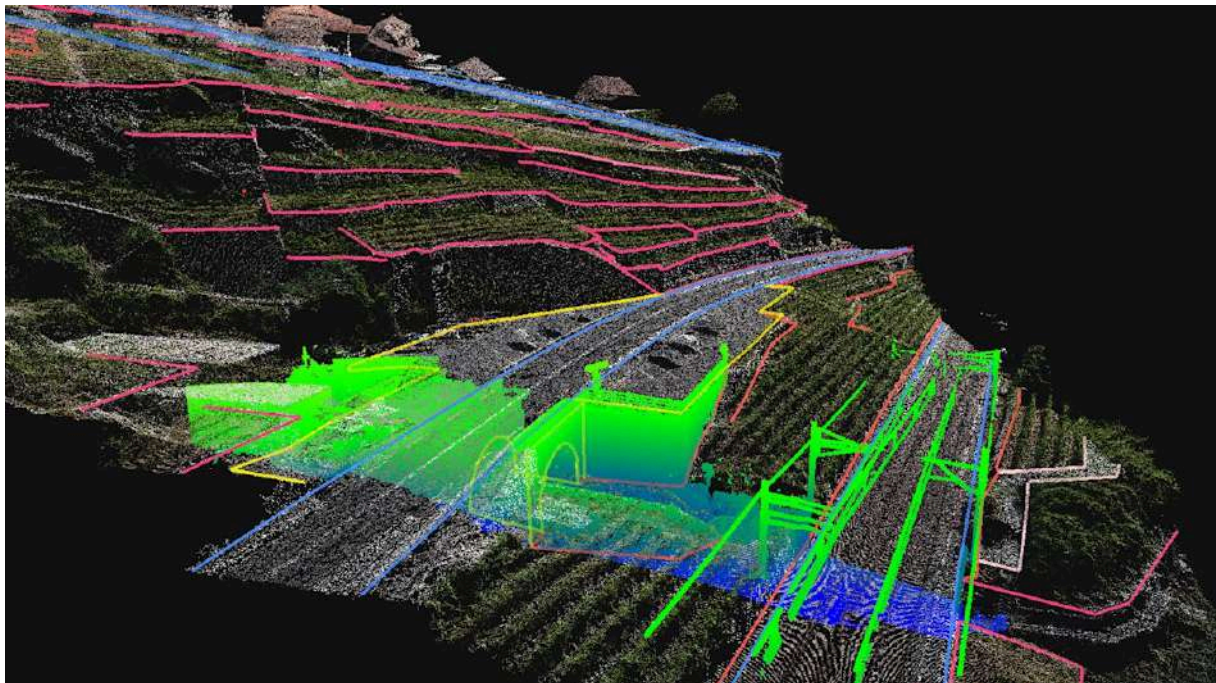
- Χρόνος Επεξεργασίας

Η φωτογραμμετρία απαιτεί περισσότερο χρόνο για την επεξεργασία, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μεγάλα σετ εικόνων. Το LiDAR προσφέρει ταχύτερη ανάλυση των δεδομένων και ταχύτερη δημιουργία μοντέλων.

- Φορητότητα και Διαθεσιμότητα

Η φωτογραμμετρία είναι πιο φορητή και ευρέως διαθέσιμη, με πληθώρα συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αντίθετα, τα LiDAR συστήματα είναι συνήθως πιο ογκώδη και προορίζονται για επαγγελματική χρήση, περιορίζοντας έτσι τη φορητότητα και την ευκολία διάθεσης.

Συνοψίζοντας, η φωτογραμμετρία υπερέχει σε εφαρμογές όπου η οπτική λεπτομέρεια και η ρεαλιστική απεικόνιση είναι βασικές απαιτήσεις, ενώ το LiDAR είναι προτιμότερο όταν ζητείται υψηλή γεωμετρική ακρίβεια, ιδιαίτερα σε απαιτητικά περιβάλλοντα. Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών επιτρέπει τη βέλτιστη απόδοση, παρέχοντας πλήρη εικόνα της γεωμετρίας και της εμφάνισης του χώρου, γεγονός που εξηγεί και τη σταδιακή ενσωμάτωσή τους σε προηγμένα συστήματα χαρτογράφησης και εικονικών αναπαραστάσεων.



Εικόνα 2.1 : Ένα νέφος σημείων στο PIX4Dsurvey που συνδυάζει δεδομένα LiDAR και φωτογραμμετρίας [43]

2.6 Διαδικασία και Εξοπλισμός

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου εσωτερικού χώρου κτιρίου, χρησιμοποίησα την κάμερα 360 μοιρών Insta360 Pro 2. Πρόκειται για μια επαγγελματική

κάμερα υψηλής ανάλυσης, σχεδιασμένη ειδικά για τη λήψη σφαιρικών βίντεο και φωτογραφιών 360°, που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR), παραγωγής ταινιών και αρχιτεκτονικής απεικόνισης. Η Insta360 Pro 2 προσφέρει εξαιρετική ποιότητα εικόνας και πολυκάμερες συστήματα που επιτρέπουν την ομαλή σύζευξη (stitching) των εικόνων για τη δημιουργία ολοκληρωμένων 360° προβολών.

Η Insta360 ως εταιρεία έχει καταξιωθεί στον χώρο των 360 μοιρών καμερών και των λύσεων VR, παρέχοντας καινοτόμες τεχνολογίες που συνδυάζουν υψηλή ανάλυση, φορητότητα και ευκολία χρήσης, ενώ υποστηρίζει και εξειδικευμένες εφαρμογές όπως η φωτογραμμετρία.

Για τη συλλογή των δεδομένων, μετέβηκα στον χώρο και κατέγραψα βίντεο 360° με την Insta360 Pro 2, καλύπτοντας όλες τις απαραίτητες οπτικές γωνίες. Στη συνέχεια, χρησιμοποίησα το λογισμικό Blender για την εξαγωγή των καρέ (frames) από το βίντεο, μετατρέποντάς τα σε ξεχωριστές φωτογραφίες. Αυτή η διαδικασία επέτρεψε την περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων στο λογισμικό φωτογραμμετρίας για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Δεδομένου ότι η κάμερα δεν διαθέτει τεχνολογία LiDAR, η όλη διαδικασία βασίστηκε αποκλειστικά στην τεχνική της φωτογραμμετρίας.

2.7 Επίλογος

Η διαδικασία 3D σκαναρίσματος αποτελεί βασικό θεμέλιο για την ψηφιακή αναπαράσταση και τεκμηρίωση φυσικών και αρχιτεκτονικών χώρων. Η μελέτη των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στον χώρο αυτόν, όπως η φωτογραμμετρία και το LiDAR, ανέδειξε τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της κάθε μεθόδου, καθώς και τις δυνατότητες που προσφέρει ο συνδυασμός τους.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αξιοποιήθηκε αποκλειστικά η φωτογραμμετρία μέσω της κάμερας Insta360 Pro 2 για την παραγωγή του 3D μοντέλου του εσωτερικού χώρου, προσφέροντας ικανοποιητικό επίπεδο λεπτομέρειας και πιστότητας. Παρά την απουσία τεχνολογίας LiDAR, τα αποτελέσματα ήταν επαρκή για τους σκοπούς της εφαρμογής, ενώ η μελλοντική ενσωμάτωσή του θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω την ακρίβεια και την αποδοτικότητα της διαδικασίας.

Η ενασχόληση με τις τεχνολογίες σκαναρίσματος και τρισδιάστατης μοντελοποίησης ανέδειξε τη σημασία της τεχνογνωσίας και της σωστής επιλογής εργαλείων για την επίτευξη υψηλής ποιότητας αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που συνδυάζουν την τεχνική ακρίβεια με την εμπυθιστική εμπειρία χρήστη.

Κεφάλαιο 3ο: Φωτογραμμετρία

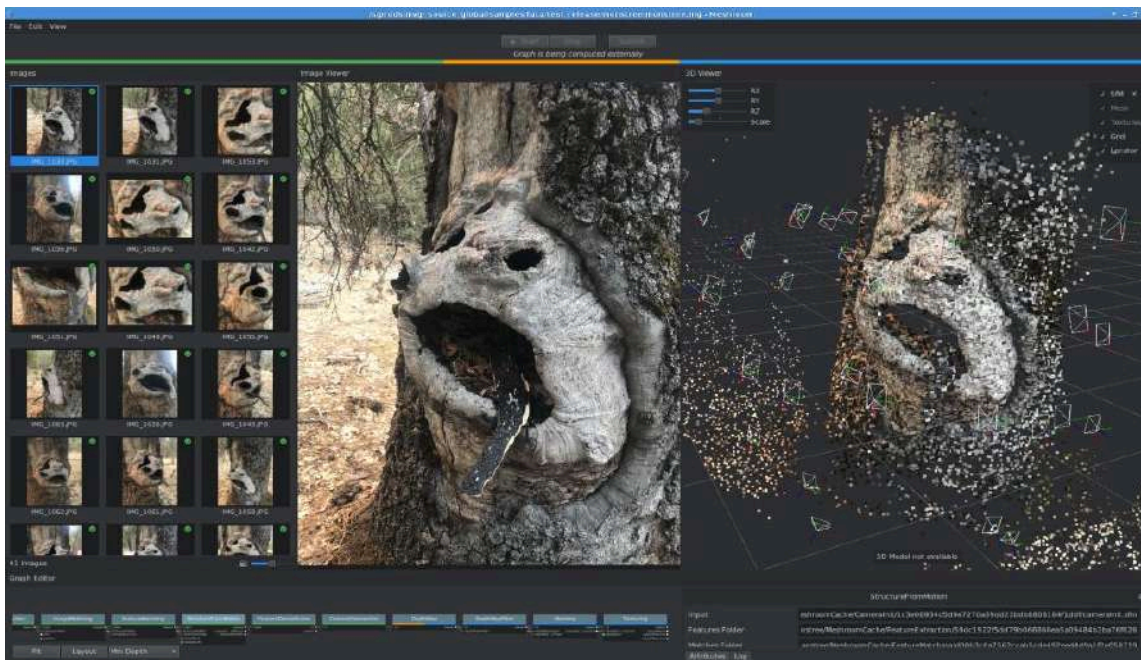
3.1 Ορισμός

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη και η τεχνολογία εξαγωγής αξιόπιστων μετρήσεων και γεωμετρικών πληροφοριών από φωτογραφίες. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία τρισδιάστατων αναπαραστάσεων φυσικών και τεχνητών αντικειμένων μέσω της ανάλυσης δισδιάστατων εικόνων.

Η βασική αρχή της φωτογραμμετρίας βασίζεται στην εξαγωγή γεωμετρικής πληροφορίας από μία ή περισσότερες εικόνες. Με τον συνδυασμό πολλαπλών λήψεων του ίδιου αντικειμένου ή σκηνής από διαφορετικές γωνίες, καθίσταται δυνατή η ανακατασκευή τρισδιάστατης μορφής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός και η ποικιλία των φωτογραφιών που χρησιμοποιούνται, τόσο αυξάνεται η ακρίβεια και η λεπτομέρεια του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου. [6]

Ένα βασικό προϊόν της φωτογραμμετρικής διαδικασίας είναι το νέφος σημείων (point cloud). Πρόκειται για ένα σύνολο διακριτών σημείων στον τρισδιάστατο χώρο, τα οποία περιγράφουν το περίγραμμα και την επιφάνεια ενός αντικειμένου ή σκηνής. Κάθε σημείο φέρει τις δικές του καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, z) και, συχνά, επιπλέον πληροφορίες όπως χρώμα ή πυκνότητα.

Η αξιοπιστία του μοντέλου (model confidence) σχετίζεται με τη στατιστική εγκυρότητα των σημείων στο νέφος. Συγκεκριμένα, κάθε σημείο αξιολογείται ανάλογα με τον αριθμό των χαρτών βάθους (depth maps) στους οποίους εμφανίζεται. Η βαθμολογία εμπιστοσύνης κυμαίνεται από 1 (χαμηλή εμπιστοσύνη) έως 255 (υψηλή εμπιστοσύνη), υποδεικνύοντας το πόσο αξιόπιστο θεωρείται το κάθε σημείο στο συνολικό μοντέλο. [7]



Εικόνα 3.1 Παράδειγμα έργου Φωτογραμμετρίας στο Meshroom [45]

3.2 Εφαρμογές Φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία και η τεχνολογία των digital twins βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε πλήθος επιστημονικών και βιομηχανικών τομέων. [8]

Στον χώρο της αρχιτεκτονικής, η φωτογραμμετρία αξιοποιείται για τον σχεδιασμό και την αποτύπωση χώρων, την παρακολούθηση της πορείας κατασκευών και την παραγωγή οπτικοποιήσεων υψηλής πιστότητας. [9]

Στον τομέα της τέχνης, οι καλλιτέχνες μπορούν να τεκμηριώσουν και να ανασχεδιάσουν υφιστάμενα έργα ή γλυπτά, καθώς και να μεταμορφώσουν φυσικά στοιχεία σε νέες δημιουργίες.

Η αρχαιολογία εκμεταλλεύεται τη φωτογραμμετρία για την ακριβή χαρτογράφηση και την ψηφιακή εξερεύνηση ανεξερεύνητων περιοχών ξηράς και ωκεανών, διευκολύνοντας την τεκμηρίωση και την ανάλυση αρχαιολογικών ευρημάτων. [10]

Σχεδιαστές και μηχανικοί αξιοποιούν τη μέθοδο για την αναθεώρηση υπαρχόντων αντικειμένων και την προσαρμογή νέων εξαρτημάτων, ενώ στον ποιοτικό έλεγχο των παραγωγικών διαδικασιών η φωτογραμμετρία υποστηρίζει την αυστηρή αξιολόγηση και βελτίωση προϊόντων.

Στον τομέα της ανάπτυξης παιχνιδιών, οι προγραμματιστές εξοικονομούν χρόνο και πόρους δημιουργώντας τρισδιάστατα περιβάλλοντα και αντικείμενα μέσω φωτογραμμετρίας σε συνδυασμό με ημιαυτόματες ροές εργασίας μοντελοποίησης.

Η παλαιοντολογία χρησιμοποιεί τη φωτογραμμετρία για την ψηφιακή καταγραφή απολιθωμάτων και στρωμάτων οστών, διευκολύνοντας τον σχεδιασμό της εκταφής, τη συντήρηση και τη διανομή των δεδομένων. Οι αναλυτικοί τρισδιάστατοι χάρτες διευκολύνουν την ανακάλυψη νέων τοποθεσιών απολιθωμάτων.

Χαρτογράφοι, γεωλόγοι, τοπογράφοι και τοπογραφικοί μηχανικοί επωφελούνται από την ταχύτητα και την ακρίβεια που προσφέρει η φωτογραμμετρία στη δημιουργία και ανανέωση χαρτών.

Στον χώρο της εγκληματολογίας, η τεχνολογία χρησιμοποιείται για την τρισδιάστατη αποτύπωση σκηνών εγκλημάτων, δίνοντας τη δυνατότητα ανάλυσης διαδρομών βολής, τροχαίων ατυχημάτων και οπτικών γωνιών μαρτύρων, καθώς και τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων εκπαίδευσης.

Στην ιατρική, θεραπευτές και ειδικοί αξιοποιούν τη φωτογραμμετρία για την ψηφιακή σάρωση τμημάτων του σώματος, προκειμένου να σχεδιάσουν εξατομικευμένα προσθετικά, ορθωτικά, καθώς και άλλες ιατρικές συσκευές όπως ακουστικά βαρηκοΐας.

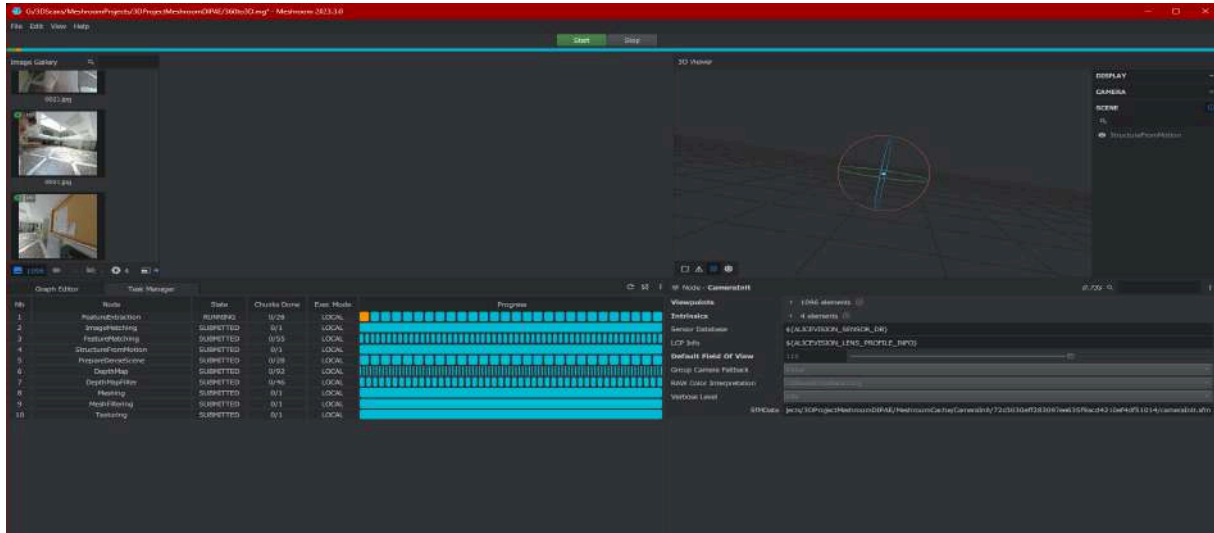
Στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς, η φωτογραμμετρία επιτρέπει τη μόνιμη διατήρηση, την ανακατασκευή και την αναστήλωση ιστορικών μνημείων και αντικειμένων, ενώ οι επιμελητές μουσείων δημιουργούν ψηφιακές συλλογές για την προσέλκυση και την εκπαίδευση του κοινού.

Επιπλέον, οι μετεωρολόγοι χρησιμοποιούν την τεχνολογία για τον προσδιορισμό της ταχύτητας ανεμοστρόβιλων, ενώ οι φωτογράφοι επεκτείνουν τις δημιουργικές τους δυνατότητες σε μια επιπλέον διάσταση. Τέλος, επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης προσφέρουν υπηρεσίες βασισμένες σε μοντέλα που παράγονται μέσω φωτογραμμετρίας.

3.3 Εμπειρία Χρήσης

Στα πλαίσια της εργασίας μελέτησα και χρησιμοποίησα δύο προγράμματα για φωτογραμμετρία, το Meshroom (δωρεάν, open-source 3D Reconstruction Software βασισμένο στο AliceVision framework) και το Agisoft Metashape (stand-alone προϊόν λογισμικού που εκτελεί φωτογραμμετρική επεξεργασία ψηφιακών εικόνων και δημιουργεί τρισδιάστατα χωρικά δεδομένα για χρήση σε εφαρμογές GIS, τεκμηρίωση πολιτιστικής κληρονομιάς και παραγωγή οπτικών εφέ, καθώς και για έμμεσες μετρήσεις αντικειμένων διαφόρων κλίμακας).

Συγκεκριμένα για το Meshroom χρειαζόταν μια προεργασία χωρίσματος των 360 φωτογραφιών σε equirectangular μορφή, κάθε φωτογραφία σε 4 κομμάτια, γιατί το πρόγραμμα αδυνατούσε να κάνει FeatureMatching με 360 φωτογραφίες.



Εικόνα 3.3.1 : Περιβάλλον Meshroom

Στην τελική εφαρμογή χρησιμοποιήσα τα μοντέλα που εξήγαγα από το Metashape αντί για το Meshroom, καθώς παρείχαν καλύτερη ποιότητα απόδοσης, δημιουργούνταν ταχύτερα και απαιτούσαν λιγότερη προεργασία.

3.4 Ροή Εργασίας Φωτογραμμετρίας

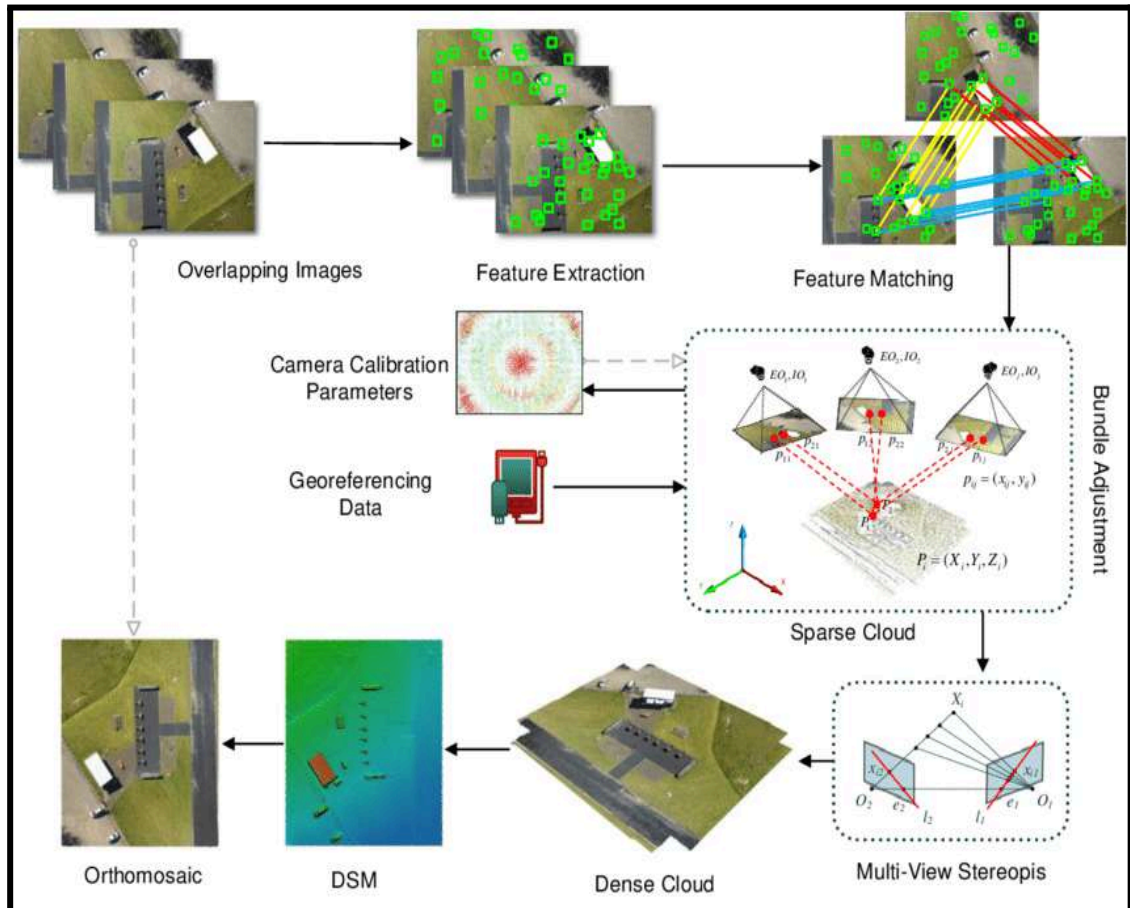
- **Λήψη Φωτογραφιών:** Τραβιούνται υψηλής ποιότητας εικόνες από διάφορες γωνίες γύρω από το αντικείμενο ή τη σκηνή. Οι εικόνες με επικάλυψη (συνήθως 60-80%) είναι κρίσιμες για να εξασφαλιστεί ότι το λογισμικό μπορεί να ανακατασκευάσει σωστά τη 3D δομή. [33]
- **Καλιμπράρισμα Κάμερας:** Αν οι εσωτερικές παράμετροι της κάμερας (π.χ., εστιακή απόσταση, παραμόρφωση φακού) δεν είναι γνωστές, μπορεί να εκτιμηθούν ως μέρος της διαδικασίας.
- **Προεπεξεργασία Εικόνων (Προαιρετικό)**
- **Διόρθωση Παραμορφώσεων:** Διόρθωση για την παραμόρφωση του φακού για βελτίωση της ακρίβειας στα επόμενα βήματα.
- **Μείωση Θορύβου:** Βελτίωση της ποιότητας της εικόνας με μείωση του θορύβου και βελτίωση της αντίθεσης.
- **Ανίχνευση Χαρακτηριστικών Σημείων**
- **Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Σημείων:** Αναγνωρίζονται βασικά χαρακτηριστικά (π.χ., γωνίες, άκρα) στις εικόνες. Κοινοί αλγόριθμοι περιλαμβάνουν SIFT (Scale-Invariant Feature

Transform), SURF (Speeded Up Robust Features) και ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF).

- Αντιστοίχιση Χαρακτηριστικών Σημείων: Τα αναγνωρισμένα χαρακτηριστικά αντιστοιχίζονται μεταξύ των διαφόρων εικόνων για να βρεθούν αντιστοιχίες. Αυτό είναι κρίσιμο για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ των εικόνων.
- Εκτίμηση Θέσης Κάμερας
- Δομή από Κίνηση (SfM - Structure from Motion): Αυτή η διαδικασία εκτιμά τις 3D θέσεις της κάμερας και τη δομή της σκηνής αναλύοντας τα αντιστοιχισμένα χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι όπως η Ρύθμιση Δεσμίδας (Bundle Adjustment) για να βελτιώσουν τη θέση της κάμερας και τη δομή της σκηνής. [14]
- Πυκνή Ανασύνθεση
- Δημιουργία Χαρτών Βάθους: Δημιουργούνται πυκνά νέφη σημείων μέσω του υπολογισμού της πληροφορίας βάθους για κάθε πίξελ στις εικόνες χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως η Πολυπροβολική Στερεοσκοπία (MVS - Multi-View Stereo). [11]
- Δημιουργία Πυκνού Νέφους Σημείων: Οι χάρτες βάθους από διαφορετικές προβολές συνδυάζονται σε ένα πυκνό νέφος σημείων, που αναπαριστά τη 3D δομή της σκηνής.
- Δημιουργία Πλέγματος
- Ανασύνθεση Επιφάνειας: Το πυκνό νέφος σημείων μετατρέπεται σε πλέγμα, συνήθως τριγωνικό, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους όπως η Ανασύνθεση Επιφάνειας Poisson (Poisson Surface Reconstruction) ή η Τριγωνοποίηση Delaunay.
- Βελτιστοποίηση Πλέγματος: Το πλέγμα λειαίνεται και βελτιστοποιείται για να μειωθεί ο θόρυβος και να βελτιωθεί η οπτική ποιότητα.
- Χαρτογράφηση Υφής

Εφαρμογή Υφών: Οι υφές από τις αρχικές εικόνες εφαρμόζονται στο πλέγμα, δημιουργώντας ένα φωτορεαλιστικό 3D μοντέλο. Οι αλγόριθμοι διασφαλίζουν ότι οι υφές ευθυγραμμίζονται σωστά με τη γεωμετρία.
- Εξαγωγή Μοντέλου

Μορφές Εξαγωγής: Το τελικό μοντέλο εξάγεται σε διάφορες μορφές (π.χ., OBJ, FBX, STL) ανάλογα με τη χρήση (π.χ., 3D εκτύπωση, ανάπτυξη παιχνιδιών).



Εικόνα 3.4.1 : Βήματα επεξεργασίας SfM-MVS. [12][13]

3.5 Κύριοι Αλγόριθμοι που Χρησιμοποιούνται στη Φωτογραμμετρία

Η φωτογραμμετρία στηρίζεται σε ένα σύνολο σύνθετων αλγορίθμων που επιτρέπουν την ανακατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων από δισδιάστατες εικόνες. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται, μαζί με ανάλυση της λειτουργίας και της σημασίας τους.

- Ανίχνευση και Αντιστοίχιση Χαρακτηριστικών Σημείων

SIFT (Scale-Invariant Feature Transform): Ανιχνεύει και περιγράφει τοπικά χαρακτηριστικά στις εικόνες, ανεξάρτητα από την κλίμακα και την περιστροφή.

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος SIFT αποτελεί μία από τις πλέον ισχυρές τεχνικές υπολογιστικής όρασης για την ανίχνευση και περιγραφή τοπικών χαρακτηριστικών σημείων (keypoints) σε εικόνες. Το βασικό πλεονέκτημά του είναι η ανθεκτικότητά του σε μεταβολές κλίμακας, περιστροφής, φωτισμού και μερικών αφινικών μετασχηματισμών, γεγονός που επιτρέπει την αξιόπιστη αναγνώριση των ίδιων χαρακτηριστικών ακόμη και όταν το αντικείμενο απεικονίζεται από διαφορετική απόσταση ή γωνία λήψης.

Η λειτουργία του SIFT ξεκινά με τον εντοπισμό σταθερών χαρακτηριστικών σημείων, χρησιμοποιώντας την κατασκευή μιας πυραμίδας κλίμακας (scale-space). Σε αυτήν την πυραμίδα, η εικόνα υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενη θόλωση με Gaussian blur σε διαφορετικά επίπεδα, ενώ στη συνέχεια υπολογίζονται οι διαφορές αυτών των εικόνων (Difference of Gaussians - DoG) για την ανίχνευση τοπικών ακρών και σημείων όπου η ένταση μεταβάλλεται απότομα. Αυτά τα σημεία αποτελούν πιθανούς keypoints που εντοπίζονται σε πολλαπλές κλίμακες και θεωρούνται σταθερά.

Τα εντοπισμένα σημεία φιλτράρονται ώστε να απομακρυνθούν εκείνα με χαμηλή αντίθεση ή που βρίσκονται σε επίπεδες περιοχές ή κατά μήκος ακμών, όπου η ανίχνευση είναι λιγότερο αξιόπιστη. Στη συνέχεια, σε κάθε keypoint αποδίδεται ένας προσανατολισμός βάσει της τοπικής κατεύθυνσης έντασης, διασφαλίζοντας έτσι την αδράνεια του χαρακτηριστικού σε περιστροφές της εικόνας.

Τέλος, για κάθε keypoint δημιουργείται ένας μοναδικός περιγραφέας (descriptor), συνήθως ένα διάνυσμα 128 διαστάσεων, που κωδικοποιεί με ακρίβεια τις τοπικές πληροφορίες γύρω από το σημείο, όπως οι κατευθύνσεις και οι εντάσεις των gradients σε υποπεριοχές. Ο περιγραφέας αυτός επιτρέπει την αξιόπιστη αντιστοίχιση και ταυτοποίηση των ίδιων χαρακτηριστικών σε διαφορετικές εικόνες, καθιστώντας τον SIFT ένα από τα πιο αποτελεσματικά εργαλεία για εφαρμογές όπως η αναγνώριση αντικειμένων, η τρισδιάστατη ανασύνθεση και η αντιστοίχιση εικόνων. [49]

Ο SURF (Speeded Up Robust Features): Μια ταχύτερη εναλλακτική του SIFT, βελτιστοποιημένη για ταχύτητα.

Ειδικότερα, ο αλγόριθμος SURF σχεδιάστηκε ως μια ταχύτερη και αποδοτική εναλλακτική του SIFT, με στόχο να διατηρήσει την ανθεκτικότητα σε αλλαγές κλίμακας, περιστροφής και φωτισμού, αλλά με σημαντική μείωση του υπολογιστικού κόστους. Η βασική ιδέα πίσω από τον SURF είναι η χρήση απλοποιημένων μαθηματικών προσεγγίσεων και η αξιοποίηση της έννοιας των ολοκληρωμένων εικόνων (integral images) για την ταχύτατη εκτέλεση σύνθετων φίλτρων, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές με αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς ή απαιτήσεις πραγματικού χρόνου.

Ο ανιχνευτής χαρακτηριστικών του SURF βασίζεται στη μήτρα Hessian, η οποία εκτιμά την περιοχή γύρω από κάθε σημείο της εικόνας μέσω προσεγγίσεων φίλτρων τύπου box filters αντί για τις πιο ακριβείς, αλλά πιο αργές, παραγώγους Gaussian που χρησιμοποιεί ο SIFT. Αυτές οι προσεγγίσεις είναι λιγότερο ακριβείς αλλά υπολογιστικά πολύ πιο αποδοτικές, καθώς τα φίλτρα αξιοποιούν τις ολοκληρωμένες εικόνες για ταχύτατους υπολογισμούς ανεξάρτητα από το μέγεθος της περιοχής ανάλυσης. Η κλίμακα αναλύεται αυξάνοντας το μέγεθος του φίλτρου αντί να δημιουργείται πυραμίδα εικόνων με υποδειγματοληψία, κάτι που μειώνει περαιτέρω το υπολογιστικό κόστος.

Ο περιγραφέας (descriptor) του SURF κατασκευάζεται μέσω της καταγραφής αποκρίσεων Haar wavelets σε περιοχές γύρω από τα ενδιαφέροντα σημεία, ενώ επίσης εκμεταλλεύεται τις ολοκληρωμένες εικόνες για γρήγορη απόκριση. Ο περιγραφέας του SURF είναι μικρότερης διάστασης (64 διαστάσεων σε αντίθεση με τις 128 του SIFT), γεγονός που μειώνει τον χρόνο υπολογισμού και βελτιώνει την ταχύτητα αντιστοίχισης, ενώ διατηρεί υψηλή ανθεκτικότητα σε παραμορφώσεις και αλλαγές φωτισμού.

Επιπλέον, ο SURF εισάγει ένα βελτιωμένο βήμα δεικτοδότησης βασισμένο στο πρόσημο του Laplacian, που βελτιώνει τόσο την ταχύτητα όσο και την ακρίβεια στην εύρεση αντιστοιχιών χαρακτηριστικών μεταξύ εικόνων. Παρά το γεγονός ότι ο SIFT παραμένει ελαφρώς πιο διακριτικός σε κάποιες περιπτώσεις, ο SURF αποτελεί πιο πρακτική επιλογή σε εφαρμογές που απαιτούν ταχύτητα και αποδοτικότητα χωρίς σημαντική απώλεια στην ποιότητα της αναγνώρισης.

Συνοπτικά, ο SURF ξεχωρίζει για την ταχύτητά του μέσω της χρήσης ολοκληρωμένων εικόνων και απλοποιημένων φίλτρων, ενώ διατηρεί πολύ καλά χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας, καθιστώντας τον ιδιαίτερα χρήσιμο σε συστήματα πραγματικού χρόνου, όπως ρομποτική, επεξεργασία βίντεο και εφαρμογές κινητών συσκευών. [50]

ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF): Μια γρήγορη και αποτελεσματική εναλλακτική του SIFT/SURF, που χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Ο αλγόριθμος ORB σχεδιάστηκε ως μια γρήγορη και αποδοτική εναλλακτική λύση στους αλγόριθμους SIFT και SURF, με έμφαση στην ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα, ιδιαίτερα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου και συσκευές με περιορισμένους πόρους. Ο ORB συνδυάζει δύο γνωστές τεχνικές: τον ανιχνευτή FAST (Features from Accelerated Segment Test) για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων και τον περιγραφέα BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) για την περιγραφή τους.

Σε αντίθεση με τον SIFT και τον SURF, που βασίζονται σε υπολογισμούς παραγώγων Gaussian και wavelets αντίστοιχα, ο ORB χρησιμοποιεί έναν πιο απλό αλλά αποδοτικό αλγόριθμο FAST, ο οποίος ανιχνεύει γρήγορα τα σημεία ενδιαφέροντος βασισμένος στην ένταση γύρω από το κέντρο του σημείου. Για να επιτύχει ανθεκτικότητα σε περιστροφές, ο ORB υπολογίζει έναν προσανατολισμό για κάθε keypoint χρησιμοποιώντας μοτίβα κατευθυντικών διαφορών (intensity centroid), κάνοντας τον περιγραφέα του περιστροφικά αμετάβλητο (rotation invariant).

Για τον περιγραφέα, αντί του πολυδιάστατου διανύσματος χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούν οι SIFT και SURF, ο ORB εφαρμόζει τον BRIEF, ο οποίος παράγει έναν δυαδικό (binary) περιγραφέα μέσω συγκρίσεων έντασης σε προκαθορισμένα ζεύγη pixel. Αυτός ο δυαδικός περιγραφέας είναι ιδιαίτερα γρήγορος στην υπολογιστική του επεξεργασία και στην αντιστοίχιση, καθώς η σύγκριση γίνεται μέσω XOR πράξεων αντί για πιο βαριές μαθηματικές αποστάσεις.

Η βασική διαφορά του ORB από τον SIFT και τον SURF είναι η ταχύτητα και η απλότητα: ο ORB αποφεύγει την χρήση υπολογιστικά βαριών φίλτρων Gaussian ή wavelet, προσφέροντας μια πιο «ελαφριά» λύση, η οποία όμως διατηρεί ικανοποιητική ακρίβεια και ανθεκτικότητα. Αυτό τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές σε κινητές συσκευές, συστήματα ρομποτικής και επεξεργασία βίντεο σε πραγματικό χρόνο, όπου η ταχύτητα και η χαμηλή κατανάλωση πόρων είναι κρίσιμες.

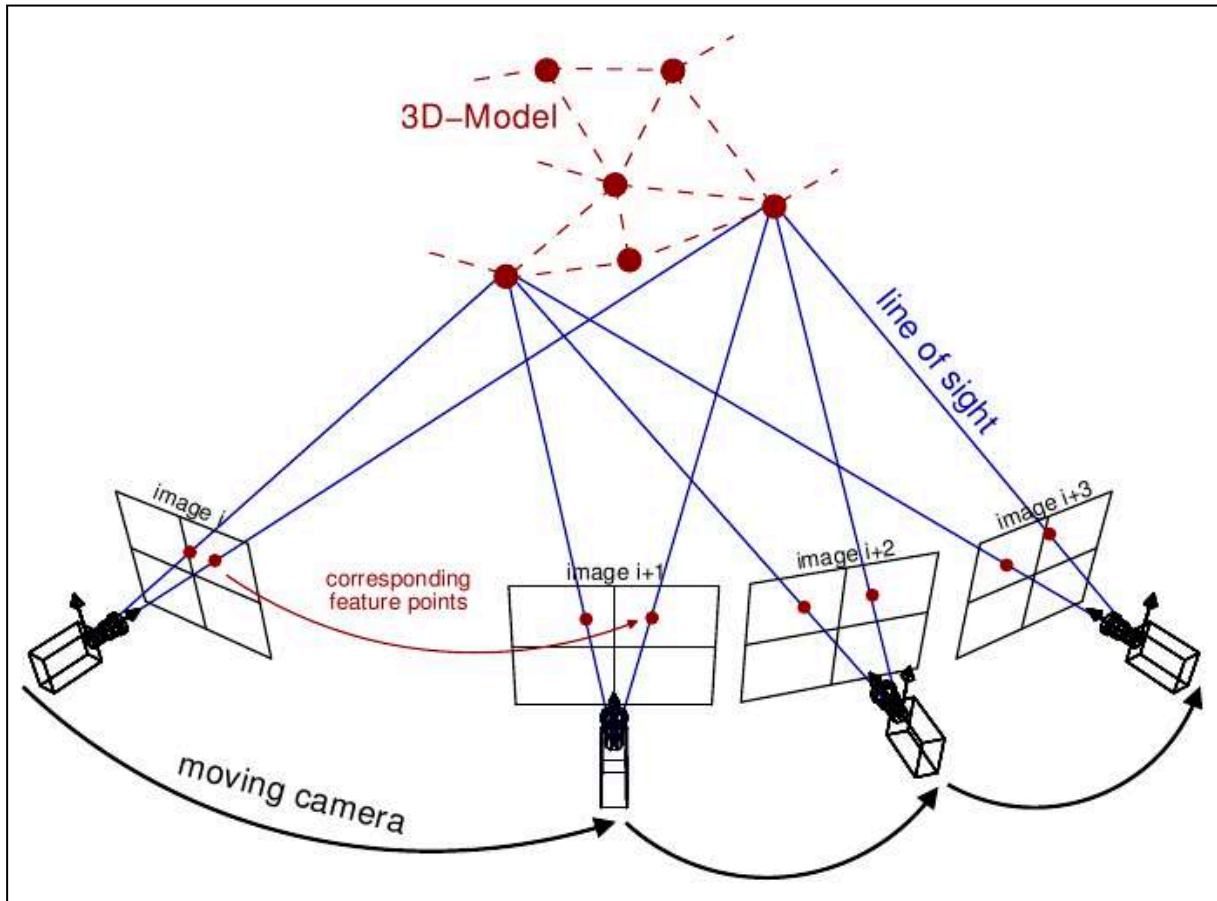
Ωστόσο, σε σχέση με τους SIFT και SURF, ο ORB μπορεί να παρουσιάζει μικρότερη ανθεκτικότητα σε ακραίες μεταβολές φωτισμού και πολύπλοκες παραμορφώσεις, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η διακριτική του ικανότητα μπορεί να είναι μειωμένη λόγω της χρήσης δυαδικών περιγραφέων.

Συνολικά, ο ORB αποτελεί μια εξαιρετική επιλογή για γρήγορη και αποδοτική ανίχνευση και περιγραφή χαρακτηριστικών σημείων, προσφέροντας έναν ισορροπημένο συμβιβασμό μεταξύ ταχύτητας και ακρίβειας σε σύγκριση με τους πιο σύνθετους αλγόριθμους SIFT και SURF. [51]

- Εκτίμηση Θέσης Κάμερας

Αρχή της φωτογραμμετρίας αποτελεί ο Structure from Motion (SfM), ο οποίος εκτιμά τη δομή 3D και την κίνηση της κάμερας ταυτόχρονα από ακολουθίες 2D εικόνων.

Το Structure from Motion (SfM) είναι μια τεχνική υπολογιστικής όρασης και φωτογραμμετρίας που επιτρέπει την ανακατασκευή τρισδιάστατων (3D) δομών από μια σειρά δισδιάστατων (2D) εικόνων που λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις και γωνίες. Η βασική ιδέα πίσω από το SfM είναι η ταυτόχρονη εκτίμηση της κίνησης της κάμερας (θέση και προσανατολισμός) και της γεωμετρίας της σκηνής. Μέσω της ανίχνευσης και αντιστοίχισης χαρακτηριστικών σημείων ανάμεσα στις εικόνες, το SfM υπολογίζει τις σχετικές θέσεις των καμερών και δημιουργεί ένα νέφος τρισδιάστατων σημείων που αναπαριστούν την επιφάνεια του αντικειμένου ή της σκηνής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει στάδια όπως η εκτίμηση των παραμέτρων της κάμερας, η τριγωνοποίηση των σημείων και η βελτιστοποίηση μέσω τεχνικών όπως η ρύθμιση δεσμίδας (bundle adjustment) για τη μείωση των σφαλμάτων. Το SfM έχει ευρεία εφαρμογή σε πεδία όπως η ρομποτική, η χαρτογράφηση, η πολιτική μηχανική και η τρισδιάστατη μοντελοποίηση αντικειμένων από φωτογραφίες. [52]



Εικόνα 3.5.1 : Φωτογραμμετρική αρχή [53]

Η Ρύθμιση Δεσμίδας (Bundle Adjustment) είναι μια διαδικασία που βελτιώνει τις θέσεις της κάμερας και τα 3D σημεία μειώνοντας το σφάλμα προβολής. Χρησιμοποιείται στο Structure from Motion και σε άλλες εφαρμογές 3D ανακατασκευής. Σκοπός της είναι να βελτιώσει τα εκτιμώμενα 3D σημεία και τις παραμέτρους των καμερών (θέση, προσανατολισμός, εστιακή απόσταση) μειώνοντας το συνολικό σφάλμα προβολής, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων θέσεων των σημείων στις εικόνες. Η διαδικασία αυτή βασίζεται σε μεθόδους ελαχιστοποίησης, όπως η μη γραμμική ελαχιστοποίηση least-squares, και αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την ακρίβεια και τη σταθερότητα της τελικής ανακατασκευής. [54]

- Πυκνή Ανασύνθεση

Η Πολυπροβολική Στερεοσκοπία, Multi-view Stereo (MVS) είναι μια προηγμένη τεχνική 3D ανασύνθεσης που δημιουργεί πυκνά μοντέλα του πραγματικού κόσμου αξιοποιώντας την αντιστοίχιση πίξελ ανάμεσα σε πολλές εικόνες που έχουν ληφθεί από διαφορετικές γωνίες. Μια ιδιαίτερα επιτυχημένη προσέγγιση εντός αυτού του πλαισίου είναι η μέθοδος PMVS (Patch-based Multi-View Stereo), η οποία δεν βασίζεται απλώς σε μεμονωμένα σημεία, αλλά επεκτείνει τις αντιστοιχίες δημιουργώντας μικρά επιφανειακά «εμπλάστρα» γύρω από τα ανιχνευμένα χαρακτηριστικά. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την αξιόπιστη και λεπτομερή αναπαράσταση επιφανειών, ακόμα και σε περιοχές με χαμηλή υφή, προσφέροντας πλούσια και γεωμετρικά ακριβή νέφη σημείων για την κατασκευή πλήρων 3D μοντέλων. [15]

- Δημιουργία Πλέγματος

Μετά την εξαγωγή ενός πυκνού νέφους σημείων, το επόμενο κρίσιμο βήμα είναι η δημιουργία ενός συνεκτικού 3D πλέγματος. Η Ανασύνθεση Επιφάνειας Poisson είναι μια από τις πιο αξιόπιστες τεχνικές, καθώς παράγει λείες και συνεχείς επιφάνειες ακόμη και όταν το νέφος περιέχει θόρυβο ή ανεπιθύμητα σημεία (outliers). Εναλλακτικά, η Τριγωνοποίηση Delaunay παρέχει έναν αποδοτικό και γεωμετρικά ευσταθή τρόπο για τη σύνδεση σημείων σε τρίγωνα, διασφαλίζοντας ότι το τελικό πλέγμα είναι μορφολογικά συνεπές.

- Χαρτογράφηση Υφής

Η χαρτογράφηση υφής έρχεται για να προσδώσει φωτορεαλισμό στο 3D μοντέλο. Μέσω της παραμετροποίησης, οι 2D εικόνες προβάλλονται σωστά πάνω στο τρισδιάστατο πλέγμα. Τέλος, αλγόριθμοι συγχώνευσης υφών συνδυάζουν πληροφορία από πολλές λήψεις, εξομαλύνοντας τις μεταβάσεις μεταξύ διαφορετικών εικόνων και ελαχιστοποιώντας τα οπτικά ασυμβίβαστα, αποδίδοντας έτσι ένα ομοιογενές και ρεαλιστικό τελικό αποτέλεσμα.

3.6 Επίλογος

Η διαδικασία του 3D σκαναρίσματος, η χρήση της φωτογραμμετρίας και της κάμερας Insta360 Pro 2 αποτέλεσαν έναν κομβικό άξονα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του εσωτερικού χώρου του κτιρίου μελέτης. Παρότι η Insta360 Pro 2 δεν διαθέτει αισθητήρες LiDAR, απέδειξε ότι οι δυνατότητές της για λήψη υψηλής ανάλυσης 360° φωτογραφιών μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά στο πλαίσιο της φωτογραμμετρίας, προσφέροντας επαρκή κάλυψη και οπτική πληρότητα για τη διαδικασία ανακατασκευής.

Η χρήση προηγμένων λογισμικών όπως το Meshroom και κυρίως το Agisoft Metashape επέτρεψε την αξιόπιστη και λεπτομερή ανακατασκευή του μοντέλου, ενώ η κατανόηση της πλήρους ροής εργασίας – από τη λήψη και την επεξεργασία εικόνων έως τη δημιουργία πλέγματος και την εφαρμογή υφών – ανέδειξε την επιστημονική και τεχνική συνθετότητα της φωτογραμμετρίας.

Η εμπειρία από αυτή τη διαδικασία ανέδειξε τη σημασία της σωστής προετοιμασίας, της κατάλληλης λήψης εικόνων και της επιλογής κατάλληλων εργαλείων, ώστε να επιτευχθεί ένα αποτέλεσμα υψηλής ποιότητας. Επιπλέον, η δυνατότητα μετατροπής των 360° εικόνων σε εργαλεία αποτύπωσης και τεκμηρίωσης καθιστά τη φωτογραμμετρία με 360 κάμερες, όπως η Insta360 Pro 2, ένα πολύτιμο εργαλείο σε εφαρμογές αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης, εικονικής ξενάγησης, και πολιτιστικής διατήρησης.

Συνολικά, η διαδικασία ανέδειξε τη φωτογραμμετρία όχι μόνο ως μια εναλλακτική του LiDAR, αλλά ως μια ευέλικτη, οικονομική και εξαιρετικά χρήσιμη τεχνολογία, όταν εφαρμόζεται σωστά, με τις κατάλληλες τεχνικές και υποδομές

Κεφάλαιο 4ο: Unity 3D Engine

4.1 Εισαγωγή

Το Unity είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μηχανές ανάπτυξης παιχνιδιών και εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιούμενη τόσο από ανεξάρτητους προγραμματιστές όσο και από μεγάλες εταιρείες της βιομηχανίας [16]. Προσφέρει ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη δημιουργία 2D και 3D εφαρμογών, εστιάζοντας στη διαλειτουργικότητα με πολλαπλές πλατφόρμες (Windows, macOS, Linux, iOS, Android, VR, AR, WebGL κ.ά.) [17].

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η αρχιτεκτονική του Unity Real-Time Development Platform, οι βασικές τεχνικές ανάπτυξης εφαρμογών, η χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C# στο Unity, καθώς και οι δυνατότητες που προσφέρει για rendering, physics simulation, artificial intelligence (AI) και άλλες τεχνολογίες.

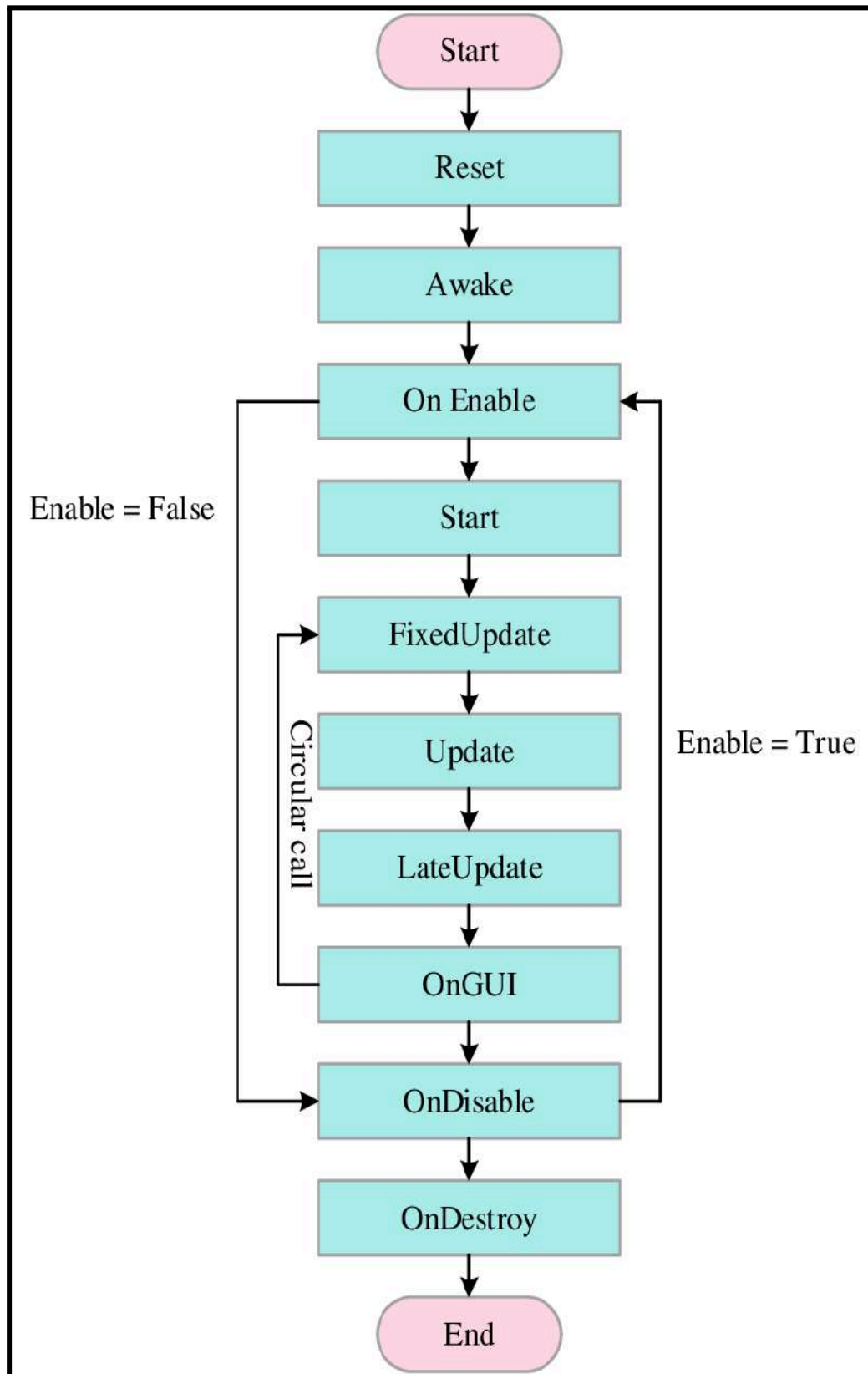
4.2 Ανάλυση του Unity Real-Time Development Platform

Το Unity είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μηχανές ανάπτυξης παιχνιδιών, η οποία κυκλοφόρησε το 2005 από την εταιρεία Unity Technologies και από τότε έχει εξελιχθεί σημαντικά, προσφέροντας υποστήριξη για πλήθος πλατφορμών όπως υπολογιστές, κονσόλες, κινητές συσκευές και συστήματα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Παρέχει εργαλεία για τον σχεδιασμό 2D και 3D περιβαλλόντων, διαχείριση φυσικής και φωτισμού, καθώς και δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης και πλοήγησης. Υποστηρίζει πληθώρα τεχνολογιών, όπως DirectX, OpenGL και Vulkan, και δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να επεκτείνουν τις δυνατότητές του μέσω του Asset Store και της ενσωμάτωσης εξωτερικών εργαλείων όπως το Blender, το Maya, το Photoshop και άλλα. [18,19]

4.3 Προγραμματισμός στο Unity με C#

Ο προγραμματισμός στο Unity με χρήση της γλώσσας C# αποτελεί θεμέλιο για την ανάπτυξη διαδραστικών εφαρμογών και παιχνιδιών. Οι βασικές κλάσεις και τα APIs της Unity, όπως οι MonoBehaviour, GameObject, και Transform, παρέχουν τη δομή και τα εργαλεία για τη διαχείριση αντικειμένων, σκηνών και συμπεριφορών μέσα στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Μέσω scripting, οι προγραμματιστές μπορούν να αναπτύξουν μηχανισμούς παιχνιδιού (game mechanics) όπως κίνηση χαρακτήρων, ανίχνευση συγκρούσεων, χειρισμό εισόδου χρήστη και αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον, καθιστώντας τον κώδικα το βασικό μέσο σύνδεσης μεταξύ σχεδίασης και λειτουργικότητας.

Σχήμα 3.1: Life cycle of the Unity script



Εικόνα 4.3.1 : Κύκλος ζωής Script [20]

4.4 Unity για VR app development

Το Unity ξεχωρίζει ως η ιδανική πλατφόρμα για VR development, ειδικά για αρχάριους προγραμματιστές, καθώς συνδυάζει ευκολία χρήσης, πληθώρα εργαλείων και εκτενή τεκμηρίωση. Υποστηρίζει εγγενώς τις σύγχρονες VR συσκευές και πλατφόρμες, προσφέροντας λειτουργίες όπως spatial tracking, χειριστήρια VR, αλληλεπίδραση μέσω XR Interaction Toolkit και rendering με την Universal Render Pipeline (URP). Μέσα από την ανάπτυξη ενός πρωτοτύπου VR εφαρμογής, όπως ενός 3D λαβυρίνθου, αποδεικνύεται στην πράξη η φιλικότητα και η ισχύς του Unity ως game engine για immersive εμπειρίες. Η χαμηλή καμπύλη εκμάθησης και η δυνατότητα γρήγορης παραγωγής λειτουργικού περιεχομένου καθιστούν το Unity ιδανική επιλογή για τη σύγχρονη VR δημιουργία. [21,22]

4.5 Εφαρμογή – Ανάπτυξη Πρωτοτύπου

Στα πλαίσια της πτυχιακής, αναπτύχθηκε project το οποίο θα παρουσιάζει βασικές τεχνικές ανάπτυξης παιχνιδιών στο Unity. Το project περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- **Σχεδιασμό ενός 3D περιβάλλοντος.**
- **Βασική αλληλεπίδραση με το χρήστη (User Input).**
- **Σύστημα φυσικής και ανίχνευση συγκρούσεων.**

Το project αναπτύχθηκε στην Unity 2022.3.13f1 (LTS), με στόχο τη δημιουργία μιας VR εφαρμογής για το Meta Quest 2, αξιοποιώντας τη Universal Render Pipeline (URP) για αποδοτικό real-time rendering σε φορητές συσκευές. Η χρήση του URP Lit Shader επέτρεψε την εφαρμογή βασικών υλικών με ρεαλιστικό φωτισμό στο base map από το φωτογραμμετρικό μοντέλο.

Η εφαρμογή σχεδιάστηκε εξ αρχής για αυτόνομη λειτουργία στο Meta Quest 2, χρησιμοποιώντας το XR Interaction Toolkit και τις βελτιστοποιήσεις του Unity για Android-based VR.

Η συγκεκριμένη έκδοση της Unity παρέχει σταθερότητα και πλήρη υποστήριξη για URP και XR development, αποτελώντας κατάλληλη πλατφόρμα για τη δημιουργία ελαφρών, αλλά λειτουργικών πρωτοτύπων σε φορητές immersive συσκευές.

4.6 Επίλογος

Το Unity αποτελεί ένα εξαιρετικά ισχυρό εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών και παιχνιδιών, προσφέροντας μεγάλη ευελιξία και ισχυρές δυνατότητες προσομοίωσης πραγματικού χρόνου. Η παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλύσει τη χρήση του σε βάθος, αναδεικνύοντας τη σημασία του στην ανάπτυξη διαδραστικών εμπειριών.

Κεφάλαιο 5ο: Δημιουργία 3D model & Texture

5.1 Διαδικασία

Για την δημιουργία του 3D μοντέλου του εσωτερικού του κτηρίου του της ηλεκτρονικής, ακολούθησα την διαδικασία της φωτογραμμετρίας ως τρισδιάστατη μέθοδο απόκτησης δεδομένων, με δεδομένα τις πανοραμικές φωτογραφίες που έβγαλα με την κάμερα Insta360 Pro 2, δεν χρησιμοποίησα καθόλου τεχνολογία LiDAR όπου έχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά καθώς μπορείς να ξεχωρίσεις διαφορα αντικειμενα, πόρτες και την γενική δομή του χώρου, αλλά λόγω του διαφορετικού φωτισμού και των πολλών επιφανειών με διαφάνεια (παράθυρα), το πρόγραμμα της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας δεν κατάφερε να αποδώσει καθαρό μοντέλο και έτσι το μοντέλο δεν ενδείκνυται για Virtual Tourism. Η διαδικασία της φωτογραμμετρίας για το μοντέλο που χρησιμοποίησα στην εφαρμογή έγινε με χρήση του Agisoft Metashape [23].

Παρακάτω θα αναλύσω την διαδικασία της δημιουργίας 3D μοντέλου στο Metashape. Στο project αριστερά βλέπουμε το Workspace και ξεχωρίζουμε κάποια δεδομένα.

Ένα Chunk είναι μια ενότητα εργασίας στο Metashape, που περιέχει όλα τα δεδομένα και τα βήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.

281 images: Ο συνολικός αριθμός φωτογραφιών που έχουν εισαχθεί και χρησιμοποιηθεί.

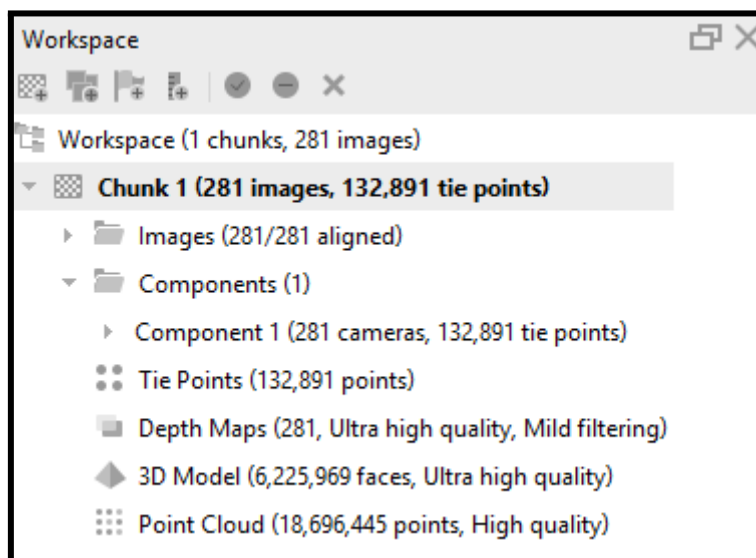
132,891 tie points: Αυτά είναι σημεία σύμπτωσης (tie points) – δηλαδή σημεία που εντοπίζονται σε πολλές εικόνες και χρησιμοποιούνται για ευθυγράμμιση και 3D ανακατασκευή.

Στα Depth Maps βλέπουμε, 281 maps: Για κάθε εικόνα δημιουργείται ένας χάρτης βάθους.

Ultra high quality, Mild filtering: Δείχνει την ποιότητα που επιλέχθηκε για την εξαγωγή depth maps – καλύτερη ακρίβεια, αλλά πιο αργή επεξεργασία.

Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε με 6+ εκατομμύρια επιφάνειες (faces) σε πολύ υψηλή ποιότητα. Είναι mesh βασισμένο στα depth maps.

Και τέλος το Point Cloud, το **πυκνό νέφος σημείων** που δημιουργείται μετά το βασικό. Περιέχει σχεδόν 19 εκατομμύρια σημεία, τα οποία περιγράφουν με λεπτομέρεια τη γεωμετρία της σκηνής.



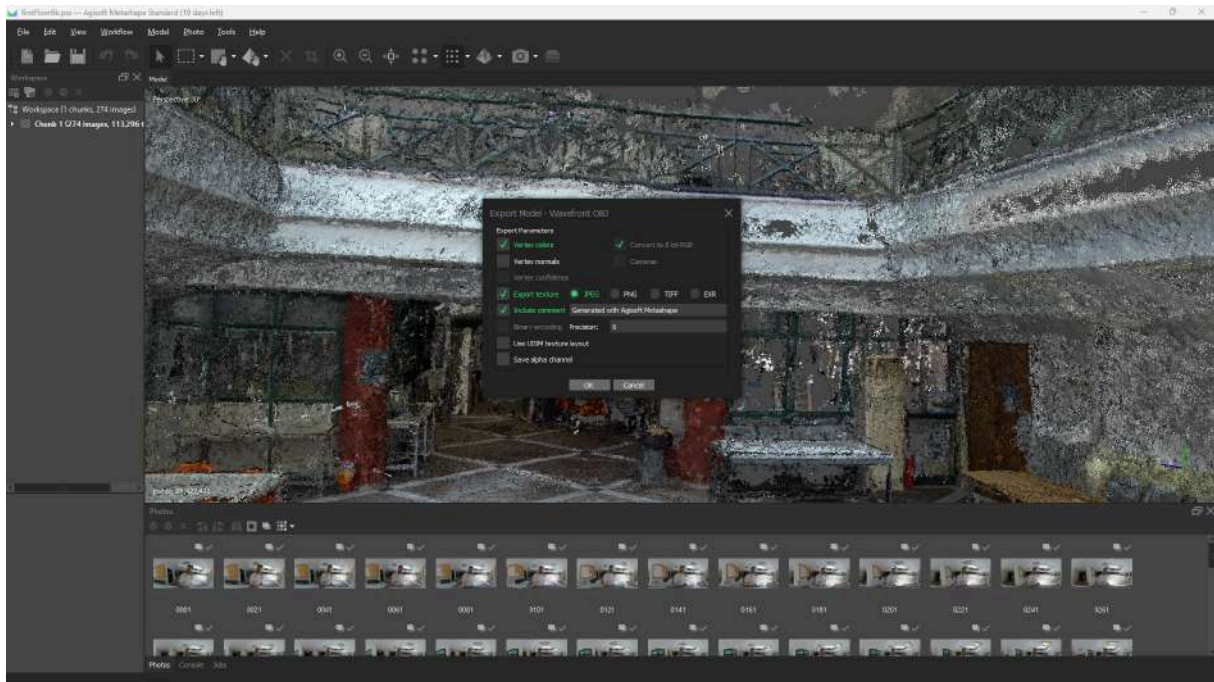
Εικόνα 5.1.1 : Καρτέλα Χώρου Εργασίας Agisoft Metashape

Ακολουθεί η φάση της ανακατασκευής του γεωμετρικού μοντέλου (3D Mesh Reconstruction), κατά την οποία το Metashape χρησιμοποιεί το πυκνό νέφος για να παραγάγει ένα επιφανειακό πλέγμα

(mesh), που περιγράφει τη γεωμετρία του αντικειμένου ή της σκηνής με συνεκτικό τρόπο. Η ποιότητα και η πυκνότητα του point cloud επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια και το επίπεδο λεπτομέρειας του τελικού μοντέλου.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η χαρτογράφηση υφής (texture mapping), όπου το λογισμικό χρησιμοποιεί τις αρχικές φωτογραφίες για να δημιουργήσει μια φωτορεαλιστική υφή (texture) που "ντύνει" το γεωμετρικό πλέγμα, αποδίδοντας έτσι ένα ρεαλιστικό και οπτικά πλούσιο αποτέλεσμα.

Τέλος, το έτοιμο τρισδιάστατο μοντέλο με υφή (textured 3D model) μπορεί να εξαχθεί σε διάφορες μορφές αρχείων, όπως το .obj, το οποίο και επέλεξα, για περαιτέρω χρήση σε λογισμικά μοντελοποίησης, παρουσίασης και σε Game Engines όπως το Unity.



5.1.2 : Εξαγωγή του 3D model σε .obj

5.2 Προβλήματα

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τρισδιάστατης σάρωσης του εσωτερικού χώρου, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας και την κάμερα Insta360 Pro 2, εντοπίστηκαν ορισμένες προκλήσεις και τεχνικά ζητήματα που επηρέασαν τόσο την ποιότητα όσο και τον χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν συχνά φαινόμενα στον τομέα της τρισδιάστατης αποτύπωσης, ειδικά όταν η διαδικασία βασίζεται αποκλειστικά σε φωτογραμμετρικά δεδομένα, χωρίς τη συνδρομή της τεχνολογίας LiDAR.

1. Ψηφιακός θόρυβος (Noise) στα δεδομένα

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα ήταν η παρουσία ψηφιακού θορύβου στις ληφθείσες εικόνες, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλό φωτισμό ή περιορισμένη αντίθεση. Ο θόρυβος αυτός επηρέασε αρνητικά την εξαγωγή χαρακτηριστικών σημείων (feature extraction) από το λογισμικό φωτογραμμετρίας, με αποτέλεσμα δυσχέρειες στην ορθή ευθυγράμμιση (alignment) των εικόνων και τη δημιουργία μη ακριβούς τρισδιάστατου μοντέλου.

2. Σφάλματα στην ευθυγράμμιση εικόνων (Image Alignment / Stitching)

Η μέθοδος φωτογραμμετρίας βασίζεται στον εντοπισμό και τη συσχέτιση κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ των εικόνων. Σε χώρους με ομοιογενείς επιφάνειες, όπως λευκοί τοίχοι χωρίς υφή, το λογισμικό αντιμετώπισε δυσκολίες στην σωστή ευθυγράμμιση των φωτογραφιών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση παραμορφώσεων και ασυνεχειών στη γεωμετρία. Επιπλέον, το σφαιρικό format των 360° εικόνων επιπλέον επιβάρυνε την αναγνώριση χαρακτηριστικών σημείων σε ορισμένα τμήματα του καρέ.

3. Ανωμαλίες στο πλέγμα (Mesh) και artefacts

Κατά τη δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος (mesh), παρατηρήθηκαν artefacts — δηλαδή ακανόνιστες ή λανθασμένες γεωμετρικές δομές — ιδίως σε γωνίες, σκιερά σημεία και αντικείμενα με ανακλαστικές επιφάνειες (π.χ. γυάλινες πόρτες, καθρέφτες). Τα σφάλματα αυτά απαίτησαν εκτενή χειροκίνητη επεξεργασία μέσω εργαλείων καθαρισμού (mesh clean-up) και εξομάλυνσης (smoothing) προκειμένου να βελτιωθεί η συνολική ποιότητα του τελικού μοντέλου.

4. Φωτισμός και σκιές

Η έλλειψη ελεγχόμενου φωτισμού στον χώρο προκάλεσε αστάθεια στην απόδοση των φωτογραφιών. Περιοχές με έντονες αντιθέσεις ή σκιές είχαν ως συνέπεια κακή απόδοση χρωματικών πληροφοριών και δυσκολίες στο texture mapping. Σε αρκετές περιπτώσεις κρίθηκε αναγκαία η επανάληψη της φωτογράφισης ή η εφαρμογή φίλτρων βελτίωσης κατά το στάδιο της προ-επεξεργασίας.

5. Επικάλυψη εικόνων και πυκνότητα δεδομένων

Η φωτογραμμετρία προϋποθέτει υψηλό ποσοστό επικάλυψης των εικόνων (συνήθως πάνω από 70–80%) για τον αξιόπιστο υπολογισμό των βάθους και της γεωμετρίας. Σε περιοχές όπου η κάμερα δεν μπορούσε να τοποθετηθεί σε αρκετές διαφορετικές γωνίες, παρατηρήθηκαν χαμηλή πυκνότητα σημείων, κενά στο μοντέλο και απώλεια λεπτομερειών.

Η αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων επιτεύχθηκε μέσω προσεκτικού σχεδιασμού της πορείας λήψης, χρήσης κατάλληλων φίλτρων μείωσης θορύβου κατά την επεξεργασία, καθώς και προσαρμογής των παραμέτρων του λογισμικού φωτογραμμετρίας. Παρά τις τεχνικές δυσκολίες, η τελική τρισδιάστατη αναπαράσταση κρίθηκε ικανοποιητική και επαρκής για τους σκοπούς της εικονικής ξενάγησης, προσφέροντας ένα λεπτομερές και ρεαλιστικό αποτέλεσμα.

5.3 Metashape

Στο πρόγραμμα Agisoft Metashape μπορούμε να εξάγουμε διάφορα χρήσιμα δεδομένα όπως, την αναπαράσταση των θέσεων των καμερών το οποίο υπολόγισε βάση τα κοινά γεωμετρικά στοιχεία των φωτογραφιών και μας δίνει μια Εικόνα της διαδρομής που έκανα με την κάμερα, καθώς και τα σημεία που καλύφθηκαν.

Οι παρακάτω εικόνες αφορούν τον πρώτο όροφο του κτιρίου Ηλεκτρονικής :



Εικόνα 5.3.1 : Αναπαράσταση θέσεων καμερών Α



Εικόνα 5.3.2 : Αναπαράσταση θέσεων καμερών Β



Εικόνα 5.3.3 : Αναπαράσταση θέσεων καμερών Γ



Εικόνα 5.3.4 : Αναπαράσταση θέσεων καμερών Δ

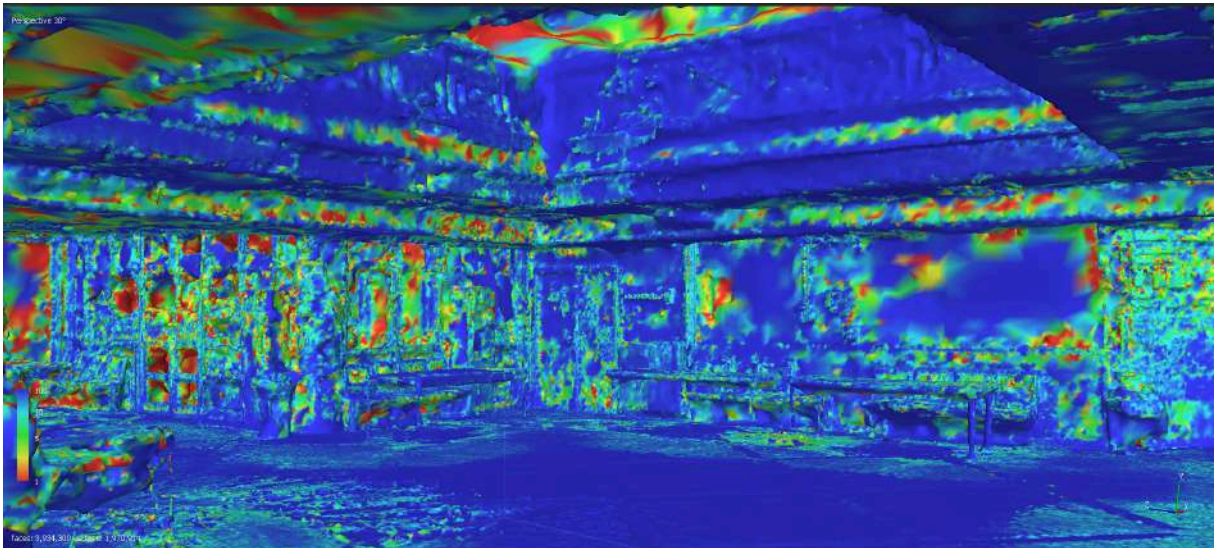
5.4 Αποτελέσματα Φωτογραμμετρίας

Παρακάτω αναθέτω σημαντικά δεδομένα και συγκρίσεις για την κατανόηση της απόδοσης της φωτογραμμετρίας.

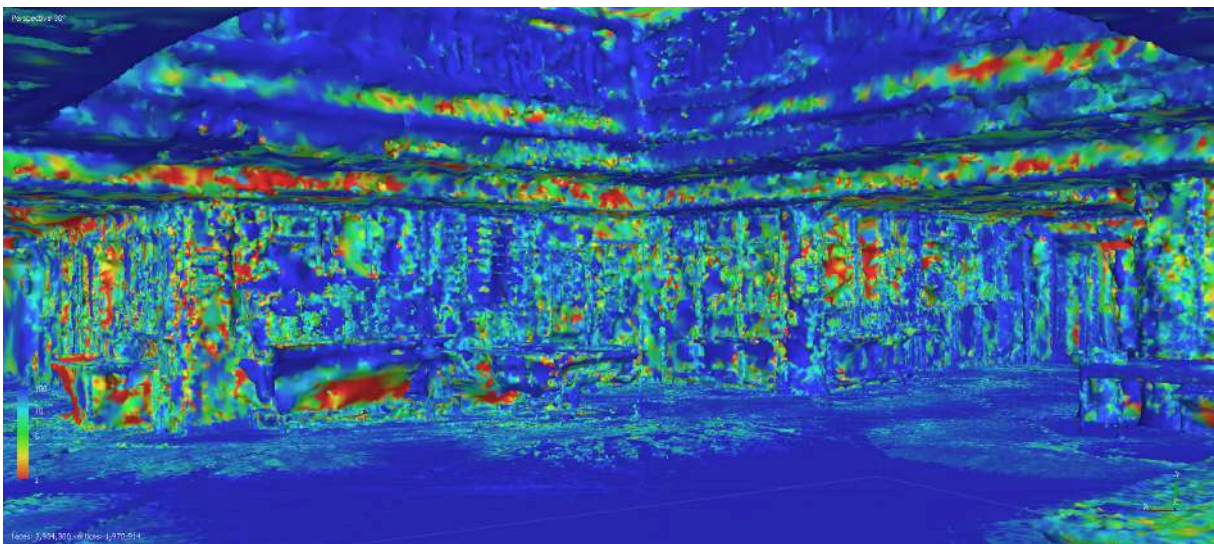


Εικόνα 5.4.1 και 4.4.2 : Σύγκριση φωτογραφίας και τρισδιάστατο μοντέλο με υφή

Κατά την επεξεργασία του τρισδιάστατου μοντέλου στο Agisoft Metashape, παρέχεται η δυνατότητα προβολής της εμπιστοσύνης του μοντέλου (Model Confidence) μέσω ειδικής χρωματικής απεικόνισης. Ενεργοποιώντας την αντίστοιχη επιλογή από τη γραμμή εργαλείων προβολής, το μοντέλο εμφανίζεται με χρωματική διαβάθμιση που αντικατοπτρίζει το επίπεδο εμπιστοσύνης στα δεδομένα κάθε περιοχής. Συγκεκριμένα, οι αποχρώσεις του μπλε και του πράσινου υποδεικνύουν περιοχές υψηλής εμπιστοσύνης, όπου η ανακατασκευή είναι πιο ακριβής και τα δεδομένα πιο αξιόπιστα. Αντίθετα, οι αποχρώσεις προς το κόκκινο αντιπροσωπεύουν περιοχές με χαμηλή εμπιστοσύνη, όπου το λογισμικό αντιμετώπισε δυσκολίες στην ακριβή ανακατασκευή του μοντέλου, πιθανώς λόγω ανεπαρκούς επικαλυπτόμενης πληροφορίας ή θορύβου στα δεδομένα.



Εικόνα 5.4.3 Προβολή Εμπιστοσύνης Μοντέλου



Εικόνα 5.4.4 : Αναπαράσταση του Model Confidence view

Από τις παραπάνω προβολές μοντέλου, που μπορούμε να βρούμε στη γραμμή εργαλείων, αποκαλύπτεται το πλέγμα σε μια νέα χρωματική διαβάθμιση με το κόκκινο να είναι περιοχές ανησυχίας και το μπλε/πράσινο να είναι περιοχές υψηλής εμπιστοσύνης.

Οι παρακάτω αναφορές επεξεργασίας μας βοηθούν να καταλάβουμε την επίδοση της διαδικασίας. Από το Processing Report, που έκανα generate από το Metashape, για το μοντέλο του πρώτου ορόφου έχουμε τα παρακάτω :

Digital Elevation Model

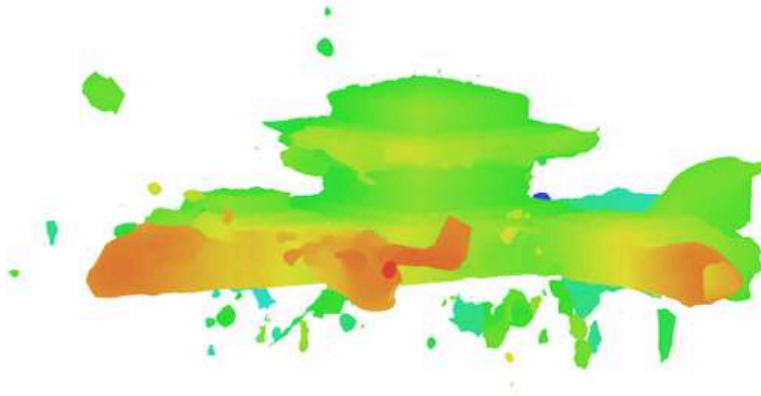


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Εικόνα 5.4.5 Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου του πρώτου ορόφου (DEM)

Processing Parameters

General

Images	274
Aligned images	274
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	113,296 of 217,239
RMS reprojection error	0.743288 (3.19956 pix)
Max reprojection error	2.36896 (98.5571 pix)
Mean key point size	3.98407 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.43536

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Sequential
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	9 minutes 56 seconds
Matching memory usage	2.29 GB
Alignment time	3 minutes 46 seconds
Alignment memory usage	368.30 MB
Date created	2024:06:01 23:35:01
Software version	2.1.1.17821
File size	21.27 MB

Depth Maps

Count	274
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	21 minutes 9 seconds
File size	592.12 MB

Point Cloud

Points	28,427,412
Coordinate precision	2.25 mm
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	28,427,412
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16

Processing time	21 minutes 9 seconds
Point cloud generation parameters	
Source data	Depth maps
Processing time	1 hours 17 minutes
Date created	2024:06:02 01:24:13
Software version	2.1.1.17821
File size	377.62 MB
Model	
Faces	3,934,300
Vertices	1,970,914
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	8,192 x 8,192, 3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	21 minutes 9 seconds
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	3 minutes 57 seconds
Memory usage	2.95 GB
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	8,192
Page count	1
Enable hole filling	No
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	3 minutes 9 seconds
UV mapping memory usage	2.75 GB
Blending time	5 seconds
Blending memory usage	467.86 MB
Date created	2024:06:02 14:46:17
Software version	2.1.1.17821
File size	218.75 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.2.0 build 19890
OS	Windows 64 bit
RAM	31.92 GB
CPU	AMD Ryzen 5 5600X 6-Core Processor
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti

Αντίστοιχα για το μοντέλο του δευτέρου ορόφου έχουμε τα παρακάτω στοιχεία :

Digital Elevation Model

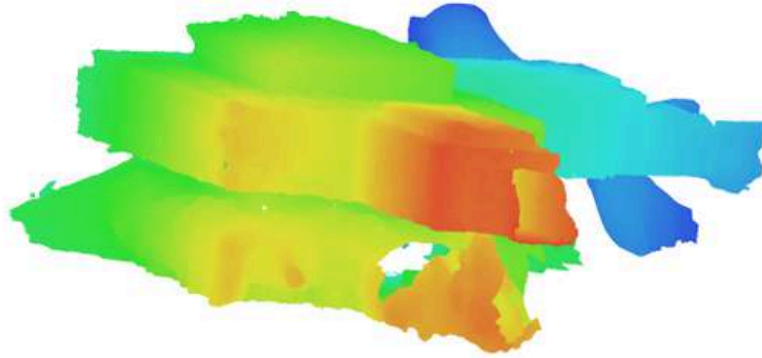


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Εικόνα 5.4.6 Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου του δεύτερου ορόφου (DEM)

Processing Parameters

General

Images	281
Aligned images	281
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	132,891 of 247,253
RMS reprojection error	1.37849 (5.249 pix)
Max reprojection error	4.34493 (268.739 pix)
Mean key point size	3.87858 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.79021

Alignment parameters

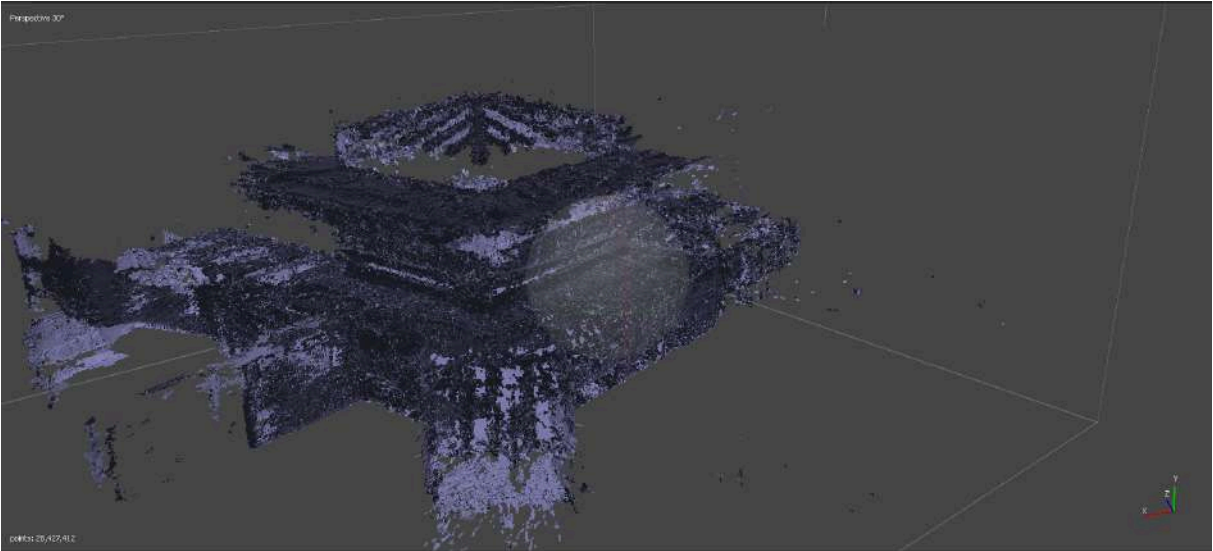
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Sequential
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	9 minutes 5 seconds
Matching memory usage	2.28 GB
Alignment time	3 minutes 25 seconds
Alignment memory usage	339.37 MB
Date created	2024:06:03 17:15:02
Software version	2.1.1.17821
File size	21.86 MB

Depth Maps

Count	281
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 hours 44 minutes
Memory usage	9.73 GB
Date created	2024:06:04 01:26:34
Software version	2.1.1.17821
File size	491.27 MB

Depth Maps	
Count	281
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 hours 44 minutes
Memory usage	9.73 GB
Date created	2024:06:04 01:26:34
Software version	2.1.1.17821
File size	491.27 MB
Point Cloud	
Points	18,696,445
Coordinate precision	3.38 mm
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	18,696,445
Depth maps generation parameters	

Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	21 minutes 26 seconds
Point cloud generation parameters	
Source data	Depth maps
Processing time	28 minutes 32 seconds
Date created	2024:06:03 18:58:15
Software version	2.1.1.17821
File size	245.66 MB
Model	
Faces	6,225,969
Vertices	3,129,652
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 hours 44 minutes
Memory usage	9.73 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	7 minutes 20 seconds
Memory usage	7.34 GB
Date created	2024:06:04 01:33:39
Software version	2.1.1.17821
File size	133.90 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.2.0 build 19890
OS	Windows 64 bit
RAM	31.92 GB
CPU	AMD Ryzen 5 5600X 6-Core Processor
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti



Εικόνα 4.3.5 : Σύννεφο σημείων 28.427.412 σημείων



Εικόνα 4.3.6 : Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο με υφή

Κεφάλαιο 6ο: Ανάπτυξη Εφαρμογής

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η πλήρης αναφορά της διαδικασίας και εκπόνησης της ανάπτυξης της εφαρμογής. Η ανάπτυξη χωρίζεται σε μέρη, 360 και 3D έκδοση και η σχεδίαση της ξεχωρίζει στις δύο πλατφόρμες Web και VR.

6.2 Προετοιμασία

Για τα δεδομένα του project (φωτογραφίες και βίντεο) χρησιμοποίησα την Insta360 Pro 2 κάμερα, στο 360 Tour χρειάστηκα να πάρω συγκεκριμένες φωτογραφίες, 15 στο σύνολο, έστησα την κάμερα σε κομβικά σημεία ενδιαφέροντος και τράβηξα 360 φωτογραφίες 8K ανάλυσης, ενώ για το 3D Tour έπρεπε να τραβήξω βίντεο περπατώντας με την κάμερα σε μια συνεχόμενη διαδρομή έτσι ώστε να συλλέξω όσο περισσότερα data μπορούσα για την Φωτογραμμετρία. Τράβηξα δύο βίντεο συνολικά, ένα για κάθε όροφο, αργότερα με την χρήση του Blender έκανα extract τα frames, με output σε .png, με frame Range από το αρχικό χρήσιμο frame μέχρι το τελευταίο χρήσιμο frame του βίντεο και με Step 4, το οποίο ως output είχε περίπου 280 φωτογραφίες για κάθε όροφο. Από την μελέτη που έκανα για την φωτογραμμετρία καθώς και από τις δοκιμές που έκανα, έφτασα στο συμπέρασμα πως ο ιδανικότερος αριθμός των φωτογραφιών ήταν 200 με 300, τα οποία έπρεπε να τροφοδοτήσω στο Metashape για την παραγωγή των 3D μοντέλων και των textures με την καλύτερη απόδοση.

Όπως ανέφερα παραπάνω από την μελέτη της φωτογραμμετρίας προέκυψε πως δεν έπρεπε να χρησιμοποιήσω όλα τα frames του βίντεο. Η υπερβολική επανάληψη, δηλαδή τα συνεχόμενα frames έχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους, έτσι εμφανίζονται τα παρακάτω προβλήματα:

- Αυξημένα λάθη ευθυγράμμισης: Μικρές ασάφειες ή κουνήματα μπερδεύουν τους αλγόριθμους φωτογραμμετρίας.
- Τεράστιος χρόνος επεξεργασίας: Αργεί πολύ ή μπορεί να κολλήσει το λογισμικό.
- Σπατάλη αποθηκευτικού χώρου: Πολύ μεγάλα datasets χωρίς λόγο

6.3 Πακέτα και Assets

Για την δημιουργία της VR εφαρμογής χρησιμοποίησα το πακέτο “XR Interaction Toolkit”, το πακέτο “Oculus Hands” / “Oculus Hands How to Make a VR Game 2022” για την απεικόνιση των controllers στο VR και το Skybox Series Free για την απεικόνιση του Skybox περιβάλλον.

6.4 XR Interaction Toolkit

Το πακέτο XR Interaction Toolkit είναι ένα σύστημα αλληλεπίδρασης υψηλού επιπέδου, βασισμένο σε στοιχεία, για τη δημιουργία εμπειριών VR και AR. Παρέχει ένα πλαίσιο που καθιστά διαθέσιμες αλληλεπιδράσεις 3D και διεπαφής χρήστη από συμβάντα εισαγωγής Unity. Ο πυρήνας αυτού του συστήματος είναι ένα σύνολο βασικών στοιχείων Interactor και Interactable, και ένας Διαχειριστής αλληλεπίδρασης που συνδέει αυτούς τους δύο τύπους στοιχείων μεταξύ τους. Περιέχει επίσης στοιχεία που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για μετακίνηση και σχεδίαση γραφικών.

Το XR Interaction Toolkit περιέχει ένα σύνολο στοιχείων που υποστηρίζουν τις ακόλουθες εργασίες αλληλεπίδρασης:

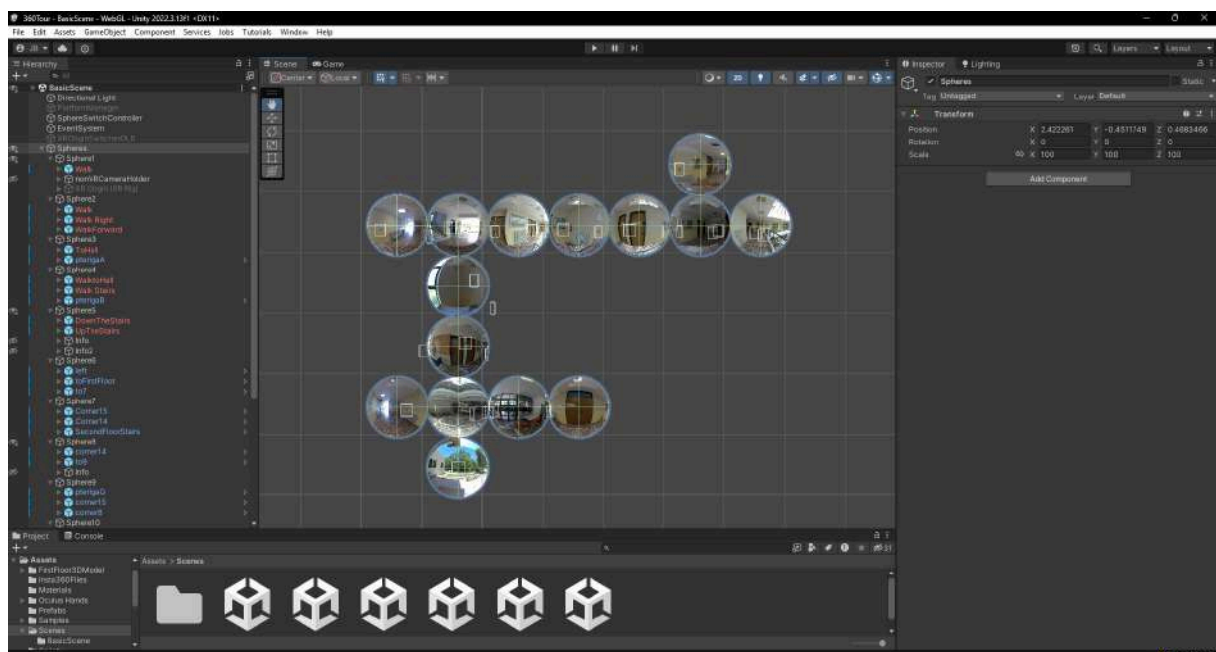
- Είσοδος ελεγκτή XR μεταξύ πλατφορμών: Meta Quest (Oculus), OpenXR, Windows Mixed Reality και άλλα.
- Βασικό αντικείμενο, τοποθετήστε το δείκτη του ποντικιού, επιλέξτε και πιάστε
- Απτική ανάδραση μέσω ελεγκτών XR

- Οπτική ανατροφοδότηση (απόδοση απόχρωσης/γραμμής) για την ένδειξη πιθανών και ενεργών αλληλεπιδράσεων
- Βασική αλληλεπίδραση διεπαφής χρήστη καμβά με ελεγκτές XR
- Βοηθητικό πρόγραμμα για αλληλεπίδραση με το XR Origin, μια συσκευή κάμερας VR για το χειρισμό εμπειριών εικονικής πραγματικότητας σε σταθερή και κλίμακα δωματίου

6.5 Οργάνωση του Project και Βασική Υλοποίηση

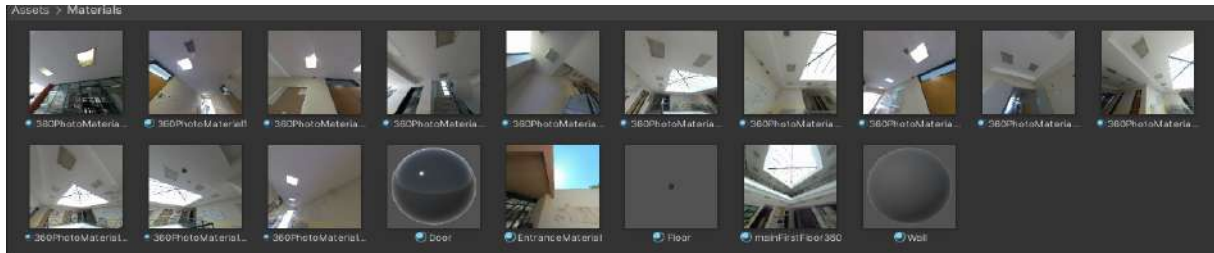
Η υλοποίηση της εφαρμογής 360 Tour βασίστηκε στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος με σφαιρικά αντικείμενα (3D sphere Game Objects), το καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια 360° φωτογραφία. Πήρα αυτή την απόφαση για την καλύτερη διαχείριση και επειδή ήθελα κατά την έναρξη της εφαρμογής να φορτώνω όλο το περιβάλλον και να μετακινώ την κάμερα από σφαίρα σε σφαίρα με θέση το κέντρο των σφαιρών, έτσι εξάλειψα τυχόν καθυστέρηση για την φόρτωση της επόμενης φωτογραφίας (6K ανάλυσης) κατά την διάρκεια της περιήγησης, διασφαλίζοντας μια γρήγορη και ομαλή εμπειρία χρήστη. Ο χρήστης "βρίσκεται" μέσα στη σφαίρα, καθώς η κάμερα τοποθετείται στο κέντρο της, δίνοντάς του τη δυνατότητα να περιστρέφεται και να βλέπει το περιβάλλον γύρω του.

Έχω τοποθετήσει τις σφαίρες σε μια δομή τοπολογίας χώρων, οργανωμένες με αυτόν τον τρόπο μου δίνει δυο πλεονεκτήματα, βοηθά να δω πού οδηγεί κάθε σημείο και η δομή είναι modular, άρα εύκολα επεκτάσιμη για περισσότερα δωμάτια ή ορόφους.



Εικόνα 5.5.1 : Δομή τοπολογία σφαιρών

Δημιούργησα materials για κάθε μια φωτογραφία και στον Inspector όρισα τον shader ως Skybox/Panoramic, το Mapping σε Latitude Longitude Layout και το Image Type σε 360 Degrees, με αυτόν τον τρόπο μπορεί η κάθε πανοραμική φωτογραφία να προβάλεται και αναδιπλώνεται σωστά, έτσι ώστε να μπορεί η κάμερα που είναι στο εσωτερικό της σφαίρας να κάνει το επιθυμητό render.



Εικόνα 5.5.2 : Δημιουργημένα Materials από τις φωτογραφίες

Για τη μετάβαση από τη μία τοποθεσία στην άλλη, δημιουργήθηκε ένα controller αλλαγής σφαιρών μέσω C# Monobehaviour script, το οποίο αλλάζει τη θέση της κάμερας από το κέντρο μιας σφαίρας στην επόμενη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια αίσθηση πλοήγησης σε διαφορετικούς χώρους, και η εικονική περιήγηση (virtual tour). Η πλοήγηση επιτυγχάνεται μέσω κουμπιών, κάνοντας κλικ το σύμβολο “πατημασιά από παπούτσια” εντός της κάθε σφαίρας. Στο event OnHover το εικονίδιο αλλάζει χρώμα (από γκρι σε μπλε) για να γίνει στον χρήστη κατανοητό ότι πρόκειται να κάνει την επιλογή για μετακίνηση.



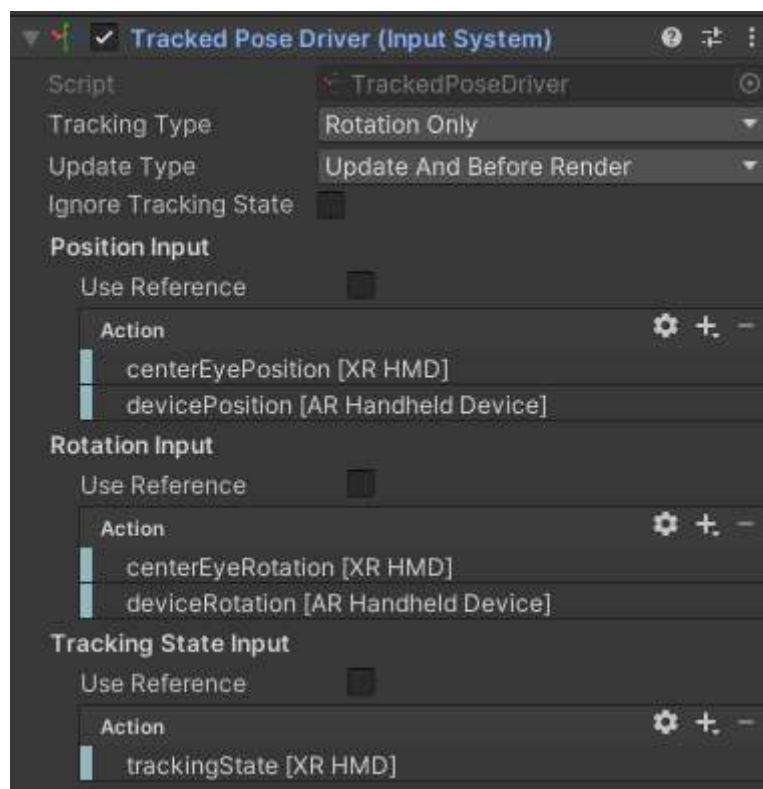
Εικόνα 5.5.4 : Διεπαφή χρήστη, κουμπί “Footsteps” για αλλαγή χώρου

Στο script για την μετακίνηση της κάμερας έχω καθορίσει επίσης ποιά game Objects θα εμφανίζονται ανάλογα με την σφαίρα που βρίσκεται μέσα η κάμερα, αυτό το έκανα αναθετοντας τα game object στις κατάλληλες μάσκες και αλλάζοντας το Culling Mask (Μάσκα Απόκρυψης) της κάμερας κάθε φορά που αλλάζει σφαίρα, αυτό το έκανα διότι ήθελα να έχω έλεγχο στα Canvas που έβαλα για τις πληροφορίες της σχολής που γίνονται display σε κάποια σημεία και επειδή κατα την διάρκεια του development πρόσεξα πως στο unity το Shader Skybox γίνεται rendered πάντα, ακόμα και μέσα από άλλα gameObjects δίνοντας ένα μη επιθυμητό αποτέλεσμα.



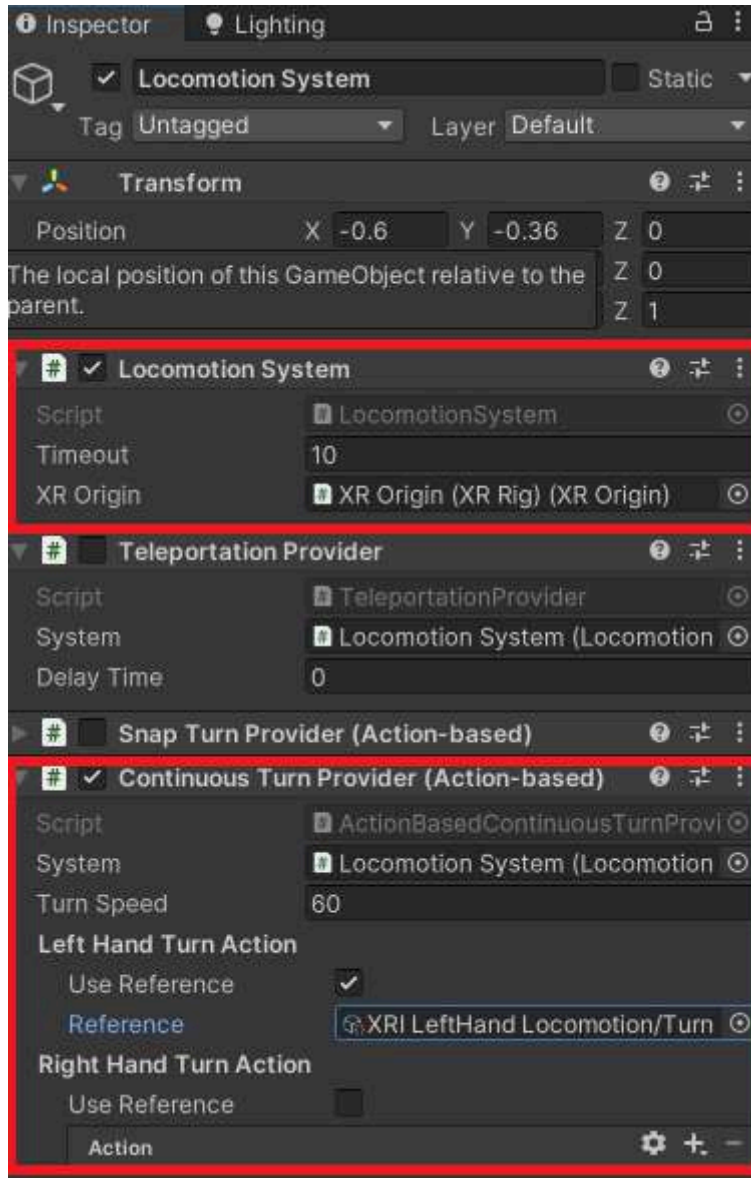
Εικόνα 5.5.5 : Οι σφαίρες που χρησιμοποιούν Skybox Shader φαίνεται να επικαλύπτονται λανθασμένα μεταξύ τους κατά το render

Δημιούργησα δύο διαφορετικά camera holder Game Objects το “nonVRCameraHolder” για το Web και το “XR Origin (XR Rig)” για το VR, η διαφοράς στις κάμερες είναι στα controller scripts και στα component τους, το “Main Camera” του XR Rig έχει το “Tracked Pose Driver” component το οποίο χρησιμοποιείται για να συγχρονίζει τη θέση και την περιστροφή της κάμερας με το VR headset του χρήστη. Έτσι, οι κινήσεις του κεφαλιού μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο στο ψηφιακό περιβάλλον, προσφέροντας ρεαλιστική και διαδραστική εμπειρία. Επιπλέον έχω επιλέξει Tracking Type Rotation Only διότι θέλω η κάμερα να μένει σταθερή πάντα στο κέντρο και να μπορεί μόνο να γίνει περιστροφή της.



Εικόνα 5.5.6 : Component για παρακολούθηση θέσης κεφαλιού

Ακόμα, στο XR Rig σημαντικό component είναι το “Locomotion System” το οποίο ελέγχει πώς κινείται ο χρήστης μέσα στο VR περιβάλλον με ασφαλή και συνεπή τρόπο και σε συνδυασμό με το “Continuous Turn Provider” script που είναι action based controller, χρησιμοποιώντας για Input τα κουμπιά στα χειριστήρια επιτυγχάνεται το rotation της κάμερας.

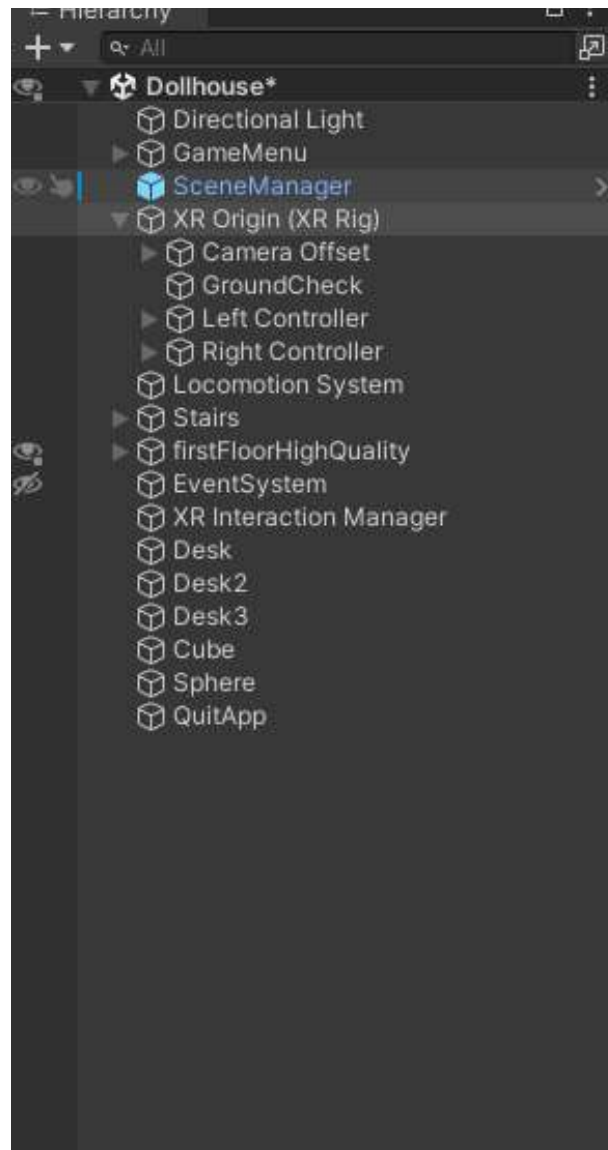


Εικόνα 5.5.7 : Components Παροχής Κίνησης και Συνεχούς Στροφής

6.6 3D/Dollhouse Tour version

Η εφαρμογή του Dollhouse/3D Tour αποτελεί ένα proof of concept σενάριο Virtual Tour. Στο Unity έχω χωρίσει σε δύο Scenes (σκηνές) τα δύο μοντέλα των δύο ορόφων. Έχω δημιουργήσει ένα XR Origin(XR Rig) Game Object το οποίο έχει ως Children Game Objects τα βασικά στοιχεία για να δουλέψει σωστά το VR. Το Camera Offset που περιέχει την Main Camera και βοηθάει στο ποιά θα είναι η θέση της κάμερας σε σχέση με το υπόλοιπο σώμα. Τα Left και Right Controllers για την αναπαράσταση και τον έλεγχο των χειριστηρίων/εικονικών χεριών. Και ένα Empty Game Object “GroundCheck” το οποίο έφτιαξα για να μπορώ με το value από το Transform να κάνω έλεγχο για το

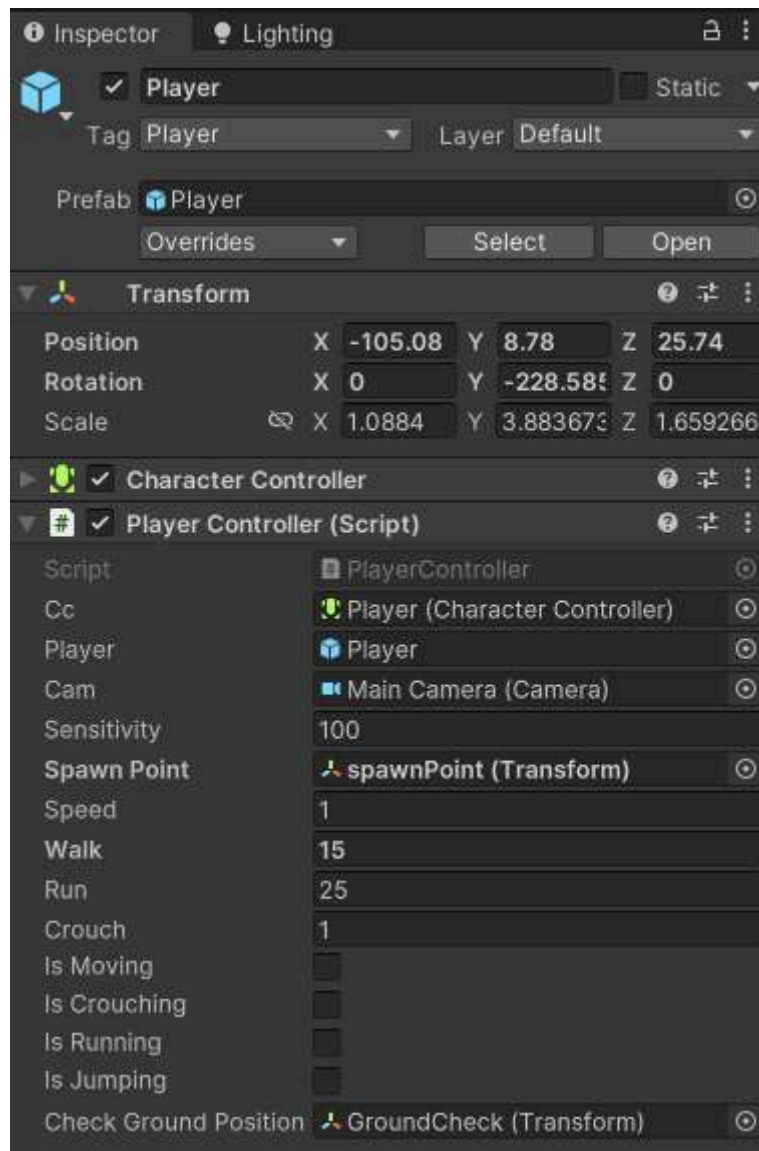
αν ο παίκτης έχει επαφή με το ‘floor’ (πάτωμα). Ακόμα έχω ορίσει το tag “Player” για να ακολουθεί την λογική του script “PlayerController”.



Εικόνα 5.6.1 : Βασικό αντικείμενο για Ανάπτυξη VR/XR εφαρμογών “XR Origin”

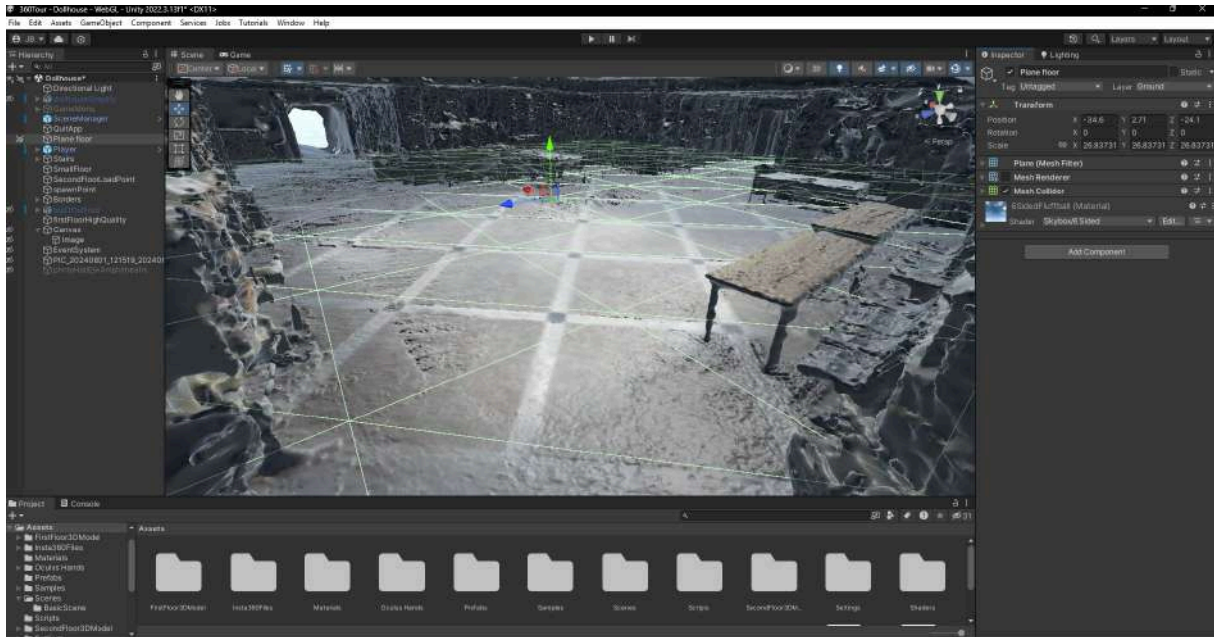
Το XR Origin είναι ένα βασικό component στο Unity XR Interaction Toolkit και χρησιμεύει ως το σημείο αναφοράς για την τοποθέτηση και την κίνηση του XR χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Περιλαμβάνει την κάμερα και τους ελεγκτές (controllers), επιτρέποντας στον χρήστη να βλέπει και να αλληλεπιδρά με τον κόσμο. Ο Input Action Manager διαχειρίζεται τις εισόδους του χρήστη (π.χ., κινήσεις, πατήματα κουμπιών) βασισμένος στο νέο Input System της Unity, επιτρέποντας την εύκολη παραμετροποίηση των εντολών και τη σύνδεση τους με τις ενέργειες στον XR κόσμο. Τέλος, ο Continuous Move Provider είναι υπεύθυνος για τη συνεχή κίνηση του χρήστη μέσα στο περιβάλλον (π.χ., μετακίνηση με τον αριστερό μοχλό του controller), προσφέροντας μια πιο φυσική εμπειρία πλοήγησης αντί για τηλεμεταφορά (teleportation). Μαζί, αυτά τα components συνεργάζονται για να προσφέρουν μια ολοκληρωμένη και ρεαλιστική εμπειρία XR.

Το XR Origin έχει το Character Controller component, το οποίο είναι ένα ενσωματωμένο component που χρησιμοποιείται για να χειρίζεται την κίνηση χαρακτήρων (ιδιαίτερα σε FPS, 3D platformers ή RPGs) χωρίς να χρησιμοποιεί τη φυσική του Rigidbody, καθώς και ένα script “Player Controller” για περαιτέρω ελέγχους.



Εικόνα 5.6.2 : Αντικείμενο Player Prefab και τα Components του

Στο πάτωμα του 3D model έχω προσθέσει ένα plane με Mesh Collider component για να επιτρέψω τα physics των collisions ώστε ο Player να μένει πάνω και να μπορεί να προχωρήσει.



Εικόνα 5.6.3 : Collider από το πλέγμα «δαπέδου»

6.7 Κώδικας

Παρακάτω θα αναφέρω και θα αναλύσω τα scripts που έφτιαξα. Αρχικά όταν ξεκίνησα το project ήθελα να δημιουργήσω 15 materials βάση στις 15 φωτογραφίες που είχα οπότε έγραψα ένα μικρό script για να κάνω αυτή την διαδικασία αυτόματα. Δημιουργώ ένα αντικείμενο τύπου Shader το οποίο ορίζω στο Editor να είναι Skybox/Panoramic. Κάνω μια for Loop και μέσα δημιουργώ ένα αντικείμενο τύπου Material και του ορίζω τον Shader, στην συνέχεια αναθέτω ένα string για το όνομα και χρησιμοποιώ την μέθοδο CreateAsset() για να δημιουργήσω τα Materials.

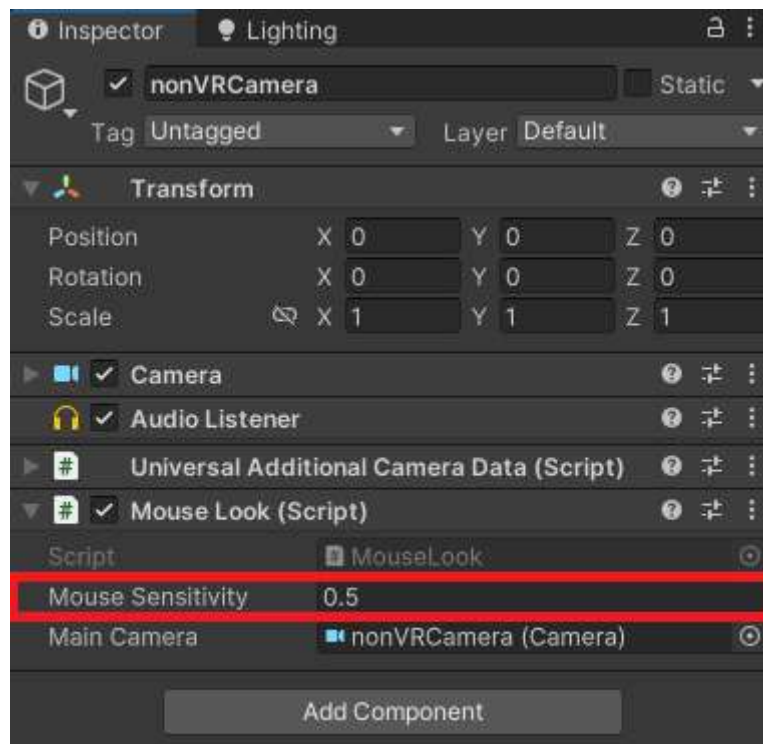
```

CreateMaterials.cs*
Miscellaneous Files
1  using UnityEditor;
2  using UnityEngine;
3
4  public class CreateMaterials : MonoBehaviour
5  {
6      public Shader panoramicShader; // Reference to the Skybox/Panoramic shader
7
8      void Start()
9      {
10
11          for (int i = 0; i < 14; i++)
12          {
13              // Create a new material
14              Material material = new Material(panoramicShader);
15
16              // Assign a unique name to the material
17              material.name = "360PhotoMaterial" + i;
18              AssetDatabase.CreateAsset(material, "Assets/Materials/360PhotoMaterial" + i + ".mat");
19          }
20      }
21
22  }
23

```

Εικόνα 5.7.1 : Script για δημιουργία υλικών

Για την έκδοση του Web έφτιαξα ένα camera control script που ελέγχει το rotation της κάμερας. Ο παρακάτω κώδικας αφορά τον έλεγχο της κάμερας με το ποντίκι και εκτελείται κάθε frame μέσω της Update() συνάρτησης. Έχω ορίσει μια μεταβλητή mouseSensitivity για να μπορώ να αλλάζω το πόσο γρήγορο θα είναι rotation μέσα από τον editor.



Εικόνα 5.7.2 : Script για περιστροφή κάμερας και μεταβλητή Ευαισθησίας

Όταν το αριστερό κλικ του ποντικιού (κουμπί 0) πατιέται, ενεργοποιείται η μεταβλητή isDragging — δηλαδή γίνεται έλεγχος για το αν ο χρήστης "σέρνει" (drag) με το ποντίκι. Όσο είναι ενεργό το isDragging, διαβάζεται η κίνηση του ποντικιού (Mouse X και Mouse Y) ως μετατόπιση, σε Vector2.

Η κίνηση αυτή πολλαπλασιάζεται με την ευαισθησία (mouseSensitivity) για να πετύχω την ανάπτυξη της ταχύτητας.

```

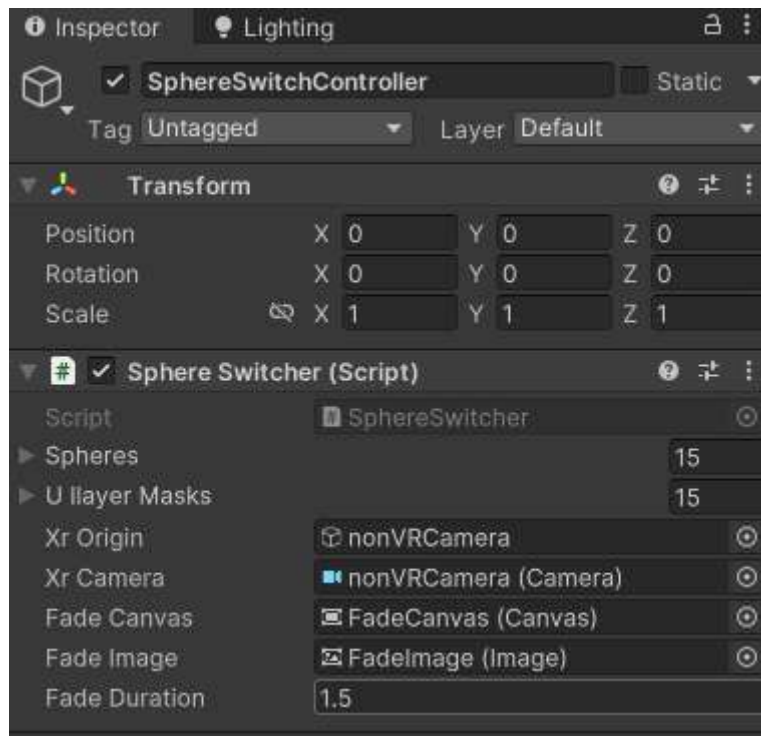
MouseLook.cs* X
Assembly-CSharp MouseLook
6
7 public float mouseSensitivity = 0.01f; // Adjust sensitivity for dragging
8 public Camera MainCamera; // Reference to camera
9 private Vector2 lookInput; // Variable to store mouse movement
10 private float xRotation = 0f;
11 private bool isDragging = false;
12
13 Unity Message | 0 references
14 void Start()
15 {
16     Cursor.lockState = CursorLockMode.None;
17     Cursor.visible = true;
18 }
19 Unity Message | 0 references
20 void Update()
21 {
22     if (Input.GetMouseButton(0)) // 0 is left mouse button
23     {
24         isDragging = true;
25     }
26     else
27     {
28         isDragging = false;
29     }
30     if (isDragging)
31     {
32         // Get mouse movement (delta)
33         lookInput.x = Input.GetAxis("Mouse X");
34         lookInput.y = Input.GetAxis("Mouse Y");
35
36         float mouseX = lookInput.x * mouseSensitivity;
37         float mouseY = lookInput.y * mouseSensitivity;
38
39         // Adjust camera rotation based on mouse movement
40         xRotation -= mouseY;
41         xRotation = Mathf.Clamp(xRotation, -90f, 90f);
42
43         transform.localRotation = Quaternion.Euler(xRotation, transform.localEulerAngles.y + mouseX, 0f);
44     }
45 }

```

Η λογική είναι ότι όταν ο χρήστης κινεί το mouse στον οριζόντιο άξονα (x) κάνω rotate την κάμερα στον κάθετο άξονα (y) και το αντίστροφο.

Ο κάθετος άξονας περιστροφής (xRotation) ενημερώνεται και περιορίζεται με την Mathf.Clamp() ώστε να μην ξεπερνά τις γωνίες περιστροφής (π.χ. για να μη γυρίζει ανάποδα η κάμερα).

Η τελική περιστροφή της κάμερας εφαρμόζεται με την μέθοδο Quaternion.Euler() ορίζοντας την περιστροφή και στους τρεις άξονες αλλά με τιμή 0f στον z.



Εικόνα 5.7.3 : Script για αλλαγή θέσης κάμερας μεταξύ σφαιρών

Για την αλλαγή από σφαίρα σε σφαίρα έχω φτιάξει το επόμενο script. Εδώ η μέθοδος “SwitchToSphere” παίρνει ως παράμετρο έναν Integer αριθμό ο οποίος αντιπροσωπεύει τα διαφορετικές σφαίρες. Με το transform.SetParent() ορίζω το Parent Object τις κάμερας να αλλάζει και να γίνεται η σφαίρα που αντιστοιχεί το index.

```

SphereSwitcher.cs* X What's New? MouseLook.cs
Assembly-CSharp - SphereSwitcher
15 public Image FadeImage;
16 public float fadeDuration = 2.0f;
17
18
19 Unity Message | 0 references
20 void Start()
21 {
22     if (spheres == null || spheres.Count == 0)
23     {
24         Debug.LogError("No spheres assigned to the XROriginSwitcher.");
25         return;
26     }
27
28     // XR Origin starts as a child of the first sphere
29     SwitchToSphere(0);
30 }
31
32 1 reference
33 public void SwitchToSphere(int index)
34 {
35     //Debug.Log("Walk Button Clicked");
36     if (index < 0 || index >= spheres.Count)
37     {
38         Debug.LogError("Invalid sphere index.");
39         return;
40     }
41
42     // Move XR Origin to the specified sphere
43     xrOrigin.transform.SetParent(spheres[index].transform, false);
44     UpdateCullingMask(spheres[index].layer, UILayerMasks[index]);
45     StartCoroutine(FadeIn());
46 }

```

Για τον έλεγχο του παίκτη στο dollhouse έχω φτιάξει το επόμενο script.

Ορίζονται βασικές μεταβλητές για την κάμερα, την ευαισθησία του ποντικιού, τις ταχύτητες (βάδισμα, τρέξιμο, σκύψιμο), και ένα σημείο ελέγχου για το αν ο παίκτης πατάει στο έδαφος.

```

public CharacterController cc;
[SerializeField] private GameObject player;
[SerializeField] private Camera cam;
[SerializeField] private float Sensitivity;
public Transform spawnPoint;
[SerializeField] private float speed, walk, run, crouch;
//public TriggerZone triggerZone;

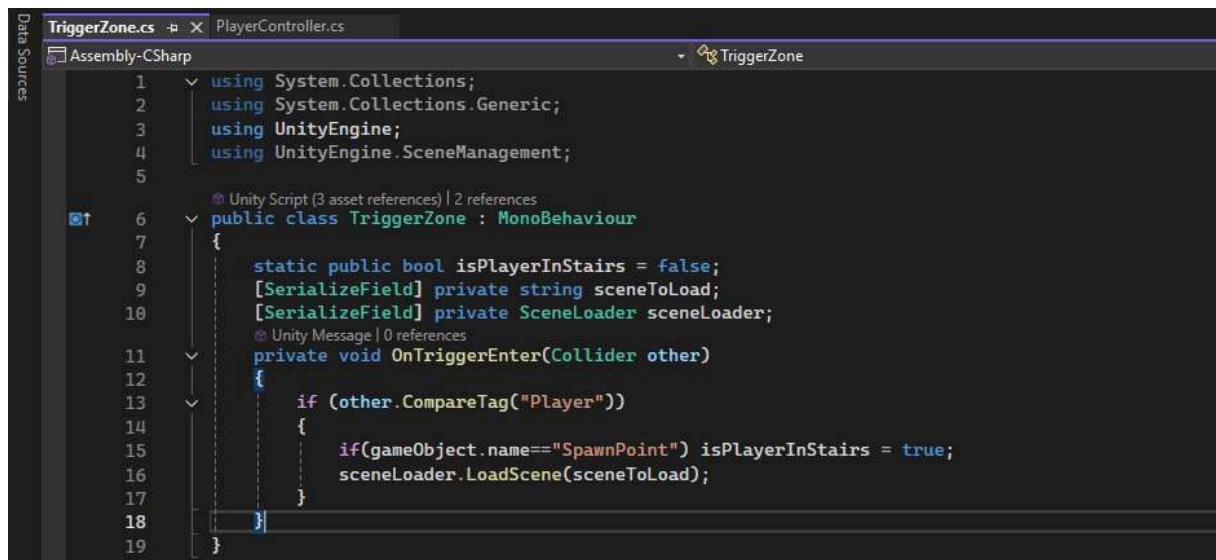
private Vector3 crouchScale, normalScale;
private bool isGrounded;
public bool isMoving, isCrouching, isRunning, isJumping;

private float X, Y;
[SerializeField] Transform checkGroundPosition;

```

Έχω θέσει ένα GameObject με όνομα “SecondFloorLoadPoint” και έχω βάλει ένα box collider ως Trigger και το script “Trigger Zone” ώστε να φορτώσω την επόμενη σκηνή με τον δεύτερο όροφο.

Αμα ο παίκτης κάνει collide με το Trigger Collider, τότε η μεταβλητή τύπου boolean isPlayerInStairs γίνεται true για να αποθηκεύσω την θέση του παίκτη. Αν ο παίκτης βρισκόταν στις σκάλες, τότε μεταφέρεται στο spawnPoint. Με την μέθοδο LoadScene() φορτώνω την καινούργια σκηνή.

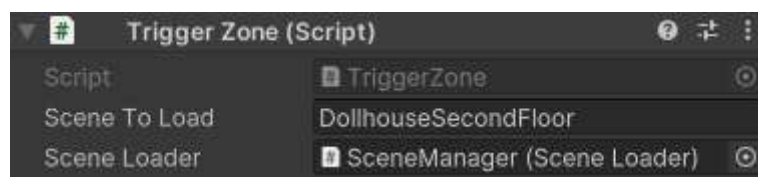


```

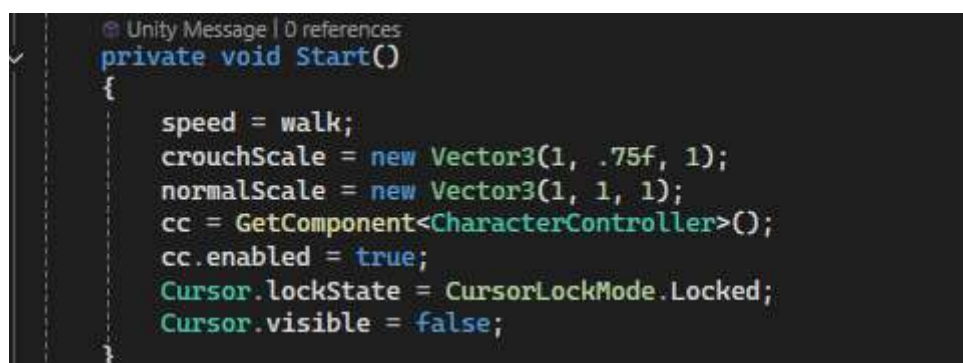
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class TriggerZone : MonoBehaviour
7  {
8      static public bool isPlayerInStairs = false;
9      [SerializeField] private string sceneToLoad;
10     [SerializeField] private SceneLoader sceneLoader;
11     private void OnTriggerEnter(Collider other)
12     {
13         if (other.CompareTag("Player"))
14         {
15             if (gameObject.name == "SpawnPoint") isPlayerInStairs = true;
16             sceneLoader.LoadScene(sceneToLoad);
17         }
18     }
19 }

```

Έχω χρησιμοποιήσει [SerializeField] για να κάνει τις μεταβλητές ορατές στον Inspector και από εκεί να ορίσω τιμές.



Στην Start μέθοδο γίνεται αρχικοποίηση του CharacterController, κρύβεται ο κέρσορας και κλειδώνεται στο κέντρο.



```

private void Start()
{
    speed = walk;
    crouchScale = new Vector3(1, .75f, 1);
    normalScale = new Vector3(1, 1, 1);
    cc = GetComponent<CharacterController>();
    cc.enabled = true;
    Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
    Cursor.visible = false;
}

```

Στην Update μέθοδο ακολουθεί η κύρια λογική για τον χειρισμό με πληκτρολόγιο και ποντίκι. Ο παρακάτω ο κώδικας επιτρέπει την περιστροφή του παίκτη βάσει της κίνησης του ποντικιού.

```

#region Camera Limitation Calculator
//Camera limitation variables
const float MIN_Y = -60.0f;
const float MAX_Y = 70.0f;

X += Input.GetAxis("Mouse X") * (Sensitivity * Time.deltaTime);
Y -= Input.GetAxis("Mouse Y") * (Sensitivity * Time.deltaTime);

if (Y < MIN_Y)
    Y = MIN_Y;
else if (Y > MAX_Y)
    Y = MAX_Y;
#endregion
transform.localRotation = Quaternion.Euler(Y, X, 0.0f);

```

Εδώ βλέπουμε πως ο παίκτης κινείται μπροστά, πίσω και πλευρικά με βάση το WASD. Και ενημερώνετε κάθε frame με την μέθοδο SimpleMove() του Character Controller όπου παίρνει παράμετρο μια τιμή διανύσματος. Η μέθοδος Normalize στη Unity (και γενικά στα μαθηματικά των διανυσμάτων) μετατρέπει ένα διάνυσμα σε μονάδα διανύσματος (unit vector) – δηλαδή, κρατά την κατεύθυνση του διανύσματος, αλλά το μήκος του το κάνει ίσο με 1. [24] Αυτό χρησιμοποιείται πολύ για την κίνηση παίκτη. Αν δεν κάνεις normalize, ο παίκτης κινείται πιο γρήγορα διαγώνια (π.χ. όταν πατάει W + D μαζί), γιατί τα διανύσματα προστίθενται και μεγαλώνει το μήκος. Ακόμα πολλαπλασιάζω το μήκος με την μεταβλητή speed τύπου float για να μπορώ να ορίζω την ταχύτητα. [25]

Ανάλογα με το key input αλλάζω της boolean μεταβλητές μου και θέτω το speed όπως θέλω.

```

float horizontal = Input.GetAxis("Horizontal");
float vertical = Input.GetAxis("Vertical");
Vector3 forward = transform.forward * vertical;
Vector3 right = transform.right * horizontal;

cc.SimpleMove(Vector3.Normalize(forward + right) * speed);
// Determines if the speed = run or walk
if (Input.GetKey(KeyCode.LeftShift))
{
    speed = run;
    isRunning = true;
}
//Crouch
else if (Input.GetKey(KeyCode.LeftControl))
{
    isCrouching = true;
    isRunning = false;
    speed = crouch;
    player.transform.localScale = crouchScale;
}
else
{
    isRunning = false;
    isCrouching = false;
    speed = walk;
    player.transform.localScale = normalScale;
}

// Check if the player is grounded using a sphere
isGrounded = Physics.CheckSphere(checkGroundPosition, 0.5f, LayerMask.GetMask("Ground"));
isJumping = !isGrounded;

```

Με την παρακάτω μέθοδο “ζωγραφίζω” μια σφαίρα για να με βοηθήσει στο Editor να ορίσω το σημείο επαφής του παίκτη με το πάτωμα.

```
Unity Message | 0 references
private void OnDrawGizmos()
{
    Gizmos.color = Color.red;
    Gizmos.DrawSphere(checkGroundPosition.position, 0.5f);
}
```

Τέλος επιτρέπω στον παίκτη να πηδήξει, ελέγχοντας αν πατάει το πάτωμα για να απαγορεύσω τα συνεχόμενα άλματα στον αέρα.

```
// Check if the player is grounded using a sphere
isGrounded = Physics.CheckSphere(checkGroundPosition.position, 0.5f, LayerMask.GetMask("Ground"));
isJumping = !isGrounded;

if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Space) && isGrounded)
{
    //isJumping= true;
    isGrounded = false;
    isRunning = false;
    cc.Move(Vector3.up * 5);
}
```

Με τον SceneManager και το component script SceneLoader του, πετυχαίνω την αλλαγή σκηνής καθώς και την αλλαγή του που κάνει spawn ο παίκτης ανάλογα. Χρησιμοποιώ μια Coroutine μέθοδο για να αλλάξω το player.transform.position, δηλαδή την θέση του παίκτη, αφού πρώτα φορτώσει η σκηνή.

```

private void OnSceneLoaded(Scene scene, LoadSceneMode mode)
{
    SceneManager.sceneLoaded -= OnSceneLoaded;
    StartCoroutine(SetPlayerPositionAfterLoad());
}

1 reference
private IEnumerator SetPlayerPositionAfterLoad()
{
    yield return null; // Wait one frame for objects to initialize

    GameObject spawn = GameObject.FindWithTag("SpawnPoint");

    if (spawn != null && player != null)
    {
        CharacterController controller = player.GetComponent<CharacterController>();
        if (controller != null)
        {
            controller.enabled = false; // Temporarily disable for safe reposition
            player.transform.position = spawn.transform.position;
            controller.enabled = true;
        }
        else
        {
            // If you're not using a CharacterController, just move the transform
            player.transform.position = spawn.transform.position;
        }
    }
    else
    {
        Debug.LogWarning("SpawnPoint or Player not found.");
    }
}

```

3.7 Μαθηματικά και Κίνηση στον 3D Χώρο

Η κίνηση σε 3D περιβάλλον (όπως το Unity) βασίζεται σε διανύσματα (vectors) τα οποία περιγράφουν κατεύθυνση και μέγεθος. Ένα διάνυσμα κίνησης Vector3 μπορεί να περιγραφεί ως:

❖ `Vector3 move = new Vector3(x, y, z);`

Όπου:

x = οριζόντια κίνηση (αριστερά/δεξιά)

y = κάθετη κίνηση (π.χ. άλμα, gravity)

z = εμπρός/πίσω κίνηση (μπροστά/πίσω)

Η τελική θέση του παίκτη σε κάθε frame υπολογίζεται προσθέτοντας αυτό το διάνυσμα στη θέση του:

❖ `transform.position += move * speed * Time.deltaTime;`

Όταν χρησιμοποιούμε `CharacterController.Move()`, η μετακίνηση είναι σχετική ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων του χαρακτήρα (δηλαδή σχετική με την κατεύθυνση που κοιτάει):

❖ `Vector3 inputDirection = new Vector3(input.x, 0, input.y);`

❖ `Vector3 worldDirection = transform.TransformDirection(inputDirection);`

❖ `controller.Move(worldDirection * speed * Time.deltaTime);`

Η `TransformDirection()` μετατρέπει το διάνυσμα από τοπικές σε παγκόσμιες συντεταγμένες, δηλαδή περιστρέφει το διάνυσμα σύμφωνα με τον προσανατολισμό του αντικειμένου.

Στις σύγχρονες VR εφαρμογές που αναπτύσσονται με το Unity, η προτιμώμενη προσέγγιση για τη διαχείριση εισόδων (input) είναι το New Input System. Σε αντίθεση με το παλαιότερο `Input.GetAxis` ή `Input.GetButton`, το νέο σύστημα παρέχει δομημένες και επεκτάσιμες "Input Actions", επιτρέποντας την εύκολη υποστήριξη πλήθους συσκευών όπως VR controllers, χειριστήρια, πληκτρολόγιο ή ακόμα και gestures.

Ιδιαίτερα στο πλαίσιο του XR Interaction Toolkit, το New Input System είναι στενά ενσωματωμένο με την αρχιτεκτονική του XR Rig και επιτρέπει τη χαρτογράφηση κινήσεων (όπως περπάτημα ή teleport) απευθείας από το joystick ή τα κουμπιά των χειριστηρίων VR.

Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται:

1. Ακρίβεια και συνέπεια στην ανάγνωση των χειριστηρίων.
2. Πολυπλατυφορμικότητα, με κοινό τρόπο διαχείρισης εισόδου για διαφορετικές συσκευές.
3. Ευελιξία, μέσω της χρήσης των `InputAction` και των `InputActionMaps`, που διευκολύνουν την οργάνωση πολύπλοκων συστημάτων εισόδου.

Η βασική ροή είναι:

- Δημιουργούμε ένα `Input Action Asset` στο Unity (π.χ. `XRInputActions.inputactions`).
- Δημιουργούμε `Actions` όπως `Move`, `Jump`, `Look`, κλπ.
- Αναθέτουμε τα actions σε συγκεκριμένα χειριστήρια (π.χ. `Left Thumbstick -> Move`).

Παράδειγμα χρήσης στον κώδικα:

```
❖ public InputActionProperty moveAction;

❖ void Update()
{
    Vector2 input = moveAction.action.ReadValue<Vector2>();
    Vector3 move = new Vector3(input.x, 0, input.y);
}
```

Το `InputActionProperty` επιτρέπει την απευθείας σύνδεση με το asset μέσω του Inspector.

- XR Toolkit Movement (XR Rig)

Στο XR Toolkit, η κίνηση χειρίζεται το XR Origin (ή XR Rig) και χρησιμοποιείται συχνά το `CharacterControllerDriver`, που προσαρμόζει το ύψος του παίκτη βάσει της θέσης του HMD (headset).

Ο βασικός βρόχος κίνησης για τον XR Rig:

- ❖ `Vector2 input = moveAction.action.ReadValue<Vector2>();`
- ❖ `Vector3 inputDirection = new Vector3(input.x, 0, input.y);`

Το οποίο χαρακτηρίζει την κίνηση προς την κατεύθυνση που κοιτάει το HMD (κάμερα)

- ❖ `Transform head = xrRig.cameraGameObject.transform;`
- ❖ `Vector3 forward = Vector3.ProjectOnPlane(head.forward, Vector3.up).normalized;`
- ❖ `Vector3 right = Vector3.ProjectOnPlane(head.right, Vector3.up).normalized;`
- ❖ `Vector3 move = (forward * inputDirection.y + right * inputDirection.x) * speed;`
- ❖ `characterController.Move(move * Time.deltaTime);`

Τι γίνεται εδώ μαθηματικά:

Το `ProjectOnPlane` αφαιρεί τη συνιστώσα ύψους από τα vectors `forward` και `right` για να εξασφαλίσει επίπεδη (οριζόντια) κίνηση στο έδαφος.

Η κατεύθυνση της κίνησης βασίζεται στο πού κοιτά ο παίκτης (HMD) και όχι στο local space του XR Rig.

Το τελικό διάνυσμα κίνησης δημιουργείται ως συνδυασμός των `forward/right` vectors κλιμακωμένων από την είσοδο (joystick).

3.8 Deployment

Για το deployment του web app σε Build Unity WebGL, Χρησιμοποίησα το Github για VersionControl και το Netlify με Free Subscription Plan για το deploy της σελίδας από το Github project. Για να ανεβάσω τα μεγάλα αρχεία του project στο GitHub χρησιμοποίησα το Git LFS (Large File Storage). Για το deployment της android εφαρμογής στην συσκευή meta quest 2 χρησιμοποίησα τα προγράμματα side quest και το meta quest link και έτσι έκανα install το apk.

3.9 Επίλογος

Η διαδικασία ανάπτυξης της εφαρμογής, τόσο για το 360° Tour όσο και για το 3D Dollhouse Tour, αποτέλεσε μια απαιτητική αλλά και εξαιρετικά εκπαιδευτική εμπειρία. Η επιλογή της Unity ως πλατφόρμα υλοποίησης παρείχε την απαραίτητη ευελιξία και τα εργαλεία για την αποτελεσματική ενσωμάτωση τόσο των φωτογραμμετρικών δεδομένων όσο και των απαιτούμενων στοιχείων αλληλεπίδρασης μέσω XR τεχνολογιών.

Η χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού όπως η κάμερα Insta360 Pro 2 και η επεξεργασία δεδομένων μέσω Blender και Metashape συνέβαλαν ουσιαστικά στην παραγωγή φωτορεαλιστικών μοντέλων και στην εξασφάλιση υψηλής ποιότητας περιεχομένου. Η προσεκτική προετοιμασία, η επιλογή του κατάλληλου αριθμού φωτογραφιών και η στρατηγική ανάπτυξη των scripts, συνέβαλαν στην αποδοτική και σταθερή λειτουργία της εφαρμογής, μειώνοντας προβλήματα απόδοσης και καθυστερήσεις φόρτωσης.

Η υλοποίηση της VR εκδοχής με το XR Interaction Toolkit και η χρήση controllers για αλληλεπίδραση απέδειξαν τη δυναμική των immersive εφαρμογών, ενώ η modular σχεδίαση του έργου εξασφαλίζει επεκτασιμότητα για μελλοντικές προσθήκες και αναβαθμίσεις.

Συνολικά, το κεφάλαιο αυτό αποτυπώνει με πληρότητα τη διαδικασία ανάπτυξης μιας διαδραστικής εφαρμογής εικονικής περιήγησης, συνδυάζοντας σύγχρονες τεχνικές φωτογραμμετρίας, ανάπτυξη λογισμικού και σχεδιασμό εμπειρίας χρήστη (UX). Το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει πως η τεχνολογία VR και τα ψηφιακά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν πλούσιες, ρεαλιστικές και προσαρμοσμένες εμπειρίες περιήγησης σε πληθώρα εφαρμογών.

Κεφάλαιο 7ο: Σενάρια Χρήσης και User Journeys

7.1 Εισαγωγή

Η τρισδιάστατη αποτύπωση εσωτερικών χώρων και η ενσωμάτωσή της σε ψηφιακές εφαρμογές προσφέρει πολλαπλά οφέλη και δυνατότητες σε ποικίλα πεδία. Η χρήση του 3D μοντέλου που προέκυψε από τη φωτογραμμετρική σάρωση του κτιρίου μπορεί να αξιοποιηθεί για εκπαιδευτικούς, τουριστικούς, αρχιτεκτονικούς ή και πολιτιστικούς σκοπούς. Ένα User Journey (διαδρομή χρήστη) είναι η αλληλουχία των βημάτων και εμπειριών που διανύει ένας χρήστης κατά την αλληλεπίδρασή του με ένα προϊόν, υπηρεσία ή εφαρμογή, με σκοπό την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Στην περίπτωση της τρισδιάστατης αποτύπωσης εσωτερικών χώρων και των εφαρμογών που την αξιοποιούν, το user journey περιγράφει πώς ο τελικός χρήστης πλοηγείται, εξερευνά και αλληλεπιδρά με το 3D μοντέλο και τα διαθέσιμα εργαλεία. Κατανοώντας τις ανάγκες και τη συμπεριφορά των χρηστών, μπορούμε να σχεδιάσουμε πιο λειτουργικές και αποτελεσματικές ψηφιακές εμπειρίες. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικά σενάρια χρήσης και οι διαδρομές των τελικών χρηστών (user journeys), ώστε να αναδειχθεί η πρακτική αξία του έργου.

7.2 Σενάριο Χρήσης: Εικονική Ξενάγηση Επισκεπτών (Virtual Tour)

Περιγραφή:

Ένας χρήστης (π.χ. τουρίστας ή ενδιαφερόμενος επισκέπτης) εισέρχεται στην ψηφιακή πλατφόρμα για να πραγματοποιήσει μια εικονική ξενάγηση στον χώρο. Δεν έχει φυσική πρόσβαση στο κτίριο (π.χ. λόγω απόστασης, ώρας ή κινητικής δυσκολίας) και επιθυμεί να αποκτήσει μια πλήρη εικόνα του χώρου μέσω της εικονικής αναπαράστασης.

User Journey:

Ο χρήστης επισκέπτεται τον ιστότοπο ή την εφαρμογή.

Επιλέγει την ενότητα "Εικονική Ξενάγηση".

Εμφανίζεται το 3D περιβάλλον, με δυνατότητα πλοήγησης 360°.

Ο χρήστης μετακινείται ελεύθερα στον χώρο ή ακολουθεί προκαθορισμένη διαδρομή.

Ενεργοποιεί σημεία ενδιαφέροντος (POIs) που περιέχουν πληροφορίες (κείμενο, ήχο, εικόνες, βίντεο).

Ολοκληρώνει την ξενάγηση και έχει τη δυνατότητα να δώσει ανατροφοδότηση ή να αποθηκεύσει/μοιραστεί την εμπειρία.

7.3 Σενάριο Χρήσης: Αρχιτεκτονική Μελέτη και Τεκμηρίωση

Περιγραφή:

Ένας αρχιτέκτονας ή μηχανικός χρειάζεται ακριβή αποτύπωση του εσωτερικού χώρου για σκοπούς ανακαίνισης, επανασχεδιασμού ή μελέτης. Το 3D μοντέλο λειτουργεί ως ψηφιακή μακέτα (digital twin), επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις, ανάλυση γεωμετρίας και σχεδιαστική προσομοίωση.

User Journey:

Ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στα raw 3D δεδομένα (.obj, .fbx ή point cloud).

Εισάγει το μοντέλο σε λογισμικό CAD ή BIM (π.χ. AutoCAD, Revit).

Πραγματοποιεί μετρήσεις, εντοπίζει προβληματικά σημεία, προτείνει λύσεις.

Συγκρίνει το υπάρχον μελλοντικό σχέδιο (με εργαλείο overlay).

Εκτελεί τεκμηρίωση ή παράγει τεχνικές αναφορές με βάση την ψηφιακή αναπαράσταση.

7.4 Σενάριο Χρήσης: Εκπαιδευτική Εμπειρία σε Ιστορικό ή Πολιτιστικό Κτίριο

Περιγραφή:

Ένας εκπαιδευτικός σχεδιάζει μια διαδραστική παρουσίαση για μαθητές, βασισμένη στην εικονική περιήγηση σε έναν ιστορικό χώρο. Οι μαθητές εξερευνούν το κτίριο μέσα από το 3D περιβάλλον, ενισχύοντας τη βιωματική μάθηση.

User Journey:

Ο δάσκαλος δημιουργεί ή αξιοποιεί εκπαιδευτικό σενάριο εντός της πλατφόρμας.

Οι μαθητές συνδέονται στην εφαρμογή από τα δικά τους τερματικά (tablet/PC).

Με καθοδήγηση ή αυτόνομα, περιηγούνται στο εικονικό περιβάλλον.

Συμμετέχουν σε διαδραστικές δραστηριότητες (π.χ. κουίζ, παρατηρήσεις, ερωτήσεις).

Ολοκληρώνουν την εμπειρία και υποβάλλουν αναστοχασμό ή εργασία βασισμένη σε αυτή.

7.5 Σενάριο Χρήσης: Πρόσβαση για Άτομα με Αναπηρία (Accessibility)

Περιγραφή:

Άτομα με κινητικά προβλήματα ή άλλους περιορισμούς δεν μπορούν να επισκεφθούν τον χώρο διαζώσης. Μέσω της εικονικής αναπαράστασης, αποκτούν πρόσβαση στον χώρο, ενισχύοντας την έννοια της ισότητας και της προσβασιμότητας στην πληροφορία και τον πολιτισμό.

User Journey:

Ο χρήστης εισέρχεται στην πλατφόρμα από τον προσωπικό του υπολογιστή.

Επιλέγει λειτουργία προσβασιμότητας (μεγάλες γραμματοσειρές, voice-over, απλή πλοήγηση).

Πλοηγείται στον χώρο μέσω απλών χειριστηρίων ή ακόμα και μέσω φωνητικών εντολών.

Απολαμβάνει το περιεχόμενο χωρίς φυσικά εμπόδια ή κόπωση.

7.6 Σενάριο Χρήσης: Προώθηση Τουριστικού ή Πολιτιστικού Χώρου

Περιγραφή:

Ο διαχειριστής ενός χώρου (π.χ. μουσείου, μνημείου, ιστορικού κτιρίου) χρησιμοποιεί το 3D μοντέλο και την εικονική πλατφόρμα για την προώθηση του χώρου σε διεθνές κοινό.

User Journey:

Ο χρήστης (τουρίστας ή μελλοντικός επισκέπτης) ανακαλύπτει τον χώρο μέσα από την εικονική περιήγηση.

Ενημερώνεται για την ιστορία, τις χρήσεις και τα εκθέματα μέσω διαδραστικού περιεχομένου.

Εντυπωσιάζεται από την εμπειρία και ενδέχεται να προγραμματίσει φυσική επίσκεψη ή να κοινοποιήσει την εμπειρία του στα social media.

Ο διαχειριστής του χώρου αξιοποιεί τα analytics για να μετρήσει την απήγηση και να βελτιώσει το περιεχόμενο.

Κεφάλαιο 8ο: Αξιολόγηση UI και UX σε Εφαρμογές VR/360

8.1 Σχετική Βιβλιογραφία (Related Work)

Η βιβλιογραφία σχετικά με την αξιολόγηση UI/UX σε περιβάλλοντα VR/360 καταγράφει πληθώρα μεθοδολογιών, τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών. Κάποιες ενδεικτικές μελέτες:

Jerald (2015) στο The VR Book τονίζει την ανάγκη για εμπειρική αξιολόγηση εργονομίας και προσβασιμότητας σε UI συστήματα VR. [39]

Οι Skarbez et al. (2017) εξετάζουν τη σχέση μεταξύ παρουσίας (presence), εμπιστοσύνης στο περιβάλλον (plausibility) και user experience. [40]

Οι Radianti et al. (2020) πραγματοποιούν συστηματική επισκόπηση εργαλείων αξιολόγησης UX σε VR και εντοπίζουν μεγάλη ποικιλομορφία στα χρησιμοποιούμενα ερωτηματολόγια και δείκτες. [41]

8.2 Συνήθη Ερωτηματολόγια Αξιολόγησης UX σε VR

Στη αξιολόγηση εφαρμογών, παρατηρείται χρήση τόσο γενικών όσο και εξειδικευμένων ερωτηματολογίων:

Γενικά Ερωτηματολόγια UX:

System Usability Scale (SUS) – Απλό, σύντομο, αλλά εστιάζει κυρίως στη χρηστικότητα, όχι στην πλήρη εμπειρία.

UEQ (User Experience Questionnaire) – Περιλαμβάνει διαστάσεις όπως ευχρηστία, ελκυστικότητα, και διέγερση (stimulation).

AttrakDiff – Βασισμένο στη θεωρία του hedonic/pragmatic quality (Hassenzahl), με έμφαση στην υποκειμενική αντίληψη. [37]

Εξειδικευμένα Ερωτηματολόγια για VR:

Presence Questionnaire (PQ) – Μετρά την αίσθηση παρουσίας του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον.

Slater-Usob-Steed (SUS-Presence) – Εστιάζει στο πόσο “πραγματική” ένιωσε ο χρήστης την εμπειρία.

ITC-Sense of Presence Inventory (ITC-SOPI) – Πιο γενικό, αξιολογεί γνωστική εμπλοκή και φυσική παρουσία.

8.3 Χρήση Ερωτηματολογίων ως Εργαλείο Αξιολόγησης Λογισμικού

Μια από τις πρώτες συστηματικές προσεγγίσεις για την αξιοποίηση ερωτηματολογίων στην αξιολόγηση της εμπειρίας χρήστη καταγράφεται από τους Root και Draper (1983). Στην εργασία τους "Questionnaires as a Software Evaluation Tool", οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι τα ερωτηματολόγια μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά, την αντίληψη και τις προτιμήσεις των χρηστών κατά την αλληλεπίδραση με ένα σύστημα.

Οι Root και Draper τόνισαν ότι τα ερωτηματολόγια μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ανεξάρτητα είτε συμπληρωματικά σε άλλες μεθόδους αξιολόγησης, όπως η παρατήρηση ή η ανάλυση εργασιών. Επιπλέον, ανέδειξαν τη σημασία του κατάλληλου σχεδιασμού των ερωτήσεων, δίνοντας έμφαση στην ανάγκη για σαφήνεια, ουδετερότητα και συνάφεια με τους στόχους της αξιολόγησης.

Ωστόσο, οι συγγραφείς δεν παρέλειψαν να επισημάνουν και τους περιορισμούς της μεθόδου. Ανέφεραν ότι τα ερωτηματολόγια ενέχουν τον κίνδυνο μεροληψίας λόγω του υποκειμενικού χαρακτήρα των απαντήσεων και της πιθανής ερμηνευτικής απόκλισης των ερωτήσεων από διαφορετικούς χρήστες. Επιπλέον, σημείωσαν ότι τα ερωτηματολόγια αποτυγχάνουν συχνά να καταγράψουν λεπτομερείς ή αυθόρμητες αντιδράσεις, ιδίως όταν χρησιμοποιούνται χωρίς τη συνοδεία ποιοτικών μεθόδων, όπως οι συνεντεύξεις ή η άμεση παρατήρηση.

Η έρευνα αυτή αποτέλεσε θεμέλιο λίθο για μεταγενέστερες ερευνητικές προσπάθειες, εισάγοντας την ιδέα ότι η συστηματική συλλογή υποκειμενικών δεδομένων μέσω ερωτηματολογίων μπορεί να

συμβάλλει ουσιαστικά στον σχεδιασμό φιλικότερων και πιο αποτελεσματικών διασυνδέσεων. Παράλληλα, ενίσχυσε την ανάγκη για πολυμεθοδολογική προσέγγιση στην αξιολόγηση λογισμικού, προκειμένου να αντισταθμιστούν οι εγγενείς αδυναμίες των ερωτηματολογίων.

8.4 Επιλογή του UEQ για την Παρούσα Μελέτη

Η επιλογή του UEQ (User Experience Questionnaire) για την αξιολόγηση της εμπειρίας χρήστη στην υπό εξέταση εφαρμογή VR/360 έγινε βάσει των παρακάτω κριτηρίων:

Κάλυψη Πολλαπλών Διαστάσεων Εμπειρίας: Το UEQ αξιολογεί έξι βασικές διαστάσεις: Ελκυστικότητα (Attractiveness), Κατανοησιμότητα (Perspicuity), Αξιοπιστία (Dependability), Αποτελεσματικότητα (Efficiency), Διέγερση (Stimulation), και Νεωτερισμός (Novelty). Αυτό εξυπηρετεί την ανάγκη αποτίμησης όχι μόνο της χρηστικότητας αλλά και της συναισθηματικής εμπειρίας, ιδιαίτερα σημαντική σε VR περιβάλλοντα.

Υψηλή Ψυχομετρική Εγκυρότητα: Το UEQ έχει δοκιμαστεί εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία (Laugwitz et al., 2008) και θεωρείται αξιόπιστο εργαλείο μέτρησης UX σε διαφορετικά είδη εφαρμογών.

Ταχύτητα και Ευκολία Συμπλήρωσης: Με 26 ζεύγη αντιθέτων λέξεων σε κλίμακα Likert 7 σημείων, το UEQ προσφέρει γρήγορη και κατανοητή αξιολόγηση από μη εξειδικευμένους χρήστες.

Διαθεσιμότητα Υποστήριξης και Ανάλυσης: Παρέχεται επίσημο εργαλείο ανάλυσης αποτελεσμάτων (UEQ Data Analysis Tool), που διευκολύνει τη στατιστική επεξεργασία και την ερμηνεία.

Προηγούμενη Επιτυχής Εφαρμογή σε VR: Πολλές μελέτες έχουν αξιοποιήσει επιτυχώς το UEQ σε VR εφαρμογές (π.χ., Tong et al., 2022; Raptis et al., 2018), επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητά του για αξιολόγηση immersive εμπειριών.

8.5 Επίλογος

Η αξιολόγηση UI και UX σε εφαρμογές VR/360 απαιτεί συνδυαστική προσέγγιση εργαλείων και δεικτών. Το UEQ επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη λόγω της πληρότητας, αξιοπιστίας και της ικανότητάς του να καταγράφει πολυδιάστατες πτυχές της εμπειρίας χρήστη, οι οποίες κρίνονται καίριες σε περιβάλλοντα υψηλής εμβύθισης.

Κεφάλαιο 9ο: Ερωτηματολόγιο και αποτελέσματα

9.1 Μεθοδολογία έρευνας

Τα ερωτηματολόγια είναι ένα φθινό και ιδιαίτερα αποδοτικό εργαλείο για την απόκτηση ποσοτικών μετρήσεων της εμπειρίας χρήστη (UX) ενός προϊόντος. [34]

Για την αξιολόγηση και ανάλυση της εφαρμογής χρησιμοποιήσα ένα ερωτηματολόγιο με βάση πτυχές όπως η χρηστικότητα, η εμπειρία χρήστη και η απόδοση.

Οι κλίμακες του ερωτηματολογίου καλύπτουν μια συνολική εντύπωση της εμπειρίας του χρήστη. Μετρώνται τόσο οι κλασικές πτυχές της χρηστικότητας (αποδοτικότητα, σαφήνεια, αξιοπιστία) όσο και πτυχές της εμπειρίας χρήστη (πρωτοτυπία, διέγερση). [25-27]

Το ερωτηματολόγιο υλοποιήθηκε με χρήση Google Forms και συμπληρώθηκε κυρίως από φοιτητές/τριες και διδάκτορες του τμήματος καθώς έχουν άμεση σχέση και εξοικείωση με τον χώρο της σχολής, αλλά και από άτομα εκτός της σχολής, προσφέροντας μια ευρύτερη προοπτική ως προς την εμπειρία χρήσης της εφαρμογής. Συνολικά ερωτήθηκαν 21 άτομα. Η διαδικασία αξιολόγησης της VR έκδοσης έγινε με χρήση του Meta Quest 2. Η δυσκολία στην παραπάνω έρευνα ήταν ότι οι συμμετέχοντες έπρεπε να έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό για μπορέσουν να συμμετάσχουν σε αυτήν.

9.2 Δομή ερωτηματολογίου

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το Ερωτηματολόγιο Εμπειρίας Χρήστη (UEQ) για την αξιολόγηση της εμπειρίας των χρηστών κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασής τους με το προϊόν/σύστημα. Το UEQ περιλαμβάνει 26 ζεύγη αντιθέτων χαρακτηριστικών τα οποία αξιολογούν οι συμμετέχοντες σε επταβάθμια κλίμακα διαβάθμισης, καθώς και 2 ερωτήσεις ανοικτών σχολίων. Η δομή του ερωτηματολογίου στοχεύει στην αποτύπωση της υποκειμενικής εντύπωσης του χρήστη όσον αφορά διάφορες πτυχές της εμπειρίας και είναι η παρακάτω:

- Ηλικία
 - 18-25
 - 26-35
 - 36-50
 - μεγαλύτερη από 51

- Φύλο
 - Άνδρας
 - Γυναίκα

- Ιδιότητα
 - Φοιτητής/Φοιτήτρια Προπτυχιακού
 - Φοιτητής/Φοιτήτρια Μεταπτυχιακού
 - Διδάκτορας
 - Άλλο...

- Έχετε χρησιμοποιήσει ξανά εφαρμογές VR(Virtual Reality);

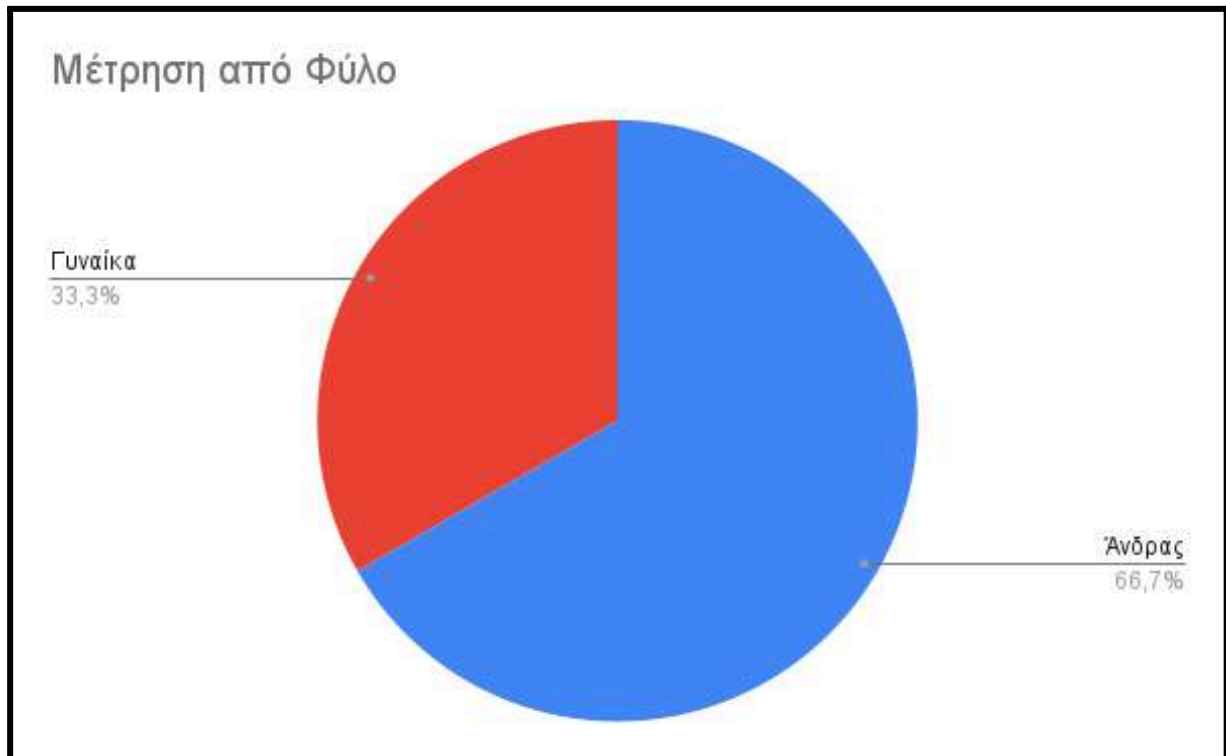
- ελκυστικό – απωθητικό
- ενοχλητικό – απολαυστικό
- δυσνόητο – κατανοητό
- δημιουργικό – αναποτελεσματικό
- εύκολο στη μάθηση – δύσκολο στη μάθηση
- πολύτιμο – υποδεέστερο
- βαρετό – συναρπαστικό
- αδιάφορο – ενδιαφέρον
- απρόβλεπτο – προβλέψιμο
- γρήγορο – αργό
- εφευρετικό – συμβατικό
- παρελκυστικό – υποστηρικτικό
- καλό – κακό
- περίπλοκο – εύκολο
- αντιπαθητικό – συμπαθητικό
- συνηθισμένο – πρωτοπόρο
- δυσάρεστο – ευχάριστο
- ασφαλές – ανασφαλές
- ενθαρρυντικό – αποθαρρυντικό

- ανταποκρίνεται στις προσδοκίες – δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες
- ανεπαρκές – επαρκές
- σαφές – μπερδεμένο
- μη πρακτικό – πρακτικό
- οργανωμένο – ανοργανώτο
- φιλικό – εχθρικό
- συντηρητικό – καινοτόμο

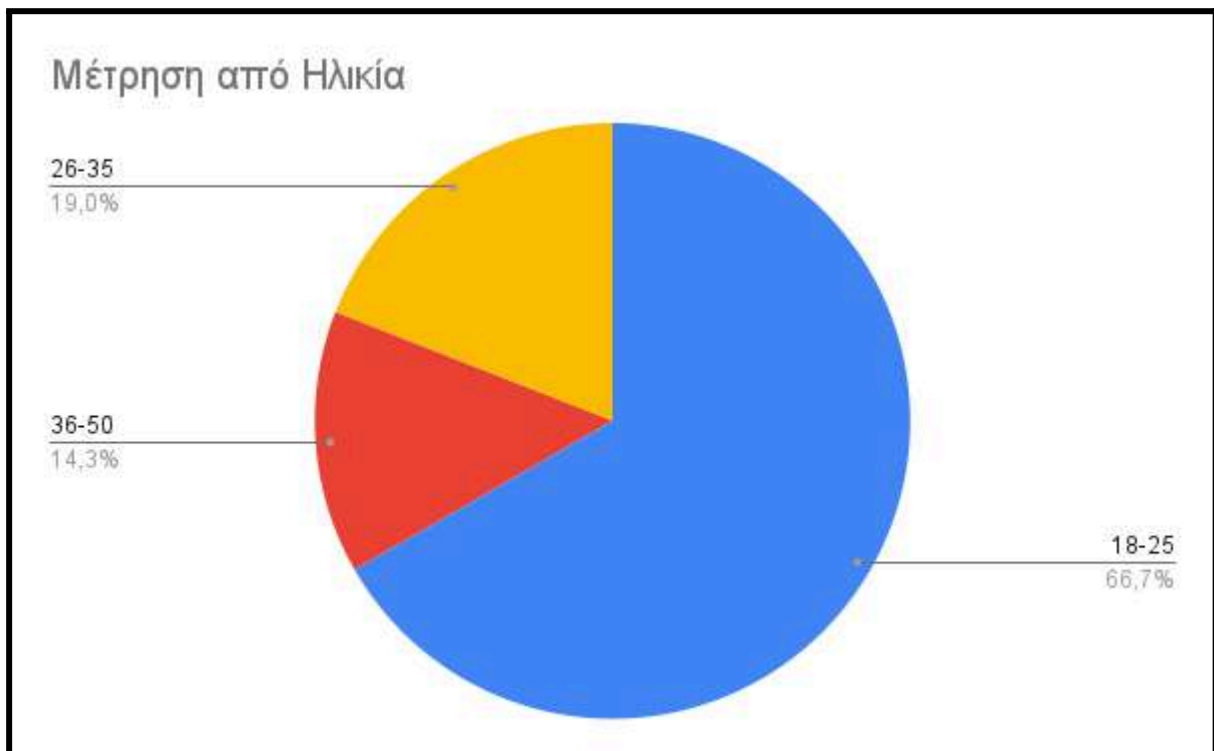
Οι συμμετέχοντες καλούνται να απαντήσουν γρήγορα και αυθόρμητα, επιλέγοντας τον κύκλο που εκφράζει καλύτερα την προσωπική τους εντύπωση για κάθε χαρακτηριστικό, χωρίς να υπάρχει «σωστή» ή «λάθος» απάντηση. Η δομή του UEQ δίνει τη δυνατότητα ποσοτικής αξιολόγησης σε έξι βασικές διαστάσεις εμπειρίας χρήστη: ελκυστικότητα, αποδοτικότητα, ακρίβεια, διαφάνεια, πρωτοτυπία και διέγερση ενδιαφέροντος.

Η χρήση του UEQ στην παρούσα μελέτη προσφέρει μία πιο ολιστική και συγκριτική προσέγγιση της εμπειρίας του χρήστη, ενισχύοντας τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με τη συναισθηματική και λειτουργική απόδοση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν.

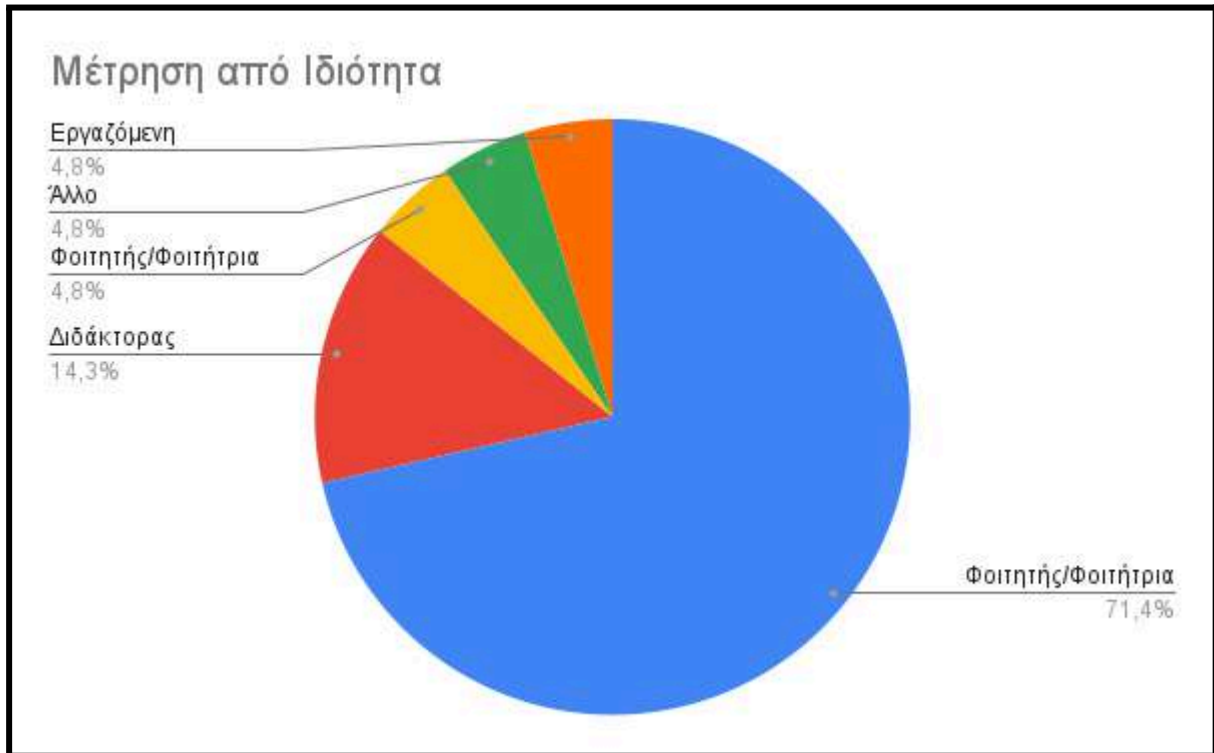
9.3 Αποτελέσματα



Γράφημα 7.1 : Φύλλο

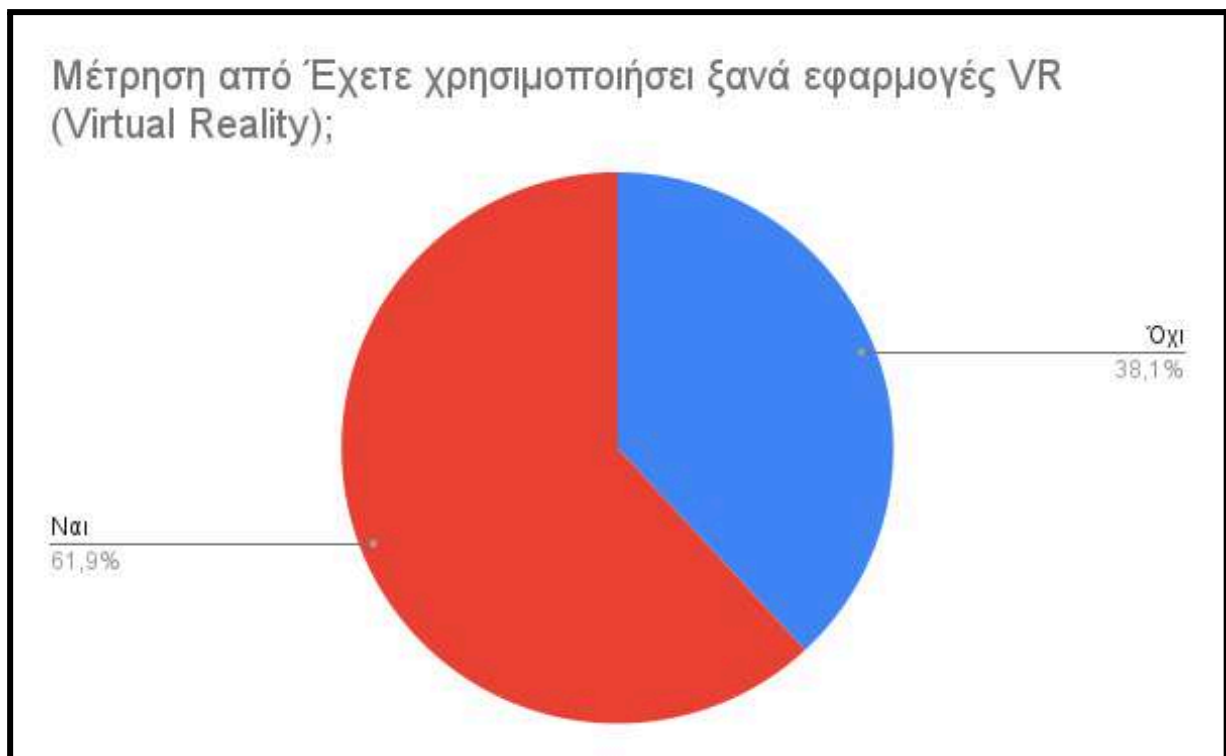


Γράφημα 7.2 : Ηλικιακές κατηγορίες



Γράφημα 7.3 : Ιδιότητα

9.4 Αποτελέσματα VR



Γράφημα 7.4 : Εξοικείωση με την τεχνολογία VR

Scale means per person					
ελκυστικότητα	Ευκρίνεια	Αποδοτικότητα	Αξιοπιστία	Διέγερση	Καινοτομία
1.17	0.25	0.50	1.50	2.00	2.00
0.17	1.50	1.50	1.25	0.75	0.00
2.33	1.75	2.00	1.50	2.25	2.00
2.50	3.00	3.00	3.00	3.00	1.75
2.50	2.75	3.00	3.00	3.00	3.00
1.83	1.25	2.50	2.00	2.75	2.25
0.33	0.25	0.75	1.00	1.25	0.00
1.33	2.00	1.75	2.00	2.00	1.75
1.17	1.25	2.25	2.75	2.25	1.75
1.83	3.00	2.00	2.00	2.50	2.25
1.67	3.00	3.00	2.00	1.75	2.00
2.00	3.00	3.00	1.25	0.50	2.25
2.50	3.00	3.00	1.75	3.00	3.00
2.50	2.00	3.00	3.00	2.00	1.75
1.17	2.00	1.50	0.50	1.25	1.00
1.50	2.25	2.25	1.75	1.50	0.75
1.83	2.25	2.75	1.50	1.75	2.50
2.33	2.00	2.75	1.00	1.50	3.00
1.83	2.50	1.50	1.00	2.50	1.50
1.83	2.25	2.25	1.75	2.75	3.00

2.50	3.00	3.00	2.50	2.25	2.75
------	------	------	------	------	------

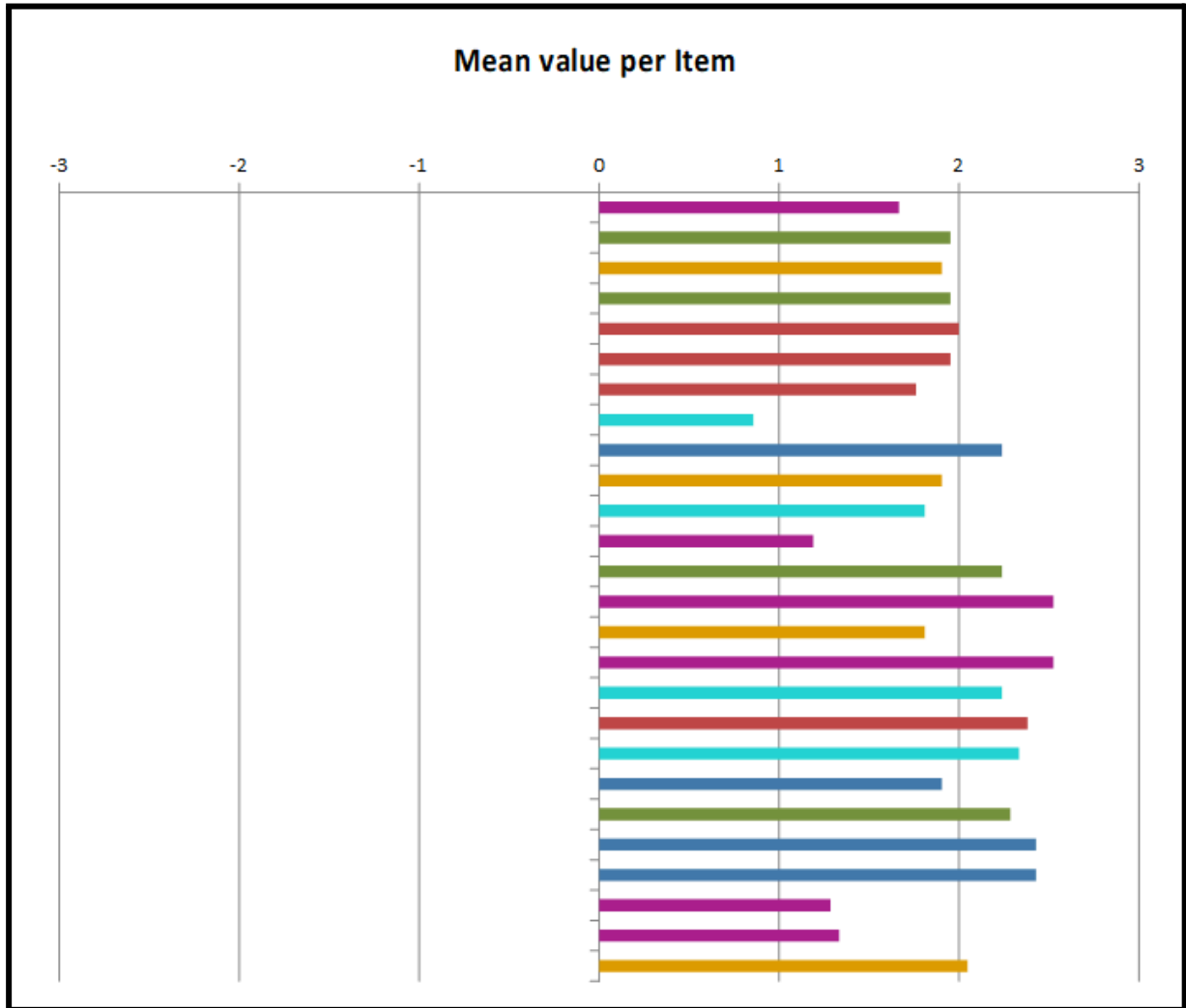
Πίνακας 9.1 : Scale means per person VR app version

Item	Mean	Variance	Std. Dev.	No.	Left	Right	Scale	
1	1.7	1.4	1.2	21	ενοχλητικό	απολαυστικό	ελκυστικότητα	
2	2.0	1.2	1.1	21	δυσνόητο	κατανοητό	Ευκρίνεια	
3	1.9	2.9	1.7	21	δημιουργικό	αναποτελεσματικό	Καινοτομία	
4	2.0	1.8	1.4	21	εύκολο στη μάθηση	δύσκολο στη μάθηση	Ευκρίνεια	
5	2.0	1.2	1.1	21	πολύτιμο	υποδεέστερο	Διέγερση	
6	2.0	1.4	1.2	21	βαρετό	συναρπαστικό	Διέγερση	
7	1.8	2.3	1.5	21	αδιάφορο	ενδιαφέρον	Διέγερση	
8	0.9	2.3	1.5	21	απρόβλεπτο	προβλέψιμο	Αξιοπιστία	
9	2.2	1.1	1.0	21	γρήγορο	αργό	Αποδοτικότητα	
10	1.9	1.1	1.0	21	εφευρετικό	συμβατικό	Καινοτομία	
11	1.8	1.9	1.4	21	παρελκυστικό	υποστηρικτικό	Αξιοπιστία	
12	1.2	2.1	1.4	21	καλό	κακό	ελκυστικότητα	
13	2.2	1.0	1.0	21	περίπλοκο	εύκολο	Ευκρίνεια	
14	2.5	0.7	0.8	21	αντιπαθητικό	συμπαθητικό	ελκυστικότητα	
15	1.8	1.5	1.2	21	συνηθισμένο	πρωτοπόρο	Καινοτομία	
16	2.5	0.5	0.7	21	δυσάρεστο	ευχάριστο	ελκυστικότητα	
17	2.2	1.5	1.2	21	ασφαλές	ανασφαλές	Αξιοπιστία	

18	2.4	0.9	1.0	21	ενθαρρυντικό	αποθαρρυντικό	Διέγερση	
19	2.3	0.5	0.7	21	ανταποκρίνεται στις προσδοκίες	δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες	Αξιοπιστία	
20	1.9	1.0	1.0	21	ανεπαρκές	επαρκές	Αποδοτικότητα	
21	2.3	0.9	1.0	21	σαφές	μπερδεμένο	Ευκρίνεια	
22	2.4	0.6	0.7	21	μη πρακτικό	πρακτικό	Αποδοτικότητα	
23	2.4	0.7	0.8	21	οργανωμένο	ανοργάνωτο	Αποδοτικότητα	
24	1.3	0.7	0.8	21	ελκυστικό	απωθητικό	ελκυστικότητα	
25	1.3	0.7	0.9	21	φιλικό	εχθρικό	ελκυστικότητα	
26	2.0	1.3	1.2	21	συντηρητικό	καινοτόμο	Καινοτομία	

Πίνακας 9.2 : Μέσες Τιμές, Διακυμάνσεις και Τυπικές Αποκλίσεις ανά Αντικείμενο και Κλίμακα VR εφαρμογή

Τιμές μεταξύ -0,8 και 0,8 αντιπροσωπεύουν μια ουδέτερη αξιολόγηση της αντίστοιχης κλίμακας, τιμές > 0,8 αντιπροσωπεύουν θετική αξιολόγηση και τιμές < -0,8 αρνητική αξιολόγηση.



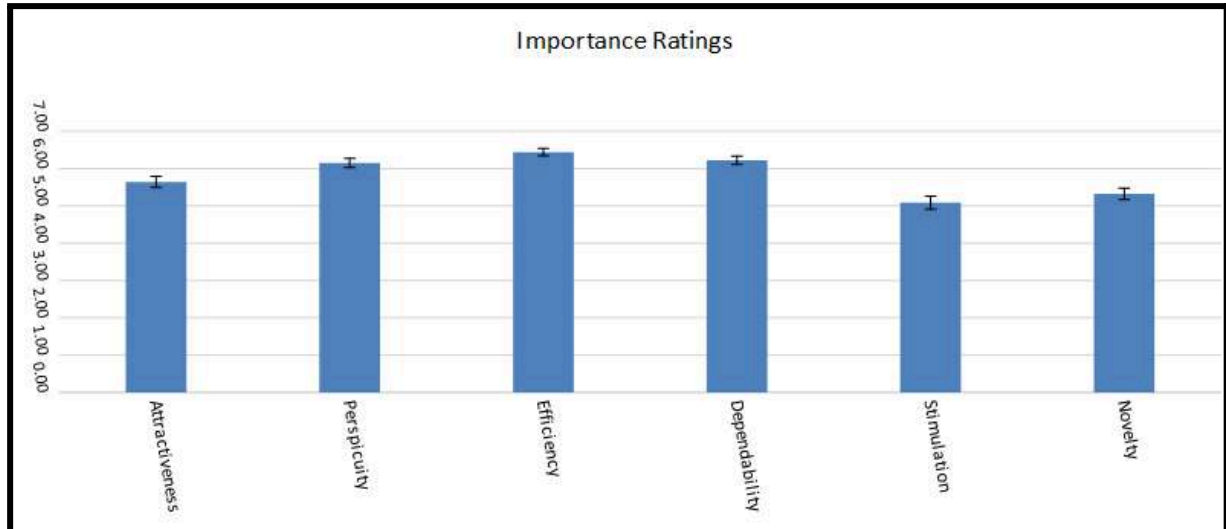
Γράφημα 4 : Η μέση τιμή ανά αντικείμενο Web data set

Οι απαντήσεις στο UEQ οργανώθηκαν σε έξι διαστάσεις: Attractiveness, Perspicuity, Efficiency, Dependability, Stimulation και Novelty. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ανά διάσταση, με άξονα ερμηνείας από το 1 (αρνητική εμπειρία) έως το 7 (θετική εμπειρία).

Skala	Mean
Attractiveness	5.64
Perspicuity	6.15
Efficiency	6.44
Dependability	6.22
Stimulation	5.09

Novelty	5.32
---------	------

Πίνακας 9.3 : Μέσες Τιμές Κλιμάκων UEQ

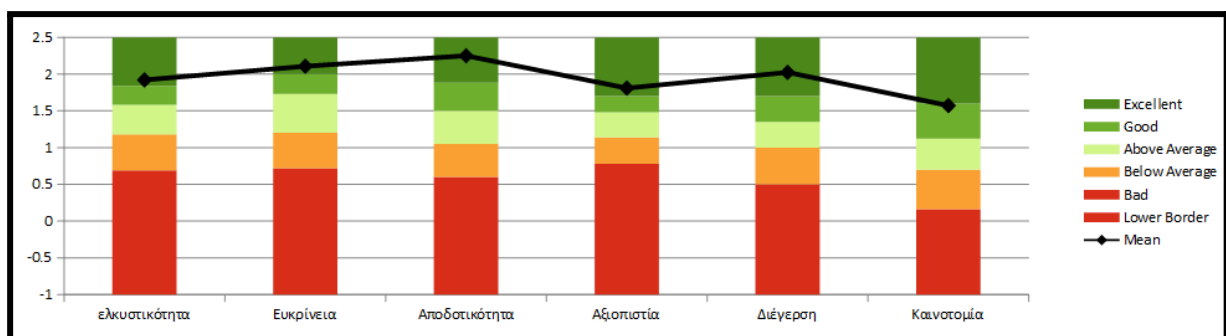


Γράφημα 5 : Βαθμολογίες Σπουδαιότητας

Όπως φαίνεται στον πίνακα και το γράφημα, οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στις διαστάσεις Efficiency (6.44) και Perspicuity (6.15), που δείχνουν ότι οι χρήστες βρήκαν το σύστημα εύκολο στη χρήση και αποδοτικό. Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στις διαστάσεις Stimulation (5.09) και Novelty (5.32), γεγονός που υποδηλώνει ότι το σύστημα δεν θεωρήθηκε ιδιαίτερα συναρπαστικό ή καινοτόμο από τους χρήστες. Συνολικά, η εμπειρία χρήστη αξιολογείται ως θετικά ικανοποιητική.

Επιπλέον οι μετρημένες μέσες τιμές των κλιμάκων συγκρίνονται σε σχέση με υπάρχοντα δεδομένα από ένα σύνολο αναφοράς (benchmark). Αυτό το σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει πληροφορίες από 21.175 άτομα, προερχόμενα από 468 μελέτες που αφορούν διάφορα προϊόντα (επιχειρησιακό λογισμικό, ιστοσελίδες, ηλεκτρονικά καταστήματα, κοινωνικά δίκτυα).

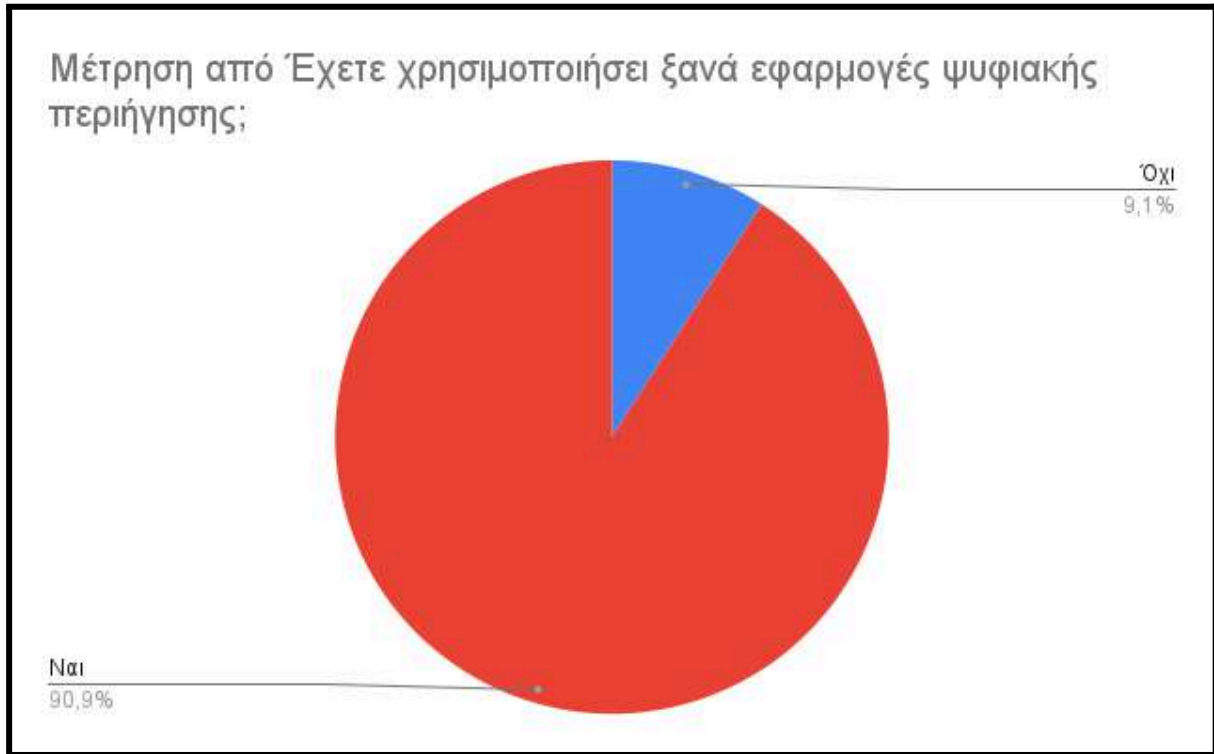
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων για το αξιολογούμενο προϊόν με τα δεδομένα του benchmark επιτρέπει τη διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με την σχετική ποιότητα του προϊόντος σε σύγκριση με άλλα προϊόντα. Με την χρήση του UEQ Data Analysis Tool έχουμε το παρακάτω Benchmark.



Γράφημα 6 : Benchmark VR Tour

9.5 Αποτελέσματα Web Virtual Tour

Στη χρήση εφαρμογών εικονικής περιήγησης, όπως για παράδειγμα το Google Street View, παρατηρείται υψηλότερο ποσοστό θετικών αξιολογήσεων σε σύγκριση με εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR). Αυτό μπορεί να αποδοθεί κυρίως στο γεγονός ότι ο εξοπλισμός και η χρήση του VR δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένα, γεγονός που επηρεάζει την εξοικείωση και, κατ' επέκταση, την εμπειρία του χρήστη.



Γράφημα 7 : Εξοικείωση με την τεχνολογία ψηφιακής περιήγησης

Scale means per person					
ελκυστικότητα	Ευκρίνεια	Αποδοτικότητα	Αξιοπιστία	Διέγερση	Καινοτομία
1.00	-0.50	1.50	0.00	-1.00	0.00
1.33	1.50	0.25	1.50	1.00	0.00
2.17	1.75	2.50	1.75	2.25	1.25
1.67	1.00	2.00	0.25	0.75	1.25
1.50	1.50	1.75	1.25	1.75	1.50
1.00	1.00	0.75	1.00	1.25	0.25

1.83	2.25	2.00	2.00	2.50	2.00
0.50	0.75	1.00	-1.00	0.25	0.25
1.50	2.00	0.50	1.50	1.00	-0.50
2.50	2.50	2.50	0.50	2.50	2.50
2.17	2.25	2.50	1.25	1.75	2.25
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
2.50	2.50	1.50	2.00	2.25	1.00
2.00	0.25	0.75	2.00	1.25	-0.50
1.50	1.00	1.50	1.25	1.00	-0.25
2.17	2.50	2.50	2.25	0.75	-0.75
1.00	0.50	1.00	0.50	1.25	1.25
2.83	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00
0.50	1.00	0.75	0.00	0.25	1.00
1.50	2.75	1.25	2.25	-0.75	-0.25
1.33	3.00	1.00	2.50	0.50	-0.75

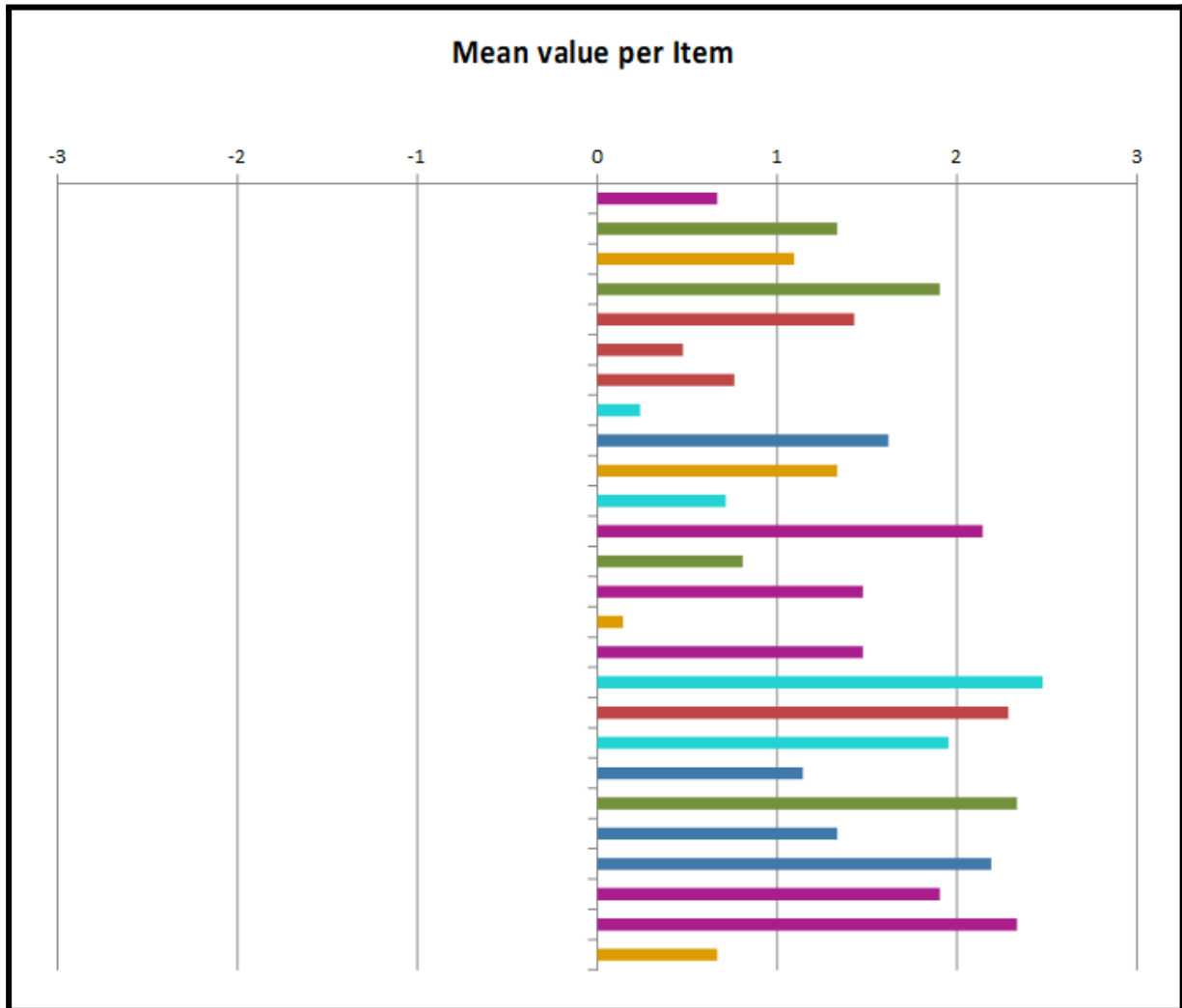
Πίνακας 9.4 : Scale means per person

Item	Mean	Variance	Std. Dev.	No.	Left	Right	Scale	
1	0.7	1.5	1.2	21	ενοχλητικό	απολαυστικό	ελκυστικότητα	
2	1.3	1.3	1.2	21	δυσνόητο	κατανοητό	Ευκρίνεια	
3	1.1	3.2	1.8	21	δημιουργικό	αναποτελεσματικό	Καινοτομία	

4	1.9	2.6	1.6	21	εύκολο μάθηση στη	δύσκολο μάθηση στη	Ευκρίνεια	
5	1.4	2.3	1.5	21	πολύτιμο	υποδεέστερο	Διέγερση	
6	0.5	2.7	1.6	21	βαρετό	συναρπαστικό	Διέγερση	
7	0.8	2.0	1.4	21	αδιάφορο	ενδιαφέρον	Διέγερση	
8	0.2	3.1	1.8	21	απρόβλεπτο	προβλέψιμο	Αξιοπιστία	
9	1.6	2.0	1.4	21	γρήγορο	αργό	Αποδοτικότητα	
10	1.3	2.3	1.5	21	εφευρετικό	συμβατικό	Καινοτομία	
11	0.7	1.4	1.2	21	παρελκυστικό	υποστηρικτικό	Αξιοπιστία	
12	2.1	1.2	1.1	21	καλό	κακό	ελκυστικότητα	
13	0.8	2.0	1.4	21	περίπλοκο	εύκολο	Ευκρίνεια	
14	1.5	0.7	0.8	21	αντιπαθητικό	συμπαθητικό	ελκυστικότητα	
15	0.1	2.6	1.6	21	συνηθισμένο	πρωτοπόρο	Καινοτομία	
16	1.5	0.7	0.8	21	δυσάρεστο	ευχάριστο	ελκυστικότητα	
17	2.5	1.2	1.1	21	ασφαλές	ανασφαλές	Αξιοπιστία	
18	2.3	0.5	0.7	21	ενθαρρυντικό	αποθαρρυντικό	Διέγερση	
19	2.0	1.5	1.2	21	ανταποκρίνεται στις προσδοκίες	δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες	Αξιοπιστία	
20	1.1	0.9	1.0	21	ανεπαρκές	επαρκές	Αποδοτικότητα	
21	2.3	0.7	0.9	21	σαφές	μπερδεμένο	Ευκρίνεια	
22	1.3	0.6	0.8	21	μη πρακτικό	πρακτικό	Αποδοτικότητα	

23	2.2	1.2	1.1	21	οργανωμένο	ανοργάνωτο	Αποδοτικότητα	
24	1.9	1.0	1.0	21	ελκυστικό	αποθητικό	ελκυστικότητα	
25	2.3	0.4	0.7	21	φιλικό	εχθρικό	ελκυστικότητα	
26	0.7	2.7	1.7	21	συντηρητικό	καινοτόμο	Καινοτομία	

Πίνακας 9.5 : Μέσες Τιμές, Διακυμάνσεις και Τυπικές Αποκλίσεις ανά Αντικείμενο και Κλίμακα

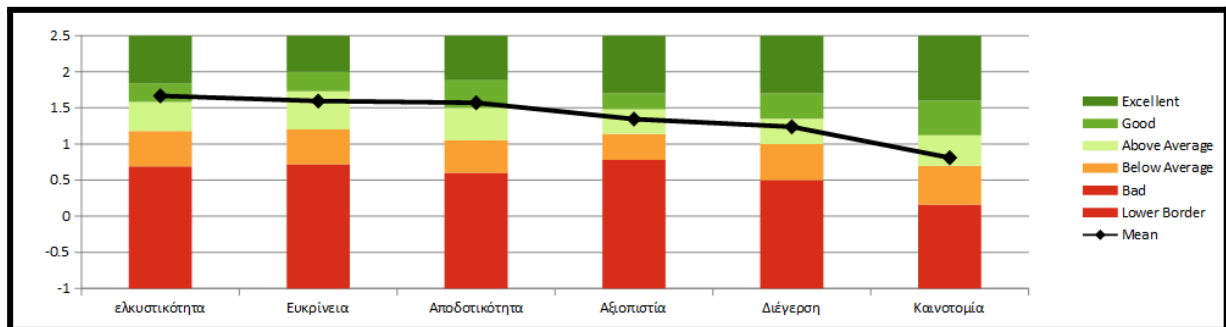


Γράφημα 8 : Η μέση τιμή ανά αντικείμενο VR data set

UEQ Scales (Mean and Variance)		
ελκυστικότητα	1.667	0.44
Ευκρίνεια	1.595	0.86
Αποδοτικότητα	1.571	0.64
Αξιοπιστία	1.345	1.02
Διέγερση	1.238	1.13
Καινοτομία	0.810	1.38

Πίνακας 9.6 : Δεδομένα Mean and Variance

Όπως και στα αποτελέσματα του VR Tour, παρακάτω μπορούμε να δούμε και το Benchmark του Web Virtual Tour.



Γράφημα 9 : Benchmark Web Virtual Tour

9.6 Συμπεράσματα από την σύγκριση

Γενικά, το Virtual Reality Tour (VR) έχει ανώτερες μέσες τιμές σε σχεδόν όλες τις κλίμακες σε σχέση με το Web Virtual Tour, ειδικά σε κλίμακες που σχετίζονται με καινοτομία, διέγερση, ευκρίνεια και αποδοτικότητα.

Το Web Virtual Tour φαίνεται να έχει καλύτερη βαθμολογία σε μερικές κλίμακες της ελκυστικότητας και της ασφάλειας/αξιοπιστίας (π.χ. Items 12, 17, 24, 25).

Οι τιμές τυπικής απόκλισης και διασποράς (που δείχνουν την ομοιογένεια των απαντήσεων) είναι σε παρόμοια επίπεδα, κάτι που δείχνει συγκρίσιμη σταθερότητα στις αξιολογήσεις.

Το VR προσφέρει μια πιο εντυπωσιακή και συναρπαστική εμπειρία όπως φανερόνεται από τις υψηλές τιμές στη διέγερση (items 6, 7, 18) και στην καινοτομία.

Εμβαθύνοντας κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ δύο αξιολογήσεων UEQ μέσω μιας στατιστικής δοκιμής.

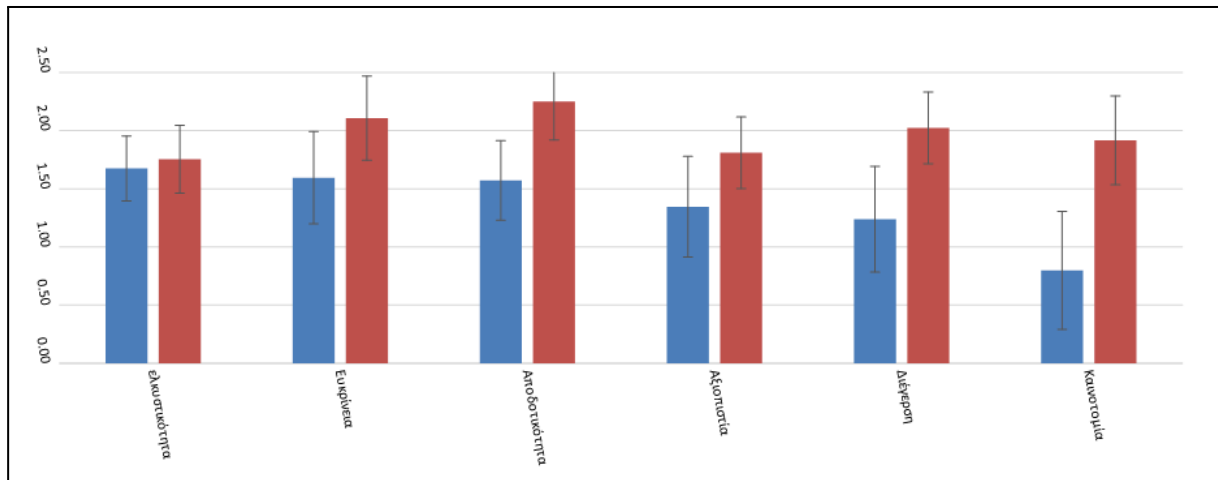
Στον παρακάτω πίνακα γίνεται η Σύγκριση των data sets, η οποία δείχνει τους μέσους όρους της κλίμακας και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης 5%.

	Data Set Web	Data Set VR

	Mean	STD	N	Confidence	Confidence Interval			Mean	STD	N	Confidence	Confidence Interval	
Attractiveness	1.67	0.65	21	0.28	1.40	1.95		1.75	0.68	21	0.29	1.46	2.05
Perspicuity	1.60	0.93	21	0.40	1.20	1.99		2.11	0.85	21	0.36	1.75	2.47
Efficiency	1.57	0.80	21	0.34	1.23	1.91		2.25	0.77	21	0.33	1.92	2.58
Dependability	1.35	1.01	21	0.43	0.91	1.78		1.81	0.72	21	0.31	1.50	2.12
Stimulation	1.24	1.06	21	0.45	0.78	1.69		2.02	0.72	21	0.31	1.72	2.33
Novelty	0.80	1.18	21	0.51	0.29	1.30		1.92	0.89	21	0.38	1.54	2.30

Πίνακας 9.7: Σύγκριση Μέσων Κλίμακας

Στο ακόλουθο γράφημα παρουσιάζονται συγκριτικά στατιστικά δεδομένα για τις δύο εκδόσεις της εφαρμογής. Οι στήλες με μπλε χρώμα αντιστοιχούν στην έκδοση Web, ενώ οι στήλες με κόκκινο χρώμα αναφέρονται στην έκδοση VR.



Γράφημα 10 : Σύγκριση μεταξύ των δύο εκδοχών στις διαστάσεις της εμπειρίας χρήστη

Σημαντικός παράγοντας για την προτίμηση του VR φαίνεται να είναι επίσης η αίσθηση ελευθερίας στην περιήγηση, καθώς το μέσο επιτρέπει μεγαλύτερη αλληλεπίδραση και αυτονομία στην εξερεύνηση του ψηφιακού χώρου. Αυτή η χωρική ελευθερία ενισχύει την εμπειρία εμπύθισης και φαίνεται να εκτιμάται ιδιαίτερα από τους χρήστες, συνεισφέροντας θετικά στη συνολική τους αντίληψη για την ποιότητα του περιβάλλοντος.

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης της εμπειρίας χρήστη (User Experience) μεταξύ της Web και της VR έκδοσης ενός ψηφιακού προϊόντος, εφαρμόστηκε διμερές t-test για ανεξάρτητα δείγματα με παραδοχή άνισων διακυμάνσεων (Welch's t-test). Η επιλογή της συγκεκριμένης στατιστικής μεθόδου είναι κατάλληλη για μελέτες UX, καθώς λαμβάνει υπόψη πιθανές ανισότητες στη διασπορά των αξιολογήσεων μεταξύ διαφορετικών ομάδων χρηστών — ένα συχνό φαινόμενο σε δεδομένα που

προέρχονται από υποκειμενικές μετρήσεις, όπως οι κλίμακες του UEQ. Το επίπεδο σημαντικότητας (alpha level) ορίστηκε στο 0,05, το οποίο αποτελεί τη συνήθη τιμή στη στατιστική ανάλυση εμπειρίας χρήστη και γενικότερα στις κοινωνικές επιστήμες. Η τιμή αυτή εκφράζει ένα αποδεκτό όριο ρίσκου 5% για σφάλμα τύπου I, δηλαδή την πιθανότητα να απορριφθεί εσφαλμένα η μηδενική υπόθεση (ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των εκδόσεων). Αν η υπολογισθείσα τιμή p είναι μικρότερη από 0,05, η διαφορά θεωρείται στατιστικά σημαντική, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι αποκλίσεις στις μέσες τιμές των δύο εκδόσεων αντανακλούν πραγματικές διαφορές στην εμπειρία χρήστη και όχι τυχαία μεταβλητότητα.

ελκυστικότητα	0.7026	Καμία σημαντική διαφορά
Ευκρίνεια	0.0690	Καμία σημαντική διαφορά
Αποδοτικότητα	0.0078	Σημαντική διαφορά
Αξιοπιστία	0.0950	Καμία σημαντική διαφορά
Διέγερση	0.0081	Σημαντική διαφορά
Καινοτομία	0.0014	Σημαντική διαφορά

Πίνακας 9.8 : T-Test δύο δειγμάτων υποθέτοντας άνισες διακυμάνσεις

9.7 Επίλογος

Η αξιολόγηση της εφαρμογής μέσω του ερωτηματολογίου UEQ προσέφερε πολύτιμα και εμπειρισταωμένα δεδομένα αναφορικά με την εμπειρία χρήστη. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων ανέδειξε σαφή πλεονεκτήματα της έκδοσης Virtual Reality ως προς την αποδοτικότητα, την ευκρίνεια και τη διέγερση ενδιαφέροντος, καταδεικνύοντας τη δυναμική της εμβυθιστικής τεχνολογίας στην ενίσχυση της εμπειρίας αλληλεπίδρασης.

Παρότι το Web Virtual Tour σημείωσε ικανοποιητικές επιδόσεις σε επιμέρους πτυχές όπως η αξιοπιστία και η προσβασιμότητα, το VR υπερέχει στις περισσότερες διαστάσεις του UEQ, προσφέροντας μια εμπειρία περισσότερο φυσική, καθηλωτική και θετικά αξιολογούμενη. Η σύγκριση με δεδομένα αναφοράς (benchmark) υπογραμμίζει τη συνολική ποιότητα της εφαρμογής, με το μεγαλύτερο μέρος των αξιολογήσεων να κινείται πάνω από τον μέσο όρο άλλων αντίστοιχων εφαρμογών.

Η χρήση ερωτηματολογίων όπως το UEQ αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αποτύπωση της πολυδιάστατης εμπειρίας του χρήστη, προσφέροντας ένα σαφές πλαίσιο για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις. Η θετική ανταπόκριση των συμμετεχόντων ενισχύει τη σημασία της συνεχούς αξιολόγησης και προσαρμογής των τεχνολογικών λύσεων στις ανάγκες και τις προσδοκίες των τελικών χρηστών

Κεφάλαιο 10ο: Συγκριτική Ανάλυση

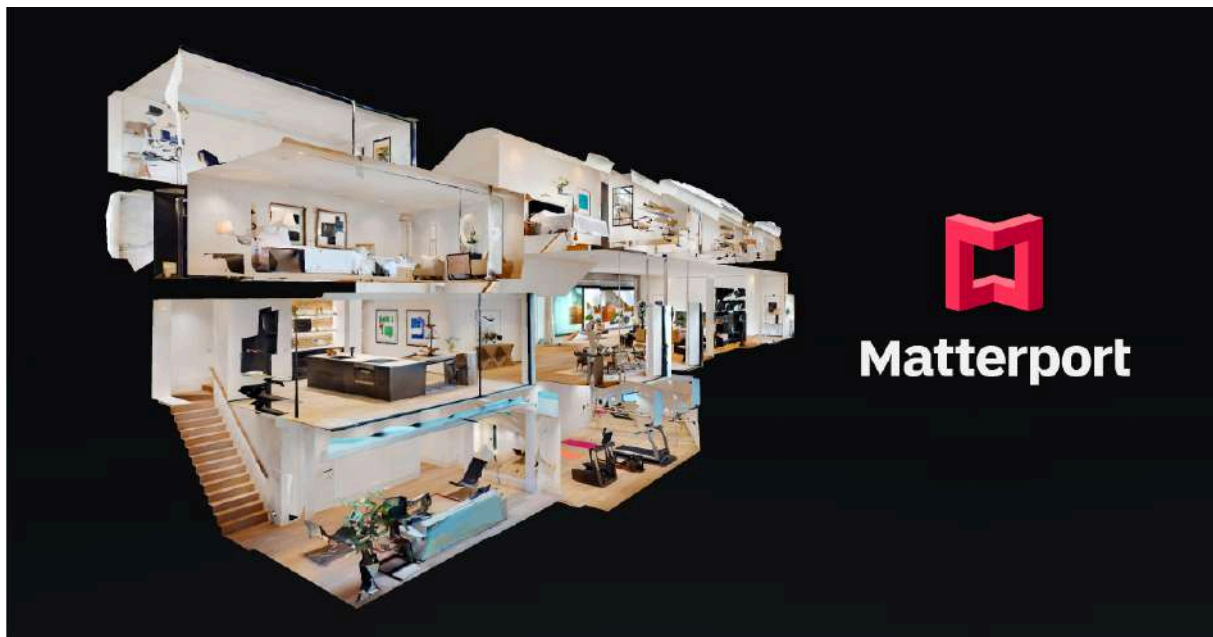
10.1 Συγκριτική Ανάλυση με Εμπορικές Λύσεις

Η δημιουργία εφαρμογών εικονικής περιήγησης και ρεαλιστικής αναπαράστασης χώρων μέσω φωτογραμμετρίας και 3D τεχνολογιών αποτελεί αντικείμενο αυξημένου ενδιαφέροντος, τόσο από την ακαδημαϊκή κοινότητα όσο και από την αγορά. Στο παρόν υποκεφάλαιο, επιχειρείται συγκριτική ανάλυση της παρούσας υλοποίησης με γνωστές εμπορικές πλατφόρμες, όπως οι Matterport, Kuula και 3DVista.

10.1.1 Επισκόπηση Εμπορικών Πλατφορμών

- Matterport

Η Matterport είναι ίσως η πιο αναγνωρισμένη πλατφόρμα στον τομέα της 3D απεικόνισης εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Προσφέρει δυνατότητα λήψης εικόνων μέσω εξειδικευμένων καμερών (π.χ. Matterport Pro2, Leica BLK360), αλλά υποστηρίζει και εισαγωγή εικόνων από smartphones. Η πλατφόρμα αυτοματοποιεί μεγάλο μέρος της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας μέσω cloud services και παράγει υψηλής ποιότητας 3D μοντέλα, με δυνατότητες "dollhouse view" και κατόψεων. Το κόστος μπορεί να κυμαίνεται από (10€ έως 250€ τον μήνα), ανάλογα με το πακέτο και τον αριθμό των μοντέλων που διατηρούνται online. [28]



Εικόνα 10.1 : Matterport [46]

- Kuula

Η Kuula προσφέρει πιο ελαφριά προσέγγιση, βασισμένη σε 360° φωτογραφίες. Υποστηρίζει hotspots, πλοήγηση και περιήγηση με χρήση WebVR και συσκευών όπως Oculus Quest. Είναι προσβάσιμη και φιλική προς νέους χρήστες, ενώ λειτουργεί αποκλειστικά στο cloud. Δεν απαιτεί εξειδικευμένο

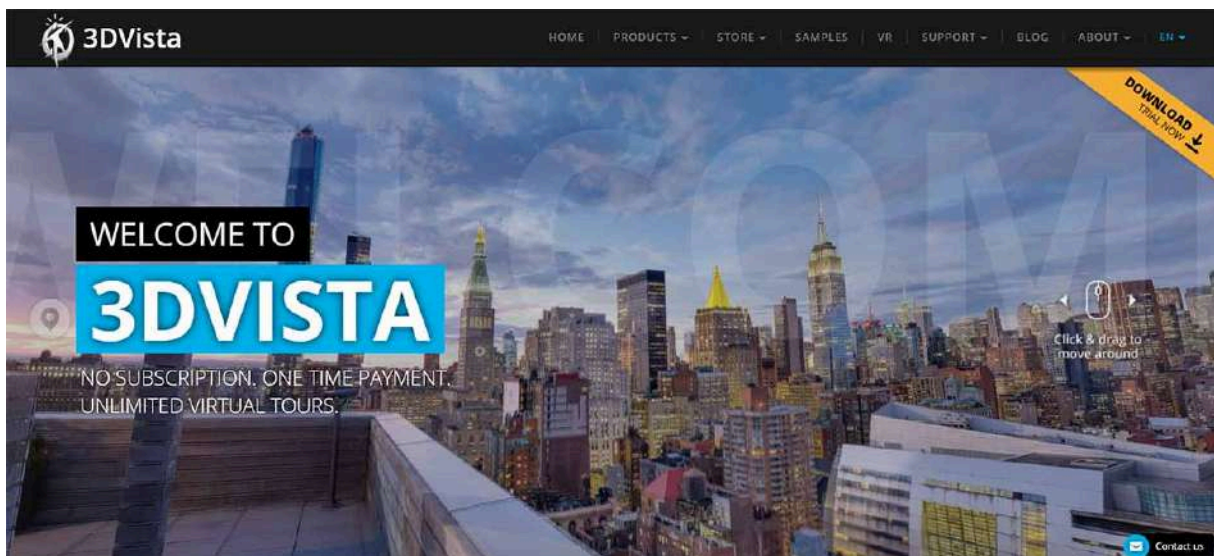
εξοπλισμό, καθώς δέχεται εικόνες από απλές 360° κάμερες όπως Ricoh Theta ή GoPro Max. Το κόστος ξεκινάει από (16\\$/τον μήνα) για το Pro πακέτο [29].



Εικόνα 10.2 : Kuula [47]

- 3DVista

Η 3DVista δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη λεπτομερή παραμετροποίηση της εμπειρίας χρήστη και τη δυνατότητα offline παρουσίασης. Υποστηρίζει 360° εικόνες, 3D μοντέλα και floorplans, ενώ περιλαμβάνει λειτουργίες όπως voice-over, video hotspots και adaptive UI. Απαιτείται το desktop πρόγραμμα 3DVista Virtual Tour Pro, το οποίο έχει εφάπαξ κόστος περίπου (499€), χωρίς επιπλέον μηνιαία συνδρομή. Οι φωτογραφίες εισάγονται από εξωτερικές 360° κάμερες ή DSLR setups.



Εικόνα 10.3 : 3DVista [48]

10.1.2 Σύγκριση με την Προτεινόμενη Εφαρμογή

Κριτήριο	Παρούσα Εφαρμογή	Matterport	Kuula	3DVista

Κόστος	Μηδενικό (open-source)	Υψηλό	Μέτριο	Υψηλό (εφάπαξ)
Εξοπλισμός	360° camera + Metashape	Ειδικές κάμερες(3D)	360° κάμερες	DSLR/360°
Προσαρμογή UI/UX	Πλήρης (custom Unity)	Περιορισμένη	Μέτρια	Πλήρης
Υποστήριξη VR	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Απαιτήσεις Cloud	Όχι	Ναι (σύνδεση)	Ναι (web only)	Όχι
Offline Υποστήριξη	Ναι	Περιορισμένη	Όχι	Ναι

Πίνακας 10.1: Σύγκριση Εμπορικών Προτάσεων

Η προτεινόμενη λύση προσφέρει πλήρη έλεγχο στον χρήστη/προγραμματιστή και είναι ιδανική για εκπαιδευτικά ή ερευνητικά έργα με περιορισμένο προϋπολογισμό. Αντιθέτως, οι εμπορικές λύσεις παρέχουν ευκολία και αξιοπιστία, εις βάρος της ευελιξίας και του κόστους.

10.2 Ηθικά Ζητήματα & Προσβασιμότητα

Η ανάπτυξη εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας και τρισδιάστατης αναπαράστασης δεν είναι μόνο τεχνικό ζήτημα· περιλαμβάνει και πτυχές ηθικής και κοινωνικής ευθύνης.

10.2.1 Προσβασιμότητα

Η εικονική περιήγηση σε περιβάλλοντα φωτορεαλιστικής απεικόνισης μπορεί να αποκλείσει χρήστες με:

- Κινητικές δυσκολίες (ανάγκη για υποστήριξη controller-free interaction)
- Προβλήματα όρασης ή χρώματος (χρήση χρωματικών αντιθέσεων, screen readers)
- Ευαισθησία σε VR (motion sickness, frame drops)

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε υποστηρίζει απλοποιημένη πλοήγηση μέσω χειριστηρίου ή ποντικιού και μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να ενσωματώνει λειτουργίες προσβασιμότητας όπως υπότιτλους, εναλλακτικές οπτικοποιήσεις και απτική ανάδραση.

10.2.2 Ηθικά Ζητήματα

Πολιτιστική εκπροσώπηση: Όταν αναπαρίστανται ιστορικά ή πολιτιστικά μνημεία, απαιτείται σεβασμός στην ακρίβεια και τη διατήρηση του νοήματος.

Προσωπικά δεδομένα: Αν σε 3D σκηνές καταγράφονται πρόσωπα ή ιδιωτικοί χώροι, προκύπτει ανάγκη συμμόρφωσης με το GDPR. (General Data Protection Regulation) [30]

Εθισμός και υπερβολική χρήση: Ειδικά σε περιβάλλοντα εκπαίδευσης και τουρισμού, η μακρόχρονη χρήση VR χρειάζεται σωστό σχεδιασμό και διαλείμματα.

Η αντιμετώπιση των παραπάνω θεμάτων γίνεται κυρίως μέσα από ενημέρωση των χρηστών, τεχνικές ρυθμίσεις και καθοδήγηση από ηθικούς κανόνες σχεδίασης (Ethical UX Design). [31]

10.3 Συνοπτικά Συμπεράσματα

Η παρούσα συγκριτική ανάλυση ανέδειξε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της custom λύσης Unity + Photogrammetry έναντι των εμπορικών πλατφορμών. Παρά τη σχετική τεχνική πολυπλοκότητα και τις αυξημένες απαιτήσεις ανάπτυξης, η open-source προσέγγιση προσφέρει:

1. Υψηλή παραμετροποίηση
2. Ανεξαρτησία από συνδρομές
3. Ευκαιρία για εκπαιδευτική/ερευνητική επεκτασιμότητα

Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση ηθικών προτύπων και σχεδιασμός με γνώμονα την καθολική προσβασιμότητα καθιστούν την εφαρμογή πιο ανθρώπινη και βιώσιμη. Η κατεύθυνση προς περισσότερο ανοιχτές και δίκαιες τεχνολογίες είναι απαραίτητη σε έναν ψηφιακό κόσμο που αλλάζει ραγδαία.

10.4 Επίλογος

Το κεφάλαιο αυτό προσέφερε μια πολυδιάστατη αποτίμηση της προτεινόμενης λύσης εικονικής περιήγησης, τοποθετώντας την στο ευρύτερο πλαίσιο των διαθέσιμων εμπορικών τεχνολογιών. Η συγκριτική ανάλυση ανέδειξε πως, παρά την τεχνική πολυπλοκότητα και την ανάγκη για μεγαλύτερη αρχική ενασχόληση, μια λύση βασισμένη σε ανοιχτές τεχνολογίες και εργαλεία (όπως το Unity και η φωτογραμμετρία μέσω Metashape) προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε όρους ευελιξίας, κόστους και προσαρμοστικότητας.

Ταυτόχρονα, η ανάλυση των ηθικών ζητημάτων και των προκλήσεων προσβασιμότητας υπενθυμίζει ότι η τεχνολογική καινοτομία οφείλει να συνυπολογίζει την ανθρώπινη διάσταση. Μια εφαρμογή VR δεν είναι απλώς ένα σύνολο από 3D μοντέλα και γραμμές κώδικα, αλλά μια εμπειρία που επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται, αλληλεπιδρούν και συμμετέχουν σε ένα ψηφιακό περιβάλλον.

Συνολικά, η πορεία προς την υλοποίηση σύγχρονων εικονικών εμπειριών απαιτεί έναν διαρκή διάλογο ανάμεσα στην τεχνική υπεροχή, την κοινωνική ευθύνη και την ανοικτότητα της γνώσης. Η πρόταση που παρουσιάστηκε σε αυτό το έργο φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα παράδειγμα αυτής της ισορροπίας.

Κεφάλαιο 11ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

11.1 Συμπεράσματα

Η υλοποίηση του έργου ανέδειξε σημαντικά τεχνικά και σχεδιαστικά ευρήματα, καθώς και δυνατότητες βελτίωσης για μελλοντική εξέλιξη.

Αρχικά, η επιλογή της φωτογραμμετρίας για την παραγωγή του 3D μοντέλου απέδωσε λειτουργικά αποτελέσματα, ωστόσο κατέστη σαφές ότι η χρήση τεχνολογίας LiDAR θα προσέφερε σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια, σταθερότητα και ποιότητα στο τελικό μοντέλο. Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές, παρόλο που απέδωσαν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, απαιτούσαν ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των frames ώστε να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του λογισμικού με παρόμοια ή μη χρήσιμα δεδομένα.

Ένα βασικό συμπέρασμα από τη σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων παρουσίασης – 360° Tour και 3D Tour – είναι πως η κάθε προσέγγιση προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα:

Το 360° Tour παρέχει φωτορεαλιστική ποιότητα και πολύ μικρό μέγεθος αρχείων, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα φιλικό για προβολή μέσω web ή σε συσκευές με περιορισμένους πόρους. Οι φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης (6K–8K) προσφέρουν καθαρή και εντυπωσιακή απεικόνιση, με άμεση μετάβαση από σημείο σε σημείο.

Το 3D Tour, από την άλλη πλευρά, παρέχει μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης και εξερεύνησης, δημιουργώντας πιο φυσική και διαδραστική εμπειρία. Ωστόσο, συνοδεύεται από πολύ μεγαλύτερο μέγεθος δεδομένων, κάτι που καθιστά τη φόρτωση του μέσω web πιο απαιτητική και ενδεχομένως λιγότερο προσβάσιμη σε όλους τους χρήστες.

Ένα σημαντικό εύρημα από τις δοκιμές με τελικούς χρήστες ήταν πως η εμπειρία μέσω VR περιβάλλοντος αποδείχθηκε σαφώς ανώτερη σε σχέση με την web έκδοση. Οι χρήστες δήλωσαν ότι ένιωσαν μεγαλύτερη εμπύθιση και αίσθηση παρουσίας στον εικονικό χώρο, ενώ τα σχόλια για τη χρησιμότητα του εικονικού τουρισμού ήταν εξαιρετικά θετικά.

Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε στο έργο κατέδειξε τη σημασία της αξιοποίησης ανοιχτών τεχνολογιών στη δημιουργία εικονικών εμπειριών. Η χρήση εργαλείων όπως το Unity και το Metashape επέτρεψε την ανάπτυξη μιας ευέλικτης και επεκτάσιμης λύσης, ανεξάρτητης από εμπορικούς περιορισμούς. Παρά τον αυξημένο χρόνο αρχικής ρύθμισης και τις τεχνικές απαιτήσεις, το τελικό αποτέλεσμα προσέφερε δυνατότητες διαμόρφωσης ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες του έργου, ενώ το χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης σε σχέση με έτοιμες πλατφόρμες ενισχύει τη βιωσιμότητα της προσέγγισης σε εκπαιδευτικά και πολιτιστικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, η συγκριτική αποτίμηση της λύσης σε σχέση με τις υπάρχουσες εμπορικές τεχνολογίες ανάδειξε την αξία του σχεδιασμού βασισμένου στις πραγματικές ανάγκες των τελικών χρηστών. Η επιλογή μεταξύ 360° Tour και 3D Tour δεν είναι μονοδιάστατη αλλά εξαρτάται από τη χρήση περίπτωση: ενώ το 360° περιβάλλον είναι ιδανικό για γρήγορη και εντυπωσιακή παρουσίαση, η 3D περιήγηση προσφέρει μεγαλύτερο βάθος εξερεύνησης και διαδραστικότητα — χρήσιμο χαρακτηριστικό για εκπαιδευτικές και ερευνητικές εφαρμογές.

Η εστίαση στην εμπειρία του χρήστη και η ανάλυση των user journeys συνέβαλαν καθοριστικά στη βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας και της διεπαφής. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι χρήστες πλοηγούνται και αλληλεπιδρούν με τα εργαλεία και το περιβάλλον εντός της εφαρμογής προσέφερε πρακτικές ενδείξεις για τη βελτίωση της πλοήγησης, της πληροφορίας, αλλά και της συναισθηματικής εμπλοκής. Η ανάλυση της συμπεριφοράς χρηστών, σε συνδυασμό με την ποσοτική αξιολόγηση μέσω του UEQ, συνιστά μια ολιστική προσέγγιση στη μελέτη του UX.

Ένα ακόμη κρίσιμο σημείο είναι η σύνδεση της τεχνολογίας με ηθικά και προσβασιακά ζητήματα. Η αναγνώριση των περιορισμών που μπορεί να αντιμετωπίσουν διαφορετικοί χρήστες (π.χ. άτομα με κινητικά ή οπτικά προβλήματα) τονίζει την ανάγκη για συμπεριληπτικό σχεδιασμό. Η τεχνολογία VR, αν και καινοτόμος, οφείλει να ενσωματώνει μηχανισμούς που επιτρέπουν την ευρύτερη δυνατή πρόσβαση, ενώ παράλληλα να διαχειρίζεται με υπευθυνότητα ζητήματα ιδιωτικότητας, πολιτιστικής ευαισθησίας και κοινωνικής επίπτωσης.

Τέλος, η συνολική διαδικασία ανάπτυξης και αξιολόγησης ανέδειξε ότι η επιτυχία τέτοιων εφαρμογών δεν κρίνεται μόνο από την τεχνική αρτιότητα, αλλά και από τη συναισθηματική και γνωστική εμπλοκή του χρήστη. Η προστιθέμενη αξία μιας VR εμπειρίας εντοπίζεται στο πόσο «παρούσα» και ενεργή νιώθει η ανθρώπινη υποκειμενικότητα εντός του ψηφιακού χώρου. Η διαπιστωμένη υπεροχή

του VR έναντι της web έκδοσης ως προς την αίσθηση εμπύθισης ενισχύει τη θέση της εικονικής πραγματικότητας ως μέσου που μπορεί να επαναπροσδιορίσει την εκπαιδευτική, πολιτιστική και τουριστική εμπειρία.

11.2 Προτάσεις βελτίωσης και μελλοντικής ανάπτυξης

Αρχικά η ενσωμάτωση LiDAR για την παραγωγή υψηλής ακρίβειας 3D μοντέλων θα αναδείκνυε σε μεγάλο βαθμό την εφαρμογή.

Επίσης, ο συνδυασμός 3D και 360° περιεχομένου θα έδινε ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα, συγκεκριμένα η ενσωμάτωση στοιχείων του 360° Tour μέσα στο 3D περιβάλλον. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης ή έγγραφα (documents) με πληροφορίες μέσα στον 3D χώρο, προσφέροντας επιπλέον πληροφορία ή λεπτομέρεια σε συγκεκριμένα σημεία.

Ακόμα θα μπορούσε να γίνει βελτιστοποίηση για Web, δηλαδή η μείωση του μεγέθους των 3D μοντέλων ή η χρήση τεχνικών που θα μπορούσε να κάνει το 3D Tour πιο προσβάσιμο μέσω φυλλομετρητών (browsers). Εμβαθύνοντας στη βελτιστοποίηση της προβολής των 3D μοντέλων μέσω web, μια προτεινόμενη τεχνική βελτίωσης είναι η χρήση τεχνικών streaming, δηλαδή μεθόδων δυναμικής φόρτωσης περιεχομένου. Τέτοιες τεχνικές περιλαμβάνουν τη φόρτωση του μοντέλου σε επίπεδα λεπτομέρειας (LOD) ανάλογα με την απόσταση από τον χρήστη, την τμηματική φόρτωση του χώρου σε «κομμάτια» (chunks ή tiles), τη σταδιακή εμφάνιση υφών (texture streaming) και τη χρήση προοδευτικών πλεγμάτων (progressive meshes). Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος φόρτωσης και η κατανάλωση πόρων, επιτρέποντας την ομαλή εμπειρία περιήγησης ακόμα και σε πολύπλοκα 3D περιβάλλοντα από απλούς φυλλομετρητές (browsers), αυτή την τεχνική την συναντάμε και το Google Earth.

Σε μελλοντική αναβάθμιση θα μπορούσε να γίνει επέκταση σε όλο το campus. Μια σημαντική πρόταση είναι η επέκταση της εμπειρίας ώστε να καλύπτει ολόκληρο το campus, προσφέροντας μια πλήρη και ολοκληρωμένη εικονική περιήγηση για φοιτητές, επισκέπτες ή υποψήφιους ενδιαφερόμενους.

Συνολικά, το έργο αυτό επιβεβαιώνει τη δυναμική των τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας και φωτογραμμετρίας στην προβολή και ανάδειξη χώρων μέσω virtual tourism. Η θετική αποδοχή από τους χρήστες επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της προσέγγισης και την προοπτική περαιτέρω ανάπτυξης.

11.3 Επίλογος

Η παρούσα εργασία κατέδειξε τη δυναμική και τις δυνατότητες των σύγχρονων τεχνολογιών εικονικής περιήγησης, εστιάζοντας στη φωτογραμμετρία και στην αξιοποίηση μηχανών ανάπτυξης όπως το Unity. Μέσα από την υλοποίηση, την αξιολόγηση και τη συγκριτική ανάλυση, προέκυψαν σημαντικές γνώσεις τόσο τεχνικής φύσης όσο και εμπειρίας χρήστη.

Τα συμπεράσματα επιβεβαιώνουν πως, παρότι η τεχνολογική βάση της εφαρμογής είναι επαρκής και αποδοτική, υπάρχουν σαφείς προοπτικές για περαιτέρω εξέλιξη, ιδιαίτερα με την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το LiDAR, τη βελτιστοποίηση για web περιβάλλοντα και τον συνδυασμό διαφορετικών μορφών περιεχομένου (3D + 360°). Παράλληλα, η πολύ θετική ανταπόκριση των χρηστών υποδεικνύει την αξία τέτοιων λύσεων σε τομείς όπως η εκπαίδευση, ο τουρισμός και η πολιτιστική προβολή.

Τέλος, οι προτάσεις που καταγράφονται δεν αποτελούν μόνο τεχνικές κατευθύνσεις, αλλά και στρατηγικά βήματα προς την υλοποίηση πιο προσβάσιμων, αποδοτικών και ολοκληρωμένων εμπειριών εικονικής περιήγησης. Το έργο αυτό θέτει ένα σταθερό υπόβαθρο για μελλοντική έρευνα και πρακτικές εφαρμογές, αναδεικνύοντας τον ρόλο της τεχνολογίας στην ανάδειξη του χώρου και της γνώσης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [42] Εικόνα από Ben Brady, COMMERCIAL WORK
- [43] LiDAR: what it is, and how it is useful for photogrammetry, January 6 2021, <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry/>
- [44] Εικόνα από 1stHorizon εταιρεία παροχής ολοκληρωμένων υπηρεσιών και τεχνικός σύμβουλος, <https://1sth.co.uk/3d-laser-scanning/>
- [45] Εικόνα από open source λογισμικό Metashape, <https://alicevision.org/view/meshroom.html>
- [12] εικόνα από Paper, Javadnejad, F. 2018. “Small unmanned aircraft systems (UAS) for engineering inspections and geospatial mapping.” Ph.D. dissertation, School of Civil and Construction Engineering, Oregon State Univ.
- [46] Εικόνα από εταιρία Matterport, <https://matterport.com/>
- [47] Εικόνα από blog εταιρίας Kuula, <https://blog.kuula.co/kuula-for-business>
- [48] Εικόνα από εταιρία 3DVista, <https://www.3dvista.com/en/>
- [53] Εικόνα Structure from Motion (SfM) photogrammetric principle από Theia-sfm.org (2016).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Βιβλία**

- [1] Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons.
- [50] Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded Up Robust Features. In: Leonardis, A., Bischof, H., Pinz, A. (eds) *Computer Vision – ECCV 2006*. ECCV 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 3951. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11744023_32
- [52] Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S. et al. Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. *Curr Forestry Rep* 5, 155–168 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00094-3>
- [54] Agarwal, S., Snavely, N., Seitz, S.M., Szeliski, R. (2010). Bundle Adjustment in the Large. In: Daniilidis, K., Maragos, P., Paragios, N. (eds) *Computer Vision – ECCV 2010*. ECCV 2010. Lecture Notes in Computer Science, vol 6312. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15552-9_3

Internet Site

- [2] Wallgrün, J. O., Bagher, M. M., Sajjadi, P., & Klippel, A. (2020, March). A comparison of visual attention guiding approaches for 360 image-based vr tours. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 83-91). IEEE.
- [5] What Is Photogrammetry? June 7, 2023 by JJ Kim [Online]. Available: <https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-photogrammetry/>
- [6] Photogrammetry: Step-by-Step Guide and Software Comparison [Online]. Available: <https://formlabs.com/eu/blog/photogrammetry-guide-and-software-comparison/?srslid=AfmBOopCLpeNXcxZf5aFuXwt3LfpWZMciyu8dY2dMmvRp1GPI9wCWVoC>
- [7] Confidence is Everything May 10,2020 : <https://deep3d.co.uk/2020/05/10/confidence-is-everything/>
- [33] Lachambre, S., Lagarde, S., & Jover, C. (2017). Photogrammetry workflow. Rapport Technique, Unity.
- [11] Pepe, M., & Domenica, C. (2020). Techniques, tools, platforms and algorithms in close range photogrammetry in building 3D model and 2D representation of objects and complex architectures. *Computer-Aided Design and Applications*, 18(1), 42-65.
- [34] Laugwitz, B., Held, T., Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In: Holzinger, A. (eds) *HCI and Usability for Education and Work*. USAB 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5298. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6
- [26] Schrepp, M., Hinderks, A., Thomaschewski, J. (2014). Applying the User Experience Questionnaire (UEQ) in Different Evaluation Scenarios. In: Marcus, A. (eds) *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience*. DUXU 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8517. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_37
- [27] Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2017, 07 01). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 40-44. <https://doi.org/10.25968/opus-3397>
- [16] Unity Technologies, “Introduction to Unity,” *Unity Documentation*, 2024.
- [17] Unity Technologies, “Supported Platforms,” *Unity Documentation*, 2024.
- [18] A. Adam, *Game Development with Unity*, 3rd ed., CRC Press, 2023.
- [19] M. Green, *Scripting for Game Mechanics in Unity*, O’Reilly, 2023.

[20] Zhou, Miao. (2025). Flux of Opera Dance Development and Digitization Construction in the Context of Big Data---Taking Xiangbei Region as an Example. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. DOI:10.2478/amns-2025-0424

[21] T. Smith, “The Role of Unity in Modern Game Development,” *Journal of Game Studies*, vol. 10, no. 2, 2023.

[22] Unity Technologies, “Rendering in Unity,” *Unity Documentation*, 2024.

[23] Agisoft Metashape Specifications, <https://www.agisoftmetashape.com/agisoft-metashape-features/>

[24] Method normalize Unity Docs :

<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.mathematics@1.2/api/Unity.Mathematics.math.normalize.html>

[28] Matterport official site : <https://buy.matterport.com/plans>

[29] Kuula official site : <https://kuula.co/>

[30] Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation) (Text with EEA relevance) <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/eng>

[31] Ethical Considerations in UX Design Team Designlab Feb 8, 2024

<https://designlab.com/blog/ethical-considerations-in-ux-design>

[35] Digital twins and its application in technology’s advancement Mariana Carvalho

Book Author Mariana Carvalho

Jun 19, 2024
<https://medium.com/womenintechology/digital-twins-and-its-application-in-technologys-advancement-3dd75b70cb05>

[36] ADVANTAGES OF 3D LASER SCANNING July 2018
<https://1sth.co.uk/advantages-3d-laser-scanning/>

Paper in Conference Proceedings

[25] H. A. Nimr, “Defuzzification of the outputs of fuzzy controllers,” presented at 5th International Conference on Fuzzy Systems, Cairo, Egypt, 2006.

Thesis

[12] Javadnejad, F. 2018. “Small unmanned aircraft systems (UAS) for engineering inspections and geospatial mapping.” Ph.D. dissertation, School of Civil and Construction Engineering, Oregon State Univ.

[13] Javadnejad, F., and D. T. Gillins. 2016. “Unmanned aircraft systems-based photogrammetry for ground movement monitoring.” In *Proc., Pipelines 2016*, 1000–1011. Reston, VA: ASCE

Journal Articles

[4] Wang, R. (2013). 3D building modeling using images and LiDAR: A review. *International Journal of Image and Data Fusion*, 4(4), 273-292.

[8] Batty, M. (2018). Digital twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), 817-820. <https://doi.org/10.1177/2399808318796416> (Original work published 2018)

- [9] Jiang Yuchen, Yin Shen, Li Kuan, Luo Hao and Kaynak Okyay 2021 Industrial applications of digital twins Phil. Trans. R. Soc. A.37920200360 <http://doi.org/10.1098/rsta.2020.0360>
- [10] Reljić, I., & Dunder, I. (2019). Application of photogrammetry in 3D scanning of physical objects. TEM journal, 8(1), 94.
- [15] Wang, L., Chen, R., & Kong, D. (2014, June). An improved patch based multi-view stereo (PMVS) algorithm. In 3rd International Conference on Computer Science and Service System (pp. 9-12). Atlantis Press.
- [14] Berra, E. F., & Peppas, M. V. (2020, March). Advances and challenges of UAV SFM MVS photogrammetry and remote sensing: Short review. In 2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS) (pp. 533-538). IEEE.
- [21] Isar, C. (2018). A glance into virtual reality development using unity. Informatica Economica, 22(3), 14-22.
- [3] Nebel, S., Beege, M., Schneider, S., & Rey, G. D. (2020, August). A review of photogrammetry and photorealistic 3D models in education from a psychological perspective. In Frontiers in Education (Vol. 5, p. 144). Frontiers Media SA.
- [37] Segura, C. G., López, G., Quesada, L., & Alvarado, O. (2024, September). Enhancing User Experience Questionnaire Data Visualizations with AttrakDiff Techniques. In 2024 IEEE VII Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil (AmITIC) (pp. 1-8). IEEE.
- [38] Root, R. W., & Draper, S. (1983, December). Questionnaires as a software evaluation tool. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 83-87).
- [39] Jerald, J. (2015). The VR book: Human-centered design for virtual reality. Morgan & Claypool.
- [40] Skarbez, R., Brooks, Jr, F. P., & Whitton, M. C. (2017). A survey of presence and related concepts. ACM computing surveys (CSUR), 50(6), 1-39.
- [41] Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Computers & education, 147, 103778.
- [49] What is SIFT(Scale Invariant Feature Transform) Algorithm?, Aishwarya Singh, 07 Apr, 2025, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/10/detailed-guide-powerful-sift-technique-image-matching-python>
- [51] Rublee, Ethan & Rabaud, Vincent & Konolige, Kurt & Bradski, Gary. (2011). ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2564-2571. 10.1109/ICCV.2011.6126544.