

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Києво-Могилянська академія»

Факультет інформатики

Кафедра інформатики

Магістерська робота

освітній ступінь - магістр

на тему: **«РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЯКОСТІ МЕТРИК У ГАЛУЗІ РОЗРОБКИ
ВІДЕО ІГОР З ВІДКРИТИМ СВІТОМ»**

Виконав студент 2-го року навчання,

Спеціальності 121 Інженерія Програмного
Забезпечення

Касьяненко Максим Володимирович

Керівник Нагірна А. М.
кандидат фізико-математичних наук, доцент

Рецензент Афонін А. М.
кандидат фізико-математичних наук, доцент

Магістерська робота захищена з оцінкою

_____ Секретар ЕК _____

«__» _____ 20__ р.

Міністерство освіти і науки України
 Національний університет «Києво-Могилянська академія»
 Факультет інформатики
 Кафедра інформатики

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Зав. кафедри інформатики,
 доцент, к.ф.-м.н., С. С. Гороховський

_____ (підпис)
 „_____” _____ 2023 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
 на кваліфікаційну роботу

студенту 2-го курсу, факультету інформатики
Касьяненко Максиму Володимировичу

Дослідити існуючі підходи до аналізу відео ігор за допомогою метрик та реалізувати застосунок для аналізу відео ігор з відкритим світом за допомогою метрик.

Зміст ТЧ до кваліфікаційної роботи:

Зміст

Анотація

Вступ

1 Аналіз існуючих метрик у галузі розробки відео ігор

2 Запропоновані метрики для аналізу ігор з відкритим світом

3 Алгоритми використані для побудови метрик

4 Архітектура програмного забезпечення

5 Дослідження роботи програмного забезпечення на прикладі існуючої гри з відкритим світом

Висновки

Список використаних джерел

Дата видачі „_____” _____ 2023 р. Керівник _____
 (підпис)

Завдання

отримав

_____ (підпис)

Графік підготовки кваліфікаційної роботи до захисту

Графік узгоджено «_____» _____ 2023 р.

№ з/п	Перелік робіт	Термін	Підпис	Дата	Примітка
1.	Отримання теми дипломної роботи	16.10.2023			
2.	Огляд існуючої літератури за темою дипломної роботи	10.11.2023			
3.	Виконання аналізу існуючих метрик та їх проблем	18.11.2023			
4.	Розробка плану та структури роботи	20.11.2023			
5.	Розробка графічного редактора відкритого світу для застосунку	01.02.2024			
6.	Розробка алгоритмів побудови маршрутів, та графічних і числових метрик	09.02.2024			
7.	Реалізація алгоритмів мовою C# алгоритмів побудови маршруту і метрик	25.02.2024			
8.	Закінчення розробки додатку для аналізу відео ігор з відкритим світом за допомогою метрик	29.03.2024			
9.	Виконання аналізу результатів роботи додатку	05.04.2024			
10.	Початок написання текстової частини	10.04.2024			
11.	Аналіз отриманих результатів та попередній захист дипломної роботи	10.05.2024			
12.	Завершення написання текстової частини дипломної роботи	28.05.2024			
13.	Коригування роботи за результатами попереднього захисту	30.05.2024			
14.	Оформлення презентації до дипломної роботи	01.06.2024			
15.	Захист кваліфікаційної роботи	10.06.2024			

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1: АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТРИК У ГАЛУЗІ РОЗРОБКИ ВІДЕО ІГОР.....	9
1.1 Огляд існуючих метрик відео ігор.....	9
1.2 Недоліки існуючих підходів до побудови метрик.....	11
Висновки до розділу 1.....	11
РОЗДІЛ 2: ЗАПРОПОНОВАНІ МЕТРИКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ІГОР З ВІДКРИТИМ СВІТОМ.....	13
2.1 Опис даних що будуть проаналізовані за допомогою метрик.....	13
2.2 Використання даних для моделювання ігрового процесу гравця.....	17
2.3 Опис запропонованих метрик.....	19
2.3.1 Числові метрики.....	19
2.3.2 Графічні метрики.....	23
Висновки до розділу 2.....	26
РОЗДІЛ 3: АЛГОРИТМИ ВИКОРИСТАНІ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕТРИК.....	28
3.1 Алгоритм побудови маршруту.....	28
3.2 Алгоритм побудови теплових карт.....	30
3.3 Алгоритм побудови числових метрик.....	33
Висновки до розділу 3.....	34
РОЗДІЛ 4: АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	35
4.1 Архітектура серверної частини додатку.....	35
4.1.1 Структура проекту серверної частини.....	35
4.1.2 Рівень доступу до даних.....	38
4.1.3 Рівень бізнес логіки.....	38

4.2 Архітектура клієнтської частини додатку.....	39
4.2.1 Модуль ProjectManagement.....	39
4.2.2 Модуль Diagramming.....	41
4.2.3 Модуль Analytics.....	43
Висновки до розділу 4.....	43
РОЗДІЛ 5: ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ІСНУЮЧОЇ ГРИ З ВІДКРИТИМ СВІТОМ.....	45
5.1 Вибір способу проведення дослідження.....	45
5.2 Моделювання існуючої гри з відкритим світом за допомогою реалізованого програмного забезпечення.....	46
5.3 Аналіз отриманих результатів.....	48
5.3.1 Аналіз графічних метрик.....	48
5.3.2 Аналіз числових метрик.....	52
Висновки до розділу 5.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

АНОТАЦІЯ

Дана робота присвячена аналізу відео ігор за допомогою метрик. Визначено недоліки у поширених до використання метриках. Для відео ігор з відкритим світом, запропоновано низку числових та графічних метрик, що дозволяють аналізувати продукт ще на етапі його розробки. Розроблено алгоритми, що дозволяють розраховувати метрики.

Також реалізовано систему, що дозволяє обчислювати і аналізувати метрики для ігор з відкритим світом. Результати надані системою вказали на здатність розроблених метрики вказувати на позитивні і негативні аспекти продукту що розробляється, та на можливість виявлення проблемних частин відео гри.

Ключові слова: відеогра, відкритий світ, метрика, теплова карта, алгоритм, маршрут, діаграма, карта світу, квест, стороння активність.

ВСТУП

Інженерія програмного забезпечення є дуже широкою галуззю, що охоплює значний спектр продуктів. Поширеними продуктами розробленими інженерами програмного забезпечення є веб та мобільні додатки, системи штучного інтелекту та відео ігри. Згідно з Еммою МакДоналд [1] із видання Newzoo, що займається аналітикою відео ігрового ринку, обсяги ринку за 2022 рік становлять значну суму понад 182 мільярди доларів. Це вказує на те що розробка ігор має попит.

Проте для забезпечення прибутковості необхідно розробити якісні гри яка, привабить покупців. Протягом останніх років ринок страждає від значної кількості неякісних ігор, що не виправдовують очікувань покупців. Однією з можливих причин цих невдач можна вважати погане планування, оскільки на даний момент інструменти спеціалізовані для планування відео ігор не є поширеними.

Також важливим фактором впливу є те, що якість продукту вкрай важко передбачити заздалегідь. Не маючи прототипу складно зробити висновок про те, наскільки вдалим є продукт що розробляється. Через недосвідченість або неуважність розробники чи аналітики можуть зробити помилку ще на етапі планування гри, що негативно вплине на результуючий продукт.

Саме тому було прийнято рішення дослідити можливі підходи до розробки вимог для інженерії програмного забезпечення у галузі відео ігор, та розробити алгоритми метрики і додаток, який аналізуючи вимоги до майбутньої гри зможе розрахувати та метрики що вкажуть інженерам на потенційні проблеми у плані майбутнього продукту ще до початку розробки функціональності.

Для того щоб це зробити, необхідно окреслити предметну область. Це надасть змогу зробити необхідні узагальнення, та отримати метрики що є більш корисними.

Термін “відкритий світ” вживають до ігор, що дозволяють гравцю вільно досліджувати світ, зазвичай з незначними або зовсім без обмежень [2, с. 5]. При цьому “відкритий світ” не є категорією ігор або жанром. Натомість це підхід до

побудови ігрової структури, який може застосовуватися до будь якого існуючого жанру [3, с. 4]. При цьому ігри можуть бути побудовані з елементами відкритого світу, тобто складатися з лінійних та відкритих частин.

Таким чином обмеження предметної області роботи до відео ігор з відкритим світом, дозволить виробити більш детальні метрики, і при цьому зберегти широку сферу застосування результатів роботи.

Метою даної роботи є вивчення існуючих підходів до аналізу відео ігор за допомогою метрик, створення власних алгоритмів та метрик для аналізу відео ігор з відкритим світом, а також реалізація додатку, що дозволить обчислювати і аналізувати метрики.

Предметом дослідження є аналіз підвідео ігор за допомогою метрик, створення алгоритмів побудови метрик для ігор з відкритим світом а також способи їх реалізації.

Робота складається з п'яти розділів.

У першому розділі виконується аналіз існуючих метрик що використовуються в галузі розробки відео ігор, та проводиться пошук недоліків серед цих підходів.

Другий розділ описує метрики розроблені в даній роботі. Розглянуто дані які необхідні для розрахунку, а також описано метрики та способи їх застосування.

Третій розділ містить допоміжні алгоритми що були використані в роботі, а також алгоритми за якими виконується розрахунок метрик.

В четвертому розділі міститься опис архітектури програмного забезпечення, зокрема його клієнтської та серверної частини.

У п'ятому розділі проводиться аналіз роботи програми. Дані існуючої відео гри з відкритим світом внесено у розроблену систему. Та виконано розрахунок метрик.

РОЗДІЛ 1: АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТРИК У ГАЛУЗІ РОЗРОБКИ ВІДЕО ІГОР

1.1 Огляд існуючих метрик відео ігор

Аналітика відео ігор це застосування підходів аналізу до вивчення відео ігор та їх розробки. Її мета полягає в допомозі прийняття рішень в усіх складових частинах розробки, починаючи від дизайну та програмування і закінчуючи маркетингом остаточного продукту. Впродовж тривалого періоду розробки відео ігор усіх категорій почали збирати телеметрію. Прикладами ігрової телеметрії можуть слугувати будь які дані про дії гравця [4, с. 6].

М. Seif El-Nasr у книзі “Ігрова аналітика, максимізація користі даних гравця” визначає відео ігрові метрики як “інтерпретовані показники чогось пов’язаного з відео іграми. Точніше, це кількісні показники атрибутів об’єктів.” Згідно з книгою основним джерелом даних для метрик є телеметрія.

Загалом виділяють 3 категорії відео ігрових метрик: метрики внутрішньо-ігрового росту, метрики залученості та монетизації, метрики процесів розробки [5, с. 4].

До метрик внутрішньо ігрового росту входять метрики що визначають як працює гра, її правила та механіки, та те як користувач з нею взаємодіє. цю категорію розбивають на 3 підгрупи. Першою підгрупою є події ініційовані користувачем, тобто будь які події що стосуються переміщення гравця у віртуальному світі та його взаємодії з навколишнім середовищем. Друга підгрупа має назву метрики прогресу, і найчастіше застосовується до ігор що містять чітку рівневу структуру. Їх мета полягає в зборі інформації про те коли користувач починає якесь завдання, закінчує успішно або програє. Ця підгрупа метрик активно використовується для балансування складності. Останніми в цій категорії є Метрики продуктивності. Ці метрики вимірюють кількість зусиль які необхідно витратити гравцю для того щоб виконати певне завдання. На приклад кількість

кліків що потрібна для того щоб змайструвати предмет, або час затрачений на збір ресурсів для певної задачі.

Навідміну від метрик внутрішньоігрового росту що аналізують вміст гри, метрики залученості і монетизації дуже часто використовуються на бізнес стороні відео ігор фокусуються на залученості гравців у грі та засобах збільшення прибутку.

Першою метрикою в цій категорії є затримка (Retention). Нею користуються більшість безкоштовних ігор. З її допомогою перевіряється чи є гра привабливою для гравців і чи вдається їх успішно втримати. На основі даної метрики можна аналізувати коли до гри вже варто додавати оновлення щоб утримувати зацікавленість.

Другою метрикою є Daily Active Users(DAU) або кількість щоденних активних користувачів. Це найпоширеніша метрика монетизації. Активний користувач - це гравець що запустив гру та пробув у ній певний проміжок часу. Багато хто використовує це значення для аналізу залученості гравців у їх продукт та поведінки ринку. Окрім цього іноді відслідковують кількість користувачів які були активними щомісяця (Monthly Active Users. MAU). Для того щоб якомога точніше визначити чи здатна гра утримати свою аудиторію використовується відношення DAU/MAU. Зріст цього відношення є показником успішності продукту.

Метрик процесів розробки - це такі метрики які характеризують процес розробки продукту в команді. Створення відео ігор є творчим процесом, що ведеться за гнучкими технологіями розробки (agile). Завдяки цьому, підходи гнучких методологій до аналізу і покращення робочого процесу можуть використовуватися і в відео ігровій розробці.

Серед усіх розглянутих метрик найбільш часто вживаними є Метрики продуктивності. Вони дозволяють розглянути широкий спектр внутрішньо ігрових механік, та аналізують гру з перспективи користувача - цільової аудиторії для якої продукт розробляється.

1.2 Недоліки існуючих підходів до побудови метрик

Усі описані вище метрики потребують даних телеметрії для розрахунку. Вони будуються на основі даних зібраних від гравців. Зважаючи на те, що розробники можуть імплементувати збір будь яких даних про взаємодію гравця з ігровим світом, метрики побудовані на телеметрії можуть значно допомогти з аналізом готового продукту. Вони є зручним інструментом для покращення існуючої гри, можуть допомагати в прийнятті рішень стосовно додавання нового контенту або коригуванні існуючого.

Проте найбільшим обмеженням використання метрик заснованих на телеметрії є необхідність в даних від реальних користувачів. Отже користь від такого аналізу продукту можна отримати лише після того як достатня кількість гравців зіграє в гру. На етапах планування і розробки продукту ще немає засобів для збору таких даних. Це збільшує ризик допуску помилок при розробці, що може негативно вплинути на враження гравців.

Також, важливим є питання приватності та етичності збору інформації про реальних людей. За допомогою існуючих технологій можна збирати великий об'єм даних, на основі яких можливо робити висновки про особистість гравця. Якщо такі дані будуть поширені, це зробить гравців вразливими до персоналізованої реклами в інтернеті. Тобто, в процесі збору телеметрії, необхідно вирішити проблему конфіденційності зібраних даних, та використовувати для аналізу лише анонімізовані дані [6, с. 30].

Висновки до розділу 1

У першому розділі роботи було проведено аналіз існуючих підходів до аналізу відео ігор за допомогою метрик. Розглянуто три поширені категорії метрик: метрики внутрішньо-ігрового росту, метрики залученості та монетизації, метрики процесів розробки. Ці метрики здатні надати уявлення про ігровий процес, та залученості гравців.

Після ознайомлення з існуючими метриками, було виявлено їх недолік - потреба у використанні телеметрії від реальних гравців для розрахунку. Це унеможлиблює використання таких метрик на етапі планування і розробки гри, коли вона ще не доступна загальній аудиторії.

Отже, для того щоб використовувати метрики для аналізу ігор на ранньому етапі їх розробки, необхідно розробити метрики, що можуть будуватися без даних телеметрії.

РОЗДІЛ 2: ЗАПРОПОНОВАНІ МЕТРИКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ІГОР З ВІДКРИТИМ СВІТОМ

Визначені в розділі 1.2 метрики повністю покладаються на дані отримані від гравців під час процесу гри, що не дає використовувати їх на етапі планування продукту. Отже необхідно знайти інше джерело даних та метрики які можуть бути створені з таких даних.

Одним з можливих джерел інформації про продукт можуть бути вимоги. Проте вони зазвичай описані у формі тексту, що є складним для аналізу. Але використання текстового опису вимог не є необхідністю. У *A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge* зазначено, що вимога - це корисне до використання представлення потреби, що зазвичай має форму документа, проте може набувати довільну форму [7, с. 15]. Отже для розв'язання проблеми побудови метрик на основі вимог допускається виробити специфічну форму для опису вимог, що буде зручною в аналізі.

2.1 Опис даних що будуть проаналізовані за допомогою метрик

У даній роботі, для побудови метрик використовуються вимоги про складові частини ігрового світу, їх розташування у просторі та особливості взаємодії гравця з кожним з них. Проаналізувавши існуючі ігри з відкритим світом було виділено такий набір складових ігрового світу: загальна мапа світу, квест, ворог, стороння активність (place of interest) та перепона.

Загальна мапа світу є представленням світу, яким переміщується гравець. У системі її роль виконує двовимірне зображення внутрішньо ігрового світу, з видом зверху. Вона є фоновим зображенням, на яке наносяться решта елементів світу. Будь яке растрове комп'ютерне зображення має роздільну здатність, тобто ширину і висоту в пікселях. Пікселі слугуватимуть координатною системою для елементів на мапі. Проте для того щоб проводити аналіз у традиційних одиницях вимірювання, мапа має відповідну ширину та висоту мапи в метрах. Це дозволить

перевести одиниці вимірювання відстані з пікселів у кілометри. На рисунку 2.1 зображено приклад пустої мапи, на яку було лише завантажено фонове зображення.



Рисунок 2.1 – Пуста мапа світу з завантаженим фоновим зображенням

Квест, це структурна одиниця прогресу гравця у проходженні відео гри з відкритим світом. Гра вважається пройденою, після того як гравець виконує усі сюжетні квести. Він представляється у формі точки на мапі у якій гравець буде виконувати певне завдання, для просування по історії ігри. Окрім координати в просторі, квест має Назву, опис, порядковий номер, та оцінку часу, що знадобиться гравцю на його проходження.

Окрім сюжетних квестів, що є обов'язковими для прогресу у грі, також існують опціональні квести. Вони додаються до гри для гравців, що хочуть дізнатися більше про світ, або продовжити свій час проходження гри. Гравець може сам вирішувати чи хоче він проходити такі завдання, чи ні. Кожен квест має поле що вказує його обов'язковість. На рисунку 2.2 зображено зовнішній вигляд карти світу з нанесеними на неї трьома квестами.

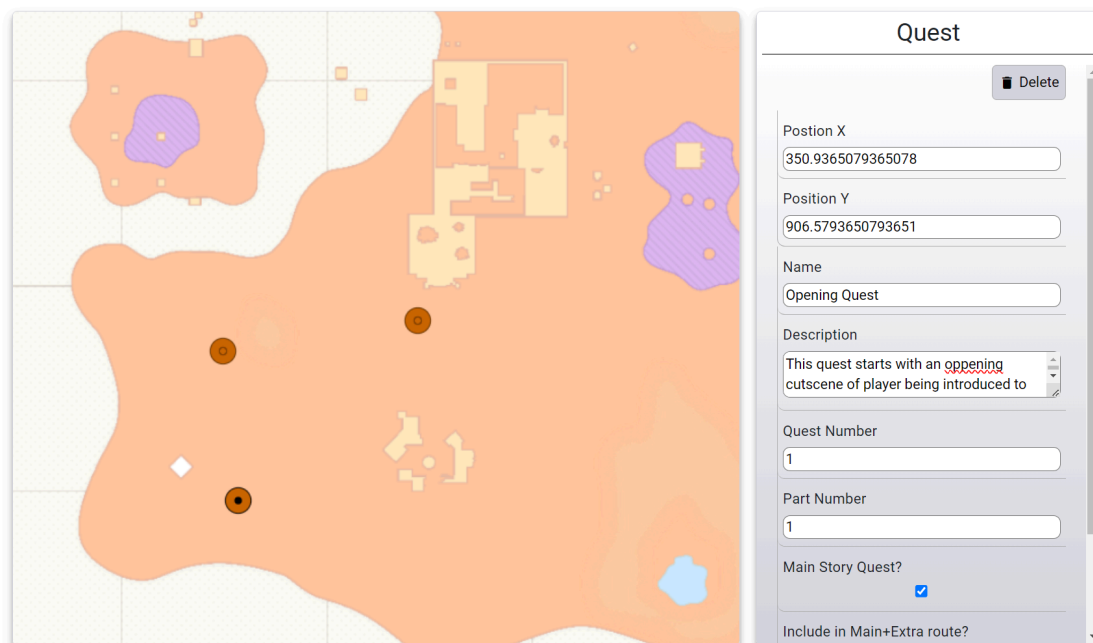


Рисунок 2.2 – мапа з трьома нанесеними квестами

Вороги розміщуються на мапі з метою ускладнити маршрут гравця між квестами. У грі може бути довільна кількість типів ворогів. Про кожен тип ворогів зазначається інформація про назву, опис, та оцінку часу, необхідну для одержання перемоги над ворогом.

Точки з ворогами можуть розміщуватися в довільних місцях на мапі. В кожній точці зазначається один або декілька типів ворогів та кількість кожного типу. Мапа з доданими точками розташування ворогів зображена на рисунку 2.3.

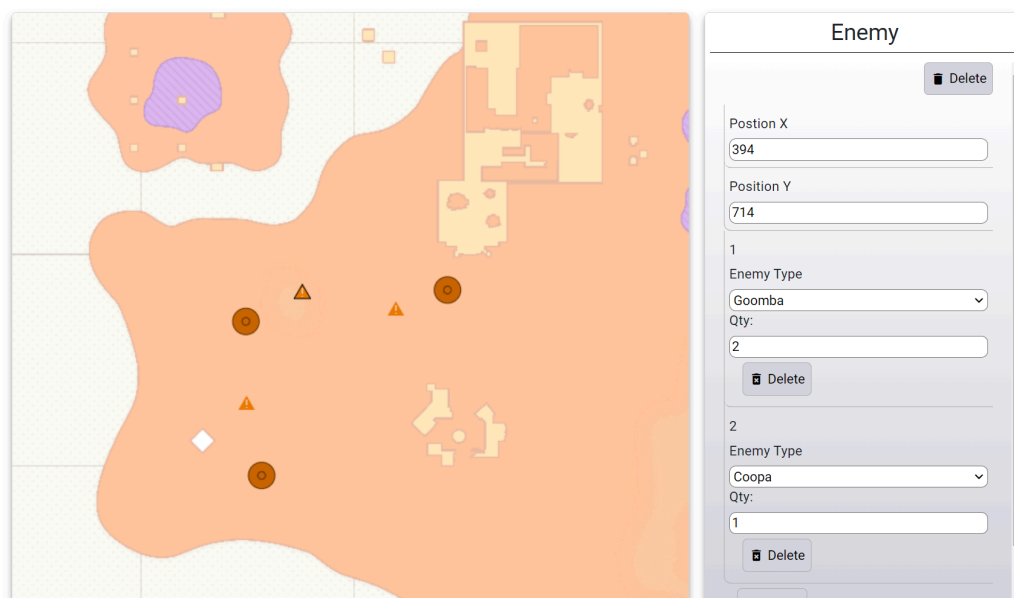


Рисунок 2.3 – точки з ворогами додані на мапу

Для того щоб зробити маршрут гравця між квестами більш цікавим, на карту світу додаються сторонні активності. Їх також називають загальнозживаним англomовним терміном *places of interest*. Прикладами сторонніх активностей, може бути скриня з речами, корисними для гравця, невелика головоломка, персонаж з яким можна вступити в діалог, тощо. Кожен *place of interest* має тип, текстовий опис та оцінку часу на виконання. На рисунку 2.4 зображена мапа зі сторонніми активностями.

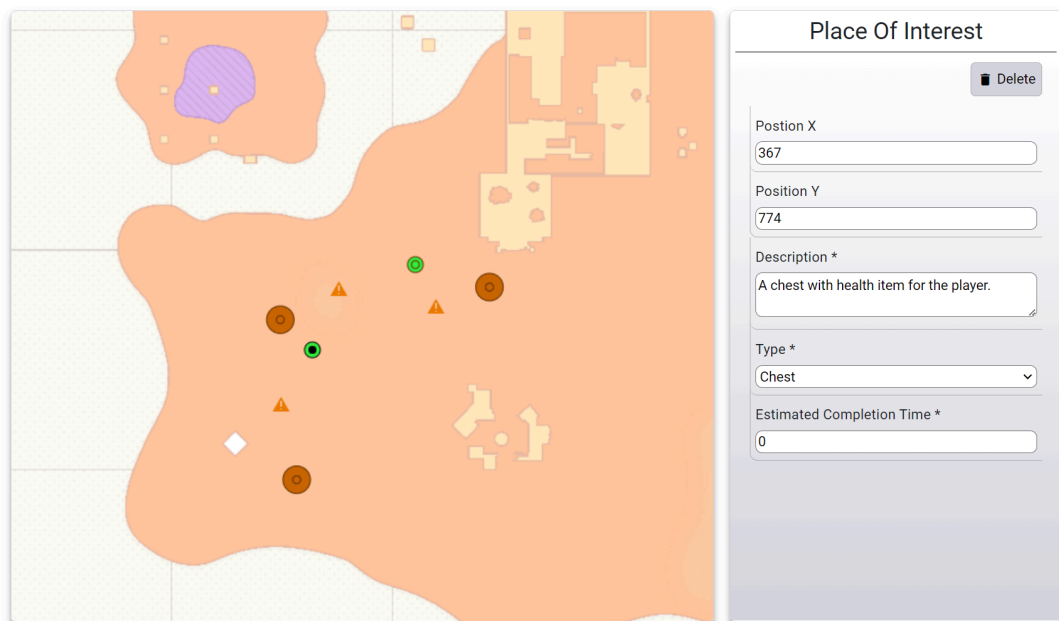


Рисунок 2.4 – мапа після додавання сторонніх активностей

Незважаючи на те що термін відкритий світ передбачає великий обсяг свободи гравця, у кожній грі є певні обмеження на здатність переміщення ігрового персонажа. Наприклад, на шляху може зустрітися стіна, або озеро які необхідно обійти. Для того щоб врахувати такі обмеження, на мапу додаються перепони.

В даній роботі розрізняється два типи перепон: заборонена територія, та бар'єр. Заборонена територія - це замкнений багатокутник, всередину якого гравець не може потрапити в жодному разі. Такі перепони можна додати на мапу, щоб показати озеро, або будинок. Їх необхідно обходити навколо.

Бар'єри мають форму ламаної лінії, яку не можна перетинати у жодній точці. Проте на відміну від забороненої території, яку можна обходити лише зовні, гравець може ходити вздовж обох сторін бар'єру. На рисунку 2.5 зображено

створений в системі бар'єр що окреслює межі острова, та заборонену територію у вигляді шестикутника, на місці башти у грі.

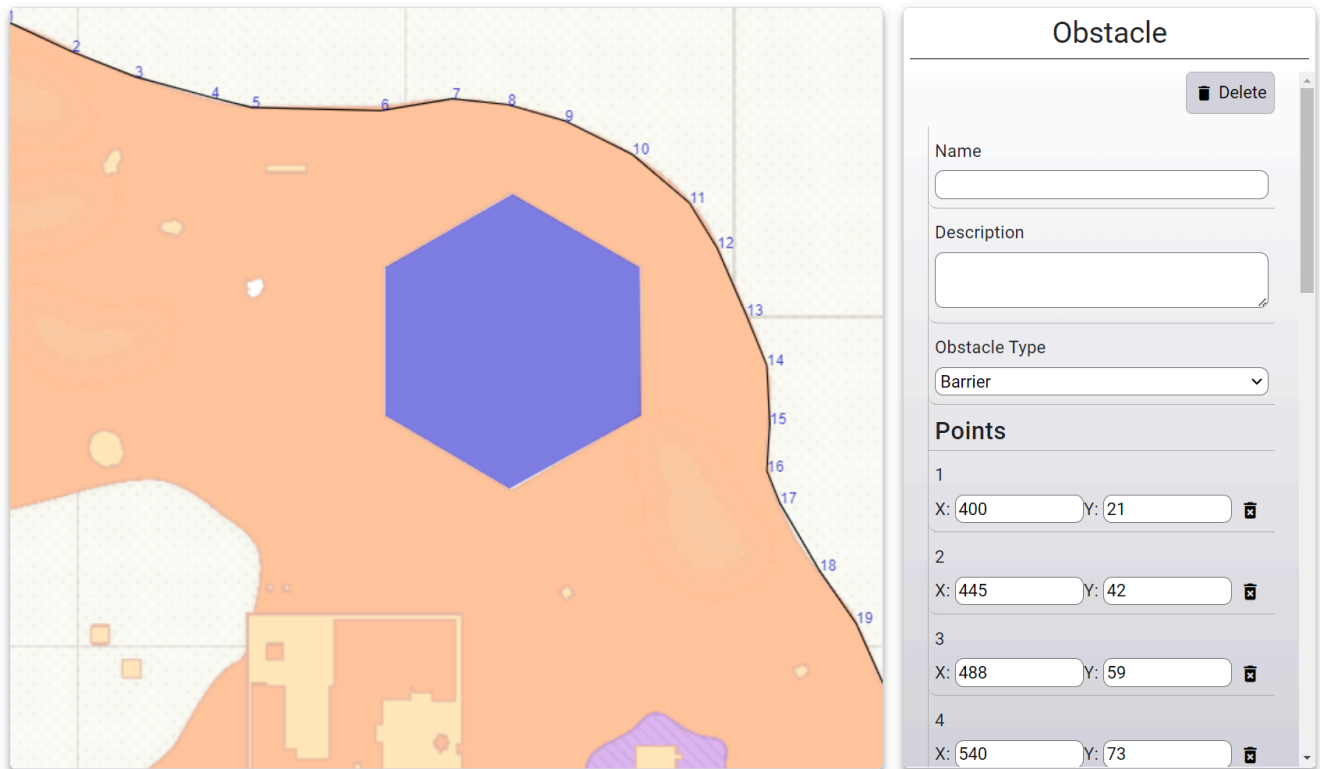


Рисунок 2.5 – бар'єр та заборонена територія на мапі

Описані у даному розділі елементи надають можливість гнучко описувати вимоги до відкритого світу відео гри. Дані отримані з них будуть використані алгоритмами для побудови метрик.

2.2 Використання даних для моделювання ігрового процесу гравця

Описані вище дані дозволяють зробити припущення стосовно можливого маршруту яким рухатиметься гравець. Маючи такий маршрут, можна аналізувати, що на своєму шляху зустрічає гравець і на що витрачає час. Проте різні люди мають різні звички стосовно проходження відео ігор. Деякі акцентують власну увагу лише на сюжетних квестах та рідко відволікаються на ворогів і сторонні активності, інші проходять частину сторонніх квестів, а незначна частина гравців працює над стовідсотковим проходженням гри, що полягає у виконанні кожного квесту та сторонньої активності, що є на мапі.

All quests with distractions - використовує за основу маршрут All quests, та імітує гравця який відволікається на всі сторонні активності та ворогів, що знаходяться у певній відстані від його шляху.

2.3 Опис запропонованих метрик

Після побудови можливих маршрутів гравця, можна робити висновки про його потенційний ігровий процес та починати розраховувати метрики. В рамках даної роботи було розроблено дві категорії метрик для аналізу ігор з відкритим світом.

Першою категорією є числові метрики. Вони мають форму стовпчикових і кругових діаграм, а також числових значень що характеризують ігровий процес гравця. Другою категорією є графічні метрики. Вони представляються у вигляді теплових карт, що накладаються на карту світу, та дозволяють проаналізувати особливості переміщення гравця у просторі, та ступінь наповненості відкритого світу.

Кожна з метрик розраховується для кожного з описаних вище маршрутів, для того щоб проаналізувати ігровий процес різних категорій гравців.

2.3.1 Числові метрики

Першою числовою метрикою є загальний хронометраж (Total Playtime). Ця метрика вказує на загальний час, що знадобиться гравцю для проходження гри від самого початку, до останнього квесту. У результуючий час враховуються всі види дій які може виконувати гравець: ходьба, проходження квестів і сторонніх активностей і битви з ворогами. Загальний хронометраж розраховується в годинах. На рисунку 2.7 зображено зовнішній вигляд метрики Total playtime.



Рисунок 2.7 – приклад розрахованої метрики Total playtime для маршруту All quests with distractions

Друга числова метрика має назву Time Spent on Each Activity, тобто час витрачений на кожну активність. Вона має форму кругової діаграми та показує скільки часу витрачає гравець на кожен з можливих типів активностей. За допомогою даної метрики розробники можуть зробити висновок чи достатньо подій кожного типу зустрічається на шляху гравця. Або навпаки, чи не забагато часу гравця витрачається на однотипні завдання. Час витрачений на кожний вид активності розраховується в секундах. Зовнішній вигляд метрики Time Spent on Each Activity зображено на рисунку 2.8

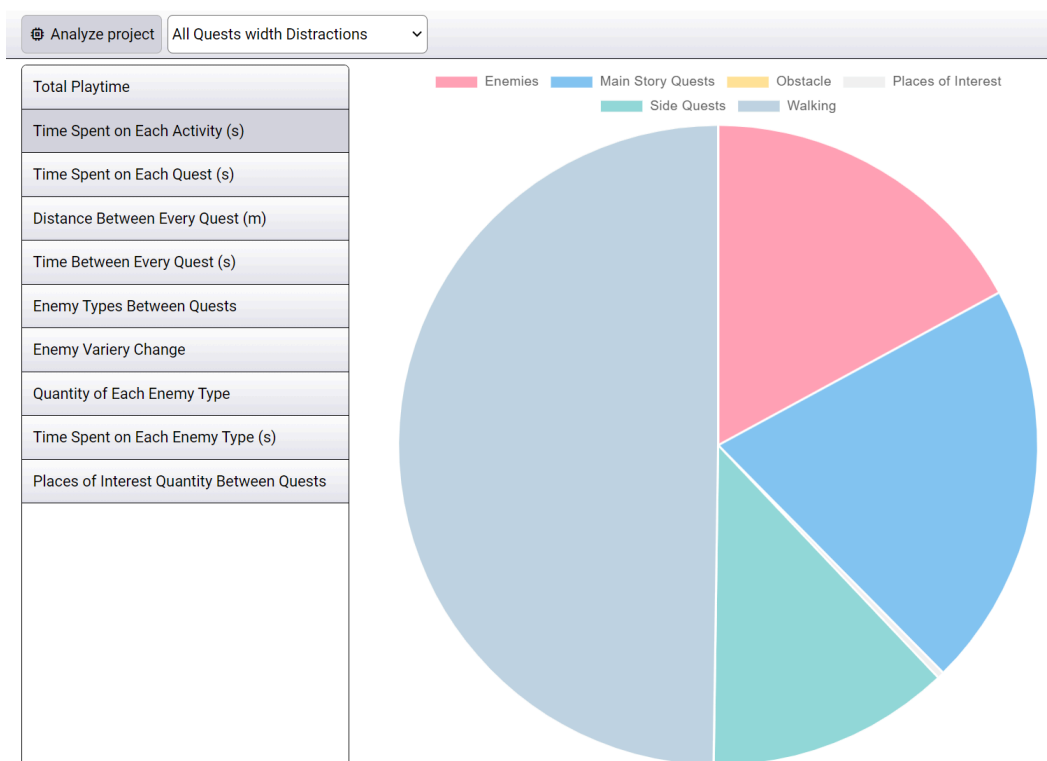


Рисунок 2.8 – метрика представлена круговою діаграмою на прикладі Time Spent on Each Activity

Третьою метрикою в даній категорії є Time Spent on Each Quest - час витрачений на кожен квест. Дана метрика у вигляді стовпчикової діаграми

візуалізує скільки часу займає проходження кожного квесту. Висота стовпчиків відповідає тривалості квесту у секундах. З її допомогою можна проаналізувати наскільки сильно відрізняються між собою по тривалості квести. На приклад, з рисунку 2.9 видно що перший та другий квест, є значно довгими порівняно з рештою квестів. Зважаючи на це розробник гри може зробити рішення скоротити деякі з цих квестів, щоб зробити темп гри більш рівномірним.



Рисунок 2.9 – метрика представлена стовпчиковою діаграмою на прикладі Time Spent on Each Quest

Четверта метрика під назвою Distance Between Every Quest (відстань між кожним квестом), у вигляді стовпчикової діаграми показує скільки метрів шляху, яку потрібно подолати гравцю, щоб дістатися кожного наступного квесту. З її допомогою розробники можуть побачити чи немає у гри занадто довгих переходів між квестами.

Time Between Every Quest є п'ятою числовою метрикою. Її стовпчикова діаграма відображає скільки часу проводить гравець у відкритому світі перед проходженням кожного з квестів. Окрім часу витраченого на подолання маршруту, дана метрика також включає час на проходження сторонніх активностей, та бої з ворогами. Витрачений час вимірюється в секундах. Розробники можуть використовувати цю метрику для балансування темпу гри (pacing). Просування гравця у сюжеті гри відбувається лише у квестах, важливо, розташувати квести

так, щоб гравець не почав нудьгувати займаючи другорядними задачами. Саме на пошук таких проблем і спрямована Time Between Every Quest.

Enemy Types Between Quests (типи ворогів між квестами) це шоста числова метрика. Вона представлена у вигляді стовпчикової діаграми, кожне значення якої дорівнює кількості видів ворогів що зустрічаються на шляху між двома квестами. Дана метрика може допомогти в балансуванні складності. На ній можна побачити місця що мають незвично високе різноманіття ворогів, або навпаки місця де видів ворогів замало, що може призвести до втрати цікавості гравця.

Метрика Зміна в різноманітті ворогів (Enemy Variety Change) є стовпчиковою діаграмою корисною для прогнозування стрибків в складності гри. Її значення вказують те на скільки різноманіття ворогів перед даним квестом відрізняється від різноманіття ворогів перед попереднім квестом. Якщо множина видів ворогів що зустрічаються у маршруті до квесту n дорівнює A , а до квесту $n+1$ дорівнює B , то значення метрики для квесту:

$$M(n + 1) = |A \text{ XOR } B| \quad (2.1)$$

Різкі зміни у видах ворогів, з якими зустрічається гравець, можуть викликати складнощі, Такі місця можна помітити за допомогою даної метрики.

Восьма метрика під назвою Quantity of Each Enemy Type, або кількість ворогів кожного типу круговою діаграмою. В ній підрахована загальна кількість ворогів кожного типу, що зустрілися гравцю під час проходження гри.

Time Spent on Each Enemy Type - дев'ята метрика, що має вигляд кругової діаграми, і аналізує час витрачений на боротьбу з кожним типом ворогів. Вона аналізує бойову складову гри з іншого боку, порівняно з попередньою метрикою. Чисельність деяких ворогів може бути не значною, проте висока тривалість бійки з кожним із них може призвести до випадків, коли значну частину ігрового процесу, гравець проводить у боях з одним і тим самим видом противників. Такі ситуації є небажаними, і помітити їх можна за допомогою даної метрики.

Останньою, десятою числовою метрикою є Кількість сторонніх активностей між кожним квестом (Places of interest between each quest). У вигляді стовпчикової

діаграми вона показує кількість сторонніх активностей що виконав гравець на маршруті до певного квесту.

2.3.2 Графічні метрики

В даній роботі було розроблено три графічні метрики.

Першою метрикою є *Distractions Coverage*, тобто покриття мапи сторонніми активностями та ворогами. Дана теплова карта повністю зафарбована червоним в місцях, що не мають поблизу ані сторонніх активностей, ані місць розташування ворогів. Чим ближчими до координати є ворог чи стороння активність тим менш зафарбованою є ця точка. Відстань на якій додаткові завдання починають впливати на колір теплової карти є конфігурованою для кожної мапи. За допомогою даної метрики можна аналізувати наскільки вдало розташовані на мапі завдання для гравця. У відео іграх з відкритим світом не бажано мати місць які зовсім не мають сторонніх активностей і ворогів, оскільки в такому разі гравець не має причин їх досліджувати. Дана метрика є особливою, оскільки вона єдина будується для усієї мапи в цілому, а не для конкретного маршруту. На рисунку 2.10 відображено приклад метрики *Distractions Coverage*.

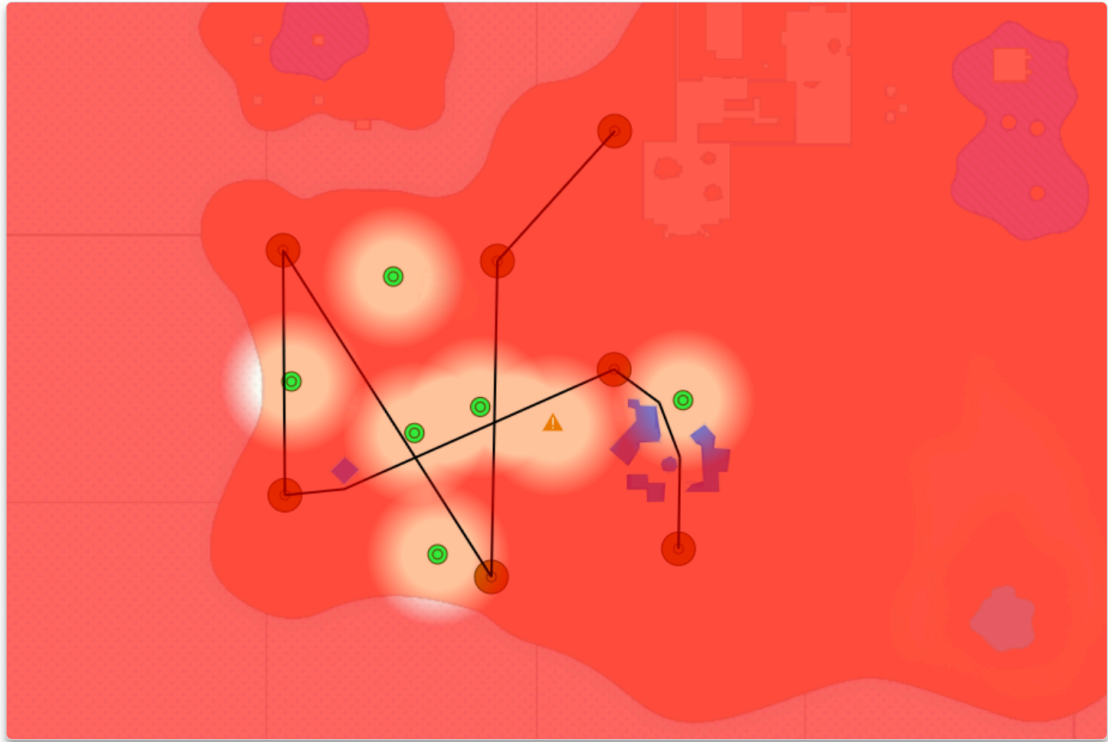


Рисунок 2.10 – метрика Distractions Coverage

Друга метрика має назву Explored Areas, тобто досліджені території. Дана теплова карта зафарбована червоним у місцях біля яких гравець не проходив. Чим ближчою координата карти є до маршруту гравця, тим прозорішою вона є на тепловій карті. Відстань на якій відрізок шляху починає мати ефект на колір теплової карти є конфігурованою для кожної мапи. Завдяки даній матриці можна бачити місця якими пересувався гравець, та помітити території відкритого світу які залишаються не вивченими. Проаналізувавши дану метрику розробники гри можуть помітити потребу додавання додаткових квестів у певні регіони мапи. Приклад метрики Explored Areas зображено на рисунку 2.11

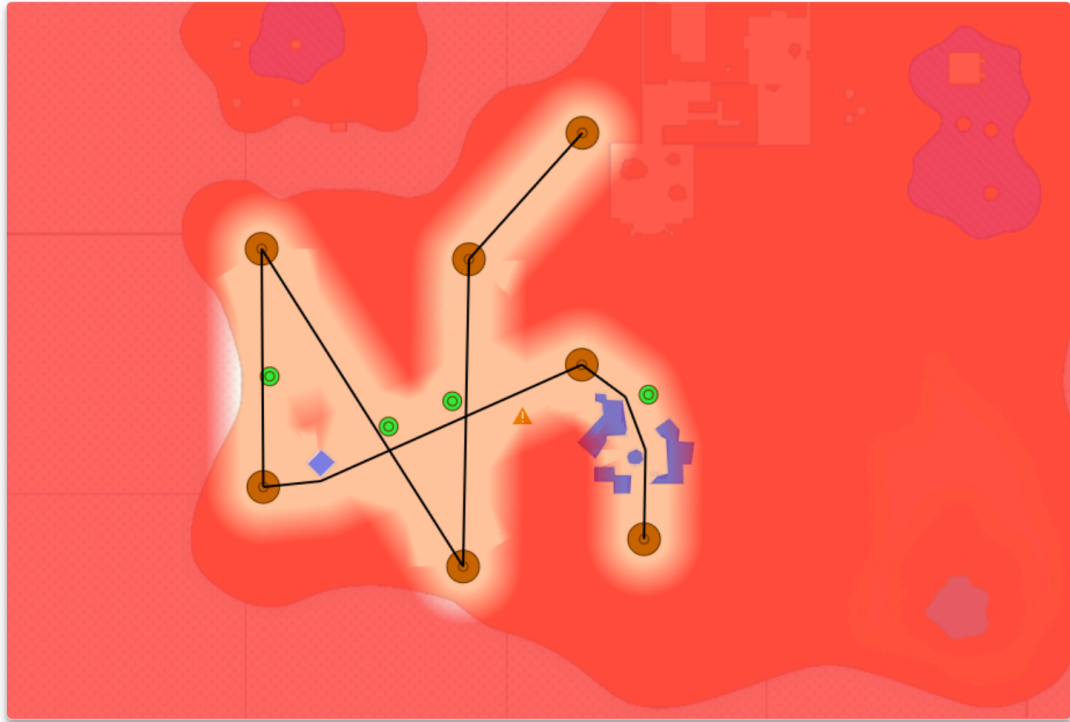


Рисунок 2.11 – метрика Explored Areas

Третя графічна метрика має назву Занадто досліджені території (Over Explored Areas). З її допомогою можна побачити якими територіями гравець ходить забагато разів. Дана мапа використовує спектр кольорів для відображення наскільки сильно дослідженою є певна місцевість. Територія якою гравець ходив лише один раз, або тільки бачив здалека має синій колір. Місця де гравець бував один або кілька разів зелені. А території які відвідувалися небажано велику кількість разів мають червоний колір. Кількість відвідування яка вважається небажаною є конфігурованою для кожної мапи. На рисунку 2.12 зображено приклад метрики Over Explored Areas, на якій відвідування одного місця двічі вважається небажаним.

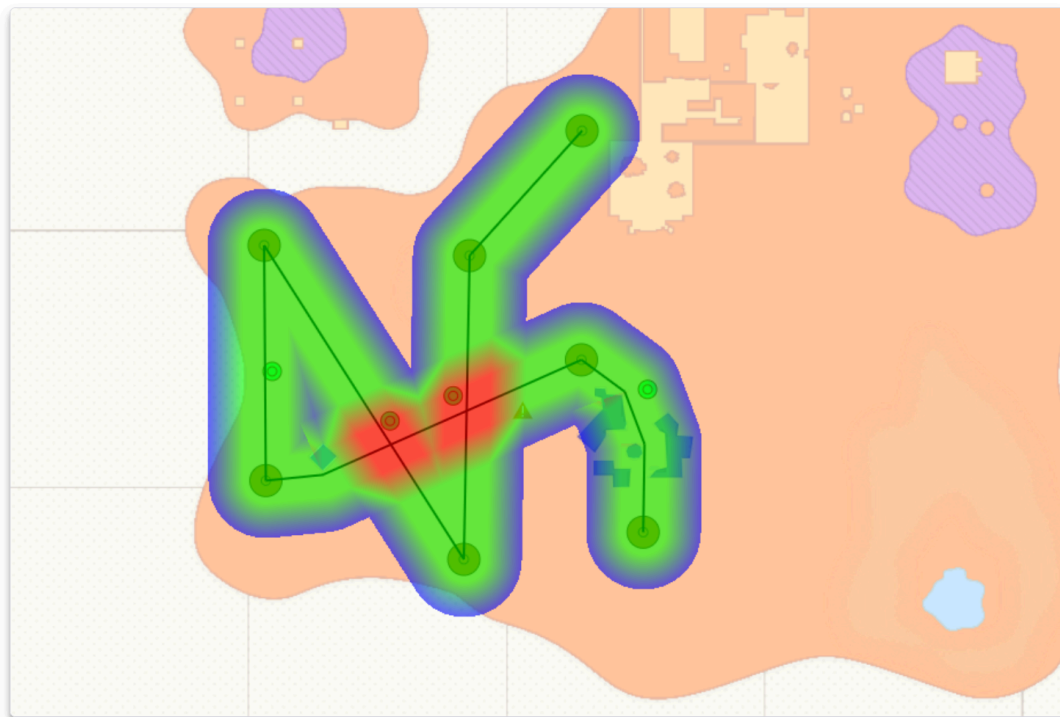


Рисунок 2.12 – метрика Over Explored Areas

За допомогою цих теплових карт можна робити змістовні висновки про особливості розташування елементів відкритого світу у просторі, та приймати рішення про необхідність зміни або доповнення світу новими елементами.

Висновки до розділу 2

Другий розділ містить опис запропонованого підходу до опису вимог до відео ігор з відкритим світом. Він полягає в представленні відкритого світу як набору квестів, сторонніх активностей, ворогів і перепон, та розташуванні цих елементів на мапі.

Набір цих вимог та їх місце у світі, дозволяють будувати різноманітні метрики. З їх допомогою можливо виконувати аналіз продукту що ще не був імплементований.

У даному розділі описано десять числових та три графічні метрики, що були розроблені для даної роботи і будуються на основі опису відкритого світу відео гри.

Числові метрики мають форму стовпчикових і кругових діаграм, а також числових значень що характеризують ігровий процес гравця.

Графічні метрики представляються у вигляді теплових карт, що накладаються на карту світу, та дозволяють проаналізувати особливості переміщення гравця у просторі, та ступінь наповненості відкритого світу.

Для того щоб отримувати користь від метрик, та мати можливість використовувати їх для аналізу продуктів, необхідно мати підхід до їх обчислення. Отже наступним кроком даної роботи є розробка алгоритмів розрахунку метрик.

РОЗДІЛ 3: АЛГОРИТМИ ВИКОРИСТАНІ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕТРИК

3.1 Алгоритм побудови маршруту

Для того щоб розрахувати метрики для відео гри, необхідно мати наближену модель маршруту, яким рухатиметься гравець. Він повинен проходити через усі сюжетні квести, та в деяких випадках може включати опціональні квести, сторонні активності, та місця розташування ворогів. Проте просте з'єднання бажаних точок відрізками, не достатньо для вирішення цієї задачі. У відкритому світі розташовані перепони, які не можна перетинати, і потрібно обходити. Тому, для побудови таких маршрутів, необхідно використати алгоритм, знаходження шляху з перепонами.

Блок схема алгоритму побудови маршруту зображена на рисунку 3.1. Першим кроком необхідно визначити множину вершин графу яким пересуватиметься гравець у відкритому світі. В першу чергу сюди входять усі квести, сторонні активності і вороги. Також до цієї множини необхідно додати точки якими гравець буде обходити перепони. Припускається, що гравець буде виконувати обхід бар'єрів і заборонених територій, на невеликій відстані від перешкоди, тому до графу додаються точки що лежать на бісектрисі кута між двома ланками ламаної лінії на невеликій відстані від самого кута. На рисунку 3.2 червоними цятками відмічені точки що додаються до графу для обходу перепони.

Для побудови матриці суміжності, перевіряється кожен відрізок, що з'єднує дві точки графу. Якщо даний відрізок перетинає бодай один відрізок будь якої перепони, то дві точки вважаються недосяжними на прямую, і у матрицю суміжності вписується значення 0. У іншому випадку, прямий перехід між вершинами вважається допустимим і до матриці суміжності вписується довжина даного відрізка. Після завершення перевірки коусіх пар точок, матриця готова до використання у алгоритмі пошуку шляху.

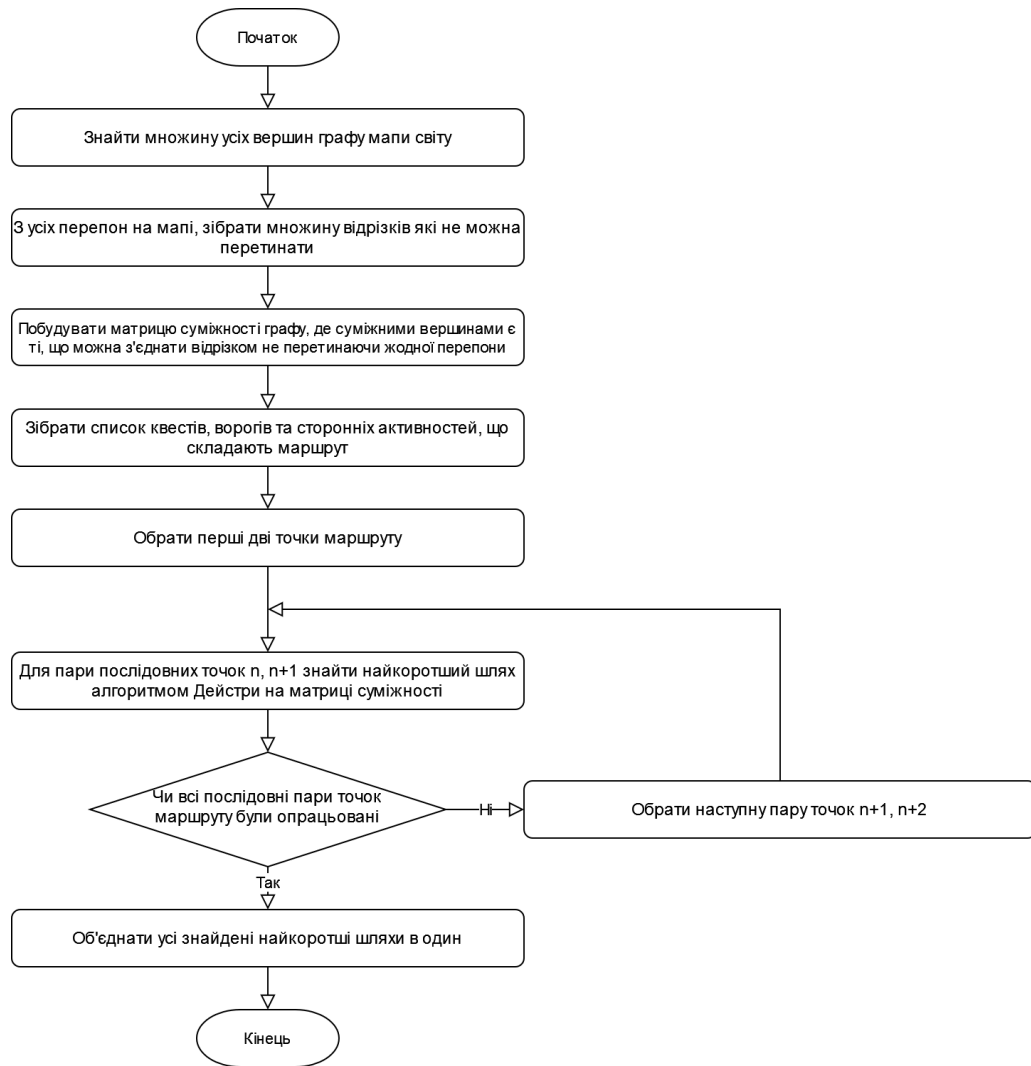


Рисунок 3.1 – блок схема алгоритму побудови маршруту гравця

З рисунку 3.2 видно що алгоритм будує маршрут обходу перепони не впритул, а на певній невеликій відстані від неї.

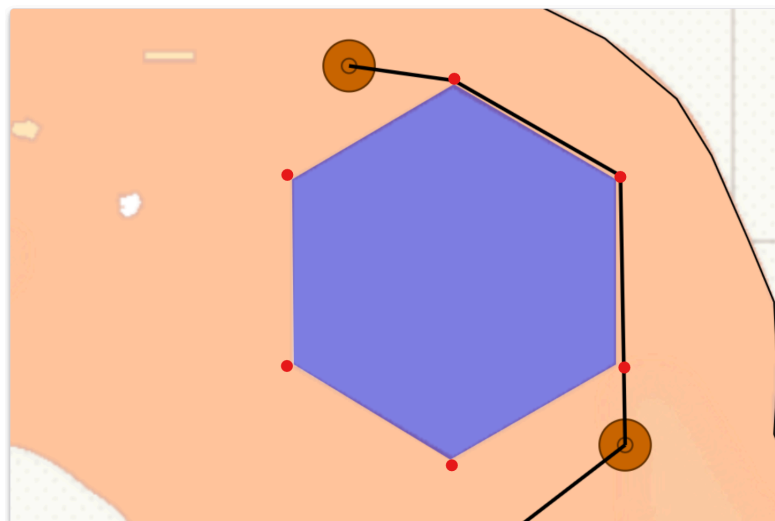


Рисунок 3.2 – приклад маршруту що обходить перепону

Четвертий крок блок схеми 3.1 є унікальним для кожного маршруту. Його результатом є список елементів відкритого світу, які гравець відвідує один за одним. Найпростіші маршрути: Main Story, Main Story with some side quests та All Quests, складають список з виключно квестів, що розташовані в хронологічному порядку. Проте маршрути що включають сторонні активності і ворогів мають інакший принцип побудови списку.

Маршрут All Quests and Distractions будується на основі попередника - All Quests. Алгоритм проходить кожну ланку попереднього маршруту одну за одною. До списку додає кожен квест через який проходить, а також, кожну сторонню активність і ворога, що знаходяться достатньо близько до ланки маршруту. Додаткові завдання додаються до списку у порядку зростання відстані до останнього відвіданого квесту. Маршрут Main with some side quests будується аналогічно проте за основу використовує Main with quests and distractions. Порівняння між ними відображено на рисунку 2.6.

Для завершення побудови маршруту, необхідно прокласти найкоротший шлях між кожною послідовною парою точок зі списку, за допомогою алгоритму пошуку найкоротшого шляху. Для виконання даної ролі використовується алгоритм Дейкстри для пошуку найкоротшого шляху, на матриці суміжності. Усі результати роботи алгоритму конкатенуються і цей результат і утворює результуючий маршрут.

3.2 Алгоритм побудови теплових карт

Для того щоб наочно відобразити особливості розташування елементів відкритого світу і переміщення гравця, необхідно побудувати теплові карти. Вони мають відображатися окремим шаром над картою світу, щоб розробники гри могли одразу побачити яка частина відкритого світу має проблему. Отже доцільно представити теплову карту у такий самий спосіб як і карту світу - у вигляді растрового зображення.

Аналогічно до маршрутів, теплові карти також мають стандартизований алгоритм побудови, зображений на рисунку 3.3. На етапі розрахунку, карта має форму двовимірному масиву, що заповнений певним значенням, що було визначено як максимальна насиченість. У рамках даної роботи таким значенням є число 255, тобто найбільше значення типу даних байт.

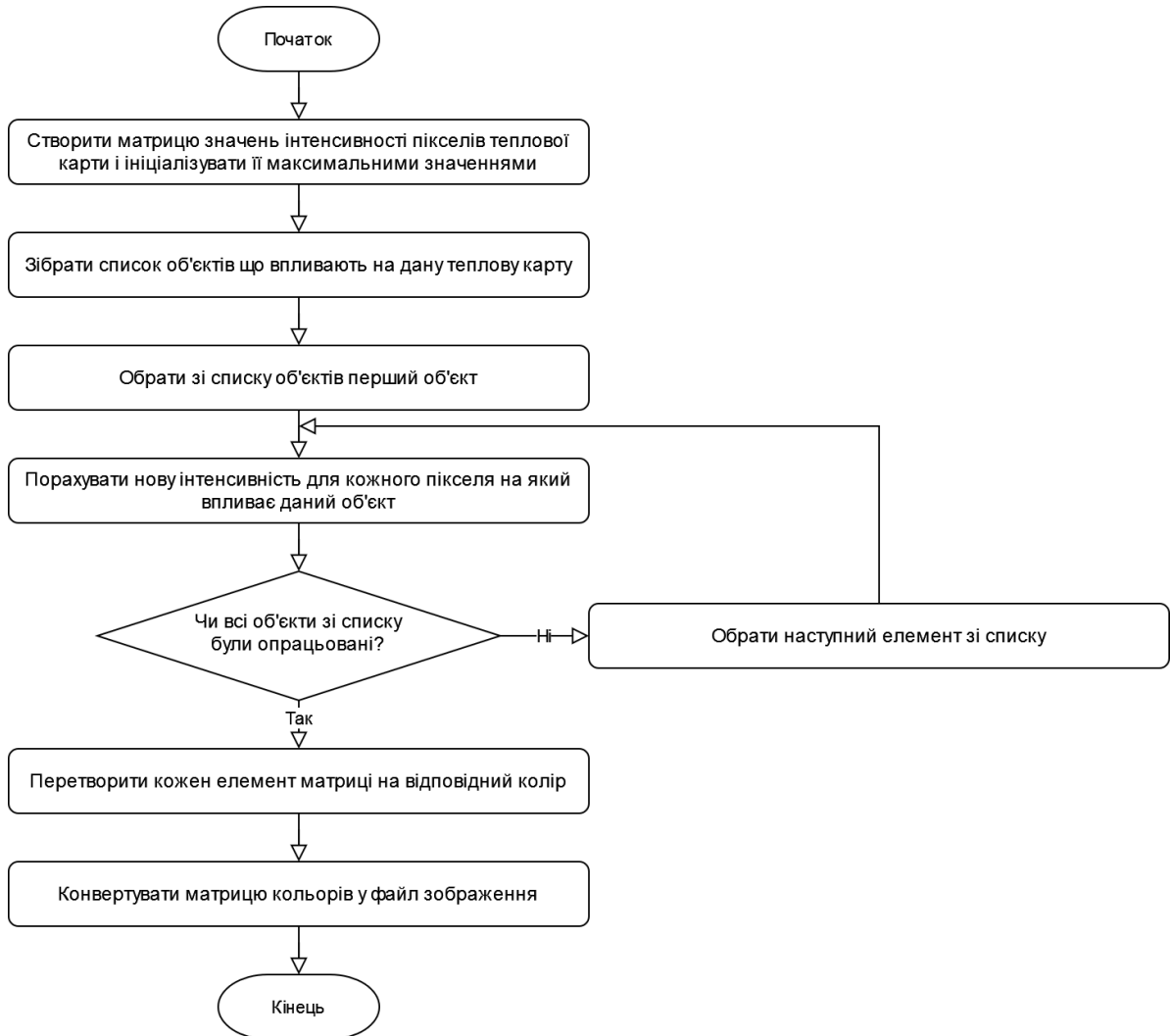


Рисунок 3.3 – блок схема алгоритму побудови теплової карти

Список об'єктів, що впливатимуть на теплову карту є різним для кожного виду карти. Для Places of Interest Coverage - це місця розташування ворогів та сторонніх активностей. Для Explored Areas, та Over Explored Areas - це відрізки маршруту гравця.

Потім розраховується вплив кожного з об'єктів на значення пікселів теплової карти. Для цього навколо фігури описується прямокутна територія, та

для кожного пікселя у прямокутнику розраховується нове значення інтенсивності. Блок схема алгоритму розрахунку впливу фігур на теплову карту зображена на рисунку 3.4.

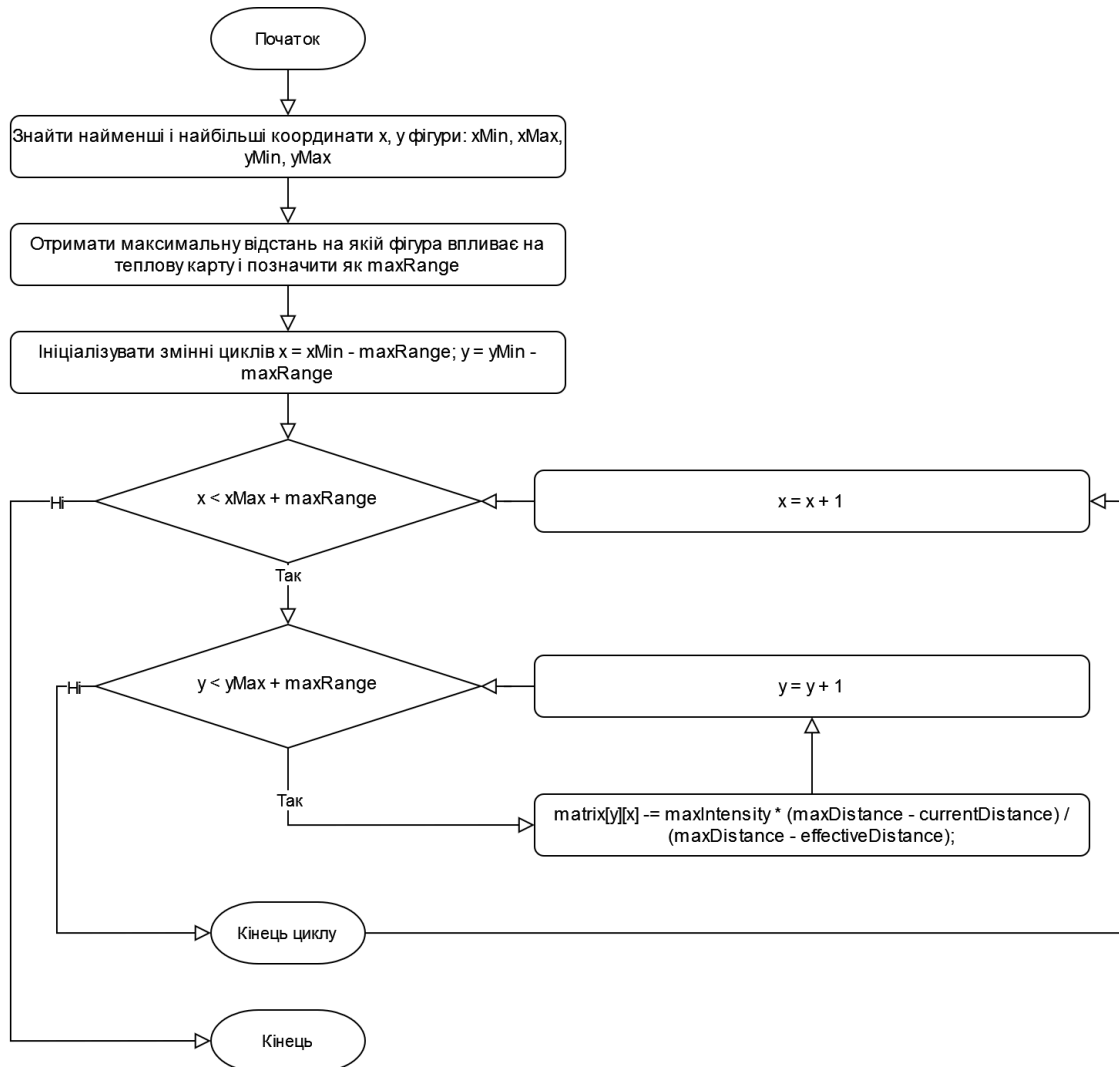


Рисунок 3.4 – блок схема розрахунку впливу однієї фігури на теплову карту

Після того, як остаточне значення кожного пікселя пораховано, кожному пікселю ставиться у відповідність колір і цей результат зберігається у вигляді зображення. При цьому різні карти можуть конвертуватися у колір по різному. Places of Interest Coverage та Explored Areas використовують червоний колір різної прозорості, в той час як Over Explored Areas розкладається у спектр кольорів від блакитного - найслабшого значення, до червоного - найсильнішого.

3.3 Алгоритм побудови числових метрик

Числові метрики збирають дані з усього маршруту, і перетворюють їх у набір числових значень, що можна представляти у зручному для аналізу форматі. На приклад у вигляді стовпчикової або кругової діаграми, або просто у вигляді числа. Блок схема алгоритму розрахунку метрики приведена на рисунку 3.5.

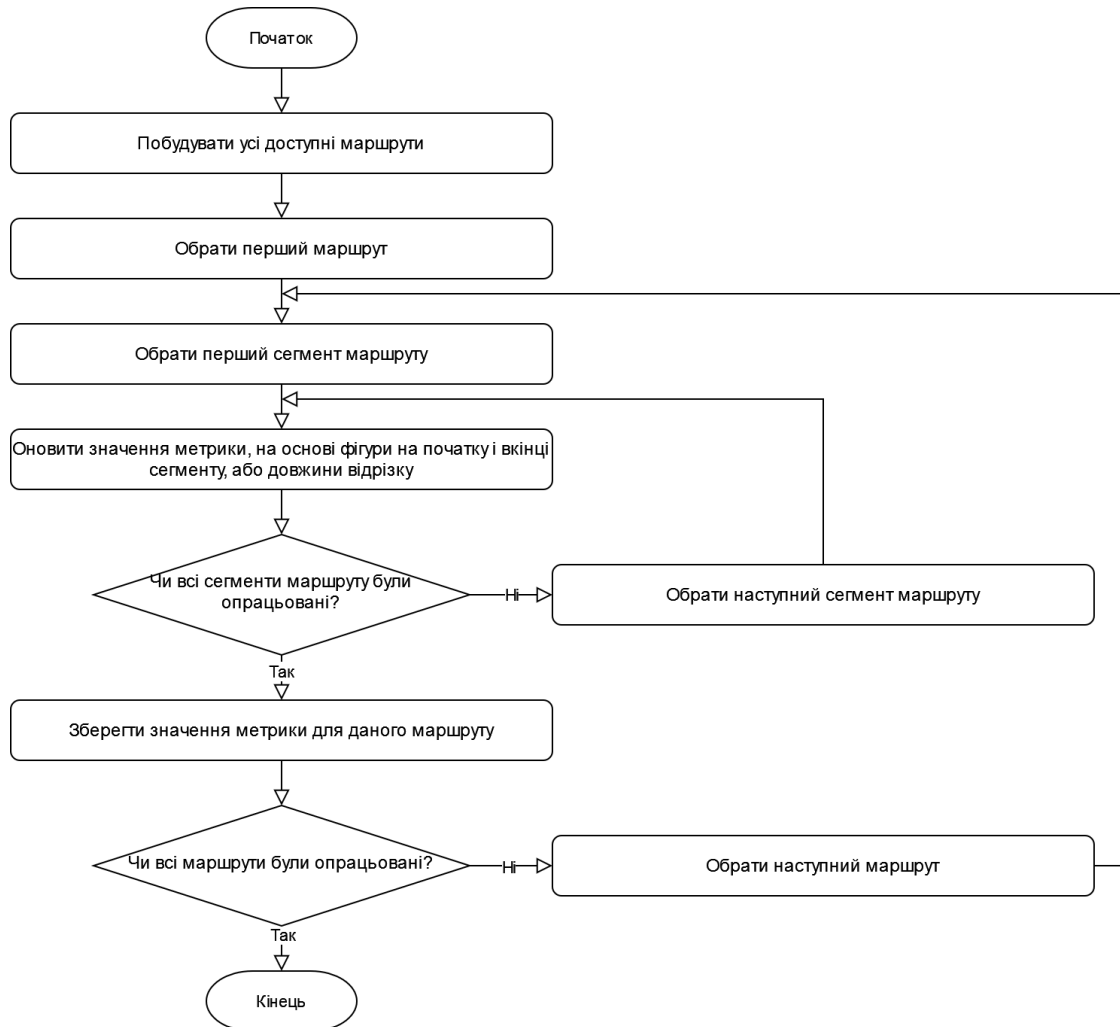


Рисунок 3.5 – блок схема розрахунку числової метрики

Числові метрики розраховуються для кожного маршруту окремо, тому перш за все необхідно прокласти усі можливі маршрути. Під час розрахунку, алгоритм проходиться по кожному сегменту маршруту, і оновлює значення метрики відповідно до інформації що можна отримати з точки початку і кінця відрізка, або з самого сегменту. Кожна метрика потребує різних даних для розрахунку.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було описано набір алгоритмів що використовуються для розрахунку метрик.

Першим з них є алгоритм побудови маршрутів з обходом перепон. З його допомогою можна прокласти шлях, що з'єднує між собою всі квести в хронологічному порядку. Він враховує наявність бар'єрів і заборонених територій, і будує маршрут оминаючи перепони на шляху.

Для побудови теплових карт розроблено алгоритм, що здатний розраховувати колір для кожного пікселя окремо. Його результат є зручним для відображення, оскільки може бути представлений як растрове зображення.

Також описано алгоритм, побудови числових метрик, що збирає дані з усього маршруту, і перетворює їх у набір числових значень.

Маючи алгоритми необхідні для розрахунку метрик, можна переходити до розробки системи, що дозволяє автоматично побудувати метрики на основі вимог до відео гри.

РОЗДІЛ 4: АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Усі описані у попередніх розділах алгоритми і метрики було реалізовано у формі веб застосунку. Додаток складається з бази даних, клієнтської та серверної частини.

Вимоги до відео ігор та розраховані метрики зберігаються у базі даних. В даній системі використовується система керування базами даних від компанії Microsoft, під назвою SQL Server [8].

Серверна частина додатку виконує розрахунок числових метрик, побудову теплових карт та прокладання маршрутів, за допомогою імплементованих алгоритмів. Back-end було реалізовано на платформі .Net за допомогою об'єктно орієнтованої мови C# [9].

Клієнтську частину додатку відповідальну за користувацький інтерфейс для внесення вимог до системи та відображення метрик було розроблено у вигляді односторінкового застосунку (single-page application) з використанням фреймворку Angular на мові програмування TypeScript [10].

4.1 Архітектура серверної частини додатку

4.1.1 Структура проекту серверної частини

Загалом back-end проект складається з трьох модулів з бізнес логікою та двох службових модулів що містять загальну функціональність, не пов'язану з предметною областю. На рисунку 4.1 зображена структура серверної частини проекту.

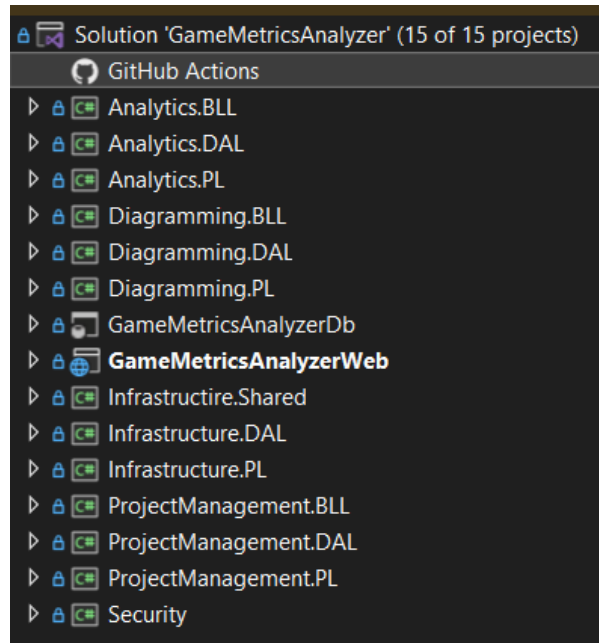


Рисунок 4.1 – структура back-end проекту

У модулі ProjectManagement міститься код, що відповідає за операції з проектами ігор, створеними в застосунку. Тут також розміщено функціонал створення і редагування загальної інформації про карти.

Модуль Diagramming відповідальний за логіку наповнення діаграм елементами відкритого світу. Весь код що стосується елементів розташованих на діаграмі знаходиться у даному модулі. Це включає алгоритми побудови маршрутів і теплових карт, оскільки вони є частиною мапи світу.

На відміну від теплових карт і маршрутів, числові метрики не мають прямого відношення до карти і відображаються окремо. Тому алгоритми їх розрахунку виділені в окремий модуль Analytics.

Модуль Infrastructure було виділено для коду який може використовуватися у всіх інших модулях і ніяк не пов'язаний з метриками. У ньому розміщуються базові класи для доступу до даних, методи розширення C# для роботи з колекціями, та базові API контролери якими користується клієнтська частина з метою отримання даних.

Функціональність реєстрації користувачів та авторизації розміщена в окремому модулі Security.

Кожен з описаних вище модулів окрім Security, розділений на три рівні, кожен з яких представлено у вигляді окремого проекту у рішенні. Найнижчим рівнем є Data Access Layer (DAL) - рівень доступу до даних. У ньому розміщено код для вчитки інформації з бази даних. Алгоритми та логіка обробки даних розміщені на рівні Business Logic Layer (BLL). Контролери API знаходяться на найвищому з рівнів - Presentation Layer (PL). Такий підхід до структурування коду називається трирівневою архітектурою (Three-Tier Architecture) [11, с. 79].

Також, для чіткого структурування рішення, кожен з проектів розподілено на пакети. Інтерфейси завжди розміщено у пакеті Contract. Для класів що реалізують інтерфейси виділено пакет Impl. Сутності бази даних та моделі бізнес логіки знаходяться у пакетах Entity та Dto відповідно. Класи пов'язані з роботою бібліотеки EntityFrameworkCore містяться у пакеті EF. Для контролерів API виділено пакет Controllers. Така структура дозволяє впорядкувати код кожного з модулів. Приклад розбиття модуля ProjectManagement на пакети наведено на рисунку 4.2

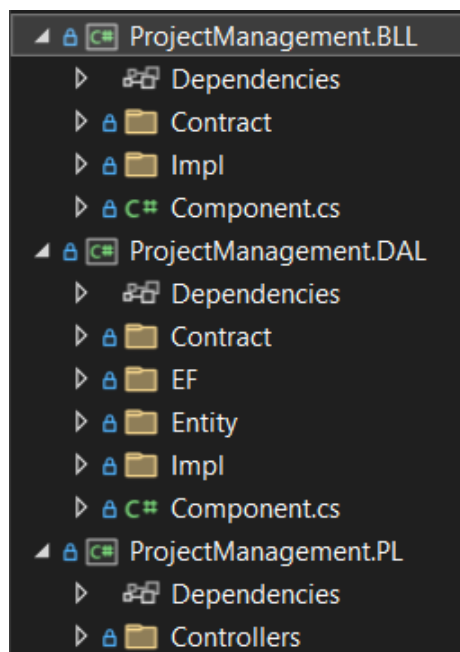


Рисунок 4.2 – структура модуля ProjectManagement

4.1.2 Рівень доступу до даних

Проект Infrastructure.DAL містить набір базових класів, у яких реалізована логіка запитів до системи керування базами даних. В основу покладено бібліотеку EntityFrameworkCore. Це бібліотека для об'єктно-реляційного відображення, розроблена для платформи .NET [12].

Над EntityFrameworkCore було створено обгортку у вигляді базового класу репозиторію. Він містить низку найпоширеніших операцій з сутностями бази даних, а саме: завантаження даних з функціями фільтрування та з'єднання таблиць, додавання, оновлення, та видалення даних.

Репозиторії використовуються не поодиноці, а разом з шаблоном проектування Unit Of Work. Його ідея полягає в тому, щоб об'єднати усі операції модифікації даних під час певного запиту, в одну транзакцію [13].

В остаточній реалізації система автоматично реєструє стандартний репозиторій для кожної сутності що зберігається у базу даних. Потім кожен з модулів реалізує клас Unit of Work що об'єднує всі репозиторії даного модуля. Класи бізнес логіки користуються реалізаціями Unit of Work для того щоб взаємодіяти з базою даних.

Для того щоб надати класу, статусу сутності бази даних, необхідно, щоб сутність реалізовувала інтерфейс IEntity<TId>, що містить поле первинного ключа Id. Також такий клас потрібно відмітити атрибутом EfEntityTypeAttribute. Це надасть змогу системі автоматично розпізнати цей клас та зареєструвати для нього репозиторій в контейнері Dependency Injection.

4.1.3 Рівень бізнес логіки

На цьому рівні кожен з модулів має реалізацію власних алгоритмів що стосуються предметної області роботи.

Бізнес логіка модуля ProjectManagement стосується лише збереження і валідації введених користувачем даних.

Модуль Diagramming містить важливу частину алгоритмів системи, а саме: побудову маршрутів гравця і побудову теплових карт. Обидві ці функції реалізовані з використанням шаблонів об'єктно орієнтованого програмування стратегія та шаблонний метод.

Шаблон стратегія використовується у ситуаціях, коли необхідно оголосити сімейство схожих алгоритмів проте зробити їх взаємозамінними. Цей патерн є дуже доречним для реалізації алгоритмів що розв'язують спільну задачу різними способами. Проте, всі алгоритми будь якого з сімейств мають спільну множину кроків, і лише реалізація деяких з них відрізняється. Тому в даній ситуації доречно використати патерн шаблонний метод. Його ідея полягає в визначенні структури алгоритму в базовому класі, та перевизначенні деяких кроків у класах нащадках [14].

Модуль Analytics також використовує шаблони проектування стратегія та шаблонний метод для алгоритмів розрахунку числових метрик.

4.2 Архітектура клієнтської частини додатку

Клієнтська частина додатку поділена на модулі аналогічним способом до серверної частини. Кожному модулю back-end у відповідність ставиться модуль на front-end. Проте замість реалізації алгоритмів, клієнт містить користувацький інтерфейс що приймає дані від користувача та відображає результати роботи алгоритмів серверної частини.

4.2.1 Модуль ProjectManagement

У клієнтській частині, модуль ProjectManagement містить елементи користувацького інтерфейсу, що відповідають за керування проектами користувача та діаграмами всередині проектів. На рисунку 4.3 зображено список проектів що були створені певним користувачем програми.

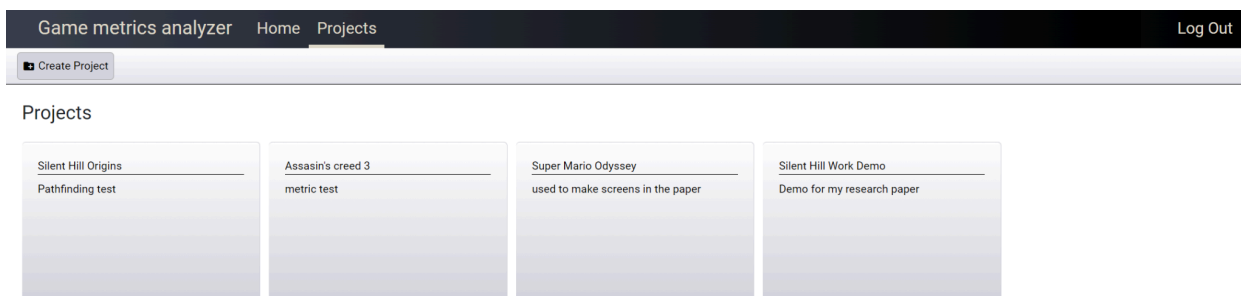


Рисунок 4.3 – інтерфейс вибору проекту

Після входу в будь який проект, користувач має можливість створювати карти та налаштовувати їх загальні характеристики. Форма редагування властивостей однієї мапи зображена на рисунку 4.4. Тут можна завантажити зображення карти світу, налаштувати його розміри в метрах, вказати швидкість гравця, та налаштувати радіуси дії елементів на тепловій карті.

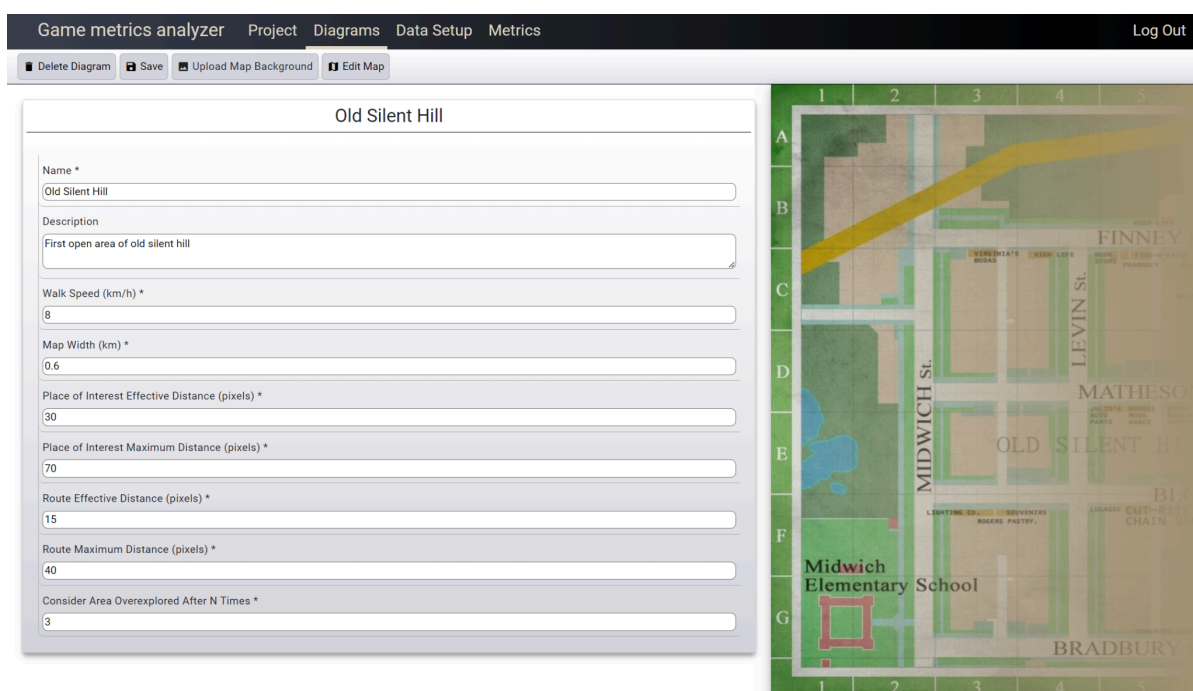


Рисунок 4.4 – форма налаштування характеристик карти

Ще однією частиною даного модуля є інтерфейс редагування вимог до гри. З його допомогою користувач може внести в систему дані про типи ворогів і сторонніх активностей, а також редагувати елементи відкритого світу що вже були нанесені на мапу. На рисунку 4.5 зображено інтерфейс редагування даних проекту, з відкритою вкладкою “Типи сторонніх активностей”.

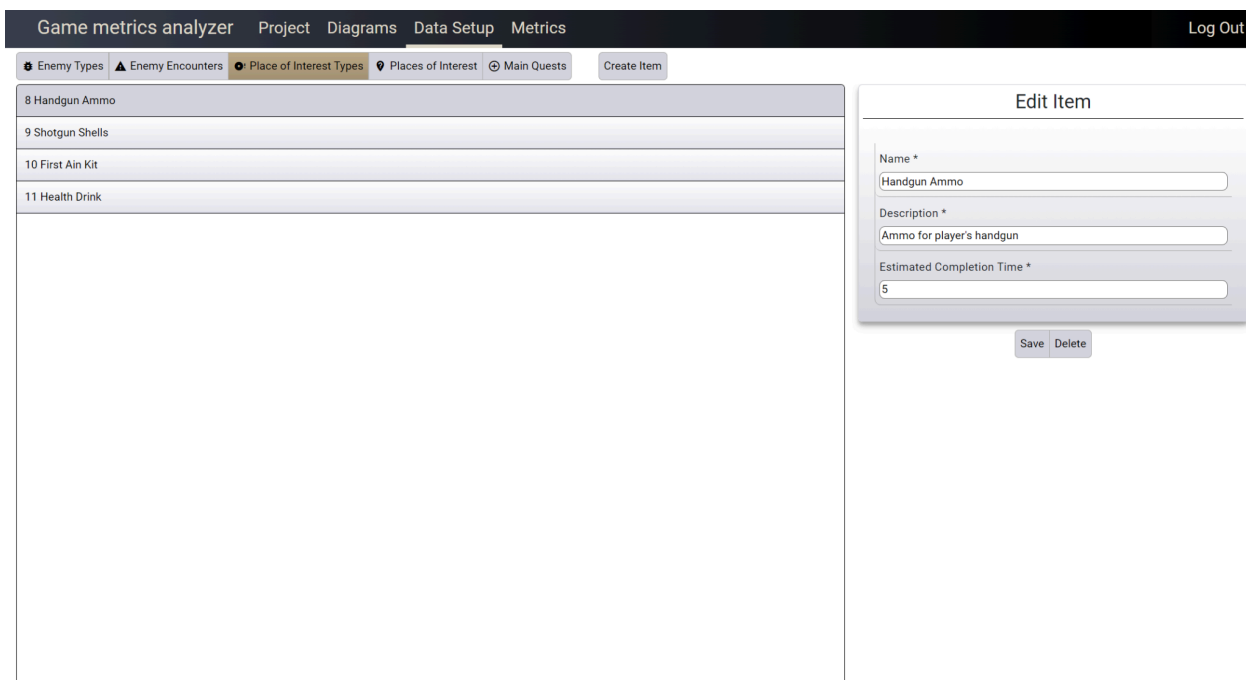


Рисунок 4.5 – інтерфейс редагування елементів відкритого світу

4.2.2 Модуль Diagramming

Модуль Diagramming містить набір інструментів по роботі з картою світу. Ключовим його компонентом є мапа. На ній відображаються усі елементи відкритого світу: квести, сторонні активності, вороги та перепони. Вона також здатна відображати маршрути та теплові карти як окремі шари.

Мапа є повністю інтерактивною. Користувач має набір інструментів для взаємодії з нею. Панель вибору інструментів знаходиться під мапою на рисунку 4.6. За допомогою інструменту вибору можна клікнути на будь який елемент відкритого світу та відредагувати його дані у формі в правій частині екрану. Інструмент переміщення, дозволяє пересувати існуючі елементи в інше місце. За допомогою “Quest”, “Place of Interest”, “Enemy”, “Obstacle”, можна створювати відповідні елементи на мапі відкритого світу. Карта також підтримує функцію масштабування. Це можна робити за допомогою кнопок праворуч від панелі інструментів.

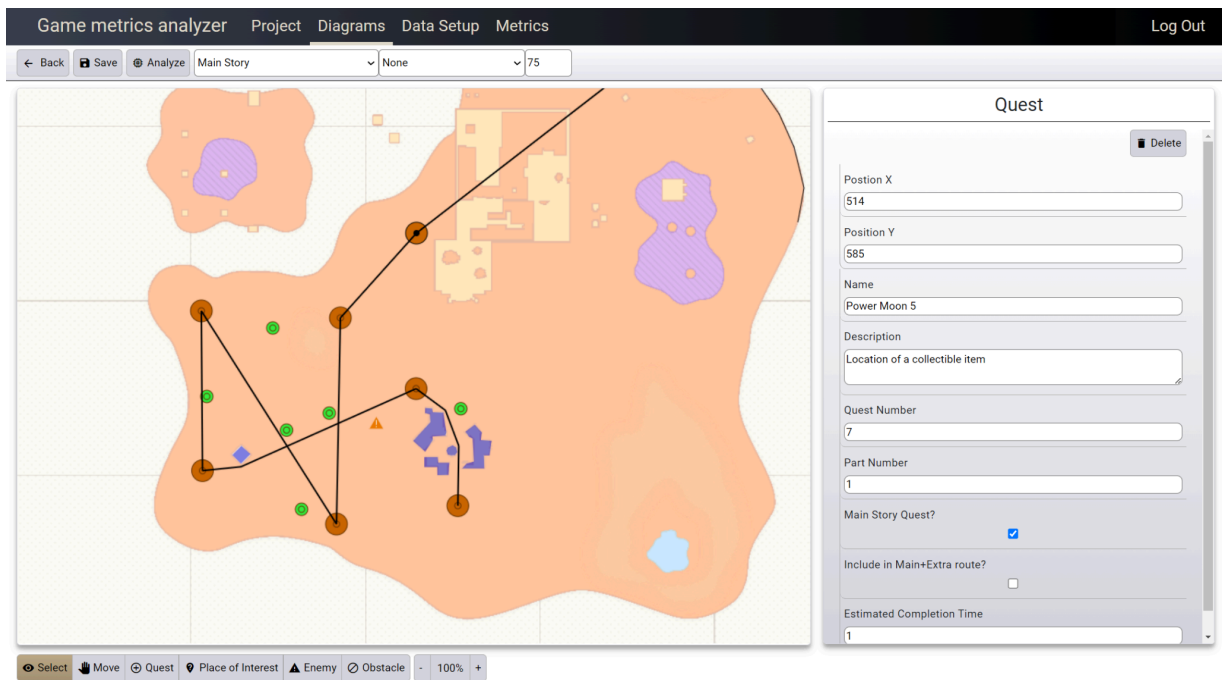


Рисунок 4.6 – редактор карти світу

В основі даної діаграми лежить власна реалізація. Для відображення зображення було використано елемент HTML Canvas. Він надає API для малювання ліній і простих фігур, на основі якого було реалізовано відображення усіх складових мапи.

HTML Canvas також здатен на відображення растрових зображень. У зв'язку з цим, фон мапи, а також теплові карти представлені у вигляді зображень формату .png. Можливості прозорого накладання зображень дозволяють змінювати ступінь прозорості теплових карт під час їх перегляду.

Diagramming є складним модулем, що має велику кількість компонентів які взаємодіють між собою. Діаграма, панель інструментів, форма редагування вибраної фігури, drop-down списки обраного маршруту і теплової карти, повинні обмінюватися інформацією для успішної роботи. Для реалізації такої комунікації було використано бібліотеку ngx. Вона надає Angular інструменти для централізованого керування станом програми. Замість прямої передачі даних між компонентами, або використання сервісів, ngx дозволяє використовувати реактивні підходи для отримання даних і обміну подіями [15].

4.2.3 Модуль Analytics

Даний модуль відповідальний за відображення числових метрик. Значна частина цих метрик мають форму стовпчикових і кругових діаграм. Вони є дуже поширеними, тому було прийнято рішення використати бібліотеку що містить функціональність відображення таких діаграм. Обраною бібліотекою стала chart.js. Вона використовує HTML Canvas для відображення діаграм [16]. Зовнішній вигляд інтерфейсу перегляду числових метрик зображено на рисунку 4.7.

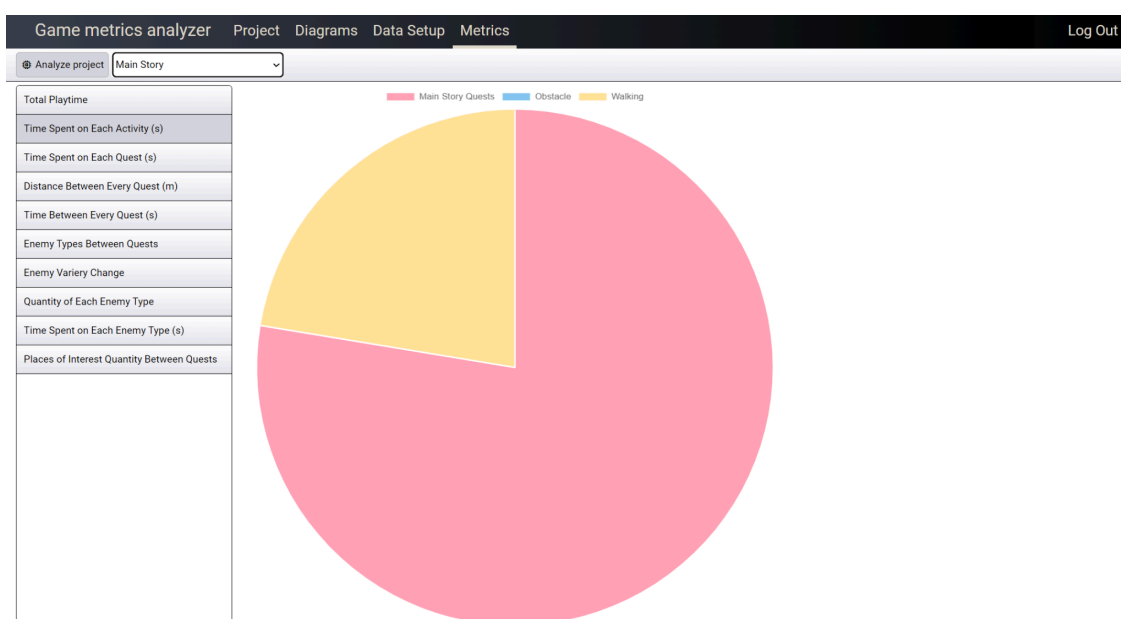


Рисунок 4.7 – інтерфейс перегляду числових метрик

Усі метрики мають стандартизовану структуру даних. Це надає можливість уникнути редагування клієнтської частини, щоразу коли імплементується нова метрика. Клієнт автоматично може відобразити будь яку нову метрику, якщо вона відповідатиме одному з стандартних типів: стовпчикова діаграма, кругова діаграма, або масив значень.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі описано архітектуру додатку, в якому було реалізовано алгоритми розрахунку метрик.

Система складається з клієнтської, серверної частини та бази даних.

Сервер містить засоби для збереження і валідації даних отриманих від користувача, та реалізацію алгоритмів побудови маршрутів, графічних та числових метрик.

Клієнт має графічний редактор, розроблений власноруч для даної задачі. Він дозволяє вносити вимоги до гри у вигляді інтерактивної мапи та переглядати графічні метрики. Також, на клієнтській частині реалізовані засоби перегляду числових метрик.

Маючи систему, що дозволяє проводити аналіз відео ігор з відкритим світом за допомогою метрик, необхідно дослідити його роботу, і виконати аналіз метрик з її допомогою.

РОЗДІЛ 5: ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ІСНУЮЧОЇ ГРИ З ВІДКРИТИМ СВІТОМ

5.1 Вибір способу проведення дослідження

Для того щоб переконатися у правильності роботи програмного забезпечення і імплементованих алгоритмів, необхідно внести до системи вимоги до відео гри з відкритим світом і розрахувати метрики на реальних даних. Щоб отримані дані можна було порівняти з дійсністю, варто взяти існуючу гру з відкритим світом і внести її до реалізованої системи. Перш за все, необхідно визначити гру, що буде аналізуватися.

Щоб протестувати роботу в більш нестандартних умовах та переконатися, що вона не є занадто вузько-спеціалізованою, було вирішено обрати гру що не має чіткої структури відкритого світу, а та томість має тільки елементи відкритого світу. Це продемонструє можливість застосування розробленої системи навіть для продуктів що відповідають критеріям відкритого світу лише незначною мірою.

У лютому 1999 року японська відео ігрова компанія Konami випустила відео гру у жанрі пригода та горор на виживання під назвою Silent Hill. Критики свого часу виділяють дану гру за кінематографічність, сюжет та, найголовніше, - атмосферу. Характерною особливістю Silent Hill, що вразила гравців найбільше, є туманне місто яке досліджує головний герой у пошуках своєї дочки [17].

Незважаючи на те, що гра містить багато лінійних приміщень, наповнених головоломками, після проходження усіх задач у одному місці, гравець вимушений піти на дослідження міста, в пошуках наступних зачіпок. Головний герой відвідує різні його райони а також приміські території, які можна досліджувати вільно. Ці відкриті території поєднують між собою лінійні частини гри і надають Silent Hill статусу гри з елементами відкритого світу [18].

Офіційна книга стратегії з проходження гри розділяє гру на 9 зон. Серед них 3 є відкритими [19]. Гравець має дослідити усі необхідні лінійні сегменти гри

(будинки) щоб перейти до наступної відкритої території. Це робить Silent Hill дуже зручною грою для використання у даному експерименті. Завдяки такій структурі, можна описати вимоги до однієї з відкритих зон, і розрахувати числові метрики і теплові карти, не вдаючись до повного опису всієї гри.

Оскільки обрана гра вже розроблена, і добре вивчена ігровою спільнотою, результати аналізу метрик можна співставити з тим як реальні гравці проходять її, і порівняти результати. Для цього необхідно мати джерело що надасть уявлення про те як виглядають реальні проходження гри. Термін longplay вживають до відеозаписів проходження ігор людьми. Зазвичай на таких відео, гравці, у спокійному темпі намагаються пройти гру якомога повніше [20, с. 7]. Такі записи часто використовуються як інструкції для людей, що не знають як просунутись далі у грі. Проте ще однією важливою користю longplay, є збереження відео ігор (video game preservation). Навіть якщо всі оригінальні копії гри буде втрачено, детальний ігровий процес буде зафільмовано і збережено в історії у формі longplay [21].

В інтернеті існують спільноти що займаються збором та збереженням записів longplay. Однією з них є World Of Longplays [22]. Ця спільнота збирає існуючі та створює власні відео і публікує їх на платформі обміну відео YouTube, для загального доступу. Для порівняння з результатами метрик буде використано longplay гри Silent Hill від спільноти World Of Longplays [23].

Отже для дослідження роботи розробленого програмного забезпечення та алгоритмів, в систему буде внесено вимоги до гри Silent Hill та проведено її аналізу за допомогою метрик. Допоміжними матеріалами для збору вимог є офіційна книга стратегії з проходження гри та запис проходження гри (longplay).

5.2 Моделювання існуючої гри з відкритим світом за допомогою реалізованого програмного забезпечення

Для проведення аналізу було обрано найпершу з відкритих зон, що має назву Old Silent Hill.

У грі реалізована можливість перегляду мапи середовища у якому знаходиться гравець. Знімок цієї мапи можна використати як основу карти відкритого світу. На карті також зазначено її масштаб. Це дає необхідну інформацію про реальні розміри мапи у метрах. На зображенні видно усі перепони що можуть зустрітися гравцю. При моделюванні, необхідно обвести ці частини карти за допомогою заборонених територій, або встановити бар'єри.

Офіційна книга стратегії з проходження гри, надає інформацію про список усіх завдань які необхідно виконати для просування у грі, та про місце їх розташування. Ці завдання вносяться до системи у вигляді квестів. Гра також має набір завдань що слугують підказками для гравця, проте не є необхідними для виконання, якщо гравець вже розуміє що робити далі. Такі завдання додаються до системи як опціональні квести. Для того щоб наблизити побудований системою маршрут, до маршруту яким рухається гравець у longplay, до маршруту Main With Some Side Quests було включено набір опціональних завдань, що виконав гравець на відео.

Для допомоги гравцям що мають труднощі з проходженням гри, книга стратегія також має список усіх предметів що може підібрати гравець, таких як аптечки, та патрони для зброї. Ці місця вносяться у систему у вигляді сторонніх активностей. Аналогічно на мапу наносяться усі точки розташування ворогів. Обрана для аналізу частина гри має лише два типи ворогів.

Як було зазначено раніше, Silent Hill є грою з елементами відкритого світу, тобто вона має лінійні елементи, що зустрічаються серед відкритого світу. Для їх представлення розробленими засобами, такі лінійні частини представляються у вигляді обов'язкових квестів, вміст яких детально не моделюється.

Після внесення усіх вищезазначених елементів до системи, гра є готовою до побудови метрик та аналізу.

5.3 Аналіз отриманих результатів

5.3.1 Аналіз графічних метрик

В систему було внесено дані про усі квести, ворогів, сторонні активності і перепони. Результат налічує 16 квестів 2 з яких є опціональними, 18 сторонніх активностей, 37 точок розташування ворогів. Остаточна мапа відкритої зони Old Silent Hill зображена на рисунку 5.1. Рисунок також містить побудований системою маршрут All Quests with Distractions. Даний маршрут відповідає найбільш повному проходженню гри, тому саме він використаний для подальшого аналізу гри за допомогою метрик.

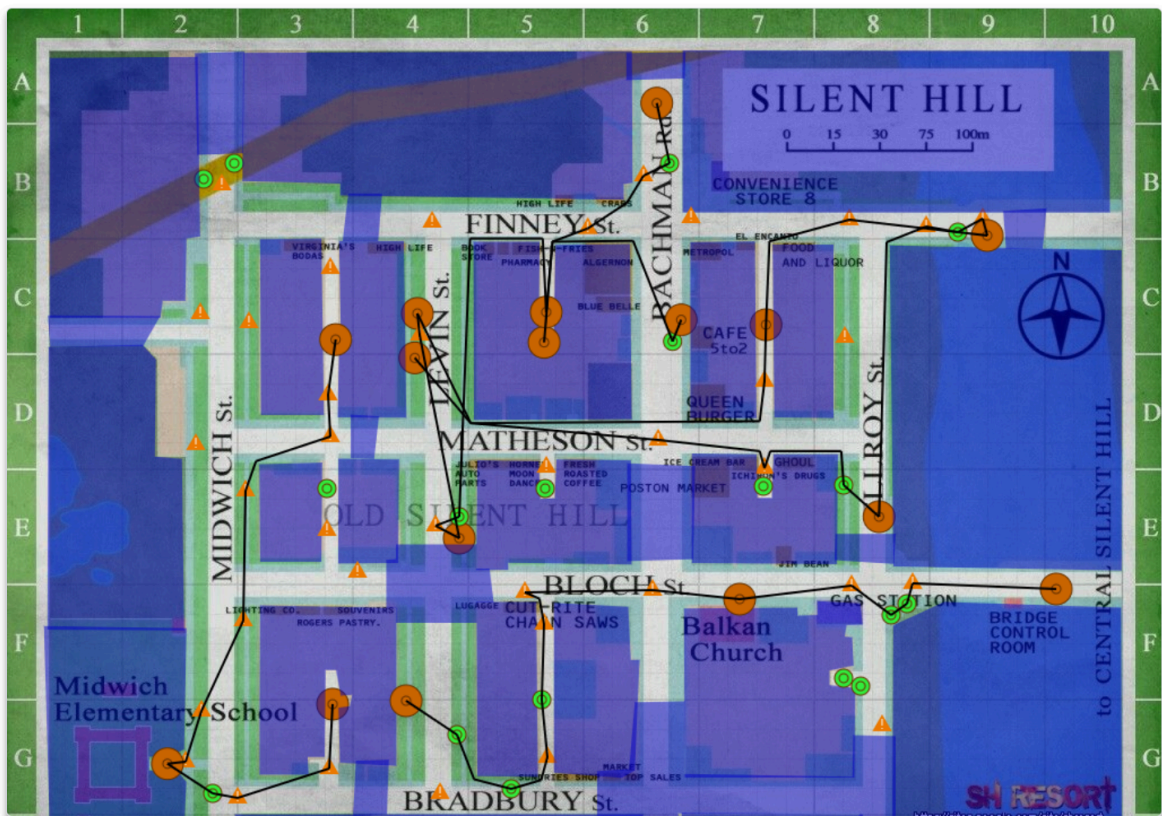


Рисунок 5.1 – мапа зони Old Silent Hill внесена в систему

Розглянувши теплову карту Distractions Coverage на рисунку 5.2, можна зробити висновок що сторонні активності і вороги добре розподілені відкритим світом, Єдина частина мапи, до якої варто було б додати сторонню активність є перехрестя вулиць Matheson та Levin, оскільки гравець проходить там кілька разів

і там немає жодного завдання. Решта вулиць, якими проходить маршрут достатньо заповнені.

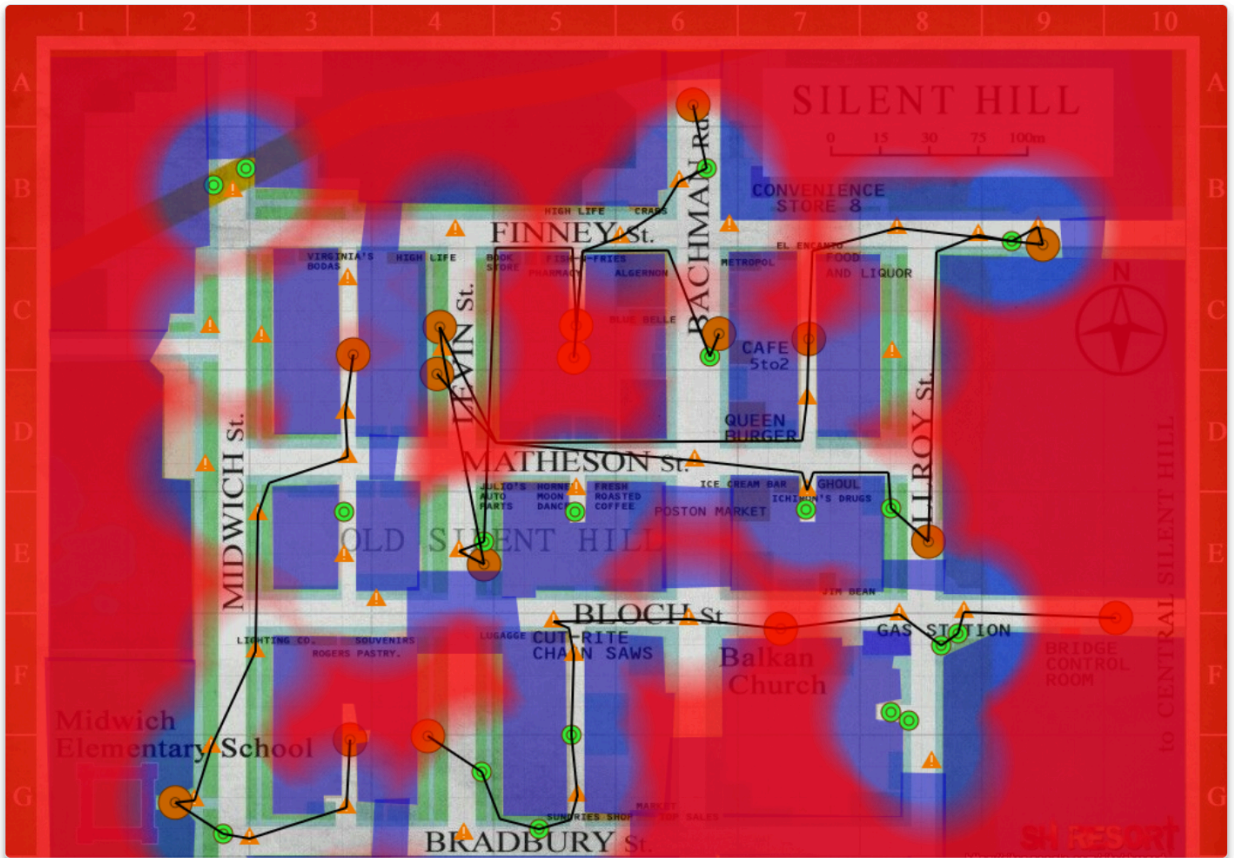


Рисунок 5.2 – теплова карта Distractions Coverage

Для того щоб проаналізувати ступінь вивченості мапи гравцем, використано теплову карту Explored Areas, зображену на рисунку 5.3. Місто у грі знаходиться у поганому стані: велика кількість доріг зруйнована, що ускладнює навігацію. Незважаючи на це - значна частина міста в результаті була досліджена гравцем. Майже всі вулиці якими можна пересуватися, були відвідані в процесі проходження квестів. Це свідчить про хороше розташування елементів відкритого світу на мапі, які спонукали до дослідження території.

Проте важливо зазначити, що одна частина мапи залишилася не вивченою. Це північна частина вулиці Midwich. Причиною цього є відсутність жодного квесту. Проте вважати це поганим плануванням не можна, оскільки у цій частині мапи, є 2 сторонні активності з цінними винагородами. Розробники навмисне розмістили їх там, щоб нагородити найбільш уважних і допитливих гравців.

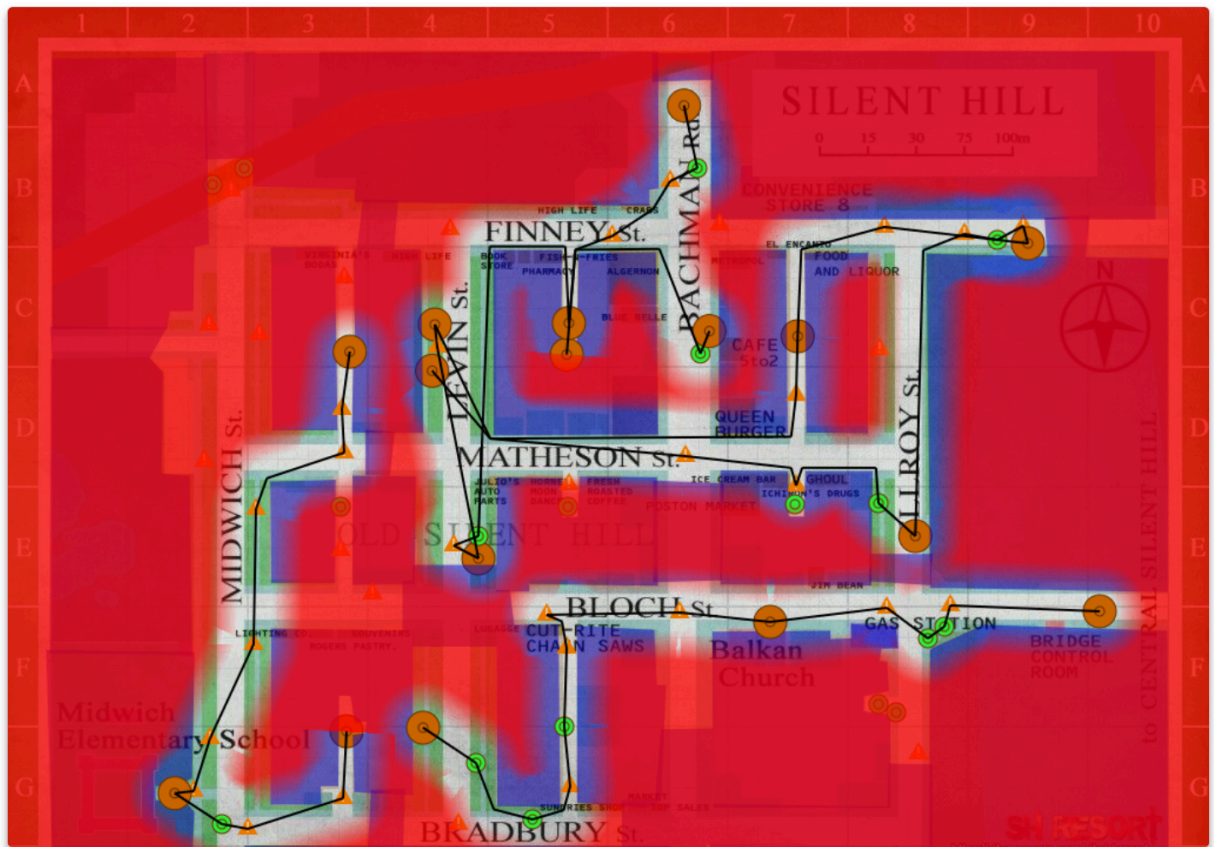


Рисунок 5.3 – теплова карта Explored Areas

Наступним кроком є пошук місць, якими гравець проходить забагато разів. Цю інформацію можна отримати з третьої графічної метрики - Over Explored Areas, зображеної на рисунку 5.4. Згідно з обраними налаштуваннями, відвідування одного місця три або більше разів є небажаним.

На мапі існує декілька таких місць, що помічені червоним кольором, а саме: східна частина вулиці Finney, провулок в її центральній частині, вулиця Levin і Matheson. Ця теплова карта виявила одну з характерних особливостей жанру горор на виживання, що була поширена у дев'яностих роках двадцятого сторіччя, і має назву *backtracking*. Цей підхід до дизайну світу полягає в тому, щоб змушувати гравця тим чи іншим способом повертатися до вже досліджених територій [24]. Технічні обмеження приставок того часу не давали можливості створювати великі ігрові світи. Тому, в такий спосіб, розробники того часу намагалися зробити ігри довгими, працюючи в рамках малопотужного відео ігрового обладнання. Проте

цей підхід є небажаним до застосування у відкритому світі. Під час свого першого проходу по території, гравець скоріше за все виконає всі сторонні активності та переможе ворогів, отже усі наступні проходи будуть позбавлені цікавих подій. Гравцю не буде чого робити окрім того як йти до наступної точки.



Рисунок 5.4 – теплова карта Over Explored Areas

За результатами аналізу графічних метрик, Old Silent Hill є добре побудованою мапою відкритого світу. Розташування квестів спонукає гравця до дослідження більшої частини мапи. Сторонні активності і вороги розташовані так, щоб наповнювати маршрут подіями, навіть, існують окремі частини мапи, що нагороджують гравців що готові докласти додаткових зусиль до дослідження світу. Головним поміченим недоліком є backtracking. Існує декілька місць, якими гравець проходить три або більше разів. Проте ця особливість обумовлена технічними особливостями апаратного забезпечення того часу, і є поширеним прийомом у жанрі горор.

5.3.2 Аналіз числових метрик

Внесені в систему дані також використовуються як вхідні дані для числових метрик. Метрика Total Playtime, зображена на рисунку 5.5, що підраховує загальний час необхідний на проходження гри набула значення 1.43 години. Це число є десятковим дробом. Після перетворення у години і хвилини, це значення дорівнює 1:25 (одна година, двадцять п'ять хвилин). Проходження даної частини гри у людини, що записана longplay відео зайняло 1:32 (одну годину тридцять дві хвилини). Отриманий результат має похибку в 7 хвилин, тобто 7.6%. Наявність похибки в меншій бік обумовлена тим, що при побудові маршруту, використовується алгоритм знаходження найкоротшого шляху. У той час, як гравець при проходженні може вибрати не найкоротший можливий маршрут.

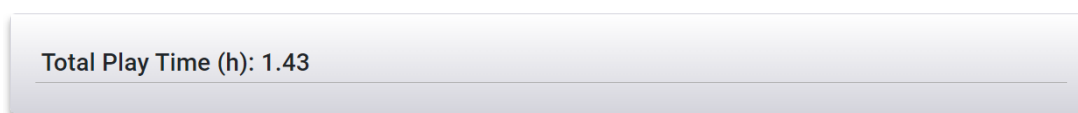


Рисунок 5.5 – числова метрика Total Playtime

Розподіл загального часу гри на різні види діяльності видно з метрики на рисунку 5.6. Серед усіх видів активностей які виконує гравець більше за все часу він витрачає на сюжетні квести, що є гарною ознакою для гри що фокусується на атмосфері та сюжеті, оскільки квести є основним способом просування по історії. На другому місці знаходиться ходьба, що також доповнює Silent Hill, оскільки в такий спосіб гравець більше відчуває атмосферу міста. Боротьба з ворогами також займає значну частину гри, щоб створити напруження, необхідне жанру горор.

Проте сторонні активності і опціональні квести складають незначну частку загального хронометражу. З аналізу візуальних метрик було зрозуміло що кількість сторонніх активностей на мапі достатня, проте багато з них знаходяться занадто далеко, щоб гравець їх відвідав на шляху між квестами.

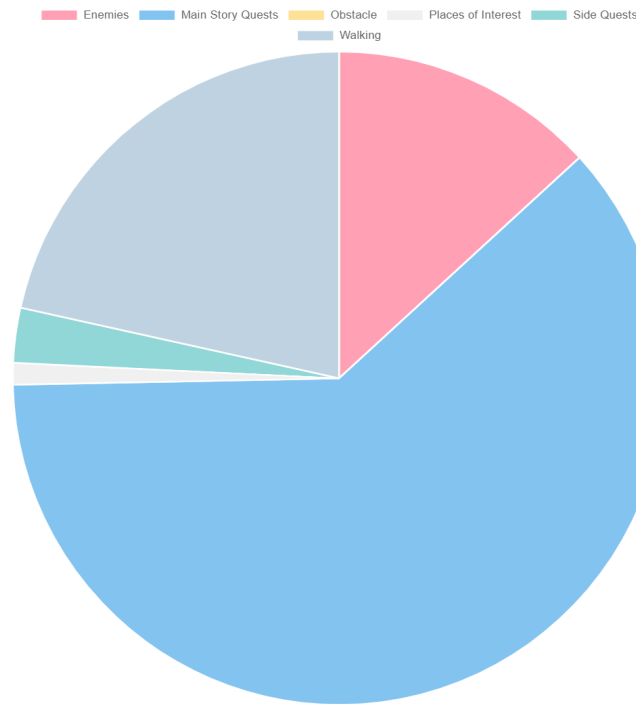


Рисунок 5.6 – числова метрика Time Spent on Each Activity

Час витрачений на кожен квест відображає метрика Time Spent on Each Quest, на рисунку 5.7. Загалом гра має рівномірну довжину квестів, що свідчить про хороший темп (pacing). На фоні усіх квестів виділяється другий квест, та десятий. Chase Cheryl має довгу експозицію сюжету, де гравцю пояснюють основи. Квест School - це велика лінійна секція, що не побудована за правилами відкритого світу, тому була представлена у системі як один довгий квест. Це обумовлює її велику тривалість. Решта квестів не має особливостей, і вони мають стабільну невелику довжину

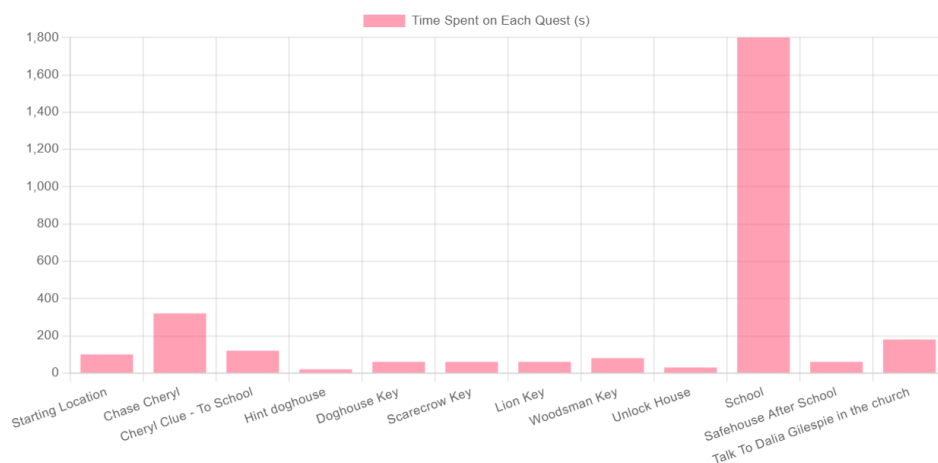


Рисунок 5.7 – числова метрика Time Spent on Each Quest

Відстані між квестами у даній грі дуже нерівномірні. Частина квестів розташована близько один до одного, частина далеко. Це порушує темп гри у випадках дуже довгих відстаней між квестами. Наявність стовпчиків висотою 0 у метриці Distance Between Every Quest на рисунку 5.8, обумовлена використанням прийому “телепортації” персонажа до наступного квесту без участі гравця. Наприклад, в кінці квесту Chase Cheryl, гравець непритомніє і прокидається вже на місці квесту Chase Cheryl - Wake Up. Тому відстань між даними квестами дорівнює нулю.

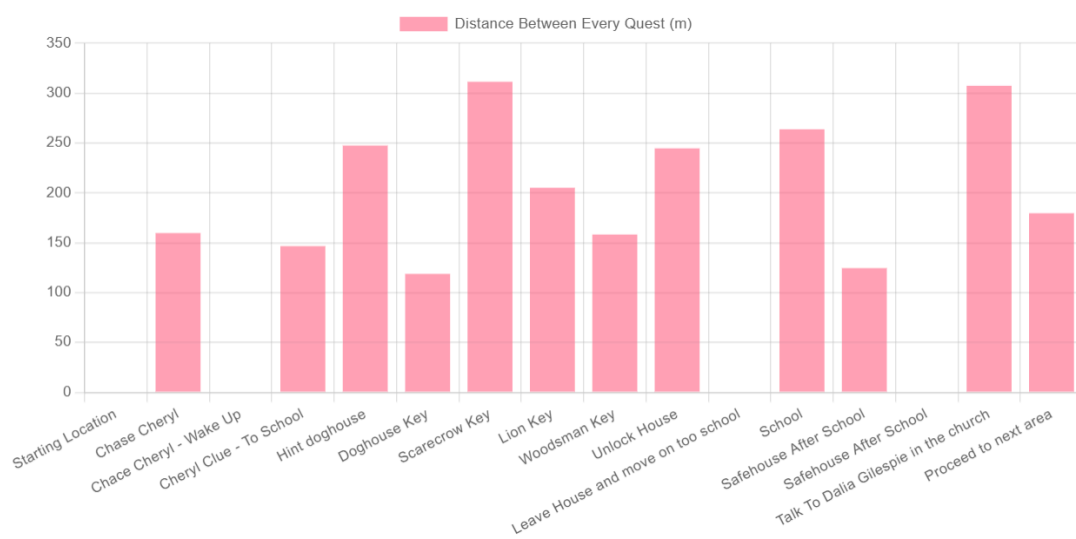


Рисунок 5.8 – числова метрика Distance Between Every Quest

Значення метрики Time Between Every Quest, на рисунку 5.9 є близьким до попередньої, що також свідчить про проблеми темпу гри.

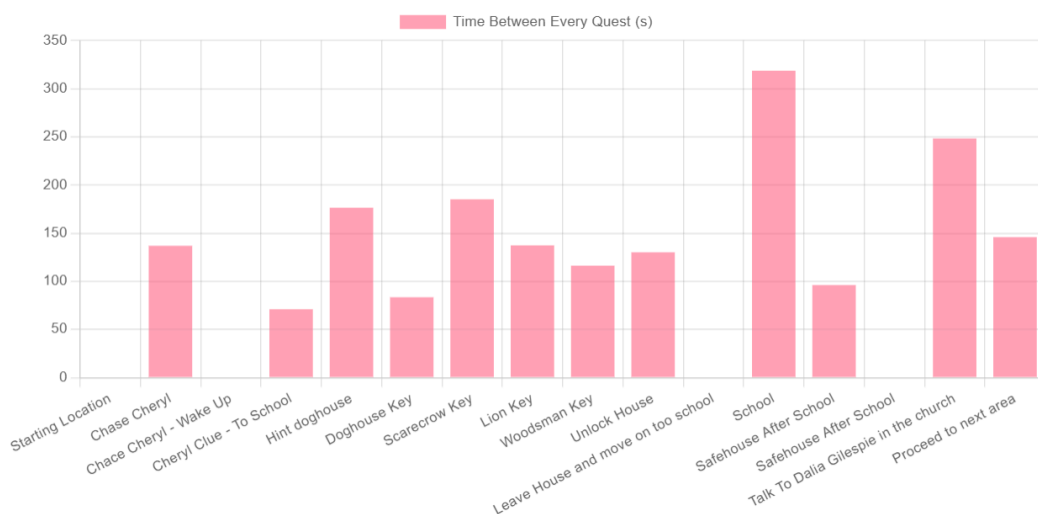


Рисунок 5.9 – числова метрика Time Between Every Quest

Метрика Enemy Types Between Quests на рисунку 5.10, вказує на правильний підхід до балансування складності гри. На кожному проході між квестами на початку гри зустрічається лише один з видів ворогів. Тільки починаючи з десятого квесту, коли гравець вже освоїв особливості кожного ворога окремо, з'являється потреба протистояти двом видам ворогів одночасно.

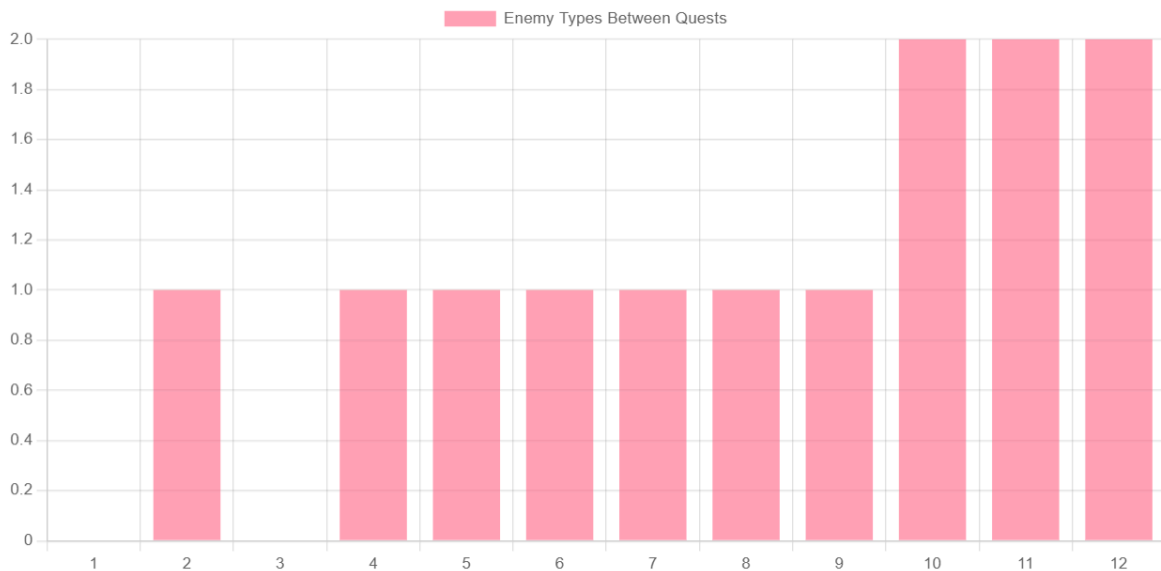


Рисунок 5.10 – числова метрика Enemy Types Between Quests

Натомість метрика Enemy Variety Change на рисунку 5.11, не надає корисної інформації для прогнозування стрибків складності, через наявність лише двох типів ворогів.



Рисунок 5.11 – числова метрика Enemy Variety Change

Проаналізувавши метрики Quantity of Each Enemy Type та Time Spent on Each Enemy Type на рисунку 5.12, можна зробити висновок про хороший баланс кількості кожного ворога і часу затраченого на них. Жодний з типів ворогів не переважає значною мірою ні в кількості ні в загальній тривалості бою. Тобто немає таких ворогів до яких гравець занадто сильно звикає.

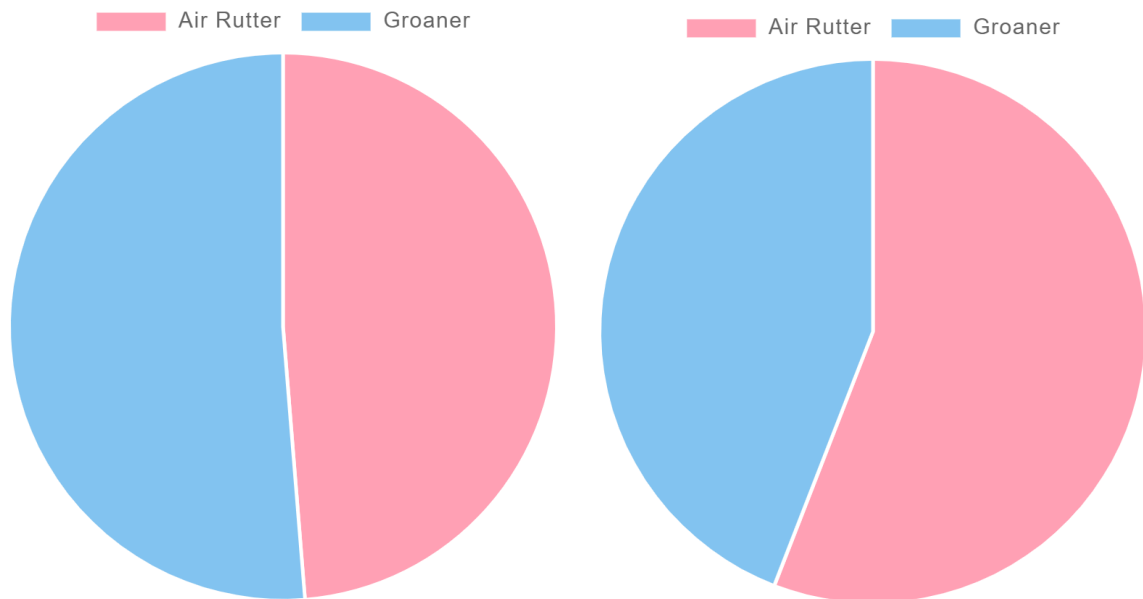


Рисунок 5.12 – числові метрики Quantity of Each Enemy Type (зліва) та Time Spent on Each Enemy Type (справа)

На рисунку 5.13 метрика Places of Interest Quantity Between Quests, підкреслює виявлену раніше проблему недостатності сторонніх активностей на шляху гравця. З стовпчикової діаграми видно велику кількість таких відрізків. Значна кількість сторонніх активностей знаходиться далеко від місць якими ходить гравець. Цю проблему також погіршує backtracking у грі. Під час повторного проходження місцевістю, гравець не має сторонніх активностей для виконання, оскільки вони були вже виконані при першому візиті.

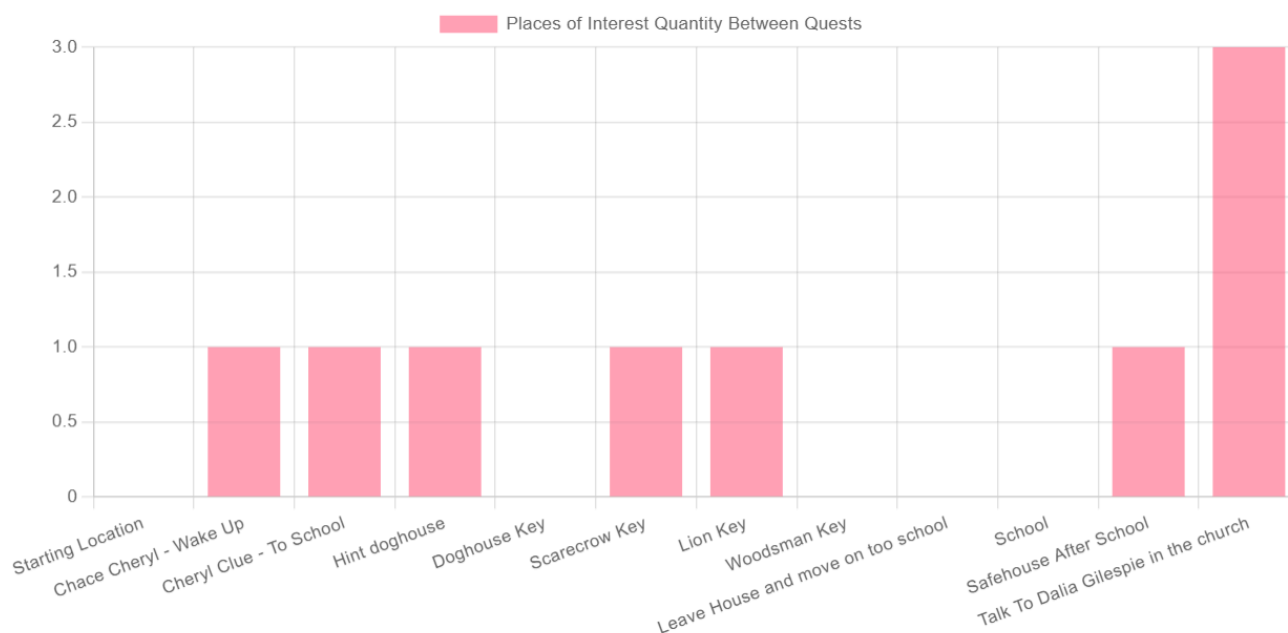


Рисунок 5.13 – числова метрика Places of Interest Quantity Between Quests

У результаті аналізу числових метрик гри Silent Hill, було знайдено декілька проблем в її дизайні. Відстань між квестами є нерівномірною, що може призвести до проблем з темпом гри. Також сторонні активності розташовані занадто далеко від місць якими проходить гравець.

Проте варто зазначити низку позитивних висновків. Усі метрики що стосуються балансування ворогів вказують на те що розробники правильно наповнювали світ ворогами. Також розподіл ігрового часу між різними активностями підкреслює особливості жанру горор.

Висновки до розділу 5

П'ятий розділ роботи містить опис дослідження роботи розробленої системи. Вимоги до реальної відео гри було внесено у додаток. На їх основі система проклала маршрути, і побудувала графічні та числові метрики.

Аналізу графічних метрик, вказав на те, що обрана гра має добре побудовану мапу відкритого світу. Розташування квестів спонукає гравця до дослідження більшої частини карти. Сторонні активності і вороги розташовані по всьому відкритому світу, навіть, існують окремі регіони, що нагороджують гравців

що готові докласти додаткових зусиль до дослідження світу. Головним поміченим недоліком є backtracking. Існує декілька місць, якими гравець проходить три або більше разів. Проте ця особливість обумовлена технічними особливостями апаратного забезпечення того часу, і є поширеним прийомом у жанрі горор.

У результаті аналізу числових метрик гри, виявлено декілька проблем. Відстань між квестами є нерівномірною, і гравець іноді вимушений долати великі відстані між квестами. Також сторонні активності розташовані занадто далеко від місць якими проходить гравець.

Проте числові метрики також показали низку позитивних характеристик. Усі метрики що стосуються балансування ворогів вказують на те що розробники правильно наповнювали світ ворогами. Також розподіл ігрового часу між різними активностями підкреслює особливості жанру горор.

Успішно проведений аналіз вказав на гнучкість розробленої системи. Незважаючи на те що обрана гра не мала чіткої структури відкритого світу, використання системи для аналізу дозволило зробити велику кількість висновків про особливості гри.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено аналіз існуючих підходів до аналізу відео ігор за допомогою метрик. Головною виявленою особливістю наявних підходів є використання телеметрії від реальних гравців. Такий підхід накладає низку обмежень на можливості застосування метрик, головним з яких є неможливість проведення аналізу до того як гра буде випущеною, і достатня кількість гравців у неї зіграє.

Для усунення цього недоліку, запропоновано використовувати вимоги до продукту замість даних телеметрії. Вимоги можуть бути доступними ще до початку прототипування і реалізації гри що надає можливість проводити аналіз метрик ще на ранніх етапах розробки продукту.

Для того щоб надати можливість проводити аналіз метрик для ігор з відкритим світом на етапі планування, було розроблено спосіб опису вимог, а також три графічні, у вигляді теплових карт, і десять числових метрик у вигляді стовпчикових і кругових діаграм, за допомогою яких можна аналізувати вміст гри, особливості просторового розташування елементів відкритого світу, та особливості маршруту, яким може рухатися потенційний гравець.

Розроблено алгоритми, що забезпечують обчислення метрик. Серед них, алгоритм побудови маршруту, яким рухатиметься гравець, алгоритми побудови теплових карт, та алгоритм побудови числової метрики. Побудова метрик здійснюється для п'яти різних маршрутів, кожен з яких описує особливості поведінки деякого типу гравців.

Усі вищезазначені алгоритми було реалізовано у вигляді додатку, який надає користувацький інтерфейс для введення вимог до гри з відкритим світом, та розрахунку і відображення метрик. Процес опису вимог імплементовано у вигляді графічного редактора, на який користувач може наносити елементи відкритого світу. Редактор також має змогу відображати теплові карти. Для перегляду числових метрик, розроблено спеціалізований інтерфейс.

Для перевірки результатів розробленої системи, проведено експеримент. Вимоги до однієї з існуючих відео ігор були внесені до системи, та проаналізовані отримані метрики. Система показала високу гнучкість використання, оскільки надала змогу провести аналіз гри що не мала чіткої структури відкритого світу, а натомість мала лише його елементи.

Аналіз метрик успішно вказав на характерні особливості відео гри. За допомогою візуальних метрик було виявлено гарну наповненість світу активностями, знайдено території які можуть бути потенційно не вивченими а також помічено активне використання backtracking у дизайні гри. Числові метрики коректно визначили хронометраж гри, а також вказали на проблеми з темпом, і недостатньою кількістю сторонніх активностей на шляху гравця.

Розроблена система має значну свободу для розширення. Додавши нові маршрути, можна надати можливість аналізу метрик для ще більшої категорії гравців. Наприклад для гравців що прагнуть сто відсоткового проходження гри, включно з усіма ворогами і сторонніми активностями. Також, зручна до розширення реалізація, дозволяє реалізовувати нові теплові карти і метрики, які нададуть ще глибше уявлення про гру, що розробляється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. McDonald E. Newzoo's Key Numbers | Games, Esports, Mobile. *Newzoo*. URL: <https://web.archive.org/web/20190509014637/https://newzoo.com/key-numbers/> (дата звернення: 06.06.2023).
2. Farraj T. J. Between Freedom and Success - A Study of Gamer Experience of Level Design in Open-World Games. Faculty of : Bachelor Thesis in Game Design. Uppsala, 2023. 43 p.
3. Ameli S. R., Haghshenas M. M. A descriptive-analytical study of the Open-World Game Design “Grand Theft Auto V and online version” with an emphasis on Role-Playing Capabilities. *Journal of Cyberspace Studies*. 2023. Vol. 7, no. 1. P. 1–22.
4. Farraj T. J. Between Freedom and Success - A Study of Gamer Experience of Level Design in Open-World Games. Faculty of : Bachelor Thesis in Game Design. Uppsala, 2023. 43 p.
5. Perfecting A Video Game with Game Metrics / J. Junaidi et al. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*. 2018. Vol. 16, no. 3. P. 1324. URL: <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v16i0.7209> (дата звернення: 21.05.2024).
6. Game Analytics / ed. by M. Seif El-Nasr, A. Drachen, A. Canossa. London : Springer London, 2013. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4769-5> (дата звернення: 22.05.2024).
7. ИВА. A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge. International Institute of Business Analysis, 2015. 512 p
8. SQL Server technical documentation - SQL Server. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/?view=sql-server-ver16> (дата звернення: 29.05.2024).
9. Richter J. CLR via C#. 4th ed. Redmond : Microsoft Press, 2012. 863 p.
10. Angular Official Documentation. *Angular*. URL: <https://angular.io/docs> (дата звернення: 29.05.2024).

11. Wijegunaratne I., Fernandez G. Distributed Applications Engineering. London : Springer London, 1998. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1550-2> (дата звернення: 29.05.2024).
12. Gorman B. L. Practical Entity Framework Core 6. Berkeley, CA : Apress, 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7301-2> (дата звернення: 29.05.2024).
13. Fowler M. Patterns of enterprise application architecture. Boston : Addison-Wesley, 2003. 533 p.
14. Uzayr S. B. Software Design Patterns: The Ultimate Guide. CRC Press LLC, 2022.
15. NgRx Docs. *NgRx Docs*. URL: <https://ngrx.io/> (дата звернення: 29.05.2024).
16. Chart.js Official Documentation. *Chart.js | Open source HTML5 Charts for your website*. URL: <https://www.chartjs.org/docs/latest/> (дата звернення: 29.05.2024).
17. Silent hill. *Playstation magazine*. 1999. Vol. 3, no. 18. P. 89–92.
18. Kirkland E. Restless dreams in Silent Hill: approaches to video game analysis. *Journal of Media Practice*. 2005. Vol. 6, no. 3. P. 167–178. URL: <https://doi.org/10.1386/jmpr.6.3.167/1> (дата звернення: 27.05.2024).
19. Silent Hill Strategy Guide. Cyber Press Publishing, 1999.
20. Fjællingsdal K. Let's Play: A Modern Social Gaming Dimension? Exploring a "New" Aspect of the Gamer as a Social Entity. *Medieforskerkonferansen 2014 - 20 år med WWW – perspektiver og konsekvenser*, Trondheim, 20 October 2014. 2014. P. 7.
21. Kraus K., Donahue R. "Do You Want to Save Your Progress?": The Role of Professional and Player Communities in Preserving Virtual Worlds. *Digital Humanities Quarterly*. 2012. Vol. 6, no. 2.
22. World of Longplays. *World of Longplays*. URL: <https://longplays.org/home.php> (дата звернення: 27.05.2024).
23. World of Longplays. PSX Longplay 181 Silent Hill (EU), 2013. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Wy34ChMlvow> (дата звернення: 27.05.2024).

24. Woodbury D. Backtracking and Non-Essential Areas. *Game Developer | Game Industry News, Deep Dives, and Developer Blogs*. URL: <https://www.gamedeveloper.com/design/backtracking-and-non-essential-areas#close-modal> (дата звернення: 28.05.2024).