

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

“3-D моделювання надшільних телекомунікаційних мереж доступу”

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка 9 Гулько О.С.

Керівник: д.т.н., професор _____
Крижановський В.Г.
« 8 » 12 2023 р.

Опонент д.т.н., професор каф. ІРТС
Осадчук В.С.
« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., проф. Кичак В.М.
« 11 » 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань - 17 – Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)

Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

“19” 09 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гульку Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу

керівник роботи Крижановський Володимир Григорович, канд. техн. наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “18” 09 2023 року № 247

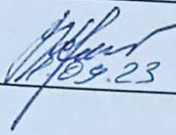
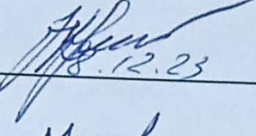
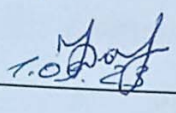
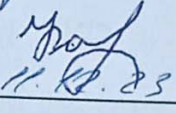


2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: коефіцієнт підсилення сигналу – 1000; діапазон сили вхідного сигналу: 0дб – -60дб.

4. Зміст текстової частини: аналіз сучасного стану засобів розрахунку топології бездротових мереж у місті, обґрунтування вибору програмних засобів розробки, розробка програмного забезпечення для 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу, проведення моделювання на території ВНТУ.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): рисунки, що ілюструють основні етапи розробки програмного забезпечення, результати тестування роботи програмного забезпечення, результати проведення моделювання телекомунікаційної мережі на території ВНТУ за допомогою розробленого програмного забезпечення.

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Крижановський В.Г., професор кафедри ІКСТ	 09.23	 18.12.23
Економічна частина	Кавецький В.В., доцент, к.е.н., доцент кафедри ЕПВМ	 1.09.23	 11.12.23
Охорона праці	Дембіцька С.В., доцент, д.п.н., професор кафедри БЖДПБ	 1.09.23	 11.12.23

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

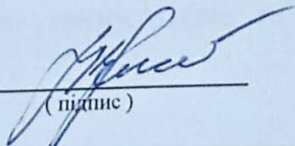
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	08.09.2023р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	17.09.2023р.	
3.	Аналіз розвитку телекомунікаційних мереж	06.10.2023р.	
4.	Розробка програмного забезпечення для моделювання роботи телекомунікаційних мереж	27.10.2023р.	
5.	Моделювання роботи телекомунікаційних мереж за допомогою розробленого програмного забезпечення	10.11.2023р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	17.11.2023р.	
7.	Охорона праці та безпека життєдіяльності	24.11.2023р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини	01.12.2023р.	
9.	Нормоконтроль МКР	04.12.2023р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	08.12.2023р.	
11.	Захист МКР ЕК	14.12.2023р.	

Студент


(підпис)

Гулько О.С.

Керівник роботи


(підпис)

Крижановський В.Г.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.335

Гулько О.С. 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – Телекомунікаційні системи та мережі. Вінниця: ВНТУ 2023р. 85 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 9 назв; рис.: 28; табл. 17.

Робота присвячена дослідженню сучасних засобів 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу та проведення самого моделювання на території ВНТУ за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Основними завданнями наукової роботи є: аналіз сучасного стану засобів розрахунку топології бездротових мереж у місті; розробка програмного забезпечення для 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу; проведення моделювання телекомунікаційної мережі на території ВНТУ.

Робота складається з п'яти розділів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану засобів розрахунку топології бездротових мереж у місті.

У другому розділі було оглянуто алгоритм трасування променів та процес створення програмного забезпечення за допомогою Unity 3D.

У третьому розділі проведено моделювання телекомунікаційної мережі на території ВНТУ. Також було проведено тестування роботи програми, по результатам якого було обраховано похибки моделювання.

У четвертому розділі виконано економічне обґрунтування доцільності реалізації даної роботи.

У п'ятому розділі проведено розрахунки по охороні праці.

ABSTRACT

UDC 621.335

Hulko O.S. 3-D modeling of ultra-dense telecommunication access networks. Master's thesis on specialty 172 - Telecommunications and radio engineering, educational program - Telecommunications systems and networks. Vinnytsia: VNTU 2023. 85 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 9 titles; Fig.: 28; table 17.

The work is devoted to the study of modern means of 3-D modeling of ultra-dense telecommunication access networks.

The purpose of the work is to develop software for 3-D modeling of ultra-dense telecommunication access networks and to carry out the simulation itself on the territory of VNTU with the help of the developed software.

The main tasks of the scientific work are: analysis of the current state of means of calculating the topology of wireless networks in the city; development of software for 3-D modeling of ultra-dense telecommunication access networks; simulation of the telecommunications network on the territory of VNTU.

The work consists of five sections.

In the first chapter, an analysis of the current state of means of calculating the topology of wireless networks in the city is carried out.

The second chapter reviewed the ray tracing algorithm and the process of creating software using Unity 3D.

In the third section, modeling of the telecommunications network on the territory of VNTU was carried out. The program was also tested, based on the results of which simulation errors were calculated.

In the fourth chapter, the economic justification of the feasibility of the implementation of this work is performed.

In the fifth chapter, calculations were made on labor protection.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСОБІВ РОЗРАХУНКУ ТОПОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ У МІСТІ	8
1.1 Електромагнітне випромінювання	8
1.2 Радіохвилі.....	12
1.3 Телекомунікаційна мережа	14
1.4 Моделювання роботи телекомунікаційної системи	16
1.5 Висновки за розділом 1.....	18
2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	19
2.1 Аналіз і вибір програмних засобів розробки програми	19
2.1.1 Обґрунтування вибору ігрового рушія	19
2.1.2 Обґрунтування вибору середовища розробки для написання коду	21
2.2 Огляд алгоритму трасування променів.....	23
2.3 Реалізація алгоритму в Unity 3D.....	25
2.4 Огляд користувацького інтерфейсу	32
2.5 Висновки за розділом 2.....	37
3 ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ПРОГРАМИ	39
3.1 Перевірка результатів роботи програми	39
3.2 Моделювання роботи телекомунікаційної мережі на території ВНТУ.....	41
3.3 Висновки ра розділом 3	45
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	47
4.1 Оцінювання наукового ефекту.....	47
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	50
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	50
4.2.2 Відрахування на соціальні заходи	53

4.2.3 Сировина та матеріали.....	53
4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	54
4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт	55
4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	55
4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень	56
4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	57
4.2.9 Службові відрядження.....	58
4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	58
4.2.11 Інші витрати.....	59
4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати.....	59
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	60
4.4 Висновки за розділом 4.....	62
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	63
5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	63
5.1.1. Обладнання робочого місця.....	63
5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	66
5.2.1. Мікроклімат	66
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	67
5.2.3. Виробниче освітлення.....	68
5.2.4. Виробничий шум.....	69
5.2.5. Виробничі випромінювання.....	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ.....	75

Додаток А 76

Додаток Б..... 77

Додаток В 79

Додаток Г 81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

LAN – Local Area Network.

MAN – Metropolitan Area Network.

VPN – Virtual Private Network.

WAN – Wide Area Network.

ЕМП – Електромагнітне поле.

ЛКМ – Ліва клавіша миші.

ПК – Персональний комп'ютер.

ПКМ – Права клавіша миші.

СКМ – Середня клавіша миші.

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі телекомунікаційні мережі відіграють ключову роль у забезпеченні зв'язку та підключенні різноманітних пристроїв до глобального інтернету [1]. Швидкий розвиток технологій та зростання кількості підключених пристроїв ставлять перед інфраструктурою зв'язку нові виклики та завдання. Одним із перспективних напрямків у цій області є розробка надщільних телекомунікаційних мереж доступу, які можуть забезпечити високошвидкісний та надійний зв'язок за будь-яких умов [2].

Аналіз останніх досліджень. Існує багато досліджень зарубіжних науковців, що стосуються 3-D моделювання роботи надщільних телекомунікаційних мереж доступу. Дана область активно розвивається в зв'язку з стрімкою урбанізацією міст. Головна мета всіх досліджень — якомога точніше промоделювати роботу телекомунікаційної мережі перед її реальним розгортанням.

Мета і завдання роботи. Завданням магістерської роботи є створення програмного забезпечення для моделювання роботи телекомунікаційних мереж, а також, проведення самого моделювання за допомогою розробленого програмного забезпечення.

У роботі було проведено аналіз сучасних вимог до телекомунікаційних мереж доступу. Розглянуто різні методи моделювання роботи телекомунікаційних мереж. Було розроблено програмне забезпечення на основі методу трасування променів для моделювання роботи телекомунікаційних мереж, а також проведено моделювання за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Об'єктом дослідження є телекомунікаційна мережа доступу.

Предметом дослідження є розробка програмного забезпечення для моделювання роботи телекомунікаційних мереж доступу.

Методи дослідження базуються на використанні метода трасування променів для моделювання роботи телекомунікаційних мереж доступу.

Новизна одержаних результатів:

а) вперше запропоновано використати метод трасування променів для моделювання роботи телекомунікаційних мереж доступу;

б) вперше виконано точне моделювання роботи телекомунікаційної мережі на території ВНТУ за допомогою програмного забезпечення на основі методу трасування променів.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСОБІВ РОЗРАХУНКУ ТОПОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ У МІСТІ

1.1 Електромагнітне випромінювання

Електромагнітне випромінювання — взаємозалежні коливання електричного та магнітного полів, що утворюють електромагнітне поле. Електромагнітні хвилі випромінюються зарядженими частинками, атомами, молекулами, антенами та іншими випромінювальними системами. Розповсюдження випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль (рисунок 1.1).

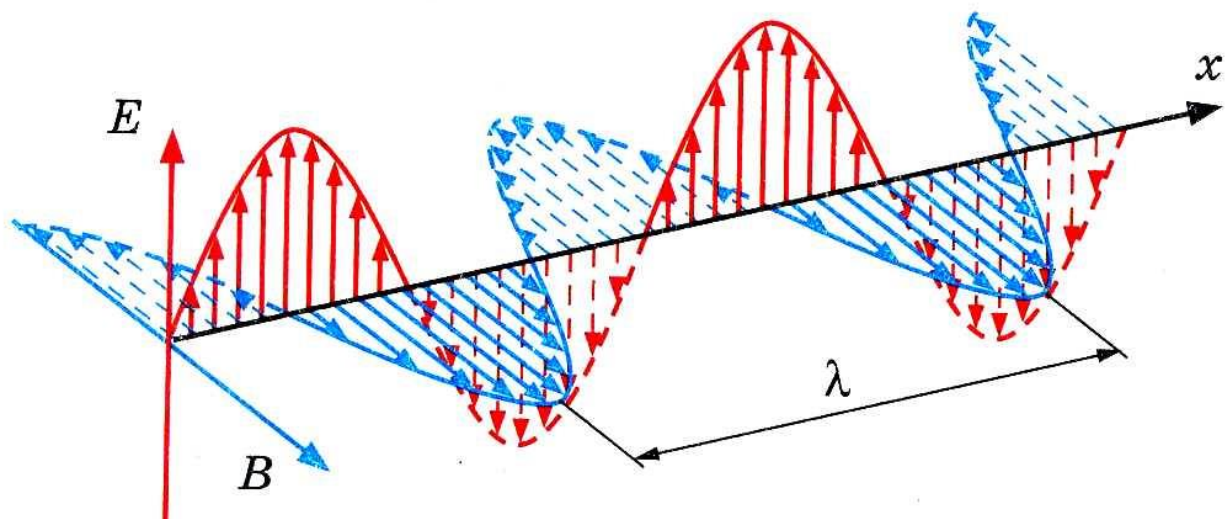


Рисунок 1.1 — схема електромагнітної хвилі

Електромагнітне випромінювання буває вимушене (під впливом зовнішніх джерел) та власне. В системах з втратами енергії або у необмеженому просторі можливі електромагнітні коливання з неперервним спектром частот [3]. Просторово обмежені системи мають дискретний спектр частот, причому кожній частоті відповідає один або кілька незалежних типів коливань (мод).

Представлення коливань у вигляді суперпозиції мод з неперервним або дискретним спектром можливе для довільної складної системи провідників та діелектриків, якщо поля, струм або заряди в них зв'язані між собою лінійними співвідношеннями.

Електромагнітне випромінювання характеризується частотою, довжиною хвилі та поляризацією.

Частота електромагнітного випромінювання визначає кількість коливань поля за секунду, вимірюється у герцах (Гц). Висока частота випромінювання відповідає короткому інтервалу між коливаннями та високій енергії хвилі, тоді як низька частота вказує на довгий інтервал та низьку енергію.

Довжина хвилі позначає найменшу відстань між точками, в яких хвиля має однакову фазу.

Поляризація визначається як напрямок коливального електричного поля хвилі, перпендикулярного до напрямку руху. Плоска поляризована хвиля має електричне поле, яке коливається в площині вздовж напрямку руху. У горизонтально поляризованих хвилях електричне поле коливається в горизонтальному напрямку. У вертикально поляризованій хвилі електричне поле коливається у вертикальному напрямку. У хвилі з круговою поляризацією електричне поле в будь-якій точці обертається навколо напрямку руху один раз за цикл [4].

Електромагнітне випромінювання поділяється на радіохвилі, інфрачервоне випромінювання, видиме світло, ультрафіолетове випромінювання, рентгенівське випромінювання та гамма випромінювання (вказано в таблиці 1.1).

Види електро-магнітного випромінювання	Довжина хвилі	Частота	Джерело випромінювання
Радіохвилі	10 км – 1 мм	30 кГц – 300 ГГц	Атмосферні та магнітосферні явища. Радіозв'язок.
Інфрачервоне випромінювання	1 мм — 780 нм	300 ГГц — 429 ТГц	Випромінювання атомів при теплових впливах
Видиме світло	780—380 нм	429 ТГц — 750 ТГц	Фотони
Ультрафіолетове випромінювання	380 нм — 10 нм	3×10^{14} Гц — 3×10^{16} Гц	Випромінювання атомів під впливом прискорених електронів.
Рентгенівське випромінювання	10 нм — 5 пм	3×10^{16} Гц — 6×10^{19} Гц	Атомні процеси при впливі прискорених заряджених частинок.
Гамма випромінювання	> 5 пм	> 6×10^{19} Гц	Ядерні і космічні процеси, радіоактивний розпад.

Таблиця 1.1 – характеристики видів електромагнітного випромінювання.

Радіохвилі — електромагнітні хвилі з довжиною хвилі > 500 мкм (частотою $< 6 \times 10^{12}$ гц). Вони мають багатофункціональне вживання: радіомовлення, радіотелефонний зв'язок, телебачення, радіолокація, радіометрологія. У всіх перерахованих випадках радіохвилі є засобом передачі на відстань без дротів тієї або іншої інформації: мови, телеграфних сигналів, зображення, тощо [5].

Інфрачервоне випромінювання — оптичне випромінювання з довжиною хвилі більшою, ніж у видимого випромінювання, що відповідає довжині хвилі, більшій від приблизно 750 нм. Людське око не бачить інфрачервоного

випромінювання. Інфрачервоні промені випромінюються всіма тілами, що мають температуру вищу за абсолютний нуль. Максимум інтенсивності випромінювання залежить від температури.

Видиме світло — область спектру електромагнітних хвиль, що безпосередньо сприймається людським оком. Чутливість людського ока до хвиль різної частоти у видимому діапазоні різна. Вона має максимум у середині діапазону (зелений колір) і зменшується в напрямках границь. Це значить, що серед джерел світла однакової інтенсивності, зелене джерело здаватиметься яскравішим, ніж червоне, або блакитне.

Ультрафіолетове випромінювання — спектр електромагнітного випромінювання. Складає близько 5% щільності потоку сонячного випромінювання та є життєво необхідним фактором, який має благотворний вплив на організм, знижує чутливість організму до деяких впливів. Оптимальні дози променів активізують дію серця, обмін речовин, підвищують активність ферментів дихання, поліпшують кровотворення, мають бактерицидну дію.

Рентгенівське випромінювання — короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10 нм до 0.01 нм. В електромагнітному спектрі діапазон частот рентгенівського випромінювання лежить між ультрафіолетом та гамма-променями. Рентгенівське випромінювання має здатність проникати в усі речовини. Ця властивість має важливе значення для медицини, промисловості та наукових досліджень [6]. Проходячи крізь досліджуваний об'єкт і падаючи на фотоплівку, рентгенівське випромінювання зображує на ній його внутрішню структуру. Проникаюча здатність рентгенівського випромінювання різна для різних матеріалів, менш прозорі для випромінювання частини об'єкта дають більш світлі ділянки на фотознімку, ніж ті, через які випромінювання проникає добре.

Гамма випромінювання — електромагнітне випромінювання найвищої енергії з довжиною хвилі меншою за 1 ангстрем. Утворюється в реакціях за участю атомних ядер і елементарних частинок. Гамма-промені мають найбільшу проникність з усіх видів радіації, відповідно, від них найважче

захиститися. Гамма-випромінювання використовується в медицині для лікування пухлин, для стерилізації приміщень, апаратури та лікарських препаратів. Гамма-випромінювання застосовують також для отримання мутацій з подальшим відбором господарсько-корисних форм. Так виводять високопродуктивні сорти мікроорганізмів (наприклад, для отримання антибіотиків) і рослин. Вплив радіації на живий організм викликає в ньому різні оборотні і необоротні біологічні зміни.

1.2 Радіохвилі

Радіохвилі — це тип електромагнітного випромінювання з найдовшою довжиною хвилі в електромагнітному спектрі. Як і всі електромагнітні хвилі, радіохвилі у вакуумі поширюються зі швидкістю світла, а в атмосфері Землі з дещо меншою швидкістю [7]. Радіохвилі генеруються зарядженими частинками, які зазнають прискорення, наприклад електричним струмом, що змінюється в часі. Радіохвилі можуть бути природнього і штучного походження. У природі джерелом радіохвиль можуть бути блискавки та астрономічні об'єкти (рисунок 1.2).

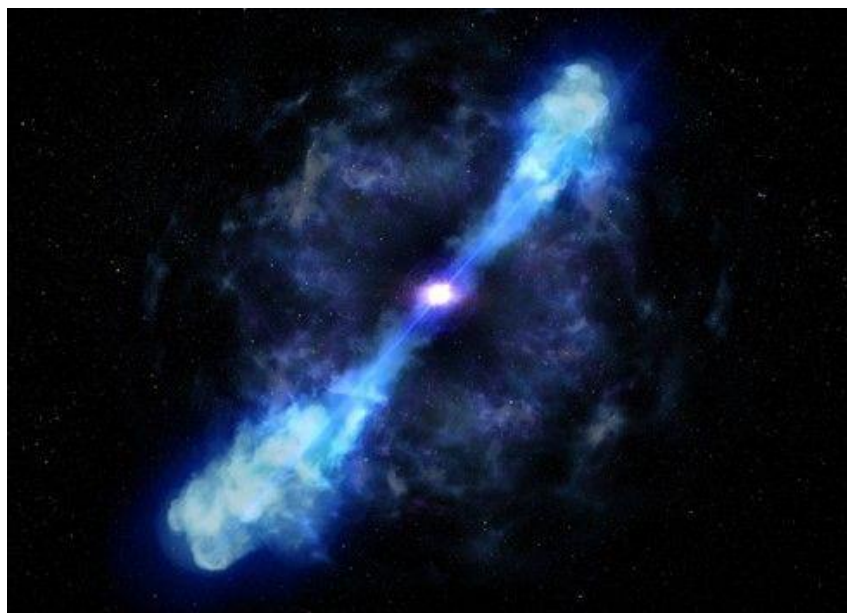


Рисунок 1.2 — нейтронна зоря як джерело радіохвиль

Штучно радіохвилі можна генерувати за допомогою передавача, підключеного до антени, яка випромінює хвилі. Їх можна приймати за допомогою іншої антени, підключеної до приймача. Радіохвилі дуже широко використовуються в сучасних технологіях для фіксованого та мобільного радіозв'язку, радіомовлення, радіолокаційних і радіонавігаційних систем, супутників зв'язку, бездротових комп'ютерних мереж і багатьох інших застосувань.

Поширення радіохвиль є основою телекомунікації та основним аспектом програмного забезпечення для проектування телекомунікаційних мереж. Радіочастотне поширення — це явище, за допомогою якого ми можемо передавати інформацію з точки А в точку Б без фізичного носія. Зокрема, це поведінка радіохвиль під час їхнього поширення та те, як на них впливають зовнішні явища, такі як відбиття, заломлення, дифракція, поглинання, поляризація та розсіювання. Це дуже актуально в галузі телекомунікації, оскільки розуміння поширення радіочастотного сигналу має вирішальне значення для здатності розробити ефективну систему радіозв'язку з оптимізованою силою сигналу. Поширення радіохвиль є основним компонентом радіочастотного планування, яке є процесом призначення частот, розташування передавача та параметрів системи бездротового зв'язку для забезпечення достатнього покриття та пропускну здатності для необхідних послуг [8].

Радіохвилі можуть поширюватися від передавача до приймача чотирма різними способами: по землі, в іоносфері, в космосі та в тропосфері.

— По землі: радіосигнали, які поширюються по землі, зазвичай поширюються вздовж кривизни планети, і, як правило, на них впливає рельєф, по якому вони поширюються. Цей тип розповсюдження радіочастот ідеально підходить на відносно короткі відстані та використовується для забезпечення місцевого покриття радіозв'язку.

— Іоносферне поширення: радіосигнали проходять через верхню область земної атмосфери, яка називається іоносферою, і зазнають впливу від неї. Цей

тип поширення радіочастот використовується в системах радіозв'язку, які передають на коротких хвилях.

— Поширення у космосі: радіохвилі вільно поширюються незалежно від будь-яких об'єктів, які можуть впливати на рух хвиль. На силу сигналу впливає лише відстань між джерелом і пунктом призначення. Цей різновид поширення радіочастот зустрічається в системах радіозв'язку, де сигнали доходять до супутника від землі та повертаються вниз. Такі елементи, як атмосфера, дуже рідко впливають на поширення.

— Поширення в тропосфері: сигнали поширюються через тропосферу за оптичним горизонтом. На силу сигналу впливає температура повітря, атмосферний тиск і тиск водяної пари. Цей тип радіочастотного поширення використовується в стільникових телекомунікаційних мережах та мобільному зв'язку.

1.3 Телекомунікаційна мережа

Телекомунікаційна мережа — комплекс технічних засобів телекомунікацій та споруд, що призначені для маршрутизації, комутації, передавання та приймання будь-якої інформації за допомогою електромагнітного випромінювання (радіохвиль, світла та ін.).

Телекомунікаційні мережі класифікуються за географічним розташуванням:

- Локальна мережа (LAN) — розташована в межах будинку.
- Міська мережа (MAN) — застосовується для об'єднання мереж в місті в одну велику мережу.
- Глобальна мережа (WAN) — охоплює географічний регіон (країну або континент).
- Internet — індивідуальні комп'ютери під'єднані до інших мереж у світі через публічну мережу(мережу загального користування).

— Intranet — індивідуальні комп'ютери під'єднані до інших мереж через приватну мережу.

— Віртуальна приватна мережа (VPN) — індивідуальні комп'ютери під'єднані до інших мереж через сегмент публічної мережі.

Телекомунікаційні мережі характеризують за показниками, які відображають у цілому можливість і ефективність транспортування інформації. Можливість транспортування інформації в телекомунікаційній мережі пов'язана зі ступенем її функціональності в часі, тобто виконанням заданих функцій в повному обсязі з необхідним рівнем якості протягом певного періоду експлуатації мережі або в конкретний момент часу [9].

Працездатність мережі пов'язана з поняттями надійності та живучості. Надійність мережі зв'язку характеризується здатністю забезпечувати зв'язок, зберігаючи в часі значення встановлених показників якості в заданих умовах експлуатації. Вона відображає вплив на працездатність мережі передусім внутрішніх чинників:

— випадкових відмов технічних засобів, спричинених процесами старіння;

— дефектами технології виготовлення; помилками обслуговуючого персоналу. Наприклад, показниками надійності є відношення часу працездатності мережі до загального часу її експлуатації, ймовірність безвідмовного зв'язку та ін.

Важливим показником є також кількість незалежних шляхів передавання інформаційного повідомлення, які можуть бути визначені між парою пунктів мережі.

Живучість мережі зв'язку характеризується здатністю зберігати повну або часткову функціональність під впливом руйнуючих причин, які виникають поза межами мережі й призводять до виходу з ладу чи значних пошкоджень деякої частини її елементів (пунктів і ліній зв'язку). Виокремлюють два типи таких причин: стихійні й навмисні.

Живучість мережі характеризують показники, які визначають:

- вірогідність того, що між будь-якою заданою парою пунктів мережі можна передати обмежений обсяг інформації після впливу руйнівних факторів;
- мінімальну кількість пунктів, ліній мережі (або тих та інших), вихід з ладу яких призводить до порушення зв'язності мережі відносно довільної пари пунктів;
- середню кількість пунктів, які залишаються зв'язними при одночасному пошкодженні декількох ліній зв'язку та ін.

У випадках, коли мережа не може обслуговувати (реалізувати) необхідне навантаження, говорять про обсяг реалізованого навантаження в мережі. Величина реалізованого навантаження в мережі визначає її пропускну здатність і в ряді випадків може бути оцінена кількісно.

Оцінка пропускну здатності мережі значною мірою пов'язана з параметрами якості обслуговування, тому що реалізація конкретного навантаження має здійснюватися відповідно до заданих параметрів якості.

Якість обслуговування визначається сукупністю показників, які вказують на рівень відповідності телекомунікаційної мережі нормам експлуатації та вимогам користувачів

1.4 Моделювання роботи телекомунікаційної системи

Телекомунікаційні системи в сучасному світі стають все більш складними та широко розповсюдженими. Для ефективного розроблення та вдосконалення таких систем важливо мати можливість моделювати їх роботу в тривимірному просторі.

Першим кроком у моделюванні телекомунікаційних систем у тривимірному просторі є створення віртуальної моделі середовища. Ця модель включає в себе геометричну інформацію про об'єкти, які можуть впливати на поширення сигналів, такі як будівлі, дерева, гори, вода тощо. Важливо враховувати географічні особливості реального середовища, оскільки вони можуть суттєво впливати на поширення сигналів.

Для моделювання роботи телекомунікаційної системи потрібно промоделювати поширення сигналів в тривимірному просторі. Використовуються різні математичні та фізичні моделі [10]. Найбільш поширені методи:

— Метод трасування променів (Ray Tracing) — цей метод ґрунтується на прямолінійному поширенні сигналу і враховує лише основні характеристики, такі як шлях поширення, відбиття та відстань між передавачем і приймачем. Використовується для апроксимації поширення сигналів на великі відстані та для високочастотних сигналів.

— Метод моделювання хвильового фронту (Wavefront Modeling) — цей метод використовує рівняння Максвелла для детального моделювання поширення електромагнітних хвиль у тривимірному просторі. Враховує розсіювання, дифракцію та відбиття сигналів від об'єктів у середовищі.

— Метод моделювання реального середовища (Real-World Environment Modeling) — використовує географічну інформацію, геодані та моделі реальних об'єктів (будівель, дерев, гір і т. д.) для точного відображення умов поширення сигналів. Дозволяє враховувати складні обставини, такі як міська забудова, ландшафт і природні перешкоди.

— Метод моделювання розподілу спектра — використовуються для аналізу розподілу спектра сигналу у різних частинах тривимірного простору. Дозволяє визначити, як сигнал поширюється у різних спектральних діапазонах.

Вибір методу моделювання залежить від конкретного завдання та обставин дослідження. Комбінація різних методів може бути використана для більш точного та повного аналізу роботи телекомунікаційних систем у тривимірному середовищі.

1.5 Висновки за розділом 1

У даному розділі було проведено аналіз предметної області, пов'язаної з електромагнітним випромінюванням, радіохвилями, телекомунікаційними мережами та моделюванням їх роботи.

Електромагнітне випромінювання є фізичним явищем, що описує поширення електромагнітних хвиль у просторі. Воно включає в себе хвильовий характер світла та інших видів електромагнітних спектрів, які використовуються для різних цілей, включаючи комунікації, радіо та технології передачі інформації.

Радіохвилі є основою бездротового зв'язку та телекомунікаційних систем. Вони можуть мати різні частоти та довжини хвиль і використовуються для передачі інформації на великі відстані без необхідності фізичного підключення.

Телекомунікаційні мережі стали невід'ємною частиною сучасного світу, забезпечуючи зв'язок між людьми та пристроями. Вони розвиваються швидко, сприяючи розширенню можливостей спілкування, доступу до інформації та послуг. Разом з розвитком телекомунікаційних мереж зростає і урбанізація міст, що впливає на самі телекомунікаційні мережі.

Моделювання роботи телекомунікаційних систем дозволяє аналізувати та вдосконалювати системи перед їх реальним розгортанням, що призводить до покращення якості зв'язку та ефективності використання ресурсів. Моделювання роботи телекомунікаційних систем особливо важливе в місцях з щільною забудовою, адже на поширення сигналу дуже впливають перешкоди – вони можуть як і послабити сигнал так і відбити його.

Проаналізувавши різні методи моделювань роботи телекомунікаційних систем та виходячи з конкретних потреб, було вирішено обрати метод трасування променів для моделювання.

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Аналіз і вибір програмних засобів розробки програми

2.1.1 Обґрунтування вибору ігрового рушія

Під час створення програмного забезпечення з можливістю 3D-моделювання роботи надщільних телекомунікаційних мереж доступу доведеться працювати з візуалізацією тривимірних об'єктів на екрані, складними математичними обчисленнями, збереженням даних та іншими аспектами. В даній ситуації доцільно буде використати ігровий рушій.

Ігровий рушій — це готова архітектура, яку розробники використовують як для створення ігор так і для складних програм.

Кожен ігровий рушій надає розробникам можливість додавати такі речі, як:

- рендеринг;
- візуальні ефекти;
- шейдери;
- фізика;
- керування;
- виявлення колізій
- необхідні скрипти;
- штучний інтелект.

Ігровий рушій є багаторазовим компонентом, який розробники використовують для створення ігор та програм. Завдяки цьому можна зосередитись на унікальних елементах, таких як 3D-об'єкти, текстури, їх взаємодія, тощо. Якби створення ігор та програм відбувалось з нуля, то це зайняло б дуже багато часу і зробити їх було б набагато складніше [11].

В ігровому рушії використовуються інтерфейси додатків, таких як DirectX, OpenGL та XNA, а також комерційні та відкриті джерела бібліотек, що містять фізику, графічні сцени та бібліотеки графічного інтерфейсу.

Існує багато ігрових рушіїв, найпопулярніші з яких:

- Unity 3D;
- Unreal Engine;
- CryEngine;
- Godot;
- Source Engine.

Більшість з вищенаведених ігрових рушіїв або дуже складні в освоєнні або не зовсім підходять для створення чогось іншого ніж ігри. Але не Unity 3D — даний ігровий рушії при своїй простоті містить все необхідне як для написання ігор так і для написання програм.

Unity 3D — це багатоплатформний інструмент для розробки двовимірних та тривимірних застосунків та ігор, що працює на операційних системах Windows і OS X. Застосунки створені за допомогою Unity працюють на системах Windows, OS X, Android, iOS, Linux, а також на гральних консолях Wii, PlayStation 4 та XBox 360.

Присутня можливість створювати інтернет-застосунки за допомогою спеціального підключаемого модуля до браузера Unity, а також за допомогою експериментальної реалізації в межах модуля Adobe Flash Player. Застосунки, створені за допомогою Unity, підтримують OpenGL та DirectX.

Інтерфейс Unity є простим в розумінні та зручним у використанні (рисунок 2.1).

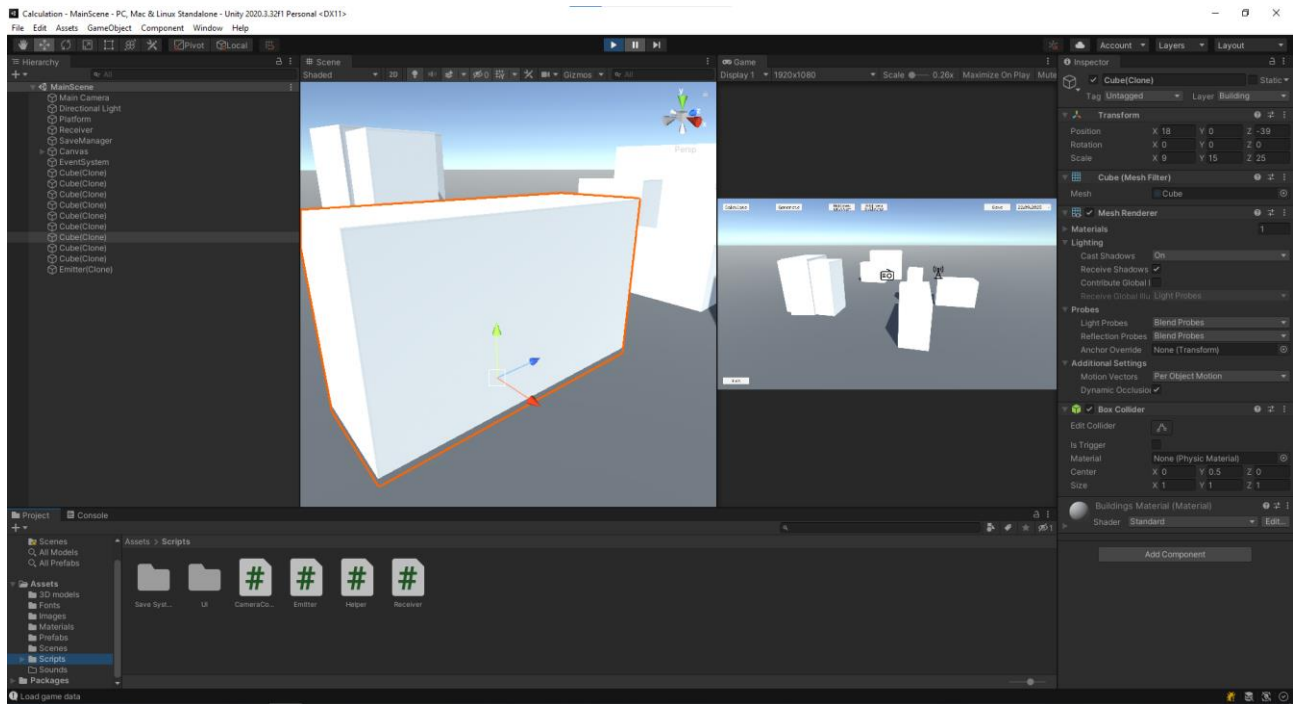


Рисунок 2.1 — Інтерфейс Unity 3D

Скриптова система ігрового рушія зроблена на Mono — вільний відкритий проект з реалізації .NET Framework. Програмісти можуть використовувати UnityScript (власна скриптова мова, подібна до JavaScript та ECMAScript), C# або Boo (мова програмування, подібна до Python). Починаючи з версії 3.0, до Unity входить перероблена версія MonoDevelop для налагодження скриптів.

2.1.2 Обґрунтування вибору середовища розробки для написання коду

IDE — це інтегроване середовище розробки. IDE містить редактор коду, інструменти для автоматизації написання та відлагоджування програм. Більшість сучасних середовищ розробки мають функцію автодоповнення коду, що дуже спрощує та пришвидшує процес програмування певної логіки.

Найбільш поширені IDE:

- Microsoft Visual Studio;
- Visual Studio Code;
- JetBrains Rider;

- Sublime Text;
- PyCharm;
- Eclipse.

Кожна з наведених IDE має як свої переваги так і недоліки, проте найбільш зручною та функціональною є JetBrains Rider.

JetBrains Rider (рисунок 2.2) — кросплатформне IDE, основане на платформах IntelliJ та ReSharper. Rider дозволяє створювати десктопні програми, .NET – сервіси і бібліотеки, ігри на рушіях Unity та Unreal Engine, мобільні додатки Xamarin, веб – додатки ASP.NET / ASP.NET Core та багато іншого.

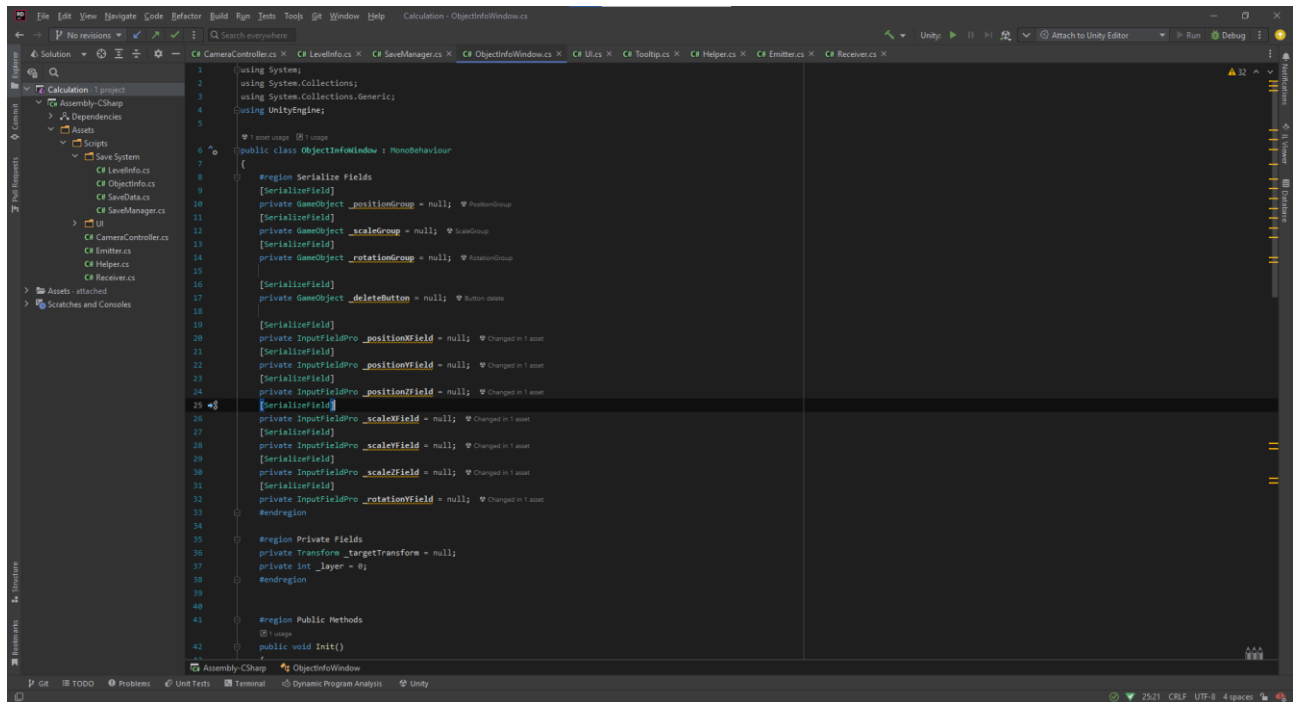


Рисунок 2.2 — Інтерфейс JetBrains Rider

Перевагами JetBrains Rider є те, що Rider стабільніший та швидший ніж інші IDE, має зручні та потужні інструменти рефакторингу, присутня функція автодоповнення коду (навіть при написанні шейдерів), підтримка підключення до баз даних та SQL. Недоліками JetBrains Rider є високі системні вимоги для роботи та те, що середовище розробки не безкоштовне.

2.2 Огляд алгоритму трасування променів

Для моделювання роботи телекомунікаційних мереж доступу перш за все необхідно промоделювати поширення сигналу в тривимірному просторі.

Якщо між джерелом сигналу і точкою вимірювання немає перешкод, то сила сигналу в даній точці обчислюється за законом обернених квадратів, тобто сила сигналу обернено пропорційна відстані між джерелом сигналу і точкою вимірювання. Але джерело сигналу не завжди знаходиться в зоні прямої видимості для точки вимірювання. В реальних умовах сигнал може відбиватися від перешкод перш ніж досягти цілі.

Поширення радіохвиль схоже на поширення інших видів електромагнітного випромінювання (кожне з них може поглинатись та відбиватись від перешкод), наприклад світла, тому поширення сигналу можна вирішити за допомогою методу трасування променів (Ray Tracing).

Трасування променів (англ. ray tracing) у комп'ютерній графіці є способом створення зображення тривимірних об'єктів чи сцени за допомогою відстеження ходу променя світла крізь точку екрану і симуляції взаємодії цього променя з уявними об'єктами, що підлягають відображенню (рисунок 2.3).

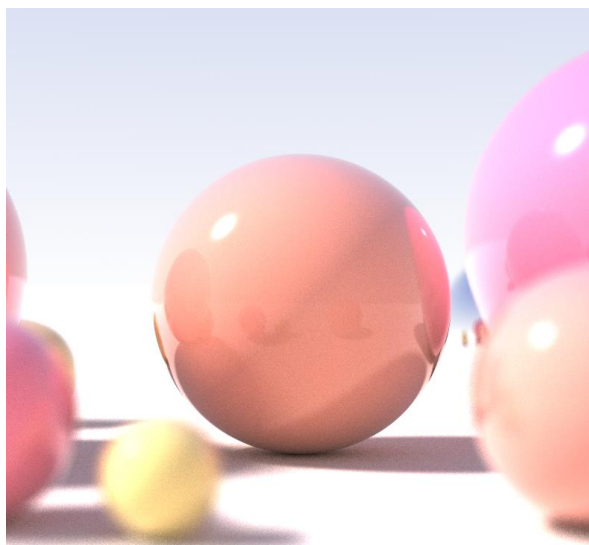


Рисунок 2.3 — зображення створене за допомогою трасування променів

Цей спосіб дозволяє створювати надзвичайно реалістичні зображення, зазвичай значно вищої якості, ніж дає типовий алгоритм Scanline або ж метод кидання променів (англ. Ray casting), проте має значно вищу обчислювальну складність. Із цієї причини алгоритми трасування променів використовуються там, де немає суттєвих обмежень часу рендерингу, наприклад у створенні нерухомих зображень чи для комп'ютерної графіки і спецефектів у фільмах, мультиплікації чи телебаченні, але до появи графічних адаптерів зі спеціальними апаратними прискорювачами були малоприсадними для застосувань, що працюють в режимі реального часу, наприклад, відеоігор. Метод трасування променів здатний симулювати широкий набір оптичних ефектів, таких як відбиття променів, їх заломлення, розсіювання чи хроматичну аберацію.

Ідея алгоритму полягає в тому, щоб простежити хід променя від уявного ока глядача крізь кожен піксель на уявному екрані і обрахувати колір об'єкта, видимого оком крізь нього. Тривимірні сцени чи моделі описані математично програмістом або дизайнером за допомогою спеціального програмного забезпечення. Для кожного об'єкта існує геометричний опис його форми і оптичних властивостей поверхні та речовини, з якої він зроблений. Зазвичай, кожен промінь має бути перевірено на перетин із певною підмножиною об'єктів сцени. Спочатку слід визначити перший об'єкт, на який падає промінь, підрахувати чи досить точно припустити освітленість об'єкта в точці падіння променя, виходячи з відомих даних про джерела світла у сцені, а потім, враховуючи відомості про оптичні властивості матеріалу об'єкта у точці перетину з променем, обрахувати остаточний колір та яскравість променя-пікселя. В разі, якщо матеріал об'єкта в точці падіння променя відбиває промінь, або ж заломлює його, знадобиться додати більше променів до сцени, щоб відстежити колір цього пікселя.

У природі джерело світла випромінює промінь світла, який мандрує, поки його поширенню не заважає якийсь об'єкт. "Промінь" можна уявляти собі як потік фотонів, що летять у одному напрямку. Якщо зневажити релятивістські

ефекти, то у повному вакуумі такий потік буде поширюватися вздовж геометричної прямої лінії. У реальному середовищі, з променем можуть трапитися різні ефекти, наприклад поглинання, відбиття, заломлення, флуоресценція тощо. Поверхня може відбити світло у одному чи декількох напрямках, або розсіяти його. Світло може бути частково відбите, частково розсіяне, а частково - поглинуте поверхнею. Якщо ж матеріал поверхні є прозорим, то світло також буде поширюватися крізь матеріал, який може поглинати його частково у всьому чи частині спектру, змінюючи таким чином колір променя. При цьому світло буде поширюватися у іншому напрямку (заломлення). Рідше світло може бути частково поглинуте матеріалом і знову випромінене у вигляді флуоресценції світла довших хвиль (інший колір) у довільних напрямках. Сума відбитого, заломленого, поглинутого і випроміненого у вигляді флуоресценції світла має дорівнювати отриманому світлу. Надалі, нові промені відбитого, заломленого чи випроміненого світла самі потрапляють на інші об'єкти, де вони теж зазнають вказаних ефектів. Деякі з цих променів досягають наших очей, і завдяки інформації про колір і силу світла, що в них міститься, ми маємо змогу бачити світ навколо нас.

2.3 Реалізація алгоритму в Unity 3D

Перед тим як перейти до реалізації алгоритму в Unity 3D необхідно визначити деякі поняття які далі будуть використовуватись.

GameObject – фундаментальний об'єкт в Unity 3D, що представляє собою сутності програми (камера, джерело світла, джерело звуку, тривимірні об'єкти, тощо). GameObject має різні компоненти, що визначають його функціональність та поведінку [12]. На рисунку 2.4 зображено GameObject спрощеної моделі будівлі, що використовується в програмі.

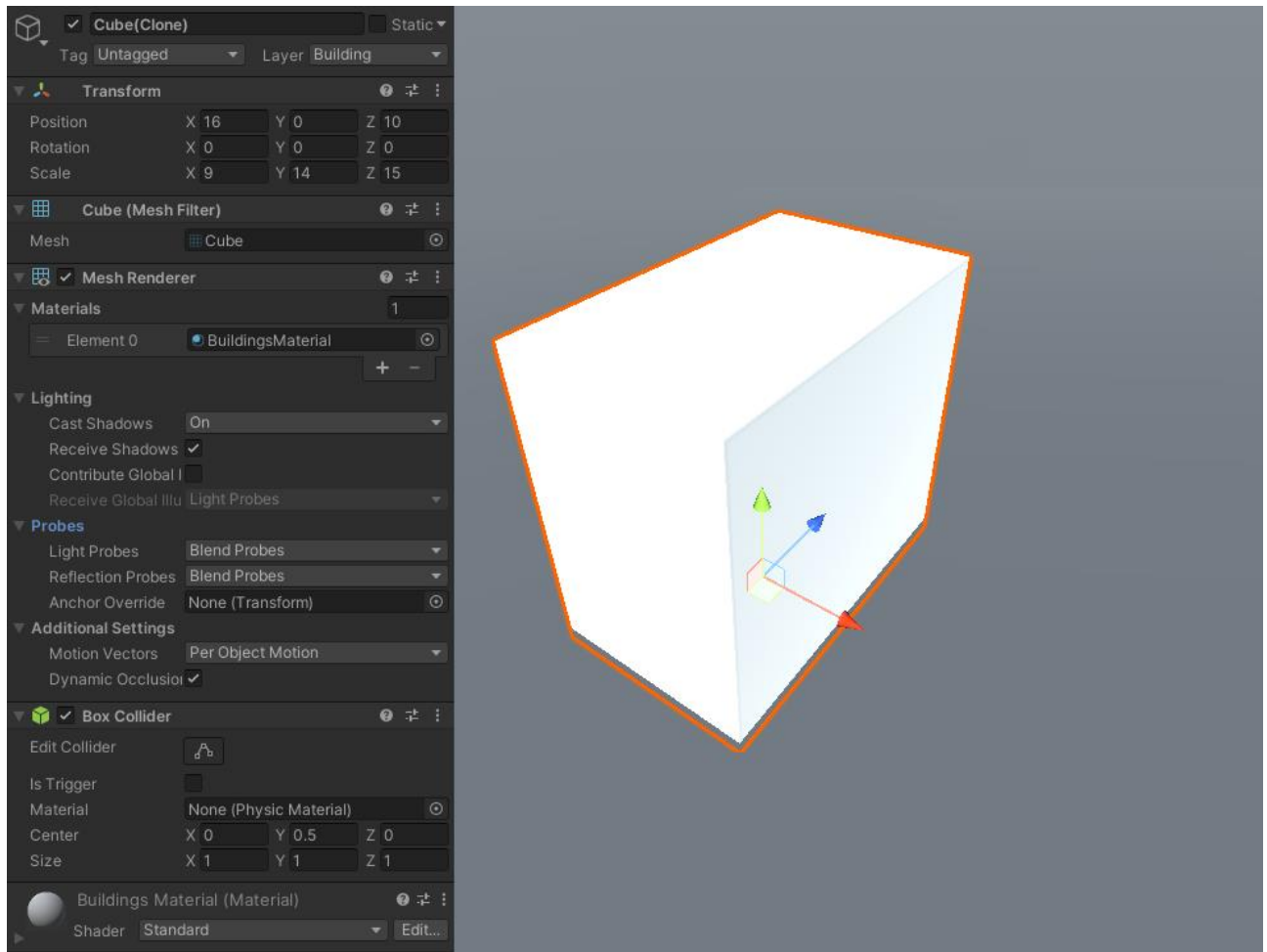


Рисунок 2.4 — GameObject будівлі

Кожен GameObject повинен мати компонент Transform, що визначає позицію, поворот, та розмір об'єкта в координатній системі Unity 3D. В даному випадку будівля знаходиться на 16 метрів праворуч та на 10 метрів спереду від початку координат, та має розміри 9м x 14м x 15м.

Наступний компонент Mesh Filter містить інформацію про меш об'єкту, тобто його полігони, точки та ребра.

Mesh Renderer містить дані, необхідні для рендерингу.

Box Collider відповідає за фізичну взаємодію з об'єктом – з його допомогою обробляються зіткнення.

Останній компонент Material відповідає за візуальний вигляд об'єкту (колір, текстура, параметри відблиску та інші параметри).

Іноді потрібно працювати з багатьма схожими або навіть однаковими об'єктами GameObject. Кожен з них потрібно заново налаштувати. Дану проблему можна вирішити за допомогою Prefab.

Prefab дозволяє створювати, налаштовувати та зберігати GameObject разом із усіма його компонентами та значеннями в них як багаторазовий ресурс. На рисунку 2.5 зображено Prefab джерела сигналу.

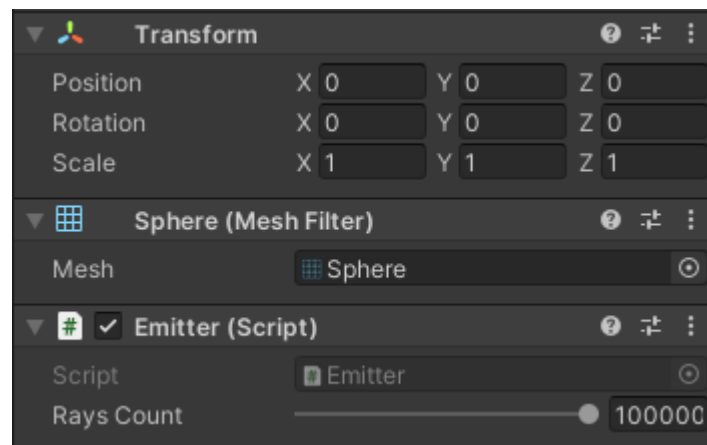


Рисунок 2.5 — Prefab джерела сигналу

Крім вище розглянутих компонентів даний Prefab містить компонент Script (файл з кодом). Тобто Prefab джерела сигналу є об'єктом класу Emitter, в якому описана його логіка.

Для виявлення перешкод використовується статичний метод Raycast в класі Physics [13]. Метод приймає об'єкт структури Ray та об'єкт структури RaycastHit з модифікатором out, що дозволяє передати значимий тип по посиланню. В залежності від результату роботи методу Raycast він повертає значення типу bool: true – якщо на шляху променя була перешкода, та false – якщо промінь ні з чим не зіткнувся. Промінь може зіткнутися лише з тими об'єктами, які містять компонент Collider.

Розглянемо на прикладі роботу з методом Raycast. Ось фрагмент тестового коду:

```
float distance = 0.0f;
Ray ray = new Ray(Vector3.zero, Vector3.right);
```

```
if(Physics.Raycast(ray, out RaycastHit raycastHit));
    distance = raycastHit.distance;
```

На першому рядку відбувається створення числової змінної типу float. Далі створюється об'єкт ray структури типу Ray для подальшої його передачі в метод RayCast. В свою чергу конструктор структури Ray приймає два параметра типу структури Vector3. Перший параметр відповідає за позицію початку променя, а другий за його напрямок. Vector3.zero – це публічна статична властивість, що вертає new Vector3(0.0f, 0.0f ,0.0f). Можна побачити що конструктор структури Vector3 приймає три параметра типу float, кожен з них відповідає за координату x, y та z відповідно.

На третьому рядку відбувається виклик методу Raycast. Так як він вертає тип даних bool, то код виклику методу знаходиться в блоці if(). Крім об'єкту структури Ray, передається ще об'єкт структури RaycastHit, що об'являється прямо при передачі параметрів. Об'єкт raycastHit структури RaycastHit проініціалізується під час роботи методу. Оскільки RaycastHit є структурою, а структура є значимим типом даним, об'єкт raycastHit передається з модифікатором out, що дозволяє передачу значимих типів даних по посиланню.

На четвертому рядку проініціалізується змінна distance, в неї буде передано значення відстані до перешкоди з проініціалізованого в методі об'єкта структури RaycastHit. Але якщо промінь ні з чим не зіткнеться, то код на четвертому рядку не викликається.

Окрім методу Raycast існують схожі методи: Linecast, Spherecast, Capsulecast, Boxcast та інші.

Тепер, коли визначились з деякими поняттями, перейдемо безпосередньо до реалізації алгоритму в Unity 3D.

Джерелом сигналу є Prefab з скриптом Emitter. Так, як це Prefab, то таких джерел сигналу може бути декілька. Точкою заміру є Prefab з скриптом Receiver та компонентом Collider (для виявлення зіткнень з променями).

Перш за все необхідно перевірити наявність перешкод. Для цього використовується статичний метод Linecast. На відмінну від Raycast, який

пускає промінь в певному напрямку, Linecast пускає промінь в певну позицію. В даний метод передається позиція джерела сигналу та точки заміру, а також, об'єкт структури RaycastHit.

Якщо перешкод немає то алгоритм обраховує силу сигналу і завершується. Якщо ж перешкоди присутні, то з джерела сигналу в різні сторони за допомогою методу Raycast випускається певна кількість променів, кожен з яких може відбитись від перешкоди певну кількість разів (для запобігання рекурсії). Якщо промінь попав в перешкоду, то з даної точки випускається вже відбитий промінь і так доти, поки не вичерпається кількість перевідбивань для променя або промінь не досягне цілі.

Обрахунок напрямку відбитого променя обчислюється за допомогою статичного методу Reflect в структурі Vector3, що вертає об'єкт структури Vector3.

`temporaryDirection = Vector3.Reflect(temporaryDirection, raycastHit.normal);`
`temporaryDirection` – вектор напрямку променя, `raycastHit.normal` – вектор нормалі в точці зіткнення променя з перешкодою (рисунок 2.6).

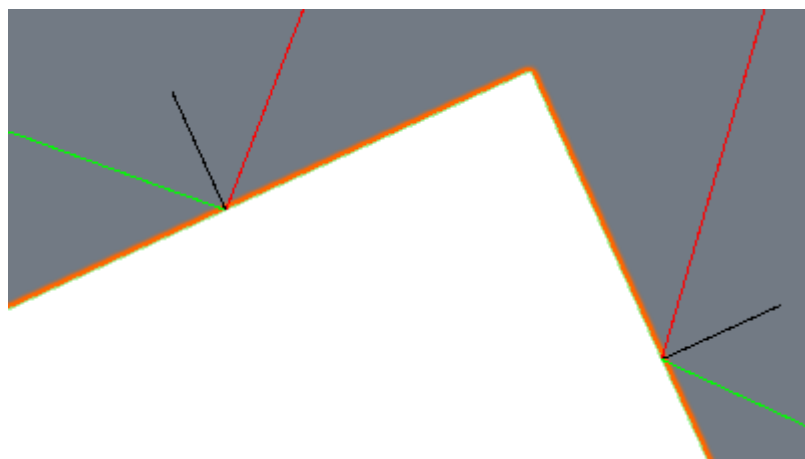


Рисунок 2.6 — візуалізація роботи методу Reflect

Червоні лінії – це промені, що вийшли з джерела сигналу, зелені лінії – відбиті промені, а чорні лінії – це напрямки нормалі поверхні в точці зіткнення. Як видно з рисунка нормалі поверхні – це перпендикуляри до поверхні об'єкта.

Для того, щоб відбитим променем попасти в точку заміру сигналу необхідна необмежена кількість променів, що не є можливим. Оскільки дана програма є симуляцією то використовується спрощення – якщо промінь пройшов не більш ніж за деяку відстань від точки вимірювання сигналу, то вважається, що він попав в дану точку. Чим більша кількість випущених променів, кількість перевідбивань і чим менший радіус спрощення, то тим більша точність роботи програми і разом з цим більша кількість обчислень виконуваних комп'ютером.

Під час написання програми тестовим способом було виявлено необхідну кількість променів, кількість їх перевідбивань та радіус спрощення при якому досягається пристойна точність результату при невеликому часу обчислень. В програмі кожне джерело сигналу випускає 100 тисяч променів, кожен з яких може відбитись до 20 разів. Якщо промінь проходить менш ніж за метр від точки вимірювання, то рахується що він попав в ціль.

При написанні програми в Unity 3D за допомогою інструментів відлагодження можна візуалізувати промені (рисунок 2.7). Це дозволяє оцінити коректність роботи програми.

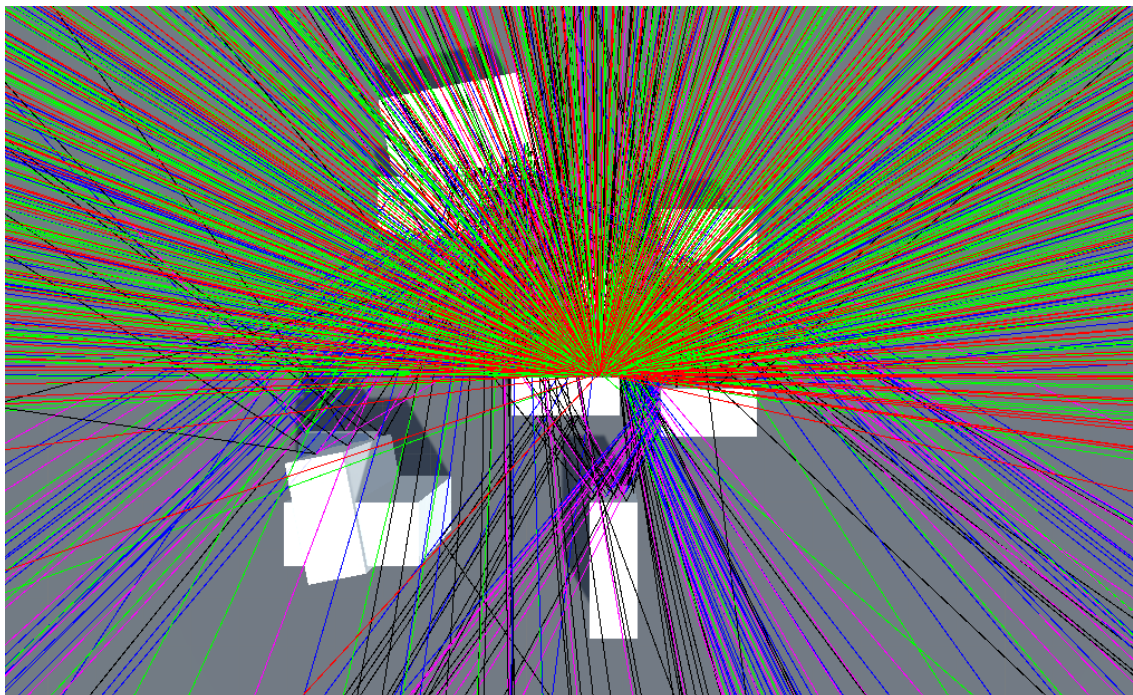


Рисунок 2.7 — візуалізація променів в Unity 3D (вид зверху)

На рисунку зображено промені що виходять з джерела сигналу. Для коректності сприйняття кількість променів невелика – 1000 штук, що в 100 раз менше за кількість, яка використовується в програмі. Можна спостерігати як промені відбиваються від перешкод. Зелений колір мають промені, що вийшли з джерела сигналу, червоний, синій та розовий колір мають промені, що вже відбилися один, два або три рази відповідно. Промені що відбилися чотири рази і більше мають чорний колір.

Використовуючи інструменти відлагодження можна також побачити які з променів досягли цілі (рисунок 2.8).

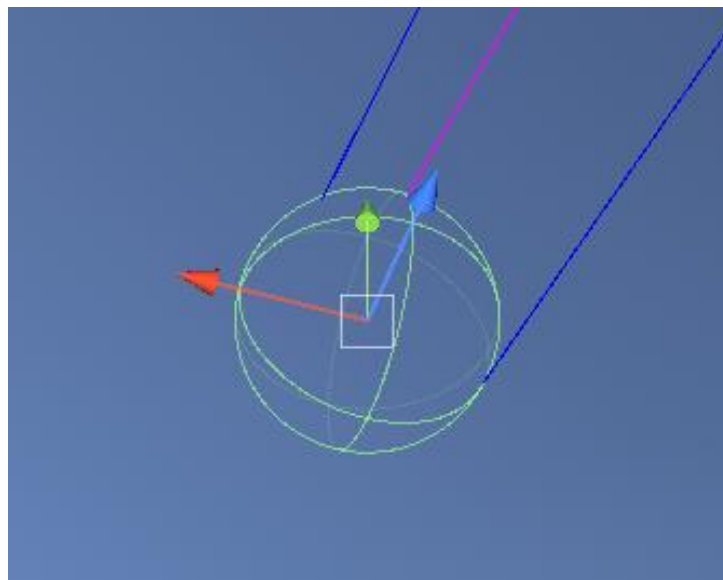


Рисунок 2.8 — візуалізація променів, що проходять за метр до точки вимірювання

Як видно з рисунку перш ніж потрапити в ціль два промені (сині) відбилися від перешкод два рази і один промінь (розовий) відбився три рази. Для кожного променя обрахується сила сигналу. Результуючою силою сигналу буде сила сигналу найпотужнішого променя.

Сила сигналу обернено пропорційна відстані між джерелом сигналу і точкою вимірювання [14]. З кожним перевідбиванням сила сигналу зменшується на 20 відсотків.

Розглянемо метод обрахунку сили сигналу.

```
public static float GetSignalPower(float distance, int reflectionsCount = 0)
{
    float attenuationCoefficient = 0.8f;
    float signalWithoutReflection = 1.0f / Mathf.Pow(distance, 2.0f);
    return reflectionsCount == 0
        ? signalWithoutReflection
        : signalWithoutReflection * Mathf.Pow(attenuationCoefficient,
reflectionsCount);
}
```

Даний метод вертає значення типу даних float та приймає два параметри – відстань, пройдену променем та кількість перевідбивань. В тілі методу створюється та ініціалізується змінна attenuationCoefficient – це коефіцієнт відбивання променя. Далі обраховується сила сигналу без врахування перевідбивань. Якщо промінь ні разу не відбився від перешкоди, тобто reflectionsCount == 0, метод вертає signalWithoutReflection, якщо ж промінь відбивався від перешкод, то метод вертає signalWithoutReflection помножене на згасання. В методі використовується статичний метод Pow структури Mathf. Pow використовується для піднесення числа до степеня. Перший параметр – саме числа, а другий параметр – степінь до якого потрібно підвести дане число. В структурі Mathf окрім методу Pow міститься багато корисних математичних методів, що часто використовуються.

2.4 Огляд користувацького інтерфейсу

При заході в програму відкриється головне меню з порожньою сценою та кнопками (рисунок 2.9).

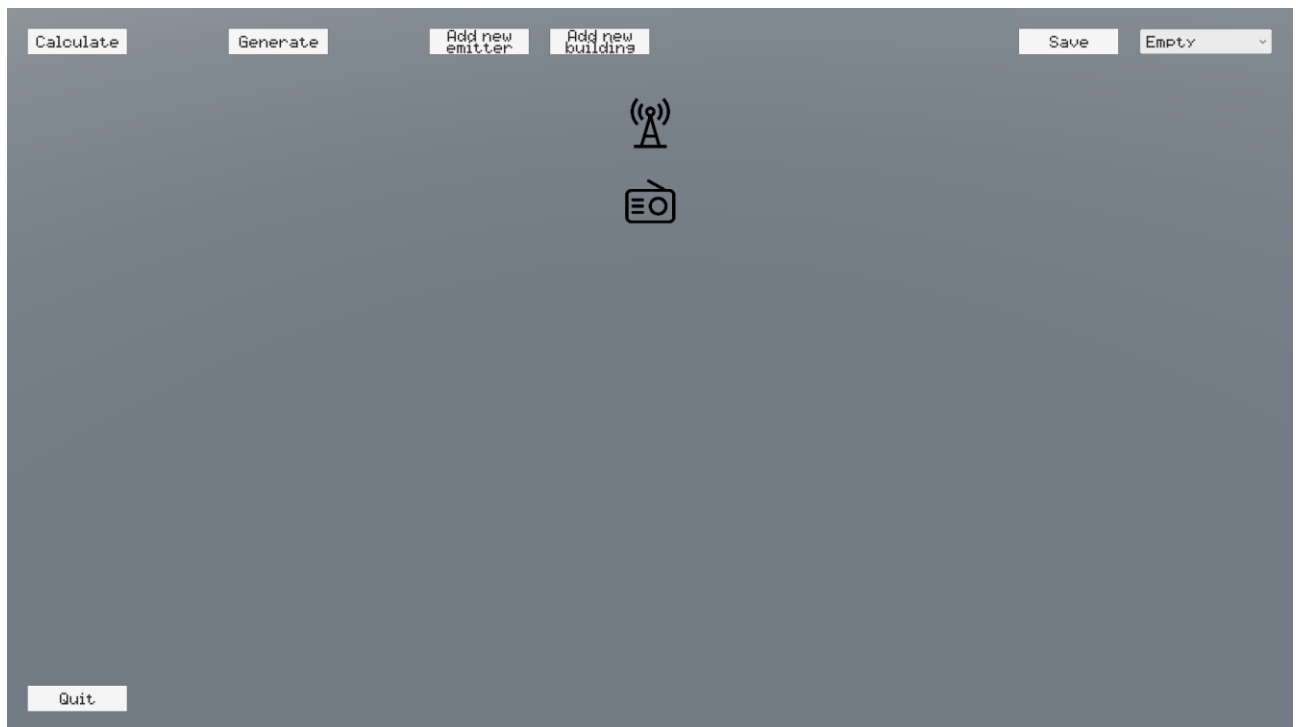


Рисунок 2.9 — головне меню

Програма має 6 кнопок та один випадаючий список. Функції кнопок:

- Quit – вихід з програми.
- Calculate – обчислення сили сигналу.
- Generate – згенерувати випадкові будинки.
- Add new emitter – додати нове джерело сигналу.
- Add new building – додати нову будівлю.
- Save – зберегти поточну конфігурацію сцени.

Випадаючий список містить пусту сцену (використовується для очищення) та список збережених сцен (рисунок 2.10).

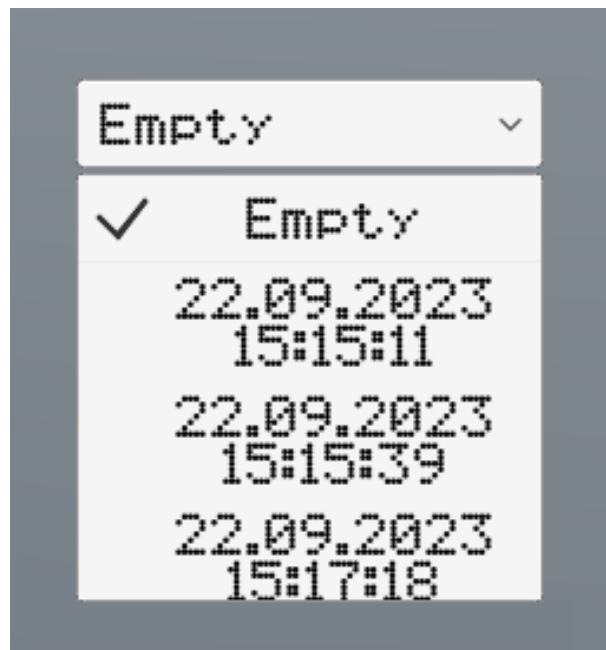


Рисунок 2.10 — випадаючий список

Кожна збережена сцена підписується датою та часом збереження. Галочка відображає вибрану сцену.

Для створення та розташування будівлі необхідно натиснути кнопку Add new building (рисунок 2.11).

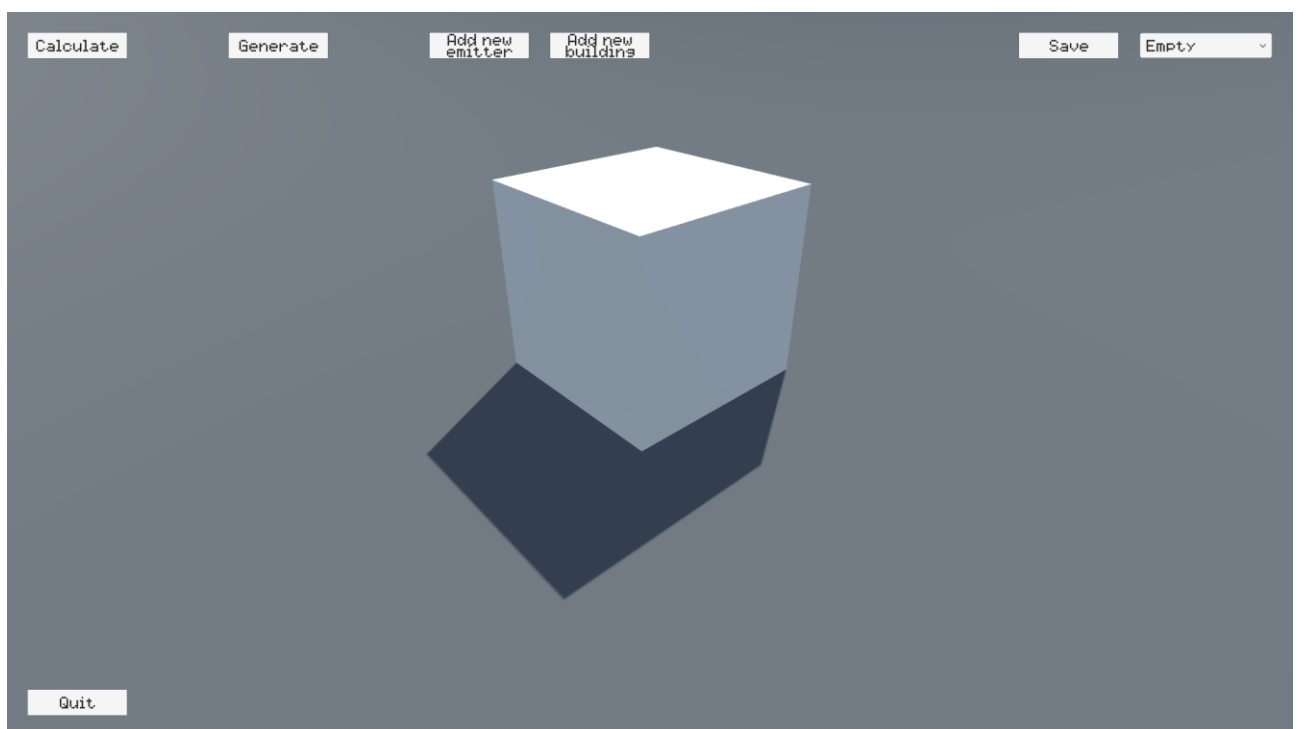


Рисунок 2.11 — створення нової будівлі

На екрані в центрі системи координат появилася будівля. Натиснувши ЛКМ та рухаючи комп'ютерною мишою можна змінити ракурс та оглянути будівлю з усіх сторін. Також, рухаючи колесо миші, можна змінити масштаб. Клацнувши ПКМ по будівлі відкриється напівпрозоре вікно з налаштуваннями (рисунок 2.12).

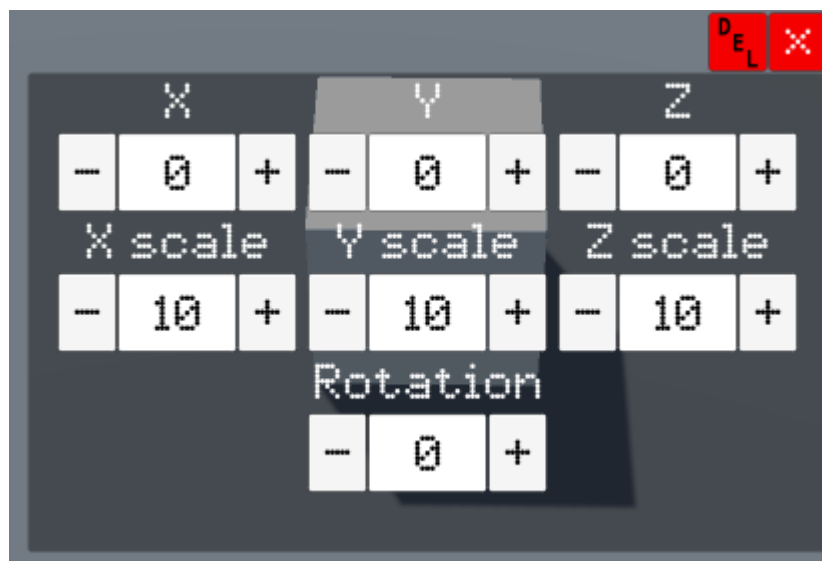


Рисунок 2.12 — вікно налаштувань для будівлі

Вікно налаштувань має сім параметрів які можна змінити. Значення кожного параметру можна ввести з клавіатури або збільшувати чи зменшувати на одиницю кнопками + та -. Параметри X , Y та Z відповідають за позицію будівлі. X scale, Y scale та Z scale відповідають за розмір по відповідній осі. Останній параметр Rotation відповідає за поворот.

За допомогою двох червоних верхніх кнопок можна видалити будівлю або закрити вікно налаштувань. Закрити вікно налаштувань також можна клацнувши ПКМ по вільній області екрану.

Можна створювати й налаштовувати будівлі вручну, а можна згенерувати випадкову кількість будівель з випадковими параметрами. Для цього необхідно натиснути кнопку Generate (рисунок 2.13).

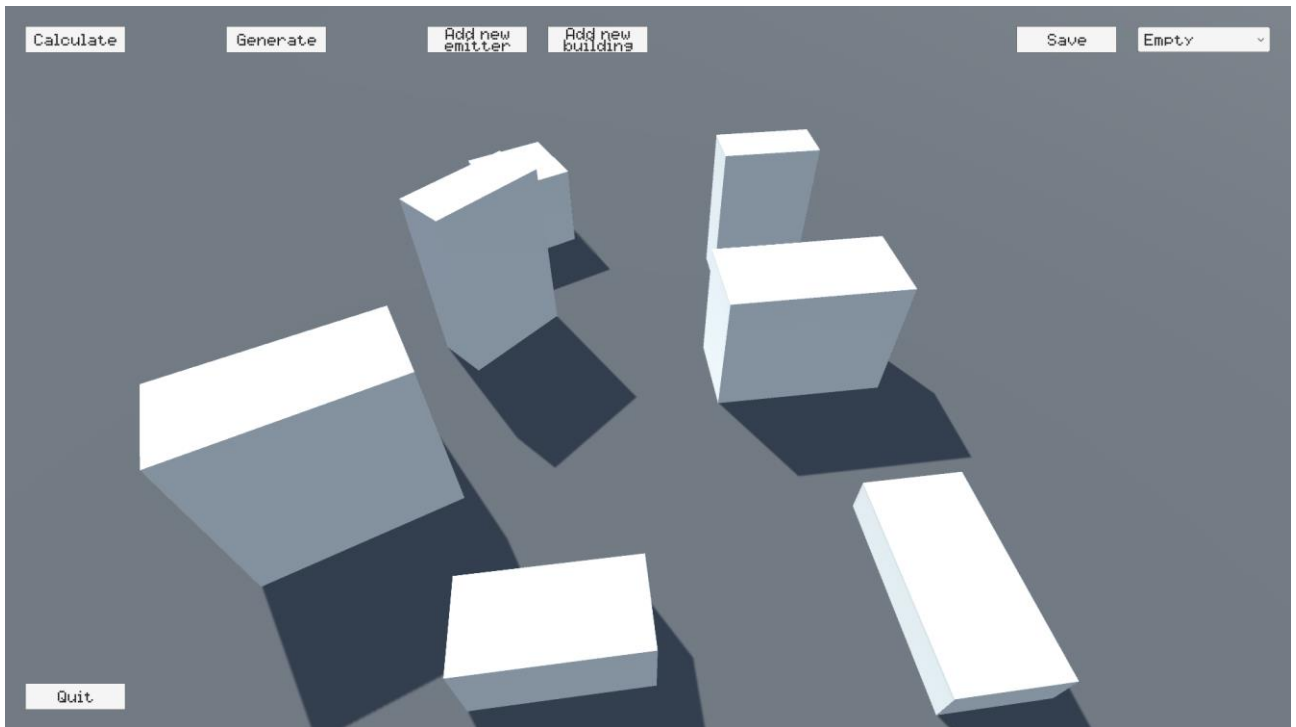


Рисунок 2.13 — створення випадкових будівель

Кожну будівлю можна окремо налаштувати чи видалити. Окрім згенерованих будівель ще можна створити й налаштувати власну будівлю і зберегти конфігурацію сцени кнопкою Save для подальшого використання.

Після налаштування будівель потрібно налаштувати позиції джерела сигналу та точки вимірювання. Джерело сигналу позначається іконкою вишки а точка вимірювання – іконкою радіоприймача (рисунок 2.14).

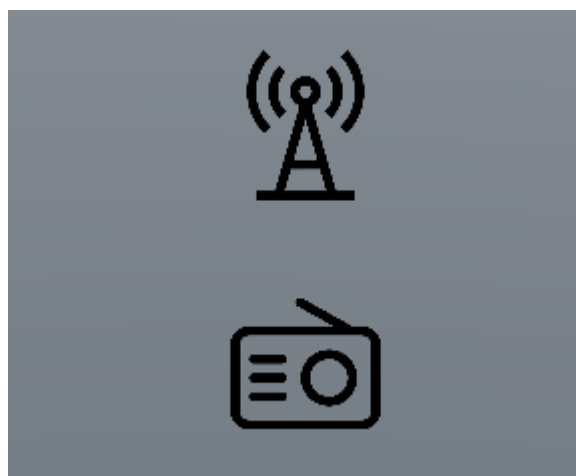


Рисунок 2.14 — іконки джерела сигналу та точки вимірювання

Точка вимірювання сигналу лише одна – її не можна видалити чи додати нову. Джерела сигналу можна видаляти чи додавати нові. Клацнувши на одну з іконок можна налаштувати позицію (рисунок 2.15).

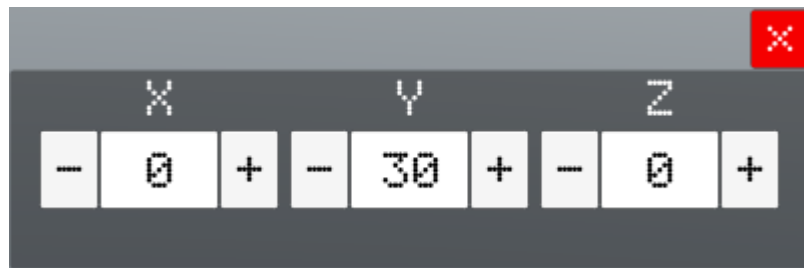


Рисунок 2.15 — вікно налаштувань точки вимірювання сигналу

Після налаштування всіх об'єктів можна приступати до вимірювання сили сигналу. Натиснувши кнопку Calculate, відкриється вікно з інформацією про силу сигналу. Сила сигналу вимірюється в децибелах. В разі відсутності сигналу у вікні буде повідомлення No signal (Рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 — повідомлення про відсутність сигналу

2.5 Висновки за розділом 2

В даному розділі було проведено аналіз програмних засобів для розробки програми. Зокрема були розглянуто ігрові рушії та середовища для написання коду. Згідно аналізу було обрано Unity 3D в якості ігрового рушія та Rider в якості середовища написання коду.

Сила сигналу обчислюється за допомогою алгоритму Ray Tracing. Було проведено огляд даного алгоритму і проведено аналогію між світлом та радіосигналом.

Показана реалізація алгоритму засобами Unity 3D з необхідними роз'ясненнями та оглядом найважливіших частин програмного коду.

Насамкінець був проведений огляд користувацького інтерфейсу для розуміння роботи з програмою. Розглянуто функції та можливості програми.

Даний розділ містить рисунки з роз'ясненнями для ключових аспектів.

3 ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ПРОГРАМИ

3.1 Перевірка результатів роботи програми

Для перевірки результатів роботи програми, проведемо обчислення вручну та за допомогою програми і порівняємо отримані результати.

Обрахуємо силу сигналу за 50 метрів від джерела. Сигнал проходить безперешкодно. Коефіцієнт підсилення становить 1000. Сила сигналу має бути $(1/50^2) * 1000 = 0.4$. Переведемо дане значення в децибелі: $0.4 * 10\log_{10} = -3.98$ децибел.

Проведемо аналогічне вимірювання в програмі. Розташуємо джерело сигналу в координаті 0,10,0. Виміряємо сигнал в координаті 0,60,0 (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 — вимірювання сили сигналу на відстані 50м від джерела

Як видно з рисунку програма обрахувала силу сигналу майже ідеально.

Проведемо ще одне вимірювання, але вже з перешкодою. Між джерелом сигналу і точкою вимірювання знаходиться перешкода. Сигнал може відбитись від іншої перешкоди і досягти цілі. Координата джерела сигналу 50,10,30. Координата точки вимірювання 50,10,-30. Сигнал буде відбитим в точці 0,10,0. Сигнал пройде відстань $\sqrt{(50 - 0)^2 + (10 - 10)^2 + (30 - 0)^2} = 58.31$ м, відіб'ється від перешкоди і ще пройде таку саму відстань. Тобто сигнал сумарно пройде 116,62 м і ослабиться на 20%, так як відбився один раз. Сила сигналу буде $(1/116,62^2) * 1000 * 0,8 = 0.0588$. Переведемо в децибелі: $0.0588 * 10\log_{10} = -12.3$ децибел.

Перейдемо в програму та проведемо аналогічне вимірювання (рисунок 3.2).

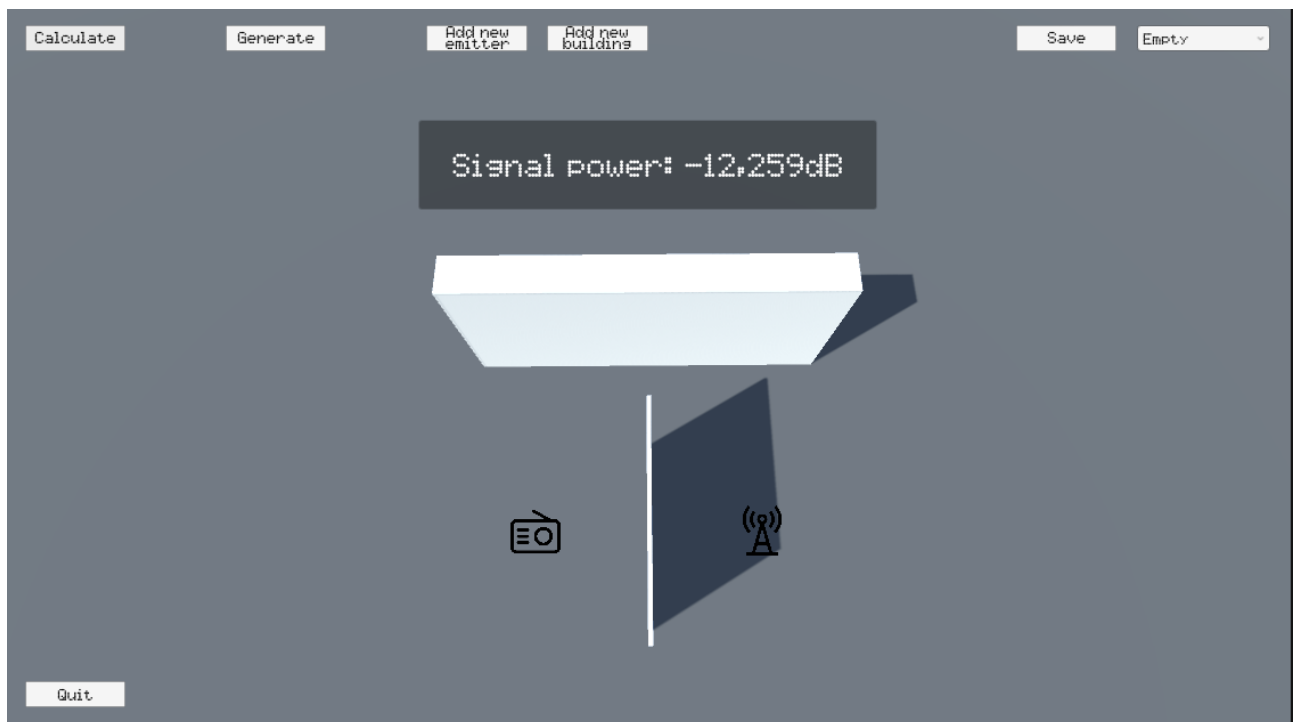


Рисунок 3.2 — вимірювання сили сигналу з перешкодою

На рисунку видно що сила сигналу складає -12,259 децибел та не сильно відрізняється від очікуваного результату.

Похибка першого вимірювання склала $100 - 100 * (40.013/40) = 0.325\%$.

Для другого вимірювання похибка складає $100 - 100 * (0.0594/0.0588) = 1.044\%$.

Як видно з результатів – похибка зростає разом зі складністю вимірювань.

3.2 Моделювання роботи телекомунікаційної мережі на території ВНТУ

З сайту <https://www.google.com/maps> візьмемо супутниковий знімок території ВНТУ (рисунок 3.3)



Рисунок 3.3 — супутниковий знімок території ВНТУ

За допомогою програми побудуємо приблизну копію території (рисунок 3.4). Кожну будівлю необхідно створити, натиснувши кнопку Add new building, та налаштувати, клікнувши ПКМ по ній.

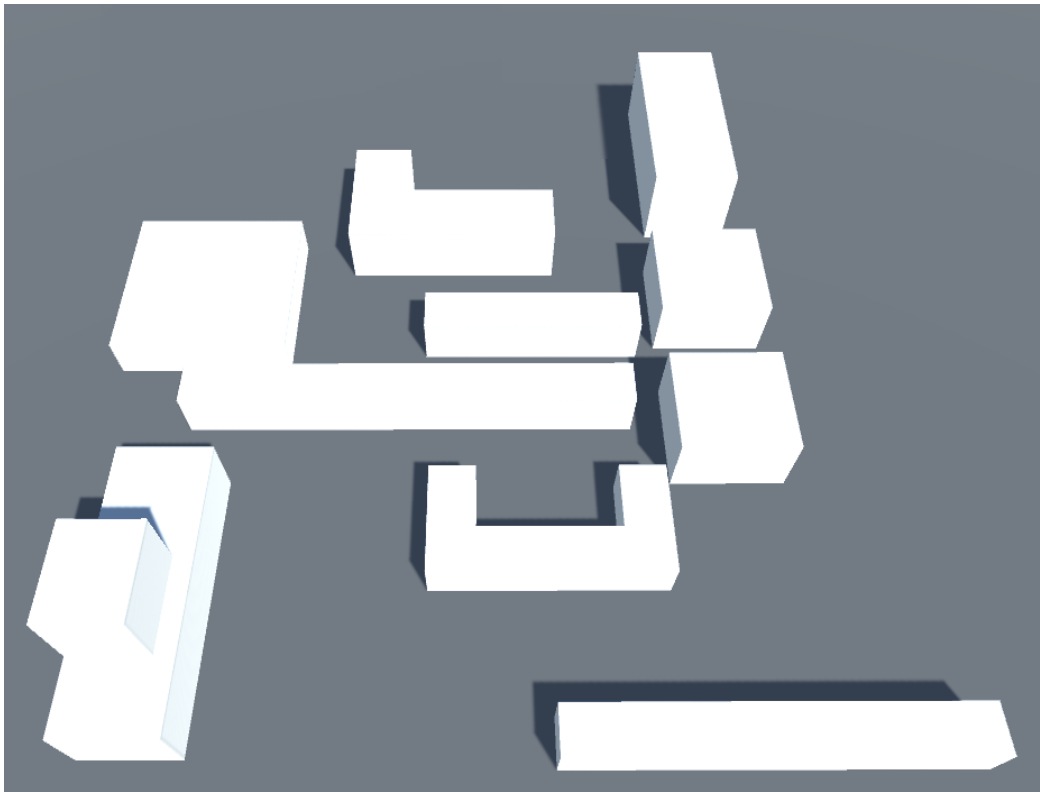


Рисунок 3.4 — копія території ВНТУ в програмі

Розташуємо джерело сигналу на кришу найвищої будівлі та заміряємо силу сигналу неподалік (рисунок 3.5)

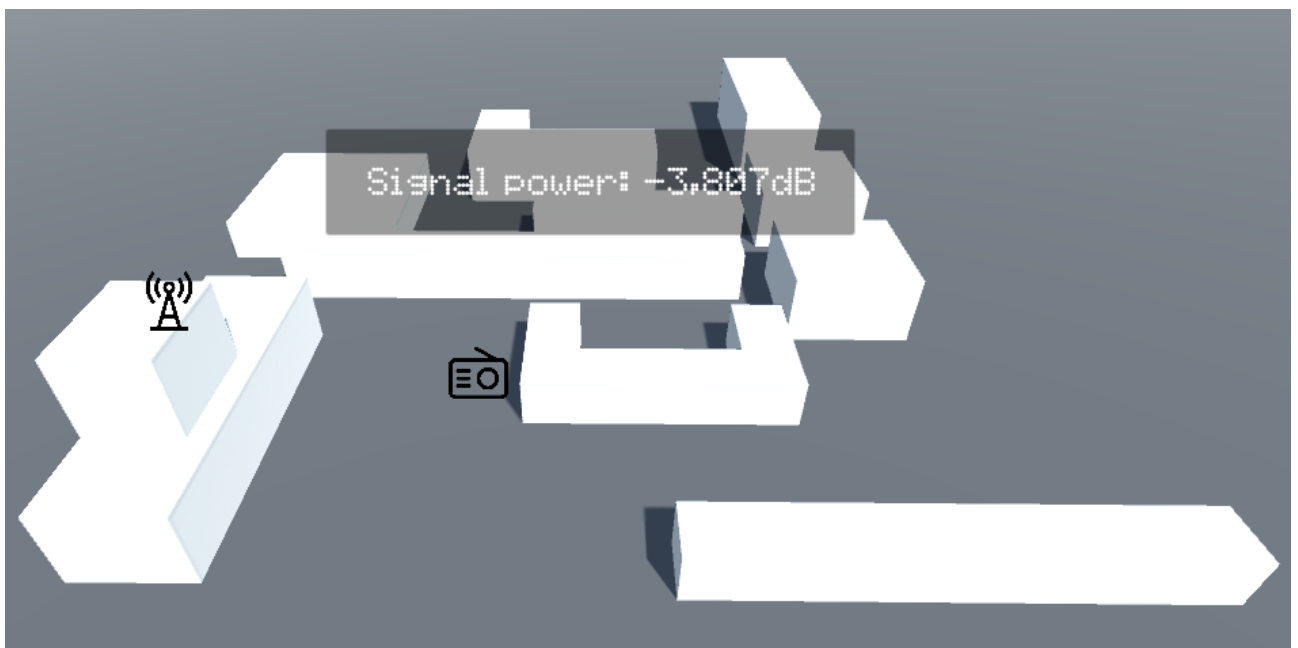


Рисунок 3.5 — вимірювання сили сигналу в межах прямої видимості

Як видно з рисунку 3.5 джерело сигналу та точка вимірювання знаходяться в межах прямої видимості, тому сила сигналу не сильно впала і становить -3.807 децибел. Виміряємо сигнал за перешкодою (рисунок 3.6).

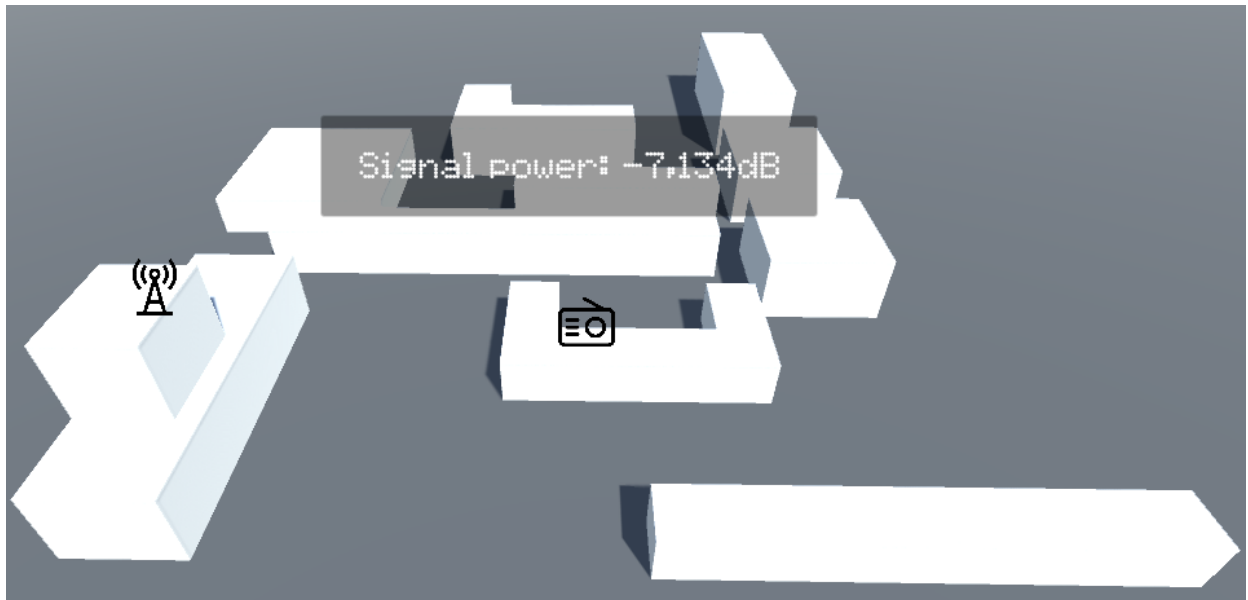


Рисунок 3.6 — вимірювання сили сигналу за перешкодою

Сила сигналу помітно впала і становить -7.134 децибел, тобто в 2.2 рази слабша.

Виміряємо силу сигналу біля найвіддаленішої будівлі (рисунок 3.7).

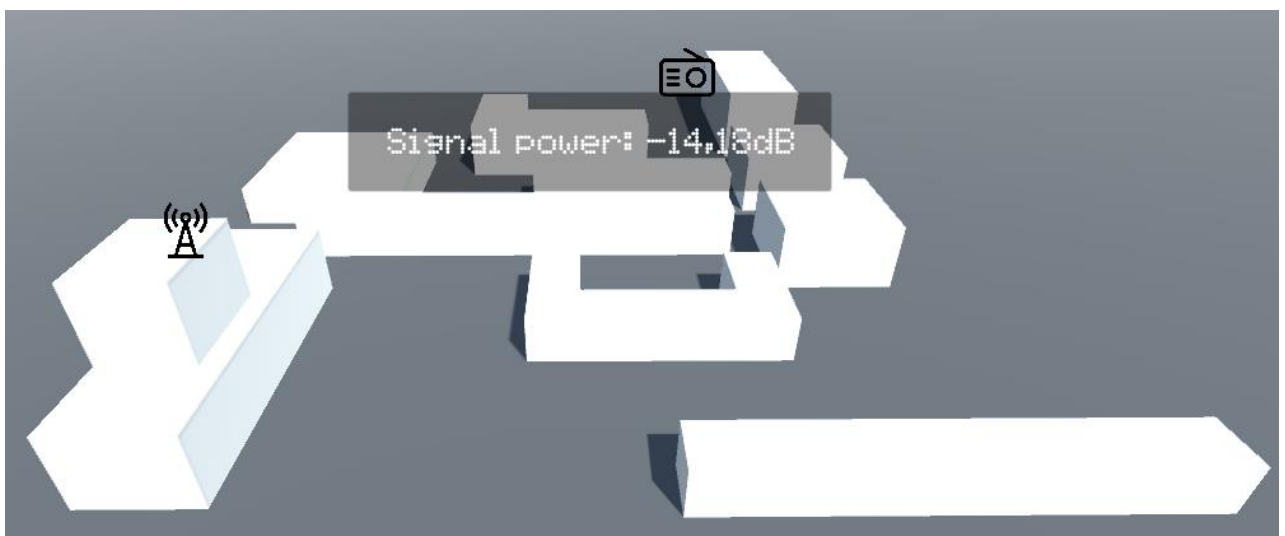


Рисунок 3.7 — вимірювання силу сигналу біля найвіддаленішої будівлі

Як видно з рисунку 3.5 в силу великої відстані сигнал доволі слабкий. На шляху сигналу немає перешкод. Опустимо позицію джерела сигналу та обчислимо силу в тій самій точці (рисунок 3.8).

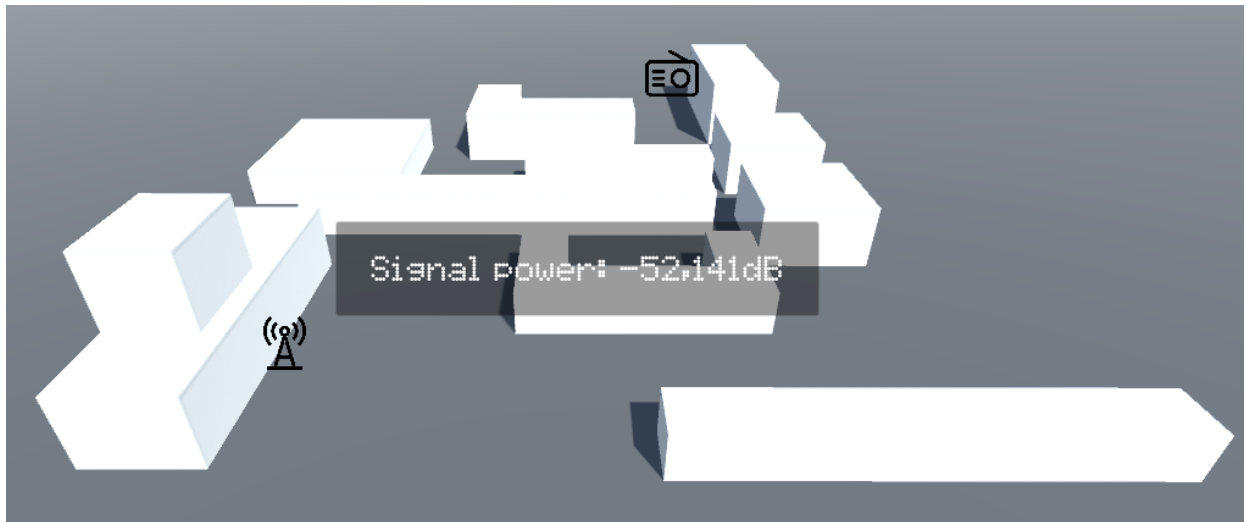


Рисунок 3.8 — вимірювання сили сигналу з низькорозташованим джерелом

Опустивши джерело сигналу, сила сигналу становить всього лише -52.141 децибел, що в 6200 раз менше. На практиці такі малі значення означатимуть повну відсутність сигналу.

Додамо ще два джерела сигналу та розташуємо їх на кришах найвищих будівель (рисунок 3.9). Виміряємо силу сигналу в центрі.

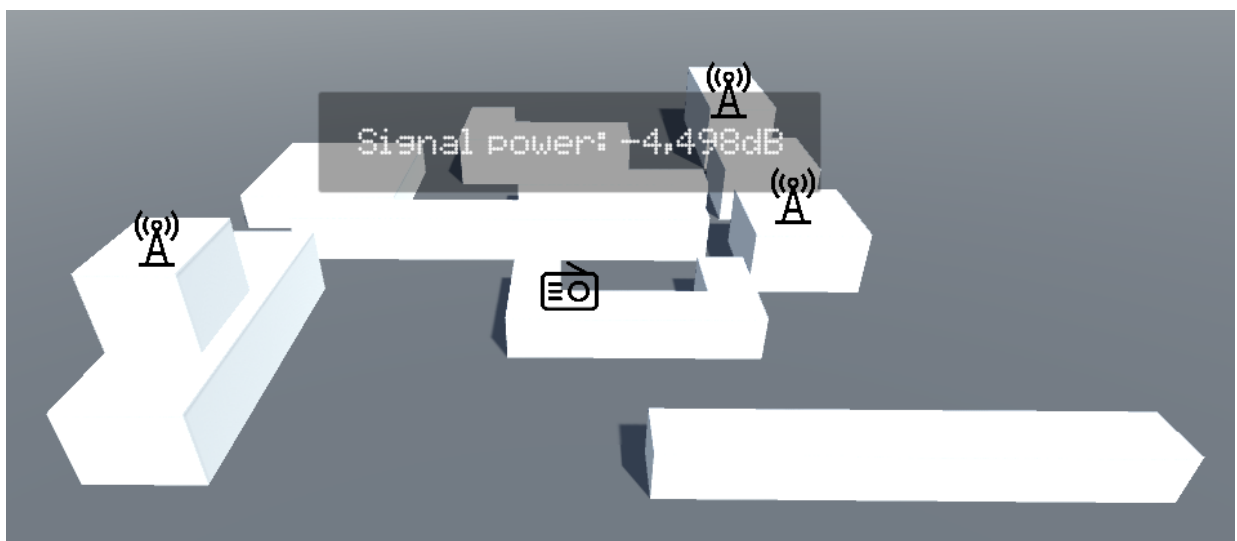


Рисунок 3.9 — вимірювання сили сигналу з трьома джерелами

Сила сигналу в даному випадку відмінна і складає -4.498 децибел. Заміряємо силу сигналу в найвіддаленішій точці (рисунок 3.10).

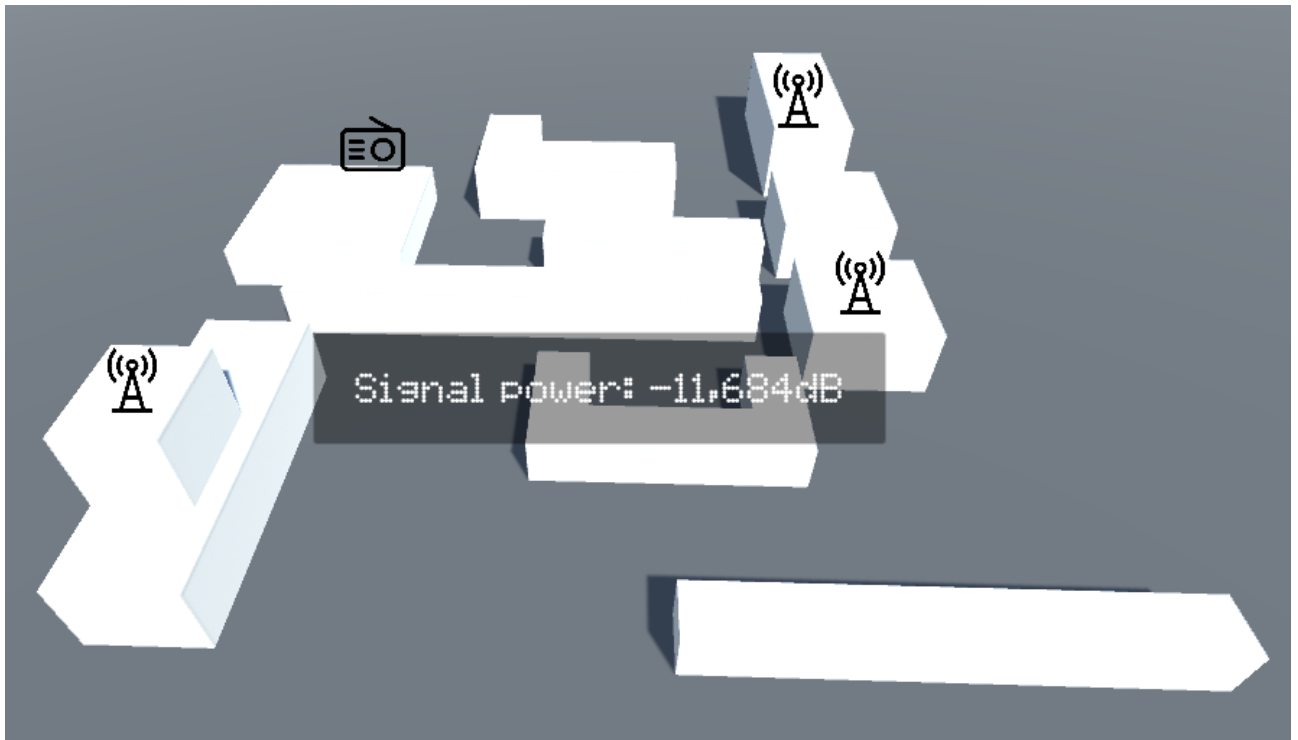


Рисунок 3.10 — вимірювання сили сигналу в найвіддаленішій точці

Сила сигналу складає -11.684 децибел, що менше ніж в попередньому вимірюванні.

Провівши ряд вимірювань сили сигналу в різних точках з даною конфігурацією джерел сигналу - сила сигналу не була меншою за -11 децибел.

3.3 Висновки ра розділом 3

В даному розділі було проведено тестування роботи програми. Було порівнянно результати обчислення очікуваної сили сигналу з результатами обчисленими програмою. За допомогою отриманих даних можна зробити висновок, що програма досить точно обраховує силу сигналу, проте зі збільшенням складності вимірювань збільшується похибка.

Також було проведено моделювання роботи телекомунікаційної мережі на території ВНТУ. За допомогою сервіса Google Maps було отримано дані про будівлі на території ВНТУ, а саме їх розмір та розташування. Користуючись цими даними в програмі було відтворено макети будівель на території ВНТУ.

Вимірюючи силу сигналу в різних місцях з різними конфігураціями джерел сигналу, було виявлено оптимальне розташування джерел сигналу, необхідне для повного покриття всієї території.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПШБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	45	0	47
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	39	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		43,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво

зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	64	0	60
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	55	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	59,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [15]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{\text{нов}}, k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 43,7, k_{\text{теор}} = 59,7$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 43,7 + 0,4 \cdot 59,67 = 50,07 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу», даний рівень становить 50,07 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «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.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [15]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 15540,00 \cdot 16 / 22 = 11301,82 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Науковий керівник дослідної роботи	15540,00	706,36	16	11301,82
Інженер-розробник телекомунікаційних мереж	14870,00	675,91	12	8110,91
Науковий співробітник	14900,00	677,27	16	10836,36
Лаборант	6850,00	311,36	11	3425,00
Всього				33674,09

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

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

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [15];

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 – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (22 \cdot 8) = 56,53 \text{ грн.}$$

$$З_{р1} = 56,53 \cdot 5,20 = 293,96 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Переналаштування робочого місяця інженера-розробника телекомунікаційних мереж	5,20	2	1,10	56,53	293,96
Інсталяція програмного забезпечення математичного моделювання	4,25	3	1,35	69,38	294,86
Формування (введення) бази даних дослідження моделі мережі доступу	12,00	4	1,50	77,09	925,06
Всього					1513,88

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$Z_{\text{дод}} = (33674,09 + 1513,88) \cdot 12 / 100\% = 4222,56 \text{ грн.}$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.6)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (33674,09 + 1513,88 + 4222,56) \cdot 22 / 100\% = 8670,32 \text{ грн.}$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4,0 \cdot 192,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 844,80 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір Офісний А4 500	192,00	4,0	0	0	844,80
Папір для записів А4 250	110,00	4,0	0	0	484,00
Органайзер офісний	187,00	4,0	0	0	822,80
Канцелярське приладдя	169,00	4,0	0	0	743,60
Картридж для принтера	1264,00	4,0	0	0	5561,60
Диск оптичний CD-R	27,50	5,0	0	0	151,25
Flesh-пам'ять 128 GB	269,00	1,0	0	0	295,90
Всього					8903,95

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» на даному етапі дослідження відсутні.

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення. Витрати за статтею на даному етапі дослідження відсутні.

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 9680,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 10164,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Математичне середовище розробки	1	9680,00	10164,00

3D моделей Unity 3D та JetBrains Rider			
Всього			10164,00

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{г}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (7420,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 206,11 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
ОС Windows	7420,00	3	1	206,11
Прикладний пакет Microsoft Office	6600,00	3	1	183,33
Прикладне програмне забезпечення проектування 3D систем	7690,00	3	1	213,61
Прикладне програмне забезпечення 3D моделювання	8260,00	3	1	229,44
Приміщення лабораторії досліджень	435000,00	25	1	1450,00
Робоче місце інженера-розробника	8320,00	7	1	99,05

телекомунікаційних мереж				
Пристрій виводу графічної інформації (плотер)	12850,00	5	1	214,17
ЕОМ для формування та дослідження 3D моделей (КОМП'ЮТЕР VINGA WOLVERINE A5257 (I5M16G1650.A5257))	27890,00	3	1	774,72
Всього				3370,44

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,05 \cdot 128,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 48,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Робоче місце інженера-конструктора	0,05	128,0	48,00
Пристрій виводу графічної інформації (плотер)	0,42	12,0	37,80
ЕОМ для формування та дослідження моделей теплообміну (КОМП'ЮТЕР VINGA WOLVERINE A5257 (I5M16G1650.A5257))	0,25	128,0	240,00

Всього	325,80
--------	--------

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «3-D моделювання надціільних телекомунікаційних мереж доступу» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cv} = 22\%$.

$$B_{cv} = (33674,09 + 1513,88) \cdot 22 / 100\% = 7741,35 \text{ грн.}$$

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $H_{cn} = 34\%$.

$$B_{cn} = (33674,09 + 1513,88) \cdot 34 / 100\% = 11963,91 \text{ грн.}$$

4.2.11 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» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 55\%$.

$$I_e = (33674,09 + 1513,88) \cdot 55 / 100\% = 19353,38 \text{ грн.}$$

4.2.12 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» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (33674,09 + 1513,88) \cdot 100 / 100\% = 35187,97 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{ood} + Z_n + M + K_e + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сн} + I_e + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 33674,09 + 1513,88 + 4222,56 + 8670,32 + 8903,95 + 3263,40 + 0,00 + 10164,00 + 3370,44 + 325,80 + 7741,35 + 11963,91 + 19353,38 + 35187,97 = 148355,05 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$ZB = 148355,05 / 0,9 = 164838,95 \text{ грн.}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 2$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 3$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 164838,95$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [15].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = \frac{4^2 \cdot 3 \cdot 3}{164,8 \cdot 0,08} = 10,48.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

4.4 Висновки за розділом 4

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» складають 164838,95 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На працівника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена чи понижена вологість повітря;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження [16].

Відповідно до визначених факторів розробляємо рішення щодо безпечного виконання роботи під час проектування.

5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1. Обладнання робочого місця

Робоче місце проєктанта 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу обладнане великою кількістю технічних пристроїв. Це перш за все персональний комп'ютер, принтер, сканер, ксерокс, і різноманітні засоби телефонного зв'язку.

Організація робочого місця проєктувальника забезпечує відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам характеру та особливостями трудової діяльності [17].

При розміщенні робочих місць з ПК було дотримано таких вимог:

- відстань між бічними поверхнями ПК менша за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею однієї ПК та екраном іншої не менша 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць не менший 1 м. Вимоги цього пункту щодо відстані між бічними поверхнями ПК та відстані між тильною поверхнею однієї ПК та екраном іншого враховуються також при розміщенні робочих місць з ПК в суміжних приміщеннях, з урахуванням особливостей стін та перегородок.

Організація робочого місця, яке передбачає використання ПК для управління технологічним обладнанням повинна передбачати:

- достатній простір для працівника;
- вільну досяжність органів ручного управління в зоні моніторного поля: відстань по висоті – 900-1330 мм, по глибині – 400-500 мм;
- розташування екрану ПК в робочій зоні, яке забезпечувало б зручність зорового спостереження, а також зручність використання ПК під час коригування керуючих програм одночасно з використання основних виробничих операцій;
- можливість повертання екрану ПК навколо горизонтальної та вертикальної осі.

Конструкція робочого місця проектувальника (при роботі сидячи) забезпечує підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками:

- ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг;
- стегна – в горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом 70° - 90° до вертикальної площини;
- зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини;

– нахил голови - 20° відносно вертикальної площини.

Розміщення принтера на робочому місці забезпечує добру видимість екрану ПК, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900-1300 мм, по глибині 400-500 мм.

Висота робочої поверхні столу для ПК має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600-1400мм, глибина – 800-1000 мм.

При приміщеннях з ПК мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою [18].

Щодо вимог до режимів праці і відпочинку при роботі з ПК то під час роботи з ПК для збереження здоров'я працівників, запобігання профзахворюванням і підтримки працездатності встановлюються внутрішньо змінні регламентовані перерви для відпочинку.

У випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосовувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ПК не повинна перевищувати 4 годин.

Усю будівлю, в тому числі і досліджуване приміщення, електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні, де відбувалася проектування 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу виконані як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні не менші за площу перерізу фазового провідника.

Заборонено під'єднувати обладнання до звичайної двопровідної електричної мережі, зокрема з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електричних розеток виконані за магістральною схемою, по 3-6 в одному колі. Оскільки вони розташовані уздовж стін, то провідники прокладені по підлозі в металевих трубах і гнучких металевих рукавах. Металеві трубки і гнучкі металеві рукави заземлені.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Показниками, що характеризують мікроклімат, є: температура повітря (°C), відносна вологість повітря (%), швидкість руху повітря (м/сек.), інтенсивність теплового випромінювання (Вт/м²).

Робота з дослідження 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу за енерговитратами відноситься до категорії 1a [19]. Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1a (згідно ДСН 3.3.6.042-99 [20]) наведені в табл.5.2.1.

Таблиця 5.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря застосовують вентиляцію. Загальнообмінна вентиляція використовується для забезпечення в приміщеннях відповідного мікроклімату; місцеві вентилятори – для охолодження ПК і допоміжних пристроїв. У холодну пору року передбачається система опалення. Для опалення приміщення використовується водяна система центрального опалення.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється дослідження 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу, можливими забруднювачами повітря може бути офісна техніка та пил, який потрапляє ззовні.

Загазованість – це наявність різноманітних газів у повітрі робочої зони, які, потрапляючи в організм людини через органи дихання, шкіряний покрив, шлунково-кишковий тракт, можуть спричинити отруєння й враження органів і систем життєзабезпечення. У зв'язку з цим сучасні методи виявлення отруйних речовин у повітрі й захист від них мають велике значення для забезпечення сприятливих умов для роботи. Для цього відбирають проби повітря на основних робочих місцях. За результатами аналізу взятих проб повітря судять про ступені шкідливості повітряного середовища.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.2.

Таблиця 5.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Окрім хімічного складу, важливо також, щоб повітря мало певний іонний склад. У повітрі містяться негативні й позитивні іони. У закритих

приміщеннях легкі іони поглинаються в процесі дихання, а також пилом, одягом тощо. Тому ступінь іонізації вважається досить добрим індикатором чистоти повітря. Експериментально підтверджено негативну дію деіонізованого повітря. У людей з'являються сонливість, головний біль, підвищується артеріальний тиск тощо. Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.5.2.3).

Таблиця 5.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування повітря, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

5.2.3. Виробниче освітлення

Виробниче освітлення нормується на робочих поверхнях.

Обираючи систему освітлення, виходять з погляду економічності або гігієнічності. Система комбінованого освітлення більш економічна і дозволяє на робочих місцях створювати високу освітленість. Система загального освітлення з погляду гігієни праці краща, тому що вона дозволяє створити рівномірний розподіл освітленості у всьому приміщенні, усунути різкі тіні й контрасти.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні під час проектування 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу (згідно ДБН В.2.5-28-2018 [21]) зазначені у таблиці 5.2.4:

Таблиця 5.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимально можливе бічне природне освітлення.
- 2) Штучне освітлення в приміщеннях з робочим місцем, обладнаним ВДТ, має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення.
- 3) Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК і клавіатури повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої, вікна повинні мати жалюзі або штори.

5.2.4. Виробничий шум

Шум – це найпоширеніше явище у промисловому виробництві. Не становить великих труднощів виявити наявність підвищених шумів і провести необхідні заміри, але зниження рівня шумів може вимагати істотних витрат.

Нормування шуму для робочих місць регламентується санітарними нормами ДСН 3.3.6.037-99 [22] та державним стандартом. Для постійних шумів нормування ведеться по граничному спектру шуму.

Під час проектування 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу допустимі рівні звукового тиску повинні відповідати ГС, а рівні звуку L_A не повинні перевищувати 50 дБА (таблиця 5.2.5).

Таблиця 5.2.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Наукова і творча діяльність	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Основними заходами боротьби з шумом є усунення або ослаблення причин шуму в самому його джерелі у процесі роботи, використання звукопоглинаючих матеріалів, раціональне планування виробничих приміщень.

5.2.5. Виробничі випромінювання

Оскільки дослідження 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу проводилася за допомогою ПК, то на робочому місці проектувальника можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

Сучасні наукові теорії не мають єдності щодо обґрунтування механізму впливу ЕМП на людину, особливо у випадку слабких електромагнітних випромінювань. Ступінь і характер впливу ЕМП на організм людини залежать: від інтенсивності випромінювання; частоти коливань; площі поверхні тіла, що опромінюється; індивідуальних особливостей організму; режиму опромінення (безперервний чи переривчастий); тривалості впливу; комбінованої дії інших факторів виробничого середовища. У діапазонах промислової частоти,

радіочастот, інфрачервоного і частково ультрафіолетового світла електромагнітні поля чинять тепловий вплив,

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в табл. 5.2.6.

Таблиця 5.2.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/м ²
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля, 6 кГц...3 МГц	50	5	
3 МГц...30МГц	2	-	
30 МГц...5 ГГц	-	-	10
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру: УФ-С (220...280 нм)			0,001
УФ-В (280...320 нм)			0,01
УФ-А (320...400 нм)			10,0
в інфрачервоній частині спектру: 0,76... 10,0 мкм			35,0... 70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 ВВ/м

Захист персоналу від впливу електромагнітних полів здійснюється шляхом проведення організаційних та інженерно-технічних, лікувально-профілактичних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

Таким чином, умови праці проектувальника в цілому відповідають існуючим санітарно-гігієнічним нормам.

ВИСНОВКИ

1) Розглянуто та проаналізовано різні методи моделювання роботи телекомунікаційних систем. Орієнтуючись на конкретні потреби, було обрано метод трасування променів для моделювання.

2) Обґрунтовано вибір ігрового рушія для створення програмного забезпечення з можливістю 3D-моделювання роботи надщільних телекомунікаційних мереж. Ігровий рушій дозволяє значно спростити процес створення програмного забезпечення, надаючи готову архітектуру. В якості ігрового рушія було обрано Unity 3D, адже він має багатий функціонал і при цьому простий у використанні.

3) Обґрунтовано вибір середовища для написання програмного коду. Правильний вибір середовища прискорює процес написання коду та полегшує його розуміння програмістом. В якості середовища для написання коду було обрано JetBrains Rider. Дане середовище містить функцію автодоповнення коду, інструменти рефакторингу та синхронізацію з Unity 3D.

4) Створено програмне забезпечення для моделювання роботи надщільних телекомунікаційних мереж за допомогою Unity 3D. Програмне забезпечення має зручний та функціональний інтерфейс. Присутня функція створення та збереження власних конфігурацій будівель.

5) Промодельовано роботу телекомунікаційної мережі на території ВНТУ за допомогою розробленого програмного забезпечення. Дані про розміри та розташування будівель на території ВНТУ були взяті за посиланням <https://www.google.com/maps>. Проводячи вимірювання в різних точках з різними розташуваннями джерел сигналу було знайдено оптимальне розташування передавачів для стабільного покриття на всій території ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горбатий І.В., Бондарев А.П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. Львів: Львівська політехніка, 2016. 336с.
2. W. Yu, H. Xu, H. Zhang, D. Griffith and N. Golmie, "Ultra-Dense Networks: Survey of State of the Art and Future Directions," 2016 25th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), Waikoloa, HI, USA, 2016, pp. 1-10, doi: 10.1109/ICCCN.2016.7568592.
3. Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О. Фізика. Харків: Ранок, 2018. 272с.
- 4 Чабан В.Й. Електромагнітні кола: навчальний посібник для електротехнічних фахівців. Львів: Піраміда 2013. 229с.
5. Gosling W.O. Radio antennas and propagation. London: Planta Tree, 1998. 259с.
6. Туманська Н.В., Барська К.С., Скринченко С.В., Кічангіна Т.М. Рентгенологічні методи дослідження. Запоріжжя: ЗДМУ, 2017. 82с.
7. Barclay L.W. Propagation of Radiowaves. London: IET, 2003. 460с.
8. J. Park, S. -L. Kim and J. Zander, "Tractable Resource Management With Uplink Decoupled Millimeter-Wave Overlay in Ultra-Dense Cellular Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 6, pp. 4362-4379, June 2016, doi: 10.1109/TWC.2016.2540626.
9. T. Shinomiya, S. Nojo and H. Watanabe, "Reliability specification methods for preventing long service outages in telecommunication networks", Chicago, IL, USA, 1992, pp. 1688-1692 vol.3, doi: 10.1109/ICC.1992.268007.
10. Electromagnetic Simulation Software [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.remcom.com/electromagnetic-simulation-numerical-methods>
11. J. Schreier, Blood, Sweat, and Pixels: The Triumphant, Turbulent Stories Behind How Video Games Are Made. New York: Harper Paperbacks, 2017. 304с.
12. Хокінг Д. М. Unity в дії. Мультиплатформенна розробка на практиці. Харків: Ранок, 2018. 131 с.

13. Unity documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Physics.Raycast.html>

14. Закон обернених квадратів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://polka-knig.com.ua/article.php?book=425&article=22205>

15. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

16. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.

17. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.

18. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php.

19. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

20. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

21. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

22. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
3-D МОДЕЛЮВАННЯ НАДЩІЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ
ДОСТУПУ
назва магістерської кваліфікаційної роботи

Додаток Б
(обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: 3-D моделювання надщільних телекомунікаційних мереж доступу

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 77.3 % Схожість 22.7%


Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. 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.

3. 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.

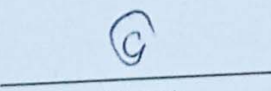
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

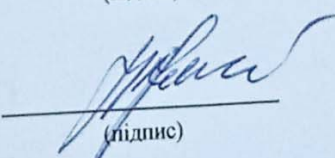
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Гулько О.С.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Крижановський В.Г.
(прізвище, ініціали)

Додаток В

Лістинг скрипта Receiver

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Receiver : MonoBehaviour
{
    #region Public Fields
    [NonSerialized]
    public List<Emitter> emitters = new List<Emitter>();
    #endregion

    #region Private Fields
    private static readonly int _amplificationFactor = 1000;
    #endregion

    #region Unity Methods
    private void Update()
    {
        Debug.Log(GetSignalValue());
    }
    #endregion

    #region Public Methods
    public float GetSignalValue()
    {
```

```
float value = 0.0f;

foreach (Emitter emitter in emitters)
    value = Mathf.Max(value, emitter.GetEmitterSignalPower());

return value * _amplificationFactor;
}

public Vector3 GetPosition()
{
    return transform.position;
}
#endregion
}
```

Додаток Г

Лістинг скрипта Emitter

```
using UnityEngine;

public class Emitter : MonoBehaviour
{
    #region Serialize Fields
    [SerializeField]
    [Range(1000,100_000)]
    private int raysCount = 1000;
    #endregion

    #region Public Fields
    public static int maxReflectionsCount = 20;
    #endregion

    #region Private Fields
    private Vector3[] _rayDirections = null;
    private RayInfo[] _rayInfos = null;
    private Vector3 _position = Vector3.zero;
    private Receiver _receiver = null;
    #endregion

    #region Unity Methods
    private void Start()
    {
        _receiver = FindObjectOfType<Receiver>();
    }
}
```

```

_receiver.emitters.Add(this);

_rayDirections = Helper.GetUniformPointsOnSphere(raysCount);
_rayInfos = new RayInfo[raysCount];

for (int i = 0; i < raysCount; i++)
    _rayInfos[i] = new RayInfo(transform.position, _rayDirections[i]);
}

private void OnDestroy()
{
    _receiver.emitters.Remove(this);
}
#endregion

#region Public Methods
public float GetEmitterSignalPower()
{
    _position = transform.position;

    Physics.Linecast(_position, _receiver.GetPosition(), out RaycastHit raycastHit);
#if UNITY_EDITOR
    Debug.DrawLine(_position, _receiver.GetPosition(), Color.yellow);
#endif

    bool noObstacles = raycastHit.collider?.gameObject.layer.IsReceiverLayer() ??
true;

    if (noObstacles)
        return Helper.GetSignalPower(raycastHit.distance);
}

```

```

float maxSignalValue = 0.0f;

for (int i = 0; i < raysCount; i++)
{
    _rayInfos[i].SetPosition(_position);
    maxSignalValue= Mathf.Max(maxSignalValue, _rayInfos[i]
.GetSignalPowerAtRay());
}

return maxSignalValue;
}
#endregion
}

```

```

public class RayInfo
{
    private int _reflectionsCount;
    private float _distance;

    private Vector3 _position;
    private Vector3 _direction;

    public RayInfo(Vector3 position, Vector3 direction)
    {
        _position = position;
        _direction = direction;
    }

    public void SetPosition(Vector3 position)

```

```
{
    _position = position;
}

public float GetSignalPowerAtRay()
{
    _reflectionsCount = 0;
    _distance = 0.0f;

    Vector3 temporaryPosition = _position;
    Vector3 temporaryDirection = _direction;

    for (int i = 0; i < Emitter.maxReflectionsCount; i++)
    {
        Ray ray = new Ray(temporaryPosition, temporaryDirection);

        bool rayCast = Physics.Raycast(ray, out RaycastHit raycastHit);

        if (!rayCast)
            break;

        _distance += raycastHit.distance;

#ifdef UNITY_EDITOR
        if (raycastHit.collider.gameObject.layer.IsReceiverLayer())
            DrawRaysInEditor(raycastHit.distance, i);
#endif

        if (raycastHit.collider.gameObject.layer.IsReceiverLayer())
            return Helper.GetSignalPower(_distance, _reflectionsCount);
    }
}
```



```

    _reflectionsCount++;

    temporaryPosition = raycastHit.point;
    temporaryDirection = Vector3.Reflect(temporaryDirection,
raycastHit.normal);
}

return 0.0f;

void DrawRaysInEditor( float distance, int iteration )
{
    Debug.DrawRay(temporaryPosition, temporaryDirection * (distance == 0.0f ?
1000 : distance), GetColor());

    Color GetColor()
    {
        switch (iteration)
        {
            case 0: return Color.red;
            case 1: return Color.green;
            case 2: return Color.blue;
            case 3: return Color.magenta;

            default: return Color.black;
        }
    }
}
}
}
}
}

```