

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ:** Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών (Η.Υ.)

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ:** Διαδραστικών Τεχνολογιών

**«Σχεδίαση εξωτερικού ελεγκτή για τον έλεγχο περιβάλλοντος εκτεταμένης πραγματικότητας»**

**«Design of external controller for interaction with extended reality environments»**

**Διπλωματική Εργασία**

του

Παπαδούλη Γεωργίου

Αριθμός Μητρώου: 1020865

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας: (1020865 / 2022)

Επιβλέπων : Νικόλαος Αβούρης

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2022

**ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ**

Πιστοποιείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα

**«Σχεδίαση εξωτερικού ελεγκτή για τον έλεγχο περιβάλλοντος εκτεταμένης πραγματικότητας»**

**«Design of external controller for interaction with extended reality environments»**

Του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Παπαδούλη Γεωργίου

Αριθμός Μητρώου: 1020865

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών στις

…….. / …….. / ……..

Ο Επιβλέπων Ο φοιτητής Ο Διευθυντής του Τομέα

Αβούρης Νικόλαος Παπαδούλης Γεώργιος Παλιουράς Βασίλειος

Καθηγητής Καθηγητής

# Ευχαριστίες

# Περίληψη

# Abstract

# Περιεχόμενα

[Ευχαριστίες I](#_Toc114738243)

[Περίληψη II](#_Toc114738244)

[Abstract III](#_Toc114738245)

[Περιεχόμενα IV](#_Toc114738246)

[Κατάλογος Σχημάτων IV](#_Toc114738247)

[Πρόλογος - 1 -](#_Toc114738248)

[Κεφάλαιο 1 – Θεωρητικό & Τεχνολογικό Υπόβαθρο - 2 -](#_Toc114738249)

[1.1 Εκτεταμένη Πραγματικότητα - 2 -](#_Toc114738250)

[1.1.1 Εικονική Πραγματικότητα (*VR*) - 3 -](#_Toc114738251)

[1.1.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) - 3 -](#_Toc114738252)

[1.1.3 Μικτή Πραγματικότητα (MR) - 4 -](#_Toc114738253)

[1.2 Γραφικά και αναπαράσταση στο χώρο[20], [21] - 5 -](#_Toc114738254)

[1.2.1 Γραφικά και τρισδιάστατος χώρος - 5 -](#_Toc114738255)

[1.2.2 Μεταφορά (*Translation*) - 5 -](#_Toc114738256)

[1.2.3 Περιστροφή γύρω από άξονα (*Rotation*) - 6 -](#_Toc114738257)

[1.2.3 Γενικευμένη Περιστροφή - 7 -](#_Toc114738258)

[1.2.2 Ομοιογενές Σύστημα Συντεταγμένων (*Homogeneous Coordinates*) [20], [21] - 7 -](#_Toc114738259)

[Βιβλιογραφία - 7 -](#_Toc114738260)

# Κατάλογος Σχημάτων

[ΕΙΚΟΝΑ 1 Πραγματικό - εικονικο συνεχες - milgram et al.'s continuum - 2 -](#_Toc114602963)

# Πρόλογος

Η εικονική, επαυξημένη και εκτεταμένη πραγματικότητα είναι πεδία τα οποία τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς. Έχουν σχεδιασθεί και αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες που υλοποιούν τα παραπάνω πεδία, από *HMDs* που τοποθετούνται στο κεφάλι στα πιο απλά καθημερινά έξυπνα κινητά και τάμπλετ. Μάλιστα, η βελτίωση είναι εμφανής και από τη μεριά της προσβασιμότητας και της ταχύτητας, καθώς συνεχώς γίνεται φθηνότερη η παραγωγή καλύτερου υλικού και αναπτύσσονται περισσότερο αποδοτικοί αλγόριθμοι και λογισμικό.

Παρατηρούμε λοιπόν τη χρήση αυτών των τεχνολογιών σε διάφορους τομείς. Εφαρμογές εκπαίδευσης, προσομοίωσης, περιήγησης σε περιβάλλοντα ενδιαφέροντος – λόγου χάριν, πολιτισμικά – καθώς και βιντεοπαιχνίδια είναι κάποια παραδείγματα όπου η εικονική, επαυξημένη και εκτεταμένη πραγματικότητα προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη, πιο κοντά στον άνθρωπο εμπειρία.

Συγκεκριμένα, η παρούσα διπλωματική ασχολείται περισσότερο με το πεδίο της εκτεταμένης πραγματικότητας, όπου ο χρήστης καλείται να περιηγηθεί και αλληλεπιδράσει με ένα εικονικό περιβάλλον το οποίο όμως συνυπάρχει με τον πραγματικό κόσμο.

Ένα εύλογο ερώτημα που προκύπτει είναι το εξής: «Τι τρόπους / μηχανισμούς αλληλεπίδρασης θα προσφέρω στο χρήστη μίας συσκευής εκτεταμένης πραγματικότητας;» Συνηθέστερα, η αλληλεπίδραση γίνεται είτε με κάποιον ενσωματωμένο ελεγκτή – φωνητική εντολή, αναγνώριση χειρονομιών, εντοπισμός χεριού, εντοπισμός βλέμματος, εντοπισμός κεφαλής – είτε με κάποιο εξωτερικό ελεγκτή / χειριστήριο. Η πρώτη περίπτωση έχει το πλεονέκτημα λιγότερου υλικού, άρα και φθηνότερης υλοποίησης, με περιορισμούς το πεδίο όρασης της συσκευής και την υπολογιστική της ισχύ. Η δεύτερη περίπτωση αυξάνει το κόστος, αλλά προσφέρει έναν επιπλέον μηχανισμό ο οποίος επεκτείνει τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης του χρήστη, καθώς και τη συνολική ευρωστία του συστήματος.

Ως μια λύση του υψηλότερου κόστους της χρήσης εξωτερικού ελεγκτή, καθώς και μία συσκευή πειραματισμού για διάφορους τρόπους ελέγχου της εκτεταμένης πραγματικότητας, προτείνεται το κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιούμε καθημερινά. Πλέον, τα κινητά ή έξυπνα τηλέφωνα αποτελούν ισχυρούς υπολογιστές και προσφέρουν πολλές δυνατότητες επέκτασης της αλληλεπίδρασης με ένα εξωτερικό σύστημα.

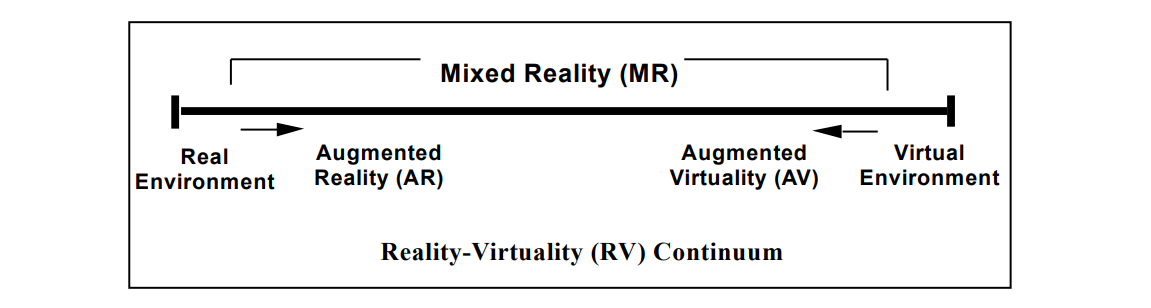
Αυτός είναι και ο σκοπός αυτής της διπλωματικής. Το *HMD* που χρησιμοποιείται στη διπλωματική είναι το *Microsoft Hololens 2* · αν και ο κώδικας επί το πλείστον λειτουργεί και στο *Hololens 1*. Παρουσιάζεται λοιπόν μία προσπάθεια επέκτασης του χειρισμού και της αλληλεπίδρασης που προσφέρει το *Hololens* χρησιμοποιώντας ως εξωτερικό χειριστήριο ένα καθημερινό έξυπνο τηλέφωνο. Επιπλεόν, θα εξετάσουμε κατά πόσο είναι δυνατή η μετατροπή του κινητού σε ένα *6DOF Controller*, καθώς και τι άλλες δυνατότητες μπορεί να προσφέρει το κινητό μέσω της οθόνης αφής.

Τέλος, μέσω ενός απλού πειράματος θα συγκρίνουμε μία αλληλεπίδραση που εισαγάγαμε χρησιμοποιώντας την αναπτυχθείσα βιβλιοθήκη (*framework*) με τον εσωτερικό (*native*) τρόπο αλληλεπίδρασης.

# Κεφάλαιο 1 – Θεωρητικό & Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα διάφορα θεωρητικά και τεχνολογικά εργαλεία που απαιτούνται για την κατανόηση και ολοκλήρωση του σκοπού της διπλωματικής εργασίας. Καταρχάς, γίνεται μια αναφορά στα πεδία της εικονικής, επαυξημένης και εκτεταμένης πραγματικότητας, καθώς και συσκευές που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση τους. Ακολουθεί συνοπτική ανάπτυξη χρήσιμων μαθηματικών περιγραφής τρισδιάστατου χώρου, μία νύξη στην Επεξεργασία Εικόνας καθώς και επεξηγούνται οι όροι *Visual Inertial Odometry* – *Simultaneous Localization and Mapping*, βασικοί όροι για την κατανόηση της εσωτερικής λειτουργίας μιας εκ των αναφερθέντων συσκευών. Στη συνέχεια, καταγράφονται τα διάφορα είδη ελεγκτών / χειριστηρίων για τις συσκευές αυτές και ο τρόπος αλληλεπίδρασης που προσφέρουν. Έπειτα, αναφερόμαστε συγκεκριμένα στο *Hololens 2* και τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασής του. Τέλος, αναφέρονται τα διάφορα περιβάλλοντα ανάπτυξης της λύσης που προτείνεται στη διπλωματική ·To (Η) Unity και το Visual Studio.

## Εκτεταμένη Πραγματικότητα



ΕΙΚΟΝΑ 1 Πραγματικό - εικονικο συνεχες - milgram et al.'s continuum

Η εκτεταμένη πραγματικότητα αποτελεί μία έννοια που περικλείει την εικονική, την επαυξημένη και τη μικτή πραγματικότητα, καθώς και των ενδιάμεσων αυτών περιοχών. Εντούτοις, αποτελεί ένα υπερσύνολο των παραπάνω, με όρια από το «πλήρως αληθινό» στο «πλήρως εικονικό», όπως προτάθηκε από τον Paul Milgram κατά τα πλαίσια του «πραγματικού-εικονικού συνεχούς» (*Reality-Virtuality Continuum*) [1], [2] (Εικ. 1).

Η ενότητα αυτή εστιάζει στα υποσύνολα της εκτεταμένης πραγματικότητας – εικονική, επαυξημένη και μικτή - καθώς και στην καλύτερη αποσαφήνιση μεταξύ της επαυξημένης και μικτής πραγματικότητας, έννοιες που πολλές φορές χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα.

### Εικονική Πραγματικότητα (*VR*)

Η εικονική πραγματικότητα , σε αντίθεση με την επαυξημένη και τη μικτή είναι καλώς ορισμένη. Ως εικονική πραγματικότητα ορίζουμε «μία προσομοιωμένη εμπειρία ή οποία μπορεί να είναι παρόμοια ή τελείως διαφορετική σε σύγκριση με τον πραγματικό κόσμο» [3]. Χαρακτηριστικά της, μεταξύ άλλων, είναι η πλήρης εμβύθιση στον εικονικό κόσμο καθώς και η περιήγηση απομακρυσμένων περιοχών σε σχέση πάντα με την τοποθεσία του χρήστη. Επιπλέον, πολλοί υποστηρίζουν πως η χρήση ενός *HMD* είναι αναγκαία ώστε να θεωρηθεί η εμπειρία εικονική, έναντι ενός απλού τρισδιάστατου βίντεο [4]. Μία συσκευή *VR* είναι το *Oculus Rift*.

Η εικονική πραγματικότητα έχει εφαρμογή σε διάφορους τομείς:

* Στην εκπαίδευση ιατρικού προσωπικού και τη βοήθεια επανένταξης ασθενών, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων προσομοιώσεων. Επιπλέον, στην επέκταση της διαδικασίας της διάγνωσης ενός ασθενούς. [5], [6]
* Στη διασκέδαση και στην ψυχαγωγία, μέσω διάφορων βιντεοπαιχνιδιών. [7], [8]
* Στην εκπαίδευση ως εναλλακτική τεχνική εκμάθησης ή βελτίωση υπαρχόντων τεχνικών. [9]

### Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)

Η επαυξημένη πραγματικότητα διαφέρει αισθητά από την εικονική. Ο χρήστης πλέον δεν είναι πλήρως εμβυθισμένος σε μια εικονική εμπειρία. Στα μάτια του συνεχίζει να αποτυπώνεται ο πραγματικός κόσμος, στον οποίο όμως ταυτόχρονα υπερτίθενται εικονικά αντικείμενα που διατηρούν τη θέση και τον προσανατολισμό τους στο χώρο. [4], [10] Τα αντικείμενα αυτά, όμως, δεν αλληλοεπιδρούν με τον πραγματικό κόσμο, απλά προβάλλονται πάνω σε αυτόν. Βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, άλλες πηγές θεωρούν αναγκαία την αλληλεπίδρασή των αντικειμένων με τον πραγματικό κόσμο, γεγονός που προκαλεί σύγχυση μεταξύ των εννοιών της επαυξημένης και μικτής πραγματικότητας. [4] Μια AR συσκευή πλέον είναι οποιοδήποτε σύγχρονο έξυπνο κινητό.

Η επαυξημένη πραγματικότητα με τη σειρά της βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς:

* Στον κόσμο των βιντεοπαιχνιδιών και της ψυχαγωγίας. Μία πολύ γνωστή εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας είναι το παιχνίδι Pokemon Go. [11]
* Στον τομέα της αρχιτεκτονικής, του εσωτερικού σχεδιασμού και της διακόσμησης, όπου οι χρήστες μπορούν να προβάλλουν εικονικά αντικείμενα στο χώρο τους για να εκτιμήσουν καλύτερα μια πιθανή αγορά. [12], [13]
* Στον τομέα της πολιτισμικής κληρονομιάς, όπου συνεχώς αναζητούνται νέοι τρόποι προσέγγισης και βελτίωσης της εμπειρίας ενός επισκέπτη. [14]

### 1.1.3 Μικτή Πραγματικότητα (MR)

Η μικτή πραγματικότητα δεν είναι καλώς ορισμένη, γεγονός που γίνεται εύκολα αντιληπτό αν παρατηρήσουμε διαφορετικούς ορισμούς που έχουν δώσει ειδικοί όταν ερωτήθηκαν για αυτό. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται 4 διαφορετικοί ορισμοί [4]:

* Η μικτή πραγματικότητα βάσει του *RV Continuum* των *Milgram et al.,* όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικ. 1. Σε αυτήν την περίπτωση, η μεικτή πραγματικότητα δεν είναι αναγκαίο να περιλαμβάνει την εικονική.
* Η μικτή πραγματικότητα ως συνδυασμός της εικονικής και της επαυξημένης. Η δυνατότητα δηλαδή συνδυασμού των δύο αυτών τεχνολογιών σε μία εφαρμογή ή συσκευή.
* Η μικτή πραγματικότητα ως επέκταση της επαυξημένης. Εδώ ορίζουμε τη μικτή ως μια ικανότερη εκδοχή της επαυξημένης · Λόγου χάρη, καλύτερη κατανόηση του φυσικού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης.
* Η μικτή και η επαυξημένη πραγματικότητα ως συνώνυμα.

Λόγω αυτής της έλλειψης ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού, πολλές εφαρμογές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και ως *AR* και ως *MR*. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θα αντιμετωπίσουμε τη μικτή πραγματικότητα ως την καλύτερη δυνατή ανίχνευση του περιβάλλοντος με σκοπό την προβολή ενός εικονικού κόσμου ο οποίος αλληλοεπιδρά με τον πραγματικό με μεγάλη ακρίβεια και σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, θεωρείται αναγκαία η εμβύθιση του χρήστη στον κόσμο, μέσω παραδείγματος χάριν ενός *HMD*, έναντι μίας συσκευής *AR*, όπως τα έξυπνα κινητά.

Παραδείγματα συσκευών μικτής πραγματικότητας είναι τα Microsoft Hololens (1, 2), Magic Leap (1, 2)

Με βάση τα παραπάνω, έχουμε διάφορες εφαρμογές της μικτής πραγματικότητας. Παρακάτω αναφέρονται μερικές από αυτές, οι οποίες επιλέχθηκαν ώστε να ικανοποιούν τον παραπάνω ορισμό:

* Η χρήση της μικτής πραγματικότητας στον τομέα της ιατρικής (τηλε-ιατρική) για παροχή διάγνωσης και περίθαλψης ασθενών όταν χρειάζεται ομάδα ανθρώπων. Η εφαρμογή αυτή βρήκε χρήση ειδικά κατά την περίοδο του COVID-19, όπου ο επιβαλλόταν η αποφυγή του συνωστισμού ατόμων σε ένα μικρό χώρο αλλά ταυτόχρονα ήταν απαραίτητη η συνεργασία του ιατρικού προσωπικού [15]
* Στην αρχιτεκτονική και στην κατασκευαστική βιομηχανία, ειδικότερα σε περιπτώσεις συνεργασίας. Μια ομάδα ανθρώπων μπορεί μέσω διαφορετικών *HMDs* να συζητήσει / αναπτύξει / σχεδιάσει μία κατασκευή μέσω ενός εικονικού μοντέλου που τοποθετούν στον πραγματικό κόσμο. Επιπλέον, η μικτή πραγματικότητα είναι χρήσιμη στην εκπαίδευση νέου εργατικού δυναμικού. [16], [17]
* Σε πολιτισμικά θέματα. Η μικτή πραγματικότητα αποτελεί ένα πολύ δυνατό εργαλείο ώστε να βελτιωθεί και επαυξηθεί η εμπειρία περιήγησης ενός μουσείο ή γενικότερα πολιτισμικών εκθεμάτων. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διεγείρεις το ενδιαφέρον τόσο των μικρών όσο και των μεγάλων σε πολιτισμικά θέματα. Μια καλοστημένη εφαρμογή σε περιβάλλον μικτής πραγματικότητας ίσως είναι μια πολύ καλή λύση. [18], [19]

## Γραφικά και αναπαράσταση στο χώρο[20], [21]

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες σημαντικές έννοιες από την Προβολική Γεωμετρία και πως χρησιμοποιείται στα Γραφικά. Τα μαθηματικά που χρησιμοποιούνται στην Προβολική Γεωμετρία είναι αρκετά σημαντικά για οποιονδήποτε σχεδιαστή μιας τρισδιάστατης εφαρμογής, ανεξαρτήτως αν η εφαρμογή αυτή είναι σχεδιασμένη για εκτεταμένη πραγματικότητα ή απλά για προβολή σε μία τυπική οθόνη. Ειδικά για την υλοποίηση του ελεγκτή στη συγκεκριμένη διπλωματική, η παρούσα ενότητα είναι εξαιρετικά σημαντική.

Αν και κάποιος στις μέρες μας μπορεί να τα αντιμετωπίσει ως ένα «μαύρο κουτί» - δε χρειάζεται και ιδιαίτερη γνώση για να φτιάξεις μια απλή εφαρμογή – η κατανόηση τους εντούτοις μπορεί να κάνει πολύ ευκολότερη την ανάπτυξη της εφαρμογής και να λύσει αρκετά προβλήματα.

### Γραφικά και τρισδιάστατος χώρος

Το κυριότερο πρόβλημα που κάποιος πρέπει να λύσει στα γραφικά είναι η ρεαλιστική απεικόνιση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, είτε αυτό αφορά το πεδίο της εκτεταμένης πραγματικότητας ή μία τυπική οθόνη. Ταυτόχρονα απαιτείται η δυνατότητα μεταφοράς (*translation*), περιστροφής (*rotation*) γύρω από έναν άξονα, αλλαγής του μεγέθους (*scale*) ενός αντικειμένου, αλλά και συνδυασμού των 3 παραπάνω πράξεων.

Ορίζουμε λοιπόν έναν τρισδιάστατο χώρο, όπου περιγράφουμε ένα σημείο του με τις συντεταγμένες . Αρχή του χώρο αποτελεί το σημείο

### Μεταφορά (*Translation*)

Η μεταφορά ενός σημείο στο χώρο είναι από τις πιο απλές πράξεις. Ουσιαστικά, αν έχουμε ένα σημείο στο χώρο, μία οποιαδήποτε μεταφορά εκφράζεται ως η αλγεβρική πρόσθεση των συντεταγμένων του σημείου αυτού με το ποσό κατά το οποίο επιθυμούμε να μετακινηθεί. Αυτό επεκτείνεται σε ένα σύνολο από σημεία, ώστε μπορούμε να πούμε πως η πρόσθεση αυτού του ποσού στις συντεταγμένες του κάθε σημείου προκαλεί ομοιόμορφη μεταφορά των σημείων στον τρισδιάστατο χώρο.

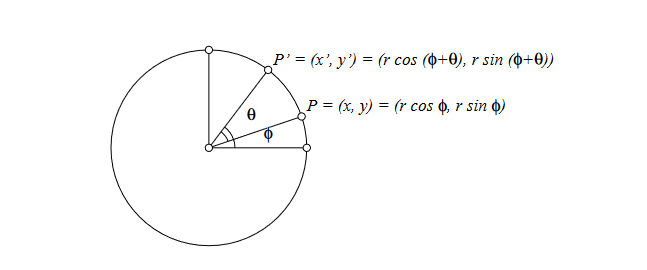
Ορίζουμε ένα γενικό τελεστή μεταφοράς ώστε:

,

όπου το ποσό κατά το οποίο μεταφέρεται ένα σημείο στο χώρο.

### Περιστροφή γύρω από άξονα (*Rotation*)

Θα ξεκινήσουμε περιγράφοντας την περιστροφή ενός σημείου στο επίπεδο -κατά γωνία με βάση το σημείο αναφοράς μας. Το σημείο μπορεί να γραφτεί με πολικές συντεταγμένες ως . Μία μετατόπιση κατά γωνία περιγράφεται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα.



ΕΙΚΟΝΑ 2 Περιστροφη κατα τον αξονα ζ

Χρησιμοποιώντας την ταυτότητα για την πρόσθεση ημίτονων-συνημίτονων, καταλήγουμε πως

ορίζοντας έτσι τους τελεστές περιστροφής γύρω από τους άξονες ως

Είναι σημαντικό να τονίσουμε εδώ πως τα διάφορα πρόσημα προκύπτουν έτσι επειδή το σύστημα συντεταγμένων μας είναι σύστημα «δεξιού χεριού». Τα συστήματα δεξιού-χεριού και αριστερού-χεριού έχουν να κάνουν με την κατεύθυνση του άξονα που αναφέρεται στο ύψος. Στην προκειμένη περίπτωση, έχουμε ορίσει αυτόν τον άξονα να είναι ο . Αν τα ορίζουν ένα επίπεδο σε ένα τραπέζι, τότε σε ένα σύστημα δεξιού-χεριού η θετική φορά του δείχνει πάνω από το τραπέζι, ενώ σε ένα σύστημα αριστερού-χεριού δείχνει κάτω από το τραπέζι.

### Γενικευμένη Περιστροφή

Στην προηγούμενη υπο-ενότητα ορίσαμε 3 διαφορετικούς τελεστές περιστροφής, έναν για κάθε διαφορετικό άξονα, οι οποίοι περιγράφουν την περιστροφή ενός σημείου με βάση την αναφορά μας (την αρχή των αξόνων). Συνεχίζοντας, θέλουμε να γενικεύσουμε την περιστροφή αυτή ώστε να γίνεται με βάση ένα αυθαίρετο άξονα.

Για να το πετύχουμε αυτό θα ακολουθήσουμε μια απλή τακτική. Επιλέγουμε έναν άξονα, έστω τον . Θα περιστρέψουμε το σημείο μας ώστε ο άξονας περιστροφής που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε - ο οποίος περνάει από την αρχή των αξόνων - να είναι παράλληλος με τον άξονα . Αυτό το πετυχαίνουμε εκτελώντας το πολύ δύο περιστροφές, έστω κατά γωνίες στους άξονες αντίστοιχα. Έπειτα περιστρέφουμε κατά την επιθυμητή γωνία στον άξονα και τέλος αντιστρέφουμε τις αρχικές περιστροφές που εκτελέσαμε. Η διαδικασία περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση

Θεωρώντας πλέον τον τελεστή ως έναν γενικευμένο τελεστή περιστροφής γύρω από οποιονδήποτε άξονα περνάει από το σημείο αναφοράς, μπορούμε με τον τελεστή μεταφοράς να γράψουμε μία τελική εξίσωση η οποία περιγράφει περιστροφή γύρω από ένα αυθαίρετο άξονα:

Η διαδικασία που περιγράφει η εξίσωση είναι απλή. Μεταφέρουμε το κέντρο της περιστροφής στην αρχή των αξόνων, εκτελούμε την περιστροφή και αντιστρέφουμε τη μεταφορά.

### Αλλαγή μεγέθους (*Scale*)

### 1.2.2 Ομοιογενές Σύστημα Συντεταγμένων (*Homogeneous Coordinates*) [20], [21]

Οι ομοιογενείς συντεταγμένες χρησιμοποιούνται στην Προβολική Γεωμετρία και στα Γραφικά έναντι των καρτεσιανών συντεταγμένων. Είναι χρήσιμες γιατί σε αντίθεση με τις καρτεσιανές και την Ευκλείδεια γεωμετρία μας επιτρέπουν να περιγράψουμε σημεία στο άπειρο χρησιμοποιώντας πεπερασμένες συντεταγμένες. Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα περιγραφής της μετακίνησης, της περιστροφής και της κλιμάκω

# Βιβλιογραφία

[1] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, “Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum,” *Telemanipulator Telepresence Technol.*, vol. 2351, Jan. 1994, https://doi.org/10.1117/12.197321

[2] “Extended reality,” *Wikipedia*. Sep. 18, 2022. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Extended\_reality&oldid=1110892164

[3] “Virtual reality,” *Wikipedia*. Sep. 13, 2022. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Virtual\_reality&oldid=1110016947

[4] M. Speicher, B. Hall, and M. Nebeling, “What is Mixed Reality?,” May 2019. https://doi.org/10.1145/3290605.3300767

[5] M. Javaid and A. Haleem, “Virtual Reality applications toward medical field,” *Clin. Epidemiol. Glob. Health*, vol. 8, Dec. 2019, https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.010

[6] H. O. Barros, M. M. Soares, E. L. R. Filho, W. Correia, and F. Campos, “Virtual Reality Immersion: An Important Tool for Diagnostic Analysis and Rehabilitation of People with Disabilities,” *Lect. Notes Comput. Sci.*, pp. 337–344, 2013.

[7] “Half-Life: Alyx,” *Half-Life*. https://www.half-life.com/en/alyx (accessed Sep. 21, 2022).

[8] L. digital studio, “Beat Saber - VR rhythm game.” https://www.beatsaber.com/ (accessed Sep. 21, 2022).

[9] H. Luo, G. Li, Q. Feng, Y. Yang, and M. Zuo, “Virtual reality in K-12 and higher education: A systematic review of the literature from 2000 to 2019,” *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 37, no. 3, pp. 887–901, 2021, https://doi.org/10.1111/jcal.12538

[10] “Augmented reality,” *Wikipedia*. Sep. 20, 2022. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Augmented\_reality&oldid=1111308728

[11] “Pokémon GO,” *Pokémon GO*. https://pokemongolive.com/ (accessed Sep. 21, 2022).

[12] H. Soneria, “AR Decor: Decoration using markerless Augmented Reality,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 5, p. 2145, 2020.

[13] “Houzz - Home Design & Remodel - Εφαρμογές στο Google Play.” https://play.google.com/store/apps/details?id=com.houzz.app&hl=el&gl=GR (accessed Sep. 21, 2022).

[14] F. Tscheu and D. Buhalis, “Augmented Reality at Cultural Heritage sites,” 2016, pp. 607–619. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28231-2\_44

[15] G. Martin *et al.*, “Use of the HoloLens2 Mixed Reality Headset for Protecting Health Care Workers During the COVID-19 Pandemic: Prospective, Observational Evaluation,” *J. Med. Internet Res.*, vol. 22, no. 8, p. e21486, Aug. 2020, https://doi.org/10.2196/21486

[16] D. F. Bosché, D. M. Abdel-Wahab, and D. L. Carozza, “Towards a Mixed Reality System for Construction Trade 1 Training 2,” 2015. https://www.semanticscholar.org/paper/Towards-a-Mixed-Reality-System-for-Construction-1-2-Bosch%C3%A9-Abdel-Wahab/f3de52d5e7f998fce95cbe7be9c73c2c0ed04607 (accessed Sep. 21, 2022).

[17] Yilei Huang, Samjhana Shakya, and Temitope Odeleye, “Comparing the Functionality between Virtual Reality and Mixed Reality for Architecture and Construction Uses,” *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 13, no. 7, Jul. 2019, https://doi.org/10.17265/1934-7359/2019.07.001

[18] A. Muñoz and A. Martí Testón, “HOLOMUSEUM: A HOLOLENS APPLICATION FOR CREATING EXTENSIBLE AND CUSTOMIZABLE HOLOGRAPHIC EXHIBITIONS,” Jul. 2018, pp. 2303–2310. https://doi.org/10.21125/edulearn.2018.0625

[19] W. Hou, “Augmented Reality Museum Visiting Application based on the Microsoft HoloLens,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1237, p. 052018, Jun. 2019, https://doi.org/10.1088/1742-6596/1237/5/052018

[20] T. Davis, “Homogeneous coordinates and computer graphics,” Dec. 2001.

[21] “Homogeneous coordinates,” *Wikipedia*. May 26, 2022. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Homogeneous\_coordinates&oldid=1089902994