

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Κατεύθυνση Υπολογιστών και Ηλεκτρονικής

Οπτικοποίηση Μετεωρολογικών Δεδομένων με τη
χρήση Εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας

Διπλωματική Εργασία
του
Τσαντήλα Μιχαήλ

Επιβλέποντες: Δρ. Πρωτοψάλτης Αντώνιος
Καθ. Σαπίδης Νικόλαος

Οκτώβριος 2022, Κοζάνη

Οπτικοποίηση Μετεωρολογικών Δεδομένων με τη χρήση Εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας

Τσαντήλας Μιχαήλ

23 Οκτωβρίου 2022

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο "Οπτικοποίηση Μετεωρολογικών Δεδομένων με τη χρήση Εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας" καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Πρωτοψάλτη Αντώνιου αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Τσαντήλας Μιχαήλ & Πρωτοψάλτης Αντώνιος & Σαπίδης Νικόλαος, 2022, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή

Περίληψη

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των τεχνικών απόδοσης γραφικών επιτρέπουν τη ρεαλιστική οπτικοποίηση των δεδομένων. Ο συνδυασμός της επαυξημένης πραγματικότητας με την απόδοση των γραφικών μπορούν να δώσουν στο χρήστη ένα άρτιο και ακριβές αποτέλεσμα με σκοπό την ευκολότερη κατανόηση των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται καταλλήλως έτσι ώστε να είναι έτοιμα για ανάγνωση και ανάλυση. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με την οπτικοποίηση των νεφών και του εδάφους με τη χρήση πολυγωνικών πλεγμάτων. Συγκεκριμένα για τα νέφη χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι που μέσω των επεξεργασμένων δεδομένων δημιουργούν πλέγματα τα οποία καθορίζουν τους όγκους στους οποίους υπάρχει δραστηριότητα νεφών. Στους όγκους αυτούς στη συνέχεια εκπέμπονται σωματίδια μέσω την αντίστοιχων συστημάτων με αποτέλεσμα να προκύπτουν τα οπτικοποιημένα νέφη. Τέλος το αποτέλεσμα που προκύπτει μεταφέρεται στο περιβάλλον της επαυξημένης πραγματικότητας όπου μέσω χειριστηρίων και εργαλείων ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τη σκηνή.

Λέξεις κλειδιά: Επιστημονική οπτικοποίηση, επαυξημένη πραγματικότητα, πολυγωνικά πλέγματα, συστήματα σωματιδίων

Abstract

Developments in technology and graphics rendering techniques allow for realistic visualisation of data. The combination of augmented reality and graphics rendering can provide the user with a complete and accurate result to facilitate understanding of the data. This data is processed appropriately so that it is ready for parsing. In the present work we visualize clouds and terrain through the use of polygonal meshes. Specifically for clouds, algorithms are used that through the processed data create meshes that define the volumes in which cloud activity is present. Particles are then emitted into these volumes through the corresponding particle systems, resulting in the visualized clouds. Finally, the resulting output is transferred to the augmented reality environment where, through manipulations and tools, the user can edit the scene.

Keywords: Scientific visualization, augmented reality, polygonal meshes, particle systems

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Δρ. Αντώνιο Πρωτοψάλτη, για τις χρήσιμες κατευθύνσεις, οδηγίες και επιστημονικές κουβέντες, καθώς και τον καθηγητή Νικόλαο Σαπίδη για τις υποδείξεις του. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Κωσταντίνο Λαγουβάρδο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την παροχή και επεξήγηση των κατάλληλων δεδομένων που αποδείχθηκαν ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της εφαρμογής. Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω τους γονείς μου και τον αδερφό μου, για τη στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια αλλά και τη φίλη μου Ελευθερία που ήταν δίπλα μου όλο αυτό τον καιρό και με στήριζε με όποιο τρόπο μπορούσε.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων	3
1 Εισαγωγή	5
1.1 Οπτικοποίηση Δεδομένων	5
1.2 Κίνητρο Διεξαγωγής της Εργασίας	6
1.3 Σκοπός της Εργασίας	6
1.4 Δομή της Εργασίας	7
2 Θεωρητικό Υπόβαθρο	8
2.1 Μηχανές Γραφικών	8
2.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)	9
2.2.1 Τρόποι Επαύξησης	11
2.2.2 Πεδία Εφαρμογής	13
2.2.3 Συσκευές και Πλατφόρμες Χρήσης	13
2.3 Γεωγραφικά Στοιχεία και Γεω-κωδικοποίηση	14
2.4 Μαθηματικά στις Τρεις Διαστάσεις	15
2.4.1 Συντεταγμένες	15
2.4.2 Διανύσματα (Vectors)	15
2.4.3 Θέση, Περιστροφή και Κλίμακα Αντικειμένων στο Χώρο	16
2.5 Ray casting	18
2.6 Πολυγωνικά Πλέγματα (Meshes)	19
2.7 Συστήματα Σωματιδίων (Particle Systems)	21
3 Ανάλυση και Σχεδιασμός Εφαρμογής	23
3.1 Ανάλυση εφαρμογής	23
3.2 Ανάλυση απαιτήσεων	23
3.3 Περιγραφή Δεδομένων Μετεωρολογικών Μετρήσεων	23
3.4 Σχεδιασμός εφαρμογής	25
3.5 Σχεδιασμός εμπειρίας Χρήσης - User Interface	26
4 Υλοποίηση της Εφαρμογής	31
4.1 Μηχανή Γραφικών Unity	31
4.1.1 Πλεονεκτήματα Χρήσης	31
4.1.2 Υποστηριζόμενες Γλώσσες Προγραμματισμού	32
4.1.3 Σκηνή και Αντικείμενα	32
4.1.4 Σωληνώσεις Απόδοσης Γραφικών (Render Pipelines)	34
4.1.5 Στοιχεία Ροής (Streaming Assets)	35
4.1.6 Πρόσθετα Εργαλεία	35
4.1.7 AR Foundation	35
4.1.8 ARCore XR	36

4.1.9 ARKit XR	37
4.1.10Vuforia Engine AR	38
4.1.11Windows XR	38
4.2 Υλοποίηση εφαρμογής	38
4.2.1 Εισαγωγή - Διαχείριση Δεδομένων	38
4.2.2 Δημιουργία Πολυγωνικού Πλέγματος εδάφους	40
4.2.3 Δημιουργία Πολυγωνικών Πλεγμάτων Νεφών	43
4.2.4 Συστήματα Σωματιδίων (Particle Systems)	45
4.2.5 Επαυξημένη Πραγματικότητα	46
4.2.6 Χειριστήρια και Εργαλεία	48
4.3 Βελτιστοποίηση Απόδοσης	52
4.4 Χρόνοι Εκτέλεσης και Μετρήσεις Απόδοσης	53
5 Συμπεράσματα	55
5.1 Σύνοψη	55
5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	55

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	2Δ vs 3Δ, η σημασία της ένταξης της τρίτης διάστασης στη διαδικασία της οπτικοποίησης	6
2.1	Η αυξητική πορεία της χρήσης της τεχνολογίας της επαυξημένης πραγματικότητας απο το ευρύ κοινό και μελλοντικές εκτιμήσεις.	10
2.2	Απεικόνιση των βασικών διαφορών μεταξύ της εικονικής και της επαυξημένης πραγματικότητας.	11
2.3	Δείκτες επαύξησης.	12
2.4	Η συσκευή επαυξημένης πραγματικότητας της Magic Leap, MagicLeap 2.	14
2.5	Η συσκευή επαυξημένης πραγματικότητας της Microsoft, HoloLens 2, και τα κομμάτια που την απαρτίζουν.	14
2.6	Ανάλυση της γης με συντεταγμένες μέσω του γεωγραφικού πλάτους και μήκους.	15
2.7	Παράδειγμα υπολογισμών μέσω διανυσμάτων.	16
2.8	Θέση, περιστροφή, κλίμακα ενός κύβου στη Unity 3D.	17
2.9	Παράδειγμα χωρικών σχέσεων σε οργάνωση σκηνής-γράφων.	17
2.10	Ένα αντικείμενο-γονέας με τα αντικείμενα-παιδιά του στο περιβάλλον της Unity.	18
2.11	Αλλαγή του γονέα σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα.	18
2.12	Ψευδοκώδικας του ray casting αλγορίθμου.	19
2.13	Παράδειγμα ray casting από την κάμερα της σκηνής σε ένα σφαιρικό αντικείμενο.	19
2.14	Παράδειγμα πλέγματος περωτής ακμής.	20
2.15	Τρισδιάστατο πλέγμα με τριγωνικές όψεις.	20
2.16	Ένα κλασσικό σύστημα σωματιδίων με σφαιρικό σχήμα.	21
2.17	Τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά για την επεξεργασία ενός συστήματος σωματιδίων που παρέχονται από τη Unity.	22
3.1	Τα δεδομένα μετρήσεων υγρασίας νεφών για κάθε σημείο και κάθε επίπεδο μέτρησης στο 3.1α' και στο 3.1β' οι υπομετρικές μετρήσεις εδάφους για τα αντίστοιχα σημεία.	24
3.2	Το διάγραμμα με τα στάδια σχεδιασμού και ανάπτυξης της εφαρμογής.	25
3.3	Το UI της εφαρμογής.	26
3.4	Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση της σκηνής.	27
3.5	Η οπτικοποίηση της σκηνής χωρίς τις πρώτες δύο ομάδες νεφών απο μηδέν έως είκοσι τα εκατό πυκνότητας.	28
3.6	Η εφαρμογή με ενεργοποιημένη τη διαδικασία μεταβολής σκηνής.	28
3.7	Η στιγμή που ο χρήστης έχει επιλέξει το σημείο περιστροφής και τη φορά (πριν ολοκληρωθεί η περιστροφή).	29
3.8	Η στιγμή που ο χρήστης σταμάτησε την αλληλεπίδραση μέσω αφής και η περιστροφή ολοκληρώθηκε.	29

3.9 Η εφαρμογή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αλλαγής κλίμακας.	30
3.10 Η εφαρμογή χωρίς τα χειριστήρια στην οθόνη της συσκευής.	30
4.1 Η προεπιλεγμένη σκηνή της Unity που διαθέτει την κύρια κάμερα και μία κατευθυντική πηγή φωτός.	33
4.2 Ένα αντικείμενο φωτισμού με τα εξαρτήματα του.	33
4.3 Ένα άδειο αντικείμενο που περιέχει μόνο το εξάρτημα μετασχηματισμού. . .	34
4.4 Τα στάδια μιας σωληνώσης απόδοσης γραφικών.	35
4.5 Τα απαιτούμενα εργαλεία για τη δημιουργία εφαρμογών σε κινητά.	36
4.6 Η μετατροπή των δεδομένων από σημεία μετρήσεων σε όγκους.	39
4.7 Παράδειγμα τριγωνοποίησης κορυφών με σκοπό τη δημιουργία τριγωνικής όψης.	41
4.8 Απόσπασμα του πλέγματος χωρίς την υφή του χάρτη, Κρήτη.	41
4.9 Η εικόνα υφής που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο, όψη μέσω του Unity Editor. .	42
4.10 Λεπτομέρειες από την τρισδιάστατη απεικόνιση του εδάφους με εστίαση στην περιοχή της Κρήτης.	43
4.11 Λεπτομέρειες από την κατακόρυφη ανάπτυξη των νεφών στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας.	43
4.12 Παράδειγμα πλέγματος γειτονικών νεφών της ίδιας κατηγορίας.	45
4.13 Δείγμα του σωματιδίου εκπομπής.	45
4.14 Παράδειγμα αποτελέσματος οπτικοποίησης ενός σετ δεδομένων με το ολοκληρωμένο υπόβαθρο και τα νέφη, περιβάλλον Unity Editor.	46
4.15 Τα αντικείμενα-εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μιας σκηνής στο περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας.	47
4.16 Το kit της Microsoft για δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας μέσω Unity.	48

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Οπτικοποίηση Δεδομένων

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει φτάσει σε ένα επίπεδο που επιτρέπει την οπτικοποίηση δεδομένων με ιδιαίτερα ρεαλιστικά αποτελέσματα. Η ύπαρξη των μεγάλων δεδομένων (Big Data) έχουν καταστήσει την οπτικοποίηση πιο σημαντική από ποτέ. Η επιστημονική οπτικοποίηση αναφέρεται στη διαδικασία αναπαράστασης ακατέργαστων, επιστημονικών δεδομένων, παρέχοντας ένα εξωτερικό βοήθημα για τη βελτίωση της ερμηνείας μεγάλων συνόλων δεδομένων και θεωρείται υποσύνολο των γραφικών υπολογιστών, κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών. Η διαδικασία αυτή προσφέρει ένα σύστημα για την επιτάχυνση της κατανόησης και εξήγησης των δεδομένων μέσω της παρουσίασης τους στους εκάστοτε επιστήμονες με ιδιαίτερα κατανοητούς τρόπους. Οι προσεγγίσεις που αναπτύσσονται είναι γενικές και ο στόχος είναι να είναι εφαρμόσιμες σε σύνολα δεδομένων οποιουδήποτε μεγέθους, ανεξαρτήτως μεγέθους, διατηρώντας παράλληλα υψηλή διαδραστικότητα. Ο συνδυασμός της απόδοσης γραφικών για επιστημονική οπτικοποίηση μέσω μηχανών γραφικών, με την επαυξημένη πραγματικότητα δίνουν στο χρήστη το ιδανικό αποτέλεσμα. Ο τομέας αυτός είναι γνωστός και ως Immersive Analytics [1], αν και σύμφωνα με την επιστημονική κοινότητα βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο συχνά χαρακτηρίζεται ως το μέλλον της οπτικοποίησης δεδομένων. Το αποτέλεσμα που προκύπτει μπορεί να δωθεί τόσο σε χρήστες για την παρακολούθηση του όσο και στους εκάστοτε επιστήμονες, ανάλογα με το αντικείμενο, για την ανάλυση του. Έτσι μπορούν να αναπτυχθούν προσομοιώσεις που μέσω της ανάπτυξης της τεχνολογίας βοηθούν στην εξέλιξη της επιστήμης με τη χρήση λιγότερων πόρων.

Η ενσωμάτωση της εμπύθισης (Immersion) καθιστά τις απεικονίσεις σημαντικά πιο χρήσιμες, εκτός από το να προσφέρουν απλώς έναν πιο διασκεδαστικό τρόπο να βλέπεις τα δεδομένα. Όταν χρησιμοποιείται σωστά, η εμπύθιση επιτρέπει στους χρήστες όλων των επιπέδων τεχνικών δεξιοτήτων να προσλαμβάνουν τεράστιους όγκους πολύπλοκων δεδομένων χωρίς να αυξάνεται το γνωστικό τους φορτίο. Για παράδειγμα, σε ένα συνηθισμένο σενάριο που απαιτεί από έναν χρήστη να κατανοήσει και να βγάλει συμπεράσματα από ένα υπολογιστικό φύλλο με τεράστιο αριθμό κελιών απαιτεί πολύ χρόνο και προσπάθεια από τη πλευρά του χρήστη για την εκτέλεση αυτής της δραστηριότητας, επειδή τα δεδομένα παρουσιάζονται με τρόπο αναποτελεσματικό για τους ανθρώπους, οι οποίοι βασίζονται κυρίως στις οπτικές τους αισθήσεις, και δεν είναι βελτιστοποιημένα για κατανόηση.



Σχήμα 1.1: 2Δ vs 3Δ, η σημασία της ένταξης της τρίτης διάστασης στη διαδικασία της οπτικοποίησης

Πηγή: BadVR

1.2 Κίνητρο Διεξαγωγής της Εργασίας

Στη σύγχρονη κοινωνία υπάρχει πληθώρα δεδομένων τα οποία προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Τα δεδομένα αυτά [2] πολύ συχνά είναι περίπλοκα, μεγάλα σε όγκο και δύσκολα στην ανάγνωση. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τη μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων δημιουργείται καθημερινά μεγάλος όγκος δεδομένων ο οποίος μένει ανεκμετάλλευτος. Η ύπαρξη αυτών των δεδομένων μπορεί να ωθήσει έναν προγραμματιστή στη δημιουργία μιας εφαρφογής οπτικοποίησης τους όπου μέσω αλγορίθμων μπορεί να προκύψει απλοποίηση και ομαδοποίηση των δεδομένων για καλύτερη ανάλυση. Όσον αφορά την επιστήμη της μετεωρολογίας, η σωστή πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων είναι πολύ σημαντική τόσο για τη ζωή των ανθρώπων όσο και για την υγεία της οικονομίας της κοινωνίας. Κάθε μετεωρολόγος πρέπει να έχει πλήρη κατανόηση του περιβάλλοντος και της κατανομής των νεφών στο χώρο ανάλυσης προκειμένου να μπορεί με σιγουριά να προβλέψει και να αναλύσει την κατάσταση. Έτσι, μέσω της επιστημονικής οπτικοποίησης [3] η ανάγνωση και κατανόηση των δεδομένων απλουστεύεται με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πόρων αλλά και χρόνου. Μέσω της συνεργασίας με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και τη λήψη και κατανόηση δεδομένων, μπορεί να προκύψει ένα αποτέλεσμα ρεαλιστικής οπτικοποίησης το οποίο θα είναι σε θέση να βοηθήσει τόσο τους επιστήμονες μετεωρολόγους όσο και τους ειδικούς πολιτικής προστασίας να αντιλαμβάνονται την τρέχουσα κατάσταση των νεφών μέσω επαυξημένης πραγματικότητας [4] και να λαμβάνουν γρήγορες και σωστές αποφάσεις.

1.3 Σκοπός της Εργασίας

Η τεχνολογία της ανάπτυξης και αποτύπωσης γραφικών σημειώνει συνεχώς πρόοδο, με αποτέλεσμα η οπτικοποίηση των δεδομένων να γίνεται ευκολότερη και πιο αποτελεσματική. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η οπτικοποίηση των νεφών αλλά και του εδάφους μέσω των αντίστοιχων σετ δεδομένων καθώς και η παροχή των κατάλληλων εργαλείων στο χρήστη για επεξεργασία του αποτελέσματος. Η οπτικοποίηση αυτή θα συνδυαστεί με την τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας προκειμένου να επιτευχθεί η βύθιση (immersion) του χρήστη στο περιβάλλον της μεικτής πραγματικότητας που παράγεται με σκοπό την ευκολότερη κατανόηση και ανάγνωση του αποτελέσματος. Μέσω της οπτικοποίησης η εφαρμογή είναι σε θέση να παράγει ένα τύπο ψηφιακού διδύμου μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας. Η οπτικοποίηση θα γίνει μέσω δυναμικών αλγορίθμων οι οποίοι προσαρμόζουν

το οπτικό αποτέλεσμα των νεφών (πχ. χρώμα, πυκνότητα, διαφάνεια νεφών) ανάλογα με τα δεδομένα. Παράλληλα, θα αναπτυχθούν και τα κατάλληλα εργαλεία μέσω των οποίων ο χρήστης θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί τη σκηνή στο χώρο προκειμένου να την αντιληφθεί και να την κατανοήσει. Έτσι σκοπός είναι να δωθεί στους μετεωρολόγους ένα εργαλείο μελέτης των νεφών στον Ελλαδικό χώρο προκειμένου να είναι σε θέση να μελετάνε την τρέχουσα κατάσταση και να λαμβάνουν σωστές και γρήγορες αποφάσεις.

1.4 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από έξι κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι γενικότερες έννοιες της τεχνολογίας και των εννοιών που πραγματεύεται η εργασία. Το τρίτο κεφάλαιο αφορά τη μηχανή γραφικών της Unity όπου αναφέρονται γενικές πληροφορίες για αυτή αλλά και πληροφορίες για τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής ανάλυση της εφαρμογής, όπου αρχικά γίνεται μία εισαγωγή και αναφορά στις περιπτώσεις χρήσης. Στη συνέχεια υπάρχει η ανάλυση και ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων αλλά και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμη, γίνεται αναφορά στα συστήματα σωματιδίων που βοηθούν στην οπτικοποίηση αλλά και στον τρόπο που προσαρμόζεται η σκηνή στο περιβάλλον της επαυξημένης πραγματικότητας. Τέλος γίνεται αναφορά στη βελτιστοποίηση τόσο της εμπειρίας του χρήστη όσο και της απόδοσης της εφαρμογής, όπως και σε χρόνους εκτέλεσης και μετρήσεις απόδοσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των λειτουργιών της εφαρμογής μέσω στιγμιότυπων οθόνης ενώ στο έκτο κεφάλαιο βρίσκονται τα συμπεράσματα αλλά και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο εν λόγω κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής ανάλυση της θεωρίας που σχετίζεται με την εφαρμογή. Αρχικά υπάρχει μία εισαγωγή για τη σημασία της OpenGL στη βιομηχανία και την εξέλιξη των μηχανών γραφικών καθώς και τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στη διαδικασία της ανάπτυξης μιας εφαρμογής. Στη συνέχεια υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την επαυξημένη πραγματικότητα, τους τρόπους που μπορεί να αναπτυχθεί, τη διαδικασία της βύθισης του χρήστη στο περιβάλλον της μεικτής πραγματικότητας προκειμένου να κατανοήσει ευκολότερα το αντικείμενο, τα πεδία εφαρμογής αλλά και τις συσκευές χρήσης. Ακόμη, γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά στοιχεία και στη γεω-κωδικοποίηση τα οποία είναι αναγκαία τόσο για τη δημιουργία του πλέγματος του εδάφους όσο και για την κατανόηση της κατανομής των νεφών στο χώρο μέσω του συστήματος συντεταγμένων, στη σημασία των 3D μαθηματικών στον τομέα των γραφικών αλλά και στη χύτευση ακτίνων (ray casting) και πως αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτυχθούν εργαλεία στο περιβάλλον της εφαρμογής. Τέλος, υπάρχουν ξεχωριστές ενότητες με πληροφορίες για τα πολυγωνικά πλέγματα (meshes) αλλά και τα συστήματα σωματιδίων (particle systems) τα οποία εκμεταλλεύεται η εφαρμογή προκειμένου να οπτικοποιηθούν τόσο τα νέφη όσο και το έδαφος του χώρου ανάλυσης αποτελεσματικά.

2.1 Μηχανές Γραφικών

Από τη στιγμή που εισήχθησαν τα γραφικά υπολογιστών στη βιομηχανία, οι ανάγκες για τεχνικές και τρόπους οπτικοποίησης πληθαίνουν συνεχώς. Λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος στην καταναλωτική αγορά, παρατηρείται τεράστια πρόοδος στο υλικό και στο λογισμικό. Οι μηχανές γραφικών είναι ισχυρά πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τις σωληνώσεις απόδοσης γραφικών (rendering pipelines), ειδικές δομές δεδομένων και τεχνικές επιτάχυνσης. Μέσω αυτών των διεργασιών προκύπτει η απεικόνιση τρισδιάστατων αντικειμένων με απεικόνιση σκηνών, υψής και δισδιάστατων ή τρισδιάστατων αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. [5]

Η OpenGL [6] προσηύχθη των μηχανών γραφικών. Πρόκειται για μία Διεπαφή Προγραμματισμού 3D Γραφικών (API) μέσω της οποίας ο προγραμματισμός όλων των συστημάτων της εφαρμογής γίνεται από τον προγραμματιστή. Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι οι σωληνώσεις απόδοσης γραφικών (rendering pipelines), τα συστήματα συγκρούσεων (collision systems) της εφαρμογής και οποιοδήποτε άλλο εργαλείο ή χαρακτηριστικό επιθυμεί ο προγραμματιστής να προσθέσει στην εφαρμογή του.

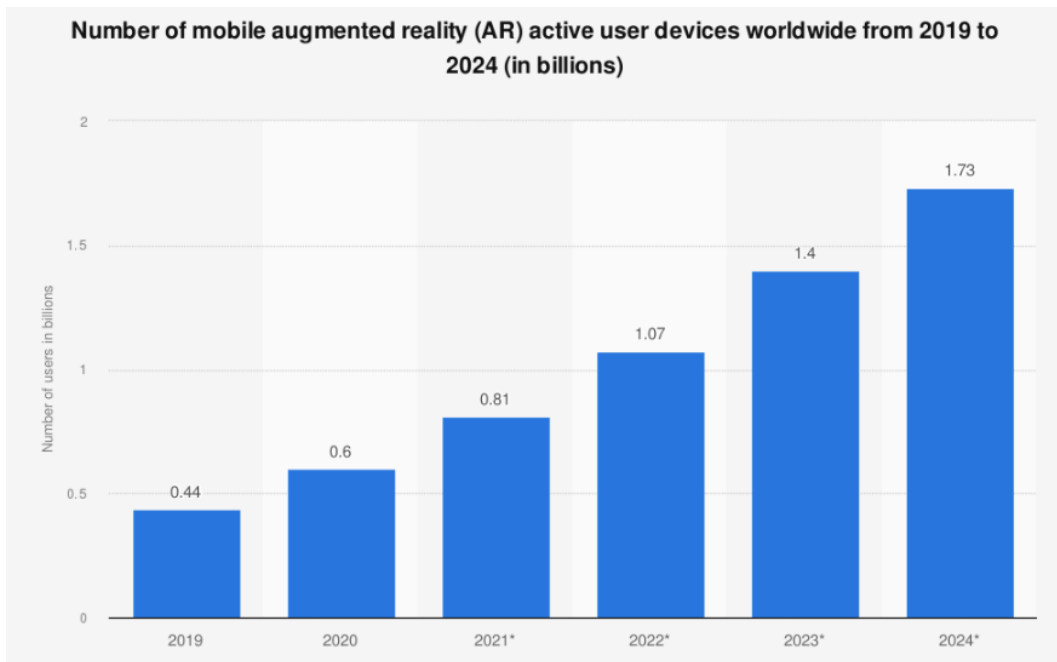
Τα λογισμικά των μηχανών γραφικών δημιουργήθηκαν αρχικά από προγραμματιστές που δραστηριοποιούνταν κυρίως στη βιομηχανία των παιχνιδιών με σκοπό την ανάπτυξη νέων

παιχνιδιών πιο γρήγορα και εύκολα. Τώρα όμως, αυτά τα ισχυρά εργαλεία απόδοσης γραφικών έχουν δώσει σε άλλους κλάδους της επιστήμης και της βιομηχανίας την ευκαιρία να οπτικοποιήσουν δεδομένα, προϊόντα και διαδικασίες με νέους τρόπους και να αναπτύξουν δημιουργικούς τρόπους συνεργασίας και καινοτομίας. Η απόδοση και η ποιότητα της οπτικοποίησης διαρκώς εξελίσσεται συνεχώς καθώς η βιομηχανία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών αναπτύσσει και εφαρμόζει νέες τεχνολογίες οπτικοποίησης. Πολλές από τις μηχανές τελευταίας γενιάς ή βιβλιοθήκες που σχετίζονται με παιχνίδια και γενικότερα εφαρμογές είναι πλέον διαθέσιμες με μικρό ή και καθόλου κόστος με τρανά παραδείγματα μηχανές όπως η Unity [7] και η Unreal Engine [8].

Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης μιας μηχανής γραφικών για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής είναι η ύπαρξη των βασικών λειτουργιών και εργαλείων. Έτσι ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να επικεντρωθεί στον προγραμματισμό των λειτουργιών της εφαρμογής χωρίς να χρειάζεται να προγραμματίσει τα θεμέλια της εφαρμογής (πχ. σωλήνωση απόδοσης γραφικών) αν αυτό δεν είναι αναγκαίο. Έτσι ο προγραμματιστής χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα εργαλεία ανάπτυξης μπορεί να δημιουργήσει εφαρμογές τόσο για desktop υπολογιστές όσο και για κινητά ή συσκευές επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας πολύ ταχύτερα σε σχέση με την ανάπτυξη στο περιβάλλον της OpenGL.

2.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει φτάσει σε ένα επίπεδο που επιτρέπει την χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια τεχνολογία που έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα, όπως και από το ευρύτερο κοινό. Ολοένα και περισσότεροι χρήστες έρχονται σε επαφή με την τεχνολογία αυτή όπως φαίνεται και στο γράφημα 2.1 και θεωρείται ο κατάλληλος τρόπος για τη ρεαλιστική οπτικοποίηση πληροφοριών. Ως επαυξημένη πραγματικότητα ορίζεται η άμεση ή έμμεση προβολή του πραγματικού κόσμου που έχει ενισχυθεί με την προσθήκη εικονικών πληροφοριών που δημιουργούνται από υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο [4].



Σχήμα 2.1: Η αυξητική πορεία της χρήσης της τεχνολογίας της επαυξημένης πραγματικότητας από το ευρύ κοινό και μελλοντικές εκτιμήσεις.

Πηγή: ARtillery Intelligence; AR Insider; ©Statista 2022

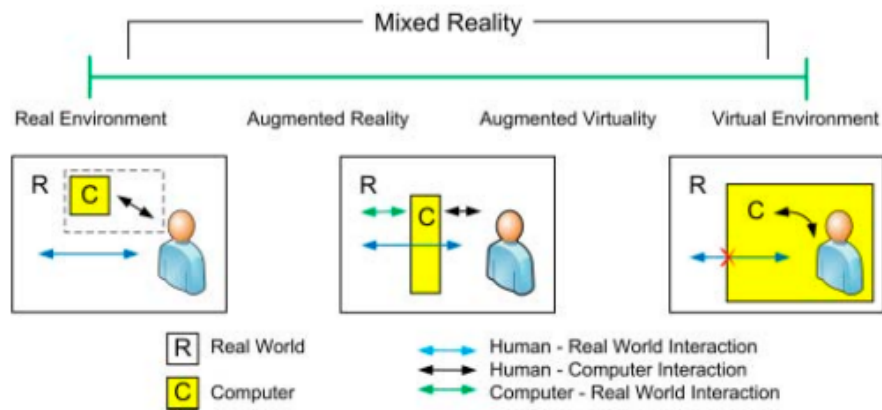
Η επαυξημένη πραγματικότητα εντάσσεται σε ένα γενικότερο πλαίσιο που αποκαλείται μεικτή πραγματικότητα, στο φάσμα της οποίας, πέρα από την επαυξημένη πραγματικότητα εντάσσεται και η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) [9] όπου ο χρήστης συνήθως φορά κάποια συσκευή κεφαλής (Head-mounted display HMD) απομονώνεται εντελώς από το περιβάλλον γύρω του και δεν έχει καμία επαφή με αυτό παρά μόνο με τη συσκευή. Αντιθέτως η επαυξημένη πραγματικότητα συνδυάζει πραγματικά με εικονικά αντικείμενα στο πραγματικό περιβάλλον, αντιλαμβάνεται και ταυτοποιεί το χώρο και ευθυγραμμίζει τα πραγματικά και τα εικονικά αντικείμενα μεταξύ τους ενώ εκτελείται και διαδραστικά, στις τρεις διαστάσεις και σε πραγματικό χρόνο.

Έτσι, προκύπτει ότι η βασική διαφορά μεταξύ της επαυξημένης και της εικονικής πραγματικότητας όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 2.2, είναι η άμεση αλληλεπίδραση του χρήστη με το φυσικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της επαύξης, σε αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα που ο χρήστης χάνει επαφή με το φυσικό περιβάλλον γύρω του και αποσπάται τελείως από τον πραγματικό κόσμο.

Η διαδικασία της επαύξης [10] αποτελείται από τρεις βασικές διαδικασίες:

- την αναγνώριση του χώρου επαύξης ή/και των αντικειμένων,
- την ιχνηλάτησή τους,
- την απόδοση των γραφικών στο φυσικό περιβάλλον.

Κατά τη διάρκεια της αναγνώρισης γίνεται χρήση της κάμερας και των αισθητήρων της συσκευής για την αναγνώριση των αντικειμένων και του χώρου. Στη συνέχεια, μέσω της συλλογής δεδομένων αλλά και αλγορίθμων προκύπτουν η θέση, η κατεύθυνση αλλά και η διαστάση του αντικειμένου στο χώρο αλλά και η ίδια η μορφή του χώρου. Μέσω αλγορίθμων προκύπτει και η αντίληψη του βάθους στο χώρο για την πλήρη κατανόηση του χώρου επαύξης. Τέλος, μετά τη συλλογή όλων αυτών των δεδομένων προκύπτει η απόδοση των γραφικών με τον επιθυμητό τρόπο στο χώρο επαύξης.



Σχήμα 2.2: Απεικόνιση των βασικών διαφορών μεταξύ της εικονικής και της επαυξημένης πραγματικότητας.

Πηγή: [11]

2.2.1 Τρόποι Επαύξεσης

Τα 2D ή 3D μοντέλα που απεικονίζονται στη εικονική σκηνή, επαυξάνουν το φυσικό κόσμο τοποθετούμενα σε συγκεκριμένες, και όχι σε τυχαίες, θέσεις χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές. Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας [12] γενικά μπορούν να διαχωριστούν σε αυτά που χρησιμοποιούν δείκτες και σε αυτά που δε χρησιμοποιούν δείκτες. Πέρα από αυτές τις δύο κατηγορίες, χρησιμοποιούνται και μέθοδοι ανίχνευσης αντικειμένων όπως η μέθοδος ανίχνευσης ενός μοντέλου ή η μέθοδος ανίχνευσης των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου.

Ανίχνευση με Δείκτη

Η ανίχνευση με δείκτη [13] θεωρείται η απλούστερη μέθοδος επαύξεσης. Αυτό συμβαίνει καθώς οι δείκτες που χρησιμοποιούνται (βλ. σχήμα 2.3) έχουν μεγάλη αντίθεση και μπορούν να αναγνωριστούν γρήγορα από τη συσκευή προκειμένου να δημιουργηθεί η περιοχή τοποθέτησης της σκηνής. Με τη χρήση τους, οι εφαρμογές είναι σε θέση να προσδιορίσουν τη γωνία και την κατεύθυνση στην οποία στοχεύουν όπως και την απόσταση. Η κάμερα αυτού του συστήματος λαμβάνει συνεχείς εικόνες του αντικείμενου-στόχου, ενώ παράλληλα επεξεργάζεται την εικόνα για να καθορίσει τη θέση, τον προσανατολισμό και την κίνηση της σκηνής οπτικοποίησης σε σχέση με το αντικείμενο-στόχο. Στη συνέχεια, η εφαρμογή μεταφράζει αυτό το δείκτη για να εμφανίσει μια απεικόνιση στην οθόνη, έτσι ώστε να φαίνεται ότι είναι τοποθετημένη ακριβώς πάνω στο δείκτη στον φυσικό κόσμο.

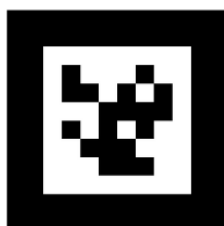
Συχνά χρησιμοποιούνται είτε μαύρα είτε λευκά τετράγωνα με γεωμετρικά μοτίβα ως δείκτες. Λόγω της ακραίας αντίθεσης μεταξύ του μαύρου και του λευκού και του περιβάλλοντος χώρου, τα αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν αμέσως. Η αποτελεσματικότητα των εφαρμογών επαύξεσης που παρέχονται από αυτή την τεχνολογία περιορίζεται συχνά από ζητήματα φωτισμού.



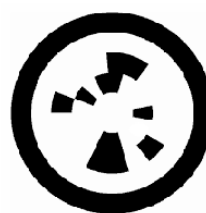
(a) Augmented Reality application running on a smart-phone



(b) Template Marker



(c) Bar-code Marker



(d) Circular Marker

Σχήμα 2.3: Δείκτες επαύξησης.

Ανίχνευση χωρίς Δείκτη

Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας χωρίς δείκτες χρησιμοποιούν το επιταχυνσιόμετρο, την πυξίδα και τα δεδομένα θέσης (GPS) των ηλεκτρονικών συσκευών για να καθορίσουν τη θέση τους στον πραγματικό κόσμο, την κατεύθυνση προς την οποία δείχνουν και τον άξονα στον οποίο περιστρέφονται [14]. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια συγκρίνονται με μία βάση δεδομένων για τον προσδιορισμό της θέσης και της κατεύθυνσης της συσκευής έτσι ώστε να επιτευχθεί η επαύξηση. Τα αντικείμενα προς επαύξηση τοποθετούνται είτε πάνω σε αναγνωρισμένες, από το σύστημα επαύξησης, επιφάνειες, είτε στο χώρο μπροστά στον χρήστη.

Ανίχνευση διδιάστατης Εικόνας Μοντέλου

Η μέθοδος ανίχνευσης μοντέλου εκμεταλλεύεται την καταγεγραμμένη γνώση της διδιάστατης εμφάνισης ενός συγκεκριμένου φυσικού αντικειμένου με τη χρήση μιας εικόνας, όπως για παράδειγμα η φωτογραφία ενός συγκεκριμένου 3D μοντέλου. Μέσω της γνώσης αυτής έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει το αντικείμενο στο φυσικό περιβάλλον και να το χρησιμοποιήσει ως δείκτη. Η μέθοδος αυτή [15] αναλύει τη γεωμετρική αναπαράσταση των αντικειμένων, και ευθυγραμμίζει τα εικονικά μοντέλα με τα αντικείμενα του φυσικού περιβάλλοντος. Η μέθοδος αυτή επίσης χρησιμοποιείται για συγκρίσεις μεταξύ φυσικών και εικονικών αντικειμένων που αποδίδονται μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας.

Ανίχνευση Ιδιαίτερων Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών

Η μέθοδος αυτή [16] έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει κατηγορίες αντικειμένων στο χώρο αναγνωρίζοντας τη γεωμετρία τους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και να τα χρησιμοποιεί ως δείκτες. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά διαφέρουν ανάλογα με το στόχο, για

παράδειγμα ο εντοπισμός ενός προσώπου μπορεί να προκύψει μέσω της ιδιαίτερης μορφής που αυτό έχει σε σχέση με τα υπόλοιπα αντικείμενα στη φύση. Από την άλλη ο εντοπισμός ενός ποδηλάτου προκύπτει μέσω της αντίστοιχης μορφής του, την ύπαρξη του σκελετού, τις ρόδες κλπ. Για να επιτευχθεί αυτό, όπως και στην προηγούμενη μέθοδο έτσι και σε αυτή, είναι αναγκαία η ύπαρξη της γνώσης από πριν. Με βάση τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων και ανιχνεύοντας τα, τα αντικείμενα μετατρέπονται σε δείκτες και στη συνέχεια η εφαρμογή έχει τη δυνατότητα επαύξησης μέσω αυτών.

Η βασική διαφορά της προηγούμενης μεθόδου από αυτή είναι ότι η ανίχνευση μοντέλου είναι πιο συγκεκριμένη ενώ η ανίχνευση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών πιο γενική (πχ. με την ανίχνευση μοντέλου μπορεί να ανιχνευτεί ένα συγκεκριμένο μοντέλο αυτοκινήτου ενώ με την ανίχνευση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μπορεί να ανιχνευτεί οποιοδήποτε αυτοκίνητο).

2.2.2 Πεδία Εφαρμογής

Με την πάροδο των ετών, οι ερευνητές και οι προγραμματιστές βρίσκουν όλο και περισσότερους τομείς που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας. Τα πρώτα συστήματα επικεντρώθηκαν σε στρατιωτικές, βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές ενώ αμέσως μετά ήρθαν και τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας που αποσκοπούσαν σε εμπορική χρήση και ψυχαγωγία [17]. Επιγραμματικά κάποιες επιπλέον κατηγορίες στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία αυτή με επιτυχία είναι η πλοήγηση, ο τουρισμός, η σχεδίαση, τα παιχνίδια, η εκπαίδευση κλπ.

Όσον αφορά τον τομέα της οπτικοποίησης, η μέθοδος της επαυξημένης πραγματικότητας είναι ένας ιδιαίτερα χρήσιμος τρόπος απόδοσης γραφικών για την οπτικοποίηση δεδομένων [18]. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση χρηστών μέσω οπτικοποίησης σε επαυξημένη πραγματικότητα [19], συστήματα που οπτικοποιούν τη μέθοδο της λαπαροσκοπικής χειρουργικής [20] αλλά και συστήματα που μέσω της επαύξησης προσομοιώνουν εκδηλώσεις που θα προσεκλύσουν κοινό με σκοπό τον βέλτιστο σχεδιασμό και την προετοιμασία τους [21].

2.2.3 Συσκευές και Πλατφόρμες Χρήσης

Μία συσκευή για να τρέξει εφαρμογές που εκμεταλλεύονται την επαυξημένη πραγματικότητα αρχικά πρέπει να διαθέτει βασικές λειτουργίες όπως κάμερα, GPS και γυροσκόπιο ανάλογα με το σύστημα επαύξησης που χρησιμοποιείται. Πέρα από αυτές τις λειτουργίες, αν πρόκειται για κινητό τηλέφωνο, πολύ σημαντικό είναι και το κομμάτι του λογισμικού καθώς οι εφαρμογές για κινητά Android είναι χτισμένες με το ARCore ενώ οι iOS συσκευές χτίζονται με το ARKit [14].

Εκτός από τα smartphones, υπάρχουν και ειδικά σχεδιασμένες AR συσκευές κεφαλής, headset ή γυαλιά, ιδιαίτερα πολύπλοκες και προσφέρουν στο χρήστη την πλήρη εμπειρία της επαύξησης. Μεγάλες εταιρείες όπως η Google, η MagicLeap και η Microsoft αναπτύσσουν συσκευές οι οποίες ήδη υπάρχουν στην αγορά (πχ. το Magic Leap 2, βλ. σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Η συσκευή επαυξημένης πραγματικότητας της Magic Leap, MagicLeap 2.

Πηγή: Magic Leap

Στην εικόνα 2.5 παρουσιάζονται τα υποσυστήματα από τα οποία απαρτίζεται η συσκευή της Microsoft, HoloLens 2. Στα αριστερά βρίσκεται το μπροστά μέρος της συσκευής όπου βρίσκονται το μικρόφωνο και η προσωπίδα. Πηγαίνοντας προς τα δεξιά υπάρχουν οι σένσορες βάθους Azure Kinect και οι κάμερες. Στη συνέχεια υπάρχει ο Κύριος Πίνακας Λογικής (MLB) αλλά και το επιταχυνσιόμετρο, το γυροσκόπιο και το μαγνητόμετρο. Στο κέντρο βρίσκεται το κομμάτι που τοποθετείται στο κεφάλι του χρήστη, εκεί βρίσκονται τα ηχεία της συσκευής. Στο πίσω μέρος βρίσκεται η μπαταρία, η κεραία Wi-Fi, η κεραία Bluetooth και το Chip της συσκευής, Qualcomm Snapdragon 850 Compute Platform (System on Chip).

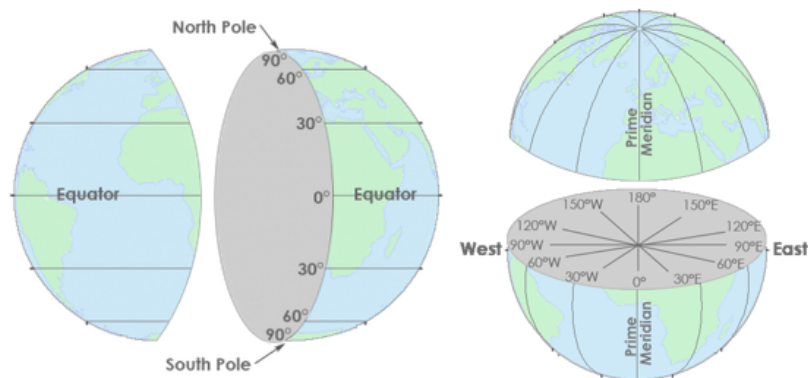


Σχήμα 2.5: Η συσκευή επαυξημένης πραγματικότητας της Microsoft, HoloLens 2, και τα κομμάτια που την απαρτίζουν.

Πηγή: Microsoft

2.3 Γεωγραφικά Στοιχεία και Γεω-κωδικοποίηση

Συχνά για να προσδιοριστεί ένα σημείο πάνω στη γη χρησιμοποιούνται γεωγραφικές συντεταγμένες, που εκφράζονται μέσω του γεωγραφικού πλάτους και μήκους [22]. Το γεωγραφικό πλάτος μετριέται σε μοίρες, από 0° έως 90° βορείως ή νοτίως του ισημερινού, ορίζοντας αντίστοιχα το βόρειο και το νότιο γεωγραφικό πλάτος. Το γεωγραφικό πλάτος στις 0° συμπίπτει με τον ισημερινό. Αντίστοιχα, το γεωγραφικό μήκος, που είναι επίσης γωνιακή συντεταγμένη, από τον πρώτο μεσημβρινό (βλ. σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Ανάλυση της γης με συντεταγμένες μέσω του γεωγραφικού πλάτους και μήκους.

Πηγή: GISGeography

2.4 Μαθηματικά στις Τρεις Διαστάσεις

Παρακάτω υπάρχει μία εκτενέστερη ανάλυση για την ύπαρξη και χρήση των συστημάτων συντεταγμένων στις μηχανές γραφικών, για το σημαντικό ρόλο των διανυσμάτων αλλά και για τη χρήση αυτών για τον καθορισμό της θέσης, της περιστροφής και της κλίμακας των αντικειμένων στο χώρο.

2.4.1 Συντεταγμένες

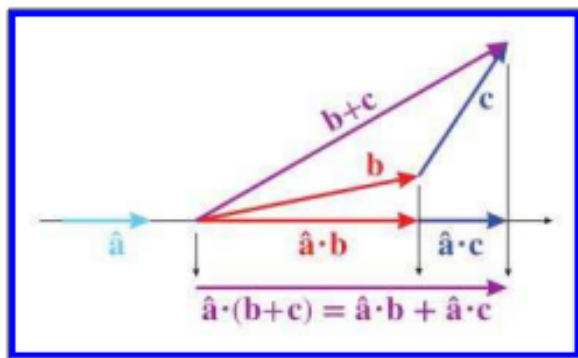
Το πιο διαδεδομένο σύστημα συντεταγμένων είναι το καρτεσιανό. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες ενός σημείου στον τρισδιάστατο χώρο είναι μια τριάδα αριθμών (X,Y,Z) που ορίζουν τη θέση του σημείου σε σχέση με τους τρεις άξονες.

Υπάρχουν διαφορετικοί κανόνες πάνω στους οποίους μπορεί να βασιστεί ένα σύστημα συντεταγμένων. Πέρα από τους άξονες για τον προσανατολισμό χρησιμοποιούνται είτε ο κανόνας του δεξιού είτε ο κανόνας του αριστερού χεριού. Όλα τα λογισμικά που σχετίζονται με τη δημιουργία αντικειμένων στο χώρο (είτε στις δύο είτε στις τρεις διαστάσεις) χρησιμοποιούν συστήματα συντεταγμένων βασισμένα σε αυτές τις αρχές. Η OpenGL [23] και η Unity [7] τοποθετούν τον άξονα Y στο ύψος της οθόνης, το άξονα X για το πλάτος της οθόνης και τον άξονα Z ορίζει για το βάθος της σκηνής. Στην Unreal Engine [8] ο άξονας Z είναι ο τοποθετημένος στο ύψος της οθόνης, ενώ ο άξονας X ορίζει το βάθος της σκηνής και ο άξονας Y είναι τοποθετημένος στο πλάτος της οθόνης. Έτσι η OpenGL και η Unity βασίζονται στον κανόνα του δεξιού χεριού ενώ η Unreal Engine στον κανόνα του αριστερού χεριού.

2.4.2 Διανύσματα (Vectors)

Στον τομέα της ανάπτυξης εφαρμογών με γραφικά, τόσο στις δύο όσο και στις τρεις διαστάσεις, τα διανύσματα έχουν ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών και η γνώση τους μπορεί να συνθέσει κάποιους πραγματικά ενδιαφέροντες μηχανισμούς στις εφαρμογές. Γενικά, τα διανύσματα χρησιμοποιούνται για την περιγραφή και τον χειρισμό ορισμένων βασικών ιδιοτήτων όπως η θέση, η περιστροφή και η κλίμακα αντικειμένων στο χώρο. [24] Πολύ συχνά τα διανύσματα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός αντικειμένου,

την ταχύτητα μιας κινούμενης οντότητας, το μήκος ενός συγκεκριμένου αντικείμενου αλλά και την απόσταση μεταξύ δύο συγκεκριμένων θέσεων.



Σχήμα 2.7: Παράδειγμα υπολογισμών μέσω διανυσμάτων.

Πηγή: [24]

2.4.3 Θέση, Περιστροφή και Κλίμακα Αντικειμένων στο Χώρο

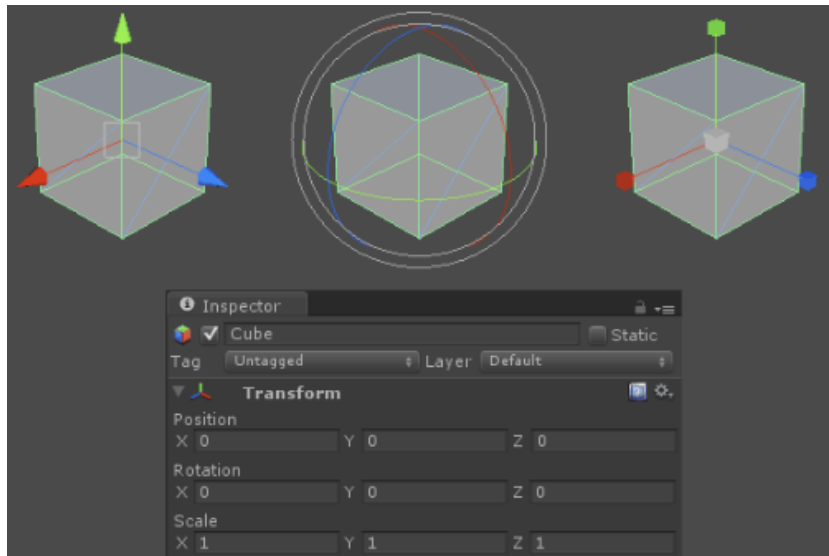
Μια σκηνή σε μία μηχανή γραφικών μπορεί να αποτελείται από πολλαπλά αντικείμενα. Κάθε αντικείμενο σε μία σκηνή, είτε στις δύο είτε στις τρεις διαστάσεις, έχει τη δική του θέση, περιστροφή αλλά και κλίμακα (βλ. Σχήμα 2.8). Αυτά τα μεγέθη μπορούν να προσδιοριστούν με τα κατάλληλα διανύσματα στο κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Στην περίπτωση που ένα αντικείμενο είναι μέρος ενός άλλου (ή αλλιώς αντικείμενο-παιδί) τότε η συμπεριφορά του επηρεάζεται τόσο από την αλλαγή της θέσης, περιστροφής αλλά και κλίμακας του ίδιου, όσο και του γονέα του. Έτσι για ένα αντικείμενο-παιδί προκύπτει τόσο η τοπική θέση, περιστροφή και κλίμακα, όσο και η σχετική θέση, περιστροφή και κλίμακα στο σύνολο της σκηνής.

Έτσι το σύνολο της σκηνής ως οντότητα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία ιεραρχία γεωμετρικών στοιχείων συσχετιζόμενα με οντολογικό τρόπο και χωρική (γεωμετρική) εξάρτηση [25]. Ο αρχικός κόμβος-ρίζα είναι η ίδια η σκηνή η οποία θέτει ένα σημείο έναρξης διάσχισης. Οι υπόλοιποι κόμβοι μπορεί να είναι αντικείμενα, οντότητες προς αναπαραγωγή (πχ. ήχοι, εικόνες) ή συναθροίσεις κόμβων. Η μετατροπή ενός κόμβου επηρεάζει άμεσα όλους τους υποκόμβους.

Σε αντίθεση με τις σύγχρονες μηχανές γραφικών όπου αυτή η ιεραρχία είναι προκατασκευασμένη και αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης μιας εφαρμογής, στην OpenGL ο προγραμματιστής είναι αναγκαίο να δημιουργήσει ο ίδιος αυτή την υποδομή προκειμένου να δημιουργήσει άρτια τις σκηνές της εφαρμογής του.

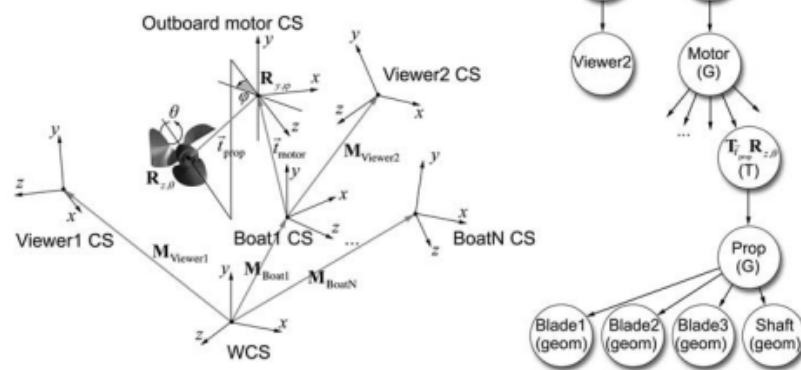
Στο σχήμα 2.9 παρατίθενται οι χωρικές σχέσεις σε οργάνωση σκηνής-γράφων. Με T είναι οι κόμβοι μετασχηματισμού (Transform), με G οι κόμβοι ομάδας (Group) και οι κόμβοι $Geom$ αντιπροσωπεύουν πραγματικά γεωμετρικά δεδομένα (Geometric Data). Το CS αναφέρεται στο σύστημα συντεταγμένων (coordinate system).

Στο σχήμα 2.10 πολλαπλά αντικείμενα, υπάρχει επίσης ένας κύβος χωρίς αντικείμενα-παιδιά σε μία θέση και μία σφαίρα σε μία διαφορετική θέση με ένα αντικείμενο-παιδί. Το αντικείμενο-παιδί έχει τοπική θέση μικρότερης μεταβολής η οποία σχετίζεται άμεσα από τη θέση του γονέα του. Σε περίπτωση που αλλάξει ο γονέας και θέσουμε το αντικείμενο-παιδί ως παιδί του κύβου θα προκύψει το εξής σχήμα 2.11.



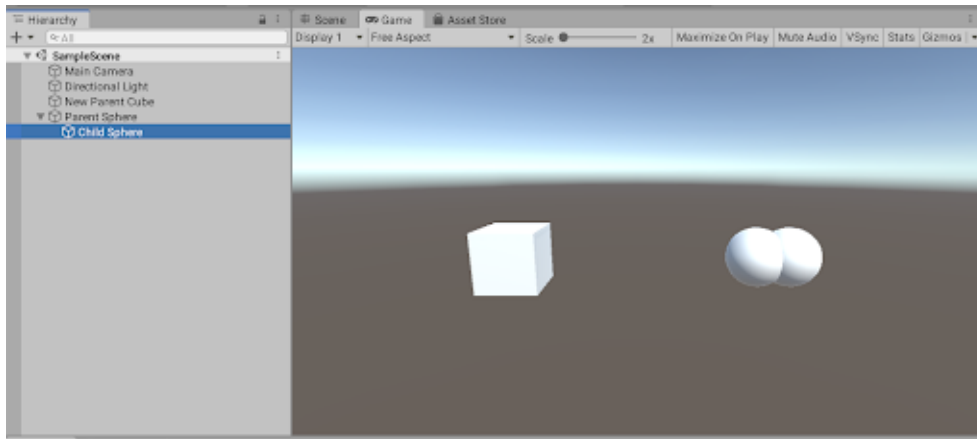
Σχήμα 2.8: Θέση, περιστροφή, κλίμακα ενός κύβου στη Unity 3D.

Πηγή: Unity 3D



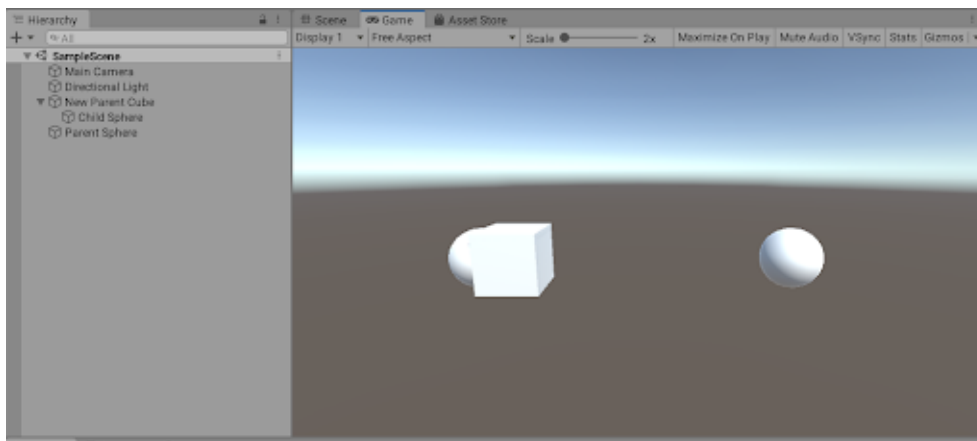
Σχήμα 2.9: Παράδειγμα χωρικών σχέσεων σε οργάνωση σκηνής-γράφων.

Πηγή: [25]



Σχήμα 2.10: Ένα αντικείμενο-γονέας με τα αντικείμενα-παιδιά του στο περιβάλλον της Unity.

Πηγή: Unity 3D



Σχήμα 2.11: Αλλαγή του γονέα σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα.

Πηγή: Unity 3D

2.5 Ray casting

Το Ray casting [26] είναι χρήσιμο για τον εντοπισμό και τον καθορισμό μιας ποικιλίας προβλημάτων που σχετίζονται με τα γραφικά. Η ανάπτυξη του πρώτου αλγορίθμου ray casting εντοπίζεται στο 1968 και στο έργο του Arthur Appel [27].

Ένας από τους απλούστερους τρόπους να κατανοήσει κανείς πώς λειτουργεί το ray casting είναι να φανταστεί την ακτίνα φωτός να ξεκινάει από την πηγή φωτός και να ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή μέχρι να συναντήσει ένα εμπόδιο. Το αντικείμενο θα προκαλέσει την διακοπή ή την απορρόφηση μέρους του φωτός. Το αντικείμενο μπορεί να αντανακλά επιπλέον φως προς διάφορες κατευθύνσεις και να διαθλά την όποια εναπομείνουσα ποσότητα. Προκειμένου να ληφθεί πλήρως υπόψη η ακτίνα ή το φως, το ray casting αποσκοπεί στον προσδιορισμό του ποσοστού της ακτίνας ή του φωτός που αφιερώνεται σε καθένα από αυτά τα τρία σενάρια.

```

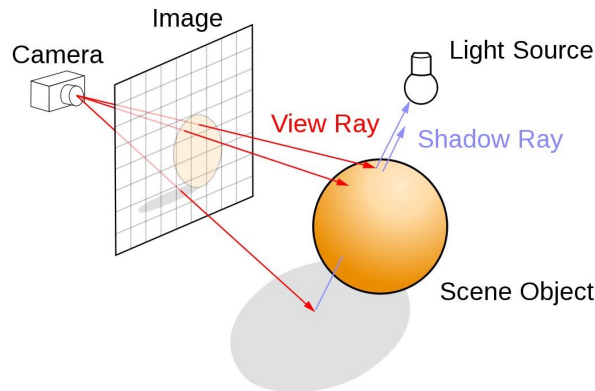
procedure CASTRAY( $V, step, pt$ )
   $sx, sy, sz \leftarrow step$ 
   $cost \leftarrow 0$ 
   $x, y, z \leftarrow pt$ 
   $cx, cy, cz \leftarrow x + 0.5, y + 0.5, z + 0.5$ 
  while  $(cx, cy, cz) \in V$  do
     $cost \leftarrow cost + \text{TRILINTERP}(V, cx, cy, cz)$ 
     $cx, cy, cz \leftarrow cx + sx, cy + sy, cz + sz$ 
  end while
   $cx, cy, cz \leftarrow x - sx + 0.5, y - sy + 0.5, z - sz + 0.5$ 
  while  $(cx, cy, cz) \in V$  do
     $cost \leftarrow cost + \text{TRILINTERP}(V, cx, cy, cz)$ 
     $cx, cy, cz \leftarrow cx - sx, cy - sy, cz - sz$ 
  end while
  return  $cost$ 
end procedure

```

Σχήμα 2.12: Ψευδοκώδικας του ray casting αλγορίθμου.

Πηγή: [28]

Ο αλγόριθμος αυτός δε χρησιμοποιείται μόνο για δημιουργία ή τον εντοπισμό γραφικών αλλά για πληθώρα προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν όπως η εύρεση αποστάσεων. Στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας οι εφαρμογές χρησιμοποιούν χυτευση ακτινών ώστε με τη χρήση της κάμερας να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον και τα αντικείμενα με τα οποία είτε επαυξάνει στο περιβάλλον είτε απλα τα ανιχνεύει.



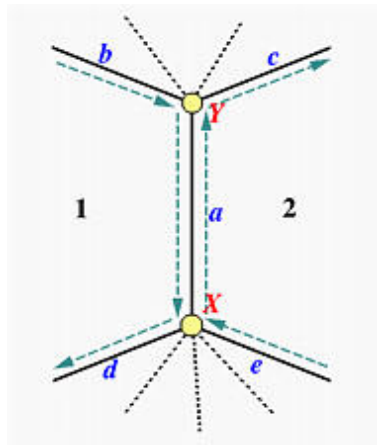
Σχήμα 2.13: Παράδειγμα ray casting από την κάμερα της σκηνής σε ένα σφαιρικό αντικείμενο.

Πηγή: NVIDIA Developer

2.6 Πολυγωνικά Πλέγματα (Meshes)

Ένα πολυγωνικό πλέγμα [29] είναι μια ομάδα κορυφών και όψεων που περιγράφει τη γεωμετρία ενός αντικειμένου στα τρισδιάστατα γραφικά υπολογιστών και στη στερεά μοντελοποίηση. Συχνά στα γραφικά υπολογιστών υπάρχει και η δυνατότητα ορισμού συντεταγμένων υψής (UVs) σε ένα πλέγμα αλλά και κάθετων διανυσμάτων (normals). Κάποιες από τις πιο γνωστές δομές για την αναπαράσταση πλεγμάτων είναι η δεικτοδοτημένη λίστα εδρών στην οποία αποθηκεύεται μία λίστα κορυφών και μία ομάδα πολυγώνων που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των εδρών του πλέγματος αλλά και η πτερωτή ακμή η

οποία δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στις ακμές όπου κάθε ακμή δείχνει σε δύο κορυφές και ενώνει τις δύο έδρες των πλευρών και τις τέσσερις ακμές που βρίσκονται σε επαφή με τις πλευρές (βλ. 2.14)



Σχήμα 2.14: Παράδειγμα πλέγματος περωτής ακμής.

Πηγή: [30]

Κορυφές - Vertices

Οι κορυφές είναι θέσεις στον τρισδιάστατο χώρο που οριοθετούν το πλέγμα, στη Unity αποθηκεύονται σε πίνακα τρισδιάστατων διανυσμάτων.

Έδρες - Faces

Οι όψεις ορίζονται από ένα σετ τριών γειτονικών κορυφών που σχηματίζουν ένα τρίγωνο, στη Unity αποθηκεύονται σε πίνακα ακέραιων αριθμών.

Συντεταγμένες Υφής UV

- UV coordinates Οι συντεταγμένες υφών βοηθούν στην επισύναψη υφών επάνω στο πλέγμα, όταν αυτό χρειάζεται, στη Unity αποθηκεύονται σε πίνακα δισδιάστατων διανυσμάτων.

Κάθετα Διανύσματα - Normals

Τα κάθετα διανύσματα καθορίζουν την κατεύθυνση των κορυφών του πλέγματος, έτσι βοηθούν στη σκίαση των πλεγμάτων από της πηγές φωτός, στη Unity αποθηκεύονται σε πίνακα τρισδιάστατων διανυσμάτων.

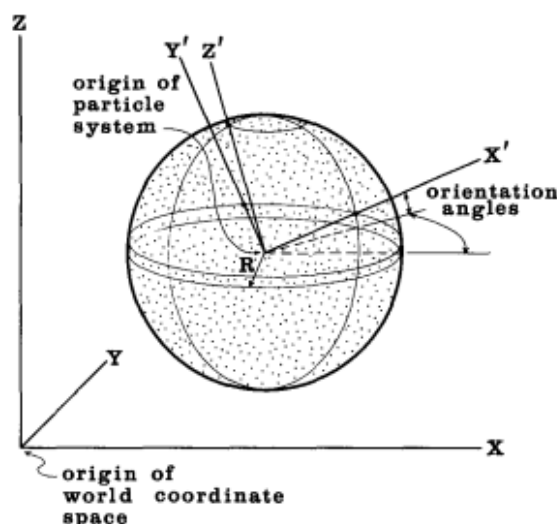


Σχήμα 2.15: Τρισδιάστατο πλέγμα με τριγωνικές όψεις.

Πηγή: PixelSquid

2.7 Συστήματα Σωματιδίων (Particle Systems)

Η προσομοίωση της κίνησης του νερού, του καπνού, της φωτιάς και σύννεφων είναι δύσκολη διαδικασία διότι, δεν διαθέτουν σαφή, ομοιόμορφη και καλά καθορισμένη επιφάνεια. Για το λόγο αυτό δεν είναι εφικτή η μοντελοποίηση τους με τη χρήση των πολυγωνικών πλεγμάτων, καθώς για να αποδοθούν με τον απαιτούμενο ρεαλισμό το επίπεδο λεπτομέρειας (LoD-Level of Detail) θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλο, κάτι που θα απαιτούσε πολλούς δαπανηρούς υπολογισμούς για κάθε μετασχηματισμό. Ένα σύστημα σωματιδίων [31] είναι μια ομαδοποίηση πολυάριθμων μικροσκοπικών σωματιδίων που αντιπροσωπεύουν συλλογικά ένα ακαθόριστο αντικείμενο. Τα σωματίδια δημιουργούνται σε ένα σύστημα με την πάροδο του χρόνου, κινούνται και αλλάζουν μέσα στο σύστημα και τελικά εκλείπουν από το σύστημα. Κατά τη διάρκεια της ζωής τους τα σωματίδια ενός συστήματος συμπεριφέρονται βάσει των ρυθμίσεων που έχει θέσει ο προγραμματιστής και επηρεάζονται το καθένα ξεχωριστά ανάλογα με τις συνθήκες της σκηνής και των ρυθμίσεων.



Σχήμα 2.16: Ένα κλασικό σύστημα σωματιδίων με σφαιρικό σχήμα.

Πηγή: [32]

Δημιουργία Σωματιδίων

Ένα σύστημα σωματιδίων παράγει, με τη χρήση ελεγχόμενων διαδικασιών, σωματίδια σε τυχαίο χρόνο και τόπο. Η ποσότητα των σωματιδίων που εισέρχονται στο σύστημα σε κάθε χρονική στιγμή, ή σε ένα δεδομένο πλαίσιο, καθορίζεται από την όλη διαδικασία. Η πυκνότητα του ασαφούς αντικειμένου (πχ. ενός συννέφου) επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα των σωματιδίων που σχηματίζονται, επομένως είναι ζωτικής σημασίας να ληφθεί υπόψη η παράμετρος αυτή. Από τη στιγμή που ξεκινάει η εκπομπή των σωματιδίων από το σύστημα, προκύπτει το αποτέλεσμα μέσω των ρυθμίσεων που έχουν τεθεί από τον προγραμματιστή.

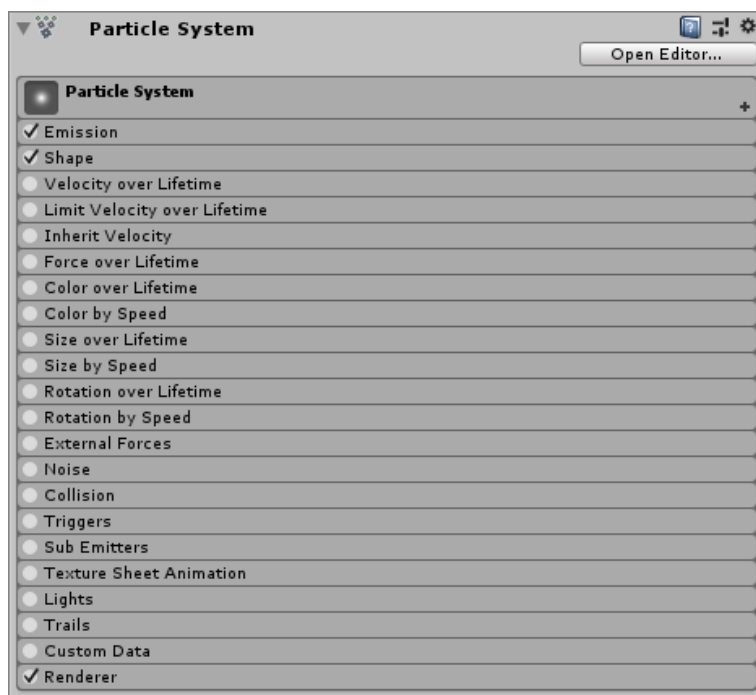
Χαρακτηριστικά Σωματιδίων

Η εκάστοτε μηχανή γραφικών δίνει μεγάλη ελευθερία στον προγραμματιστή ως προς τη δημιουργία και την επεξεργασία των σωματιδίων. Για κάθε νέο σωματίδιο που δημιουρ-

γείται, ο χρήστης μέσω του συστήματος σωματιδίων πρέπει να προσδιορίσει τιμές για τα ακόλουθα χαρακτηριστικά[32]:

- αρχική θέση,
- αρχική ταχύτητα,
- αρχικό μέγεθος,
- αρχικό χρώμα,
- αρχική διαφάνεια,
- σχήμα,
- διάρκεια ζωής.

Πέρα από αυτά τα χαρακτηριστικά οι μηχανές γραφικών, όπως η Unity, παρέχουν πληθώρα ρυθμίσεων για τον καθορισμό της συμπεριφοράς των σωματιδίων (βλ. σχήμα 2.17). Ρυθμίσεις που ορίζουν τη συμπεριφορά των σωματιδίων μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα τους κατά τη διάρκεια ζωής τους, τις δυνάμεις που δέχονται, το χρώμα τους και το μέγεθός τους είτε ανάλογα με τη διάρκεια ζωής τους, είτε ανάλογα με την ταχύτητα που κινούνται, την περιστροφή τους, εξωτερικές δυνάμεις, τον θόρυβο, συγκρούσεις, αλλά και τον φωτισμό.



Σχήμα 2.17: Τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά για την επεξεργασία ενός συστήματος σωματιδίων που παρέχονται από τη Unity.

Πηγή: Unity 3D

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση και Σχεδιασμός Εφαρμογής

3.1 Αναλυση εφαρμογής

Έχοντας ως στόχο την ρεαλιστική οπτικοποίηση των νεφών πάνω από την ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου μέσω της επαύξησης χρειάζονται τα σωστά εργαλεία, η κατάλληλη μηχανή γραφικών, και τα κατάλληλα πραγματικά δεδομένα που θα οπτικοποιηθούν από την εφαρμογή. Κατέχοντας αυτό το σύνολο, μέσω σωστού σχεδιασμού και ανάπτυξης μπορεί να επιτευχθεί τόσο οπτικά άρτιο αποτέλεσμα, όσο και αξιόπιστο βάσει των δεδομένων. Το τελικό αποτέλεσμα ενδείκνυται για χρήση σε κινητά, είτε Android είτε iOS, στο HoloLens 2 της Microsoft αλλά και ως desktop εφαρμογή χωρίς όμως το κομμάτι της επαύξησης.

3.2 Ανάλυση απαιτήσεων

Οι απαιτήσεις της εφαρμογής έχουν ως σκοπό την άρτια διαδικασία ανάπτυξης της εφαρμογής καθώς και την δημιουργία ενός κατανοητού περιβάλλοντος οπτικοποίησης για εύκολη ανάγνωση. Αρχικά είναι αναγκαία η σωστή διαχείριση των δεδομένων που παρέχονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Η εφαρμογή θα είναι σε θέση να οπτικοποιήσει τόσο το έδαφος όσο και τα νέφη οποιουδήποτε παρόμοιου σετ δεδομένων για οποιοδήποτε χώρο ανάλυσης. Τα δεδομένα αυτά θα μετατραπούν σε ένα εικονικό κόσμο ο οποίος περιέχει τόσο την αναπαράσταση του εδάφους με υψομετρικές λεπτομέρειες όσο και τα εικονικά σύννεφα. Ο χρήστης μέσω ειδικών χειρισμών θα είναι σε θέση να περιηγηθεί στο χώρο, να αντιληφθεί τη διαφορά στην περιεκτικότητα των νεφών μέσω της οπτικοποίησης αλλά και την κατανομή τους στο χώρο. Στον τομέα της ταχύτητας, καθώς πρόκειται για μεγάλο αριθμό δεδομένων, είναι αναγκαία η όσο το δυνατόν ταχύτερη ανάγνωση του αρχείου η οποία επιτυγχάνεται μέσω εργαλείων και αλγορίθμων. Επίσης, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εφαρμογής το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργεί σε όσο το δυνατόν υψηλότερο ρυθμό ανανέωσης για ομαλότερη χρήση. Τέλος στον τομέα της συμβατότητας, η εφαρμογή εξάγεται με στόχο τη λειτουργία της σε τρία διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, Android, Windows Desktop καθώς και Windows Mixed Reality.

3.3 Περιγραφή Δεδομένων Μετεωρολογικών Μετρήσεων

Για να δημιουργηθεί μία εφαρμογή που έχει ως σκοπό την οπτικοποίηση δεδομένων απαιτούνται τόσο τα σωστά δεδομένα όσο και η σωστή διαχείρισή τους. Είναι αναγκαία

επίσης η άρτια σχεδίαση με σκοπό τη σωστή λειτουργία της εφαρμογής με οποιοδήποτε σετ δεδομένων.

Τα σετ δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση των νεφών αποτελούνται από ένα σύνολο 6,050,000 μετρήσεων. Το σύνολο αυτό περιγράφει την ευρύτερη περιοχή γύρω από τον ελλαδικό χώρο και χωρίζεται σε 20 επίπεδα ύψους (ξεκινώντας από το έδαφος), έτσι προκύπτουν 302,500 μετρήσεις για κάθε επίπεδο. Το κάθε επίπεδο στην ουσία μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ένα τετράγωνο καθώς κατά μήκος και κατά πλάτος υπάρχουν 550 τιμές (550x550) που μας δίνουν αυτό το σύνολο των 302,500 μετρήσεων.

Ένα δεύτερο σετ δεδομένων, που περιέχει υψομετρικά δεδομένα του εδάφους της περιοχής, αξιοποιείται για τη δημιουργία του πολυγωνικού πλέγματος του εδάφους και για τη σωστή υψομετρική τοποθέτηση των νεφών στο χώρο.

39.785	26.977	2	1.1	0.0563	39.785	26.977	974.1
39.783	27.000	2	1.0	0.1060	39.783	27.000	897.0
39.780	27.023	2	0.9	0.0912	39.780	27.023	762.0
39.777	27.046	2	0.8	0.0710	39.777	27.046	643.6
39.774	27.070	2	0.7	0.0054	39.774	27.070	572.6
39.771	27.093	2	0.7	0.0000	39.771	27.093	534.7
39.769	27.116	2	0.7	0.0000	39.769	27.116	513.8

(α) (β)

Σχήμα 3.1: Τα δεδομένα μετρήσεων υγρασίας νεφών για κάθε σημείο και κάθε επίπεδο μέτρησης στο 3.1α' και στο 3.1β' οι υψομετρικές μετρήσεις εδάφους για τα αντίστοιχα σημεία.

Συγκεκριμένα, για το σχήμα 3.1α':

- η πρώτη στήλη περιγράφει το γεωγραφικό πλάτος του εκάστοτε σημείου,
- η δεύτερη στήλη περιγράφει το γεωγραφικό μήκος,
- η τρίτη στήλη είναι ο αριθμός (ή το ID) του επιπέδου,
- η τέταρτη στήλη είναι η απόσταση του σημείου από το έδαφος σε χιλιόμετρα με ακρίβεια ενός δεκαδικού,
- τέλος η πέμπτη στήλη περιέχει τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την οπτικοποίηση των νεφών. Πρόκειται για την αναλογία μίγματος νερού και πάγου στην ατμόσφαιρα, δηλαδή τους συμπυκνωμένους υδρατμούς που δημιουργούν τα νέφη και λαμβάνει τιμές από το 0 έως το 2.9 W/W (βάρος κατά βάρος).

Αντίστοιχα για το σχήμα 3.1β':

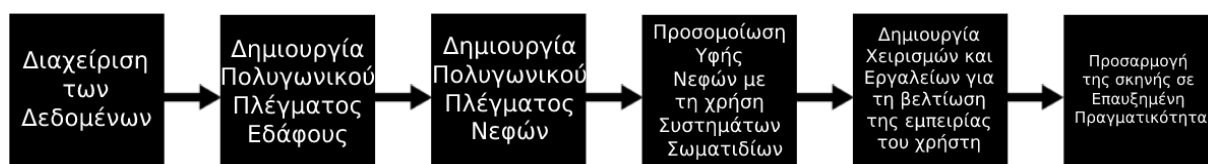
- η πρώτη στήλη περιγράφει το γεωγραφικό πλάτος,
- η δεύτερη στήλη περιγράφει το γεωγραφικό μήκος,
- ενώ η τρίτη στήλη περιγράφει για το επίπεδο του εδάφους την απόσταση από τη θάλασσα (υψόμετρο) σε μέτρα με ακρίβεια ενός δεκαδικού και θα αξιοποιηθεί για τη δημιουργία του γεωγραφικού υποβάθρου αλλά και για τη σωστή τοποθέτηση των νεφών στο χώρο.

3.4 Σχεδιασμός εφαρμογής

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη που ακολουθήθηκε έχει την εξής σειρά:

- εισαγωγή και διαχείριση δεδομένων,
- δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος εδάφους,
- δημιουργία πολυγωνικών πλεγμάτων νεφών,
- προσομοίωση υψής νεφών με τη χρήση συστημάτων σωματιδίων,
- δημιουργία χειρισμών και εργαλείων για τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη,
- προσαρμογή της σκηνής σε επαυξημένη πραγματικότητα.

Το αποτέλεσμα που προκύπτει μέσω της εφαρμογής δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αντιληφθεί τη θέση και την περιεκτικότητα των νεφών σε όλο τον ελλαδικό χώρο ενώ μέσω της επαύξησης υπάρχει πληθώρα δυνατοτήτων για την επεξεργασία και τη θέαση της σκηνής. Έτσι η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από απλούς χρήστες όσο και από επιστήμονες και ερευνητές για την καλύτερη κατανόηση της κατανομής των νεφών.



Σχήμα 3.2: Το διάγραμμα με τα στάδια σχεδιασμού και ανάπτυξης της εφαρμογής.

Κατά το σχεδιασμό της εφαρμογής ελήφθησαν υπόψη οι απαιτήσεις και οι στόχοι της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή θα είναι σε θέση να οπτικοποιήσει τόσο το έδαφος όσο και τα νέφη οποιουδήποτε παρόμοιου σετ δεδομένων για οποιοδήποτε χώρο ανάλυσης. Αρχικά θα γίνεται η μεταφορά των δεδομένων σε πίνακες ανάλογους του χώρου ανάλυσης έτσι ώστε η ανάγνωση και η επεξεργασία να είναι ταχύτερη. Έτσι, για την αποθήκευση του σετ υπομετρικών δεδομένων εδάφους θα χρησιμοποιηθεί ένας διδιάστατος πίνακας ενώ για την αποθήκευση των δεδομένων νεφών θα χρησιμοποιηθεί τριδιάστατος πίνακας.

Για τη μοντελοποίηση του εδάφους σχεδιάστηκε ειδικός αλγόριθμος που μετατρέπει το διδιάστατο πίνακα υπομετρικών δεδομένων εδάφους σε πολυγωνικό πλέγμα εδάφους, στο οποίο θα προσαρμοστεί αργότερα υψή με τη χρήση μιας υψηλής ανάλυσης εικόνας ενός χάρτη της περιοχής, για την καλύτερη εμπειρία χρήσης.

Για τη μοντελοποίηση των νεφών η σχεδιαστική απόφαση ήταν να διαχωριστούν τα δεδομένα σε δέκα κατηγορίες ανάλογα με τη μέτρηση περιεκτικότητας υγρασίας που έχει το κάθε κελί του πίνακα (ανα 10%). Αυτή η κατηγοριοποίηση θα βοηθήσει αργότερα τον αντίστοιχο χρωματισμό των νεφών. Οι δέκα κατηγορίες μετρήσεων αντιστοιχούν σε δέκα πολυγωνικά μοντέλα νεφών τα οποία θα δημιουργηθούν από ειδικό αλγόριθμο μετατροπής του τριδιάστατου πίνακα δεδομένων νεφών. Σε κάθε πλέγμα θα γίνεται ομαδοποίηση των γειτονικών νεφών έτσι ώστε να δημιουργούνται ενιαία πλέγματα ανά περιοχή. Για την απόδοση διαφορετικής υψής χρώματος και διαφάνειας σε κάθε κατηγορία υγρασίας, στον εσωτερικό όγκο κάθε πολυγωνικού μοντέλου θα τοποθετηθούν συστήματα σωματιδίων που θα εκπέμπουν σωματίδια, ρυθμισμένα με αντίστοιχο πλήθος, χρώμα, και διαφάνεια, τα οποία θα κινούνται, έτσι ώστε να προσομοιάζουν την υψή των νεφών.

Στη συνέχεια θα δημιουργηθούν οι χειριστήρια και τα εργαλεία που χρειάζεται ο χρήστης έτσι ώστε να μπορεί να περιηγηθεί στη σκηνή και να είναι σε θέση να την αναλύσει και να την κατανοήσει. Μέσω των χειριστηρίων ο χρήστης θα μπορεί τόσο να αλλάξει τη θέση, την κλίμακα και την περιστροφή της σκηνής όσο και να αποκρύψει τις κατηγορίες περιεκτικότητας που αυτός επιθυμεί.

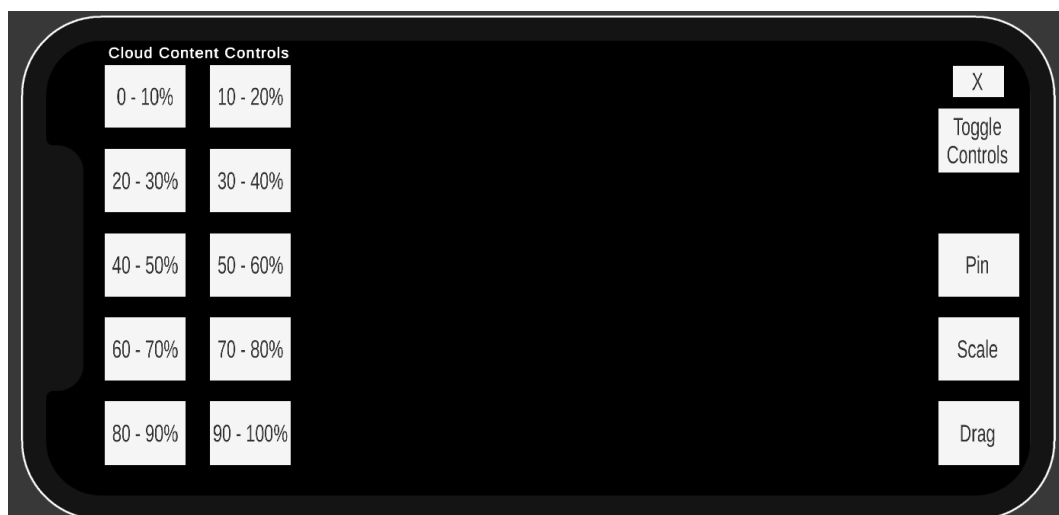
Τέλος, αφού έχουν ολοκληρωθεί όλα τα παραπάνω, η εφαρμογή θα προσαρμοστεί στο περιβάλλον της επαυξημένης πραγματικότητας τόσο για κινητές συσκευές όσο και για το HoloLens 2.

3.5 Σχεδιασμός εμπειρίας Χρήσης - User Interface

Η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας είναι σχετικά νέα στους χρήστες, για το λόγο αυτό ο τομέας της εμπειρίας του χρήστη και της δημιουργίας των κατάλληλων, φιλικών προς το χρήστη, χειρισμών και εργαλείων είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της σχεδίασης και ανάπτυξης της εφαρμογής.

Το UI της εφαρμογής είναι αρκετά απλό, αποτελείται από :

- δέκα κουμπιά τα οποία ελέγχουν την ορατότητα των νεφών ανά κατηγορία,
- τρία κουμπιά τα οποία ενεργοποιούν τους χειρισμούς που έχουν δημιουργηθεί (drag, scale, pin),
- ένα κουμπί εξόδου,
- ένα κουμπί εμφάνισης/απόκρυψης των παραπάνω χειρισμών για καλύτερη ορατότητα όσο αυτά δε χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 3.3: Το UI της εφαρμογής.

Ο χρήστης θα μπορεί να χρησιμοποιεί την εφαρμογή μέσω της κάμερας της κινητής συσκευής ή του HoloLens 2 και τα διάφορα χειριστήρια που εμφανίζονται στην οθόνη. Τα χειριστήρια αυτά προσαρμόζονται στην οθόνη του χρήστη, όποια συσκευή και αν αυτός χρησιμοποιεί, με τη βοήθεια των Anchors της Unity στις ανάλογες θέσεις όπως φαίνεται και στα παρακάτω στιγμιότυπα οθόνης. Μέσω της κάμερας φαίνεται ο φυσικός χώρος μπροστά από τη συσκευή στον οποίο μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση θα εμφανιστεί ένας

δείκτης, σε μορφή σφαίρας, σε απόσταση μισού μέτρου από τον χρήστη (βλ. σχήμα 3.4), ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση της σκηνής. Οι παρακάτω χειρισμοί είναι μέρος της εφαρμογής για κινητές συσκευές. Στο HoloLens 2 υπάρχουν μόνο τα κουμπιά εμφάνισης/απόκρυψης ομάδων νεφών καθώς οι υπόλοιπες λειτουργίες γίνονται μέσω hand gesture λειτουργιών που προσφέρονται από το MRTK.



Σχήμα 3.4: Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση της σκηνής.

Όταν ο χρήστης επιλέξει το ιδανικό σημείο για επαύξηση, θα έχει τη δυνατότητα, με το πάτημα της οθόνης να τοποθετήσει τη AR σκηνή. Μόλις η σκηνή τοποθετηθεί, θα είναι έτοιμη για ανάγνωση, κατανόηση και επεξεργασία.

Εμφάνιση/Απόκρυψη Νεφών

Στο αριστερό μέρος της οθόνης εμφανίζονται δέκα χειριστήρια που αντιστοιχούν στις δέκα κατηγορίες νεφών ανάλογα με την περιεκτικότητά σε υγρασία. Αλληλεπιδρώντας με κάποιο από αυτά ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει και να αποκρύψει συγκεκριμένες κατηγορίες νεφών από τη σκηνή (βλ. σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Η οπτικοποίηση της σκηνής χωρίς τις πρώτες δύο ομάδες νεφών απο μηδέν έως είκοσι τα εκατό πυκνότητας.

Μεταβολή τοποθέτησης της σκηνής

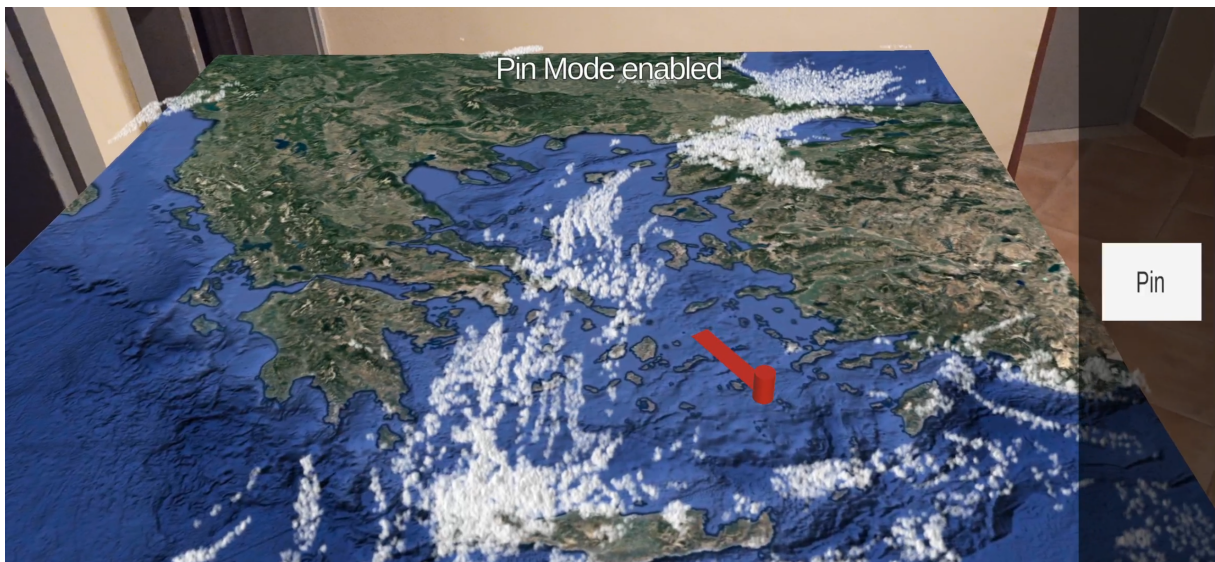
Για την αλλαγή θέσης της σκηνής ο χρήστης έχει τη δυνατότητα πατώντας το χειριστήριο Drag στο δεξί μέρος της οθόνης ενεργοποιεί το Drag Mode. Στη συνέχεια σύροντας το δάχτυλο του μπορεί να μετακινήσει τη θέση της σκηνής.



Σχήμα 3.6: Η εφαρμογή με ενεργοποιημένη τη διαδικασία μεταβολής σκηνής.

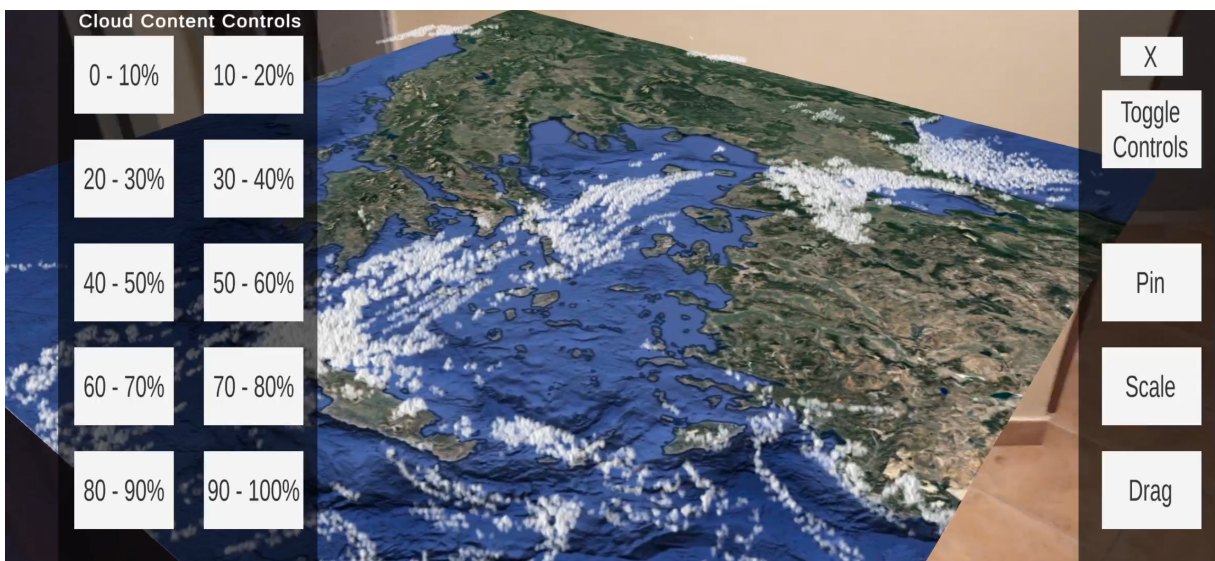
Περιστροφή Σκηνής

Για την περιστροφή της σκηνής ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, πατώντας το χειριστήριο, Pin να ενεργοποιήσει το Pin Mode, με το οποίο θα μπορεί να αλληλεπιδράσει με τη σκηνή μέσω της αφής και να επιλέξει το χειριστήριο περιστροφής που έχει εμφανιστεί (βλ. σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Η στιγμή που ο χρήστης έχει επιλέξει το σημείο περιστροφής και τη φορά (πριν ολοκληρωθεί η περιστροφή).

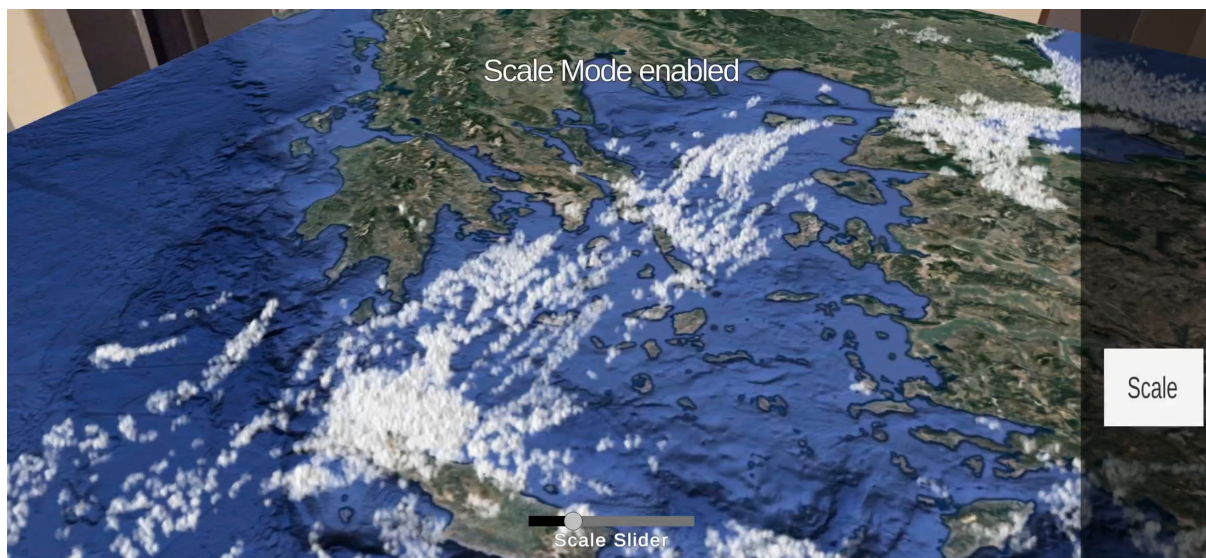
Όταν ο χρήστης καταλήξει στην επιθυμητή περιστροφή, θα διακόψει την αφή με το χειριστήριο περιστροφής ενώ η εφαρμογή θα θέσει τη σκηνή στην αντίστοιχη περιστροφή (βλ. σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Η στιγμή που ο χρήστης σταμάτησε την αλληλεπίδραση μέσω αφής και η περιστροφή ολοκληρώθηκε.

Αλλαγή Κλίμακας Σκηνής

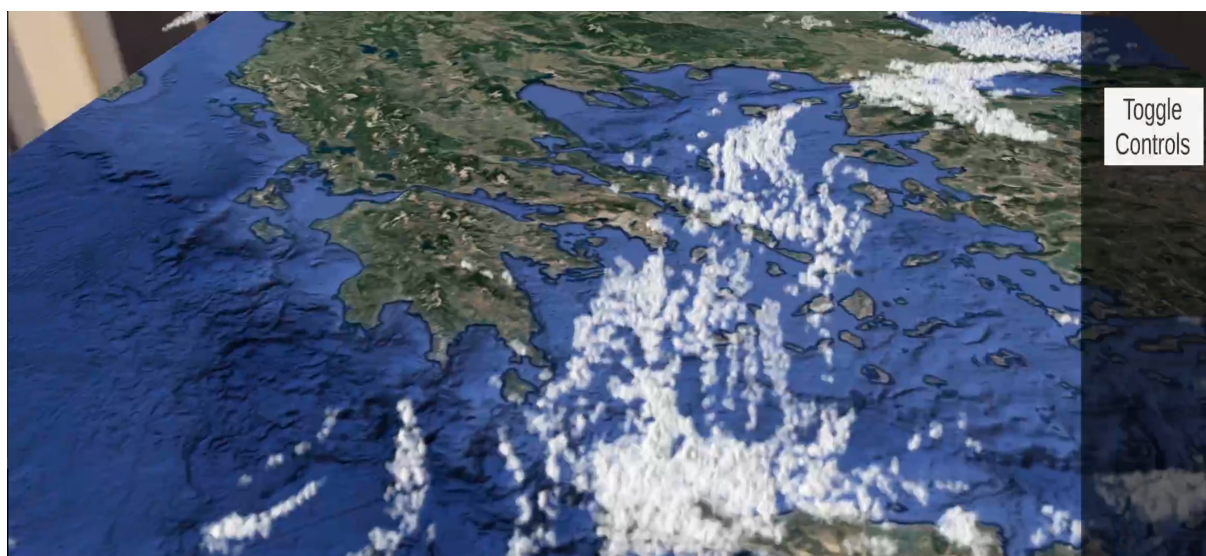
Προκειμένου να αλλάξει η κλίμακα προβολής της σκηνής ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει το Scale Mode μέσω του αντίστοιχου χειριστηρίου στα δεξιά της οθόνης. Με την ενεργοποίησή του, εμφανίζεται η μπάρα κύλησης στο κάτω μέρος της οθόνης, με αρχική κλίμακα το 100% (κέντρο). Ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να σύρει προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά τη μπάρα κύλησης για να αυξομειώσει την κλίμακα (βλ. σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Η εφαρμογή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αλλαγής κλίμακας.

Απόκρυψη Χειριστηρίων

Ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να αποκρύπτει τα χειριστήρια για τη βέλτιστη αλληλεπίδραση του με τη σκηνή. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του χειριστηρίου Toggle Controls στο πάνω δεξιά μέρος της οθόνης (βλ. σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10: Η εφαρμογή χωρίς τα χειριστήρια στην οθόνη της συσκευής.

Έξοδος

Όταν ο χρήστης έχει ολοκληρώσει τη χρήση της εφαρμογής έχει τη δυνατότητα επιλέγοντας το χειριστήριο "X" στο πάνω δεξιά άκρο της οθόνης (βλ. σχήμα 3.8) να σταματήσει τη λειτουργία της εφαρμογής.

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση της Εφαρμογής

4.1 Μηχανή Γραφικών Unity

Μία μηχανή γραφικών είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού με ρυθμίσεις και λειτουργίες που βελτιστοποιούν και απλοποιούν τη διαδικασία της ανάπτυξης 2D και 3D εφαρμογών σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού. Μία τέτοια μηχανή γραφικών περιλαμβάνει μία μηχανή απόδοσης γραφικών, μία μηχανή φυσικής που προσομοιώνει τις δραστηριότητες του πραγματικού κόσμου αλλά και μηχανές ήχου και κίνησης. Τέτοια μηχανή γραφικών είναι και η Unity η οποία θα μελετηθεί εκτενέστερα στο εν λόγω κεφάλαιο.

Ενώ αρχικά οι μηχανές γραφικών δημιουργήθηκαν με σκοπό τη δημιουργία παιχνιδιών, σήμερα είναι αποδεκτό πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών [33]. Για παράδειγμα, καθιστούν απλό για τους καλλιτέχνες να δημιουργούν διαδραστικά έργα τέχνης, για τους επιστήμονες και ερευνητές να εφαρμόζουν τεχνικές οπτικοποίησης δεδομένων, για τη δημιουργία εκπαιδευτικών εφαρμογών και πολλών άλλων εφαρμογών σε πλήθος πλατφορμών (desktop, VR/AR headsets, mobile devices κ.α.).

4.1.1 Πλεονεκτήματα Χρήσης

Οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα εργαλεία για την ανάπτυξη εφαρμογών AR, VR, 2D και 3D της Unity σε διάφορες πλατφόρμες, όπως κινητές συσκευές, υπολογιστές και κονσόλες παιχνιδιών. Τα ισχυρά χαρακτηριστικά της Unity επιτρέπουν στους προγραμματιστές να δημιουργούν φωτορεαλιστικά αντικείμενα, ελκυστικά περιβάλλοντα αλλά και ρεαλιστικούς χαρακτήρες. Γενικότερα όμως τα βασικά προνόμια που προσφέρει και την καθιστούν μία από τις καλύτερες μηχανές γραφικών είναι τα εξής:

Υποστήριξη Πολλαπλών Πλατφορμών

Προσφέρει συμβατότητα με πολλά λειτουργικά συστήματα, όπως Windows, Linux, macOS, iOS, Android αλλά και κονσόλες παιχνιδιών. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι ότι δίνεται η δυνατότητα να εξαχθούν εφαρμογές για διαφορετικές πλατφόρμες με τον ίδιο κώδικα και τα ίδια assets.

Γραφικά

Η μηχανή γραφικών φημίζεται για την ποιότητα των γραφικών που μπορεί να προσφέρει. Η Unity διαθέτει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων όπως οι τρεις σωληνώσεις απόδοσης γραφικών που υποστηρίζονται στη μηχανή γραφικών αλλά και η δυνατότητα προγραμματισμού νέων

σωληνώσεων απόδοσης γραφικών οι οποίες, με τις κατάλληλες ρυθμίσεις, είναι δυνατόν να αποδώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Υποστήριξη Multi-Player

Μία ακόμα υπηρεσία που προσφέρει η πλατφόρμα είναι η Photon Unity Networking (PUN) η οποία δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει online παιχνίδια και εφαρμογές για πολλαπλούς ταυτόχρονους χρήστες.

Asset Store

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι το Unity Asset Store το οποίο παρέχει στους χρήστες έναν τεράστιο κατάλογο από υφές, τρισδιάστατα μοντέλα, animations, ήχους αλλά και έτοιμους χειρισμούς και plugins. Υπάρχουν τόσο δωρεάν όσο και προϊόντα επι πληρωμής τα οποία μπορεί ο χρήστης αφού τα προμηθευτεί να τα εντάξει απευθείας στην εφαρμογή του.

4.1.2 Υποστηριζόμενες Γλώσσες Προγραμματισμού

Στο περιβάλλον της Unity αυτή τη στιγμή υποστηρίζεται η αντικειμενοστραφής γλώσσα C#. Μέσω συγκεκριμένων plugins, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν διάφορες γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες δεν έχουν την εγγενή υποστήριξη της πλατφόρμας.

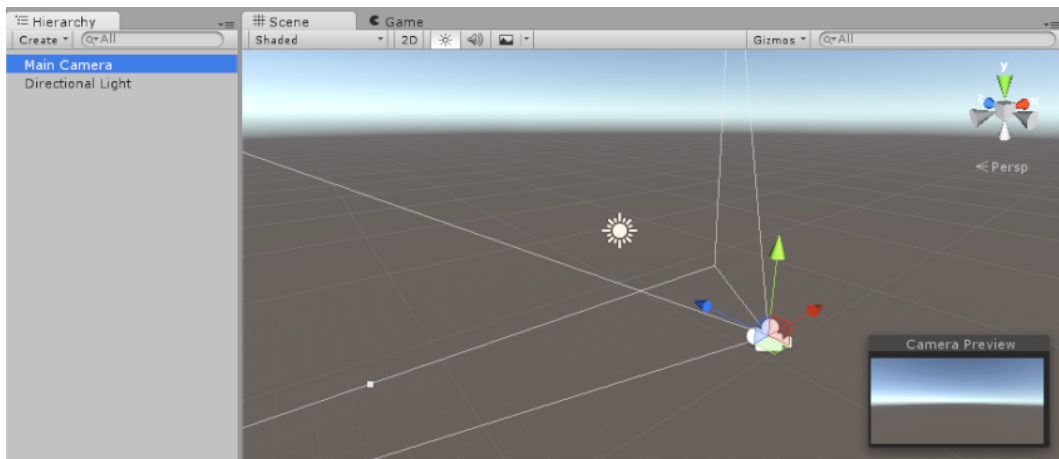
Η C# δημιουργήθηκε από τη Microsoft για την ανάπτυξη Windows-based Web-based εφαρμογών. Πρόκειται για μια αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού βασισμένη στη C.

4.1.3 Σκηνή και Αντικείμενα

Στη Unity μια εφαρμογή αποτελείται κυρίως από μία ή περισσότερες σκηνές, αντικείμενα (GameObjects) και εξαρτήματα (Components) τα οποία καθορίζουν τη συμπεριφορά των αντικειμένων κλασείς C#. Για την οπτικοποίηση αυτού του συνόλου χρησιμοποιούνται σωληνώσεις απόδοσης γραφικών οι οποίες, αφού επεξεργαστούν και υπολογίσουν όλες τις παραμέτρους, παράγουν και μεταφέρουν και προβάλλουν την τελική εικόνα στην οθόνη του χρήστη.

Σκηνή

Οι σκηνή είναι ο εικονικός χώρος της εφαρμογής όπου υπάρχουν τα εικονικά αντικείμενα σε συγκριμένες θέσεις και ρυθμίσεις, οι πηγές φωτισμού με τις αντίστοιχες ρυθμίσεις, και μία τουλάχιστον κάμερα που προσδιορίζει το πεδίο θέασης του χρήστη. Στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας βέβαια η κάμερα της σκηνής συμπίπτει με την κάμερα της εκάστοτε συσκευής στην οποία τρέχει η εφαρμογή.

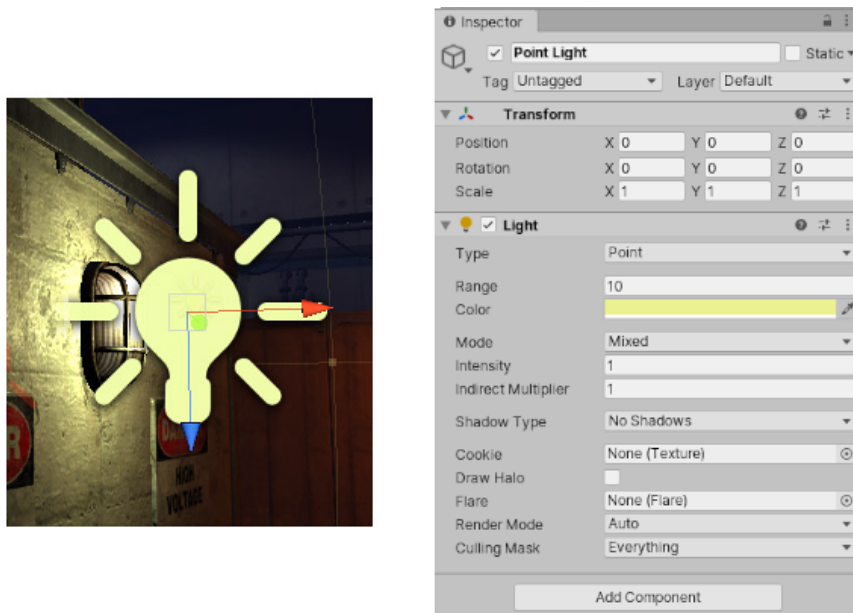


Σχήμα 4.1: Η προεπιλεγμένη σκηνή της Unity που διαθέτει την κύρια κάμερα και μία κατευθυντική πηγή φωτός.

Πηγή: Unity Documentation

Αντικείμενα (GameObjects)

Τα αντικείμενα στο σύνολο τους μπορούν να θεωρηθούν ως βασικά στοιχεία για τη δημιουργία μιας εφαρμογής ή ενός παιχνιδιού. Οτιδήποτε υπάρχει σε μια σκηνή θεωρείται αντικείμενο. Τα αντικείμενα εξάρτης δεν έχουν πολλές δυνατότητες αλλά χρησιμοποιούνται ως "δοχεία" (containers) για πρόσθετα εξαρτήματα τα οποία καθορίζουν πλήρως τη συμπεριφορά και τη μορφή τους.



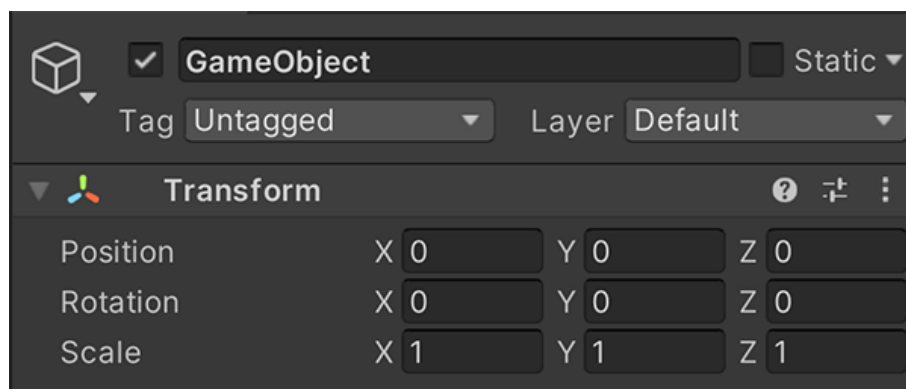
Σχήμα 4.2: Ένα αντικείμενο φωτισμού με τα εξαρτήματά του.

Πηγή: Unity Documentation

Εξαρτήματα Αντικειμένων (Components)

Τα εξαρτήματα-components αποτελούν τα λειτουργικά μέρη κάθε αντικειμένου και περιέχουν ρυθμίσεις και κλάσεις C# που καθορίζουν τη συμπεριφορά των αντικειμένων. Τα

αντικείμενα μπορούν να έχουν πολλαπλά εξαρτήματα αλλά το βασικό εξάρτημα που έχουν όλα είναι αυτό του μετασχηματισμού (Transform) το οποίο μέσω διανυσμάτων καθορίζει τη θέση, την περιστροφή αλλά και την κλίμακα. Εξαρτήματα θεωρούνται και τα αρχεία με κώδικα C# που ανατίθενται σε αντικείμενα.



Σχήμα 4.3: Ένα άδειο αντικείμενο που περιέχει μόνο το εξάρτημα μετασχηματισμού.

Πηγή: Unity Documentation

4.1.4 Σωληνώσεις Απόδοσης Γραφικών (Render Pipelines)

Μια σωλήνωση απόδοσης γραφικών πραγματοποιεί ένα σύνολο εργασιών που λαμβάνουν τα περιεχόμενα μίας σκηνής, είτε δισδιάστατης είτε τρισδιάστατης, και τα εμφανίζει στην οθόνη του χρήστη.

Οι τρεις σωληνώσεις γραφικών που προσφέρει η Unity είναι η Built-in-Render Pipeline η οποία είναι η παλιότερη σωληνωση γραφικών της πλατφόρμας, η Universal Render Pipeline που προσφέρει φιλική προς τον προγραμματιστή ροή εργασιών που επιτρέπει την εύκολη βελτιστοποίηση των γραφικών και χρήση τους από κινητές συσκευές μέχρι υπολογιστές υψηλών αποδόσεων αλλά και την High Definition Render Pipeline η οποία επιτρέπει τη δημιουργία αιχμηρών γραφικών υψηλής ποιότητας και πιστότητας καθαρά για υπολογιστές υψηλών αποδόσεων. Οι τρεις βασικές εργασίες που εκτελεί μία σωληνωση απόδοσης γραφικών είναι οι εξής (βλ. σχήμα 4.4):

Απομάκρυνση Κρυμμένων Επιφανειών (Backface Culling)

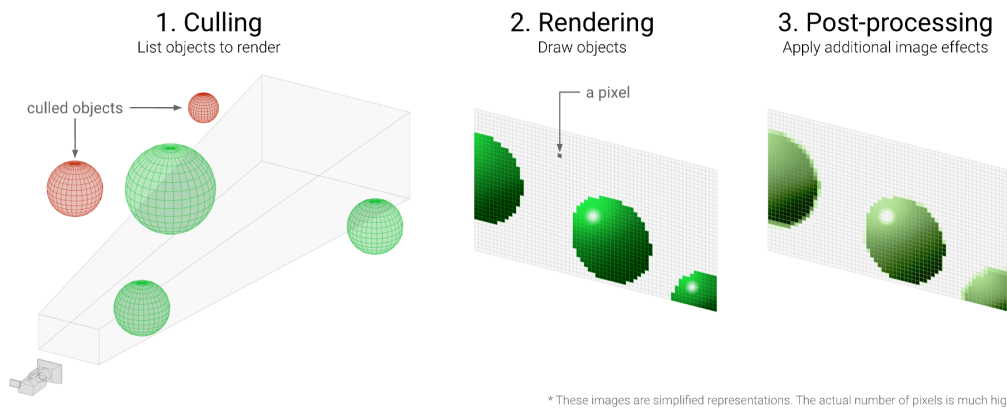
Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής "απομακρύνονται" τα αντικείμενα τα οποία δε βρίσκονται στο οπτικό πεδίο της κάμερας έτσι ώστε να μην εμφανιστούν και καταναλώσουν πόρους και ενέργεια από τη συσκευή.

Απόδοση Γραφικών (Rendering)

Κατά τη διάρκεια της απόδοσης των γραφικών τα 3D μοντέλα μετατρέπονται σε 2D εικόνες και αποδίδονται στην οθόνη της συσκευής χρήσης. Μετά την απόδοση των γραφικών εμφανίζονται τα αντικείμενα, ή τα μέρη των αντικειμένων, που είναι αναγκαίο να εμφανιστούν και βρίσκονται στο οπτικό πεδίο.

Μεταγενέστερη Επεξεργασία (Post-processing)

Αφού έχουν πραγματοποιηθεί οι προηγούμενες διεργασίες, εφαρμόζονται πρόσθετα εφέ, υφές και φίλτρα που έχουν οριστεί από την εφαρμογή.



Σχήμα 4.4: Τα στάδια μιας σωληνώσης απόδοσης γραφικών.

Πηγή: Unity Documentation

4.1.5 Στοιχεία Ροής (Streaming Assets)

Τα στοιχεία ροής μιας εφαρμογής είναι ένας φάκελος στον οποίο ο προγραμματιστής μπορεί να τοποθετήσει είτε δεδομένα, είτε κάποιου είδους βίντεο στα οποία θέλει να έχει πρόσβαση κατά τη διάρκεια της χρήσης της εφαρμογής.

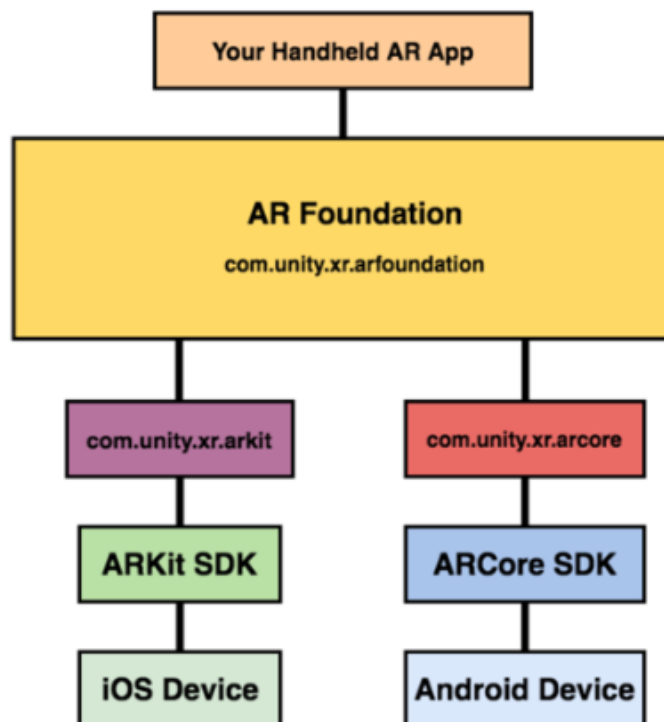
4.1.6 Πρόσθετα Εργαλεία

Για τη δημιουργία μιας λειτουργικής εφαρμογής, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν επιπρόσθετες λειτουργίες μέσα από πρόσθετα εργαλεία. Για παράδειγμα, υπάρχουν ειδικά πρόσθετα εργαλεία για τη μεταφορά της εφαρμογής σε μία συσκευή (πχ. Xcode για το χτίσιμο της εφαρμογής σε iOS) όσο και για τη διαδικασία ένταξης της εφαρμογής στο περιβάλλον της επαυξημένης πραγματικότητας. παρακάτω θα δούμε μερικά αντιπροσωπευτικά πρόσθετα εργαλεία τα οποία ήταν χρήσιμα στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

4.1.7 AR Foundation

Το AR Foundation είναι μια λύση για τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας που προσφέρεται από τη Unity και υποστηρίζει τόσο συσκευές Android όσο και iOS. Για τη δημιουργία μιας εφαρμογής δεν αρκεί μόνο η χρήση του AR Foundation αλλά και των εκάστοτε SDK ανάλογα με τη συσκευή για την οποία προβλέπεται η εφαρμογή. Για την χρήση του AR Foundation σε διαφορετικές συσκευές απαιτούνται ξεχωριστά πακέτα για την υποστήριξη αυτών των συσκευών:

- το ARCore XR για συσκευές Android,
- το ARKit XR για συσκευές iOS,
- το MagicLeap XR για τη συσκευή Magic Leap,
- και το Windows XR για τη συσκευή HoloLens.



Σχήμα 4.5: Τα απαιτούμενα εργαλεία για τη δημιουργία εφαρμογών σε κινητά.

Πηγή: Credera

4.1.8 ARCore XR

Το ARCore είναι το SDK (software development kit) που έχει αναπτύξει η Google για τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας σε Android. Τα βασικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:[34]

Καταγραφή κίνησης - Motion tracking

Χρησιμοποιώντας πληροφορίες από τον Αισθητήρα Μέτρησης αδράνειας (Inertia Measurement Unit) και την κάμερα της κινητής συσκευής για την εξέταση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της σκηνής, το ARCore εντοπίζει τη στάση (θέση και προσανατολισμό) της κινητής συσκευής σε σχέση με το φυσικό κόσμο.

Αντίληψη Περιβάλλοντος - Enviromental understanding

Το ARCore βελτιώνει συνεχόμενα αντίληψη του φυσικού κόσμου ανιχνεύοντας ειδικά σημεία και επίπεδες επιφάνειες του περιβάλλοντος.

Εκτίμηση Φωτεινότητας - Light estimation

Αυτή η τεχνική επιτρέπει στην εφαρμογή να ενσωματώνει με ακριβή φωτεινότητα τρισδιάστατα εικονικά αντικείμενα στον πραγματικό κόσμο, εκτιμώντας το φως του περιβάλλοντος.

Αντίληψη βάθους - Depth understanding

Το ARCore έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει χάρτες βάθους και εικόνες που περιέχουν την απόσταση μεταξύ σημείων χρησιμοποιώντας την κάμερα της συσκευής επαύξησης. Ο προγραμματιστής μέσω αυτών των πληροφοριών έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη.

Αλληλεπίδραση χρήστη - User interaction

Το ARCore επιτρέπει στο χρήστη μέσω της χύτευσης ακτίνων να αλληλεπιδρά με τις επιφάνειες του φυσικού κόσμου.

Προσανατολισμένα σημεία - Oriented points

Η λειτουργία των προσανατολισμένων σημείων επιτρέπει την τοποθέτηση αντικειμένων σε επιφάνειες με κλίση, η συσκευή αντιλαμβάνεται το περιβάλλον και μπορεί να υπολογίσει τη γωνία των επιφανειών στο φυσικό περιβάλλον.

4.1.9 ARKit XR

Το ARKit είναι το αντίστοιχο SDK της Apple για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας σε iOS. Το kit αυτό φέρνει αρκετές καινοτομίες στη βιομηχανία AR, οι οποίες είναι οι εξής:[34]

Παρακολούθηση Σώματος και Απομάκρυνση Κρυμμένων Επιφανειών

Μέσω αυτής της λειτουργίας οι εφαρμογές μπορούν να αντιληφθούν την ύπαρξη του ανθρώπου στη σκηνή και να τοποθετήσουν τα εικονικά αντικείμενα μπροστά ή πίσω του, στο οπτικό πεδίο της κάμερας, χρησιμοποιώντας και την διαδικασία της απομάκρυνσης κρυμμένων επιφανειών που υπάρχει και στις σωληνώσεις απόδοσης γραφικών.

Καταγραφή Κίνησης

Δίνεται η δυνατότητα καταγραφής κίνησης ενός εικονικού αντιγράφου του ανθρώπου που καταγράφει η κάμερα, καθιστώντας εφικτή τη μεταφορά των καταγραμμένων κινήσεων σε ένα βιντεοπαιχνίδι ή κάποιου άλλου είδους εφαρμογή.

Ταυτόχρονη Παρακολούθηση Πολλών Προσώπων

Μέσω του ARKit η εφαρμογή μπορεί ταυτόχρονα να παρακολουθεί και να αντιλαμβάνεται τρία ή και παραπάνω πρόσωπα.

Ταυτόχρονη Χρήση των Μπροστά και Πίσω Καμερών

Η λειτουργία αυτή δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης και των μπροστά και των πίσω καμερών της συσκευής για την εκμετάλλευση όλων των παραπάνω λειτουργιών.

4.1.10 Vuforia Engine AR

Το Vuforia είναι ένα δωρεάν SDK για ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας που ξεκίνησε από την Qualcomm, υποστηρίζει τόσο Android όσο και iOS μέσω της Unity. Παρέχει στον προγραμματιστή μία ποικιλία λειτουργιών όπως:[35]

- αναγνώριση κειμένου,
- αναγνώριση αντικειμένων μέσω Cloud,
- πολλαπλοί στόχοι,
- αναπαραγωγή βίντεο.

Το πραγματικό πλεονέκτημα όμως είναι ότι δίνεται η δυνατότητα συνδιασμού του Vuforia με τα αντίστοιχα SDK των εκάστοτε λειτουργικών συστημάτων, για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου αποτελέσματος.

4.1.11 Windows XR

Το Windows XR είναι το SDK που έχει αναπτύξει η Microsoft για τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας σε συσκευές όπως το Microsoft HoloLens 2 που τρέχουν σε Windows Holographic System.

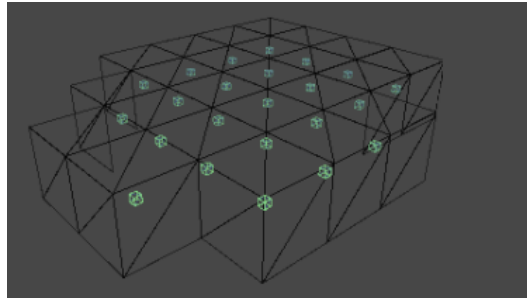
Mixed Reality Toolkit

Το Mixed Reality Toolkit είναι το SDK της Microsoft και αποτελεί υποσύστημα του Windows XR. Παρέχει ένα σύνολο στοιχείων και χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση ανάπτυξης εφαρμογών τόσο σε εικονική όσο και σε επαυξημένη πραγματικότητα μέσω της Unity για το HoloLens. Λειτουργεί ως ένα πρόσθετο εργαλείο και δίνει τη δυνατότητα στους προγραμματιστές πέρα από τη χρήση των ήδη υπάρχοντων λειτουργιών να δημιουργήσουν νέες λειτουργίες συμβατές με το HoloLens για την ανάπτυξη της εφαρμογής.

4.2 Υλοποίηση εφαρμογής

4.2.1 Εισαγωγή - Διαχείριση Δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων αρχικά δημιουργούμε δύο πίνακες που αντιπροσωπεύουν το χώρο ενδιαφέροντος. Ο πρώτος πίνακας θα έχει τρεις διαστάσεις καθώς θα περιέχει τα δεδομένα του αρχείου μετρήσεων (την περιεκτικότητα των νεφών σε όλα τα επίπεδα), ενώ ο δεύτερος θα είναι διδιάστατος και θα περιέχει μόνο τα υψομετρικά δεδομένα από το αρχείο υψομέτρων εδάφους (για τη δημιουργία του γεωγραφικού υποβάθρου). Στην προκειμένη περίπτωση οι πίνακες θα είναι 550x550x20 και 550x550 αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται μία απλοποίηση του χώρου με σκοπό τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής καθώς δε γίνεται χρήση των συντεταγμένων και η πρόσβαση στα δεδομένα γίνεται ταχύτατα. Έτσι κάθε σημείο μέτρησης αναπαρίσταται από ένα κύβο του οποίου το κέντρο είναι το σημείο με συντεταγμένες το γεωγραφικό μήκος και πλάτος όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.6. Μέσω της μετατροπής είναι πλέον εφικτή η διαδικασία της ένωσης των γειτονικών κύβων που ανήκουν στις ίδιες κατηγορίες περιεκτικότητας μέσω πλεγμάτων στα οποία θα κινούνται σωματίδια με σκοπό την αναπαράσταση των νεφών.



Σχήμα 4.6: Η μετατροπή των δεδομένων από σημεία μετρήσεων σε όγκους.

Η εισαγωγή των δεδομένων της περιεκτικότητας των νεφών κάθε σημείο μέτρησης στον πρώτο πίνακα είναι η πρώτη διαδικασία της μεθόδου που εκτελείται. Για να επιτευχθεί αυτό, πραγματοποιείται η ανάγνωση του αρχείου μετρήσεων νεφών εισάγονται στον πίνακα μόνο οι μη μηδενικές μετρήσεις περιεκτικότητας. Η ανάγνωση του αρχείου γίνεται με το εργαλείο `BetterStreamingAssets` [36] το οποίο προσφέρει και ταχύτητα στην ανάγνωση. Οι μετρήσεις διαιρούνται με το μέγιστο της τιμής που μπορούν να λάβουν (2.9) έτσι ώστε να γίνει αναγωγή των τιμών στην κλίμακα 0 έως 1 και αργότερα να διαχωριστούν οι μετρήσεις σε ποσοστά.

```
1 void FileToArray ()
2 {
3     List<string> lines = BetterStreamingAssets.ReadAllLines("data.txt").ToList();
4     int i = 0;
5     int j = 0;
6     int k = 0;
7
8     foreach (var line in lines)
9     {
10        string[] entries = line.Split(' ');
11        float cloud = float.Parse(entries[4]);
12        cloudinfo[i, j, k] = cloud / 2.9f; // convert the data to (0 - 1) scale
13        i++;
14
15        if (i == 550) // max width reached
16        {
17            j++;
18            i = 0; // reset width
19
20            if (j == 550) // max length
21            {
22                k++; // change height level
23                j = 0; // reset length
24            }
25        }
26    }
27 }
```

Με αντίστοιχο τρόπο γεμίζει και ο πίνακας των υψομετρικών δεδομένων ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του γεωγραφικού υποβάθρου.

```

1 void HeightToArray ()
2 {
3     List<string> lines = BetterStreamingAssets.ReadAllLines("data.txt").ToList();
4     int i = 0;
5     int j = 0;
6
7     foreach (var line in lines)
8     {
9         string[] entries = line.Split(' ');
10        float height = float.Parse(entries[2]);
11        groundinfo[i, j] = height / 1000; // convert to km
12        i++;
13
14        if (i == 550)
15        {
16            j++;
17            i = 0;
18
19            if (j == 550)
20            {
21                j = 0;
22            }
23        }
24    }
25 }

```

4.2.2 Δημιουργία Πολυγωνικού Πλέγματος εδάφους

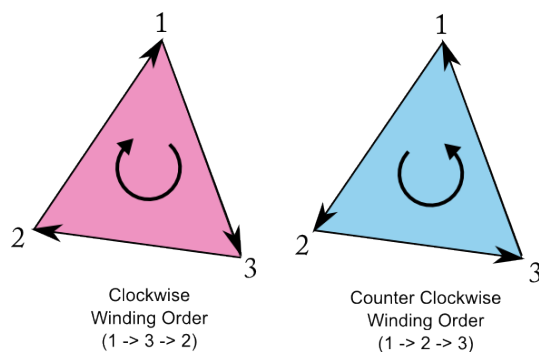
Για το χτίσιμο του πολυγωνικού πλέγματος, αρχικά δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο (GameObject) στο οποίο προστίθενται τα εξαρτήματα (Components) που είναι αναγκαία. Ένα πολυγωνικό πλέγμα στη Unity χρειάζεται ένα φίλτρο πλέγματος (MeshFilter) για τη δημιουργία του και ένα εξάρτημα απόδοσης γραφικών πλέγματος (MeshRenderer) σε περίπτωση που το πλέγμα χρειάζεται να είναι ορατό. Η ιδέα πίσω από το χτίσιμο του πλέγματος είναι η ένωση όλων των σημείων-κορυφών μεταξύ τους προκειμένου να προκύψει το συνολικό πλέγμα το οποίο θα αντιπροσωπεύει τη μορφολογία του εδάφους. Για το συγκεκριμένο πλέγμα χρειάζονται:

- μία λίστα κορυφών που αντιστοιχούν στα σημεία,
- μία λίστα όψεων που αντιστοιχούν στα τρίγωνα που θα προκύψουν μετά τις ενώσεις,
- μία λίστα συντεταγμένων υφών καθώς αργότερα θα τοποθετηθεί η υφή του χάρτη στο πλέγμα.

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του αλγορίθμου γίνεται ανάγνωση του αρχείου με τα υψομετρικά δεδομένα. Για κάθε σημείο χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες του πίνακα για το μήκος και το πλάτος της θέσης του σημείου στο χώρο ενώ για το υψόμετρο χρησιμοποιείται η αντίστοιχη τιμή που έχει αντληθεί από τα δεδομένα.

Το κάθε σημείο όπως και τα γειτονικά τρία σημεία (πανω, πάνω δεξιά, δεξιά) προστίθενται στη λίστα των κορυφών και στη συνέχεια μέσω τριγωνοποίησης προκύπτουν τα δύο τρίγωνα με κοινές κορυφές το αρχικό σημείο και το πάνω δεξιά (βλ. σχήμα 4.7). Όπως φαίνεται και στο σχήμα παίζει σημαντικό ρόλο η φορά της τριγωνοποίησης προκειμένου

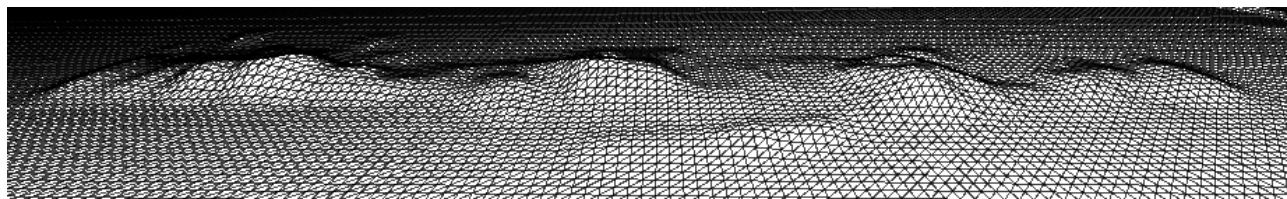
όλες οι όψεις των τριγώνων να είναι προς την ίδια φορά. Παράλληλα γίνεται και η προσθήκη των συνεταγμένων υφών πάνω στις κορυφές.



Σχήμα 4.7: Παράδειγμα τριγωνοποίησης κορυφών με σκοπό τη δημιουργία τριγωνικής όψης.

Πηγή: cmichel

Μετά το πέρας της διαδικασίας, ολοκληρώνεται και το πλέγμα το οποίο χωρίς την προσθήκη της υφής έχει την μορφή που φαίνεται στην εικόνα 4.8. Για την υφή του πλέγματος χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης του Google Maps. Για βελτιστοποίηση της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από ένα αποσπάσματα του χάρτη τα οποία στη συνέχεια ευθυγραμμίστηκαν μεταξύ τους και ενώθηκαν για να προκύψει μία εικόνα. Η ευθυγράμμιση της τελικής εικόνας με τον χώρο ανάλυσης που περιγράφεται από τα δεδομένα έγινε μέσω των τεσσάρων συνεταγμένων που βρίσκονται στις άκρες και στην ουσία οριοθετούν τον γενικότερο χώρο.



Σχήμα 4.8: Απόσπασμα του πλέγματος χωρίς την υφή του χάρτη, Κρήτη.

Algorithm 1: Δημιουργία Πλέγματος Υποβάθρου

Data: Υψομετρικά Δεδομένα

Result: Πλέγμα Υποβάθρου

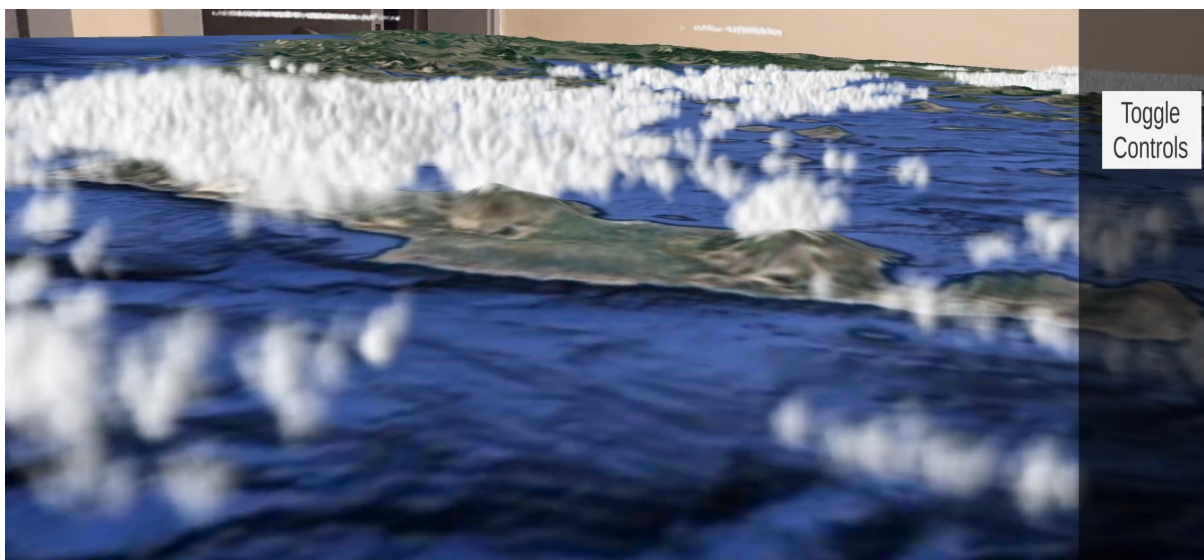
```
1 initialization;
2 while not at end of the data do
3   create vertex [x, DATA[x, y], y];
   // vertice 0
4   create vertex [x + 1, DATA[x + 1, y], y];
   // vertice 1
5   create vertex [x + 1, DATA[x + 1, y + 1], y + 1];
   // vertice 2
6   create vertex [x, DATA[x, y + 1], y + 1];
   // vertice 3
7   create triangle with vertices(0, 2, 1);
8   create triangle with vertices(3, 2, 0);
9   create uv [x, y];
10  create uv [x + 1, y];
11  create uv [x + 1, y + 1];
12  create uv [x, y + 1];
13 end
```

Με την τοποθέτηση της υψής στο πλέγμα (βλ. 4.8), το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.9.

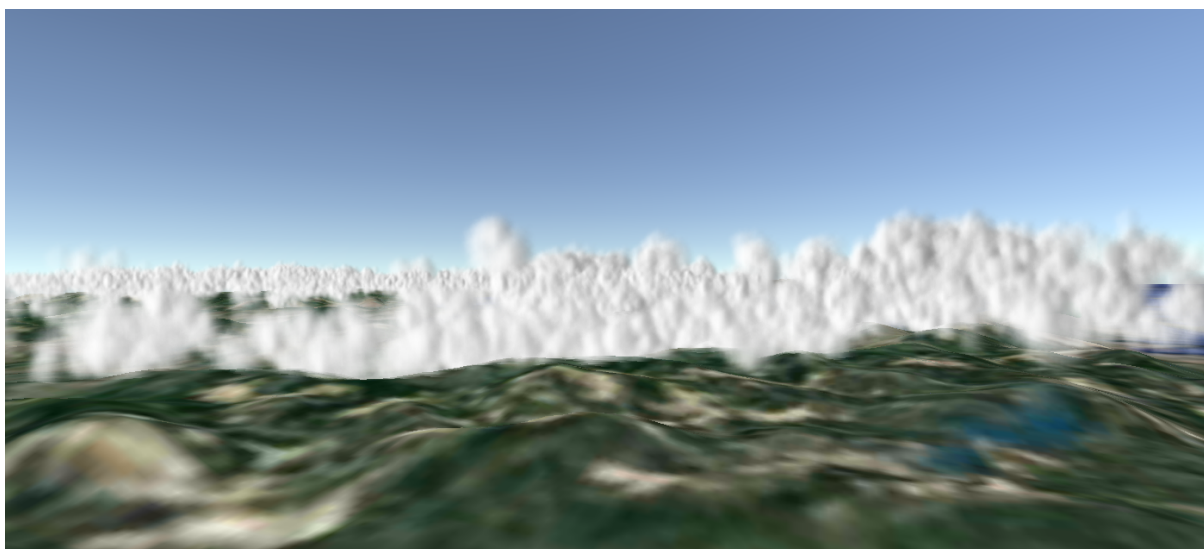


Σχήμα 4.9: Η εικόνα υψής που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο, όψη μέσω του Unity Editor.

Πηγή: Google Earth



Σχήμα 4.10: Λεπτομέρειες από την τρισδιάστατη απεικόνιση του εδάφους με εστίαση στην περιοχή της Κρήτης.



Σχήμα 4.11: Λεπτομέρειες από την κατακόρυφη ανάπτυξη των νεφών στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας.

Στο σχήμα 4.10 επίσης φαίνονται, εκτός από τα νέφη, οι τρισδιάστατες λεπτομέρειες του πλέγματος του εδάφους με την κατάλληλη υφή. Από την άλλη στο σχήμα 4.11 είναι εμφανής η κατακόρυφη ανάπτυξη των νεφών.

4.2.3 Δημιουργία Πολυγωνικών Πλεγμάτων Νεφών

Κατά την εισαγωγή των αρχείων δεδομένων, τα δεδομένα των νεφών χωρίζονται σε δέκα κατηγορίες περιεκτικότητας σε υγρασία (ανά 10%). Μετά το πέρας του συγκεκριμένου αλγορίθμου θα προκύψουν δέκα πολυγωνικά πλέγματα, όπου το κάθε ένα θα αντιστοιχεί σε μία κατηγορία περιεκτικότητας υγρασίας. Τα συγκεκριμένα πλέγματα δε χρειάζονται εξάρτημα απόδοσης γραφικών πλέγματος παρά μόνο φίλτρο πλέγματος καθώς η ρεαλιστική οπτικοποίηση τους θα επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων σωματιδίων. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο δε θα χρειαστεί και λίστα συντεταγμένων υφών (UVs). Έτσι προκύπτει ότι για τη δημιουργία των πλεγμάτων χρειάζονται τα εξής:

- μία λίστα κορυφών, κάθε χώρος μέτρησης θα έχει οκτώ κορυφές αφού η αναπαράσταση θα γίνει μέσω κύβων,
- μία λίστα όψεων, κάθε χώρος μέτρησης θα έχει στο μέγιστο δώδεκα τριγωνικές όψεις (έξι πλευρές), ανάλογα με την κατάσταση των γειτονικών σημείων.

Η αναπαράσταση κάθε χώρου μέτρησης γίνεται με τη μορφή κύβου για να αναπαρασταθεί ο όγκος των νεφών. Κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης του αρχείου γίνεται έλεγχος της περιεκτικότητας υγρασίας των γειτονικών μετρήσεων προκειμένου να προκύψουν ενιαίοι όγκοι όπου υπάρχουν γείτονες που βρίσκονται σε κοινή κατηγορία περιεκτικότητας. Σε κάθε χώρο μέτρησης δημιουργούνται οι οκτώ κορυφές του όγκου που τον ορίζουν, για να δημιουργηθούν οι πλευρές είναι αναγκαίο να πληρούνται οι κανόνες του αλγορίθμου. Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται για κάθε πλευρά του χώρου μέτρησης. Η πλευρά ενός όγκου δημιουργείται αν:

- το γειτονικό νέφος βρίσκεται σε άλλη κατηγορία περιεκτικότητας,
- ή δεν υπάρχει γειτονικό νέφος.

Για τη βελτίωση της οπτικοποίησης λαμβάνουμε υπ όψιν το υψόμετρο και το προσθέτουμε στον κάθετο άξονα της θέσης των νεφών. Έτσι προκύπτουν κενά στο πλέγμα καθώς μέχρι αυτό το σημείο ο αλγόριθμος λάμβανε υπόψη μόνο τις έξι πλευρές του σημείου. Για αυτό το λόγο υπάρχει ένας δεύτερος έλεγχος στο τέλος της κάθε επανάληψης ο οποίος ελέγχει:

- αν υπάρχουν γείτονες στην ίδια κατηγορία νεφών (δηλαδή δεν έχουν δημιουργηθεί πλευρές),
- και αν αυτοί οι γείτονες έχουν διαφορετικό ύψος.

Αν πληρούνται αυτοί οι δύο κανόνες ταυτόχρονα σημαίνει ότι έχουν προκύψει κενά στο πλέγμα, έτσι δημιουργούνται τέσσερις κορυφές (δύο στις άκρες του κάθε όγκου) από τις οποίες προκύπτουν δύο τρίγωνα και το κενό καλύπτεται.

Algorithm 2: Δημιουργία Πολυγωνικών Πλεγμάτων Νεφών

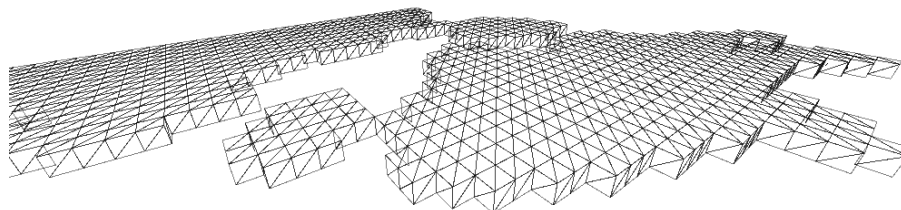
Data: Δεδομένα Περιεκτικότητας Νεφών
Result: Δέκα Πλέγματα Νεφών ανά 10%

```

1 initialization;
2 while not at end of the data do
3   create vertices of current data point;
4   if neighbor is in a different data group OR does not exist then
5     create two triangles on each side that meets the conditions;
6   end
7   if neighbor is in the same data group AND on a different height then
8     create corresponding vertices;
9     create triangles;
    // filling potential mesh gaps that might occur due to
    // height difference between points
10  end
11 end

```

Μετά το πέρας του αλγορίθμου προκύπτουν δέκα πολυγωνικά πλεγμάτα, το κάθε ένα για μία κατηγορία πυκνότητας υγρασίας, τα οποία έχουν μόνο εξωτερική επιφάνεια.

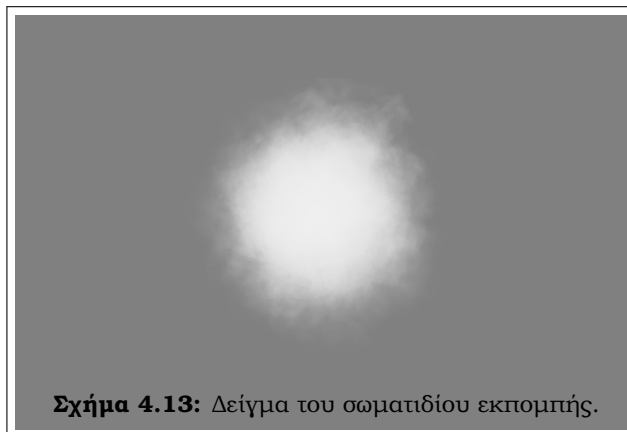


Σχήμα 4.12: Παράδειγμα πλέγματος γειτονικών νεφών της ίδιας κατηγορίας.

4.2.4 Συστήματα Σωματιδίων (Particle Systems)

Μετά την ολοκλήρωση του αλγορίθμου για τη δημιουργία των πλεγμάτων των νεφών, η επόμενη μέθοδος που καλείται είναι αυτή της δημιουργίας των συστημάτων σωματιδίων. Η οπτικοποίηση των νεφών θα γίνει μέσω δέκα συστημάτων σωματιδίων και ανάλογα με την κατηγορία πυκνότητας υγρασίας θα δίνονται στο σύστημα διαφορετικές ρυθμίσεις ποσότητας σωματιδίων, χρώματος και διαφάνειας με σκοπό την, όσο το δυνατόν, πιο ρεαλιστική απεικόνιση.

Σε κάθε σύστημα σωματιδίων ορίζουμε το αντίστοιχο πλέγμα ως το στερεό του οποίου τον όγκο θα εκπέμπονται τα σωματίδια. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια είναι σε μορφή καπνού (βλ. σχήμα 4.13) και κάθε ένα αντιστοιχεί στο ένα τρίτο του όγκου του αντίστοιχου κύβου. Έχοντας κρατήσει προηγουμένως το μέγεθος των πλεγμάτων ορίζεται η ποσότητα των εκπεμπόμενων σωματιδίων έτσι ώστε για κάθε κύβο να εκπέμπονται τρία σωματίδια.



Σε αυτό το σημείο έχει ήδη σχεδιαστεί η σκηνή με το υπόβαθρο του εδάφους, ενώ τα εκπεμπόμενα σωματίδια, μέσα στα αόρατα πολυγωνικά πλεγμάτα, προσομοιώνουν την υφή των νεφών όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.14.



Σχήμα 4.14: Παράδειγμα αποτελέσματος οπτικοποίησης ενός σετ δεδομένων με το ολοκληρωμένο υπόβαθρο και τα νέφη, περιβάλλον Unity Editor.

4.2.5 Επαυξημένη Πραγματικότητα

Για τη μεταφορά της σκηνής σε περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα πρόσθετα της Unity που προσφέρουν αυτοματοποιημένες διαδικασίες και συμβατότητα από τη μία θα κάνουν τη διαδικασία της ανάπτυξης αρκετά απλούστερη και από την άλλη θα κάνουν την εφαρμογή συμβατή για τα εκάστοτε λογισμικά και τις κινητές συσκευές. Τα πακέτα λογισμικού είναι τα εξής:

- το AR Foundation της Unity για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας,
- το ARCore της Google για Android builds,
- το ARKit της Apple για iOS builds,
- το Vuforia για τις λειτουργίες ανάγνωσης του περιβάλλοντος και τοποθέτησης της σκηνής,
- και το Mixed Reality Toolkit 2 των Windows για μεταφορά της εφαρμογής στο Microsoft HoloLens 2.

Για την προσαρμογή της σκηνής στην εκάστοτε συσκευή αρκεί να χρησιμοποιηθούν τα αντίστοιχα πακέτα λογισμικού αλλά και οι κατάλληλοι χειρισμοί για τη βέλτιστη απόδοση εμπειρίας χρήσης.

Προσαρμογή σκηνής για Κινητές Συσκευές

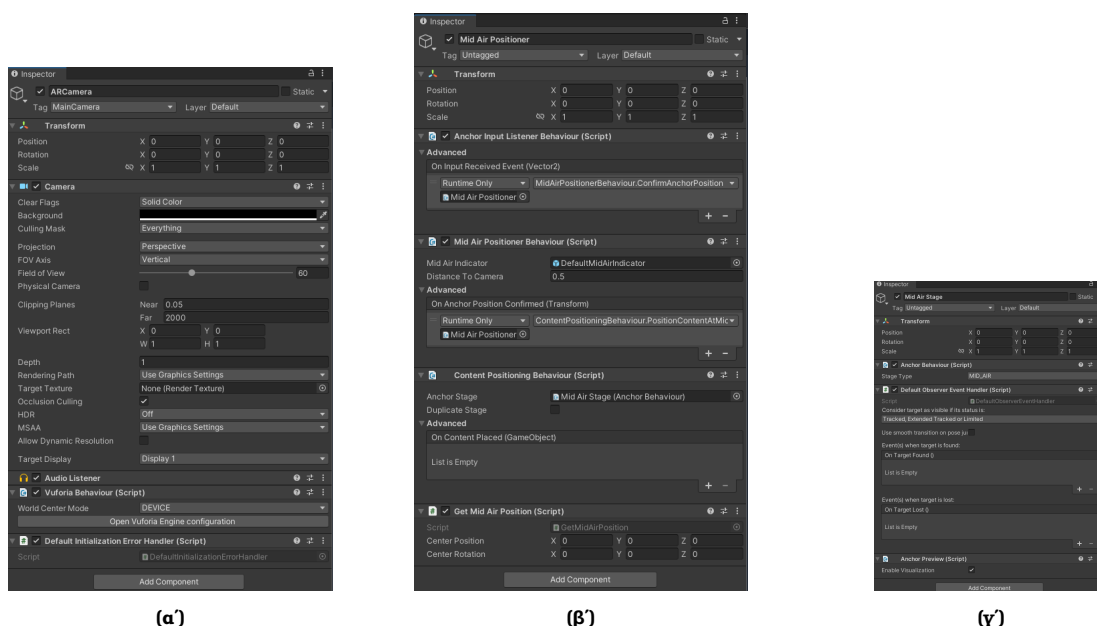
Στην περίπτωση των κινητών συσκευών, τόσο για Android όσο και για iOS, είναι αναγκαία η εγγραφή της εφαρμογής μέσω του Vuforia για την απόκτηση της κατάλληλης άδειας.

Το Vuforia δίνει τη δυνατότητα τοποθέτησης της σκηνής τόσο πάνω σε κάποιο επίπεδο όσο και "στον αέρα", σε ρυθμιζόμενη από το προγραμματιστή απόσταση, όπως και πάνω σε κάποιο προκαθορισμένο αντικείμενο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η τοποθέτηση στον αέρα σε απόσταση μισού μέτρου από το χρήστη καθώς βελτιώνει την

εμπειρία του χρήστη σε σχέση με την επεξεργασία της σκηνής, των χειρισμών και των εργαλείων που θα δημιουργηθούν.

Τα αντικείμενα-εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη λειτουργία αυτή και προσφέρονται από το Vuforia είναι τα εξής:

- AR Camera που επεξεργάζεται τη συμπεριφορά της κάμερας της συσκευής,
- Mid Air Positioner που μέσω της συσκευής δείχνει στο χρήστη το σημείο στο οποίο θα τοποθετηθεί η σκηνή,
- Mid Air Stage στο οποίο γίνεται ανάθεση της σκηνής που δημιουργείται (υπόβαθρο και σύννεφα) ως αντικείμενο-παιδί με σκοπό την επαύξηση της.

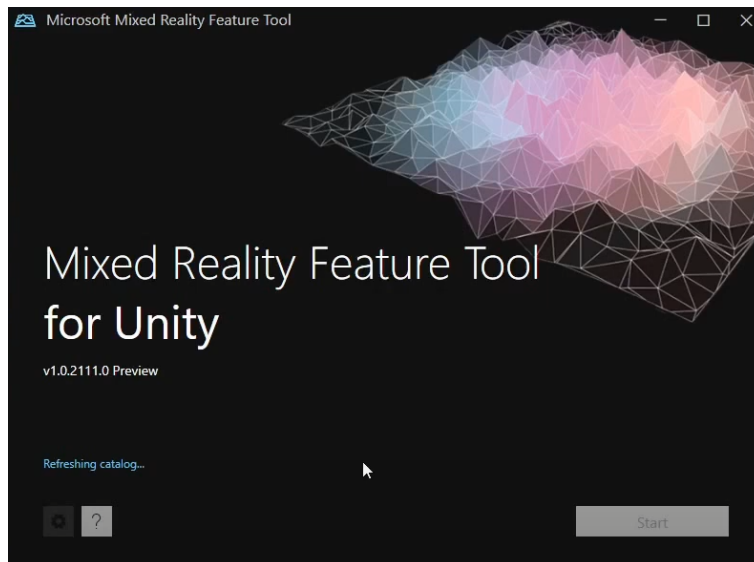


Σχήμα 4.15: Τα αντικείμενα-εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μιας σκηνής στο περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας.

Με αυτή τη σύνθεση η εφαρμογή μπορεί να τοποθετηθεί στη κινητή συσκευή, αφού δημιουργηθούν οι κατάλληλοι χειρισμοί και τα εργαλεία που θα δώσουν στο χρήστη τη βέλτιστη εμπειρία χρήσης.

Προσαρμογή σκηνής για

Microsoft HoloLens 2 Για το HoloLens 2 πρέπει να γίνει εγκατάσταση του Mixed Reality Toolkit (MRTK) που προσφέρει η Microsoft για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που δημιουργούνται μέσω της Unity. Το MRTK προσφέρει έναν ενσωματωμένο προσομοιωτή του HoloLens 2, ο οποίος μπορεί να τρέξει στο περιβάλλον της Unity μέσω του Editor δίνοντας τη δυνατότητα να δοκιμάσουμε την εφαρμογή με τις ρυθμίσεις της συσκευής χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση της φυσική συσκευής.



Σχήμα 4.16: Το kit της Microsoft για δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας μέσω Unity.

Αφού γίνει η εγκατάσταση χρειάζονται τρία αντικείμενα-εργαλεία για την ολοκλήρωση της προσαρμογής της εφαρμογής, αυτά είναι τα εξής:

- MixedRealityToolkit που περιέχει όλες τις γενικές ρυθμίσεις της εφαρμογής,
- MixedRealitySceneContent που βοηθάει στην τοποθέτηση της σκηνής,
- MixedRealityPlayspace που επιτρέπει την επεξεργασία της σκηνής αφού αυτή έχει τοποθετηθεί.

Σε αντίθεση με τις άλλες συσκευές, η Unity δε προσφέρει εγγενή υποστήριξη για το HoloLens 2. Για το λόγο αυτό εξάγουμε από τη Unity δημιουργεί ένα .sln (Visual Studio Solution) αρχείο το οποίο μέσω Visual Studio ολοκληρώνει το χτίσιμο της εφαρμογής στη συσκευή.

4.2.6 Χειριστήρια και Εργαλεία

Τα χειριστήρια που έχουν δημιουργηθεί επιτρέπουν στο χρήστη να σύρει τη σκηνή μέσα στο χώρο μέσω του Drag Mode, να αλλάξει την κλίμακα μέσω του Scale Mode αλλά και να την περιστρέψει με έναν ιδιαίτερο τρόπο μέσω του Pin Mode. Κάθε φορά που ενεργοποιείται ένα χειριστήριο απενεργοποιούνται τα αντικείμενα του User Interface και το Mid Air Positioner για να μην επικαλύπτει τις εντολές αφής του χρήστη.

Χειριστήρια Περιεκτικότητας Νεφών

Για την εμφάνιση και απόκρυψη των νεφών έχουν δημιουργηθεί δέκα κουμπιά, ένα για κάθε κατηγορία-πλέγμα. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης λειτουργίας εναλλάσσεται η κατάσταση του αντίστοιχου συστήματος σωματιδίων. Ταυτόχρονα αλλάζει και το χρώμα του κουμπιού από άσπρο (όταν η αντίστοιχη κατηγορία είναι ορατή) σε μαύρο (όταν έχει γίνει απόκρυψη της εκάστοτε κατηγορίας).

```

1 public void OnButtonPress(int i)
2 {
3     Clouds[i].SetActive(cloud_switch[i]);
4     cloud_switch[i] = !cloud_switch[i];
5
6     if (cloud_switch[i] == false)
7     {
8         ColorBlock colorBlock = Buttons[i].GetComponent<Button>().colors;
9         colorBlock.normalColor = new Color(255.0f, 255.0f, 255.0f);
10        colorBlock.highlightedColor = new Color(255.0f, 255.0f, 255.0f);
11        colorBlock.selectedColor = new Color(255.0f, 255.0f, 255.0f);
12        Buttons[i].GetComponent<Button>().colors = colorBlock;
13    }
14    else
15    {
16        ColorBlock colorBlock = Buttons[i].GetComponent<Button>().colors;
17        colorBlock.normalColor = new Color(0.0f, 0.0f, 0.0f);
18        colorBlock.highlightedColor = new Color(0.0f, 0.0f, 0.0f);
19        colorBlock.selectedColor = new Color(0.0f, 0.0f, 0.0f);
20        Buttons[i].GetComponent<Button>().colors = colorBlock;
21    }
22 }

```

Drag Mode

Ο συγκεκριμένος χειρισμός επιτρέπει στο χρήστη τη μεταβολή της θέσης της σκηνής στο χώρο μέσω εντολών αφής μέσω συρώμενης κίνησης.

```

1 public void Dragging()
2 {
3     if (dragging == true)
4     {
5
6         if (Input.touchCount > 0 && meshGenerator.scaling == false)
7         {
8             touch = Input.GetTouch(0);
9
10            if (touch.phase == TouchPhase.Moved)
11            {
12                transform.position = new Vector3(transform.position.x + touch.
13                    deltaPosition.x * speedModifier, transform.position.y, transform.
14                    position.z + touch.deltaPosition.y * speedModifier);
15            }
16        }
17    }
18 }

```

Scale Mode

Η λειτουργία της αλλαγής κλίμακας λειτουργεί μέσω ενός αντικειμένου ολίσθησης το οποίο έχει ως προκαθορισμένη τιμή-θέση το κέντρο. Ο χρήστης μεταβάλλοντας την τιμή

προς τα αριστερά μικραίνει την κλίμακα της σκηνής ενώ προς τα δεξιά αυξάνει την κλίμακα. Η συγκεκριμένη λειτουργία μεταβάλλει ομοιόμορφα τόσο τα δέκα συστήματα σωματιδίων όσο και το υπόβαθρο της σκηνής.

```
1 public void OnSliderValueChanged(float value)
2 {
3     if (scaleSlider != null)
4     {
5         for (int i = 0; i < 10; i++)
6         {
7             Clouds[i].transform.localScale = Vector3.one / value;
8         }
9         ARGround.transform.localScale = Vector3.one / value;
10        scaling = true;
11    }
12 }
```

Pin Mode

Η λειτουργία για την αλλαγή της περιστροφής εκμεταλλεύεται τόσο τις εντολές αφής όσο και τις συναρτήσεις χύτευση ακτίνων ray casting για την επεξεργασία των διανυσμάτων περιστροφής της σκηνής αλλά και για την εύρεση των σημείων επαφής. Τη στιγμή που ο χρήστης αγγίζει το υπόβαθρο της σκηνής εμφανίζονται δύο αντικείμενα στο σημείο επαφής, το ένα είναι σταθερό και καθορίζει το σημείο επαφής ενώ το άλλο περιστρέφεται γύρω του και δείχνει τη γωνία περιστροφής όπως τη λαμβάνει από τον χρήστη. Στη συνέχεια και χωρίς να έχει σταματήσει η επαφή ο χρήστης μπορεί να περιστρέψει το δάχτυλο του γύρω από το σημείο αφής προς την κατεύθυνση του επιθυμεί. Μόλις καταλήξει στην επιθυμητή γωνία περιστροφής, και σταματώντας την επαφή η σκηνή περιστρέφεται στην επιθυμητή γωνία ενώ τα αντικείμενα που είχαν δημιουργηθεί για να οπτικοποιούν τη λειτουργία και να βοηθούν το χρήστη καταστρέφονται.

```

1 public void Pinning()
2 {
3     if (pinning == true)
4     {
5         if (Input.touchCount >= 1)
6         {
7             if (Input.touches[0].phase == TouchPhase.Began)
8             {
9                 Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.GetTouch(0).position);
10                RaycastHit hit;
11
12                touched = false;
13
14                if (Physics.Raycast(ray, out hit) && hit.collider.tag == "AR Ground")
15                {
16                    offsetPosition = transform.position - hit.point;
17                    firstHit = hit.point;
18                    pin = Instantiate(pinPrefab, hit.point, Quaternion.identity);
19                    arrow = Instantiate(arrowPrefab, hit.point, Quaternion.identity);
20
21                    touched = true;
22                }
23            }
24
25            if (Input.touches[0].phase == TouchPhase.Moved && touched == true)
26            {
27                Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.GetTouch(0).position);
28                RaycastHit hit;
29
30                if (Physics.Raycast(ray, out hit) && hit.collider.tag == "AR Ground")
31                {
32                    var dir = hit.point - firstHit;
33                    var rot = Quaternion.LookRotation(dir, Vector3.up);
34                    arrow.transform.rotation = rot;
35                }
36            }
37
38            if (Input.touches[0].phase == TouchPhase.Ended && touched == true)
39            {
40                var targetRotation = new Vector3(0, arrow.transform.localEulerAngles.y - mainCamera.transform.localEulerAngles.y, 0);
41                transform.localEulerAngles = -targetRotation;
42
43                Destroy(pin);
44                Destroy(arrow);
45            }
46        }
47    }
48 }

```

4.3 Βελτιστοποίηση Απόδοσης

Για τη βελτιστοποίηση απόδοσης της εφαρμογής και την ομαλή της λειτουργία, εκτός από τη βελτιστοποίηση των πλεγμάτων των νεφών όπως αναφέρθηκε στον αλγόριθμο, έχουν

χρησιμοποιηθεί οι εξής τεχνικές:

Ομαδοποίηση Κλήσεων Αντικειμένων

Κατά τη διάρκεια της ομαδοποίησης κλήσεων αντικειμένων (Draw call batching), ομαδοποιούνται τα ως-προς απόδοση αντικείμενα με σκοπό η εφαρμογή να πραγματοποιεί λιγότερες κλήσεις και να μην επιβαρύνεται η CPU της συσκευής.

Απόκρυψη των Μη Ορατών Αντικειμένων

Με την τεχνική της απόκρυψης, τα αντικείμενα τα οποία δεν είναι ορατά στο χρήστη μέσω της κάμερας κατά τη διάρκεια λειτουργίας της εφαρμογής σταματούν να αποδίδονται έχοντας ως αποτέλεσμα η εφαρμογή να τρέχει με περισσότερα καρτέ ανά δευτερόλεπτο σε περιπτώσεις μεγένθυσης της σκηνής.

4.4 Χρόνοι Εκτέλεσης και Μετρήσεις Απόδοσης

Με την εφαρμογή έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές με τρία διαφορετικά σετ δεδομένων σε τρεις συσκευές, σε κινητό, σε υπολογιστή και στο HoloLens 2 της Microsoft. Το κινητό στο οποίο έτρεξαν οι δοκιμές είναι ένα Xiaomi Redmi Note 8 το οποίο έχει Chipset Qualcomm SDM665 Snapdragon 665, γραφικά Adreno 610 και RAM 6 GB ενώ ο υπολογιστής έχει επεξεργαστή Ryzen 5 5600X, κάρτα γραφικών RTX 2060 6GB και μνήμη 16 GB χρονισμένη στα 3200 MHz. Το HoloLens 2 έχει Chipset Qualcomm Snapdragon 850 Compute Platform και 4 GB μνήμης RAM. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης γίνονται υπολογισμοί τόσο μέσω του CPU των συστημάτων όσο και μέσω της GPU.

Στις παρακάτω μετρήσεις μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι χρόνοι εκτέλεσης ανά σετ κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα εκτός από αυτή της δημιουργίας πλεγμάτων νεφών και των καρτέ ανά δευτερόλεπτο. Και οι δύο αυτές μετρήσεις επηρεάζονται από την πυκνότητα των νεφών ανά σετ δεδομένων, δηλαδή την ύπαρξη μη μηδενικών τιμών στη στήλη της περιεκτικότητας. Όσον αφορά το HoloLens 2 είναι προφανές ότι η συσκευή επιβαρύνεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη μεγάλου αριθμού σωματιδίων και θα χρειαστεί περαιτέρω βελτιστοποίηση στον τομέα αυτό για περιπτώσεις προσομοίωσης τέτοιων σετ δεδομένων.

Όλες οι μετρήσεις στη στήλη των καρτέ ανά δευτερόλεπτο αφορούν την ύπαρξη και απόδοση και των δέκα πλεγμάτων (και ως εκ τούτου όλων των σωματιδίων) στη σκηνή. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις κινητές συσκευές το ανώτατο όριο καρτέ ανά δευτερόλεπτο που μπορεί να φτάσει η εφαρμογή είναι τα 30.

Όσον αφορά τα σετ δεδομένων, το πρώτο σετ αποτελείται από 29.008 μη μηδενικές τιμές, το δεύτερο από 183.246 ενώ το τρίτο από 83.080. Αυτό μπορεί να προκύψει και από τα αποτελέσματα καθώς και στις τρεις συσκευές το δεύτερο αρχείο είχε τα λιγότερα καρτέ ανά δευτερόλεπτο αλλά και τον υψηλότερο χρόνο για τη δημιουργία των πλεγμάτων νεφών.

Χρόνοι Εκτέλεσης και Μετρήσεις από Κινητό					
	Μετρήσεις Νεφών σε Πίνακα	Υπομετρικά Δεδομένα σε Πίνακα	Δημιουργία Πλεγμάτων Νεφών	Δημιουργία Πλέγματος Εδάφους	Καρέ Ανά Δευτερόλε- πτο
Πρώτο Σει Δεδομένων	13 360 ms	0 344 ms	0 497 ms	0 323 ms	30 fps
Δεύτερο Σει Δεδομένων	13 507 ms	0 303 ms	0 705 ms	0 353 ms	25 fps
Τρίτο Σει Δεδομένων	13 448 ms	0 319 ms	0 653 ms	0 298 ms	28 fps

Χρόνοι Εκτέλεσης και Μετρήσεις από Ηλεκτρονικό Υπολογιστή					
	Μετρήσεις Νεφών σε Πίνακα	Υπομετρικά Δεδομένα σε Πίνακα	Δημιουργία Πλεγμάτων Νεφών	Δημιουργία Πλέγματος Εδάφους	Καρέ Ανά Δευτερόλε- πτο
Πρώτο Σει Δεδομένων	8 142 ms	0 280 ms	0 292 ms	0 197 ms	113 fps
Δεύτερο Σει Δεδομένων	8 011 ms	0 276 ms	0 453 ms	0 211 ms	83 fps
Τρίτο Σει Δεδομένων	8 173 ms	0 291 ms	0 387 ms	0 204 ms	90 fps

Χρόνοι Εκτέλεσης και Μετρήσεις από HoloLens 2					
	Μετρήσεις Νεφών σε Πίνακα	Υπομετρικά Δεδομένα σε Πίνακα	Δημιουργία Πλεγμάτων Νεφών	Δημιουργία Πλέγματος Εδάφους	Καρέ Ανά Δευτερόλε- πτο
Πρώτο Σει Δεδομένων	30 884 ms	1 010 ms	1 107 ms	0 309 ms	25 fps
Δεύτερο Σει Δεδομένων	31 111 ms	0 964 ms	1 464 ms	0 352 ms	4 fps
Τρίτο Σει Δεδομένων	30 964 ms	0 988 ms	1 253 ms	0 334 ms	7 fps

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική υλοποιήθηκε μία εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας με σκοπό την οπτικοποίηση των μετεωρολογικών νεφών γύρω από τον ελλαδικό χώρο και τη μεταφορά τους στο φυσικό περιβάλλον μέσω της επαύξησης. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η μηχανή γραφικών Unity. Η επιλογή της εν λόγω μηχανής γραφικών έγινε τόσο λόγω των άρτιων και αξιόπιστων αποτελεσμάτων οπτικοποίησης που μπορεί να προσφέρει, όσο και λόγω της δυνατότητας μεταφοράς της εφαρμογής σε πολλαπλές πλατφόρμες και συσκευές VR/AR.

Για τη δημιουργία της εφαρμογής αρχικά ήταν αναγκαία η σωστή διαχείριση των δεδομένων. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν οι αλγόριθμοι για τη δημιουργία των πλεγμάτων τόσο του εδάφους όσο και των νεφών οι οποίοι είναι δυναμικοί και μπορούν να προσαρμοστούν σε αντίστοιχα σετ δεδομένων οποιουδήποτε μεγέθους. Για την εκμετάλλευση των πλεγμάτων νεφών χρησιμοποιήθηκαν δέκα συστήματα σωματιδίων, ένα για κάθε πλέγμα-ομάδα νέφους, τα οποία εκπέμπουν σωματίδια με τις κατάλληλες ρυθμίσεις χρώματος, διαφάνειας, πλήθους αλλά και σχήματος. Για την υφή του υποβάθρου χρησιμοποιήθηκε μία εικόνα-χάρτης υψηλής ανάλυσης με την κατάλληλη ευθυγράμμιση πάνω στο πλέγμα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου εδάφους.

Τέλος, έγινε η μεταφορά της σκηνής σε περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα kit ανάπτυξης με σκοπό την καλύτερη εμπειρία του χρήστη. Για τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας αυτής δημιουργήθηκαν χειρισμοί και εργαλεία επεξεργασίας και οπτικής της σκηνής. Τα εργαλεία αυτά δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα μεταβολής, περιστροφής αλλά και αλλαγής κλίμακας της σκηνής. Επίσης δίνεται η δυνατότητα απόκρυψης και εμφάνισης των επιθυμητών κατηγοριών νεφών μέσω των αντίστοιχων χειριστηρίων. Έτσι προέκυψε το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής οπτικοποίησης των νεφών μέσω επαυξημένης πραγματικότητας για τη βέλτιστη ανάγνωση και κατανόηση τους από τον χρήστη.

5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Για την αναβάθμιση της εμπειρίας χρήσης (UX) της εφαρμογής οι αλγόριθμοι που σχεδιάστηκαν έχουν τη δυνατότητα βελτίωσης τόσο από άποψη απόδοσης και ταχύτητας όσο και από άποψη οπτικοποίησης. Μία πιθανή μελλοντική επέκταση είναι η ογκομετρική απόδοση γραφικών για τα νέφη. Η τεχνική αυτή δίνει το πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα οπτικοποίησης για αντίστοιχα αντικείμενα. Για να επιτευχθεί αυτό είναι αναγκαία η βελτιστοποίηση της

απόδοσης καθώς είναι μία αρκετά επίπονη διεργασία για τη συσκευή. Η χρήση υπόβαθρου με μεγαλύτερη ανάλυση μπορεί να αποτελέσει μία σημαντική αναβάθμιση στην εφαρμογή για καλύτερη κατανόηση του χώρου ανάλυσης. Επίσης η αξιολόγηση και βελτίωση της διεπαφής από ειδικούς μετεωρολόγους του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών μαζί με την τοποθέτηση συμβολισμών για την κατανόηση αποστάσεων στο χώρο είναι αναγκαία για να μετατρέψει την εφαρμογή σε ένα σημαντικό εργαλείο χρήσης για τις προβλέψεις τους. Η μεταφορά της σκηνής σε VR μπορεί να βοηθήσει στη διαδικασία της εμπύθισης ενώ η εισαγωγή και οπτικοποίηση επιπλέον παραμέτρων, όπως ένταση ανέμων ή φαινόμενα (πχ. βροχή, χιονόπτωση, χαλάζι), θα βοηθήσει στις προβλέψεις ακραίων φαινομένων για τους μετεωρολόγους αλλά και στην Υπηρεσία Πολιτικής Προστασίας. Τέλος η εισαγωγή πολλαπλών αρχείων δεδομένων στην εφαρμογή για τη δημιουργία στιγμιοτύπων και animation θα βοηθούσε ιδιαίτερα στις εναλλαγές των φαινομένων και της κατανομής των νεφών στο χώρο και χρόνο ενώ η δημιουργία μεθόδου για την απόδοση του ενδιαμέσου πλέγματος μεταξύ δύο επιπέδων νεφών θα βελτιώσει επιπλέον το ρεαλισμό της οπτικοποίησης.

Βιβλιογραφία

- [1] R. Skarbez, N. F. Polys, J. T. Ogle, C. North, and D. A. Bowman, «Immersive analytics: Theory and research agenda», *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 6, pp. 1-3, 2019.
- [2] S. Sagioglu and D. Sinanc, «Big data: A review», in *2013 international conference on collaboration technologies and systems (CTS)*, IEEE, 2013, pp. 42-47.
- [3] K. W. Brodlie, L. A. Carpenter, R. A. Earnshaw, *et al.*, *Scientific visualization: techniques and applications*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [4] J. Carmigniani and B. Furht, «Augmented reality: An overview», *Handbook of augmented reality*, pp. 3-4, 2011.
- [5] D. Fritsch, M. Kada, *et al.*, «Visualisation using game engines», *Archiwum ISPRS*, vol. 35, B5, 2004.
- [6] D. Shreiner, B. T. K. O. A. W. Group, *et al.*, *OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL, versions 3.0 and 3.1*. Pearson Education, 2009.
- [7] J. Xie, «Research on key technologies base unity3d game engine», in *2012 7th international conference on computer science & education (ICCSE)*, IEEE, 2012, pp. 695-699.
- [8] A. Sanders, *An introduction to Unreal engine 4*. AK Peters/CRC Press, 2016.
- [9] G. C. Burdea and P. Coiffet, *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons, 2003.
- [10] M. Billinghurst, A. Clark, G. Lee, *et al.*, «A survey of augmented reality», *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, vol. 8, no. 2-3, pp. 73-272, 2015.
- [11] A. Henrysson, «Bringing augmented reality to mobile phones», Ph.D. dissertation, ACM, Linköping University, The Institute of Technology, 2007.
- [12] A. B. Craig, «Understanding augmented reality: Concepts and applications», 2013.
- [13] A. Gherghina, A.-C. Olteanu, and N. Tapus, «A marker-based augmented reality system for mobile devices», in *2013 11th RoEduNet International Conference*, IEEE, 2013, pp. 1-6.
- [14] D. Amin and S. Govilkar, «Comparative study of augmented reality SDKs», *International Journal on Computational Science & Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 11-26, 2015.
- [15] G. Reitmayr and T. W. Drummond, «Going out: Robust model-based tracking for outdoor augmented reality», in *2006 IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality*, IEEE, 2006, pp. 109-118.

-
- [16] U. Neumann and S. You, «Natural feature tracking for augmented reality», *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 1, no. 1, pp. 53–64, 1999. DOI: 10.1109/6046.748171.
- [17] D. Van Krevelen and R. Poelman, «A survey of augmented reality technologies, applications and limitations», *International journal of virtual reality*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2010.
- [18] R. L. Silva, P. S. Rodrigues, J. C. Oliveira, and G. Giraldo, «Augmented reality for scientific visualization: Bringing datasets inside the real world», *Journal, LNCC-National Laboratory for Scientific Computing, Petropolis, RJ, Brazil*, 2004.
- [19] W. Qi, «A vision-based augmented reality system for visualization interaction», in *Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05)*, IEEE, 2005, pp. 404–409.
- [20] O. Hugues, P. Fuchs, and O. Nannipieri, «New augmented reality taxonomy: Technologies and features of augmented environment», in *Handbook of augmented reality*, Springer, 2011, pp. 47–63.
- [21] V. P. Claus Brenner and N. Ripperda, «The geoscope—a mixed-reality system for planning and public participation», in *25th Urban data management symposium*, vol. 7, 2006.
- [22] D. W. Goldberg, J. P. Wilson, and C. A. Knoblock, «From text to geographic coordinates: The current state of geocoding», *URISA journal*, vol. 19, no. 1, pp. 33–46, 2007.
- [23] J. Neider, T. Davis, and M. Woo, *OpenGL programming guide*. Addison-Wesley Reading, MA, 1993, vol. 478.
- [24] F. Dunn and I. Parberry, *3D math primer for graphics and game development*. CRC Press, 2011.
- [25] T. Theoharis, G. Papaioannou, N. Platis, and N. M. Patrikalakis, *Graphics and visualization: principles & algorithms*. CrC Press, 2008.
- [26] H. Ro, J.-H. Byun, Y. J. Park, N. K. Lee, and T.-D. Han, «Ar pointer: Advanced ray-casting interface using laser pointer metaphor for object manipulation in 3d augmented reality environment», *Applied Sciences*, vol. 9, no. 15, pp. 1–8, 2019.
- [27] A. Appel, «Some techniques for shading machine renderings of solids», in *Proceedings of the April 30-May 2, 1968, spring joint computer conference*, 1968, pp. 37–45.
- [28] R. Shkarin, S. Shkarina, V. Weinhardt, *et al.*, «Gpu-accelerated ray-casting for 3d fiber orientation analysis», *Plos one*, vol. 15, no. 7, e0236420, 2020.
- [29] M. Botsch, M. Pauly, L. Kobbelt, *et al.*, «Geometric modeling based on polygonal meshes», 2007.
- [30] C.-K. Shene, «Introduction to computing with geometry notes», *Michigan Technological University*, 2003.
- [31] J. Kruger, P. Kipfer, P. Konclratieva, and R. Westermann, «A particle system for interactive visualization of 3d flows», *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, vol. 11, no. 6, pp. 744–756, 2005.
- [32] W. T. Reeves, «Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects», *ACM Transactions On Graphics (TOG)*, vol. 2, no. 2, pp. 91–108, 1983.

-
- [33] J. K. Haas, «A history of the unity game engine», *Interactive Qualifying Project, Diss. WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE*, vol. 483, p. 484, 2014.
- [34] Z. Oufqir, A. El Abderrahmani, and K. Satori, «Arkit and arcove in serve to augmented reality», in *2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, IEEE, 2020, pp. 1–7.
- [35] C. Xiao and Z. Lifeng, «Implementation of mobile augmented reality based on vuforia and rawajali», in *2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science*, IEEE, 2014, pp. 912–915.
- [36] P. Gwiazdowski, *Betterstreamingassets*,
<https://github.com/gwiazdorrr/BetterStreamingAssets>, 2017.