



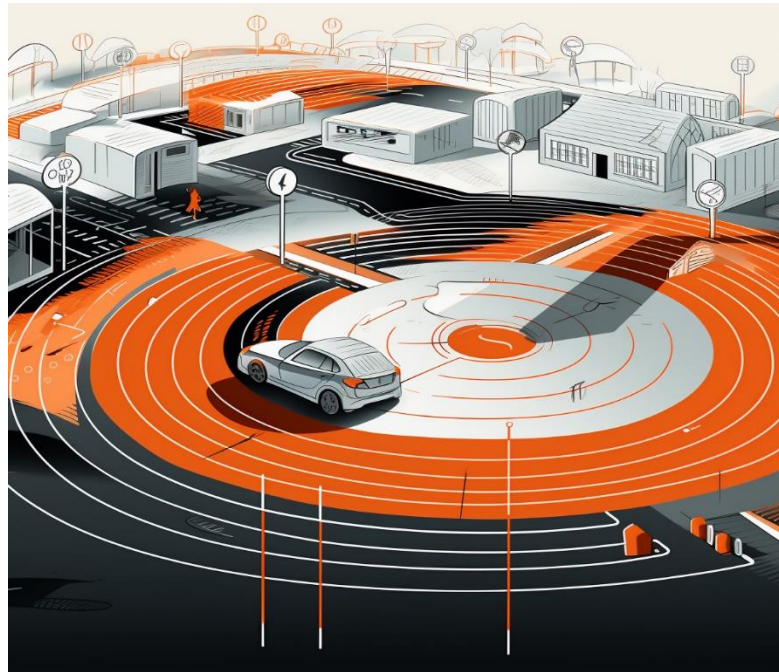
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης



**Φοιτητής: Κωνσταντίνος Τουρλίδης
ΑΜ: 07097**

Επιβλέπων Καθηγητής

**Χαράλαμπος Πατρικάκης
Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Φεβρουάριος 2023

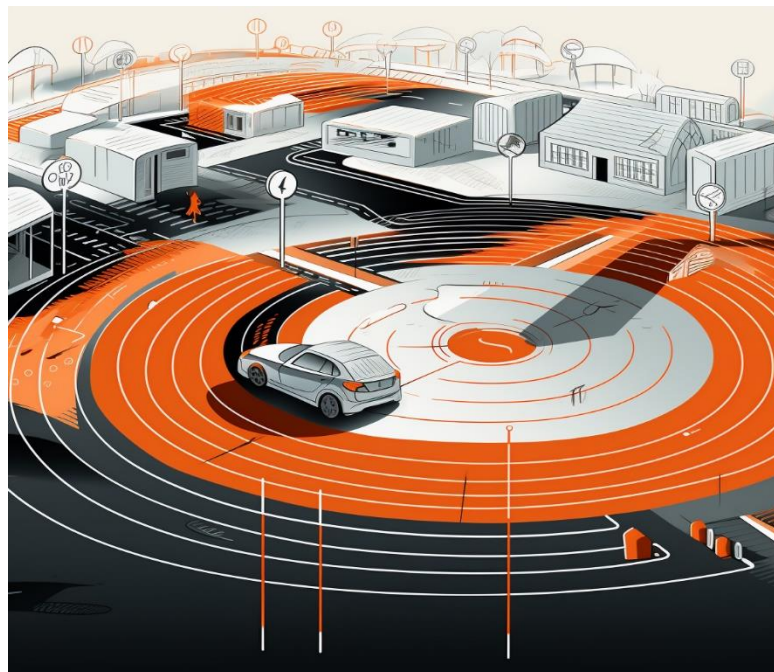
Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Scenario simulation platform for driver training and evaluation of autonomous driving systems using open source simulation software



Student: Konstantinos Tourlidis
Registration Number: 07097

Supervisor

Charalampos Z.Patrikakis
Professor Dept. of Electrical and Electronics Engineering

ATHENS-EGALEO, February 2023

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Πατρικάκης Χαράλαμπος Καθηγητής	Περικλής Παπαδόπουλος Καθηγητής	Μιχαήλ Φειδάκης ΕΔΙΠ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Κωνσταντίνος Τουρλίδης,
Φεβρουάριος , 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντίνος Τουρλίδης του Παρασκευά Τουρλίδη, με αριθμό μητρώου 07097 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών
Κωνσταντίνος Τουρλίδης



Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Αφιέρωση

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “ Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης ” είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου που με την στήριξη τους με καθοδήγησαν σε κάθε βήμα της πορείας μου. Στους φίλους μου που με την ενθάρρυνση τους με έκαναν να πιστέψω στον εαυτό μου , και κυρίως στην Γιώτα που ήταν δίπλα μου σε όλο αυτό το ταξίδι.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή Χαράλαμπο Πατρικάκη. Η συνεχής υποστήριξη, η καθοδήγηση και η εμπιστοσύνη του ήταν καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση αυτής της μελέτης. Η συμβολή του ήταν ανεκτίμητη σε κάθε στάδιο της μελέτης, από την αρχική ιδέα μέχρι την τελική υλοποίηση.

Ευχαριστώ το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής για την πολύτιμη ευκαιρία που μου παρείχε να επεκτείνω τη γνώση μου και να εξελίξω τις δεξιότητές μου. Είμαι ευγνώμων για την υψηλή ποιότητα της εκπαίδευσης που έλαβα εδώ.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές για τη δέσμευσή τους στην εκπαίδευση και την έμπνευσή τους. Τα μαθήματα και οι συζητήσεις μας αποτέλεσαν πηγή έμπνευσης και μάθησης.

Περίληψη

Η σύγχρονη οδήγηση αντιμετωπίζει μια μετασχηματιστική πορεία με την συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας. Με τεχνολογίες εξομοίωσης αυτοκινήτων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη νέων λύσεων, εξοικονομώντας χρόνο και κόστος, η διαδικασία σχεδιασμού και δοκιμής οχημάτων γίνεται πιο εύκολη και ασφαλής για το χρήστη. Η διπλωματική εργασία μέσω της έρευνας πραγματεύεται τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η τεχνολογία εξομοίωσης στο τομέα της οδήγησης σήμερα.

Αρχίζει, με την καταγραφή των διαθέσιμων και πλέον τεχνολογικά εξελιγμένων συστημάτων εξομοίωσης και των δυνατοτήτων τους, με έμφαση στα ανοικτά συστήματα τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη κώδικα και την εισαγωγή σεναρίων χρήσης. Συνεχίζει με την επιλογή ενός από αυτά και την παρουσίαση της διαδικασίας με την οποία μπορεί να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο ανάπτυξης σεναρίων οδικής συμπεριφοράς ανθρώπων και αυτόνομων συστημάτων οδήγησης. Παρουσιάζει κάποια σενάρια ειδικών συνθηκών (παραβατική συμπεριφορά πεζών και adversarial attacks σε αυτόνομα οχήματα). Τέλος, τα συνδέει με πιθανούς τρόπους αξιολόγησης οδηγών, αλλά και αυτόνομων συστημάτων.

Συμπερασματικά, η εργασία αναδεικνύει ένα εργαλείο εξομοίωσης με προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να πραγματοποιεί καινούρια σενάρια, να αναπτύσσει βιβλιοθήκες και να εκπαιδεύει τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με συλλογή δεδομένων από πραγματικούς οδηγούς και αυτόνομα οχήματα. Συνεπώς, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για μελλοντικές έρευνες που θα αποσκοπούν στην βελτίωση και την δημιουργία ανθεκτικότερων συστημάτων οδήγησης.

Λέξεις – κλειδιά

Εξομοιωτής Carla, ρεαλιστικά σενάρια, επιθέσεις σε αυτόνομα συστήματα, οδηγική συμπεριφορά, συμπεριφορά πεζών, αντίπαλες επιθέσεις, ασφάλεια.

Abstract

Modern driving is undergoing a transformative journey with the continuous advancement of technology. With car simulation technologies contributing to the development of new solutions, saving time and cost, the process of designing and testing vehicles becomes easier and safer for the user. The thesis, through research, discusses the significant role that simulation technology plays in the field of driving today.

It begins with the recording of the available and most technologically advanced simulation systems and their capabilities, with emphasis on open systems which allow the development of code and the introduction of use case scenarios. It continues with the selection of one of these and the presentation of the way in which a framework for the development of driving behavior scenarios of humans and autonomous driving systems can be created. It presents some scenarios of special conditions (deviant behavior of pedestrians and adversarial attacks on autonomous vehicles). Finally, it connects them with possible ways of evaluating drivers, but also autonomous systems.

In conclusion, the work highlights a simulation tool with prospects for further development and evolution. It gives users the ability to perform new scenarios, to develop libraries and to train artificial neural networks with data collection from real drivers and autonomous vehicles. Therefore, it constitutes an important tool for future research that will aim at improving and creating more resilient driving systems.

Keywords

Carla simulator, realistic scenarios, attacks on autonomous systems, driving behavior, pedestrian behavior, adversarial attacks, safety.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	10
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	13
Σκοπός και στόχοι.....	13
Μεθοδολογία	14
Καινοτομία	14
Δομή	15
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εξειδικευμένες πλατφόρμες εξομοίωσης συστημάτων οδήγησης ..	16
1.1 Ανοικτές πλατφόρμες εξομοίωσης, δυνατότητες και πεδία εφαρμογής.....	16
1.1.1 Carla Simulator.....	16
1.1.2 SUMO (Simulation of Urban MObility)	18
1.1.3 Apollo (Baidu's Autonomous Driving Platform)	19
1.1.4 Gazebo	20
1.2 Κλειστές πλατφόρμες εξομοίωσης, δυνατότητες και πεδία εφαρμογής.....	21
1.2.1 RFpro	21
1.2.2 Cognata	23
1.2.3 Nvidia Drive Sim	25
1.3 Γενικές πλατφόρμες - εργαλεία εξομοίωσης.....	26
1.3.1 Simulink.....	26
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Carla Simulator - Δημιουργία και ενσωμάτωση σεναρίων χρήσης	29
2.1 Επιλογή και εγκατάσταση του συστήματος εξομοιωτή Carla Simulator.....	29
2.2 Σχεδιασμός και περιγραφή σεναρίων χρήσης.....	32
2.3 Τρόπος υλοποίησης και ενσωμάτωση στη πλατφόρμα.....	34
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ειδικές συνθήκες και δοκιμές.	42
3.1 Σενάριο παραβατικής συμπεριφοράς πρακτόρων	42
3.2 Σενάριο adversarial attack σε αυτόνομα οχήματα	43
3.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	43
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Εφαρμογές και μελλοντικές επεκτάσεις.....	46
4.1 Εφαρμογές αξιοποίησης του εξομοιωτή.....	46
4.2 Μελλοντικές επεκτάσεις του εξομοιωτή	47
5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ	49
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	50

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Carla Simulator[12].....	16
Εικόνα 1.2: Περιβάλλον εξομοίωσης Carla[13].....	17
Εικόνα 1.3: SUMO Simulator[14].....	18
Εικόνα 1.4: Apollo Simulator[15]	19
Εικόνα 1.5: Gazebo Simulator[16].....	20
Εικόνα 1.6: Περιβάλλον εξομοίωσης Gazebo[17].....	21
Εικόνα 1.7: RFpro Simulator[18]	22
Εικόνα 1.8: Περιβάλλον εξομοίωσης RFpro[19]	22
Εικόνα 1.9: Cognata Simulator[20]	23
Εικόνα 1.10: Περιβάλλον εξομοίωσης Cognata[21]	24
Εικόνα 1.11: Nvidia Drive Simulator[22].....	25
Εικόνα 1.12: Περιβάλλον εξομοίωσης Nvidia Drive Sim[23].....	25
Εικόνα 1.13: Simulink - Matlab Simulator[24]	26
Εικόνα 1.14: Περιβάλλον εξομοίωσης Simulink[25].....	27
Εικόνα 2.1: Carla Simulator & Unreal Engine.....	32
Εικόνα 3.1: Παραβατική συμπεριφορά πέζου στο κέντρο του δρόμου	43
Εικόνα 3.2: Κυκλοφοριακή σύγκυση λόγω άγνοιας των σημάτων κυκλοφορίας.....	44
Εικόνα 3.3: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (πριν).....	44
Εικόνα 3.4: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (μετά)	45
Εικόνα 3.5: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (πριν).....	45
Εικόνα 3.6: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (μετά)	45

Αλφαβητικό Ευρετήριο

APA: American Psychological Association

IEEE: The Institute for Electrical and Electronics Engineers

ADAS: Advanced Driver Assistance Systems

AI: Artificial intelligence

IDEs: Integrated Development Environment

OSRF: Open-source Robotics Foundation

API: Application Programming Interface

VR: Virtual Reality

TN: Τεχνητής Νοημοσύνης

LIDAR: Light Detection And Rangings

SUMO: Simulation of Urban MObility

GPU: Graphics processing unit

TCP: Transmission Control Protocol

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

API: Application programming interface

GB: GigaByte

H/Y: Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

ROS: Robot Operating System

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οδήγηση στις μέρες μας αποτελεί σημαντικό κομμάτι της καθημερινής ζωής μας και αντιπροσωπεύει ένα τομέα, όπου η τεχνολογία έχει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ασφάλειας των ανθρώπων αλλά και των οχημάτων. Αρχικά, η τεχνολογία έχει μεγάλη ποικιλία σε βοηθήματα ως προς τον οδηγό που συμβάλλουν στην ασφαλή οδήγηση. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την αναγνώριση και ερμηνεία των οδικών πινακίδων, την ανίχνευση αλλαγής λωρίδας και την προειδοποίηση για πιθανούς κινδύνους. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε αισθητήρες και τεχνολογία επεξεργασίας δεδομένων που επιτρέπουν στο όχημα να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και να ανταποκρίνεται ανάλογα. Ακόμα, η τεχνολογία επιτρέπει την ανάπτυξη συστημάτων αυτόνομης οδήγησης, τα οποία λειτουργούν χωρίς την ανάγκη συνεχούς παρέμβασης ανθρώπινου οδηγού. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται σε προηγμένους αλγόριθμους και αισθητήρες όπως κάμερες, ραντάρ και λέιζερ, που επιτρέπουν στο όχημα να αναγνωρίζει τα περιβάλλοντα στοιχεία και να λαμβάνει αυτόνομες αποφάσεις για την κίνηση του. Πολλές φορές όμως αυτή η τεχνολογία αποτυγχάνει, με αναφορά σε ένα γεγονός που σημειώθηκε 1^η Μαρτίου 2019, ο οδηγός Banner είχε ενεργοποιήσει τον αυτόματο πιλότο του αυτοκινήτου καθώς διάβαινε μια μεγάλη ευθεία, τότε ξαφνικά στα 50m ενώ ένα φορτηγό διέσχισε κάθετα τον δρόμο που βρισκόταν τον αυτοκίνητο του Banner, ο αυτόματος πιλότος δεν αναγνώρισε το φορτηγό με αποτέλεσμα να συγκρουστεί με ταχύτητα 70Km/h[1]. Συνεπώς, η τεχνολογία με την παρέμβαση ενός μικρού ανθρώπινου λάθους μπορεί να επιφέρει δυσάρεστα αποτελέσματα.

Η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στα συστήματα εξομοίωσης που αφορούν τον τομέα της οδήγησης, αξιοποιώντας τις συνέχεις εξελίξεις στην τεχνολογία της πληροφορικής και των επικοινωνιών. Αντικείμενο είναι οι προηγμένες δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία για την προώθηση της ασφάλειας και της οδήγησης. Αρχικά, πραγματοποιείται μια ανασκόπηση των πιο σύγχρονων συστημάτων εξομοίωσης, με έμφαση στα ανοικτά συστήματα (open source) που δίνουν την δυνατότητα ανάπτυξης κώδικα και της εισαγωγής σεναρίων χρήσης. Συνεχίζει με την διαδικασία με την οποία μπορεί να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο ανάπτυξης σεναρίων οδικής συμπεριφοράς ανθρώπων και αυτόνομων συστημάτων οδήγησης, καθώς και την παρουσίαση κάποιων σεναρίων ειδικών συνθηκών. Έπειτα, εξετάζονται τα σενάρια ειδικών συνθηκών, που περιλαμβάνουν παραβατική συμπεριφορά πρακτόρων και επιθέσεις εναντίον αυτόνομων οχημάτων και οδηγών γενικότερα. Μέσα από αυτά τα σενάρια, επιδιώκεται η προσομοίωση κρίσιμων καταστάσεων που αποτελούν το κλειδί για την κατάλληλη εκπαίδευση και τη σωστή ανάπτυξη λύσεων στις ειδικές ανάγκες που προκύπτουν στα αυτόνομα συστήματα αλλά και στα λάθη ανθρώπων στο τομέα της οδήγησης. Τέλος, αναφέρονται εφαρμογές και μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να αξιοποιήσουν τέτοια συστήματα τεχνολογίας. Με αυτόν τον τρόπο η παρούσα διπλωματική εργασία αναδεικνύει την ουσιαστική συνεισφορά της τεχνολογίας στην ασφαλέστερη, πιο αποδοτική οδήγηση, ενισχύοντας την ανθρώπινη εμπειρία στον τομέα της κινητικότητας.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και η εξέταση των προηγμένων πλατφορμών εξομοίωσης που αφορούν τομέα της οδήγησης. Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και την χρήση εξομοιωτών για αξιολόγηση της οδικής συμπεριφοράς τόσο των ανθρώπων όσο και των συστημάτων οδήγησης. Ασχολείται με ένα επίκαιρο και σημαντικό θέμα που συνδυάζει την τεχνολογία με την ασφάλεια και την μελλοντική εξέλιξη της οδικής κυκλοφορίας. Η αξιοποίηση εξομοιωτών με τη χρήση σεναρίων που αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα συνδέεται στενά με την επίλυση κρίσιμων καταστάσεων στην οδική ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων οδήγησης, καθιστώντας το θέμα ενδιαφέρον για έρευνα και εφαρμογή.

Σκοπός και στόχοι

Η ασφάλεια του οδικού δικτύου αποτελεί κρίσιμο θέμα καθώς απαιτεί συνεχή προσοχή, συνειδητοποίηση και εφαρμογή καταλλήλων μέτρων για τη διασφάλιση της ασφαλούς κυκλοφορίας. Είναι ένα σημαντικό θέμα, καθώς επηρεάζει την ασφάλεια των οδηγών, των επιβατών και των πεζών. Συνεπώς, το βασικό ερώτημα είναι πως η αξιοποίηση της τεχνολογίας θα μπορούσε να συμβάλει στην δημιουργία ενός ασφαλέστερου και πιο ποιοτικού οδικού δικτύου. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μέσα από την ανάλυση των διαθέσιμων τεχνολογικά εξελιγμένων συστημάτων εξομοίωσης έχει ως σκοπό να διερευνήσει πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτά τα συστήματα για εκπαίδευση και ανάπτυξη λύσεων για ειδικές και πολλές φορές επικίνδυνες καταστάσεις που συμβαίνουν ή μπορεί να συμβούν στην πραγματική ζωή και είναι σημαντικές για την ασφάλεια των ανθρώπων και των οχημάτων. Οι επιμέρους στόχοι που τείνουν να επιτευχθούν μέσω της παρούσας εργασίας είναι:

Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για την ανάπτυξη κώδικα και σεναρίων χρήσης με απώτερο σκοπό την εξυπηρέτηση των αναγκών για δοκιμές προτύπων αλλά και σεναρία αξιολόγησης συμπεριφοράς χρηστών, που θα μπορούσαν να βοηθήσουν

- **Στη δημιουργία και στην εκτέλεση ασφαλέστερων πειραμάτων σε αυτόνομα οχήματα οδήγησης.**
 - Οι εξομοιωτές επιτρέπουν δοκιμές στα αυτόνομα συστήματα οδήγησης σε πλήθος σεναρίων, χωρίς την ανάγκη πραγματικών δοκιμών στο δρόμο.
- **Στην επισήμανση των κινδύνων που ενεδρεύουν σε ένα οδικό δίκτυο.**
 - Με την χρήση του εξομοιωτή στην προσομοίωση διάφορων καταστάσεων κινδύνου, όπως πρόσκρουση, παραβατική συμπεριφορά πεζών ή επιθέσεις τύπου adversarial attack σε αυτοκινούμενα οχήματα, ο οδηγός μπορεί να εκπαιδευτεί και να βελτιώσει τις δεξιότητες του χωρίς τον κίνδυνο πραγματικών καταστάσεων.
- **Στην εκπαίδευση επαγγελματιών οδηγών.**
 - Με την χρήση σεναρίων που αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα όπως περιπτώσεις φρεναρίσματος ή ελιγμών σε δύσκολες συνθήκες.

- **Στην μελέτη των συστημάτων εξομοίωσης.**
 - Με την ανάλυση διαφόρων συστημάτων εξομοίωσης, ο χρήστης αποκτά μια πλήρη εικόνα της λειτουργίας εξομοιωτών αυτοκινήτων.
- **Στην ανάπτυξη περιβάλλοντος (σε ανοικτό λογισμικό), στο οποίο να μπορούν να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν σενάρια.**
 - Με την χρήση ανοικτού λογισμικού παρέχεται στο χρήστη πληθώρα κινήσεων για αλλαγές και σχεδιασμό σεναρίων.

Μεθοδολογία

Αρχικά, εξετάστηκαν διάφορες επιλογές εξομοιωτών, με στόχο να πληρούνται συγκεκριμένες απαιτήσεις. Αυτές οι απαιτήσεις περιλάμβαναν ευελιξία και δυνατότητα προσαρμογής, ρεαλιστικό περιβάλλον εξομοίωσης και δυνατότητα τροποποίησης σύμφωνα με τις ανάγκες του ερευνητικού έργου. Ύστερα με τις οδηγίες που παρέχονται από την επίσημη σελίδα του εξομοιωτή, οι οποίες περιλάμβαναν εγκατάσταση απαραίτητων πακέτων, βιβλιοθηκών, αρχείων και εφαρμογών έγινε η ορθή εγκατάσταση του. Στη συνέχεια, επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των απαραίτητων κωδικών σε γλώσσα προγραμματισμού Python για την πειραματική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις-σενάρια για τον οδηγό και την μηχανή. Κατόπιν, προχωρά στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων όπου αναλύουμε τη συμπεριφορά των οδηγών και των αυτόνομων οχημάτων υπό την επίδραση των παραβατικών αλλά και επικινδύνων αυτών καταστάσεων. Τέλος, βάση των αξιολογήσεων και των αναλύσεων που έχουν γίνει καταλήγουμε σε συμπεράσματα σχετικά με το πως διάφορες “επιθέσεις” επηρεάζουν την ασφάλεια και την συμπεριφορά των οδηγών και των αυτόνομων οχημάτων.

Καινοτομία

Όσον αφορά στην καινοτομία και τα πρωτότυπα στοιχεία της συγκεκριμένης εργασίας, θα μπορούσαν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Η επιλογή και αξιοποίηση πλατφόρμας ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης οδήγησης, η οποία δίνει τη δυνατότητα για σύνδεση με εξελιγμένα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης.
- Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη περιβάλλοντος για την εισαγωγή σεναρίων δοκιμών που να περιλαμβάνουν τη συμπεριφορά ανθρώπων και μηχανών σε οδικό περιβάλλον.

Δομή

Η δομή της εργασίας είναι αρκετά απλή ώστε να είναι εύκολα κατανοητή από τον αναγνώστη ο οποίος δεν είναι εξοικειωμένος με τις τεχνολογίες που αναφέρονται ή/και χρησιμοποιούνται στη διπλωματική. Αρχικά στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά στα συστήματα εξομοίωσης και στα ανοικτά συστήματα. Συγκεκριμένα, εισαγωγή και παρουσίαση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων προηγμένων συστημάτων εξομοίωσης καθώς και εφαρμογές, οικονομικά οφέλη και μελλοντικές τάσεις στο τομέα αυτό. Τέλος, αναφορά στα πλεονεκτήματα, τα χαρακτηριστικά και τα περιβάλλοντα ανάπτυξης για ανοικτά συστήματα εξομοίωσης.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής ανάλυση της επιλογής του εξομοιωτή Carla και παρουσιάζονται τα σενάρια που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο δοκιμών οδικής συμπεριφοράς. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι ανάγκες για το πλαίσιο σεναρίων δοκιμών οδικής συμπεριφοράς και αναφέρονται τα κριτήρια και τα χαρακτηριστικά επιλογής του συστήματος εξομοίωσης. Επιπλέον, αναφέρονται οι βασικές απαιτήσεις, ο σχεδιασμός αρχιτεκτονικής και η ανάπτυξη δόκιμων στοιχείων και λειτουργικών μονάδων. Τέλος, με την δημιουργία, το σχεδιασμό και την ενσωμάτωση των σεναρίων αυτών προκύπτει η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύονται οι ειδικές συνθήκες για τα επικίνδυνα σενάρια που δημιουργήθηκαν για την πειραματική διαδικασία και εκτελούνται δοκιμές πάνω σε αυτές. Αναλυτικότερα, γίνεται εισαγωγή, αναγνώριση και σχεδίαση παραβατικών συμπεριφορών. Ακόμα, γίνεται αναφορά στα Adversarial Attacks τα οποία αφορούν τα αυτόνομα οχήματα και αναπτύσσονται και δοκιμάζονται οι τρόποι διείσδυσης των επιθέσεων σε αυτά. Τέλος, συλλέγονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα από τις δοκιμές, αξιολογούνται οι επιδόσεις των συστημάτων υπό ειδικές συνθήκες, ερμηνεύονται τα αποτελέσματα και προτείνονται βελτιώσεις ή προληπτικά μέτρα.

Στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο εξομοιωτής. Συγκεκριμένα, αναφέρονται εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο εξομοιωτής και μελλοντικές επεκτάσεις που μπορεί να υποστηρίξει. Με αυτή την αναφορά ολοκληρώνεται ένα μεγάλο μέρος της εργασίας με τον αναγνώστη να συνειδητοποιεί το εύρος των δυνατοτήτων που προσφέρει ο εξομοιωτής.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εξειδικευμένες πλατφόρμες εξομοίωσης συστημάτων οδήγησης

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν τα διαθέσιμα και πλέον τεχνολογικά εξελιγμένα συστήματα εξομοίωσης αυτοκινήτων, καθώς και οι δυνατότητες τους. Θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στα ανοικτά συστήματα, τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη κώδικα και την εισαγωγή σεναρίων χρήσης. Αυτό το κεφάλαιο θα αποτελέσει τη βάση για την κατανόηση της σημασίας και της εφαρμογής της τεχνολογίας εξομοίωσης στη σύγχρονη οδήγηση.

1.1 Ανοικτές πλατφόρμες εξομοίωσης, δυνατότητες και πεδία εφαρμογής

Οι ανοικτές πλατφόρμες εξομοίωσης αναφέρονται σε λογισμικά ή περιβάλλοντα που παρέχουν εργαλεία και δυνατότητες για τη δημιουργία, την προσαρμογή και την εκτέλεση προσομοιώσεων οδήγησης και κυκλοφορίας. Αυτές οι πλατφόρμες είναι "ανοικτές" επειδή παρέχουν πρόσβαση σε πηγαίο κώδικα ή προγραμματιστικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας σε χρήστες και προγραμματιστές να προσαρμόσουν, να επεκτείνουν και να βελτιστοποιήσουν τη λειτουργικότητα της εξομοίωσης σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Η χρήση ανοικτών πλατφορμών εξομοίωσης επιτρέπει σε ερευνητές, αναπτυσσόμενους και εταιρείες να δοκιμάσουν, να αναπτύξουν και να επαληθεύσουν νέες τεχνολογίες και λογισμικά που αφορούν την οδική ασφάλεια, την αυτόνομη οδήγηση, τις τεχνολογίες συνδεσιμότητας και άλλες πτυχές του οδικού δικτύου. Οι ανοικτές πλατφόρμες εξομοίωσης προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και πεδίων εφαρμογής. Υπάρχουν αρκετές ανοικτές πλατφόρμες εξομοίωσης που χρησιμοποιούνται ευρέως στον χώρο της αυτόνομης οδήγησης και της έρευνας στον τομέα της οδικής ασφάλειας. Ανάμεσά τους:

1.1.1 Carla Simulator

Ένας ανοικτού κώδικα εξομοιωτής για την ανάπτυξη και τη δοκιμή αλγόριθμων αυτόνομης οδήγησης. Παρέχει ρεαλιστικά περιβάλλοντα, εργαλεία για εκπαίδευση και αξιολόγηση αυτόνομων οχημάτων. Μέσω του Carla ο χρήστης μπορεί να προσομοιάσει διαφορετικά σενάρια οδήγησης, να προσθέσει προσαρμοσμένα οχήματα, να δοκιμάσει στρατηγικές ελέγχου, να αναπτύξει και να δοκιμάσει αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για αυτόνομη οδήγηση[2].



Εικόνα 1.1: Carla Simulator[12]

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Με την συνεχή εξέλιξη του ο συγκεκριμένος εξομοιωτής αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ερευνητική κοινότητα στο τομέα της οδήγησης, παρέχοντας ένα ρεαλιστικό και ευρύ περιβάλλον εξομοίωσης.

Ο εξομοιωτής Carla προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες και εφαρμογές στον χώρο της αυτόνομης οδήγησης και της ρομποτικής. Σε αυτό το μέρος θα εξεταστούν λεπτομερώς οι δυνατότητες και τα πεδία εφαρμογής του Carla[2].

- **Περιβάλλον εξομοίωσης :** Ο Carla παρέχει ρεαλιστικά εικονικά περιβάλλοντα οδήγησης βασισμένα σε πραγματικά δεδομένα. Αυτά τα περιβάλλοντα επιτρέπουν την ανάπτυξη και δοκιμή αυτόνομων οχημάτων σε διάφορες και προβληματικές συνθήκες οδήγησης.



Εικόνα 1.2: Περιβάλλον εξομοίωσης Carla[13]

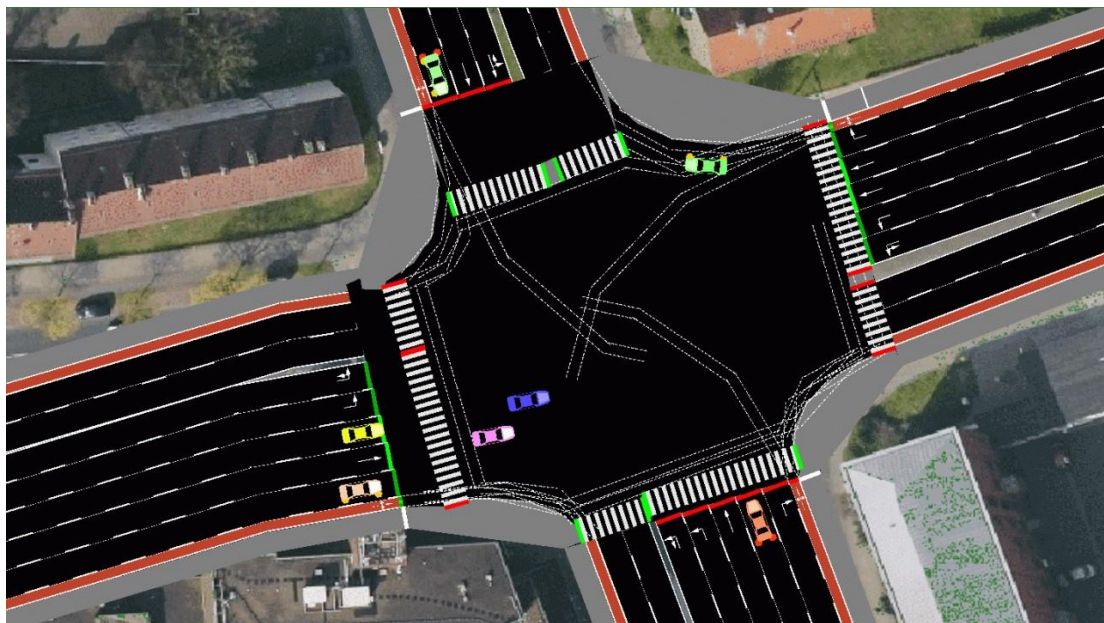
- **Αλγόριθμοι Ελέγχου:** Ο εξομοιωτής επιτρέπει τη δοκιμή και τη βελτιστοποίηση αλγορίθμων ελέγχου για την αυτόνομη οδήγηση, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων παρακολούθησης, επικοινωνίας και απόφασης.
- **Αισθητήρες και Επεξεργασία Σήματος:** Μπορεί να μοντελοποιήσει και να εξομοιώσει διάφορους τύπους αισθητήρων όπως κάμερες, λέιζερ και ραντάρ, επιτρέποντας την ανάπτυξη και τη δοκιμή των συστημάτων ανίχνευσης και αναγνώρισης.
- **Μηχανική Μάθηση:** Ο Carla παρέχει ένα ιδανικό περιβάλλον για την εκπαίδευση και τη βελτιστοποίηση των μοντέλων μηχανικής μάθησης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, για την αυτόνομη οδήγηση.
- **Δοκιμή Ασφάλειας:** Ο χρήστης μπορεί να αναπτύξει και να δοκιμάσει σενάρια για την ασφάλεια του αυτόνομου οχήματος σε διάφορες κρίσιμες καταστάσεις.
- **Εκπαίδευση Τεχνητής Νοημοσύνης για Οδηγούς:** Ο εξομοιωτής χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης που ελέγχουν τη συμπεριφορά των οδηγών, επιτρέποντάς τους να αποκτήσουν εμπειρία και να προσαρμοστούν σε διάφορες συνθήκες οδήγησης.

1.1.2 SUMO (Simulation of Urban MObility)

Το SUMO (Simulation of Urban MObility) είναι ένας ανοικτού κώδικα εξομοιωτής κυκλοφορίας και μεταφορών που επιτρέπει τη δημιουργία εξομοιωμένου περιβάλλοντος κυκλοφορίας. Χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της έρευνας των μεταφορών για τη μοντελοποίηση και την ανάλυση της κυκλοφορίας σε αστικές και μη περιοχές.

Ο SUMO προσφέρει δυνατότητες όπως τη δημιουργία προσομοιωμένων δικτύων οδών, τη συμπεριφορά των οχημάτων, την ανάλυση της ροής της κυκλοφορίας, την αξιολόγηση αλγορίθμων ελέγχου και πολλά άλλα. Μπορεί να προσομοιώσει διάφορες συνθήκες κυκλοφορίας, όπως αλλαγές στο δίκτυο οδών, συμβάντα, πυκνότητα κυκλοφορίας και διάφορα σενάρια κίνησης.

Ο εξομοιωτής αυτός είναι αξιόπιστο εργαλείο για την εξέταση και την αξιολόγηση της απόδοσης των διαφόρων συστημάτων μεταφορών, την ανάπτυξη αλγορίθμων διαχείρισης κυκλοφορίας και την ανάλυση των επιδράσεων των αλλαγών στον σχεδιασμό των οδών και των δικτύων μεταφορών. Είναι δημοφιλής λόγω της ευελιξίας, της αποτελεσματικότητας και της δυνατότητας προσαρμογής του σε ποικίλες ανάγκες των ερευνητών στον τομέα των μεταφορών[3].



Εικόνα 1.3: SUMO Simulator[14]

Ανάμεσα στις βασικές του δυνατότητες και πεδία εφαρμογής περιλαμβάνονται:

- **Ανάλυση Κυκλοφορίας:** Ο SUMO επιτρέπει την ανάλυση της κυκλοφορίας οχημάτων, της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικά σενάρια, τη μελέτη της ροής των οχημάτων και των προτεραιοτήτων κυκλοφορίας.
- **Εξομοίωση Διαδρομών:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εξομοιωμένων διαδρομών κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένων πόλεων, αυτοκινητοδρόμων ή περιφερειακών δρόμων.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

- **Δοκιμή Σεναρίων:** Ο εξομοιωτής αυτός επιτρέπει τη δοκιμή και την αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων κυκλοφορίας, όπως αλλαγές στο δίκτυο οδών, σημεία συγκέντρωσης, και επιρροή της κυκλοφορίας από εκδηλώσεις.
- **Εφαρμογές στην Έρευνα:** Χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα των μεταφορών για την εξομοίωση της κυκλοφορίας και την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων.
- **Ανάπτυξη Συστημάτων Ελέγχου:** Επιτρέπει την ανάπτυξη και τη δοκιμή συστημάτων ελέγχου κίνησης και διαχείρισης κυκλοφορίας.

1.1.3 Apollo (Baidu's Autonomous Driving Platform)

Το Apollo Simulator είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε από την Baidu, μια από τις κορυφαίες εταιρείες στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Το εργαλείο αυτό αποτελεί μέρος της πλατφόρμας Apollo, η οποία προορίζεται για την ανάπτυξη, τη δοκιμή και την επιτάχυνση των τεχνολογιών αυτόνομης οδήγησης.



Εικόνα 1.4: Apollo Simulator[15]

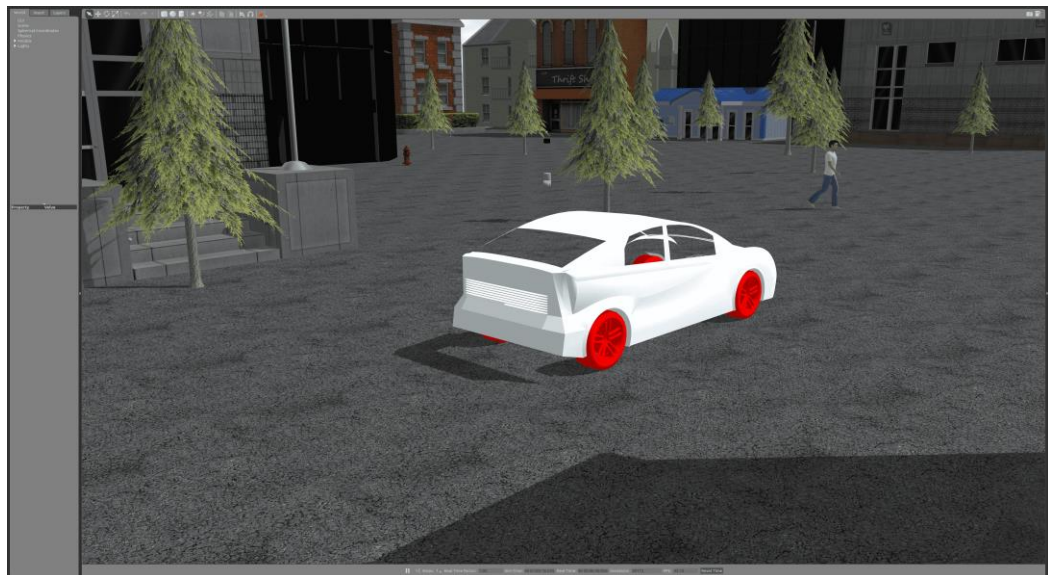
Το Apollo Simulator επιτρέπει τη δημιουργία εξομοιωμένου περιβάλλοντος οδήγησης με σκοπό την εκτέλεση δοκιμών και τη βελτιστοποίηση του λογισμικού που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα οχήματα. Με την επίδειξη ρεαλιστικών συνθηκών οδήγησης, συμπεριλαμβανομένης της κίνησης, των διαφόρων τύπων οδών, και των αναπαραστάσεων πόλεων, το εργαλείο αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να δοκιμάζουν το λογισμικό τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα χωρίς την ανάγκη πραγματικών δοκιμών σε δρόμους. Με τη δυνατότητα προσομοίωσης αισθητήρων όπως LiDAR, κάμερες, ραντάρ, το Apollo Simulator επιτρέπει την εκτέλεση δοκιμών για την αξιολόγηση της απόδοσης των αισθητήρων και των αλγορίθμων ανίχνευσης και αντίδρασης του αυτόνομου συστήματος οδήγησης[4].

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

1.1.4 Gazebo

Το Gazebo είναι ένας ανοικτού κώδικα εξομοιωτής ρομποτικών συστημάτων, που προσφέρει πλούσιες δυνατότητες για την ανάπτυξη και την εξομοίωση ρομποτικών περιβαλλόντων. Αναπτύχθηκε από το (OSRF) και αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα εργαλεία στον χώρο της ρομποτικής. Ο Gazebo επιτρέπει τη δημιουργία εξομοιωμένων περιβαλλόντων, όπου μπορούν να ελεγχθούν και να δοκιμαστούν ρομποτικά συστήματα. Παρέχει πλήθος αισθητήρων, ενσωματωμένων ρομποτικών μοντέλων και εργαλείων προσομοίωσης που επιτρέπουν την ανάπτυξη και τον έλεγχο ρομποτικών αλγορίθμων. Η ευελιξία του Gazebo το καθιστά κατάλληλο για διάφορους τομείς της ρομποτικής, όπως η έρευνα, η εκπαίδευση, η ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων, η μελέτη συστημάτων αισθητήρων και η ανάπτυξη αλγορίθμων ελέγχου[5].

Ως ανοικτού κώδικα λογισμικό, το Gazebo είναι ελεύθερα διαθέσιμο για χρήση, τροποποίηση και βελτίωση από την κοινότητα των προγραμματιστών, ενθαρρύνοντας τη συνεισφορά και την ανάπτυξη νέων λειτουργιών.



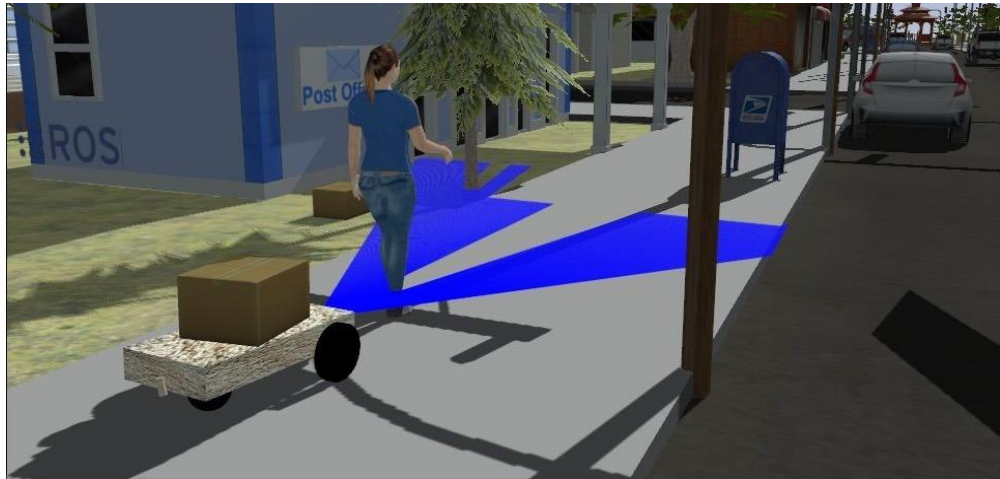
Εικόνα 1.5: Gazebo Simulator[16]

Επίσης είναι ευέλικτο και επεκτάσιμο, επιτρέποντας την προσθήκη προσαρμοσμένων μοντέλων ρομπότ, περιβαλλόντων και αντικειμένων.

Ο συγκεκριμένος εξομοιωτής έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε εκπαιδευτικούς, ερευνητικούς και βιομηχανικούς σκοπούς σε πολλούς τομείς της ρομποτικής, όπως η αυτόνομη οδήγηση, η ρομποτική βιομηχανία, η αυτοματοποιημένη κατασκευή και η έρευνα στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης.

Το Gazebo είναι ένας εξομοιωτής που παρέχει ευέλικτες δυνατότητες για την ανάπτυξη και δοκιμή ρομποτικών συστημάτων και αυτόνομης οδήγησης. Οι δυνατότητες και τα πεδία εφαρμογής του Gazebo αναλύονται :

- **Περιβάλλον Εξομοίωσης:** Ο Gazebo παρέχει ένα ρεαλιστικό περιβάλλον εξομοίωσης όπου ο χρήστης μπορεί να μοντελοποιήσει και να δοκιμάσει ρομποτικά συστήματα, αισθητήρες, οχήματα και περιβάλλοντα.



Εικόνα 1.6: Περιβάλλον εξομοίωσης Gazebo[17]

- **Ευέλικτη Αρχιτεκτονική:** Ο εξομοιωτής Gazebo είναι ευέλικτος και επεκτάσιμος, επιτρέποντας τη χρήση πολλαπλών plugins και μοντέλων για τη δημιουργία περιβαλλόντων και συστημάτων μεγάλης κλίμακας.
- **Μοντελοποίηση Ρομποτικών Συστημάτων:** Μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει διάφορα ρομποτικά συστήματα, από απλά ρομπότ μέχρι πολύπλοκους ανθρωποειδείς ρομπότ.
- **Δοκιμή Αλγορίθμων Ελέγχου:** Ο Gazebo επιτρέπει τη δοκιμή και τη βελτιστοποίηση αλγορίθμων ελέγχου για την κίνηση και την αυτόνομη πλοήγηση.
- **Ανάπτυξη Αισθητήρων:** Μπορεί ο χρήστης να μοντελοποιήσει και να δοκιμάσει τη λειτουργία διάφορων αισθητήρων όπως κάμερες, λέιζερ, ραντάρ κ.λπ.
- **Ανοικτός Κώδικας και Κοινότητα Χρηστών:** Είναι ένα έργο ανοικτού κώδικα με μια ενεργή και ανοικτή κοινότητα, που σημαίνει ότι μπορούν να αξιοποιηθούν οι συνεισφορές και οι βελτιώσεις που έχουν κάνει άλλοι χρήστες.
- **Εκπαιδευτικά Σενάρια:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς, καθώς επιτρέπει σε φοιτητές και ερευνητές να εξερευνήσουν και να μάθουν για ρομποτικά συστήματα και αυτόνομη οδήγηση.

1.2 Κλειστές πλατφόρμες εξομοίωσης, δυνατότητες και πεδία εφαρμογής

1.2.1 RFpro

Ο RFpro είναι ένα εμπορικό λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εταιρεία RFpro. Αυτό σημαίνει ότι το λογισμικό είναι κλειστού κώδικα και διατίθεται υπό προϋποθέσεις άδεια χρήσης από την εταιρεία. Το RFpro είναι ένα προηγμένο περιβάλλον εξομοίωσης για την αυτοκίνητο-βιομηχανία, εστιάζοντας στην ανάπτυξη και τη δοκιμή των συστημάτων βοήθειας οδήγησης (ADAS) και των τεχνολογιών αυτόνομης οδήγησης. Το RFpro ξεχωρίζει γιατί προσφέρει ρεαλιστικά και ακριβή περιβάλλοντα εξομοίωσης οδικών συνθηκών, βασισμένα σε πραγματικά δεδομένα. Αυτό το επιτυγχάνει χρησιμοποιώντας τεχνολογία υψηλής πιστότητας για την αναπαράσταση του οδικού περιβάλλοντος,

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

συμπεριλαμβανομένων των οδικών επιφανειών, της γεωμετρίας του δρόμου, της υφής του οδοστρώματος, των πινακίδων και πολλών άλλων παραμέτρων[6].



Εικόνα 1.7: RFpro Simulator[18]

Η δυνατότητα να αναπαραστήσει ακριβή περιβάλλοντα οδήγησης επιτρέπει στους κατασκευαστές αυτοκινήτων να δοκιμάσουν και να βελτιστοποιήσουν τα ADAS και τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης πριν από την πραγματική τους εφαρμογή στον δρόμο. Επίσης, το RFpro επιτρέπει την εξομοίωση διαφόρων σεναρίων οδήγησης και συνθηκών, επιτρέποντας στις εταιρείες να αναπτύξουν και να ελέγξουν τις τεχνολογίες τους σε ευρύ φάσμα περιβαλλόντων και συνθηκών οδήγησης. Το RFpro είναι ένας προηγμένος εξομοιωτής οδήγησης και ρομποτικής που εστιάζει στην ακριβή αναπαράσταση του οδικού περιβάλλοντος. Οι δυνατότητές του και τα πεδία εφαρμογής είναι:



Εικόνα 1.8: Περιβάλλον εξομοίωσης RFpro[19]

- **Υψηλή Ακρίβεια Μοντελοποίησης Οδικών Συνθηκών:** Το RFpro επιτρέπει τη δημιουργία λεπτομερών μοντέλων του οδικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων οδών, πεζών, κυκλοφοριακών σημάτων και διάφορων συνθηκών οδήγησης.
- **Αναπαράσταση Πραγματικού Κόσμου:** Ο εξομοιωτής αναπαραστήσει πραγματικά οδικά περιβάλλοντα, βοηθώντας στη δημιουργία ρεαλιστικών σεναρίων οδήγησης για δοκιμές οχημάτων.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

- **Υποστήριξη Αυτόνομης Οδήγησης και ADAS:** Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και δοκιμή συστημάτων αυτόνομης οδήγησης και για την επίδραση των συστημάτων **ADAS**.
- **Βελτιστοποίηση Αλγορίθμων:** Ο χρήστης μπορεί να βελτιστοποιήσει αλγόριθμους ελέγχου και συστήματα πλοήγησης χρησιμοποιώντας το **RFpro**.
- **Δοκιμές και Πιστοποίηση Οχημάτων:** Χρησιμοποιείται για την εκτεταμένη δοκιμή και πιστοποίηση οχημάτων σε ελεγχόμενα εικονικά περιβάλλοντα πριν από την πραγματική δοκιμή στο δρόμο.
- **Εκπαίδευση και Έρευνα:** Χρησιμοποιείται ευρέως σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα για την εκπαίδευση και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον τομέα της οδήγησης και της ρομποτικής.

1.2.2 Cognata

Η πλατφόρμα Cognata είναι ένα εμπορικό λογισμικό που παρέχει λύσεις για την προσομοίωση αυτόνομων οχημάτων και άλλων συστημάτων χωρίς χειριστή. Δεν είναι ανοικτού κώδικα και παρέχεται υπό προϋποθέσεις άδεια χρήσης από την εταιρεία Cognata. Η Cognata Simulator είναι μια πλατφόρμα προσομοίωσης που παρέχει λύσεις για την ανάπτυξη και τον έλεγχο της τεχνολογίας αυτόνομης οδήγησης και των αυτόνομων οχημάτων. Σχεδιασμένο για να προσομοιώνει πραγματικές οδικές συνθήκες, η Cognata επιτρέπει στους χρήστες να δοκιμάσουν και να βελτιώσουν τους αλγόριθμους και τις τεχνολογίες αυτόνομης οδήγησης μέσω εξομοιωμένων περιβαλλόντων. Προσφέρει ρεαλιστικά εικονικά περιβάλλοντα οδήγησης, με πλούσια γραφικά και λεπτομερείς αναπαραστάσεις οδών, πεζών, οχημάτων και περιβαλλόντων. Διαθέτει εκτεταμένη βιβλιοθήκη μοντέλων οχημάτων και αισθητήρων, επιτρέποντας την ανάπτυξη, τη δοκιμή και τη βελτιστοποίηση αλγορίθμων αισθητήρων και ελέγχου για αυτόνομα οχήματα. Η πλατφόρμα Cognata προσφέρει επίσης εργαλεία ανάλυσης και αξιολόγησης της απόδοσης των αυτόνομων οχημάτων, επιτρέποντας την εκτέλεση δοκιμών και την αξιολόγηση των συστημάτων μεταφορών σε διάφορες συνθήκες. Η προσέγγιση του Cognata επικεντρώνεται στην παροχή ενός ρεαλιστικού, εύχρηστου και πλήρους περιβάλλον προσομοίωσης για την ανάπτυξη και την αξιολόγηση των τεχνολογιών αυτόνομης οδήγησης. Απευθύνεται σε εταιρείες και οργανισμούς που εργάζονται στον τομέα των αυτόνομων οχημάτων και των συστημάτων μεταφορών[7].



Εικόνα 1.9: Cognata Simulator[20]

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Με την Cognata, οι χρήστες μπορούν να προσομοιώσουν διάφορα σενάρια οδήγησης, να εκπαιδεύσουν ΤΝ συστήματα και να δοκιμάσουν τις αυτόνομες λειτουργίες των οχημάτων τους. Το Cognata αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τη βιομηχανία της αυτόνομης οδήγησης, καθώς επιτρέπει στις εταιρείες να ελέγχουν και να βελτιώνουν την απόδοση των συστημάτων τους πριν από την πραγματική τους εφαρμογή στον δρόμο[7].

Η Cognata είναι ένα εξελιγμένο εργαλείο εξομοίωσης που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και δοκιμή συστημάτων αυτόνομης οδήγησης και **ADAS**. Οι λεπτομερείς δυνατότητες και πεδία εφαρμογής της Cognata διακρίνονται ως εξής:



Εικόνα 1.10: Περιβάλλον εξομοίωσης Cognata[21]

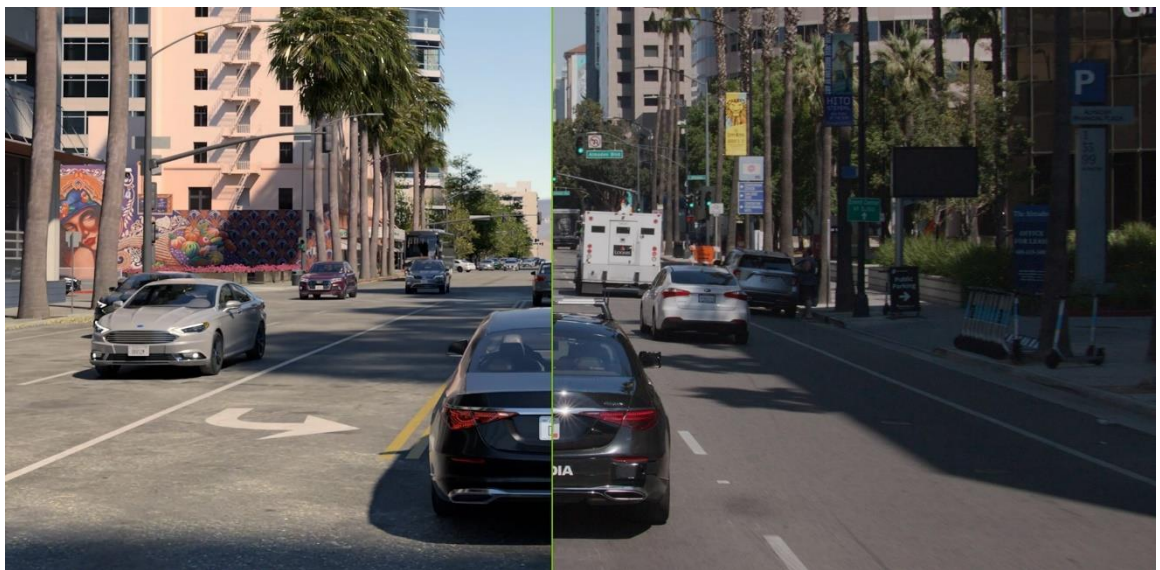
- **Ρεαλιστική Εξομοίωση Οδικού Περιβάλλοντος:** Η Cognata προσφέρει ακριβή μοντελοποίηση του οδικού περιβάλλοντος με διάφορα σενάρια οδήγησης, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων τύπων οδών, κυκλοφοριακών σημάτων και πεζών.
- **Αυτόνομης Οδήγησης:** Χρησιμοποιείται για τη δοκιμή και τη βελτιστοποίηση συστημάτων αυτόνομης οδήγησης σε προσομοιωμένο περιβάλλον πριν από την πραγματική εκτέλεση.
- **Σχεδιασμός και Ανάπτυξη ADAS:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη, δοκιμή και βελτιστοποίηση συστημάτων **ADAS**.
- **Συνεργατική Πλατφόρμα:** Παρέχει δυνατότητες για συνεργασία με άλλους χρήστες, επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων και τη ομαδική ανάπτυξη σεναρίων.
- **Εκτεταμένη Ασφάλεια:** Η Cognata δίνει έμφαση στην ασφάλεια των συστημάτων, επιτρέποντας τη δοκιμή και τη βελτίωση των συστημάτων ασφάλειας.
- **Βελτιστοποίηση Αλγορίθμων:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση αλγορίθμων ελέγχου και πλοήγησης.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

- **Προσομοίωση Σεναρίων Κίνδυνου:** Μπορεί να δημιουργήσει προσομοιώσεις σεναρίων κινδύνου για την αξιολόγηση της απόκρισης των οχημάτων.

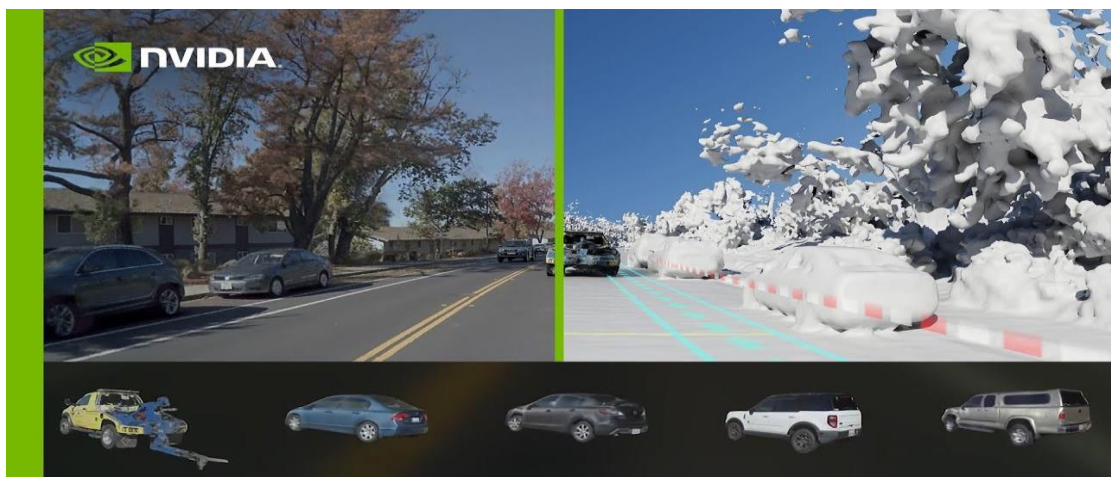
1.2.3 Nvidia Drive Sim

Το NVIDIA Drive Sim είναι ένας εξομοιωτής που αναπτύχθηκε από την NVIDIA ειδικά για τη βιομηχανία του αυτόνομου οχήματος και την έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Αποτελεί μέρος της πλατφόρμας NVIDIA Drive που προορίζεται για την ανάπτυξη, τη δοκιμή και την επιτάχυνση της δημιουργίας λογισμικού για αυτόνομα οχήματα[8].



Εικόνα 1.11: Nvidia Drive Simulator[22]

Ο εξομοιωτής αυτός επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εξαιρετικά ρεαλιστικά περιβάλλοντα προσομοίωσης οδήγησης. Χρησιμοποιείται για να αναπτύξει, να ελέγξει και να επιδοκιμάσει λογισμικό που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα οχήματα σε διάφορες καταστάσεις οδήγησης. Ο εξομοιωτής NVIDIA Drive Sim προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες και πεδία εφαρμογής στον τομέα των αυτόνομων οχημάτων και της αυτόνομης οδήγησης. Ανάμεσα στις βασικές του δυνατότητες και πεδία εφαρμογής περιλαμβάνει:



Εικόνα 1.12: Περιβάλλον εξομοίωσης Nvidia Drive Sim[23]

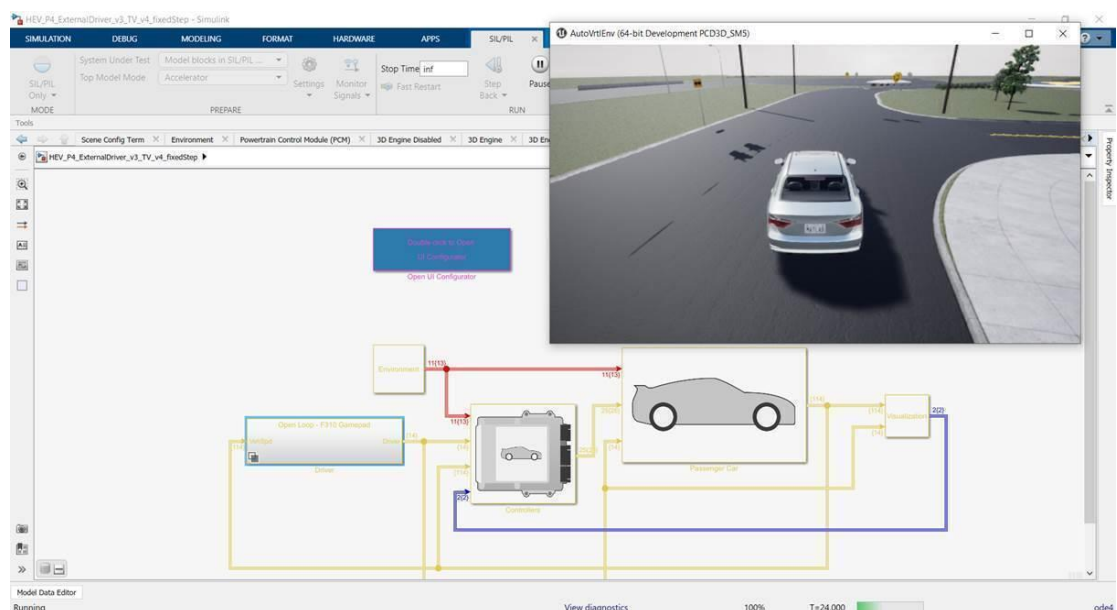
Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

- **Υψηλή Ακρίβεια Προσομοίωσης:** Ο εξομοιωτής προσφέρει υψηλή ακρίβεια στην προσομοίωση του περιβάλλοντος οδήγησης, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους όπως κυκλοφορία, καιρικές συνθήκες και τοπία.
- **Αισθητήρες και Επεξεργασία Δεδομένων:** Υποστηρίζει την προσομοίωση αισθητήρων όπως LiDAR, κάμερες, ραντάρ, καθώς και την επεξεργασία των δεδομένων που παράγονται από αυτούς τους αισθητήρες.
- **Δοκιμή και Βελτιστοποίηση Αλγορίθμων:** Ο εξομοιωτής επιτρέπει στους προγραμματιστές να δοκιμάζουν και να βελτιστοποιούν τους αλγορίθμους τους για την αυτόνομη οδήγηση.
- **Ανάπτυξη και Συνεργασία:** Προσφέρει εργαλεία για την ανάπτυξη και τη συνεργασία πολλαπλών προγραμματιστών σε διαφορετικές πλατφόρμες.
- **Διαχείριση Σεναρίων Οδήγησης:** Επιτρέπει τη δημιουργία και την εκτέλεση διαφορετικών σεναρίων οδήγησης για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος.
- **Εκπαίδευση και Εκτίμηση Απόδοσης:** Χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση μοντέλων μηχανικής μάθησης και την εκτίμηση της απόδοσης τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

1.3 Γενικές πλατφόρμες - εργαλεία εξομοίωσης

1.3.1 Simulink

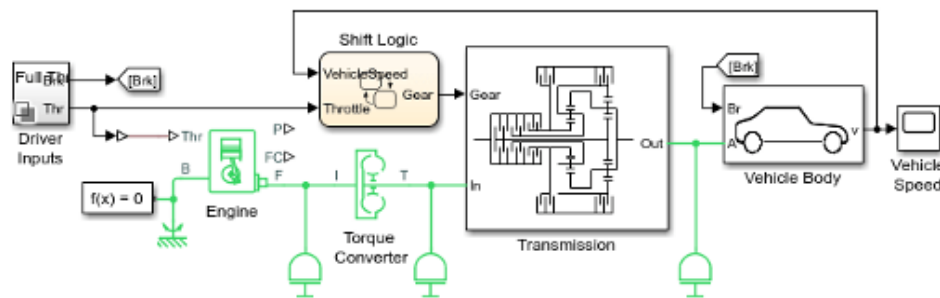
Ένα εργαλείο προγραμματισμού που παρέχει δυνατότητες εξομοίωσης για συστήματα ελέγχου, συμπεριλαμβανομένου και των αυτόνομων οχημάτων. Το Simulink παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον προγραμματισμού βασισμένο σε μπλοκ το οποίο αναπτύχθηκε από την **MathWorks**, όπου οι χρήστες μπορούν να σχεδιάσουν μοντέλα συστημάτων χρησιμοποιώντας μπλοκ που αντιπροσωπεύουν μαθηματικούς αλγορίθμους και εξισώσεις ή λειτουργίες. Ακόμα επιτρέπει την μοντελοποίηση δυναμικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου των συστημάτων ελέγχου σήματος και επεξεργασίας σήματος, ψηφιακών συστημάτων και πολλών άλλων[9].



Εικόνα 1.13: Simulink - Matlab Simulator[24]

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του Simulink είναι η δυνατότητα προσομοίωσης των μοντέλων που έχουν δημιουργηθεί, επιτρέποντας στους χρήστες να δοκιμάσουν τη συμπεριφορά του συστήματος που έχουν σχεδιάσει υπό διάφορες συνθήκες και εισόδους. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το Simulink ιδανικό εργαλείο για την ανάπτυξη και τον έλεγχο σύνθετων συστημάτων σε πολλούς τομείς, όπως η ηλεκτρονική, η ρομποτική, αυτοκινητική βιομηχανία και εφαρμογές ελέγχου. Το Simulink είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάπτυξης και ανάλυσης συστημάτων βασισμένο σε μοντελοποίηση με χρήση **block diagrams**[9]. Οι δυνατότητες και τα πεδία εφαρμογής του Simulink:



Εικόνα 1.14: Περιβάλλον εξομοίωσης Simulink[25]

- **Μοντελοποίηση Συστημάτων:** Ο **Simulink** επιτρέπει τη δημιουργία ακριβών μαθηματικών μοντέλων για συστήματα όπως ηλεκτρικά, μηχανικά, ψηφιακά, συστήματα ελέγχου και άλλα.
- **Ανάλυση Συστημάτων:** Χρησιμοποιείται για ανάλυση διάφορων παραμέτρων και χαρακτηριστικών των συστημάτων, όπως σταθερότητα, απόκριση στην είσοδο, χρονική απόκριση και πολλά άλλα.
- **Σχεδιασμός Ελεγκτών:** Επιτρέπει τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη δοκιμή διάφορων ελεγκτών για συστήματα ελέγχου.
- **Συνδυασμός με Άλλα Εργαλεία MATLAB:** Ενσωματώνεται άψογα με το MATLAB και τις δυνατότητές του, επιτρέποντας τη χρήση των μαθηματικών, στατιστικών και επεξεργασίας σήματος του **MATLAB** στα μοντέλα του **Simulink**.
- **Ανάπτυξη Εφαρμογών:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εφαρμογών σε πολλούς τομείς, όπως ηλεκτρονική, έλεγχο κίνησης, επεξεργασία σήματος, αεροδυναμική, αυτοκίνητα, ιατρική κ.λπ.
- **Εκπαίδευση και Ακαδημαϊκή Έρευνα:** Είναι δημοφιλές στην ακαδημαϊκή κοινότητα για την εκπαίδευση και την έρευνα, διδάσκοντας τις βασικές αρχές των συστημάτων ελέγχου.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Έχοντας ολοκληρώσει την σύντομη παρουσίαση από τις πλατφόρμες που εξετάστηκαν για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας, το επόμενο κεφάλαιο θα επικεντρωθεί στη λεπτομερή ανάλυση και εφαρμογή του εξομοιωτή που επιλέχθηκε για την διεξαγωγή της πειραματικής δοκιμής.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Carla Simulator - Δημιουργία και ενσωμάτωση σεναρίων χρήσης

Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί ένα βασικό μέρος της πειραματικής διαδικασίας. Αφορά την πρακτική εφαρμογή και την ενσωμάτωση σεναρίων χρήσης σε ένα εξελιγμένο περιβάλλον προσομοίωσης οδήγησης. Αρχικά, θα αναφερθεί ο λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος εξομοιωτής, καθώς και οι απαραίτητες ενέργειες για την εγκατάστασή του σε διάφορα λειτουργικά συστήματα. Στη συνέχεια, θα εξεταστεί ο σχεδιασμός και η αρχιτεκτονική του εξομοιωτή και θα αναδειχθεί η δομή του λογισμικού και οι βασικές του λειτουργίες, προκειμένου να κατανοηθεί πώς λειτουργεί το περιβάλλον προσομοίωσης. Τέλος, θα εξεταστεί η διαδικασία υλοποίησης και ενσωμάτωσης σεναρίων χρήσης στον εξομοιωτή. Θα παρουσιαστεί η διαδικασία ανάπτυξης σεναρίων, από τη δημιουργία έως την ενσωμάτωσή τους στο περιβάλλον προσομοίωσης, παρέχοντας ένα πλήρες πλαίσιο για την ανάπτυξη και την εκτέλεση σεναρίων σε αυτό το προηγμένο εργαλείο προσομοίωσης οδήγησης.

2.1 Επιλογή και εγκατάσταση του συστήματος εξομοιωτή Carla Simulator

Για το πρακτικό μέρος της εργασίας από την ποικιλία εξομοιωτών που αναφέρθηκε στην υπό-ενότητα [1.1](#) έγινε η επιλογή του εξομοιωτή Carla. Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος εξομοιωτής διότι είναι ανοικτού κώδικα δηλαδή υπάρχει πλήρης πρόσβαση και παραμετροποίηση σε όλα τα αρχεία του και προσφέρει ένα ρεαλιστικό εικονικό περιβάλλον όπου μπορούν να προσομοιωθούν και να δοκιμαστούν αλγόριθμοι αυτόνομης οδήγησης. Ακόμα, παρέχει ένα πλήρως λειτουργικό (API) που επιτρέπει την ευέλικτη ανάπτυξη και την ενσωμάτωση νέων λειτουργιών ή αλγορίθμων. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να συνδέσει επιπλέον εξαρτήματα στον εξομοιωτή όπως τιμονιέρα, γυαλιά VR κ.α. Τέλος, είναι πολύ δημοφιλής στην εκπαίδευση και στην ακαδημαϊκή έρευνα για την κατανόηση των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης.

Για την εγκατάσταση του εξομοιωτή Carla ακολουθήθηκαν οι οδηγίες που παρέχονται στη επίσημη ιστοσελίδα του (<https://carla.readthedocs.io/en/0.9.14/>). Αρχικά, είναι αναγκαίο να αναφερθεί πως η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Linux και συγκεκριμένα Ubuntu 20.04, η επιλογή του συγκεκριμένου λειτουργικού συστήματος έγινε διότι είναι ανοικτού κώδικα και προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και ελευθερία. Η έκδοση του εξομοιωτή που εγκαταστάθηκε ήταν η 0.9.14 και για τον εξής λόγο έγινε εγκατάσταση του Ubuntu 20.04 και όχι του πιο νέου Ubuntu 22.04 διότι δεν υποστηριζόταν. Τέλος, χρειάζεται και η εγκατάσταση του Unreal Engine ο οποίος είναι απαραίτητος για την λειτουργία του εξομοιωτή.

Στην συνέχεια προχωρώντας στην εγκατάσταση υπάρχουν κάποια προαπαιτούμενα που πρέπει να πληροί ο Η/Υ υπολογιστής.

Αυτά είναι:

- **Χώρος στο δίσκο 130GB**

Ο εξομοιωτής **Carla** θα χρειαστεί περίπου **31 GB** και η **Unreal Engine** θα χρειαστεί περίπου **91 GB**, επομένως περίπου **130 GB** ελεύθερα για να ληφθούν υπόψη και τα δύο, καθώς και πρόσθετες μικρές εγκαταστάσεις λογισμικού[2].

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

- **Επαρκής GPU**
Ο **Carla** στοχεύει σε ρεαλιστικές προσομοιώσεις, επομένως ο διακομιστής χρειάζεται τουλάχιστον μια **GPU 6 GB**, αν και συνιστάται **8 GB**[2].
- **Δύο θύρες TCP και καλή σύνδεση στο internet**
2000 και 2001 από προεπιλογή. Πρέπει αυτές οι θύρες να μην είναι αποκλεισμένες από τείχη προστασίας ή άλλες εφαρμογές[2].

Ο εξομοιωτής Carla απαιτεί πολλά διαφορετικά είδη λογισμικού για να τρέξει. Κάποια από αυτά είναι δυαδικά και πρέπει να γίνουν εγκατάσταση πριν την έναρξη της κατασκευής. Άρα γίνεται εγκατάσταση των παρακάτω:

1. `sudo apt-get update &&`
2. `sudo apt-get install wget software-properties-common &&`
3. `sudo add-apt-repository ppa:ubuntu-toolchain-r/test &&`
4. `wget -O - https://apt.lvm.org/llvm-snapshot.gpg.key|sudo apt-key add - &&`
5. `sudo apt-add-repository "deb http://apt.lvm.org/xenial/ llvm-toolchain-xenial-8 main" &&`
6. `sudo apt-get update`

Σχήμα 1: Εντολές εγκατάστασης πακέτων

Στην συνέχεια για να αποφευχθούν προβλήματα συμβατότητας μεταξύ Unreal Engine και των εξαρτήσεων του εξομοιωτή Carla, χρησιμοποιείται η ίδια έκδοση μεταγλωττιστή και βιβλιοθήκης χρόνου εκτέλεσης **C++**, με τις παρακάτω εντολές:

1. `sudo apt-add-repository "deb http://apt.lvm.org/focal/ llvm-toolchain-focal main"`
2. `sudo apt-get install build-essential clang-10 lld-10 g++-7 cmake ninja-build libvulkan1 python python-dev python3-dev python3-pip libpng-dev libtiff5-dev libjpeg-dev tzdata sed curl unzip autoconf libtool rsync libxml2-dev git`
3. `sudo update-alternatives --install /usr/bin/clang++ clang++ /usr/lib/llvm-10/bin/clang++ 180 &&`

Σχήμα 2: Εντολές εγκατάστασης εξαρτήσεων εξομοιωτή

Έπειτα γίνεται έλεγχος για την έκδοση **Python** που χρησιμοποιείται καθώς απαιτείται έκδοση **20.3** και άνω και εγκατάσταση κάποιων απαραίτητων εργαλείων.

Ο έλεγχος έκδοσης **Python** γίνεται με:

```
# Για Python 3
pip3 -V

# Για Python 2
pip -V
```

Σχήμα 3: Εντολές ελέγχου έκδοσης Python

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Εγκατάσταση απαραίτητων εργαλείων:

1. `pip install --user setuptools &&`
2. `pip3 install --user -Iv
setuptools==47.3.1 &&`
3. `pip install --user distro &&`
4. `pip3 install --user distro &&`
5. `pip install --user wheel &&`
6. `pip3 install --user wheel auditwheel`

Σχήμα 4: Εντολές εγκατάστασης απαραίτητων εργαλείων

Αφού γίνουν αυτά επόμενο βήμα είναι η εγκατάσταση της Unreal Engine αφού ο εξομοιωτής Carla την χρησιμοποιεί ως τον κύριο κινητήρα (game engine) για την εξομοίωση. Η Unreal Engine είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης παιχνιδιών και εφαρμογών με εξαιρετικές δυνατότητες δημιουργίας ρεαλιστικών γραφικών, φυσικής μηχανικής και πολλών άλλων χαρακτηριστικών που είναι ιδανικά για περιβάλλοντα εξομοίωσης όπως αυτό του Carla. Μέσω της Unreal Engine, ο Carla μπορεί να δημιουργήσει ρεαλιστικά περιβάλλοντα, να εκτελέσει αλγόριθμους για την αυτόνομη οδήγηση και να δοκιμάσει την απόκριση των οχημάτων σε διάφορες συνθήκες. Κατά συνέπεια, για να λειτουργήσει ο Carla, απαιτείται η εγκατάσταση της Unreal Engine, καθώς αυτή η πλατφόρμα είναι ουσιώδης για τη λειτουργία και τη δημιουργία του περιβάλλοντος εξομοίωσης του Carla.

Unreal Engine

Για την εγκατάσταση της **Unreal Engine** αρχικά είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας λογαριασμός **GitHub** συνδεδεμένος με τον λογαριασμό της **Unreal Engine**. Σε περίπτωση που δεν έχει γίνει αυτή η ρύθμιση υπάρχουν οδηγίες στο (<https://www.unrealengine.com/en-US/ue-on-github>). Έπειτα αφού γίνει αυτό, ακολουθεί η κλωνοποίηση του περιεχομένου **Carla** στην **Unreal Engine** με την παρακάτω εντολή.

```
git clone --depth 1 -b carla https://github.com/CarlaUnreal/UnrealEngine.git  
~/UnrealEngine_4.26
```

Σχήμα 5: Εντολή κλωνοποίησης περιεχομένου Carla

Ύστερα, μέσα στο κατάλογο του **Unreal Engine**.

```
cd ~/UnrealEngine_4.26
```

Σχήμα 6: Εντολή μετάβασης σε συγκεκριμένο φάκελο

Ξεκινά η κατασκευή του εξομοιωτή.

```
./Setup.sh && ./GenerateProjectFiles.sh && make
```

Σχήμα 7: Εντολή κατασκευής εξομοιωτή

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Τέλος, με την παρακάτω εντολή γίνεται έλεγχος ότι ο Unreal Engine έχει εγκατασταθεί σωστά.

```
cd ~/UnrealEngine_4.26/Engine/Binaries/Linux && ./UE4Editor
```

Σχήμα 8: Εντολές μετάβασης σε φάκελο & εκτέλεσης αρχείου

Επόμενη ενέργεια που ακολουθεί είναι να γίνει λήψη των πιο πρόσφατων στοιχείων του εξομοιωτή. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω εντολή.

```
./Update.sh
```

Σχήμα 9: Εντολή ενημέρωσης πρόσφατων στοιχείων

Στην συνέχεια με την επόμενη εντολή γίνεται μεταγλώττιση του PythonAPI απαραίτητο για την λειτουργία του εξομοιωτή.

```
make PythonAPI
```

Σχήμα 10: Εντολή μεταγλώττισης

Τελευταία εντολή που χρειάζεται με την οποία μεταγλωττίζεται και εκκινείται ο εξομοιωτής Carla σε συνδυασμό με την μηχανή **Unreal Engine** είναι:

```
make launch
```

Σχήμα 11: Εντολή εκκίνησης εξομοιωτή

Αν έχουν ακολουθηθεί σωστά οι παραπάνω οδηγίες εκτελώντας την τελευταία εντολή θα πρέπει να ανοίγει η μηχανή **Unreal Engine** με το περιεχόμενο του **Carla**, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.1: Carla Simulator & Unreal Engine

2.2 Σχεδιασμός και περιγραφή σεναρίων χρήσης

Στην υπό-ενότητα αυτή, "Σχεδιασμός και περιγραφή σεναρίων χρήσης", εξετάζονται τα σενάρια χρήσης που έχουν σχεδιαστεί για τον εξομοιωτή Carla. Τα συγκεκριμένα σενάρια είναι δύο και αφορούν την παραβατική συμπεριφορά πεζών και την επίθεση adversarial σε αυτόνομα οχήματα.

Αρχικά, προσδιορίστηκαν οι απαιτήσεις για κάθε σενάριο, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Για τα σενάρια παραβατικής συμπεριφοράς πεζών, καθορίστηκαν καταστάσεις όπου οι πεζοί παραβιάζουν τους κανόνες κυκλοφορίας, παρέχοντας έτσι προκλήσεις για τα αυτόνομα οχήματα και τον άνθρωπο. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν τα σενάρια επίθεσης adversarial, όπου εξωτερικοί παράγοντες επιδιώκουν να παρεμβάλλουν ή να επηρεάσουν τη λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων. Αυτά τα σενάρια παρέχουν μια πλούσια ποικιλία πιθανών προκλήσεων και καταστάσεων, ενισχύοντας την ικανότητα των αυτόνομων οχημάτων και των ανθρώπων να ανταποκρίνονται σε δυνητικά επικίνδυνες καταστάσεις. Μέσα από αυτή την ενότητα, αποκτάται μια βαθύτερη κατανόηση του πώς ο εξομοιωτής Carla μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει και να εξετάσει αυτά τα περίπλοκα σενάρια.

Όπως αναφέρθηκε στην υπό-ενότητα [2.1](#) ο εξομοιωτής Carla χρησιμοποιεί ένα πλήρες λειτουργικό PythonAPI το οποίο παρέχεται από πολλά λογισμικά και πλατφόρμες για την επικοινωνία και την αλληλεπίδραση με την γλώσσα προγραμματισμού Python. Στην περίπτωση του Carla, το PythonAPI είναι μια διεπαφή που παρέχει λειτουργίες και μεθόδους για τον έλεγχο, την αλληλεπίδραση και την επέκταση των δυνατοτήτων του εξομοιωτή μέσω της Python. Το API επιτρέπει στους προγραμματιστές να γράφουν κώδικα Python που αλληλοεπιδρά με τον εξομοιωτή Carla[2]. Το PythonAPI του Carla παρέχει πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες και δυνατότητες του εξομοιωτή όπου οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν σενάρια οδήγησης, να ελέγξουν τη συμπεριφορά των οχημάτων και των πεζών, να προσομοιώσουν διάφορες καταστάσεις κυκλοφορίας και να αναπτύξουν και να ελέγξουν αλγόριθμους για την αυτόνομη οδήγηση. Στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύσσονται δύο κώδικες οι οποίοι αφορούν δύο σενάρια, παραβατική συμπεριφορά πεζών και επιθέσεις τύπου adversarial attack σε αυτόνομα οχήματα.

Πρωτο Σενάριο

Το σενάριο παραβατικής συμπεριφοράς πεζών στον εξομοιωτή Carla περιλαμβάνει την προσομοίωση και την αξιολόγηση συμπεριφορών όπου οι πεζοί δεν συμμορφώνονται με τους κανόνες κυκλοφορίας ή προκαλούν επικίνδυνες καταστάσεις στον δρόμο. Ένα παράδειγμα σεναρίου παραβατικής συμπεριφοράς πεζών είναι η αναπαράσταση πεζών που διασχίζουν τον δρόμο χωρίς να χρησιμοποιείται πεζοδρόμιο ή διάβαση πεζών.

Σχεδιασμός Σεναρίου:

- **Περιβάλλον:** Επιλογή ενός ήδη υπάρχον αστικού περιβάλλον με δρόμους, διασταυρώσεις και πεζοδρόμια χρησιμοποιώντας τον εξομοιωτή Carla.
- **Αυτόνομα οχήματα:** Εισαγωγή αυτόνομων οχημάτων στο περιβάλλον που κινούνται σύμφωνα με τους κανόνες κυκλοφορίας.
- **Σενάριο Παραβατικής Συμπεριφοράς Πεζών:** Προσθήκη πεζών στο περιβάλλον οι οποίοι εμφανίζουν παραβατική συμπεριφορά. Αυτοί οι πεζοί μπορεί να διασχίζουν τον δρόμο αιφνιδιαστικά, να περιπλανώνται στον δρόμο αντί να χρησιμοποιούν τα πεζοδρόμια, ή ακόμη και να αγνοούν τους κανόνες ασφαλείας.

Περιγραφή Σεναρίου:

Στο παράδειγμα αυτό, ο εξομοιωτής Carla παρουσιάζει μια περίπτωση όπου πεζοί εμφανίζονται αιφνιδιαστικά στο δρόμο, διασχίζοντάς τον χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους την κίνηση των οχημάτων καθώς και τους κανόνες κυκλοφορίας. Αυτή η συμπεριφορά πεζών θα μπορούσε να προκαλέσει αναστάτωση στην κυκλοφορία ή ακόμη και επικίνδυνες καταστάσεις που θα απαιτούν αντίδραση από τους οδηγούς για την αποφυγή πιθανών ατυχημάτων.

Δεύτερο Σενάριο

Το σενάριο adversarial attack στον εξομοιωτή Carla περιλαμβάνει τη δημιουργία ειδικά διαμορφωμένων συνθηκών που προκαλούν σύγχυση ή παραπλάνηση των αλγορίθμων των αυτόνομων οχημάτων. Τα επιθετικά σενάρια είναι σχεδιασμένα για να παρεμποδίσουν την ακριβή και ασφαλή λειτουργία των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης.

Σχεδιασμός Σεναρίου:

- **Περιβάλλον:** Επιλογή ενός ήδη υπάρχον αστικού περιβάλλον με δρόμους, διασταυρώσεις και πεζοδρόμια χρησιμοποιώντας τον εξομοιωτή Carla.
- **Δημιουργία Διαταραγμένων Δεδομένων:** Δημιουργία ειδικών συνθηκών ή ενέργειες που προκαλούν σύγχυση στους αλγόριθμους των αυτόνομων οχημάτων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει επίθεση στα συστήματα αναγνώρισης ή στους αισθητήρες των οχημάτων.
- **Αντιδράσεις του Συστήματος:** Αξιολόγηση της αντίδρασης των αυτόνομων οχημάτων σε αυτές τις διαταραγμένες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας τους να αντιμετωπίσουν την παραπληροφόρηση και να παραμείνουν ασφαλή.

Περιγραφή Σεναρίου:

Ένα παράδειγμα σεναρίου adversarial attack είναι η προσθήκη θορύβου στους κύριους αισθητήρες που χρησιμοποιεί ένα αυτόνομο όχημα για να κινηθεί, αυτή η κατάσταση τείνει να δημιουργήσει προβλήματα κίνησης και ανθεκτικότητας στα αυτόνομα οχήματα. Αυτό το σενάριο θα παρουσιάσει πιθανές ευπάθειες στα αυτόνομα οχήματα, και θα συμβάλει στην δημιουργία ανθεκτικότερων και πιο ασφαλών οχημάτων.

2.3 Τρόπος υλοποίησης και ενσωμάτωση στη πλατφόρμα

Η παρόν υπό-ενότητα εστιάζει στην περιγραφή του τρόπου υλοποίησης των δημιουργημένων σεναρίων και της ολοκληρωμένης τους ενσωμάτωσης στην πλατφόρμα Carla. Αναλύεται ο τρόπος δημιουργίας των σεναρίων, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και αναδεικνύονται οι προκλήσεις που προέκυψαν κατά την διαδικασία υλοποίησης και πως αυτές αντιμετωπίστηκαν, προσφέροντας μια εμπειριστατωμένη εικόνα της διαδικασίας ενσωμάτωσης τους στον εξομοιωτή. Αρχικά, για το πρώτο σενάριο που αφορά την παραβατική συμπεριφορά πεζών, δημιουργήθηκε ένας κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Python ο οποίος αναλύεται παρακάτω σε ξεχωριστά μέρη για να είναι εύκολα κατανοητός.

Ο εξομοιωτής Carla χρησιμοποιεί έναν Server ως γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ του εξομοιωτή και των εξωτερικών πελατών (clients), παρέχοντας τους απαραίτητους μηχανισμούς για την

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

αλληλεπίδραση με το περιβάλλον της προσομοίωσης. Οπότε αρχικά πρέπει να υπάρξει διάλογος επικοινωνίας του client που στην συγκεκριμένη περίπτωση είμαστε εμείς με τον εξομοιωτή Carla.

Παρακάτω αυτό επιτυγχάνεται με τις εντολές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 12.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το παρακάτω κομμάτι κώδικα είναι αναγκαίο να εφαρμόζετε στην αρχή κάθε καινούριου κώδικα, διότι οι εντολές αυτές δημιουργούν την επικοινωνία του εξομοιωτή Carla με την Unreal Engine.

<pre>import glob import os import sys</pre>	<p>Οι δηλώσεις import glob, import os, και import sys εισάγουν βασικές βιβλιοθήκες Python που χρησιμοποιούνται για λειτουργίες όπως η εύρεση αρχείων, η διαχείριση του λειτουργικού συστήματος και η διαχείριση των παραμέτρων της Python.</p>
<pre>try: sys.path.append(glob.glob('../carla/dist/carla-*%d.%d-%s.egg' % (sys.version_info.major, sys.version_info.minor, 'win-amd64' if os.name == 'nt' else 'linux-x86_64'))[0]) except IndexError: pass</pre>	<p>Στη συνέχεια, η δομή try-except προσπαθεί να βρει και να εισάγει το πακέτο του εξομοιωτή CARLA στο πρόγραμμα Python. Αυτό γίνεται με τη χρήση της βιβλιοθήκης glob για την αναζήτηση αρχείων σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο πρότυπο (pattern) και τη χρήση της sys.version_info για να εντοπίσει την έκδοση της Python. Ανάλογα με το λειτουργικό σύστημα (Windows ή Linux) και την έκδοση της Python, το πακέτο CARLA προστίθεται στον κατάλληλο κατάλογο sys.path για να μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα.</p>
<pre>import carla import random import weakref</pre>	<p>Τέλος, η γραμμή import carla εισάγει το πακέτο του εξομοιωτή Carla, εφόσον η προηγούμενη διαδικασία εύρεσης και εισαγωγής του πακέτου ολοκληρωθεί με επιτυχία. Import random, import weakref απαραίτητα πακέτα.</p>
<pre># Σύνδεση στον διακομιστή CARLA client = carla.Client('localhost', 2000) client.set_timeout(2.0)</pre>	<p>client = carla.Client('localhost', 2000): Δημιουργεί ένα αντικείμενο πελάτη (client) για την επικοινωνία με τον server του Carla. Το 'localhost' αναφέρεται στη διεύθυνση IP του τοπικού υπολογιστή, ενώ ο αριθμός θύρας (port) είναι το 2000. client.set_timeout(2.0): Ορίζει ένα χρονικό όριο (timeout) για την αναμονή απάντησης από τον server σε δευτερόλεπτα. Σε αυτήν την περίπτωση, το timeout ορίζεται σε 2 δευτερόλεπτα. Αν η απάντηση από τον server υπερβεί αυτό το χρονικό όριο, μπορεί να επιστραφεί μια εξαίρεση (exception).</p>

Σχήμα 12: Εντολές σύνδεσης Server - Client Εξομοιωτή

Στην συνέχεια αφού επιτευχθεί η σύνδεση με τον Server, οι υπόλοιπες εντολές του κώδικα περιγράφουν πως δημιουργήθηκε το σενάριο παραβατικής συμπεριφοράς.

```
# Επιλέγουμε ένα blueprint για πεζό
world = client.get_world()
blueprint_library = world.get_blueprint_library()
walker_bp = blueprint_library.filter('walker.pedestrian.0001')[0]
```

world = client.get_world(): Αυτή η εντολή αποκτά το αντικείμενο κόσμου (world object) από τον client που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Ο κόσμος αναφέρεται στο εικονικό περιβάλλον της προσομοίωσης του CARLA όπου θα λαμβάνουν χώρα οι διάφορες προσομοιώσεις και λειτουργίες.

blueprint_library = world.get_blueprint_library(): Αυτή η εντολή ανακτά τη βιβλιοθήκη των blueprints (σχεδίων) από τον κόσμο. Στο CARLA, τα blueprints αναπαριστούν τα διάφορα οχήματα, αντικείμενα και περιβάλλοντα στα οποία μπορεί να ανταποκριθεί το σύστημα προσομοίωσης.

walker_bp = blueprint_library.filter('walker.pedestrian.0001')[0]: Με αυτήν την εντολή, από τη βιβλιοθήκη των blueprints, φιλτράρεται το συγκεκριμένο blueprint πεζού με βάση το όνομά του ('walker.pedestrian.0001'). Αν υπάρχουν περισσότερα από ένα blueprints που ταιριάζουν σε αυτήν την περιγραφή, επιστρέφεται το πρώτο (index 0) από αυτά.

```
# Δημιουργία πολλών πεζών
```

```
for _ in range(50):
```

```
# Δημιουργία ενός πεζού σε μια τυχαία θέση
```

```
spawn_point = carla.Transform(carla.Location(x=random.uniform(-100, 100), y=random.uniform(-100, 100), z=1))
```

```
walker = world.try_spawn_actor(walker_bp, spawn_point)
```

```
# Εάν η δημιουργία αποτύχει, προσπαθούμε ξανά
```

```
if walker is None:
```

```
    continue
```

```
# Ορίζουμε μια τυχαία επιθυμητή ταχύτητα και κατεύθυνση
```

```
walker_control = carla.WalkerControl()
```

```
walker_control.speed = random.uniform(4.0, 4.0) # m/s
```

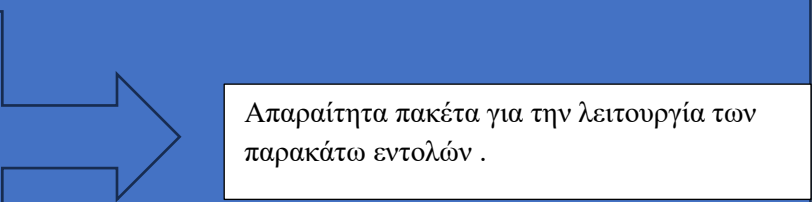
```
walker_control.direction = carla.Vector3D(x=random.uniform(-1.0, 1.0), y=random.uniform(-1.0, 1.0), z=0.0)
```

```
walker.apply_control(walker_control)
```

Δημιουργία πεζών: Χρησιμοποιώντας έναν βρόχο **for**, δημιουργείται μια ομάδα από 50 πεζούς. Κάθε πεζός θα τοποθετηθεί σε μια τυχαία θέση στο περιβάλλον προσομοίωσης. **Τοποθέτηση σε τυχαίες θέσεις:** Για κάθε πεζό, δημιουργείται ένα τυχαίο σημείο τοποθέτησης στον χώρο (τριδιάστατο σύστημα συντεταγμένων x, y, z) εντός του εύρους [-100, 100] σε κάθε διάσταση. **Δοκιμή δημιουργίας πεζού:** Χρησιμοποιείται η **world.try_spawn_actor()** για να δημιουργήσει έναν πεζό στην τυχαία θέση που ορίστηκε προηγουμένως. Εάν η δημιουργία αποτύχει (πιθανώς λόγω συγκρούσεων με άλλα αντικείμενα), η διαδικασία προχωρά στον επόμενο βρόχο για να προσπαθήσει ξανά να δημιουργήσει τον πεζό. **Ορισμός τυχαίων ταχυτήτων και κατευθύνσεων:** Για κάθε δημιουργημένο πεζό, ορίζεται μια τυχαία ταχύτητα και κατεύθυνση κίνησης. Η ταχύτητα τίθεται σε τιμές μεταξύ 4.0 m/s και 4.0 m/s. Η κατεύθυνση ορίζεται ως ένα τυχαίο διάνυσμα στο επίπεδο x-y με συντεταγμένες στο εύρος [-1.0, 1.0]. **Εφαρμογή ελέγχου κίνησης:** Οι τυχαία επιθυμητές ταχύτητες και κατευθύνσεις εφαρμόζονται στους πεζούς χρησιμοποιώντας την **apply_control()** για να αλλάξει η ταχύτητα και η κατεύθυνσή τους.

Σχήμα 13: Κώδικας δημιουργίας πεζών με παραβατική συμπεριφορά[26]

Συνοπτικά, ο κώδικας [Σχήμα 12](#), [Σχήμα 13](#) δημιουργεί ένα γκρουπ 50 πεζών σε τυχαίες θέσεις και καθορίζει τυχαίες κινήσεις για κάθε πεζό καθιστώντας έτσι την κίνηση του κάθε πεζού παραβατική αφού θα κινείται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση χωρίς να τηρούνται οι κανόνες κυκλοφορίας. Το δεύτερο σενάριο που αναπτύχθηκε και αφορά adversarial attack σε αυτόνομα οχήματα. Αρχικά, όπως και στο προηγούμενο σενάριο έτσι και σε αυτό χρειάζεται να υπάρξει σύνδεση στον Server του εξομοιωτή επομένως το πρώτο μέρος του κώδικα είναι ίδιο με τον προηγούμενο κώδικα [Βλ. Σχήμα 12](#). Στην συνέχεια το επόμενο μέρος του κώδικα που αφορά την δημιουργία θορύβου στους αισθητήρες του οχήματος αναλύεται ως εξής:

<pre>import carla import math import random import time import numpy as np import cv2 import matplotlib.pyplot as plt</pre>	
<pre># Συνδέση πελάτη και ρυθμίση βιβλιοθήκης bp και τα σημεία αναπαραγωγής world = client.get_world() bp_lib = world.get_blueprint_library() spawn_points = world.get_map().get_spawn_points()</pre>	
<p>world = client.get_world(): Αυτή η εντολή αποκτά το αντικείμενο κόσμου (world object) από τον client του CARLA. Ο κόσμος αναφέρεται στο εικονικό περιβάλλον της προσομοίωσης του CARLA όπου λαμβάνουν χώρα οι διάφορες προσομοιώσεις και λειτουργίες.</p> <p>bp_lib = world.get_blueprint_library(): Αυτή η εντολή ανακτά τη βιβλιοθήκη των blueprints (σχεδίων) από τον κόσμο (world object). Τα blueprints αναπαριστούν τα διάφορα οχήματα, αντικείμενα και περιβάλλοντα που μπορεί να ανταποκριθεί το σύστημα προσομοίωσης.</p> <p>spawn_points = world.get_map().get_spawn_points(): Αυτή η εντολή ανακτά τις θέσεις εκκίνησης (spawn points) από τον χάρτη του περιβάλλοντος προσομοίωσης του CARLA.</p>	
<pre># Δημιουργία οχημάτων vehicle_bp = bp_lib.find('vehicle.audi.a2') vehicle = world.try_spawn_actor(vehicle_bp, random.choice(spawn_points)) vehicle.set_autopilot(True)</pre>	
<p>vehicle_bp = bp_lib.find('vehicle.audi.a2'): Αυτή η γραμμή κώδικα αναζητά ένα συγκεκριμένο blueprint οχήματος με το όνομα 'vehicle.audi.a2' στη βιβλιοθήκη των blueprints bp_lib.</p> <p>vehicle = world.try_spawn_actor(vehicle_bp, random.choice(spawn_points)): Αυτή η γραμμή κώδικα προσπαθεί να δημιουργήσει ένα αντικείμενο οχήματος χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο blueprint (vehicle_bp) σε μια τυχαία θέση εκκίνησης (spawn_points). Αν η δημιουργία του οχήματος είναι επιτυχής, η μεταβλητή vehicle θα περιέχει το αντικείμενο του οχήματος που δημιουργήθηκε.</p> <p>vehicle.set_autopilot(True): Αυτή η γραμμή κώδικα ορίζει το όχημα σε λειτουργία αυτόνομης οδήγησης (autopilot mode), εφόσον η δυνατότητα αυτόνομης οδήγησης υποστηρίζεται από το CARLA. Αυτό σημαίνει ότι το όχημα θα ακολουθήσει αυτόματα ένα σύνολο κανόνων για να κινηθεί στο περιβάλλον, χωρίς την επέμβαση του χρήστη.</p>	

Σχήμα 14: Κώδικας Adversarial attack[27]

Μετακίνηση κάμερας πίσω από κάμερα

```
spectator = world.get_spectator()
transform = carla.Transform(vehicle.get_transform().transform(carla.Location(x=-4,z=2.5)),vehicle.get_transform().rotation)
spectator.set_transform(transform)
```

spectator = world.get_spectator(): Αυτή η γραμμή κώδικα ανακτά το αντικείμενο του θεατή (spectator) από τον κόσμο της προσομοίωσης στο CARLA. Ο θεατής είναι ένα εικονικό στοιχείο που μπορεί να μετακινηθεί για να παρακολουθεί την προσομοίωση από διάφορες θέσεις και γωνίες.
transform=carla.Transform(vehicle.get_transform().transform(carla.Location(x=4,z=2.5)),vehicle.get_transform().rotation): Αυτή η γραμμή κώδικα υπολογίζει μια νέα μετασχηματισμένη θέση για τον θεατή, ώστε να τον τοποθετήσει πίσω από το όχημα και να έχει μια καλή γωνία θέασης. Χρησιμοποιεί τη θέση και την περιστροφή του οχήματος για να υπολογίσει τη νέα θέση του θεατή.
spectator.set_transform(transform): Αυτή η γραμμή κώδικα ορίζει τον θεατή στη νέα μετασχηματισμένη θέση που υπολογίστηκε προηγουμένως. Καθιστώντας τον θεατή να τοποθετηθεί πίσω από το όχημα και να έχει μια άνετη θέα για να παρακολουθεί την προσομοίωση.

#Εύρεση επιθυμητής θέσης κάμερας

```
camera_bp = bp_lib.find('sensor.camera.rgb')
camera_init_trans = carla.Transform(carla.Location(z=2))
camera = world.spawn_actor(camera_bp, camera_init_trans, attach_to=vehicle)
time.sleep(0.2) # Αλλαγής κάμερας
spectator.set_transform(camera.get_transform())
camera.destroy()
```

camera_bp = bp_lib.find('sensor.camera.rgb'): Αναζητά ένα blueprint για μια κάμερα RGB στη βιβλιοθήκη των blueprints.
camera_init_trans = carla.Transform(carla.Location(z=2)): Ορίζει μια αρχική θέση για την κάμερα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η κάμερα τοποθετείται σε ύψος 2 μέτρων πάνω από το έδαφος.
camera = world.spawn_actor(camera_bp, camera_init_trans, attach_to=vehicle): Δημιουργεί μια νέα κάμερα στη θέση που ορίστηκε παραπάνω και τη συνδέει με το όχημα (**vehicle**). Αυτό σημαίνει ότι η κάμερα θα ακολουθεί το όχημα και θα κινείται μαζί του.
time.sleep(0.2): Κάνει μια καθυστέρηση 0.2 δευτερολέπτων για να δώσει χρόνο στην κάμερα να εγκατασταθεί πλήρως.
spectator.set_transform(camera.get_transform()): Ορίζει τη θέση του θεατή (**spectator**) στη θέση της κάμερας. Αυτό σημαίνει ότι ο θεατής θα παρακολουθεί τώρα την προσομοίωση από τη θέση και τη γωνία της κάμερας.
camera.destroy(): Καταστρέφει το αντικείμενο της κάμερας μετά το πέρας της περιόδου παρακολούθησης. Αυτό εξαλείφει την κάμερα από την προσομοίωση.

Κάμερα αναπαραγωγής

```
camera_init_trans = carla.Transform(carla.Location(z=2))
camera = world.spawn_actor(camera_bp, camera_init_trans, attach_to=vehicle)
```

camera_init_trans = carla.Transform(carla.Location(z=2)): Δημιουργεί μια αρχική θέση για την κάμερα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η κάμερα τοποθετείται σε ύψος 2 μέτρων πάνω από το έδαφος. Το αντικείμενο **carla.Location(z=2)** ορίζει το ύψος της θέσης της κάμερας.
camera = world.spawn_actor(camera_bp, camera_init_trans, attach_to=vehicle): Δημιουργεί ένα αντικείμενο κάμερας στη θέση που ορίστηκε παραπάνω και τη συνδέει με το όχημα (**vehicle**). Αυτό σημαίνει ότι η κάμερα θα ακολουθεί το όχημα .

Σχήμα 15: Κώδικας Adversarial Attack[27]

<pre>#Η επανάκληση αποθηκεύει τα δεδομένα του αισθητήρα για επαναχρησιμοποίηση def camera_callback(image, data_dict): # Μετατροπή εικόνας σε πίνακα numpy img = np.reshape(np.copy(image.raw_data), (image.height, image.width, 4)) # Προσθήκη Gauss θόρυβου mean = 0 var = 0.5 sigma = var**0.5 gauss = np.random.normal(mean,sigma,(image.height, image.width, 4)) gauss = gauss.reshape(image.height, image.width, 4) img = img + gauss</pre>	
<p>def camera_callback(image, data_dict):: Ορίζει έναν callback με δύο ορίσματα: την εικόνα (που προκύπτει από τον αισθητήρα) και ένα λεξικό (data_dict) όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα. img = np.reshape(np.copy(image.raw_data), (image.height, image.width, 4)): Μετατρέπει τα δεδομένα της εικόνας που λαμβάνονται από τον αισθητήρα σε ένα πίνακα numpy, λαμβάνοντας υπόψη το ύψος, το πλάτος και τα κανάλια της εικόνας (σε αυτή την περίπτωση, έχουμε ένα RGBA εικονοστοιχείο). mean = 0, var = 0.5, sigma = var**0.5, gauss = np.random.normal(mean, sigma, (image.height, image.width, 4)): Δημιουργείται ένας τυχαίος θόρυβος Gaussian για κάθε pixel της εικόνας. img = img + gauss: Προσθέτει τον τυχαίο θόρυβο Gaussian στην αρχική εικόνα.</p>	
<pre># Αποθήκευση θορυβώδους εικόνας data_dict['image'] = img filename = f"captured_images/{time.time()}.png" # Λήψη διαστάσεων κάμερας image_w = camera_bp.get_attribute("image_size_x").as_int() image_h = camera_bp.get_attribute("image_size_y").as_int() camera_data = {'image': np.zeros((image_h, image_w, 4))} # Έναρξη καταγραφής camera.listen(lambda image: camera_callback(image, camera_data)) # Παράθυρο OpenCV cv2.namedWindow('RGB Camera', cv2.WINDOW_AUTOSIZE) cv2.imshow('RGB Camera', camera_data['image']) cv2.waitKey(1)</pre>	<p>data_dict['image'] = img: Αποθηκεύει την εικόνα με τον τυχαίο θόρυβο στο λεξικό data_dict με το κλειδί 'image'. filename=f"captured_images/{time.time()}.png": Δημιουργεί ένα όνομα αρχείου που περιλαμβάνει την τρέχουσα χρονική σήμανση για την αποθήκευση της εικόνας ως αρχείο PNG.</p>
<pre>image_w = camera_bp.get_attribute("image_size_x").as_int(), image_h=camera_bp.get_attribute("image_size_y").as_int(), camera_data={'image':np.zeros((image_h, image_w, 4))}</pre> <p>Ανακτούν τις διαστάσεις της κάμερας και αρχικοποιούν ένα λεξικό camera_data με μια εικόνα μηδέν για αρχική χρήση. camera.listen(lambda image: camera_callback(image, camera_data)): Ξεκινά την ακρόαση για εικόνες από την κάμερα και εφαρμόζει το callback camera_callback σε κάθε εικόνα που λαμβάνει, μεταβιβάζοντας το λεξικό camera_data που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση των δεδομένων της εικόνας. cv2.namedWindow('RGB Camera', cv2.WINDOW_AUTOSIZE), cv2.imshow('RGB Camera', camera_data['image']), cv2.waitKey(1): Δημιουργεί ένα παράθυρο ονοματισμένο 'RGB Camera' με τη βιβλιοθήκη OpenCV και εμφανίζει την εικόνα από την κάμερα σε αυτό το παράθυρο, μεταφέροντας τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο λεξικό camera_data. Η cv2.waitKey(1) περιμένει ένα πλήκτρο να πατηθεί για να συνεχίσει την εκτέλεση του κώδικα.</p>	

Σχήμα 16: Κώδικας Adversarial Attack[27]

```
# Βρόχος παιχνιδιού
while True:
# Αποθηκεύστε την εικόνα
cv2.imwrite(filename, camera_data['image'])
# Get the current control of the autopilot
control = vehicle.get_control()
# Προσθήκη θορύβου στον έλεγχο
control.throttle += np.random.normal(0, 0.1)
control.steer += np.random.normal(0, 0.1)
# Εφαρμογή θορύβου στο όχημα
vehicle.apply_control(control)
# Imshow renders sensor data to display
cv2.imshow('RGB Camera', camera_data['image'])
```

cv2.imwrite(filename, camera_data['image']): Αποθηκεύει την εικόνα που προέρχεται από την κάμερα σε ένα αρχείο με το όνομα **filename** σε μορφή PNG.
control = vehicle.get_control(): Λαμβάνει τον τρέχοντα έλεγχο του αυτόνομου οχήματος.
control.throttle += np.random.normal(0, 0.1), control.steer += np.random.normal(0, 0.1): Προσθέτει θόρυβο στις εντολές ελέγχου του αυτόνομου οχήματος. Ο θόρυβος προστίθεται στο γκάζι (**throttle**) και στον τιμόνι (**steer**) με χρήση της συνάρτησης **np.random.normal(0, 0.1)**.
vehicle.apply_control(control): Εφαρμόζει τον τροποποιημένο έλεγχο στο αυτόνομο όχημα.
cv2.imshow('RGB Camera', camera_data['image']): Εμφανίζει την εικόνα από την κάμερα σε ένα παράθυρο χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη OpenCV.

```
# Έξοδος εάν ο χρήστης πληκτρολογήσει 'q'
if cv2.waitKey(1) == ord('q'):
break
# Έξοδος OpenCV
cv2.destroyAllWindows()
cv2.stop()
```

if cv2.waitKey(1) == ord('q'): Αυτή η συνθήκη ελέγχει αν ο χρήστης πατήσει το πλήκτρο 'q' στο παράθυρο που εμφανίζεται η εικόνα. Η συνάρτηση **cv2.waitKey(1)** περιμένει για ένα πλήκτρο να πατηθεί και επιστρέφει το ASCII κωδικό του πλήκτρου.
break: Αν ο χρήστης πατήσει το πλήκτρο 'q', τότε η εντολή **break** διακόπτει τον βρόχο επανάληψης και το πρόγραμμα συνεχίζει με την εκτέλεση του κώδικα που βρίσκεται μετά από τον βρόχο.
cv2.destroyAllWindows(): Κλείνει όλα τα παράθυρα που έχουν δημιουργηθεί από τη βιβλιοθήκη OpenCV.
cv2.stop(): Καλείται για να τερματίσει ορισμένες λειτουργίες της βιβλιοθήκης OpenCV που έχουν ξεκινήσει σε προηγούμενα στάδια του προγράμματος.

Σχήμα 17: Κώδικας Adversarial Attack[27]

Συμπερασματικά, ο παραπάνω κώδικας Σχήμα 14, Σχήμα 15, Σχήμα 16, Σχήμα 17 ξεκινά συνδέοντας το πρόγραμμα με τον εξομοιωτή Carla και δημιουργεί ένα αυτόνομο όχημα στο περιβάλλον του εξομοιωτή. Στη συνέχεια, δημιουργεί μια κάμερα που είναι συνδεδεμένη με το όχημα και με ένα callback προσθέτει τυχαίο θόρυβο στις εικόνες που λαμβάνει η κάμερα. Έπειτα, χρησιμοποιεί έναν βρόχο για να λαμβάνει εικόνες από την κάμερα και τελικά εμφανίζει τις τροποποιημένες εικόνες που έχει λάβει σε παράθυρο OpenCV και τερματίζει το πρόγραμμα όταν ο χρήστης πατήσει το πλήκτρο 'q'.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Αφού λοιπόν έχουν ολοκληρωθεί οι κώδικες των σεναρίων επόμενο βήμα είναι η ενσωμάτωση τους στον εξομοιωτή, αυτό επιτυγχάνεται με τα παρακάτω βήματα.

Αρχικά, γίνεται εκκίνηση του εξομοιωτή με την παρακάτω εντολή.

```
Make launch
```

Σχήμα 18: Εντολή εκκίνησης εξομοιωτή

Έπειτα, για την εκτέλεση των σεναρίων πρέπει να γίνει μετάβαση στο συγκεκριμένο φάκελο που έχουν υλοποιηθεί τα σενάρια.

```
cd Carla/PythonAPI/examples
```

Σχήμα 19: Εντολή μετάβασης σε συγκεκριμένη διαδρομή

Αφού γίνει η μετάβαση στο συγκεκριμένο φάκελο, επόμενο βήμα είναι η εκτέλεση του αρχείου αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή: **Python3 <ονομα αρχείου python>** (στο παράδειγμα όνομα αρχείου `data_nosing.py`).

```
Python3 data_nosing.py
```

Σχήμα 20: Εντολή εκτέλεσης αρχείου

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ειδικές συνθήκες και δοκιμές.

Το κεφάλαιο "Ειδικές συνθήκες και δοκιμές" προσφέρει μια βαθύτερη κατανόηση των σεναρίων που έχουν δημιουργηθεί στον εξομοιωτή Carla. Στο πλαίσιο αυτού του κεφαλαίου, αναλύονται και εξετάζονται προσεκτικά σενάρια όπου πεζοί εμφανίζουν αναπάντεχες ή παραβατικές συμπεριφορές, καθώς και περιπτώσεις επιθέσεων (adversarial attacks) που χρησιμοποιούνται και επηρεάζουν την λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων σε αυτό το περιβάλλον προσομοίωσης. Αυτό το κεφάλαιο αναλύει τις συνθήκες υπό τις οποίες οι πεζοί μπορούν να αναπτύξουν συμπεριφορές που αποκλίνουν από τα συνηθισμένα πρότυπα, καθώς και ένα είδος επίθεσης που μπορεί να επιδράσει αρνητικά στην αυτονομία ή την ασφάλεια των οχημάτων. Περιγράφονται συγκεκριμένα παραδείγματα παραβατικών συμπεριφορών πεζών και επιθέσεων που επηρεάζουν την κίνηση, καθώς και οι συνθήκες υπό τις οποίες αυτές οι καταστάσεις είναι πιο πιθανές να συμβούν. Επιπλέον, παρέχονται προτάσεις για δοκιμές και αναλύσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση και την ανίχνευση αυτών των περιβαλλοντικών συνθηκών και επιθέσεων.

3.1 Σενάριο παραβατικής συμπεριφοράς πρακτόρων

Προτού παρουσιαστούν τα σενάρια, είναι κρίσιμο να αναλυθεί λεπτομερώς η φύση των στοιχείων που απαρτίζουν τα σενάρια παραβατικής συμπεριφοράς πεζών. Τα συγκεκριμένα σενάρια αναπτύχθηκαν βασιζόμενα σε πραγματικές στατιστικές και έρευνες[10].

1. Παραβίαση Φαναριών από Πεζούς:

- Αναπαριστά περιπτώσεις όπου πεζοί παραβιάζουν το κόκκινο φανάρι κατά τη διάρκεια της διασταύρωσης.
- Εντοπίζει τις καταστάσεις όπου οι πεζοί αγνοούν τους κανόνες κυκλοφορίας, αποτελώντας πιθανό κίνδυνο για την αυτόνομη κυκλοφορία.

2. Πεζοί στο Κέντρο του Δρόμου:

- Προσομοιώνει περιπτώσεις όπου πεζοί κινούνται στο κέντρο του οδοστρώματος αντί να χρησιμοποιούν πεζοδρόμιο.
- Αναδεικνύει την ανάγκη για αντιμετώπιση καταστάσεων όπου οι πεζοί είναι εκτός των προβλεπόμενων περιοχών.

3. Πεζοί χωρίς Χρήση Διαβάσεων:

- Κατασκευάζει σενάρια όπου οι πεζοί διασχίζουν τον δρόμο εκτός των επισημασμένων διαβάσεων.
- Επισημαίνει την ανάγκη για αντίδραση αυτόνομων οχημάτων σε περιβαλλοντικές καταστάσεις που εκτυλίσσονται εκτός των συνηθισμένων προδιαγραφών.

Η βασική ιδέα είναι να δημιουργηθούν σενάρια που αντανakλούν πραγματικές καταστάσεις, επιτρέποντας στα αυτόνομα οχήματα να αντιμετωπίσουν και να ανταποκριθούν σε πραγματικές προκλήσεις κυκλοφορίας.

Η υπό-ενότητα αυτή αναδεικνύει με λεπτομερή ανάλυση τις συμπεριφορές των πεζών που ξεφεύγουν από τα συνήθη πρότυπα. Αυτή η ανάλυση εστιάζει σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου οι πεζοί εμφανίζουν απρόβλεπτες, ανεπιθύμητες ή ασυνήθιστες συμπεριφορές που επηρεάζουν την οδική κυκλοφορία και τη γενικότερη ασφάλεια των μελών του οδικού δικτύου. Η επικέντρωση αυτής της ανάλυσης γίνεται σε παραδείγματα που παρουσιάζουν αυτού του είδους τις καταστάσεις αποσκοπεί στην ανάδειξη των μη ασφαλών συμπεριφορών των πεζών, που μπορούν να αποτελέσουν προκλήσεις για τους οδηγούς και τα οχήματα στον δρόμο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, πρόκειται για μια λεπτομερή ανάλυση που αποτυπώνει ρεαλιστικά σενάρια που συναντώνται σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

3.2 Σενάριο adversarial attack σε αυτόνομα οχήματα

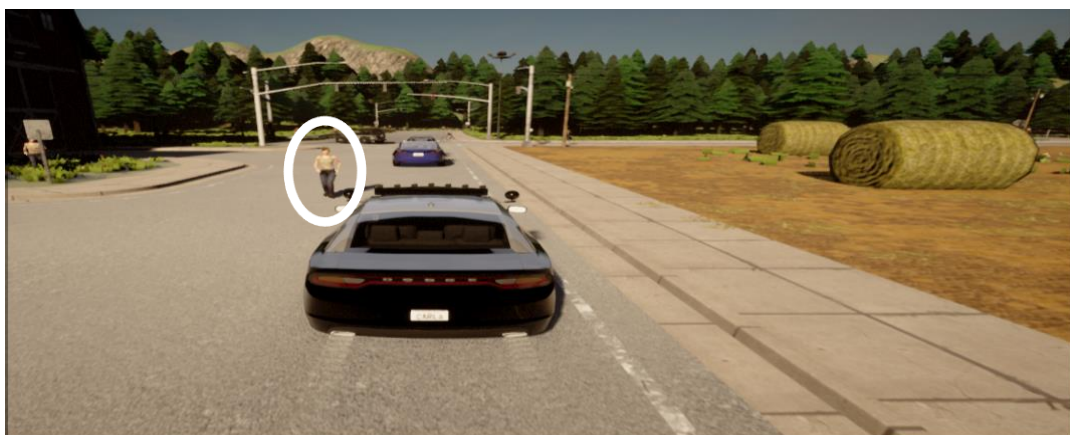
Το σενάριο "Adversarial Attack σε Αυτόνομα Οχήματα" εστιάζει στην πρόκληση που προκύπτει όταν κακόβουλοι επιτιθέμενοι επιδιώκουν να αλλοιώσουν την αντίληψη των αυτόνομων οχημάτων για επικίνδυνους σκοπούς. Σύμφωνα με την έρευνα[11], το σενάριο βασίζεται στην εφαρμογή τεχνικών adversarial learning, όπου προστίθεται θόρυβος στους αισθητήρες του οχήματος. Στην υπό-ενότητα αυτή, προβάλλονται επικίνδυνες καταστάσεις που επικεντρώνονται αποκλειστικά στην εκτέλεση επιθέσεων σε αυτόνομα οχήματα. Οι εν λόγω επιθέσεις εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και ποικίλλουν ανάλογα με τον στόχο και τον σκοπό που επιδιώκει ο δράστης που τις υλοποιεί. Το σενάριο αυτό υλοποιήθηκε σε αυτόνομο όχημα στον εξομοιωτή Carla. Ειδικότερα, εφαρμόστηκε μια διαδικασία προσθήκης θορύβου στους βασικούς αισθητήρες του οχήματος, οι οποίοι αποτελούνταν από κάμερες και LIDAR. Το αποτέλεσμα αυτής της επέμβασης ήταν η σημαντική παρεμπόδιση της ικανότητας αναγνώρισης του περιβάλλοντος από τους αισθητήρες, οδηγώντας έτσι σε ελλιπή ή ανακριβή αντίληψη του περιβάλλοντος από το όχημα. Ως αποτέλεσμα, το αυτόνομο όχημα δεν κατάφερε να εκτελέσει σωστά τις απαιτούμενες κινήσεις κατά την πλοήγησή του στο οδικό δίκτυο, παρουσιάζοντας δυσλειτουργία στην κανονική του συμπεριφορά.

3.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται σε μια σειρά εικόνων που αναδεικνύουν την εξέλιξη και τα επίπεδα επίδοσης των πραγματοποιηθέντων πειραμάτων.

Σενάριο παραβατικής συμπεριφοράς

Στην παρακάτω Εικόνα 3.1 παρατηρείται πως υπάρχει ένας πεζός ο οποίος κινείται στο κέντρο του δρόμου (2^η περίπτωση που αναφέρθηκε στην 3.1) αγνοώντας τα αυτοκίνητα και τον κίνδυνο που μπορεί να προκαλέσει για τον ίδιο του τον εαυτό αλλά και για τα οχήματα.



Εικόνα 3.1: Παραβατική συμπεριφορά πέζου στο κέντρο του δρόμου

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

Στην επόμενη **Εικόνα 3.2** παρατηρείται δύο πεζοί να αγνοούν τα σήματα κυκλοφορίας τρέχοντας στη μέση του δρόμου και προκαλώντας κυκλοφοριακή σύγχυση. Συγκεκριμένα, ο σηματοδότης είναι πράσινος για τα αυτοκίνητα και φαίνεται ο πεζός να αγνοεί πλήρως αυτή την ένδειξη διασχίζοντας την διάβαση πεζών. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την επικινδυνότητα της κατάστασης αφού αναδεικνύει ένα γεγονός το οποίο συμβαίνει αρκετά συχνά και στην πραγματικότητα.

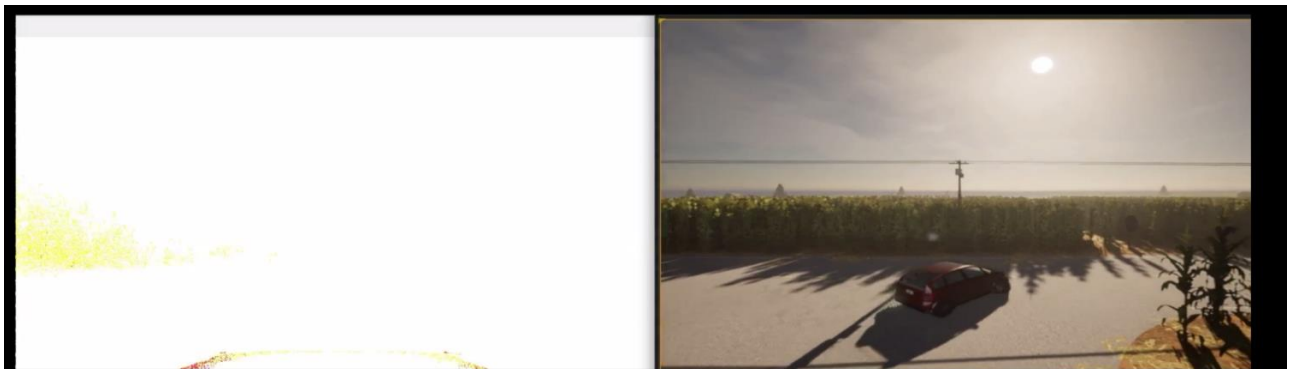


Εικόνα 3.2: Κυκλοφοριακή σύγχυση λόγω άγνοιας των σημάτων κυκλοφορίας

Επομένως, η εν λόγω κατάσταση προβάλλει επικίνδυνες περιπτώσεις που αποτελούν απειλή τόσο για τους πεζούς όσο και για τα οχήματα. Αναδεικνύει επικίνδυνες συμπεριφορές και αντιδράσεις που συχνά παρουσιάζονται στην πραγματική οδική κυκλοφορία, καθιστώντας το εν λόγω σενάριο ένα εξαιρετικό εκπαιδευτικό εργαλείο για την εκπαίδευση νέων οδηγών. Επιπλέον, αποτελεί και ένα μέσο παρουσίασης των κινδύνων που ενδέχεται να εμφανιστούν σε ένα οδικό δίκτυο.

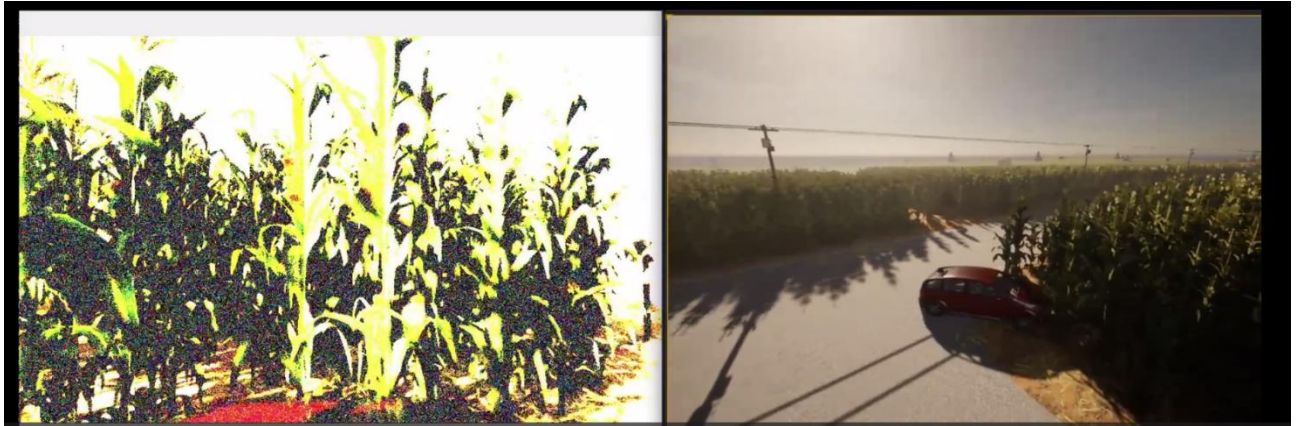
Σενάριο adversarial attack

Στην εικόνα παρατηρείται πως η προσθήκη θορύβου επηρεάζει αρκετά τον αλγόριθμο αυτόνομης οδήγησης με αποτέλεσμα να είναι μη εφικτή η προβλεπόμενη απόδοση του.



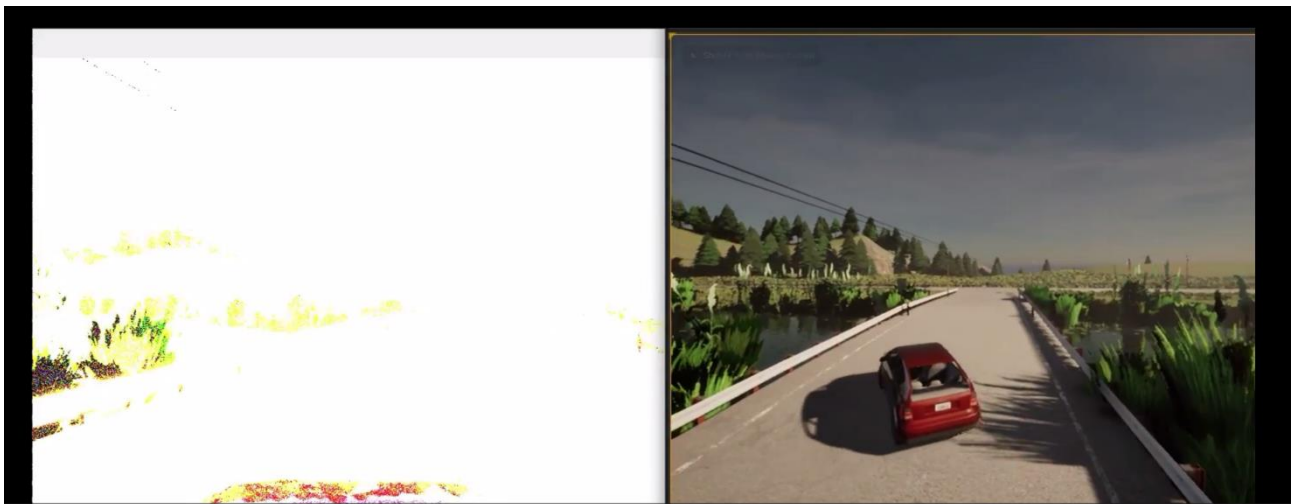
Εικόνα 3.3: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (πριν)

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

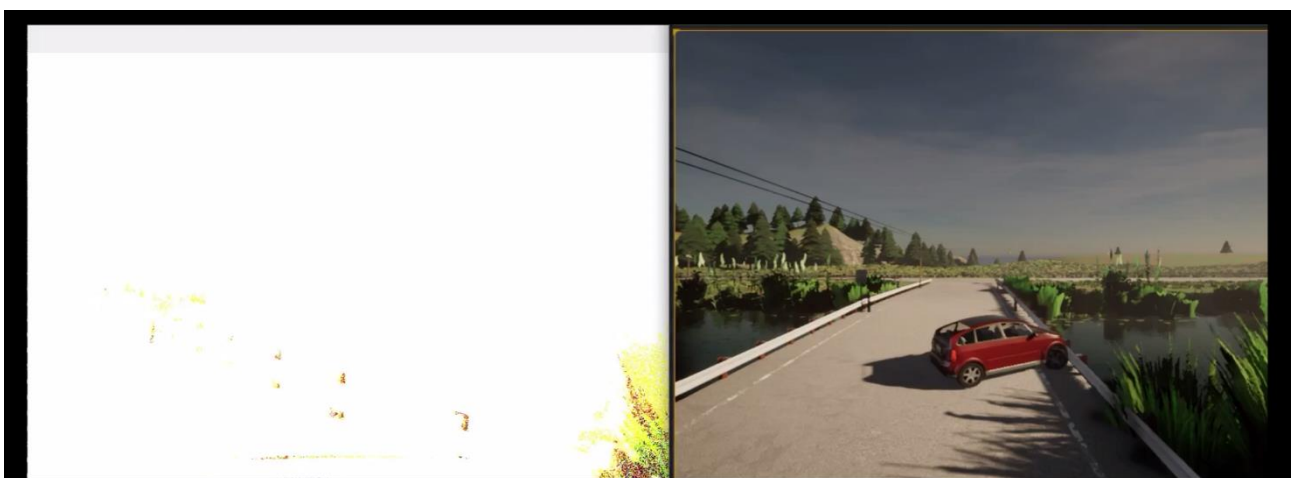


Εικόνα 3.4: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (μετά)

Στο αριστερό παράθυρο των παραπάνω εικόνων είναι η κάμερα του αυτόνομου οχήματος με την προσθήκη θορύβου και στο δεξί παράθυρο η αντίδραση του αυτόματου πιλότου. Παρατηρείται πως το όχημα αποτυγχάνει να συμπεριφερθεί σωστά αφού η προσθήκη θορύβου επηρεάζει την εικόνα που δέχεται ο αυτόματος πιλότος σαν είσοδο, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αναγνωρίσει το περιβάλλον και να φερθεί ανάλογα.



Εικόνα 3.5: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (πριν)



Εικόνα 3.6: Adversarial attack σε αυτόνομο όχημα (μετά)

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Εφαρμογές και μελλοντικές επεκτάσεις.

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στις ποικίλες εφαρμογές και τις μελλοντικές επεκτάσεις του εξομοιωτή Carla, προσφέροντας μια εκτενή ματιά στον ρόλο του στον κόσμο των αυτόνομων οχημάτων και των ρομποτικών συστημάτων. Μέσα από τις προσομοιώσεις, ο εξομοιωτής Carla αναδεικνύει την ικανότητά του να χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη, εκπαίδευση και δοκιμή των αλγορίθμων αυτόνομων οχημάτων. Διερευνώνται οι γενικές εφαρμογές του, καθώς και οι προοπτικές μελλοντικές επεκτάσεις και αναδεικνύεται ο ρόλος του στη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας και της έρευνας σε αυτόν τον σημαντικό τομέα. Εξερευνώνται πρακτικές εφαρμογές, όπως η ανάπτυξη και εκπαίδευση αλγορίθμων αυτόνομης οδήγησης, τα τεστ ασφαλείας, η ανάπτυξη συστημάτων αναγνώρισης αντικειμένων, καθώς και η προσομοίωση κίνησης οχημάτων σε αστικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, εξετάζονται οι προοπτικές μελλοντικές επεκτάσεις του εξομοιωτή, αναδεικνύοντας τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που αναμένονται στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Με αυτόν τον τρόπο, προσφέρεται ένας επιμελής οδηγός για την αξιοποίηση του εξομοιωτή Carla στο παρόν και το μέλλον, διαμορφώνοντας έτσι την εξέλιξη της τεχνολογίας της αυτόνομης οδήγησης.

4.1 Εφαρμογές αξιοποίησης του εξομοιωτή

Στο παρακάτω κείμενο, παρουσιάζονται διάφορες πρωτοποριακές εφαρμογές που αξιοποιούν τον εξομοιωτή Carla, αποκαλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ευκαιριών για την ανάπτυξη και τον πειραματισμό με προηγμένες τεχνολογίες αυτόνομης οδήγησης.

Κάποιες από αυτές είναι:

1. Ανάπτυξη και Εκπαίδευση Αλγορίθμων Αυτόνομης Οδήγησης:

- Χρησιμοποίηση του Carla για την εκπαίδευση και τον έλεγχο αλγορίθμων αυτόνομης οδήγησης.
- Πειραματισμός με διάφορες στρατηγικές και συμπεριφορές οδήγησης.

2. Δοκιμές Συστημάτων Ασφαλείας Οχημάτων:

- Εξομοίωση καταστάσεων κινδύνου για να δοκιμάσετε τα συστήματα ασφαλείας των αυτόνομων οχημάτων.
- Ανάπτυξη αλγορίθμων αντίδρασης σε επικίνδυνες καταστάσεις.

3. Ανάπτυξη Συστημάτων Αναγνώρισης Πεζών και Αντικειμένων:

- Χρήση του εξομοιωτή για την ανάπτυξη και βελτίωση συστημάτων ανίχνευσης πεζών και αντικειμένων.
- Εκπαίδευση μοντέλων μηχανικής μάθησης για την αναγνώριση αντικειμένων στο περιβάλλον.

4. Δοκιμές Συστημάτων Ενεργητικής Ασφάλειας:

- Ανάπτυξη και δοκιμή συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας, όπως συστήματα αντιμετώπισης κινδύνων και ελέγχου οχημάτων.

5. Προσομοίωση Κίνησης Οχημάτων σε Πόλεις:

- Ανάπτυξη εφαρμογών που προσομοιώνουν την κίνηση οχημάτων σε αστικά περιβάλλοντα.
- Μελέτη της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον και άλλα οχήματα.

6. Έρευνα Αυτοματοποιημένης Οδήγησης Σε Ειδικά Σενάρια:

- Δημιουργία σεναρίων ειδικών περιβαλλόντων (π.χ., καιρικές συνθήκες, έργα κατασκευής) για έρευνα και ανάπτυξη στρατηγικών αυτόνομης οδήγησης.

4.2 Μελλοντικές επεκτάσεις του εξομοιωτή

Ο εξομοιωτής Carla, ενώ αποτελεί ήδη ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάπτυξη και εξομοίωση αυτόνομων οχημάτων, παρουσιάζει ενθαρρυντικές προοπτικές για μελλοντικές επεκτάσεις και εξελίξεις. Με την ταχεία πρόοδο στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης και της αυτόνομης οδήγησης, θα μπορούσαν να επιτευχθούν τα εξής:

1. Βελτιωμένα Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης:

- Ενσωμάτωση προηγμένων μοντέλων μηχανικής μάθησης για ακόμα ρεαλιστικότερες και αποδοτικότερες προσομοιώσεις.
- Χρήση προοδευμένων αλγορίθμων για βελτιωμένη ανίχνευση πιθανών ευπαθειών και αντίδραση των αυτόνομων οχημάτων.

2. Αναπτυξιακά Εργαλεία Καινοτομίας:

- Εισαγωγή νέων εργαλείων που υποστηρίζουν τη δημιουργία και την ανάπτυξη πρωτότυπων αλγορίθμων αυτόνομης οδήγησης.
- Ενίσχυση της αλληλεπίδρασης με άλλα συστήματα ανάπτυξης όπως πχ. πλατφόρμες εκπαίδευσης μοντέλων, ρομποτικά συστήματα ROS, συστήματα ανίχνευσης και αισθητήρων.

3. Επέκταση Δυνατοτήτων Περιβάλλοντος Εξομοίωσης:

- Εισαγωγή περισσότερων στοιχείων στο περιβάλλον εξομοίωσης, όπως περισσότερα είδη οχημάτων, πεζοί, και προηγμένες υποδομές.
- Περαιτέρω βελτίωση των συνθηκών και των σεναρίων που μπορούν να προσομοιωθούν.

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

4. Συνεργασία με Υλικό Πραγματικού Κόσμου:

- Ενσωμάτωση δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για ακόμα ρεαλιστικότερες προσομοιώσεις.
- Επέκταση της δυνατότητας να ενσωματώνει αληθινά δεδομένα αισθητήρων και συνθηκών κυκλοφορίας.

5. Στρατηγική Ανάπτυξης Αλγορίθμων για Ειδικά Σενάρια:

- Ανάπτυξη εξειδικευμένων αλγορίθμων για ειδικά σενάρια, όπως κατασκευές, καιρικές ακραίες συνθήκες, και περιοχές με διαφορετικούς κανονισμούς κυκλοφορίας.

Οι μελλοντικές επεκτάσεις του εξομοιωτή Carla τείνουν να διαμορφώσουν ένα περιβάλλον ανάπτυξης που θα είναι ακόμα πιο ευέλικτο, ρεαλιστικό και προηγμένο για τους ερευνητές και τους προγραμματιστές στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης.

5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συνοψίζοντας είναι εμφανές ότι οι σύγχρονες εξελίξεις στην πληροφορική έχουν προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας στον τομέα της οδήγησης. Οι συστοιχίες αισθητήρων, οι προηγμένοι αλγόριθμοι επεξεργασίας δεδομένων, και τα συστήματα εξομοίωσης ανοίγουν νέες προοπτικές για την ανάπτυξη ασφαλέστερων και αποτελεσματικότερων εμπειριών οδήγησης.

Η εφαρμογή των ανοικτών συστημάτων εξομοίωσης, που επιτρέπουν την ανάπτυξη κώδικα και την εισαγωγή σεναρίων χρήσης, ανοίγει τον δρόμο για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της οδικής ασφάλειας. Η δυνατότητα δημιουργίας πλαισίου ανάπτυξης σεναρίων οδικής συμπεριφοράς ανθρώπων και αυτόνομων συστημάτων οδήγησης επιτρέπει την προσομοίωση ποικίλων συνθηκών και την αξιολόγηση της αντίδρασης τους σε κρίσιμες καταστάσεις.

Ειδικότερα, η ανάλυση σεναρίων ειδικών συνθηκών, που περιλαμβάνουν παραβατική συμπεριφορά πρακτόρων και επιθέσεις εναντίον αυτόνομων οχημάτων, ανοίγει τον δρόμο για τον εντοπισμό πιθανών ευπαθειών στα αυτόνομα συστήματα και τη διόρθωσή τους. Η προσομοίωση κρίσιμων καταστάσεων είναι το κλειδί για την ανάπτυξη ασφαλέστερων τεχνολογιών που θα αντιμετωπίζουν με επιτυχία προκλήσεις όπως η παραβατική συμπεριφορά και οι επιθέσεις. Συνεπώς, η παρούσα εργασία με την επίδειξη ενός εξομοιωτή που μπορεί να προσομοιώνει κρίσιμες καταστάσεις, να εκτελεί εικονικά αληθοφανή σενάρια και να βοηθά στην αντιμετώπιση επικίνδυνων καταστάσεων, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο με βάση τα ανοικτά συστήματα, που επιτρέπει στους ερευνητές να εξερευνήσουν τις δυνατότητες και τις αδυναμίες των αυτόνομων οχημάτων σε ποικίλες καταστάσεις, ενώ παράλληλα παρέχει ευελιξία για την προσθήκη νέων σεναρίων και εκτέλεση τους σε διάφορα περιβάλλοντα.

Η δυνατότητα ανάπτυξης εικονικών σεναρίων που ανταποκρίνονται (η εξομοιώνουν) σε πραγματικές συνθήκες επιτρέπει τη διεξαγωγή εκτεταμένων δοκιμών υπό ποικίλες συνθήκες, προσφέροντας σημαντική στατιστική αξιολόγηση των συστημάτων οδήγησης. Με αυτόν τον τρόπο, η επιστημονική κοινότητα μπορεί να αναγνωρίσει πιθανά όρια και προκλήσεις, ενισχύοντας την ανάπτυξη προηγμένων αλγορίθμων και συστημάτων που θα αντιμετωπίσουν με αποτελεσματικότητα τις ποικίλες αυτές καταστάσεις.

Τέλος, η εργασία αυτή αποτελεί το θεμέλιο για την ανάπτυξη ασφαλέστερων τεχνολογιών και προτύπων στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Η συνεχής προσομοίωση κρίσιμων καταστάσεων παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης της ανάπτυξης των συστημάτων, τη βελτίωση της ασφάλειας και της απόδοσης των οδηγικών λειτουργιών, καθώς και την ανάδειξη πιθανών ευπαθειών που απαιτούν περαιτέρω έρευνα. Με αυτόν τον τρόπο, η επιστήμη βοηθά στη δημιουργία μιας ασφαλούς, αποδοτικής και προηγμένης οδηγικής εμπειρίας.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Trisha Thadani, R. L. (2019, Oct. 6). *The final 11 seconds of a fatal Tesla Autopilot crash*. Ανάκτηση από The Washington Post: <https://www.washingtonpost.com/technology/interactive/2023/tesla-autopilot-crash-analysis/>
- [2] *Carla Simulator*. (2024). Ανάκτηση Febr 10, 2024, από <https://carla.org/>
- [3] Krajzewicz, D. (2010). Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility. *International Series in Operations Research & Management Science*(145). doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_7
- [4] Baidu. (2024). *Apollo studio*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://apollo.baidu.com/>
- [5] Robotics Open. (2012). *About Gazebo*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://gazebosim.org/about>
- [6] LITTLEBIGBOX LIMITED. (2023). *rFpro About*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://rfpro.com/about-events-automotive/>
- [7] Cognata. (2018). How does it work. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://www.cognata.com/>
- [8] NVIDIA DRIVE Sim. (2018). Self-Driving Vehicles. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/simulation/>
- [9] MathWorks. (1994). Simulink. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://ch.mathworks.com/products/simulink.html>
- [10] LAW, V. F. (2024). Common Causes Of Pedestrian Accidents: When The Pedestrian May Share Fault. Ανάκτηση Febr 10, 2024, από <https://www.vosslawfirm.com/library/pedestrian-accidents-who-s-really-at-fault-.cfm>
- [11] Chawin , S., Mosenia, A., Chiang, M., Mittal, P., & Bhagoji, A. (2024). *Adversarial Machine Learning@Princeton*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://adversarial-learning.princeton.edu/darts/>
- [12] Gitee. (2024). *Carla Simulator*. Ανάκτηση από <https://gitee.com/cqfdch/awesome-CARLA>

- [13] Lozé, S. (2019, Oct. 4). *CARLA democratizes autonomous vehicle R&D with free open-source simulator*. Ανάκτηση από <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/carla-democratizes-autonomous-vehicle-r-d-with-free-open-source-simulator>
- [14] Hendawy, A. (2020, Jun 1). *Medium*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από SUMO — a Traffic Simulator over the Cloud with Yonohub: <https://medium.com/yonohub/sumo-a-traffic-simulator-over-the-cloud-with-yonohub-f2bbf7f62990>
- [15] Apollo. (2024, Febr. 10). *An autonomous vehicle simulation platform built with Unity*. Ανάκτηση από <https://developer.apollo.auto/gamesim.html>
- [16] yukkysaito. (2024, Febr. 10). *GitHub*. Ανάκτηση από https://github.com/yukkysaito/vehicle_sim
- [17] Poubel, L. (2024, Febr. 10). *InfoQ*. Ανάκτηση από Open Source Robotics: Getting Started with Gazebo and ROS 2: <https://www.infoq.com/articles/ros-2-gazebo-tutorial/>
- [18] LITTLEBIGBOX LIMITED. (2024). *rFpro*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από HARDWARE INTEGRATION: <https://rfpro.com/simulation-software/hardware-integration/>
- [19] LITTLEBIGBOX LIMITED. (2024). *rFpro*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από RENDERING: <https://rfpro.com/simulation-software/rfpro-real-time-rendering/>
- [20] Cognata. (2024). *Cognata in the Academic world | AV & ADAS Simulation | Custom Datasets*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://www.cognata.com/cn/academy/>
- [21] Cognata. (2024). *Brodmann17 Had Selected Cognata as its Simulation and Validation Partner to Test its Advanced Technology and to Bring to Market a Solution That Meets New Regulatory Requirements*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://www.cognata.com/brodmann17-had-selected-cognata-as-its-simulation-and-validation-partner-to-test-its-advanced-technology-and-to-bring-to-market-a-solution-that-meets-new-regulatory-requirements/>
- [22] Nvidia Drive Sim. (2024). *DRIVE Sim Powered by Omniverse | NVIDIA*. Retrieved Febr. 10, 2024, from <https://blogs.nvidia.com/wp-content/uploads/2022/12/nvidia-drive-av-li-tw-2048x1024-1.jpg>
- [23] NVIDIA DRIVE Sim. (2024). *Neural Reconstruction Engine in NVIDIA DRIVE Sim*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://i.ytimg.com/vi/vgot-CK1xRk/maxresdefault.jpg>

Πλατφόρμα εξομοίωσης σεναρίων για εκπαίδευση οδηγών και αξιολόγηση λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων οδήγησης με χρήση ανοικτού λογισμικού εξομοίωσης.

- [24] NXP Community. (2024). *NXP Model-Based Design Toolbox for High-Performance Computing Platform (HCP) - version 1.1.0 RFP*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://community.nxp.com/t5/NXP-Model-Based-Design-Tools/NXP-Model-Based-Design-Toolbox-for-High-Performance-Computing/ta-p/1421152>
- [25] MathWorks. (2024). *Complete Vehicle Model*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από <https://ch.mathworks.com/help/sdl/ug/about-the-complete-vehicle-model.html>
- [26] Τουρλίδης, Κ. (2024). *Github*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από pedestrian behavior: <https://github.com/ee07097/Carla-Simulator-Codes/blob/main/pedestrian%20behavior.py>
- [27] Τουρλίδης, Κ. (2024). *GitHub*. Ανάκτηση Febr. 10, 2024, από Adversarial attack: <https://github.com/ee07097/Carla-Simulator-Codes/blob/main/Adversarial%20attack.py>