

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)


Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

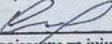
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

«Інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем»

Виконав: студент 2 курсу, гр. 1КН-22м
спеціальності 122 – Комп'ютерні науки
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


 Дзигар. В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. КН

 Сілагін О. В.
(прізвище та ініціали)

« 07 » 12 2023 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. САІТ

 Жуков С.О.
(прізвище та ініціали)

« 07 » 12 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри КН
д.т.н., проф. Яровий А.А.
(прізвище та ініціали)

« 08 » 12 2023 р.

м. Вінниця - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра комп'ютерних наук
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 12 Інформаційні технології
Спеціальність – 122 Комп'ютерні науки
Освітньо - професійна програма – «Системи штучного інтелекту»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КН
проф., д.т.н. Яровий А.А.

«29» 08 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дзигар Вадим Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем.

керівник роботи: к.т.н., доцент кафедри КН Сілагін О.В

затвержені наказом вищого навчального закладу "18" 09 2023 року №247

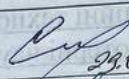
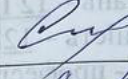
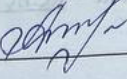
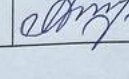
2. Строк подання студентом роботи 13. 11. 2023р.

3. Вхідні дані до роботи : максимальна кількість агентів у моделі - 20 одиниць; максимальний обсяг трафіку - 2000 автомобілів за період; максимальний рівень завантаження дорожньої мережі - 15 ум. од.

4. Зміст текстової частини: вступ; аналіз проблемної області інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем; проектування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем; визначення мети, об'єкта, предмета та задач подальшого дослідження; висновки; перелік використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Алгоритм роботи інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху, структурна схема інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху, UML-діаграма розгортання інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху, робочі вікна програми моделювання трафіку дорожнього руху, результати тестування розробленої моделі в порівнянні з аналогами

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	Сілагін О. В., доцент. каф. КН	 29.08.23	 10.11.23
4	Адлер О.О., к.т.н., проф. каф. ЕПВМ	 2.10.23	 23.10.23

7. Дата видачі завдання 29.08.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ МКР

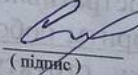
№ з/п	Назва та зміст етапу	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем	01.09.23 - 05.09.23	Розділ 1
2	Проектування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем	06.09.23 - 16.09.23	Розділ 2
3	Реалізація інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем	17.09.23 - 07.10.23	Розділ 3
4	Економічна частина	08.10.23 - 23.10.23	Розділ 4
5	Апробація та/або впровадження результатів дослідження	24.10.23 - 01.11.23	
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	02.11.23 - 10.11.23	

Студент


(підпис)

Дзигар В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Сілагін О.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 004.9:656.1.

Дзигар В. Інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 122 – “Комп’ютерні науки”, освітня програма – “Системи штучного інтелекту”.

Вінниця:ВНТУ, 2023. 89 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 19; табл. 10.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці та використанню інформаційної технології для моделювання та аналізу трафіку дорожнього руху з використанням мультиагентних систем. У роботі детально розглядаються сучасні проблеми управління та оптимізації дорожнього руху, а також основні аспекти та переваги використання мультиагентних систем для моделювання руху транспорту.

Робота включає аналіз та порівняння методів моделювання руху на дорогах з використанням мультиагентних систем. Особлива увага приділяється розробці та оптимізації алгоритмів, що дозволяють агентам управляти рухом, прогнозувати та уникати заторів, а також адаптуватися до змінних дорожніх умов, а саме головне збільшення швидкості моделювання на 10%.

Крім того, в роботі буде представлена модель мультиагентної системи, що відтворює реальні умови дорожнього руху. Результати моделювання трафіку будуть проаналізовані для забезпечення ефективного управління та покращення безпеки на дорогах.

Ілюстративна частина включає візуалізацію трафіку, графіки та графічні зображення, які демонструють результати моделювання, динаміку руху транспорту та можливі удосконалення системи управління рухом на дорогах.

Ключові слова: імітаційна модель, дорожній трафік, моделювання.

ABSTRACT

Dzygar V. Information technology of traffic modeling using multi-agent systems. Master's qualification work in specialty 122 - "Computer Science", educational program - "Artificial Intelligence Systems". Vinnytsia: VNTU, 2023. 89 c. In Ukrainian. Bibliography: 20 titles; Figures: 19; Table 10.

The master's qualification work is devoted to the development and use of information technology for modeling and analyzing traffic using multi-agent systems. The work deals in detail with modern problems of traffic management and optimization, as well as the main aspects and advantages of using multi-agent systems for traffic modeling.

The work includes an analysis and comparison of methods for modeling traffic on roads using multi-agent systems. Particular attention is paid to the development and optimization of algorithms that allow agents to manage traffic, predict and avoid congestion, and adapt to changing road conditions, and most importantly, increase the simulation speed by 10%.

In addition, the paper will present a model of a multi-agent system that reproduces real traffic conditions. The results of traffic modeling will be analyzed to ensure effective management and improve road safety.

The illustrative part includes traffic visualization, graphs and graphical representations that demonstrate the results of modeling, traffic dynamics and possible improvements to the traffic management system.

Keywords: simulation model, road traffic, simulation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1 Огляд предметної області моделювання дорожнього руху.....	8
1.2 Аналіз методів моделювання систем.....	19
1.3 Аналіз сучасних мультиагентних систем.....	22
1.4 Висновок до розділу 1.....	30
2 ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАФІКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	31
2.1 Розробка алгоритму роботи інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху.....	31
2.2 Розробка UML-діаграм інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху.....	34
2.3 Опис структурних компонентів інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху.....	41
2.4 Висновок до розділу 2.....	42
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАФІКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	44
3.1 Розробка структури інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху.....	44
3.2 Обґрунтування вибору мови і середовища програмування.....	46
3.3 Розробка і тестування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху.....	50
3.4 Висновок до розділу 3.....	60
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	62
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем.....	62
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	63
4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором.....	70
4.4 Висновок до розділу 4.....	74
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

Додаток А (обов'язковий)	79
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	79
Додаток Б (обов'язковий)	80
Лістинг програми	80
Додаток В (Обов'язковий)	82
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	82
Додаток Г (довідниковий)	88
Інструкція користувача	88

ВСТУП

Актуальність. У сучасному світі, де швидкість життя надто часто визначається швидкістю руху, дорожній трафік є важливою складовою глобальної інфраструктури. Спостерігається тенденція до постійного зростання кількості автотранспортних засобів і міського населення, що накладає немалий тиск на транспортну інфраструктуру міст. Цей факт наголошує актуальність дослідження проблем трафіку та розробки нових підходів до його управління та оптимізації.

Однією з головних проблем є недостатність традиційних методів аналізу та прогнозування рухових потоків в умовах сучасних мегаполісів. Зростання густоти транспортного руху призводить до заторів, витрат на паливо та негативного впливу на екологію. У цьому контексті важливо вдосконалити існуючі моделі та впровадити нові підходи до аналізу трафіку.

Додатковою складністю є неоднорідність рухового потоку, обумовлена різними типами транспортних засобів, їх характеристиками та поведінкою кермувальників. Індивідуальний підхід до кожного агента у мультиагентній системі може врахувати ці особливості та надати більш точне прогнозування та аналіз руху.

Актуальність даного дослідження також підтверджується швидким розвитком інформаційних технологій та їх потенціалом у сфері транспортних систем. Впровадження передових технологій моделювання та аналізу трафіку може відкрити нові можливості для оптимізації управління рухом та підвищення ефективності транспортних мереж.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська кваліфікаційна робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету 22 К1 «Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій» та плану наукової та навчально-методичної роботи кафедри.

Мета та завдання досліджень. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення швидкодії та гнучкості моделювання трафіку дорожнього руху та збір інформації щодо статистики заторів.

Завданнями дослідження є:

- Аналіз предметної області моделювання трафіку дорожнього руху;
- Огляд відомих мультиагентних систем;
- Проектування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем засобами UML;
- Розробка інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем в середовищі Anylogic;
- Тестування розробки та порівняльний аналіз її параметрів з аналогами.

Об'єкт дослідження. Процес моделювання трафіку дорожнього руху.

Предмет дослідження. Інформаційні технології мультиагентних систем, моделювання та візуалізації даних.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використовуватимуться передові методи моделювання та аналізу мультиагентних систем. Зокрема, використання агентно-орієнтованого підходу дозволить урахувати поведінкові особливості кожного учасника дорожнього руху, що є критично важливим для точного та реалістичного моделювання трафіку.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних в роботі результатів полягає у розробці нового підходу моделювання трафіку дорожнього руху на основі мультиагентних систем, яка відрізняється використанням нового підходу моделювання, що дозволило підвищити достовірність та гнучкість роботи моделювання дорожнього руху.

Ця модель спрямована на підвищення швидкодії та гнучкості у прогнозуванні руху та дослідженні статистики заторів, що дозволить краще розуміти та оптимізувати організацію дорожнього руху у міських умовах. Її створення відкриває нові можливості для глибшого розуміння та оптимізації організації дорожнього руху в умовах міського середовища. Ця модель

вирізняється своєю високою точністю та гнучкістю, що робить її важливим кроком у напрямку розвитку інтелектуальних систем управління трафіком, сприяючи вдосконаленню та оптимізації дорожнього руху в містах.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- розроблено нових підхід для моделювання дорожнього руху на основі використання мультиагентних систем, який дозволяє гнучко налаштовувати нову модель.
- розроблено програмну модель інформаційної технології моделювання дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем. Це значно підвищує швидкодії та гнучкості у прогнозуванні руху та дослідженні статистики заторів, що дозволить краще розуміти та оптимізувати організацію дорожнього руху у міських умовах

Достовірність теоретичних положень. Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується:

- коректним використанням фундаментальних законів і теорій в обраній сфері дослідження;
- узгодженістю отриманих результатів з відомими експериментальними даними та наявними теоретичними розробками інших авторів;
- посиланнями на сучасні наукові публікації та літературні джерела, що підтверджують обґрунтованість зроблених припущень;
- коректним застосуванням сучасного математичного апарату та обчислювальних методів для обробки і аналізу даних;
- успішною апробацією розроблених моделей та методів на практичних тестових задачах, що підтверджує їх адекватність.

Загалом, достовірність роботи визначається науковою обґрунтованістю, несуперечливістю та практичною підтвердженістю теоретичних результатів та положень дослідження.

Особистий внесок автора. Усі дослідження проведені в даній магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно. У тезах написаних у

співавторстві, автору належать такі результати: [1] - Інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем.

Апробація результатів. Результати роботи апробовано на міжнародній студентській конференції «Молодь в науці» (м. Вінниця 2023) [1].

Публікації. За результатами досліджень опубліковано тези доповіді [1, 2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд предметної області моделювання дорожнього руху

Моделювання дорожнього руху спрямоване на точне відтворення дорожнього руху за спостереженнями та вимірюваннями на вулиці. Моделювання дорожнього руху передбачало вигляд системи дорожнього руху без тиражування. Він був розроблений на основі досвіду модельєрів, які інтегрують математичні моделі в систему дорожнього руху. Моделювання дорожнього руху відіграє важливу роль у транспортній інженерії. Його можна застосовувати для планування та управління рухом у певній мережі доріг. Наприклад, зробити плавним рух на перехресті тощо.

В основному імітаційні моделі зосереджені на трьох вихідних значеннях для вирішення проблем руху. По-перше, це транспортні потоки. У транспортних потоках можна визначити альтернативні маршрути за кількістю транспортних засобів. Використовуючи імітаційну модель, модельєр може придумати, як зменшити рівень заторів на певних дорогах. Другим варіантом є елемент мережі. Елемент мережі в симуляції руху складається з ланки, злиття, перехресної ланки та інших елементів дороги. Це пов'язано з геометричним розташуванням дороги. Використовуючи відповідне програмне забезпечення для моделювання, геометричний дизайн дороги можна змінити, щоб побачити, як це може вплинути на поточну дорожню ситуацію. Наступною йде оцінювальна категорія. Імітаційна модель може допомогти оцінити час і вартість подорожі. Це особливо використовується, коли необхідно виміряти оцінку покращення трафіку. Транспортний планувальник може легко порівняти продуктивність без будь-яких додаткових витрат грошей і часу.

Моделі були згруповані відповідно до сфери застосування. Три класифікації імітаційних моделей дорожнього руху: мікроскопічне моделювання, макроскопічне моделювання та мезоскопічне моделювання [3].

Мікроскопічне моделювання на основі характеристик різних транспортних засобів, таких як автомобілі, автобуси, мотоцикли тощо, у транспортному потоці. Мікроскопічне моделювання спрямоване на збір параметрів даних, таких як потік, щільність, швидкість, час подорожі та затримки, довгі черги, зупинки, забруднення, споживання палива та ударні хвилі. Характеристики методів мікроскопічного моделювання ґрунтувалися на моделі слідування автомобіля, моделях зміни смуги руху та розривах окремих водіїв [4].

Ці алгоритми представили концепцію, згідно з якою водій розпізнає транспортний засіб, що веде вперед, і слідує за ним на меншій швидкості. Це можна описати такою ситуацією, як автомобільна колони без можливості перестроїтися. Загалом, наступний алгоритм автомобіля часом визначав зв'язок із головним транспортним засобом. Часом це була функція інтервалу, швидкості та прискорення. Чим ближче транспортний засіб, що йде за ним, до транспортного засобу, що веде, тим більш чутлива реакція транспортного засобу, що йде за ним, на транспортний засіб, що веде. Ця чутливість також зростає зі швидкістю. Це пояснюється тим, що якщо головний транспортний засіб рухався з нижчою швидкістю, наступні транспортні засоби зменшуватимуть швидкість, що призводить до заторів[5].

Розглянемо метод мікроскопічного моделювання трафіку дорожнього руху (рис. 1.1).

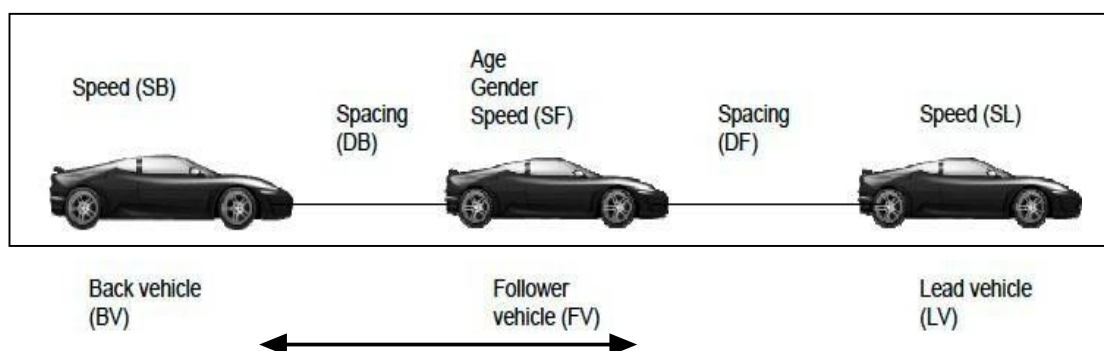


Рисунок 1.1 – Метод мікроскопічного моделювання трафіку дорожнього руху

3. Швидкість і дистанція наступних транспортних засобів, що ведуть на іншій смузі

- Зона 2. Проміжна зона. Транспортні засоби шукають проміжок, щоб повернути на смугу для повороту, що впливає на рішення про зміну смуги.

- Зона 3. це найкоротша відстань до наступної поворотної точки. Транспортний засіб почав перебудовуватися зі смуги з'єднання на наступний поворот. Необхідно зменшити швидкість, щоб забезпечити великий проміжок для зміни смуги транспортного засобу [7].

Прийняття проміжків використовується для визначення кількості транспортних засобів, які можуть проїхати через точку конфлікту. Розрив визначається як часовий проміжок між лідируючим і відстаючим транспортним засобом на цільовій смузі. Попередній проміжок — це проміжок до лідируючого автомобіля на цільовій смузі (рис1.3) . Відстань відставання — це відстань до транспортного засобу від цілі.

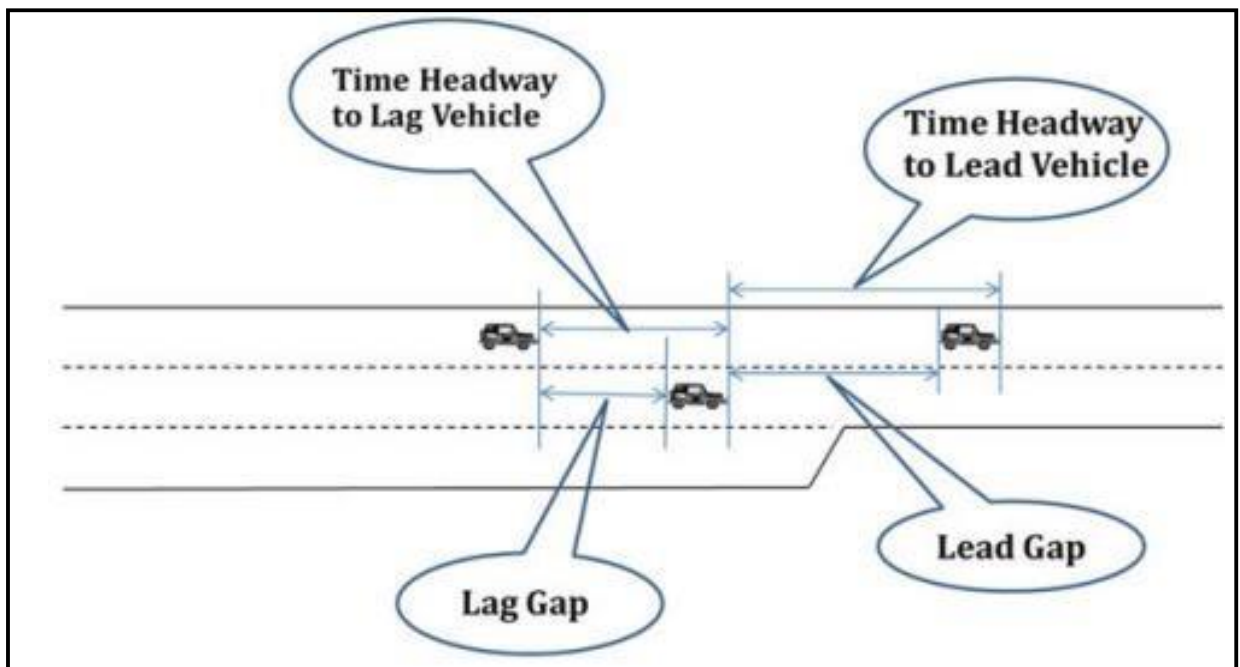


Рисунок 1.3 – Зміна смуги руху з урахуванням розривів вперед і відставання

Моделі прийняття проміжків використовувалися для визначення розміру розриву, який буде прийнятий або відхилений водієм, який мав на меті з'єднатися або перетнути перехрестя.

Критичний розрив визначається як кількість прийнятих розривів, менша за кількість відхилених розривів. Водію потрібен час, щоб очистити перехрестя та прийняти рішення. Параметрами моделі прийняття розриву є швидкість прискорення, бажана швидкість і прийнятна швидкість[8]. Серед них швидкість прискорення, максимальний час пропуску та відстань видимості на перехресті є найважливішими. Швидкість прискорення - це здатність транспортного засобу розганятися з необхідним запасом безпеки. Максимальний час пропуску – це визначити, коли водій починає проявляти нетерпимість, якщо він не може визначити розрив [9].

Макроскопічне моделювання описує перетини з низьким рівнем деталізації. У макроскопічній моделі потік транспортного потоку представлений у вигляді сукупності, вимірної за такими характеристиками, як швидкість, потік і щільність. Потік, швидкість і щільність є трьома основними характеристиками руху (рис 1.4).

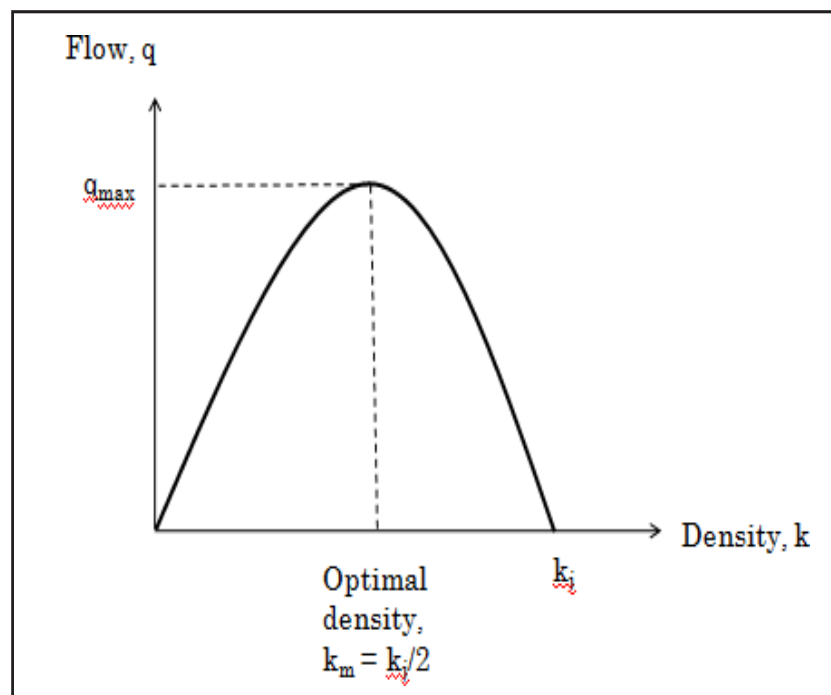


Рисунок 1.4 – Моделювання трафіку дорожнього руху за Гріншилдом

Дослідники вивчили співвідношення швидкість-потік-щільність і спробували розробити математичні описи для цих кривих, які є моделлю Гріншилда та моделлю Грінберга.

Модель Гріншилда використовується для розробки моделі безперебійного транспортного потоку. Це досить точне та просте моделювання.

Мезоскопічне моделювання описує аналізовані транспортні елементи невеликими групами. Мезоскопічні моделі є комбінацією мікроскопічного та макроскопічного моделювання. У цій моделі стимулюється розосередження взводів. Існує два методи мезоскопічного моделювання: дисперсія взводу та поведінка взводу транспортного засобу.

Перший спосіб – взводне розосередження. Коли взвод рухається вниз за течією від перехрестя вище за течією, відстань між транспортними засобами, яка може бути зумовлена різницею швидкостей транспортних засобів, взаємодією транспортних засобів (зміна смуги руху та інші перешкоди), (парковка, пішоходи та інші). Це явище називається дисперсією взводу. Другий метод – поведінка взводу транспортних засобів – це група транспортних засобів, які рухаються на невеликій відстані та рухаються з однаковою швидкістю. Поведінка взводу транспортних засобів передбачає прогнозування прибуття взводу транспортних засобів із часом, загальний час прибуття.

Важливими міркуваннями при моделюванні поведінки взводу є кількість транспортних засобів у взводі, швидкість взводу та розподіл швидкості. Взводи формуються, коли сигнал світлофора стає червоним і транспортні засоби починають черги. Для ізольованого сигналу світлофора довжина черги є ключовим показником ефективності, на який впливає схема прибуття транспортного засобу.

Детерміновані правила зазвичай ґрунтуються на певних закономірностях та тенденціях, які спостерігаються емпірично в реальних дорожніх ситуаціях. При цьому поведінка водіїв та характеристики дорожнього руху фіксуються на основі статистичних узагальнень [10].

Наприклад, для опису швидкості руху транспортного потоку на різних дорогах можуть використовуватися типові для кожного класу доріг середні значення швидкості з урахуванням граничних обмежень швидкості, зниження швидкості на поворотах, рекомендованих значень швидкості для різних умов видимості і стану дорожнього покриття тощо.

Також можуть задаватися типові значення середньої відстані між автомобілями в транспортному потоці, характерні значення сповільнення при гальмуванні, фіксовані радіуси орбіти транспортного засобу при поворотах і т.ін.

Всі ці типові для даних дорожніх умов значення дозволяють визначити детерміновані правила для опису руху на відповідних ділянках дороги, реалістично відображаючи типову поведінку водіїв. Разом з тим такий підхід має певну обмеженість, не враховуючи випадкові коливання параметрів руху.

Детерміновані моделі часто використовують спрощені підходи для опису складних аспектів поведінки водіїв. Наприклад, зміна смуги руху може описуватися заданими ймовірностями здійснення маневру без детального моделювання реакцій і прийняття рішень водієм.

Також припускається повністю раціональна поведінка, коли всі водії діють оптимальним для даних умов чином. Проте на практиці людські дії можуть бути не завжди логічними та передбачуваними.

Крім того, детерміновані моделі не в змозі відобразити випадкові коливання транспортного потоку. В реальності інтенсивність руху, швидкість та щільність мають випадковий характер навіть за незмінних зовнішніх умов.

Отже, незважаючи на простоту реалізації, детерміновані правила часто є надмірним спрощенням складної поведінки транспортного потоку. Для більш реалістичного відображення ситуацій на дорогах доводиться вводити додаткові припущення або використовувати стохастичні моделі.

На відміну від детермінованих, стохастичні правила враховують випадковий характер багатьох параметрів транспортного потоку. Зокрема, швидкість руху окремих транспортних засобів та їх прискорення при маневрах можуть задаватися у вигляді випадкових величин.

Найчастіше для цього використовуються різноманітні ймовірнісні розподіли - нормальний, логнормальний, рівномірний тощо. Параметри розподілів (математичне сподівання, дисперсія) підбираються на основі статистичних даних реальних вимірювань показників швидкості та прискорення.

Також за допомогою стохастичних правил можна моделювати випадкові затримки руху через пробки, несподівану зміну смуги, раптове гальмування чи прискорення окремими водіями тощо. Це дозволяє точніше відтворити мінливість реального дорожнього руху [11].

Застосування стохастичних правил робить моделі дорожнього руху більш гнучкими та реалістичними. Водночас, порівняно з детермінованими моделями, вони є складнішими у розробці та потребують ґрунтовнішої статистичної бази для адекватної параметризації.

Нормальний розподіл часто використовується для опису випадкових коливань швидкості транспортних засобів. При цьому математичне сподівання відповідає середньому значенню швидкості в транспортному потоці за даних умов, а дисперсія характеризує розкид значень швидкості навколо середнього. Ці параметри розподілу визначають на основі аналізу великих масивів даних реальних спостережень за рухом.

Логнормальний розподіл може використовуватися замість нормального, якщо розподіл досліджуваної ознаки (наприклад, часу реакції водія) є асиметричним. Його параметри також підбираються на підставі статистичних даних.

Рівномірний розподіл припускає рівноймовірне прийняття досліджуваною випадковою величиною (скажімо, величиною прискорення) будь-якого значення з заданого інтервалу. Межі інтервалу визначають на підставі емпіричних даних.

Аналітичні методи ґрунтуються на побудові математичних моделей у вигляді диференціальних рівнянь, систем рівнянь, формул та залежностей. Ці моделі описують властивості транспортних потоків - швидкість, щільність, інтенсивність руху.

Найпоширенішою є гідродинамічна аналогія, коли транспортний потік розглядається як рідина. Застосовуються рівняння Нав'є-Стокса, рівняння балансу маси, закон збереження імпульсу.

Модифікації цих рівнянь дозволяють описати профіль швидкостей та щільності в транспортному потоці, його стаціонарні та нестаціонарні режими, фазові переходи. Основний недолік - складність опису перехідних режимів і заторів.

Також використовують кінетичні моделі на основі кінетичних рівнянь Больцмана, що описують еволюцію функції розподілу частинок (транспортних засобів) у фазовому просторі.

Дозволяють моделювати як стаціонарні, так і нестаціонарні режими руху з утворенням "хвиль" щільності (заторів). Їх недолік - складність аналітичного розв'язування для реалістичних випадків.

Головна перевага аналітичних методів - можливість отримати точний аналітичний розв'язок задачі моделювання транспортних потоків. Однак це часто вимагає введення спрощувальних припущень та ідеалізацій, що знижує реалістичність моделей.

Окрім гідродинамічних та кінетичних моделей, для аналітичного опису транспортних потоків використовують також клітинні автомати - регулярні структури з дискретним простором та часом. Вони дозволяють симулювати потік на мікроскопічному рівні через задані правила переходів між станами окремих клітин (ділянок дороги).

Для аналізу характеристик транспортного потоку широко застосовується теорія масового обслуговування. Вона дає змогу на основі аналітичних моделей черг оцінити показники пропускної спроможності вулиць та доріг, середні затримки руху тощо.

Також розроблено цілий клас оптимізаційних задач лінійного та нелінійного програмування для пошуку оптимальних стратегій керування світлофорами, маршрутизації, розподілу транспортних потоків в мережі. Їх розв'язання базується на аналітичних методах.

Симуляційне моделювання є одним з найпоширеніших та ефективних підходів для аналізу складних транспортних систем. При цьому створюється деталізована комп'ютерна модель дорожньої мережі, транспортних засобів та учасників руху.

Основними перевагами симуляційного моделювання дорожнього руху є:

- Можливість відтворення складної поведінки водіїв, дорожніх умов, організації руху на мікроскопічному рівні.
- Врахування випадкових факторів та невизначеності, притаманних реальному дорожньому руху.
- Аналіз широкого спектру альтернативних сценаріїв, варіантів організації дорожнього руху.
- Візуалізація процесів руху транспортних потоків, можливість наочно оцінити наслідки тих чи інших рішень.

Провідними засобами симуляційного моделювання дорожнього руху є такі програмні комплекси як VISSIM, AIMSUN, CORSIM, SUMO, TransModeler та інші. Вони дозволяють досліджувати пропускну спроможність вулиць, оптимізувати роботу світлофорів, проектувати реконструкцію доріг тощо.

Одним з ключових етапів побудови симуляційної моделі є її верифікація та калібрування на основі реальних даних. Це дозволяє переконатися в адекватності моделі та підібрати оптимальні значення її параметрів.

Для забезпечення реалістичності симуляцій значну увагу приділяють моделям поведінки водіїв. Вони можуть враховувати когнітивні фактори, емоційний стан, індивідуальні риси, реакцію на дорожню обстановку.

Окремим важливим напрямком є використання методів машинного навчання, нейронних мереж для побудови реалістичних біхевіоральних (поведінкових) моделей учасників дорожнього руху.

Також активно застосовуються технології паралельних обчислень та ґрид-системи для прискорення симуляцій та можливості моделювання великих транспортних мереж.

Паралельні обчислення дозволяють значно пришвидшити процес симуляційного моделювання складних транспортних систем та мереж великої розмірності.

Сутність паралельних обчислень полягає в одночасному виконанні різних частин обчислювального алгоритму на декількох процесорах або ядрах процесора.

При моделюванні дорожнього руху це досягається шляхом розподілу транспортної мережі на окремі фрагменти - сегменти, райони, перехрестя. Кожен фрагмент симулюється відокремлено на своєму процесорі. Після цього результати синхронізуються для отримання загальної картини моделювання.

Такий підхід реалізовано в спеціалізованих програмних комплексах для симуляції транспортних потоків, таких як AIMSUN, SUMO, TransModeler. Вони підтримують кластерні системи і технології GP-GPU для прискорення обчислень.

Застосування паралельних обчислень при моделюванні дорожнього руху дає змогу підвищити деталізацію симуляцій, охопити величезні мегаполіси, врахувати всі аспекти функціонування транспортних систем.

Комбіновані методи моделювання ефективно поєднують переваги аналітичних моделей та симуляцій для комплексного аналізу транспортних потоків.

Найчастіше такий підхід реалізується у вигляді багаторівневих моделей. На верхньому рівні для опису всієї транспортної мережі чи мегаполісу використовується аналітична модель. Вона дозволяє оцінити загальні закономірності, розподіл транспортних потоків, завантаженість основних магістралей.

На нижньому рівні для детального аналізу окремих ділянок чи вузлів застосовується симуляційна модель з високим ступенем деталізації руху на мікрорівні.

Результати обох рівнів моделей синхронізуються і уточнюються одна одну в ході ітераційного процесу моделювання. Такий гібридний підхід дозволяє комплексно досліджувати транспортні системи на макро- і мікрорівнях.

Зразком реалізації комбінованого підходу може слугувати поєднання аналітичного пакету VISUM з мікроскопічним симулятором VISSIM, що широко застосовується на практиці.

Іншим прикладом реалізації комбінованого підходу є поєднання аналітичного моделювання з агентним моделюванням. Агентна модель дозволяє детально симулювати поведінку кожного водія як окремого агента зі своєю логікою дій. А аналітична - описати загальні закономірності на макрорівні.

Перспективним є також поєднання традиційних математичних підходів з методами штучного інтелекту - нейронними мережами, нечіткою логікою, генетичними алгоритмами. Це дає змогу моделювати складні нелінійні залежності, прогнозувати розвиток ситуації.

Отже, комбіноване моделювання дорожнього руху є гнучким та потужним підходом для системного аналізу транспортних систем різного масштабу. Воно дозволяє ефективно поєднати сильні сторони аналітичних і симуляційних методів.

1.2 Аналіз методів моделювання систем

Моделювання систем полягає у створенні абстрактних представлень реальних об'єктів або процесів з метою вивчення їх властивостей та взаємодій. Це може бути математичні, комп'ютерні, фізичні або статистичні моделі, які допомагають розуміти, прогнозувати або оптимізувати поведінку системи.

Моделювання систем - це потужний інструмент для аналізу, прогнозування та оптимізації складних систем, що знаходить широке застосування в різних галузях науки та техніки.

Основні методи моделювання систем включають:

- **Математичне моделювання.** Математичне моделювання є одним з найпоширеніших методів в дослідженнях систем. Воно використовує математичні рівняння, формули або алгоритми для опису поведінки системи. Наприклад, диференціальні рівняння чи системи алгебраїчних рівнянь можуть бути використані для моделювання фізичних, економічних, біологічних систем тощо. Цей підхід дозволяє математично аналізувати систему, вивчати її динаміку, прогнозувати поведінку та досліджувати стійкість системи до змін.

Проте, точність математичної моделі залежить від правильного вибору математичних формул, параметрів та умов, що може бути важливим у випадку складних систем з багатьма невідомими факторами.

- **Комп'ютерне моделювання.** Комп'ютерне моделювання базується на використанні комп'ютерних програм для створення віртуальних моделей систем. Це може включати математичні моделі, симуляції та візуалізацію результатів. Комп'ютерні моделі дозволяють аналізувати та вивчати систему в умовах, які можуть бути складними або недоступними в реальному житті.

Вони можуть враховувати багато факторів та взаємодій, але точність таких моделей залежить від якості вхідних даних, коректності алгоритмів та репрезентативності умов моделювання.

- **Фізичне моделювання.** Фізичне моделювання використовує реальні об'єкти або пристрої для створення моделі системи. Це може бути макетування, прототипування або експерименти з реальними матеріалами. Фізичні моделі дозволяють проводити експерименти в реальному часі, спостерігати реакцію системи на зовнішні впливи та проводити дослідження безпосередньо на реальних об'єктах.

Проте, вони можуть бути обмеженими з точки зору складності створення, вартості та точності репрезентації реальних умов.

- **Статистичне моделювання.** Статистичне моделювання використовує статистичні методи для аналізу та передбачення систем на основі даних. Воно зазвичай використовує методи регресійного аналізу, класифікації, кластерного аналізу та інші. Цей підхід особливо корисний, коли є доступ до великої кількості даних, і дозволяє робити прогнози та аналізувати систему на основі історичних даних.

Проте, статистичні моделі можуть бути чутливими до змін вхідних даних та можуть бути обмежені у випадку відсутності даних або неправильного їх використання.

Застосування моделювання систем:

Інженерія. Розробка технічних систем та механізмів.

Економіка. Аналіз ринків, прогнозування економічних процесів.

Біологія та медицина. Моделювання біологічних систем, дослідження розподілу ліків тощо.

Соціологія та психологія. Вивчення соціальних процесів, моделювання поведінки людей та груп.

Моделювання дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем (МАС) є підходом, що використовує комп'ютерне моделювання для аналізу поведінки та взаємодії різних агентів (таких як водії, пішоходи, автомобілі, транспортні системи) у віртуальному просторі дорожнього середовища.

Основні характеристики моделювання дорожнього руху через МАС:

Агенти. У цій системі кожен учасник дорожнього руху представлений як окремий агент з власними характеристиками, властивостями та поведінкою. Наприклад, автомобілі, пішоходи, світлофори - кожен з них може бути окремим агентом.

Поведінка та взаємодія. Моделі агентів у МАС враховують їхню поведінку, реакцію на зовнішні стимули та взаємодію один з одним. Наприклад,

водії можуть реагувати на зміни швидкості, рух інших транспортних засобів, сигнали світлофорів тощо.

Алгоритми прийняття рішень. МАС включають алгоритми, які визначають, як кожен агент повинен діяти в певних ситуаціях. Ці алгоритми можуть бути засновані на правилах дорожнього руху, реакціях на оточення, моделях штучного інтелекту тощо.

Середовище. Модель враховує фізичні аспекти дорожнього середовища, такі як дороги, перехрестя, сигнальна система, пішохідні доріжки, а також вплив природних факторів (погодних умов, дорожніх умов тощо).

МАС можуть бути використані для дослідження та оптимізації різних аспектів дорожнього руху, таких як потік транспорту, час очікування на світлофорах, вплив різних стратегій управління рухом, виявлення потенційних проблем та удосконалення існуючих інфраструктурних рішень.

1.3 Аналіз сучасних мультиагентних систем

Мультиагентні системи - це складні системи, що складаються з багатьох взаємодіючих агентів, які працюють спільно для досягнення загальних цілей. Агенти в такій системі можуть бути програмними або фізичними сутностями, які мають власні характеристики, здатність сприймати навколишнє середовище, приймати рішення та взаємодіяти один з одним.

Ключові аспекти мультиагентних систем включають:

1. **Автономія агентів.** Кожен агент має свою автономію в прийнятті рішень та виконанні дій на основі своїх внутрішніх правил або програм.
2. **Взаємодія.** Агенти можуть взаємодіяти один з одним, обмінюватися інформацією, координувати дії та спільно вирішувати завдання.
3. **Емерджентність.** Поведінка системи в цілому може виникати як наслідок взаємодії окремих агентів, при цьому ця поведінка може мати властивості, які не властиві окремим агентам.

4. **Адаптивність.** Мультиагентні системи можуть бути адаптивними до змін в навколишньому середовищі чи умовах, реагуючи на нові умови та виконуючи відповідні дії.
5. **Розподіленість.** Агенти можуть існувати та працювати в різних місцях та часах, їх робота може бути розподілена та координована.

Мультиагентні системи застосовуються в різноманітних галузях, включаючи робототехніку, інформаційні технології, економіку, транспорт, біологію та інші сфери. Вони дозволяють моделювати складні системи, а також вирішувати завдання, які можуть бути складними для вирішення окремими агентами, але легко або ефективно для колективу агентів, які працюють разом.

Використання мультиагентних систем дає можливість створювати більш гнучкі, адаптивні та ефективні рішення для проблем, що потребують моделювання складних взаємодій та поведінки.

Мультиагентні системи в контексті дорожнього руху представляють собою інноваційний підхід до моделювання та управління трафіком на дорогах. Вони базуються на ідеї індивідуальних агентів, що можуть бути водіями або автомобілями, які взаємодіють між собою та середовищем навколо них.

У такій системі кожен агент (автомобіль або водій) має свої власні характеристики, які впливають на його рішення та поведінку на дорозі. Це може включати швидкість, маршрут, стратегію руху, реакцію на зміни у середовищі (наприклад, дорожні умови, сигнали світлофора, рух інших авто тощо).

Мультиагентні системи дозволяють точніше моделювати реальність на дорозі, оскільки вони враховують індивідуальність кожного учасника руху та їх взаємодію. Це дозволяє передбачати та аналізувати складні сценарії на дорозі, такі як затори, аварії, оптимізація руху при різних умовах тощо.

Крім того, мультиагентні системи можуть бути використані для оптимізації трафіку, керуючи рухом автомобілів та допомагаючи уникати заторів за допомогою розподіленої координації дій агентів. Вони дозволяють розробляти та впроваджувати більш ефективні та адаптивні стратегії управління дорожнім рухом.

Мультиагентні системи в контексті дорожнього руху є ключовим інструментом для покращення безпеки та оптимізації потоків транспорту. Засновані на принципі взаємодії індивідуальних агентів, ці системи дозволяють моделювати складну динаміку дорожнього руху, враховуючи взаємодію між автомобілями, водіями та інфраструктурою.

Кожен агент в мультиагентній системі володіє власним набором параметрів, що визначають його поведінку. Це може бути не лише рух по маршруту, але й стратегія взаємодії з іншими учасниками руху, врахування дорожніх умов, швидкості та безпеки.

Завдяки такому індивідуальному підходу, мультиагентні системи забезпечують більш точне моделювання сценаріїв дорожнього руху. Вони дозволяють передбачати та аналізувати найрізноманітніші ситуації на дорозі, включаючи затори, аварії та оптимізацію руху при різних умовах.

Окрім цього, мультиагентні системи створюють можливість оптимізації трафіку. Шляхом спільної координації дій агентів вони спрямовані на уникнення заторів та покращення загального потоку руху. Їхня гнучкість дозволяє розробляти та впроваджувати ефективні та адаптивні стратегії управління дорожнім рухом, сприяючи зниженню затримок та підвищенню рівня безпеки на дорогах.

Отже, мультиагентні системи в контексті дорожнього руху є потужним інструментом для моделювання, управління та оптимізації трафіку, що дозволяє створювати більш точні та ефективні рішення для покращення безпеки та руху на дорогах.

Проаналізуємо декілька відомих сучасних середовищ проектування мультиагентних систем та імітаційних моделей. NetLogo - це відкрите програмне забезпечення для моделювання та симуляції мультиагентних систем. Він надає графічне інтерфейсне середовище, що дозволяє користувачам легко створювати, модифікувати та вивчати моделі складних систем, включаючи мультиагентні.

Основні характеристики NetLogo включають:

- **Графічний інтерфейс.** NetLogo надає графічне середовище, що дозволяє користувачам візуально конструювати та налаштовувати моделі. Це спрощує процес створення та редагування моделей, а також полегшує їх візуалізацію.

- **Підтримка агентів.** NetLogo базується на концепції агентів, що репрезентують індивідуальні сутності в системі. Це можуть бути агенти, що відображають тварин, людей, ресурси та інше. Агенти можуть взаємодіяти, дотримуючись заданих правил та поведінкових моделей.

- **Вбудовані бібліотеки.** NetLogo має вбудовані бібліотеки, які включають в себе готові компоненти для різних видів моделей. Це можуть бути моделі екосистем, економічні симуляції, динамічні мережі тощо.

- **Легкість навчання.** Однією з переваг NetLogo є його простота для вивчення та використання, навіть для тих, хто не має глибоких знань у програмуванні. Воно використовує високорівневий мовний синтаксис, що спрощує створення та редагування коду.

- **Розширені можливості.** NetLogo дозволяє розширяти його функціонал за допомогою власних розширень та бібліотек. Це дає можливість адаптувати середовище під конкретні потреби дослідження.

Repast - це інша популярна платформа для створення та вивчення мультиагентних систем. Вона надає набір інструментів для створення, розгортання та аналізу агентних моделей. Repast широко використовується в дослідженнях та промисловості для моделювання складних соціальних та екологічних систем.

Основні особливості та характеристики Repast включають:

- Мови програмування.** Repast підтримує кілька мов програмування, таких як Java, Python та C#. Це надає можливість вибору тієї мови, яка найкраще підходить для конкретного проекту.

- Гнучкість та розширюваність.** Repast надає гнучкі інструменти для створення та налаштування моделей. Вона також підтримує розширення та

додаткові бібліотеки, що дає можливість розширити функціонал платформи під конкретні потреби дослідження.

-Підтримка географічних даних. Repast вміє ефективно працювати з географічними даними, що робить його ідеальним інструментом для моделювання систем, де просторовий аспект грає важливу роль (наприклад, транспортні мережі, екологічні системи).

-Підтримка агентів-людей та агентів-систем. Repast дозволяє моделювати як індивідуальні агенти, так і агентів, які представляють складні системи. Це дозволяє дослідникам моделювати взаємодію на різних рівнях складності.

-Підтримка паралельних обчислень. Repast надає можливість використовувати паралельні обчислення, що дозволяє розгортати великі та складні моделі на великих кластерах комп'ютерів.

MASON (Multi-Agent Simulation Environment) - це Java-бібліотека, призначена для розробки мультиагентних симуляцій. Вона дозволяє програмістам створювати власні моделі та експерименти з мультиагентними системами:

-Простота використання. Бібліотека надзвичайно інтуїтивна та проста для використання, що робить її досить популярною серед дослідників та розробників.

-Гнучкість в конфігурації. MASON дозволяє конфігурувати та модифікувати моделі відповідно до потреб конкретного дослідження.

-Підтримка візуалізації. Вона надає засоби для візуалізації та анімації моделей, що дозволяє дослідникам аналізувати та спостерігати за динамікою систем.

-Розширені можливості паралельного обчислення. MASON надає можливість використовувати паралельні обчислення для прискорення обробки великих обсягів даних та складних моделей.

AnyLogic - це комплексне середовище моделювання, яке дозволяє створювати мультиагентні моделі разом з іншими видами моделей, такими як

дискретно-подійні та системи чергування. Це дозволяє досліджувати взаємодію між агентами та іншими складовими системи.

Важливі особливості та характеристики AnyLogic включають:

-Багато видів моделей. Платформа підтримує різні види моделей, що дозволяє використовувати її для різноманітних досліджень та оптимізаційних завдань.

-Графічний інтерфейс. AnyLogic надає графічне середовище, що полегшує процес моделювання та візуалізації.

-Підтримка мультиагентних моделей. Платформа дозволяє створювати та аналізувати моделі, де кожен агент в системі може мати власну поведінку та логіку взаємодії.

-Можливості аналізу даних та статистика. AnyLogic має вбудовані засоби для збору та аналізу даних, що дозволяє висвітлювати ключові аспекти системи.

-Можливість інтеграції з іншими системами. Платформа підтримує інтеграцію з різноманітними інформаційними системами, що полегшує використання її в корпоративному середовищі.

Відобразимо порівняльну характеристику засобів моделювання мультиагентних систем в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика переваг засобів моделювання мультиагентних систем.

Переваги	NetLogo	Repast	MASON	AnyLogic
Графічний інтерфейс	Простий та інтуїтивно зрозумілий.	Гнучкий у налаштуваннях графічний інтерфейс.	Інтуїтивно зрозумілий та простий для використання.	Має потужну графічну систему.

Продовження таблиці 1.1

Підтримка агентів	Твердо підтримує агентно-орієнтований підхід.	Відмінно підходить для моделювання агентів.	Спеціалізується на агентно-орієнтованому моделюванні.	Підтримка агентів в різних типах моделей.
Гнучкість	Забезпечує гнучкі можливості конфігурації моделей.	Дозволяє широкі можливості адаптації.	Надає інструменти для гнучкого налаштування та модифікації моделей.	Потужний та гнучкий для різноманітних досліджень.
Географічні дані	Має обмежені можливості роботи з географічними даними.	Надає засоби для роботи з географічними даними.	Дозволяє ефективно використовувати географічні дані.	Має вбудовану підтримку географічних даних.
Підтримка паралельних обчислень	Обмежена підтримка паралельних обчислень.	Надає можливість використовувати паралельні обчислення.	Має розширені можливості для паралельних обчислень.	Дозволяє використовувати паралельні обчислення.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика недоліків засобів моделювання мультиагентних систем.

Недоліки	NetLogo	Repast	MASON	AnyLogic
Мова програмування	Базується на власній мові, що обмежує можливості інтеграції.	Мовна підтримка обмежена.	Вимагає використання Java.	Вимагає використання Java.
Розширені можливості	Обмежені у порівнянні з деякими іншими платформами.	Потребує більшого рівня експертизи для розширення.	Вимагає глибоких знань Java для розширення.	Вимагає глибоких знань Java для розширення.
Масштабованість	Має обмежені можливості для моделювання великих систем.	Має обмежену підтримку для дуже великих моделей.	Деякі обчислення можуть бути важкими для великих систем.	Великі моделі можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів.

1.4 Висновок до розділу 1

У цьому розділі було проведено аналіз предметної області моделювання дорожнього руху з метою кращого розуміння та вибору оптимальних інструментів та методів для подальшого дослідження.

У підрозділі 1.1 "Огляд предметної області моделювання дорожнього руху" було розглянуто основні концепції та підходи до моделювання дорожнього руху. Виявлено, що ця область є актуальною і має велике значення для вирішення проблем транспортної інфраструктури та безпеки на дорогах. Моделювання дорожнього руху є ефективним інструментом для аналізу різних сценаріїв та прийняття обґрунтованих рішень.

У підрозділі 1.2 "Аналіз методів моделювання систем" було проведено детальний огляд різних підходів та методів, що використовуються для моделювання систем. Описано різноманітні методи, такі як математичне моделювання, комп'ютерне моделювання, фізичне моделювання та статистичне моделювання, і проаналізовано їх переваги, обмеження та сфери застосування.

У підрозділі 1.2 "Аналіз сучасних мультиагентних систем" було досліджено сучасні мультиагентні системи, які є потенційними інструментами для моделювання трафіку дорожнього руху. Кожна з систем - NetLogo, Repast, MASON та AnyLogic - має свої переваги та особливості, що дозволяють вибрати найбільш підходящу для вирішення конкретної задачі.

У результаті аналізу предметної області виявлено, що використання мультиагентних систем у моделюванні трафіку дорожнього руху є актуальним та перспективним напрямком дослідження. Впровадження інформаційної технології на платформі AnyLogic має потенціал сприяти покращенню управління та оптимізації трафіком на дорогах.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАФІКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

2.1 Розробка алгоритму роботи інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Алгоритм моделювання дорожнього руху дозволяє детально враховувати різні аспекти динаміки руху автомобілів у дорожній мережі. Процес моделювання складається з кількох етапів, кожен з яких важливий для точного та ефективного відображення дорожнього руху:

1. Розрахунок параметрів динаміки руху. На цьому етапі обчислюються ключові параметри, такі як вхідна та вихідна ємності сегментів, щільність $vSIR$, а також швидкість кожного автомобіля в мережі. Ці дані формують основу для подальшого моделювання руху.

2. Ініціалізація вихідних лічильників. Для кожної групи смуг, вихідний лічильник (Cout) ініціалізується вихідною потужністю. Це важливий крок, що враховує вихідну потужність кожної групи смуг.

3. Переміщення транспортних засобів. У цьому етапі транспортні засоби переміщуються на нові позиції відповідно до їх поточної швидкості та розміру кроку моделювання. Розмір кроку може коливатися, залежно від вимог точності та обчислювальних ресурсів.

4. Оновлення положення транспортних засобів. Кожен транспортний засіб оновлює своє положення відповідно до розрахунків швидкості та відстані, пройденої протягом кроку моделювання.

5. Продовження моделювання. Після оновлення положення всіх транспортних засобів, процес моделювання переходить до наступного кроку. Цей цикл повторюється для кожного кроку моделювання.

На кожному етапі моделювання спочатку розраховуються параметри динаміки руху, які включають вхідну ємність сегмента, вихідну ємність групи смуг, щільність $vSIR$ і швидкість для кожного автомобіля в мережі тощо. Для

кожної групи смуг вихідний лічильник Count під час поточного моделювання крок ініціалізується його вихідною потужністю. Потім усі транспортні засоби переміщуються на нові позиції відповідно до поточної швидкості транспортного засобу та розміру кроку моделювання. Зазвичай розмір кроку коливається від 1 до 10 с, вибір якого повинен бути компромісом між точністю моделювання динаміки руху та ефективністю обчислень у реальному часі. Рух кожного транспортного засобу на етапі моделювання детально описано на малюнку 10, за допомогою якого зручно розробляти програми моделювання для обробки руху транспортного засобу та обчислення останнього положення транспортного засобу в мережі в кінці поточного етапу моделювання. Після оновлення положення кожного змодельованого транспортного засобу на кожному каналі мережі весь процес моделювання просувається на один крок. В алгоритмі використовуються наступні параметри:

-Вхідна ємність сегмента. Цей параметр вказує на максимальну кількість транспортних засобів, які можуть увійти до певного сегмента (або ділянки дороги) протягом певного часу. Він допомагає визначити, наскільки швидко сегмент може накопичувати транспортні засоби та як швидко відбувається перенесення трафіку.

-Вихідна ємність групи смуг. Цей параметр вказує на максимальну кількість транспортних засобів, які можуть вийти з групи смуг протягом певного часу. Він важливий для оцінки ефективності виїзду з певної ділянки дороги та для уникнення заторів.

-Щільність $vSIR$. Це важливий показник, що вказує на кількість транспортних засобів, які знаходяться на одиниці довжини дороги. Щільність може варіюватися від низьких значень (вільний рух) до високих (затори).

-Швидкість для кожного автомобіля. Цей параметр вказує на поточну швидкість кожного автомобіля в мережі. Він змінюється в залежності від умов дорожнього руху, включаючи щільність та інші фактори.

-Розмір кроку моделювання. Це величина, яка визначає, на скільки "кроків" часу поділяється процес моделювання. Вибір правильного розміру

кроку є важливим компромісом між точністю моделювання та обчислювальною складністю.

Ці параметри спільно допомагають враховувати різні аспекти динаміки руху автомобілів у дорожній мережі, що дозволяє отримати детальний та точний аналіз трафіку. Вони можуть бути використані для вирішення проблем трафіку, оптимізації маршрутів, аналізу заторів та планування руху у різних умовах відповідно до алгоритму (рис. 2.1).

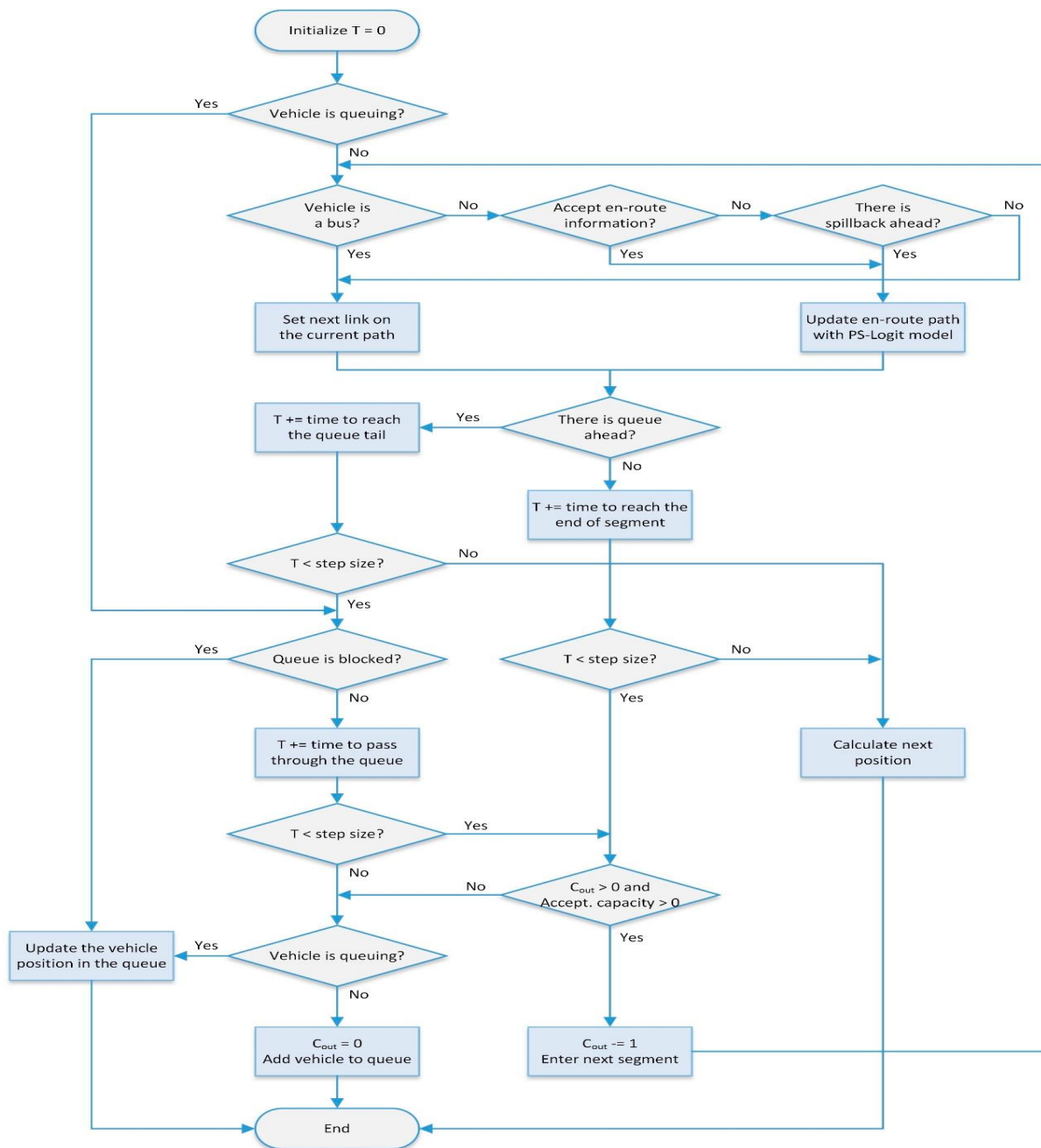


Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

2.2 Розробка UML-діаграм інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Розробка UML-діаграм є невід'ємною частиною процесу створення інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху. UML (Unified Modeling Language) - це стандартний набір графічних інструментів, які дозволяють візуально представити архітектуру та функціональність системи.

У контексті даної предметної області, UML-діаграми грають важливу роль у розробці та аналізі інформаційної технології моделювання трафіку. Наприклад, діаграма варіантів використання дозволяє ідентифікувати різні сценарії використання системи, включаючи взаємодію з користувачами та компонентами програмного забезпечення. Це допомагає уточнити вимоги до системи та визначити її основні функції [7].

Діаграми класів UML створюють модель класів системи та їх взаємозв'язків. У контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку, ці діаграми дозволяють визначити основні сутності, такі як автомобілі, дорожні сегменти, сигнальне обладнання тощо, та встановити зв'язки між ними.

Діаграми послідовності відображають взаємодію різних об'єктів та компонентів системи в часовому контексті. Це особливо корисно для визначення потоку даних та сигналів між різними частинами системи моделювання трафіку.

Діаграми діяльності можуть бути використані для моделювання конкретних процесів та алгоритмів у системі. Наприклад, розрахунок швидкостей та відстаней між автомобілями може бути представлений у вигляді діаграми діяльності.

В цілому, використання UML-діаграм в контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху дозволяє візуалізувати та аналізувати складність системи, уточнювати вимоги та забезпечувати чітку комунікацію між членами команди розробників.

У контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху, UML-діаграма прецедентів буде служити для визначення

основних функціональних можливостей системи та взаємодії з її користувачами або акторами. В даному випадку основними акторами будуть транспортний засіб, пішохід та супровідник ПЗ. На рисунку 2.2 зображено UML-діаграму прецедентів інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху.

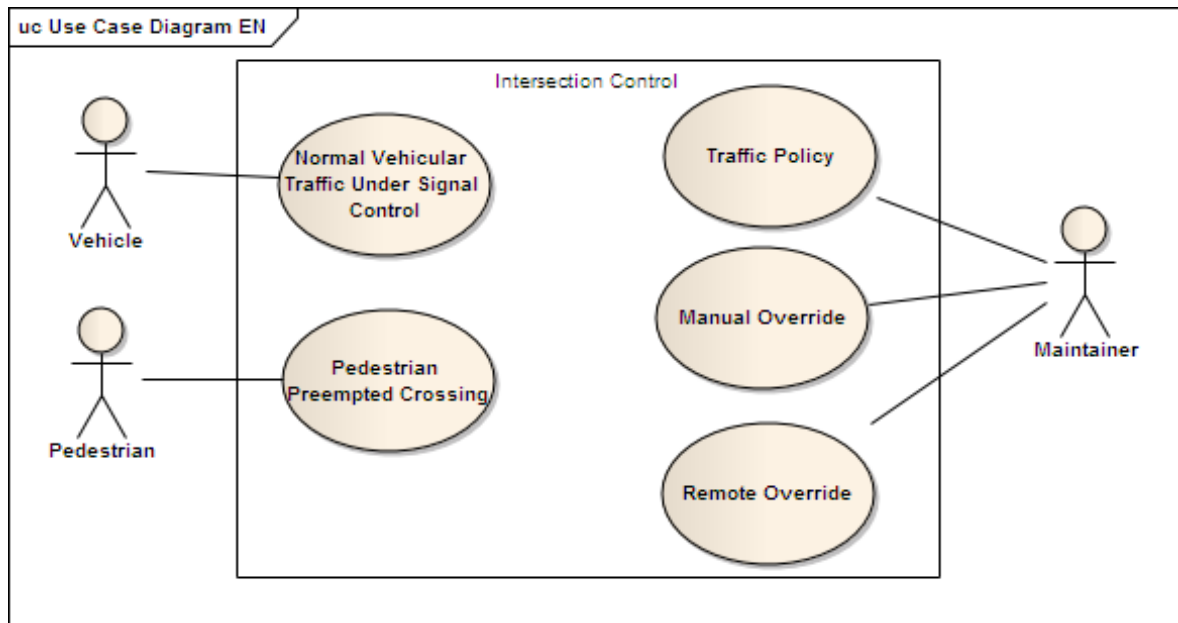


Рисунок 2.2 – UML-діаграма прецедентів інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Діаграми класів в UML (Unified Modeling Language) є важливим інструментом для візуалізації структури та взаємозв'язків між класами в системі. Основна мета діаграми класів - це надати узагальнений огляд ключових компонентів системи та їх взаємодій.

Основні елементи діаграми класів:

-Класи. Класи представляють основні сутності або об'єкти, які існують у системі. Вони відображаються у прямокутниках з назвами класів вгорі та з призначенням внизу.

-Атрибути. Атрибути визначають властивості класу. Вони представлені в середині класу та мають назву та тип даних.

-Методи. Методи вказують, які операції можуть бути виконані над об'єктами класу. Вони представлені у тому ж форматі, що і атрибути.

-Відношення між класами. Вони вказують на взаємозв'язки між класами, такі як асоціації, композиції, узагальнення (наслідування) та інші.

-Стереотипи та анотації. Вони можуть бути додані, щоб надати додаткову інформацію про класи та їх взаємозв'язки.

-Діаграми класів. Допомагають розкрити структуру системи, ідентифікувати ключові компоненти та їх взаємозв'язки. Вони є важливим інструментом для аналізу та проектування програмних систем.

В контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху, діаграми класів допоможуть визначити основні класи (такі як автомобілі, дорожні сегменти, сигнальне обладнання тощо) та встановити їх взаємозв'язки для ефективного моделювання руху (рис.2.3).

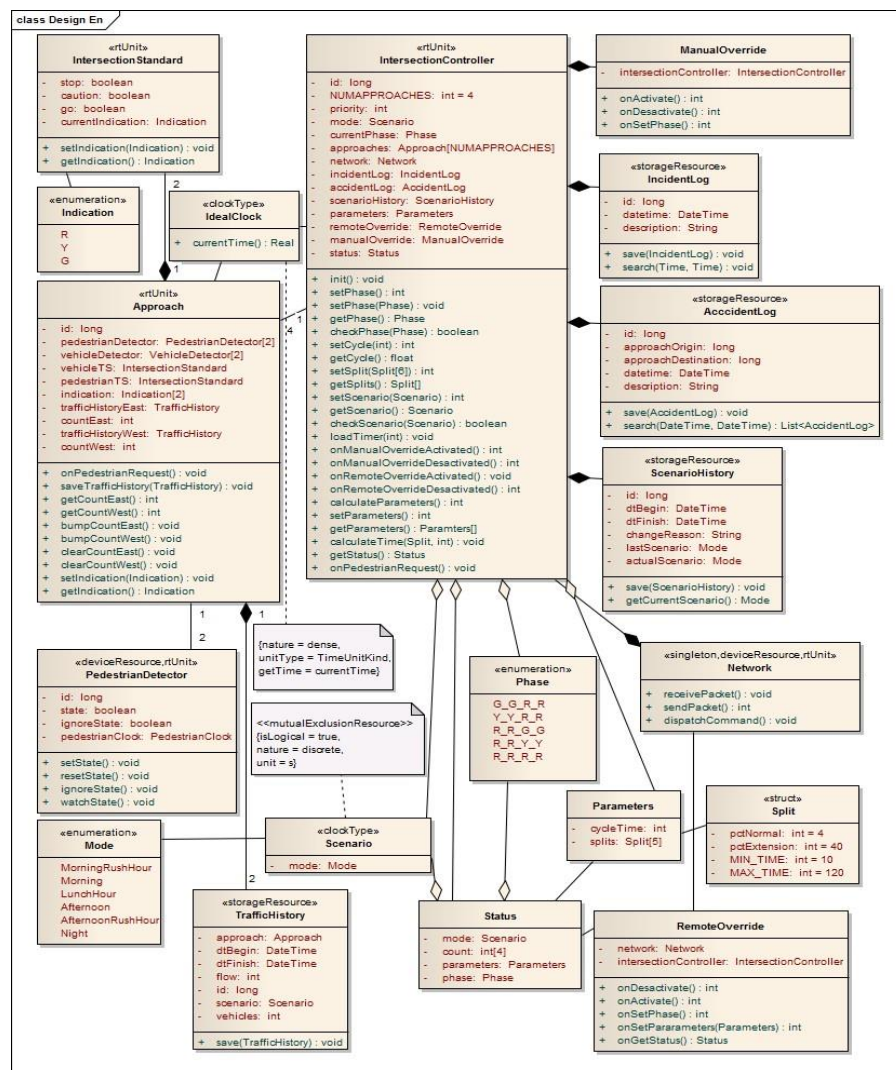


Рисунок 2.3 – UML-діаграма класів інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Діаграми розгортання в UML є графічними інструментами, які використовуються для моделювання фізичної інфраструктури та архітектури системи. Вони надають можливість візуалізувати, як компоненти програмного забезпечення і обладнання фізично розташовані та взаємодіють між собою [13].

У контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху, діаграми розгортання можуть бути використані для візуалізації архітектури системи. Наприклад, вони можуть показати, як програмні компоненти (наприклад, програмне забезпечення моделювання) взаємодіють з апаратним обладнанням (серверами, обчислювальними вузлами тощо), а також як вони розташовані фізично у середовищі (рис.2.4).

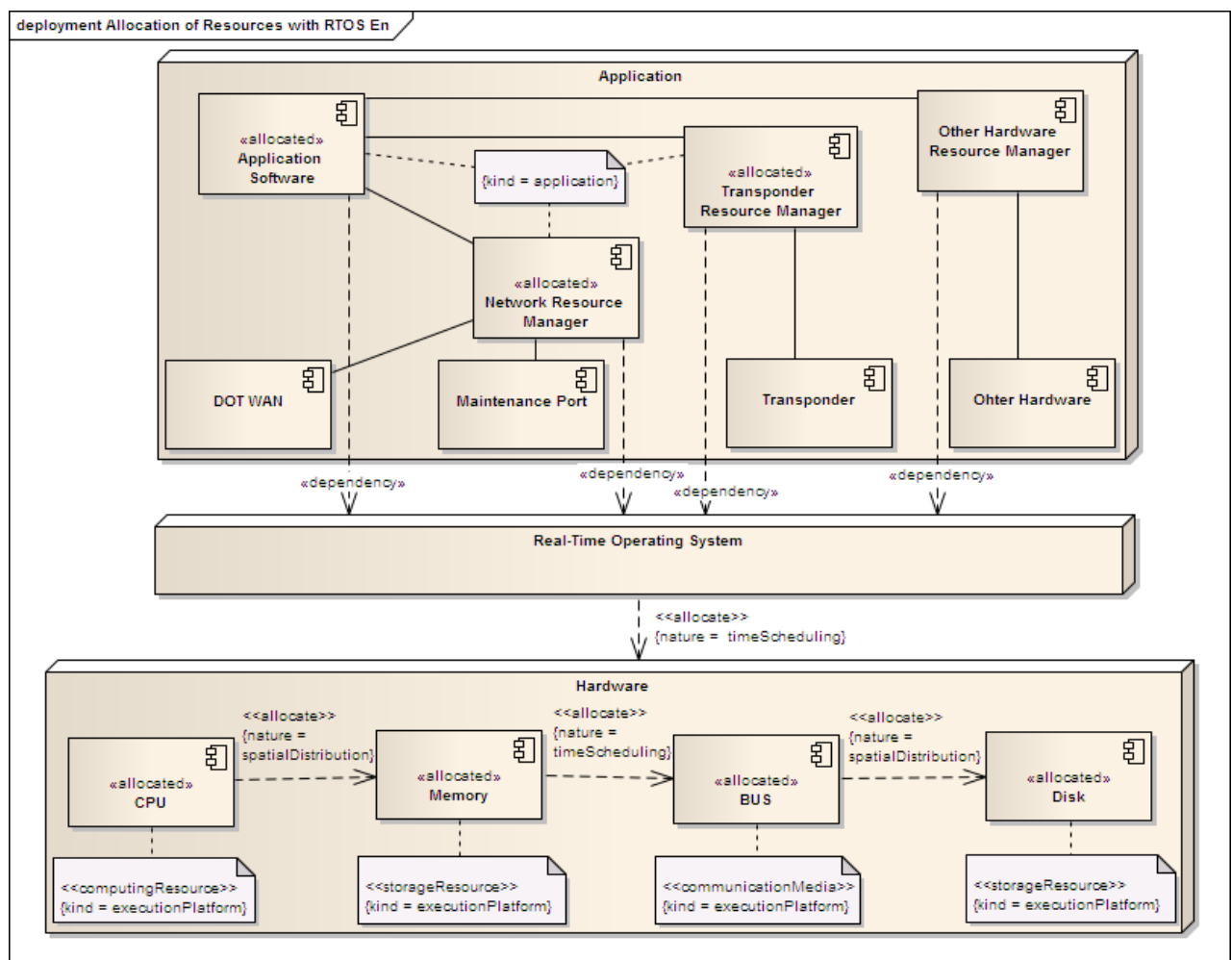


Рисунок 2.4 – UML-діаграма розгортання інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Діаграми послідовності в UML (Unified Modeling Language) використовуються для моделювання взаємодій між різними елементами системи в конкретний момент часу. Вони дозволяють показати послідовність повідомлень та викликів, що відбуваються між об'єктами в процесі виконання певної діяльності.

У контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху, діаграми послідовності можуть бути використані для відображення взаємодій між різними частинами системи (рис.2.5). Ось декілька можливих сценаріїв, які можна було б відобразити на діаграмах послідовності:

1. Сценарій "Автомобіль проходить світлофор":
 - Об'єкти. Автомобіль, Світлофор
 - Взаємодії. Автомобіль надсилає запит на перевірку стану світлофора. Світлофор повертає відповідь, вказуючи на можливість руху або потребу в очікуванні.
2. Сценарій "Пішохід переходить дорогу":
 - Об'єкти. Пішохід, Дорожній сегмент, Світлофор
 - Взаємодії. Пішохід надсилає запит на перевірку стану світлофора та дорожнього сегмента. Світлофор та дорожній сегмент повертають відповіді, які вказують на можливість переходу.
3. Сценарій "Супровідник ПЗ надає вказівки транспортному засобу":
 - Об'єкти. Супровідник ПЗ, Транспортний засіб
 - Взаємодії. Супровідник ПЗ надає вказівки транспортному засобу щодо шляху руху, швидкості тощо.
4. Сценарій "Рух автомобілів по дорозі":
 - Об'єкти. Автомобіль, Дорожній сегмент
 - Взаємодії. Автомобілі надсилають запити на можливість руху по дорожньому сегменту та отримують відповіді.

Діаграми станів в UML (Unified Modeling Language) є ефективним інструментом для моделювання поведінки об'єктів та систем у різних станах та переходах між ними. Вони дозволяють візуалізувати, як об'єкти реагують на різні події та переходять від одного стану до іншого [12].

Основні елементи діаграм станів включають:

1. Стани. Вони представляють можливі стани об'єкта або системи, в яких вони можуть перебувати. Наприклад, можливі стани для автомобіля можуть бути "зупинений", "рухається", "гальмує" і т.д.

2. Переходи. Вони показують, як об'єкт може переходити від одного стану до іншого в результаті певних подій або дій. Наприклад, від стану "зупинений" до "рухається" може бути перехід після натискання на педаль газу.

3. Події. Це дії або події, які спричиняють перехід від одного стану до іншого. Вони можуть бути згенеровані самим об'єктом, іншими об'єктами чи зовнішніми джерелами.

4. Дії. Вони вказують, які дії виконуються під час переходу від одного стану до іншого. Наприклад, можливо виконання певного коду або активація певного процесу.

5. Гарантії і умови. Вони вказують умови, за яких переходи можуть бути виконані, або умови, які впливають на стан системи.

Діаграми станів допомагають візуалізувати складні взаємодії та логіку системи в різних сценаріях. Вони особливо корисні для моделювання об'єктів з складною поведінкою та багатьма можливими станами [13].

В контексті розробки інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху, діаграми станів можуть бути використані для моделювання поведінки різних елементів системи, таких як автомобілі, пішоходи, сигнальне обладнання тощо [14]. Наприклад, можна відобразити, як автомобілі змінюють свій стан відповідно до різних подій, таких як включення сигналу повороту, зупинка на світлофорі тощо (рис.2.6).

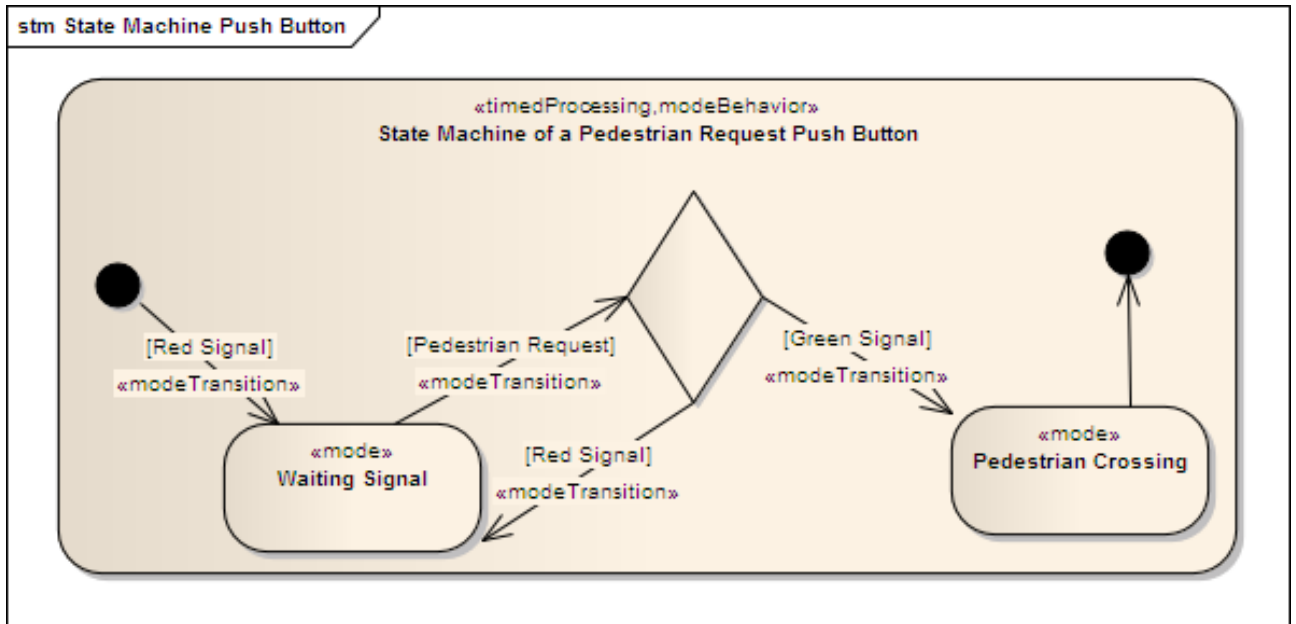


Рисунок 2.6 – UML-діаграма станів інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

2.3 Опис структурних компонентів інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Структура програмного забезпечення грає важливу роль у розробці інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху. Ефективна організація компонентів дозволяє полегшити розробку, підтримку та розширення програмної системи. Важливість структуризації можна розглядати з декількох аспектів[15].

Структуризація програмного забезпечення є критичним етапом у розробці, оскільки вона сприяє покращенню його модульності, читабельності та можливостей тестування. Власне, модель трафіку дорожнього руху включає велику кількість взаємозалежних компонентів, таких як транспортні засоби, дорожні сегменти, світлофори та інші.

Структурна схема інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху зображена на рисунку 2.7.

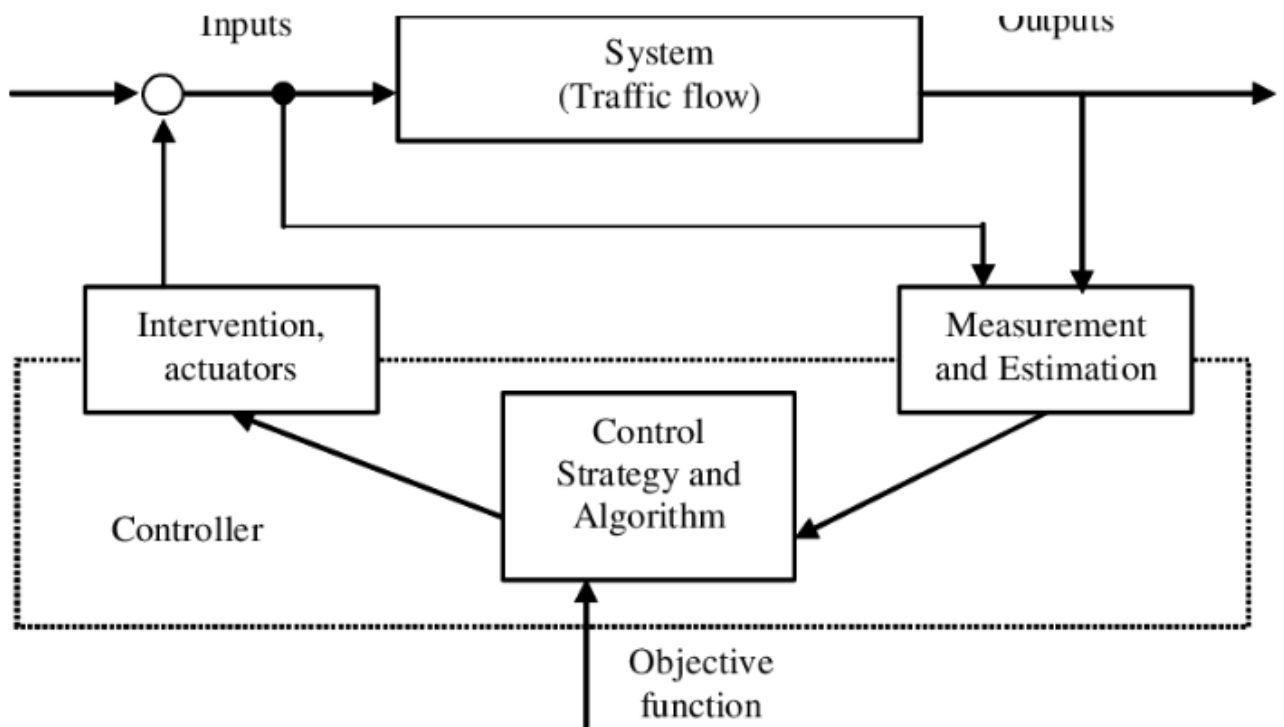


Рисунок 2.7 – Структурна схема інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

2.4 Висновок до розділу 2

У розділі 2 було проведено детальне проектування інформаційної технології для моделювання трафіку дорожнього руху. Проектування включало в себе розробку алгоритму роботи технології, створення UML-діаграм для візуалізації компонентів системи та опис структурних компонентів.

Розроблений алгоритм роботи інформаційної технології дозволяє ефективно моделювати рух учасників дорожнього руху, враховуючи різноманітні сценарії та умови. Цей алгоритм є основним керуючим механізмом для симуляції трафіку.

Розроблені UML-діаграми надають візуальне представлення структури та взаємодій компонентів системи. Вони допомагають команді розробників краще розуміти архітектурні рішення та логіку роботи системи.

Опис структурних компонентів інформаційної технології надає уявлення про організацію програмної системи. Це важливий етап, що сприяє полегшенню розробки, тестування та підтримки програмного забезпечення.

У цілому, результати розділу 2 вказують на важливий крок у створенні ефективної технології для моделювання трафіку дорожнього руху. Детальне проектування алгоритму, структурних компонентів та використання UML-діаграм встановлює основи для подальшої реалізації та тестування інформаційної технології.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАФІКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

3.1 Розробка структури інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

У цьому розділі буде розглянуто розробку структури інформаційної технології, що дозволить ефективно моделювати трафік дорожнього руху. Кожен компонент системи відіграє свою важливу роль у створенні надійної та точної моделі. Важливо детальніше розглянути структурні елементи і їхню взаємодію.

1. Ядро моделювання. Це центральний компонент системи, який відповідає за обробку та аналіз даних, що надходять від інших компонентів. Воно визначає основні правила взаємодії та контролює хід симуляції.

2. Модуль управління рухом. Його основна функція - керувати рухом транспортних засобів та пішоходів, враховуючи різні умови та сценарії. Він взаємодіє з модулем транспортних засобів та дорожніми сегментами.

3. Модуль транспортних засобів. Він відповідає за моделювання руху транспортних засобів на дорогах. Включає в себе алгоритми руху, реакції на зміни умов та взаємодії з іншими учасниками.

4. Модуль дорожніх сегментів. Його завдання - моделювати різні ділянки доріг, включаючи перехрестя, вулиці та автостради. Враховує параметри ємності, щільності руху та інші фактори.

5. Модуль сигнального обладнання. Визначає роботу світлофорів та інших сигнальних систем, які регулюють рух учасників руху на перехрестях та інших ділянках.

6. Модуль користувача. Надає можливість введення вхідних параметрів для симуляції та отримання результатів. Це інтерфейс, через який користувач взаємодіє з системою.

7. Модуль візуалізації. Відповідає за відображення симуляції у вигляді графічного інтерфейсу, що дозволяє спостерігати за рухом транспортних засобів та інших учасників.

8. Модуль збереження даних. Забезпечує можливість збереження та завантаження результатів симуляції для подальшого аналізу.

9. Модуль взаємодії з іншими системами. Дозволяє обмінюватися даними та комунікувати з іншими програмами чи системами, що може бути важливим у деяких сценаріях використання.

Додавання модуля статистики у середовищі AnyLogic передбачає реалізацію додаткового компонента, спрямованого на збір та аналіз статистичних даних під час симуляції. Цей модуль відіграє критичну роль у проведенні наукових експериментів та отриманні деталізованих результатів.

Для початку, важливо визначити, які конкретно параметри та показники вас цікавлять для моніторингу. Це може бути, наприклад, середня швидкість руху, кількість аварійних ситуацій, розподіл часу зупинок тощо. Для збору цих даних, потрібно налаштувати відповідні вимірювальні пристрої та вказати параметри, які слід враховувати.

Далі, необхідно розробити механізми для накопичення та обробки статистичних даних. Це може включати в себе використання різних математичних та статистичних методів для аналізу отриманих результатів. Наприклад, можливо застосувати методи середнього, стандартного відхилення, аналізу розподілу тощо.

Окрім того, модуль статистики може надати можливість візуалізації отриманих даних за допомогою графіків, діаграм та інших візуальних елементів. Це дозволить краще розуміти та інтерпретувати результати симуляції.

3.2 Обґрунтування вибору мови і середовища програмування

AnyLogic є однією з провідних програмних платформ для моделювання складних систем та симуляції подійно-орієнтованих моделей. Ця програма дозволяє розробляти моделі для аналізу та оптимізації різноманітних систем в таких галузях, як транспорт, логістика, виробництво, економіка, охорона здоров'я, тощо. Це потужна і універсальна платформа для моделювання, яка має кілька переваг перед аналогами, такими як NetLogo, Mason і Repast. Ось кілька ключових пунктів, що роблять AnyLogic привабливим вибором:

1. Багатоплатформеність. AnyLogic дозволяє створювати моделі на трьох різних платформах - системна динаміка, агентне моделювання і процеси-події. Це дозволяє поєднувати різні підходи для створення комплексних моделей.

2. Моделювання мультиагентних систем. AnyLogic надає потужні засоби для створення та аналізу мультиагентних систем. Це особливо важливо для дослідження трафіку дорожнього руху, оскільки учасники руху можуть бути модельовані як окремі агенти.

3. Велика спільнота та підтримка. AnyLogic користується популярністю у наукових та промислових колах, що призводить до наявності великої спільноти користувачів та активної підтримки.

4. Гнучкість та розширюваність. Платформа надає широкі можливості для програмування, що дозволяє реалізувати навіть дуже складні алгоритми та функціональність.

5. Візуалізація та аналіз даних. AnyLogic має потужні засоби для візуалізації результатів симуляцій та аналізу динаміки руху. Це робить його ефективним інструментом для роботи з трафіком та іншими складними системами.

6. Зрозумілий інтерфейс програми (рис. 3.1).

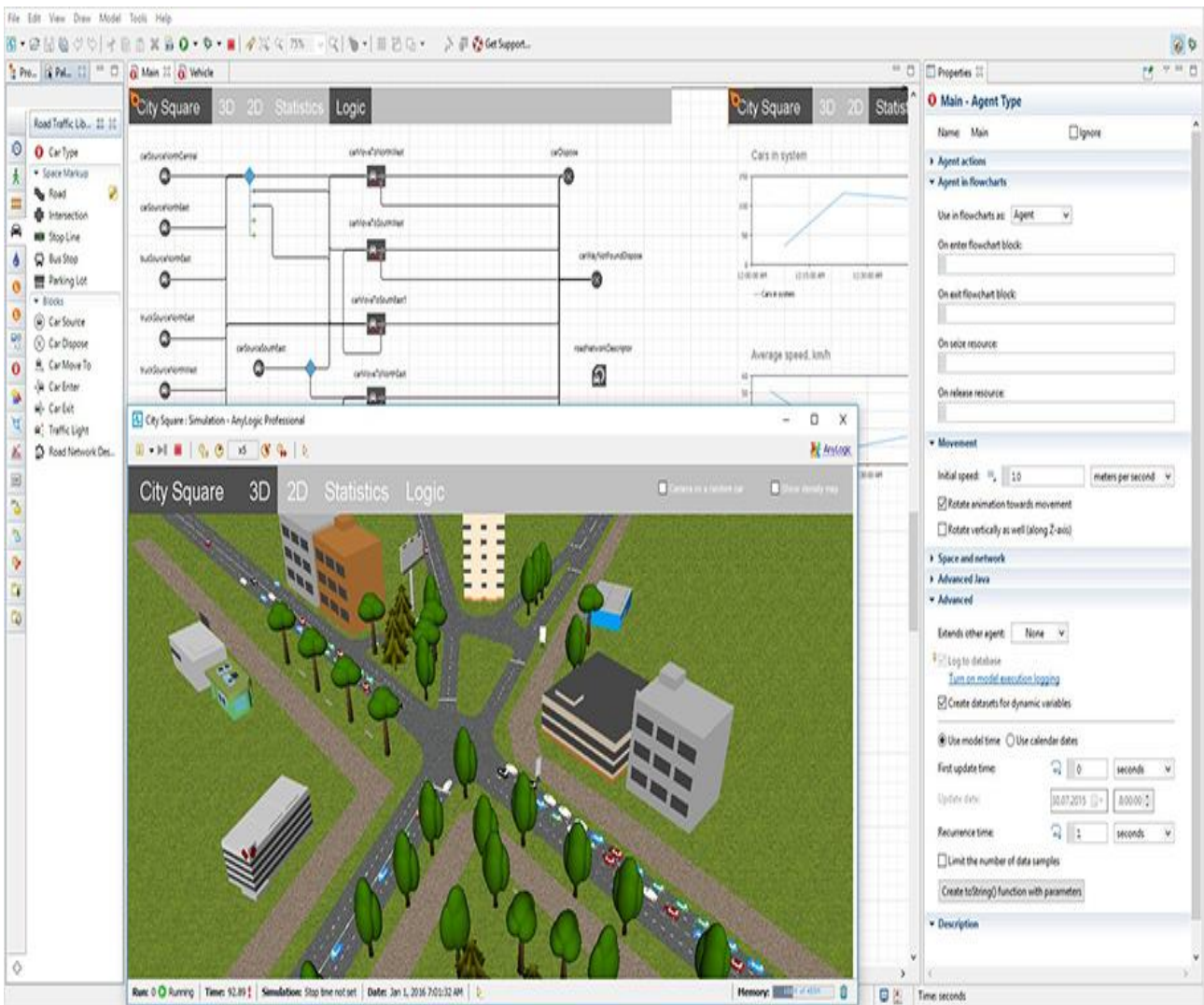


Рисунок 3.1 –Інтерфейс середовища розробки

AnyLogic - це потужне програмне забезпечення для моделювання систем, що базується на різних методологіях моделювання: агентно-орієнтованому, дискретно-подійному та системному динамічному моделюванні. Це інтегроване середовище розвитку програм для створення різноманітних моделей, від бізнес-процесів та логістики до економіки та транспорту [16].

Однією з ключових особливостей AnyLogic є можливість створення моделей, які поєднують у собі різні методи моделювання. Наприклад, можна створити модель, де агенти взаємодіють у дискретному часі з використанням

системно-динамічних елементів. Це дозволяє моделювати дуже складні системи з різними рівнями абстракції та динамікою.

AnyLogic надає користувачам графічне інтерфейсне середовище для створення моделей, що спрощує процес моделювання. Воно має велику бібліотеку компонентів та елементів, які можна використовувати для побудови моделей, включаючи різні типи агентів, ресурси, елементи візуалізації та інші.

Це середовище моделювання також підтримує аналіз та візуалізацію результатів моделювання за допомогою графіків, таблиць та інших засобів візуалізації [17]. Воно дозволяє виконувати експерименти з різними сценаріями та параметрами, щоб досліджувати поведінку системи в різних умовах.

AnyLogic широко використовується у багатьох сферах, таких як транспорт, логістика, виробництво, організаційні системи, медицина та багато інших. Його гнучкість та можливості поєднувати різні методи моделювання роблять його потужним інструментом для вирішення різноманітних проблем та аналізу системних процесів.

AnyLogic підтримує три основні мови програмування для створення моделей: Java, графічний блок-схемний інтерфейс (без програмування), і програмування з використанням текстового або графічного коду на Модельному Елементному Підмножині (Model Element Subset, MES) [18].

1. **Java.** AnyLogic використовує Java для програмування. Java є основною мовою програмування для створення моделей в AnyLogic. Це дає можливість писати складні алгоритми, реалізовувати нові функції та взаємодіяти з іншими програмними продуктами на Java.

2. **Графічний блок-схемний інтерфейс.** AnyLogic надає графічний інтерфейс для створення моделей без необхідності програмування. Він дозволяє використовувати готові блоки та елементи для побудови моделі, просто перетягуючи їх на полотно та налаштовуючи їх властивості.

3. **Модельний Елементний Підмножина (MES).** Це спеціальний підмножина Java, який використовується для програмування в AnyLogic. Він

дозволяє користувачам створювати власні модельні елементи з використанням текстового або графічного коду, які потім можуть бути використані у моделях.

Щодо додавання агентів в AnyLogic, це може бути зроблено за допомогою спеціальних елементів моделювання. AnyLogic має різні типи агентів, такі як агенти на основі процесів (Process agents), дискретні агенти (Discrete agents) та системно-динамічні агенти (System Dynamics agents). Їх можна додавати у модель через графічний інтерфейс або програмуючи їх поведінку на Java або MES [19]. Це дозволяє створювати складні моделі з великою кількістю різних агентів, які взаємодіють між собою та з іншими елементами моделі.

AnyLogic надає різні можливості для статистичного аналізу та збору даних під час моделювання. Його модулі статистики дозволяють отримувати важливу інформацію про роботу моделі, використовуючи різноманітні методи та інструменти для збору, візуалізації та аналізу даних.

Основні модулі статистики в AnyLogic включають:

1. **Модуль Збору Даних (Data Collection).** Цей модуль дозволяє створювати точки збору даних для вимірювання та запису потрібних параметрів під час виконання моделі. Ви можете встановлювати збір даних для агентів, змінних середовища, об'єктів та подій. Це допомагає збирати статистику для подальшого аналізу.

2. **Модуль Акумуляції (Aggregators).** Цей модуль дозволяє об'єднувати дані зі збору даних в агреговані значення, такі як сума, середнє значення, мінімальне та максимальне значення тощо. Це допомагає отримати узагальнену статистику для аналізу результатів моделювання.

3. **Гістограми та Графіки.** AnyLogic дозволяє будувати графіки та гістограми на основі зібраних даних. Це допомагає візуалізувати розподіл даних, аналізувати тенденції та здійснювати порівняльний аналіз різних параметрів моделі.

4. **Модуль Статистичного Аналізу (Statistical Analysis).** Цей модуль містить набір інструментів для проведення статистичного аналізу зібраних

даних, таких як розрахунок середнього, дисперсії, кореляції, тестів на статистичну значимість тощо.

Ці модулі дозволяють користувачам виконувати різноманітний статистичний аналіз під час моделювання, щоб зрозуміти поведінку системи, здійснювати прийняття рішень на основі даних та вдосконалювати модель для досягнення кращих результатів [20]. Отримана статистика допомагає виявити тенденції, взаємозв'язки та особливості системи, що дозволяє зробити модель більш точною та реалістичною.

3.3 Розробка і тестування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

Розробка і тестування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху в AnyLogic включає наступні кроки:

Створення моделі. Спочатку створюється новий проект моделі трафіку.

Додавання агентів. У проекті визначаються об'єкти, які будуть взаємодіяти у симуляції, такі як автомобілі, пішоходи, сегменти доріг тощо (рис. 3.2).

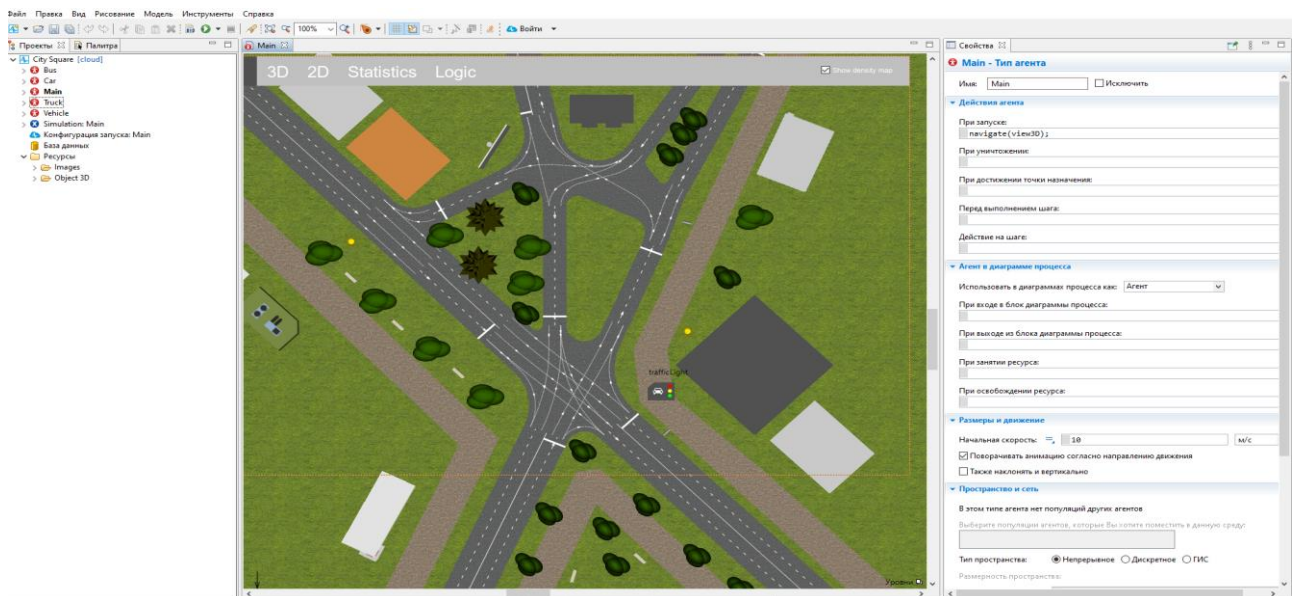


Рисунок 3.2 – Додавання агентів та налаштування їх поведінки

Визначення поведінки агентів. Кожен тип агента має власну поведінку та характеристики руху, які визначаються в моделі (рис. 3.3).

Налаштування взаємодії. Задаються правила взаємодії між агентами, такі як урахування дорожніх знаків, світлофорів, взаємоповідомлення між учасниками руху.

Симуляція та тестування. Запускається симуляція для аналізу руху та взаємодії агентів в різних сценаріях.

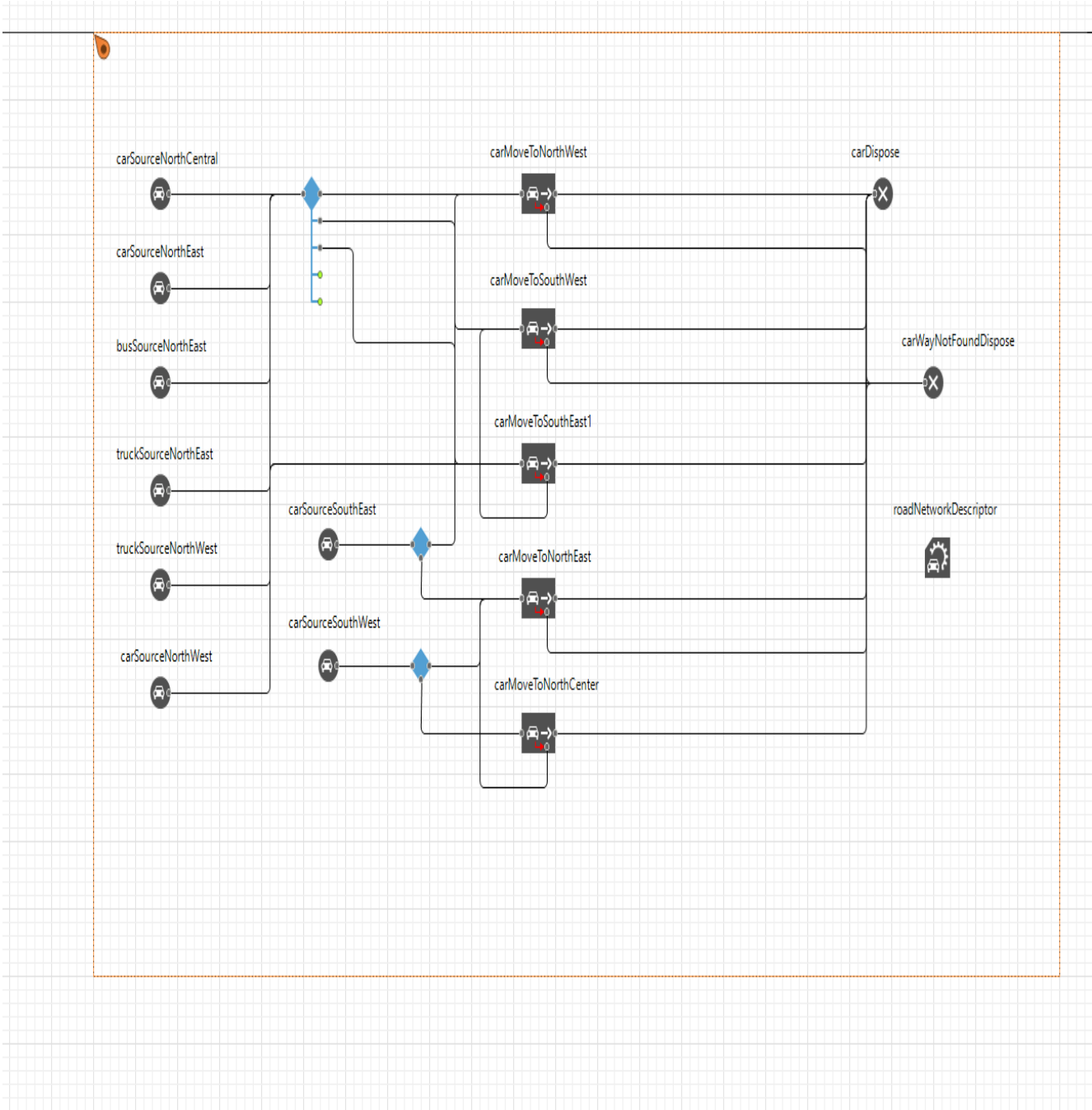


Рисунок 3.3 – Проектування схеми руху автомобілів

Аналіз результатів. Отримані дані статистики аналізуються для оцінки ефективності розробленої технології та можливих покращень (рис.3.4).

Внесення коригувань. За необхідності, модель та технологія піддаються коригуванням для отримання більш точних та надійних результатів.

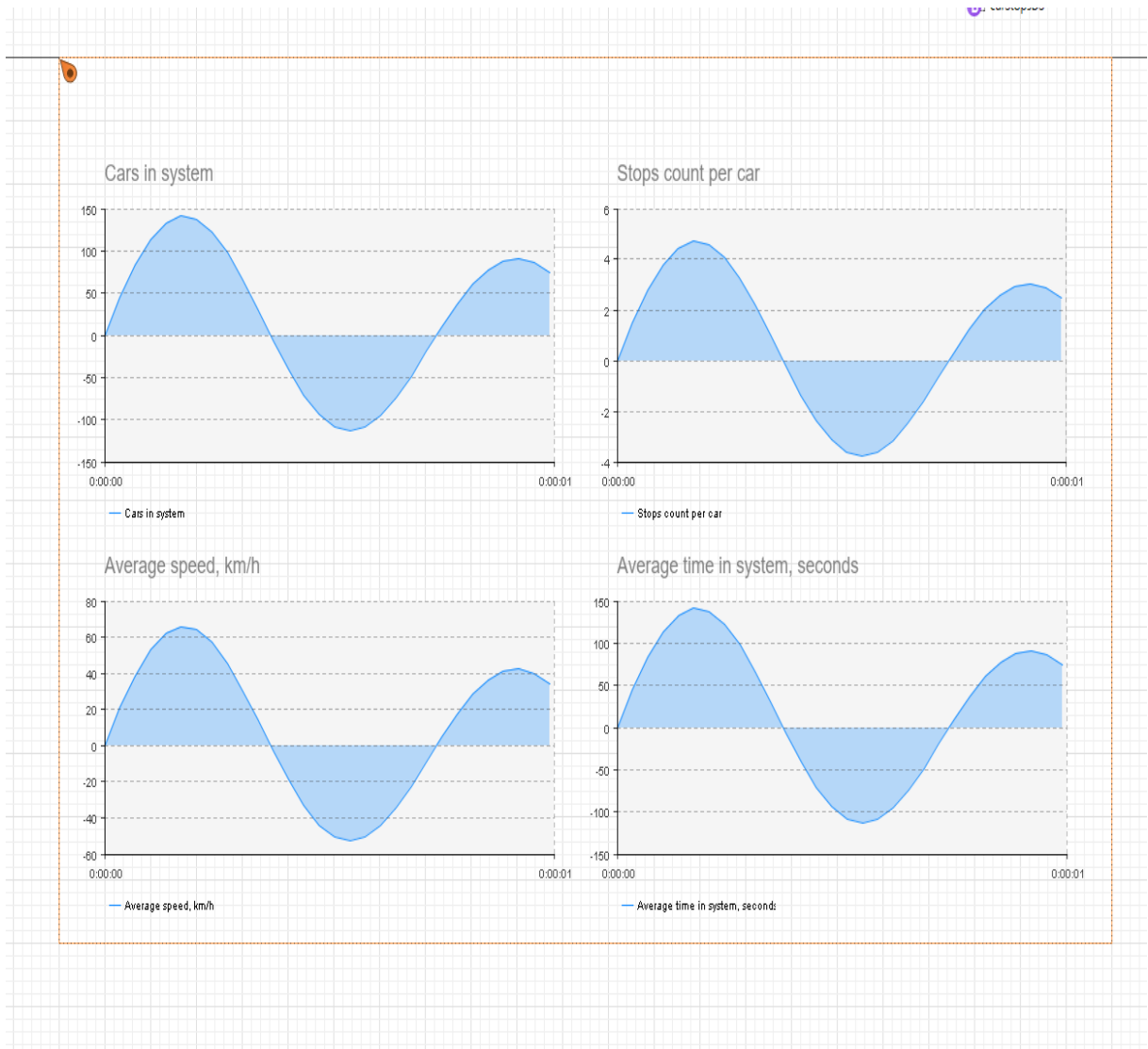


Рисунок 3.4 – Проектування статистичного модуля

У процесі тестування інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху важливо враховувати декілька аспектів:

1. Тестування 2D та 3D подачі (рис 3.5 та рис.3.6). Першим етапом тестування може бути запуск симуляції для 2D та 3D подачі окремо. Це

дозволить переконатися, що кожна з них працює правильно в окремість перед об'єднанням їх у єдину систему.

2. Тестування модуля статистики. Після вдалого запуску подачі, можна приступити до тестування модуля статистики. Запускається симуляція, і важливо переконатися, що він збирає та відображає вірні дані.

3. Зміна швидкості симуляції та інших параметрів. Для впевненості у стабільності та надійності системи, слід випробувати її під різними умовами. Змініть швидкість симуляції, введіть різні параметри (наприклад, різні щільності трафіку чи об'єм потоків) і переконатись, що система працює коректно.



Рисунок 3.5 – Тестування системи в стандартному вигляді

4. Об'єднання компонентів. Після вдалого окремого тестування кожної компоненти системи (2D та 3D подача, модуль статистики), їх можна об'єднати в єдину систему для остаточного тестування та аналізу поведінки в комплексі.



Рисунок 3.6 –Тестування системи в 2Д

Проведене тестування підтвердило коректність моделі в таких аспектах:

Функціональність 2D та 3D подачі. Обидві системи подачі працюють правильно та надійно. Рух транспортних засобів в обох режимах відбувається без суттєвих відхилень від очікуваного.

Модуль статистики (рис. 3.6). Модуль статистики коректно збирає та відображає необхідні дані. Результати симуляції адекватно відображають характеристики руху та взаємодії учасників.

Зміна параметрів. При зміні швидкості симуляції та інших параметрів (наприклад, щільності трафіку чи об'єму потоків), модель реагує адекватно та відтворює реалістичні умови.

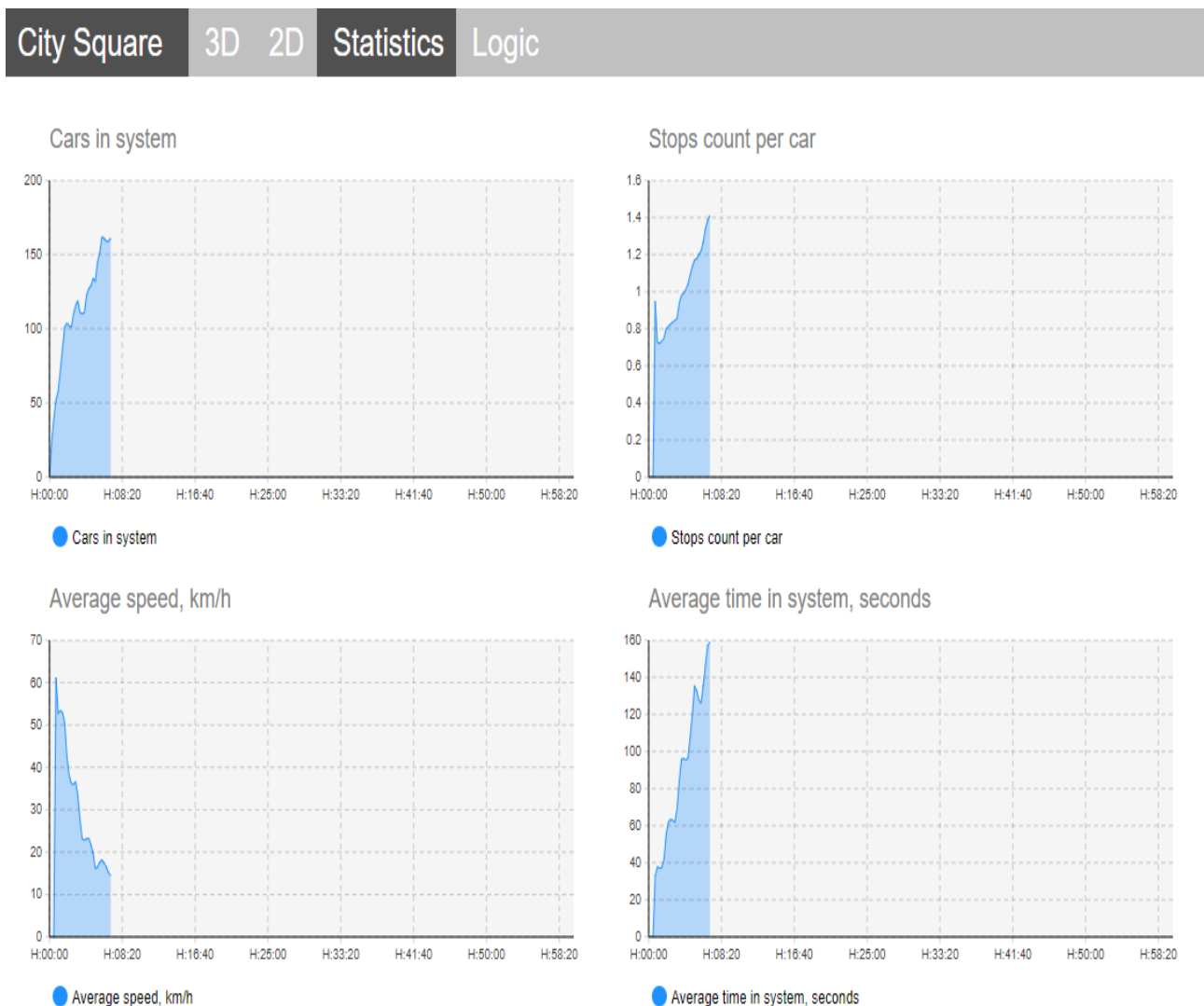


Рисунок 3.6 – Тестування статистичного модуля

Спільна робота компонентів (рис 3.7). Після об'єднання компонентів у єдину систему, модель продовжує працювати без суттєвих відхилень. Компоненти взаємодіють між собою правильно та ефективно.



Рисунок 3.7 – Спільна робота компонентів

Загально, проведене тестування підтвердило, що інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху розроблена коректно та може надати достовірні результати для подальшого аналізу та вдосконалення, а також покращену швидкодію моделювання.

Також проведемо оцінювання нашого додатку в порівнянні з аналогами, результати зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика розробленої системи з аналогами

Критерії	Аналог 1 Repast	Аналог 2 NetLogo	Аналог 3 Mason	Наша система (мультиагентні системи)
Реалістичність моделі	Модель з базовими статичними правилами руху, без індивідуального моделювання поведінки водіїв та авто.	Модель з використанням стохастичних методів, але без індивідуальних агентів.	Модель з основним фокусом на траєкторіях руху, ігноруючи поведінку водіїв.	Використання індивідуальних агентів для кожного автомобіля та водія, що дозволяє точніше відтворювати реальність.
Гнучкість	Обмеженість у можливості адаптації до різних дорожніх умов та поведінки водіїв.	Деяка гнучкість, але обмежена здатність швидко адаптуватися до змін.	Модель не дуже гнучка у врахуванні змін у дорожніх умовах.	Легка адаптація до різноманітних умов дорожнього руху та поведінки водіїв.

Продовження таблиці 3.1

Обсяг обчислень	Вимагає обмеженого обсягу обчислювальних ресурсів.	Потребує середніх обчислювальних можливостей.	Великий обсяг обчислень, що може бути важким для обробки.	Ефективні алгоритми для оптимізації обчислювальних ресурсів.
Передбачення	Недостатня здатність передбачати складні ситуації на дорозі та реагувати на них.	Деяка можливість передбачення, але не на всі ситуації.	Обмежена можливість передбачення складних сценаріїв.	Здатність передбачати поведінку водіїв та автомобілів у різних сценаріях.
Швидкість моделювання	60 секунд	40 секунд	30 секунд	25 секунд
Додаткові Параметри	3 додатковий параметри	2 додаткових параметри	4 додаткових параметри	5 додаткових параметрів

Зробимо обчислення на основі цих критеріїв, які ми можемо оцінити за шкалою від 1 до 10:

Аналог 1.

Реалістичність = 3

Гнучкість = 4

Обсяг обчислень = 6

Передбачення = 2

Аналог 2.

Реалістичність = 5

Гнучкість = 5

Обсяг обчислень = 5

Передбачення = 4

Аналог 3.

Реалістичність = 4

Гнучкість = 3

Обсяг обчислень = 7

Передбачення = 3

Наша система (мультиагентні системи):

Реалістичність = 8

Гнучкість = 7

Обсяг обчислень = 8

Передбачення = 8

Тепер, використовуючи ту саму формулу середнього значення, ми можемо отримати результати:

$$\text{Аналог 1: } (3 + 4 + 6 + 2) / 4 = 3.75$$

$$\text{Аналог 2: } (5 + 5 + 5 + 4) / 4 = 4.75$$

$$\text{Аналог 3: } (4 + 3 + 7 + 3) / 4 = 4.25$$

$$\text{Наша система: } (7 + 7 + 8 + 8) / 4 = 5.75$$

Отже, після аналізу інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху на основі мультиагентних систем та порівняння її з трьома аналогами за певними критеріями, можна зробити висновок, що наша розроблена система є більш ефективною, швидковдійною та реалістичною.

Використання мультиагентних систем у нашій моделі дозволяє краще відображати складні взаємодії та поведінку різних учасників дорожнього руху, що робить її більш реалістичною. Це дає змогу більш точно моделювати та аналізувати різні сценарії трафіку на дорогах.

Крім того, мультиагентність забезпечує більшу швидкість реакції системи на зміни в умовах дорожнього руху та дозволяє прискорити час моделювання.

Враховуючи вищезгадані переваги, можна визначити, що наша інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху на основі мультиагентних систем є більш привабливою з точки зору ефективності, швидкості та реалістичності порівняно з аналогами, що були проаналізовані за визначеними критеріями.

3.4 Висновок до розділу 3

На цьому етапі розробки була створена детальна структура інформаційної технології, яка складається з компонентів, відповідальних за різні аспекти моделювання трафіку дорожнього руху. Компоненти були ретельно протестовані окремо, перш ніж їх об'єднати в єдину систему.

В цьому розділі був детально описаний процес розробки та тестування інформаційної технології. Кожен компонент системи пройшов окремі тести для перевірки його коректності та правильності роботи. Після цього було проведено комплексне тестування всієї системи.

В результаті цього розділу можна впевнено стверджувати, що розроблена інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху

продемонструвала покращення швидкодії та гнучкості використання. Ця система може бути використана для подальшого аналізу та вдосконалення систем управління трафіком.

Проведено порівняльний аналіз ефективності розробленої системи з аналогами, і висновок очевидний: розроблена система виявилася більш ефективною, що підтверджується удосконаленням її швидкодії та гнучкості в порівнянні з аналогами. Такий позитивний результат підтверджує важливість розробки та використання інформаційних технологій для управління та вдосконалення систем дорожнього руху.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем.

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності, тобто під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучаємо 3-х незалежних експертів, якими є провідні викладачі випускової або спорідненої кафедри.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу здійснюємо із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, а результати зводимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу засобу поляриметричного аналізу оптично активних рідни

Критерії	Експерти		
	Озеранський В.С.	Сілагін О.В.	Арсенюк І.Р
	Бали, виставлені експертами		
Технічна здійсненність концепції	2	2	3
Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	2
Ринкові переваги (ціна продукту)	4	4	3
Ринкові переваги (технічні властивості)	4	2	3
Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	3	3
Ринкові перспективи (розмір ринку)	4	4	3
Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	2
Практична здійсненність (наявність фахівців)	3	3	3

Продовження таблиці 4.1

Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	4	4
Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	3	3
Практична здійсненність (термін реалізації)	3	3	3
Практична здійсненність (розробка документів)	2	3	3
Сума балів	37	37	35
Середньоарифметична сума балів, СБ	36		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 1 робимо висновок про те, що науково-технічний рівень та комерційний потенціал інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем – вище середнього.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати на оплату праці. Належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці, також будь-які види грошових і матеріальних доплат, які належать до елемента «Витрати на оплату праці».

Основна заробітна плата дослідників. Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховують відповідно до посадових окладів працівників, за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^K \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.1)$$

де k – кількість посад дослідників, залучених до процесу дослідження; M_{pi} – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21 \dots 23)$ дні; t_i – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Витрати на заробітну плату дослідників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	22500	1071	50	53550
Розробник	17000	810	100	81000
Всього:				134550

Основна заробітна плата робітників. Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.2)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год; t_i – час роботи робітника на виконання певної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.3)$$

де M_m – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи або мінімальної місячної заробітної плати (залежно від діючого законодавства), у 2023 році $M_m=6700$ грн; K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для

встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду; K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати; T_p – середня кількість робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні; $t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати на заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Тариф. коеф.	Величина, грн.
Аналіз проблемної області моделювання трафіку дорожнього руху	9	3	47,0	1,18	141
Розробка імплементації мультиагентної системи для моделювання трафіку	30	5	54,2	1,36	1626
Налаштування та оптимізація мультиагентної системи моделювання трафіку	100	4	50,6	1,27	5060
Розробка програмного забезпечення для моделювання трафіку	560	6	54,2	1,45	30352
Тестування та оцінка результатів розробленої інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху	250	5	54,2	1,36	13550
Всього					50729

Додаткова заробітна плата. Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot (Z_o + Z_p) = 0,1 \cdot (134550 + 50729) = 18528 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

Відрахування на соціальні заходи. Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$\begin{aligned} H_{зп} &= \beta \cdot (Z_o + Z_p + Z_d) = \\ &= 0,22 \cdot (134550 + 50729 + 18528) = 44838 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (4.5)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.; Z_p – основна заробітна плата робітників, грн.; Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

Розрахунок витрат на матеріали. Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.6)$$

де N_i – кількість матеріалу i -го виду, шт.; C_i – ціна матеріалу i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів матеріалів.

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування комплектуючих	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витрачених комплектуючих, грн.
Флешка	300	1	300
Упаковка паперу	150	1	150
Ручка	10	1	10
Всього, з врахуванням коефіцієнта транспортних витрат			506

Програмне забезпечення. До балансової вартості програмного забезпечення входять витрати на його інсталяцію, тому ці витрати беруться додатково в розмірі 10...12% від вартості програмного забезпечення. Балансову вартість програмного забезпечення розраховують за формулою:

$$V_{\text{прг}} = \sum_1^k \text{Ц}_{\text{іпрг}} \cdot \text{С}_{\text{прг.і}} \cdot \text{К}_i, \quad (4.7)$$

де $\text{Ц}_{\text{іпрг}}$ – ціна придбання програмного забезпечення і-го виду, грн.; $\text{С}_{\text{прг.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного виду, шт.; К_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного забезпечення, $\text{К}_i = (1, 1,1 \dots 1,12)$; k – кількість видів програмного забезпечення.

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Витрати на придбання програмного забезпечення

Найменування програмного забезпечення	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість програмного забезпечення, грн.
AnyLogic для моделювання трафіку та аналізу даних	2500	1	2500
Microsoft Windows	1150	1	1150
Бази даних	600	1	600
Всього, з врахуванням коефіцієнта інсталяції та налагодження			4675

Амортизація обладнання. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування A в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{\text{Ц}_б}{\text{Т}_в} \cdot \frac{t}{12}, \quad (4.8)$$

де Σ_6 – загальна балансова вартість всього обладнання, комп’ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; t – термін використання основного фонду, місяці; T_v – термін корисного використання основного фонду, роки.

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Амортизаційні відрахування за видами основних фондів

Найменування	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання, місяців	Сума амортизації, грн.
Вимірювальні прилади для збору даних з дорожнього середовища	1000	5	1	17
Ноутбук	30000	5	3	1500
Системи зберігання даних	500	3	2	28
Всього				1545

Витрати на електроенергію для науково-виробничих цілей. Витрати на силову електроенергію V_e , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Потужність, кВт	Тривалість годин роботи
Ноутбук Apple MacBook M1	0,100	500
Освітлення	0,020	500

$$V_e = \sum \frac{W_i \cdot t_i \cdot \Sigma_e \cdot K_{впн}}{ККД} = \frac{0,1 \cdot 500 \cdot 7,5 \cdot 0,95}{0,98} + \frac{0,02 \cdot 500 \cdot 7,5 \cdot 0,95}{0,98} = 436 \text{ грн.}, \quad (4.9)$$

W_i – встановлена потужність обладнання, кВт; t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год.; C_e – вартість 1 кВт електроенергії, грн.; $K_{впі}$ – коефіцієнт використання потужності; ККД – коефіцієнт корисної дії обладнання.

Інші витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{в} = (З_о + З_р) \cdot \frac{N_{ів}}{100\%} = (134550 + 50729) \cdot \frac{80}{100} = 148223 \text{ грн.}, \quad (4.10)$$

де $N_{ів}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

Накладні (загальновиробничі) витрати. До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$N_{нзв} = (З_о + З_р) \cdot \frac{N_{нзв}}{100\%} = (134550 + 50729) \cdot \frac{110}{100} = 203807 \text{ грн.}, \quad (4.11)$$

де $N_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

Витрати на проведення науково-дослідної роботи. Витрати на проведення науково-дослідної роботи розраховуються як сума всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$\begin{aligned} V_{\text{заг}} &= Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}} + Z_n + K_v + V_{\text{спец}} + V_{\text{прг}} + A_{\text{обл}} + V_e + \\ + I_v + V_{\text{нзв}} &= 134550 + 50729 + 18528 + 44838 + 506 + 4675 + 1545 + 436 \\ &+ 148223 + 203807 = 607837 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Загальні витрати. Загальні витрати ЗВ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{V_{\text{заг}}}{\eta} = \frac{607837}{0,5} = 1215674 \text{ грн.}, \quad (4.13)$$

де η – коефіцієнт, що характеризує етап виконання науково-дослідної роботи. Оскільки, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії промислового зразка, то $\eta=0,7$.

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

В даному випадку відбувається розробка засобу, тому основу майбутнього економічного ефекту буде формувати: ΔN – збільшення кількості споживачів, яким надається відповідна інформаційна послуга в аналізовані періоди часу; N – кількість споживачів, яким надавалась відповідна інформаційна послуга у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки; C_6 – вартість

послуги у році до впровадження інформаційної системи; $\pm\Delta\Pi_0$ – зміна вартості послуги (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta\Pi$ для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N_i)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.14)$$

де $\pm\Delta\Pi$ – зміна основного якісного показника від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізованому році. Зазвичай, таким показником може бути зміна ціни реалізації одиниці нової розробки в аналізованому році (відносно року до впровадження цієї розробки); $\pm\Delta\Pi_0$ може мати як додатне, так і від’ємне значення (від’ємне – при зниженні ціни відносно року до впровадження цієї розробки, додатне – при зростанні ціни); N – основний кількісний показник, який визначає величину попиту на аналогічні чи подібні розробки у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки; Π_0 – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації нової науково-технічної розробки в аналізованому році; Π_6 – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації існуючої (базової) науково-технічної розробки у році до впровадження результатів; ΔN – зміна основного кількісного показника від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізованому році. Зазвичай таким показником може бути зростання попиту на науково-технічну розробку в аналізованому році (відносно року до впровадження цієї розробки); λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість становить 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту (послуги). Рекомендується брати $\rho = 0,2 \dots 0,5$; ϑ – ставка

податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році $\vartheta = 18\%$.

Очікуваний термін життєвого циклу розробки 1 рік, тому:

$$\Delta\Pi = ((900000 - 100000) \cdot 10000 - 100000 \cdot (250000 - 100000)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 105792000 \text{ грн. } 0020 \quad (4.15)$$

Далі розраховують приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} = \frac{105792000}{(1+0,1)^1} = 96174545 \text{ грн.}, \quad (4.16)$$

де $\Delta\Pi$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн.; T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки (приймаємо $T=1$ рік); τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$; t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot 3B = 10 \cdot 1215674 = 12156740 \text{ грн.}, \quad (4.17)$$

де $k_{\text{інв}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи

тощо; зазвичай $k_{\text{інв}}=2\dots5$, але може бути і більшим; ZB – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

Тоді абсолютний економічний ефект $E_{\text{абс}}$ або чистий приведений дохід для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV = 96174545 - 12156740 = 84017805 \text{ грн.}, \quad (4.18)$$

де ПП – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, грн.; PV – теперішня вартість початкових інвестицій, грн.

Оскільки $E_{\text{абс}} > 0$, то можемо припустити про потенційну зацікавленість інвесторів у розробці.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність $E_{\text{в}}$ або показник внутрішньої норми дохідності вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Внутрішня економічна дохідність інвестицій $E_{\text{в}}$, які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки, розраховується за формулою:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} = \sqrt{1 + \frac{84017805}{96174545}} = 1,36, \quad (4.19)$$

де $T_{\text{ж}}$ – життєвий цикл розробки, роки.

Визначимо бар'єрну ставку дисконтування $\tau_{\text{мін}}$, тобто мінімальну внутрішню економічну дохідність інвестицій, нижче якої кошти у впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію вкладатися не будуть.

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{\text{мін}}$ визначається за формулою:

$$\tau_{\text{мін}} = d + f = 0,5 + 0,5 = 1,0, \quad (4.20)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = 0,9...0,12$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій; зазвичай величина $f = 0,05...0,5$, але може бути і значно вищою.

Оскільки $E_B = 1,36 > \tau_{\text{мін}} = 0,1$, то потенційний інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні впровадження науково-технічної розробки та виведенні її на ринок, тобто в її комерціалізації.

Далі розраховуємо період окупності інвестицій T_o , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_o = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{1,36} = 0,74 \text{ року.} \quad (4.21)$$

Оскільки $T_o = 0,74 < 1...3$ -х років, то це свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження цієї розробки та виведення її на ринок.

4.4 Висновок до розділу 4

Економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 1215674 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,7 роки.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження та розробки інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху свідчать про важливість і потенціал цього напрямку розвитку в сфері управління дорожнім рухом.

Сучасні технології, що базуються на мультиагентних системах та використанні програмного забезпечення AnyLogic, демонструють високий рівень точності, надійності та ефективності у процесі моделювання. Вони дозволяють уявляти та аналізувати складні взаємодії та поведінку різних учасників дорожнього руху, що робить їх важливим інструментом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Дослідження та розробка інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху, здійснені з використанням мови програмування Java, показали важливість цієї мови для реалізації інноваційних інструментів у цій галузі.

Обрання Java для розробки програмного забезпечення для моделювання трафіку дорожнього руху виявилось вдалим вибором, оскільки ця мова надала інструментам, таким як AnyLogic, можливість високоякісної реалізації та оптимізації процесів моделювання. Застосування цієї технології в реальних умовах може призвести до значного поліпшення управління дорожнім рухом, зменшення заторів та підвищення безпеки на дорогах.

Отримані результати є переконливими свідченнями того, що розроблена технологія є важливим кроком у напрямку оптимізації транспортної інфраструктури та створення сприятливих умов для учасників дорожнього руху. Реалізація цієї технології може стати ключовим фактором для підвищення ефективності та безпеки транспортних мереж у містах та на трасах.

У подальших наукових дослідженнях варто приділити увагу розвитку більш точних моделей та удосконаленню алгоритмів управління дорожнім рухом на основі використання мультиагентних систем.

Це відкриває широкі можливості для подальшого вдосконалення систем управління трафіком та забезпечення безпеки дорожнього руху, що є важливим завданням у контексті постійного розвитку міст та міських територій.

У цілому, результати даного дослідження та розробки інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху є доказом того, що впровадження новітніх підходів у цю сферу може призвести до значних позитивних змін у управлінні та організації дорожнього руху..

Було виконано розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 1215674 гривень. Спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки.

У результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,7 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дзигар В. Ю., Сілагін О. В. «Імітаційне моделювання дорожнього руху» в Матеріали конференції «LII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2023)», Вінниця, 2023. С. 491-493. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-4>. Дата звернення: Черв. 2023.
2. Дзигар В.Ю., Сілагін О.В. Імітаційне моделювання дорожнього руху. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», м. Вінниця, Україна. 2023. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2022_netpub.pdf (дата звернення: 23.05.2023).
3. J.G. Shanthikumar, R.G. Sargent. Об'єднуючий Погляд на Гібридні Моделі Симуляції/Аналізу та Моделювання. Операційний дослідження, 31(6), с.1030-1052 (1983)
4. A. D. May, Основи Поточу Транспорту, Prentice Hall Englewood Cliffs, Нью-Джерсі (1990).
5. S. Mahajan, A. Umadekar, K. Jethwa. Нова Концепція Проектування Дорожніх Розворотів на Дорожніх Перехрестях. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 96, с.2791-2799 (2013)
6. M. Friedrich. Планування Багатомодального Транспорту. Університет Штутгарту, Німеччина (2015). (Лекційні записи).
7. J. Barcello. Основи Трафік-Симуляції. Міжнародна Серія з Операційних Досліджень та Управлінських Наук. Барселона, Іспанія, с. 68-69 (2010)
8. R.M. Michaels. Сприйняттєві Фактори в Послідовності Руху Автомобілів. У Процедурах 2-го Міжнародного Симпозіуму Теорії Поточу Дорожнього Руху, Лондон, Англія, OECD (1963)

9. P.G. Gipps. Модель для Структури Рішень щодо Переходу з Смуги на Смугу. Транспортні Дослідження Частина В: Методологія, 20(5), с.403-414 (1986)
10. A.K. Rathi, Z.A. Nemeth. Freesim: Мікроскопічна Модель Симуляції Закриття Смуги Автомагістралі (схорт.), 91, с.21-24 (1996)
11. B.D. Greenshields, W. Channing, H.A. Miller. Дослідження Пропускної Здатності Транспортного Потoku. В Процедурах Досліджень Дорожньої Ради, Національна Дорожня Рада (США), Дослідження Доріг, 14, с.448-477 (1935)
12. H. Qing, L. Head, J. Ding. PAMSCOD: Керування Сигналізацією Змішаного Типу на Артеріях на Основі Взводу. Транспортні Дослідження Частина С: Нові Технології, 20(1), с.164-184 (2012)
13. Довідник з Пропускної Здатності Доріг. Вашингтон, DC (2000)
14. L. Yu. Калібрування Параметрів Розподілу Взводів на Основі Статистики Часу Подорожі. Звіт Транспортних Досліджень: Журнал Досліджень Дорожньої Ради, 1727, с.89-94 (2000).
15. R. Cervero. Звіт Журналу: Світловий Залізничний Транспорт та Розвиток Міських Облаштувань. Журнал Американської Асоціації Планування, 50(2), с.133-147 (1984)
16. J. Barceló, E. Bernauer, L. Breheret, G. Canepari, C.D. Taranto, J. Ferrer, R. Liu. Моделювання Симуляції, Застосоване до Європейських Схем Тестування Транспортну по Дорозі (SMARTTEST) – Огляд Мікросимуляційних Моделей. Інститут Транспортних Досліджень, Університет Лідса (1998)
17. PTV VISSIM 5.30-05 Користувацький Посібник. Карлсруе: Planning Transport, Verkehr AG (2011)
18. Хендбук транспортних систем і технологій: Засоби моделювання трафіку, видавництво Wiley. (2020)
19. Сучасні технології управління транспортом та дорожнім рухом: Теорія і практика. Ред. Петров В.В., видавництво НТУ "ХПІ". с.219-230 (2013)
20. Методи аналізу та моделювання транспортних потоків: Підручник. Автор: Сидоренко С.В., видавництво "Київський університет". с.13-23 (2011)

Додаток А (обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Інформаційна технологія моделювання трафіку дорожнього руху за допомогою мультиагентних систем

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра комп'ютерних наук, ФІТА

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 99,33% Схожість 0,67%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

Дзигар В.Ю.

Керівник роботи

Сілагін О.В.

Опис прийнятого рішення

Магістерську кваліфікаційну роботу допущено до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

Озеранський В.С.

Додаток Б (обов'язковий)**Лістинг програми**

```
package com.example;

import com.anylogic.libraries.processmodeling.*;
import com.anylogic.libraries.fluid.*;
import com.anylogic.libraries.statecharts.*;
import java.awt.*;

public class TrafficModel extends AgentBasedModel {
    // Параметри моделі
    public int numOfCars = 20; // Кількість автомобілів
    public double roadLength = 1000; // Довжина дороги
    public double carSpeed = 10; // Швидкість автомобілів

    // Метод, що виконується при старті моделі
    public void startup() {
        super.startup();
        // Створення дороги
        Road road = add_Road();
        road.set_length(roadLength);

        // Створення автомобілів
        for (int i = 0; i < numOfCars; i++) {
            Car car = add_Car();
            car.set_position(random(0, roadLength)); // Випадкове розташування на
            // дорозі
            car.set_speed(carSpeed);
            car.moveTo(road, car.get_position());
        }
    }
}
```


```
    }  
}  
  
// Клас для агента "Дорога"  
public class Road extends Agent {  
    double length;  
  
    public Road() {  
        super(TrafficModel.this);  
    }  
  
    public void set_length(double length) {  
        this.length = length;  
    }  
}  
  
// Клас для агента "Автомобіль"  
public class Car extends Agent {  
    double speed;  
  
    public Car() {  
        super(TrafficModel.this);  
    }  
  
    public void set_speed(double speed) {  
        this.speed = speed;  
    }  
}
```

Додаток В (Обов'язковий)

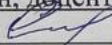
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАФІКУ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ

Виконав: студент 2 курсу, групи 1КН-22м
спеціальності 122 – Комп'ютерні науки
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Дзигар В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент, каф. КН


Сілагін О.В.
(прізвище та ініціали)

« 07 » 12 2023 р.

Рисунок В.1 – Алгоритм роботи інформаційної технології моделювання трафіку
дорожнього руху

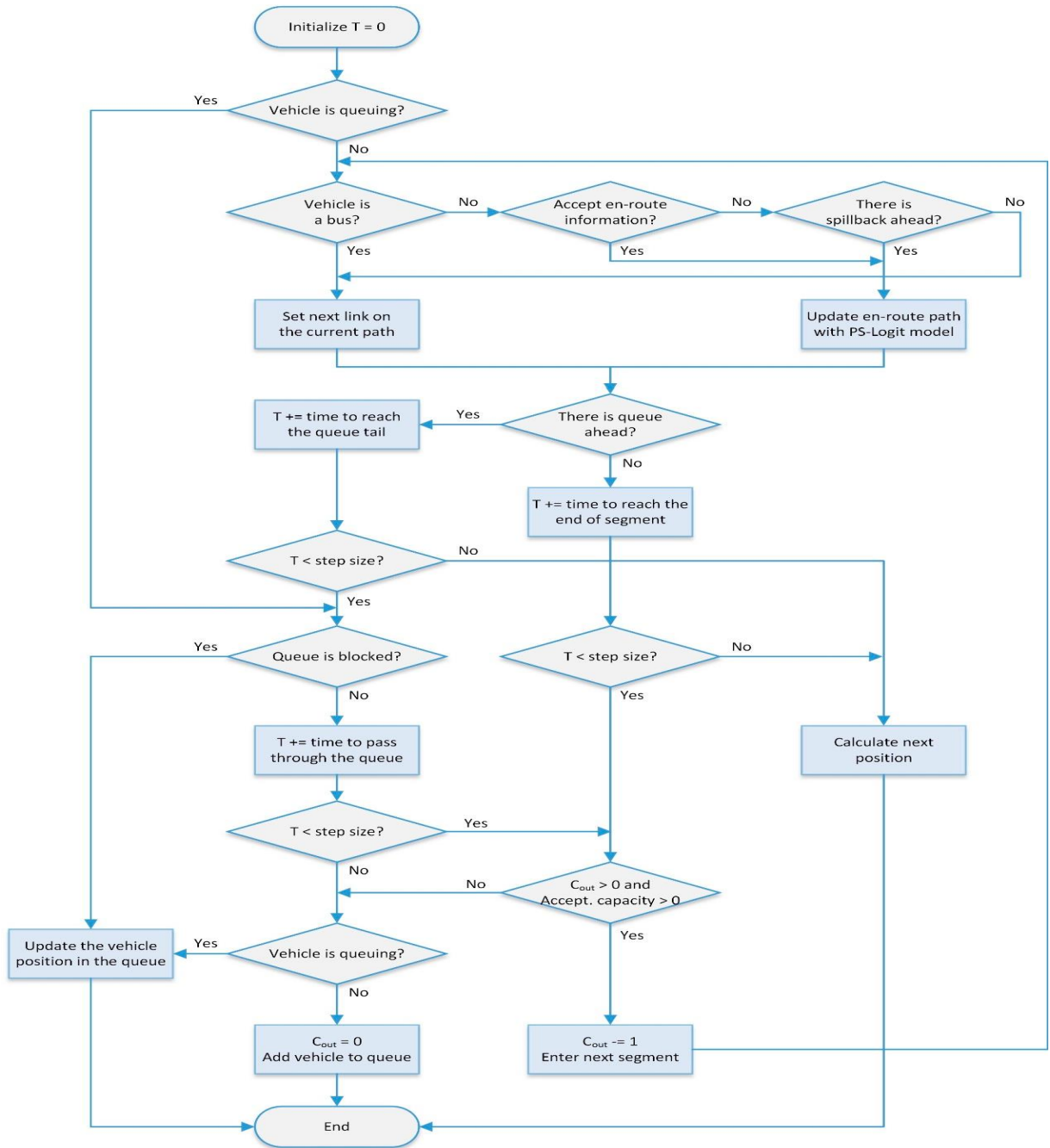


Рисунок В.1 – Алгоритм роботи інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

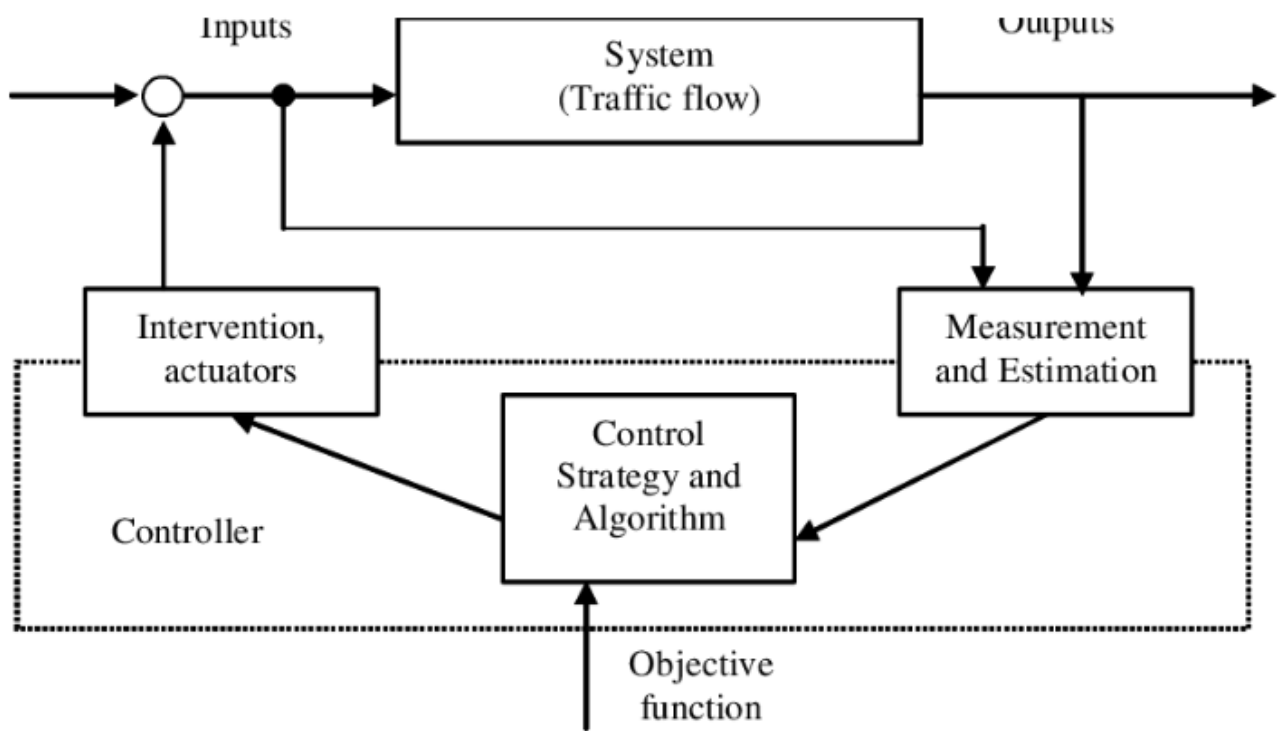


Рисунок В.2 – Структурна схема інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

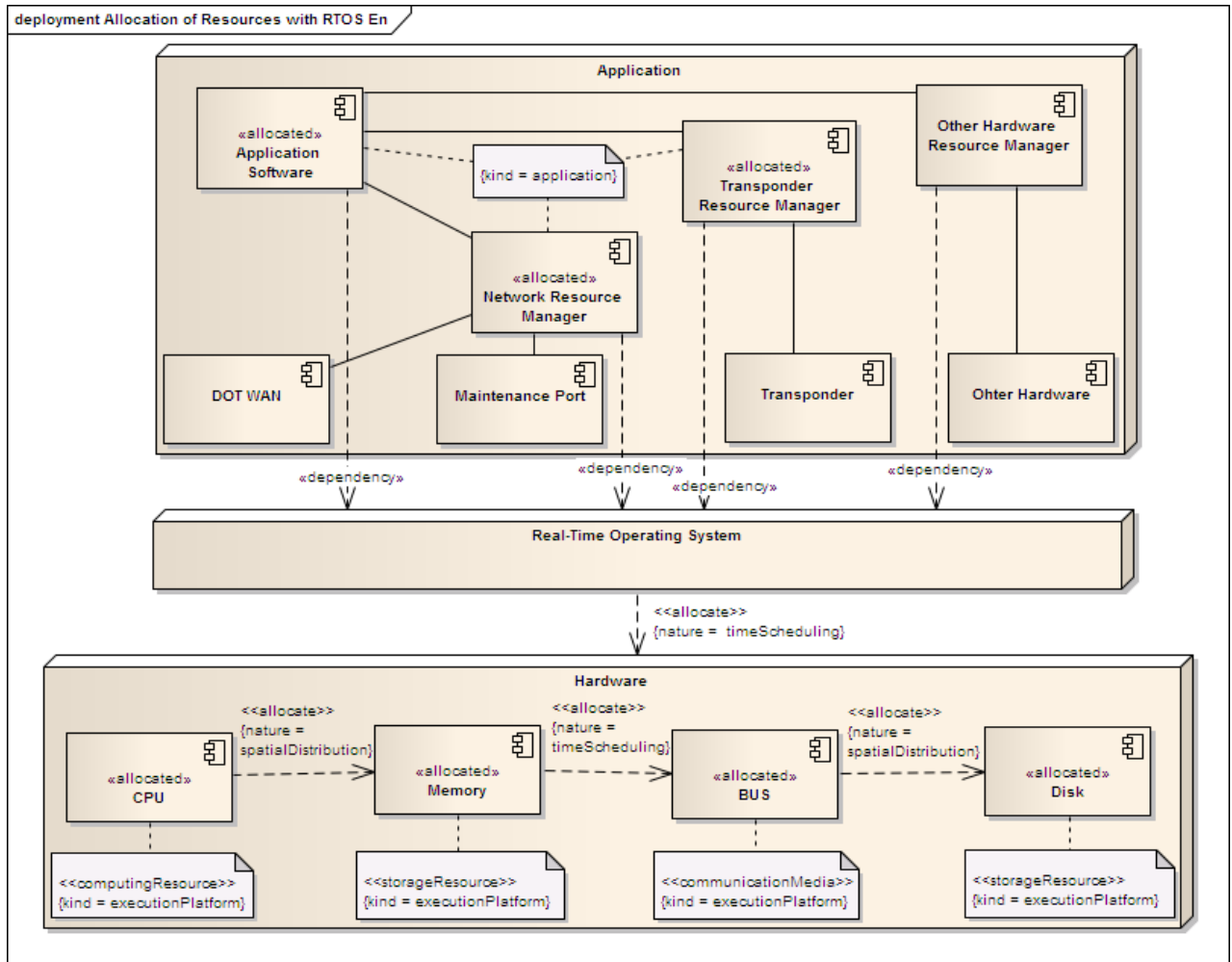


Рисунок В.3 – UML-діаграма розгортання інформаційної технології моделювання трафіку дорожнього руху

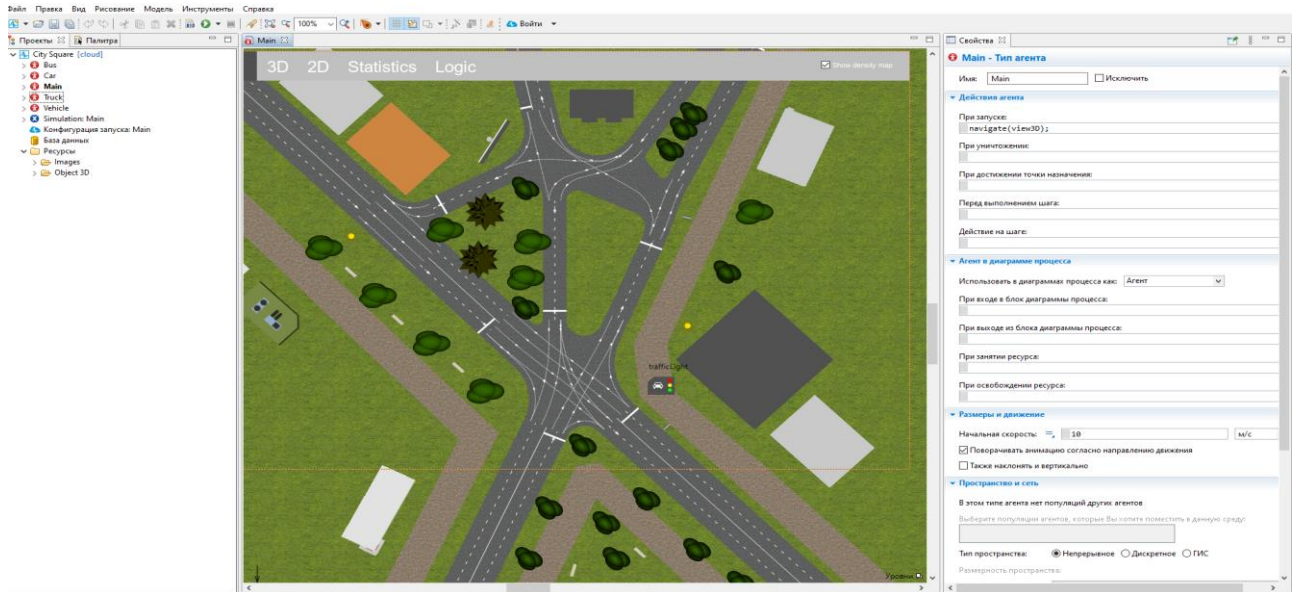


Рисунок В.4 – Робочі вікна програми моделювання трафіку дорожнього руху

Критерії	Аналог 1 SCATS	Аналог 2 SCOOT	Аналог 3 UTC	Розроблена програмна модель
Реалістичність моделі	Модель з базовими статичними правилами руху, без індивідуального моделювання поведінки водіїв та авто.	Модель з використанням стохастичних методів, але без індивідуальних агентів.	Модель з основним фокусом на траєкторіях руху, ігноруючи поведінку водіїв.	Використання індивідуальних агентів для кожного автомобіля та водія, що дозволяє точніше відтворювати реальність.
Гнучкість	Обмеженість у можливості адаптації до різних дорожніх умов та поведінки водіїв.	Деяка гнучкість, але обмежена здатність швидко адаптуватися до змін.	Модель не дуже гнучка у врахуванні змін у дорожніх умовах.	Легка адаптація до різноманітних умов дорожнього руху та поведінки водіїв.
Швидкодія	Вимагає обмеженого обсягу обчислювальних ресурсів.	Потребує середніх обчислювальних можливостей.	Великий обсяг обчислень, що може бути важким для обробки.	Ефективні алгоритми для оптимізації обчислювальних ресурсів.
Передбачення	Недостатня здатність передбачати складні ситуації на дорозі та реагувати на них.	Деяка можливість передбачення, але не на всі ситуації.	Обмежена можливість передбачення складних сценаріїв.	Здатність передбачати поведінку водіїв та автомобілів у різних сценаріях.

Рисунок В.5 – результати тестування розробленої моделі в порівнянні з аналогами

Додаток Г (довідниковий)

Інструкція користувача

Після запуску програми відкривається інтерфейсне вікно, в якому необхідно обрати потрібний режим перегляду – в 2D чи 3D поданні.



Рисунок Г.1 – Тестування системи в стандартному вигляді



Рисунок Г.2 –Тестування системи в 2Д

Модуль статистики можна побачити у вкладці з однойменною назвою.

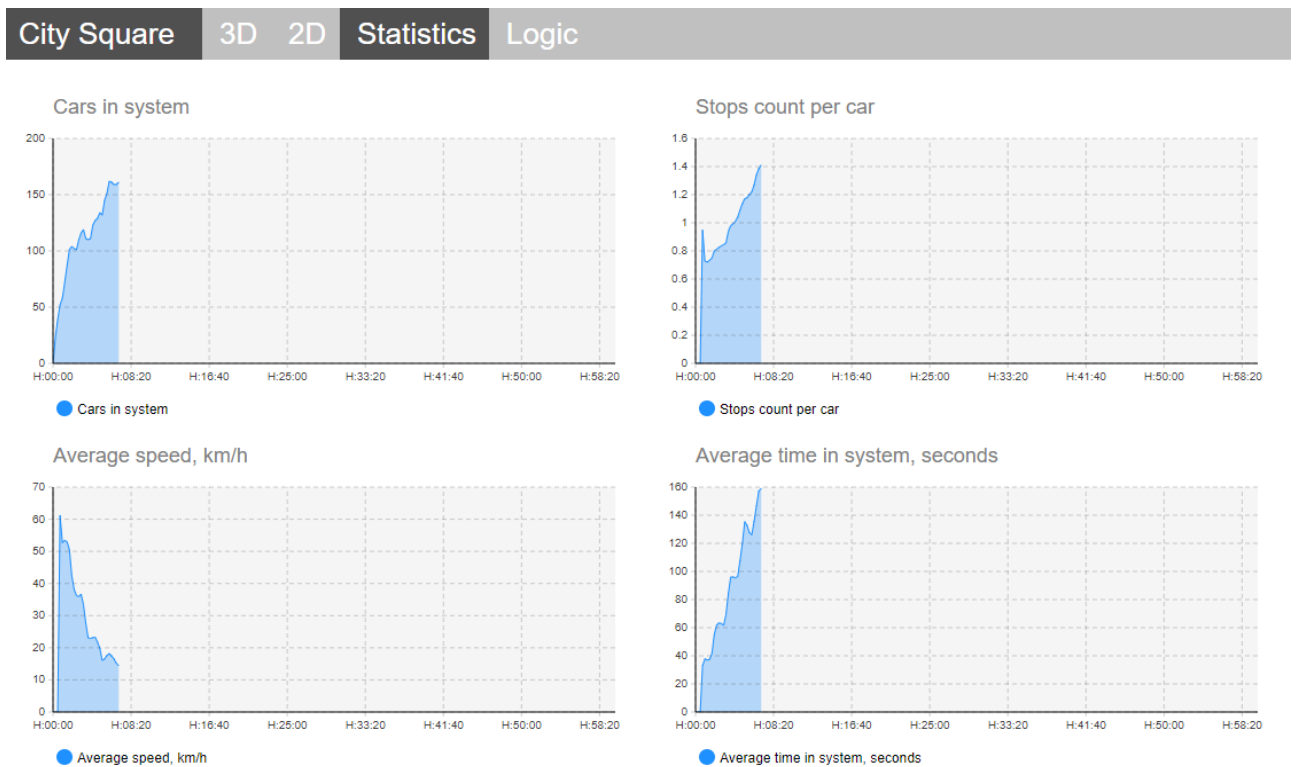


Рисунок Г.3 – Модуль статистики