**Міністерство освіти і науки України**

**Харківський національний університет радіоелектроніки**

Факультет комп’ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

**АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**пояснювальна записка

Дослідження методів імітаційного навчання для управління автомобілем

Магістрант гр. ПЗСм-16-1 Шпетний Д.В.

Керівник роботи Турута О.П.

Рецензент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Допускається до захисту  
Зав. кафедри, проф. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дудар З.В.

2018 р.

АРКУШ ЗАВДАННЯ (сделать)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 54 с., 10 рис., 7 табл., 3 додатки, 27 джерел.

МАШИННЕ НАВЧАННЯ, МАШИННИЙ ЗІР, АВТОНОМНИЙ ТРАНСПОРТ, МОДЕЛЮВАННЯ СЕРЕДОВИЩА.

Об’єктом дослідження є автономний автомобіль, аналіз можливостей сучасних технологій автономного керування транспортним засобом, моделювання і дослідження дорожньо-транспортного середовища у контексті дослідження можливостей автономного керування.

Методи розробки базуються на технологіях C#, Unity, Python.

У результаті роботи здійснена програмна реалізація моделі дорожньо-транспортного середовища та досліджені методи електронної комерції для продажу товарів оптичного асортименту і реалізації послуг у мережі Internet для фірми “Інтелект – оптика»

(СДЕЛАТЬ АНГЛ ПОСЛЕ УТОЧНЕНЕНИЯ)

ACCESSORIES, APACHE, CONTACT LENSES, CORRECTION, ELECTRONIC SHOP, INTERNET SOLUTIONS, MySQL, OPTICAL, PHP, SIGHT, WEB-site.

The object of research is an enterprise, which is engaged in the realization of goods and services through the Internet. The “Intellect-optic» firm was chosen as an example, which deals with the contact sight correction sphere and sells contact lenses, their accessories and maintenance liquids.

The aim – the development of an electronic commerce system for selling optical goods through the Internet

Methods of developing technology based on PHP, MySQL database server and Web-server Apache.

Results – the analysis is preformed and the program realization of electronic commerce system for selling goods and services with the use of the Internet for the “Intellect-optic» firm is completed.

**ЗМІСТ (ШРИИИИФТ)**

Перелік умовних скорочень...........................................................................................................

Вступ................................................................................................................................................

1 Назва розділу................................................................................................................................

1.1 Назва підрозділу.................................................................................................................

1.2 Назва підрозділу................................................................................................................

2 Назва розділу................................................................................................................................

2.1 Назва підрозділу.................................................................................................................

2.2 Назва підрозділу.................................................................................................................

2.3 Назва підрозділу.................................................................................................................

2.4 Назва підрозділу.................................................................................................................

3 Назва розділу ................................................................................................................................

3.1 Назва підрозділу.................................................................................................................

3.2 Назва підрозділу.................................................................................................................

4 Назва розділу ................................................................................................................................

4.1 Назва підрозділу.................................................................................................................

4.2 Назва підрозділу.................................................................................................................

Висновки...........................................................................................................................................

Перелік джерел посилання………..................................................................................................

Додаток А Програмний код, схема, алгоритм тощо...…........……….………………......……..

Додаток Б Слайди презентації...............………………….......…………………………………..

Додаток В Апробація результатів роботи...........................………….…………………...……..

Додаток Г Електронні матеріали (CD)....................................................................……….

# ВСТУП

Людство завжди прагне до автоматизації повсякденних завдань. Безсумнівно рутина робота яка може не робитися за рахунок людського часу з часом буде автоматизована тим чи іншим способом. Керування автомобілем є однією з таких задач. Перший інтерес управління засобом транспорту згодом змінюється на ніяковість у зв’язку із монотонністю процесу. Саме тому можно побачити аудіосистеми у сучасних автомобілях – активний процес керування стає напівпасивним на рівні рефлексів. Проте користування індивідуальними засобами транспорту для багатьох є необхідністю. Розробники автомобілів ставлять за одну з найважливіших цілей підвищення комфорту та безпеки керування. Для цього постійно ведуться роботи над покращенням систем контролю та створення автоматичних допоміжних систем для водія (адаптивне керування, режими круїзної подорожі та інше). Такі системи надають конкурентноспроможність у пересиченому ринку автомобілей.

Наступним етапом автоматизації стає усунення водія як основного центру виконування механічних дій для керування автомобілем і перетворення його ролі на контролюючу та спрямовуючу – задання маршруту, обрання типу пересування (пріоритет швидкості, комфорту, безпеки тощо) та вибір інших параметрів вищого рівня абстракції. Окрім полегшення безпосередньо процесу водіння також можливо використовувати технологічні досягнення для підвищення безпеки пересування. Наприклад, керування автомобілем у критичних ситуаціях, де швидкість реакції людини нижча за рівень обчислювальних можливостей комп’ютеру; або пересування за умов поганої видимості, де сукупніть датчиків надасть перевагу над людським зором у кількості та якості інформації.

Над проектом автономного керування працюють усі визначні автомобільні компанії (наприклад, Toyota, Ford, Volkswagen, Tesla Motors) та гіганти розробки програмного забезпечення (Google, Samsung, Nvidia та інші). Однак результати їх роботи не можуть бути використаними у серійних автомобілях саме зараз у зв’язку з юридичними складностями та неповноцінністю систем. Але безумовно даний напрям роботи є одним з провідних для багатьох дослідницьких центрів оскільки надає можливість не тільки отримувати значне фінансування, а й знаходитися на межі вивченого у суміжних наукових сферах.

Основні проблеми у дослідженні автономного пересування у мережах міста є безпосередньо неможливість навчати і тестувати систему фізично у самому місті. Підготовка та операція навіть над єдиним екземпляром автомобілю потребує значних кошт та кваліфікацій у суміжних областях діяльності, що є неможливим для невеликих груп дослідників. Один екземпляр автомобілю надає недостатньо даних для збору та обробки необхідних для покриття усіх крайових сценаріїв. Це стає очевидним навіть при типово алгоритмічному підході до задачі, не кажучи про більш вимогливу до кількості та якості інформації для аналізу концепцію машинного навчання.

Тематика автономного автомобілю поєднує такі сфери науки як машинний зір, машинне навчання, робототехніку та інше, що робить складними комплексні дослідження у даному питанні. Але така складова наукових галузей дослідження також є перспективною з точки зору актуальності новітніх концепцій та поточних досліджень. Тобто існує наукова база разом з економічними інтересами великих компаній, що дає впевненість у подальшому розвитку даного напрямку роботи.

На кафедрі програмної інженерії університету постійно ведуться дослідження у галузях машинного зору, штучного інтелекту та моделювання складних мультиагентних систем, що дає достатню теоретичну базу для виконання даного дослідження.

Метою роботи є дослідження існуючих систем автономного пересування, транспорту та прийняття рішень задля покращення існуючих способів аналізу дорожньо-транспортної ситуації у системах автономного автомобілю завдяки використання додаткових груп сенсорів та новаторських підходів у аналізі сукупності даних. Додатковою метою є дослідження оптимального середовища та технологій для подальшої роботи над основним дослідженням.

Інтеграція систем автоматичного керування є небезпечною у першу чергу завдяки тому що неможливо передбачити та опрацювати усі сценарії поведінки звичним алгоритмічним шляхом, тому є раціональним використовувати деякі практики машинного навчання та впровадження базових концепцій штучного інтелекту, які сформують модель поведінки, що емулює дії професійного водія.

Об’єктом дослідження є автономний автомобіль та створена програмна симуляція обраних транспортних ситуацій. У ході дослідження були використані емпіричні, експериментальні методи дослідження у сукупності з абстрактно-формальним моделюванням середовища. Отримані результати удосконалюють роботу аналогічних систем контролю та аналізу середовища згідно обраним формальним критеріям. Дані наукові інновації можуть бути використаними для поліпшення існуючих систем аналізу та прийняття рішень у автоматизації керування, або інтегровані у автомобільні допоміжні підсистеми контролю та аналізу руху.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Аналіз предметної області розробки

Автономний автомобіль складається з безпосередньо транспортного засобу, який виконує роль основної платформи, комплексу сенсорів різного типу та програмної системи, що виконує роль агрегатору даних та приймає рішення на базі наявних даних [1]. Приклад такого транспортного комплексу наведений у схематичному вигляді на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Схематичний приклад автономного автомобілю

Традиційним підходом до вибору сенсорів є наявність камер та візуальних сенсорів різного формату, що надають недостовірні дані по окремості, але їх сукупність дозволяє відтворити більш дійсний склад речей. Розглянемо наявні сенсори та їх можливості у контексті аналізу дорожньо-транспортної ситуації.

Предметна область розробки знаходиться на перетині галузей робототехніки, прийняття рішення, комп’ютерного зору, машинного навчання. У даному дослідженні зроблений акцент на програмних системах, тому деякі деталі з інших галузей подані у спрощеному вигляді або не розглядаються взагалі.

Типовий склад сенсорів у автономному транспортному засобі [1] поданий на рисунку 1.2 у схематичному форматі.

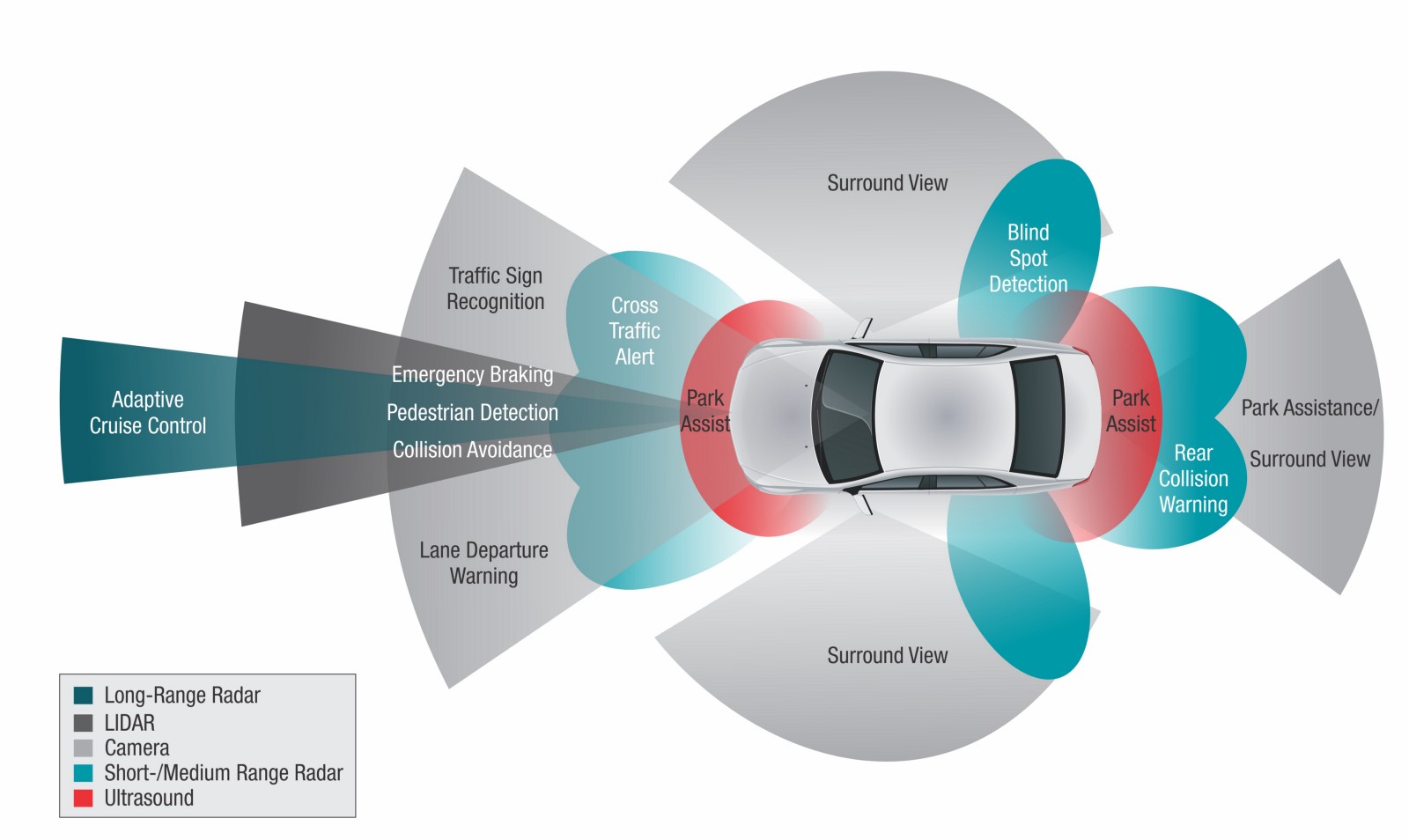


Рисунок 1.2 – Детектори автономного автомобіля

Загалом, можна виділити основні класи проблем, що вирішує кожен с датчиків:

* критичні ситуації – LIDAR, камера, допоміжні радари короткого радіусу дії. До таких ситуацій переважно входять виявлення аномальної поведінки пішоходів або інших динамічних агентів на дорозі таких як автомобілів, тварин, падаючих гілок чи каменів.
* допоміжні інформаційні дані – камери, радари різного радіусу дії, ультразвукові радари. До цього класу можна віднести аналіз типових сліпих зон водія, допомога у аналізі дорожньої ситуації (знаки, світлофори, дорожня розмітка), допомога у парковці.
* системи покращення життя водія – камера, радар дальнього радіусу дії. Переважно це такі системи як круїз контроль, моделювання навколишнього середовища.

LIDAR (Light Identification, Detection and Ranging) – це технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах. Скануючі лідари в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору [2].

Ключовими з точки зору проектування автономного автомобілю є питання використання даних з сенсорів у реальному-часі, що накладає певні обмеження до складності та оптимізації обчислень. Одними з систем такого роду є комп’ютерні ігри, які можуть складати базу оточення для дослідницьких робот з візуальним зображенням [3].

Окрім безпосередньо потоку інформації також необхідно обробляти його для прийняття рішень у керуванні транспортним засобом, чим займається підсистема аналізу та прийняття рішень.

На сьогодні існує дві основні парадигми для автономних систем водіння на основі комп'ютерного зору: опосередкований підхід до сприйняття (mediated perception approach) щоб розібрати всю дорожню сцену, і підхід рефлекторного аналізу поведінки для прийняти рішення про водіння (behavior reflex approach) яка складає пряму залежність між зображенням та безпосередньою дією завдяки регрессору.

Mediated perception approach складається з багатьох підкомпонентів для розпізнавання об’єктів що відносяться до водіння таких як дорожня розмітка, знаки, лінії руху, світлофори, автомобілі, пішоходи тощо. Результати аналізу складаються у загальну картину безпосереднього оточення автомобілю. Для контролю транспортного засобу система штучного інтелекту бере до уваги всю інформацію перед прийняттям рішення. Оскільки тільки невелика кількість об’єктів має значення у виборі рішення [4], то рівень повного аналізу оточення може додати непотрібний шар складності до і так важкої задачі. На відміну від багатьох задач робототехніки автономний автомобіль контролює лише два параметри – швидкість та напрямок. Остаточний простір рішень має невеликий ступінь свободи на порівняння зі складністю розмірності моделі оточуючого світу. Повнота інформації також надає необхідність використовувати велику кількість сенсорів, що в свою чергу підвищує загальну ціну системи.

Behavior reflex approach складається з прямої залежності між сенсорними вхідними даними та безпосередньо дією автомобіля. Ідея полягає у використанні нейронної мережі для створення прямого мапінгу від зображення до дії. Для навчання використовується реальний водій. Система зберігає зображення та дії водія під час конкретного зображення. Така концепція елегантна у своїй простоті, але вона може зазнавати нижче приведених складностей під час пересування у реальному трафіку та під час виконання складних водійських маневрів. По-перше, водії приймають різні рішення під час однакових ситуацій, що може спричинити розбіжності під час навчання регрессора. Наприклад, якщо автомобіль знаходиться прямо на шляху, то один водій може продовжувати рухатися за машиною, інший – обігнати зліва або справа. Коли всі сценарії присутні у даних, то модель зазнає складностей у прийнятті рішення хоча сенсорні початкові дані однакові. По-друге, система прийняття рішень на такій базі є занадто низькорівневою. Прямий мапінг не може розібратися з повною картиною ситуації. Для прикладу, з точки зору такої моделі обгін автомобілю та пересування назад на полосу є низкою дуже низькорівневих рішень як поворот руля на певний час, а потім поворот у інший бік на певний час. Система не може правильно реагувати у критичних ситуаціях та не може відслідковувати реальний стан речей, які підходять для водіння – необхідний рівень абстракції – це маневр обгону або пересування за автомобілем, а не ступінь повороту руля.

У даній роботі розглядається така модель, що поєднує у собі ці дві концепції. Ця парадигма займає місце між першими двома. Ключовою ідеєю концепції є існування певних станів та індикаторів доступності (affordance indicator) у контексті дорожньої ситуації [5]. Індикатори можуть обиратися в залежності від обраної задачі. Наприклад, дистанція до інших автомобілей, дистанція до дорожньої розмітки тощо.

Важливим компонентом у автономному автомобілі є підхід до штучного інтелекту, який приймає рішення на основі даних. Концептуально можна поділити системи штучного інтелекту на ті що навчаються з учителем (supervised learning) та на самонавчаємі (reinforcement learning).

Традиційним підходом для систем автономного транспорту є використання даних отриманих під контролем людського водія. Це надає змогу отримувати лише коректні дані та спростити кількість необхідного навчання у силу оптимальності контролю автомобіля досвідченим водієм. Недоліками концепції є неможливість моделювання екстремальних ситуацій та можливі протиріччя на великих даних, оскільки кожен водій унікально реагує на дорожню ситуацію. Також процес збору даних накладає потенційні обмеження, оскільки людина вирішує що саме є релевантним у процесі збору вхідних даних.

Навчання з підкріпленням на відміну від першого підходу не потребує людського водія та початкових даних. Основою концепції є встановлення цілей для досягнення та критерії оптимальності їх виконання. Наприклад, для автомобіля це може бути подорож із точки А в точку Б з мінімальною кількістю збитих пішоходів, або з найменшим рівнем витрати пального. Часто використовують комбінацію критеріїв для оптимізації сценаріїв поведінки. Недоліками такого підходу є значно більший час на навчання, складність системи, необхідність проведення ретельного аналізу критеріїв оптимальності.

Згідно з останніми дослідженнями саме навчання з підкріпленням дає найбільш оптимальні результати у задачах з неможливістю передбачити всі сценарії події та з необхідністю реагувати у задане вікно часу [7]. Наприклад, одним з важливих досягнень у цей сфері є перемога AlphaGo над людиною у старовинній грі го. Її особливість саме у непередбачуваності ситуації та у неможливості прорахувати всі варіанти розвитку гри. Впровадження такої системи штучного інтелекту потенційно надає можливість виправити недоліки зазначені у попередньому пункті. Приклад структури системи навчання з підкріпленням наведений на рисунку 1.3 у схематичному форматі.

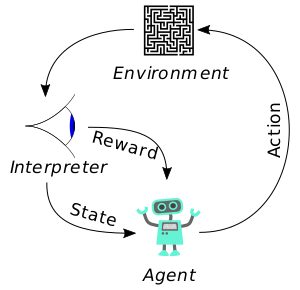


Рисунок 1.3 – Модель reinforcement learning

У області комп’ютерного зору дослідники вивчали кожну підзадачу окремо [8]. Розпізнавання машин та окремих полос руху є основою моделі автономного автомобілю. Типові алгоритми на виході видають обмежувальні геометричні кордони (bounding boxes) машин та лінії (spline) розмежувальних полос.

Тобто для області дослідження автономного руху необхідно комплексно підходити до проблему з урахуванням наведених факторів ризику та недоліків попередніх систем і досліджень. Одним з основних недоліків у даній сфері діяльності безумовно є фінансова складова та неможливість проводити експерименти у реальному світі. Автомобілі коштують дорого, обладнувати навіть один такий усіма необхідними датчиками є неможливим для невеликої дослідницької організації.

В результаті аналізу предметної області було вирішено провести дослідження концептуальних підходів до безпосередньо реалізації автономного автомобілю та систем його навчання на основі комп’ютерної моделі.

ПРО МАШИННИЙ ЗІР??

1.2 Аналіз комп’ютерних моделей дорожньо-транспортної системи

У даний час існує велика кількість досліджень автономних автомобілей та пов’язаних суміжних галузей, але більшість з них не є комплексними системами або є частиною комерційної таємниці, оскільки перспективи досліджень та потрібні економічні інвестиції недоступні невеликим дослідницьким організаціям. Далі детально розглянемо та проаналізуємо системи моделювання оточуючої середи для створення моделі автономного пересування, обрані для дослідження.

CARLA – це симулятор взаємодії машини та оточуючої середи з відкритим кодом. Розроблений спеціально для досліджень автономного автомобіля з урахуванням розробки, навчання, валідації в умовах міського пересування. Екранні форми симулятора наведені на рисунку 1.4 за різних умов симуляції.



Рисунок 1.4 – Симулятор CARLA

Платформа надає деяку кількість візуальних ресурсів, реалізацію частини наведених у розділі аналізу предметної області сенсорів. Але дана платформа призначена для більш масштабних симуляцій тому є з значним ускладненням на порівнянні з необхідними функціями. Також стек технологій розробки накладає певні складності у роботі з симулятором.

GTA V – як не здається дивним, але саме сучасні комп'ютерні ігри є ідеальним середовищем для дослідження деяких систем автономного керування. Приклад фронтальної камери на автомобілі у грі наведений на рисунку 1.5, такий варіант можна застосовувати для тренування візуальної частини регресора.



Рисунок 1.5 – Екранна форма процесу водіння у GTA V

Така система середовища дозволяє вивчати процес керування у форматі чорного ящику, а складність гри знімає необхідність додатково моделювати поведінку середовища (пішоходи, транспорт). Недоліком безумовно є відсутність коду гри та неможливість модифікувати початкові умови за межами гри. Також під питанням є використання гри у академічних цілях довготривалого характеру.

TORCS – симулятор автомобільних гонок з відкритим кодом, що працює під Linux-подібними системами, OS X, AmigaOS 4, Windows. Дана симуляція розроблена за допомогою C++, приклад екраної форми можно побачити на рисунку 1.6. Дана симуляція є не перспективною з огляду на графічну складову.

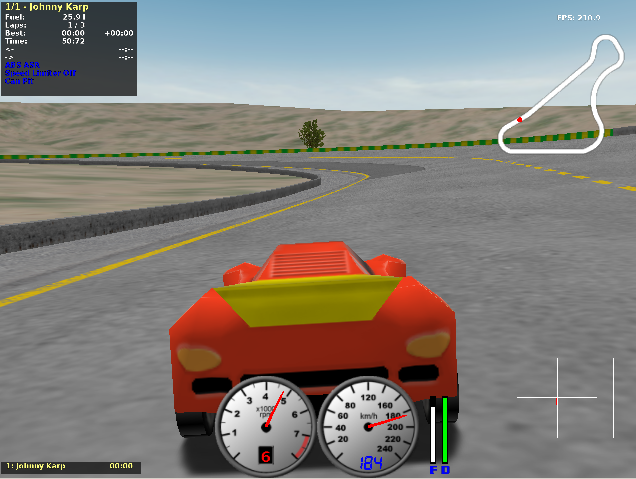


Рисунок 1.6 – Екранна форма процесу водіння у TORCS

Згідно виявлених недоліків існуючих симуляцій було вирішено розглядати розробку власної системи симуляції, яка вдовольняла б потребам саме нашої дослідницької кафедри. Дана реалізація повинна бути масштабовною, мати різні налаштування рівню графічного відображення, повинна мати можливість додавання різних сценаріїв оточення. Прототип системи можно побачити на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Екранна форма власного симулятора водіння

Власна реалізація дозволяє мати широкий контроль над необхідними потребами, швидко робити модифікаціїї системи необхідні саме для конкретного дослідження. За бажанням можливо доробляти систему у рамках вивчення курсів моделювання та вивчення програмування, оскільки розробка базується на популярних технологіях, які цікаві студентам.

1.3 Огляд наукової літератури

Загальні концепції у сучасних наукових дослідженнях відходять від сукупності детальних алгоритмічних методів до використання гнучких методик машинного навчання з високою варіативністю [12].

ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

<https://waymo.com/tech/> (Google car)

Автономна навігація за допомогою візуальних засобів є активною дослідницькою областю протягом багатьох років [1]. Одною з перших ідей для автономного автомобіля є відслідкування автомобілів та пересування зі іншими транспортними засобами, що є рутинною задачею під час міського трафіку, який складається з заторів та монотонного руху у завданній інфраструктурі міста. Іншою сферою застосування технологій допоміжника автоматичного пасивного пересування є рух по автомагістралі, якому також властиві якості монотонності та відносна залежність від пересування інших транспортниз агентів.

Автономні транспортні засоби знаходяться на межі сфер штучного інтелекту та інженерії. Неможливо досягти результату не використовуючи комплексний підхід роботи з інженерними досягненнями та використанням останніх досліджень у області аналізу та прийняття рішень.

Сучасна парадигма автомобільної індустрії зсунула свої пріорітети з потужних високоефективних автомобілей у сторону комфорту та безпеки як головних критеріїв конструювання. Цей зсув парадигми надав прискорення розробці різноманітних розумних технологій у засобах руху. Ультимативним рішення проблеми максимізації комфорту та безпеки є розробка автономного автомобіля. Для виконання цієї міссії автомобіль повинен аналізувати свою середу пересування, розробляти план пересування та безпосередньо керування без втручання людини.

Такі організації як Defensive Advanced Research Project Agency відкривають змагання для автономних автомобілей у пересічній місцевості та в урбаністичному оточенні. Перше змагання зосереджено на досягненні мети автономного пересування за умовою неможливості безпосереднього контролю людиною у реальному часі. Наприклад, ровер на Марсі або не потребуючий контролю розміновувач у військовому середовищі тощо. Друге змагання має на меті впровадження технологічних ноу-хау та досліджень у серійні автомобілі задля підвищення безпеки та комфорту пересування в урбаністичних умовах. У результаті глобальні автомобільні компанії постійно інвестують у розвиток коммерціалізації автономних транспортних засобів.

Одною з пріорітетних задач урбаністичної системи автономного автомобілю є відслідкування статичних перешкод (стіни, ліхтарі, паркани та інше) та динамінчих перешкод. Друга категорія більш широка і в неї потрапляють такі об’єкти як пішохіди, тварини, інші транспортні агенти (автомобілі, мотоцикли, велосипеди та інше). Також важливою темою для автоматизації руху є пересування у межах дорожніх правил, що включає у себе світлофори, різного роду дорожні знаки, пішоходні переходи, регулювальника та інші допоміжні сигнальні засоби.

Розробка такого транспортного засобу інтегрує технології з двух сфер людської діяльності: автомобільна індустрія та промисловість роботів. Надійну механічну та електричну платформу для автономних автомобілей можна досягти лише за допомогою продуктів діяльності автомобільної індустрії. Багато алгоритмів автономного пересування було досліджено

(<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6809196/>)

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Jeong E and Oh C 2017 Evaluating the effectiveness of active vehicle safety systems Accident Analysis & Prevention 85-96

[2] Ni L, Gupta A, Falcone P and Johannesson L 2016 Vehicle lateral motion control with perfomance and safety guarantees IFAC Proceedings Volumes 285-90

[3] Bakfish K and Hajnc D 2003 New book about tires (Moscow: Izdatel'stvo Astrel') – in Russian

[4] Buznikov S E 2009 The method of constructing information virtual sensors for car’s active safety systems Proc. of XVII Int. Conf. “The management problems of safety in complex systems” (Moscow: Russian State University for the Humanities Press) pp 420-4 – in Russian

[5] Buznikov S E, Elkin D S, Shabanov N S and Strukov V O 2016 Task of safe automatic braking of the vehicle Trudy NAMI 44-52 – in Russian

[6] Buznikov S E, Elkin D S 2007 Identification of maximal values of sliding friction coefficients of the vehicle wheels: the certificate of official registration program for computer # 2007610818 Rospatent

[7] Saykin A, Bakhmutov S, Terenchenko A, Endachev D, Karpukhin K and Zarubkin V 2014 Tendency of Creation of "Driverles" Vehicles Abroad Biosciences Biotechnology Research Asia 11 p 241-6

[8] Saikin A, Buznikov S and Karpukhin K 2016 The Analysis of Technical Vision Problems Typical for Driverless Vehicles Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 7 #4 p 2053-9

[9] Shadrin S, Ivanov A and Karpukhin K 2016 Using Data From Multiplex Networks on Vehicles in Road Tests, in Intelligent Transportation Systems, and in Self-Driving Cars Russian Engineering Research 36 #10 p 811-4 doi:10.3103/S1068798X16100166

[10] Dakroub H, Shaout A and Awajan A 2016. Connected Car Architecture and Virtualization SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst. 9(1) p 153-9 doi: 10.4271/2016-01-0081

[11] Shadrin S and Ivanov A 2016 Algorithm of autonomous vehicle steering system control law estimation while the desired trajectory driving ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 11 #15 p 9312-6