

2026-01

py £ Ç μ ´ ¹ ± Ñ ¼ ì Â À ± ¹ Ç ½ ¹ ´ ¹ ¿ Í ³ ¹ ± Ä ¿
py - » μ ³ Ç ¿ Á ¿ ¼ À ì Ä ¼ μ Ä · ½ Ç Á ® Ñ
py À Á ¿ ³ Á ¬ ¼ ¼ ± Ä ¿ Â Unreal Engine

py " · ¼ · Ä Á ¯ ¿ Å , > μ Å Ä - Á · Â

py Á ì ³ Á ± ¼ ¼ ± " · ¼ ì Ñ ¹ ± Â " ¹ ¿ ¯ ° · Ä · Â , £ Ç ¿ » ® Ý ¹ ° ¿ ½ ¿ ¼ ¹ ° î ½ • Ä ¹ Ä Ä · ¼ î ½ ° ± ¹ " ¹ ¿ ¯ °
py ± ½ μ Ä ¹ Ä Ä ® ¼ ¹ ¿ • μ ¬ Ä ¿ » ¹ Â ¬ Æ ¿ Å

<http://hdl.handle.net/11728/13397>

Downloaded from HEPHAESTUS Repository, Neapolis University institutional repository



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**“Σχεδιασμός παιχνιδιού για τον έλεγχο ρομπότ με την
χρήση του προγράμματος Unreal Engine.”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: Λευτέρης Δημητρίου

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Δρ. Σαλώμη Ευριπίδου

ΜΗΝΑΣ/ΕΤΟΣ: Ιανουάριος 2026



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**“Σχεδιασμός παιχνιδιού για τον έλεγχο ρομπότ με την
χρήση του προγράμματος Unreal Engine.”**

**Διπλωματική Εργασία η οποία υποβλήθηκε προς απόκτηση
προπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Εφαρμοσμένη
Πληροφορική στο Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφος**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: Λευτέρης Δημητρίου

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Δρ. Σαλώμη Ευριπίδου

ΜΗΝΑΣ/ΕΤΟΣ: Ιανουάριος 2026

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Λευτέρης Δημητρίου, Ιανουάριος 2026

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Πανεπιστημίου Νεάπολις δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Πανεπιστημίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 2. Θεωρητική Θεμελίωση	13
2.1 Έλεγχος Ρομπότ μέσω Υπολογιστικών Διεπαφών	13
2.1.1 Παραδοσιακές Μέθοδοι Ελέγχου Ρομπότ.....	13
2.1.2 Σύγχρονες Διαδραστικές Προσεγγίσεις.....	14
2.2 Game-Based Learning και Serious Games στη Ρομποτική.....	14
2.2.1 Ορισμός και Θεωρητικό Υπόβαθρο	14
2.2.2 Εφαρμογές Serious Games στον Έλεγχο Ρομπότ	15
2.3 Χρήση Game Engines στη Ρομποτική	15
2.3.1 Game Engines ως Εργαλεία Προσομοίωσης	15
2.3.2 Σύγκριση Δημοφιλών Game Engines.....	16
2.4 Unreal Engine στη Ρομποτική και στον Έλεγχο Ρομπότ	16
2.4.1 Χαρακτηριστικά της Unreal Engine.....	16
2.4.2 Unreal Engine και Robotics Frameworks	17
2.4.3 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί	18
2.5 Παιχνίδια και Gamified Περιβάλλοντα για Έλεγχο Ρομπότ	18
2.5.1 Σχεδιασμός Παιχνιδιού για Ρομποτικό Έλεγχο.....	18
2.5.2 Αλληλεπίδραση Παίκτη – Ρομπότ.....	19
2.6 Line Following ως Θεμελιώδες Πρόβλημα Ρομποτικού Ελέγχου	20
2.6.1 Line Following στη Ρομποτική	20
2.6.2 Εκπαιδευτική Αξία του Line Following	20
Απλές Μέθοδοι	21
Προχωρημένες Μέθοδοι	21
2.6.4 PID Controller στη Ρομποτική	22
2.6.4.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο PID.....	22
2.6.5 Line Following, PID και Παιχνιδοποίηση.....	23
2.6.6 Προσομοίωση Line Following σε Εικονικά Περιβάλλοντα.....	24
2.7 Ανάλυση Υφιστάμενων Ερευνητικών Έργων	25
2.8 Ερευνητικά Κενά και Ανάγκη της Παρούσας Εργασίας	26
2.9 Σύνοψη Κεφαλαίου	27

2.10 Συστήματα Ελέγχου Ρομπότ	27
2.11 PID ελεγκτής στη Ρομποτική	28
2.12 Line Following	28
2.13 Μηχανές Παιχνιδιών ως Εργαλεία Προσομοίωσης	29
Κεφάλαιο 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	30
3.1 Στόχοι Ερευνητικής Προσέγγισης.....	30
3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα	31
Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός και Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	33
4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	33
4.2 Σχεδιασμός Ρομπότ	34
4.4 Διεπαφή χρήστη (User Interface)	36
4.5 Υλοποίηση ελεγκτή PID μέσω Blueprints	37
4.6 Υπολογισμός σφάλματος.....	38
4.7 Κίνηση του Ρομπότ προς τα εμπρός.....	39
4.8 Διαδραστικός Έλεγχος Παραμέτρων στο Περιβάλλον χρήστη.....	39
Κεφάλαιο 5. Πειραματική Αξιολόγηση και Αποτελέσματα	40
5.1 Περιβάλλον Δοκιμών	40
5.2 Πειράματα Ρύθμισης PID.....	42
5.3 Αλληλεπίδραση Χρήστη.....	43
5.4 Αποτελέσματα Πειραμάτων	43
5.5 Συζήτηση Αποτελεσμάτων	45
Κεφάλαιο 6. Συμπέρασμα, περιορισμοί και μελλοντική εργασία	47
6.1 Απάντηση στα Ερευνητικά Ερωτήματα	47
6.2 Περιορισμοί της Εργασίας	52
6.3 Μελλοντική Εργασία.....	54
Κεφάλαιο 7. Επίλογος.....	56
Βιβλιογραφία.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Table of Figures

Figure 1: Γενική αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου του ρομπότ.....	33
Figure 2: Το εικονικό ρομπότ ως Pawn στην Unreal Engine	34
Figure 3: Top-down προβολή του ρομπότ στο εικονικό περιβάλλον	35
Figure 4: Εικονικοί αισθητήρες γραμμής (Left, Center, Right)	36
Figure 5: Υλοποίηση αισθητήρων μέσω line traces στο Blueprint	36
Figure 6: Διαδραστικό περιβάλλον χρήστη για τον έλεγχο του PID ελεγκτή	37
Figure 7: Υλοποίηση του ελεγκτή PID μέσω Blueprints στην Unreal Engine	38
Figure 8: Εφαρμογή κίνησης και στροφής του ρομπότ με βάση την έξοδο του PID.....	39
Figure 9: Πίστα εύκολης δυσκολίας.....	41
Figure 10: Πίστα μεσαίας δυσκολίας	41
Figure 11: Πίστα υψηλής δυσκολίας με διακεκομμένη γραμμή	42
Figure 12: Ρύθμιση παραμέτρων PID και χρονομέτρηση κατά τη διάρκεια δοκιμής.....	43

Σελίδα Εγκυρότητας

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Λευτέρης Δημητρίου

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας: “Σχεδιασμός παιχνιδιού για τον έλεγχο ρομπότ με την χρήση του προγράμματος Unreal Engine.”

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση προπτυχιακού τίτλου στο Πανεπιστήμιο Νεάπολις και εγκρίθηκε στις 28 Ιανουαρίου 2026 από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

Εξεταστική Επιτροπή:

Πρώτος επιβλέπων (Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφος) Δρ. Σαλώμη Ευριπίδου

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Δρ. Έλενα Κακουλλή

Ή ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Ο Λευτέρης Δημητρίου, γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία με τίτλο « Σχεδιασμός παιχνιδιού για τον έλεγχο ρομπότ με την χρήση του προγράμματος Unreal Engine. », αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει, έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές παραπομπές και αναφορές. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Ο Λευτέρης Δημητρίου

Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών μου σπουδών στο Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής. Το θέμα επιλέχθηκε με βάση το προσωπικό μου ενδιαφέρον για τη ρομποτική και τα σύγχρονες μηχανές ανάπτυξης παιχνιδιών, καθώς και τον στόχο μου να μάθω πώς θεωρητικές έννοιες όπως ο έλεγχος ρομποτικής κίνησης και οι αλγόριθμοι PID μπορούν να παρουσιαστούν με πιο κατανοητό και διαδραστικό τρόπο.

Καθ' όλη τη διάρκεια της σύνταξης της διπλωματικής μου εργασίας, αντιμετώπισα τεχνικές και θεωρητικές δυσκολίες. Η εξοικείωση με τη μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine, ο σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου ρομπότ και η κατανόηση της λειτουργίας του ελεγκτή PID παρείχαν σημαντικές προκλήσεις, αλλά όλες βοήθησαν στην ανάπτυξη νέων γνώσεων και δεξιοτήτων. Παρά τις προκλήσεις, αυτή η στρατηγική ήταν καινοτόμος και εκπαιδευτική.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου για την επιστημονική της καθοδήγηση, τις παρατηρήσεις της και τη συνεχή βοήθειά της στην προετοιμασία της διπλωματικής μου εργασίας. Οι προτάσεις και τα σχόλια της βελτίωσαν σημαντικά την ποιότητα και την οργάνωση της μελέτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη χρήση της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine ως εργαλείο προσομοίωσης και εκπαίδευσης στον τομέα του ρομποτικού ελέγχου. Κύριος στόχος της εργασίας είναι να διερευνηθεί κατά πόσο ένα διαδραστικό περιβάλλον παιχνιδιού μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση βασικών εννοιών ρομποτικής, με έμφαση στον έλεγχο κίνησης μέσω ελεγκτή Proportional–Integral–Derivative (PID).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός εικονικού ρομπότ για line following μέσα στην Unreal Engine. Το ρομπότ σχεδιάστηκε με εικονικούς αισθητήρες γραμμής, οι οποίοι προσομοιώθηκαν μέσω μηχανισμών ανίχνευσης σύγκρουσης (line traces), ενώ ο ελεγκτής PID υλοποιήθηκε εξ ολοκλήρου μέσω οπτικού προγραμματισμού (Blueprints). Παράλληλα, αναπτύχθηκε μια διεπαφή χρήστη που επιτρέπει τη διαδραστική ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή σε πραγματικό χρόνο. Η πειραματική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε τρεις πίστες line following με διαφορετικό επίπεδο δυσκολίας.

Τα ευρήματα της εργασίας δείχνουν ότι η ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή PID επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά και την απόδοση του ρομπότ, ιδιαίτερα σε απαιτητικά περιβάλλοντα. Διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει μία βέλτιστη ρύθμιση για όλα τα σενάρια, αλλά ότι η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος απαιτεί διαφορετικές προσεγγίσεις ελέγχου.

Συμπερασματικά, η εργασία δείχνει ότι η Unreal Engine μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένα ισχυρό εκπαιδευτικό εργαλείο για τη διδασκαλία βασικών εννοιών ρομποτικού ελέγχου. Μέσω της άμεσης οπτικής ανατροφοδότησης και του πειραματισμού, ενισχύεται η σύνδεση θεωρίας και πράξης, προσφέροντας ένα ασφαλές και διαδραστικό περιβάλλον μάθησης.

Λέξεις-κλειδιά: Ρομποτικός έλεγχος, PID ελεγκτής, Unreal Engine, Line following, Εκπαιδευτική ρομποτική, Προσομοίωση

ABSTRACT

This thesis examines the use of the Unreal Engine game engine as a simulation and training tool in the field of robotic control. The main objective of the work is to investigate whether an interactive game environment can contribute to the understanding of basic robotics concepts, with emphasis on motion control through a Proportional–Integral–Derivative (PID) controller.

The methodology followed includes the design and implementation of a virtual robot for line following within the Unreal Engine. The robot was designed with virtual line sensors, which were simulated through collision detection mechanisms (line traces), while the PID controller was implemented entirely through visual programming (Blueprints). At the same time, a user interface was developed that allows the interactive adjustment of the controller parameters in real time. The experimental evaluation was carried out on three line following tracks with different levels of difficulty.

The findings of the work show that the adjustment of the PID controller parameters significantly affects the behavior and performance of the robot, especially in demanding environments. It was found that there is no single optimal setting for all scenarios, but that the complexity of the environment requires different control approaches.

In conclusion, the work shows that Unreal Engine can be used as a powerful educational tool for teaching basic concepts of robotic control. Through direct visual feedback and experimentation, the connection between theory and practice is strengthened, offering a safe and interactive learning environment.

Keywords: Robotic control, PID controller, Unreal Engine, Line following, Educational robotics, Simulation

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Ο τομέας της ρομποτικής γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός στη σύγχρονη τεχνολογία και επιστήμη. με εφαρμογές που κυμαίνονται από τα αυτόματα οχήματα και τον βιομηχανικό αυτοματισμό μέχρι την υγεία και την ψυχαγωγία. Το πρόβλημα του ελέγχου κίνησης βρίσκεται στον πυρήνα πολλών ρομποτικών συστημάτων, δηλαδή το πώς ένα ρομπότ χρησιμοποιεί τα δεδομένα από τους αισθητήρες και τα μεταφράζει σε σταθερή και ακριβές κίνηση. Σε αυτό το πρόβλημα μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες λύσεις είναι ο ελεγκτής Proportional-Integral-Derivative Controller (PID).

Παρά την ευρέως χρήση που έχει, ο ελεγκτής PID μπορεί να είναι δύσκολο να κατανοηθεί από τους μαθητές, ειδικά όταν περιορίζεται σε στατικά διαγράμματα και εξισώσεις. Η συμπεριφορά ενός ελεγκτή PID είναι δυναμική και ακόμα και οι μικρές αλλαγές στις παραμέτρους του μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό, τα διαδραστικά περιβάλλοντα προσομοίωσης αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για πειραματισμό, διδασκαλία και μάθηση (Corke, 2017).

Οι μηχανές παιχνιδιών όπως η Unreal Engine έχουν δυνατότητες φυσικής, οπτικής ανατροφοδότησης/ανάδρασης και αλληλεπίδρασης με τον χρήστη, καθιστώντας τις τις κατάλληλες πλατφόρμες προσομοίωσης ρομποτικής. Ενώ συνήθως χρησιμοποιούνται για ανάπτυξη παιχνιδιών, οι μηχανές αυτές μπορούν επίσης να λειτουργήσουν και ως εργαλεία απεικόνισης για μηχανικές ιδέες και σχέδια.

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση και ο σχεδιασμός μια ρομποτικής προσομοίωσης που απεικονίζει τον έλεγχο ρομπότ βασισμένο σε ελεγκτή PID με διαδραστικό τρόπο. Η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται σε ένα ρομπότ που ακολουθεί μια γραμμή σε μια επιφάνεια, δημοφιλής και κοινό πρόβλημα στην εκπαιδευτική ρομποτική, και επιτρέπει στους χρήστες να προσασμόζουν διαδραστικά τις PID παραμέτρους σε πραγματικό χρόνο και να παρατηρούν τις επιπτώσεις που έχουν οι προσαρμογές στη κίνηση και στη συμπεριφορά του ρομπότ.

Οι στόχοι αυτού του έργου είναι:

- Η προσομοίωση ενός κινητού ρομπότ με εικονικούς αισθητήρες στη μηχανή παιχνιδιού Unreal Engine.
- Η οπτική παρουσίαση ρομπότ και τον έλεγχο των ρομποτικών κινήσεων του.
- Η υλοποίηση ενός PID ελεγκτή για την πλοήγηση του ρομπότ.

- Η δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων του ελεγκτή PID σε πραγματικό χρόνο μέσω ενός user interface.
- Η οπτική παρουσίαση ρομπότ και τον έλεγχο των ρομποτικών κινήσεων του.

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε 7 κεφάλαια: Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο και η σχετική βιβλιογραφία, και στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η μεθοδολογία. Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο 4 αναλύεται η υλοποίηση του συστήματος ελέγχου και του ελεγκτή PID της Unreal Engine, ενώ στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται η πειραματική διαδικασία και τα αποτελέσματα αξιολόγησης. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 συζητούνται τα αποτελέσματα, οι περιορισμοί και οι προτάσεις μελλοντικής επέκτασης και στο κεφάλαιο 7 διατυπώνονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

Κεφάλαιο 2. Θεωρητική Θεμελίωση

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει τη θεωρητική θεμελίωση και την βιβλιογραφική ανασκόπηση που σχετίζονται με την ανάπτυξη του συστήματος της διπλωματικής εργασίας. Μέσα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας σκοπός είναι η κατανόηση των βασικών αρχών της ρομποτικής και πώς αυτές ενσωματώνονται στα εικονικά περιβάλλοντα προσομοίωσης.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση επικεντρώνεται στη ρομποτική και στις μηχανές παιχνιδιών(game engines) ως εργαλεία προσομοίωσης και εκπαίδευσης. Η σύνδεση των game engines με τη ρομποτική επιτρέπει τη μελέτη και κατανόηση δύσκολων εννοιών, όπως ο ελεγκτής PID, μέσα σε ένα εικονικό δυναμικό περιβάλλον (Corke, 2017, Gregory, 2018).

2.1 Έλεγχος Ρομπότ μέσω Υπολογιστικών Διεπαφών

2.1.1 Παραδοσιακές Μέθοδοι Ελέγχου Ρομπότ

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ελέγχου ρομπότ είναι κυρίως βασισμένες σε προγραμματισμένα συστήματα λογισμικού ή σε άμεσες εντολές από τον χρήστη. Ο τηλεχειρισμός με συσκευές όπως joystick ή πληκτρολόγιο είναι ένας από του πιο απλούς τρόπους ελέγχου ρομπότ, που επιτρέπουν στον χρήστη να ελέγχει άμεσα το ρομπότ χωρίς πολύπλοκους αλγορίθμους (Corke, 2017).

Στα πιο προχωρημένα ρομποτικά συστήματα, ο έλεγχος γίνεται μέσω ROS-based interfaces(Robot Operating System). Τα ROS-based interfaces επιτρέπουν την ανάπτυξη πολύπλοκων ρομποτικών συστημάτων, καθώς προσφέρουν ένα ισχυρό πλαίσιο επικοινωνίας μεταξύ αισθητήρων και αλγορίθμων ελέγχου. Παρόλο που τα ROS-based interfaces προσφέρουν ακρίβεια και ευελιξία δεν είναι φιλικά προς των χρήστη λόγω της γνώσης προγραμματισμού που απαιτούν (Corke, 2017, Siciliano et al., 2010).

Επιπλέον, οι GUI (Graphical User Interfaces) εφαρμογές χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως λόγω της εύκολης χρήσης τους. Σχεδιάστηκαν για να απλοποιήσουν των έλεγχο ρομπότ παρέχοντας ένα περιβάλλον που ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί τη συμπεριφορά του ρομπότ και να ρυθμίζει τις παραμέτρους λειτουργίας του. Ωστόσο, οι εφαρμογές αυτές μπορεί να δυσκολέψουν τον χρήστη να κατανοήσει την ρεαλιστική συμπεριφορά των ρομποτικών συστημάτων σε πολύπλοκες συνθήκες ελέγχου (Craig, 2005, Ogata, 2010).

2.1.2 Σύγχρονες Διαδραστικές Προσεγγίσεις

Για τη βελτίωση της εμπειρία του χρήστη υπάρχουν οι σύγχρονες διαδραστικές προσεγγίσεις, όπως τα game-like interfaces, τα immersive περιβάλλοντα. Τα game-like interfaces αξιοποιούν τον σχεδιασμό παιχνιδιών για τη δημιουργία διαδραστικών περιβαλλόντων που προσφέρουν στο χρήστη την άμεση οπτική αλληλεπίδραση με το ρομποτικό σύστημα. Η χρήση game-like interfaces και παρόμοιων περιβαλλόντων διευκολύνουν τον χρήστη να κατανοήσει τον έλεγχο, την κίνηση και τη συμπεριφορά του ρομπότ. Επίσης, τα immersive περιβάλλοντα επιτρέπουν στον χρήστη να αλληλεπιδρά και να παρακολουθεί το ρομπότ σε πραγματικό χρόνο μέσα σε ένα 3D εικονικό περιβάλλον. Η εμπειρία αυτή είναι σημαντική, καθώς βοηθά τον χρήστη να κατανοήσει καλύτερα πολύπλοκα ρομποτικά συστήματα ελέγχου (Corke, 2017, LaValle, 2020).

Αυτές οι σύγχρονες διαδραστικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται ευρέως για τον εικονικό έλεγχο ρομπότ, καθώς ευκολύνει τον πειραματισμό διάφορων πολύπλοκων αλγορίθμων ή τον έλεγχο ρομπότ χωρίς κινδύνους και περιορισμούς. Η εύκολη χρήση αυτών των περιβαλλόντων καθιστά τις σύγχρονες διαδραστικές προσεγγίσεις κατάλληλες για εκπαιδευτική χρήση (Corke, 2017).

2.2 Game-Based Learning και Serious Games στη Ρομποτική

2.2.1 Ορισμός και Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το Game-Based Learning (Μάθηση βασισμένη σε παιχνίδια) αναφέρεται στη μέθοδο που χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά παιχνιδιών για να βοηθήσει στη μάθηση. Η μέθοδος αυτή προσφέρει ψυχαγωγία και διασκέδαση στους χρήστες, με αποτέλεσμα οι χρήστες να ασχολούνται περισσότερο και να αυξάνεται το ενδιαφέρον τους για μάθηση. Για αυτό το λόγο, το Game-Based Learning είναι κατάλληλο για εκπαιδευτική χρήση, καθώς βοηθάει τους χρήστες να αποκτήσουν γνώσεις και να κατανοήσουν πολύπλοκες έννοιες (Ames, K. 2015).

Τα Serious Games (Σοβαρά Παιχνίδια) είναι η κατηγορία παιχνιδιών που το μαθησιακό κομμάτι είναι πιο σημαντικό από τη διασκέδαση, αλλά δεν παύουν να τη χρησιμοποιούν για να βοηθήσουν τους χρήστες να μάθουν. Στο πλαίσιο της ρομποτικής, τα Serious Games επιτρέπουν την αναπαράσταση των φυσικών νόμων, προσφέροντας ένα περιβάλλον όπου βοηθά στη μάθηση πολύπλοκων αλγορίθμων (Zyda, M. 2005).

Η μάθηση είναι πιο αποτελεσματική όταν υπάρχει κίνητρο και ενεργή συμμετοχή (motivation και engagement) από τους χρήστες. Τα παιχνίδια μπορούν να κάνουν τη μάθηση πιο ενδιαφέρουσα επειδή έχουν στόχους και άμεση ανατροφοδότηση. Οι χρήστες μαθαίνουν δοκιμάζοντας πράγματα και παίρνοντας αποφάσεις, κάτι που τους βοηθά να κατανοούν έννοιες ευκολότερα. Ο συνδυασμός εκπαιδευτικών στόχων και χαρακτηριστικά παιχνιδιών οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα κίνητρου και ενεργής συμμετοχής (motivation και engagement), τα οποία συμβάλλουν σε μια βελτιωμένη μαθησιακή εμπειρία, καθιστώντας αυτές τις προσεγγίσεις ιδιαίτερα κατάλληλες για εφαρμογές στη ρομποτική.

2.2.2 Εφαρμογές Serious Games στον Έλεγχο Ρομπότ

Τα Serious Games είναι πραγματικά χρήσιμα όταν πρόκειται για τον έλεγχο ρομπότ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εκπαιδευτικό αλλά και επαγγελματικό επίπεδο ελέγχου ρομπότ. Μια μεγάλη χρήση των Serious Games είναι η εκπαίδευση ελέγχου ρομπότ που επιτρέπουν στους χρήστες να κατανοήσουν πώς λειτουργούν τα ρομπότ και πώς να τα ελέγχουν. Το επιτυγχάνουν αυτό δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου οι χρήστες μπορούν να εξασκηθούν χωρίς να ανησυχούν κινδύνου. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις πραγματικών σεναρίων επιτρέπουν την αναπαράσταση πολύπλοκων ή επικίνδυνων καταστάσεων, παρέχοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να πειραματιστούν και να αξιολογήσουν στρατηγικές ελέγχου σε ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον (Michael & Chen, 2006, Zyda, 2005, Corke, 2017).

2.3 Χρήση Game Engines στη Ρομποτική

2.3.1 Game Engines ως Εργαλεία Προσομοίωσης

Τα τελευταία χρόνια, οι μηχανές παιχνιδιών έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ως εργαλεία προσομοίωσης στη ρομποτική. Η απόφαση της χρήσης μια μηχανής παιχνιδιών ή ένος παραδοσιακού προσομοιωτή όπως το Gazebo ή το Webots συνήθως εξαρτάται από το τι χρειάζεται το σύστημα. Οι κλασικοί προσομοιωτές είναι πολύ καλοί στο να διασφαλίζουν τις ακριβείς κινήσεις, ενώ οι μηχανές παιχνιδιών είναι καλύτερες στη γραφική απεικόνιση του περιβάλλοντος ενώ προσομοιώνουν πολλούς αισθητήρες και περίπλοκα περιβάλλοντα. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, οι μηχανές παιχνιδιών θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλες για εκπαιδευτικές εφαρμογές και για την ανάπτυξη διαδραστικών προσομοιώσεων ρομποτικής, όπου η άμεση ανατροφοδότηση και η οπτική εμπειρία παίζουν σημαντικό ρόλο (Corke, 2017, LaValle, 2020, Millington & Funge, 2016).

2.3.2 Σύγκριση Δημοφιλών Game Engines

Η επιλογή της μηχανής παιχνιδιών είναι πολύ σημαντική για την επιτυχία μιας ρομποτικής προσομοίωσης. Οι πιο δημοφιλείς μηχανές παιχνιδιών είναι η Unreal Engine, η Unity και η Godot. Οι μηχανές παιχνιδιών δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τη δημιουργία βιντεοπαιχνιδιών. Χρησιμοποιούνται επίσης για προσομοίωση, εκπαίδευση και σε πολλούς διαφορετικούς τομείς. Η Unreal Engine είναι πολύ καλή στο να κάνει προσομοιώσεις και να κάνει τα πράγματα να φαίνονται ρεαλιστικά. Αυτό την καθιστά ιδανική για ρομποτικές προσομοιώσεις όπου τα αντικείμενα πρέπει να μοιάζουν με πραγματικά ρομπότ και για τη δημιουργία διαδραστικών περιβαλλόντων (Pan et al., 2020).

Η Unity διαθέτει πολλά εργαλεία που διευκολύνουν την προσομοίωση αντικειμένων, την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτά και τη χρήση αλγορίθμων ελέγχου και τεχνητής νοημοσύνης. Η Unity χρησιμοποιείται ευρέως επειδή διαθέτει πολλά εργαλεία και χαρακτηριστικά που την καθιστούν εύκολη στη χρήση. Μηχανές παιχνιδιών όπως η Unity θεωρούνται αρκετά χρήσιμες για ρομποτική προσομοίωση και εκπαιδευτική χρήση. Τόσο η Unreal Engine όσο και η Unity είναι καλές επιλογές όταν χρειάζεται να προσομοιωθούν ρομπότ για πειραματισμό και αλληλεπίδραση (Juliani et al., 2018).

Τέλος, μηχανές όπως ο Godot, αν και λιγότερο διαδεδομένες στην έρευνα ρομποτικής, χρησιμοποιούνται κυρίως σε εκπαιδευτικά πλαίσια λόγω των χαρακτηριστικών ανοιχτού κώδικα και της ευελιξίας που προσφέρουν στη εκπαίδευση και τον πειραματισμό (Sobota & Pietriková, 2015).

2.4 Unreal Engine στη Ρομποτική και στον Έλεγχο Ρομπότ

2.4.1 Χαρακτηριστικά της Unreal Engine

Η Unreal Engine προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες απόδοσης σε πραγματικό χρόνο (real-time rendering) και ενσωματώνει πληθώρα χαρακτηριστικών ιδιαίτερα χρήσιμων για εφαρμογές προσομοίωσης και εκπαιδευτικής ρομποτικής. Μέσω της άμεσης απεικόνισης, καθίσταται δυνατή η παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο το ρομπότ κινείται και αλληλεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο. Αυτό καθιστά την προσομοίωση ιδιαίτερα αποτελεσματική για εκπαιδευτικούς σκοπούς, καθώς διευκολύνει την κατανόηση και την ανάλυση της συμπεριφοράς του ρομπότ κατά την εκτέλεση των ενεργειών του. (Pan et al., 2020).

Η Unreal Engine διαθέτει μια μηχανή φυσικής (physics engine) που μας επιτρέπει να βλέπουμε πώς κινούνται και αντιδρούν τα πράγματα μεταξύ τους. Η μηχανή φυσικής και ο ελεγκτής PID συνεργάζονται για να κάνουν τις κινήσεις του ρομπότ να φαίνονται πραγματικές. Δεν προορίζεται να αντικαταστήσει προγράμματα που προσομοιώνουν ρομπότ, αλλά είναι αρκετά καλή για εκπαιδευτική χρήση και δοκιμή συστημάτων ελέγχου ρομπότ (Sobota & Pietriková, 2015).

Τέλος, η Unreal Engine υποστηρίζει οπτικό προγραμματισμό μέσω του συστήματος Blueprints όσο και ανάπτυξη σε C++. Τα Blueprints μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς εκτεταμένες γνώσεις προγραμματισμού, καθιστώντας το εργαλείο προσβάσιμο σε αρχάριους χρήστες, ενώ η υποστήριξη C++ παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης πιο σύνθετων και αποτελεσματικών συστημάτων όταν απαιτείται (Sobota & Pietriková, 2015, Epic Games, 2023).

2.4.2 Unreal Engine και Robotics Frameworks

Η σύνδεση μεταξύ της Unreal Engine και ROS, είναι πραγματικά σημαντική για άτομα που κάνουν έρευνα στη ρομποτική. Αυτό μας επιτρέπει να συνδέουμε προσομοιώσεις με πραγματικά ρομπότ ή προσομοιωμένα ρομποτικά συστήματα. Η Unreal Engine μπορεί να επικοινωνήσει με το ROS λόγω plugins και βιβλιοθηκών που τα βοηθούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι η Unreal Engine μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει μηνύματα προς και από το ROS. Έτσι, ο αλγόριθμος ελέγχου μπορεί να εκτελείται σε έναν υπολογιστή ενώ το ρομπότ κινείται στον εικονικό κόσμο που δημιουργήθηκε στη Unreal Engine. Αυτό σημαίνει ότι, ο αλγόριθμος ελέγχου μπορεί να εκτελείται σε έναν υπολογιστή ενώ το ρομπότ κινείται στον εικονικό κόσμο που δημιουργεί η Unreal Engine (Pan et al., 2020, Shah, S., et al. 2018).

Η Unreal Engine είναι επίσης χρήσιμο για τη δημιουργία digital twins (ψηφιακά δίδυμα). Τα digital twins είναι σαν εικονικά αντίγραφα φυσικών ρομποτικών συστημάτων που ενημερώνονται με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να παρακολουθούμε τη συμπεριφορά του ρομπότ μέσα από δοκιμές για να δούμε πώς θα συμπεριφερθεί. Τα digital twins είναι πολύ χρήσιμα, για να δοκιμάζουμε και να διορθώνουμε τα πράγματα πριν τα χρησιμοποιήσουμε στον πραγματικό κόσμο (Tao et al., 2018).

Η ροή δεδομένων (data streaming) από την προσομοίωση σε εξωτερικές εφαρμογές είναι απαραίτητη για την ανάλυση της συμπεριφοράς των ρομπότ. Η ανταλλαγή δεδομένων

μεταξύ της Unreal Engine και των εξωτερικών συστημάτων πραγματοποιείται μέσω μηχανισμών ροής δεδομένων, όπως live link πρωτόκολλων δικτύου και middleware επικοινωνίας. Μέσω αυτών, δεδομένα αισθητήρων και εντολές ελέγχου ρομπότ μπορούν να αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τη χρησιμότητα της Unreal Engine ως εργαλείο προσομοίωσης και εκπαίδευσης στη ρομποτική (Pan et al., 2020, Quigley et al., 2009).

2.4.3 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί

Η Unreal Engine έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και κάποιους περιορισμούς. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της Unreal Engine είναι ότι έχει εξαιρετικά γραφικά και φυσική προσομοίωση. Η Unreal Engine δείχνει τα πράγματα με ρεαλιστικό τρόπο και δίνει άμεση ανατροφοδότηση, η οποία βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν πώς συμπεριφέρεται το ρομπότ. Αυτό καθιστά την Unreal Engine πολύ καλή για τη εκπαίδευση σχετικά με τα ρομπότ και για διαδραστικές προσομοιώσεις με τις οποίες μπορούν να αλληλεπιδράσουν οι χρήστες (Pan et al., 2020, Sobota & Pietriková, 2015).

Ωστόσο, η χρήση της Unreal Engine συνοδεύεται και από κάποιους περιορισμούς. Η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος ανάπτυξης μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για τους αρχάριους χρήστες. Επιπλέον, οι υπολογιστικές απαιτήσεις και οι απαιτήσεις υλικού μπορεί να περιορίσουν τη χρήση της σε συστήματα χαμηλού επιπέδου. Για αυτόν τον λόγο, η Unreal Engine θεωρείται κατάλληλη για εκπαιδευτικά και πειραματικά σενάρια, όπου ο ρεαλισμός και η διαδραστικότητα υπερισχύουν της απόλυτης ακρίβειας προσομοίωσης (Pan et al., 2020, LaValle, 2020).

2.5 Παιχνίδια και Gamified Περιβάλλοντα για Έλεγχο Ρομπότ

2.5.1 Σχεδιασμός Παιχνιδιού για Ρομποτικό Έλεγχο

Οι μηχανισμοί (mechanics) του παιχνιδιού είναι αυτοί που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα, όπως η ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή PID και η αλλαγή της ταχύτητας της κίνησης. Αυτοί οι μηχανισμοί θα πρέπει να είναι εύκολοι στην χρήση και στη κατανόηση, ώστε να μην εμποδίζουν τον χρήστη να παρακολουθά τα αποτελέσματα της εφαρμογής ρομποτικού ελέγχου και την αλλαγή της συμπεριφοράς του ρομπότ όταν αλλάζει τις παραμέτρους. Οι μηχανισμοί του παιχνιδιού είναι σημαντικοί επειδή βοηθούν τον χρήστη να κατανοήσει το σύστημα (Millington & Funge, 2016).

Ο σχεδιασμός παιχνιδιού για ρομποτικό έλεγχο περιλαμβάνει ανατροφοδότηση (feedback) που είναι σημαντική καθώς επιτρέπει στον χρήστη να βλέπει το αποτέλεσμα των ενεργειών του. Αυτό βοηθά τον χρήστη να κατανοήσει πώς λειτουργεί το ρομπότ και μπορεί να δει άμεσα τα αποτελέσματα, όταν διορθώσει λάθη ή αλλάξει παραμέτρους στο σύστημα ελέγχου του ρομπότ (Millington & Funge, 2016).

Επιπλέον, η σταδιακή αύξηση της δυσκολίας (difficulty progression) θεωρείται σημαντική για τη διατήρηση του ενδιαφέροντος του χρήστη. Με την αύξηση της δυσκολίας ο χρήστης μπορεί σταδιακά να αναπτύξει τις δεξιότητές του και να κατανοήσει πιο προηγμένες έννοιες ρομποτικού ελέγχου. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε εκπαιδευτικά παιχνίδια και serious games όπου η μάθηση συνδέεται άμεσα με την εμπειρία και τον πειραματισμό (Zyda, 2005, Ames, K. 2015).

2.5.2 Αλληλεπίδραση Παίκτη – Ρομπότ

Η αλληλεπίδραση παίκτη–ρομπότ αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στον σχεδιασμό παιχνιδιών που σχετίζονται με τον ρομποτικό έλεγχο. Για την επίτευξή της, είναι απαραίτητο να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι ενέργειες του παίκτη μετατρέπονται σε εντολές κατανοητές από το ρομπότ. Η χαρτογράφηση (mapping) των ενεργειών πρέπει να είναι απλή και διαισθητική, επιτρέποντας στον χρήστη να αντιλαμβάνεται άμεσα πώς οι ενέργειές του επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η χαρτογράφηση ενεργειών αφορά τον έλεγχο των παραμέτρων του ελεγκτή PID, δίνοντας τη δυνατότητα στον παίκτη να επηρεάζει δυναμικά και σε πραγματικό χρόνο τη συμπεριφορά του ρομπότ (Millington & Funge, 2016).

Η απόκριση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ της δράσης του παίκτη και της οπτικής αναπαράστασης της κίνησης του ρομπότ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αξιοπιστία μιας προσομοίωσης. Στα συστήματα προσομοίωσης, είναι απαραίτητο να αποτυπώνεται με ακρίβεια ο τρόπος με τον οποίο το ρομπότ αντιδρά σε πραγματικό χρόνο στις εντολές που λαμβάνει. Σε αντίθετη περίπτωση, η καθυστερημένη ή μη ρεαλιστική απόκριση μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα και να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά του συστήματος (Pan et al., 2020).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης εικονικών περιβαλλόντων είναι η ασφάλεια που προσφέρουν. Η προσομοίωση επιτρέπει στον χρήστη να δοκιμάζει ακραίες τιμές στις παραμέτρους ελέγχου, οι οποίες σε πραγματικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν φθορές ή ζημιές στο ρομποτικό σύστημα. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα

κρίσιμη για την εκπαιδευτική ρομποτική, καθώς απαλλάσσει τον χρήστη από τον κίνδυνο υλικής ζημιάς και ενθαρρύνει τον πειραματισμό και τη διερεύνηση ακόμη και οριακών περιπτώσεων λειτουργίας (Zyda, 2005. Corke, 2017).

2.6 Line Following ως Θεμελιώδες Πρόβλημα Ρομποτικού Ελέγχου

2.6.1 Line Following στη Ρομποτική

Η παρακολούθηση γραμμής είναι ένα βασικό πρόβλημα κινηματικού ελέγχου στη ρομποτική. Πρόκειται για ένα ρομποτικό σύστημα που πρέπει να παρακολουθεί και να παραμείνει πάνω σε μία γραμμή, χρησιμοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες για να διορθώσει την κατεύθυνση του (Zafar, M. N., & Mohanta, J. C. 2018).

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί κυρίως αισθητήρες ανίχνευση χρώματος ή υπέρυθρης ανάκλασης (IR), οι οποίοι βοηθούν στη παρακολούθηση γραμμής πάνω σε μια επιφάνεια που κινείτε το ρομπότ. Δίνουν επίσης δεδομένα ανατροφοδότησης που χρειαζόμαστε για τον έλεγχο κίνησης του ρομποτικού συστήματος. Η σχέση της παρακολούθησης γραμμής με τα συστήματα ελέγχου κίνησης την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές ελέγχου κλειστού βρόχου, όπως το PID που χρησιμοποιούν το σφάλμα θέσης για να αλλάζει τη κατεύθυνση του ρομπότ (Corke, 2017, Siciliano et al., 2010).

Για αυτόν τον λόγο, η παρακολούθηση γραμμής χρησιμοποιείται ευρέως στην εκπαιδευτική ρομποτική, σε εισαγωγικά πανεπιστημιακά μαθήματα και διαγωνισμούς ρομποτικής, όπως η Robotex, καθώς προσφέρει ένα απλό αλλά αποτελεσματικό τρόπο στους χρήστες για την κατανόηση των αισθητήρων, του ρομποτικού ελέγχου κίνησης και των βασικών αλγορίθμων ελέγχου όπως το PID (Kurniawan, A., 2019).

2.6.2 Εκπαιδευτική Αξία του Line Following

Η αξία της παρακολούθησης της γραμμής για τη μάθηση στο ότι δίνει άμεση οπτική ανατροφοδότηση στον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να παρακολουθή ακριβώς τι συμβαίνει, πώς κινείται το ρομπότ και πώς επιστρέφει στη γραμμή μετά από κάθε διόρθωση σφάλματος. Η παρακολούθηση της γραμμής είναι ένας τρόπος για τον χρήστη να δει πώς οι ενέργειες και οι αλλαγές που κάνει στο ρομπότ επηρεάζουν την συμπεριφορά και την πορεία του πάνω στη γραμμή (Benitti, 2012, Alimisis, 2013, Eguchi, 2014).

Επίσης, η παρακολούθηση της γραμμής βοηθά τον χρήστη να σκεφτεί πώς να λύσει προβλήματα και να κατανοήσει πώς λειτουργούν τα συστήματα ρομποτικού ελέγχου,

βλέποντας πως λειτουργούν όλα τα μέρη του. Αυτός ο ορισμός λέγεται αλγοριθμική σκέψη και συστημική κατανόηση. Επιπλέον, η παρακολούθηση της γραμμής ενθαρρύνει τον πειραματισμό με διαφορετικές παραμέτρους και στρατηγικές ελέγχου ρομπότ, γεγονός που την καθιστά ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό εργαλείο μάθησης σε εκπαιδευτικά και πανεπιστημιακά περιβάλλοντα (Benitti, 2012, Alimisis, 2013, Eguchi, 2014).

2.6.3 Αλγόριθμοι Line Following

Οι αλγόριθμοι ακολουθίας γραμμής μπορούν να χωριστούν σε δύο μεθόδους: τις απλές, όπου είναι πιο εύκολο να κατανοηθούν, και τις προχωρημένες. Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι η πολυπλοκότητα και η ακρίβεια που προσφέρουν.

Απλές Μέθοδοι

Οι απλές μέθοδοι περιλαμβάνουν μεθόδους όπως On–off control, που το ρομπότ θα αλλάξει ξαφνικά κατεύθυνση όταν συνειδητοποιήσει ότι έχει απομακρυνθεί από τη γραμμή που παρακολουθεί και πρέπει να ακολουθεί. Υπάρχει επίσης η μέθοδος threshold-based steering, που το ρομπότ χρησιμοποιεί όρια για να αποφασίσει προς τα πού θα κατευθυνθεί με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνει από τους αισθητήρες. Αυτές οι μέθοδοι είναι απλές στη χρήση, αλλά έχουν κάποια προβλήματα όταν πρόκειται για θέματα ομαλής και σταθερής κίνησης (Benitti, 2012, Alimisis, 2013).

Προχωρημένες Μέθοδοι

Οι προχωρημένες μέθοδοι με τους οποίους τα ρομπότ ακολουθούν γραμμές είναι διαφορετικοί, καθώς μπορούν να κάνουν αλλαγές σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα να κάνει την κίνηση του ρομπότ πιο ομαλή και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μια προχωρημένη μέθοδος είναι ο έλεγχος proportional (P), ο οποίος εξετάζει την απόσταση του ρομπότ από τη γραμμή και στρέφει όσο χρειάζεται για να επιστρέψει σε αυτή. Υπάρχει επίσης ο ελεγκτής PID που είναι παρόμοιος με τον proportional, με τη διαφορά ότι υπολογίζει και εξετάζει τη συσσώρευση των σφαλμάτων και τον ρυθμό μεταβολής του. Αυτό βοηθά το ρομπότ να ανταποκρίνεται καλύτερα και να αντιμετωπίζει καμπυλωτές γραμμές και εμπόδια (Åström & Hägglund, 2006, Johnson & Moradi, 2005).

2.6.4 PID Controller στη Ρομποτική

Το αποτέλεσμα του PID είναι το άθροισμα του proportional, του integral και του derivative όρου. Αυτό το άθροισμα χρησιμοποιείται για να διορθωθεί η κίνηση και να περιστρέψει το ρομπότ στη σωστή κατεύθυνση για να πλησιάσει την γραμμή που ακολουθεί.

2.6.4.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο PID

- **P: άμεση διόρθωση**

Ο proportional όρος (P) ανταποκρίνεται άμεσα στο τρέχον σφάλμα και είναι ο κύριος παράγοντας που είναι υπεύθυνος για τη διόρθωση της διαδρομής. Ανάλογα με τη τιμή της μεταβλητής του proportional όρου (K_p) αλλάζει η ευαισθησία του ρομπότ και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση ή την αύξηση του χρόνου που χρειάζεται για να διόρθωση το πρόβλημα. Η υπερβολική αύξηση της τιμής μπορεί να προκαλέσει ταλαντώσεις καθώς ο proportional όρος θα είναι πολύ ευαίσθητος στο σφάλμα. Ο proportional όρος υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το τρέχον σφάλμα με τη σταθερά K_p .

- **I: συσσωρευτικό σφάλμα**

Ο integral όρος (I) λειτουργεί ως μνήμη του ελεγκτή PID που παρακολουθεί και εξετάζει τα σφάλματα που συμβαίνουν στο παρελθόν. Ο όρος αυτός συγκεντρώνει τα σφάλματα με τη πάροδο του χρόνου και αναγκάζει το ρομπότ να διορθώσει επανειλημμένα σφάλματα, με εφαρμογή περιορισμού (clamping) ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο του integral windup και να μην προκαλούνται περισσότερα προβλήματα.

- **D: πρόβλεψη τάσης**

Ο derivative όρος (D) προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ του τρέχοντος σφάλματος και του προηγούμενου σφάλματος και υπολογίζοντας τον ρυθμό μεταβολής του σφάλματος προβλέπει το μελλοντικό σφάλμα. Ο derivative όρος είναι πολύ κρίσιμο για την ομαλή κίνηση του ρομπότ.

2.6.4.2 PID ως Εκπαιδευτικό Εργαλείο

Ο ελεγκτής PID είναι ένα εκπαιδευτικό εργαλείο μάθησης που βοηθά να παρατηρήσουμε πώς λειτουργεί ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου. Ο ελεγκτής PID χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ρομποτικών συστημάτων, στα οποία ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις

παραμέτρους του και να δει πώς επηρεάζει τη συμπεριφορά του ρομπότ (Åström & Hägglund, 2006).

Επιπλέον, παρέχεται άμεσο feedback μέσω περιβαλλόντων προσομοίωσης που συνδέουν τη θεωρία με τη πράξη, καθώς οι χρήστες μπορούν να ελέξουν τις κινήσεις και τις αντιδράσεις του ρομποτικού συστήματος σε πραγματικό χρόνο (Ogata, 2010, Alimisis, 2013).

Μέσω αυτής της διαδικασίας, ο ελεγκτής PID βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν καλύτερα την έννοια του ελέγχου κλειστού βρόχου και πως ο ρόλος της άμεσης ανατροφοδότησης μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλος για τη κατανόηση ελέγχου ρομποτικών συστημάτων. Στην εκπαιδευτική ρομποτική, οι φοιτητές συχνά δυσκολεύονται να συνδέσουν τη μαθηματική περιγραφή του PID με την πρακτική συμπεριφορά του ρομπότ, όπως η ταλάντωση, η αστάθεια ή η αργή απόκριση. Η δυσκολία αυτή εντείνεται κατά την πρακτική εφαρμογή του ελεγκτή, καθώς η ρύθμιση των παραμέτρων (tuning) απαιτεί επαναλαμβανόμενες δοκιμές, πειραματισμό και συνεχή προσαρμογή των τιμών, χωρίς να υπάρχει πάντα μια μοναδική ή “σωστή” λύση. Οι φοιτητές καλούνται να αλλάζουν τις παραμέτρους, να παρατηρούν την απόκριση του συστήματος και να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα, μια διαδικασία που μπορεί να είναι χρονοβόρα και αποθαρρυντική, ειδικά για όσους δεν έχουν ισχυρό υπόβαθρο στον έλεγχο συστημάτων.

Ωστόσο, ακριβώς αυτή η διαδικασία δοκιμής και λάθους καθιστά τον PID ιδιαίτερα πολύτιμο στην εκπαιδευτική ρομποτική, καθώς ενισχύει τη βιωματική μάθηση, την κριτική σκέψη και την κατανόηση της σχέσης μεταξύ θεωρίας και πράξης. Μέσα από την πρακτική εφαρμογή, οι φοιτητές αντιλαμβάνονται βαθύτερα πώς οι επιλογές τους επηρεάζουν τη συμπεριφορά ενός ρομποτικού συστήματος και αναπτύσσουν δεξιότητες που είναι ουσιαστικές για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο πραγματικών ρομπότ.

2.6.5 Line Following, PID και Παιχνιδοποίηση

Η παρακολούθηση γραμμής με έναν ελεγκτή PID σε ένα παιχνίδι επιτρέπει στους χρήστες τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων του PID, όπως K_p , K_i , K_d , κάνοντας τη κατανόηση του πιο διασκεδαστική και πιο πειραματική. Ο χρήστης μπορεί να αλλάζει τις τιμές του ελεγκτή PID σε πραγματικό χρόνο, μέσω κουμπιών και ρυθμιστών προσπαθώντας να κάνει το ρομπότ να λειτουργεί σωστά και να παραμένει πάνω στη γραμμή χωρίς να χάνει τη διαδρομή του (Zyda, 2005, Kapp, K. M., Blair, L., & Mesch, R. 2014).

Η παιχνιδοποίηση είναι ένας τρόπος για να δημιουργούνται παιχνίδια με προκλήσεις, όπως είναι να βρεθεί μια βέλτιστη διαδρομή βρίσκοντας μια ισορροπία μεταξύ ταχύτητας και ακρίβειας στη κίνηση. Η δημιουργία παιχνιδιού όπου ο χρήστης πρέπει να ρυθμίσει τις παραμέτρους του ελεγκτή PID για να ακολουθήσει μια διαδρομή όσο το δυνατόν γρηγορότερα, χωρίς το ρομπότ να είναι υπερβολικά ασταθές είναι ένα σενάριο που ενθαρρύνει τον χρήστη να σκεφτεί κριτικά και να ανάπτυξη στρατηγικές ελέγχου. Αυτό το σενάριο για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής κάνει τους χρήστες να πειραματίζονται με διάφορες τιμές, με αποτέλεσμα να μαθαίνουν περισσότερα για τις λεπτομέρειες του αλγορίθμου (Deterding, S., et al. 2011).

Η μάθηση μέσω πειραματισμού κάνει τη ρομποτική πιο διασκεδαστική, δοκιμάζοντας τιμές στον ελεγκτή PID χωρίς κίνδυνο φθοράς σε ένα ασφαλές εικονικό περιβάλλον. Επίσης, η μάθηση μέσω πειραματισμού και η επαναλαμβανόμενες δοκιμές είναι πιο ανθεκτική, καθώς ο χρήστης αποκτά γνώσεις μέσω των επαναλαμβανόμενων δοκιμών, παρατηρήσεων και διορθώσεων (Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. 2014).

2.6.6 Προσομοίωση Line Following σε Εικονικά Περιβάλλοντα

Η προσομοίωση παρακολούθησης γραμμής σε περιβάλλοντα είναι πραγματικά χρήσιμη επειδή μας επιτρέπει να δούμε πώς λειτουργούν οι αισθητήρες και τα συστήματα ελέγχου χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε πραγματικά ρομπότ. Η ακρίβεια στη προσομοίωση αισθητήρων σε εικονικά περιβάλλοντα εξαρτάται κυρίως από το πώς μπορούν η μηχανές παιχνιδιών να μιμηθούν και να δείξουν τι πραγματικά κάνουν οι αισθητήρες (Pan et al., 2020).

Η σύγκριση μεταξύ προσομοίωσης και ενός πραγματικού ρομπότ μας δείχνει τα πλεονεκτήματα και του περιορισμούς των εικονικών περιβαλλόντων. Η προσομοίωση δεν είναι τέλεια επειδή δεν μπορεί να αντιγράψει απόλυτα την πραγματικότητα και τις αβεβαιότητες τις. Η διαφορά αυτή μεταξύ προσομοίωσης και ενός πραγματικού ρομπότ ονομάζεται *reality gap* (κενό πραγματικότητας) (Shah et al., 2018).

Όταν χρησιμοποιούμε Unreal Engine ως οπτικό εργαστήριο του ελεγκτή PID έχουμε ένα μέρος για να δούμε και να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους του , όπου μπορούμε να δούμε αμέσως πώς επηρεάζουν οι διαφορετικές ρυθμίσεις. Ταυτόχρονα, το εικονικό περιβάλλον παρέχει ένα *safe learning environment* (ασφαλές πλαίσιο μάθησης), στο οποίο οι χρήστες μπορούν να δοκιμάσουν διαφορετικά σενάρια χωρίς τον κίνδυνο υλικής ζημιάς σε

εξοπλισμό, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για εκπαιδευτικές εφαρμογές στη ρομποτική (Juliani et al., 2018, Benitti, 2012).

2.7 Ανάλυση Υφιστάμενων Ερευνητικών Έργων

Πολλές μελέτες έχουν εξετάσει πώς οι μηχανές παιχνιδιών και οι προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διδασκαλία της ρομποτικής και τον έλεγχο ρομπότ. Για παράδειγμα, η “Juliani, A., et al. (2018). Unity: A General Platform for Intelligent Agents.” έδειξε ότι η Unity μπορεί να αποτελέσει μια πλατφόρμα για την κατασκευή έξυπνων μηχανών και οι μηχανές παιχνιδιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δοκιμή αλγορίθμων ελέγχου και τεχνητής νοημοσύνης. Άλλες μελέτες, όπως η “Pan, J., et al. (2020). Using Game Engines for Robotics Simulation. Robotics and Automation Letters.” εξέτασε τη χρήση μηχανών παιχνιδιών ως τρόπο προσομοίωσης της ρομποτικής, καθώς επισημάναν το ρεαλισμό και την άμεση αλληλεπίδραση που προσφέρουν οι μηχανές παιχνιδιών. Η χρήση μηχανών παιχνιδιών στην εκπαίδευση ρομποτικής και τον έλεγχο ρομπότ είναι κάτι που πολύ ερευνητές πιστεύουν ότι έχει πολλές δυνατότητες.

Επιπλέον μελέτες, όπως η “Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools. Computers & Education.” δείχνει ότι η χρήση εικονικών περιβαλλόντων είναι ένας εξαιρετικός τρόπος μάθησης και πειραματισμού. Επίσης, ανακάλυψαν ανακάλυψαν ότι η διδασκαλία της ρομποτικής με προσομοιώσεις και πρακτικές δραστηριότητες συμβάλλει στη σύνδεση θεωρίας και πράξης και βοηθά τους χρήστες να αναπτύσσουν αλγοριθμική σκέψη.

Σήμερα, οι άνθρωποι εξετάζουν επίσης πώς η Unreal Engine μπορεί να λειτουργήσει με πλαίσια ρομποτικής όπως το ROS2. Αυτό σημαίνει ότι τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να συνδεθούν με ρομποτικά συστήματα. Η μελέτη “Tidwell, Z., et al. (2021). Integration of Unreal Engine with ROS2 for Robotics Simulation. ” παρουσιάζει τρόπους ενσωμάτωσης της Unreal Engine με το ROS2, επισημαίνοντας τις δυνατότητες ανταλλαγής δεδομένων και ρεαλιστικής προσομοίωσης για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς.

Παρόλο που οι παραπάνω εργασίες παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, συχνά δεν εστιάζουν στη εικονική προσομοίωση των συστημάτων ρομποτικού ελέγχου τα οποία ελέγχονται από το χρήστη, όπως η διαδραστική προσομοίωση ενός ελεγκτή PID σε ένα εικονικό περιβάλλον παιχνιδιού. Επιπλέον, σε αρκετές περιπτώσεις η αξιολόγηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας μέσω σεναρίων, όπως η σχέση μεταξύ χρόνου ολοκλήρωσης και σταθερότητας κίνησης, απουσιάζει. Αυτό το κενό υπογραμμίζει την ανάγκη για

εφαρμογές που συνδυάζουν ρεαλιστική προσομοίωση, οπτική ανατροφοδότηση και η παιχνιδιοποίηση των συστημάτων ρομποτικού ελέγχου, όπως επιχειρεί αυτή η διπλωματική εργασία.

2.8 Ερευνητικά Κενά και Ανάγκη της Παρούσας Εργασίας

Η ρομποτική χρησιμοποιεί όλο και περισσότερο προσομοιώσεις και serious games. Βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν πολλές εφαρμογές που επιτρέπουν στους ανθρώπους να ελέγχουν πραγματικά ρομπότ σε ένα εικονικό περιβάλλον παιχνιδιού. Η ρομποτική και ο πραγματικός έλεγχος ρομπότ είναι αυτό για το οποίο μιλάμε εδώ και πώς μπορούμε να το κάνουμε πιο διασκεδαστικό και διαδραστικό με τη χρήση μηχανών παιχνιδιών, όπως η Unreal Engine.

Η χρήση της Unreal Engine στην εκπαιδευτική ρομποτική δεν είναι τόσο συνηθισμένη, παρόλο που έχει την ικανότητα να κάνει τα πράγματα να φαίνονται και να αισθάνονται πολύ ρεαλιστικά, για αυτό το λόγο είναι περίεργο που η εκπαιδευτική ρομποτική δεν χρησιμοποιεί συχνά την Unreal Engine. Ενώ η Unreal Engine είναι πολύ δημοφιλής για τη δημιουργία παιχνιδιών και για πράγματα όπως τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό, με το AirSim δεν χρησιμοποιείται πολύ για τη διδασκαλία βασικών ρομποτικών εννοιών.

Όταν πρόκειται για την παρακολούθηση γραμμών, τις περισσότερες φορές οι άνθρωποι σκέφτονται μόνο τη λειτουργία του αλγόριθμου. Δεν σκέφτονται πώς να τον κάνουν πιο ενδιαφέρον με διαδραστικά περιβάλλοντα ή παιχνίδια και μπορούν να βοηθήσουν στη μάθηση.

Όταν πρόκειται για την παρακολούθηση γραμμών τις περισσότερες φορές εστιάζουν στη λειτουργικότητα του αλγορίθμου χωρίς τη χρήση immersive περιβάλλον ή μηχανισμούς παιχνιδιών. Παράλληλα, ο έλεγχος PID είναι κάτι που χρησιμοποιείται ευρέως, αλλά συχνά εξηγείται με τρόπο που είναι δύσκολο να κατανοηθεί από αρχάριους. Η έλλειψη εκπαιδευτικών παιχνιδιών που επιτρέπουν την οπτική προσαρμογή των παραμέτρων PID δείχνει την ανάγκη για νέες προσεγγίσεις που συνδυάζουν την προσομοίωση, την παιχνιδιοποίηση και την άμεση ανατροφοδότηση.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να καλύψει τα παραπάνω κενά προτείνοντας ένα διαδραστικό και εκπαιδευτικό περιβάλλον παρακολούθησης της γραμμής με δυνατότητα ρύθμισης PID μέσω ενός παιχνιδιού.

2.9 Σύνοψη Κεφαλαίου

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στη θεωρία της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζει τη σύνδεση των μηχανών παιχνιδιών με τη ρομποτική προσομοίωση και στο πώς η ρομποτική και τα serious games μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση. Αρχικά, έγινε μια εισαγωγή στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναλύθηκαν οι παραδοσιακές μέθοδοι και οι σύγχρονες διαδραστικές προσεγγίσεις ρομποτικού ελέγχου. Στη συνέχεια, το κεφάλαιο αναλύει τα χαρακτηριστικά της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine, τη σύνδεση της με τη ρομποτική και τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της μηχανής αυτής.

Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου, εξετάζει τον σχεδιασμό παιχνιδιού και την αλληλεπίδραση παίκτη–ρομπότ για ρομποτικό έλεγχο και γίνεται αναφορά στο line following ως θεμελιώδες πρόβλημα ρομποτικού ελέγχου, στην εκπαιδευτική του αξία, στους αλγορίθμους line following και στον PID ελεγκτή ως εκπαιδευτικό εργαλείο και στη χρήση που έχει η προσομοίωση του σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Τέλος, παρουσιάστηκε ανάλυση υφιστάμενων ερευνητικών έργων και αναφέρθηκαν τα ερευνητικά κενά και η ανάγκη της παρούσας εργασίας, τα οποία οδηγούν στον σχεδιασμό του παιχνιδιού που αναπτύχθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία.

Αυτό το κεφάλαιο λειτουργεί ως γέφυρα για το επόμενο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζει τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, περιγράφοντας τους στόχους της ερευνητικής προσέγγισης και τα ερευνητικά ερωτήματα που ακολούθησε η παρούσα διπλωματική εργασία

2.10 Συστήματα Ελέγχου Ρομπότ

Τα συστήματα ελέγχου ρομπότ είναι υπεύθυνα για να διαχειρίζονται τον τρόπο με τον οποίο τα ρομπότ κινούνται και ανταποκρίνονται μέσα στο περιβάλλον τους. Γενικά, τα συστήματα ελέγχου ρομπότ ταξινομούνται σε ανοιχτού βρόχου(open-loop) ή κλειστού βρόχου(closed-loop). Τα συστήματα ελέγχου ρομπότ ανοιχτού βρόχου δεν μπορούν να διορθώσουν σφάλματα καθώς δεν χρησιμοποιούν ανατροφοδότηση/ανάδραση, ενώ τα συστήματα ελέγχου ρομπότ κλειστού βρόχου μετρούν συνεχώς δεδομένα και υπολογίζοντας και διορθώνοντας τα λάθη προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους ανάλογα.

Στη ρομποτική οι αισθητήρες παρέχουν feedback που επιτρέπει στα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου για να μειώσουν τα σφάλματα και να προσαρμόσουν την συμπεριφορά

τους στην επιθυμητή κατάσταση. Γι' αυτόν τον λόγο τα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου είναι απαραίτητα στη ρομποτική, όπου υπάρχουν απρόβλεπτα περιβάλλοντα, φυσική περιορισμοί και απαιτούνται ακριβείς κινήσεις (Ogata, 2010).

2.11 PID ελεγκτής στη Ρομποτική

Ο ελεγκτής PID είναι από τους πιο δημοφιλείς ελεγκτές στη ρομποτική σήμερα, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία για αυτοματισμούς. Ο ελεγκτής PID υπολογίζει ένα αποτέλεσμα και διαιρείται σε 3 βασικά στοιχεία:

- Proportional (P): Ανταποκρίνεται στη τρέχουσα τιμή του σφάλματος.
- Integral (I): Ανταποκρίνεται στη συνολική τιμή των σφαλμάτων του παρελθόντος.
- Derivative (D): Ανταποκρίνεται στη μελλοντική τιμή και στον ρυθμό μεταβολής του σφάλματος.

Ο PID ελεγκτής υπολογίζει το αποτέλεσμα του συστήματος ελέγχου ως εξής:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

Οι ελεγκτές PID είναι τόσο δημοφιλείς στη ρομποτική και τη βιομηχανία λόγω της απλότητας, της ευελιξίας και της αποτελεσματικότητας του σε πολλά συστήματα. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχει δυσκολία στη ρύθμιση των στοιχείων του ελεγκτή PID με αποτέλεσμα οι λανθασμένες τιμές να οδηγήσουν σε αστάθεια ή αργή απόδοση (Åström & Hägglund, 2006, Ogata, 2010).

2.12 Line Following

Μια από τις πιο κοινές εκπαιδευτικές εφαρμογές που χρησιμοποιείται συχνά για τη διδασκαλία βασικών αρχών της ρομποτικής είναι τα ρομπότ για line following. Για line following (ακολουθήση γραμμής) τα ρομπότ χρησιμοποιούν κυρίως αισθητήρες που “βλέπουν” τη διαφορά αντίθεσης ανάμεσα στη γραμμή (συνήθως μαύρη) και το υπόβαθρο (λευκό). Οι πιο συνηθισμένοι είναι οι εξής:

- Αισθητήρες Χρώματος (Color Sensors)
- Αισθητήρες Υπέρυθρης Ανάκλασης / IR (Infrared Reflectance Sensors)
- Κάμερα (Computer Vision – πιο προχωρημένο)

- Συνδυασμός Αισθητήρων (Advanced)

2.13 Μηχανές Παιχνιδιών ως Εργαλεία Προσομοίωσης

Για την υλοποίησή των ρομπότ για line following συνήθως χρησιμοποιούν κάμερες ή αισθητήρες υπέρυθρων, όμως στη παρούσα περίπτωση που χρησιμοποιούμε μηχανές παιχνιδιών μπορούμε να κάνουμε μια εικονική προσομοίωση με εικονικούς αισθητήρες που αναπαράγουν τη συμπεριφορά αυτή.

Κεφάλαιο 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει σχεδιαστεί με στόχο να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο ο σχεδιασμός παιχνιδιών μπορεί να αξιοποιηθεί για την προσομοίωση και τον έλεγχο ρομπότ σε ένα εικονικό περιβάλλον. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε συνδυάζει σχεδιασμό και χρήση ρομπότ και εικονικών αισθητήρων ανίχνευσης γραμμής, υλοποίηση ελεγκτή PID και πειραματική αξιολόγηση, με κύριο εργαλείο προσομοίωσης τη μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine.

Η μεθοδολογία επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός διαδραστικού εικονικού περιβάλλοντος με προσομοίωση ενός ρομπότ, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να παρατηρεί και να αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο τη συμπεριφορά του ρομπότ μέσω παραμέτρων ενός συστήματος ελέγχου, όπως η ταχύτητα και των στοιχείων ενός ελεγκτή PID.

3.1 Στόχοι Ερευνητικής Προσέγγισης

Ο βασικός στόχος της ερευνητικής προσέγγισης είναι η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας που προσφέρει η χρήση των μηχανών παιχνιδιών για να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και την προσομοίωση ρομπότ σε ένα εικονικό περιβάλλον με την χρήση του προγράμματος Unreal Engine. Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει να αποδείξει ότι ένα διαδραστικό εικονικό περιβάλλον παιχνιδιού μπορεί να λειτουργήσει ως ένα εκπαιδευτικό εργαλείο για την κατανόηση πολύπλοκων εννοιών της ρομποτικής.

Οι στόχοι της ερευνητικής προσέγγισης είναι οι εξής:

- Η ανάπτυξη ενός εικονικού ρομπότ σε ένα εικονικό περιβάλλον της Unreal Engine, το οποίο θα προσομοιώνει βασικές ρομποτικές κινήσεις και συμπεριφορές σε διάφορα επίπεδα δυσκολίας.
- Η υλοποίηση ενός συστήματος εικονικών αισθητήρων που επιτρέπουν στο ρομπότ να συλλέγει δεδομένα για να μπορεί να αλληλεπιδρά στο εικονικό περιβάλλον του.
- Η υλοποίηση ενός ελεγκτή PID για τον έλεγχο της κίνησης του ρομπότ, με στόχο να ακολουθεί μια γραμμή πάνω σε μια επιφάνεια.
- Τη παροχή δυνατότητας στον χρήστη να μπορεί να τροποποιεί των στοιχείων του ελεγκτή PID (K_p , K_i , K_d) και την ταχύτητα του ρομπότ σε πραγματικό χρόνο.

- Η ανάλυση, η παρατήρηση και η αλλαγή της συμπεριφοράς του ρομπότ υπό τις διαφορετικές τιμές των στοιχείων του ελεγκτή PID, ώστε να γίνει κατανοητή η επίδραση του κάθε στοιχείου.

Οι στόχοι αυτοί βοηθούν στη επιδίωξη του κύριο στόχου της διπλωματικής εργασίας που είναι ο συνδυασμός της μηχανής παιχνιδιών με τη προσομοίωση ρεαλιστικού ρομπότ.

3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα

Με βάση τους παραπάνω στόχους, η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει να απαντήσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- **Πώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα Unreal Engine για την προσομοίωση ρεαλιστικών ρομπότ και ρομποτικών αισθητήρων μέσα σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού;**
Ο σκοπός αυτού του ερωτήματος είναι να διερευνήσει την δυνατότητα του προγράμματος Unreal Engine στη δημιουργία ρεαλιστικών ρομπότ. Περιλαμβάνει την κατανόηση του προγράμματος Unreal Engine και την χρήση του για τον έλεγχο ρομπότ ώστε να ανταποκρίνεται στις ρεαλιστικές ρομποτικές κινήσεις.
- **Ποιές είναι οι προκλήσεις και τα εμπόδια για να ενσωματωθούν η ρομποτική σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;**
Αυτό το ερώτημα περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση προκλήσεων και εμποδίων που προκύπτουν κατά την προσομοίωση της ρομποτικής σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού. Μερικές πιθανές προκλήσεις και εμπόδια μπορεί να είναι ο πολύπλοκος προγραμματισμός ρομποτικών συμπεριφορών και η διασφάλιση φυσικών αλληλεπιδράσεων.
- **Πώς επηρεάζουν την προσομοίωση και τον έλεγχο των ρομπότ οι διαφορετικές προκλήσεις του παιχνιδιού;**
Αυτό το ερώτημα εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο οι διαφορετικές προκλήσεις του παιχνιδιού επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο ελέγχονται τα προσομοιωμένα ρομπότ. Στόχος του είναι να κατανοήσει πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι προκλήσεων για την δοκιμή των δυνατοτήτων των προσομοιωμένων ρομπότ σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού.
- **Ποια είναι τα κρίσιμα σημεία στην εμπειρία του χρήστη κατά τον έλεγχο ενός ρομπότ μέσω ενός παιχνιδιού;**
Αυτή το ερώτημα εστιάζει στην εύρεση των βασικών στοιχείων της εμπειρίας

χρήστη κατά την αλληλεπίδραση του με τα προσομοιωμένα ρομπότ σε περιβάλλον παιχνιδιού. Στόχος είναι η ανάλυση των στοιχείων που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την δέσμευση και την ευχαρίστηση ενός χρήστη. Τα κρίσιμα σημεία στην εμπειρία του χρήστη είναι η εύκολη εισαγωγή στο παιχνίδι, η γρήγορη προσαρμογή στο περιβάλλον του παιχνιδιού, η καμπύλη μάθησης στον έλεγχο του ρομπότ και η διατήρηση της αφοσίωσης του χρήστη. Αυτά τα σημεία είναι κρίσιμα για την δημιουργία ενός διασκεδαστικού και ευχάριστου παιχνιδιού προς τον χρήστη.

Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός και Αρχιτεκτονική Συστήματος

4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται σε τέσσερα βασικά στοιχεία:

- Το ρομπότ
- Ένα σύστημα αισθητήρων
- Ένα ελεγκτή PID
- Την αλληλεπίδραση με τον χρήστη.

Αυτά τα στοιχεία λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, το σύστημα αισθητήρων καταγράφει δεδομένα για να μπορεί να υπολογιστεί μια τιμή σφάλματος, η οποία χρησιμοποιείται στον ελεγκτή PID. Το αποτέλεσμα του ελεγκτή καθορίζει το σύστημα κατεύθυνσης του ρομπότ, ενώ η αλληλεπίδραση του χρήστη και η τροποποίηση των τιμών του επιτρέπεται να αλλάξει τη συμπεριφορά του ρομπότ. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος και τα βασικά στοιχεία του συστήματος ελέγχου παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Στη γενική αρχιτεκτονική του συστήματος στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η υλοποίηση εικονικών αισθητήρων line following (Σχήμα 5), ο υπολογισμός σφάλματος και η υλοποίηση ελεγκτή PID (Σχήμα 7) και η εφαρμογή κίνησης και στροφής του ρομπότ με βάση την έξοδο του PID (Σχήμα 8) τα οποία θα δούμε σε μεγέθυνση μέσω σχημάτων στα επόμενα κεφάλαια.

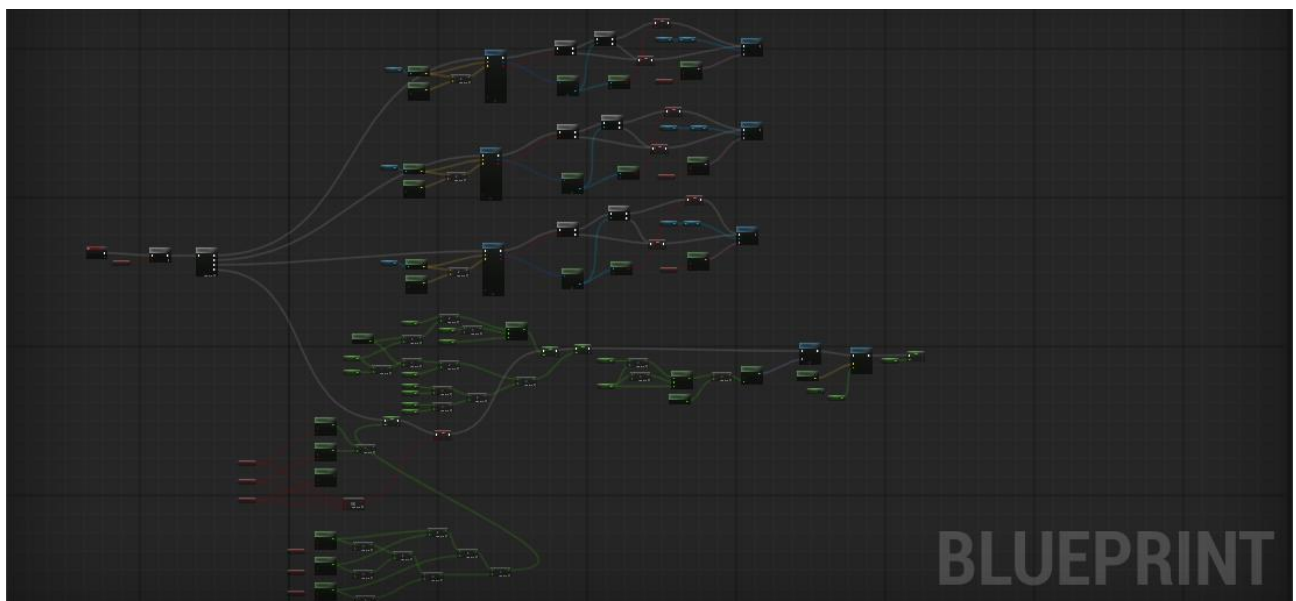


Figure 1: Γενική αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου του ρομπότ.

4.2 Σχεδιασμός Ρομπότ

Η υλοποίηση του ρομπότ έγινε στη κλάση **Pawn** (Πιόνι) της Unreal Engine, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, ενώ η τοποθέτησή του στο εικονικό περιβάλλον παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Η κλάση **Pawn** χρησιμοποιήθηκε για την φυσική αναπαράσταση του ρομπότ το οποίο αλληλοεπιδρά και κινείται σε μια επίπεδη επιφάνεια. Χρησιμοποιώντας έναν βραχίονα προστέθηκε μια κάμερα από πάνω προς τα κάτω στο ρομπότ για να παρέχουμε μια καθαρή εικόνα της κίνησης του ρομπότ και του περιβάλλοντος που αλληλοεπιδρά.

Για την κίνηση του ρομπότ χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο **FloatingPawnMovement** της Unreal Engine το οποίο είναι υπεύθυνο να διαχειρίζεται τη κίνηση και την επιτάχυνση της κλάσης Pawn. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα της κίνησης καθορίζονται από έναν ελεγκτή PID που υλοποιήθηκε μέσω Blueprints στην Unreal Engine, ο οποίος διαβάζει δεδομένα και τα τροφοδοτεί στο FloatingPawnMovement για να εκτελεστεί η κίνηση της κλάσης Pawn.

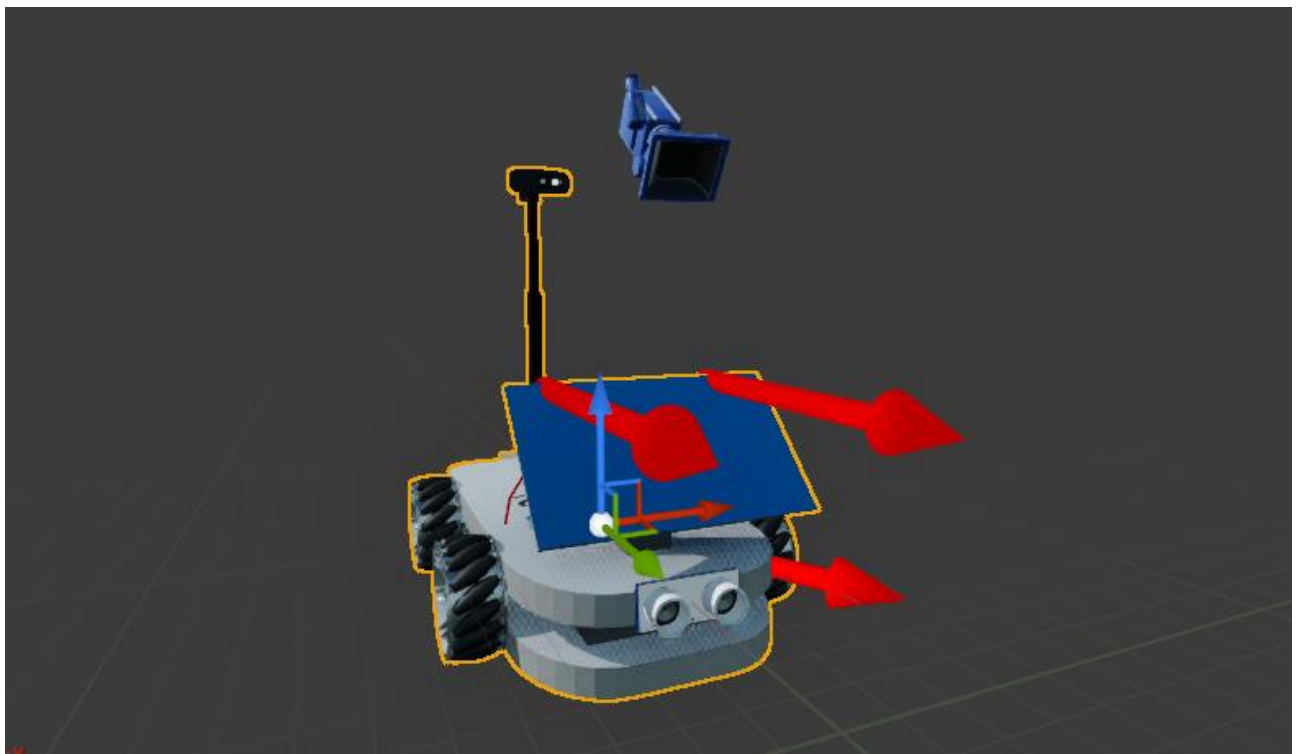


Figure 2: Το εικονικό ρομπότ ως Pawn στην Unreal Engine

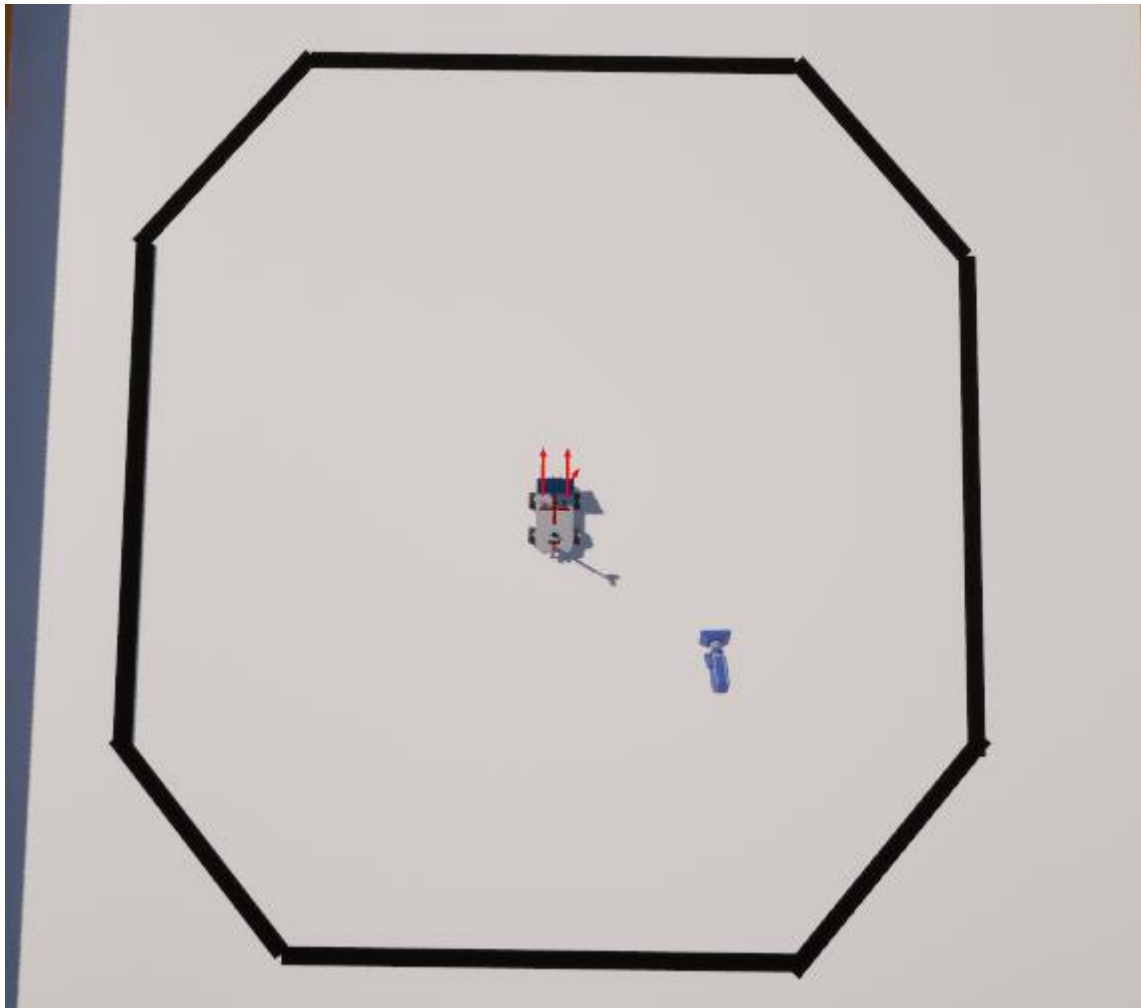


Figure 3: Top-down προβολή του ρομπότ στο εικονικό περιβάλλον

4.3 Σύστημα αισθητήρων

Το ρομπότ χρησιμοποιεί τρεις εικονικούς infrared(υπέρυθρες) αισθητήρες για την προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός ρεαλιστικού ρομπότ:

- ένα αριστερό αισθητήρα IR
- ένα κεντρικό αισθητήρα IR
- ένα δεξί αισθητήρα IR

Κάθε εικονικός αισθητήρας λειτουργεί μέσω μια γραμμής ακτινοβολιών(raycasting) που κατευθύνεται προς την επίπεδη επιφάνεια. Ο κάθε εικονικός αισθητήρας θεωρείται ενεργός όταν τέμνει ένα αντικείμενο το οποίο έχει την ετικέτα “Line”, στη προκειμένη περίπτωση την μαύρη γραμμή πάνω στην επίπεδη επιφάνεια. Η ανίχνευση της γραμμής πραγματοποιείται μέσω εικονικών αισθητήρων, οι οποίοι υλοποιούνται με line traces, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4 και η αντίστοιχη υλοποίηση στο Blueprint παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.

Με αυτή την προσέγγιση γίνεται η αναπαράσταση των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε πραγματικά ρομπότ για line following. Η χρήση τριών αισθητήρων βοηθά το ρομπότ να υπολογίσει με περισσότερη λεπτομέρεια τη θέση του σε σχέση με την γραμμή και επιτρέπει στον ελεγκτή PID να ξεχωρίζει μικρές και απότομες στροφές.

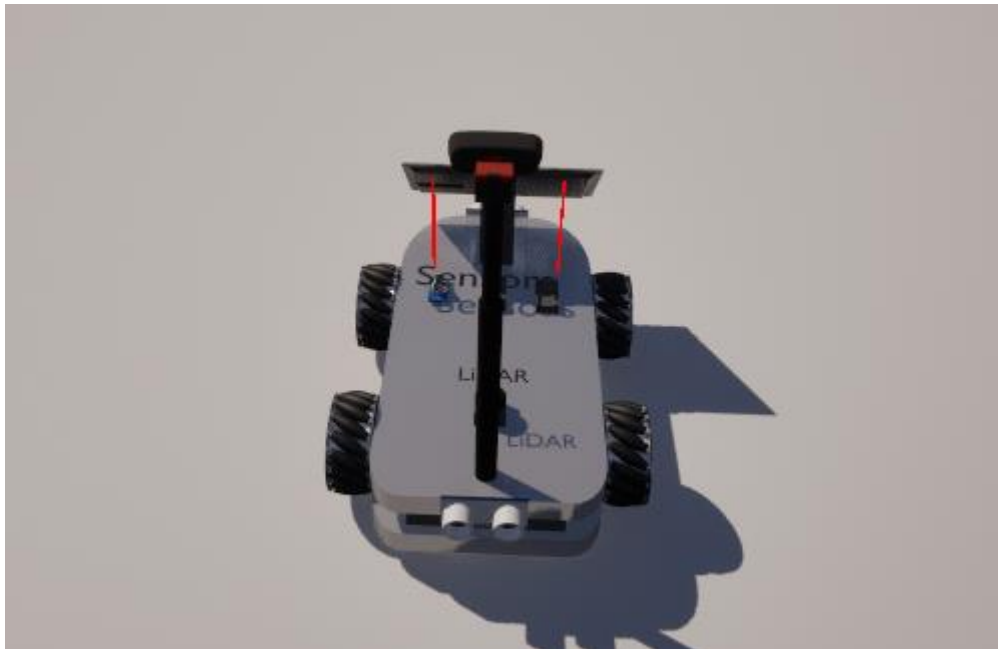


Figure 4: Εικονικοί αισθητήρες γραμμής (Left, Center, Right)

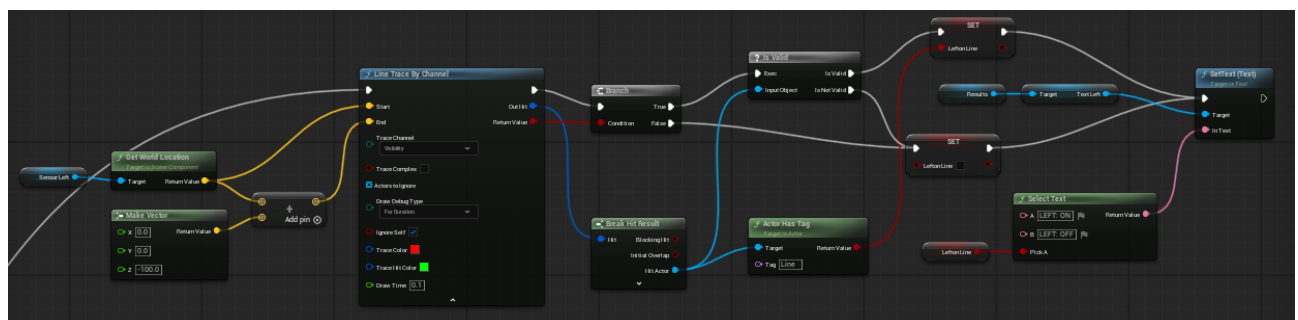


Figure 5: Υλοποίηση αισθητήρων μέσω line traces στο Blueprint

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, η ανίχνευση της γραμμής πραγματοποιείται μέσω κατακόρυφων line traces, τα οποία ελέγχουν αν η επιφάνεια κάτω από το ρομπότ φέρει τη σωστή ετικέτα "Line" και δείχνουν στο user interfaces τότε ενεργοποιείται.

4.4 Διεπαφή χρήστη (User Interface)

Μέσω του συστήματος Widget της Unreal Engine, υλοποιήθηκε ένα User Interface για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της προσομοίωσης, της ταχύτητας του ρομπότ, την

επιλογή επιπέδου και την επεξεργασία των παραμέτρων του ελεγκτή PID. Το User Interface περιλαμβάνει:

- Κουμπιά που επιτρέπουν στον χρήστη να εκκινεί και να διακόπτει τη λειτουργία του ρομπότ και των αισθητήρων και να επαναφέρει το ρομπότ στην αρχική του θέση.
- Εικονικοί ρυθμιστές(slides) που επιτρέπουν στον χρήστη να επεξεργάζονται την ταχύτητα και τις παραμέτρους του ελεγκτή PID και να αλλάζουν σε πραγματικό χρόνο τη συμπεριφορά του ρομπότ.
- Ενδείξεις κειμένου για την άμεση παρακολούθηση της λειτουργίας των αισθητήρων.

Το User Interface λειτουργεί ως ένα σύστημα ελέγχου που επιτρέπει στον χρήστη να αλληλοεπιδρά σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα να μπορεί να παρακολουθεί άμεσα τα αποτελέσματα των αλλαγών των παραμέτρων και την αλλαγή συμπεριφοράς του ρομπότ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



Figure 6: Διαδραστικό περιβάλλον χρήστη για τον έλεγχο του PID ελεγκτή

4.5 Υλοποίηση ελεγκτή PID μέσω Blueprints

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει την υλοποίηση ενός ελεγκτή PID στην Unreal Engine, με στόχο τον έλεγχο της κίνησης ενός εικονικού ρομπότ για line following. Σε αυτό το κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στην υλοποίηση του ελεγκτή PID κατά την ανάπτυξη του συστήματος και τον τρόπο με τον οποίο οι αρχές του PID ελέγχου ενσωματώθηκαν μέσω Blueprints.

Η υλοποίηση βασίστηκε αποκλειστικά στη χρήση του συστήματος Blueprints της Unreal Engine, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, επιτρέποντας την ανάπτυξη του συστήματος, του ρομπότ, των αισθητήρων και του ελεγκτή PID, χωρίς τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού. Χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές για τις τιμές των παραμέτρων K_p , K_i και K_d του ελεγκτή PID και τις μεταβλητές σφάλματος (τρέχον σφάλμα, προηγούμενου σφάλμα και ολοκλήρωμα σφάλματος).

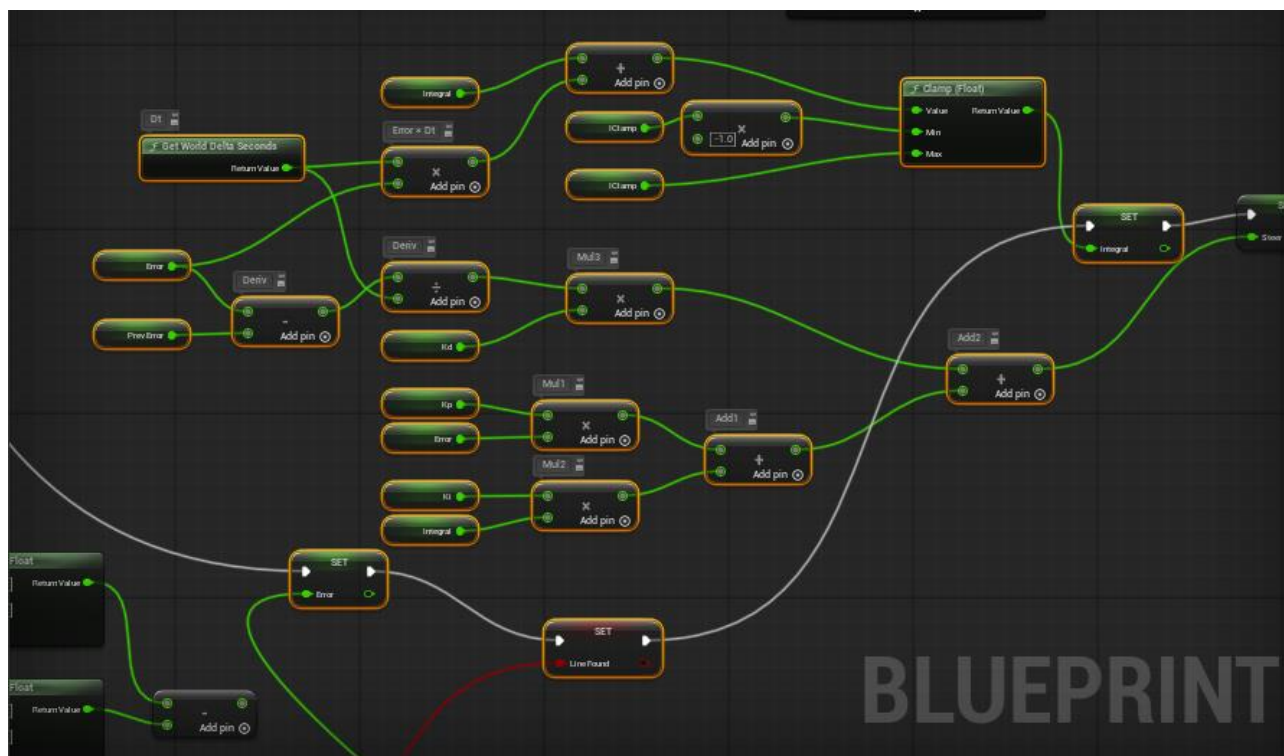


Figure 7: Υλοποίηση του ελεγκτή PID μέσω Blueprints στην Unreal Engine

4.6 Υπολογισμός σφάλματος

Η βασική είσοδος για τον ελεγκτή PID είναι η τιμή σφάλματος ($e(t)$), η οποία δείχνει την απόσταση του ρομπότ από το κέντρο της γραμμής που ακολουθεί. Στη παρούσα υλοποίηση, η αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες στο ρομπότ σε αριθμητική μορφή και στη συνέχεια εξετάζεται η διαφορά μεταξύ του αριστερού και του δεξιού αισθητήρα. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο αισθητήρων είναι η τιμή σφάλματος προς τα αριστερά ή δεξιά, η οποία βοηθάει το ρομπότ να παραμένει πάνω στη γραμμή που ακολουθεί. Επιπλέον, για τον υπολογισμό του derivative όρου του ελεγκτή PID, αποθηκεύεται και η τιμή του προηγούμενου σφάλματος για να μπορέσει να υπολογίσει το ρυθμός μεταβολής του σφάλματος. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπει στον ελεγκτή να προβλέψει και να αντιδρά πιο ομαλά σε απότομες αλλαγές της διαδρομής.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται το σφάλμα και εφαρμόζεται ο ελεγκτής PID, συνδυάζοντας τις τιμές K_p , K_i , K_d .

4.7 Κίνηση του Ρομπότ προς τα εμπρός

Η κίνηση προς τα εμπρός πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την περιστροφή. Αυτή η κίνηση ελέγχεται μέσω μιας μεταβλητής ταχύτητας, την οποία μπορεί να τροποποιήσει ο χρήστης μέσω εικονικών ρυθμιστών. Έτσι μπορεί να μελετηθεί η συμπεριφορά του ρομπότ υπο διαφορετικές τιμές ταχύτητας.

Η έξοδος του ελεγκτή PID χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της στροφής του ρομπότ, ενώ η εμπρόσθια κίνηση υλοποιείται μέσω του `FloatingPawnMovement` component (Σχήμα 8).

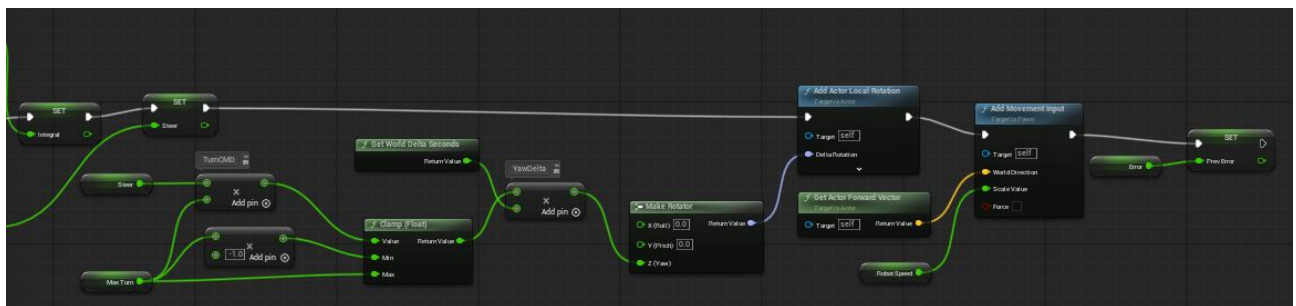


Figure 8: Εφαρμογή κίνησης και στροφής του ρομπότ με βάση την έξοδο του PID

4.8 Διαδραστικός Έλεγχος Παραμέτρων στο Περιβάλλον χρήστη

Για την ενίσχυση του συστήματος και για να μπορεί ο χρήστης να τροποποιεί τις παραμέτρους του ελεγκτή PID και της ταχύτητας, έγινε υλοποίηση τεσσάρων εικονικών ρυθμιστών. Οι αλλαγές γίνονται σε πραγματικό χρόνο, το οποίο δίνει μεγάλη εκπαιδευτική αξία καθώς ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει άμεσα τις αλλαγές στη συμπεριφορά του ρομπότ.

Η υλοποίηση τριών κουμπιών εκκίνησης, διακοπής και επαναφοράς ρομπότ στην αρχική θέση επιτρέπουν στο χρήστη την επανάληψη και επανεκκίνηση των πειραμάτων. Επίσης, επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών ρυθμίσεων, το οποίο καθιστά το σύστημα κατάλληλο για εκπαιδευτική χρήση.

Κεφάλαιο 5. Πειραματική Αξιολόγηση και Αποτελέσματα

Αυτό το κεφάλαιο αφορά τη πειραματική αξιολόγηση του ρομποτικού συστήματος line following που δημιουργήθηκε για τη παρούσα διπλωματική εργασία. Στόχος της πειραματικής αξιολόγησης είναι να μελετηθεί η λειτουργία του ρομποτικού συστήματος παρακολούθησης γραμμής, πώς ανταποκρίνεται το ρομπότ στις ρυθμίσεις των παραμέτρων του ελεγκτή PID και τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρά ο χρήστης με το ρομποτικό σύστημα.

5.1 Περιβάλλον Δοκιμών

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ένα εικονικό περιβάλλον το οποίο δημιουργήθηκε μέσω της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine. Το περιβάλλον δοκιμών περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές πίστες line following, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορά επίπεδα δυσκολίας (εύκολο, μεσαίο, δύσκολο)

- Εύκολο επίπεδο: συνεχής γραμμή χωρίς διασταυρώσεις ή απότομες στροφές(γωνιές μεγαλύτερες των 90° μοιρών), όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.
- Μεσαίο επίπεδο: γραμμή με διασταυρώσεις και πιο απότομες στροφές όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.
- Δύσκολο επίπεδο: γραμμή με διακεκομμένα τμήματα και γωνίες 90° μοιρών όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.

Το ρομπότ κινείται πάντα με σταθερή ταχύτητα ($Speed = 1.0$) σε όλες τις δοκιμές και τα επίπεδα, ώστε η σύγκριση των αποτελεσμάτων ώστε η σύγκριση των αποτελεσμάτων αποκλειστικά στις παραμέτρους του ελεγκτή PID.

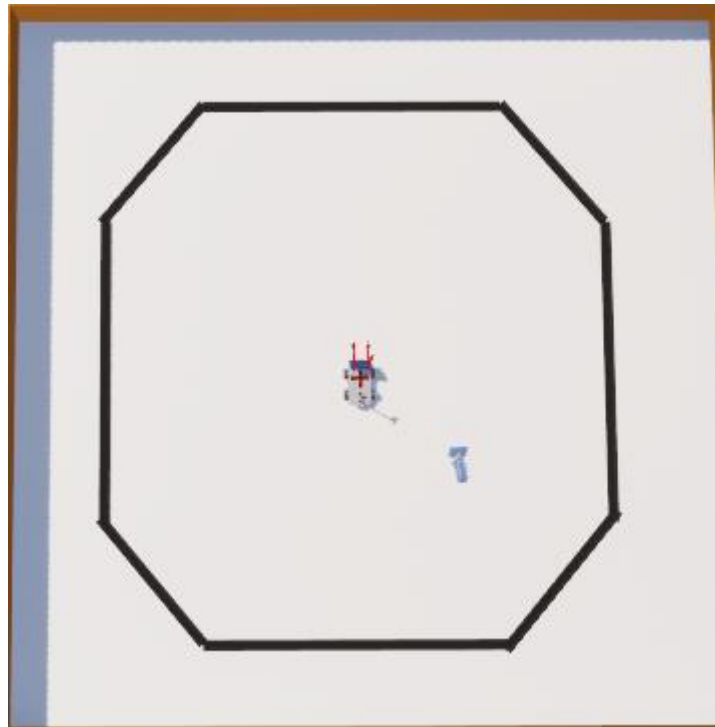


Figure 9: Πίστα εύκολης δυσκολίας

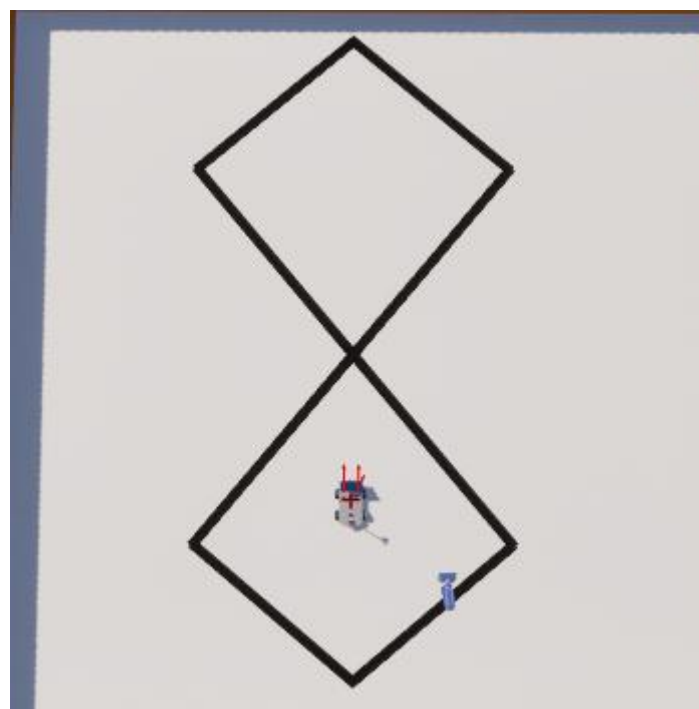


Figure 10: Πίστα μεσαίας δυσκολίας

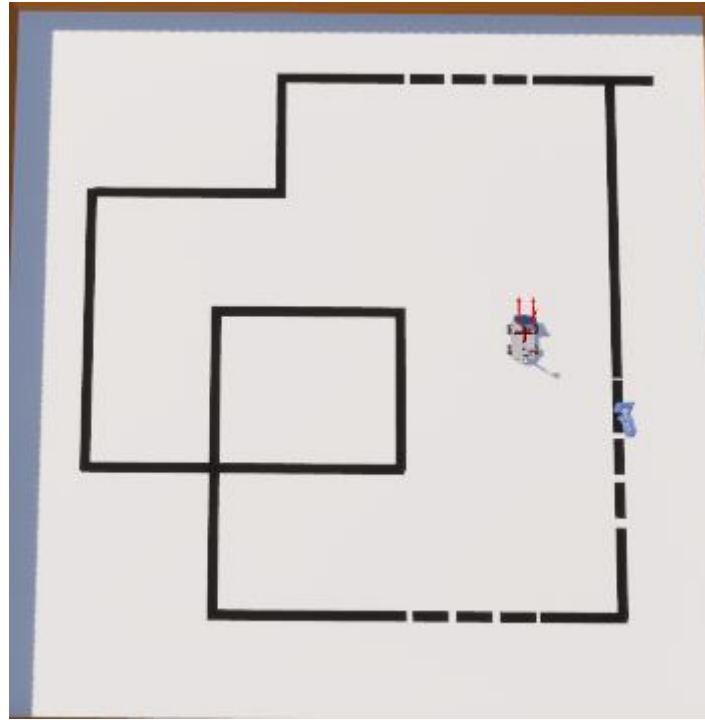


Figure 11: Πίστα υψηλής δυσκολίας με διακεκομμένη γραμμή

5.2 Πειράματα Ρύθμισης PID

Για την πειραματική αξιολόγηση έχουν χρησιμοποιηθεί τρία διαφορετικά σύνολα παραμέτρων PID, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τρόπους ελέγχου. Οι παράμετροι Speed, Kp, Ki και Kd που χρησιμοποιούνται στο εικονικό περιβάλλον δεν αντιστοιχούν σε φυσικές μονάδες μέτρησης. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται συγκριτικά, με στόχο την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος και όχι την αντιστοίχισή τους σε πραγματικές φυσικές ποσότητες.

- **Σύνολο Α (Ομαλή / Ασφαλής)**
Speed = 1.0, Kp = 1.4, Ki = 0.03, Kd = 0.35
- **Σύνολο Β (Ισορροπημένη)**
Speed = 1.0, Kp = 1.4, Ki = 0.03, Kd = 0.35
- **Σύνολο Γ (Επιθετική)**
Speed = 1.0, Kp = 2.2, Ki = 0.06, Kd = 0.60

Τα σύνολα για τα πειράματα ρύθμισης PID δοκιμάστηκαν και στα τρία επίπεδα δυσκολίας. Για το κάθε σύνολο έγιναν τρεις προσπάθειες σε κάθε επίπεδο και επιλέχθηκε η καλύτερη. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ο χρήστης μπορούσε να ρυθμίζει τις παραμέτρους και να παρακολουθεί τη χρονομέτρηση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 12.

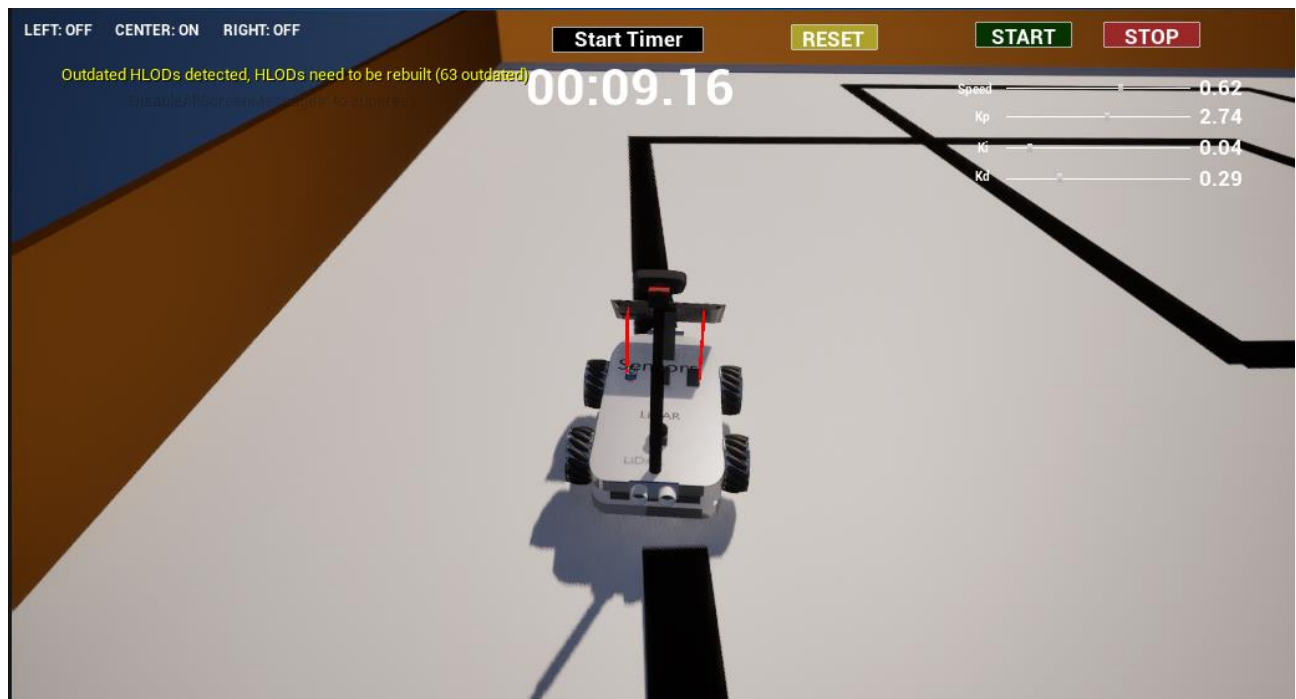


Figure 12: Ρύθμιση παραμέτρων PID και χρονομέτρηση κατά τη διάρκεια δοκιμής

5.3 Αλληλεπίδραση Χρήστη

Ο χρήστης αλληλοεπιδρά με το ρομποτικό σύστημα μέσω ενός διαδραστικού εικονικού περιβάλλοντος, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να αλλάξει τις παραμέτρους Speed, Kp, Ki και Kd του ελεγκτή PID. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει και να διακόψει τη λειτουργία των αισθητήρων και να ξεκινήσει χρονομέτρηση για κάθε δοκιμή.

Μέσω του περιβάλλοντος δοκιμής και του πειραματισμού, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί πώς οι αλλαγές στις τιμές του ελεγκτή PID την τη χρόνο επιτυχίας της διαδρομής και την επιτυχία του συστήματος πλοήγησης.

Αυτή η προσέγγιση βελτιώνει τη εκπαιδευτική διαδικασία και μετατρέπει τη κατανόηση και τη ρύθμιση του ελεγκτή PID σε μια πιο διασκεδαστική και διαδραστική εμπειρία.

5.4 Αποτελέσματα Πειραμάτων

Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τα αποτελέσματα από τα πειράματα και πώς οι αλλαγές στις παραμέτρους του ελεγκτή PID επηρεάζουν την απόδοση των ρομπότ σε περιβάλλοντα. Κάθε σύνολο παραμέτρων δοκιμάστηκε και στα τρία επίπεδα δυσκολίας και συλλέχθηκαν αποτελέσματα από συνολικά εννέα δοκιμές. Οι προσπάθειες με γαλάζιο φόντο παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του Συνόλου Α, με πράσινο φόντο παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του Συνόλου Β και με πορτοκαλί φόντο παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του

Συνόλου Γ. Τη καλύτερη προσπάθεια σε κάθε επίπεδο αποτελούν τα αποτελέσματα με έντονο κείμενο.

Πίνακας Αποτελεσμάτων: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Πειραματικής Διαδικασίας

Επίπεδο	Σύνολο Παραμέτρων	Kp	Ki	Kd	Χρόνος	Κατάσταση
Εύκολο	Σύνολο Α	0.8	0.00	0.15	33s	Επιτυχία
Εύκολο	Σύνολο Β	1.4	0.03	0.35	30s	Επιτυχία
Εύκολο	Σύνολο Γ	2.2	0.06	0.60	31s	Επιτυχία
Μεσαίο	Σύνολο Α	0.8	0.00	0.15	41s	Επιτυχία
Μεσαίο	Σύνολο Β	1.4	0.03	0.35	41s	Επιτυχία
Μεσαίο	Σύνολο Γ	2.2	0.06	0.60	38s	Επιτυχία
Δύσκολο	Σύνολο Α	0.8	0.00	0.15	--	Αποτυχία
Δύσκολο	Σύνολο Β	1.4	0.03	0.35	--	Αποτυχία
Δύσκολο	Σύνολο Γ	2.2	0.06	0.60	1m08s	Επιτυχία

Εύκολο Επίπεδο: Στο εύκολο επίπεδο και τα τρία σύνολα κατάφεραν να ολοκληρώσουν τη διαδρομή χωρίς προβλήματα, με το ισορροπημένο σύνολο B να αποδεικνύεται το πιο γρήγορα σε χρόνο. Οι χρόνοι και των τριών συνόλων ήταν μεταξύ 30 και 33 δευτερολέπτων. Λόγω της μικρής διαφοράς στο χρόνο φαίνεται ότι το εύκολο επίπεδο δεν χρειάζεται επιθετική ρύθμιση του ελεγκτή PID.

Μεσαίο Επίπεδο: Στο μεσαίο επίπεδο και τα τρία σύνολα κατάφεραν να ολοκληρώσουν τη διαδρομή, ωστόσο η επιθετική ρύθμιση του συνόλου Γ ολοκλήρωσε τη διαδρομή στον συντομότερο χρόνο. Αυτό το γεγονός δείχνει ότι η επιθετική ρύθμιση του ελεγκτή PID βελτιώνει τη πλοήγηση του διαδρομές που είναι πιο σύνθετες.

Δύσκολο Επίπεδο: Στο δύσκολο επίπεδο το σύνολο A και B απέτυχαν να ολοκληρώσουν τη διαδρομή, χάνοντας τη γραμμή σε τμήματα που είχαν απότομες στροφές. Το σύνολο Γ ήταν το μοναδικό που ολοκλήρωσε τη διαδρομή με επιτυχία σε χρόνο 1 λεπτού και 8 δευτερολέπτων. Αυτό το γεγονός δείχνει ότι σε απαιτητικά σενάρια line following χρειάζεται μια πιο επιθετική ρύθμιση του ελεγκτή PID για μία επιτυχή πλοήγηση στη διαδρομή.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι καθώς αυξάνεται η δυσκολία του επιπέδου, η ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή PID έχουν μεγαλύτερη σημασία για τη επιτυχή πλοήγηση του ρομποτικού συστήματος στη διαδρομή.

5.5 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η συζήτηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την πειραματική αξιολόγηση του συστήματος, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα πειράματα εστιάζουν στη συμπεριφορά του ρομπότ σε διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας και στη σχέση μεταξύ της ρύθμισης του ελεγκτή PID και της απόδοσης του ρομποτικού συστήματος.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επιλογή των παραμέτρων του ελεγκτή PID επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του ρομπότ, ιδιαίτερα σε απαιτητικά περιβάλλοντα line following. Σε εύκολα επίπεδα διαδρομών, ακόμη και οι ασφαλές ρυθμίσεις του ελεγκτή είναι αρκετές για την επιτυχή πλοήγηση. Αντίθετα, σε πιο σύνθετες πίστες, η επιθετική ρύθμιση του ελεγκτή αποδεικνύεται κρίσιμη για τη επιτυχία της διαδρομής.

Αυτό επιβεβαιώνει τη σημασία της σωστής επιλογής τιμών των παραμέτρων K_p , K_i και K_d , ανάλογα με τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Η αύξηση της δυσκολίας των πιστών έδειξε

ότι σε περιβάλλοντα με διασταυρώσεις, απότομες στροφές και διακεκομμένες γραμμές, το σύστημα απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα διόρθωσης. Η σταδιακή μετάβαση από εύκολες σε δύσκολες πίστες λειτούργησε αποτελεσματικά στη κατανοητή σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συνόλων για τις τιμές των παραμέτρων. Με τον τρόπο αυτό, έγινε εμφανές ότι δεν υπάρχει μία “βέλτιστη” ρύθμιση PID για όλα τα σενάρια, αλλά απαιτείται προσαρμογή ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας.

Πέρα από την τεχνική πειραματική αξιολόγηση, η δυνατότητα άμεσης ρύθμισης των παραμέτρων του ελεγκτή και η οπτική παρακολούθηση της συμπεριφοράς του ρομπότ επιτρέπουν στον χρήστη να κατανοήσει σε βάθος τη λειτουργία του PID ελεγκτή, το οποίο αναδεικνύει την εκπαιδευτική αξία της διαδικασίας πειραμάτων και δοκιμών.

Κεφάλαιο 6. Συμπέρασμα, περιορισμοί και μελλοντική εργασία

Το παρόν κεφάλαιο συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3. Παράλληλα, συζητά τους περιορισμούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας και προτείνει κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και επέκταση του συστήματος.

6.1 Απάντηση στα Ερευνητικά Ερωτήματα

Ερευνητικό ερώτημα 1: Πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Unreal Engine για την προσομοίωση ρεαλιστικών ρομπότ και ρομποτικών αισθητήρων μέσα σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού;

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι η Unreal Engine μπορεί να αξιοποιηθεί για την προσομοίωση ενός ρομποτικού συστήματος σε εικονικό περιβάλλον παιχνιδιού. Μέσω της χρήσης του συστήματος των Blueprints και των μηχανισμών line tracing, έγινε η υλοποίηση ενός ρομπότ με συμπεριφορά που προσεγγίζει πραγματικά σενάρια line following. Οι εικονικοί αισθητήρες επέτρεψαν την αξιόπιστη προσομοίωση παρακολούθησης γραμμής και την παροχή δεδομένων στον ελεγκτή PID.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι, σε αυτήν τη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε ένα έτοιμο ρομποτικό μοντέλο και οι αισθητήρες υλοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας line tracing και λογικούς ελέγχους για παρακολούθηση γραμμής και όχι ως αναπαραστάσεις πραγματικών αισθητήρων. Παρ' όλα αυτά, αυτή η μέθοδος επιτρέπει την κατανόηση της σύνδεσης μεταξύ αισθητηριακών δεδομένων και ελέγχου κίνησης και προσεγγίζει τη λειτουργική συμπεριφορά των πραγματικών αισθητήρων που ακολουθούν τη γραμμή. Ως αποτέλεσμα, η Unreal Engine είναι σε θέση να παρέχει ρεαλιστικές προσομοιώσεις πολλή καλής ποιότητας, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει δυνατότητες για περαιτέρω εμπλουτισμό, επιτρέποντάς της να προσομοιώνει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη συμπεριφορά πραγματικών ρομποτικών αισθητήρων.

Σύμφωνα με τα ευρήματα των Juliani et al. (2018) και Pan et al. (2020), οι μηχανές παιχνιδιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλατφόρμες προσομοίωσης για ρομποτικά συστήματα, παρέχοντας υψηλό βαθμό οπτικής αναπαράστασης και διαδραστικότητας. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποστηρίζουν αυτά τα ευρήματα και μέσω της Unreal Engine και της χρήσης Blueprints, υλοποιήθηκε ένα λειτουργικό ρομποτικό σύστημα line

following με εικονικούς αισθητήρες και ελεγκτή PID, αποδεικνύοντας ότι η μηχανή παιχνιδιού μπορεί να υποστηρίξει βασικές αρχές ρομποτικού ελέγχου. Ωστόσο, η παρούσα υλοποίηση δεν αναπαριστά πλήρως τη φυσική πολυπλοκότητα ενός πραγματικού ρομπότ, σύμφωνα με το θέμα του (Shah et al., 2018). Με αποτέλεσμα, η Unreal Engine δεν χρησιμοποιήθηκε για πλήρη ρεαλιστική προσομοίωση, αλλά για υψηλής ποιότητας λειτουργική προσομοίωση εκπαιδευτικού χαρακτήρα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία δεν έρχεται σε αντιπαράθεση με τη βιβλιογραφία, αλλά επεκτείνει προηγούμενες μελέτες εφαρμόζοντας τις θεωρητικές δυνατότητες των game engines σε ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον παιχνιδοποίησης και διαδραστικής ρύθμισης του ελεγκτή PID σε πραγματικό χρόνο.

Ερευνητικό ερώτημα 2: Ποιες είναι οι προκλήσεις και τα εμπόδια για την ενσωμάτωση της ρομποτικής σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;

Κατά την υλοποίηση του συστήματος εντοπίστηκαν αρκετές προκλήσεις, όπως η πολυπλοκότητα της μηχανής παιχνιδιών, η απουσία έτοιμου ρομπότ και έτοιμων εργαλείων ρομποτικού ελέγχου, δυσκολεύουν την άμεση ανάπτυξη ρομποτικών εφαρμογών. Επιπλέον, δεν υπάρχει έτοιμη υποστήριξη για μεγάλη ποικιλία ρομπότ, όπως Arduino, LEGO ή Raspberry Pi, ούτε για διαφορετικά μεγέθη ρομπότ και τύπους αισθητήρων (π.χ. αισθητήρες γραμμής, υπερήχων ή κάμερες), γεγονός που περιορίζει την άμεση προσαρμογή σε πραγματικά ρομποτικά συστήματα.

Ένας ακόμη περιορισμός αφορά τις απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους. Η Unreal Engine απαιτεί ισχυρούς υπολογιστικούς πόρους για την ομαλή εκτέλεση ρεαλιστικών γραφικών και φυσικής προσομοίωσης, κάτι που ενδέχεται να αποτελεί εμπόδιο σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα με περιορισμένο εξοπλισμό. Επίσης, η ανάγκη αγοράς έτοιμων εργαλείων ή assets από το marketplace της Unreal Engine μπορεί να αυξήσει το κόστος ανάπτυξης. Τέλος, η αποκλειστική χρήση ενός εικονικού περιβάλλοντος στερεί από τον χρήστη την απτή εμπειρία ελέγχου πραγματικού ρομπότ, όπως η συναρμολόγηση υλικού, η διαχείριση καλωδίων ή οι αστοχίες πραγματικών αισθητήρων.

Ωστόσο, οι προκλήσεις αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω της σταδιακής ανάπτυξης του συστήματος και της χρήσης οπτικού προγραμματισμού (Blueprints) και συνδυαστικής χρήσης της προσομοίωσης με πραγματικά ρομποτικά συστήματα. Η παρούσα διπλωματική εργασία δείχνει ότι παρόλο που η Unreal Engine δεν είναι

εξειδικευμένο εργαλείο για εικονική ρομποτική προσομοίωση, μπορεί να προσαρμοστεί αποτελεσματικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Προσφέρει άμεση οπτική ανατροφοδότηση, επιτρέπει γρήγορο πειραματισμό χωρίς τον κίνδυνο καταστροφής εξοπλισμού και δίνει τη δυνατότητα πολλαπλών δοκιμών σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, ένα περιβάλλον προσομοίωσης, όπως η Unreal Engine, επιτρέπει στους φοιτητές να πειραματιστούν με τις παραμέτρους του PID σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον, χωρίς τον κίνδυνο πρόκλησης βλάβης σε πραγματικό ρομπότ ή την ανάγκη συνεχούς επαναρύθμισης φυσικού εξοπλισμού. Οι αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα και η επίδρασή τους να παρατηρηθεί σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας τη σύνδεση μεταξύ θεωρίας και πρακτικής εφαρμογής.

Επιπλέον, η προσομοίωση προσφέρει τη δυνατότητα οπτικοποίησης της συμπεριφοράς του συστήματος, όπως της απόκλισης από την επιθυμητή τροχιά, της ταλάντωσης ή της σταθεροποίησης του ρομπότ, στοιχεία που συχνά είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτά μόνο μέσω μαθηματικών εξισώσεων. Μέσα από τέτοιες οπτικές αναπαραστάσεις, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τον ρόλο κάθε όρου του PID και να αναπτύξουν διαισθητική αντίληψη για τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων.

Τέλος, περιβάλλοντα όπως η Unreal Engine επιτρέπουν την εύκολη επανάληψη πειραμάτων υπό διαφορετικές συνθήκες (π.χ. αλλαγή βάρους ρομπότ, τριβής, ταχύτητας ή θορύβου αισθητήρων), κάτι που στην πραγματική εκπαιδευτική ρομποτική είναι συχνά δύσκολο ή χρονοβόρο. Με αυτόν τον τρόπο, η προσομοίωση λειτουργεί ως ενδιάμεσο στάδιο μάθησης, προετοιμάζοντας τους φοιτητές να εφαρμόσουν τον ελεγκτή PID πιο αποτελεσματικά και με μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση σε πραγματικά ρομποτικά συστήματα. Έτσι, η ενσωμάτωση της ρομποτικής σε περιβάλλον παιχνιδιού, παρά τις προκλήσεις της, συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση και εκμάθηση εννοιών ρομποτικού ελέγχου, όπως ο ελεγκτής PID. Επιπλέον, η προσαρμοστικότητα του περιβάλλοντος παιχνιδιού και της πολυπλοκότητας των προκλήσεων επιτρέπει τη χρήση του συστήματος σε διαφορετικά εκπαιδευτικά επίπεδα και ηλικιακές ομάδες, από εισαγωγική εκπαίδευση μέχρι ανώτερη πανεπιστημιακή κατάρτιση.

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν τη βιβλιογραφία (Pan et al., 2020· Sobota & Pietriková, 2015) που υποστηρίζει ότι τα game engines δεν αποτελούν εξειδικευμένα εργαλεία για την ενσωμάτωση της ρομποτικής σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού, γεγονός που δημιουργεί προκλήσεις στην ακρίβεια προσομοίωσης και στη διασύνδεση με πραγματικό hardware. Ωστόσο, συμφωνεί με τη βιβλιογραφία για serious

games (Zyda, 2005) και εκπαιδευτικής ρομποτικής (Benitti, 2012), καθώς τα πλεονεκτήματα της άμεσης οπτικής ανατροφοδότησης, της ασφάλειας πειραματισμού και της γρήγορης επανάληψης δοκιμών ενισχύουν σημαντικά την εκπαιδευτική αξία του συστήματος παρά τις προκλήσεις και τα εμπόδια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία καταλήγει ότι η Unreal Engine, αν και όχι εξειδικευμένο εργαλείο για ρομποτική προσομοίωση, μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά ως εκπαιδευτικό εργαλείο ελέγχου ρομπότ.

Ερευνητικό ερώτημα 3: Πώς επηρεάζουν οι διαφορετικές προκλήσεις του παιχνιδιού την προσομοίωση και τον έλεγχο των ρομπότ;

Η πειραματική αξιολόγηση έδειξε ότι διαφορετικές προκλήσεις του παιχνιδιού και το επίπεδο δυσκολίας του περιβάλλοντος, όπως η πολυπλοκότητα της διαδρομής, οι απότομες στροφές και οι ασυνέχειες της γραμμής, επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά του ρομποτικού συστήματος. Σε απλές πίστες, όπου η γραμμή είναι συνεχής, χωρίς διασταυρώσεις και απότομες στροφές, ακόμη και οι απλές ρυθμίσεις του ελεγκτή PID είναι αρκετές για τη σταθερή και επιτυχή κίνηση του ρομπότ, ενώ σε πιο δύσκολες διαδρομές με αυξημένο επίπεδο δυσκολίας, απαιτείται επιθετική ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή PID και μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το περιβάλλον παιχνιδιού δεν αποτελεί απλώς ένα οπτικό περιβάλλον, αλλά ένα διαδραστικό εκπαιδευτικό περιβάλλον που ρυθμίσεις του χρήστη στον ελεγκτή PID επηρεάζουν την απόδοση και τη συμπεριφορά του ρομπότικού συστήματος. Οι επιλογές σχεδιασμού του παιχνιδιού και οι ρυθμίσεις του χρήστη στον ελεγκτή PID συνδέονται άμεσα με την απόδοση του ρομπότ, ενισχύοντας τη μάθηση και επιτρέποντας στον χρήστη να κατανοήσει πώς διαφορετικές προκλήσεις επηρεάζουν τον ρομποτικό έλεγχο στην πράξη.

Τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη βιβλιογραφία των Åström & Hägglund (2006) που υποστηρίζει ότι η ρύθμιση PID εξαρτάται από τη δυναμική του συστήματος και τις πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος. Επιπλέον, συμφωνεί με τη βιβλιογραφία για τις θεωρίες παιχνιδοποίησης (Deterding et al., 2011· Hamari et al., 2014), καθώς η αύξηση δυσκολίας λειτούργησε ως μηχανισμός ενίσχυσης της πειραματικής μάθησης.

Τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία δείχνει ότι η πολυπλοκότητα του παιχνιδιού επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά του ελεγκτή και ενισχύει την εκπαιδευτική κατανόηση του ελεγκτή PID.

Ερευνητικό ερώτημα 4: Ποια είναι τα κρίσιμα σημεία στην εμπειρία του χρήστη κατά τον έλεγχο ενός ρομπότ μέσω ενός παιχνιδιού;

Ενδεικτικά ένα από τα σημαντικότερα σημεία είναι η αμεσότητα της απόκρισης του συστήματος. Όπως αναδεικνύεται στη συγκεκριμένη εργασία, η απόκριση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των ενεργειών του χρήστη και της κίνησης του ρομπότ είναι καθοριστική, καθώς οποιαδήποτε καθυστέρηση ή μη ρεαλιστική συμπεριφορά μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση και λανθασμένη κατανόηση της λειτουργίας του ελεγκτή PID.

Ένα δεύτερο κρίσιμο στοιχείο αφορά την οπτική ανατροφοδότηση και ορατότητα της συμπεριφοράς του ρομπότ. Η χρήση τρισδιάστατου εικονικού περιβάλλοντος στη Unreal Engine επιτρέπει στον χρήστη να παρατηρεί άμεσα την επίδραση των αλλαγών στις παραμέτρους του PID (K_p , K_i , K_d) στην κίνηση του ρομπότ, όπως την ταλάντωση, τη σταθεροποίηση ή την απόκλιση από τη γραμμή. Η οπτική αυτή αναπαράσταση συμβάλλει ουσιαστικά στη σύνδεση θεωρίας και πράξης, καθιστώντας αφηρημένες έννοιες πιο κατανοητές.

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η διαισθητικότητα του περιβάλλοντος χρήστη (User Interface). Η δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων του PID μέσω απλών ρυθμιστών και κουμπιών μειώνει το γνωστικό φορτίο του χρήστη και του επιτρέπει να εστιάσει στη συμπεριφορά του συστήματος και όχι στην πολυπλοκότητα του χειρισμού. Η σωστή χαρτογράφηση (mapping) των ενεργειών του παίκτη προς τις λειτουργίες του ρομπότ ενισχύει το αίσθημα ελέγχου και κατανόησης.

Ένα ακόμη κρίσιμο σημείο είναι η ασφάλεια και η ελευθερία πειραματισμού που προσφέρει το εικονικό περιβάλλον. Η δυνατότητα δοκιμής ακραίων ή λανθασμένων τιμών του PID χωρίς τον κίνδυνο πρόκλησης υλικών ζημιών ενθαρρύνει τον πειραματισμό και τη μάθηση μέσω δοκιμής και λάθους. Αυτό το στοιχείο αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντικό στην εκπαιδευτική ρομποτική, όπου οι χρήστες συχνά διστάζουν να πειραματιστούν σε πραγματικά συστήματα.

Τέλος, η παιχνιδοποίηση και η ύπαρξη στόχων και προκλήσεων επηρεάζουν θετικά τη δέσμευση και το κίνητρο του χρήστη. Η διαδικασία εύρεσης κατάλληλων τιμών PID ώστε το

ρομπότ να ακολουθεί τη γραμμή με σταθερότητα και ακρίβεια μετατρέπεται σε μια παιγνιώδη εμπειρία, ενισχύοντας την ενεργή συμμετοχή και τη βαθύτερη κατανόηση των αρχών ρομποτικού ελέγχου.

Συνολικά, τα κρίσιμα σημεία στην εμπειρία του χρήστη εντοπίζονται στην αμεσότητα της απόκρισης, την ποιοτική οπτική ανατροφοδότηση, τη διαισθητική αλληλεπίδραση, την ασφάλεια πειραματισμού και την παιγνιώδη δομή του συστήματος, στοιχεία που συνδυαστικά καθιστούν τον έλεγχο ρομπότ μέσω παιχνιδιού ένα αποτελεσματικό και ελκυστικό εκπαιδευτικό εργαλείο.

Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τη βιβλιογραφία Game-Based Learning (Ames, 2015· Zyda, 2005), καθώς αποδεικνύουν ότι η άμεση οπτική ανατροφοδότηση, η πραγματικού χρόνου απόκριση, η δυνατότητα πειραματισμού χωρίς ρίσκο και η σταδιακή αύξηση δυσκολίας αποτελούν κρίσιμους παράγοντες εκπαιδευτικής αποτελεσματικότητας.

Η εργασία επιβεβαιώνει ότι η διαδραστική ρύθμιση του ελεγκτή σε περιβάλλον παιχνιδιού μειώνει τη δυσκολία κατανόησης πολύπλοκων εννοιών ελέγχου ρομπότ και ενισχύει τη σύνδεση θεωρίας–πράξης.

6.2 Περιορισμοί της Εργασίας

Παρότι η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει ένα λειτουργικό και εκπαιδευτικά χρήσιμο σύστημα ελέγχου ρομπότ μέσω παιχνιδιού στην Unreal Engine, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ένας βασικός περιορισμός αφορά τη χρήση εικονικού περιβάλλοντος προσομοίωσης αντί για πραγματικό ρομποτικό σύστημα. Παρόλο που η Unreal Engine προσφέρει ρεαλιστική απεικόνιση και φυσική προσομοίωση, δεν μπορεί να αναπαραστήσει πλήρως όλες τις αβεβαιότητες του πραγματικού κόσμου, όπως ο θόρυβος αισθητήρων, οι μη γραμμικότητες των κινητήρων και οι μη ιδανικές συνθήκες τριβής. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο λεγόμενο *reality gap*, το οποίο περιορίζει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε πραγματικά ρομπότ. Ωστόσο, το εικονικό περιβάλλον προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για εκπαιδευτικούς σκοπούς, επιτρέποντας τη σταδιακή κατανόηση των αρχών ρομποτικού ελέγχου χωρίς τον κίνδυνο υλικών αστοχιών.

Ένας δεύτερος περιορισμός σχετίζεται με την απλοποιημένη προσομοίωση των αισθητήρων. Οι εικονικοί αισθητήρες ανίχνευσης γραμμής προσομοιώνουν τη βασική λειτουργία πραγματικών αισθητήρων, ωστόσο δεν ενσωματώνουν πλήρως φαινόμενα όπως ο τυχαίος θόρυβος, οι καθυστερήσεις μέτρησης ή τα σφάλματα βαθμονόμησης, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά ενός PID ελεγκτή σε πραγματικές συνθήκες. Η απλοποίηση αυτή διευκολύνει την κατανόηση της βασικής λειτουργίας του ελεγκτή PID στοιχείο κρίσιμο για την κατανόηση της συμπεριφοράς της σχέσης μεταξύ αισθητηριακών μετρήσεων και ελέγχου κίνησης, και μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για μελλοντικό εμπλουτισμό της προσομοίωσης με πιο ρεαλιστικά μοντέλα αισθητήρων.

Επιπλέον, η αξιολόγηση της εμπειρίας χρήστη βασίστηκε κυρίως σε ποιοτική παρατήρηση της αλληλεπίδρασης και στη συμπεριφορά του ρομπότ κατά τη ρύθμιση των παραμέτρων του PID, χωρίς τη χρήση τυποποιημένων ερωτηματολογίων ή μεγάλου δείγματος χρηστών. Ως εκ τούτου, τα συμπεράσματα που αφορούν την εμπειρία χρήστη και την εκπαιδευτική αξία του συστήματος δεν μπορούν να γενικευθούν στατιστικά, αλλά λειτουργούν κυρίως ενδεικτικά. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, τα αποτελέσματα παρέχουν ενδείξεις για την εκπαιδευτική δυναμική του συστήματος και μπορούν να αξιοποιηθούν ως αφετηρία για περαιτέρω εμπειρική και ποσοτική διερεύνηση.

Ένας ακόμη περιορισμός αφορά το γεγονός ότι η εργασία επικεντρώνεται σε ένα συγκεκριμένο ρομποτικό σενάριο, αυτό της παρακολούθησης γραμμής (line following). Παρόλο που το σενάριο αυτό είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο και εκπαιδευτικά χρήσιμο, δεν καλύπτει άλλες κατηγορίες ρομποτικού ελέγχου, όπως η αποφυγή εμποδίων, η πλοήγηση σε δυναμικά περιβάλλοντα ή ο έλεγχος ρομποτικών βραχιόνων. Ωστόσο, η μεθοδολογία και η αρχιτεκτονική που αναπτύχθηκαν μπορούν να επεκταθούν και να προσαρμοστούν σε πιο σύνθετα ρομποτικά σενάρια, καθιστώντας το σύστημα κατάλληλη βάση για μελλοντικές επεκτάσεις.

Τέλος, η υλοποίηση του συστήματος βασίζεται σε συγκεκριμένες δυνατότητες της Unreal Engine και του συστήματος Blueprints, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάζει την επέκταση ή μεταφορά του συστήματος σε άλλα περιβάλλοντα προσομοίωσης ή σε πραγματικές ρομποτικές πλατφόρμες χωρίς πρόσθετη προσαρμογή. Παρά τον περιορισμό αυτό, η επιλογή της Unreal Engine και του οπτικού προγραμματισμού μέσω Blueprints διευκολύνει την κατανόηση της λογικής ελέγχου και μπορεί να λειτουργήσει ως ενδιάμεσο στάδιο πριν τη μετάβαση σε άλλα περιβάλλοντα προσομοίωσης ή πραγματικά ρομποτικά συστήματα.

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, η εργασία επιτυγχάνει τον εκπαιδευτικό της στόχο, προσφέροντας ένα λειτουργικό και διαδραστικό πλαίσιο κατανόησης του ελεγκτή PID και της ρομποτικής κίνησης, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύει σαφείς κατευθύνσεις για μελλοντική επέκταση και βελτίωση.

6.3 Μελλοντική Εργασία

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανοίγει αρκετές δυνατότητες για περαιτέρω έρευνα και επέκταση, τόσο σε τεχνικό όσο και σε εκπαιδευτικό επίπεδο. Μια βασική κατεύθυνση μελλοντικής εργασίας αφορά τη μετάβαση από το εικονικό περιβάλλον σε πραγματικό ρομποτικό σύστημα. Η σύνδεση της προσομοίωσης της Unreal Engine με φυσικό ρομπότ, μέσω πλαισίων όπως το ROS ή το ROS2, θα επέτρεπε τη μελέτη της μεταφοράς της συμπεριφοράς του PID από την προσομοίωση στον πραγματικό κόσμο και τη διερεύνηση του reality gap.

Επιπλέον, μελλοντική εργασία θα μπορούσε να εστιάσει στη βελτίωση της προσομοίωσης των αισθητήρων, ενσωματώνοντας θόρυβο, καθυστερήσεις και σφάλματα μέτρησης, ώστε η συμπεριφορά του ρομπότ να προσεγγίζει ακόμη περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες. Η προσθήκη τέτοιων χαρακτηριστικών θα επέτρεπε στους χρήστες να κατανοήσουν βαθύτερα τις δυσκολίες ρύθμισης ενός PID ελεγκτή σε μη ιδανικά περιβάλλοντα.

Μια ακόμη σημαντική προοπτική είναι η επέκταση του παιχνιδιού σε πιο σύνθετα ρομποτικά σενάρια, όπως η αποφυγή εμποδίων, η πλοήγηση σε δυναμικά περιβάλλοντα ή ο συνδυασμός πολλαπλών αισθητήρων. Η εφαρμογή του PID ή και πιο προχωρημένων ελεγκτών σε τέτοια σενάρια θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω την εκπαιδευτική αξία του συστήματος.

Σε εκπαιδευτικό επίπεδο, μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να περιλαμβάνει μια συστηματική αξιολόγηση της εμπειρίας χρήστη και της μαθησιακής αποτελεσματικότητας του παιχνιδιού, με τη συμμετοχή μεγαλύτερου αριθμού χρηστών και τη χρήση τυποποιημένων εργαλείων αξιολόγησης, όπως ερωτηματολόγια χρηστικότητας και προ- και μετα-τεστ κατανόησης. Με αυτόν τον τρόπο, θα ήταν δυνατή η ποσοτική τεκμηρίωση της εκπαιδευτικής συνεισφοράς του συστήματος.

Τέλος, μια μελλοντική κατεύθυνση αφορά την ενσωμάτωση προσαρμοστικών ή ευφυών μηχανισμών ελέγχου, όπως αυτόματη ρύθμιση παραμέτρων PID ή συνδυασμό με τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης. Η προσέγγιση αυτή θα μπορούσε να μετατρέψει το σύστημα από

ένα στατικό εκπαιδευτικό εργαλείο σε ένα δυναμικό περιβάλλον μάθησης, όπου το παιχνίδι προσαρμόζεται στο επίπεδο και τις ανάγκες του χρήστη. Συνολικά, οι παραπάνω κατευθύνσεις δείχνουν ότι η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον συνδυασμό εκπαιδευτικής ρομποτικής, παιχνιδιών και διαδραστικών περιβαλλόντων προσομοίωσης.

Κεφάλαιο 7. Επίλογος

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, αποδεικνύεται η δυναμική που προσφέρουν τα σύγχρονα διαδραστικά περιβάλλοντα και οι μηχανές παιχνιδιών στη μελέτη και την εκπαίδευση της ρομποτικής. Η ανάπτυξη ενός εικονικού παιχνιδιού line following με χρήση ελεγκτή PID απέδειξε ότι η σύνδεση μεταξύ θεωρίας και πράξης μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά μέσα από οπτική ανατροφοδότηση, πειραματισμό και άμεση αλληλεπίδραση.

Η εργασία αυτή δεν προσπαθεί να αντικαταστήσει τη χρήση πραγματικών ρομποτικών συστημάτων, αλλά να λειτουργήσει συνδυαστικά, προσφέροντας ένα ασφαλές και ευέλικτο πλαίσιο μάθησης. Μέσα από τη διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και αξιολόγησης, έγινε σαφές ότι η χρήση της Unreal Engine μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εκπαιδευτικό εργαλείο, ιδιαίτερα για την κατανόηση εννοιών όπως η ρύθμιση PID και ο έλεγχος κλειστού βρόχου.

Σε προσωπικό επίπεδο, η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτέλεσε μια σημαντική μαθησιακή εμπειρία, συνδυάζοντας γνώσεις από τη ρομποτική, τον προγραμματισμό και τον σχεδιασμό παιχνιδιών. Παρά τις δυσκολίες που προέκυψαν, η ολοκλήρωση της εργασίας επιβεβαιώνει τη σημασία της πειραματικής μάθησης και ανοίγει τον δρόμο για περαιτέρω έρευνα στον τομέα της εκπαιδευτικής ρομποτικής και των διαδραστικών συστημάτων.

Βιβλιογραφία

Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006). Advanced PID Control. ISA.

Corke, P. (2017). Robotics, Vision and Control. Springer.

Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering (5th ed.). Prentice Hall.

Gregory, J. (2018). Game Engine Architecture. CRC Press.

Siciliano, B., et al. (2010). Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer.

Craig, J. J. (2005). Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Pearson/Prentice Hall.

Shah, S., et al. (2018). AirSim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles.

Millington, I., & Funge, J. (2016). Artificial Intelligence for Games. CRC Press.

LaValle, S. M. (2020). Planning Algorithms. Cambridge University Press.

Ames, K. (2015). Game-Based Learning. ACRL Instruction Section Newsletter, 32(1).

Michael, D. R., & Chen, S. L. (2006). Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform. Thomson Course Technology.

Juliani, A., Berges, V. P., Teng, E., Cohen, A., Harper, J., Elion, C., Goy, C., Gao, Y., Henry, H., Mattar, M., & Knapp, D. (2018). Unity: A General Platform for Intelligent Agents

Pan et al. (2020) – Using Game Engines for Robotics Simulation

Sobota, B., & Pietriková, E. (2015). The Role of Game Engines in Game Development and Teaching. In 2015 13th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA) (pp. 315-320). IEEE.

Quigley, M., et al. (2009). *ROS: An open-source Robot Operating System*. IEEE ICRA Workshop.

Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2018). *Digital Twin in Industry: State-of-the-Art*. IEEE Transactions on Industrial Informatics.

Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. IEEE Computer.

Zafar, M. N., & Mohanta, J. C. (2018). Methodology for Path Planning and Optimization of Mobile Robots: A Review. Procedia Computer Science.

Anglada, A., κ.ά. (2022). Robotics in the Classroom: A Systematic Literature Review on Using Robots as Educational Tools. IEEE Access.

Kurniawan, A., κ.ά. (2019). The importance of line follower robot as a basic learning of autonomous vehicle control. Journal of Physics: Conference Series.

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools. Computers & Education.

Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. Themes in Science and Technology Education.

Eguchi, A. (2014). Robotics as a learning tool for educational transformation. Proceedings of the 4th International Workshop Teaching Robotics.

Johnson, M. A., & Moradi, M. H. (2005). PID Control: New Identification and Design Methods. Springer.

Kapp, K. M., Blair, L., & Mesch, R. (2014). The Gamification of Learning and Instruction Fieldbook: Ideas into Practice. Wiley. (Η βάση για το πώς η θεωρία γίνεται πράξη μέσω παιχνιδιού).

Deterding, S., et al. (2011). From game design elements to gamefulness: defining gamification. In Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. ACM. (Ο ορισμός των στοιχείων παιχνιδιού σε μη παιχνιδικά πλαίσια).

Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does Gamification Work? — A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE. (Ανάλυση της αποτελεσματικότητας της παιχνιδοποίησης στη μάθηση).

<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/physics-in-unreal-engine>