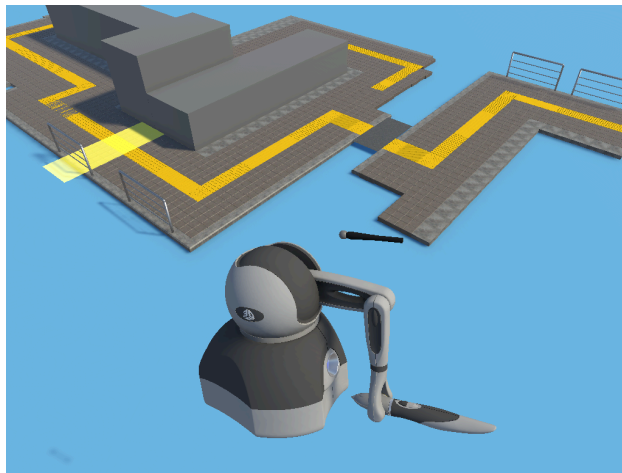


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάπτυξη Δεξιοτήτων Πλοήγησης και Κινητικότητας για Άτομα με
Προβλήματα Όρασης:
Αλληλεπίδραση με Τρισδιάστατες Υφές Απτικών Οδοστρωμάτων»



Του φοιτητή
Κυριαζίδη Ιορδάνη
Αρ. Μητρώου: 154479

Επιβλέπων
Κοκκώνης Γεώργιος
Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία 08/09/2025

Τίτλος Π.Ε. «Ανάπτυξη Δεξιοτήτων Πλοήγησης και Κινητικότητας για Άτομα
με Προβλήματα Ορασης:

Αλληλεπίδραση με Τρισδιάστατες Υφές Απτικών Οδοστρωμάτων»

Κωδικός Π.Ε. 24247

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Κυριαζίδης Ιορδάνης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Κοκκώνης Γεώργιος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 05/11/2024

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 08/09/2025

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

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

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

«Αφιερωμένο σε όσα άτομα μου συμπαραστάθηκαν στις σπουδές μου.»

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος της πτυχιακής εργασίας προέκυψε από το προσωπικό μου ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής που θα συνδυάζει τον χαρακτήρα παιχνιδιού μαζί την εκπαίδευση για την υποστήριξη ατόμων στον τομέα της προσβασιμότητας. Η ανάπτυξη της απαιτούσε εργαλεία με τα οποία είχα μία εξοικείωση από προηγούμενα μαθήματα της σχολής. Εργαλεία όπως το Blender, για την μοντελοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων, και το Unity για το στήσιμο του περιβάλλοντος και τη λειτουργικότητα της εφαρμογής. Μεγάλο ενδιαφέρον είχε και η αξιοποίηση της συσκευής απτικής ανατροφοδότησης, Touch Haptic Device, καθώς ήταν κάτι πρωτόγνωρο για μένα. Ακόμη ένας σημαντικός λόγος της επιλογής μου ήταν η ικανοποίηση που απορρέει από τη συνεισφοράς σε έναν κοινωνικό σκοπό και τη βοήθεια μιας ευάλωτης ομάδας.

Μέσα από την εκπόνηση της εργασίας απέκτησα πολύτιμες γνώσεις καθώς εμβάθυνα στις τεχνολογίες που προσφέρει το Blender και το Unity για την ανάπτυξη εφαρμογών και του στοιχείων που αυτές περιλαμβάνουν. Παράλληλα απέκτησα γνώσεις και ευαισθησία για το σχεδιασμό εφαρμογών με κύριο άξονα την προσβασιμότητα.

Η διαδικασία αυτή έχει ήδη συμβάλει στην επαγγελματική μου πορεία καθώς οδήγησε στην πρόσληψή μου για πρακτική άσκηση με αντικείμενο την πλατφόρμα του Unity. Επιπλέον με τη βοήθεια του κ. Κοκκώνη και του κ. Τζήμου πραγματοποιήθηκε και δημοσίευση της έρευνας σε επιστημονικό περιοδικό.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μιας εκπαιδευτικής εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας, η οποία αξιοποιεί τρισδιάστατα μοντέλα που σχεδιάστηκαν στο Blender και υλοποιήθηκε στην πλατφόρμα Unity σε συνδυασμό με απτική τεχνολογία της 3D Systems. Κεντρικός στόχος της εφαρμογής είναι η προσομοίωση και αναγνώριση απτικών πλακιδίων καθοδήγησης, με σκοπό την υποστήριξη ατόμων με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση και ενίσχυση δεξιοτήτων προσανατολισμού και κινητικότητας.

Για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε το Touch Haptic Device, το οποίο επιτρέπει την απόδοση διαφορετικών υφών και γεωμετρίας μέσω της αίσθησης της αφής. Με αυτόν τον τρόπο, οι συμμετέχοντες είχαν τη δυνατότητα να εξασκηθούν σε σενάρια πλοήγησης χωρίς την ύπαρξη φυσικών κινδύνων, σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο πλαίσιο.

Η διαδικασία ανάπτυξης περιλάμβανε τον σχεδιασμό τρισδιάστατων αντικειμένων, τη σύνθεση περιβαλλόντων στο Unity και τη δημιουργία διαδραστικών σεναρίων, τα οποία βασίστηκαν στις οδηγίες του Φ.Ε.Κ. για τον οδηγό όδευσης τυφλών. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πειραματική αξιολόγηση με άτομα διαφορετικών προφίλ όρασης, ώστε να καταγραφεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χρήστες με οπτική αναπηρία ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν και να διακρίνουν τα απτικά μοτίβα με επιτυχία. Επιπλέον, μέσω των ερωτηματολογίων, καταγράφηκε υψηλή ικανοποίηση σε όρους χρηστικότητας, καινοτομίας και εκπαιδευτικής αξίας της εφαρμογής.

Συνολικά, η εργασία αποδεικνύει ότι η συνδυασμένη χρήση Εικονικής Πραγματικότητας και απτικής ανάδρασης μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο εκπαίδευσης και ενδυνάμωσης για άτομα με προβλήματα όρασης, προσφέροντας νέες τεχνολογίες για την προσβασιμότητα και την ομαλή ένταξή τους στο κοινωνικό σύνολο.

«Development of Navigation and Mobility Skills for People with Visual Impairments: Interaction with Three-Dimensional Tactile Paving Textures.»

Kyriazidis Iordanis

Abstract

This thesis's main focus is the development of an educational Virtual Reality (VR) application, which utilizes three-dimensional models created in Blender and implemented in the Unity platform, in combination with the haptic technology of 3D Systems. The main objective of the application is the simulation and recognition of tactile guiding tiles, aiming to support visually impaired individuals in training and strengthening orientation and mobility skills.

For user interaction with the virtual environment, the Touch Haptic Device was employed, enabling the rendering of different textures and geometries through the sense of touch. In this way, participants were able to practice navigation scenarios without physical risks, within a safe and controlled framework.

The development process included the design of 3D objects, the composition of environments in Unity, and the creation of interactive scenarios based on the official national guidelines for tactile paving for the visually impaired. Subsequently, an experimental evaluation was conducted with participants of varying vision profiles in order to assess the effectiveness of the application.

The results showed that visually impaired users were able to successfully recognize and distinguish the tactile patterns. In addition, the questionnaires recorded high satisfaction levels in terms of usability, innovation, and educational value of the application.

Overall, the study demonstrates that the combined use of Virtual Reality and haptic feedback can serve as a powerful tool for the training and empowerment of individuals with visual impairments, offering new technologies for accessibility and their smooth integration into society.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κοκκώνη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας, καθώς και για τη διάθεση και την υποστήριξή του κατά την εκπόνησή της. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε στον "Σύλλογο Τυφλών - Ατόμων με Προβλήματα Όρασης Δυτικής Μακεδονίας" και τον "Πανελλήνιο Σύνδεσμο Τυφλών Κεντρικής Μακεδονίας" για τον καθοριστικό ρόλο που διαδραμάτισαν στην έρευνα μας. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Τζήμο Νικόλαο για το ενδιαφέρον του και την άψογη συνεργασία μας στο πείραμα και τη συγγραφή της δημοσίευσης. Τέλος, νιώθω μεγάλη ευγνωμοσύνη προς όλα τα άτομα που, με την κατανόηση και τη συνδρομή τους, συνέλαβαν είτε έμμεσα είτε άμεσα στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
Περίληψη	6
Abstract	7
Ευχαριστίες	8
Περιεχόμενα	9
Κατάλογος Σχημάτων	12
Κατάλογος Πινάκων	14
Συνομογραφίες	15
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	1
1.1 Απτικές Διεπαφές	1
1.2 Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)	1
1.3 Οπτικές αναπηρίες	2
1.3.1 Επιπτώσεις οπτικών αναπηριών	2
1.4 Τεχνολογικές Λύσεις	3
1.5 Δημοσίευση Άρθρου	5
Κεφάλαιο 2ο: Συναφείς Έρευνες στις Απτικές Τεχνολογίες για Οπτικές Αναπηρίες	6
2.1 Εισαγωγή	6
2.2 Σχετικές Έρευνες	6
2.3 Περιορισμοί και Προτεινόμενη Προσέγγιση	8
Κεφάλαιο 3ο: Γνωριμία με το Blender	9
3.1 Εισαγωγή	9
3.2 Blender	9
3.3 Λειτουργία του Blender	10
3.3.1 Object Mode	10
3.3.2 Edit Mode	10
Κεφάλαιο 4ο: Γνωριμία με το Unity	12
4.1 Εισαγωγή	12
4.2 Unity Hub	12
4.3 Unity Editor	12
4.3.1 Διεπαφή Χρήστη Unity	13
4.3.2 Hierarchy Window	13
4.3.3 Scene View	14
4.3.4 Game View	15
4.3.5 Inspector Window και Components	16
4.3.6 Project	18
4.3.7 Console	19
4.3.8 UI Builder	19
4.3.9 Profiler	20
4.3.10 Package Manager	21
4.4 Asset Store	22

4.5 Prefabs	22
4.6 Raycast	23
4.7 MonoBehaviour και Unity Script Lifecycle	24
Κεφάλαιο 5ο: Γνωριμία με το Touch Haptic Device	25
5.1 Εισαγωγή	25
5.2 Touch Haptic Hardware	25
5.3 Touch Haptic Software	26
5.3.1 Haptics Direct for Unity V1	27
5.3.2 Haptic Actor	28
5.3.3 Haptic Scripts	29
5.3.3.1 Ρυθμίσεις Haptic Collider	32
5.3.3.2 Ρυθμίσεις Haptic Material	33
Κεφάλαιο 6ο: Διαδικασία Ανάπτυξης Εφαρμογής	34
6.1 Εισαγωγή	34
6.2 Η Αρχική Ιδέα και η Εξέλιξή της	34
6.2.1 Κίνηση, ορατότητα, ακοή, χειρισμός	34
6.2.2 Μετρικές αξιολόγησης	36
6.3 Οδηγίες του Φ.Ε.Κ.	36
6.4 Σχεδιασμός και μοντελοποίηση στο Blender	39
6.5 Σύθεση στο Unity	43
6.5.1 Το Modular First Person Controller και οι αλλαγές του	44
6.5.2 Τροποποιήσεις στο Haptic Plugin Script	50
6.5.2.1 Αλλαγές στο Component του Haptic Script	51
6.5.2.2 Νέος Ρόλος του Haptic Script	51
6.5.3 Αλλαγή στο Haptic Material Script	54
6.5.4 Stylus to Camera Script	55
6.5.5 Tile Timer Script	56
6.5.6 Check Finish Script	56
6.5.7 Dark Mode Script	57
6.5.8 Main, Second και Tutorial Menu Scripts	57
6.5.9 Tutorial Script	58
6.5.10 Game 1 Script	59
6.5.11 Game 2 Script	59
6.5.12 Global Settings Script	59
6.5.13 Stylus Settings Script	60
6.6 Στοιχεία του UI	61
6.6.1 Main Menu	61
6.6.2 Tutorial και Second Menu	62
6.6.3 Διεπαφή Ρυθμίσεων	62
6.6.4 Dark Mode	64
6.7 Τα Σενάρια της Εφαρμογής	64
6.7.1 Tutorial	65
6.7.2 Game 1	66
6.7.3 Game 2	67

6.7.4 Game 3	68
6.8 Η Τελική Ιεραρχία	70
Κεφάλαιο 7ο: Το Πείραμα και οι Συμμετέχοντες	72
7.1 Εισαγωγή	72
7.2 Αισθητηριακές διαφοροποιήσεις	72
7.3 Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων	72
7.4 Συνθήκες και πορεία του πειράματος	73
Κεφάλαιο 8ο: Αποτελέσματα και Αξιολόγηση Πειράματος	76
8.1 Εισαγωγή	76
8.2 Αποτελέσματα Πειράματος	76
8.3 Σύγκριση Σεναρίων	79
8.4 Αξιολόγηση Επίδοσης Χρηστών	80
8.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων του Ερωτηματολογίου Αξιολόγησης	81
8.6 Συμπεράσματα της αξιολόγησης και προτάσεις από τους χρήστες.	83
Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης	85
9.1 Συμπεράσματα	85
9.2 Προτάσεις Βελτίωσης.	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ USE	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ UEQ	94

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3.1: Blender Αρχική Οθόνη.....	9
Σχήμα 3.2.: Object Mode.....	10
Σχήμα 3.3: Edit Mode.....	11
Σχήμα 4.1: Unity Hub Projects.....	12
Σχήμα 4.2: Unity GUI.....	13
Σχήμα 4.3: Hierarchy Window.....	14
Σχήμα 4.4: Scene View.....	15
Σχήμα 4.5: Game View.....	16
Σχήμα 4.6: Simulator View (Apple iPad Mini 4).....	16
Σχήμα 4.7: Inspector μαζί με τα Components Transform, Mesh Filter, Mesh Renderer & Collider....	18
Σχήμα 4.8: Project Window με ανοιχτό τον φάκελο αρχείων Materials.....	19
Σχήμα 4.9: Console Window με μηνύματα.....	19
Σχήμα 4.10: Στιγμιότυπο από ένα μενού στο UI Builder.....	20
Σχήμα 4.11: Στιγμιότυπο του Profiler σε πραγματικό χρόνο.....	21
Σχήμα 4.12: My Assets στο Package Manager.....	22
Σχήμα 4.13: Αρχική σελίδα https://assetstore.unity.com/	22
Σχήμα 4.14: Η αναπαράσταση της ακτίνας ως κόκκινη γραμμή στο Scene View.....	23
Σχήμα 4.15: Το Lifecycle ενός κώδικα στο Unity.....	24
Σχήμα 5.1: Touch Haptic DoF.....	25
Σχήμα 5.2: Haptics Direct Plugin AssetStore website.....	27
Σχήμα 5.3: Στιγμιότυπο από Feature Scene.....	28
Σχήμα 5.4: Component του Haptic Plugin στο Haptic Actor.....	29
Σχήμα 5.5: Συνάρτηση FixedUpdate στο HapticPlugin.cs για την παρακολούθηση αλλαγών.....	30
Σχήμα 5.6: Components με Haptic Material για αντικείμενο που αλληλεπιδρά με τη συσκευή.....	31
Σχήμα 5.7: Haptic Collider Script και Components για τη δημιουργία του Haptic Collider.....	32
Σχήμα 6.1: Πλακίδια Οδηγού Τυφλών.....	38
Σχήμα 6.2: Γεωμετρία Πλακιδίου Τύπου A.....	39
Σχήμα 6.3: Γεωμετρία Πλακιδίου Τύπου Δ.....	40
Σχήμα 6.4: Αρχικός κύβος (αριστερά) βάση πλακιδίων (δεξιά).....	40
Σχήμα 6.5: Γεωμετρία Πλακιδίου Τύπου B.....	41
Σχήμα 6.6: Μοντέλο Κρασπέδου.....	41
Σχήμα 6.7: Blender πλακίδιο τύπου A μέτρηση (α).....	42
Σχήμα 6.8: Blender πλακίδιο τύπου A μέτρηση (β).....	42
Σχήμα 6.9: ΦΕΚ πλακίδιο τύπου A - Κατεύθυνση 40x40.....	43
Σχήμα 6.10: Παράδειγμα Components του Prefab του πλακιδίου Τύπου B 30x30.....	44
Σχήμα 6.11: Αρχικό Modular First Person Controller Prefab στο Hierarchy.....	46
Σχήμα 6.12: Αρχικό Modular First Person Controller στο Inspector (α).....	46
Σχήμα 6.13: Αρχικό Modular First Person Controller στο Inspector (β).....	47
Σχήμα 6.14: Αρχικό Modular First Person Controller στο Inspector (γ).....	47
Σχήμα 6.15: Απόσπασμα κώδικα για την κίνηση στο MFPC.....	48
Σχήμα 6.16: Τροποποιημένο Modular First Person Controller.....	49
Σχήμα 6.17: Απόσπασμα κώδικα Modular First Person Controller.....	50

Σχήμα 6.18: Αριστερά το αρχικό component, δεξιά το νέο.....	51
Σχήμα 6.19: Απόσπασμα κώδικα Haptic Script.....	52
Σχήμα 6.20: Η συνάρτηση initialPositionY().....	53
Σχήμα 6.21: Haptic Script Component Freeze Translation.....	53
Σχήμα 6.22: Τα ifs με τα αντίστοιχα flags.....	54
Σχήμα 6.23: Το προβληματικό κομμάτι κώδικα στο Haptic Plugin.....	54
Σχήμα 6.24: Ο προβληματικός κώδικας στο Haptic Material.....	55
Σχήμα 6.25: Stylus To Camera.....	55
Σχήμα 6.26: Απόσπασμα Stylus To Camera.....	56
Σχήμα 6.27: Απόσπασμα Tile Timer	56
Σχήμα 6.28: Απόσπασμα Finish Script.....	57
Σχήμα 6.29: Απόσπασμα Dark Mode Script.....	57
Σχήμα 6.30: Απόσπασμα Main Menu Script. Ανοίγει τη σκηνή του αντίστοιχου κουμπιού.....	58
Σχήμα 6.31: Απόσπασμα Tutorial Script. Έλεγχος βημάτων εκπαίδευσης.....	58
Σχήμα 6.32: Απόσπασμα Game 1 Script. Η τοποθέτηση των πλακιδίων σε νέα τυχαία σειρά.....	59
Σχήμα 6.33: Απόσπασμα Stylus Settings Script. Τα 3 switch για την εφαρμογή των presets.....	60
Σχήμα 6.34: Το κύριο μενού στην εκκίνηση της εφαρμογής.....	61
Σχήμα 6.35: Τα αποτελέσματα στον τερματισμό της εφαρμογής.....	61
Σχήμα 6.36: Το μενού του Tutorial.....	62
Σχήμα 6.37: Η γενική μορφή της διεπαφής ρυθμίσεων.....	62
Σχήμα 6.38: Haptic Collider Properties.....	63
Σχήμα 6.39: Haptic Material Properties.....	63
Σχήμα 6.40: Tile Presets.....	63
Σχήμα 6.41: Collider Presets.....	64
Σχήμα 6.42: Dark Mode UI.....	64
Σχήμα 6.43: Οι πλατφόρμες πλακιδίων στο Tutorial.....	66
Σχήμα 6.44: Η πλατφόρμα και τα ειδικά πλακίδια στο πρώτο σενάριο.....	67
Σχήμα 6.45: Το πρώτο σενάριο από την προοπτική του παίκτη.....	67
Σχήμα 6.46: Η πλατφόρμα στο δεύτερο σενάριο.....	68
Σχήμα 6.47: Το δεύτερο σενάριο από την προοπτική του παίκτη.....	68
Σχήμα 6.48: Η πλατφόρμα στο τρίτο σενάριο.....	69
Σχήμα 6.49: Το τρίτο σενάριο από την προοπτική του παίκτη.....	69
Σχήμα 6.50: Αριστερά το Hierarchy από ένα demo του plugin, δεξιά το τελικό από μία σκηνή.....	70
Σχήμα 7.1: Η συσκευή Touch και η οθόνη υπολογιστή.....	74

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 6.1: Τύποι Πλακιδίων Οδηγού Τυφλών.....	37
Πίνακας 6.2: Haptic Material Presets.....	65
Πίνακας 6.3: Collider Presets.....	66
Πίνακας 7.1: Κατανομή Ηλικιών Συμμετεχόντων.....	72
Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα των Τριών Πειραμάτων.....	78
Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα του Mann-Whitney U test.....	79
Πίνακας 8.3: Αξιολόγηση Χρήσης.....	82
Πίνακας 8.4: UEQ - Ερωτηματολόγιο Εμπειρίας Χρήστη.....	82

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΠΙΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
V.R.	Virtual Reality
G.P.S.	Global Positioning System
R.F.I.D.	Radio-Frequency Identification
U.W.B.	Ultra-Wideband
S.E.V.N.	Sidewalk Environment for Visual Navigation
W.L.A.N.	Wireless Local Area Network
C.N.N.	Convolutional Neural Network
R.L.	Reinforcement Learning
B.E.V.	Built Environment Vertices
G.N.N.	Graph Neural Network
T.S.M.	Tactile Sensor Module
Φ.Ε.Κ.	Φύλλα Εφημερίδας της Κυβέρνησης
3D	3-Dimensional
2D	2-Dimensional
A.R.	Augmented Reality
G.U.I.	Graphical User Interface
U.I.	User Interface
U.X.M.L.	Unity Extensible Markup Language
U.S.S.	Unity Style Sheets
C.S.S.	Cascading Style Sheets
G.P.U.	Graphics Processing Unit
C.P.U.	Central Processing Unit
D.O.F.	Degrees Of Freedom
D.P.I.	Dots Per Inch
A.P.I.	Application Programming Interface
M.F.P.C.	Modular First Person Controller
U.S.E.	Usefulness, Satisfaction, Ease of Use

U.E.Q.	User Experience Questionnaire
S.P.S.S.	Statistical Package for the Social Sciences
ET AL.	Και Άλλοι
S.D.K.	Software Development Kit

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Απτικές Διεπαφές

Ο όρος “απτικές διεπαφές” αναφέρεται στο πεδίο της επιστήμης και τεχνολογίας μετάδοσης και κατανόησης πληροφοριών μέσω της απτικής αίσθησης. Η λέξη “απτικός” προέρχεται από το αρχαιοελληνικό ρήμα “ἄπτομαι” που σημαίνει “αγγίζω” αφορά κάθε τι που βασίζεται στην αίσθηση αφής του ανθρώπου.

Τα απτικά συστήματα σε αντίθεση με τις παραδοσιακές διεπαφές που βασίζονται στα οπτικά και ηχητικά ερεθίσματα, αλληλεπιδρούν άμεσα και με φυσικό τρόπο με τον άνθρωπο μέσω της αφής. Αυτά χρησιμοποιούν συνήθως ενεργοποιητές για την εφαρμογή δυνάμεων, κινήσεων και δονήσεων στον χρήστη προσομοιώνοντας έτσι φυσικές ενέργειες με εικονικά ή απομακρυσμένα πραγματικά περιβάλλοντα.

Ακόμη μια διαφορά με τα συμβατικές διεπαφές ανθρώπου-υπολογιστή είναι η αμφίδρομη σχέση που παρέχουν οι απτικές λειτουργίες [1]. Ο υπολογιστής δεν στέλνει μόνο σήματα προς τον άνθρωπο αλλά άμεσα τροφοδοτείται με την αντίδραση του ανθρώπου προς αυτά τα σήματα. Ένα παράδειγμα αποτελεί μία χειρουργική ρομποτική πλατφόρμα με απτική ανάδραση και ο χειρουργός που τη χρησιμοποιεί. Ο χειρουργός κάθεται σε μια κονσόλα και χειρίζεται ρομποτικούς βραχίονες που εκτελούν τις κινήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσα στο σώμα του ασθενή. Όταν το σύστημα είναι εξοπλισμένο με απτική ανάδραση, οι δυνάμεις που ασκούνται από τους ιστούς (π.χ. η αντίσταση ενός οργάνου ή η πίεση ενός εργαλείου) μεταφέρονται στον χειριστή μέσω των εργαλείων ελέγχου.

Ο χειρουργός δίνει εντολές στο σύστημα μέσω κινήσεων των χεριών του, π.χ. μετακινώντας ή πιέζοντας χειριστήρια. Το σύστημα “καταλαβαίνει” αυτές τις κινήσεις και τις μεταφράζει σε ενέργειες των ρομποτικών βραχιόνων. Ενώ παράλληλα, με αισθητήρες δύναμης, ανιχνεύει την πίεση ή την αντίσταση που αντιμετωπίζουν τα εργαλεία στον ασθενή και μεταφέρει αυτήν την πληροφορία πίσω στον χειρουργό με απτική μορφή (π.χ. μέσω δόνησης ή δύναμης που νιώθει στα χέρια του). Έτσι, ο χειρουργός μπορεί να “αισθανθεί” τι συμβαίνει στο σώμα του ασθενή, ακόμα κι αν δεν τον αγγίζει άμεσα.

1.2 Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)

Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality – VR) αποτελεί μια τεχνολογία που επιτρέπει την πραγματικού χρόνου επικοινωνία ανθρώπου - υπολογιστή μέσω δημιουργίας και αλληλεπίδρασης με υπολογιστικά παραγόμενα, τρισδιάστατα περιβάλλοντα, στα οποία ο χρήστης μπορεί να “βυθιστεί” μέσω του κατάλληλου εξοπλισμού απεικόνισης και αισθητήρων κίνησης. Σύμφωνα με τους Burdea, G. C., & Coiffet, P. οι τρεις πυλώνες του VR (The Three I’s of VR) είναι η διαδραστικότητα (interactivity), εμβυθιστικότητα (immersiveness) και η φαντασία (imagination) του ανθρώπου να αντιληφθεί τα εικονικά στοιχεία και να αφομοιώσει την εμπειρία [2]. Η βασική επιδίωξη της VR είναι η παροχή μιας αίσθησης παρουσίας, δηλαδή η αντίληψη ότι ο χρήστης βρίσκεται πραγματικά μέσα στο εικονικό περιβάλλον [3].

Οι VR εφαρμογές έχουν επεκταθεί πέρα από τον τομέα της ψυχαγωγίας, εισερχόμενες δυναμικά στην εκπαίδευση, την ιατρική, τη βιομηχανία και την έρευνα, προσφέροντας ασφαλή και ελεγχόμενα περιβάλλοντα για πειραματισμό, εκπαίδευση και ανάπτυξη δεξιοτήτων. Χάρη στην πρόοδο του υλικού (hardware) και του λογισμικού (software), τα συστήματα VR είναι πλέον πιο προσιτά, με

βελτιωμένη απεικόνιση, ταχύτερη απόκριση και δυνατότητα πολυαισθητηριακής ανατροφοδότησης [4].

Η πολυαισθητηριακή ανατροφοδότηση, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει οπτικά, ακουστικά και απτικά ερεθίσματα, παίζει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της αίσθησης παρουσίας και στην αύξηση της αλληλεπίδρασης του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον. Η τάση αυτή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη εφαρμογών που αξιοποιούν πλήρως τις δυνατότητες της VR για την προσομοίωση καταστάσεων και την εμπλοκή του χρήστη σε εμπειρίες που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να πραγματοποιηθούν στον πραγματικό κόσμο όπως εμπόδια που παρουσιάζονται από αναπηρίες.

1.3 Οπτικές αναπηρίες

Οι οπτικές αναπηρίες αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές αναπηρίας παγκοσμίως και περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων που επηρεάζουν την ικανότητα όρασης ενός ατόμου. Ο όρος καλύπτει τόσο την μερική όσο και την ολική τύφλωση, με διαφορετικό βαθμό επιπτώσεων στην καθημερινή λειτουργικότητα και αυτονομία του ατόμου. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), περισσότεροι από 2,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως έχουν κάποια μορφή διαταραχής της όρασης, εκ των οποίων τουλάχιστον 1 δισεκατομμύριο περιπτώσεις θα μπορούσαν να είχαν προληφθεί ή να αντιμετωπιστούν. Ενώ οι αναπηρίες αυτές επηρεάζουν τουλάχιστον δύο στα οκτώ άτομα παγκοσμίως, τις τελευταίες δύο δεκαετίες ο πληθυσμός αυτός αυξάνεται [5]. Σε μία έρευνα το 2017 διαπιστώθηκε ότι αν και τα ποσοστά τύφλωσης μειώθηκαν, από 0.75% (1990) στα 0.48% (2015), ο απόλυτος αριθμός των τυφλών ατόμων, αυξήθηκε κατά 17.9%. Από 30.6 εκατομμύρια το 1990 έφτασε στα 36 εκατομμύρια στο ίδιο χρονικό διάστημα. Οι προβλέψεις για το μέλλον δείχνουν στην αύξηση των ατόμων που επηρεάζονται από οπτικές αναπηρίες στα 115 εκατομμύρια μέχρι το 2050. Η αύξηση του προσδόκιμου ζωής και του πληθυσμού καθώς και τα ποσοστά διαβήτη, οι κακές περιβαλλοντικές συνθήκες και η έλλειψη υγειονομικής περίθαλψης είναι παράγοντες που οδηγούν στο άλμα των παραπάνω ποσοστών [6]. Τα προβλήματα όρασης εκδηλώνονται με διάφορες μορφές και βαθμούς σοβαρότητας. Τα συχνότερα είναι ο καταρράκτης και τα διαθλαστικά σφάλματα όπως μυωπία, πρεσβυωπία και ο αστιγματισμός ενώ η σοβαρότερη κατάσταση είναι η ολική απώλεια όρασης.

1.3.1 Επιπτώσεις οπτικών αναπηριών

Οι οπτικές αναπηρίες δεν επηρεάζουν μόνο τη φυσική αντίληψη του περιβάλλοντος αλλά έχουν και σημαντικές κοινωνικές, ψυχολογικές και εκπαιδευτικές συνέπειες. Καθώς η όραση είναι ίσως η σημαντικότερη από τις αισθήσεις του ατόμου, είναι στενά συνδεδεμένη με την καθημερινή ζωή, την κοινωνία και το δημόσιο χώρο. Οι υποδομές τόσο υλικές αλλά και πνευματικές σχεδιάζονται με κριτήριο την πλειοψηφία του κόσμου, ο οποίος δεν έχει κάποιο πρόβλημα με την όρασή του. Αυτό δημιουργεί εμπόδια στην κοινωνική ένταξη και στην εκτέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων στα άτομα με αναπηρία. Έτσι προκύπτουν τόσο ψυχολογικά όσο και πρακτικά θέματα στην ζωή τους. Τα κύρια αυτά θέματα αφορούν την ανεξαρτησία (καθημερινές δραστηριότητες, κινητικότητα, χρήση ΜΜΜ), την αυτοπεποίθηση (μειωμένη εμπιστοσύνη στις ικανότητές τους), συναισθηματικός αντίκτυπος (συμμετοχή στο κοινωνικό σύνολο, απομόνωση, προκαταλήψεις). Η σύγχρονη τεχνολογία ωστόσο, και ιδιαίτερα τα βοηθητικά συστήματα όπως τα απτικά συστήματα, οι οθόνες Braille, και οι εφαρμογές με προσβασιμότητα, έχει συμβάλλει καθοριστικά στην ενίσχυση της ένταξης και της ανεξαρτησίας των ατόμων με προβλήματα όρασης.

Τα αυξημένα ποσοστά κατάθλιψης και η μειωμένη παραγωγικότητα των ανθρώπων με οπτική αναπηρία είναι γεγονός. Παράλληλα το οικονομικό κόστος για μια κοινωνία επιβαρύνεται, κυρίως για τους ηλικιωμένους, για την μακροχρόνια φροντίδα τους [7]. Η πλειοψηφία της βιβλιογραφίας επικεντρώνεται στους ηλικιωμένους και τον ψυχολογικό αντίκτυπο σε αυτούς αλλά έρευνες όπως των Tore Bonsaksen κ.ά. σημειώνει ότι νεαρές ηλικίες επιβαρύνονται και αυτές σε πολύ μεγάλο ποσοστό καθώς υπάρχει η κοινωνική απαίτηση αυτά τα άτομα να είναι παραγωγικά. Τα προβλήματα στην όραση προκαλούν περισσότερες αναστατώσεις στις νεότερες ηλικιακές ομάδες από ότι στους ηλικιωμένους. Επιπλέον τα ευρήματα δείχνουν ότι σχετικές αναπηρίες βρίσκονται κυρίως σε ότι αφορά τα ανώτερα επίπεδα ποιότητας ζωής. Δηλαδή η απώλεια όρασης εμποδίζει τα άτομα να φτάσουν τα υψηλότερα επίπεδα της αντιληπτής ιδανικής ποιότητας ζωής. Ωστόσο δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι στα χαμηλότερα επίπεδα ποιότητας βρίσκονται αναλογικά περισσότερα άτομα με οπτική αναπηρία [8]. Ο βαθμός στον οποίο αυτές οι επιπτώσεις είναι αντιληπτές εξαρτάται από το κατά πόσο μια κοινωνία έχει διαμορφώσει τις κατάλληλες προϋποθέσεις και υποδομές για να μπορούν τα άτομα με προβλήματα όρασης να ζουν με ενεργό κοινωνική συμμετοχή, ουσιαστικότητα και πληρότητα όπου η αναπηρία τους δεν είναι τροχοπέδη.

Η ποιότητα ζωής μπορεί να ενισχυθεί μέσα από διάφορους παράγοντες, όπως η δυνατότητα ενός ατόμου να ζει με αυτονομία, να συμμετέχει ενεργά στην κοινωνική ζωή και να αισθάνεται ικανοποίηση από την καθημερινότητά του και την εργασία του. Μια έρευνα που διεξήχθη στην Ταϊβάν [9] εστιάζει στις συνέπειες της απώλειας όρασης όσον αφορά την κοινωνική ένταξη, προτείνοντας την ανάγκη για στρατηγικές παρέμβασης που θα ενισχύσουν την κοινωνική αποδοχή και την ευημερία των ατόμων με οπτική αναπηρία. Τα ευρήματα της μελέτης τονίζουν τη σημασία της χάραξης κοινωνικών και εργασιακών πολιτικών που όχι μόνο θα διευκολύνουν την πρόσβαση στην αγορά εργασίας, αλλά και θα στηρίζουν την ανεξάρτητη και αξιοπρεπή διαβίωση των ατόμων με προβλήματα όρασης.

1.4 Τεχνολογικές Λύσεις

Αυτή η μελέτη εξετάζει πώς αναγνωρίζονται και χρησιμοποιούνται οι ανάγλυφες επιφάνειες (απτικό οδόστρωμα) σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας, με στόχο την αντιμετώπιση προβλημάτων κινητικότητας και προσανατολισμού που αντιμετωπίζουν άτομα με προβλήματα όρασης σε αστικά περιβάλλοντα. Τα κύρια ζητήματα που εντοπίζονται περιλαμβάνουν:

- Την πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους (ασφαλής μετακίνηση, αποφυγή κινδύνων από την κυκλοφορία, δυνατότητα μετακίνησης χωρίς συνοδεία)
- Τη χρήση των δημόσιων συγκοινωνιών (δυσκολίες προσανατολισμού στους σταθμούς και πρόσβασης σε οχήματα)
- Την ακολουθία διαδρομών με αισθητηριακή καθοδήγηση (χρήση ανάγλυφων δαπέδων και άλλων τεχνολογιών καθοδήγησης, όπως GPS και συσκευές πλοήγησης)
- Την πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους (δυσκολία πλοήγησης σε κλειστά περιβάλλοντα και ανάγκη για συστήματα ηχητικής καθοδήγησης)

Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί προηγμένα συστήματα για τον εντοπισμό θέσης αντικειμένων, τα οποία συνδυάζουν τεχνολογίες όπως ραδιοσυχνότητες, αισθητήρες και μεθόδους οπτικής

αναγνώρισης. Σε αυτά περιλαμβάνονται εργαλεία όπως το GPS, RFID, τα κυψελοειδή δίκτυα, το UWB, το WLAN και το Bluetooth. Οι Hui Liu και οι συνεργάτες του [10], σε αξιολόγησή τους, υπογραμμίζουν την ανάγκη ανάπτυξης νέων υβριδικών αλγορίθμων εντοπισμού, που να συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των υφιστάμενων τεχνολογιών.

Ταυτόχρονα, πολλές μεγάλες πόλεις έχουν υιοθετήσει την προσέγγιση του προσβάσιμου τουρισμού, η οποία προάγει την ιδέα ότι το περιβάλλον πρέπει να είναι σχεδιασμένο ώστε να εξυπηρετεί ανθρώπους με διαφορετικές ικανότητες [11]. Αυτό το ενταξιακό μοντέλο ενθαρρύνει τα άτομα με αναπηρίες να ταξιδεύουν με ασφάλεια και αυτοπεποίθηση, χωρίς να αισθάνονται αποκλεισμό ή ανασφάλεια. Ένα βασικό στοιχείο που διευκολύνει την ασφαλή μετακίνηση των ατόμων με προβλήματα όρασης είναι οι ανάγλυφες ενδείξεις στο έδαφος, οι οποίες εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στην Οκαγιάμα της Ιαπωνίας το 1967.

Αυτά τα απτικά στοιχεία είναι συνήθως ανάγλυφες τετράγωνες πλάκες που επιτελούν διάφορες λειτουργίες, όπως η καθοδήγηση κατεύθυνσης, η ένδειξη αλλαγών πορείας, η επισήμανση επικίνδυνων περιοχών ή η σήμανση βασικών σημείων εξυπηρέτησης [11,12]. Αρχιτεκτονικά, κατασκευάζονται από ανθεκτικά υλικά όπως ανοξείδωτο ατσάλι, γρανίτη ή σκληρό καουτσούκ, και συχνά έχουν χρώματα υψηλής αντίθεσης—όπως κόκκινο ή κίτρινο—ώστε να είναι ευδιάκριτα και αναγνωρίσιμα μέσω της αφής. Η αποδοτικότητα αυτών των πλακών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον προσεκτικό σχεδιασμό και την τοποθέτησή τους στον αστικό χώρο. Ωστόσο, παρά τα οφέλη που προσφέρουν στα άτομα με προβλήματα όρασης, μπορεί να δημιουργήσουν εμπόδια για άλλες ομάδες, όπως χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων ή ηλικιωμένους [11].

Η μετακίνηση και ο προσανατολισμός σε αστικά περιβάλλοντα εξακολουθούν να αποτελούν σοβαρή πρόκληση για τα άτομα με προβλήματα όρασης. Παρ' όλα αυτά, με την κατάλληλη υποστήριξη, εξειδικευμένη εκπαίδευση και αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών, υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες ενίσχυσης της αυτονομίας και της αυτοπεποίθησής τους. Η εκπαίδευση στον Προσανατολισμό και την Κινητικότητα είναι καθοριστικής σημασίας για την αυτόνομη μετακίνηση σε κάθε είδους περιβάλλον, είτε είναι γνώριμο είτε άγνωστο [7, 13].

Τα άτομα με προβλήματα όρασης εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν σημαντικά εμπόδια όταν προσπαθούν να κινηθούν μέσα σε αστικά περιβάλλοντα. Αν και βοηθήματα όπως τα ειδικά μπαστούνια, οι σκύλοι-οδηγοί και οι τεχνολογικές συσκευές υποβοήθησης συμβάλλουν στην ενίσχυση της αυτονομίας τους [14], κάθε μία από αυτές τις λύσεις - καθώς και η εκπαίδευση στον Προσανατολισμό και την Κινητικότητα - παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Η αποτελεσματικότητα των μέσων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ατομικές προτιμήσεις, το είδος της αναπηρίας και τις χρησιμοποιούμενες στρατηγικές πλοήγησης. Γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη πιο σταθερών και καθολικά αποδοτικών εργαλείων μετακίνησης [15].

Ένα σημαντικό πρόβλημα που εντοπίζεται είναι οι κίνδυνοι που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν οι χρήστες—ειδικά κατά την αρχική φάση της εκπαίδευσης—όπως πτώσεις, τραυματισμοί ή συγκρούσεις με άτομα και αντικείμενα [7]. Μελέτη που περιλάμβανε φοιτητές με προβλήματα όρασης κατέγραψε προκλήσεις όπως η δυσκολία στην αντίχενυση εμποδίων κατά τη διάρκεια της κίνησης, η αυξημένη πιθανότητα ατυχημάτων και οι περιορισμένες αντιδράσεις προστασίας [13].

Η παρούσα έρευνα προτείνει μια νέα προσέγγιση, αξιοποιώντας εικονική πραγματικότητα για την προσομοίωση ανάγλυφων απτικών επιφανειών καθοδήγησης. Στόχος είναι να προσφερθεί στα άτομα

με οπτική αναπηρία ένα ρεαλιστικό και ασφαλές περιβάλλον όπου μπορούν να εξασκηθούν στην πλοήγηση σε αστικούς χώρους. Μέσω απτικής ανατροφοδότησης, οι συμμετέχοντες αναπτύσσουν δεξιότητες προσανατολισμού χωρίς να διατρέχουν άμεσο κίνδυνο, ενώ παράλληλα συλλέγονται αναλυτικά ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα για την αξιολόγηση της μεθόδου.

1.5 Δημοσίευση Άρθρου

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας, δημοσιεύθηκε επιστημονικό άρθρο με τίτλο «*Interaction with Tactile Paving in a Virtual Reality Environment: Simulation of an Urban Environment for People with Visual Impairments*» των Ν. Τζήμος, Ι. Κυριαζίδης, Γ. Βουτσακέλης, Σωτήριος Κοντογιάννης και Γ. Κοκκώνης. Το άρθρο εντάχθηκε στο ειδικό τεύχος *Multimodal User Interfaces and Experiences: Challenges, Applications, and Perspectives — 2nd Edition* και βασίστηκε κυρίως σε μέρος της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων του πειράματος της παρούσας εργασίας [16].

Κεφάλαιο 2ο: Συναφείς Έρευνες στις Απτικές Τεχνολογίες για Οπτικές Αναπηρίες

2.1 Εισαγωγή

Παρόλο που η έρευνα η οποία επικεντρώνεται αποκλειστικά στη προσομοίωση και την αλληλεπίδραση με ανάγλυφες επιφάνειες καθοδήγησης σε αστικά περιβάλλοντα για άτομα με προβλήματα όρασης παραμένει περιορισμένη, αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει συγγενείς τομείς μέσω τεχνολογιών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, με στόχο τη βελτίωση της κινητικότητας και του προσανατολισμού. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται ενδεικτικά ερευνητικά έργα που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων, αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι επιδόσεις τους, καθώς και οι περιορισμοί που εξακολουθούν να υπάρχουν.

2.2 Σχετικές Έρευνες

Στη μελέτη τους, η Fabiana Sofia Ricci et al. [7] διερεύνησαν τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας ως μέσο εκπαίδευσης στον προσανατολισμό και την κίνηση για άτομα με οπτική αναπηρία. Το σύστημα τους, βασισμένο στην πλατφόρμα Unity και με χρήση του VR headset Oculus Quest, προσέφερε μια διαδραστική εμπειρία μάθησης που συνδύαζε απτική, ακουστική και περιορισμένη οπτική ανατροφοδότηση. Η μελέτη προσομοίωνε καταστάσεις όρασης όπως το γλαύκωμα, κατά τις οποίες οι συμμετέχοντες εμφάνισαν μειωμένη απόδοση σε δοκιμασίες κινητικότητας και προσανατολισμού. Παρ' όλα αυτά, το επίπεδο εμπλοκής και εμπύθισης στο εικονικό περιβάλλον αξιολογήθηκε ως υψηλό από τους χρήστες. Το εργαλείο αποδείχθηκε επίσης αποτελεσματικό στην ενίσχυση της ευαισθητοποίησης γύρω από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα άτομα με προβλήματα όρασης.

Η Alice Lo Valvo και οι συνεργάτες της παρουσίασαν το ARIANNA+, ένα προηγμένο σύστημα πλοήγησης που στοχεύει στην υποστήριξη της μετακίνησης ατόμων με προβλήματα όρασης, αξιοποιώντας τεχνολογίες υπολογιστικής όρασης, μηχανικής μάθησης και επαυξημένης πραγματικότητας [15,17,18]. Το ARIANNA+ αποτελεί εξέλιξη του αρχικού συστήματος ARIANNA [19], προσφέροντας βελτιωμένες δυνατότητες καθοδήγησης κατά μήκος προκαθορισμένων διαδρομών, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν υψηλή ακρίβεια στον εντοπισμό σημείων αναφοράς και στην καθοδήγηση των χρηστών, χάρη στη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως το ARKit, το SceneKit, τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNNs) και την παρακολούθηση οπτικής ροής, το ARIANNA+ προσφέρει μια καινοτόμα και προσβάσιμη λύση πλοήγησης, πλήρως λειτουργική σε κοινά smartphones.

Ένας αυξανόμενος αριθμός ερευνών επικεντρώνεται στην ανάπτυξη αυτόνομων συστημάτων πλοήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το SEVN (Sidewalk Environment for Visual Navigation), ένα καινοτόμο σύστημα βασισμένο στη μεθοδολογία της ενισχυτικής μάθησης (Reinforcement Learning - RL) [20]. Η μελέτη αξιολογεί την ικανότητα του συστήματος να φτάνει με ακρίβεια σε προκαθορισμένους προορισμούς, αξιοποιώντας δεδομένα από

πολλαπλές αισθητηριακές πηγές. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ποσοστό επιτυχίας 74,9%, υποδεικνύοντας καλές επιδόσεις αλλά και την ανάγκη για περαιτέρω βελτιώσεις όσον αφορά τη γενίκευση και την αποδοτικότητα.

Σε πολλές εφαρμογές πλοήγησης, τα χωρικά σημεία αναφοράς διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον προσανατολισμό και την ασφαλή μετακίνηση των χρηστών. Ωστόσο, παρατηρείται έλλειψη συστηματικής κατηγοριοποίησης και ενσωμάτωσής τους στα συστήματα πλοήγησης. Για να καλυφθεί αυτό το κενό, σχετική μελέτη κατέγραψε και ταξινομήσε τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα σημεία αναφοράς, βασισμένη σε συνεντεύξεις με άτομα με οπτική αναπηρία [21]. Τα σημεία αυτά χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες: εκείνα που μπορούν να εντοπιστούν με την αφή (όπως ανάγλυφα δάπεδα, σκάλες, γωνίες κτιρίων) και εκείνα που παρέχουν επιβεβαίωση ή καθοδήγηση (όπως ηχητικά σήματα ή φωτεινοί σηματοδότες).

Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ενσωμάτωση αυτών των σημείων σε αλγορίθμους χαρτογράφησης και σχεδιασμού διαδρομών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την εμπειρία πλοήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης. Για να ενισχυθεί αυτή η ενσωμάτωση, καθορίστηκαν συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και κανόνες αναπαράστασης για κάθε τύπο σημείου. Για παράδειγμα, οι ανάγλυφες επιφάνειες δαπέδου μοντελοποιούνται ως ορθογώνια διαστάσεων 400×400 χιλιοστά, ενώ οι διαβάσεις πεζών απεικονίζονται ως επιμήκεις περιοχές που συνδέουν τα σημεία BEVs (Built Environment Vertices) στις αντίθετες πλευρές του δρόμου [21].

Σε ένα πρόσφατο πείραμα εξετάστηκε η ικανότητα εννέα διαφορετικών γεωμετρικών σχημάτων να μεταφέρουν απτικά ερεθίσματα μέσα σε ένα εικονικό τρισδιάστατο περιβάλλον [22]. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό H3D και τη συσκευή αφής Phantom Omni, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να αναγνωρίσουν και να διακρίνουν τις υφές. Γενικά κατάφεραν να τις ξεχωρίσουν, αν και τα ποσοστά αναγνώρισης διέφεραν ανάλογα με το μοτίβο.

Το VirtuNav αποτελεί μια καινοτόμο πλατφόρμα πλοήγησης που στοχεύει στην αυτόνομη εξερεύνηση εσωτερικών χώρων [23, 24]. Συνδυάζοντας τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας, απτική ανατροφοδότηση, χωρικό ήχο και εξελιγμένους αλγορίθμους διαδρομής, μετατρέπει διςδιάστατα σχέδια κτιρίων σε λεπτομερή τρισδιάστατα περιβάλλοντα μέσω της μορφής X3D. Η ανίχνευση εμποδίων γίνεται με χρήση αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας. Οι χρήστες που εκπαιδεύτηκαν με τη συσκευή Novint Falcon, η οποία παρέχει κίνηση σε τρεις άξονες, έδειξαν βελτίωση στον προσανατολισμό και μείωση των συγκρούσεων μέσα από επαναλαμβανόμενες ασκήσεις. Επιπλέον, οι δεξιότητες που απέκτησαν μεταφέρθηκαν με επιτυχία και σε πραγματικές συνθήκες.

Ο Suayder M. Costa και η ερευνητική του ομάδα [25] πρότειναν μια νέα προσέγγιση πλοήγησης που συνδυάζει την οπτική προσοχή με απτική καθοδήγηση. Η μεθοδολογία τους βασίζεται στη μηχανική μάθηση με αδύναμη εποπτεία, επιτρέποντας στον αλγόριθμο να εντοπίζει βέλτιστες διαδρομές με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Η απτική ανατροφοδότηση παρέχεται μέσω δονήσεων, εξασφαλίζοντας ακριβή καθοδήγηση ακόμα και σε σύνθετα περιβάλλοντα.

Ένα ακόμη καινοτόμο σύστημα είναι το Virtual Paving [26], το οποίο διευκολύνει την ανεξάρτητη πλοήγηση μέσω μη οπτικής ανατροφοδότησης. Σχεδιάστηκε βάσει συνεντεύξεων και δοκιμών ευχρηστίας με άτομα με προβλήματα όρασης, και παρέχει κατευθυντήριες ενδείξεις μέσω ενός

σακιδίου πλάτης που φοριέται καθημερινά. Οι δοκιμές έδειξαν ότι οι χρήστες μπορούσαν να κινηθούν ομαλά σε βασικές διαδρομές πλάτους 2.1 μέτρων.

Σε άλλη μελέτη, ο ερευνητής Matthew S. K. Yeo [12] εξέτασε πώς ρομποτικά συστήματα μπορούν να συνδυάσουν οπτική και απτική αναγνώριση κινδύνων κατά την κίνηση σε δημόσιους χώρους. Η πρότασή του περιλαμβάνει μια εξελιγμένη μορφή ανάγλυφης σήμανσης στο έδαφος που μεταφέρει επιπλέον πληροφορίες για χωρικούς κινδύνους. Τα ρομπότ, εξοπλισμένα με αισθητήρα αφής TSM και ένα γράφημα νευρωνικού δικτύου (GNN), μπορούσαν να ερμηνεύσουν με επιτυχία αυτά τα δεδομένα. Τα πειράματα έδειξαν βελτίωση 71,6% στην ικανότητά τους να εντοπίζουν κινδύνους εκ των προτέρων.

2.3 Περιορισμοί και Προτεινόμενη Προσέγγιση

Παρά τις σημαντικές εξελίξεις στα εικονικά συστήματα πλοήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης, πολλές από τις υπάρχουσες προσεγγίσεις παρουσιάζουν περιορισμούς σε θέματα ρεαλισμού, τυποποίησης και μεθοδολογίας αξιολόγησης. Για παράδειγμα, οι Lahav κ.ά.. [27, 28] επικεντρώνονται στη δημιουργία γνωστικών χαρτών μέσω απτικής αναπαράστασης του χώρου, χωρίς όμως να ενσωματώνουν ρεαλιστικές ασκήσεις πλοήγησης. Αντίστοιχα, το σύστημα των Kreimeier και Götzelmann [29], το οποίο εισάγει φυσικά αντικείμενα σε εικονικά περιβάλλοντα, παρουσιάζει περιορισμένη ευελιξία και δυσκολία στην κλιμάκωση λόγω της εξάρτησής του από φυσικές εγκαταστάσεις. Η μελέτη των Zhao κ.ά.. [30] προσφέρει απτική και ακουστική ανατροφοδότηση μέσω προσομοίωσης λευκού μπαστουιού, αλλά δεν ενσωματώνει σημαντικά στοιχεία αστικού περιβάλλοντος όπως οι ανάγλυφες επιφάνειες καθοδήγησης.

Ανταποκρινόμενη σε αυτά τα κενά, η παρούσα εργασία προτείνει ένα πλήρως ψηφιακό και παραμετροποιήσιμο σύστημα, βασισμένο στα επίσημα πρότυπα απτικής σήμανσης (ΦΕΚ 2/2009 & 2/2022) [31,32], που επιτρέπει ρεαλιστική και πολυαισθητηριακή εξάσκηση σε προσομοιωμένα αστικά σενάρια. Επιπλέον, ενσωματώνει ένα δομημένο πλαίσιο αξιολόγησης (AS1, AS2, AS3) και προσφέρει τη δυνατότητα προσαρμογής των απτικών ρυθμίσεων σύμφωνα με τις αισθητηριακές προτιμήσεις κάθε χρήστη.

Κεφάλαιο 3ο: Γνωριμία με το Blender

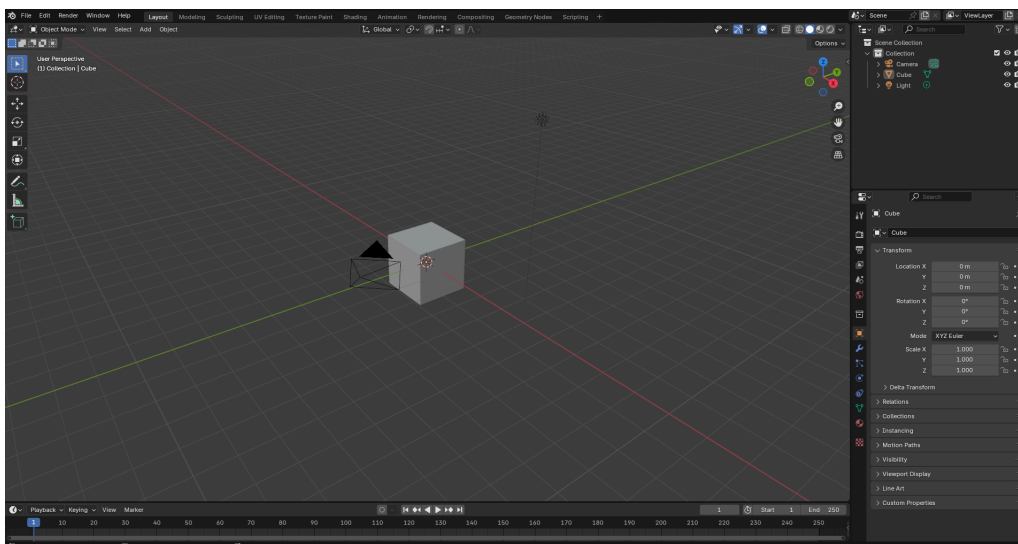
3.1 Εισαγωγή

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρειάστηκε η χρήση τεχνικών μέσω σε επίπεδο λογισμικού και υλικού. Η ενότητα αυτή περιγράφει το Blender, το ένα λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της εφαρμογής, και ειδικότερα για τη σχεδίαση των τρισδιάστατων αντικειμένων που θα τοποθετηθούν στο εικονικό περιβάλλον για την αλληλεπίδραση με τον χρήστη.

3.2 Blender

Το Blender είναι μία δωρεάν και ανοιχτού κώδικα σουίτα 3D ανάπτυξης. Υποστηρίζει το σύνολο των εργασιών σε μία διαδικασία παραγωγής 3D, δηλαδή την μοντελοποίηση (modeling), δημιουργία σκελετού (rigging), κινουμένων σχεδίων (animation), προσομοίωση (simulation), απόδοση (rendering) σύνθεση (compositing) και ανίχνευσης κίνησης (motion tracking). Με ένα πλήθος ισχυρών εργαλείων, το Blender επιτρέπει τη δημιουργία λεπτομερών 3D μοντέλων τόσο μέσω πολυγωνικών τεχνικών όσο και μέσω ψηφιακής γλυπτικής, καθιστώντας το μια ευέλικτη και δημοφιλή πλατφόρμα για εικαστική και τεχνική μοντελοποίηση [33].

Το λογισμικό λειτουργεί σε ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και παρέχει ένα πλήρες σύνολο εργαλείων μετασχηματισμού και επεξεργασίας πλεγμάτων(meshes). Τα αντικείμενα στο Blender μπορούν να μετακινηθούν (translation), να περιστραφούν (rotation) και να κλιμακωθούν (scaling), ενώ βασικά σχήματα όπως κύβοι, σφαίρες και επίπεδα χρησιμεύουν ως αρχικά σημεία για πιο σύνθετη γεωμετρία μέσω χρήσης των κατάλληλων εργαλείων [34].



Σχήμα 3.1: Blender Αρχική Οθόνη

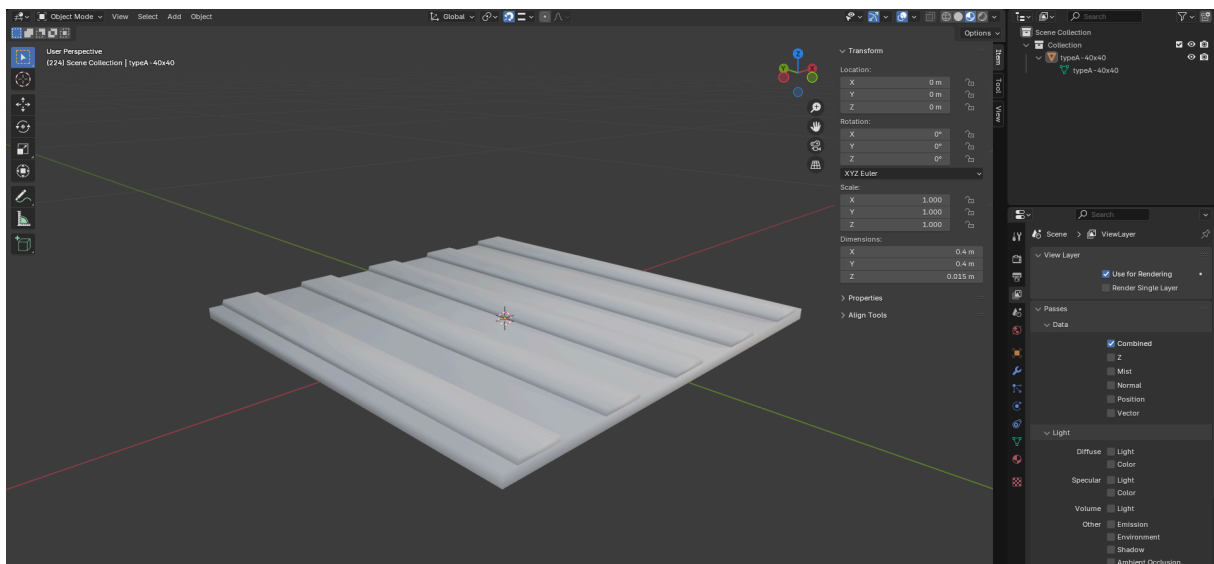
3.3 Λειτουργία του Blender

Το Blender παρέχει διάφορες μεθόδους αλληλεπίδρασης για την εργασία πάνω σε στοιχεία 3D. Τα δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενα και αυτά που χρειάστηκαν για την εργασία μου είναι το Object Mode και το Edit Mode.

3.3.1 Object Mode

Σε αυτή τη λειτουργία γίνεται η διαχείριση των στοιχείων της σκηνής σε υψηλό επίπεδο. Ενέργειες όπως η μετακίνηση, η περιστροφή και η κλιμάκωση των αντικειμένων γίνεται εδώ. Επίσης και άλλες λειτουργίες όπως η ομαδοποίηση αντικειμένων, διαγραφή ή αντιγραφή αντικειμένων και η εφαρμογή υλικών και τροποποιητών. Γενικά τα 3D αντικείμενα σε αυτήν τη λειτουργία αντιμετωπίζονται σαν ενιαίες μονάδες.

Κατα τη δημιουργία των πλακιδίων αυτό το mode χρησιμοποιήθηκε για τον πολλαπλασιασμό, τοποθέτηση και ομαδοποίηση των υπερυψωμένων μοτίβων τους.



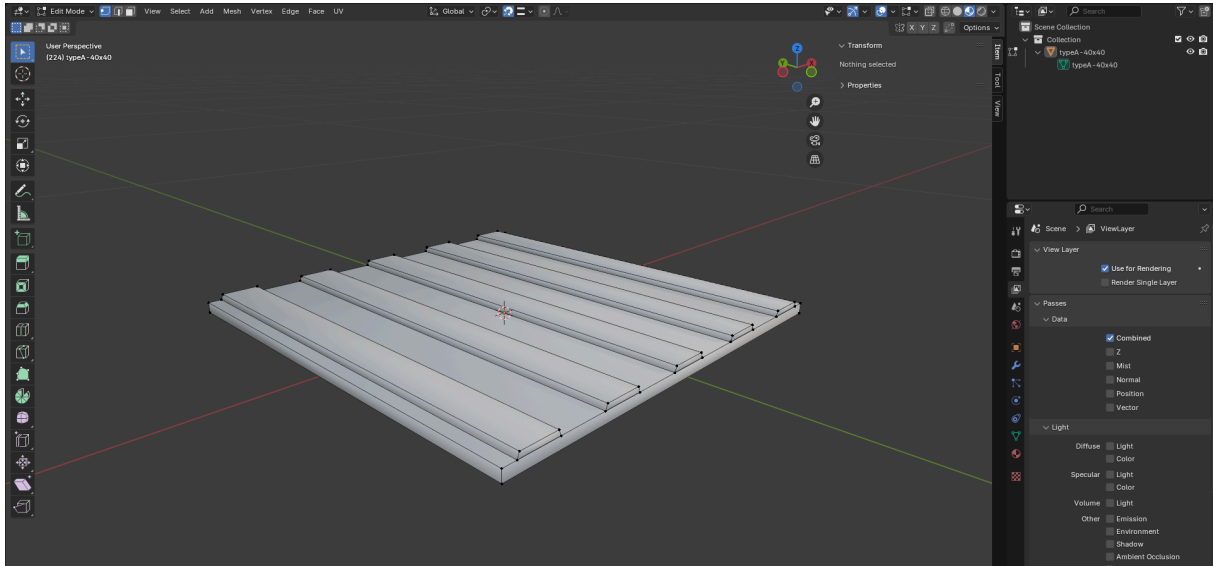
Σχήμα 3.2.: Object Mode

Παραπάνω (Σχήμα 3.2) απεικονίζεται το περιβάλλον του Object Mode σε ένα αντικείμενο της εργασίας. Τα εργαλεία και οι μεταβλητές που υποστηρίζει αυτό το mode, απευθύνονται στην επεξεργασία του αντικειμένου σαν μια ενιαία οντότητα. Δηλαδή τα rotation, scale, location και dimensions αφορούν το σχήμα στο σύνολο του.

3.3.2 Edit Mode

Με αυτό το mode επιτυγχάνεται η επεξεργασία της γεωμετρίας του επιλεγμένου αντικειμένου. Τα δομικά συστατικά των γεωμετριών είναι οι κορυφές (vertices), οι ακμές (edges) και επιφάνειες (faces). Η τροποποίηση αυτών των συστατικών στον 3D χώρο δίνει το σχήμα στο πλέγμα γεωμετρίας και στη συνέχεια στη μορφή του αντικειμένου. Εδώ υπάρχουν διαθέσιμα και εργαλεία για την επέμβαση στα στοιχεία αυτά όπως η συγχώνευση (merge), εξώθηση (extrude), λοξοτόμηση (bevel). Μέσω των

εργαλείων αυτών είναι δυνατή η δημιουργία πολύπλοκων σχημάτων με αφηρητά τα απλά όπως ο κύβος και η σφαίρα.



Σχήμα 3.3: Edit Mode

Στην παραπάνω εικόνα (Σχήμα 3.3) είναι το περιβάλλον του Edit Mode για ένα από τα σχήματα της εργασίας. Στην αριστερή κάθετη στήλη εντοπίζονται τα εργαλεία (extrude, knife, loop cut κτλ.) που μας επιτρέπουν να επεξεργαστούμε στα faces, vertices και edges. Στο εικονιζόμενο σχήμα φαίνεται ότι έχει τμηματοποιηθεί με βάση τα vertices του. Σε κάθε κορυφή υπάρχει μία βούλα που σηματοδοτεί το vertice και μας επιτρέπει να το επεξεργαστούμε. Αντίστοιχα μπορεί να επιλεγεί και να τροποποιηθεί το σχήμα με βάση τα faces ή τα edges. Επίσης γίνεται αντιληπτό ότι το αντικείμενο σε αυτό το mode δεν αντιμετωπίζεται ως μία οντότητα αλλά αποτελείται από μικρότερα στοιχεία. Για παράδειγμα εδώ τα μέρη το πλακιδίου που προεξέχουν μπορούν να επεξεργαστούν διαφορετικά από το πλακίδιο.

Κεφάλαιο 4ο: Γνωριμία με το Unity

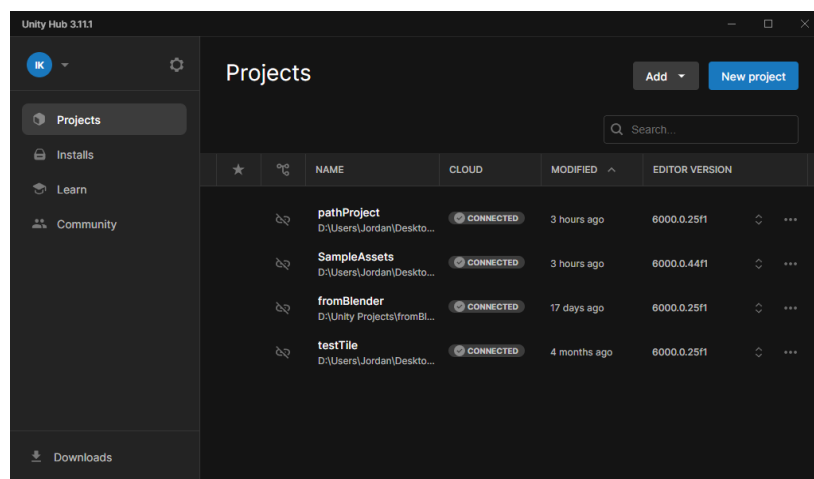
4.1 Εισαγωγή

Το δεύτερο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία και που αποτέλεσε τη βάση για το στήσιμο της εφαρμογής, είναι το Unity. Στην πλατφόρμα του Unity, προστέθηκαν τα τρισδιάστατα μοντέλα του Blender, δημιουργήθηκε το εικονικό περιβάλλον, ενσωματώθηκε ο ελεγκτής του υλικού επιπέδου και συντάχθηκαν τα σενάρια με τα οποία θα αλληλεπιδράσει ο παίκτης. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ανασκόπηση των εργαλείων του Unity που χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία της εφαρμογής.

4.2 Unity Hub

Το Unity Hub είναι το κεντρικό εργαλείο διαχείρισης των Project του Unity. Μέσω του ανεξάρτητου εργαλείου αυτού που λειτουργεί ως “πύλη” (launcher) προς το οικοσύστημα της Unity, γίνεται η εγκατάσταση των Projects και το Version Control τους, ενώ ακόμη ο χρήστης έχει πρόσβαση σε διαφορετικές εκδόσεις του Unity Editor, στην κοινότητα και σε εκπαιδευτικό υλικό. Απαιτεί λογαριασμό (Unity ID).

Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες του Unity Hub είναι η εγκατάσταση και διαχείριση πολλαπλών εκδόσεων του Unity Editor. Οι διαφορετικές εκδόσεις του Editor που προσφέρει το Hub και που μπορούν να είναι ταυτόχρονα εγκατεστημένες, προσφέρουν μεγάλη συμβατότητα ανάλογα τις ανάγκες του έργου, εύκολη περιήγηση και διαχείριση σε διαφορετικά και παλιότερα project.



Σχήμα 4.1: Unity Hub Projects

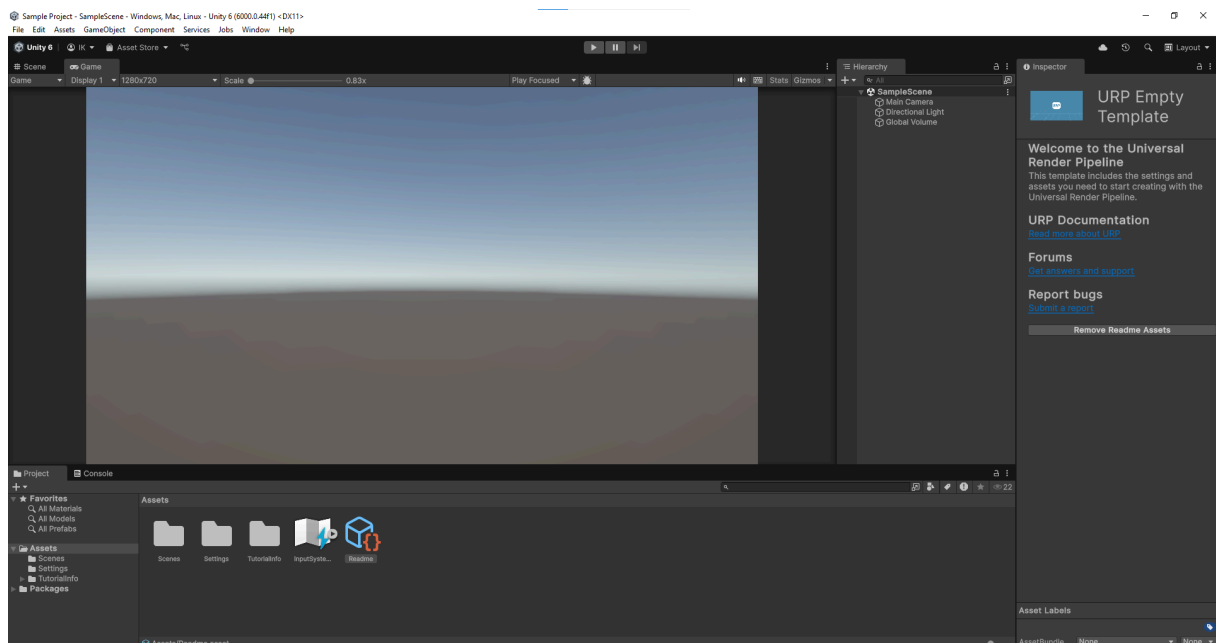
4.3 Unity Editor

Για την κατασκευή του εικονικού περιβάλλοντος εκπαίδευσης επιλέχθηκε η πλατφόρμα Unity, λόγω της ευελιξίας και της ευρείας χρήσης της. Το Unity είναι μια δωρεάν μηχανή δημιουργίας παιχνιδιών, προσομοιώσεων και εφαρμογών πολυμέσων. Καθώς καλύπτει την ανάπτυξη 3D, 2D, AR και VR

περιεχομένου για μια ευρεία γκάμα πλατφορμών, συμπεριλαμβανομένων Windows, Android, iOS, VR και κονσόλες παιχνιδιών, αποτελεί μία διαδεδομένη επιλογή τόσο των ερασιτεχνών προγραμματιστών όσο και των κολοσσών της βιομηχανίας εφαρμογών [35, 36]. Προσφέρει προηγμένα εργαλεία για τη δημιουργία γραφικών, τη διαχείριση σκηνών και την αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Η ανάπτυξη γίνεται στη γλώσσα προγραμματισμού C# και συνοδεύεται από μια πλούσια βιβλιοθήκη εργαλείων και λειτουργιών για την ενσωμάτωση γραφικών και διαδραστικών στοιχείων. Αυτά στεγάζονται σε ένα εύχρηστο και διαισθητικό περιβάλλον [37].

4.3.1 Διεπαφή Χρήστη Unity

Η Unity διαθέτει μια ολοκληρωμένη γραφική διεπαφή (Graphical User Interface – GUI), η οποία αποτελείται από πολλά επιμέρους παράθυρα (windows), τα οποία μπορούν να αναδιαταχθούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε έργου. Ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει layouts, να μετακινήσει παράθυρα σε δευτερεύουσες οθόνες και να αξιοποιήσει τη διεπαφή με τρόπο που μεγιστοποιεί την προσωπική του παραγωγικότητα.



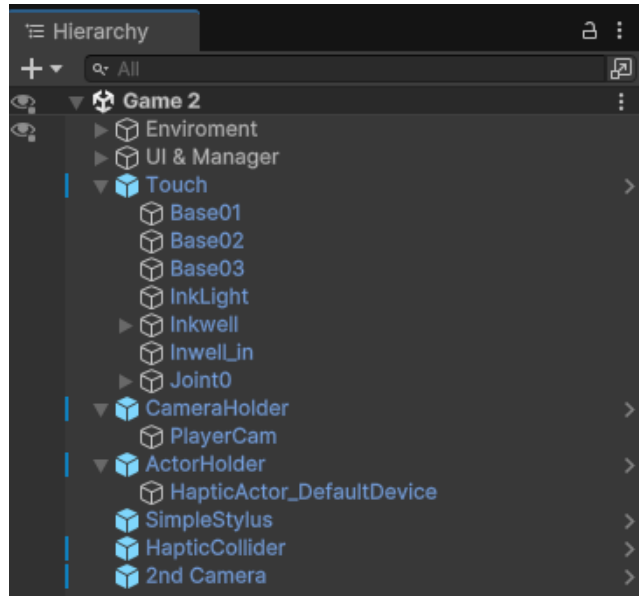
Σχήμα 4.2: Unity GUI

4.3.2 Hierarchy Window

Ο πίνακας Hierarchy παρουσιάζει σε μορφή λίστας όλα τα αντικείμενα (GameObjects) που υπάρχουν στη σκηνή, οργανωμένα ιεραρχικά.

- Σχέσεις γονέα–παιδιού: Η δομή αυτή επιτρέπει τη σύνδεση αντικειμένων, ώστε ιδιότητες όπως η κίνηση ή η περιστροφή του γονέα να επηρεάζει και τα παιδιά.
- Λειτουργίες drag-and-drop: Ο χρήστης μπορεί να αναδιατάξει τη δομή μεταφέροντας, προσθέτοντας και διαγράφοντας αντικείμενα.

- Εργαλεία αναζήτησης και φιλτραρίσματος: Διευκολύνουν τον εντοπισμό αντικειμένων σε πολύπλοκες σκηνές.
- Διαχείριση σκηνών με πολλαπλά επίπεδα (multi-scene editing): Δυνατότητα φόρτωσης και προβολής περισσότερων από μίας σκηνών ταυτόχρονα.

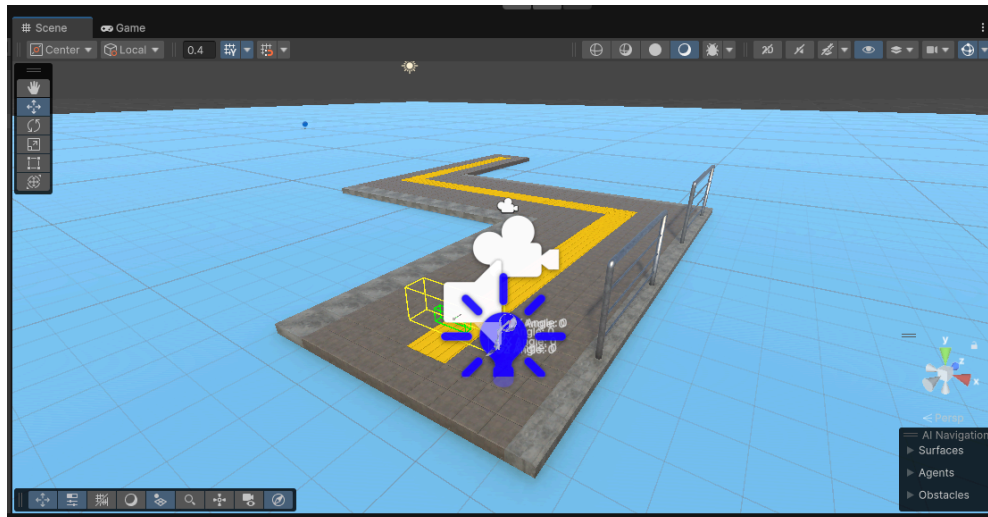


Σχήμα 4.3: Hierarchy Window

4.3.3 Scene View

Το Scene View αποτελεί τον κεντρικό καμβά επεξεργασίας και προβολής του περιβάλλοντος.

- Τρισδιάστατη και δισδιάστατη πλοήγηση: Εναλλαγή μεταξύ 3D και 2D προβολής ανάλογα με το είδος του έργου. Ελεύθερη πλοήγηση στο εικονικό περιβάλλον που φιλοξενεί όλα τα αντικείμενα
- Gizmos και χειριστήρια (handles): Εργαλεία για ακριβή μετακίνηση, περιστροφή και κλιμάκωση αντικειμένων.
- Προβολή φωτισμού και σκιών: Δυνατότητα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης για καλύτερη οπτική κατανόηση του φωτισμού της σκηνής.
- Λειτουργία Isometric και Perspective: Εναλλαγή μεταξύ ισομετρικής και προοπτικής προβολής.

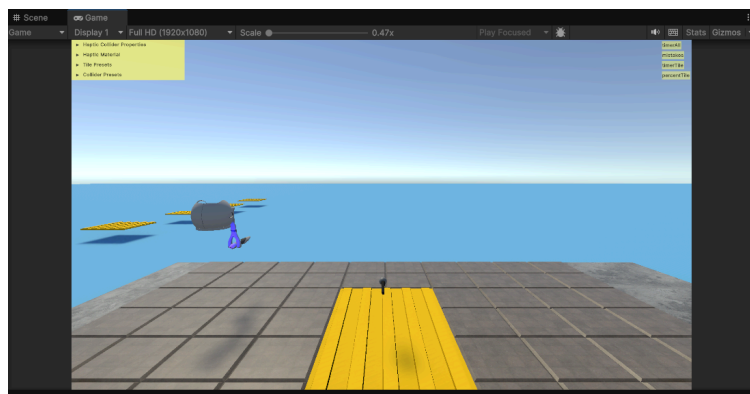


Σχήμα 4.4: Scene View

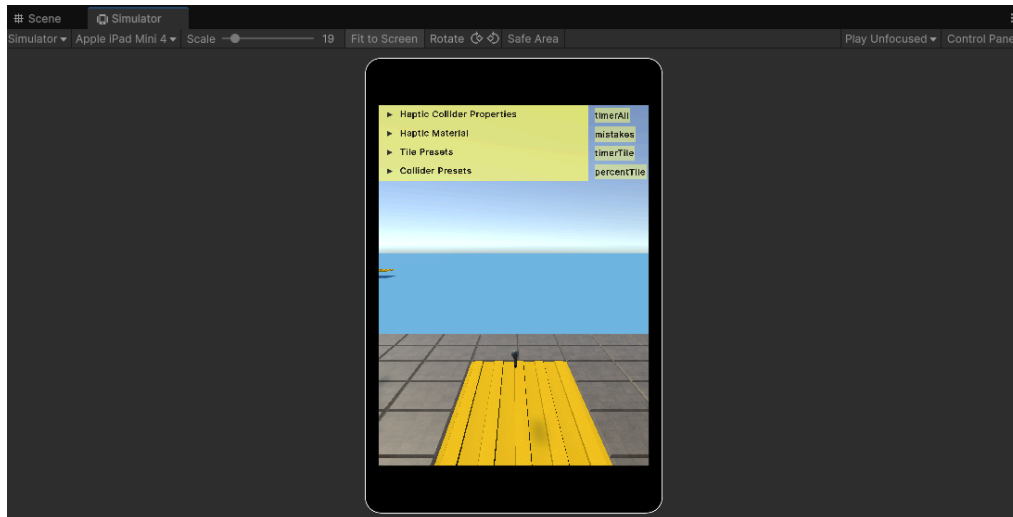
4.3.4 Game View

Το Game View προβάλλει τη σκηνή μέσα από την οπτική των καμερών που έχουν οριστεί στο έργο. Εδώ αντίθετα με το Scene View δεν μπορεί να γίνει επεξεργασία των αντικειμένων και η προβολή αντιπροσωπεύει την τελική μορφή του προϊόντος που θα βλέπει ο παίκτης.

- Αναλύσεις και διαστάσεις (aspect ratios): Ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει διαφορετικές ρυθμίσεις σχετικά με την οθόνη.
- Play Mode: Εδώ γίνεται η προσομοίωση του παιχνιδιού μέσα στον Editor όταν ο χρήστης πατήσει Play.
- Διαχείριση οθονών (display): Εναλλαγή μεταξύ των πολλαπλών οθονών που μπορεί να υποστηρίξει η εφαρμογή.
- Simulator: Δυνατότητα εναλλαγής του Game View με προβολή της τελικής μορφής του παιχνιδιού σε διαφορετικές συσκευές τάμπλετ και κινητών, είτε Android είτε iOS.



Σχήμα 4.5: Game View



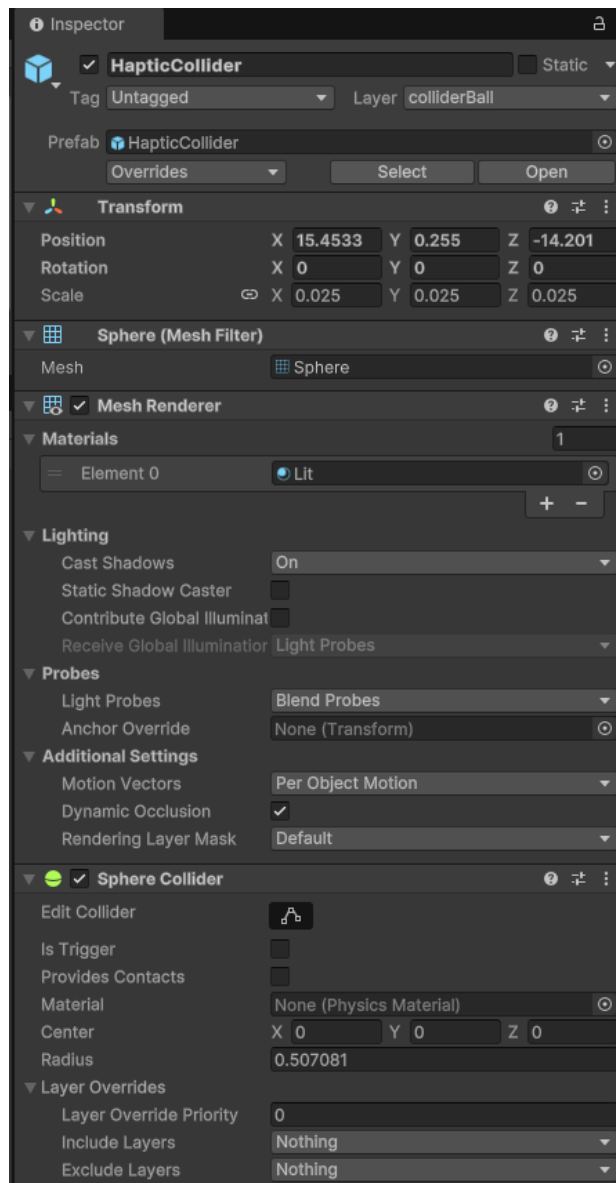
Σχήμα 4.6: Simulator View (Apple iPad Mini 4).

4.3.5 Inspector Window και Components

Το Inspector λειτουργεί ως πίνακας ιδιοτήτων του εκάστοτε επιλεγμένου αντικειμένου

- **Επεξεργασία Components:** Όλα τα στοιχεία (scripts, physics, rendering) μπορούν να ρυθμιστούν εδώ. Τα components είναι τα δομικά συστατικά των GameObject που τα εμπλουτίζουν με λειτουργίες και ορίζουν τη συμπεριφορά τους. Υπάρχουν ενσωματωμένα components αλλά ο προγραμματιστής μπορεί να δημιουργήσει και δικά του. Μέσω των components γίνεται πολύ εύκολα η παραμετροποίηση των διαφορετικών υποσυστημάτων.
- **Transform Component:** Ορίζει την τοποθεσία, την περιστροφή και το μέγεθος του GameObject. Κάθε GameObject πρέπει να έχει ακριβώς ένα Transform Component.
- **Rigidbody Component:** Προσομοιώνει μέσω του physics engine την κίνηση και την αλληλεπίδραση του GameObject.
- **Collider Component:** Εντοπίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο GameObjects (που έχουν το component αυτό). Επίσης ορίζει το σχήμα που καταλαμβάνουν τα GameObjects στο χώρο των συγκρούσεων.
- **C# Script Component:** Είναι ένα component μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει σε C# εξ ολοκλήρου νέες συμπεριφορές του GameObject ανάλογα με τις ανάγκες του.
- **Mesh Filter Component:** Παίρνει σαν όρισμα το πλέγμα (mesh) του 3D μοντέλου. Είναι μια αναφορά στο mesh αρχείο αλλά δεν το απεικονίζει. Λειτουργεί μαζί με το Mesh Renderer.
- **Mesh Renderer Component:** Χρησιμοποιεί την αναφορά στο Mesh του Mesh Filter και την αποδίδει γραφικά ανάλογα των ιδιοτήτων για το υλικό και τον φωτισμό. Λειτουργεί μαζί με το Mesh Filter.

- **Audio Source Component:** Επιτρέπει την αναπαραγωγή ήχων και μουσικής μέσα σε μια σκηνή. Συνδέεται σε ένα GameObject και λειτουργεί ως το «ηχείο» από το οποίο προέρχεται ο ήχος στον εικονικό χώρο.
- **Audio Listener:** Για να ακουστεί ένας ήχος, στη σκηνή πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα Audio Listener (συνήθως στην κύρια κάμερα). Ο Listener «λαμβάνει» τους ήχους που παράγονται από όλα τα Audio Sources.
- **Camera Component:** Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα components στο Unity, καθώς καθορίζει το οπτικό πεδίο του παίκτη ή του χρήστη μέσα στη σκηνή. Χωρίς τουλάχιστον μία ενεργή κάμερα, καμία εικόνα δεν μπορεί να αποδοθεί στην οθόνη.
- **Light Component:** Είναι υπεύθυνο για τον φωτισμό της σκηνής και την οπτική ατμόσφαιρα που δημιουργείται. Χωρίς φώτα, τα αντικείμενα εμφανίζονται σκοτεινά ή καθόλου, εκτός εάν χρησιμοποιούνται ειδικά shaders που δεν απαιτούν φωτισμό. Ο φωτισμός επηρεάζει την οπτική ποιότητα, τον ρεαλισμό και τη συνολική αισθητική του παιχνιδιού ή της εφαρμογής. Υποστηρίζει διάφορους τύπους φωτός, καθένας με διαφορετική χρήση (directional - παράλληλες ακτίνες, point - προς όλες τις κατευθύνσεις κ.α.)
- **UI Document Component:** Λειτουργεί ως το βασικό component της Unity για την ενσωμάτωση και προβολή διεπαφών χρήστη που δημιουργούνται με το UI Toolkit. Το UI Document είναι υπεύθυνο για τη φόρτωση αυτών των αρχείων διεπαφής UXML στη σκηνή και την απόδοσή τους στον χρήστη.
- **Real-time updates:** Οι αλλαγές των Components στο Inspector εφαρμόζονται άμεσα στη σκηνή.
- **Tags και Layers:** Αποτελούν συμπληρωματικά εργαλεία οργάνωσης στο Unity. Τα Tags επικεντρώνονται στην κατηγοριοποίηση για λογικούς σκοπούς, ενώ τα Layers δίνουν έλεγχο σε επίπεδο απεικόνισης και φυσικής. Η ορθή χρήση τους μπορεί να μειώσει την πολυπλοκότητα του κώδικα και να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση μιας εφαρμογής.

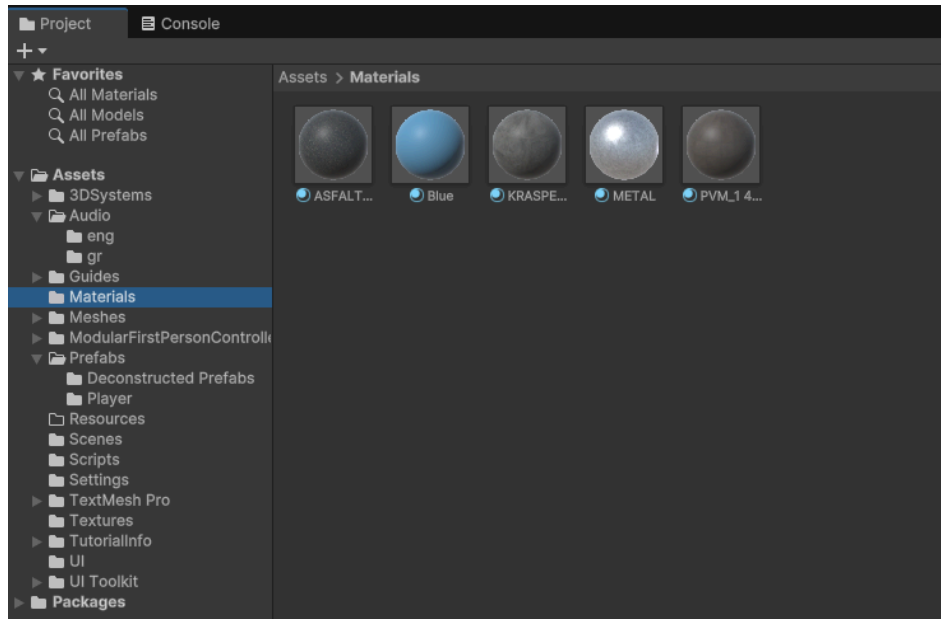


Σχήμα 4.7: Inspector μαζί με τα Components Transform, Mesh Filter, Mesh Renderer & Collider.

4.3.6 Project

Το παράθυρο του Project λειτουργεί ως η βιβλιοθήκη όλων των αρχείων του έργου .

- Δομή φακέλων και αρχείων: Ο χρήστης οργανώνει τα αρχεία (assets) όπως μοντέλα, ήχους, scripts, textures.
- Σύνδεση με τον σκληρό δίσκο: Οποιαδήποτε αλλαγή στη δομή φακέλων και μέσω του Windows Explorer αντικατοπτρίζεται στο σύστημα αρχείων.
- Εργαλεία αναζήτησης και tagging: Επιτρέπουν την εύκολη εύρεση assets σε μεγάλα έργα.

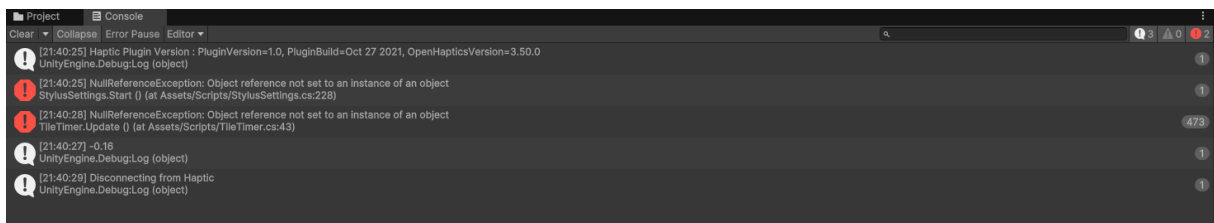


Σχήμα 4.8: Project Window με ανοιχτό τον φάκελο αρχείων Materials.

4.3.7 Console

Η κονσόλα είναι το κεντρικό σημείο εμφάνισης μηνυμάτων του συστήματος.

- Καταγραφή σφαλμάτων (errors), προειδοποιήσεων (warnings) και πληροφοριών (logs).
- Δυνατότητα φιλτραρίσματος: Εμφάνιση μόνο του επιθυμητού τύπου μηνυμάτων.



Σχήμα 4.9: Console Window με μηνύματα.

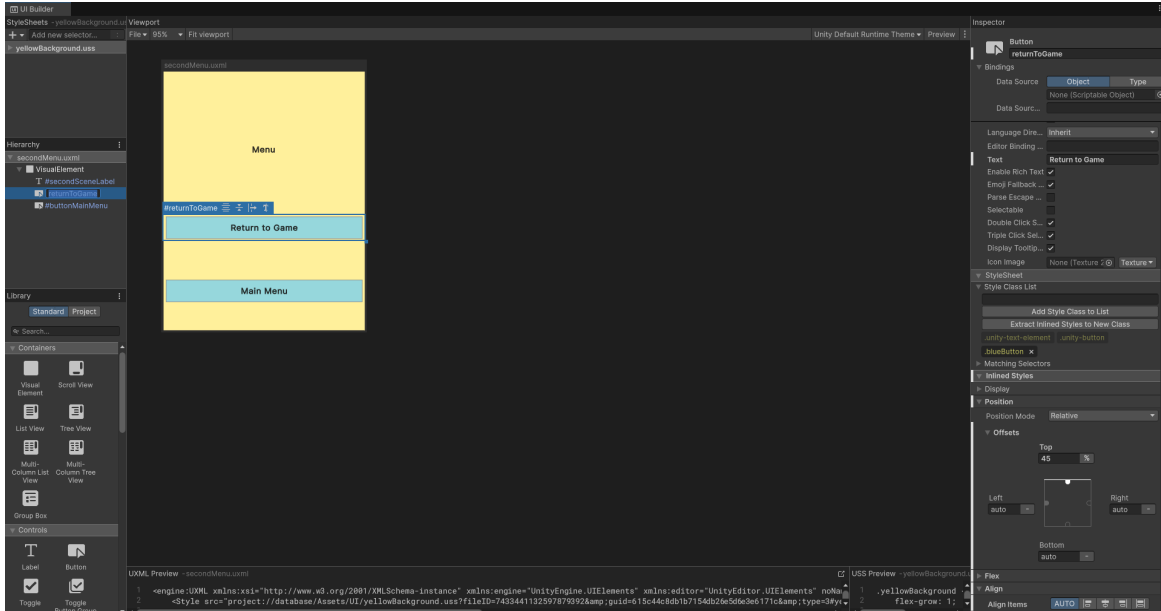
4.3.8 UI Builder

Το UI Builder είναι ένα εργαλείο που για τον σχεδιασμό διεπαφών χρήστη (User Interfaces – UI) χωρίς να απαιτείται αποκλειστικά χειροκίνητη συγγραφή κώδικα.

- Χρησιμοποιεί UXML (Unity XML) για τη δομή των διεπαφών και USS (Unity Style Sheets, αντίστοιχα με τα CSS) για τον καθορισμό της εμφάνισης.
- Διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ προγραμματιστών και σχεδιαστών, καθώς η διεπαφή μπορεί να δημιουργηθεί οπτικά και να επεκταθεί με κώδικα C#.
- Οπτικός σχεδιασμός: Η διεπαφή δημιουργείται με drag-and-drop στοιχείων (buttons, labels, lists, panels κ.ά.).

Κεφάλαιο 4

- Hierarchy panel: Παρουσιάζει την ιεραρχία όλων των UI στοιχείων, παρόμοια με το κλασικό Hierarchy της Unity.
- Inspector panel: Δίνει πρόσβαση στις ιδιότητες κάθε στοιχείου (μέγεθος, στοίχιση, χρώματα, γραμματοσειρές).



Σχήμα 4.10: Στιγμιότυπο από ένα μενού στο UI Builder.

4.3.9 Profiler

Το Profiler είναι ενσωματωμένο εργαλείο ανάλυσης απόδοσης της Unity, το οποίο επιτρέπει στον προγραμματιστή να εντοπίζει και να αξιολογεί πιθανά προβλήματα επιβάρυνσης στο έργο του. Μέσα από το Profiler καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο κρίσιμες μετρικές, όπως η χρήση της CPU και της GPU, η κατανάλωση μνήμης, η απόδοση του συστήματος φυσικής, η αναπαραγωγή ήχου και οι κλήσεις rendering. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης μπορεί να κατανοήσει ποια τμήματα του κώδικα ή ποια αντικείμενα της σκηνής επηρεάζουν περισσότερο την απόδοση και να λάβει αποφάσεις βελτιστοποίησης.

- CPU Usage: Εμφανίζει πόσος χρόνος εκτέλεσης αφιερώνεται σε scripts, rendering, physics και animation.
- GPU Usage: Αναλύει το φόρτο στην κάρτα γραφικών και τις διεργασίες που επηρεάζουν τον ρυθμό καρτέ.
- Memory: Παρακολουθεί την κατανομή και χρήση μνήμης, βοηθώντας στον εντοπισμό διαρροών (memory leaks).
- Rendering: Δίνει πληροφορίες για draw calls, πολυγωνικά τρίγωνα και υλικά, που επηρεάζουν την απόδοση της απεικόνισης.

- Audio: Καταγράφει τη χρήση του συστήματος ήχου, την κατανάλωση DSP και τυχόν προβλήματα όπως clipping.
- Physics: Εντοπίζει το κόστος των υπολογισμών φυσικής (συγκρούσεις, rigidbodies, raycasts).
- Network: Παρακολουθεί τη δικτυακή δραστηριότητα, όπως latency και bandwidth χρήσης.

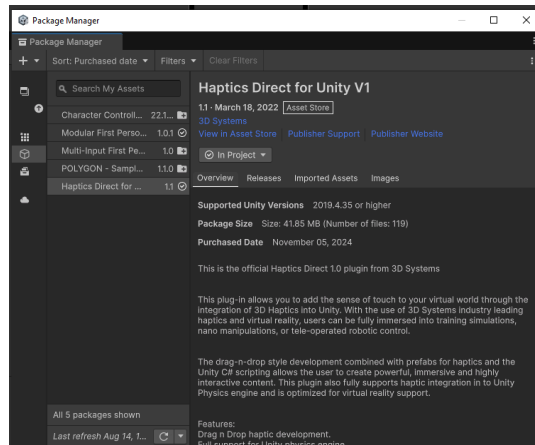


Σχήμα 4.11: Στιγμιότυπο του Profiler σε πραγματικό χρόνο.

4.3.10 Package Manager

Το Package Manager είναι το ενσωματωμένο σύστημα της Unity για τη διαχείριση πακέτων (packages), τα οποία περιέχουν βιβλιοθήκες, εργαλεία και λειτουργίες που επεκτείνουν τις δυνατότητες του Unity Editor. Μέσω του Package Manager, οι χρήστες μπορούν να εγκαθιστούν, να αναβαθμίζουν, να αφαιρούν και να διαχειρίζονται εξαρτήσεις έργων με οργανωμένο και τυποποιημένο τρόπο.

Κατέχει σημαντικό ρόλο καθώς πολύ εύκολα προσθέτονται νέες λειτουργίες στα έργα ενώ οι συνεχείς αναβαθμίσεις των εργαλείων καθιστούν τις εφαρμογές συμβατές με πλήθος νέων συσκευών και τεχνολογιών.

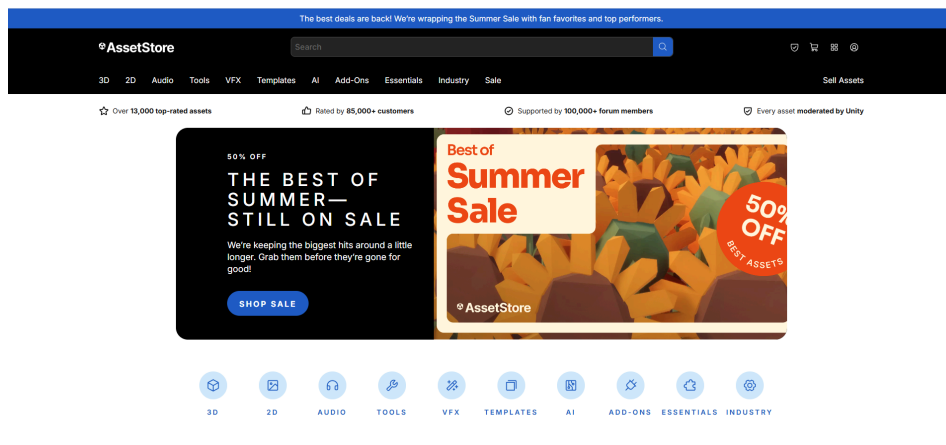


Σχήμα 4.12: My Assets στο Package Manager.

4.4 Asset Store

Το Asset Store είναι η επίσημη διαδικτυακή πλατφόρμα διάθεσης εργαλείων. Τα εργαλεία αυτά περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα στοιχείων όπως τρισδιάστατα και δισδιάστατα μοντέλα, animation, ήχοι, εργαλεία προγραμματισμού, εκπαιδευτικό υλικό και οτιδήποτε μπορεί να χρειαστεί σε μία εφαρμογή του Unity. Στο Asset Store οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν και να ανεβάζουν το δικό τους περιεχόμενο ενώ αυτό μπορεί να είναι διαθέσιμο δωρεάν ή επί πληρωμής. Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους πόρους για την επιτάχυνση της ανάπτυξης παιχνιδιών και εφαρμογών, καθώς παρέχει πρόσβαση σε χιλιάδες έτοιμα στοιχεία.

Ο Editor του Unity επικοινωνεί με τον λογαριασμό στο Store μέσω του Package Manager. Κάθε Asset που έχει ο χρήστης στην ιδιοκτησία του μπορεί να κατέβει και ενσωματωθεί στο project του πολύ εύκολα και γρήγορα. Το περιεχόμενο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτούσιο είτε παραλλαγμένο από τον χρήστη.



Σχήμα 4.13: Αρχική σελίδα <https://assetstore.unity.com/>

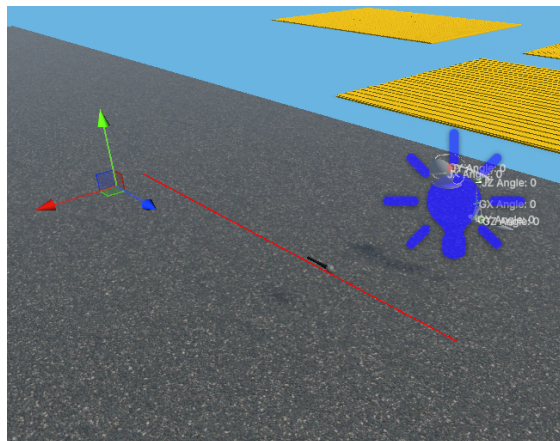
4.5 Prefabs

Στο Unity, ο όρος prefab αναφέρεται σε ένα επαναχρησιμοποιήσιμο πρότυπο αντικειμένου, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει γεωμετρία, υλικά, scripts, και διάφορα άλλα components και λειτουργίες.

Η χρήση prefabs επιτρέπει στον προγραμματιστή ή σχεδιαστή να δημιουργήσει μια κεντρική «πηγή» αντικειμένου και στη συνέχεια να την τοποθετήσει πολλαπλές φορές στη σκηνή, διατηρώντας συνεκτικότητα, ευκολία ενημέρωσης και εξοικονόμηση αποθηκευτικού χώρου. Οποιαδήποτε αλλαγή γίνει στο αρχικό prefab, μπορεί να εφαρμοστεί αυτόματα σε όλες τις εμφανίσεις του μέσα στο έργο, γεγονός που βελτιστοποιεί την ανάπτυξη, μειώνει τα σφάλματα και διευκολύνει την κλιμάκωση του περιεχομένου. Τα prefabs χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε πολύπλοκα εικονικά περιβάλλοντα, καθώς αποτελούν βασικό μηχανισμό για την αποδοτική διαχείριση αντικειμένων και τη δημιουργία δυναμικών ή διαδραστικών στοιχείων.

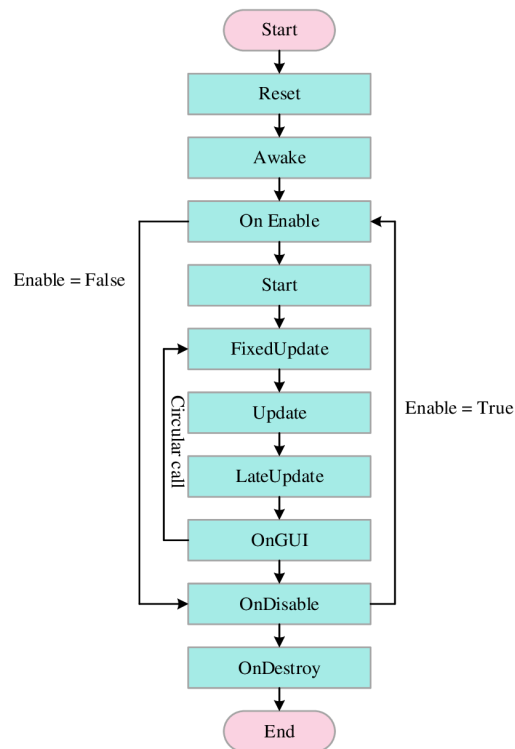
4.6 Raycast

Το Raycast είναι μια τεχνική ανίχνευσης (detection), που ελέγχει αν μια νοητή ακτίνα συναντά κάποιο αντικείμενο με Collider στη σκηνή. Έχει σημείο εκκίνησης, κατεύθυνση και μέγιστη απόσταση. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση επαφής, έλεγχο πληροφορίας αντικειμένων που συναντάει κ.α. Μπορεί μέσω παραμέτρων για Layers να φιλτράρει τα αντικείμενα που συναντάει.



Σχήμα 4.14: Η αναπαράσταση της ακτίνας ως κόκκινη γραμμή στο Scene View.

4.7 MonoBehaviour και Unity Script Lifecycle



Σχήμα 4.15: Το Lifecycle ενός κώδικα στο Unity. [55]

Το MonoBehaviour είναι η βασική κλάση στο Unity από την οποία κληρονομούν τα περισσότερα scripts. Μόνο scripts που κληρονομούν από MonoBehaviour μπορούν να συνδεθούν σε GameObjects. Οι βασικές μέθοδοι (Awake, Start, Update, FixedUpdate, LateUpdate, OnDestroy) είναι όλα events του κύκλου ζωής του MonoBehaviour.

- Awake() – Μόλις φορτωθεί το script στη μνήμη.
- OnEnable() – Κάθε φορά που το αντικείμενο ενεργοποιείται.
- Start() – Μόλις ξεκινήσει το παιχνίδι (πριν το πρώτο frame).
- Update() – Καλείται κάθε frame (input, game logic).
- FixedUpdate() – Σε σταθερά διαστήματα (physics).
- OnDisable() – Όταν το αντικείμενο/script απενεργοποιηθεί.
- OnDestroy() – Όταν το αντικείμενο καταστραφεί.

Κεφάλαιο 5ο: Γνωριμία με το Touch Haptic Device

5.1 Εισαγωγή

Για την απτική αλληλεπίδραση και επικοινωνία ανθρώπου-υπολογιστή στο υλικό επίπεδο, χρησιμοποιήθηκε το Touch Haptic της 3D Systems. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει παρουσίαση της συσκευής, του λογισμικού που τη συνοδεύει και η ενσωμάτωσή της στο Unity.

Η συσκευή Touch της 3D Systems είναι ένα επιτραπέζιο απτικό σύστημα (haptic device) που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα μέσω κιναισθητικής ανατροφοδότησης. Πρόκειται για μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που προσομοιώνει την αίσθηση φυσικών αντικειμένων, εφαρμόζοντας αντίσταση στις κινήσεις του χρήστη, επιτρέποντάς του να “αισθάνεται” εικονικές υφές, σχήματα και όρια μέσω ενός αλγορίθμου επαφής και παραμόρφωσης [38]. Χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, ιατρικές προσομοιώσεις, σενάρια εκπαίδευσης και σχεδιαστικά περιβάλλοντα που απαιτούν ακρίβεια, συμβάλλοντας παράλληλα στη μείωση κόστους ανάπτυξης και σχεδίασης προϊόντων [39].

5.2 Touch Haptic Hardware

Το Touch αποτελείται από μία βάση, μια κεφαλή με έναν βραχίονα και στην άκρη του μία γραφίδα πάνω στην οποία υπάρχουν δύο κουμπιά. Στα σημεία αυτά προσφέρει έξι βαθμούς ελευθερίας (Degrees Of Freedom - DOF) κίνησης βασισμένους σε έξι άξονες. Η γραφίδα είναι το κύριο μέρος του Touch που χειρίζεται ο χρήστης και διαθέτει τρεις βαθμούς ελευθερίας, η οποία παρέχει απτική ανατροφοδότηση ώστε να προσομοιώνεται η επαφή με διάφορες επιφάνειες—από μαλακές έως σκληρές. Προηγούμενες μελέτες έχουν εξετάσει τη χρήση της σε πλαίσια ανθρώπου-μηχανής, κυρίως σε εφαρμογές απτικής καθοδήγησης [38]. Ένας βασικός παράγοντας στον σχεδιασμό της εφαρμογής ήταν ο καθορισμός της βέλτιστης λειτουργικής περιοχής της συσκευής, ώστε να διασφαλίζεται ακριβής και σταθερή αλληλεπίδραση [40]. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της—με υποστήριξη απτικής ανατροφοδότησης 3-DOF και εντοπισμού θέσης 6-DOF—ταιριάζουν πλήρως με τις απαιτήσεις χειρισμού στο εικονικό περιβάλλον [41].



Σχήμα 5.1: Touch Haptic DoF. [56]

Επιπλέον Τεχνικές Λεπτομέρειες:

- Η ακρίβεια της γραφίδας υπολογίζεται στα 0.055 mm (>450 dpi).
- Η μέγιστη δύναμη που ασκεί η συσκευή είναι 3.3 N.
- Η σκληρότητα των εικονικών αντικειμένων που προσομοιώνει σε κάθε άξονα:
X - 1.26 N/mm, Y - 2.31 N/mm, Z - 1.02 N/mm
- Η αδράνεια, δηλαδή η αίσθηση μάζας κατά την κίνηση, της γραφίδας είναι 45 g.
- Στη βάση υπάρχει υποδοχή γραφίδας για αυτόματο καλιμπράρισμα του χώρου εργασίας (workspace).

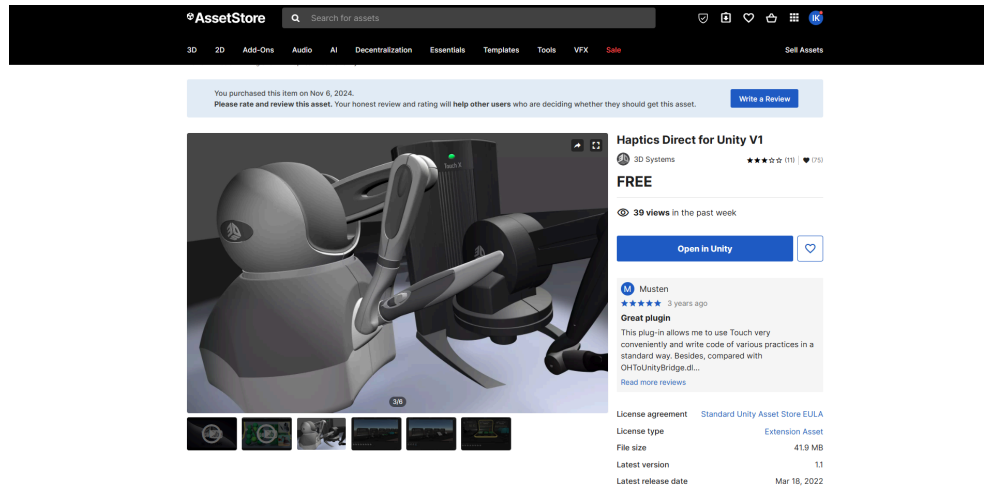
5.3 Touch Haptic Software

Στο επίπεδο του λογισμικού, η συσκευή είναι συμβατή με Unreal Engine, Unity και το OpenHaptics Toolkit με το οποίο έχει αναπτυχθεί.

Το Open Haptics Toolkit είναι ένα κιτ ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Kit - SDK) στο οποίο βασίζεται η λειτουργία του Touch και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη και την προσαρμογή λογισμικού ανάλογα τις ανάγκες του χρήστη. Με αυτό ο προγραμματιστής μπορεί να προσθέσει απτικές και 3D λειτουργίες σε λογισμικό για παιχνίδια, προσομοιώσεις, σχεδιασμό κτλ. Είναι σχεδιασμένο με βάση το OpenGL γεγονός που το κάνει οικείο με προγραμματιστές γραφικών και συμβατό και επεκτάσιμο με το πλήθος των διαθέσιμων βιβλιοθηκών του OpenGL. Στην εργασία δεν έχει γίνει άμεση χρήση του Open Haptics Toolkit και ανάπτυξη νέου κώδικα.

Η ενσωμάτωση στα Unreal και Unity Engines γίνεται μέσω του αντίστοιχου HapticsDirect Plugin.

Στο Unity όπου και αναπτύχθηκε η εργασία, το Plugin είναι διαθέσιμο στο Asset Store για γρήγορη προσθήκη του στο project. Ο κώδικας και τα assets του plugin μπορούν να αλλαχθούν από τον προγραμματιστή.



Σχήμα 5.2: Haptics Direct Plugin AssetStore website.

5.3.1 Haptics Direct for Unity V1

Το Haptics Direct for Unity V1 είναι ένα επίσημο plugin από τη 3D Systems. Ενσωματώνει τις λειτουργίες απτικής αίσθησης που προσφέρουν οι συσκευές της εταιρείας (Touch / Touch X / Phantom Premium) σε Unity έργα. [42].

Κάποια χαρακτηριστικά του plugin:

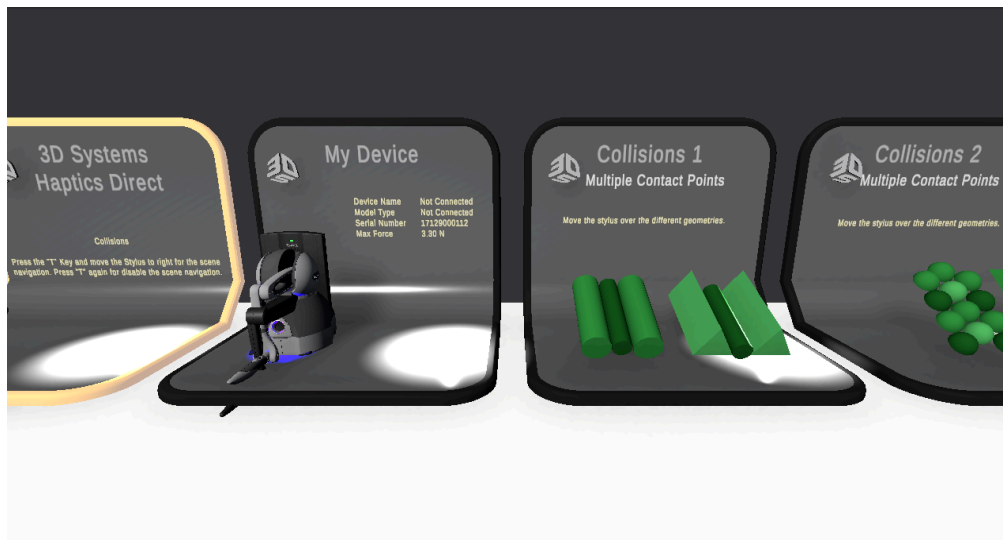
- Drag-and-drop ανάπτυξη: απλοποιημένη ανάπτυξη με έτοιμα prefabs και Unity C# κώδικα.
- Πλήρης υποστήριξη Unity Physics: οι απτικές αλληλεπιδράσεις συνεργάζονται πλήρως με την μηχανή προσομοίωσης φυσικής (physics engine) της Unity.
- Ρυθμιζόμενοι παράμετροι απτικών υλικών: ο προγραμματιστής μπορεί να ενσωματώσει σταθερές ή μεταβλητές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού τιμές στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων όπως σκληρότητα, υφή, απόσβεση.
- Δυνατότητα διασύνδεσης με το Unity UI: απτική αλληλεπίδραση με UI στοιχεία.

Τα περιεχόμενα του Plugin είναι:

- Documentation: το εγχειρίδιο χρήστη για το Plugin.
- Features Scenes: έτοιμες σκηνές για παρουσίαση και εξοικείωση με τις λειτουργίες των Touch συσκευών στο περιβάλλον του Unity.
- Haptic Plugin: αρχεία για την σύνδεση του Unity με τις βιβλιοθήκες συναρτήσεων και σταθερών τιμών του HapticsDirect.
- Haptic Scripts: τα αρχεία του κώδικα, δηλαδή τα βασικά αρχεία που χρειάζονται να προστεθούν σε μία σκηνή για τη λειτουργία της Touch συσκευής, τον κώδικα από τις έτοιμες σκηνές

παρουσίασης και άλλα. Ο προγραμματιστής μπορεί να επέμβει και να τροποποιήσει τον κώδικα στα αρχεία αυτά.

- Prefabs: περιέχει δύο (ένα για το Touch και ένα για το Touch X) έτοιμα αντικείμενα (Haptic Actors) με τα κατάλληλα μοντέλα και κώδικα για την ενσωμάτωση του plugin στην σκηνή.
- Resources: τα τρισδιάστατα μοντέλα, οι υφές, τα αντικείμενα και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις σκηνές παρουσίασης. Αυτά τα αρχεία μπορούν να τροποποιηθούν και χρησιμοποιηθούν και σε άλλες νέες σκηνές.



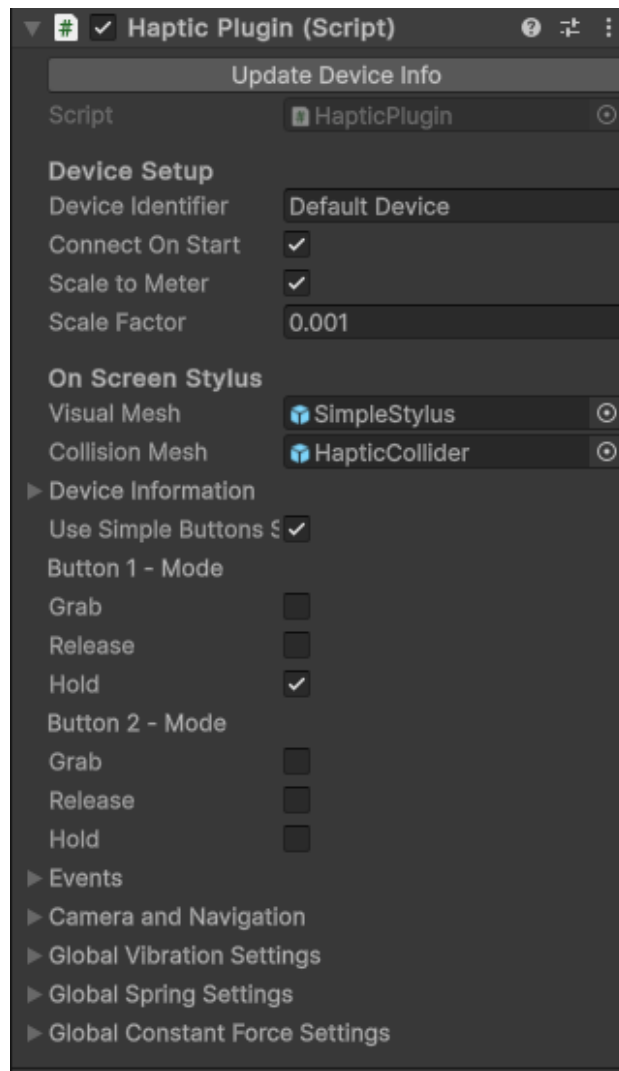
Σχήμα 5.3: Στιγμιότυπο από Feature Scene.

5.3.2 Haptic Actor

Ο Haptic Actor είναι ένα GameObject, αποτελεί το βασικό στοιχείο στη σκηνή του έργου και συνδέει τη φυσική απτική συσκευή με το εικονικό περιβάλλον στο Unity. Ουσιαστικά λειτουργεί ως γέφυρα ανάμεσα στις κινήσεις του χρήστη στον πραγματικό κόσμο και στα προσομοιωμένα αντικείμενα στο ψηφιακό περιβάλλον.

Ο Haptic Actor καλύπτει τρεις ρόλους:

- Περιέχει το Haptic Plugin (HapticPlugin.cs) – το βασικό script που εξασφαλίζει την επικοινωνία με τη συσκευή, διαχειρίζοντας εισόδους και εξόδους (δυνάμεις, παρακολούθηση θέσης και απτική ανατροφοδότηση). Επίσης μέσω του component είναι διαθέσιμες διάφορες ρυθμίσεις του για επεξεργασία, όπως το στήσιμο της κάμερας, η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση λειτουργιών και καθολικές μεταβλητές.
- Αναπαριστά οπτικά τη συσκευή στη σκηνή καθώς και το stylus μαζί με την άκρη του.
- Καθορίζει τα φυσικά όρια της άκρης του stylus (collider), ώστε η απτική συσκευή να ανιχνεύει την επαφή και να παράγει τις αντίστοιχες δυνάμεις ανατροφοδότησης και τις αλληλεπιδράσεις με άλλα αντικείμενα που έχουν το Collider Component.



Σχήμα 5.4: Component του Haptic Plugin στο Haptic Actor.

5.3.3 Haptic Scripts

- **HapticPlugin.cs** – Το κεντρικό script του συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει τις βασικές συναρτήσεις για την ενσωμάτωση του HapticsDirect API στο Unity. Διαχειρίζεται την αρχικοποίηση της συσκευής, τον έλεγχο συμβάντων και την πλοήγηση στο χώρο εργασίας. Παράλληλα παρέχει θεμελιώδεις λειτουργίες, όπως παρακολούθηση θέσης, υπολογισμό δυνάμεων και συγχρονισμό με τη μηχανή φυσικής του Unity.
- **HapticCollider.cs** – Αποσκοπεί στην αναγνώριση και μεταβίβαση των πληροφοριών σύγκρουσης από τα εικονικά αντικείμενα στο HapticPlugin. Εξασφαλίζει ότι όταν η άκρη της γραφίδας έρχεται σε επαφή ή διεισδύει σε ένα αντικείμενο, οι σωστές δυνάμεις υπολογίζονται και επιστρέφονται στον χρήστη. Διαθέτει επίσης ρυθμίσεις που επιτρέπουν τον έλεγχο της σκληρότητας (πόσο μαλακή ή σκληρή είναι μια επιφάνεια) και της τριβής (αντίσταση στην ολίσθηση) κατά την αλληλεπίδραση του stylus με τα αντικείμενα.
- **HapticMaterial.cs** – Αποτελεί το “απτικό υλικό” που όταν προστεθεί σε αντικείμενα, αυτά μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την απτική συσκευή. Περιέχει όλες τις ιδιότητες και τις συναρτήσεις

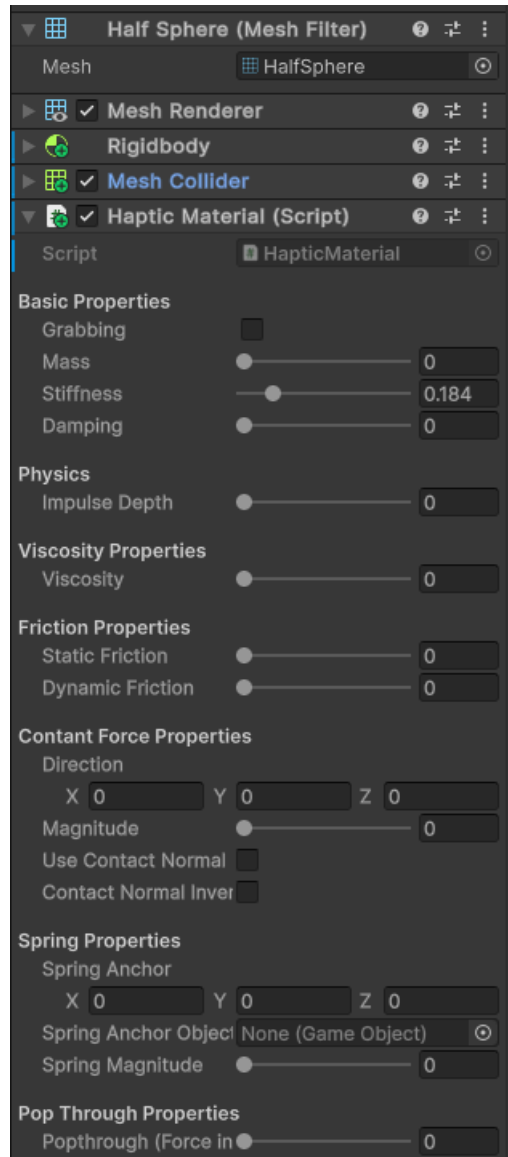
Κεφάλαιο 5

που καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός αντικειμένου στην απτική αλληλεπίδραση. Μέσα από αυτό το script μπορούν να προσομοιωθούν διαφορετικές υφές και αισθήσεις, προσφέροντας στον χρήστη πιο ρεαλιστική και εμπυθιστική εμπειρία και στον προγραμματιστή ένα μεγάλο εύρος επιλογών. Τιμές που μπορούν να τροποποιηθούν μεταξύ άλλων είναι η μάζα του αντικειμένου, σκληρότητα, απόσβεση, τριβή, πυκνότητα και η τριβή.

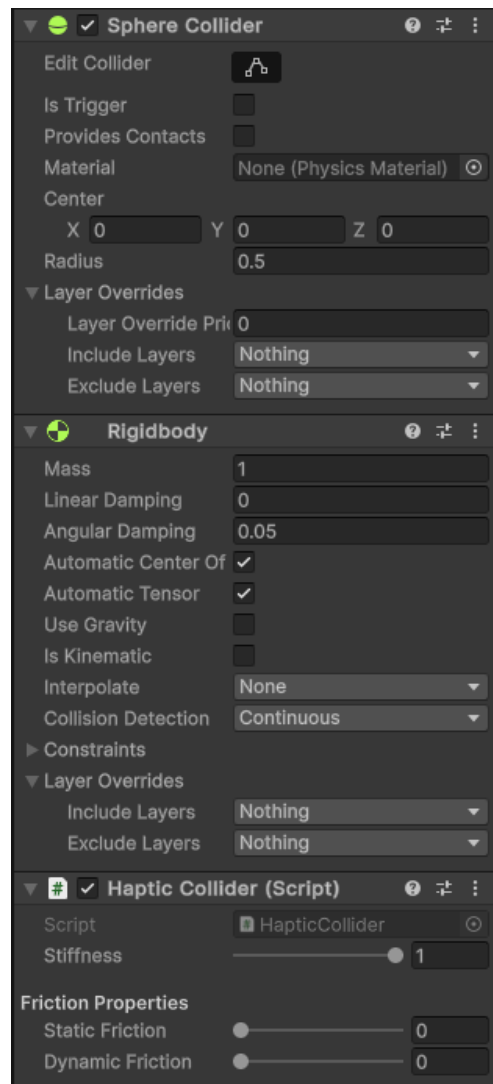
- `VirtualHaptic.cs` – Διαχειρίζεται τη συνολική λειτουργία του εικονικού μοντέλου που προσομοιώνει την φυσική συσκευή Touch.

```
0 references
750 private void FixedUpdate()
751 {
752     if (DeviceHID >= 0)
753     {
754         UpdateDeviceInformation();
755
756         UpdateWorkspaceTransform();
757
758         //if (masterCamera != null)
759         //{
760         CameraUpdate();
761         //}
762
763         UpdateTransform();
764
765         // Check status Global FXs
766
767         if (enable_Vibration)
768         {
769             EnableVibration();
770         }
771         else
772         {
773             DisableVibration();
774         }
775
776         if (enable_gloablSpring)
777         {
778             EnableSpring();
779             /* if (SpringAnchorObj != null)
780             {
781                 setSpringValues(DeviceIdentifier, Vector3ToDoubleArray(gameObject.transform.InverseTransformPoint(SpringAnchorObj.transform.position)
782             )
783             else
784             {
785                 setSpringValues(DeviceIdentifier, Vector3ToDoubleArray(SpringGDir), SpringGMag);
786             }*/
787         }
788         else
789         {
790             DisableSpring();
791         }
792
793         if (enable_GlobalConstForce)
794         {
795             setConstantForceValues(DeviceIdentifier, Vector3ToDoubleArray(ConstForceGDir), ConstForceGMag);
796         }
797
798
799         UpdateButtonStatus();
800         if (bIsRelease && bIsGrabbingActive)
801         {
802             ReleaseObj();
803             bIsGrabbing = false;
804         }
805
806         if (!isTouching)
807         {
808             ActiveMaterials.Clear();
809         }
810
811         SendContactpoints();
812         ContactPointsInfo.Clear();
813
814     }
815 }
816 }
817 }
```

Σχήμα 5.5: Συνάρτηση `FixedUpdate` στο [HapticPlugin.cs](#) για την παρακολούθηση αλλαγών.



Σχήμα 5.6: Components με Haptic Material για αντικείμενο που αλληλεπιδρά με τη συσκευή.



Σχήμα 5.7: Haptic Collider Script και Components για τη δημιουργία του Haptic Collider.

5.3.3.1 Ρυθμίσεις Haptic Collider

Ο κώδικας του Haptic Collider επιτρέπει την προσαρμογή είτε κατά την ανάπτυξη είτε μέσα από το παιχνίδι κάποιων ρυθμίσεων. Μέσω του component του, αλλάζουν τα Stiffness, Static Friction και Dynamic Friction που έχει η σφαίρα του Stylus.

- Το Stiffness, σκληρότητα, του Collider δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν εργαλεία (άκρες του Stylus) διαφορετικής σκληρότητας. Αν τεθεί στο μηδέν, η σφαίρα του Stylus δεν αλληλεπιδρά με άλλες επιφάνειες. Η τελική τιμή του υπολογίζεται σε συνάρτηση και με το Stiffness του Haptic Material.
- Το Static Friction, στατική τριβή, είναι το πόσο εύκολα ολισθαίνει το Stylus ή κάποιο άλλο εργαλείο σε μια επιφάνεια ξεκινώντας από την ηρεμία. Αν η τιμή τεθεί στο μηδέν, τότε δεν υπάρχει τριβή, ενώ το ένα αναπαριστά τη μέγιστη τριβή που μπορεί να αποδώσει η συσκευή.

- Το Dynamic Friction, δυναμική τριβή, είναι το πόσο εύκολα ολισθαίνει το Stylus ή κάποιο άλλο εργαλείο σε μια επιφάνεια ενώ βρίσκεται ήδη σε κίνηση. Αν η τιμή τεθεί στο μηδέν, τότε δεν υπάρχει τριβή, ενώ το ένα αναπαριστά τη μέγιστη τριβή που μπορεί να αποδώσει η συσκευή.

5.3.3.2 Ρυθμίσεις Haptic Material

Ο κώδικας του Haptic Material επιτρέπει την προσαρμογή είτε κατά την ανάπτυξη είτε μέσα από το παιχνίδι κάποιων ρυθμίσεων όπως και το Haptic Collider. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή ήταν οι μάζα, σκληρότητα, απόσβεση, δυναμική και στατική τριβή. Άλλες μεταβλητές που προσφέρει το component για ρύθμιση είναι η ελαστικότητα, πυκνότητα και μαγνητισμός.

- Το Stiffness, σκληρότητα, καθορίζει πόσο "σκληρή" ή σταθερή γίνεται αισθητή μια εικονική επιφάνεια κατά την επαφή μέσω απτικής συσκευής. Βασίζεται στον τύπο $F = Kx$, όπου F είναι η δύναμη, x η μετατόπιση και K η σταθερά ελατηρίου. Αν η σκληρότητα οριστεί στο μηδέν, τότε δεν θα παραχθεί καμία απτική αίσθηση.
- Το Damping, απόσβεση, μειώνει το φαινόμενο αναπήδησης της επιφάνειας. Όταν τεθεί στο μηδέν, αντιστοιχεί σε πολύ ελαστική επιφάνεια καθώς δεν υπάρχει απόσβεση. Στο ένα αντιστοιχεί η μέγιστη απόσβεση που προσφέρει η συσκευή. Συμβάλλει στη μείωση των ταλαντώσεων και του φαινομένου επαναφοράς.
- Το Static Friction, στατική τριβή, είναι το πόσο εύκολα ολισθαίνει ένα αντικείμενο στην επιφάνεια ξεκινώντας από την ηρεμία. Αν η τιμή τεθεί στο μηδέν, τότε δεν υπάρχει τριβή, ενώ το ένα αναπαριστά τη μέγιστη τριβή που μπορεί να αποδώσει η συσκευή.
- Το Dynamic Friction, δυναμική τριβή, είναι το πόσο εύκολα ολισθαίνει ένα αντικείμενο στην επιφάνεια ενώ βρίσκεται ήδη σε κίνηση. Αν η τιμή τεθεί στο μηδέν, τότε δεν υπάρχει τριβή, ενώ το ένα αναπαριστά τη μέγιστη τριβή που μπορεί να αποδώσει η συσκευή.

Κεφάλαιο 6ο: Διαδικασία Ανάπτυξης Εφαρμογής

6.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της εφαρμογής απαιτεί τον συνδυασμό διαφορετικών τεχνολογικών εργαλείων και μεθοδολογιών, με στόχο τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και λειτουργικού συστήματος εικονικής πραγματικότητας με απτική ανατροφοδότηση. Η διαδικασία περιλαμβάνει τόσο τον σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση των τρισδιάστατων αντικειμένων, όσο και την ενσωμάτωσή τους σε ένα διαδραστικό εικονικό περιβάλλον με τη χρήση μηχανών ανάπτυξης παιχνιδιών. Έπειτα σε αυτό το περιβάλλον εισάγονται τα κατάλληλα εργαλεία για την σύνδεση με την απτική συσκευή και τη χρήση της. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ήταν το Blender, το Unity Engine και το Touch Haptic μαζί με το λογισμικό που το συνοδεύει. Ο συνολικός σχεδιασμός της εφαρμογής έγινε σύμφωνα με τα κατάλληλα Φ.Ε.Κ. [31,32].

Στην τελική μορφή της εφαρμογής οδήγησαν πολλαπλές εκδοχές όπου δοκιμάστηκαν και αξιολογήθηκαν διαφορετικές λειτουργίες αλληλεπίδρασης και πλοήγησης στον εικονικό χώρο μέσω του οδηγού όδευσης τυφλών.

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει αναλυτικά τα στάδια αυτής της διαδικασίας, τις τεχνικές επιλογές, καθώς και τις προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν.

6.2 Η Αρχική Ιδέα και η Εξέλιξή της

Η εφαρμογή αρχικά είχε σαν βάση την μοντελοποίηση αντικειμένων και την αναγνώριση τους μέσω της απτικής συσκευής Touch. Σκοπός της ήταν η ανάπτυξη ενός απτικού εργαλείου εντοπισμού πλακιδίων του οδηγού τυφλών και η εξέταση της αποτελεσματικότητας και χρησιμότητας της για άτομα με οπτικές αναπηρίες.

Το θέμα της πτυχιακής εργασίας μου κέντρισε το ενδιαφέρον καθώς ήταν η πρώτη φορά που μάθαινα για τις απτικές τεχνολογίες και τη χρήση τους για την εξυπηρέτηση ευάλωτων ομάδων. Επίσης συνδυάζεται με τον τομέα της δημιουργίας τρισδιάστατων αντικειμένων και της ανάπτυξης παιχνιδιών, κάτι που με ενδιαφέρει χρόνια και θεωρώ χώρο που αφήνει περιθώρια για δημιουργικότητα.

Ο οδηγός όδευσης τυφλών προτείνει κάποια πλακίδια για την ασφαλή πλοήγηση των οπτικά ανάπηρων ατόμων. Αυτά θα ήταν τα αντικείμενα που θα “αγγίζει” ο χρήστης με τη γραφίδα του Touch. Επειδή η απλή στατική αλληλεπίδραση με αντικείμενα που θα είχαν την κατάλληλη γεωμετρία δεν θα ανταποκρινόταν σε πραγματικές συνθήκες και δεν θα παρέχουν εμπύθιση και ενδιαφέρον στον χρήστη, δημιουργήθηκε ένας τρισδιάστατος χώρος. Εκεί ο χρήστης ταυτόχρονα με τον χειρισμό της γραφίδας θα πλοηγείται αξιοποιώντας τις ικανότητές του να αναγνωρίζει τα ειδικά πλακίδια και τις πληροφορίες που δίνουν.

6.2.1 Κίνηση, ορατότητα, ακοή, χειρισμός

Η πρώτη έκδοση της εφαρμογής χρησιμοποιούσε έναν ελεγκτή (controller) για την κίνηση σε πρώτο πρόσωπο από το Asset Store του Unity. Μετά από κάποιες μετατροπές στον αρχικό κώδικα, η κίνηση γινόταν με τα ‘WASD’ κουμπιά ή τα βελάκια, ελεύθερα στους X και Z άξονες. Μέσω της κίνησης του ποντικιού γινόταν περιστροφή μερικών μοιρών στον Y άξονα και ταυτόχρονα ο έλεγχος του εικονικού

απτικού stylus. Αυτή τη λειτουργία του ποντικιού στη συνέχεια την αντικατέστησε το ίδιο το stylus για την εισαγωγή της συσκευής στην εφαρμογή και την απλούστευση της χρήσης (από τρεις συσκευές σε δύο, πληκτρολόγιο και Touch). Η κίνηση όταν υπήρχε κάποια περιστροφή στον άξονα Y, έστριβε τον παίκτη στον χώρο. Έτσι η είσοδος γινόταν μόνο με το πληκτρολόγιο και το Touch, η κίνηση χωρίς περιορισμούς στην πίστα που είχε φτιαχτεί και ο χρήστης είχε οπτική επαφή με το περιβάλλον του παιχνιδιού σε πρώτο πρόσωπο.

Ωστόσο η ελεύθερη κίνηση σε έναν τρισδιάστατο χώρο έφερε προβλήματα αποπροσανατολισμού καθώς η μοναδική αίσθηση που είχε ο παίκτης ήταν αυτή της υψής (στην εφαρμογή προσομοιώνεται η έλλειψη της όρασης). Το θέμα αυτό λύθηκε περιορίζοντας και απλοποιώντας τις κινήσεις που μπορεί να κάνει ο παίκτης. Πλέον κινείται μόνο ένα ένα πλακίδιο τη φορά προς μία κατεύθυνση (ευθεία, δεξιά, αριστερά, πίσω).

Αρχικά καθώς σχεδίαζα την εφαρμογή, την δοκίμαζα έχοντας οπτική επαφή με το περιβάλλον της πίστας για να εξασφαλίσω τη σωστή αλληλεπίδραση, σχεδίαση και κίνηση των αντικειμένων στο παιχνίδι. Ωστόσο αυτό δεν με βοήθησε να καταλάβω ότι η πλοήγηση χωρίς την αίσθηση της όρασης θα είναι πολύ δύσκολη ειδικά σε ένα άτομο που βασίζεται στην αίσθηση αυτήν. Καθώς δεν υπήρχαν περιορισμοί στην κίνηση διαπιστώθηκε ότι πολύ εύκολα ο χρήστης μπορεί να χάσει την αίσθηση του τόπου. Πολλές φορές ο χρήστης θεωρούσε ότι προχωρούσε αλλά στην πραγματικότητα είχε βρεθεί μπροστά σε εμπόδιο και δεν άλλαζε τη θέση του. Επίσης αρκετές φορές έχανε τελείως τον προσανατολισμό του και δεν έκανε πρόοδο στην πίστα. Αυτά είχαν ως αποτέλεσμα να αποθαρρύνουν τον παίκτη και να τον απομακρύνουν από τον αρχικό σκοπό της εφαρμογής.

Για την επίλυση συντάχθηκε η επόμενη έκδοση της εφαρμογής. Ο παίκτης πλέον έστριβε μόνο από συγκεκριμένο input και μόνο κατά 90 μοίρες και διαχωρίστηκε από την κίνηση και την περιστροφή. Το input αυτό γινόταν από δύο κουμπιά του stylus ή του πληκτρολογίου. Ένα για στροφή 90 μοιρών δεξιά και ένα αριστερά. Την έκαστη στροφή συνόδευε και ένα ηχητικό μήνυμα για την ενημέρωση του χρήστη για τη δράση του (“στροφή δεξιά”, “στροφή αριστερά”).

Για τον περιορισμό του παίκτη στην πίστα προστέθηκαν όρια στο πεζοδρόμιο με σκοπό να τον κρατήσουν πιο κοντά στο ειδικό μονοπάτι. Επίσης αυξήθηκε η εμβέλεια της περιστροφής του stylus για την ανίχνευση των επικείμενων πλακιδίων μπροστα-δεξιά, μπροστά και μπροστά-αριστερά.

Ακόμα προστέθηκε και μία αρχική πίστα για την εξοικείωση του παίκτη με το σύστημα χειρισμού. Εκεί μέσω φωνητικών μηνυμάτων ο χρήστης μαθαίνει τα πλήκτρα, την πλοήγηση και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πλακιδίου.

Απαραίτητη είναι και η ομαλή ενσωμάτωση απτικής και ακουστικής ανατροφοδότησης, με σκοπό τη βελτίωση της εμπειρίας χρήσης. Η προσέγγιση αυτή συμφωνεί με τα ευρήματα της Sara Alzabny και των συνεργατών της [43], οι οποίοι υπογραμμίζουν τη σημασία του συνδυασμού απτικών και ηχητικών ερεθισμάτων για την ενίσχυση της προσβασιμότητας των διεπαφών χρήστη.

Σε πολυτροπικά συστήματα, ο σωστός συντονισμός μεταξύ των διαφορετικών τρόπων αλληλεπίδρασης είναι καθοριστικός, ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις ή σύγχυση κατά τη χρήση. Η παρούσα μελέτη εστιάζει σε βασικά χαρακτηριστικά του πολυτροπικού σχεδιασμού—με έμφαση στην απτική ανατροφοδότηση—και εξετάζει την πρακτική εφαρμογή τέτοιων συστημάτων σε πραγματικά περιβάλλοντα [44].

Για την επίτευξη μιας πιο ρεαλιστικής και ελκυστικής εμπειρίας, στην εφαρμογή ενσωματώθηκαν ηχητικά μηνύματα, τα οποία λειτουργούν συμπληρωματικά προς τα απτικά και οπτικά ερεθίσματα. Η ακουστική ανατροφοδότηση αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την ενίσχυση της εμπειρίας χρήσης σε περιβάλλοντα που βασίζονται στην αφή. Στην υλοποίησή μας, οι ηχητικές οδηγίες ενημερώνουν τον χρήστη για τις ενέργειες που βρίσκονται σε εξέλιξη, επισημαίνουν τυχόν σφάλματα και επιβεβαιώνουν την επιτυχή ολοκλήρωση των αλληλεπιδράσεων.

6.2.2 Μετρικές αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση της ικανότητας του παίκτη να πλοηγηθεί επιτυχώς στο περιβάλλον που αναπτύχθηκε με τα τρισδιάστατα αντικείμενα και τη χρήση της απτικής συσκευής δημιουργήθηκε ένα μονοπάτι. Σε αυτό το μονοπάτι τοποθετήθηκαν τα ειδικά πλακίδια σύμφωνα με τον οδηγό όδευσης καθώς και απλά πλακίδια που αντιστοιχούν στο κοινό πεζοδρόμιο. Επίσης μετρικές όπως οι λάθος κινήσεις του παίκτη και ο χρόνος ολοκλήρωσης του μονοπατιού προστέθηκαν για σύγκριση και αξιολόγηση.

Το αρχικό μονοπάτι μετά από δοκιμές κρίθηκε μεγάλο, δύσκολο και κουραστικό στην πλοήγηση. Έτσι δημιουργήθηκαν τρία μικρότερα σενάρια με απλούστερα μονοπάτια. Το πρώτο σενάριο επικεντρώνεται μόνο στην αναγνώριση των διαφορετικών ειδών των πλακιδίων, το δεύτερο έχει μια απλή διαδρομή για προσπέλαση και το τρίτο μια διαδρομή με αυξημένη δυσκολία.

Ακόμα ένα πρόβλημα που προέκυψε ήταν η έλλειψη εξοικείωσης του παίκτη με την απτική συσκευή. Καθώς αυτή η τεχνολογία δεν είναι διαδεδομένη ο νέος χρήστης απαιτεί έναν χώρο για την εκπαίδευση του στις λειτουργίες της. Έτσι προστέθηκε και ένα επίπεδο στην αρχή του παιχνιδιού για την παρουσίαση της συσκευής και των δυνατοτήτων της.

6.3 Οδηγίες του Φ.Ε.Κ.

Η εγκατάσταση των απτικών πλακιδίων για την εξυπηρέτηση των ατόμων με προβλήματα στην όραση είναι απαραίτητη για την ασφαλή και αποτελεσματική κυκλοφορία τους στο δημόσιο χώρο. Πρέπει οι χώροι που χρησιμοποιούνται από τους πεζούς να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές για την ανεμπόδιστη κίνηση, στάθμευση και δραστηριότητα όλων των ατόμων. Ο κύριος κοινόχρηστος χώρος είναι το πεζοδρόμιο. Σε αυτήν την υποενοότητα παρουσιάζονται οι οδηγίες της ελληνικής νομοθεσίας για τη σχεδίαση και τοποθέτηση των πλακιδίων στο εικονικό πεζοδρόμιο.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ Τεύχος Β' 6213/07.12.2022 [31] τα 7-10 εκ. ορίζουν το ιδανικό ύψος του κρασπέδου, ενώ μπορεί να κυμανθεί έως τα 15 εκ.

Το πεζοδρόμιο χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες, με κάθε ζώνη να έχει διαφορετικό σκοπό και χαρακτηριστικά.

α) Ζώνη περιορισμού: εδώ οριοθετείται ο χώρος του πεζοδρομίου με το υπόλοιπο οδικό δίκτυο.

Σε πλάτος είναι ίσο με το κράσπεδο και πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 20 εκατοστών, ενώ μπορεί να κυμανθεί και πάνω από 40 εκατοστά. Στη ζώνη περιορισμού τοποθετούνται και τα κάθετα στοιχεία που διαχωρίζουν το πεζοδρόμιο με το δρόμο.

β) Ζώνη αστικού εξοπλισμού: εδώ τοποθετείται ο αστικός εξοπλισμός και διακοσμητικά στοιχεία του δημόσιου χώρου. Παραδείγματα είναι οι σηματοδότες, οι σημάνσεις, τα φυτά, παγκάκια κτλ. Η ζώνη αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 35 εκατοστά για την υποδοχή του έκαστου εξοπλισμού.

γ) Ζώνη ελεύθερης όδευσης πεζών: εδώ ορίζεται ο χώρος που οι πεζοί κυκλοφορούν ελεύθερα χωρίς εμπόδια. Αυτή η ζώνη έχει ελάχιστο πλάτος 1.5μ και ελάχιστο ύψος 2.2μ. Ο τρέχοντας νόμος απαγορεύει την τοποθέτηση οποιουδήποτε αντικειμένου θα παρεμπόδιζε την μετακίνηση των ατόμων εδώ.

δ) Ζώνη πρόσωσης κτιρίων: εδώ γίνεται κυρίως η αξιοποίηση του πεζοδρομίου για την πρόσβαση στα κατά μήκος κτήρια. Το ελάχιστο πλάτος αυτής της ζώνης είναι 50 εκ.

Έτσι προκύπτουν τα 2.55μ ως το συνολικό ελάχιστο πλάτος πεζοδρομίου.

Πιο συγκεκριμένα, για τα άτομα με οπτική αναπηρία επιβάλλεται ο οδηγός όδευσης τυφλών. Αυτός εντοπίζεται σε μια λωρίδα στη ζώνη ελεύθερης όδευσης πεζών αλλά με διαφορετικό χρώμα και υφή από το υπόλοιπο πεζοδρόμιο. Η θέση του πρέπει να είναι το λιγότερο 50 εκατοστά από την έναρξη του οδικού περιβάλλοντος και το πλάτος της κυμαίνεται από 30 μέχρι 60 εκατοστά. Τα πλακίδια του οδηγού έχουν πλάτος 30 ή 40 εκατοστά και στην αντιολισθηρή επιφάνειάς τους φέρουν αναγνωριστική γεωμετρία ανάλογα τον τύπο χρήσης τους.

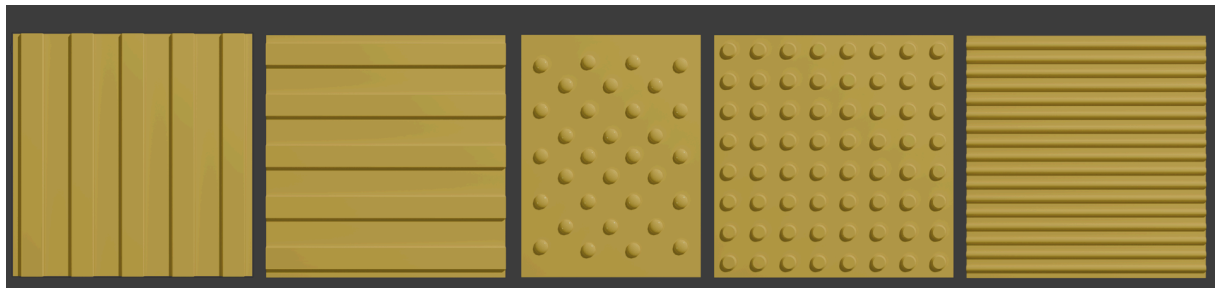
Ο οδηγός όδευσης τυφλών αποτελείται από τέσσερις τύπους τετράγωνων πλακιδίων με τον πρώτο να χωρίζεται σε δύο ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησής του. Κάθε τύπος έχει διαφορετική ανάγλυφη επιφάνεια. Όλα τα πλακίδια τοποθετούνται στη ζώνη ελεύθερης όδευσης πεζών. Δεν υπάρχει συγκεκριμένο υλικό για την κατασκευή τους αλλά είναι υποχρεωτικό να τηρούν τις σωστές διαστάσεις, το κατάλληλο ανάγλυφο και το κίτρινο χρώμα. Επίσης τα πλακίδια μεταξύ τους χωρίζονται από αρμό για να μην παρεμβαίνει στην αναγνώριση των διαφορετικών τύπων και να αποτελούν μία ακέραια οντότητα.

Η απτική ανάγλυφη γεωμετρία του πλακιδίου γίνεται αντιληπτή είτε μέσω της αφής με το ειδικό μπαστούνι είτε μέσω της αφής του πέλματος του ποδιού. Η εφαρμογή που σχεδιάστηκε στα πλαίσια της εργασίας με βάση την απτική συσκευή προσομοιάζει τη χρήση του μπαστουιού.

Πίνακας 6.1: Τύποι Πλακιδίων Οδηγού Τυφλών.

Τύπος	Χρήση	Περιγραφή Γεωμετρίας	Τοποθεσία
A1	Κατεύθυνση (παράλληλο με τη φορά της κίνησης)	Παράλληλες ευθείες λωρίδες	Κατά μήκος της πορείας του πεζοδρομίου
A2	Επικείμενη Στροφή (κάθετη με τη φορά κίνησης)	Παράλληλες ευθείες λωρίδες	Πριν τα σημεία κάθετης αλλαγής κατεύθυνσης

Β	Κίνδυνος	Έντονες φολίδες	Σημεία που απαιτούν την προσοχή των πεζών και των ατόμων με οπτική αναπηρία (πχ. διαβάσεις)
Γ	Αλλαγή Κατεύθυνσης	Πυκνότερες και λιγότερο έντονες φολίδες	Σημεία κάθετης αλλαγής κατεύθυνσης
Δ	Εξυπηρέτηση (παράλληλο με τη φορά της κίνησης)	Στενές και πυκνές ρίγες	Σημεία εξυπηρέτησης (πχ. στάσεις ΜΜΜ)



Σχήμα 6.1: Πλακίδια Οδηγού Τυφλών.

α) Τύπος Α(1): “Κατεύθυνση”. Πλατιές και αραιές ευθείες λωρίδες. Είναι παράλληλες μεταξύ τους και με τον άξονα κίνησης των πεζών. Τοποθετούνται σε όλο το μήκος του πεζοδρομίου που χρειάζεται η καθοδήγηση της πορείας πεζών. Υποδεικνύουν την κατεύθυνση.

β) Τύπος Α(2): “Επικείμενη Στροφή”. Ίδια γεωμετρία με το Α(1) αλλά χρησιμοποιούνται κάθετα στη φορά της κίνησης του πεζού. Τοποθετούνται τρεις στη σειρά πριν και μετά από το σημείο κάθετης στροφής για να προειδοποιήσουν το άτομο.

γ) Τύπος Β: “Κίνδυνος”. Έντονα ανάγλυφες θολωτές φολίδες στην επιφάνεια σε τετράγωνο πλέγμα και με διαγώνια φορά προς τη φορά κίνησης. Προειδοποιούν τον πεζό για επικίνδυνα σημεία στο πεζοδρόμιο. Υποχρεωτικά βρίσκονται σε περιοχές όπως ράμπες, κλίμακες, θύρες ανελκυστήρων, αποβάθρων και προβλητών.

δ) Τύπος Γ: “Αλλαγή Κατεύθυνσης”: Ανάγλυφες επίπεδες φολίδες πυκνότερες αλλά λιγότερο έντονες. Διατεταγμένες σε τετράγωνο πλέγμα με τη φορά της κίνησης. Βρίσκονται μετά ή πριν τα τρία πλακίδια τύπου Β “Επικείμενη κάθετη στροφή” στα σημεία όπου αλλάζει η κατεύθυνση του οδηγού όδευσης και ο πεζός με οπτική αναπηρία πρέπει να προσέξει.

ε) Τύπος Δ: “Εξυπηρέτηση”. Στενές και πυκνές ρίγες που διατρέχουν όλο το μήκος του πλακιδίου. Είναι παράλληλες με τη φορά κίνησης ενώ ενημερώνουν και οδηγούν τα άτομα με οπτική αναπηρία σε σημεία ενδιαφέροντος και εξυπηρέτησης. Τέτοια σημεία είναι στάσεις ΜΜΕ, δημόσιες υπηρεσίες, ειδικές σημάνσεις προσβασιμότητας. Με αυτά τα πλακίδια επιστρώνονται και τα κεκλιμένα επίπεδα.

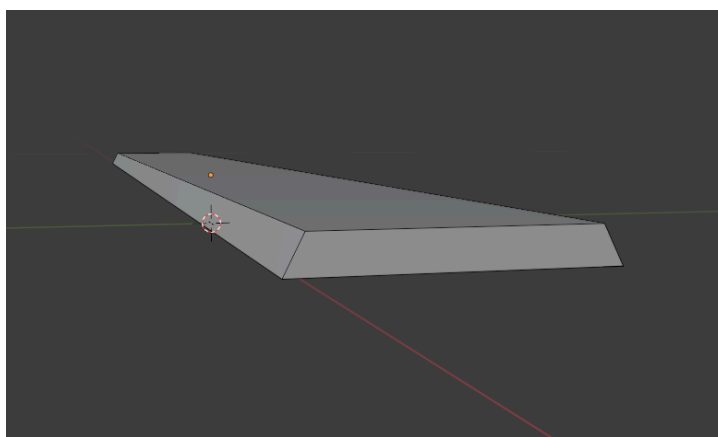
6.4 Σχεδιασμός και μοντελοποίηση στο Blender

Στα πλαίσια της εργασίας, το Blender χρησιμοποιήθηκε για σχεδιασμό και την μοντελοποίηση των πλακιδίων του οδηγού τυφλών και άλλων 3D αντικειμένων για το περιβάλλον των επιπέδων. Αυτά τα πλακίδια διαθέτουν στην επιφάνεια τους ανάγλυφη γεωμετρία θόλους, παραλληλόγραμμα ή ράβδους για τον εντοπισμό τους μέσω της αφής από τα άτομα με οπτική αναπηρία.

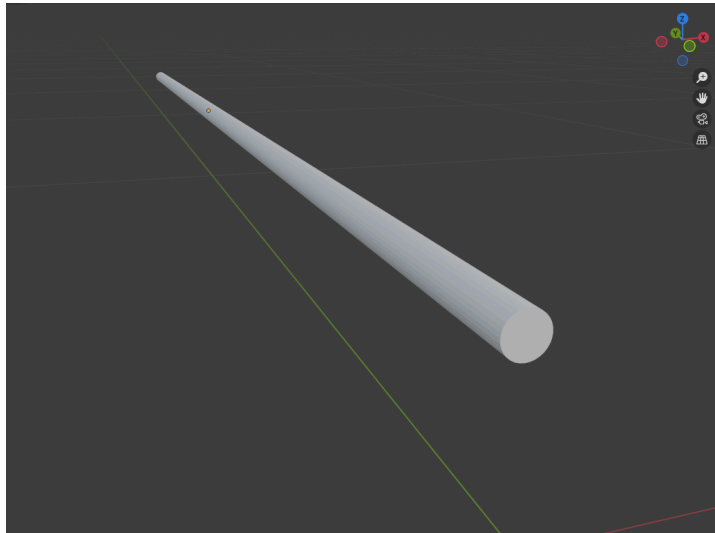
Για το σχεδιασμό τους ακολούθησα τις προδιαγραφές που αναφέρουν τα ΦΕΚ (ΦΕΚ 2/2009 & 2/2022) [31,32] τόσο για τις ακριβείς διαστάσεις όσο και για την ορθή τοποθέτηση των πλακιδίων στο πεζοδρόμιο. Το Blender παρέχει ένα εργαλείο χάρακα (Ruler) για την ακριβή μέτρηση των διαστάσεων. Έτσι διασφάλισα την ακριβή αντιστοιχία μεγεθών των εικονικών με των πραγματικών πλακιδίων.

Κάθε νέο πρότζεκτ στο Blender ξεκινάει με έναν κύβο 2x2x2. Από αυτόν τον κύβο πήρα τη βάση του πλακιδίου αλλάζοντας τις διαστάσεις του ανάλογα τον τύπο του (40x40, 30x40 ή 30x30).

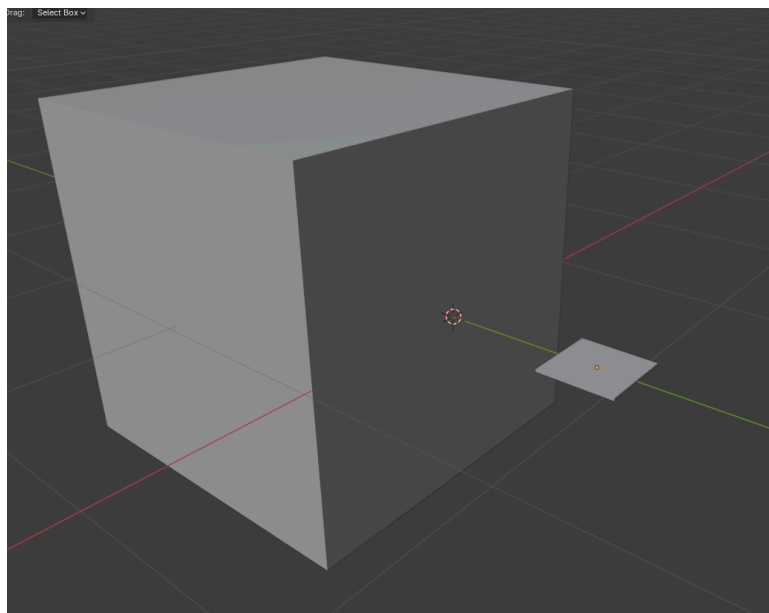
Στη συνέχεια, με την εισαγωγή και επεξεργασία κάποιου βασικού σχήματος Cube, UV Sphere, Cylinder έγινε ο σχεδιασμός της αναγνωριστικής γεωμετρίας η οποία πολλαπλασιάστηκε και στοιχίστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΦΕΚ.



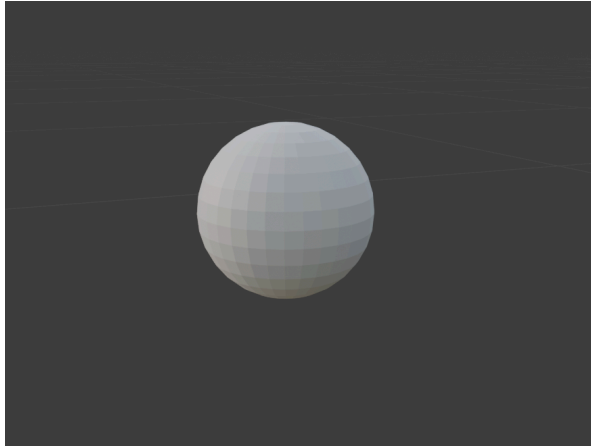
Σχήμα 6.2: Γεωμετρία Πλακιδίου Τύπου Α.



Σχήμα 6.3: Γεωμετρία Πλακιδίου Τύπου Δ.



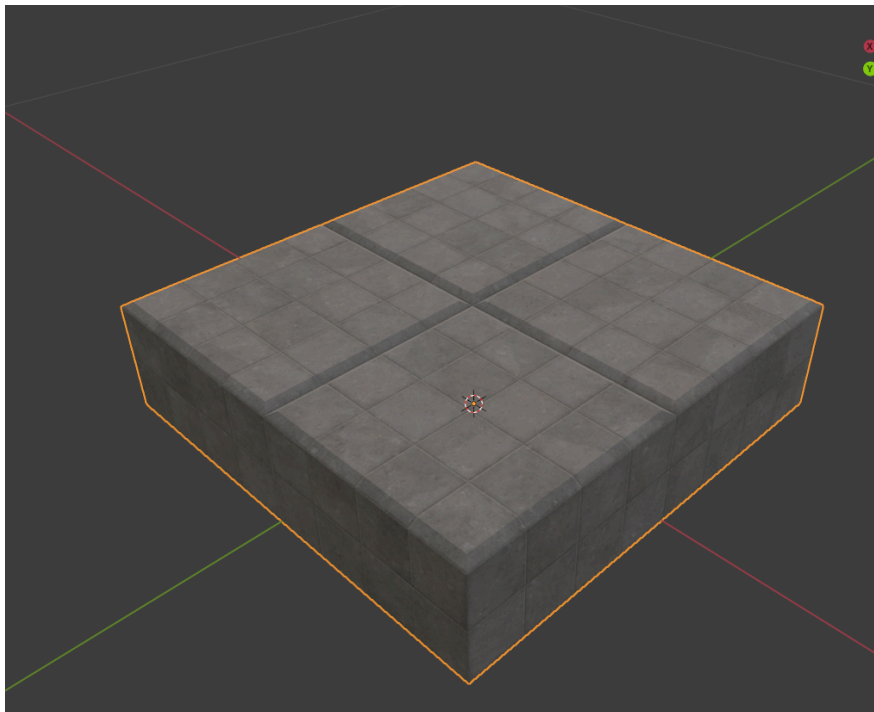
Σχήμα 6.4: Αρχικός κύβος (αριστερά) βάση πλακιδίων (δεξιά).



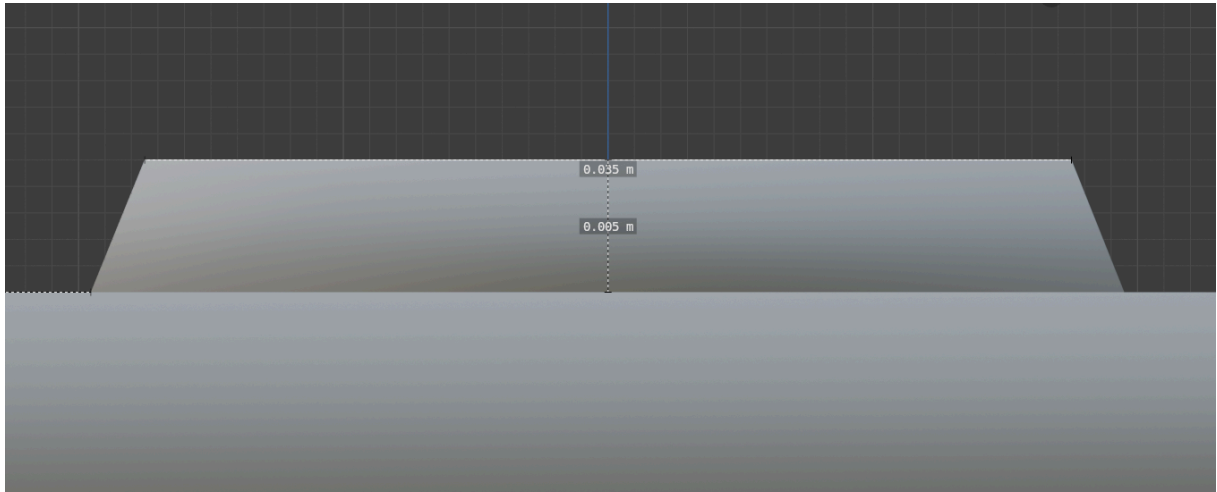
Σχήμα 6.5: Γεωμετρία Πλακιδίου Τύπου Β.

Μαζί με τη δημιουργία των μοντέλων των ειδικών πλακιδίων, έγινε και η δημιουργία άλλων απλούστερων μοντέλων για την συμπλήρωση του εικονικού πεζοδρομίου καθώς και αντικειμένων όπως κιγκλιδώματα για τον εμπλουτισμό του χώρου. Αυτά τα αντικείμενα σχεδιάστηκαν με λιγότερη λεπτομέρεια και στη συνέχεια στο Unity θα έχουν διαφορετικό υλικό από τα ειδικά πλακίδια. Έτσι θα αποφευχθεί η σύγχυση με τον οδηγό όδευσης.

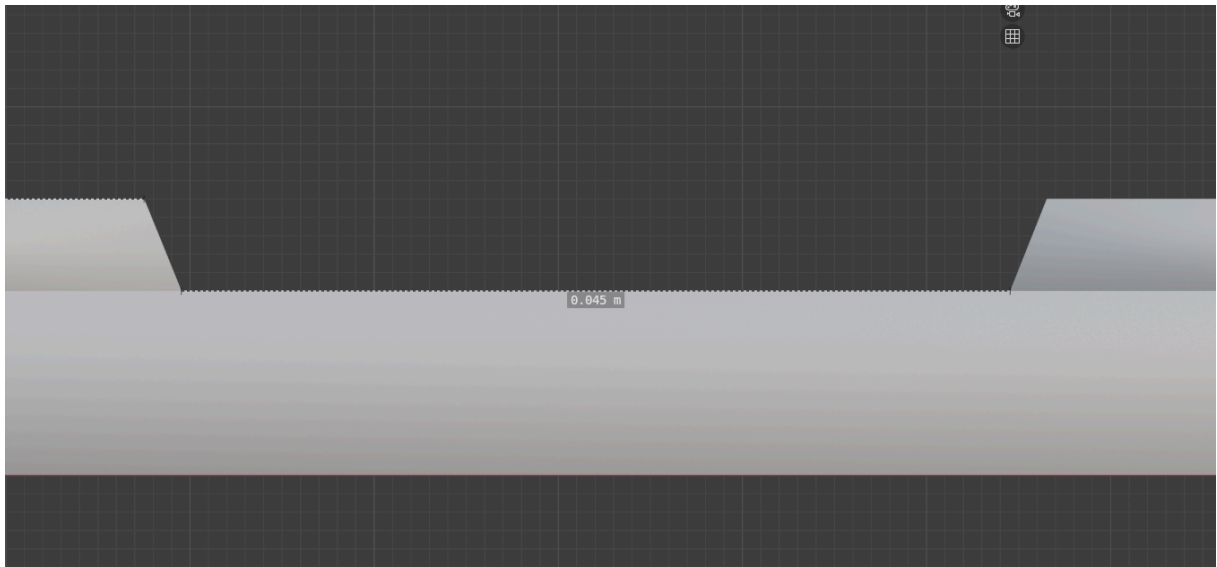
Τέλος έγινε αποθήκευση των μοντέλων ως Wavefront Object, δηλαδή αρχεία που περιέχουν σε κείμενο την περιγραφή των 3D μοντέλων, και η εισαγωγή τους στο Unity.



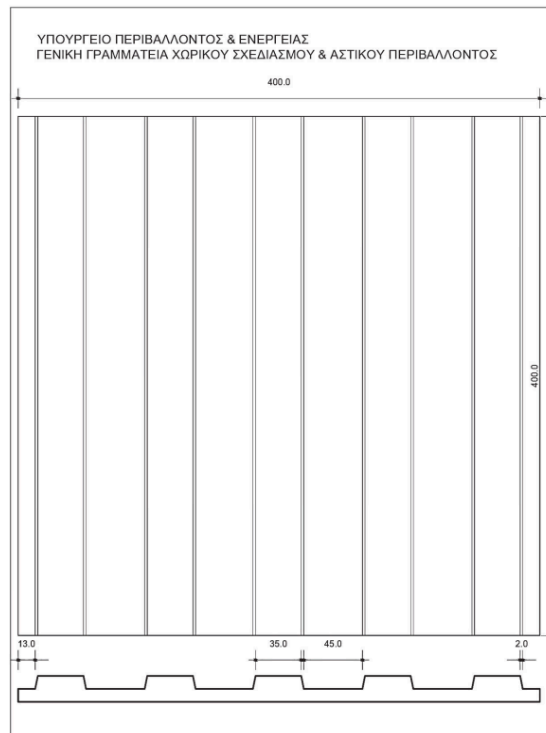
Σχήμα 6.6: Μοντέλο Κρασπέδου.



Σχήμα 6.7: Blender πλακίδιο τύπου Α μέτρηση (α).



Σχήμα 6.8: Blender πλακίδιο τύπου Α μέτρηση (β).



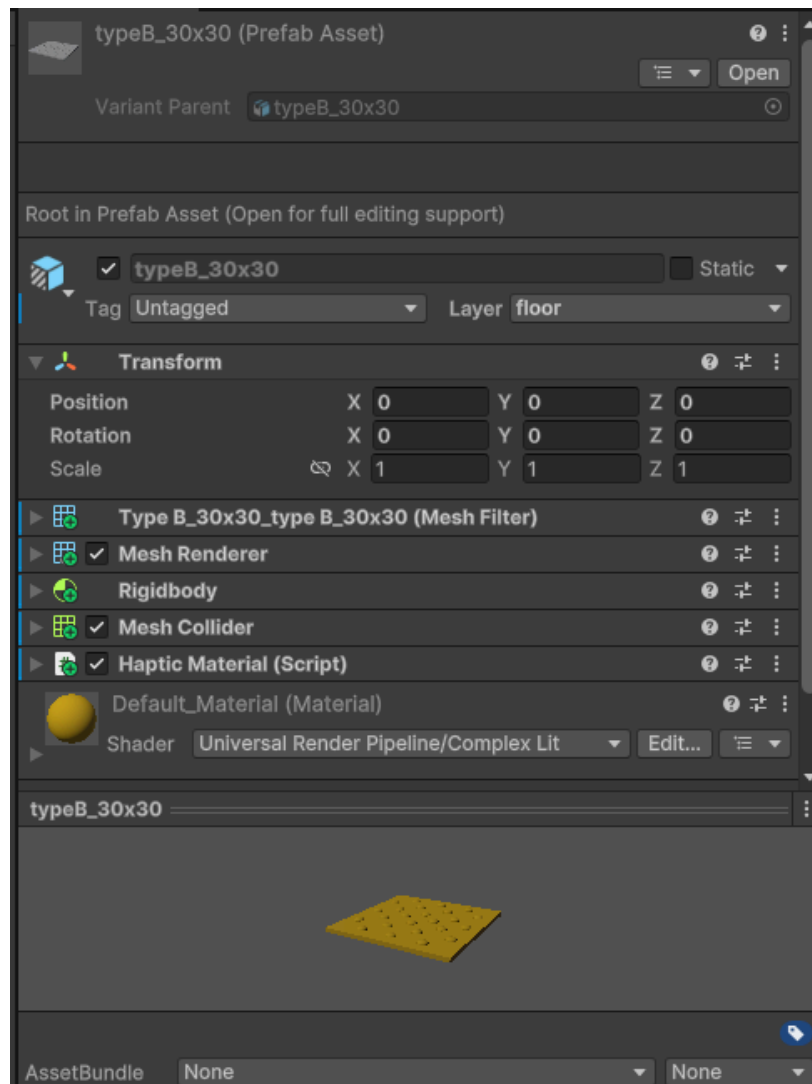
Σχήμα 6.9: ΦΕΚ πλακίδιο τύπου Α - Κατεύθυνση 40x40.

6.5 Σύνθεση στο Unity

Όπως προαναφέρθηκε η πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του λογισμικού που θα αποτελούσε και τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στα τρισδιάστατα μοντέλα, την απτική συσκευή και την διαδραστικότητα, ήταν το Unity.

Στο Unity δημιουργήθηκε ένα νέο πρότζεκτ και εισήχθησαν τα μοντέλα των πλακιδίων που σχεδιάστηκαν στο Blender. Επίσης προστέθηκε μέσω του Asset Store το plugin για τη συσκευή Touch και ακολουθήθηκαν οι οδηγίες για τη σωστή εγκατάστασή του.

Δημιουργήθηκαν prefabs για κάθε αντικείμενο πλακιδίου μαζί με το component του Haptic Material για την δυνατότητα ανάδρασης με τη συσκευή και την παραμετροποίηση των ιδιοτήτων του υλικού που θα αποτελεί τα πλακίδια. Επίσης τοποθετούνται τα components: Mesh Collider για την ανίχνευση συγκρούσεων, Rigidbody για την προσομοίωση φυσικής και Mesh Renderer για την οπτική παρουσία του πλακιδίου.



Σχήμα 6.10: Παράδειγμα Components του Prefab του πλακιδίου Τύπου B 30x30.

6.5.1 Το Modular First Person Controller και οι αλλαγές του

Το πρώτο ζήτημα που χρειάστηκε επίλυση ήταν ο τρόπος με τον οποίο ο παίκτης θα κινηθεί στο χώρο. Επιλέχθηκε η προοπτική πρώτου προσώπου για την καλύτερη εμβάπτιση του παίκτη στο περιβάλλον και την αποφυγή πολυπλοκότητας με την ύπαρξη ενός ενδιάμεσου άβαταρ. Για την υλοποίηση της κίνησης σε πρώτο πρόσωπο έγινε η χρήση του Modular First Person Controller, ενός Plugin από το Asset Store το οποίο προσφέρει έναν έτοιμο ελεγκτή (controller) πρώτου προσώπου με δυνατότητες εξατομίκευσης [45].

Το Modular First Person Controller είναι ένα πρόσθετο για λειτουργίες κίνησης παίκτη σε πρώτο πρόσωπο. Δημιουργός είναι η χρήστης JeCase και η αρχική του δημοσίευση στο Unity Store στις 8 Μαρτίου το 2021. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι η 1.0.1 που δημοσιεύτηκε στις 12 Απριλίου το 2021 και είναι ανοικτού κώδικα. Το πακέτο της έκδοσης αυτής περιλαμβάνει οδηγίες χρήσης, μια σκηνή Demo με τα αρχεία που το αποτελούν, τον κώδικα του προσθέτου και ένα prefab αντικείμενο που υλοποιεί τον διαχειριστή πρώτου προσώπου. Η επιλογή του Modular First Person Controller έγινε

μετά από δοκιμή διάφορων αντίστοιχων προσθέτων. Το συγκεκριμένο κρίθηκε ως το πιο κατάλληλο λόγω της ευκολίας χρήσης και τροποποίησης του καθώς και της ομαλής επίδοσης του.

Πέρα από την λειτουργία απλής πορείας δίνεται η δυνατότητα και για άλλες κινήσεις. Αυτές είναι το σκύψιμο (Crouch), άλμα (Jump), τρέξιμο (Sprint), ανεβοκατέβασμα κεφαλιού (Head Bob). Επίσης υπάρχει δυνατότητα για ζουμ της κάμερας και μετακίνησης της με το ποντίκι. Όλες οι λειτουργίες συνοδεύονται με πλήθος ρυθμίσεων για λεπτομερή προσαρμογή. Ωστόσο η εφαρμογή απαιτεί μόνο την απλή πλοήγηση στον χώρο. Για αυτό τον λόγο έγινε αλλαγή του κώδικα, αφαιρέθηκαν οι περιττές λειτουργίες και απλοποιήθηκε η λειτουργία και η γραφική παρουσίαση του script στο περιβάλλον του Unity.

Ακόμη απενεργοποιήθηκε η μετακίνηση της κάμερας μέσω της χρήσης του ποντικιού για να περιοριστεί η αλληλεπίδραση με την εφαρμογή στο πληκτρολόγιο και το Touch ή μόνο στο Touch. Η εναλλαγή μεταξύ τριών συσκευών (ποντίκι, πληκτρολόγιο, Touch) για την πλοήγηση του παίκτη κρίθηκε δυσλειτουργική και μη πρακτική. Πιο εύχρηστη και φυσική είναι η διαμοίραση όλων των εισόδων στο πληκτρολόγιο και την απτική συσκευή όπου χρειάζονται δύο ή κυρίως ένα χέρι για κάθε συσκευή. Έτσι προκύπτουν δύο μέθοδοι κίνησης. Η πρώτη διαμοιράζει το περπάτημα καθώς και λειτουργίες διαχείρισης της εφαρμογής όπως το κλείσιμο στο πληκτρολόγιο και την κίνηση του stylus, περιστροφής και στροφής του παίκτη στο Touch. Η δεύτερη μέθοδος συγκεντρώνει κάθε μορφή κίνησης στο Touch ενώ το πληκτρολόγιο είναι υπεύθυνο μόνο για τον έλεγχο της ίδιας εφαρμογής.

Εκτός από την αφαίρεση κώδικα από το έτοιμο script, έγινε και πρόσθεση μιας λειτουργίας για την στροφή του παίκτη κατά 90 μοίρες μέσω πληκτρολογίου. Αυτό διεκπεραιώνεται σε συνεργασία με το script που δημιουργήσα, το Stylus to Camera.

Στο Inspector υπάρχει μια περιοχή Turn Player Setup όπου γίνεται η εισαγωγή ενός Player. Σε αυτήν την περίπτωση το Player είναι το Touch αντικείμενο. Με το πάτημα των κουμπιών 'E' ή 'Q' ο κώδικας διαβάζει το Player και το στρίβει 90 μοίρες (δεξιά ή αριστερά αντίστοιχα) στον άξονα Y. Στο Stylus to Camera υπάρχει ως είσοδος ένα αντικείμενο του Touch το οποίο έχει περιστραφεί. Το αντικείμενο αυτό είναι το Joint0 που επηρεάζει τον άξονα X με την κίνηση του Stylus. Έτσι το αντικείμενο που περιλαμβάνει το Stylus to Camera, θα πάρει τη φορά του Touch που άλλαξε μέσω του Turn Player Setup. Στην ουσία η στροφή χρειάζεται ένα ενδιάμεσο αντικείμενο, το Touch. Πρώτα το FirstPersonController στρίβει το Touch και μετά μέσω του Stylus to Camera ενημερώνεται το ίδιο αντικείμενο που έχει το Controller .

Για την γραφική εμφάνιση στο Inspector υπάρχει ο κατάλληλος κώδικας.

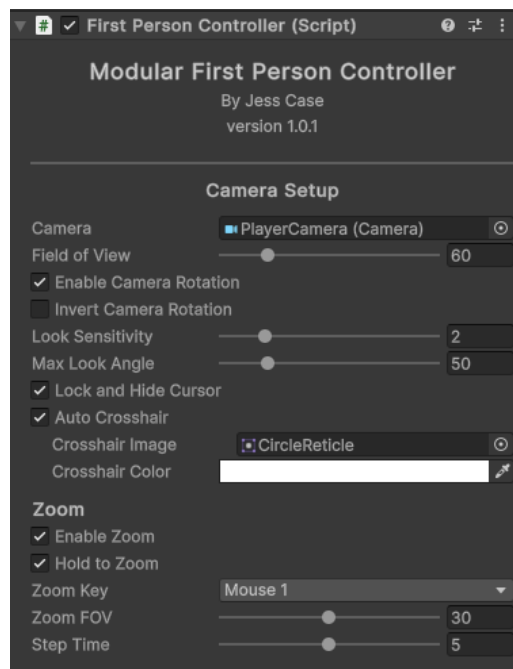
Μετά την ενσωμάτωση του Asset στο project, δημιουργείται ένας φάκελος που περιέχει τα στοιχεία του. Σε αυτά υπάρχει το script που υλοποιεί το Controller και ένα prefab αντικείμενο. Αυτό το prefab έχει μία κάμερα, το script και αντικείμενα για τις λειτουργίες που έχουν ακυρωθεί για το τρέχον project όπως Stamina Bar. Για αυτό το λόγω δεν γίνεται χρήση του prefab αλλά μόνο του τροποποιημένου κώδικα.

Το FirstPersonController.cs μπαίνει σε ένα άδειο αντικείμενο που ονομάζεται ActorHolder.

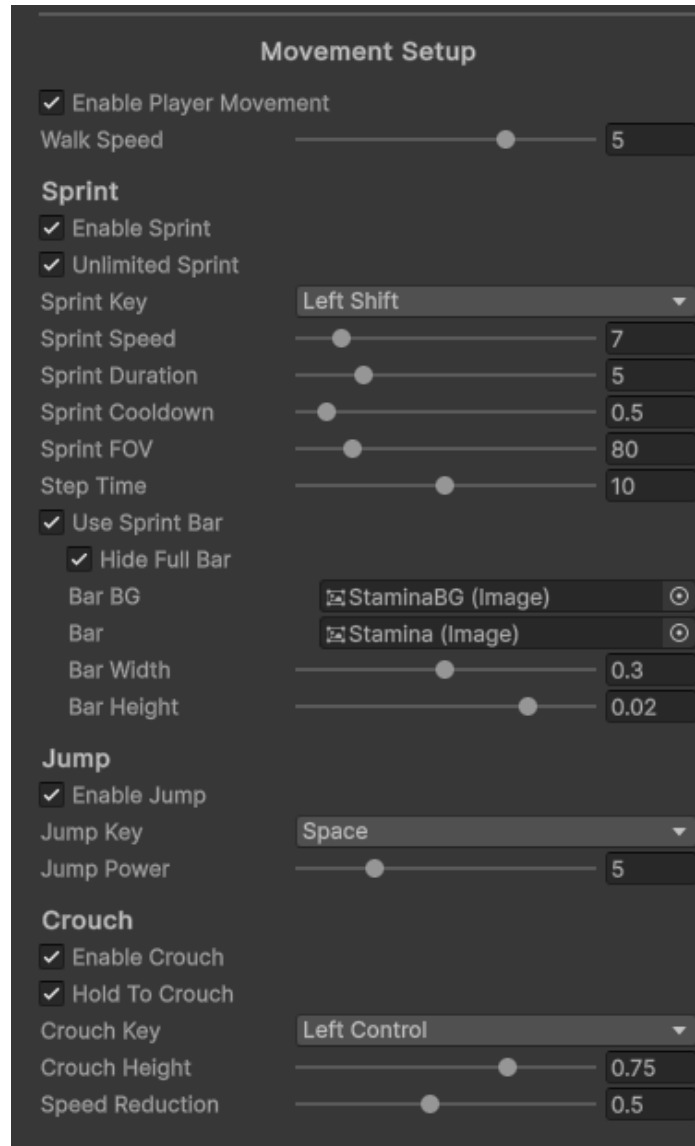


Σχήμα 6.11: Αρχικό Modular First Person Controller Prefab στο Hierarchy.

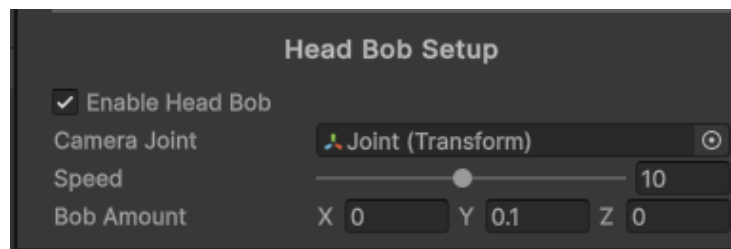
Το Prefab που προσφέρει το Modular First Person Controller περιέχει το script, μία κάμερα και στοιχεία του UI. Πιο συγκεκριμένα το script για τις λειτουργίες του αντικειμένου περιέχονται ως component του parent object. Η κάμερα και τα UI στοιχεία βρίσκονται στο child object 'Joint'. Αυτά είναι υπεύθυνα για το οπτικό κομμάτι του plugin το οποίο όμως στην εφαρμογή υλοποιείται με διαφορετικούς τρόπους. Για αυτό το λόγο δεν γίνεται χρήση του prefab αλλά μόνο του κώδικα στο script του MFPC ο οποίος έχει τροποποιηθεί.



Σχήμα 6.12: Αρχικό Modular First Person Controller στο Inspector (α).



Σχήμα 6.13: Αρχικό Modular First Person Controller στο Inspector (β).



Σχήμα 6.14: Αρχικό Modular First Person Controller στο Inspector (γ).

Στο inspector το component του script έχει την εξής προεπιλεγμένη μορφή (Σχήμα 6.12-6.13).

Μετά την επικεφαλίδα με τον τίτλο του plugin και το όνομα του δημιουργού, το πρώτο τμήμα είναι το Camera Setup. Εδώ είναι λειτουργίες και παράμετροι της κάμερας όπως το Field of View που αλλάζει τη γωνία του οπτικού πεδίου, το Zoom και το Crosshair (στόχος). Το επόμενο τμήμα είναι το Movement Setup το οποίο είναι υπεύθυνο για τον τρόπο που θα κινείται ο παίκτης. Υπάρχουν παράμετροι για την ταχύτητα και λειτουργίες όπως Jump (άλμα), Crouch (σκύψιμο) και Sprint. Το τελευταίο τμήμα αποτελείται μόνο από το Head Bob Setup. Αυτό είναι μια λειτουργία κίνησης της κάμερας κατά την κίνηση για την προσομοίωση της κίνησης του κεφαλιού.

Το plugin αν και επιλέχτηκε αρχικά για την ευκολία στην ενσωμάτωση και την ποικιλία των λειτουργιών του, κατά την δημιουργία της εφαρμογής, ο κώδικας του απλοποιήθηκε. Μέσα από τις δοκιμές της εφαρμογής κρίθηκε σημαντικότερη η απλούστευση της και η επικέντρωση στην εκμετάλλευση της Haptic Touch συσκευής. Η κίνηση του παίκτη περιορίστηκε μόνο στη X και Z διάσταση, τα Jump, Zoom, Crouch, Head Bob και Sprint καταργήθηκαν και η ταχύτητά του είναι σταθερή. Ο κώδικας του script εξετάστηκε για τα πεδία που τεκμηριώνουν τις παραπάνω μεθόδους και τις μεταβλητές με σκοπό την ασφαλή διαγραφή τους. Επίσης έγινε και η τροποποίηση των αντίστοιχων γραμμών κώδικα της πλέον απλουστευμένης γραφικής αναπαράστασης του Component του Script στον Inspector.

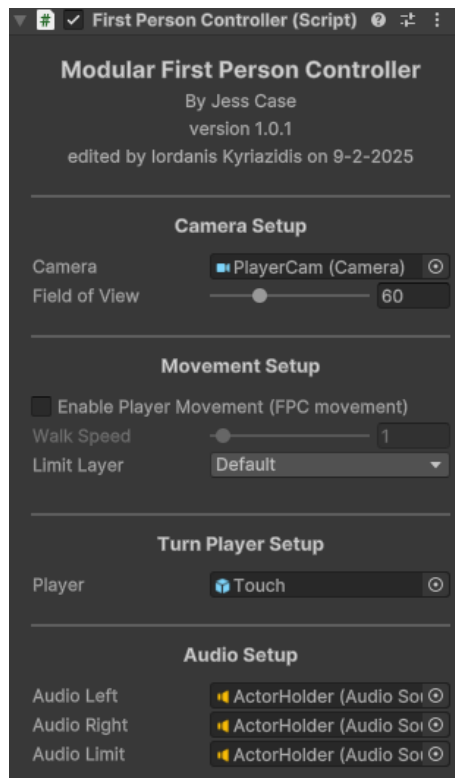
Το script του Modular First Person Controller δημιουργεί ένα Vector3 βασισμένο στην είσοδο από τον χρήστη. Ανάλογα την είσοδο υπολογίζεται η κατεύθυνση και η ταχύτητα του παίκτη στον οριζόντιο και κάθετο άξονα Πατώντας τα A/D ή αριστερό/δεξί βελάκι, η κίνηση θα γίνει στον οριζόντιο άξονα ενώ με τα W/S ή πάνω/κάτω βελάκι, η κίνηση θα γίνει στον κάθετο άξονα. Ωστόσο όταν η είσοδος αποτελείται και από τους δύο άξονες ταυτόχρονα, η κατεύθυνση θα γίνει διαγώνια αλλά η ταχύτητα θα είναι μεγαλύτερη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μη σταθερή πλοήγηση του παίκτη. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, στον τροποποιημένο κώδικα, χρησιμοποιείται η μέθοδος Normalize() του Vector3 αντικειμένου η οποία διατηρεί την κατεύθυνση του παίκτη αλλά περιορίζει την ταχύτητα ώστε να διατηρηθεί σταθερή.

```

148     if (playerCanMove)
149     {
150         // Calculate how fast we should be moving
151         Vector3 targetVelocity = new Vector3(Input.GetAxis("Horizontal")*-1.0f, 0, Input.GetAxis("Vertical")*-1.0f);
152         // All movement calculations while walking
153
154         if (targetVelocity.magnitude > 1) //otan patas dio koumpia na min trexei pio grigora
155         {
156             targetVelocity.Normalize();
157         }
158
159
160         targetVelocity = transform.TransformDirection(targetVelocity) * walkSpeed;
161
162         // Apply a force that attempts to reach our target velocity
163         Vector3 velocity = rb.linearVelocity;
164         Vector3 velocityChange = (targetVelocity - velocity);
165         velocityChange.x = Mathf.Clamp(velocityChange.x, -maxVelocityChange, maxVelocityChange);
166         velocityChange.z = Mathf.Clamp(velocityChange.z, -maxVelocityChange, maxVelocityChange);
167         velocityChange.y = 0;
168
169         rb.AddForce(velocityChange, ForceMode.VelocityChange);
170

```

Σχήμα 6.15: Απόσπασμα κώδικα για την κίνηση στο MFPC.



Σχήμα 6.16: Τροποποιημένο Modular First Person Controller.

Εκτός από τις αλλαγές που έγιναν στον ήδη υπάρχων κώδικα και την αφαίρεση λειτουργιών, έγιναν και προσθήκες νέου κώδικα. Οι προσθήκες αυτές είναι μια επιπλέον μέθοδος κίνησης (προεπιλεγμένη στην εφαρμογή), στροφή 90 μοιρών του παίκτη και ένας χειριστής ηχητικών μηνυμάτων σχετικών με την κίνηση.

Το νέο Component αποτελείται από τέσσερις τομείς.

Στον πρώτο, το Camera Setup, η μόνη ρυθμίσεις που έχουν διατηρηθεί είναι το πεδίο εισαγωγής της κάμερας (Camera) και το Field of View για τη γωνία θέασης.

Ο δεύτερος, Movement Setup, καθορίζει ποιο σύστημα κίνησης θα χρησιμοποιηθεί ανάμεσα στο τροποποιημένο προεπιλεγμένο του plugin ή στο νέο δικό μου. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι ο αρχικός τρόπος κίνησης επιτρέπει τον παίκτη να κινείται ελεύθερα στο χώρο ανάλογα με την ταχύτητα που έχει θέσει. Αντιθέτως το νέο σύστημα κίνησης περιορίζει τον παίκτη σε μετακίνηση ενός πλακιδίου τη φορά με κατεύθυνση ανάλογη του input (μπροστά-W, δεξιά-D, αριστερά-A, πίσω-S). Επίσης υπάρχει το πεδίο Limit Layer το οποίο φροντίζει να περιορίζει την πλοήγηση του παίκτη στα όρια που έχουν καθοριστεί από αντικείμενα στο Default Layer. Μετά το input κίνησης, ελέγχεται αν αυτή η μεταφορά του παίκτη είναι εντός ορίων και πραγματοποιείται μόνο τότε. Σε περίπτωση που εντοπιστεί όριο, ο χρήστης ενημερώνεται με ένα ηχητικό μήνυμα από το Audio Setup του Component. Αυτή η λειτουργία προστέθηκε όταν η εφαρμογή δοκιμάστηκε με το Dark Mode, δηλαδή χωρίς ο παίκτης να βλέπει το παιχνίδι. Συμβάλλει με τρεις τρόπους στην ευχρηστία του παιχνιδιού. Πρώτον περιορίζει την πλοήγηση σε μικρότερη κλίμακα, έτσι επιτρέπεται η καλύτερη αξιολόγηση της Haptic συσκευής, δεύτερον ενημερώνει για τυχόν λανθασμένες κινήσεις και κατατοπίζει τον παίκτη στον χώρο και τρίτον με την καταμέτρηση των λανθασμένων κινήσεων προσφέρει μια μέτρηση για την έρευνα στην χρήση της συσκευής.

```

231     private bool isInLimits(Vector3 targetPos){ //elegxos me raycast an iparxei empodio
232
233
234         Vector3 direction = (targetPos - transform.position).normalized;
235         RaycastHit hit;
236
237         Debug.DrawRay(transform.position, direction * tileSize, Color.red, 10f);
238         if (Physics.Raycast(transform.position, (targetPos - transform.position).normalized, out hit, tileSize, limitLayer))
239         {
240
241             Debug.Log("limit on the way");
242
243             if(audioSourceLimit!=null && !audioSourceLimit.isPlaying) {
244                 audioSourceLimit.Play();
245                 mistakeCount++;
246             }
247             return false;
248
249         }return true;
250     }
251
252     2 references
253     public int getMistakeCount(){
254         return mistakeCount;
255     }
256

```

Σχήμα 6.17: Απόσπασμα κώδικα Modular First Person Controller.

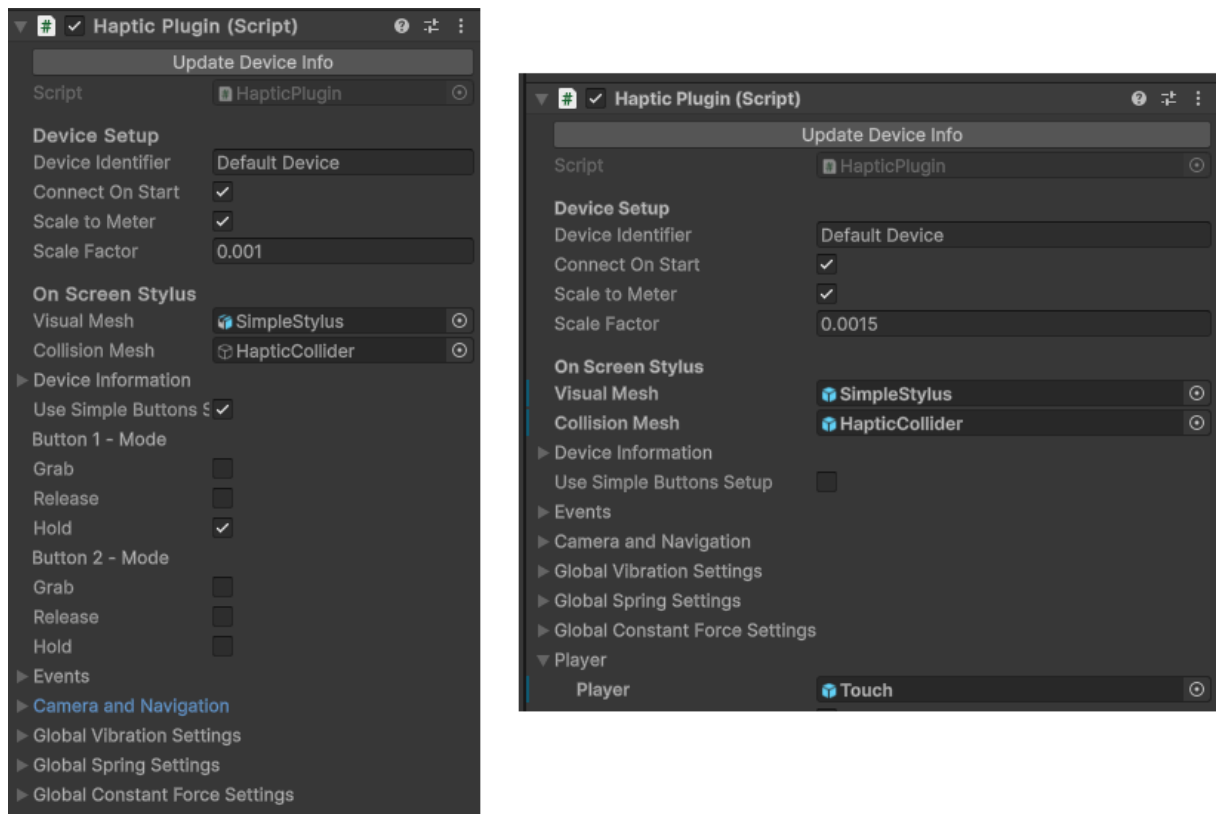
Ο τρίτος τομέας του component, Turn Player Setup, αντιπροσωπεύει κώδικα που δίνει στον παίκτη τη δυνατότητα να στρίψει 90 μοίρες είτε δεξιά πατώντας το E, είτε αριστερά πατώντας το Q. Και στα δύο συστήματα κίνησης ο παίκτης μπορεί να στρίψει μόνο με ξεχωριστό input και όχι με το ίδιο input κίνησης από το πληκτρολόγιο ή κουνώντας το stylus. Η στροφή του παίκτη εκτελείται εμμέσως. Μετά το input Q ή E, θα προστεθούν ή θα αφαιρεθούν αντίστοιχα 90 μοίρες του άξονα Y στο Rotation του Transform του GameObject που έχει δηλωθεί στον Inspector ως Player. Έχει σημασία το αντικείμενο αυτό να μην είναι το ίδιο αντικείμενο που περιέχει το script γιατί δημιουργούνται προβλήματα ανατροφοδότησης. Έτσι αλλάζει το Touch Game Object το οποίο με τη σειρά του θα αλλάξει το rotation του παίκτη.

Ο τελευταίος τομέας αφορά τη διαχείριση ηχητικών μηνυμάτων. Τα Audio Left και Audio Right είναι υπεύθυνα για την αναπαραγωγή του κατάλληλου μηνύματος μόλις ο παίκτης εκτελέσει στροφή 90 μοιρών. Τα μηνύματα αυτά είναι “Στροφή Αριστερά” και “Στροφή Δεξιά”. Το Audio Limit παίζει έναν ήχο για να ενημερώσει τον παίκτη ότι η κίνηση του δεν είναι μέσα στα όρια της πίστας και δεν θα πραγματοποιηθεί.

6.5.2 Τροποποιήσεις στο Haptic Plugin Script

Ο κώδικας που προσφέρει το πρόσθετο της συσκευής Touch αποτελεί το αναγκαίο script για τη σύνδεση της συσκευής με το Unity και την υλοποίηση μιας απτικής εφαρμογής με χειρισμό μέσω της συσκευής. Το plugin αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες στον χρήστη, όπως να γραπώνει και να κρατάει αντικείμενα. Ωστόσο λειτουργίες όπως αυτές δεν ήταν απαραίτητες για την εφαρμογή μου οπότε για λόγους απλότητας ο αρχικός κώδικας τροποποιήθηκε για να αφαιρεθούν. Επίσης έγινε επέμβαση στον κώδικα για να διορθωθεί ένα λάθος στη συγγραφή του από τους δημιουργούς του αλλά και για να εξυπηρετήσει καλύτερα τις ανάγκες μου.

6.5.2.1 Αλλαγές στο Component του Haptic Script



Σχήμα 6.18: Αριστερά το αρχικό component, δεξιά το νέο.

Όπως προαναφέρθηκε και όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.18 οι επιλογές για τις λειτουργίες του Button 1 και 2 (Grab, Release, Hold) έχουν αφαιρεθεί. Η αλλαγή αυτή εξυπηρετεί στην απλότητα, στη χρήση των κουμπιών για άλλο σκοπό και την επίλυση ενός τεχνικού προβλήματος του αρχικού κώδικα.

Στο κάτω μέρος του component έχει προστεθεί ένα πεδίο, το Player, όπου σαν όρισμα παίρνει το Touch αντικείμενο της σκηνής. Μαζί με το Stylus το Camera Script είναι υπεύθυνα για τη σωστή στροφή του παίκτη.

6.5.2.2 Νέος Ρόλος του Haptic Script

Μία νέα λειτουργία του Haptic Script, είναι η καινούργια χρήση των κουμπιών που βρίσκονται πάνω στο stylus. Με το κάτω κουμπί της γραφίδας, ο παίκτης στρίβει δεξιά κατά 90 μοίρες και ακούγεται το κατάλληλο μήνυμα “στροφή δεξιά”. Ενώ με το πάνω κουμπί ο παίκτης στρίβει αριστερά και ακούγεται το ηχητικό “στροφή αριστερά”.

```

1768
1769 // Button 1
1770 if (LastButtons[0] == 0 && Buttons[0] == 1) // STROFI
1771 {
1772
1773     Events.OnClickButton1.Invoke();
1774     PlayerForRot.transform.Rotate(0, -90.0f, 0);
1775     firstPersonController.audioRight();
1776     botButton = true;
1777
1778 }
1779 // Button 2
1780 if (LastButtons[1] == 0 && Buttons[1] == 1) //STROFI
1781 {
1782
1783     Events.OnClickButton2.Invoke();
1784     PlayerForRot.transform.Rotate(0, 90.0f, 0);
1785     firstPersonController.audioLeft();
1786     topButton=true;
1787
1788 }
1789

```

Σχήμα 6.19: Απόσπασμα κώδικα Haptic Script..

Ο κώδικας που ελέγχει ποιά ήταν τα LastButtons και Buttons υπήρχε από την προηγούμενη χρήση τους. Οι νέες γραμμές απευθύνονται στο Rotate, την στροφή, του παίκτη και την αναπαραγωγή του ηχητικού.

Για τον συνδυασμό του MFPC στον τομέα της μετακίνησης και του Haptic Plugin για την κίνηση της γραφίδας δημιουργείται ένα αντικείμενο (Actor Holder) που περιλαμβάνει το script του MFPC και περιέχει ένα child με το script του Haptic Plugin. Έτσι ο χρήστης “περπατάει” στο περιβάλλον και η γραφίδα ακολουθεί και παραμένει στο κέντρο της οθόνης. Καθώς το Haptic είναι σε child object (HapticActor_DefaultDevice), δεν μπορεί να στρίψει άμεσα το parent object με τα κουμπιά. Για αυτό μεσολαβεί το GameObject του Touch. Αυτό μπαίνει σαν όρισμα στο component του Haptic Plugin (κίνηση με τα κουμπιά της γραφίδας) και στο component του MFPC (εναλλακτική κίνηση- ‘Q’ στροφή αριστερά, ‘E’ στροφή δεξιά). Όταν ένα από τα παραπάνω κουμπιά πατηθεί, πρώτα αλλάζει Rotation το Touch και μετά μέσω του Stylus to Camera script, ενημερώνεται αντίστοιχα το Actor Holder και ο παίκτης στρέφεται πια προς τη νέα κατεύθυνση.

Ακόμα μια λειτουργία του Script είναι η αρχικοποίηση του αντικειμένου που περιείχε το Haptic Script στον Y άξονα. Κατά τις δοκιμές παρουσιάστηκε ένα bug όπου το stylus στην αρχή της σκηνής εμφανίζονταν κάτω από το επίπεδο του πεζοδρομίου με αποτέλεσμα να σκαλώνει στα άλλα αντικείμενα. Για αυτό προστέθηκε ο παρακάτω κώδικας (initialPositionY()) που μετακινεί ομαλά το αντικείμενο προς τα κάτω κατά μήκος του άξονα Y, μέχρι να φτάσει στην επιθυμητή τελική θέση στο Y. Μόλις φτάσει εκεί, σταματάει να κινείται και απενεργοποιεί το flag για τον έλεγχο.

```

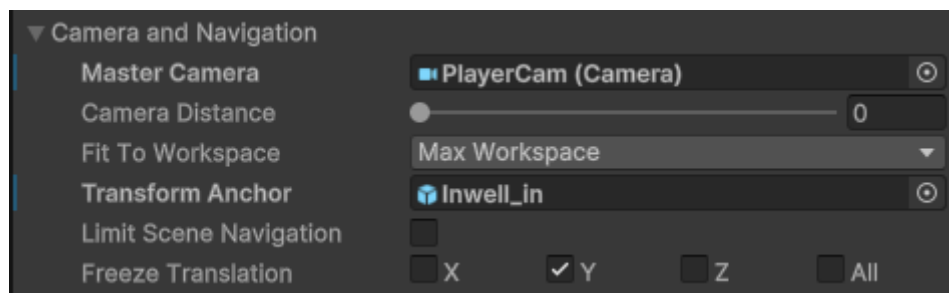
850 | reference
851 | private void initialPositionY()
852 |     {
853 |         if (isInPositionY)
854 |         {
855 |             float targetLocalY = localY + targetY;
856 |             //metakisi pros ta kato ston aksona Y
857 |             float newY = Mathf.MoveTowards(transform.localPosition.y, targetLocalY, speedP * Time.deltaTime);
858 |             transform.localPosition = new Vector3(transform.localPosition.x, newY, transform.localPosition.z);
859 |
860 |             // stamatei otan ftasei ti thesis
861 |             if (Mathf.Approximately(transform.localPosition.y, targetLocalY))
862 |             {
863 |                 Debug.Log(transform.localPosition.y);
864 |                 isInPositionY = false;
865 |             }
866 |         }

```

Σχήμα 6.20: Η συνάρτηση initialPositionY().

Το Haptic Script επιτρέπει στον χρήστη να ενεργοποιήσει τη δυνατότητα πλοήγησης στο χώρο μόνο μέσω του Stylus. Δηλαδή ανάλογα σε ποιόν άξονα στρέψει τη γραφίδα ο παίκτης, προς εκείνη την κατεύθυνση θα “περπατήσει” και το εικονικό του ομότιμο. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών για τον πιο κατάλληλο τρόπο πλοήγησης δοκίμασα και αυτή τη μέθοδο. Εκεί διαπίστωσα ότι ο επίσημος κώδικας έχει ένα σφάλμα που αποτρέπει τη σωστή λειτουργία. Πιο συγκεκριμένα, η πλοήγηση μπορεί να απενεργοποιηθεί (Freeze Translation) για κάποιους άξονες, δηλαδή η συσκευή να μην παίρνει είσοδο όταν ο χρήστης κουνάει προς τα εκεί τη γραφίδα.

Στον κώδικα ελέγχεται ποιοί άξονες έχουν επιλεγεί μέσω if-else τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.



Σχήμα 6.21: Haptic Script Component Freeze Translation.

```

if (FreezeTranslation.HasFlag(Axis.X) || !GetDZZero(0))
{
}

if (FreezeTranslation.HasFlag(Axis.Y) || !GetDZZero(1))
{
}

if (FreezeTranslation.HasFlag(Axis.Z) || !GetDZZero(2))
{
}

```

Σχήμα 6.22: Τα ifs με τα αντίστοιχα flags..

```

1056 if (FreezeTranslation.HasFlag(Axis.Y) || !GetDZZero(1))
1057 {
1058     sty = 0.0f;
1059 }
1060 else
1061 {
1062     //if (isInZone(JointAngles.y, SliderTZ0))
1063     //{
1064     sty = 0.0f;
1065     //}
1066     if (isInZone(JointAngles.y, SliderTZ1n) && inTRange[1])
1067     {
1068         sty = SpeedT1 * -1.0f * ScaleFactor;
1069     }
1070     if (isInZone(JointAngles.y, SliderTZ1p) && inTRange[4])
1071     {
1072         sty = SpeedT1 * ScaleFactor;
1073     }
1074     if (JointAngles.y < SliderTZ1n.x && inTRange[1])
1075     {
1076         sty = SpeedT2 * -1.0f * ScaleFactor;
1077     }
1078     if (JointAngles.y > SliderTZ1p.x && inTRange[4])
1079     {
1080         sty = SpeedT2 * ScaleFactor;
1081     }
1082 }
1083
1084 if (FreezeTranslation.HasFlag(Axis.Z) || !GetDZZero(2))
1085 {
1086     stz = 0.0f;
1087 }
1088 else
1089 {
1090     if (isInZone(JointAngles.z, SliderTZ0))
1091     {
1092         stz = 0.0f;
1093     }
1094     if (isInZone(JointAngles.z, SliderTZ1n) && inTRange[2])
1095     {
1096         stz = SpeedT1 * -1.0f * ScaleFactor;
1097     }
1098     if (isInZone(JointAngles.z, SliderTZ1p) && inTRange[5])
1099     {
1100         stz = SpeedT1 * ScaleFactor;
1101     }
1102     if (JointAngles.z < SliderTZ1n.x && inTRange[2])
1103     {
1104         stz = SpeedT2 * -1.0f * ScaleFactor;
1105     }
1106     if (JointAngles.z > SliderTZ1p.x && inTRange[5])
1107     {
1108         stz = SpeedT2 * ScaleFactor;
1109     }
1110 }
1111

```

Σχήμα 6.23: Το προβληματικό κομμάτι κώδικα στο Haptic Plugin.

Το πρόβλημα εντοπίζεται στο if που ελέγχει τον άξονα Z το οποίο εσφαλμένα βρίσκεται μέσα στο else του if που ελέγχει τον άξονα Y. Με αποτέλεσμα όταν επέλεγα να απενεργοποιήσω μόνο τον άξονα Z να μη γινόταν τίποτα γιατί δεν έμπαινε ποτέ στη συνθήκη αυτή. Η επίλυση του ήταν πολύ απλή καθώς έπρεπε απλά να αφαιρέσω το if του Z από εκείνο το μπλοκ κώδικα και να αποτελέσει ανεξάρτητη συνθήκη.

6.5.3 Αλλαγή στο Haptic Material Script

Στο Haptic Material δεν έγινε κάποια αλλαγή που επηρέασε την εμφάνιση του component του. Η τροποποίηση αυτού του κώδικα έγινε όταν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης γινόταν το στήσιμο της πίστας με πολλά αντικείμενα. Το μεγάλο πλήθος των αντικειμένων οδήγησε στην κατακόρυφη πτώση της επίδοσης της εφαρμογής (καρέ ανά δευτερόλεπτο) και αύξησε τη δέσμευση υπολογιστικών πόρων με αποτέλεσμα η εφαρμογή να είναι μη λειτουργική. Μετά από έλεγχο στο Profiler, η πηγή του προβλήματος βρέθηκε στο Haptic Material. Εκεί υπάρχει η παρακάτω γραμμή κώδικα στο FixedUpdate() η οποία αναζητεί σε όλα τα GameObjects και αποθηκεύει σε ένα array αυτά που έχουν

το Haptic Plugin Script. Μετά ελέγχει αν κάποιο από αυτά έχει “πιάσει” (Grab) το αντικείμενο με το Haptic Material.

```

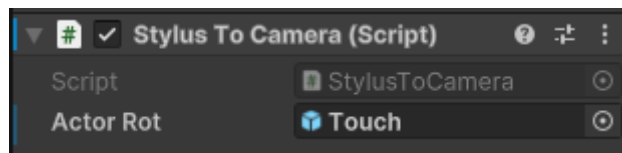
0 references
166 private void FixedUpdate()
167 {
168     HapticPlugin[] HPs = (HapticPlugin[])Object.FindObjectsOfType(typeof(HapticPlugin));
169     foreach (HapticPlugin HP in HPs)
170     {
171         if (HP.GrabObject == this.gameObject)
172         {
173             HPlugin = HP;
174         }
175     }
176 }
177 }
178 }
179 }
180 }
    
```

Σχήμα 6.24: Ο προβληματικός κώδικας στο Haptic Material.

Επειδή η FixedUpdate() καλείται σε κάθε καρτέ του παιχνιδιού και τα αντικείμενα της σκηνής είναι πολλά η διεργασία αυτή επιβαρύνει σημαντικά την επίδοση. Το πρόβλημα λύθηκε απλά με τον κώδικα αυτόν σε σχόλιο καθώς η εφαρμογή δεν θα χρησιμοποιούσε τη λειτουργία του γραπώματος (Grabbing) που προσφέρει η συσκευή Touch. Παραμένει όμως ένα κομμάτι κώδικα στο επίσημο plugin της συσκευής το οποίο είναι προβληματικό και ευάλωτο για σκηνές με πολλά αντικείμενα.

6.5.4 Stylus to Camera Script

Στο ActorHolder Game Object μαζί με το First Person Controller βρίσκεται και το StylusToCamera Script. Αυτό είναι ένα πολύ απλό αρχείο κώδικα το οποίο σε μία γραμμή ενημερώνει το Rotation του αντικειμένου που το καλεί. Κρατάει τις ίδιες μοίρες στον X άξονα και αλλάζει τον άξονα Y σύμφωνα με το αντικείμενο Touch που έχει δηλωθεί ως αναφορά στο Inspector. Σκοπός της χρήσης του είναι η έμμεση αλλαγή του αντικειμένου του παίκτη χρησιμοποιώντας το Touch αντικείμενο ως μεσάζοντα για την αποφυγή feedback loop.



Σχήμα 6.25: Stylus To Camera.

```
transform.rotation= UnityEngine.Quaternion.Euler(transform.eulerAngles.x, ActorRot.transform.eulerAngles.y*-1,0);
```

Σχήμα 6.26: Απόσπασμα Stylus To Camera.

6.5.5 Tile Timer Script

Μία μετρική αξιολόγησης της χρήσης της εφαρμογής αποτελεί ο χρόνος ολοκλήρωσης μίας πίστας. Το Tile Timer Script δημιουργήθηκε ως χρονόμετρο στην εφαρμογή. Ο κώδικας αυτός μετράει τον πραγματικό χρόνο, τον χρόνο που ο χρήστης δεν βρίσκεται στη σωστή διαδρομή και τα προβάλλει στο ανάλογο Label μέσω του UI. Για να εντοπίσει αν βρίσκεται σε λανθασμένη περιοχή, ελέγχει προς τα κάτω από το μοντέλο του παίκτη με Raycast αν υπάρχει το κατάλληλο πλακίδιο. Χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο του 3ου σεναρίου.

```

39 void Update()
40 {
41
42     timerAll+=Time.deltaTime; //metraei olo ton xrono
43     globalSettings.Instance.globalGame3Time=timerAll;
44     mainMenuScript.Instance.setGame3Time();
45
46     checkTile();
47     if(!isOnTile) timerTile+=Time.deltaTime; //otan den einai sta tiles tote auksanete
48
49     if(timerAllLabel!=null) {
50
51         timerAllLabel.text=$"Timer: {timerAll:F2} sec"; //provoli sto label me format F2
52     }
53

```

Σχήμα 6.27: Απόσπασμα Tile Timer .

6.5.6 Check Finish Script

Αυτός ο κώδικας τρέχει για τον έλεγχο του σημείου τερματισμού της πίστας. Πάλι με Raycast κάτω από τον παίκτη αναζητεί το ειδικό επίπεδο τερματισμού. Μόλις το βρεί το παιχνίδι και οι μετρικές σταματάνε ενώ αναπαράγει και ένα ηχητικό μήνυμα.

```

0 references
void Update()
{
    checkFinishPlane();
}

1 reference
private void checkFinishPlane(){ //elegxos me raycast an yparxei apo kato to sosto tile
RaycastHit raycastHit;
if(Physics.Raycast(transform.position,Vector3.down, out raycastHit, distance, isFinishPlane))
{
    if(raycastHit.collider.gameObject.name.Equals("finishPlane"))
    {
        isFinish=true;
        Debug.Log($"GAME OVER");
        Time.timeScale=0;
        audioFinish();
    } else isFinish=false;
}
}

```

Σχήμα 6.28: Απόσπασμα Finish Script.

6.5.7 Dark Mode Script

Η εφαρμογή απευθύνεται σε άτομα με προβλήματα και αναπηρίες στην όραση. Κρίθηκε σημαντικό να προσομοιωθεί η έλλειψη οπτικής επαφής με το περιβάλλον και προστέθηκε στην εφαρμογή η δυνατότητα “μαυρίσματος” της οθόνης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του Dark Mode Script (όταν πατηθεί το ‘Right Control’) ενεργοποιώντας μια οθόνη UI πάνω από την διεπαφή του παιχνιδιού και κρύβοντάς το.

```

32     void Update()
33     {
34
35
36         if(Input.GetKeyDown(KeyCode.RightControl) && Time.timeScale==1){
37             if(visualElement.visible==false) {
38                 visualElement.visible=true;
39             }
40             else visualElement.visible=false;
41
42         }
43
44
45     }}
46

```

Σχήμα 6.29: Απόσπασμα Dark Mode Script.

6.5.8 Main, Second και Tutorial Menu Scripts

Για τη λειτουργικότητα του κύριου και των δευτερευόντων μενού αναπτύχθηκαν δύο σκριπτ τα οποία φροντίζουν και την επικοινωνία με τα οπτικά στοιχεία της διεπαφής.

Από το αρχικό μενού γίνεται η επιλογή των σεναρίων και στο κάτω μέρος προβάλλονται οι μετρικές της επίδοσης σε κάθε σενάριο.

Το δευτερεύον και το μενού του tutorial συναντιούνται στις άλλες σκηνές, κάνουν παύση στο παιχνίδι και επιτρέπουν την επιστροφή στο αρχικό μενού.

```
buttonGame1.clicked+=openGame1;
buttonGame2.clicked+=openGame2;
buttonGame3.clicked+=openGame3;
buttonTutorial.clicked+=openTutorial;
```

Σχήμα 6.30: Απόσπασμα Main Menu Script. Ανοίγει τη σκηνή του αντίστοιχου κουμπιού.

6.5.9 Tutorial Script

Είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του σεναρίου tutorial.

- Παίζει τα κατάλληλα ηχητικά μηνύματα και περιμένει από τον χρήστη να ακολουθήσει τις οδηγίες για να προχωρήσει στο επόμενο.
- Υλοποιεί την κίνηση του παίκτη μεταξύ των επιπέδων με διαφορετικά πλακίδια.

```
80     switch(currentStep)
81     {
82         case tutorialStep.waitReturn:
83             if(Input.GetKeyDown(KeyCode.Return)){
84                 PlayAudioTutorial(0);
85                 labelSteps.text="Press W to move forward";
86                 currentStep=tutorialStep.waitW;
87             }
88             break;
89         case tutorialStep.waitW:
90             if(Input.GetKeyDown(KeyCode.W)){
91                 PlayAudioTutorial(1);
92                 labelSteps.text="Press S to move backwards";
93                 currentStep=tutorialStep.waitS;
94             }
95             break;
96         case tutorialStep.waitS:
97             if(Input.GetKeyDown(KeyCode.S)){
98                 PlayAudioTutorial(2);
99                 labelSteps.text="Press D to move rightwards";
100                currentStep=tutorialStep.waitD;
101            }
102            break;
103
104        case tutorialStep.waitD:
105            if(Input.GetKeyDown(KeyCode.D)){
106                PlayAudioTutorial(3);
107                labelSteps.text="Press A to move leftwards";
108                currentStep=tutorialStep.waitA;
109            }
110            break;
111    }
```

Σχήμα 6.31: Απόσπασμα Tutorial Script. Έλεγχος βημάτων εκπαίδευσης.

6.5.10 Game 1 Script

Είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του πρώτου σεναρίου.

- Δημιουργεί μια τυχαία σειρά των 5 ειδικών πλακιδίων.
- Δίνει την νέα σειρά των πλακιδίων για τον έλεγχο του εξεταστή.
- Μετράει τον χρόνο ολοκλήρωσης.

```

1 reference
public void replaceTiles(){

    string newOrder="";

    List<int> indices = Enumerable.Range(0,originals.Count).ToList(); //ftiaxno ena set me indices kai kano ayto shuffle
    indices=indices.OrderBy(x=> Random.value).ToList();

    List<GameObject> randomListRepl=replacements.OrderBy(x=> Random.value).ToList();

    List<string> replacementOrder = new List<string>();

    for(int i=0; i<5 ; i++){

        int shuffledIndex = indices[i];

        UnityEngine.Vector3 orn=originals[i].transform.position;
        UnityEngine.Vector3 rpl=randomListRepl[shuffledIndex].transform.position;

        randomListRepl[shuffledIndex].transform.position=new UnityEngine.Vector3( orn.x, rpl.y,orn.z);

        // replacementOrder.Add(replacements[shuffledIndex].name);

        newOrder+=randomListRepl[shuffledIndex].name+",";

        Destroy(originals[shuffledIndex]);

    }

    //globalSettings.Instance.globalCorrectOrder= string.Join(", ", replacementOrder);
    globalSettings.Instance.globalCorrectOrder=newOrder;
    mainMenuScript.Instance.setCorrectOrder();
}
    
```

Σχήμα 6.32: Απόσπασμα Game 1 Script. Η τοποθέτηση των πλακιδίων σε νέα τυχαία σειρά.

6.5.11 Game 2 Script

Είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του πρώτου σεναρίου.

- Μετράει το χρόνο ολοκλήρωσης του επιπέδου.
- Υπολογίζει το χρόνο που ο παίκτης δεν είναι στο σωστό μονοπάτι.
- Ενημερώνει το κεντρικό μενού με το χρόνο ολοκλήρωσης και τα λάθη που έκανε ο παίκτης.

6.5.12 Global Settings Script

Αποθηκεύει και δίνει πρόσβαση στις καθολικές τιμές ανάμεσα στις σκηνές όσο μένει ανοιχτή η εφαρμογή. Οι τιμές αφορούν τις μετρικές κάθε παιχνιδιού.

6.5.13 Stylus Settings Script

Είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία της ρύθμισης τιμών του Haptic Script και Haptic Material από τον παίκτη.

- Προβάλλει την αντίστοιχη διεπαφή για τις ρυθμίσεις.
- Δίνει λειτουργικότητα στα UI στοιχεία.
- Ενημερώνει τη συσκευή με την επιλογή των ρυθμίσεων.
- Αποθηκεύει καθολικά τις μεμονωμένες ρυθμίσεις αλλά και τα προκαθορισμένα σετ (Presets).

```

125 void applyTilePreset(int presetNumber){
126
127     GameObject[] allTiles=GameObject.FindObjectsOfType<GameObject>();
128
129     presetSettings.Instance.globalTilePreset=presetNumber; //enimerono to global preset setting
130     mainMenuScript.Instance.setMaterialPreset(); //UPDATE MAIN MENU LABEL
131
132     switch(presetNumber)
133     {
134     case 0:
135         Debug.Log("Preset 1");
136
137         foreach (GameObject gameObject in allTiles){
138             if(gameObject.name.StartsWith("type")){
139                 HapticMaterial hapticMaterial=gameObject.GetComponent<HapticMaterial>();
140                 if(hapticMaterial!=null ){
141                     slTileStiff.value= hapticMaterial.hStiffness=1.0f;
142                     slDamp.value= hapticMaterial.hDamping=1.0f;
143                     slDynTile.value= hapticMaterial.hFrictionD=0.25f;
144                     slStatTile.value= hapticMaterial.hFrictionS=0.25f;
145                 }
146             }
147         }
148         break;
149
150     case 1:
151         Debug.Log("Preset 2");
152         foreach (GameObject gameObject in allTiles){
153             if(gameObject.name.StartsWith("type")){
154                 HapticMaterial hapticMaterial=gameObject.GetComponent<HapticMaterial>();
155                 if(hapticMaterial!=null ){
156                     slTileStiff.value= hapticMaterial.hStiffness=1.0f;
157                     slDamp.value= hapticMaterial.hDamping=1.0f;
158                     slDynTile.value= hapticMaterial.hFrictionD=0.5f;
159                     slStatTile.value= hapticMaterial.hFrictionS=0.5f;
160                 }
161             }
162         }
163     }
164 }

```

```

166     case 2:
167         Debug.Log("Preset 3");
168         foreach (GameObject gameObject in allTiles){
169             if(gameObject.name.StartsWith("type")){
170                 HapticMaterial hapticMaterial=gameObject.GetComponent<HapticMaterial>();
171                 if(hapticMaterial!=null ){
172                     slTileStiff.value= hapticMaterial.hStiffness=1.0f;
173                     slDamp.value= hapticMaterial.hDamping=1.0f;
174                     slDynTile.value= hapticMaterial.hFrictionD=0.75f;
175                     slStatTile.value=hapticMaterial.hFrictionS=0.75f;
176                 }
177             }
178         }
179     }
180 }

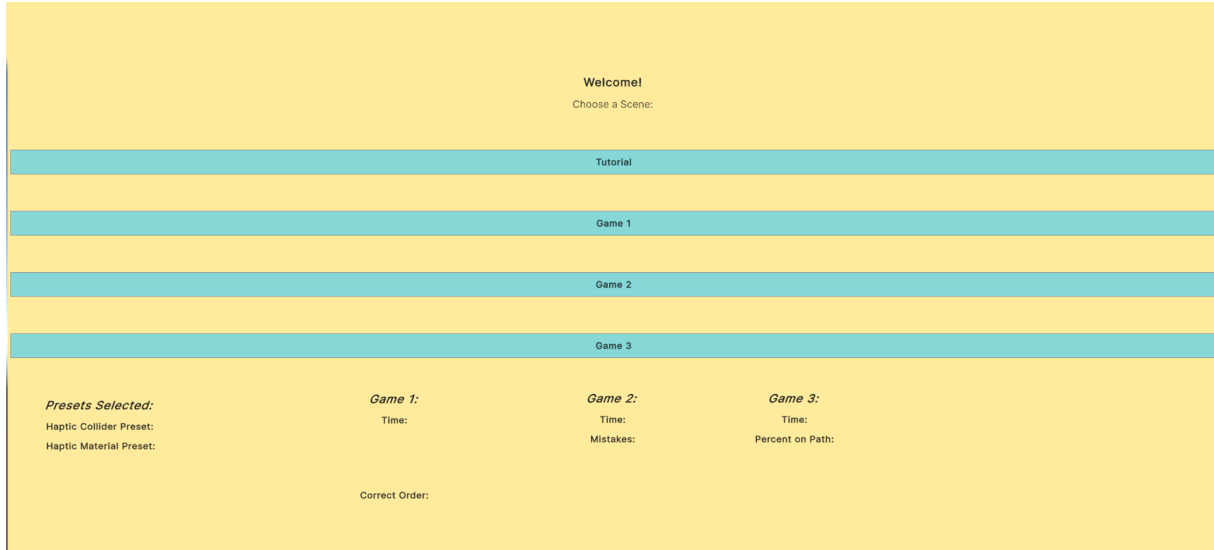
```

Σχήμα 6.33: Απόσπασμα Stylus Settings Script. Τα 3 switch για την εφαρμογή των presets.

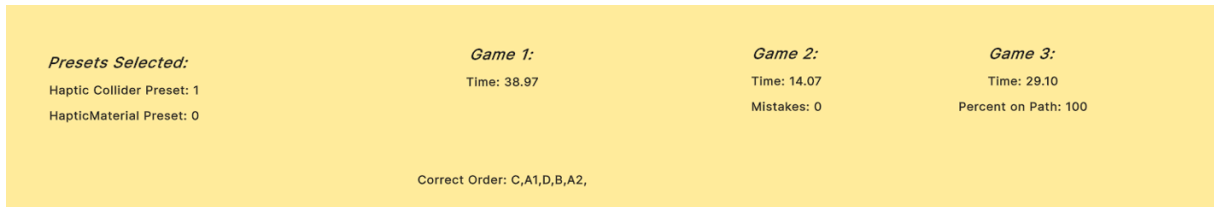
6.6 Στοιχεία του UI

Σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του UI Builder. Υλοποιούν τα μενού, τις επιλογές ρυθμίσεων της γραφίδας και παρουσιάζουν τις μετρικές κάθε σεναρίου.

6.6.1 Main Menu



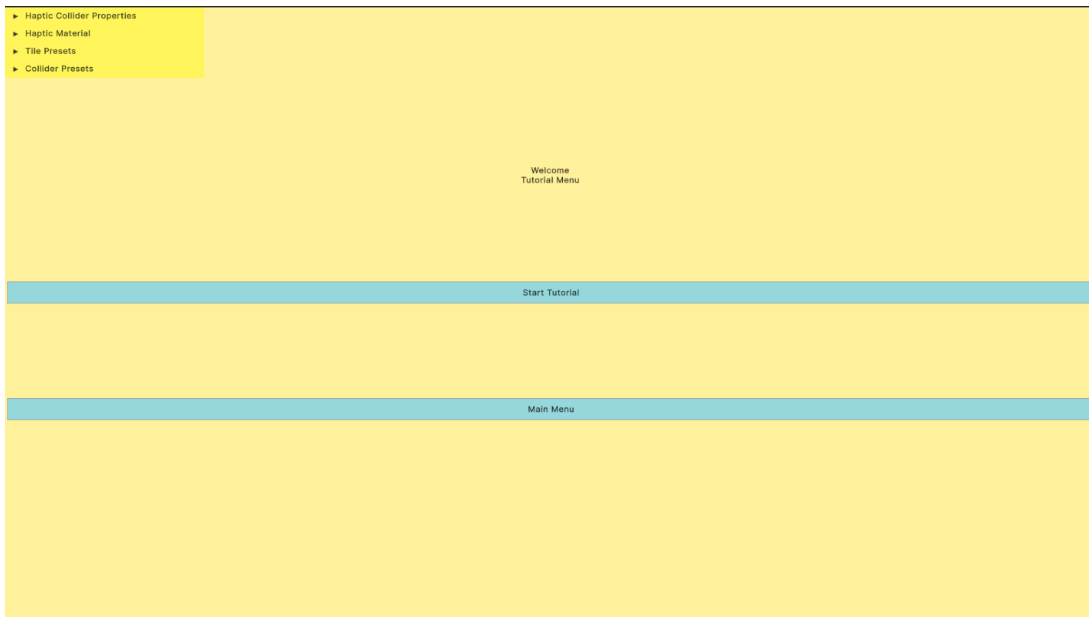
Σχήμα 6.34: Το κύριο μενού στην εκκίνηση της εφαρμογής.



Σχήμα 6.35: Τα αποτελέσματα στον τερματισμό της εφαρμογής.

- Το αρχικό μενού μόλις ξεκινήσει η εφαρμογή.
- Από εδώ επιλέγει ο χρήστης με το κατάλληλο κουμπί ανάμεσα στα σεναρία Tutorial, Game 1, Game 2, Game 3 και εδώ επιστρέφει από τις άλλες σκηνές.
- Προβάλλονται τα Presets που έχουν επιλεγεί για Collider και Material.
- Προβάλλονται τα αποτελέσματα των μετρικών των τριών σεναρίων.
- Προβάλλεται η σωστή σειρά των πλακιδίων του 1ου σεναρίου.

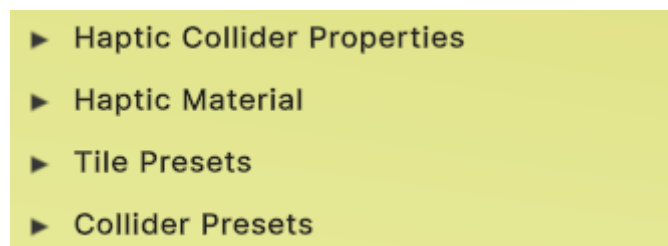
6.6.2 Tutorial και Second Menu



Σχήμα 6.36: Το μενού του Tutorial.

- Εμφανίζονται μετά το κεντρικό μενού για την εκκίνηση της επιλεγμένης σκηνής.
- Εμφανίζονται όταν ο χρήστης σταματάει το παιχνίδι.
- Επιτρέπουν την επιστροφή στο κύριο μενού ή την επιστροφή στο παιχνίδι.

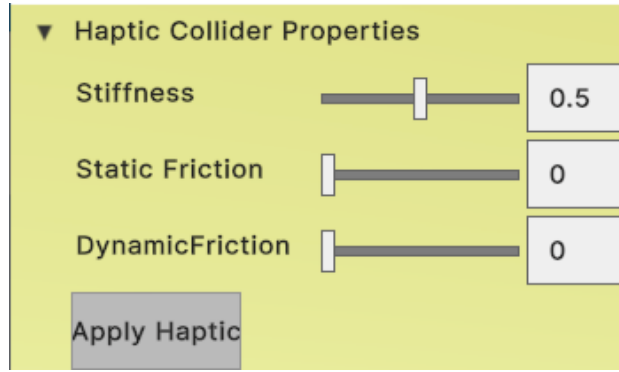
6.6.3 Διεπαφή Ρυθμίσεων



Σχήμα 6.37: Η γενική μορφή της διεπαφής ρυθμίσεων.

Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα ο παίκτης να επιλέξει κάποια απτικά χαρακτηριστικά του υλικού της σφαίρας του Touch ή των πλακιδίων. Αυτά παραμετροποιούνται μέσω ενός παραθύρου στην πάνω αριστερή γωνία του UI του παιχνιδιού. Το παράθυρο χωρίζεται σε τέσσερις υποενότητες.

- Haptic Collider Properties: αλλάζουν τα Stiffness, Static Friction και Dynamic Friction που έχει η σφαίρα του Stylus.



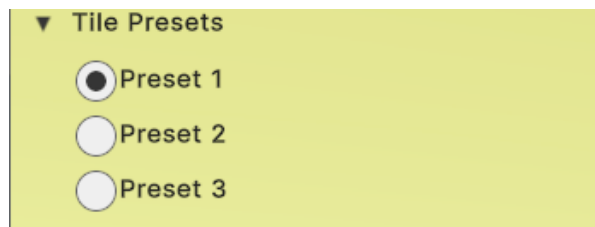
Σχήμα 6.38: Haptic Collider Properties.

- Haptic Material: αφορά τα χαρακτηριστικά των ειδικών πλακιδίων που έχουν το Haptic Material Script, δηλαδή το απτικό υλικό. Εδώ παραμετροποιούνται τα Tile Stiffness, Damping, Static και Dynamic Friction.



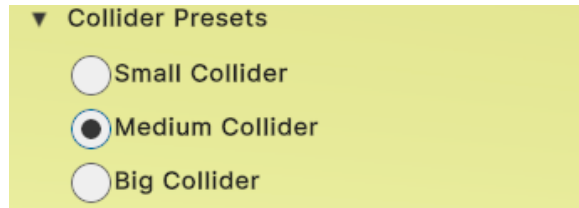
Σχήμα 6.39: Haptic Material Properties.

- Tile Presets: ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ τριών προκαθορισμένων σετ ρυθμίσεων που αφορούν την τριβή του Haptic Material. Οι τιμές σε κάθε Preset είναι οι εξής: Πίνακας 6.2



Σχήμα 6.40: Tile Presets.

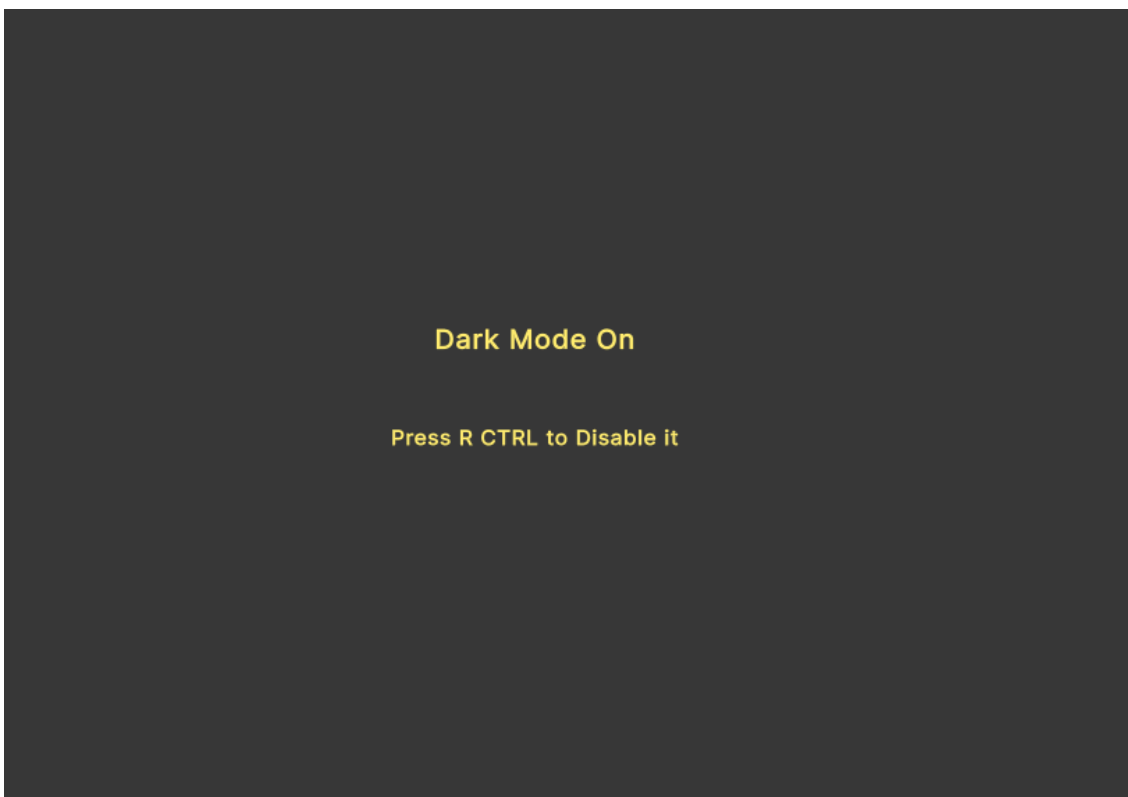
- Collider Preset: προσφέρει τρεις επιλογές για το μέγεθος του Collider της γραφίδας.



Σχήμα 6.41: Collider Presets.

6.6.4 Dark Mode

Εμφανίζεται για να κρύψει το εικονικό περιβάλλον από τον χρήστη. Έτσι βοηθάει στην συγκέντρωση μόνο στην αίσθηση της αφής μέσω της γραφίδας.



Σχήμα 6.42: Dark Mode UI.

6.7 Τα Σενάρια της Εφαρμογής

Η εφαρμογή στην τελική της μορφή χωρίζεται σε τέσσερα επίπεδα. Το ένα αποσκοπεί στην εκπαίδευση του παίκτη για τη χρήση της εφαρμογής, ενώ τα άλλα τρία είναι τα σενάρια στα οποία ο χρήστης θα “εξεταστεί”.

6.7.1 Tutorial

Το πρώτο επίπεδο έχει ως σκοπό τη γνωριμία του παίκτη με το σύστημα ελέγχου, τις λειτουργίες της συσκευής και με τα αντικείμενα στο εικονικό περιβάλλον. Περιέχει επτά πλατφόρμες.

Κατά την εκκίνηση ο παίκτης τοποθετείται στην πρώτη πλατφόρμα (με το πλακίδιο που αναπαριστά την άσφαλο) όπου δέχεται ακουστικές οδηγίες για τη χρήση των πλήκτρων και της συσκευής.

Στη συνέχεια μπορεί να μεταφέρεται κυκλικά στις υπόλοιπες έξι πλατφόρμες (κάθε μία αποτελείται αποκλειστικά από ένα είδος πλακιδίου, είτε των πέντε ειδικών είτε του πλακιδίου πεζοδρομίου).

Σε αυτές τις πλατφόρμες ο χρήστης εξοικειώνεται με τα διαφορετικά απτικά χαρακτηριστικά της γεωμετρίας κάθε πλακιδίου ώστε να αποδώσει καλύτερα στις υπόλοιπες πίστες. Εδώ η έλλειψη οπτικής επαφής με την εφαρμογή δεν είναι αυστηρή αλλά προτιμάται.

Πριν προχωρήσει στις υπόλοιπες πίστες, με την καθοδήγηση του χειριστή, ο παίκτης μπορεί να δοκιμάσει διαφορετικές τιμές στις ιδιότητες των απτικών υλικών και της απτικής γραφίδας. Μέσω της διεπαφής των ρυθμίσεων έχει τη δυνατότητα να αλλάξει μεμονωμένες τιμές ή να επιλέξει προκαθορισμένα σετ (Presets).

Οι μεμονωμένες τιμές:

- Απτική γραφίδα: Stiffness, Dynamic και Static Friction
- Απτικό υλικό: Stiffness, Damping, Dynamic και Static Friction

Τα Presets αφορούν το απτικό υλικό των πλακιδίων και το μέγεθος του σφαιρικού Collider στην μύτη της γραφίδας.

Το Material Preset 1 προσομοιάζει ένα υλικό με λεία επιφάνεια και ελάχιστη τριβή, το Material Preset 3 υλικό με τραχύτερη επιφάνεια όπου η τριβή είναι μεγαλύτερη και η αίσθηση στο Material Preset 2 είναι ανάμεσα στο 1 και 3.

Πίνακας 6.2: Haptic Material Presets.

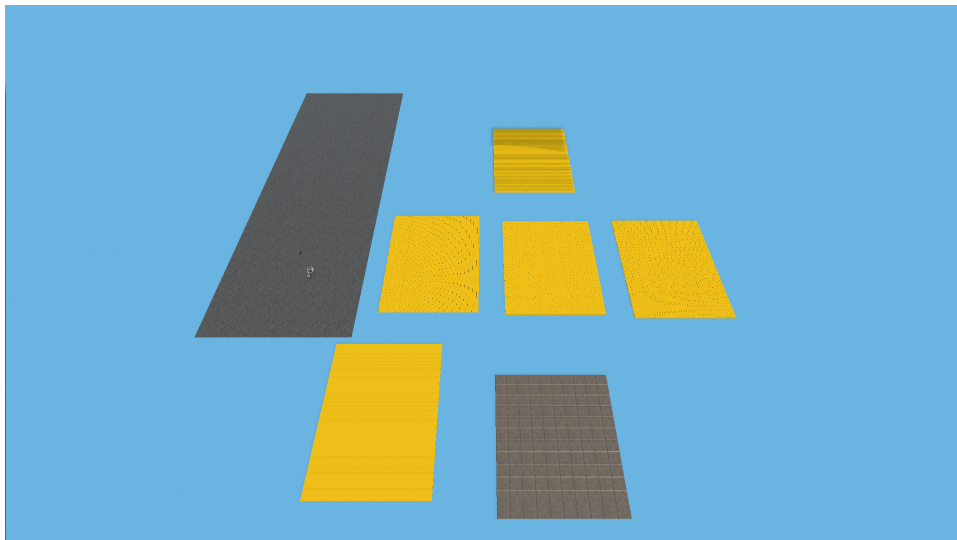
Haptic Material Tile Presets	Tile Stiffness	Damping	Static Friction	Dynamic Friction
Tile Preset 1	1	1	0.25	0.25
Tile Preset 2	1	1	0.5	0.5
Tile Preset 3	1	1	0.75	0.75

Πίνακας 6.3: Collider Presets.

Collider Size Presets	Small Collider	Medium Collider	Big Collider
Μέγεθος	1 cm.	2.5 cm.	4 cm.

Μετά από δοκιμές για το Damping και το Stiffness βρέθηκε ότι η συσκευή στις συγκεκριμένες γεωμετρίες αντιδρούσε πιο ομαλά όταν οι τιμές τους ήταν στο 1. Επίσης θέλαμε να περιορίσουμε για λόγους απλότητας τις διαφορετικές συνιστώσες που αποτελούν τα Presets . Οπότε σε κάθε Preset το Damping και το Stiffness έχουν ως τιμή το 1.

Μέσα από αυτές τις ρυθμίσεις ο παίκτης προσαρμόζει στις δικές του προτιμήσεις τα στελέχη αυτά. Στο πείραμα εξετάστηκαν ποιές τιμές προτίμησαν οι παίκτες.



Σχήμα 6.43: Οι πλατφόρμες πλακιδίων στο Tutorial.

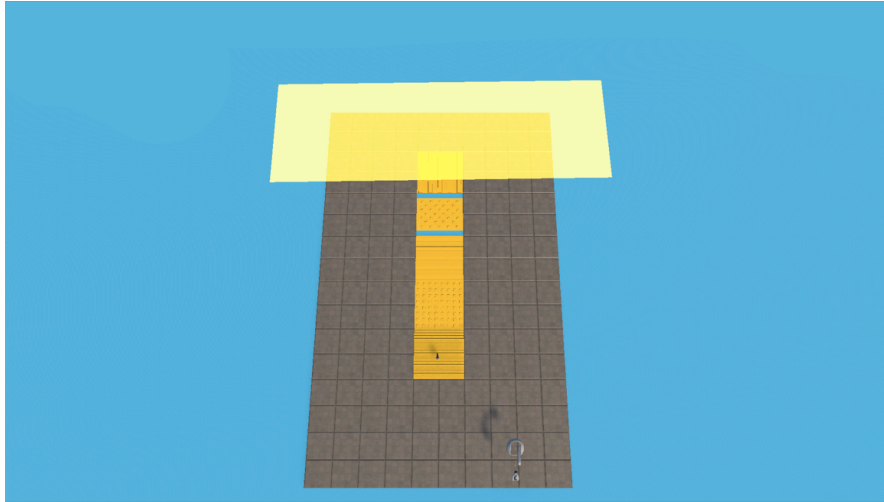
6.7.2 Game 1

Η δεύτερη πίστα είναι το πρώτο παιχνίδι. Οπτική επαφή με αυτό και τα υπόλοιπα παιχνίδια έχει μόνο το άτομο που χειρίζεται το πείραμα και όχι ο παίκτης.

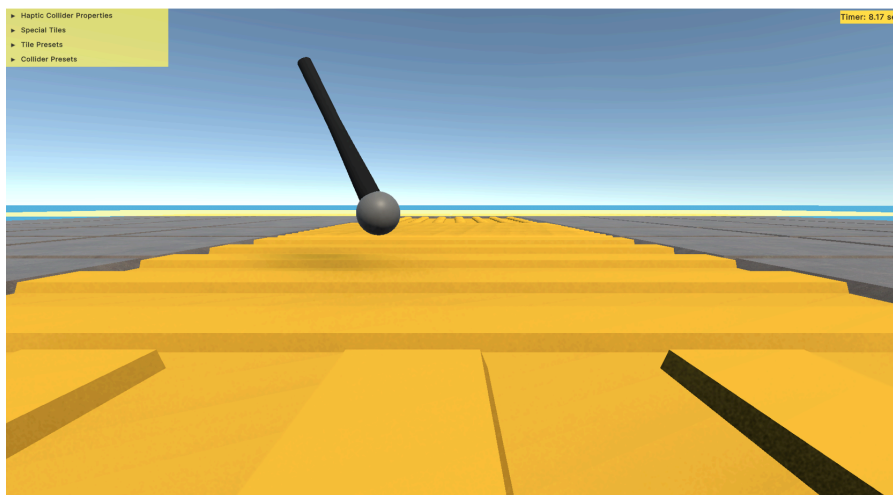
Εδώ εξετάζεται με έναν απλό τρόπο αν είναι δυνατή η αναγνώριση των διαφορετικών ειδικών πλακιδίων μέσω της αφής που προσφέρει το Touch.

Σε μία ευθεία πλατφόρμα δημιουργούνται τα πέντε ειδικά πλακίδια σε τυχαία σειρά κάθε φορά. Ο παίκτης μπορεί να πλοηγηθεί μόνο μπροστά και πίσω με τη βοήθεια του χειριστή ή μόνος του, δηλαδή στο αμέσως επόμενο ή προηγούμενο (είναι τοποθετημένα στη σειρά). Μέχρι να αναγνωρίσει την ταυτότητα όλων των πλακιδίων χρονομετρείται. Στο τέλος εξετάζεται ο χρόνος ολοκλήρωσης και πόσα πλακίδια έχει εντοπίσει σωστά.

Στο πείραμα ο χειριστής είναι υπεύθυνος για την πλοήγηση σε όλα τα σενάρια.



Σχήμα 6.44: Η πλατφόρμα και τα ειδικά πλακίδια στο πρώτο σενάριο.



Σχήμα 6.45: Το πρώτο σενάριο από την προοπτική του παίκτη.

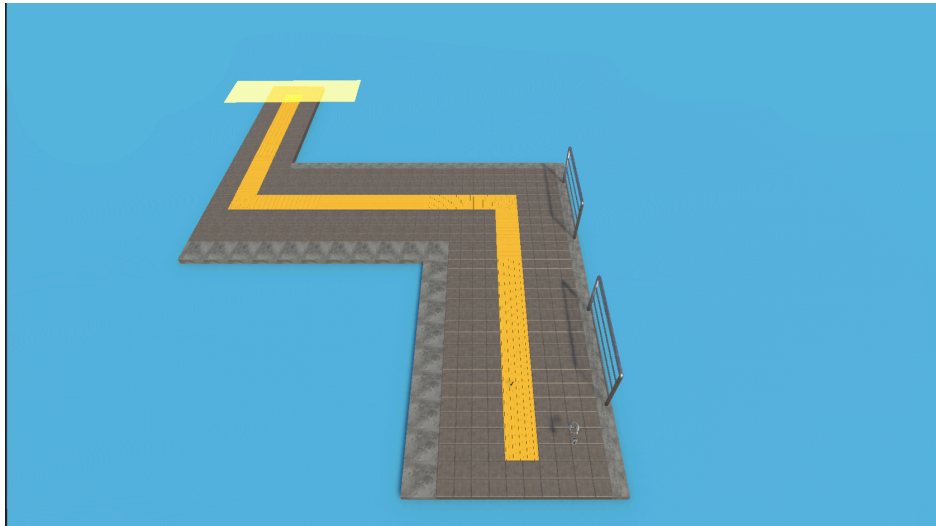
6.7.3 Game 2

Το δεύτερο παιχνίδι καλεί τον παίκτη να φτάσει στο τέλος μιας απλής διαδρομής.

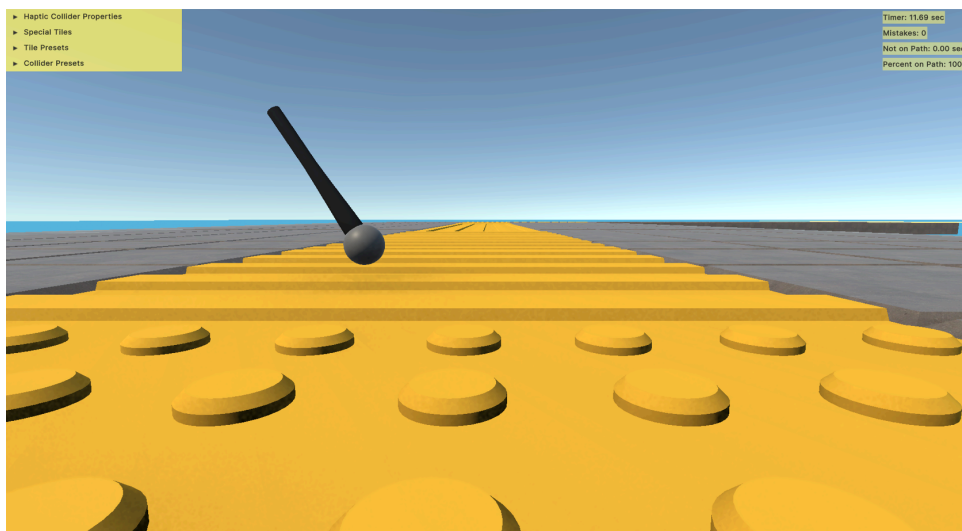
Από την αφετηρία ως τον τερματισμό παρεμβάλλονται δύο κάθετες στροφές (μία δεξιά, μία αριστερή) τις οποίες ο χρήστης πρέπει αναγνωρίσει και να ακολουθήσει σωστά για να προχωρήσει στη διαδρομή.

Το πλάτος της διαδρομής είναι μόνο ένα πλακίδιο ωστόσο όταν μέσω λάθους εισόδου πάει να παρεκτραπεί, ενημερώνεται με ένα ηχητικό μήνυμα και η λανθασμένη αυτή κίνηση προσμετράται στα σφάλματά του.

Το παιχνίδι αυτό έχει σκοπό να αξιολογήσει τον παίκτη ανάλογα με τις μετρικές των σφαλμάτων και του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδρομής.



Σχήμα 6.46: Η πλατφόρμα στο δεύτερο σενάριο.



Σχήμα 6.47: Το δεύτερο σενάριο από την προοπτική του παίκτη.

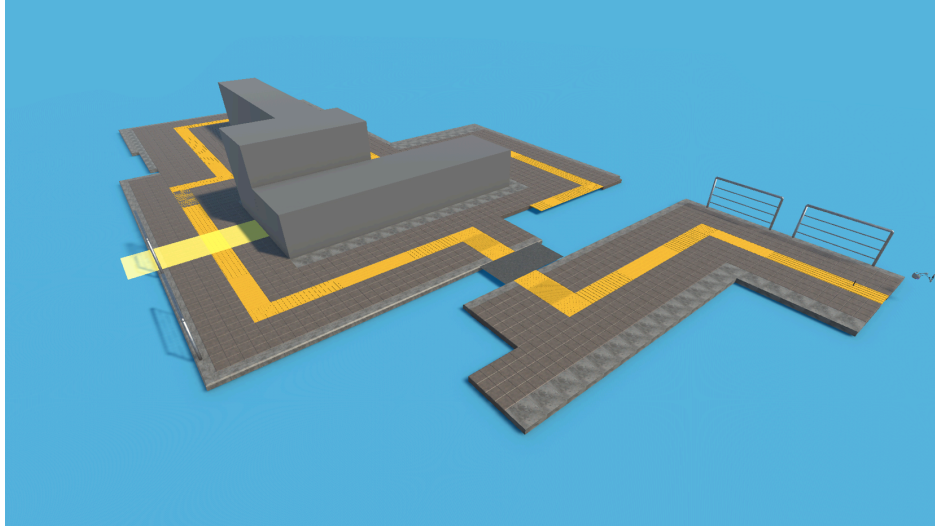
6.7.4 Game 3

Στο τρίτο παιχνίδι ο παίκτης πρέπει να ακολουθήσει επιτυχώς μέχρι το τέλος μια διαδρομή η οποία περιλαμβάνει τέσσερις κάθετες στροφές και δύο ράμπες.

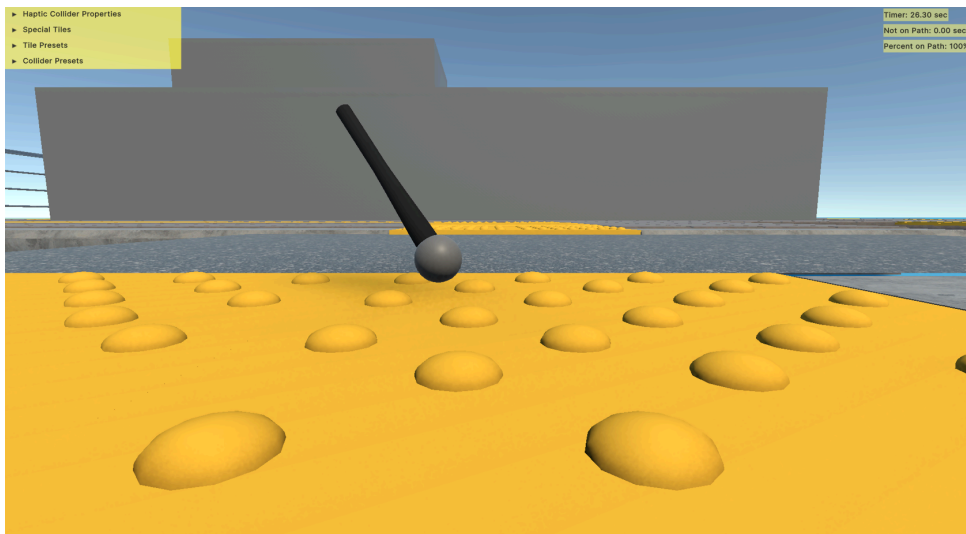
Το πλάτος της διαδρομής είναι τρία πλακίδια, ένα για τον οδηγό όδευσης, ένα δεξιά και ένα στα αριστερά του. Συνεπώς το επίπεδο δυσκολίας αυξάνεται επειδή ο χρήστης μπορεί να παρεκτραπεί από το μονοπάτι και να μην το συνειδητοποιήσει. Ωστόσο αν επιχειρήσει να απομακρυνθεί από το πλάτος των τριών πλακιδίων, ενημερώνεται με ηχητικό μήνυμα και ο μετρητής σφαλμάτων του αυξάνεται.

Στην περιοχή της ασφάλτου ανάμεσα από τις ράμπες έχουν τοποθετηθεί πλακίδια χωρίς γεωμετρία και το πλάτος της διαδρομής σε αυτό το σημείο περιορίζεται στο ένα πλακίδιο για λόγους διευκόλυνσης.

Εδώ αξιολογείται πάλι ο χρόνος ολοκλήρωσης και τα σφάλματα.

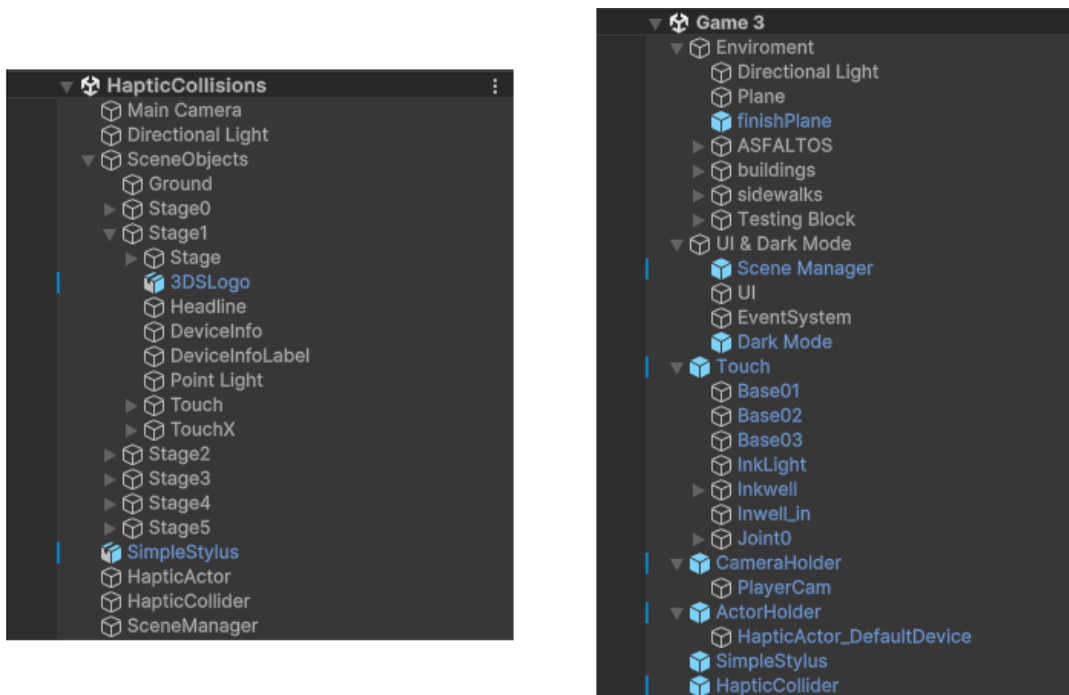


Σχήμα 6.48: Η πλατφόρμα στο τρίτο σενάριο.



Σχήμα 6.49: Το τρίτο σενάριο από την προοπτική του παίκτη.

6.8 Η Τελική Ιεραρχία



Σχήμα 6.50: Αριστερά το Hierarchy από ένα demo του plugin, δεξιά το τελικό από μία σκηνή.

Η μορφή που έχει το Hierarchy κάθε σκηνής στην εφαρμογή έχει την εξής γενική μορφή

- **Environment:** Περιλαμβάνει τα GameObjects που αποτελούν το περιβάλλον, τα πλακίδια του εικονικού πεζοδρομίου και δρόμου (Sidewalks, Asfaltos), τα κτήρια (Buildings), το φως (Directional Light), και το επίπεδο τερματισμού (FinishPlane).
- **UI & Dark Mode:** Αποτελείται από τα αντικείμενα που είναι υπεύθυνα για τις λειτουργίες της σκηνής (Scene Manager, EventSystem) και τα αντικείμενα της διεπαφής χρήστη (UI, Dark Mode)
- **Touch:** Το εικονικό αντίστοιχο της συσκευής. Δημιουργεί μαζί με το Virtual Haptic Script τη σύνδεση της εικονικής συσκευής με την πραγματική και μεσολαβεί για τις στροφές 90 μοιρών. Πρέπει να είναι ανεξάρτητο από άλλα Parent αντικείμενα που έχουν κίνηση.
- **CameraHolder:** Δοχείο για το αντικείμενο της κάμερας.
- **ActorHolder:** Περιέχει τα Components των MFPC, Stylus to Camera, Tile Timer, Check Finish. Αυτά φροντίζουν για ένα μεγάλο κομμάτι των λειτουργιών της εφαρμογής. Επίσης ως Child Object έχει το HapticActor_DefaultDevice με το επίσης σημαντικό Haptic Script. Η σχέση Parent-Child στοχεύει στην μετακίνηση της συσκευής μαζί με τον Actor όσο αυτός πλοηγείται στη σκηνή.
- **SimpleStylus:** Η προβολή της γραφίδας. ακολουθεί το αντικείμενο με το Haptic Plugin.
- **Haptic Collider:** Έχει ως Component το Haptic Collider και υλοποιεί τον ανιχνευτή σύγκρουσης της άκρης της γραφίδας. Ακολουθεί και αυτό το αντικείμενο με το Haptic Plugin.

Η κύρια διαφορά με την αρχική ιεραρχία που δίνουν τα Demo και τα prefab του Haptics Direct βρίσκεται στη θέση του Actor. Στην εφαρμογή μου το Actor με το HapticPlugin Script πρέπει να τοποθετούνται μέσα σε αντικείμενο το οποίο φροντίζει για την πλοήγηση (μέσω του MFPC), κάτι το οποίο στις προεπιλογές του πρόσθετου δεν χρειάζεται. Επίσης στο Prefab του Actor όλα τα απαραίτητα αντικείμενα έχουν κοινό γονέα. Για τις ανάγκες της μετακίνησης στην εφαρμογή το Prefab αυτό το έλυσα ώστε να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Κεφάλαιο 7ο: Το Πείραμα και οι Συμμετέχοντες

7.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της ανάπτυξης του λογισμικού, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός πειράματος για την αξιολόγηση της ευχρηστίας και της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής. Το κύριο ερώτημα ήταν αν τα απτικά πλακίδια μπορούν να αναγνωριστούν μόνο από την αφή και αν ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί επιτυχώς και ανεμπόδιστα σε ένα εικονικό περιβάλλον υποβοηθούμενος από τον οδηγό όδευσης. Οι συμμετέχοντες ήταν άτομα με πλήρη τύφλωση, άτομα με μερική όραση και άτομα με κανονική όραση τα οποία όμως δεν είχαν οπτική επαφή με την εφαρμογή.

7.2 Αισθητηριακές διαφοροποιήσεις

Οι διαφοροποιήσεις στις αισθητηριακές δυνατότητες των συμμετεχόντων αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Έρευνες, όπως αυτή της Flamine Alary [46], έχουν δείξει ότι άτομα με τύφλωση παρουσιάζουν αυξημένες επιδόσεις σε συγκεκριμένα απτικά έργα, εξαιτίας της νευροπλαστικότητας και της ενισχυμένης επεξεργασίας απτικών ερεθισμάτων. Επιπλέον, άλλες μελέτες επιβεβαιώνουν την αυξημένη απτική ευαισθησία των ατόμων με οπτική αναπηρία, ιδιαίτερα σε εργασίες που απαιτούν αναγνώριση λεπτομερειών ή μοτίβων επιφανειών [47].

Αυτές οι διαφορές αναδεικνύουν τη σημασία του συμπεριληπτικού σχεδιασμού σε συστήματα με απτική διεπαφή, ώστε να είναι κατανοητά και λειτουργικά για χρήστες με διαφορετικά επίπεδα όρασης, χωρίς να βασίζονται αποκλειστικά στο υποθετικό «μέσο» προφίλ του βλέποντα χρήστη. Παρόλο που οι συμμετέχοντες με φυσιολογική όραση συμμετείχαν με δεμένα μάτια, αναγνωρίζουμε ότι αυτό δεν μπορεί να αναπαραστήσει πλήρως την εμπειρία πλοήγησης ενός ατόμου με αναπηρία όρασης—γεγονός που λαμβάνεται υπόψη στην ανάλυση των αποτελεσμάτων.

7.3 Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων

Στη μελέτη συμμετείχαν συνολικά 19 άτομα (9 άνδρες και 10 γυναίκες). Καθώς διαθέτουμε μόνο ηλικιακές κατηγορίες και όχι ακριβείς ηλικίες, έγινε χρήση υποθέσεων για τον υπολογισμό του μέσου όρου ηλικίας και της τυπικής απόκλισης. Η κατανομή των συμμετεχόντων κατά ηλικιακή ομάδα και οι σχετικές υποθέσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Κατανομή Ηλικιών Συμμετεχόντων.

Ηλικίες	18-25	26-35	36-45	46+
Συμμετέχοντες	3	3	10	3
Μέση Τιμή	$(18 + 25) / 2 =$ 21.5	$(26 + 35) / 2 =$ 30.5	$(36 + 45) / 2 =$ 40.5	50 (εκτίμηση)

Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, ο μέσος όρος ηλικίας των συμμετεχόντων υπολογίστηκε στα 37,42 έτη, με τυπική απόκλιση 8,8 έτη.

Στη μελέτη συμμετείχαν συνολικά τέσσερα άτομα με μερική τύφλωση (2 άνδρες και 2 γυναίκες), δύο άνδρες με πλήρη απώλεια όρασης και δεκατρία άτομα με φυσιολογική όραση (5 άνδρες και 8 γυναίκες). Η επιλογή των έξι συμμετεχόντων με προβλήματα όρασης έγινε σε συνεργασία με τον "Σύλλογο Τυφλών - Ατόμων με Προβλήματα Όρασης Δυτικής Μακεδονίας" και τον "Πανελλήνιο Σύνδεσμο Τυφλών Κεντρικής Μακεδονίας"

Από τους δύο συμμετέχοντες με πλήρη τύφλωση, και οι δύο είχαν σταδιακή απώλεια όρασης έως και 100%. Από τα τέσσερα άτομα με μερική όραση, το ένα είχε ποσοστό απώλειας 95% εκ γενετής, ενώ οι υπόλοιποι εμφάνισαν απώλειες της τάξης του 87%, 90% και 95% αντίστοιχα, με έναρξη κατά την πρώιμη παιδική ηλικία. Οι διαγνώσεις που είχαν καταγραφεί αφορούσαν κυρίως το γλαύκωμα και τη μελαγχρωστική αμφιβληστροειδοπάθεια (retinitis pigmentosa).

Ένα δείγμα 13 συμμετεχόντων επιλέχθηκε μέσω μη τυχαίας δειγματοληψίας, από τον κύκλο γνωριμιών του ερευνητή. Η επιλογή βασίστηκε σε πρακτικά και ερευνητικά κριτήρια. Ορισμένοι από τους συμμετέχοντες είχαν προηγούμενη εμπειρία από παρόμοιες ερευνητικές διαδικασίες, γεγονός που συνετέλεσε στη μεγαλύτερη εξοικείωσή τους τόσο με τη συσκευή απτικής ανατροφοδότησης που χρησιμοποιήθηκε όσο και με το γενικότερο αντικείμενο της μελέτης. Αυτή η εμπειρία θεωρήθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς μείωσε τον χρόνο εξοικείωσης και διευκόλυνε την ομαλή διεξαγωγή του πειράματος.

Παρόλο που η μέθοδος επιλογής δεν διασφαλίζει την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κρίνονται ενδεικτικά και κατάλληλα για τους σκοπούς αυτής της πιλοτικής/ερευνητικής μελέτης.

7.4 Συνθήκες και πορεία του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ένα ήσυχο και ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον. Κάθε συμμετέχων καθόταν σε ατομικό σταθμό εργασίας, εξοπλισμένο με φορητό υπολογιστή που έτρεχε την διαδραστική εφαρμογή και τη συσκευή απτικής ανατροφοδότησης Touch (Σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1: Η συσκευή Touch και η οθόνη υπολογιστή.

Πριν από την έναρξη της διαδικασίας, όλοι οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν αναλυτικά για τους στόχους της μελέτης και συναίνεσαν εν επιγνώσει, σύμφωνα με τις αρχές της ηθικής στην έρευνα. Ακολούθως, ολοκλήρωσαν ένα εισαγωγικό δοκιμαστικό σενάριο, το οποίο είχε σκοπό την εξοικείωση με το εικονικό περιβάλλον, τη συσκευή απτικής ανατροφοδότησης, τις διάφορες υφές των απτικών πλακιδίων και τα ηχητικά μηνύματα καθοδήγησης.

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, οι χρήστες είχαν τη δυνατότητα να ρυθμίσουν τις παραμέτρους Tile Preset (Πίνακας 6.2) και Collider Preset (Πίνακας 6.3), ώστε να επιλέξουν τον συνδυασμό που ανταποκρινόταν καλύτερα στην προσωπική τους αίσθηση αφής. Ενθαρρύνθηκαν να εξερευνήσουν ελεύθερα τις επιφάνειες των πλακιδίων και το περιβάλλον γύρω τους, με ηχητικά μηνύματα να παρέχουν καθοδήγηση για την πλοήγηση στη σκηνή.

Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν μια δοκιμασία πέντε βημάτων, στην οποία κλήθηκαν να αναγνωρίσουν πέντε διαφορετικούς τύπους πλακιδίων (Πίνακας 6.1). Κάθε τύπος εμφανιζόταν μία φορά σε τυχαία σειρά κατά μήκος της απτικής διαδρομής. Η εφαρμογή κατέγραφε τόσο την ακρίβεια της αναγνώρισης όσο και τη συνολική διάρκεια της αλληλεπίδρασης.

Ακολούθως, οι χρήστες περιηγήθηκαν σε δύο αστικά σενάρια: ένα χαμηλής δυσκολίας (Scenario_2) και ένα μεσαίας δυσκολίας (Scenario_3), τα οποία είχαν σχεδιαστεί με χρήση των ίδιων τύπων πλακιδίων (Εικόνες 6.46 και 6.48). Στο Scenario_2 (Εικόνα 6.46), οι χρήστες κινούνταν αυτόνομα σε προκαθορισμένη διαδρομή, χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο. Οποιαδήποτε προσπάθεια εξόδου από τη διαδρομή ενεργοποιούσε έναν ήχο σφάλματος και καταγραφόταν ως λάθος.

Αντίθετα, στο Scenario_3 (Εικόνα 6.48), η πλοήγηση γινόταν από τον χειριστή της εφαρμογής, ο οποίος ακολουθούσε τις φωνητικές οδηγίες του χρήστη που αλληλεπιδρούσε με τη συσκευή Touch. Σε αυτή τη φάση, επιτρεπόταν η εκτός διαδρομής κίνηση, με το σύστημα να καταγράφει το ποσοστό της σχετικής μετακίνησης εκτός της καθορισμένης διαδρομής σε σχέση με τον συνολικό χρόνο αλληλεπίδρασης.

Πλήθος μελετών υποστηρίζει ότι οι κύριες δυσκολίες στην πλοήγηση σχετίζονται κυρίως με γνωστικές διεργασίες [48]. Η προσανατολισμένη μετακίνηση απαιτεί μια σειρά από νοητικές λειτουργίες, όπως τον εντοπισμό της τρέχουσας θέσης σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς, την επιλογή διαδρομής προς έναν προορισμό, τη διατήρηση αυτής της πορείας και την αναγνώριση του τελικού σημείου άφιξης.

Στο πλαίσιο της μελέτης, οι συμμετέχοντες εξερεύνησαν το εικονικό περιβάλλον με χρήση της απτικής συσκευής, η οποία παρείχε απτικά και δονητικά ερεθίσματα κατά την πλοήγηση είτε εντός είτε εκτός της προκαθορισμένης διαδρομής. Διαφορετικά μοτίβα δόνησης και ηχητικά σήματα βοήθησαν τους χρήστες να κατανοούν την κατεύθυνση κίνησης, να παραμένουν εντός πορείας και να διορθώνουν την πορεία τους όταν απαιτούνταν, παρέχοντας συνεχή χωρική πληροφόρηση καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

Η συσκευή χρησιμοποιήθηκε τόσο ως εργαλείο πλοήγησης όσο και ως μέσο απτικής ανατροφοδότησης. Η εφαρμογή κατέγραφε διάφορους δείκτες απόδοσης, όπως ο αριθμός λαθών (αποκλίσεις από τη διαδρομή), η διάρκεια μετακίνησης εντός της σωστής πορείας και ο συνολικός χρόνος αλληλεπίδρασης (βλ. Εικόνες 6.47 και 6.49).

Ο σχεδιασμός των σεναρίων Scenario_2 και Scenario_3 στηρίχθηκε σε συνθήκες που προσομοιάζουν ρεαλιστικά την πλοήγηση σε αστικό περιβάλλον, όπως αυτή βιώνεται από άτομα με οπτικές αναπηρίες. Η πλατφόρμα αναπτύχθηκε με σκοπό να προσομοιώσει μια εκπαιδευτική διαδικασία που προσφέρει ρεαλισμό, αλλά παράλληλα σέβεται τα όρια άνεσης του χρήστη. Για την αποφυγή κόπωσης ή αποπροσανατολισμού λόγω παρατεταμένης έκθεσης σε εικονική πραγματικότητα, ο συνολικός χρόνος συμμετοχής ορίστηκε στα 30 λεπτά.

Κατά την πειραματική διαδικασία εφαρμόστηκαν συγκεκριμένα χρονικά όρια ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της εμπειρίας. Στο πρώτο στάδιο, που αφορούσε την αναγνώριση απτικών μοτίβων, οι συμμετέχοντες είχαν έως 5 λεπτά στη διάθεσή τους για να εξοικειωθούν με τα εικονικά πλακίδια. Στη συνέχεια, γινόταν η καταγραφή των επιδόσεών τους. Ο υπόλοιπος χρόνος, έως και 25 λεπτά, αξιοποιήθηκε για την πλοήγηση στις δύο εικονικές διαδρομές των σεναρίων, με αυξανόμενο επίπεδο δυσκολίας (βλ. Εικόνες 6.46 και 6.48).

Η επιτυχής ολοκλήρωση της πρώτης διαδρομής δεν αποτελούσε απαραίτητη προϋπόθεση για τη μετάβαση στη δεύτερη. Σε περίπτωση που ο συμμετέχων ένιωθε δυσφορία ή κόπωση, είχε τη δυνατότητα να διακόψει τη διαδικασία ανά πάσα στιγμή χωρίς συνέπειες.

Η αξιολόγηση της απόδοσης των συμμετεχόντων βασίστηκε σε τέσσερις βασικούς δείκτες: τον συνολικό χρόνο αλληλεπίδρασης, την ακρίβεια στην αναγνώριση των πλακιδίων, τον αριθμό των σφαλμάτων κατά την πλοήγηση, και τον χρόνο παραμονής εντός της προκαθορισμένης διαδρομής.

Στο τέλος της διαδικασίας, όλοι οι συμμετέχοντες—ανεξαρτήτως αν ολοκλήρωσαν πλήρως το πείραμα—κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους για την εφαρμογή, συμπληρώνοντας ένα ερωτηματολόγιο αξιολόγησης (βλ. Παράρτημα Α και Παράρτημα Β).

Κεφάλαιο 8ο: Αποτελέσματα και Αξιολόγηση Πειράματος

8.1 Εισαγωγή

Κύριος στόχος της μελέτης ήταν η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο άτομα με τύφλωση αντιλαμβάνονται την απτική τεχνολογία μέσα από αλληλεπίδραση με αντικείμενα σε τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα. Η ανάλυση που ακολουθεί παρουσιάζει τα αποτελέσματα των επιδόσεων των συμμετεχόντων στα τρία πειραματικά σενάρια, καθώς και τα ευρήματα από τα ερωτηματολόγια αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν ότι οι χρήστες ήταν σε θέση να διακρίνουν διαφορετικά απτικά μοτίβα στις εικονικές διαδρομές, ενισχύοντας τον στόχο μεταφοράς αυτής της αισθητηριακής εμπειρίας σε πραγματικά αστικά περιβάλλοντα. Η απόδοση των χρηστών και οι αξιολογήσεις τους εξετάστηκαν ξεχωριστά.

Οι συμμετέχοντες αλληλεπίδρασαν με τα απτικά πλακίδια σε τρία ξεχωριστά σενάρια (Scenario_1, Scenario_2, Scenario_3), και για καθένα αναπτύχθηκε μαθηματικό μοντέλο αξιολόγησης της ικανότητας πλοήγησης, βασισμένο στα δεδομένα της πειραματικής διαδικασίας. Ο σκοπός των μοντέλων ήταν να αποτυπώσουν την ικανότητα του χρήστη να αναγνωρίζει με ακρίβεια τις υφές, να πλοηγείται αποτελεσματικά και να διατηρεί ακρίβεια στην πορεία του χωρίς λάθη.

Μετά την ολοκλήρωση των πειραματικών δραστηριοτήτων, οι συμμετέχοντες απάντησαν σε 20 ερωτήσεις: 12 από το ερωτηματολόγιο USE (Usefulness, Satisfaction, Ease of Use) και 8 από το UEQ (User Experience Questionnaire). Το USE περιλαμβάνει τέσσερις θεματικές ενότητες—χρησιμότητα, ευκολία χρήσης, ευκολία εκμάθησης και ικανοποίηση—με τρεις ερωτήσεις ανά κατηγορία, εστιάζοντας στη λειτουργική αξιολόγηση του συστήματος [49]. Το UEQ, αντίστοιχα, εξετάζει περισσότερο συναισθηματικές και εμπειρικές πτυχές, όπως η ελκυστικότητα, η καινοτομία και η συνολική εμπειρία του χρήστη [50]. Ο συνδυασμός των δύο εργαλείων μας επέτρεψε να αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα τόσο για την πρακτική λειτουργικότητα του συστήματος όσο και για τη συναισθηματική ανταπόκριση των χρηστών.

8.2 Αποτελέσματα Πειράματος

Κατά το πρώτο σενάριο, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αναγνωρίσουν τα πέντε απτικά μοτίβα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 2. Για την αξιολόγηση της απόδοσής τους, υπολογίστηκε ο συνολικός Δείκτης Ικανότητας (AS_1) για κάθε άτομο, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ακρίβεια στην αναγνώριση (A) όσο και τον χρόνο αλληλεπίδρασης με το σύστημα (T_1). Ο υπολογισμός βασίστηκε στην Εξίσωση (1), η οποία καθορίζει μια μαθηματική συνάρτηση απόδοσης που επιβραβεύει την ταχύτητα και την ακρίβεια και μειώνει το σκορ σε περιπτώσεις καθυστέρησης.

$$AS_1 = A \cdot (T_{1min} \div T_1)^b \quad (1)$$

A : ο κανονικοποιημένος δείκτης αναγνώρισης των πλακιδίων, με τιμές στο εύρος $[0,1]$.

T_1 : ο συνολικός χρόνος παραμονής του συμμετέχοντα στο Σενάριο_1.

T_{1min} : ο ταχύτερος χρόνος ολοκλήρωσης του σεναρίου μεταξύ όλων των συμμετεχόντων.

b: ο συντελεστής βαρύτητας που καθορίζει τη σημασία του χρόνου στην εξίσωση απόδοσης· για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης ορίστηκε ίσος με 1.

Ένας συμμετέχων που επιτυγχάνει υψηλή ακρίβεια στην αναγνώριση των μοτίβων αλλά καθυστερεί σημαντικά στην ολοκλήρωση θα καταγράψει χαμηλή συνολική επίδοση. Αντίστοιχα, κάποιος που ολοκληρώνει γρήγορα το πείραμα αλλά με μέτρια ακρίβεια δεν θα επιτύχει υψηλό Δείκτη Ικανότητας. Η καλύτερη απόδοση προκύπτει όταν συνδυάζονται υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα.

Στο δεύτερο στάδιο (Scenario_2), οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να πλοηγηθούν εικονικά σε μια προκαθορισμένη διαδρομή στο περιβάλλον Unity, η οποία αποτελούνταν από διάφορα εικονικά απτικά πλακίδια (Εικόνα 4a). Για το συγκεκριμένο σενάριο, υπολογίστηκε για κάθε άτομο ο Δείκτης Ικανότητας 2 (AS_2), βασισμένος σε δύο παράγοντες: την ολοκλήρωση της διαδρομής (C_2) και τον συνολικό χρόνο αλληλεπίδρασης (T_2). Λάθη όπως αποκλίσεις από την απτική διαδρομή ή συγκρούσεις με αντικείμενα επιμήκυναν τον χρόνο εκτέλεσης και είχαν αρνητική επίδραση στο τελικό σκορ.

Ο υπολογισμός του AS_2 έγινε με βάση την Εξίσωση (2), η οποία αποτελεί ένα μοντέλο αξιολόγησης που τιμωρεί τις καθυστερήσεις και τα σφάλματα. Σε περίπτωση μη ολοκλήρωσης της διαδρομής, το σκορ ήταν αυτόματα μηδενικό. Υψηλή απόδοση αποδόθηκε μόνο στους συμμετέχοντες που ολοκλήρωσαν το έργο με ακρίβεια και ταχύτητα. Ο συγκεκριμένος δείκτης έχει προταθεί από τους Yokoyama κ.ά. [51] για την αξιολόγηση ικανοτήτων πλοήγησης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την επιτυχία όσο και τη χρονική αποτελεσματικότητα της εκτέλεσης.

$$AS_2 = C_2 \cdot (T_{2min} \div T_2) \quad (2)$$

C_2 : Κατάσταση ολοκλήρωσης του έργου, με τιμή 1 για επιτυχία και 0 για αποτυχία.

T_2 : Ο συνολικός χρόνος παραμονής στο Σενάριο_2.

T_{2min} : Ο ταχύτερος χρόνος ολοκλήρωσης μεταξύ όσων συμμετεχόντων ολοκλήρωσαν επιτυχώς το έργο.

Αντίστοιχα, για το Σενάριο_3 (όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4b), υπολογίστηκε για κάθε συμμετέχοντα ο Δείκτης Ικανότητας 3 (AS_3), ο οποίος αξιολογεί την απόδοση κατά την πλοήγηση σε αυτή τη διαδρομή.

$$AS_3 = C_3 \cdot (T_{3min} \div T_3) \quad (3)$$

C_3 : Δείκτης ολοκλήρωσης της δραστηριότητας στο Σενάριο_3, με τιμή 1 για επιτυχή ολοκλήρωση και 0 για μη ολοκλήρωση.

Κεφάλαιο 8

T_3 : Ο συνολικός χρόνος παραμονής του συμμετέχοντα στο Σενάριο_3.

T_{3min} : Ο συντομότερος χρόνος ολοκλήρωσης ανάμεσα σε όσους συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν επιτυχώς τη διαδρομή.

Σε περιπτώσεις όπου ένας συμμετέχων δεν ολοκληρώνει μια δραστηριότητα, ο αντίστοιχος δείκτης ικανότητας μηδενίζεται. Αντιθέτως, όταν η δραστηριότητα ολοκληρώνεται, ο δείκτης απόδοσης εξαρτάται από τη διάρκεια ολοκλήρωσης.

Για την αξιολόγηση της συνολικής ικανότητας πλοήγησης, υπολογίζουμε τον μέσο όρο των δεικτών ικανότητας (\bar{AS}) με την εξίσωση (4) και τη συνολική απόδοση AS_{total} με την εξίσωση (5), ξεχωριστά για κάθε συμμετέχοντα.

$$\bar{AS} = (AS_1 + AS_2 + AS_3) \div 3 \quad (4)$$

$$AS_{total} = AS_1 + AS_2 + AS_3 \quad (5)$$

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζονται ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των δεικτών AS_1 , AS_2 και AS_3 , για κάθε κατηγορία χρηστών.

Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα των Τριών Πειραμάτων.

Σενάριο	Μέσος Όρος Όλοι / Τυφλοί / Μη Τυφλοί	Τυπική Απόκλιση Όλοι / Τυφλοί / Μη Τυφλοί	Ελάχιστο Όλοι / Τυφλοί / Μη Τυφλοί	Μέγιστο Όλοι / Τυφλοί / Μη Τυφλοί
AS1	0.32 / 0.25 / 0.34	0.18 / 0.03 / 0.20	0.08 / 0.20 / 0.08	0.65 / 0.29 / 0.65
AS2	0.47 / 0.52 / 0.44	0.26 / 0.14 / 0.30	0 / 0.29 / 0	1 / 0.70 / 1
AS3	0.63 / 0.68 / 0.30	0.22 / 0.31 / 0.16	0 / 0 / 0	1 / 1 / 0.56

Για την εξέταση πιθανών διαφορών στην απόδοση μεταξύ τυφλών συμμετεχόντων (6 άτομα) και βλέποντων συμμετεχόντων (13 άτομα), χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό τεστ Mann-Whitney U [52,53]. Πρόκειται για μια μη παραμετρική μέθοδο που συγκρίνει δύο ανεξάρτητες ομάδες χωρίς την απαίτηση τα δεδομένα να ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή, όπως η κανονική.

Η μέθοδος εφαρμόστηκε στους δείκτες AS_1 (αναγνώριση πλακιδίων), AS_2 (πλοήγηση στο Σενάριο 2) και AS_3 (πλοήγηση στο Σενάριο 3), προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων.

Το τεστ Mann-Whitney U κατατάσσει όλες τις τιμές και συγκρίνει τα αθροίσματα των βαθμολογιών, εστιάζοντας στις γενικές αποκλίσεις μεταξύ των ομάδων. Είναι κατάλληλο για δείγματα μικρού μεγέθους, όπως αυτό της παρούσας μελέτης, και παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα χωρίς τις αυστηρές προϋποθέσεις του t-test. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SPSS [54], όπου ως μεταβλητή ομαδοποίησης ορίστηκε το αν ο συμμετέχων είναι τυφλός ή όχι, ενώ ως εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι AS_1 , AS_2 και AS_3 . Η μεθοδολογία και οι υπολογισμοί βασίστηκαν σε επιστημονικές πηγές και αναγνωρισμένες στατιστικές πρακτικές [52,53,54]. Υπολογίστηκαν οι τιμές p

(π.χ. $p < 0.05$) για την εκτίμηση της στατιστικής σημαντικότητας και ο δείκτης επίδρασης (r) για την αξιολόγηση του μεγέθους της διαφοράς.

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τεστ Mann-Whitney U, το οποίο συγκρίνει τις επιδόσεις τυφλών και βλέπόντων συμμετεχόντων στους δείκτες AS₁, AS₂ και AS₃.

Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα του Mann-Whitney U test.

	AS1	AS2	AS3
U statistic	37.0	44.0	40.0
p	0.898	0.693	0.965
Δείκτης επίδρασης r	0.04	0.10	0.02
Σχόλια	Καμία στατιστική σημαντική διαφορά	Καμία στατιστική σημαντική διαφορά	Καμία στατιστική σημαντική διαφορά

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές p ήταν σημαντικά μεγαλύτερες από το επίπεδο σημαντικότητας των 0.05, γεγονός που δείχνει ότι δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση μεταξύ των τυφλών και των βλέπόντων συμμετεχόντων. Παράλληλα, οι τιμές του δείκτη επίδρασης (r) ήταν πολύ χαμηλές (κάτω από 0.3 σε όλες τις περιπτώσεις), υποδηλώνοντας αμελητέες διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων [53]. Το εύρημα αυτό δείχνει ότι η παρουσία ή η απουσία όρασης δεν επηρέασε ουσιαστικά την απόδοση των χρηστών στο συγκεκριμένο εικονικό περιβάλλον. Πιθανή εξήγηση αποτελεί το γεγονός ότι οι δραστηριότητες βασίζονταν κυρίως στην απτική και ηχητική ανατροφοδότηση, και όχι σε οπτικά ερεθίσματα.

8.3 Σύγκριση Σεναρίων

Για σκοπούς ανάλυσης, τα σενάρια χωρίστηκαν σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει το Σενάριο_1, το οποίο αξιολογεί την ικανότητα αναγνώρισης απτικών πλακιδίων. Η δεύτερη περιλαμβάνει τα Σενάρια_2 και _3, που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της πλοήγησης. Για κάθε σενάριο, χρησιμοποιήθηκε ως βάση κανονικοποίησης ο ταχύτερος χρόνος ολοκλήρωσης ανά συμμετέχοντα (66, 193 και 188 δευτερόλεπτα αντίστοιχα), για τον υπολογισμό των AS1, AS2 και AS3.

Στο Σενάριο_1 παρατηρείται χαμηλότερη μέση απόδοση σε σύγκριση με τα Σενάρια_2 και _3, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αναγνώριση των πλακιδίων είναι πιο απαιτητική ή βασίζεται σε διαφορετικές δεξιότητες από ό,τι η πλοήγηση. Αυτό πιθανόν εξηγείται από το γεγονός ότι οι δραστηριότητες αναγνώρισης απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια και καθαρότητα στις αντιδράσεις, ενώ οι δραστηριότητες πλοήγησης επιτρέπουν ταχύτερες αποφάσεις βασισμένες σε προκαθορισμένους κανόνες ακολουθίας των πλακιδίων, μειώνοντας έτσι τον χρόνο αλληλεπίδρασης. Επιπλέον, στο Σενάριο_1 παρατηρείται η μικρότερη διασπορά στις επιδόσεις (τυπική απόκλιση = 0.18), γεγονός που δείχνει ομοιομορφία στην απόδοση των χρηστών. Αντιθέτως, το Σενάριο_2 εμφανίζει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα (τυπική απόκλιση = 0.26), γεγονός που αποδίδεται στην ποικιλομορφία των στρατηγικών πλοήγησης: οι συμμετέχοντες με προβλήματα όρασης εφάρμοσαν τεχνικές από την

καθημερινή τους εμπειρία, ενώ οι βλέποντες ανέπτυξαν νέους τρόπους αλληλεπίδρασης, καθώς δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία με τα συγκεκριμένα απτικά μοτίβα.

Ο μέσος Δείκτης Ικανότητας στο Σενάριο_2 (AS2) ήταν υψηλότερος σε σύγκριση με το Σενάριο_3, κάτι που υποδηλώνει ότι οι χρήστες είχαν καλύτερη απόδοση στην πλοήγηση στο απλούστερο περιβάλλον του Σενάριο_2. Αυτό αποδίδεται στην περιορισμένη πολυπλοκότητα της διαδρομής, η οποία περιλάμβανε μόνο στροφές και δεν περιελάμβανε διασταυρώσεις ή άλλα σύνθετα στοιχεία πλοήγησης.

Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι αρκετοί χρήστες δυσκολεύτηκαν να διακρίνουν τα πλακίδια προειδοποίησης για στροφή (Τύπος A2) από εκείνα που υποδεικνύουν εμπόδια ή κινδύνους (Τύπος D). Η υψηλότερη τυπική απόκλιση που καταγράφηκε στο Σενάριο_2 δείχνει μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις επιδόσεις των συμμετεχόντων, η οποία φαίνεται να σχετίζεται με τον βαθμό εξοικείωσης με το σύστημα πλοήγησης. Ο χρόνος που αφιέρωσε κάθε άτομο στην εξοικείωση με τη συσκευή και το εικονικό περιβάλλον έπαιξε σημαντικό ρόλο. Οι χρόνοι πλοήγησης παρουσίασαν σημαντικές αποκλίσεις, καθώς ορισμένοι χρήστες ολοκλήρωσαν τις διαδρομές πολύ πιο αργά ή πιο γρήγορα από τον μέσο όρο, γεγονός που πιθανώς αντανακλά δυσκολίες ή σφάλματα κατά την πλοήγηση.

8.4 Αξιολόγηση Επίδοσης Χρηστών

Πριν προχωρήσουμε σε αναλυτική αξιολόγηση της απόδοσης των συμμετεχόντων, καθορίζουμε τρεις κατηγορίες επιπέδων ικανότητας πλοήγησης με βάση την παρακάτω μεθοδολογία:

Υψηλή ικανότητα: $A\bar{S} \geq 0.75$

Μέτρια ικανότητα: $0.50 \leq A\bar{S} < 0.75$

Χαμηλή ικανότητα: $A\bar{S} < 0.50$

Κανένας από τους συμμετέχοντες δεν κατάφερε να υπερβεί το όριο του 0.75, που είχε τεθεί ως κριτήριο για την «Υψηλή Ικανότητα». Πέντε άτομα κατατάχθηκαν στη μέτρια κατηγορία, ενώ η πλειοψηφία των συμμετεχόντων (74%) εμφάνισε χαμηλές επιδόσεις στις δραστηριότητες πλοήγησης και αναγνώρισης. Ένας μόνο χρήστης πλησίασε το ανώτερο επίπεδο, σημειώνοντας $A\bar{S} = 0.72$. Οι χαμηλές συνολικές επιδόσεις υποδεικνύουν ενδεχόμενες δυσκολίες στην κατανόηση του τρόπου χρήσης της εφαρμογής ή στην ακρίβεια των επιλογών τους κατά τα επιμέρους σενάρια.

Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι οι ρυθμίσεις που επέλεξαν οι χρήστες για τις παραμέτρους "Tile Preset" και "Collider Preset" (Πίνακες 6.2 και 6.3) επηρέασαν αισθητά την απόδοσή τους. Συγκεκριμένα, όσοι επέλεξαν τις "Tiles Preset 1" και "Collider Preset 1" εμφάνισαν καλύτερη πλοήγηση, ενώ οι "Tiles Preset 2" και "Collider Preset 2" συσχετίστηκαν με μειωμένη απόδοση.

Η σύγκριση μεταξύ τυφλών και βλέπόντων συμμετεχόντων στα τρία σενάρια (AS1, AS2, AS3) ανέδειξε αξιοσημείωτες διαφορές τόσο στους μέσους όρους όσο και στη διακύμανση της απόδοσης. Στο πρώτο σενάριο, οι τυφλοί χρήστες σημείωσαν χαμηλότερο σκορ (0.25) σε σχέση με τους βλέποντες (0.34), ενώ παρουσίασαν και πολύ μικρή διαφοροποίηση μεταξύ τους (τυπική απόκλιση 0.03). Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο ότι οι βλέποντες είχαν τη δυνατότητα να δουν τα σχήματα των πλακιδίων κατά την εκπαίδευση, σε αντίθεση με τους τυφλούς, οι οποίοι βασίστηκαν αποκλειστικά στην απτική διάδραση μέσω της συσκευής.

Αντιθέτως, στο Σενάριο_3 οι τυφλοί χρήστες ξεπέρασαν σε απόδοση τους βλέποντες με δεμένα μάτια (AS3 0.68 έναντι 0.30). Ενδιάμεσα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στο Σενάριο_2, όπου οι τυφλοί είχαν και πάλι καλύτερες επιδόσεις (0.52 έναντι 0.44).

Τα παραπάνω ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία ανάπτυξης διαδραστικών συστημάτων που να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές αισθητηριακές και γνωστικές ανάγκες των χρηστών. Καθίσταται σαφές ότι το περιβάλλον και τα σενάρια χρήσης πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε ομάδας.

8.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων του Ερωτηματολογίου Αξιολόγησης

Όλοι οι συμμετέχοντες, αποτελούμενοι από 10 γυναίκες και 9 άνδρες, συμπλήρωσαν το έντυπο αξιολόγησης που τους δόθηκε μετά την ολοκλήρωση του πειράματος. Η πλειονότητα (52,6%) ανήκε στην ηλικιακή ομάδα 36-45 ετών, ενώ σημαντικό ποσοστό (56,2%) εργαζόταν στον δημόσιο τομέα. Στην ανάλυση των απαντήσεων συμπεριλήφθηκαν συνολικά 19 άτομα.

Για την αξιολόγηση της χρηστικότητας του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο τύπου Likert 5 σημείων για τις 12 ερωτήσεις του USE (Παράρτημα Α), ενώ για την εμπειρία χρήστη (UEQ) εφαρμόστηκε κλίμακα 7 σημείων σε 8 ερωτήσεις (Παράρτημα Β) Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατή μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση τόσο της λειτουργικότητας όσο και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών με το σύστημα.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η σύγκριση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, υπολογίστηκε το ποσοστό μέσης αξιολόγησης (RATE) για κάθε ερώτηση, σύμφωνα με τις εξισώσεις (6) και (7). Η μεθοδολογία αυτή προσέφερε μια ομοιόμορφη αναπαράσταση των αξιολογήσεων, διευκολύνοντας την ανάλυση των απαντήσεων ανά ερώτηση και κλίμακα Likert.

$$\text{RATE} = (\text{SUM} \times 100) \div \text{MAXSUM} \quad (6)$$

$$\text{MAXSUM} = 19 \text{ (συμμετέχοντες)} \times 5 \text{ (μέγιστη βαθμολογία κλίμακας)} \text{ 'Η } 7 \text{ (μέγιστη βαθμολογία κλίμακας)} \quad (7)$$

Η αξιολόγηση της χρηστικότητας ανέδειξε ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα, καθώς όλα τα ποσοστά ξεπέρασαν το 85%. Η χρησιμότητα του συστήματος αξιολογήθηκε στο 88,8%, επιβεβαιώνοντας ότι το σύστημα ανταποκρίνεται επαρκώς στις ανάγκες των χρηστών. Η ευκολία στη χρήση συγκέντρωσε ποσοστό 85,6%, ενώ η ευκολία εκμάθησης έφτασε το 86%, γεγονός που δείχνει ότι το σύστημα είναι φιλικό προς τον χρήστη και δεν απαιτεί ιδιαίτερο χρόνο εξοικείωσης.

Το υψηλότερο σκορ καταγράφηκε στον δείκτη ικανοποίησης των χρηστών, ο οποίος ανήλθε στο 90,5%, στοιχείο που υποδηλώνει μια εξαιρετικά θετική συνολική εμπειρία. Παρά τα πολύ καλά αποτελέσματα, μικρές βελτιώσεις στον τομέα της ευχρηστίας θα μπορούσαν να συμβάλουν περαιτέρω στην ενίσχυση της λειτουργικότητας και της εμπειρίας χρήσης του συστήματος (βλ. Πίνακα 8.3).

Πίνακας 8.3: Αξιολόγηση Χρήσης.

Αξιολόγηση Χρήσης	Ποσοστό
Χρησιμότητα	88.8%
Ευχρηστία	85.6%
Ευκολία στη Μάθηση	86%
Ικανοποίηση Χρήσης	90.5%

Η αξιολόγηση της εμπειρίας χρήστη, όπως καταγράφηκε μέσω του ερωτηματολογίου UEQ και παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.4, κατέδειξε ότι οι συμμετέχοντες είχαν μια συνολικά πολύ θετική εντύπωση από το σύστημα. Οι επιμέρους πτυχές της εμπειρίας, όπως η αίσθηση υποστήριξης (88,7%), η ευκολία στη χρήση (84,2%), η αποδοτικότητα (85,7%) και η σαφήνεια (83,5%), συγκέντρωσαν υψηλές βαθμολογίες, γεγονός που αποδεικνύει ότι το σύστημα ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των χρηστών και διευκολύνει την αλληλεπίδραση.

Ιδιαίτερα εντυπωσιακά ήταν τα αποτελέσματα στις κατηγορίες που σχετίζονται με την πρωτοτυπία και το ενδιαφέρον του συστήματος. Οι συμμετέχοντες περιέγραψαν την εφαρμογή ως «ενδιαφέρουσα» (94%), «ευρηματική» (91,7%) και «τεχνολογικά προηγμένη» (92,5%), υποδηλώνοντας ότι το περιβάλλον χρήσης θεωρήθηκε ελκυστικό και πρωτοποριακό.

Αν και οι συνολικές εντυπώσεις ήταν εξαιρετικές, παρατηρήθηκε ότι η διάσταση της σαφήνειας παρουσίασε ελαφρώς χαμηλότερη – αν και ακόμα θετική – αξιολόγηση, γεγονός που ενδεχομένως υποδεικνύει περιθώρια βελτίωσης στον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζεται η πληροφορία ή καθοδηγείται ο χρήστης. Συμπερασματικά, τα δεδομένα δείχνουν πως η εφαρμογή προκάλεσε ιδιαίτερα θετική απήχηση, με βασικά της πλεονεκτήματα την καινοτομία, τη θετική εμπλοκή του χρήστη και την αίσθηση στήριξης που προσφέρει κατά τη χρήση.

Πίνακας 8.4: UEQ - Ερωτηματολόγιο Εμπειρίας Χρήστη.

Ερωτήσεις	Ποσοστό
Υποστηρικτικό	88.7%
Εύκολο	84.2%
Αποτελεσματικό	85.7%
Ξεκάθαρο	83.5%
Συναρπαστικό	86.5%
Ενδιαφέρον	94%
Επινοητικό	91.7%
Πρωτοποριακό	92.5%

8.6 Συμπεράσματα της αξιολόγησης και προτάσεις από τους χρήστες.

Η έρευνα ανέδειξε τη σημαντική χρησιμότητα της εικονικής πραγματικότητας σε συνδυασμό με την τεχνολογία απτικής ανάδρασης. Τα ποσοτικά αποτελέσματα που αφορούν τις κινητικές δεξιότητες (AS), αλλά και οι ποιοτικές απαντήσεις των συμμετεχόντων στα ερωτηματολόγια, ανέδειξαν τα πλεονεκτήματα αλλά και ορισμένες αδυναμίες της πλατφόρμας. Η εφαρμογή έλαβε υψηλές αξιολογήσεις σε επίπεδο χρηστικότητας και εμπειρίας χρήστη, με τα ισχυρότερα σημεία της να εντοπίζονται στην καινοτομία, την ευκολία αλληλεπίδρασης και τη γενική λειτουργικότητα του συστήματος.

Παρά τις θετικές εντυπώσεις, αναδείχθηκαν τομείς που χρειάζονται τεχνικές βελτιώσεις. Ένα βασικό εύρημα ήταν η ανάγκη για περισσότερο χρόνο εξάσκησης και καλύτερη γνωριμία με τη συσκευή και το εικονικό περιβάλλον, καθώς αρκετοί συμμετέχοντες ανέφεραν ότι δυσκολεύτηκαν να κατανοήσουν πλήρως τους κανόνες πλοήγησης. Προτείνεται η ενσωμάτωση μιας προοδευτικής εκπαιδευτικής διαδικασίας, η οποία να προσφέρει εξάσκηση με σταδιακή αύξηση της δυσκολίας και ταυτόχρονη απτική ανατροφοδότηση, ώστε να μειωθεί η νοητική κόπωση και να ενισχυθεί η αυτοπεποίθηση των χρηστών.

Ένα ακόμη τεχνικό ζήτημα αφορούσε την ανεπαρκή διαφοροποίηση ορισμένων απτικών πλακιδίων – κυρίως μεταξύ των τύπων B και C, καθώς και A2 και D. Οι συμμετέχοντες δυσκολεύτηκαν να διακρίνουν τα πλακίδια αποκλειστικά μέσω της υψής, κάτι που υποδηλώνει την ανάγκη για πιο ευδιάκριτα απτικά χαρακτηριστικά. Ως πιθανή λύση προτείνεται η χρήση διαφορετικών υλικών με ξεχωριστή υφή ή/και η εισαγωγή συνδυασμών πολλαπλών απτικών σημάτων – όπως δονήσεις διαφορετικής έντασης, διάρκειας ή και ρυθμού. Επιπλέον, μικρές αναγλύφες λεπτομέρειες στην επιφάνεια των πλακιδίων θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ευκολία αναγνώρισης μέσω αφής.

Επιπλέον, αρκετοί χρήστες πρότειναν την ενσωμάτωση ακουστικών ερεθισμάτων από το φυσικό περιβάλλον, όπως ήχοι βημάτων, νερού ή κελαηδίσματα πουλιών. Αυτά τα ηχητικά στοιχεία θα μπορούσαν να ενισχύσουν την αίσθηση προσανατολισμού και να συμβάλουν στη δημιουργία μιας πιο ρεαλιστικής εμπειρίας. Παράλληλα, η προσθήκη έντονων και αιφνίδιων δονήσεων κατά την αντίχενυση εμποδίων θα μπορούσε να ενισχύσει την αίσθηση ασφάλειας, παρέχοντας άμεση προειδοποίηση για πιθανούς κινδύνους, με πιο ξεκάθαρη και στοχευμένη απτική ανατροφοδότηση.

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα που αναφέρθηκε αφορά την εργονομία της συσκευής Touch, καθώς παρατεταμένη χρήση προκαλούσε κόπωση, κυρίως λόγω της ανάγκης να τη συγκρατεί κανείς στον αέρα. Αυτή η σωματική καταπόνηση αποτελεί ένα συχνό φαινόμενο, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιο ελαφριά ή εργονομικά βελτιωμένα συστήματα στήριξης. Για παράδειγμα, μια σχεδιαστική προσέγγιση που θα επιτρέπει τη στήριξη της συσκευής σε σταθερή βάση ή η χρήση ενός πιο εργονομικού και ασύρματου χειριστηρίου θα μπορούσε να μειώσει την κόπωση. Εναλλακτικά, όπως πρότεινε ένας συμμετέχων με ολική απώλεια όρασης, η απευθείας αλληλεπίδραση με την παλάμη ή άλλες περιοχές του χεριού, χωρίς την ανάγκη συγκράτησης συσκευής, ενδέχεται να προσφέρει μεγαλύτερη άνεση και λειτουργικότητα – ιδίως για άτομα με περιορισμένη αντοχή.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η προτίμηση των τυφλών χρηστών προς τις απτικές διαδρομές σχετίζεται κυρίως με την αναγνώριση απουσίας εμποδίων και όχι τόσο με την υφή των πλακιδίων. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για ανασχεδιασμό των απτικών μονοπατιών, με προτεραιότητα στη σαφήνεια της διαδρομής και στην ευκολία μετακίνησης, παρά στην πολυπλοκότητα των απτικών

Κεφάλαιο 8

ερεθισμάτων. Μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να διερευνήσουν τον μακροπρόθεσμο αντίκτυπο της πλατφόρμας στην κινητικότητα σε πραγματικά περιβάλλοντα, καθώς και να επικεντρωθούν στη βελτίωση της εργονομίας των απτικών συσκευών. Η διεύρυνση του δείγματος και η ανάπτυξη εξατομικευμένων εκπαιδευτικών μεθόδων θεωρούνται καθοριστικής σημασίας για την καθολική υιοθέτηση της πλατφόρμας ως εκπαιδευτικού εργαλείου και μέσου ενίσχυσης της προσβασιμότητας.

Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης

9.1 Συμπεράσματα

Η μελέτη των απτικών μοτίβων σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας αποτελεί ένα επιστημονικό πεδίο που βρίσκεται ακόμη στα πρώτα του βήματα. Παρ' όλα αυτά, οι μελλοντικές εξελίξεις αναμένεται να έχουν ουσιαστική συμβολή τόσο στη βελτίωση της καθημερινής ζωής όσο και στην προώθηση της προσβασιμότητας, ιδίως για άτομα με ολική ή σοβαρή απώλεια όρασης.

Η συγκεκριμένη έρευνα διερεύνησε την ικανότητα των χρηστών να αναγνωρίζουν και να διαχωρίζουν διαφορετικά είδη απτικών δαπέδων. Μέσα από μια σειρά πειραματικών διαδικασιών σε τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον, καταγράφηκαν σημαντικά στοιχεία σχετικά με την αντίληψη της υφής και της μορφής. Οι συμμετέχοντες αλληλεπίδρασαν με πέντε διαφορετικά είδη πλακιδίων, τα οποία τοποθετήθηκαν σε προσομοιωμένα αστικά σενάρια πλοήγησης. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σαφή προοπτική για βελτίωση του σχεδιασμού και της απτικής απόκρισης των εικονικών πλακιδίων, με απώτερο στόχο την ενίσχυση της χρηστικότητας και της ασφάλειας των χρηστών.

Επιβεβαιώθηκε ότι τα απτικά μοτίβα μπορούν να αναπαρασταθούν με επιτυχία σε εικονικά περιβάλλοντα, προσφέροντας στους χρήστες μια ασφαλή και ελεγχόμενη εμπειρία εξάσκησης. Οι συμμετέχοντες με οπτικές αναπηρίες μπόρεσαν να αναγνωρίσουν και να διακρίνουν τις υφές. Το εύρημα αυτό υπογραμμίζει την ιδιαίτερη σημασία της αφής ως πρωταρχικού αισθητηρίου μέσου για την πλοήγηση και τον προσανατολισμό. Επίσης αναδεικνύει τη δυνατότητα που έχουν παρόμοιες πλατφόρμες να συνεισφέρουν στον αγώνα για έναν ασφαλή και συμπεριληπτικό δημόσιο χώρο.

Τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων κατέδειξαν υψηλά ποσοστά ικανοποίησης σε όρους χρηστικότητας, ευκολίας χρήσης και καινοτομίας. Οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν την εκπαιδευτική αξία του συστήματος και τη δυνατότητά του να συμβάλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων προσανατολισμού σε πραγματικά περιβάλλοντα. Ακόμη σημειώθηκε και το ενδιαφέρον τους καθώς πρόκειται για μια πρωτότυπη χρήση λογισμικού και υλικού μέσα από το πρίσμα της αίσθησης της αφής. Παράλληλα, καταγράφηκαν και ορισμένες αδυναμίες, όπως οι περιορισμοί στην εργονομία της συσκευής και η ανάγκη περαιτέρω προσαρμογής των σεναρίων στις εξατομικευμένες ανάγκες των χρηστών.

Η μελέτη ανέδειξε τη σημασία της προσαρμογής του εικονικού περιβάλλοντος στις αισθητηριακές και γνωστικές ικανότητες της κάθε ομάδας χρηστών. Το στοιχείο αυτό αποτελεί βασικό άξονα για την εξέλιξη και την ευρύτερη εφαρμογή παρόμοιων τεχνολογιών στον τομέα της προσβασιμότητας.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συνδυασμένη χρήση απτικής ανάδρασης και εικονικής πραγματικότητας μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο εκπαίδευσης και ενδυνάμωσης για άτομα με οπτική αναπηρία, ανοίγοντας νέες προοπτικές για την ανεξάρτητη μετακίνηση και την κοινωνική τους ένταξη. Παράλληλα, η μελέτη συμβάλλει στον επιστημονικό διάλογο για την αξιοποίηση πολυαισθητηριακών τεχνολογιών και προσφέρει μια βάση για μελλοντική έρευνα και βελτίωση.

9.2 Προτάσεις Βελτίωσης.

Με βάση την εμπειρία μου στη χρήση και ανάπτυξη της εφαρμογής καθώς και την πολύτιμη ανατροφοδότηση και σχόλια τα σχόλια που μας μοιράστηκαν οι συμμετέχοντες, διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση.

Ενώ κατά την ανάπτυξη κύριος στόχος ήταν η εξυπηρέτηση των ατόμων με οπτικές αναπηρίες, η συνεργασία μας μαζί τους ήταν περιορισμένη. Αν και υπήρξε σημαντική ανατροφοδότηση που συνέβαλε στην τροποποίηση της πλατφόρμας, για πρακτικούς λόγους (π.χ. διαθεσιμότητα και μετακίνηση της συσκευής) και για τον σεβασμό προς τον χρόνο τους δεν καταφέραμε να τους αξιοποιήσουμε όσο απαιτούσε η έρευνα μας. Με ένα μεγαλύτερο δείγμα και με περισσότερο χρόνο στη διάθεσή μας, θα μπορούσαμε να συλλέξουμε στοιχεία για τις προσωπικές προτιμήσεις του κάθε ατόμου ώστε να διερευνηθεί καλύτερα μία μέθοδος που θα καλύψει τις ανάγκες του μεγαλύτερου δυνατού πληθυσμού. Στοιχεία όπως τον τρόπο πλοήγησής τους στην καθημερινότητά τους και τιμές παραμέτρων για το εικονικό περιβάλλον και τη γραφίδα ώστε η εφαρμογή να προσφέρει μια ρεαλιστική εμπειρία.

Μία λειτουργία που παρουσίασε δυσκολίες στη χρήση ενώ στο πείραμα δεν χρησιμοποιήθηκε είναι ο πλήρης έλεγχος της εφαρμογής από τον χρήστη. Στο πείραμα η μετακίνηση γινόταν αποκλειστικά από τον χειριστή και όχι από τον παίκτη ο οποίος χρησιμοποιούσε μόνο τη γραφίδα για λόγους απλότητας. Για την ανεξαρτητοποίηση του χρήστη, θα ήθελα να αναπτύξω ένα αποτελεσματικό σύστημα πλοήγησης στο οποίο δεν θα δημιουργούνται προβλήματα αποπροσανατολισμού. Στην τελική μορφή η εφαρμογή μέσω ορίων στην πίστα, περιορισμών στην κίνηση και ηχητικών μηνυμάτων το πετυχαίνει ως ένα βαθμό αλλά θεωρώ ότι με επιπλέον δοκιμές μπορεί να βελτιωθεί. Αλλά στόχος είναι ο παίκτης επιτυχώς να πλοηγείται ελεύθερα όπως και στην πραγματικότητα

Ο εμπλουτισμός με περισσότερα σενάρια και ποικιλία στις ιδιαιτερότητές τους είναι ακόμα ένα κομμάτι που χρήζει ενίσχυσης. Όπως ανέφερα προηγουμένως, η απασχόληση των ατόμων με οπτικές αναπηρίες είχε περιορισμένη χρονική διάρκεια. Με τις ιδανικές συνθήκες θα μπορούσε να γίνει σύνθεση και δοκιμή μεγαλύτερων σεναρίων, πιο πολύπλοκων που θα προσομοιώνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την αστική καθημερινότητα. Εμπόδια, θόρυβοι ως περισπασμοί ακόμα και δυσκολότερα σενάρια αναγνώρισης (πχ. απρόσμενη διακοπή του οδηγού όδευσης) είναι κάποιες πιθανές προσθήκες.

Η εφαρμογή αυτή ελπίζω να αποτελέσει έμπνευση και σε άλλους δημιουργούς που θα την αξιοποιήσουν ως βάση για πιο ολοκληρωμένα συστήματα για τη υποστήριξη της καθημερινότητας των συνανθρώπων μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] E. Saddik, "The potential of haptics technologies," *IEEE Instrumentation Measurement Magazine*, vol. 10, pp. 10–17, Feb 2007, doi: 10.1109/MIM.2007.339540.
- [2] Burdea, G. C., & Coiffet, P. *Virtual Reality Technology* (2nd ed.). Wiley-IEEE Press, 2003, doi: 10.1162/105474603322955950.
- [3] Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 3, 2016. doi: 10.3389/frobt.2016.00074.
- [4] Jerald, J. *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Morgan & Claypool, 2016, doi: 10.1145/2792790.
- [5] World Health Organization, "Eye care, vision impairment and blindness", *World Health Organization* [Online]. Available <https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss>.
- [6] Prof Rupert R A Bourne, Seth R Flaxman, Tasanee Braithwaite, Maria V Cicinelli, Aditi Das, Jost B Jonas, "Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis", *The Lancet Global Health*, vol 5, no. 9, pp. 888-897, September 2017, doi: 10.1016/S2214-109X(17)30293-0.
- [7] Fabiana Sofia Ricci, Alain Boldini, Mahya Beheshti, John Ross Rizzo, and Maurizio Porfiri, "A virtual reality platform to simulate orientation and mobility training for the visually impaired" *Virtual Reality*, no. 27, pp. 797-814, September 2022, doi: 10.1007/s10055-022-00691-x.
- [8] Tore Bonsaksen, Audun Brunes, and Trond Heir, "Quality of life in people with visual impairment compared with the general population" *Journal of Public Health*, no. 33, pp. 23-31, 2025, doi: 10.1007/s10389-023-01995-1.
- [9] Hyeong-min Kim and Sung-min Son, "Impacts of Daily Life and Job Satisfaction on Social Participation of Persons with Visual Impairment" *Wiley*, 2023, doi: 10.1155/2023/6475756.
- [10] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems" *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, 2007, doi: 10.1109/TSMCC.2007.905750.
- [11] Manuela Pires Rosa, Germana Santiago De Mello, and Sophia Morato, "Tactile Paving Surfaces at Bus Stop. The need of Homogeneous Technical Solutions for Accessible Tourism" *Journal of Accessibility and Design for All*, vol. 11, no. 2, pp. 259-294, 2021, doi: 10.17411/jaccess.v11i2.313.
- [12] Matthew S. K. Yeo, Javier J. J. Pey, and Mohan Rajesh Elara, "Passive Auto-Tactile Heuristic (PATH) Tiles: Novel Robot-Inclusive Tactile Paving Hazard Alert System" *Buildings*, vol. 13, no. 10, p. 2504, 2023, doi: 10.3390/buildings13102504.

- [13] Javed Muhammad, Muhammad Javed Aftab, Sidra Bano, and Umaila Iram, "Challenges encountered by Students With Visual Impairment in Accessing Orientation and Mobility Training Corresponding Author" *Annals of Human and Social Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 514-523, 2024, doi: 10.35484/ahss.2024(5-II)47.
- [14] Robert Wall Emerson and Tessa McCarthy, "Orientation and Mobility for Students with Visual Impairments: Priorities for Research" *International Review of Research in Mental Retardation*, vol. 46, p. 253–280, 2014, doi: 10.1016/B978-0-12-420039-5.00008-3.
- [15] Alice Lo Valvo et al., "A Navigation and Augmented Reality System for Visually Impaired People" *Sensors*, vol. 21, no. 9, p. 3061, 2021, doi: 10.3390/s21093061.
- [16] Nikolaos Tzimos, Iordanis Kyriazidis, George Voutsakelis, Sotirios Kontogiannis and George Kokkonis, "Interaction with Tactile Paving in a Virtual Reality Environment: Simulation of an Urban Environment for People with Visual Impairments", *Multimodal Technologies and Interaction*, vol 9, no 7, p. 71, doi: 10.3390/mti9070071.
- [17] Nicolás Navarro-Guerrero, Sibel Toprak, Josip Josifovski, and Lorenzo Jamone, "Visuo-haptic object perception for robots: an overview" *Autonomous Robots*, vol. 47, p. 377–403, 2023, doi: 10.48550/arXiv.2203.11544.
- [18] Zhixian Hu et al., "Machine Learning for Tactile Perception: Advancements, Challenges, and Opportunities" *Advanced Intelligent Systems*, vol. 5, no. 7, p. 2200371, 2023, doi: 10.1002/aisy.202200371.
- [19] D. Croce, Laura Giarre, F. G. La Rosa, E. Montana, and Ilenia Tinnirello, "Enhancing tracking performance in a smartphone-based navigation system for visually impaired people" in *24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Athens, Greece, 2016, doi: 10.1109/MED.2016.7535871.
- [20] Martin Weiss et al., "Navigation Agents for the Visually Impaired: A Sidewalk Simulator and Experiments" in *Conference on Robot Learning (CoRL)*, Osaka, Japan, 2019, p. 1314–1327, doi: 10.48550/arXiv.1910.13249.
- [21] Min Wang, Aurélie Dommès, Valérie Renaudin, and Ni Zhu, "Analysis of Spatial Landmarks for Seamless Urban Navigation of Visually Impaired People" *IEEE Journal of Indoor and Seamless Positioning and Navigation*, vol. PP, no. 99, pp. 1-11, 2023, doi: 10.1109/JISPIN.2023.3333852.
- [22] Nikolaos Tzimos, George Voutsakelis, Sotirios Kontogiannis, and Georgios Kokkonis, "Evaluation of Haptic Textures for Tangible Interfaces for the Tactile Internet" *Electronics*, vol. 13, no. 18, 2024, doi: 10.3390/electronics13183775.

- [23] Catherine Todd, Swati Mallya, Sara Majeed, Jude Rojas, and Katy Naylor, "Haptic-Audio Simulator for Visually Impaired Indoor Exploration" *Journal of Assistive Technologies*, vol. 9, no. 2, pp. 71 - 85, 2015, doi: 10.1108/JAT-06-2014-0016.
- [24] Catherine Todd, Swati Mallya, Sara Majeed, Jude Rojas, and Katy Naylor, "VirtuNav: A Virtual Reality Indoor Navigation Simulator with Haptic and Audio Feedback for the Visually Impaired" in *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Robotic Rehabilitation and Assistive Technologies (CIR2AT)*, Orlando, Florida, USA, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/CIRAT.2014.7009734.
- [25] Suayder M. Costa, Rafael J. P. Damaceno, Henrique Morimitsu, and Roberto M. Cesar-Jr., "Tactile Path Guidance via Weakly Supervised Visual Attention" in *4th Annual Workshop on The Future of Urban Accessibility (UrbanAccess)*, 2024, [Online], <https://hmorimitsu.com/publication/2024-urbanaccess-tactile/>
- [26] Shuchang Xu, Ciyuan Yang, Wenhao Ge, Chun Yu, and Yuanchun Shi, "Virtual Paving: Rendering a Smooth Path for People with Visual Impairment through Vibrotactile and Audio Feedback" *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT)*, vol. 4, no. 3, pp. 1-25, 2020, doi: 10.1145/3411814.
- [27] Orly Lahav, David Schloerb, Siddarth Kumar, and Mandyam Srinivasan, "A Virtual Environment for People Who Are Blind - A Usability Study" *Journal of Assistive Technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 38-52, 2012, doi: 10.1108/17549451211214346.
- [28] Orly Lahav, David Schloerb, Siddarth Kumar, and Mandayam Srinivasan, "A virtual map to support people who are blind to navigate through real spaces" *Journal of Special Education*, vol. 26, no. 4, pp. 41-56, 2011, doi: 10.1177/016264341102600404.
- [29] Julian Kreimeier and Timo Göelmann, "Real World VR Proxies to Support Blind People in Mobility Training" in *Mensch und Computer 2018*, Dresden, Germany, 2018, doi: 10.18420/muc2018-demo-0484.
- [30] Yuhang Zhao et al., "Enabling People with Visual Impairments to Navigate Virtual Reality with a Haptic and Auditory Cane Simulation" in *CHI 2018 – Conference on Human Factors in Computing Systems*, Montréal, Canada, 2018, pp. 1-14, doi: 10.1145/3173574.3173690.
- [31] Ελληνική Κυβέρνηση (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας), «Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας», *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, αρ. Φύλλου 6213, τεύχος 2, 7 Δεκεμβρίου 2022.
- [32] Ελληνική Κυβέρνηση (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής), «Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας», *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, αρ. Φύλλου 2621, τεύχος 2, 31 Δεκεμβρίου 2009.

- [33] Hess, R. *Blender Foundations: The Essential Guide to Learning Blender 2.8 and Above*. Focal Press, 2021, doi: 10.4324/9780240814315.
- [34] Blender Foundation, "Blender 4.5 LTS Manual", Online Documentation, 2025. [Online]. Available: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/>
- [35] Paul E. Dickson, Jeremy E. Block, Gina N. Echevarria, and Kristina C. Keenan, "An Experience-based Comparison of Unity and Unreal for a Stand-alone 3D Game Development Course" in *International Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE)*, Bologna, Italy, 2017, doi: 10.1145/3059009.3059013.
- [36] Afzal Hussain, Haad Shakeel, Faizan Hussain, Nasir Uddin, and Turab Latif Ghouri, "Unity Game Development Engine: A Technical Survey" *University of Sindh Journal of Information and Communication Technology (USJICT)*, vol. 4, no. 2, p.73–81, 2020.
- [37] Unity Technologies, "Unity User Manual", [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/UnityManual.html>
- [38] Adelio Silva, Omar A. Domínguez Ramírez, Vicente P. Vega, and Jesús P. Ordaz Oliver, "PHANToM OMNI Haptic Device: Kinematic and Manipulability" in *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA)*, Cuernavaca, Mexico, 2009, p. 193–198, doi: 10.1109/CERMA.2009.55.
- [39] Hailu Gebretsadik Teklemariam and A. K. Das, "A Case Study of PHANToM OMNI Force Feedback Device for Virtual Product Design" *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 9, no. 4, p. 881–892, 2015, doi: 10.1007/s12008-015-0274-3.
- [40] José San Martín and Gracian Trivino, "A Study of the Manipulability of the PHANToM OMNI Haptic Interface" in *Third Workshop on Virtual Reality Interactions and Physical Simulations (VRIPHYS)*, Madrid, Spain, 2006, doi: 10.2312/PE/vriphys/vriphys06/127-128.
- [41] Mats Isaksson, Ben Horan, and Saeid Nahavandi, "Low-Cost 5-DOF Haptic Stylus Interaction Using Two Phantom Omni Devices" in *EuroHaptics (International Conference on Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications)*, Tampere, Finland, 2012, p. 139–149, doi: 10.1007/978-3-662-44196-1_18.
- [42] 3DSYSTEMS, "Haptics Direct Unity Plugin Version 1.0 User Guide", [Online], Available: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/haptics-direct-for-unity-v1-197034>
- [43] Sara Alzalabny, Omar Moured, Karin Müller, Thorsten Schwarz, and Bastian Rapp, "Designing a Tactile Document UI for 2D Refreshable Tactile Displays: Towards Accessible Document Layouts for Blind People" *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 8, no. 11, p. 102, 2024, doi: 10.3390/mti8110102.

[44] Elias Dritsas, Maria Trigka, Christos Troussas, and Phivos Mylonas, "Multimodal Interaction, Interfaces, and Communication: A Survey" *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 9, no. 1, p. 6, 2025, doi: 10.3390/mti9010006.

[45] Jess Case, "Modular First Person Controller ", [Online], Available:

<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/modular-first-person-controller-189884>

[46] Flamine Alary et al., "Tactile acuity in the blind: A closer look reveals superiority over the sighted in some but not all cutaneous tasks" *Neuropsychologia*, vol. 47, no. 10, pp. 2037-43, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.014.

[47] Daniel Goldreich and Ingrid M. Kanics, "Tactile Acuity is Enhanced in Blindness" *The Journal of Neuroscience*, vol. 23, no. 8, p. 3439–3445, 2003, doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-08-03439.2003.

[48] Wilko Heuten, Niels Henze, Susanne Boll, and Martin Pielot, "Tactile Wayfinder: A Non-Visual Support System for Wayfinding" in *5o Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI 2008)*, Lund, Sweden, 2008, doi: 10.1145/1463160.1463179.

[49] Arnold M. Lund, "Measuring Usability with the USE Questionnaire" *Usability Interface*, vol. 8, no. 2, pp. 3-6, 2001, Available: [hps://garyperlman.com/quest/quest.cgi?form=USE](https://garyperlman.com/quest/quest.cgi?form=USE).

[50] Beina Laugwi, Theo Held, and Martin Schrepp, "Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire" in *HCI and Usability for Education and Work, 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society*, USAB 2008, Graz, Austria, November 2008, pp. 63-76, Available: [hps://www.ueq-online.org](https://www.ueq-online.org), doi: 10.1007/978-3-540-89350-9_6.

[51] Naoki Yokoyama, Sehoon Ha, and Dhruv Batra, "Success Weighted by Completion Time: A Dynamics-Aware Evaluation Criteria for Embodied Navigation" in *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Prague, Czech Republic, 2021, p. 1562–1569, doi: 10.48550/arXiv.2103.08022.

[52] H. B. Mann, D. R. Whitney, "On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other" *The annals of mathematical statistics*, vol. 18, p. 50-60, 1947, doi: 10.1214/aoms/1177730491.

[53] T. W. MacFarland, J. M. Yates, "Introduction to nonparametric statistics for the biological sciences using R" Springer,2016,

ISBN: 978-3-319-30633-9, doi: 10.1007/978-3-319-30634-6.

[54] Nadim Nachar, "The Mann-Whitney U: A Test for Assessing Whether Two Independent Samples Come from the Same Distribution" *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, vol. 4, no. 1, p. 13-20, 2008, doi: 10.20982/tqmp.04.1.p013.

[55] Miao Zhou, "Flux of Opera Dance Development and Digitization Construction in the Context of Big Data---Taking Xiangbei Region as an Example", *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol 10, no 1, 2025, doi: 10.2478/amns-2025-0424.

[56] 3DSystems, "Touch™ and Touch X™ Haptic Device User Guide", 30-0433 Rev. A, [Online], Available:

https://s3.amazonaws.com/dl.3dsystems.com/binaries/Sensable/UserGuide/Touch+%26+TouchX+User_Guide_USB.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ USE

Ενότητες USE	Ερώτηση	Κλίμακα Likert (1-5)
	Με βοηθά να είμαι πιο αποτελεσματικός/-ή;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
Χρησιμότητα	Είναι χρήσιμο;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Μου δίνει περισσότερο έλεγχο στις δραστηριότητες της ζωής μου;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Είναι εύκολο στη χρήση;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
Ευκολία Χρήσης	Είναι φιλικό προς τον χρήστη;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Μπορώ να ανακάμψω γρήγορα και εύκολα από λάθη;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Το έμαθα να το χρησιμοποιώ γρήγορα;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
Ευκολία Μάθησης	Θυμάμαι εύκολα πώς να το χρησιμοποιώ;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Είναι εύκολο να το μάθει κανείς;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Νιώθω ότι το χρειάζομαι;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
Ικανοποίηση	Θα το πρότεινα σε έναν φίλο;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
	Είναι διασκεδαστικό στη χρήση;	1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ UEQ

UEQ Επιλογή Α	Κλίμακα Likert (1 έως 7)	UEQ Επιλογή Β
Παρεμποδιστικό	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Υποστηρικτικό
Περίπλοκο	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Εύκολο
Αναποτελεσματικό	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Αποτελεσματικό
Ξεκάθαρο	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Μπερδεμένο
Βαρετό	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Συναρπαστικό
Μη ενδιαφέρον	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Ενδιαφέρον
Συμβατικό	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Επινοητικό
Συνηθισμένο	• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7	Πρωτοποριακό