

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____

Кафедра _____ Програмної інженерії _____

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА **Пояснювальна записка**

_____ другий (магістерський) _____
(рівень вищої освіти)

Дослідження методів адаптації відео-ігор до особливостей людини

Виконала: студентка 2 курсу, групи ІІЗм-17-1 _____
спеціальності 121- Інженерія програмного забезпечення
Освітньо-наукові програми
Інженерія програмного забезпечення _____

_____ Жадан А.В. _____

Керівник _____ доц. Лановий О.Ф. _____

Допускається до захисту

Зав. кафедри, проф. _____

З.В.Дудар

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121-Інженерія програмного забезпечення

освітньо-наукова програма Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Жадан Анастасії Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів адаптації відео-ігор до особливостей людини

затверджена наказом по університету від “ _____ ” _____ 20 ____ р № _____
заповнюється вручну після отримання наказу

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії
20 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи поняття штучного інтелекту в іграх, ігри, що використовують штучний інтелект в своїх реалізаціях, популярні в ігровому середовищі методи штучного інтелекту, способи вирішення поширених проблем при розробці ігор за допомогою штучного інтелекту

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз проблемної галузі і постановка задачі, огляд технологій ШІ в відеоіграх та аспектів специфічних для галузі, дослідження адаптивності в сучасних відеоіграх, порівняння популярності відеоігор різних рівнів складності штучного інтелекту та адаптивності, порівняння комерційного успіху відеоігор різних рівнів складності штучного інтелекту та адаптивності

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) схема, теорія потоку, використання кінцевих автоматів в відеоіграх, приклад запису для таблиці аналізу відеоігор, діаграми розсіювання балів «Метакритика» та обсягів продажу для різних груп ігрового ШІ, груп з різними типами адаптації та для різних рівнів адаптації

6 Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка *
1.	Аналіз предметної галузі	18 лютого 2019р.	
2.	Постановка задачі	25 лютого 2019р.	
3.	Дослідження методів ШІ в відеоіграх	06 березня 2019р.	
4.	Дослідження адаптації ШІ в відеоіграх	20 березня 2019р.	
5.	Розробка класифікації ігор на основі складності та адаптивності ШІ	10 квітня 2019р.	
6.	Класифікація ігор на основі розроблених класів	20 квітня 2019р.	
7.	Аналіз популярності ігор	27 квітня 2019р.	
8.	Підготовка презентації та доповіді	11 травня 2019р.	
9.	Попередній захист	30 травня 2019р.	
10.	Нормоконтроль, рецензування	11 червня 2019р.	
11.	Занесення диплома в електронний архів	13 червня 2019р.	
12.	Допуск до захисту у зав. кафедри	14 червня 2019р.	

* заповнюється вручну після виконання чергового пункту

Дата видачі завдання _____ 2019 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Лановий О.Ф.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 126 с., 6 рис., 73 джерел.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ІГРАХ, АДАПТИВНІСТЬ В ІГРАХ, АДАПТАЦІЯ НЕІГРОВИХ ПЕРСОНАЖІВ, ВИКЛИК

Об'єкт дослідження – штучний інтелект в комп'ютерних іграх.

Метою проекту є дослідження в області ігрового штучного інтелекту, орієнтоване на аспекти систем управління грою, які можуть бути покращені для адаптації.

Метод роботи – глибоке дослідження літератури в області штучного інтелекту в комп'ютерних іграх з акцентом на адаптивність поведінки неігрових персонажів щодо гравця.

У результаті роботи була розроблена класифікація для групування ігор за складністю систем управління та їх здатністю адаптувати різні аспекти поведінки ворогів, включаючи індивідуальну та групову поведінку. Також була проаналізована відношення між складністю ігор та їх популярністю.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GAMES, ADAPTABILITY IN GAMES, NON-PLAYER CHARACTER ADAPTATION, CHALLENGE

The object of study is game artificial intelligence.

The aim of the project is research in the field of game artificial intelligence targeting aspects of the game control systems that can be improved in order to be adaptable.

The method of work is a deep study in the field of computer game artificial intelligence, with focus on adaptability of NPC behavior towards the player.

As a result of the work, a classification was developed for grouping games based on the complexity of control systems and their ability to adapt various aspects of the behavior of enemies, including individual and group behavior. Also, the relationship between the complexity of the games and their popularity was analyzed.

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Адаптивність (в відео-іграх)	Здатність ігрових систем управління персонажами адаптуватися відповідно до дій гравця та/або зміни контексту гри.
AAA-ігри	неформальна класифікація відеоігор, що виробляються та розповсюджуються середніми або великим видавцями, зазвичай мають великий бюджет розробки та маркетингу.
Антагоніст/оппонент (в відео-іграх)	Неігровий персонаж (NPC), ворожий до гравця.
Ігровий штучний інтелект (ШІ)	Інтелектуальна система, що використовується в іграх для управління поведінкою NPC.
Неігровий персонаж (non-player character, NPC)	Будь-який персонаж у грі, що не контролюється гравцем.
Незалежна відео-гра (інді-гра)	Відео-гра, яка часто створюється без фінансової підтримки видавця, хоча деякі ігри, що фінансуються видавцем, все ще вважаються "інді".
Нескриптована поведінка	Поведінка NPC, яка може змінитися в процесі гри. Зазвичай реалізується з використанням технологій штучного інтелекту.
Скриптована поведінка	Поведінка NPC, чітко визначена в ігрових скриптах і не змінюється відповідно до дій гравця.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз проблемної галузі та постановка задачі	11
1.1 Проблема штучного інтелекту в відео-іграх	12
1.2 Постановка задачі.....	15
2 Дослідження методів штучного інтелекту в відеоіграх та аспектів специфічних для галузі відеоігор	17
2.1 Штучний інтелект в комп'ютерних іграх	17
2.2 Non-Player Characters та їх поведінка.....	18
2.2.1 Поведінка неігрових персонажів, контрольована штучним інтелектом	19
2.2.2 Штучна дурість.....	23
2.3 Адаптивність в комп'ютерних іграх	24
2.3.1 Види адаптації в залежності від джерела	25
2.3.2 Інтра та інтер-поведінкове навчання.....	27
2.3.3 Моделювання опонента/гравця	28
2.3.5 Динамічне балансування складності гри.....	35
2.3.6 Контроль потоку/темпу	37
2.4 Висновки за розділом.....	38
3 Розробка класифікації ігор заснованої на складності штучного інтелекту та адаптивності	40
3.1 Автономія.....	43
3.2 Види адаптації в залежності від джерела	44
3.3 Інтра-поведінкова адаптація	46
3.4 Інтер-поведінкова адаптація	47
3.5 Профілювання гравця	48
4 Аналіз та класифікація ігрового штучного інтелекту	49

	7
4.1 Надійність та достовірність.....	49
4.2 Опис списку ігор та критерії відбору.....	50
4.3 Легенда таблиці.....	53
4.4 Аналіз та класифікація ігор.....	55
4.5 Класифікація ігор за спільними рисами/жанрова класифікація.....	56
4.5.1 Жанр екшен.....	56
4.5.2 Жанр стелс.....	59
4.5.3 Жанр шутер.....	60
4.6 Навчання штучного інтелекту в популярних відео-іграх.....	66
4.7 Інтра-поведінкова адаптація.....	70
4.8 Інтер-поведінкова адаптація.....	75
4.9 Види адаптації в залежності від джерела.....	77
4.10 Профілювання гравця.....	81
4.11 Висновки за розділом.....	83
5 Аналіз популярності.....	87
5.1 Популярність розвинутого штучного інтелекту.....	87
5.2 Популярність адаптивного штучного інтелекту.....	90
5.3 Висновки за розділом.....	95
Висновки.....	97
Перелік джерел посилання.....	100
Додаток А.....	108
Додаток Б.....	110
Додаток В.....	114
Додаток Г.....	120

ВСТУП

Кожна комп'ютерна гра має свій набір правил і обмежень, які направляють і обмежують поведінку гравця, тому гравець не може безпосередньо досягти мети гри. Ці обмеження та правила створюють конфлікт між гравцем та ігровою системою. Будь-який конфлікт в грі дає досвід гравцям, але цього недостатньо, щоб зробити гру пам'ятною. Зробити її такою може емоційний зв'язок між гравцем та самою грою. Це називається почуттям залученості [1]. Трейсі Фуллертон в своїй книзі «Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games» [1] виділяє список основних елементів, що впливають на залученість гравця: виклик, гра, головоломка, передумова, персонаж та історія. У цьому дослідженні основна увага приділяється виклику як аспекту гри, який може бути покращений шляхом поліпшення поведінки неігрових персонажів.

Виклик – це «завдання, задовільне для виконання, що вимагає тільки необхідного обсягу роботи для створення почуття виконаного обов'язку і задоволення» [1]. Рівень складності та майстерність гравця повинні балансувати між розчаруванням і нудьгою, щоб зацікавити людину грою [1, 2]. Збереження цього балансу є складним завданням при розробці ігрового антагоніста. Як правило, налаштування складності гри впливає тільки на силу та здоров'я супротивників і дуже рідко — на тактику [3]. Але загалом, робить антагоніста складним для перемоги його поведінка. Згідно з дослідженнями в ігровому дизайні та балансі, якщо антагоніст дуже сильний і його важко перемогти, гравці, швидше за все, вийдуть з гри, оскільки вона може здатися їм непереможною. У протилежній ситуації, коли супротивник дуже слабкий, гравці в більшості випадків втрачають інтерес до гри [4]. Таким чином, поведінка антагоніста та його адаптація до змінних обставин є завданням, що вимагає належної уваги.

Загальна проблема однокористувацьких ігор полягає в тому, що, після зустрічі з антагоністом, гравець знайомиться з поведінкою NPC і, як тільки він виявляє слабке місце цього супротивника, прогрес в грі стає набагато простіше [5,

б)]. Таким чином гравець може втратити інтерес до гри, якщо антагоніст не модифікує свою поведінку в ході гри (але все ж таким чином, щоб зробити можливим прогрес в грі [1, 2]). Науковці та представники ігрової індустрії передбачали зростання важливості ШІ в розробці ігор як способу підвищити складність гри і, як наслідок, популярність і фінансові доходи багато років тому [7, 8, 9]. Багато академічних досліджень було зроблено в області адаптивного ігрового ШІ, але, тим не менш, як показує спостереження за сучасним іграми, адаптивна поведінка є досить рідкісним випадком в розробці відеоігор, оскільки процес навчання ШІ вимагає численних випробувань для адаптації його поведінки до обставин [6, 10] і застосування адаптивних методів може привести до непередбачуваної та неконтрольованої поведінки [6].

Поверхнєве дослідження підтвердило, що все ще існують проблеми ігрового ШІ, які необхідно вирішити для підвищення інтересу до однокористувацьких ігор, наприклад, більш розвинена адаптація до дій гравця (гравці отримують більше пам'ятного досвіду в грі, якщо вона, включаючи антагоніста, відповідає їх стилю гри [11]), адаптація до навколишнього середовища (ігрового контексту), підвищення правдоподібності поведінки NPC [12, 5], і поліпшення інтеграції ШІ. Поліпшення інтеграції та адаптації ШІ також означає персоналізацію досвіду гравця для посилення емоційного зв'язку між гравцем і грою. Знання уподобань гравця, яке може бути отримано з його ігрової поведінки, може допомогти в наданні більш сильного емоційного впливу та більш значущого досвіду [12].

Однак, як ми могли бачити, область ігрового штучного інтелекту в академічних дослідженнях все ще досить нова і не досліджена. Існує безліч досліджень в області технік та експериментальних методологій, які використовуються або можуть використовуватися в відеоіграх, однак адаптивний ШІ в цілому є рідкісною метою цих досліджень. Йілдрім і Стін в своїй роботі [13] намагалися визначити, чи є потреба в технологіях штучного інтелекту в іграх різних жанрів і є чи внутрішньоігрові NPC інтелектуальними. Риси, притаманні інтелектуальним ігровим агентам, визначені авторами, в подальшому використовувалися в якості основи для базової класифікації ШІ в цій

магістерській роботі. Результат класифікації відповідає очікуваній поведінці персонажа в певних жанрах (рольові ігри, шутери від першої особи, стратегії), описаних авторами. Рабін в «AI Programming Wisdom» [14] і Міллінгтон в «Artificial Intelligence for Games, Second Edition» [15] розглядали вивчення ШІ в іграх в цілому, описуючи підходи та теорію адаптивного ШІ, які використовуються або можуть бути використані у відео іграх. Їх класифікація підходів до навчання була використана в цій роботі для класифікації адаптивного ШІ в іграх. Численні дослідження стосуються адаптивності до гравця, включаючи моделювання гравців [16, 11, 17, 18] і адаптивні компоненти [16], однак вони не застосовуються до тенденцій в сучасних відеоіграх і в основному відносяться до експериментальних дослідницьких ігор та ігрових режимів.

Як можна бачити з короткого огляду літератури, тема, обрана для цієї роботи, є унікальною в рамках магістерської роботи, але окремі частини даної роботи пов'язані між собою і відносяться до досліджень, проведеним вченими в області розробки ігор і штучного інтелекту у відеоіграх.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Конфлікт кидає виклик гравцеві, змушує його відчувати себе напруженим, в той час як гравець намагається вирішити проблему. Оскільки виклик приносить досвід гравцеві, він дуже персоналізований. По суті, це «завдання, яке є задовільним для виконання, що вимагає тільки необхідного обсягу роботи для створення почуття виконаного обов'язку і задоволення» [1], як описано в теорії потоку досвіду Міхалем Чікцентміхайі (див. рис. 1.1). Рівень складності і майстерність гравця повинні балансувати між розчаруванням і нудьгою, щоб зацікавити людину грою [1, 2].

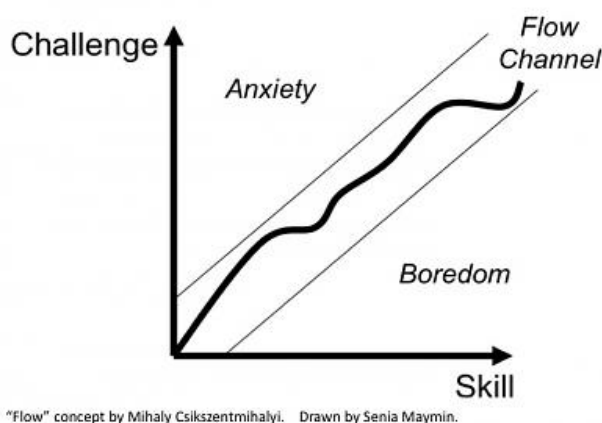


Рисунок 1.1 – Теорія потоку М. Чікцентміхайі

У завдань є безліч варіацій залежно від контексту, дизайну, механік та інших елементів гри. Вони можуть включати в себе завдання на час (завершити завдання за задану кількість часу), завдання на «зачистку рівня» (позбутися від ворогів або певних об'єктів на ігровому рівні), вирішити головоломку або загадку, вбити певну кількість ворогів, перемогти головного антагоніста та інші. В більшості розрахованих на одного користувача ігор, особливо в стелс, шутерах, екшенах та іграх Survival Horror, основний виклик пов'язаний з ігровими

антагоністами. Вони включають в себе солдатів, охоронців, бандитів, монстрів та істот, чиє завдання – погрожувати, лякати, полювати та/або вбивати гравця.

Збереження балансу між розчаруванням і нудьгою є складним завданням при розробці ігрового антагоніста. Як правило, налаштування складності гри впливає тільки на силу і здоров'я супротивників і дуже рідко впливає на тактику [3]. Але в основному те, що робить антагоніста важким для перемоги, це його поведінка. Згідно з дослідженнями в ігровому дизайні та ігровому балансі, якщо ігровий антагоніст дуже сильний і його важко перемогти, гравці, швидше за все, вийдуть з гри, так як вона може здатися їм майже непереможною. У протилежній ситуації, коли супротивник дуже слабкий, гравці в більшості випадків втрачають інтерес до гри [4]. Таким чином, поведінка антагоніста і його адаптація до обставин, що змінюються, є завданням, що вимагає належної уваги.

1.1 Проблема штучного інтелекту в відео-іграх

Деякі розробники ігор стверджують, що проблему ШІ для NPC (неігровий персонаж, включаючи доброзичливих персонажів і антагоністів) практично вирішено для більшості виробничих завдань, наприклад, пошуку шляху, пошуку укриття, негайної реакції на дії гравця, налаштування складності рівня тощо [19].

Найбільш розповсюджені проблеми, такі як пошук шляху (особливо важливий для стелс-ігор) і навігація як частини поведінки NPC зазвичай вирішуються за допомогою випробуваних і перевірених алгоритмів і технологій ШІ, таких як алгоритм A^* (використовується для пошуку шляху) [20].

Більш складна поведінка антагоніста – зміна стану – зазвичай вирішується за допомогою менш ефективних і гнучких алгоритмів. Одними з найголовніших і часто використовуваних технологій ШІ для цього завдання є кінцеві автомати та дерева рішень. Кінцеві автомати зазвичай реалізуються за допомогою скриптів і простих операторів if-then, тому вони пропонують тільки базовий контроль

поведінки. Кінцеві автомати, оскільки вони визначені формально, обмежені в обчислювальному відношенні і погано масштабуються, тому вони не здатні вирішувати великі проблеми і синхронізувати множинну модульну поведінку, що робить їх нездатними надати складний досвід виклику гравцеві [21].

Ще одне нововведення – модель переконання-бажання-наміри (скорочено BDI) [22] – вперше використовувалося в *Black & White*. Але це не принесло бажаного досвіду гравцям, оскільки нововведення не використовувалося належним чином. Сама ідея була новою і досить багатообіцяючою, оскільки такого роду інновації раніше не використовувалися в відеоіграх, але вона мала поганий дизайн та інтеграцію, тому гравці відчували незручності та проблеми з навчанням своїх монстрів, оскільки система заохочення/покарання не працювала, як очікувалося.

Що стосується відповідності дій неігрових персонажів навколишньому середовищу, то це часто ґрунтується на читках і хитрощах, а не на реальному штучному інтелекті. Наприклад, дизайнери ігор *Half-Life* створили ілюзію спільної роботи NPC, тому вони здавалися розумними, хоча насправді це не так.

Як видно, на практиці ігровий ШІ навіть в найскладніших іграх не дає бажаних результатів або реалізується за допомогою хитрощів, щоб покрити нестачу складності, тому іноді його називають штучною дурістю, а не інтелектом [5, 23].

Хоча ігровий ШІ отримав досить великий розвиток з початку ери відеоігор, він робить лише невеликі кроки в напрямку адаптації до дій гравця, наприклад, вивчення дій, поведінки і тактики гравця, щоб відповідати його рівню, навичкам і перевагам. Існують методи адаптації ШІ, які рідко використовуються великими компаніями в AAA-іграх, але при цьому дуже перспективні. Багато дослідників цікавляться адаптивним ігровим ШІ.

Проводяться дослідження по так званому моделюванню опонентів і адаптивним іграм на основі конкретних випадків [5, 24]. Наприклад, в грі *GHOSTS* ШІ міг вивчати стиль гри супротивника (людини-гравця) й адаптуватися до нього (тобто атакувати фігуру противника тощо), отримуючи невідому

інформацію про стан гри [24]. Крім того, моделювання противника було успішно реалізовано в стратегічних іграх в реальному часі (RTS) [25]. Також, існують методи штучного інтелекту, які можуть передбачати послідовності дій гравця, наприклад, прогнозування положення гравця в шутерах від першої особи [26].

Поточна адаптація геймплея, наприклад, адаптація до ігрових обставин під час гри була успішно реалізована в деяких простих відеоіграх [27], але все ж всі ці інноваційні методи рідко використовуються в AAA-іграх для одного гравця. Є тільки кілька комерційно успішних ігор з адаптивним ШІ. Серед них такі перспективні ігри, як «ЕCHO» та «Hello Neighbor».

Творці «ЕCHO» розробили адаптивні контролери NPC, які можуть змінювати тактику ворогів, щоб вони вели себе так, як веде себе гравець, копіюючи його стиль гри [28]. У «Hello Neighbor» головний антагоніст – сусід гравця – може пам'ятати дії та методи гравця, які він використовував в попередніх раундах, і встановлювати пастки в відвідуваних місцях, змушуючи гравця шукати інші способи проходження гри [29].

Загальна проблема однокористувацьких ігор полягає в тому, що, коли гравець грає в гру, в якийсь момент він зустрічає внутрішньоігрового антагоніста (в іграх Survival Horror присутній найбільш явний одиночний антагоніст, інші жанри можуть мати безліч антагоністів, таких як солдати, охоронці, монстри), і тоді, як правило, можливі такі три результати:

- гравець перемагає антагоністів або хоча б відбиває їх атаку;
- гравець програє (вмирає в більшості випадків);
- гравець тікає, уникаючи прямої битви (часто зустрічається в іграх жахів і стелс).

Після зустрічі з антагоністом, гравець знайомиться з поведінкою NPC. Як тільки він виявляє слабе місце цього супротивника, прогрес в грі стає набагато простіше, оскільки ніщо не може перешкодити гравцеві використовувати цю слабкість [5, 6]. Таким чином гравець може втратити інтерес до гри, якщо антагоніст не модифікує свою поведінку і не змінює її в ході гри (але все ж таким

чином, щоб зробити можливим прогрес в грі та перемогу). Він повинен бути добре збалансований, щоб залишатися між розчаруванням і нудьгою. [1, 2]

1.2 Постановка задачі

Огляд сучасних тенденцій у відеоіграх показав, що тільки кілька відеоігор пропонують гравцям унікальний досвід за допомогою адаптивного ШІ; більшість з них – інді-ігри, такі як «ЕCHO» або «Hello Neighbor», згадані в розділі 1.1. Таким чином, виникає питання, чи може адаптивний ігровий ШІ зробити гру більш популярною та успішною, і чи розумно для ігрових компаній застосовувати складний ШІ в AAA-іграх. Ми очікуємо знайти зв'язок між складною адаптивністю ШІ в іграх та успіхом таких ігор серед гравців і критиків.

Грунтуючись на вивченні сучасного застосування технологій ШІ в комп'ютерних іграх, ми пропонуємо дослідити способи класифікації та порівняння ігор з точки зору пристосування (ворожого) ШІ-NPC до гравця-людини. Ми припускаємо, що класифікація та порівняння будуть виконуватися відповідно до набору ознак, що відповідають рівню адаптації. Така класифікація могла б дозволити досліджувати позитивні або негативні кореляції адаптованості та популярності або комерційного успіху. Класифікація також може вказати на різні аспекти адаптації ігрового ШІ, можливі рівні адаптації та видатні підходи та реалізації в популярних відеоіграх.

Два дослідних питання і дві гіпотези, визначені для даної дипломної роботи, сформульовані нижче.

Дослідне питання 1: Як технології штучного інтелекту використовуються в комп'ютерних іграх в контексті адаптованості поведінки NPC по відношенню до гравця?

Дослідне питання 2: Які риси можна використовувати для класифікації та порівняння ігор в залежності від ступеня адаптованості поведінки NPC по відношенню до гравця?

Гіпотеза 1: Ігри з більш високою адаптивністю поведінки NPC по відношенню до гравців більш популярні з точки зору громадської думки, ніж ігри з нижчою адаптивністю.

Гіпотеза 2: Ігри з більш високою адаптивністю поведінки NPC до гравця більш комерційно успішні, ніж ігри з нижчою адаптивністю.

1.3 Внесок в розвиток комп'ютерних ігор та цільова аудиторія

Внеском цієї роботи в науку є набір рис, які дозволяють порівнювати та класифікувати ігри з точки зору пристосування (ворожого) ШІ-NPC до гравця-людини. Використовуючи ряд ігор, класифікованих за цими рисами, буде вивчено взаємозв'язок між адаптивністю і популярністю відеоігор.

Було кілька спроб класифікувати ігри з точки зору їх складності або здатності діяти в якості інтелектуального агента (див. Вступ та розділ 1). Різні класифікації з'явилися в кількох дослідженнях, але більшість з них були теоретичними, і тільки деякі з них були застосовані до реальних ігор (наприклад, [13]). У цій магістерській роботі ми спробували об'єднати різні частини досліджень в області розробки ігор в рамках всеохоплюючої класифікації, яка торкається різних аспектів ігрового ШІ, а потім застосувати цю класифікацію до існуючих тенденцій в індустрії розробки ігор.

Результати, отримані в ході цільового дослідження цієї роботи, можуть бути корисні в області розробки ігор і використані розробниками та дизайнерами ігор.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ШІ В ВІДЕОІГРАХ ТА АСПЕКТІВ СПЕЦИФІЧНИХ ДЛЯ ГАЛУЗІ ВІДЕОІГОР

2.1 Штучний інтелект в комп'ютерних іграх

ШІ знайшов широке використання в різних аспектах створення відеоігор. Методи штучного інтелекту можна застосовувати різними способами як в процесі розробки, так і в ігровому дизайні. Ще з початку розвитку ШІ в іграх термін ігрового ШІ в основному відноситься до поведінки NPC, що варіюється від тривіального пошуку шляху до прийняття рішень [12], але методи ШІ також були використані в:

- нарративній частині ігрового дизайну: «The Ice-Bound Concordance» використовувала систему комбінаторного нарративу контрольовану ШІ, щоб створити історію з попередньо написаних фрагментів тексту через взаємодію між гравцем та ШІ. ШІ, орієнтований на наратив, також був використаний у популярній інтерактивній грі Façade та платформі для інтерактивних історій Versu;

- процесі тестування гри: ШІ використовувався як інструмент для тестування та поліпшення ігрового балансу гри жанру tower defence «City Conquest». ШІ представляє собою віртуальну команду, яка могла визначити домінуючі стратегії та незначні елементи, які потребували налаштування під час ігрового процесу. Крім того, система ШІ була використана для тестування на прохідність локацій у «The Witness», щоб запобігти попаданню гравців на краї або застрягання у стінах;

- процедурній генерації контенту (Procedural Content Generation, PCG): ШІ був використаний для процедурної генерації карт або елементів. Найбільш успішними прикладами використання ШІ для PCG є «Minecraft» і «Love». Крім того, в результаті досліджень у PCG було розроблено систему процедурної генерації контенту на базі досвіду гравця (Experience Driven PCG, EDPCG), яка

була використана для створення персоналізованих рівнів «Super Mario Bros» [12, 30];

– Створенні цілої гри: Майкл Кук створив III під назвою ANGELINA («A Novel Game-Evolving Labrat I've Named ANGELINA» [31]), який може розумно виконувати весь процес проектування гри і створювати різноманітні ігри від аркад до платформерів; і вона продовжує йти далі в інші ігрові жанри.

Проте, з описаними вище винятками, методи III в основному використовуються для контролю поведінки NPC.

2.2 Non-Player Characters та їх поведінка

NPC в іграх – це персонаж, який не контролюється гравцем-людиною. Замість цього він зазвичай управляється комп'ютером за допомогою заздалегідь визначеної або гнучкої поведінки. NPC можна умовно розділити на три групи в залежності від їх поведінки по відношенню до гравців: ворожий, доброзичливий, нейтральний.

Зазвичай термін «NPC» відноситься тільки до персонажів, які не є ворожими по відношенню до гравця-людини, тобто до дружніх або нейтральних персонажів, які можуть допомогти і вести гравця під час гри або не роблять ніякого впливу на персонажа гравця і створені для заповнення ігрового середовища. Цей магістерський проект в основному сфокусований на ворожих NPC, таких як різні види ворогів (солдати, охоронці, бандити, монстри та істоти, чия робота полягає в тому, щоб загрожувати, лякати, полювати та/або вбивати гравця-людину) і «мобів» (в більшості сучасних ігор цей термін відноситься в першу чергу до NPC, які повинні бути вбиті людиною-гравцем [32]), але також будуть згадуватися дружні і нейтральні NPC.

Поведінка NPC в комп'ютерних іграх в більшості випадків строго визначена й автоматична (терміни детермінована, жорстко запрограмована та кодована

вручну також використовуються для опису такої поведінки [33]), і може бути викликана деякими діями або діалогом з неігровим персонажем. Це вказує на те, що майже всі дії та відповіді NPC прописані на тому чи іншому рівні і не можуть бути змінені під час гри або поза ігровим процесом без переписування фактичного коду. Однак з кінця 1980-х в ігровій дизайн інтегрується штучний інтелект для управління NPC, щоб зробити поведінку більш гнучкою й мінливою.

2.2.1 Поведінка неігрових персонажів, контрольована штучним інтелектом

Штучний інтелект використовується для управління поведінкою NPC на різних рівнях, від простих завдань управління рухом, таких як пошук шляху, до прийняття рішень. Варто зазначити, що термін «ігровий ШІ» сильно відрізняється від академічного визначення штучного інтелекту і часто застосовується до системи управління NPC в цілому.

Загалом, застосування управління ШІ можна розділити на три рівні управління поведінкою [15]:

- управління рухом: нижній рівень управління NPC, визначає алгоритми, які перетворюють рішення, що приймаються NPC AI, в рух. Це може включати в себе прості завдання, такі як запуск відповідної анімації на основі рішення, або деякі більш складні алгоритми, такі як пошук шляху і навігація поміж перешкодами.

- прийняття рішень: ШІ застосовується для прийняття складних рішень, вибору відповідної реакції на дії гравця, як правило, з бази даних можливих дій. ШІ цього рівня вирішує, яку дію слід виконати далі.

- стратегія: вищий рівень прийняття рішень, застосований до групи NPC, які працюють разом. Кожен окремий персонаж в групі може мати свої власні рішення на нижчому рівні, але на процес прийняття рішень впливає групова стратегія.

Саме управління рухом в основному сфокусовано на технічному рівні, наприклад, запуск набору анімації або певної запропонованої дії (наприклад, якщо противник в «Super Mario Sunshine» виявиться поруч з гравцем, він буде атакувати). Але управління рухом тісно пов'язане з процесом прийняття рішень, оскільки його завданням є виконання поведінкових рішень верхньої системи.

Найпростіше і найпоширеніше використання ШІ в відеоіграх – це пошук шляху на кордоні рівнів управління рухом і прийняття рішень. Фіксовані маршрути прості в реалізації, але їх дійсно легко зруйнувати (наприклад, помістивши об'єкт на шляху NPC). Така методика не забезпечує ніякої адаптації до середовища і, отже, накладає багато обмежень на ігровий дизайн та ігровий процес. Таким чином, пошук шляху (в тому числі пошук шляху для укриття) є одним з найбільш важливих компонентів в грі. Ігрова система повинна бути здатна знайти найбільш ефективний шлях для NPC від місця походження до пункту призначення, уникаючи перешкод і забезпечуючи реалістичний рух.

Проблема пошуку шляху зазвичай вирішується за допомогою перевірених і випробуваних алгоритмів і технологій ШІ, таких як алгоритм A* [20]. Цей алгоритм був застосований в широкому спектрі ігор. Тим не менш, деякі програмісти ШІ виявили, що використання алгоритму A* може призвести до неадекватного і нереалістично руху [34]. Наприклад, в «Age of Empires» юніти можуть застрягти в елементах середовища, таких як дерева, через неефективне та неправильного використання алгоритму A*.

Наступний рівень контролю NPC – прийняття рішень. Існує безліч способів реалізації прийняття рішень в комп'ютерних іграх. Персонаж має набір інформації з зовнішнього світу гри, і він використовує цю інформацію, щоб підібрати рішення і подальші дії. Більшість ігор використовують прості методи ШІ для прийняття рішень NPC. Як правило, це методи кінцевих автоматів та дерев рішень.

Дерева рішень мають перевагу в модульності і простоті реалізації [15]. Вони можуть бути використані різними способами на кожному рівні управління NPC від анімації до стратегії і тактики. Дерева рішень генерують відповідні

заходи з набору можливих дій на основі початкового рішення. Незважаючи на те, що цей метод вважається досить простим, базовий алгоритм дерева рішень може бути розширений для виконання складної поведінки. Але ця техніка ШІ досить стара і рідко використовується в сучасних комп'ютерних іграх.

Кінцеві автомати [35] призначені спеціально для зміни стану NPC, коли на нього впливає зовнішнє середовище або коли відбувається якась подія, і використовуються в багатьох відеоіграх для систем прийняття рішень. Системи такого виду містять стани NPC у вигляді вузлів з пов'язаними діями та поведінкою, а також переходи з набором умов, які можуть привести NPC з одного стану в інший (див. рис. 2.1). Кінцеві автомати зазвичай реалізуються за допомогою сценаріїв і простих операторів if-then, тому вони пропонують тільки базовий контроль поведінки. Кінцеві автомати обмежені обчислювально і погано масштабуються, тому вони не здатні вирішувати великі проблеми і запускати кілька варіантів поведінки одночасно [21].

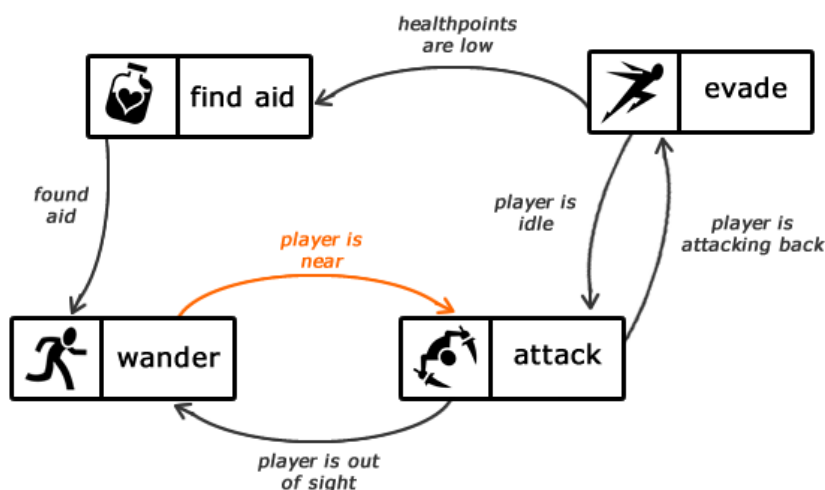


Рисунок 2.1 – Використання кінцевих автоматів в комп'ютерних іграх

Алгоритм A*, дерева рішень і кінцеві автомати – це найбільш поширені методи штучного інтелекту, які в основному використовуються при розробці відеоігор для прийняття рішень, але, як було сказано раніше, вони досить старі і

починають втрачати свою популярність через погане масштабування, обмежені можливості та нездатність реалізувати складну поведінку.

Набули популярності інші методи, такі як Планування і Дерева поведінки, для управління складністю поведінки, через такі популярні ігри, як «F.E.A.R.» і «Halo 2».

На відміну від дерев рішень і кінцевих автоматів, планування не вказує NPC, як саме він повинен поводитись в тій чи іншій ситуації. Система планування ШІ встановлює цілі та набір дій, які можуть бути виконані для досягнення конкретної мети. З технічної точки зору, планування – це «формалізований процес пошуку послідовності дій для досягнення мети» [36]. Перевага такої системи полягає в її здатності роз'єднувати мету і дії, так що різні NPC можуть вибирати свою тактику і відрізнитися один від одного. Ще однією перевагою є багаторівневий підхід, який дозволяє композувати складні поведінки з простих низькорівневих дій.

Варіації цих технік можуть бути синтезовані в техніку штучного інтелекту, звану деревами поведінки [37], яка вперше була використана творцями гри «Halo 2». Дерева поведінки – це комбінація ієрархічних кінцевих автоматів, планування і виконання дій. На відміну від ієрархічних кінцевих автоматів, основний блок дерева поведінки – це не стан гри, а завдання. Завдання можуть відрізнитися від вибору номера з поточного стану гри або виконання певної анімації. Основною перевагою дерев поведінки є їх ієрархічна структура, тобто завдання складаються в піддерева, які представляють собою складні дії, а потім ці дії можуть бути складені в поведінку високого рівня, тому немає необхідності турбуватися про деталі реалізації (виконання) під-завдань. [37, 38]

Описані вище методи також можуть бути застосовані для стратегічного рівня контролю NPC, як це було зроблено, наприклад, в «Half Life», де кінцеві автомати також використовувалися для управління загальним підходом для групи NPC. У грі команда NPC може співпрацювати, щоб оточити гравця.

Незважаючи на старіння згаданих методів, є кілька приголомшливих прикладів їх використання. Гра «F.E.A.R.» стала еталоном шутерів від першої

особи, де бойові NPC керовані ШІ. У грі використано відомі методи, описані вище, такі як кінцеві автомати та планування для управління поведінкою персонажа, і алгоритм A^* як для пошуку шляху, так і для планування послідовності дій. Їх система управління поведінкою складається тільки з трьох станів, але ШІ може ховатися, відкривати вогонь, стрибати через вікна, спілкуватися між собою та виконувати безліч інших дій [36, 39, 40].

Системи ШІ для управління в іграх «F.E.A.R.» та «Half Life» є хорошими представниками того, як можна використовувати такі технології ШІ, як кінцеві автомати та дерева рішень, якщо вони ідеально сумісні на рівні дизайну та здатні вирішувати завдання, з якими стикаються розробники ігор.

Ще одна чудова річ в ШІ «F.E.A.R.» — це те, що він демонструє здатність реагувати на навколишнє середовище і зміну внутрішнього стану NPC. Наприклад, якщо гравець має перевагу, команда спробує знайти безпечний спосіб відступити або застосує сліпий вогонь, щоб змінити укриття [36]. Це те, що називається адаптивним штучним інтелектом в грі. Але іноді, хоча поведінка NPC може здатися розумною, ніяка реальна техніка ШІ не використовувалося при розробці гри.

2.2.2 Штучна дурість

Відповідність дій неігрових персонажів до оточення часто встановлюється за допомогою «хитрощів і вивертів», як це було зроблено в «Half-Life»: розробники ігор надавали неігровим персонажів діалоги та пов'язані дії (наприклад, персонаж міг кричати «Граната», насправді кидаючи гранату), що насправді не були передані іншим NPC команди, створюючи ілюзію співробітництва NPC [41, 23].

Цей вид практичних і простих обхідних шляхів можна побачити в багатьох іграх. NPC своєю поведінкою дають гравцям підказки до своїх подальших дій.

Наприклад, вони можуть рухатися до фактичної атаки, дозволяючи гравцеві визначити присутність противника та даючи час адаптуватися, або вони можуть навмисно пропустити перший постріл, попередити гравця деякими звуковими або візуальними повідомленнями. Якщо гравець повинен бути атакований групою сильних ворогів, тільки деякі з них будуть спочатку наносити шкоду, щоб не приголомшити гравця.

Всі ці хитрощі використовуються для того, щоб покрити нестачу складності ШІ в грі, тому іноді їх називають штучною «дурістю», а не «інтелектом». Детальніше про це можна прочитати в [23].

2.3 Адаптивність в комп'ютерних іграх

У цьому розділі описуються способи досягнення адаптивності в комп'ютерних іграх і аспекти систем управління іграми, які можуть працювати над поліпшенням адаптації, наприклад, джерела адаптивності, рівні адаптації та адаптивні компоненти.

Здається, що більшість інтелектуальних ігрових систем для прийняття рішень, стратегічного і тактичного планування поводяться строго за сценарієм [42, 40]. Дерева рішень, дерева поведінки, кінцеві автомати контролюють процес прийняття рішень, вибираючи відповідну реакцію та послідовність дій з бази можливих дій, де кожна конкретна поведінка ініціюється іншою певною дією або варіантом діалогу.

Методи, описані в Розділі 2.1, демонструють задовільні результати вибору заздалегідь визначеної послідовності дій і базової чутливості до контекстних змін, таким як зміна середовища та дій гравця (див. приклад «F.E.A.R.» в Розділі 2.1). Вхідні дані системи прийняття рішень «F.E.A.R.» – мета та дії, які можуть бути виконані для досягнення цієї мети; мета системи – визначення відповідних послідовностей [40]. Проте, NPC будуть виконувати ті ж дії у відповідь на ті ж

зміни, роблячи варіації тільки в послідовності, не відповідаючи тому, що сталося раніше в грі. Таким чином, ігровий процес виглядає схожим і повторюваним від одного бою або зіткнення до наступного.

Однак більш пізні методи ШІ дозволяють розробникам виходити за рамки таких запропонованих взаємодій та створювати системи, які можуть не тільки давати базовий відгук на дії гравця та зміни навколишнього середовища, але також дізнаватися про них і від них та використовувати отримані знання для адаптації своєї власної поведінки, а отже, надавати гравцеві більш свіжий і індивідуальний досвід. На цьому рівні адаптивний ігровий ШІ може підвищити складність гри, змушуючи гравця постійно шукати різні стратегії й тактики, щоб перемогти мінливу й адаптивну природу інтелектуального NPC [14].

У наступних підрозділах будуть описані терміни та визначення, характерні для ігрового ШІ, й аспекти, які впливають на поведінкові зміни й адаптацію.

2.3.1 Види адаптації в залежності від джерела

В залежності від того, як реалізована адаптація в грі або які дані використовує ШІ для адаптації, вона може бути двох видів: пряма та непряма.

Непряма адаптація агента ігрового ШІ з'являється, коли ШІ витягує статистичну інформацію зі світу та поведінки гравця, а потім використовує її для зміни своєї поведінки. Одним із прикладів непрямого способу адаптації є визнання кращого способу вбити гравця. ШІ може змінити шлях переміщення NPC, змушуючи його відвідувати місця, які найчастіше відвідує гравець. Непряма адаптацію чітко присутня в «Alien: Isolation». Згідно оглядачів ігор та звітів розробників, ксеноморф, головний антагоніст гри, може вчитися навіть на смерті гравця та частіше відвідувати місця, де гравець був убитий в попередніх ігрових сесіях. Цей підхід, загалом, дуже добре працює над викликом і захопленням, зануренням гравця в гру, так як головний антагоніст завжди знаходиться

неподалік (приклад «Alien: Isolation» [43]), відвідуючи місця, де гравець був раніше, і таким чином створюючи відчуття напруги і напруженості.

Непряма адаптація — швидка й ефективна, оскільки статистична інформація може бути легко вилучена та швидко застосована в процесі гри, забезпечуючи практично негайну відповідь. Крім того, зміни в поведінці чітко визначені і контролюються, тому їх можна легко перевірити, а ймовірність неадекватної і неправдоподібної поведінки може знизитися [14].

Проте, здатність контролювати поведінку NPC є також і недоліком методу, оскільки як ігрові дані, так і поведінкові зміни повинні бути визначені ігровими дизайнерами на стадії виробництва.

Пряма адаптація на практиці здійснюється шляхом параметризації поведінки агента ШІ. Алгоритми навчання для цього виду адаптації намагаються знайти параметри та поведінку, які найкраще працюють в грі.

Основними перевагами технік, які можуть запропонувати пряму адаптацію, є змога агентів ШІ навчатися безпосередньо на своєму досвіді в грі та відкривати нову поведінку. Поведінка може розвиватися майже нескінченно і, отже, забезпечувати постійний виклик гравцеві. Проблема полягає в дуже низькому контролі за адаптацією агента ШІ і, отже, високу ймовірність непередбачуваної і неадекватної поведінки, яка може виникнути в результаті неправильної оцінки або впливу випадкових показників [14].

Популярна гра в бога «Black & White» представила інноваційну ідею для управління поведінкою NPC за допомогою моделі переконань, бажань та намірів (Belief-Desire-Intention model, BDI) як архітектурного підходу до ігрового ШІ, що включає дерева рішень та нейронні мережі [44]. Він має складну систему навчання для істот, які виховуються гравцями. Проблема цієї системи полягає в її вразливості до ненавмисного впливу з боку гравця; а отже, адаптація ШІ може призвести до непередбачуваного та небажаного поведіння істот, заважаючи таким чином гравцеві. Крім того, оцінка вимагає багато вимірів для визначення найкращої поведінки. Це може вплинути на продуктивність гри в цілому, так як вимагає великої кількості обчислювальних ресурсів [14].

2.3.2 Інтра- та інтер-поведінкове навчання

Навчання штучного інтелекту можна використовувати на двох рівнях адаптації: інтра-поведінковому та інтер-поведінковому. Ці рівні описані в [15].

Інтра-поведінкове навчання – це вид, що змінює невелику область поведінки NPC. Цими областями можуть бути, наприклад, визначення найкращого шляху для зони патрулювання, вивчення укриттів навколо цієї області тощо. Інтра-поведінкове навчання легше реалізувати та протестувати, а також воно може бути зіставлено з непрямомою (заснованою на статистиці) адаптацією.

Але алгоритми інтра-поведінкового навчання не забезпечують абсолютно іншу поведінку, ШІ не навчиться іншим, новим шляхам досягнення мети.

Іншим видом навчання є інтер-поведінкове, коли персонаж змінює свою поведінку на новий шаблон, щоб знайти нові способи перемогти гравця. Наприклад, визначення найкращого способу вбивства гравця або вибір відповідної реакції на поведінку, характерну для конкретного типу гравців (якщо гравець видає занадто багато шуму, NPC буде приділяти більше уваги звукам або знайде інший спосіб визначити місцезнаходження гравця в протилежній ситуації).

Абсолютна адаптація поведінки є складним випадком і навряд чи буде використовуватися в іграх, але ШІ може навчитися вибирати серед деяких предписаних поведінь та стратегій (або комбінувати базові поведінки для створення нової тактики/стратегії).

Ці два види навчання можуть бути об'єднані: інтер-поведінкове навчання може використовуватися для моделі поведінки, а інтра-поведінкове навчання може використовуватися для настройки деяких параметрів поведінки.

2.3.3 Моделювання опонента/гравця

Персональний досвід, який вважається одним з елементів для досягнення відчуття занурення й участі в іграх, вимагає, щоб ігрова система оцінювала кожного окремого гравця. Моделювання опонентів (в даному випадку мається на увазі гравець-людина) – це підхід, який використовується для створення моделей гравців-супротивників і використання їх в реальному ігровому процесі [6]. Модель гравця – це абстрактний опис гравця-людини, що грає в гру [16]. Моделювання гравця призначене для виявлення, прогнозування та вираження характеристик гравця, які проявляються у вигляді когнітивних та поведінкових патернів. Мета цього підходу полягає в налаштуванні та поліпшенні можливостей ігрового ШІ для адаптації до гравця і персоналізації ігрового процесу.

Перевага цього підходу полягає в тому, що гра адаптується до кожного окремого гравця з урахуванням уподобань, потреб, стилю гри гравця, а також емоцій і фізичної реакції на ігрові події (частота серцевих скорочень, артеріальний тиск тощо). Уподобання гравця в цьому підході визначаються під час самого ігрового процесу або за допомогою спеціальних анкет і самозвітів, на відміну від переваг, які встановлюються для людського ігрового аватара перед фактичної грою (тобто клас персонажа, амуніція, навички і т.д.) [11].

Карпінський в [17] класифікував підходи до моделювання гравців відповідно до вихідних ігрових даних і даних, зібраних в ході реального ігрового процесу. Згідно [17, 45], є п'ять основних категорій, які групують риси, що відрізняють гравців один від одного.

Перша — уподобання гравців. Уподобання гравців визначають класифікацію гравців по їхнім смакам у відеоіграх, крім жанрів відеоігор. Ця класифікація застосовується до уподобань гравця для певних характеристик і концепцій у відеоіграх, наприклад, «співпраця», «стратегічне планування» і т.д. Погляд Карпінського на уподобання гравця слід відрізнити від іншого погляду – «стилю гри» в певному жанрі, наприклад, «досліджувати» або «збирати» в RPG.

Однак в підрозділі 2.3.3.2 (Розпізнавання стилів, яке буде обговорюватися пізніше) уподобання гравця прирівнюються до абстракції «ігрового стилю», яку можна застосовувати до стилю незалежно від жанру гри, оскільки він групує конкретні уподобання відповідно до особистості.

Категорія особистості гравця дуже близька до попередньої, але в цьому випадку використовуються психологічні моделі особистості (модель з п'ятьма факторами [46] та індикатор типу Майерса-Бріггса [47]). Для адаптації гри, заснованої на уподобаннях гравця, пропонуються нові, специфічні, моделі особистості для опису різних типів гравців.

Третя категорія, досвід гравця, відноситься до емоційної та когнітивної реакції гравця під час гри. Категоризація може бути зроблена шляхом визначення взаємозв'язку між діями внутрішньоігрового гравця та фізіологічними реакціями або звітами про самооцінку.

Продуктивність гравця – це показник того, наскільки добре гравець просувається по ігровому рівню. Основна увага приділяється розподіленню гравців за ступенем складності, з якою вони долають перешкоди, тобто створенню відповідності рівня складності навичкам гравця. Продуктивність гравця також може відноситися до швидкості проходження місії.

П'ята категорія, ігрова поведінка гравця, схожа на ігрові уподобання, але в цьому випадку клас відноситься тільки до поведінкового стилю гри гравця, заснованому на вживаних гравцем заходах і використовуваних стратегіях.

Яннакакіс [18] запропонував інший розподіл цих рис. Згідно [18] вхідні дані для моделювання гравця можуть бути розділені на три групи/типи: дані ігрового процесу (дані про поведінку гравців, уподобання та ігрові дії), об'єктивні дані (фізичні дані стану гравця, тобто мови та рухів тіла, фізіологічні вимірювання) і дані ігрового контексту (які відносяться до взаємодії гравця та гри та можуть включати в себе дані, витягнуті зі створеного, переглянутого або програного контенту).

Персоналізація відеоігор з використанням моделювання гравців застосовувалася в ряді ігор для різних елементів гри, класифікованих відповідно

до даних, описаних вище, але це було зроблено в основному в дослідницьких експериментальних іграх, не в комерційних. Ось деякі приклади, представлені Карпінським, які демонструють вид вхідних даних й особливості гри, для яких ці дані були застосовані:

– уподобання: карти та сюжет в рольових іграх (набір уподобань гравця є вхідними даними для перетворення сюжету та карт гри [48]), контроль складності (буде обговорюватися пізніше), рівні платформи (питання з множинним вибором і продуктивність гравця використовуються для моделювання уподобань гравця та створення рівня, який може бути цікавий гравцеві [49]);

– досвід: положення камери (використання афективного відгуку гравця для регулювання положення камери з метою створення більш афективного досвіду [50]), сюжет та історія (для управління сюжетом використовувався афективний стан гравця, щоб домогтися більш драматичного ефекту [51]), рівні платформи (внутрішньоігрова система здатна прогнозувати шість афективних станів на основі самозвітів гравців [52]);

– продуктивність: рівні платформи (див. [49]), вид і кількість ворогів (тестова гра, створена Ю та Травіком [53], включає в себе поведінку в грі, короткий огляд уподобань та продуктивність для налаштування ворогів), коригування складності (буде обговорюватися потім);

– поведінка в грі: структура квестів (поведінка використовувалася Булітко в інтерактивному розповіданні історій [54]), коригування складності (буде обговорюватися пізніше).

Як зазначено в наведеному вище описі видів вхідних даних, деякі дані, які можна використовувати для персоналізації, вимагають спеціального обладнання або додаткових даних, зібраних поза ігровим процесом, що може перешкодити зануренню гравця в гру. Дані ігрових уподобань можуть бути зібрані за допомогою анкет до початку гри або як частина гри за допомогою внутрішньоігрових діалогів з кількома варіантами вибору, але дані також можуть бути зібрані й в процесі гри. Спостереження за досвідом може бути здійснено одним із двох способів або їх комбінацією: об'єктивно за допомогою

фізіологічних сигналів (артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, але в основному за допомогою розпізнавання емоцій на обличчі) або суб'єктивно за допомогою самозвітів [17].

Продуктивність гравця та ігрова поведінка – це види даних, які збираються в процесі гри. Таким чином, в наступному дослідженні основна увага буде приділена цим двом видам в якості вхідних даних, які можуть бути зібрані безпосередньо з процесу гри, а отже, більш надійні.

2.3.3.1 Моделювання поведінки

Методи поведінкового клонування (або моделювання) можуть бути використані для підвищення сили та ігрових навичок агентів ігрового ШІ шляхом копіювання стилю гравця-людини і, таким чином, надати виклик досвідченим гравцям, а також адаптуватися до посередніх гравців та новачків і постійно пристосовуватися до збільшення або зменшення майстерності гравця.

Цей підхід використовувався в гоночній грі Forza для навчання NPC-водіїв шляхом копіювання ігрового стилю гравця. Їх система штучного інтелекту, звана Drivatar, підключена до хмарного сховища, де зібрані ігрові дані про гравців витягуються й потім використовуються для створення неігрових водіїв. Персонажі наслідують поведінку інших гравців, включаючи, окрім сили, їх помилки та слабкості, що робить NPC більш правдоподібними [55]. Згідно [16, 56], до моделювання гравця можуть бути застосовані чотири підходи, які використовують поведінку гравця в грі:

- моделювання дій: моделі дій відносяться до ігрових дій, які спостерігаються в процесі гри, і тим, які виводяться зі спостереження;
- моделювання тактики: тактичні моделі – це моделі, побудовані на основі спостереження локальної короткострокової поведінки і складаються з дій;

– моделювання стратегії: стратегічні моделі створюються на рівні довгострокових глобальних ігрових шаблонів і складаються з тактик, використовуваних гравцем;

– профілювання гравця: всі перераховані вище моделі можуть бути складені для визначення профілю гравця, оскільки вони мотивовані психологічним типом гравця.

Причиною використання моделей дій є передбачення дій гравця, що є метою більшості розробників ігор. Знаючи можливі дії, які гравець може зробити в найближчому майбутньому, ігровий ШІ може генерувати підходящу відповідь. Але на практиці ці моделі мають обмежене застосування, якщо тільки вони не використовуються для інших моделей.

Тактичні та стратегічні моделі можуть бути застосовані для того, щоб створити серйозну проблему для гравців. Вони здатні до більшого узагальнення, ніж моделі дій; отже, їх можна використовувати для адаптації і персоналізації ігрового досвіду і завдань.

Як правило, профіль гравця включає в себе всі знання вхідних і зібраних даних, описаних в розділі 2.3.3 (моделювання опонента/гравця). Яннакакіс в [18] проводить відмінність між моделюванням і профілюванням гравця, стверджуючи, що останнє засноване на статичній інформації, яка не змінюється в процесі гри. Проте, профіль гравця може включати інформацію про поведінкові, тактичні та стратегічні патерни, оскільки вони також можуть бути мотивовані особистістю гравця та його психологічними рисами.

Профілювання гравців має великий потенціал, щоб надати більш істотний вплив на досвід, який гравці можуть мати в грі. Як тільки всі аспекти поведінки гравця будуть розпізнані, ігровий ШІ може використовувати зібрані дані для поліпшення персоналізації контенту, налаштування поведінки NPC або зміни дизайну ігрового середовища, щоб відповідати індивідуальним гравцям.

Основними підзадачами поведінкового моделювання є імітація, прогнозування, кластеризація та навчання асоціативних правил [18]. Мета імітації в контексті адаптованості гри полягає в розробці правдоподібного NPC з

поведінкою, подібною людській, для занурення гравця в гру. Передбачення може допомогти системі ШІ, що контролює поведінку NPC, ефективно визначати дії, які повинні бути зроблені у відповідь на передбачені ситуації. Кластеризація важлива для створення персоналізованого контенту, оскільки вона дозволяє класифікувати гравців, а потім акцентувати увагу на адаптації конкретного ігрового компонента. Крім того, можна використовувати асоціативний аналіз для визначення найбільш частих моделей поведінки, щоб визначити, як насправді поводиться гравець у грі. Ці дані потім можуть бути використані для адаптації різних ігрових компонентів.

2.3.3.2 Розпізнавання стилю гравця та адаптація

Адаптація гри до стилю гравця є перспективним напрямком досліджень, оскільки дозволяє надати індивідуальний досвід гравцям, виходячи з їх потреб, уподобань та мотивації. Адаптація ігор до ігрових стилей може підвищити задоволеність гравця викликами, що виникають в грі. Олексієва-Петрова визначила чотири стилі гри [57, 58] на основі простору обробки і сприйняття Колба [59] й створила сімейство ігрових стилів ADOPTA (ADaptive technOlogy-enhanced Platform for eduTAinment, адаптивна технологічно розширена платформа для навчання через розвагу), яке включає в себе наступні варіанти стилю гри:

- конкуренти: досвідчені гравці, яким подобається ризикувати; мають досвід швидкого прийняття рішень; вважають за краще почати активну гру якомога швидше; описуються іншими як найбільш активні гравці;
- мрійники: гравці-спостерігачі, так як вони вважають за краще спостерігати за ігровим середовищем, а не контролювати його; віддають перевагу керованому геймплею на тому ж рівні, поки не освоють гру до кінця; дуже емоційні та відкриті; мають потребу бачити різні способи вирішення завдання місії і ретельно вибирати між ними;

– логіки: воліють мати логічні й аналітичні підходи для вирішення проблеми; вивчають всі складності правил гри та намагаються застосовувати їх до кожного ходу раціональним і досконалим чином; намагаються встановити і використовувати структурні підходи засновані на часі для завершення місії та збирати ігрові факти в схему, яка потім може бути використана для визначення тактики і стратегії;

– стратеги: їм до вподоби рішення складних ігрових місій з найбільш ефективною стратегією; знаходять всі практичні способи вчасно вирішити проблему гри; мають довгострокове мислення при плануванні своїх стратегій; їм подобається створювати теорії, перевіряти гіпотези про ігрові стратегії; цінують передбачувану практичну користь їх дій та рішень; демонструють хороші управлінські навички.

Щоб реалізувати адаптацію гри на основі стилів, стиль гравця повинен ефективно розпізнаватися [58]. Існує два способи розпізнавання стилю гравця: самозвіт і автоматичне розпізнавання.

Розпізнавання стилю може бути зроблено через самозвіт в формі опитувальника. Таким чином, стиль розраховується до початку самої гри. Цей підхід вимагає додаткового ігрового часу і має суттєвий недолік, оскільки самооцінка гравця може бути суб'єктивною, а отже, неефективною в контексті адаптації на основі стилю.

Автоматичне розпізнавання стилю гри є набагато більш багатообіцяючим підходом, тому що воно визначає стиль людини-гравця, аналізуючи взаємодію гравця з ігровим світом і досягнуті результати. На відміну від статичного підходу до самооцінки, розпізнавання стилю більш ефективно, оскільки гравці не знають про процес. Цей підхід був реалізований шляхом автоматичної класифікації ігрових метрик і функцій, що відносяться до конкретних рис поведінки [58]. Стили гри можна класифікувати за допомогою різних підходів, які включають самоорганізаційні карти, аналіз нечітких кластерів з прихованими моделями Маркова та різноманітні класифікатори. Вони виконують онлайн-аналіз стилю гри

та забезпечують основу для динамічної адаптації різних ігрових функцій на основі стилів.

2.3.4 Динамічне балансування складності гри

Баланс складності або шкала складності – це автоматична адаптація рівня складності гри відповідно навичкам гравця. З точки зору ШІ, масштабування складності націлене на досягнення «рівної гри» для гравця, сильного або посереднього. [3, 9]

Ігровий ШІ вважається більш цікавим, коли його важко перемогти, хоча це не відноситься до новачків, які будуть вражені сильною системою ШІ. Для кожного типу гравців ігровий антагоніст повинен бути складним, але переможним.

Масштаб складності може бути реалізований як попередньо визначене налаштування складності гри (те, що гравець вибирає до початку гри) і в такому вигляді досить часто використовується в іграх. Попередньо визначена складність гри може згадуватися як налаштування складності, тобто вона представляється у вигляді дискретного параметра, який визначає, наскільки складна гра. Зазвичай цей параметр налаштовує тільки фізичні параметри NPC, наприклад кількість здоров'я, швидкість, кількість ворожих NPC в цілому, сила ворога (кількість шкоди, яку може завдати персонаж) і рідко впливає на тактику. Навіть на «важкому» рівні поведінка NPC має лише невелику відмінність від поведінки на більш низьких рівнях. Крім того, іноді гравцеві важко відразу знайти підходящу складність. Ворог може бути дуже сильним на «важкому» рівні або недостатньо сильним на «середньому». І як тільки гравець дізнається, що рівень складності занадто високий або занадто низький, він іноді не може змінити складність без перезапуску всієї ігрової кампанії. Проте, більшість ігор надають можливість змінити складність в процесі.

Що стосується динамічного масштабування або коригування складності (dynamic difficulty adjustment, DDA), то, якщо реалізована в грі, вона зазвичай адаптує деякі зі згаданих вище параметрів, але, як зазначено в назві, в реальному часі, вивчаючи навички гравця під час ігрового процесу. Це можна зробити як онлайн (безпосередньо під час зустрічі), так і оффлайн (між рівнями або етапами гри). Цей підхід був успішно реалізований в багатьох ігор. Наприклад, в серії ігор «Crash Bandicoot» перешкоди можуть сповільнюватися, і якщо число смертей гравця збільшується, з'являється більше очок продовження. У «Fallout 3», коли гравець досягає нових рівнів в грі, старі вороги замінюються більш жорсткими неігровими персонажами, які мають більш високі фізичні параметри і краще оснащення, щоб підтримувати «рівну гру».

Але все ж, як уже згадувалося раніше, адаптація поведінки до навичок гравця за допомогою DDA-підходів – досить рідкісний випадок. У Resident Evil 4 була застосована система «Шкала складності» для регулювання сили та поведінки ворогів шляхом оцінки продуктивності гравця значеннями від 1 до 10. Ці оцінки також зіставляються з налаштуванням складності, наприклад, «Нормальний» рівень починається з 4 і може бути збільшений до 7 або зменшений до 2.

Однак до системи DDA в контексті поведінки проявили інтерес академічні дослідження ігрового ШІ. Коеволюційний алгоритм був використаний Демасі та Крузом для навчання ігрових персонажів [60]. Техніка дозволяє вижити тільки тим агентам, чії навички найбільш відповідають можливостям гравця. Онлайн коеволуція прискорює процес навчання, використовуючи визначених агентів з хорошими характеристиками як батьків для генетичних операцій зі створення нових агентів. Однак цей підхід досить обмежений. Дуже складно створити заздалегідь визначених персонажів, які можуть охоплювати всіх можливих умілих гравців або гравців з незвичайними стратегіями та поведінкою, тому алгоритм буде працювати погано для непередбачуваних випадків. Крім того, ця техніка дозволяє тільки збільшувати силу NPC, що унеможлиблює надання рівних можливостей гравцям, рівень яких зменшується через деякі події.

Спронк розробив ще один спосіб застосування DDA — динамічне скриптування, що є онлайн-методом адаптації, формою навчання з підкріпленням, адаптованою, щоб бути досить ефективною для створення скриптів на льоту [10, 61]. Розроблений ШІ використовує ваги, присвоєні можливим стратегіям, щоб визначити, чи слід застосовувати передбачувано сильні стратегії [9, 3]. Динамічні сценарії є дуже привабливою технікою, оскільки вони засновані на скриптах, методикою, яка популярна серед розробників ігор. Проте, їх недолік в тому, що вони жорстко запрограмовані та не можуть бути змінені під час процесу, а також їх випадковий характер підходу [42]. Це означає, що завжди є ймовірність поганих тактики та стратегії навіть після численних зустрічей. Може виявитися, що система ШІ не використовує потенційно сильні правила, так як вони не використовувалися під час першої зустрічі.

2.3.5 Контроль потоку/темпу

Динамічне регулювання складності знайшло застосування в так званому контролі потоку або темпу. У серії ігор «Left 4 Dead» для управління темпом гри була реалізована система під назвою «AI Director» [62, 55]. Інтенсивність та частота атак зомбі в грі можуть змінюватися на ігровому рівні відповідно до навичок гравців. Завдання «AI Director» – тримати гравців на межі: вони отримують рівно стільки часу без атак ворогів, скільки потрібно, щоб перезарядити зброю або залікувати рани. Частота атак буде потім відрегульована таким чином, щоб гравці продовжували проходити рівень. «AI Director» пізніше використовувався в іграх серії «Far Cry», «Evolve» і «Rocksmith 2014».

2.4 Висновки за розділом

Більшість ігрових систем ШІ для управління NPC поводять себе як строго заскриптовані [42, 40]. Такі методи, як дерева рішень, дерева поведінки, кінцеві автомати, контролюють процес прийняття рішень, вибираючи відповідну реакцію та послідовність дій зі списку можливих дій, де кожна конкретна реакція запускається іншою певною дією (набором дій) або варіантом діалогу.

Методи, описані в розділі 2.1, демонструють задовільні результати у визначенні запрограмованих моделей поведінки і базової чутливості до контекстних змін. Навіть в самих розвинутих методах, популярних в індустрії розробки ігор, NPC будуть виконувати ті ж дії у відповідь на ті ж зміни, роблячи варіації тільки в послідовності, що не відповідає тому, що сталося раніше в грі.

Пізніші методи штучного інтелекту дозволяють розробникам виходити за рамки таких заздалегідь написаних сценаріїв взаємодій і створювати адаптовні ігрові системи штучного інтелекту. Однак вони не знайшли широкого застосування в сучасній індустрії комп'ютерних ігор. Адаптивність у відеоіграх вивчалась вченими в області розробки ігор і дизайнерами ігор, але більшість досліджень має теоретичний характер і не знайшла застосування в сучасних іграх або залишилася без належної уваги.

Рабін в [14] описав застосування навчання в системах штучного інтелекту комп'ютерних ігор. Він визначив два види адаптації, заснованих на різних реалізаціях та джерелах інформації: непряма адаптація, яка використовує статичну інформацію з ігрового середовища (включаючи гравця), і пряма адаптація, реалізована у формі параметрів, які можна налаштовувати під час гри. Приклади такої адаптації можна знайти в декількох популярних іграх, відомих своїм ігровим процесом, наприклад, «Alien: Isolation» та «Black & White».

Два види навчання були запропоновані Міллінгтоном і Фунгом в [15]. В цілому, їх можна описати як рівні навчання всередині поведінки (інтра-поведінкове) та навчання між поведінками (інтер-поведінкове). Інтра-поведінкове

змінює лише невелику частину поведінки NPC, в той час як інтер-поведінкове навчання може істотно змінити поведінку NPC. Суворі визначення, дані авторами, навряд чи застосовні до сучасних комп'ютерних ігор, навіть автори називають їх «чистої фантазією» [15]. Проте, альтернативні визначення інтра- та інтер-поведінкового навчання можуть бути інтерпретовані таким чином, який можна знайти в різних комп'ютерних іграх. Наприклад, ШІ може навчитися вибирати серед деяких наперед визначених моделей поведінки і стратегій, щоб продемонструвати інтер-поведінкову адаптацію.

Моделювання опонентів (або гравців) є основною частиною дослідження в області розробки ігор, оскільки воно також може бути застосоване в серйозних іграх. Карпінський в [17] класифікував підходи до моделювання гравців відповідно до вихідних ігрових даних і даних, зібраних в ході реального ігрового процесу. Його класифікація включає п'ять основних категорій: уподобання гравця, особистість гравця, досвід гравця, продуктивність гравця та поведінка гравця в грі. Яннакакіс запропонував альтернативне розділення, виділивши три групи/види: дані ігрового процесу (поведінка гравця, уподобання та ігрові дії), об'єктивні дані (дані, зібрані з фізичного стану гравця, тобто мови та рухів тіла, фізіологічних вимірювань) і контекстні дані гри (які відносяться до взаємодії між гравцем і грою та можуть включати в себе дані, витягнуті зі створеного, переглянутого або програного контенту). Моделювання гравців є рідкісним випадком в розважальних відеоіграх і в основному застосовується до експериментальних ігор в рамках наукових досліджень. У сучасних іграх можна знайти тільки кілька реалізацій.

В рамках наукових досліджень були розроблені експериментальні адаптовні методи ігрового ШІ. Серед них є техніки динамічне скриптування, розроблене Спронком [10], і генетичний алгоритм, який використовується Крузом і Демасі [27] для динамічного балансування складності гри. Техніка «AI Director» була розроблена «Valve» для особливого випадку динамічного балансування складності гри – управління потоком [62, 55].

3 РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЇ ІГОР ЗАСНОВАНОЇ НА СКЛАДНОСТІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА АДАПТИВНОСТІ

У Розділі 2.2.2 (Штучна дурість) обговорювалися методи маскуванню для управління неігровими персонажами, що показують, як прості трюки та хитрощі можуть змусити неінтелектуальних NPC здаватися розумними. Крім того, в розділі 2.2.1 обговорювалися методи ШІ, що широко використовується розробниками ігор. Дерева рішень та поведінки, кінцеві автомати та планування, як і раніше, широко застосовуються для управління NPC в відеоіграх, якщо вони відповідають вимогам і сумісні з дизайном гри. І хоча недостача інтелекту або «дурна» поведінка часто обговорюється в спільнотах гравців, більшість ігор все ще комерційно успішні, на рівні, прийнятному для студій-розробників ігор та видавців. Наприклад, ШІ в «Tom Clancy's Ghost Recon: Wildlands» отримав велике невдоволення серед гравців. Спільнота гравців заявила, що ворожі неігрові персонажі, а також товариші по команді управління комп'ютером «тупі», оскільки вони часто застряють в навколишньому середовищі або не виконують дій, які повинні виконувати (наприклад, не допомагають гравцеві-людині під час бою). Також були невдоволення щодо правдоподібності контрольованих ШІ NPC в цій грі. Згідно відгуків гравців, точність стрільби ворогів дуже висока, а загальна сила робить їх ледве переможними. Однак, згідно зі звітом про продажі «Ubisoft», гра була одним з бестселерів компанії [63].

Звертаючись як до гравців, так і до товариства розробників, Йілдрім і Стін в [13] спробували визначити, яка інтелектуальна поведінка очікується від NPC і що робить NPC інтелектуальним агентом. Грунтуючись на різних визначеннях терміна «інтелектуальний агент», Франклін і Грейсер в [64] визначили набір властивостей, притаманних інтелектуальному агенту в термінах академічного штучного інтелекту, але які також можуть бути застосовані до ігрових NPC, оскільки вони контролюються системою ШІ та можуть вважатися агентами. Деякі з властивостей, які можуть бути застосовані до агентів NPC, вказані нижче:

- автономний – здатний контролювати свої власні дії;
- характерний – правдоподібна «особистість»;
- реактивний – своєчасно реагує на зміни навколишнього середовища;
- цілеспрямований – або проактивний, має мету, яка повинна бути досягнута в процесі гри;
- здатний до навчання – адаптує поведінку на основі попереднього досвіду;
- гнучкий – дії і їх послідовність не є строго визначеними.

Більшість персонажів в сучасних іграх реактивні, так як вони повинні реагувати на ігрові дії гравця відповідними реакціями, наприклад, стріляти у відповідь, якщо гравець починає атакувати NPC. У більшості ігор NPC також повинні змінювати свою поведінку відповідно до змін ігрового середовища. Одним із прикладів є пошук шляху, який присутній в більшості ігор на різних рівнях складності.

Цілеспрямованість в основному залежить від ігрового дизайну та технік штучного інтелекту, які використовуються в системі NPC. Цілеспрямовані NPC розглядають як наслідки своїх дій, їх вплив на навколишнє середовище, так і наскільки їх дії задовольняють їх мету. В сучасних комп'ютерних іграх для цілеспрямованих NPC може бути використаний підхід планування (див. розділ 2.2.1). І, в основному, здатність визначати послідовність дій і вибрати їх серед набору робить цілеспрямованих агентів гнучкими.

Особистість неігрового персонажа має кілька сторін і залежить від цілей творців гри. Особистість може бути виражена через діалоги характеру, емоції та поведінку. Всі ці функції можуть бути написані в сценарії, якщо вони націлені на те, щоб розповісти написану творцями історію, а також бути адаптивними, якщо це планувалося розробниками в контексті ігрового дизайну. Останнє було реалізовано в грі Forza (див. розділ 2.3.3.1).

Автономія агентів є складним питанням в процесі розробки відеоігор, а також в академічних дослідженнях, оскільки вона має безліч визначень. Але в основному це здатність контролювати свої дії. Згідно [65], функції автономного

агента включають в себе самодостатність, позиціонування, навчання та еволюцію, тому в основному він складається з усіх властивостей, притаманних інтелектуальним агентам, перерахованим вище.

Йілдрім і Стін також запропонували інші властивості, які можуть збільшити автономність NPC [13]. Ці риси включають контроль з боку агентів більш високого рівня (ієрархія агентів різної складності), видима взаємодія між агентами (коли один агент NPC може повідомити іншому про зміни в середовищі), складність прийняття рішень (або якість рішень з точки зору цілей NPC) і різноманітність репертуару дій (важливо для автономії, так як у NPC більше вибору між діями).

Більшість цих рис присутня в керованих штучним інтелектом NPC в сучасних іграх на тому чи іншому рівні, що робить неігрових персонажів інтелектуальними на базовому рівні (відповідно до академічного визначення), навіть якщо вони реалізовані за допомогою деяких хитрих прийомів.

Наступний рівень інтелекту в поведінці – це здатність адаптуватися до поведінки гравця в грі та його уподобанням, яка визначається всіма вищезгаданими властивостями та може впливати на них на різних рівнях.

Адаптивний контрольований ШІ NPC – реактивний, так як гравець та його дії є частиною ігрового середовища, а NPC повинен так чи інакше реагувати на будь-які зміни в ігровому світі [13]. Адаптивний NPC, керований ШІ, є гнучким, оскільки його дії та їх послідовність не є строго визначеними та можуть бути змінені в залежності від стану гри [13]. Сама здатність до адаптації вимагає спостереження за ігровою поведінкою та статистикою гравця, його аналізу і вивчення. Дані, отримані з поведінки та уподобань гравця, можуть потім використовуватися для адаптації цілей агентів NPC та послідовності дій, тобто впливати на цілеспрямованість персонажа. Глибше в автономії агентів NPC нагляд на різних рівнях складності агентів може забезпечити тактичну та стратегічну адаптацію, додаючи контроль над загальними рішеннями та цілями поведінки NPC. Складність та якість рішень і цілей також можуть покращуватися відповідно до поведінки конкретного гравця, що явно демонструє процес

навчання. Різноманітність репертуару дій та видиму взаємодію між агентами можна розглядати як інструменти для підвищення адаптивності, поліпшення якості процесу прийняття рішень та підвищення реалістичності та правдоподібності NPC.

Грунтуючись на матеріалі, отриманому з літератури та тематичних досліджень, ми вибрали набір рис для відображення різних аспектів штучного інтелекту в іграх і, зокрема, їх здатності адаптуватися до гравця-людини. Цей розділ присвячений окремим ознакам і пропонованому опису класифікації, заснованому на нашій інтерпретації вивченої інформації.

3.1 Автономія

Ми визначаємо рівень автономності NPC в грі, ґрунтуючись на особливостях, визначених Йілдрімом та Стіном в [13] та описаних раніше в розділі 3. Ці особливості: реактивність, цілеспрямованість, гнучкість та навчання.

Реакційна здатність є визначальною характеристикою для подальшого вибору ігор для аналізу, оскільки вона повинна бути основною рисою інтелектуальних NPC в грі. Взаємодія людини-гравця з навколишнім світом, включаючи NPC, є основою будь-якої гри. Це не обов'язково для нейтральних персонажів, наприклад, наповнювачів – людей та істот, створених, щоб заповнити фонове середовище та внести в нього більше життя. Тим не менш, це вкрай важливо для ворожих NPC. У всіх іграх, обраних для аналізу, є реактивний NPC, тому ця риса була відсутня в записах аналізу.

Цілеспрямованість є широко розповсюдженою характеристикою NPC в різних іграх, як показав аналіз ігрового набору. Більшість блогів розробників ігор повідомили про методи планування, які використовуються в їхніх іграх, або про функції, які демонструють видимих цілеспрямованих NPC.

Гнучкість – ще одна особливість, яка присутня в більшості ігор. Цілеспрямовані агенти в іграх мають тенденцію бути гнучкими: методи, використовувані в іграх для створення зорієнтованих на мету NPC, включають в себе можливість вибирати послідовність дій з визначеного набору елементарних дій або коротких підпослідовностей. Проте, рівень гнучкості варіюється, і деякі орієнтовані на цілі NPC не мають видимої гнучкості.

Функція навчання – це здатність NPC змінювати поведінку на основі попереднього досвіду. Це досить рідкісний випадок у відеоіграх, оскільки вимагає передових методів штучного інтелекту, численних спостережень та ресурсномісткого аналізу. Повідомлялося, що тільки в декількох іграх реалізований ШІ здатний до навчання. Різноманітні ігри передбачають наявність NPC, що можуть навчатися, за відгуками гравців, проте розробники цього не підтверджують.

3.2 Види адаптації в залежності від джерела

Ми визначили два класи адаптації в залежності від її реалізації та джерела: Пряма та Непряма адаптація. Вони докладно описані в підрозділі 2.3.1.

Пряма адаптація здійснюється шляхом параметризації поведінки NPC. Метою системи управління ШІ є пошук значень параметрів і поведінки, які найкраще працюють в грі проти гравця-людини. Цей вид адаптації складний і вимагає багато ресурсів для реалізації та використання в грі, але спрощені реалізації присутні і враховуються при аналізі набору ігор.

Клас прямої адаптації, в свою чергу, ділиться на три підкласи, що визначають різне використання підходу параметризації: Сенсорна система, Управління потоком (DDA) та Інше.

Сенсорна система зазвичай реалізується у формі пильності NPC, що запускається, коли гравець перетинає область «слуху», «нюху» або «поля зору»

NPC. Система зазвичай не адаптується сама по собі (її параметри визначені, проте ці значення можуть бути визначені на етапі виробництва з використанням методів навчання), але це може призвести до змін в деяких певних частинах поведінки NPC для адаптації до поведінки гравця.

Управління потоком є ще одним важливим використанням прямої адаптації у відеоіграх. Це одна з форм динамічного коригування складності (див. підрозділи 2.3.5 для динамічного регулювання складності і 2.3.6 для контролю потоку/темпу). «AI Director» – широко використовувана система регулювання темпу. Системи, подібні до «AI Director», не управляють NPC на рівні одного юніта, але вони діють як супервізор для груп і загальної стратегії ШІ (не NPC), який регулює кількість ворогів та частоту атак і «виснаження» гравців. Система орієнтується на продуктивність гравця в грі.

Підклас Інші включає випадки, які не відповідають жодному з класів, описаних вище або є винятковими. Серед них є такі ігри, як «Black & White» і мод Спронка для «Neverwinter Nights». Перший – хороший приклад прямої адаптації, оскільки вся поведінка монстрів NPC параметризована і змінюється у відповідь на заохочення або покарання з боку гравця. В останній згаданій грі кожна дія NPC має вагу, яка коригується в процесі гри, щоб знайти найбільш ефективні дії (докладніше див. розділ 2.3.5).

Непряма адаптація здійснюється з використанням статистичної інформації, витягнутої з ігрового середовища та поведінки гравця. Необхідна інформація та її використання визначаються ігровим дизайном та ігровими механіками. На відміну від прямої адаптації, клас Непрямої не підрозділяється на підкласи, так як серед досліджуваних ігор не було знайдено певного шаблону або конкретної інформації, наданої розробниками щодо реалізації систем налаштувань гри. Проте, більшість ігор використовують інформацію, отриману від внутрішньоігрових дій гравця.

Поєднання прямої і непрямої адаптації є рідкісним випадком, але часто зустрічається в іграх жанрів стелс і Survival Horror. Ми розрізняємо два типи комбінацій джерел адаптації:

- загальна ціль для обох джерел;
- окремі цілі для кожного з джерел.

У разі спільної мети обидва джерела працюють на адаптацію окремої частини поведінки або загального набору поведень. Тематичне дослідження показало, що цей тип комбінації в основному використовується для стелс-ігор, де первинна мета – приховування (в іграх таких як «Alien: Isolation» і «Monstrum»): сенсорна система, а також статична інформація про попередні зустрічі використовується для налаштування поведінки монстрів. В основному використовується для знаходження шляху.

Системи, орієнтовані на окремі цілі, часто використовують різні джерела для різних аспектів гри. Таким чином, одне джерело може використовуватися для поведінки NPC, а інше – для адаптації історії та/або середовища (як це робиться в серії «Dishonored», яка буде описана пізніше в розділі аналізу).

3.3 Інтра-поведінкова адаптація

В цілому, адаптація всередині поведінки змінює невелику область поведінки NPC або окремий аспект гри (див. підрозділ 2.3.2). Набір доступних поведень варіюється від гри до гри в залежності від цілей та дизайну гри. У багатьох іграх деякі частини поведінки змінюються в ході зустрічі або ігрового процесу. Однак ми вирішили проаналізувати ігри на основі найбільш помітних змін поведінки. Таким чином, ми поділяємо клас Інтра-поведінкової адаптації на три підкласи в залежності від того, яка частина поведінки адаптується, та групу для ігор без істотних змін в поведінці:

- підклас бойової адаптації;
- підклас адаптації для пошуку шляху;
- підклас інших типів адаптації;
- група ігор без видимої адаптації.

Бойова адаптація найчастіше використовується в іграх з упором на битву. Він включає в себе дії та вибір зброї, а також пошук укриття (в тому числі пошук шляху до місця укриття).

Адаптація пошуку шляху властива іграм, в яких ворожі неігрові персонажі повинні бути ближче до гравця більшу частину часу, а отже, з часом пристосовують свої шляхи патрулювання на основі інформації про можливі місця розташування гравця.

Підклас інших типів адаптації містить у собі ігри, які не відповідають двом попереднім класам через жанрову специфіку або видатний ігровий дизайн, але адаптація всередині поведінки присутня на основі доповідей розробників або відгуків гравців.

Група ігор без адаптації містить ігри, що не забезпечують ніякої суттєвої або видимої адаптації всередині поведінки.

3.4 Інтер-поведінкова адаптація

Інтер-поведінка – це загальна модель поведінки NPC. Адаптація інтер-поведінки – це клас, який змінює цю модель, щоб знайти нові способи перемогти гравця (див. розділ 2.3.2).

Для цього класу адаптації ми вирішили використовувати підкласи виділені в залежності від положення на шкалі з трьома рівнями, що представляє складність адаптації інтер-поведінки:

- в підклас «Відсутня» входяться ігри, в яких відсутня видима адаптація інтер-поведінки;
- підклас «Низька» призначений для ігор з розвиненими системами прийняття рішень та плануванням, які можуть забезпечувати помітно різну поведінку. Іншими словами, це висока реактивність у відповідь на дії гравця. Ці моделі, однак, не можуть розглядатися як адаптація до стилю гравця;

– в підклас «Висока» входяться ігри, в яких характер поведінки змінюється в залежності від дій та ігрового стилю гравця, щоб викликати більше перешкод і змусити гравця знаходити нові способи виконання завдань.

Пропонований поділ ґрунтується на наших спостереженнях за сучасними іграми та може не включати персоналізовану адаптацію до гравця-людини, оскільки, як було зазначено, це рідкісний випадок. Однак ми вирішили не виключати основні типи систем ШІ, що за твердженнями критиків та гравців є одними з кращих представників ШІ в іграх.

3.5 Профілювання гравця

Розширене профілювання гравця рідко використовується у відеоіграх, і, навіть якщо це так, функція часто інформативна або дуже звужена. Тільки декілька ігор використовують інформацію, отриману від гравця, для зміни ігрового середовища.

На основі аналізу ігор ми визначили два класи з п'яти можливих категорій (див. розділ 2.3.3) профілювання гравця, що застосовуються в сучасних іграх: клас Прогрес (або категорія продуктивності), який збирає інформацію про прогрес гравця за допомогою геймплею; клас Стиль гравця (відноситься до категорії поведінки гравця), який являє собою більш просунутий аналіз поведінки гравця в грі.

Високореактивні NPC, що належать до підкласу «Низької» інтерповедінкової адаптації і здатні використовувати різні моделі поведінки, не беруться до уваги, оскільки вони не адаптують модель поведінки до стилю гравця.

Повна класифікація з мета-класами, класами і підкласами, розроблена для цієї магістерської роботи, може бути знайдена в Додатку А.

4 АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ІГРОВОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Цей розділ присвячений аналізу ігор на основі наших спостережень та їх класифікації з використанням класів, описаних в розділі 3. Він включає опис набору обраних ігор, умовні позначення для таблиці класифікації (аналізу), аналіз ігор, докладне пояснення результатів для конкретних прикладів ігор з різних класів і аналіз популярності ігор на основі складності їх системи ШІ.

4.1 Надійність та достовірність

Як зазначалося раніше, дані, зібрані для етапу аналізу, являють собою сторонні дані, отримані зі статей, тематичних досліджень ігор, оглядів гравців і критиків. Однак лише невелика кількість цих джерел є офіційними звітами компаній-розробників або видавців і, тому, більш надійними. Висновки, зроблені на основі даних оглядів і тематичних досліджень, є упередженими, тому їх не можна вважати абсолютно об'єктивними.

Дані, зібрані для аналізу загального обсягу продажів, також є приблизними, оскільки тільки кілька компаній повідомляють про свої продажі. Джерело, що використовується для даних цього типу, збирає й апроксимує інформацію з численних джерел, тому реальні цифри відсутні. Однак метою аналізу є співвідношення між загальними продажами, тому для цієї роботи можна використовувати отримані числа, але це може вплинути на точність результатів.

Бал «Метакритика», який використовується для оцінки популярності серед критиків/рецензентів, — середній бал даної гри, заснований на балах з різних популярних джерел, таких як «Edge», «Game Informer» тощо. Цей бал присвоюється грі в цілому з урахуванням усіх аспектів продукту та думки

рецензента, і не може вважатися повністю об'єктивним. Проте, згідно з дослідженням [66], існує позитивна кореляція між балом «Метакритика» та досвідом гравця в плані випробувань, тому ми можемо покластися на результат, заснований на цьому балі. Крім того, оцінка «Метакритика» використовується великими компаніями-розробниками ігор в якості показника успіху [67, 68], тому вона є надійним джерелом інформації про популярність ігор.

4.2 Опис списку ігор та критерії відбору

Зразки ігор вибраних для аналізу охоплюють всі жанри, популярні в співтоваристві відеоігор:

- а) екшени:
 - 1) пригоди;
 - 2) рольова гра (скорочено RPG);
- б) шутери:
 - 1) від першої особи (first-person shooter, FPS);
 - 2) від третьої особи (third-person shooter, TPS);
- в) стелс та survival horror;
- г) стратегії.

Екшени – це ігри з акцентом на фізичний виклик, швидкі тактичні рішення та реакції. За винятком чистого жанру екшн, ігри, включені в зразок, представляють особливі піджанри, які є особобою сумішшю жанру екшен з іншими жанрами, наприклад, пригородою, яка орієнтована на інтерактивну історію та дослідження, або RPG, з акцентом на управління діями та розвиток персонажа в якомусь чітко визначеному світі, складність та занурення в сюжет і світ гри.

Шутер – це жанр екшен-ігор, проте основний акцент робиться на тестування швидкості та реакції гравця, тактичних навичок в бою, зазвичай із застосуванням вогнепальної зброї, тому ми відокремлюємо шутери від екшен-пригод і рольових

ігор, ґрунтуючись на цілі ігрової механіки. Найпопулярніші піджанри шутерів – це FPS і TPS. Різниця між ними полягає в точці зору персонажа. FPS імітує реальний зір людини, де можна бачити стільки, скільки можуть бачити очі, а TPS дає гравцеві розширений огляд ігрового персонажа і навколишнього середовища.

Стелс – це жанр гри, в якому гравець повинен ховатися, крастися або маскуватися, щоб здолати ворога або пройти рівень непоміченим. Він часто перетинається з жанром survival horror з акцентом на виживання в страшних обставин, де за гравцем часто слідує страшні істоти. Однак пізніше в survival horror з'явилося більше функцій екшен-ігор, тому деякі екшен-ігри та шутери можуть включати його в якості додаткового піджанру. У нашому ігровому прикладі survival horror в основному супроводжується стелс-механікою.

Стратегія — жанр ігор, де гравці керують своїми підрозділами (віддаючи їм накази будувати, захищати будівлі, охороняти територію, знищувати юніти й активи противника). В стратегіях в реальному часі усі гравці керують усіма своїми юнітами одночасно, в той час як в покроковій стратегії гравці повинні чекати своєї черги, щоб віддавати накази. Проте, ці жанри іноді об'єднуються, і риси одного жанру можуть з'явитися в грі іншого типу.

Ігри, вибрані для аналізу, є видатними представниками у всіх жанрах, відміченими критиками та рецензентами, або іграми, які, як виявилось, мають цікаві реалізації. Ігровий набір також включає в себе популярні ігри з точки зору продажів і оцінок.

Для цілей упорядкування та аналізу ми створили дві таблиці: загальну таблицю, яка включає загальну інформацію про ігри, згадані у цій роботі, та ігри, обрані для аналізу; і таблицю аналізу, що відображає інформацію про реалізацію ігрового ШІ в обраних іграх. Загальна таблиця наведена в Додатку Б і включає наступну відповідну інформацію про кожну обрану гру:

- опублікована назва;
- компанія-розробник;
- рік першого офіційного випуску;

- посилання на офіційну веб-сторінку (або сторінку Вікіпедії, якщо видавець або розробник) не надайте ніякої офіційній веб-сторінки);
- жанр;
- бал «Метакритика» першого випуску (середній бал для платформ, якщо гра була випущена на декількох платформах протягом одного року),
- посилання на сторінку гри і список відгуків на «Метакритикові»,
- загальний обсяг продажів (у мільйонах доларів США), отриманий з «VGChartz».

Таблиця аналізу складається з набору ігор, відібраних для подальшого аналізу систем ШІ та інформація про риси, описані в розділі 4. Приклад запису в таблиці аналізу можна побачити на рис. 4.1.

Назва	Жанр	Базова інформація			Адаптація				Популярність	
		Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-поведінка	Інтер-поведінка	Профільювання гравця	Бал Метакритика	Продажі
Alien: Isolation	Survival Horror	Так	Так	Так	Комб.	Шлях	Відсутня	-	80	2,46

Рисунок 4.1 — Зразок запису таблиці аналізу

Рядок запису в таблиці аналізу містить наступну інформацію:

- а) секція загальної інформації:
 - 1) опублікована назва в стовпці «Назва»;
 - 2) жанр в стовпці «Жанр»;
- б) секція базової інформації про ШІ:
 - 1) стовпець «Цілеспрямованість»;
 - 2) стовпець «Гнучкість»;
 - 3) здатність до навчання як стовпець «Навчання»;
- в) секція інформації про адаптацію:
 - 1) вид адаптації в залежності від реалізації/джерела в стовпці «Вид адаптації (джерело)»;
 - 2) можливість змінювати модель поведінки як стовпець «Інтер-поведінка»;

- 3) можливість змінювати невеликі області поведінки як стовпець «Інтра-поведінка»;
- 4) функції профілювання гравця як стовпець «Профілювання гравця»;
- г) секція інформації про популярність:
 - 1) стовпець «Бал Метакритика»;
 - 2) загальний обсяг продажів (у мільйонах проданих копій) як стовпець «Продажі».

Кожен стовпець у розділі III має визначений набір значень, які повинні бути обрані для кожного ігрового випадку. У більшості випадків комірка таблиці має два значення: текстове та кольорове. У наступному підрозділі буде описана легенда для секції III таблиці аналізу (див. також Додаток В).

4.3 Легенда таблиці

Інформаційна секція III таблиці аналізу складається з двох підрозділів: «Базова інформація» (стовпці «Цілеспрямованість», «Гнучкість» та «Навчання») та «Адаптація» (стовпці «Вид адаптації (джерело)», «Інтер-поведінка», «Інтра-поведінка» та «Профілювання гравця»).

Клітини стовпців підрозділу базової інформації можуть приймати одне з двох текстових значень: Так (якщо функція присутня в грі) або Ні (якщо функція відсутня). Кольорові значення клітини вказують на надійність та джерело інформації: зелений – на офіційні звіти розробників або компаній, інтерв'ю або пости, і наші висновки щодо заявлених методик; жовтий – на особистий досвід гравців, відгуки та повідомлення, і наші висновки, засновані на доступній інформації.

В підрозділі інформації про адаптацію значення варіюються в залежності від стовпця. Загальна колірна схема для стовпців вказує на джерело (як в

підрозділі «Базова інформація»): зелений – для офіційних джерел; жовтий – для джерел гравців. Деякі стовпці можуть мати додаткову колірну схему, що представляє підкласи.

Клітини стовпця «Вид адаптації (джерело)» можуть приймати одне з чотирьох текстових значень: Пряма (адаптація), Непряма, Комбінація і «-» (для групи ігор без адаптації, або джерело/реалізація невідомі) (див. розділ 3.2). Клітина може мати два колірних значення: індикатор джерела та колір підкласу для підкласів прямої адаптації.

Кольори підкласів:

- яскраво-синій – для підкласу Контроль потоку/темпу;
- світло-синій для підкласу Сенсорна система.

Комірка стовпчика «Інтра-поведінка» має одне з наступних значень, що представляють приналежність гри до певного класу інтра-поведінкової адаптації: Бій, Шлях, Інше або «-» (для ігор без видимої інтра-поведінкової адаптації) (див. розділ 3.3).

Комірка стовпця «Інтер-поведінка» приймає одне зі значень, що представляють рівні адаптації всередині поведінки: Відсутня, Низька або Висока (див. розділ 3.4). Значення кольору клітини є тільки індикатор джерела.

Комірка стовпчика «Профілювання гравця» може мати одне з наступних значень, що описує аспект поведінки гравця, аналізований ігровою системою: Прогрес, Стиль гравця або «-» (див. розділ 4.5).

Колірна схема також представлена для стовпця «Бал Метакритика» в розділі «Популярність» із зазначенням градієнта рейтингу:

- зелений – для високих оцінок гри (75-100);
- помаранчевий – для середніх оцінок (50-74);
- червоний означає низькі ігрові результати (0-49).

Високі оцінки вказують на визнані критиками та рецензентами ігри. Вони добре продумані, мають унікальний і деталізований візуальний стиль, збалансований і цікавий ігровий процес, захоплюючу історію. З технічного боку гра оптимізована, стабільна і має зручну систему управління грою.

Ігри із середнім балом зазвичай мають проблеми в деяких із зазначених вище частинах, часто зачіпаючи технічний аспект гри, наприклад, низький рівень оптимізації процесу та графіки або погано збалансовану систему управління.

Низькі ігрові бали присвоюються іграм з поганою оптимізацією, незбалансованим геймплеєм, збоями в грі, спрощеною бойовою системою тощо.

4.4 Аналіз та класифікація ігор

Цей підрозділ присвячений аналізу ігрових систем III популярних відеоігор та їх класифікація відповідно до наших висновків. Для зручності читання таблиць, представлених в цьому розділі, деякі назви обраних ігор були скорочені.

Нижче представлено список скорочень:

- Amnesia I – Amnesia: The Dark Descent;
- Arkham Asylum – Batman: Arkham Asylum;
- Arkham City – Batman: Arkham City;
- Deus Ex III – Deus Ex: Human Revolution;
- MGSV – Metal Gear Solid V: The Phantom Pain;
- Shadow of Mordor – Middle Earth: Shadow of Mordor;
- NWN (Spronck) – Neverwinter nights (Spronck mode);
- R6 Siege – Rainbow Six: Siege;
- Shadow of Chernobyl – S.T.A.L.K.E.R: Shadow of Chernobyl;
- GR Wildlands – Tom Clancy’s Ghost Recon Wildlands;
- Blacklist – Tom Clancy’s Splinter Cell: Blacklist;
- Pandora Tomorrow – Tom Clancy’s Splinter Cell: Pandora Tomorrow;
- Fall of Cybertron – Transformers: Fall of Cybertron;
- WoW – World of Warcraft;
- XCOM: EU – XCOM: Enemy Unknown.

В наступних розділах будуть проаналізовані та класифіковані ігри жанрів, описаних вище.

4.5 Класифікація ігор за спільними рисами/жанрова класифікація

Перший етап аналізу зразків ігор відноситься до базових рис ігрового ШІ, і включає Цілеспрямованість, Гнучкість та Навчання. Реактивність неігрових персонажів була виключена з подальшого аналізу, так як вона була необхідною умовою для відбору зразків гри: NPC в більшості сучасних ігор чутливі та реагують на дії гравця і/або зміни середовища на різних рівнях складності. Первісне угруповання за загальними ознаками, зазначеним вище, показало, що ігри в межах одного жанру, як правило, мають схожий базовий ШІ.

4.5.1 Жанр екшен

NPC в екшен RPG виявилися цілеспрямованими в більшості вивчених випадків, але в той же час лише деякі з NPC володіють помітною гнучкістю (див. табл. 4.1).

У більшості вивчених випадків, ШІ для контролю NPC не здатний до навчання. Крім того, короткий огляд групи екшен RPG показав, що ігри в цьому жанрі не забезпечують ніякої інтер-поведінкової адаптації, але є невеликі відмінності у внутрішній поведінці NPC. Деякі ігри, як виявилось, мають бойову адаптацію, що може бути пояснено домінуванням аспекту екшен в грі, в той час як тільки деякі елементи RPG з'являються в геймплеї.

Таблиця 4.1 — Риси жанру Екшен RPG

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Mass Effect	Ні	Ні	Ні	-	Бій	Відсутня
The Witcher 3	Ні	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Dark Souls	Так	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Dark Souls 2	Так	Ні	Ні	-	Бій	Відсутня
Diablo III	Так	Так	Ні	-	-	Відсутня
Fallout 3	Так	Так	Ні	-	-	Відсутня

NPC в екшен та пригодах в більшості випадків є цілеспрямованими і гнучкими. В цих іграх також, як правило, використовується штучний інтелект здатний до навчання для забезпечення як інтра-, так й інтер-поведінкової адаптації за допомогою прямої або непрямой адаптації.

Однак в жанровій групі є також виключення, які демонструють відмінні риси ШІ. Їх можна побачити в таблиці 4.2. Ці ігри належать серії «Бетмен» студії «Rocksteady», що включає «Batman: Arkham Asylum» та «Batman: Arkham City». Грунтуючись на рисах, отриманих в результаті аналізу ігор, ШІ в серії «Batman» належить до екшен RPG. Пильний погляд на риси ігор, схожих на «Batman», показав, що вони мають відкритий світ, де акцент робиться на освоєння світу, а не просунутий бойовий досвід (див. табл. 4.3).

Таблиця 4.2 — Риси жанру Екшен та Екшен Пригод

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Far Cry 4	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Низька
Shadow of Mordor	Так	Так	Так	Комб.	-	Висока

Кінець таблиці 4.2

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Arkham Asylum	Ні	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Arkham City	Ні	Ні	Ні	Пряма	-	Відсутня
ECHO	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Висока
Tomb Raider	Так	Так	Ні	-	Бій	Відсутня
The Last of Us	Так	Ні	Ні	-	Бій	Відсутня

Таблиця 4.3 — Риси жанру Екшен RPG

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Arkham Asylum	Ні	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Arkham City	Ні	Ні	Ні	Пряма	-	Відсутня
Mass Effect	Ні	Ні	Ні	-	Бій	Відсутня
The Witcher 3	Ні	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Dark Souls	Так	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Dark Souls 2	Так	Ні	Ні	-	Бій	Відсутня

Загальний огляд рис адаптації ігор жанру екшен і його піджанрів показав, що бойова адаптація характерна для цього жанру, так як акцент в цих іграх часто робиться на бій — популярну рису в сфері комп'ютерних ігор.

4.5.2 Жанр стелс

Аналіз ігор жанру стелс/survival horror виявив високу Цілеспрямованість та Гнучкість NPC. І навіть в світлі того факту, що тільки близько 30% ігор мають навчальну систему управління NPC, близько 80% ігор забезпечують адаптацію на різних рівнях і в різних аспектах (див. табл. 4.4).

Таблиця 4.4 — Риси жанрів стелс/survival horror

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Dishonored	Так	Так	Ні	Комб.	Шлях	Відсутня
Dishonored 2	Так	Так	Ні	Комб.	Шлях	Низька
Hitman: Absolution	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Відсутня
MGSV	Так	Так	Так	Непряма	Інше	Низька
Thief 1	Ні	Ні	Ні	Пряма	-	Відсутня
Thief 4	Так	Ні	Ні	Пряма	Шлях	Відсутня
Pandora Tomorrow	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Відсутня
Blacklist	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Низька
Deus Ex III	Так	Так	Ні	-	Бій	Відсутня
Alien: Isolation	Так	Так	Так	Комб.	Шлях	Відсутня
Amnesia I	Так	Так	Ні	Комб.	-	Відсутня
Dying Light	Ні	Ні	Ні	-	-	Відсутня
Hello neighbor	Так	Ні	Так	Непряма	-	Відсутня
Monstrum	Так	Так	Ні	Пряма	Шлях	Відсутня

Непряма адаптація, що забезпечується збором, аналізом і використанням внутрішньої статистики, зазвичай застосовується для такої інтра-поведінкової

адаптації, як шлях патрулювання основного антагоніста. У таких іграх, як «Alien: Isolation» і «Monstrum», адаптація пошуку шляху використовується для створення почуття напруженості та страху у людини-гравця, змушуючи його відчувати, наче монстр завжди поруч і може зловити гравця в будь-який момент. В іграх «Thief» та «Dishonored» розумні NPC при отриманні попередження починають шукати гравця, ускладнюючи виконання завдань, і отже, змушуючи гравця знаходити нові способи вирішення проблеми або вступити в боротьбу.

Найбільш поширеним видом прямої адаптації є параметризація почуттів NPC, наприклад слуху, запаху, зору. Результат контакту з одним з цих датчиків виражається в формі пильності або збудження NPC. Міра пильності/збудження може бути потім поділена на кілька рівнів, починаючи з підозри та закінчуючи повністю попередженим станом. Цей вид адаптації вперше був використаний в розширеній сенсорній моделі «Thief», що дозволило гравцеві використовувати тіні, джерела світла й укриття, а потім був успішно успадкований продовженням серії «Thief» і надихнуло серію «Dishonored» та ігри survival horror.

Бойова інтра-поведінкова адаптація в стелс виявилася досить рідкісним випадком і типовим для ігор, які поєднують в собі жанри стелс і екшен. Завдання в таких іграх зазвичай включають усунення численних ворогів, що часто змушує гравців вступити в бій. Прикладами таких ігор є «Metal Gear», «DeusEx» і серія «Tom Clancy's Splinter Cell».

4.5.3 Жанр шутер

Шутер від першої особи (FPS) – найпопулярніший жанр відеоігор. Це створює найсильніше почуття залученості гравцю, так як він бачить навколишнє середовище через очі головного героя. Це був перший жанр, який кинув виклик ресурсоємній 3D-графіці, так як гравці повинні були бачити правдоподібний світ навколо них, щоб не ламати почуття занурення. Щоб посилити це почуття

занурення в ігрове середовище, правдоподібність ворожих NPC має велике значення і є найбільш складним завданням. Жанр FPS зазвичай одним із перших випробовує нові методи штучного інтелекту, щоб поліпшити тактичні та стратегічні навички неігрових персонажів, щоб вивести системи управління NPC на новий рівень.

Найпопулярнішими методами, використовуваними в FPS, є планування дій, орієнтоване на досягнення цілей, що вперше було використано в грі «F.E.A.R.», та його наступники — наприклад, планування ієрархічної мережі завдань (HTN) [69].

Огляд вибраних ігор FPS дозволяє нам розділити сучасні шутери на дві великі групи:

- сімейство GOAP, що включає ігри, які використовують методи ШІ, згадані вище, або ті, що мають аналогічні функції ШІ, проте для таких ігор не повідомлялося використання будь-якої з даних технік;

- сімейство Flow Control, що включає в себе FPS, де робиться наголос на інтенсивність ігрового процесу та складність ігрового потоку.

Ігри, що використовують планування в своїх системах управління NPC, за визначенням є цілеспрямованими і гнучкими, оскільки послідовність дій NPC не визначена і залежить тільки від поточної мети.

Ігри цього сімейства зазвичай не мають ніяких здібностей до навчання і не прогресують протягом ігрового процесу. Проте, можливість визначити послідовність дій в залежності від дій гравця та і поточної мети, забезпечує цим іграм низький рівень інтер-поведінкової адаптації, оскільки поведінка не є строго визначеною.

Інтра-поведінкова адаптація в таких іграх в основному бойова, що диктується особливостями жанру FPS. (див.табл. 4.5)

Таблиця 4.5 — Риси сімейства GOAP жанру шутер

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспря- мованість	Гнуч- кість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
F.E.A.R.	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Half Life	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Halo 2	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Killzone 3	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
R6 Siege	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Низька
Shadow of Chernobyl	Так	Так	Ні	Непряма	Інше	Низька

Серед виключень – «S.T.A.L.K.E.R: Shadow of Chernobyl». Вони почали будувати свою систему управління ІІІ з простих кінцевих автоматів і пройшли шлях до ієрархічних кінцевих автоматів та GOAP. Однак їх використання техніки планування обмежене до вибору першої дії та не зачіпає інші частини плану [70]. Проте, система ІІІ гри виявилась дуже адаптивною до змін навколишнього середовища, відновлюючи весь план, якщо деякі параметри світу змінилися. Ця система була в основному застосована до сталкерів (персонажів, які полюють за скарбами в занедбаних зонах, таких як Чорнобильська зона відчуження, заповнених аномаліями внаслідок ядерного вибуху) і монстрів, які ходять довкола Зони.

Ще одне виключення – це «Rainbow Six: Siege», в якій є набір функцій, характерних для сімейства GOAP, однак за відгукми гравців в якийсь момент гри NPC можуть радикально змінити тип своєї поведінки. Проте, гра відноситься до класу Низької інтер-поведінкової адаптації, так як немає видимої адаптації до гравця, тому гру можна вважати високореактивною.

Друга група ігор має багато спільних рис з першою групою щодо поведінки NPC (цілеспрямованість і гнучкість, див. табл. 4.6), але крім цього в іграх цієї

групи застосовуються методи навчання для адаптації до темпу гравця через динамічне регулювання складності (див. розділ 2.4.5.3).

Таблиця 4.6 — Риси сімейства контролю потоку жанру шутер

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Evolve	Так	Так	Так	Пряма	Бій	Відсутня
Far Cry	Так	Так	Так	Пряма	Бій	Відсутня
Left 4 Dead	Так	Так	Так	Пряма	Бій	Відсутня

Інтенсивність цих ігор параметризована та регулюється протягом гри, аналізуючи швидкість проходження гри, і зменшуючи/збільшуючи не тільки силу та частоту атак, а також кількість атакуючих ворогів.

Незважаючи на наявність рис цілеспрямованості та гнучкості, значення Інтер-поведінки для цих ігор — «Відсутня», на відміну від тієї ж функції в сімействі GOAP, з огляду на відгуки гравців, які повідомляють про загальну видиму простоту поведінки самих NPC. У цих іграх цілеспрямованість та гнучкість в основному пов'язані зі змінами процесу.

Що стосується шутерів від третьої особи (TPS), аналіз не показав будь-якої конкретної картини серед обраних TPS. У більшості випадків значення типові для FPS сімейства GOAP, що робить ці значення загальними для шутерів як жанру (див. табл. 4.7).

Таблиця 4.7 — Риси жанру шутер від третьої особи

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Gears of War	Ні	Ні	Ні	Пряма	Бій	Відсутня
Max Payne 3	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Низька

Кінець таблиці 4.7

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
GR Wildlands	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Низька
Fall of Cybertron	Так	Так	Ні	-	Бій	Відсутня
Resident Evil 4	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Відсутня

Однак слід враховувати, що чистих TPS дуже мало. Цей жанр найбільш схильний до впливу інших жанрів і майже ніколи не йде поодиноці, з єдиним жанром TPS в описі. Угрупування за функціями часто встановлює згадані гри близько до жанру екшен пригод, так як більша частина ігор в цьому жанрі включають бійки та перестрілки від третьої особи.

Варто відзначити, що жанр гри не обов'язково дозволяє судити про антагоніста та ігровий процес. Серія «Resident Evil», наприклад, визначається як survival horror за описом розробника, проте риси цього жанру відносяться скоріше до атмосфери гри з точки зору історії та навколишнього середовища. Проте геймплей серії типовий для шутерів на думку гравців і нашого аналізу.

Тільки одне виключення для жанру шутера з'явився в списку ігор (див. Таблицю 4.8).

Таблиця 4.8 — Риси жанру шутер від третьої особи

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Titanfall	Ні	Ні	Ні	Непряма	-	Відсутня

Titanfall – розрахований на багато користувачів онлайн-шутер, тому неігрові персонажі діють як наповнювачі, навіть якщо вони можуть завдати шкоди гравцям. У цій грі не має складного ШІ, але NPC здатні здійснювати видиме

спілкування та інформувати гравця про ситуацію на полі бою або виконувати деякі визначені дії.

4.3.4 Стратегії

Стратегії – один з небагатьох ігрових жанрів, де мета ШІ – перемогти людину, а не тримати його на краю, але дозволити врешті виграти. Добре спроектований ШІ в стратегіях повинен бути цілеспрямованим, гнучким, розумним і, найважливіше, здатним до навчання.

Майже у всіх сучасних стратегіях гравці грають проти комп'ютерного гравця-ШІ (ми не беремо до уваги багатокористувацькі ігри), що застосовує методи навчання, як це видно з таблиці 4.9. Старі ігри є винятком, так як під час їх розробки розумний, здатний до навчання ігровий ШІ був рідкісною та досить ресурсоємною функцією.

Таблиця 4.9 — Риси жанру шутер від третьої особи

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Attila:Total War	Так	Так	Так	Непряма	-	Висока
Empire:Total War	Так	Так	Так	Непряма	-	Висока
Supreme Commander	Так	Так	Ні	-	-	Низька
Total war	Так	Так	Так	Непряма	-	Висока
WoW	Так	Так	Ні	-	-	Низька
XCOM: EU	Так	Ні	Ні	-	-	Низька

Проте, функція навчання не обов'язково з'явиться в кінцевому проекті і буде доставлена фактичним гравцем. Хоча в цих іграх є ШІ, що навчається, системи навчені перш ніж вони досягають кінцевого користувача. Проте в більшості випадків вони треновані саме людьми.

Щодо інших особливостей, у зв'язку зі специфікою жанру, в іграх жанру стратегія використовується непряма адаптація, збираючи авторизовану актуальну інформацію з ігрового світу та про поточний стан гри. Ця інформація потім може бути використана для прийняття важливих рішень на тактичному та стратегічному рівнях, таким чином, забезпечуючи гру з високою інтер-поведінковою адаптацією. У той же час ігри цього жанру не забезпечують ніякої інтра-поведінкової адаптації. Менші одиниці персонажів не приймають свої власних рішень і не вибирають дії. Всі ходи продиктовані гравцем-ШІ відповідно до його тактичних та стратегічних рішень, тому більшість розробників відмовилися від управління самостійними одиницями.

Проте, ці функції в основному належать серії «Total War», як одній з найбільш прогресивних ігор в цьому жанрі. Перша гра була випущена в 2000 році, і з тих пір розробники постійно переглядають та покращують ШІ серії. Ці особливості загалом не були помічені у інших представників жанру.

Інші популярні стратегії гри, які з'явилися в таблиці, досить старі ігри, навіть «XCOM: Enemy Unknown» (будучи новою грою, це переробка старої гри «UFO: Enemy Unknown»). Але навіть з часу їх першого релізу, система ШІ дотримувалися того ж курсу розвитку, не зосереджуючись на інтер-поведінковій адаптації.

4.6 Навчання штучного інтелекту в популярних відео-іграх

Оскільки здатність до навчання є основною характеристикою штучного інтелекту за академічним визначенням, ми вирішили поглянути на те, як часто

вона використовується в сучасних відеоіграх і як вона використовуються, щоб забезпечити адаптивність до гравця-людини. Тільки 32% з 50 відібраних ігор використовували методи навчання або вони використовували їх відповідно до відгуків гравців і критиків. Набір ігор з навчальним ШІ можна побачити нижче в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 — Ігри з ШІ здатним до навчання

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
ECHO	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Висока
Shadow of Mordor	Так	Так	Так	Комб.	-	Висока
NWN (Spronck mode)	Ні	Так	Так	Пряма	-	Висока
Attila:Total War	Так	Так	Так	Непряма	-	Висока
Empire:Total War	Так	Так	Так	Непряма	-	Висока
Total war	Так	Так	Так	Непряма	-	Висока
Black & White	Так	Так	Так	Пряма	Інше	Висока
GR Wildlands	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Низька
Far Cry 4	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Низька
MGSV	Так	Так	Так	Непряма	Інше	Низька
Evolve	Так	Так	Так	Пряма	Бій	Відсутня
Far Cry	Так	Так	Так	Пряма	Бій	Відсутня
Left 4 Dead	Так	Так	Так	Пряма	Бій	Відсутня
Pandora Tomorrow	Так	Так	Так	Непряма	Бій	Відсутня
Hello neighbor	Так	Ні	Так	Непряма	-	Відсутня
Alien: Isolation	Так	Так	Так	Комб.	Шлях	Відсутня

Як видно з таблиці, великий відсоток ігор з навчальним ШІ використовують просунуті методи штучного інтелекту, щоб забезпечити високу адаптацію до поведінки гравця, що означає, що NPC можуть стежити за діями гравців і змінювати свою поведінку в дуже реактивний шлях у відповідь на зміни навколишнього середовища. Поведінка в основному змінена шляхом аналізу статистичної інформації, яка може бути вилучена з ігрового середовища та дозволена для використання інтелектуальною системою (непряма адаптація). Це можна пояснити тим, що цей вид навчання легко тестувати і він вимагає мінімальних ресурсів, що дуже важливо для комп'ютерних ігор, які вимагають високої продуктивності.

Тим не менш, є кілька прикладів ігор, які мають пряму адаптацію. Серед них — гра в бога «Black & White» та експериментальний мод ШІ П. Спронка для «Neverwinter Nights» [21] (див. розділ 2.3.5). Поведінка в цих іграх параметризована і негайно змінюється у відповідь на дії гравця.

У моді «Neverwinter Nights» Спронка кожна дія або послідовність мають свою вагу, яка коригується в процесі гри, відзначаючи найбільш і найменш ефективні дії. Для наступної зустрічі з людиною-гравцем з найбільш ефективних дій складається нова послідовність. Але, незважаючи на пряму адаптацію, зміни застосовуються між етапами гри, а не напряду в процесі.

«Black & White» – це гра на виховання домашніх тварин. Монстри, головні неігрові персонажі гри, змінюють свою поведінку у відповідь на покарання або заохочення до певних дій. Очевидно, вони вирішують виконувати дії, за які вони отримують похвалу частіше, ніж дії за які вони були покарані. Детальніше про ШІ в Black & White можна прочитати в [44].

Менша кількість ігор використовує методи навчання для низької інтерповедінкової адаптації, коригуючи паттерни поведінки, щоб відповідати поведінці гравця та змусити його знаходити шляхи, щоб подолати ворога. Наприклад, «Metal Gear Solid V: The Phantom Pain» вчиться у переважаючих дій гравця і додає нову поведінку до поточного набору. Якщо гравець воліє крастися вночі та тихо вбивати, залишаючись невидимим, вороги почнуть патрулювати область з

ліхтариками, не дозволяючи гравцеві таємно крастися, або почнуть носити шоломи, якщо гравець має тенденцію робити багато пострілів в голову.

Методи навчання також можуть бути використані для адаптації всередині поведінки. Збір та аналіз статистичної інформації з ігрового середовища дозволяє ворожим NPC обирати найбільш ефективні шляхи патрулювання, як в «Alien: Isolation». Інопланетянин, головний ворог, використовує свої почуття та пам'ять, щоб відвідати місця, де він помітив або вбив гравця в останній раз, або патрулювати місцевість поряд з джерелами гучного шуму.

Що стосується ігор, які не використовують методи навчання, вони все ще можуть забезпечити деякий рівень інтер- та інтра-поведінкової адаптації, який, однак, можна розглядати як високу реактивність, а не адаптивність. Ігри, наведені нижче (див. табл. 4.11), згідно з повідомленнями розробників, не мають системи управління NPC здатної до навчання, однак, розвинена техніка прийняття рішень та вибору дій дозволяє противникам виконувати поведінку, що помітно різниться.

Таблиця 4.11 — Ігр без ШІ здатного до навчання та з низькою інтер-поведінковою адаптацією

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
R6 Siege	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Низька
Max Payne 3	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Низька
Blacklist	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Низька
F.E.A.R	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Half Life	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Halo 2	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Killzone 3	Так	Так	Ні	-	Бій	Низька
Shadow of Chernobyl	Так	Так	Ні	Непряма	Інше	Низька
Dishonored 2	Так	Так	Ні	Комб.	Шлях	Низька

Для забезпечення інтра-поведінкової адаптація техніка навчання також не є обов'язковою функцією (див. табл. 4.12). Як видно з таблиці, деякі ігри використовують пряму та непряму адаптації для зміни різних областей поведінки персонажів, що, однак, можна розглядати як відволікання від основної поведінки.

Таблиця 4.12 — Ігри без ІІІ здатного до навчання та з інтра-поведінковою адаптацією

Назва гри	Базова інформація			Адаптація		
	Цілеспрямованість	Гнучкість	Навчання	Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Dishonored	Так	Так	Ні	Комб.	Шлях	Відсутня
Resident Evil 4	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Відсутня
Hitman:Absolution	Так	Так	Ні	Пряма	Бій	Відсутня
Gears of War	Ні	Ні	Ні	Пряма	Бій	Відсутня
Thief 4	Так	Ні	Ні	Пряма	Шлях	Відсутня
Monstrum	Так	Так	Ні	Пряма	Шлях	Відсутня

4.7 Інтра-поведінкова адаптація

Інтра-поведінкова адаптація дуже часто зустрічається в сучасних відеоіграх. Близько 60% вивчених ігор здатні змінювати частини поведінки NPC, в тому числі бойову поведінку та пошук шляху.

Більше 60% ігор, які адаптують інтра-поведінку, використовують бойові зміни (див. табл. 4.13), для перешкоджання повторення неігровими персонажами тієї ж схеми. Якщо гравець помічає повторну послідовність дій у відповідь на свою поведінку, нічого заважає йому експлуатувати виявлену слабкість ворогів надалі в грі. Бойова адаптація стала невід'ємною частиною системи управління ІІІ в шутерах та екшен-іграх, орієнтованих на боротьбу з ворогами.

Таблиця 4.13 — Ігри з інтра-поведінковою адаптацією бою

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Far Cry 4	Екшен	Непряма	Бій	Низька
Tomb Raider	Екшен Пригода	-	Бій	Відсутня
ECHO	Екшен Пригода	Непряма	Бій	Висока
Mass Effect	Екшен RPG	-	Бій	Відсутня
Dark Souls 2	Екшен RPG	-	Бій	Відсутня
The Last of Us	Екшен, Стелс	-	Бій	Відсутня
R6: Siege	FPS	Пряма	Бій	Низька
F.E.A.R.	FPS	-	Бій	Низька
Half Life	FPS	-	Бій	Низька
Halo 2	FPS	-	Бій	Низька
Killzone 3	FPS	-	Бій	Низька
Evolve	FPS	Пряма	Бій	Відсутня
Far Cry	FPS	Пряма	Бій	Відсутня
Left 4 Dead	FPS, Survival Horror	Пряма	Бій	Відсутня
Hitman: Absolution	Стелс	Пряма	Бій	Відсутня
Pandora Tomorrow	Стелс	Непряма	Бій	Відсутня
Blacklist	Стелс, Екшен	Пряма	Бій	Низька
Deus Ex III	Стелс, Екшен RPG	-	Бій	Відсутня
Max Payne 3	TPS	Пряма	Бій	Низька
Gears of War	TPS	Пряма	Бій	Відсутня
Fall of Cybertron	TPS	-	Бій	Відсутня
GR Wildlands	TPS	Непряма	Бій	Низька
Resident Evil 4	TPS, Survival Horror	Пряма	Бій	Відсутня

Більшість FPS, проаналізованих в цій роботі, використовують розвинену бойову адаптацію в своїх системах. Ініціатором цієї тенденції є «F.E.A.R.», що

згадувалася кілька разів раніше. Їх система бойового ШІ залишається однією з найбільш складних систем навіть через тринадцять років після першого випуску. Бойові альтерації з'являлися й раніше (наприклад, в «Far Cry», випущеному в одному році з «F.E.A.R.», та в «Half Life», 1998), проте, на нижчому рівні складності.

Іншим поширеним типом інтра-поведінкової адаптації є пошук шляху. Незважаючи на те, що ця часто згадувана проблема вважається вирішеною, в більшості ігор пошук шляху присутній на елементарному, а не адаптивному рівні. Проте, адаптивний пошук шляху має вирішальне значення для ігор стелс і survival horror (див. табл. 4.14), де вороги повинні шукати прихованого гравця, орієнтуючись на свої почуття, а іноді й пам'ять.

Таблиця 4.14 — Ігри з інтра-поведінковою адаптацією пошуку шляху

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Dishonored 2	Стелс	Комб.	Шлях	Низька
Dishonored	Стелс	Комб.	Шлях	Відсутня
Thief 4	Стелс	Пряма	Шлях	Відсутня
Monstrum	Survival Horror	Пряма	Шлях	Відсутня
Alien: Isolation	Survival Horror	Комб.	Шлях	Відсутня

Як видно з таблиці, адаптивний пошук шляху часто використовує пряму адаптацію, параметризовану сенсорну систему, відповідальну за рівень пильності та збудженості NPC. Відволічені побічним шумом, NPC змінить свій шлях патрулювання, щоб знайти джерело. У таких іграх, як «Thief», маршрути патрулювання змінюються протягом обмеженого часу, необхідного для того, щоб перевірити, що відбувається. Однак, якщо гравець не був помічений, солдати повертаються до своєї визначеної рутини. У більш пізніх іграх, таких як «Alien: Isolation» або «Monstrum», маршрути патрулювання ворогів є центральним

джерелом проблем в грі, так як мета гри – створити відчуття страху, що монстр десь поруч. Одного разу відволікшись, противник змінить свій маршрут, щоб бути ближче до гравця та шукати його в місцях минулих зустрічей.

Невелика група ігор має адаптацію свого роду, яка не вписується ні в одну зі згаданих груп, тому ми виділили їх в експериментальний підклас, що групує виключення (див. табл. 4.15).

Таблиця 4.15 — Ігри з унікальною інтра-поведінковою адаптацією

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Shadow of Chernobyl	FPS	Непряма	Інше	Низька
Black & White	Гра в бога	Пряма	Інше	Висока
MGSV	Стелс	Непряма	Інше	Низька
Hello neighbor	Survival Horror	Непряма	Інше	Відсутня

Ворожі монстри в «S.T.A.L.K.E.R: Shadow of Chernobyl» мають стабільну поведінку та фіксовані дії, але ігровий світ наповнений так званою A-Life, наприклад, сталкерами, які ведуть себе майже як гравці та повинні адаптуватися до навколишнього середовища, ставити перед собою мету та приймати рішення, що є основною метою системи контролю NPC. Монстри гри «Black & White» мають складну, гнучку поведінку, яка ділиться на більш дрібні адаптивні частини, наприклад вибір їжі. «Metal Gear Solid V: The Phantom Pain» з'явилася в експериментальному класі, так як має схожу з «Black & White» ситуацію: складна поведінка (так звана «Систему помсти» або «Готовність ворога в грі») ділиться на більш дрібні частини та рішення, наприклад, носити шолом, патрулювати кордони з ліхтариками тощо. III «Hello neighbor» можна розглядати як «Систему помсти»: антагоніст, сусід головного героя, ставить пастки на місця попередніх зустрічей. Варто відзначити, що встановлення пасток – єдиний вид поведінки NPC «Hello

neighbor». Однак ми вважаємо цей факт незадовільним для встановлення високого рівня інтер-поведінкової адаптації.

Огляд ігор, які не забезпечують ніякої інтер-поведінкової адаптації, виявив кілька жанрів, які зазвичай відносяться до цього класу (див. таблицю 4.16).

Таблиця 4.16 — Ігри без інтра-поведінкової адаптації

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Shadow of Mordor	Екшен	Комб.	-	Висока
Arkham City	Екшен Пригода	Пряма	-	Відсутня
Arkham Asylum	Екшен Пригода	-	-	Відсутня
The Witcher 3	Екшен RPG	-	-	Відсутня
Dark Souls	Екшен RPG	-	-	Відсутня
Diablo III	Екшен RPG	-	-	Відсутня
Fallout 3	Екшен RPG	-	-	Відсутня
Titanfall	FPS	Непряма	-	Відсутня
NWN (Spronck)	RPG	Пряма	-	Висока
Thief 1	Стелс	Пряма	-	Відсутня
Supreme Commander	Стратегія, RTS	-	-	Відсутня
WoW	Стратегія, RTS	-	-	Відсутня
Attila:Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Empire:Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
XCOM: EU	Стратегія, TBT, RPG	-	-	Відсутня
Amnesia 1	Survival Horror	Комб.	-	Відсутня
Dying Light	Survival Horror	-	-	Відсутня

Більшість ігор екшен RPG було віднесено до класу без видимих інтра-поведінкових альтерацій. Вони мають відкритий світ, орієнтований на дослідження навколишнього середовища та ворогів, а не складність поведінки

ворогів. Проте, «Dark Souls 2», продовження «Dark Souls», зробив крок до більш складних NPC і реалізував незначні зміни в бойовій схемі кожного ворога.

Всі вибрані стратегії не мають ніякої інтра-поведінкової адаптації. Причиною установки значення «Відсутня» є загальний контроль гравця-ШІ: система вирішує всі зроблені ходи та дії, але юніти не мають жодного контролю над своїми діями.

4.8 Інтер-поведінкова адаптація

Оскільки основна мета адаптації до гравця-людини полягає в тому, щоб ігровий процес відповідав його навичкам й уподобанням і приносив відчуття залученості, видима висока інтер-поведінкова адаптація є найкращою ознакою успіху. Тим не менш, тільки близько 15% ігор, розглянутих для цього проекту, адаптуються до стилю та уподобань повністю або на дуже високому рівні (див. табл. 4.17).

Таблиця 4.17 — Ігри з високою інтер-поведінковою адаптацією

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
ECHO	Екшен Пригода	Непряма	Бій	Висока
Shadow of Mordor	Екшен	Комб.	-	Висока
NWN (Spronck)	RPG	Пряма	-	Висока
Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Black & White	Гра в бога	Пряма	Інше	Висока
Attila:Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Empire:Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока

Варто відзначити різноманітність жанрів з високоадаптивними системами управління NPC, але висока адаптація виявилася рідкісним випадком в шутерах, незважаючи на популярність жанру та мету розробників поліпшити ШІ в шутерах. Більшість високоадаптивних ігор відносяться до жанру стратегії, де основна мета противника – перемогти людину-гравця за тими ж правилами. Проте слід враховувати, що ці ігри відносяться до однієї серії.

Інші ігри з різноманітними альтераціями поведінки в основному є експериментальними, такі як «ЕCHO», «Black & White» та «Middle Earth: Shadow of Mordor». «ЕCHO» використовує статистику дій гравців і копіює їх стиль, змушуючи гравця боротися проти себе і знайти інші способи виконання завдання. Адаптивні риси «Black & White» були описані в розділі 5.2.2. «Middle Earth: Shadow of Mordor» використовує спеціально розроблену систему «Nemesis» для вибору найскладніших ворогів, заснованому на внутрішньоігрових зіткненнях, і розвитку ворогів, що вижили, щоб кинути їх в бій на більш пізніх етапах гри.

Кількість ігор з низькою інтер-поведінковою адаптацією вище, але все ж не є правилом в сучасних відео-іграх (див. таблицю 4.18), незважаючи на те, що деякі методи досить старі, перевірента випробувані (як метод, використаний в «F.E.A.R.», який до цих пір залишається одним з найскладніших [36]).

Таблиця 4.18 — Ігри з низькою інтер-поведінковою адаптацією

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Far Cry 4	Екшен	Непряма	Бій	Низька
R6: Siege	FPS	Пряма	Бій	Низька
F.E.A.R.	FPS	-	Бій	Низька
Half Life	FPS	-	Бій	Низька
GR Wildlands	TPS	Непряма	Бій	Низька
Halo 2	FPS	-	Бій	Низька
Killzone 3	FPS	-	Бій	Низька

Кінець таблиці 4.18

Назва гри	Жанр гри	Адаптація		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Blacklist	Стелс, Екшен	Пряма	Бій	Низька
Max Payne 3	TPS	Пряма	Бій	Низька
Shadow of Chernobyl	FPS	Непряма	Інше	Низька
MGSV	Стелс	Непряма	Інше	Низька
Dishonored 2	Стелс	Комб.	Шлях	Низька

FPS мають переважно низьку інтер-поведінкову адаптацію. На основі специфіки жанру шутер і нашого аналізу, ми можемо припустити, що причина забезпечення низької адаптації поведінки полягає в тому, що основною метою в шутерах є кількість вбитих ворогів, а не якість вбивств самих по собі. В цьому випадку розвинена система прийняття рішень на місці є кращою, ніж повна зміна поведінки, яка буде дуже ресурсоємною.

Також варто відзначити, що низька інтер-поведінкова адаптація не обов'язково потребує методів навчання, реалізованих в ігровій системі. Як це було описано в розділі 5.2.2, низька інтер-поведінкова адаптація може розглядатися як високий рівень реакції на дії гравця. Але ці системи управління не вчаться від гравця, не пам'ятають його уподобань та не використовують дані про його стиль.

4.9 Види адаптації в залежності від джерела

Аналіз способів реалізації адаптації в іграх показав, що незважаючи на високу складність і вимоги до ресурсів, численні гри (навколо 30%) використовують пряму адаптацію (див. табл. 4.19).

Таблиця 4.19 — Ігри з прямою адаптацією

Назва гри	Жанр гри	Інформація про адаптацію		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
R6: Siege	FPS	Пряма	Бій	Низька
Max Payne 3	TPS	Пряма	Бій	Низька
Resident Evil 4	TPS, Survival Horror	Пряма (DDA)	Бій	Відсутня
Arkham City	Екшен Пригода	Пряма	-	Відсутня
NWN (Spronck)	RPG	Пряма	-	Висока
Black & White	Гра в бога	Пряма	Інше	Висока
Evolve	FPS	Пряма (DDA)	Бій	Відсутня
Far Cry	FPS	Пряма (DDA)	Бій	Відсутня
Left 4 Dead	FPS, Survival Horror	Пряма (DDA)	Бій	Відсутня
Hitman: Absolution	Стелс	Пряма (CC)	Бій	Відсутня
Blacklist	Стелс, Екшен	Пряма (CC)	Бій	Низька
Gears of War	TPS	Пряма (CC)	Бій	Відсутня
Thief 1	Стелс	Пряма (CC)	-	Відсутня
Thief 4	Стелс	Пряма (CC)	Шлях	Відсутня
Monstrum	Survival Horror	Пряма (CC)	Шлях	Відсутня

Використання прямої адаптації можна, в свою чергу, розділити на три підкласи, що виділяють основні особливості реалізації прямої адаптації.

Ігри з позначкою «Пряма (DDA)» позначають ігри з динамічним регулювання складності і управлінням потоком/темпом, описані в розділі 2.3.6. Мультикористувацькі або кооперативні ігри з керуванням потоком орієнтуються на прогрес гравця у грі, переконуючись, що гравці все ще йдуть далі. «Left 4 Dead» та «Evolve» є значними представниками цього типу, що використовуються систему «AI Director», розроблену творцями гри «Left 4 Dead». Серед ігор класу DDA також фігурують «Batman: Arkham City», який не використовує систему,

подібну «AI Director», проте кількість ворогів регулюється в залежності від здатності гравця проходити завдання. «Resident Evil 4» також застосовує динамічне коригування складності.

В іграх класу «Пряма (CC)» використовуються параметризовані чуття (зір, слух і т. д.) для системи прийняття рішень NPC. Як обговорювалося раніше, реакція сенсорної системи на роздратування часто з'являються в іграх стелс і survival horror, де недоречні дії гравця можуть призвести до того, що противник помітить його і знайде поточне укриття. Для таких ігор, як «Alien: Isolation» і «Monstrum», це дуже важливо, тому що більшість зіткнень з ворогом призводять до значного пошкодження або смерті.

Інші записи класу «Пряма» вказують на виключення, які не відповідають цим основним класам. «Black & White» використовує параметризовані уподобання та поведінку для монстрів, режим Спронка для «Neverwinter nights» призначає ваги поведінці ворогів і налаштовує, використовуючи дані бою. Деякі ігри не мають жодних параметрів, але, згідно з відгуками гравців, NPC «Rainbow Six: Siege» реагують на значну кількість мертвих людей серед них і можуть вирішити повністю змінити свою поведінку. Однак слід враховувати, що це може бути запланована поведінка, тому що офіційно не повідомлялося про ШІ, що здатний до навчання.

Непряма адаптація – ще один важливий вид адаптації в іграх (див. табл. 4.20). Близько 20% ігор використовують статичну інформацію з ігрового середовища та дій гравця для налаштування поведінки NPC. У серії «Total War» кроки, що вживаються людиною, впливають як на тактику, так і на глобальну стратегію супротивника-ШІ. «Hello neighbor» використовує попередні зустрічі в якості основи для встановлення пасток. Недавня експериментальна гра «ЕСНО» визначає шаблон поведінки NPC, засновуючись на діях гравця. Але в цілому, ніякої видимого зв'язку не встановлюється між іграми, що використовують непрямий вид адаптації.

Таблиця 4.20 — Ігри з непрямю адаптацією

Назва гри	Жанр гри	Інформація про адаптацію		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Far Cry 4	Екшен	Непряма	Бій	Низька
ECHO	Екшен Пригода	Непряма	Бій	Висока
Pandora Tomorrow	Стелс	Непряма	Бій	Відсутня
GR Wildlands	TPS	Непряма	Бій	Низька
Titanfall	FPS	Непряма	-	Відсутня
Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Attila:Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Empire:Total War	Стратегія, RTS	Непряма	-	Висока
Shadow of Chernobyl	FPS	Непряма	Інше	Низька
MGSV	Стелс	Непряма	Інше	Низька
Hello neighbor	Survival Horror	Непряма	Інше	Відсутня

Менша кількість ігор використовують як пряму, так і непрямю адаптацію для різних або спільних цілей (див. табл. 4.21). «Alien: Isolation» реалізує обидві риси для оптимізації пошуку шляху: параметризовані почуття використовуються для визначення укриття гравця, а пам'ять про попередні зустрічі є основою для вибору кращого шляху патрулювання. Однак останнє не було повідомлено розробниками, а тому засновано на відгуках гравців.

Система «Nemesis» гри «Middle Earth: Shadow of Mordor» використовує обидва джерела для еволюції ворогів, що змогли вижити. Статична інформація, отримана від гравця після зустрічі з ним, запам'ятовується і потім використовується для налаштування параметрів NPC, що пережили це зіткнення, який в подальшому може бути підвищений в званні та помститися гравцеві [71, 72].

Таблиця 4.21 — Ігри з комбінацією двох джерел адаптації

Назва гри	Жанр гри	Інформація про адаптацію		
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація
Shadow of Mordor	Екшен	Комб.	-	Висока
Amnesia 1	Survival Horror	Комб.	-	Відсутня
Dishonored 2	Стелс	Комб.	Шлях	Низька
Dishonored	Стелс	Комб.	Шлях	Відсутня
Alien: Isolation	Survival Horror	Комб.	Шлях	Відсутня

У випадку серії «Dishonored», кожен з видів адаптації присвячений своїй цілі. Пряма адаптація була реалізована у вигляді параметризованої збудженості для запускання спеціальних моделей поведінки, а статична інформація від світових змін, викликаних гравцем, впливає на деякі деталі історії або навіть на весь фінал гри. В ігровому середовищі це називається рівнем хаосу. Наприклад, щури, джерело чуми, яка захоплює місто Данволл (сюжет гри), з'являються у великих кількостях, якщо гравець проходить гру з великою кількістю вбивств. Чим більше щурів, тим більше смертей серед громадян, що призводить до високого рівня хаосу та високого рівня заворушень в місті, роблячі фінал більш похмурим. У продовженні, «Dishonored 2», злочинства в магазинах чорного ринку викликають чутки і, як наслідок, труднощі у відвідуванні цих магазинів знову.

4.10 Профілювання гравця

Незважаючи на те, що будь-яка адаптація до гравця може вважатися профілюванням гравця (див. розділ 2.3.4), оскільки воно засноване на діях гравця, лише деякі аспекти стилю гравця та поведінки в середині ігри аналізуються та

використовуються системами ІІІ на даний момент. Серед вивчених ігор ми виділили два класи профілювання гравців: Стиль гравця (див. табл. 4.22) та Прогрес або DDA, який включає управління потоком (див. табл. 4.23).

Таблиця 4.22 — Ігри, що визначають Стиль Гравця

Назва гри	Жанр гри	Інформація про адаптацію			
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація	Профілювання гравця
Dishonored 2	Стелс	Комб.	Шлях	Низька	Стиль Гравця
Dishonored	Стелс	Комб.	Шлях	Відсутня	Стиль Гравця
Thief 4	Стелс	Пряма	Шлях	Відсутня	Стиль Гравця

Таблиця 4.23 — Ігри, що визначають прогрес гравця

Назва гри	Жанр гри	Інформація про адаптацію			
		Вид адаптації (джерело)	Інтра-п. адаптація	Інтер-п. адаптація	Профілювання гравця
Resident Evil 4	TPS, Survival Horror	Пряма	Бій	Відсутня	Прогрес
Arkham City	Екшен Пригода	Пряма	-	Відсутня	Прогрес
Evovle	FPS	Пряма	Бій	Відсутня	Прогрес
Far Cry	FPS	Пряма	Бій	Відсутня	Прогрес
Left 4 Dead	FPS, Survival Horror	Пряма	Бій	Відсутня	Прогрес

Стиль гравця є важливою частиною серії «Dishonored», оскільки він має вплив про навколишнє середовище і розвиток сюжету, як це було описано в підрозділі 4.6. Система ІІІ «Thief 4» здатна розпізнавати стиль гравця як Привид (абсолютний стелс), Опортуніст (використання доступних матеріалів та інструментів, оббирання кишень і т. д.) та Хижак (усунення ворогів на шляху до виконання завдання). Стиль гри визначається як частина кожного із зазначених

стилів в відсотковому відношенні з подальшим відбором переважаючих. Однак ця інформація не впливає ні на яку частину гри, крім розділу досягнень.

Різноманітні ігри мають динамічну систему коригування складності, але тільки кілька випадків були зареєстровані або вивчені експертами. Як правило, зміна в складності гладка і ледь помітна з боку гравця. Отже, ми вибрали набір ігор, які мають звіти компаній про розробку, що оголошують про використання систем DDA в своїх продуктах. ШІ «Left 4 Dead» контролює хід гри, роблячи його більш спокійним та розслабленим, якщо гравці не прогресують і збільшують напругу (збільшуючи кількість монстрів, частоту їх появи тощо), якщо прогресування занадто швидке (система «AI Director», описана раніше, і також використана в іграх «Far Cry» і «Evolve»). Розробники Batman: Arkham city не повідомляли про використання схожих систем, проте гра може налаштовувати кількість ворогів в залежності від прогресу гравця.

Розкрита система DDA в «Resident Evil 4» присвоює звання гравцеві на основі ігрових успіхів. Кожне вбивство дає гравцеві бали; сума нарахованих балів залежить від швидкості та ефективності вбивства. Складність може значно змінитися протягом гри і навіть перейти з визначеного рівня (той, який обраний в налаштуваннях гри, що, як правило, включають в себе Легкий, Середній та Складний) на нижчий або вищий.

4.11 Висновки за розділом

При аналізі використання штучного інтелекту в відеоіграх була розроблена класифікація ігрового ШІ для визначення специфічних характеристик агента ШІ, властивих ігровим жанрам; рівня складності ШІ у відеоіграх; вид адаптації в ігрових системах ШІ на основі джерела.

Для аналізу ігрового ШІ наступні жанри були обрані як найпопулярніші: екшен (пригода/рольова гра), шутер (від першої/третьої особи), стелс (включаючи

survival horror) та стратегії. Тим не менше, кілька ігор інших жанрів з'явилися через їх видатну реалізацію або інші причини.

Жанровий аналіз виявив три підгрупи в жанрі екшен, що часто перетинаються: рольова екшен-гра, екшен пригоди та ігри з відкритим світом. Особливості III рольових ігор включають цілеспрямованість, але найчастіше III не гнучкий та в більшості випадків не має жодних складних реалізацій. III екшн пригод (в тому числі чистого екшену), навпаки, виявився гнучким, на додаток до цілеспрямованості, та забезпечує бойову адаптацію. Проте, обидві групи мали виключення, які мали одну спільну рису – відкритий світ, який також визначає й інші спільні риси. Ці ігри формують підгрупу ігор з відкритим світом.

III стелсу та survival horror мають багато спільних рис, включаючи цілеспрямованість та гнучкість. У багатьох іграх цього жанру є III здатний до навчання, який використовує внутрішньоігрову інформацію для адаптації, в основному визначених частин поведінки NPC (зазвичай знаходження шляху).

III шутерів властиві цілеспрямованість, гнучкість та бойова адаптація, помічені майже у всіх обраних для аналізу ігор в жанрі. Набір шутерів від першої особи також може підрозділятися на дві підгрупи: сімейство GOAP (використовує GOAP-подібні методи III) та сімейство управління потоком (адаптує інтенсивність ігрового процесу). Конкретного паттерна не було виявлено для шутерів від третьої особи: група продемонструвала загальні особливості шутерів та вплив сусідніх жанрів, оскільки шутери від третьої особи зазвичай пов'язані з іншими жанрами (наприклад, екшен пригодами).

Аналіз ігор-стратегій виявив цілеспрямованість та гнучкість як загальні риси з навчанням як частою рисою. Ігри жанру зазвичай мають інтер-поведінкову адаптацію, але ніяких змін всередині поведінки.

Аналіз використання в іграх III, здатного до навчання, показав, що в 35% обраних ігор використовується навчання. У більшості випадків такий III використовує статичну інформацію з ігор, щоб адаптувати як поведінкові патерни, так і певні частини поведінки (інтер- та інтра-поведінкову адаптацію). Також від ігор без штучного інтелекту були відокремлені дві невеликі групи ігор,

оскільки вони все ще були здатні забезпечити інтер- та інтра-поведінкову адаптацію: групи «Високоактивний» та «Відволікання». Високоактивний ШІ використовує передові системи планування або інші методи без навчання, щоб забезпечити нові поведінкові паттерни, а група «Відволікання» реалізує передові сенсорні системи або DDA.

Більшість випадків з високою інтер-поведінковою адаптацією були виявлені в жанрах стратегій та експериментальних іграх різних жанрів, тому для високоадаптивних ігор не було виявлено жодного видимого жанрового патерну. Джерелом адаптації в цій ігровій групі зазвичай є статична інформація, отримана з ігрового середовища та дій гравця (непряма адаптація). У багатьох іграх з низькою інтра-поведінковою адаптацією гравці або середовище не використовуються як джерела, але наявні передові методи ШІ, такі як GOAP.

Інтра-поведінкова адаптація була розділена на чотири основні класи, які зачіпають різні аспекти поведінки: Бій, Шлях, Інше/Унікальне та Відсутня. Адаптація бою в основному використовується в шутерах та екшенах для взаємодії з навколишнім середовищем і реагування на дії гравця. Адаптація пошуку шляху притаманна більшості стелс-ігор, оскільки завдання ворожого NPC полягає в тому, щоб шукати місце розташування гравця. Клас Інше/Унікальне збирає ігри з видатними типами адаптації, яких немає в інших іграх або які використовуються в дуже обмеженій кількості. Більшість ігор без інтра-поведінкової адаптації належать до ігор з відкритим світом та стратегій.

Ігри також були класифіковані на основі вида адаптації в залежності від джерела, який вони використовують для налаштування гри: гри з Прямою, Непрямою, Змішаною адаптацією і клас Відсутня. Пряма адаптація також була розділена на три підкласи: DDA/управління потоком, Сенсорні Системи (не завжди забезпечують адаптацію, але здатні аналізувати середовище) та Інші (не відповідають попереднім підкласам, але використовують пряму адаптацію для інших цілей). Для Непрямої адаптації не було виявлено суттєвої закономірності, але це джерело широко використовується для інтер-поведінкової адаптації. Змішана адаптація може використовувати обидва джерела, пов'язаних між собою,

для спільної мети або для різних частин гри. Клас Відсутня групує ігри, які не використовують жодної інформації від гравця.

Здатність до Профілювання гравця є ще одним способом класифікації ігор і найбільш пов'язаний з адаптацією до гравця-людини. Однак було знайдено лише невелику кількість ігор, в яких реалізовано профілювання гравців. Їх можна розділити на два основні класи: Стиль гравця та Прогрес. III ігор класу Стиль гравця аналізує стиль гравця на основі найчастіших дій, а III класу Прогрес використовує продуктивність гравця в грі, щоб відрегулювати її інтенсивність та складність.

5 АНАЛІЗ ПОПУЛЯРНОСТІ

Штучний інтелект здатний до адаптації є багатообіцяючою технікою для поліпшення якості ігор та залучення більшої уваги гравців до гри. Сучасні відеоігри вже роблять кроки до передових систем штучного інтелекту, привносячи більше правдоподібності та кидаючи виклик ігровому світу. Проте, питання про необхідність застосування передових методів штучного інтелекту в грі залишається відкритим [13]. Тож питання в тому, чи будуть ігри, які можуть пристосовуватися до стилю людини-гравця, більш популярними як поміж критиків, так і гравців, і чи варто компаніям-розробникам ігор впроваджувати більш розвинені методи ШІ в своїх продуктах.

5.1 Популярність розвинутого штучного інтелекту

Грунтуючись на аналізі обраних ігор та систем управління ними, ми розділили всі ігри на три групи в залежності від складності ШІ: ігри з базовим ШІ, високореактивним ШІ та передовим ШІ.

У категорію ігор з базовим ШІ ми вирішили помістити ігри, які мають три або менше позитивних рис з шести (під позитивними ми маємо на увазі значення відмінні від «-»). У більшості випадків в цих іграх не реалізовані жодні функції адаптації, і в них рідко використовуються цілеспрямовані та гнучкі агенти ШІ. Деякі з них можуть мати позитивні значення рис в розділі адаптації, але вони спрощені або не зачіпають безпосередньо важливу частину поведінки NPC.

Категорія Високореактивного ШІ складається з ігор, позначених високореактивними на етапі аналізу. Кількість таких ігор менше 25% від обраного набору, але вони є прославленими представниками сучасного ігрового ШІ. У

набір входять ігри з високим рейтингом, такі як «F.E.A.R.», «Half Life» і «Far Cry 4».

Ігри з чотирма та більше позитивними значеннями відносяться до категорії Передових III. Представники цієї категорії мають цілеспрямований та гнучкий адаптивний III. Більшість ігор з III, здатним до навчання, відносяться до цієї категорії.

Як видно з таблиці таблиці 5.1, ігри з категорій Базовий та Передовий III мають досить велику різницю між середніми показниками з Базовим III в якості лідера. Відхилення в балах Передового III вище, так як «Hello Neighbor» та «Monstrum» отримали надзвичайно низькі бали в порівнянні з більшістю: тільки 40 з 100 і 57 з 100 відповідно, коли більшість ігор мають бали від 80 до 91. Після усунення виключень ситуація покращилася: середній бал став на 4,6 бали вище. У той же час більшість ігор в групі Базового III показують більш високі показники з оцінками від 85 до 95.

Таблиця 5.1 — Середні бали та обсяги продажів ігор різних груп III

Категорія ігор	Кількість значень	Середній бал	Відхилення балів	Середній обсяг продажів, млн	Відхилення продажів
Базовий III	21	87,2	6,38	4,32	3,24
Високореактивний III	12	85,3	7,18	4,05	2,53
Передовий III	16	80,8 (85,4)	14,04 (5,79)	1,98 (2,23)	2,06 (2,09)

Аналогічна ситуація спостерігається в обсягах продажу обох груп: рівень продажів Базового III в два рази вище, ніж рівень продажів Передового. Середній обсяг продажів ігор в останній категорії становить 1,98 мільйона копій, а продажі ігор першої категорій – близько 4,3 мільйона. Більшість ігор останньої мають обсяг продажів в діапазоні від 2 до 7, в той час як діапазон продажів ігор з Передовим III поширюється в діапазоні від 0,01 до 4. Видалення виключень не

змінює ситуацію. Однак відхилення від продажів нижче для групи Передового ШІ.

Категорія ігор з Високореактивним ШІ показує більш високий середній рівень продажів, але нижчий середній бал, ніж група Базового ШІ. Проте, різниця між оцінками є конкурентною, і відхилення від рівня продажів також менше. Крім того, близько 50% ігор другої групи мають рівень продажів близько 4 мільйонів і вище, в той час як першої – тільки 47%, а третьої – 20%.

Що стосується взаємозв'язку між балом «Метакритика» та продажами для ігор з різним рівнем складності ШІ, тільки в групі Передового ШІ спостерігаються слабкі та помірні позитивні кореляції, як видно з рисунка 5.1 (тут і далі використовується коефіцієнт кореляції Пірсона).

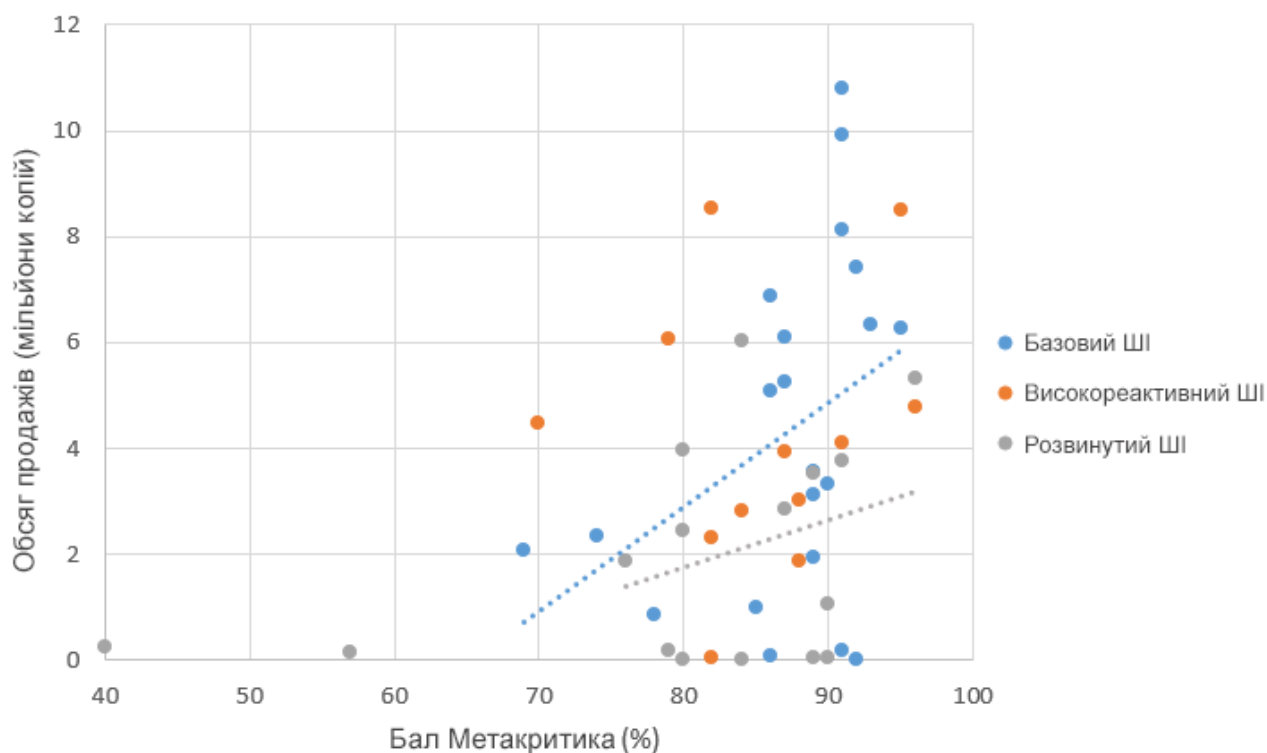


Рисунок 5.1 – Діаграма розсіювання для різних груп ігрового ШІ

На рисунку 5.1 представлена діаграма розсіювання балів «Метакритика» та обсягів продажу для різних груп ігрового ШІ. В поточній досліджуваній вибірці спостерігається слабка або помірна позитивна кореляція для категорій «Базовий

III» та «Розвинений III» ($n = 21, p = 0,39$ і $n = 16, p = 0,25$ відповідно), але не для Високореактивного III» ($n = 12, p = 0,147$). Сині та сірі лінії показують лінійні моделі для категорій «Базового III» та «Розвиненого III» відповідно. Дивіться також табл. 5.1.

Два сильних відхилення були виключені з аналізу через їх надзвичайно низькі показники у порівнянні з іншими даними.

5.2 Популярність адаптивного штучного інтелекту

Для базового дослідження популярності ігор з адаптивним III набір аналізованих ігор був розділений на дві групи: ігри, які забезпечують будь-яку інтер- або інтра-поведінкову адаптацію (позитивні значення в колонках інтер- або інтра-поведінкової адаптації) та ігри без таких функцій. Результати можна побачити в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Середні бали та обсяги продажів адаптивних та неадаптивних ігор

Категорія ігор	Кількість значень	Середній бал	Відхилення балів	Середній обсяг продажів, млн	Відхилення продажів
Неадаптивний III	13	88,2	5,00	4,72	3,65
Адаптивний III	36	83,4	10,96	3,09	2,49

Середній бал адаптивних ігор вище, ніж у неадаптивних ігор, однак показники продажів мають великий розрив: середня кількість проданих копій ігор з неадаптивним III становить 4,7 мільйона, в той час як у адаптивних ігор – 3,1 мільйона копій. У той же час ігри з адаптивним III мають набагато більш високу дисперсію оцінок, але, несподівано, дисперсія продажів нижче.

Щоб глибше зрозуміти зв'язок між складністю III та популярністю ігор, необхідне більш конкретне угруповання для аналізу популярності адаптивних відеоігор. Більшість вивчених ігор реалізують адаптацію на різних рівнях складності. Ми розділили список ігор на дві групи, що містять випадки, в яких змінюються тільки певні частини поведінки (інтра-поведінкова адаптація), та ігри, що додатково реалізують інтер-поведінкову адаптацію.

Як видно з таблиці 5.3, середній бал категорії ігор з інтер-поведінковою адаптації вище, ніж середній бал ігор з інтра-поведінковою адаптацією. Але в останній групі кілька виключень мають великий розрив між своїми та більшістю значень.

Таблиця 5.3 — Середні бали та обсяги продажів ігор тільки з інтра-поведінковою адаптацією або з інтер-поведінковою адаптацією

Категорія ігор	Кількість значень	Середній бал	Відхилення балів	Середній обсяг продажів, млн	Відхилення продажів
Тільки інтра-поведінкова	18	81,7	14,18	2,97	2,20
Інтер-поведінкова	18	85,1	6,33	3,21	2,81

Проте, середній обсяг продажів порівняно близький для обох груп. Ігри з інтра-поведінковою адаптацією показують трохи вищі середні показники продажу, але розкид значень також більше, оскільки деякі ігри досить старі та не мають високих показників продажу. Крім того, ненадійність деяких джерел впливає на результати аналізу: тільки невелика кількість видавців повідомляють про загальні продажі своїх продуктів, тому дані в таблиці є приблизні значення з різних джерел, які показують кількість завантажень.

Діаграма розсіювання значень обсягу загального продажу та балів «Метакритика» для груп з різними типами адаптації (див. рис. 5.2) демонструє, що, незважаючи на деякі виключення, тільки інтра-поведінкова група демонструє

позитивну кореляцію від слабкої до помірної між балами «Метакритика» та загальним обсягом продажу.

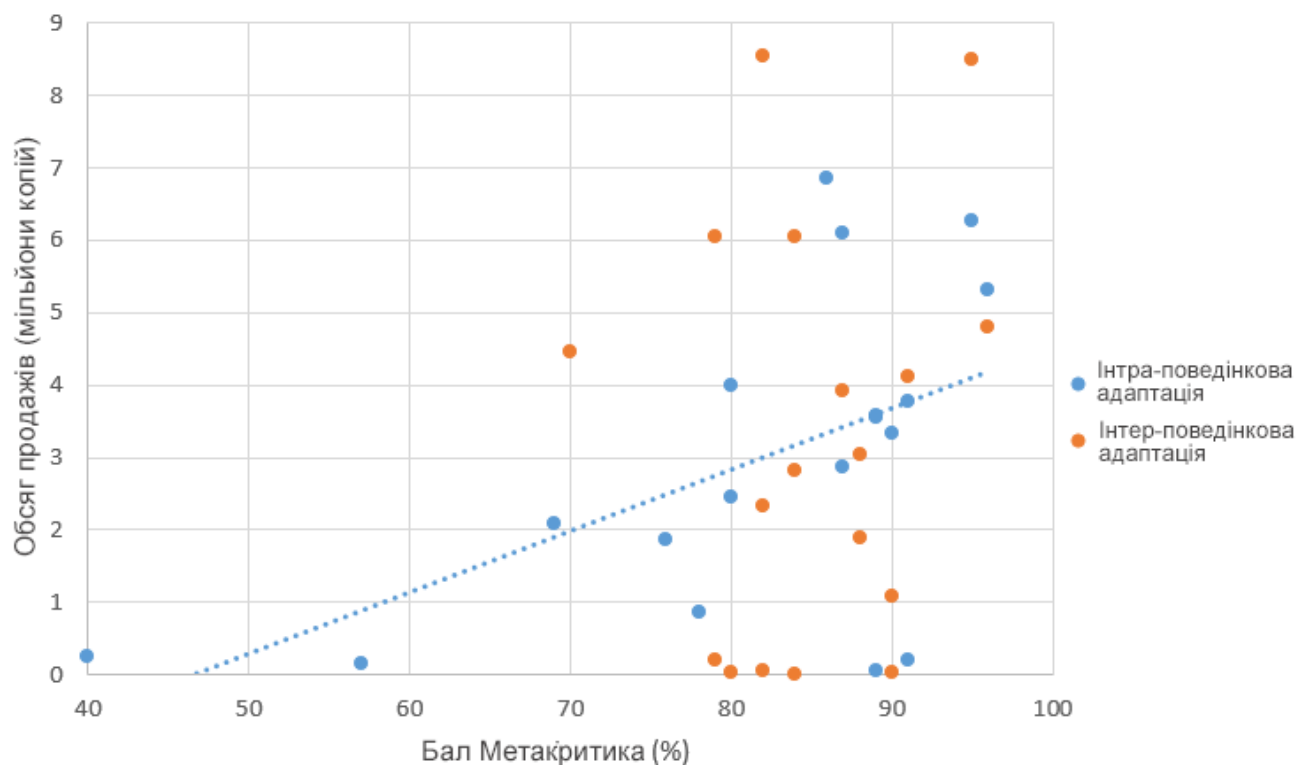


Рисунок 5.2 – Діаграма розсіювання для груп з різними типами адаптації

На рисунку 5.2 представлена діаграма розсіювання балів «Метакритика» та обсягів продажу для груп з різними типами адаптації (інтер- та інтра-поведінкова адаптація). В поточній досліджуваній вибірці існує слабка та помірна позитивна кореляція для ігор з інтра-поведінковою адаптацією ($n = 18$, $p = 0,547$) (ситуація залишається незмінною після видалення виключень з оцінками менше 60), але не для ігор з інтер-поведінковою адаптацією ($n = 18$, $p = 0,136$). Синя лінія показує лінійну модель для категорії інтра-поведінкової адаптації. Дивіться також табл. 5.3.

Звертаючись до першої та другої гіпотез цієї роботи (див. розділ 1.2) про популярність адаптивного ШІ в іграх, ми дослідили кореляції між різними рівнями адаптивності до гравця та популярності ігор.

Для цього етапу аналізу ми розглянемо чотири рівні адаптивності відеоігор:

- відсутня: гра не забезпечує адаптацію NPC до гравця-людини. Крім того, NPC не можуть вважатися високореактивними;
- низька: гра не забезпечує інтер-поведінкову адаптацію поведінки NPC, але використовує інформацію, отриману з ігрового середовища та дій гравця, щоб налаштувати деякі менші частини поведінки (інтра-поведінкова адаптація). Примітка: ігри, які забезпечують такий же тип адаптації, але не використовують ніякої інформації, отриманої від гравця, не включені в цей набір;
- середня: ігровий набір включає в себе ігри класу Низької інтер-поведінкової адаптації (в тому числі ігри з високою реактивністю);
- висока: ігровий набір включає в себе ігри класу Високої інтер-поведінкової адаптації.

Результати аналізу середніх балів і продажів наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 — Середні бали та обсяги продажів ігор тільки з різними рівнями адаптивності

Категорія ігор	Кількість значень	Середній бал	Відхилення балів	Середній обсяг продажів, млн	Відхилення продажів
Відсутня	13	88,2	5,00	4,72	3,65
Низька	12	78,4	16,16	2,70	1,97
Середня	12	85,3	7,18	4,21	2,53
Висока	16	84,5	4,72	1,23	2,39

Набір ігор з низькою адаптивністю має найменший середній бал серед усіх наборів, але він також має більш високу дисперсію значень балів, оскільки набір включає в себе три віддалених випадки з відносно низькими балами. Найвищий середній бал з низьким відхиленням спостерігається для класу з відсутньою адаптивністю. Незважаючи на один випадок з результатом нижче 80, всі ігри набрали більше 85. Варто відзначити, що близько 50% ігор в цьому наборі є популярними ігровими серіями, що дає їм перевагу. Проте, ігри з середньою та високою адаптивністю отримали конкурентні оцінки — 85,3 і 84,5 відповідно, але

з більш високим відхиленням балів для класу з середньою адаптивністю (в наборі з'явився викид).

Аналогічна ситуація спостерігається в аналізі продажів. Ігри з низькою адаптивністю мають низькі продажі та низьке відхилення. Незважаючи на кілька викидів, загальні продажі ігор в наборі знаходяться на середньому рівні. Ігри групи з відсутньою адаптацією, незалежно від високого відхилення продажів, отримали найвищі показники продажів через декілька випадків дуже високої популярності тематики та ігрового світу. Що стосується груп середньої та високої адаптивності, остання має найнижчі показники продажів і низьке відхилення, демонструючи набагато меншу популярність, ніж клас середньої адаптивності.

Як видно з рисунка 5.3, тільки ігри без будь-якої адаптації або з низьким рівнем мають помірну позитивну кореляцію. Середній рівень демонструє дуже слабку позитивну кореляцію, в той час як високий має найслабшу негативну кореляцію, близьку до нуля, між оцінками та показниками продажів.

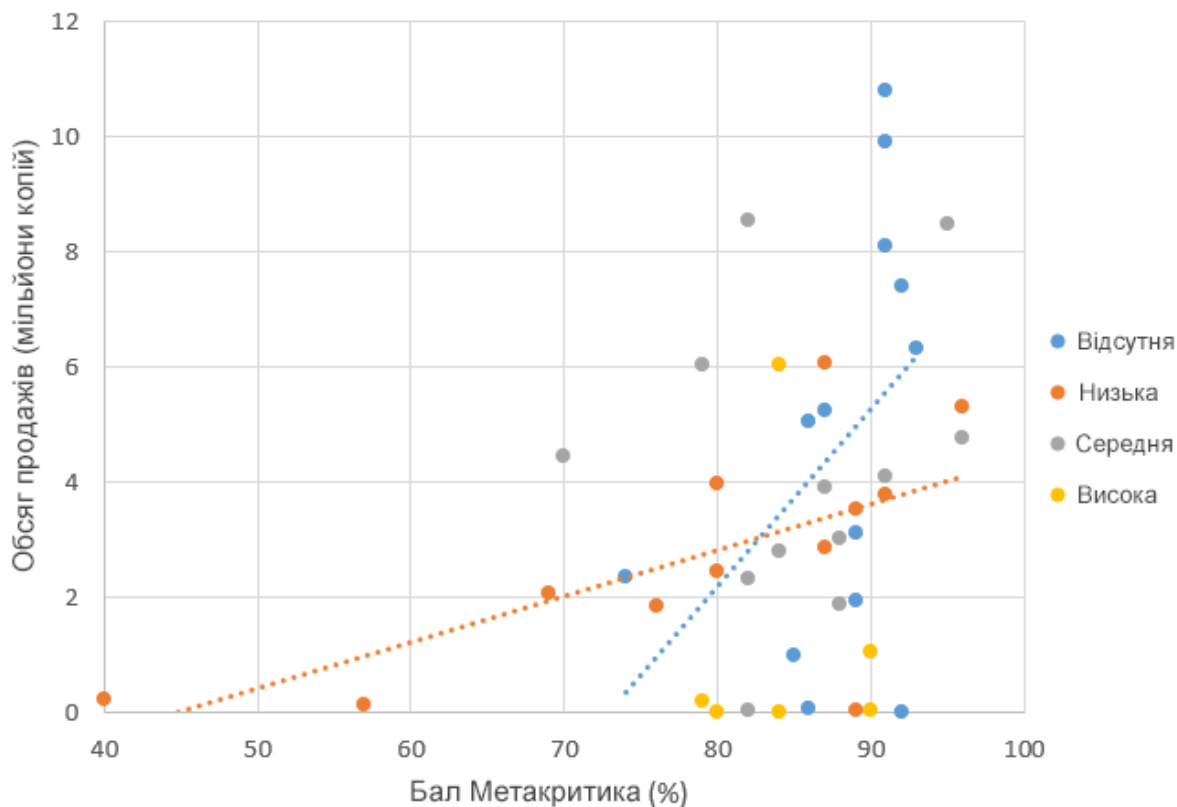


Рисунок 5.3 – Діаграма розсіювання для різних рівнів адаптації

На рисунку 5.2 представлена діаграма розсіювання балів «Метакритика» та обсягів продажу для різних рівнів адаптації. В поточній досліджуваній вибірці існує помірна позитивна кореляція для двох рівнів: ігор з відсутньою адаптацією ($n = 13$, $p = 0,421$) та низькою ($n=12$, $p=0,656$), але не для ігор з середнім ($n = 12$, $p = 0,147$) або високим рівнем адаптації ($n = 76$, $p = 0,0335$). Синя та оранжева лінії показують лінійні моделі для категорій з відсутньою та низькою адаптацією відповідно. Дивіться також табл. 5.4.

5.3 Висновки за розділом

При аналізі популярності відеоігор з передовими системами штучного інтелекту ми спостерігали помірну позитивну кореляцію між балами «Метакритика» та показниками продажів для ігор з базовим та розвиненим системами штучного інтелекту. Проте, менш розвинені, але отримавші визнання критиків системи ШІ отримали ту ж середню оцінку, що і група з передовим ШІ, виключаючи викиди. Однак, середнє значення продажів ігор з розвиненим ШІ — найнижче. Середній бал ігор з базовим ШІ конкурентоспроможний з розвиненим ШІ, але обсяг продажів вище.

Аналіз популярності адаптивних відеоігор показав більш високі значення середнього балу та продажів для ігор, що реалізують адаптацію моделі поведінки, ніж для ігор, що реалізують тільки часткову адаптацію. Однак при більш глибокому аналізі різних рівнів адаптації ми спостерігали більш високі оцінки та показники продажів для ігор без адаптації. Ігри з високою адаптивністю мають нижчі значення, але найнижчі спостерігаються при низькій адаптивності. Крім того, помірна позитивна кореляція між балами «Метакритика» та загальними продажами спостерігалася тільки для ігор з низьким рівнем адаптації та без будь-якої видимої адаптації.

Спостерігаючи та інтерпретуючи результати аналізу популярності, слід враховувати, що деякі неадаптивні гри відносяться до відомих ігрових серій (наприклад, «Witcher», «Fallout», «Batman», «Dark Souls»), тому вони отримують високі оцінки та високі показники продажів незалежно від складності ІІІ. Крім того, більшість ігор з розвиненим та видатними реалізаціями ІІІ є експериментальними інді-іграми, тому на обсяг їх продажів не впливає рекламна кампанія, але вони мають конкурентно високі оцінки.

З огляду на весь виявлений взаємозв'язок між адаптивністю та оцінками/продажами, ми прийшли до висновку, що просунуті та адаптивні системи штучного інтелекту вітаються критиками і є вельми перспективною галуззю для майбутнього розвитку відеоігор. Тим не менше, більшість складні системи штучного інтелекту є експериментальними, тому продукти не завжди широко поширюються відомими видавцями і не отримують належної уваги великих компаній.

ВИСНОВКИ

У цьому дослідженні ми оглянули існуючі дослідження в області штучного інтелекту у відеоіграх та сучасних ігрових системах штучного інтелекту, адресуючи Дослідне питання 1. Грунтуючись на цих спостереженнях, ми розробили класифікацію ігрових систем штучного інтелекту з точки зору їх складності та адаптовності та вивчили взаємозв'язок між популярністю відеоігор і складністю їх ігрового процесу (звертаючись до Дослідного питання 2).

Функції, визначені для агентів ШІ в цілому та конкретних агентів ШІ для ігор, дозволили нам порівняти ігри з точки зору складності та адаптивності, а потім розділити їх на класи та підкласи, які об'єднують ігри зі схожими рисами. Риси були розділені на дві основні групи: базовий ігровий ШІ та адаптивні риси. Риси базового ШІ були використані для визначення базової складності ігрових систем ШІ та їх здатності діяти розумно. Види адаптації у відеоіграх стали предметом пильної уваги в якості основної мети дослідження. Ми визначили два основних види в залежності від джерела та три суперкласи адаптації, які в подальшому були розділені на підкласи. Ця класифікація може бути розширена, щоб охопити більше можливостей систем штучного інтелекту відеоігор.

Угруповання ігор відповідно до розробленої класифікації показало, що 67% ігор були адаптовними до дій гравця на різних рівнях складності, і тільки близько 33% не можна було вважати ні адаптивними, ні високореактивними.

Класифікація та аналіз ігор були далі використані для вивчення відносин між популярністю та складністю адаптивністю ігрового ШІ, щоб підтвердити або спростувати наші дві гіпотези. Залежність популярності від складності ШІ відповідала нашим очікуванням: розвинений ШІ отримав середні оцінки, що конкурують з базовим ШІ (виключаючи кілька викидів), але ігри з простим ШІ показали більш високі показники продажів. Проте, найвищі показники та середні бали були виявлені для базового ШІ, та менш високі, але конкурентні — для високореактивних ШІ — більш складних, але недостатньо розвинених. Незалежно

від цих результатів, тільки ігри з базовим або передовим ШІ мали позитивну кореляцію між рівнем продажів та оцінками.

Більш детальне дослідження популярності адаптивного ШІ виявило високі оцінки для адаптивного ШІ; показники продажів були значно нижче в порівнянні з продажами неадаптивних ігор. Виходячи з попередніх спостережень та висновків, популярність рівнів адаптивності поводитися близько до скоригованих очікувань. Ігри без адаптації отримали більш високі показники продажів в порівнянні з іграми з різними рівнями адаптації. Вони також продемонстрували більш високі оцінки, але ігри із середнім і високим рівнем адаптивності отримали конкурентні значення. Що стосується самих рівнів складності, виявилось, що ігри з середньою та високою адаптацією більш популярні серед гравців і критиків в порівнянні з іграми з низькою адаптацією (за винятком показників продажів групи з високою адаптивністю). Однак тільки ігри з низьким рівнем адаптації та неадаптивні гри показали помірну позитивну кореляцію між балами «Метакритика» та загальним обсягом продажів.

Тому, ґрунтуючись на аналізі даних, проведеному в цій роботі, ні Гіпотеза 1, ні Гіпотеза 2 не можуть бути підтверджені. Однак подальші дослідження (з додатковими та/або більш точними джерелами даних) будуть потрібні, перш ніж вони будуть відхилені.

Обговорюючи результати аналізу, ми враховували, що отримані дані про ігри були упередженими, оскільки в більшості випадків інформація була взята зі сторонніх джерел. Офіційні звіти компаній-розробників ігор, авторів ігор, відібраних для аналізу, нададуть більш об'єктивні дані, а, отже, більш точний аналіз і судження про складність ігрового ШІ та популярність ігор.

Метою даного дослідження було привернути увагу до можливостей і перспектив штучного інтелекту в іграх. Ігровий ШІ набув широкого і всебічного розвитку з тих пір, як він почав використовуватися в іграх, але, як ми виявили в ході вивчення літератури та спостережень за сучасними тенденціями, необхідно розглянути багато можливих аспектів штучного інтелекту та адаптації до людини з подальшим розвитком та інтеграцією в ігровий дизайн. Внесок, який ми

сподіваємося зробити цим дослідженням, визначає ці аспекти та їх поточне використання в сучасних іграх, а також ефективність та прибутковість використання розвиненого ігрового ШІ.

Дослідження показало, що прибутковість високоадаптивних ігор відносно гірше, ніж менш адаптивних ігор або неадаптивного ШІ, однак, адаптивні ігри отримали високі оцінки та відмінні відгуки критиків щодо своїх систем ШІ. З огляду на те, що більшість таких ігор є експериментальними і, крім того, розробленими і виданими незалежними розробниками, очікується низький рівень продажів, оскільки ці продукти не отримують бажаного розповсюдження. Таким чином, просунутий ШІ виправдовує очікування щодо залучення гравців складної механікою і заслуговує подальших досліджень.

Це дослідження було в основному сфокусовано на системах управління ШІ ворожих неігрових персонажів. Однак з деякими модифікаціями цей підхід може бути застосований до інших типів реактивних NPC, таким як віртуальні компаньйони гравця, які можна побачити в багатьох іграх і які також вимагають вдосконалених систем штучного інтелекту. Крім того, класифікація з деякими модифікаціями можуть бути використані в інших областях, пов'язаних з штучним інтелектом. Наприклад, адаптивний ігровий ШІ був вивчений для адаптивних освітніх ігор, які можуть персоналізувати навчальний досвід гравця [73].

Грунтуючись на поточному дослідженні, ми очікуємо, що рекомендації для дизайнерів і розробників ігор будуть розроблені в майбутньому. Ці рекомендації будуть вказувати на перспективні методи та підходи, розроблені дослідниками для використання в іграх, методики ШІ та ігрову механіку, які можуть бути прийняті для розробки системи ШІ, адаптивної до гравця-людини.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Fullerton T. *Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games*, 2nd ed. — Берлінгтон, МА, США: Elsevier Inc., 2008. — 496 с.
2. Csikszentmihalyi M. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. — Нью-Йорк, NY, США: Harper and Row, 1990. — 456 с.
3. Spronck P., Sprinkhuizen-kuiper I., Postma E. Difficulty scaling of game AI//Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Games and Simulation (GAME-ON 2004). 2004. С.33–37.
4. Van Lankveld G., Spronck P., van den Herik J., Rautenberg M. Incongruity-based adaptive game balancing”//Advances in computer games. Берлін, Німеччина: Springer Berlin Heidelberg. 2010. С. 208–220.
5. Bakkes S., Spronck P., van den Herik J. Rapid and reliable adaptation of video game AI//IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. 2009. № 2 (кн. 1). С. 93–104.
6. Bakkes S., Spronck P., van den Herik J. Opponent modelling for case-based adaptive game AI//Entertainment Computing. 2009. № 1 (кн. 1). С. 27–37.
7. Ponsen M., Spronck P., Muñoz-Avila H., Aha D. W., Knowledge acquisition for adaptive game AI//Science of Computer Programming, special Issue on Aspects of Game Programming. 2007. № 1 (кн. 67). С. 59–75. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167642307000548>
8. Laird J., van Lent M. Human-level AI’s killer application: Interactive computer games//Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence and Twelfth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. AAAI Press. 2000. С. 1171–1178. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=647288.760205>
9. Nareyek A. AI in computer games//Queue. 2004. № 10 (кн. 1). С. 58–65. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/971564.971593>

10. Spronck P., Ponsen M., Sprinkhuizen-Kuyper I., Postma E. Adaptive game AI with dynamic scripting//Machine Learning. 2006. № 3 (кн. 63). С. 217–248. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10994-006-6205-6>
11. Riedl M., Thue D., Bulitko V. Game AI as Storytelling/Нью-Йорк, NY, США: Springer New York, 2011. С. 125–150. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8188-2_6
12. Yannakakis G. Game AI revisited//Proceedings of the 9th Conference on Computing Frontiers, ser. CF '12 / Нью-Йорк, NY, США: ACM, 2012. С. 285–292. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2212908.2212954>
13. Yildirim S., Stene S. A survey on the need and use of AI in game agents//Proceedings of the 2008 Spring Simulation Multiconference, ser. SpringSim '08 / Сан-Диего, CA, США: Society for Computer Simulation International, 2008. С. 124–131. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1400549.1400565>
14. Rabin S. AI Game Programming Wisdom. — Рокленд, MA, США: Charles River Media, Inc., 2002. — 704 с.
15. Millington I., Funge J. Artificial Intelligence for Games, 2nd ed. — Сан-Франциско, CA, США: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2009. — 896 с.
16. Bakkes S., Tan C., Pisan Y. Personalised gaming: a motivation and overview of literature//IE. 2012.
17. Karpinskyj S., Zambetta F., Cavedon L. Video game personalisation techniques: A comprehensive survey//Entertainment Computing. 2014. № 4 (кн. 5). С. 211 – 218. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875952114000342>
18. Yannakakis G., Togelius J. Artificial Intelligence and Games. — Springer, 2018. URL: <http://gameaibook.org>.
19. Nareyek A. Game AI is dead. long live game AI//IEEE Intelligent Systems. 2007. № 1 (кн. 22). С. 9–11. URL: <https://doi.org/10.1109/MIS.2007.10>
20. Cui X., Shi H. A*-based pathfinding in modern computer games//International Journal of Computer Science and Network Security. 2011. № 1 (кн. 11). С. 125–130.

21. Champanand A. 10 reasons the age of finite state machines is over. 2008. URL: <http://aigamedev.com/open/article/fsm-age-is-over/>
22. Go C., Lee W. An Intelligent Belief-Desire-Intention Agent for Digital Game-Based Learning//Берлін, Німеччина: Springer Berlin Heidelberg, 2007. С. 677–685. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72432-2_68
23. Liden L. AI Game Programming Wisdom, Кн. 2. — Рокленд, МА, США: Charles River Media, Inc., 2003. — 732 с.
24. Aiolli F., Palazzi C. Enhancing artificial intelligence on a real mobile game//Int. J. Comput. Games Technol. 2009. С. 1:1–1:9. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2009/456169>
25. Schadd F., Bakkes E., Spronck P. Opponent modeling in real-time strategy games//Proceedings of the GAME-ON 2007. 2007. С. 61–68.
26. Hladky S., Bulitko V. An evaluation of models for predicting opponent positions in first-person shooter video games//2008 IEEE Symposium On Computational Intelligence and Games, Пепт, WA, США. 2008. С. 39–46.
27. Demasi P., Cruz A. de O. Online coevolution for action games// Int. J. Intell. Games & Simulation. 2003. № 2 (Кн. 2). С. 80–88. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/ijigs/ijigs2.html#DemasiC03>
28. Parrish P. Echo interview q&a with ultra ultra's Martin Emborg. 2017. URL: <https://www.pcinvasion.com/echo-interview-qa-with-ultra-ultras-martin-emborg>
29. Lachenal J. Stealth horror game hello neighbor's adaptive AI will make you sick with suspense. 2016. URL: <https://www.themarysue.com/hello-scary-neighbor-please-dont-hurt-me/>
30. Shaker N., Yannakakis G., Togelius J. Towards automatic personalized content generation for platform games//Proceedings of the Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, ser. AIIDE'10. AAAI Press. 2010. С. 63–68. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3014666.3014679>
31. Games By Angelina. URL: <http://www.gamesbyangelina.org>
32. Hecht E. The compleat WoW abbreviations. 2007. URL: <https://www.engadget.com/2007/02/20/the-compleat-wow-abbreviations/>

33. Lecky-Thompson G. AI and Artificial Life in Video Games, 1st ed. — Рокленд, МА, США: Charles River Media, Inc., 2008. — 352 с.
34. Pinter M. Towards more realistic pathfinding. 2001. URL: https://www.gamasutra.com/view/feature/131505/toward_more_realistic_pathfinding.php
35. Bevilacqua F. Finite-state machines: Theory and implementation. 2013. URL: <https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/finite-state-machines-theory-and-implementation--gamedev-11867>
36. Horti. S. Why F.E.A.R.'s AI is still the best in first-person shooters. 2017. URL: https://www.gamasutra.com/view/feature/131505/toward_more_realistic_pathfinding.php
37. Simpson C. Behavior trees for AI: How they work. 2014. URL: https://www.gamasutra.com/blogs/ChrisSimpson/20140717/221339/Behavior_trees_for_AI_How_they_work.php
38. Thompson T. Outsmarting the Covenant. 2015. URL: <https://aiandgames.com/outsmarting-the-covenant/>
39. Orkin J. Three states and a plan: The A.I. of F.E.A.R.//Proceedings of the game developer's conference (GDC). 2006. C. 33–37. URL: http://alumni.media.mit.edu/~jorkin/gdc2006_orkin_jeff_fear.pdf
40. Lim M., Dias J., Aylett R., Paiva A. Creating adaptive affective autonomous npcs//Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2012. № 2 (кн. 24). C. 287–311. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10458-010-9161-2>
41. Schatz A. How will artificial intelligence change video games? 2017. URL: <https://www.forbes.com/sites/quora/2017/09/15/how-will-artificial-intelligence-change-video-games/#2afea4042bb5>
42. Hoekstra C. Adaptive artificially intelligent agents in video games: A survey//UNIAI-06. 2006.
43. Dodd A. Could the alien in Alien: Isolation be too smart? 2014. URL: <https://bloody-disgusting.com/news/3304238/possible-alien-alien-isolation-smart/>

44. Wexler J. Artificial intelligence in games: A look at the smarts behind Lionhead Studio's "Black and White" and where it can and will go in the future. 2002. URL: <http://www.cs.rochester.edu/~brown/242/assts/termprojs/games.pdf>
45. Cruz C., Uresti J. Player-centered game AI from a flow perspective: Towards a better understanding of past trends and future directions//Entertainment Computing. 2017. КН. 20. С. 11 – 24. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875952117300095>
46. McCrae R., John O. An introduction to the five-factor model and its applications//Journal of Personality. № 2 (КН. 60). С. 175–215. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-6494.1992.tb00970.x>
47. Myers I. B. MBTI Manual: A Guide to the Development and Use of the Myers-Briggs Type Indicator. / Consulting Psychologists Press, 1998. URL: <https://books.google.se/books?id=XPbRQwAACAAJ>
48. Hartsook K., Zook A., Das S., Riedl M. O. Toward supporting stories with procedurally generated game worlds//2011 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG'11). 2011. С. 297–304.
49. Nygren N., Denzinger J., Stephenson B., Aycock J. User-preference based automated level generation for platform games//2011 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG'11). 2011. С. 55–62.
50. Yannakakis G., Martínez H., Jhala A. Towards affective camera control in game//User Modeling and User-Adapted Interaction. 2010. № 4 (КН. 20). С. 313–340. URL: <https://doi.org/10.1007/s11257-010-9078-0>
51. Sharma M., Ontañón S., Mehta M., Ram A. Drama management and player modeling for interactive fiction games//Computational Intelligence. 2010. № 2 (КН. 26). С. 183–211. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8640.2010.00355.x65>
52. Pedersen C., Togelius J., Yannakakis G. Modeling player experience for content creation//IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. 2010. № 1 (КН. 2). С. 54–67.
53. Yu H., Trawick T. Personalized procedural content generation to minimize frustration and boredom based on ranking algorithm//Proceedings of the 7th AAI

Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, AIIDE 2011. 2011.

54. Thue D., Bulitko V., Spetch M., Wasylishen E. Interactive storytelling: A player modelling approach. 2007. С. 43–48.

55. Moss R. 7 examples of game AI that every developer should study. Дата оновлення: 05.04.2018. URL: https://www.gamasutra.com/view/news/269634/7_examples_of_game_AI_that_every_developer_should_study.php (дата звернення: 03.03.2018).

56. Bakkes S., Spronck P., van Lankveld G. Player behavioural modelling for video games//Entertainment Computing. 2012. Кн. 3. С. 71–79.

57. Aleksieva-Petrova A., Petrov M. ADOPTA model of learner and educational game structure/ред.рада: Rachev B., A. Smrikarov; Proceedings of the 12th International Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech 2011. ACM, 2011. С. 636–640. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2023607.2023713>

58. Bontchev B., Georgieva O. Playing style recognition through an adaptive video game//Computers in Human Behavior. 2018. Кн. 82. С. 136 – 147. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563217307264>

59. Kolb D. Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. — Енглевод Клиффс, NJ, США: Prentice-Hall P T R, 1984. — 390 с.

60. Demasi P., Cruz A. Anticipating opponent behaviour using sequential prediction and real-time fuzzy rule learning//Proceedings of the 4th International conference on Intelligent Games and Simulation (GAMEON'2004). 2003. С. 101–106.

61. Chang D. Dynamic difficulty adjustment in computer game”//Proceedings of 11th Ann. Interact. Multimedia Systems Conf. 2013.

62. Thompson T. In the directors chair: Left 4 Dead. Дата оновлення: 01.12.2017. URL: <https://aiandgames.com/in-the-directors-chair-left-4-dead/> (дата звернення: 05.03.2018).

63. Johnson D., Watling C., Gardner J., Nacke L. The edge of glory: The relationship between metacritic scores and player experience//Proceedings of the First ACM SIGCHI Annual Symposium on Computer-human Interaction in Play / Нью-

Йорк, NY, США: ACM, 2014. С. 141–150. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2658537.2658694>

64. Why are game developer bonuses based on review scores? Дата оновлення: 12.03.2012. URL: <https://kotaku.com/metacritic-matters-how-review-scores-hurt-video-games-472462218> (дата звернення: 05.10.2018).

65. Now metacritic can do developers out of bonus pay and jobs. bioshock studio makes metascore an application requirement. Дата оновлення: 26.07.2012. URL: <https://www.gamesradar.com/now-metacritic-can-do-developers-out-of-bonus-pay-and-jobs-as-bioshock-studio-demands-metascores-on-applications/> (дата звернення: 05.10.2018)

66. Masy S. Ubisoft games top 2017's sales so far. Дата оновлення: 18.05.2017. URL: <http://www.ign.com/articles/2017/05/19/ubisoftgames-top-2017s-sales-so-far> (дата звернення: 18.03.2018).

67. Franklin S., Graesser A. Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents//Intelligent Agents III Agent Theories, Architectures, and Languages/ред. рада: Müller J., Wooldridge M., Jennings N.; Берлін, Німеччина: Springer Berlin Heidelberg, 1997. С. 21–35.

68. Pfeifer R., Scheier C. Understanding Intelligence. — Кембрідж, МА, США: MIT Press, 1999. — 700 с.

69. Thompson T. HTN planning in Transformers: Fall of Cybertron. Дата оновлення: 10.06.2016. URL: <https://aiandgames.com/cybertron-intel/> (дата звернення: 15.07.2018).

70. Champanand A. J. A-Life, emergent AI and S.T.A.L.K.E.R.: An interview with Dmitriy Iassenev. Дата оновлення: 25.02.2008. URL: <http://aigamedev.com/open/interviews/stalker-alife> (дата звернення: 14.07.2018)

71. Parkin J. Middle-earth: Shadow of War guide: The Nemesis System. Дата оновлення: 09.10.2017. URL: <https://www.polygon.com/middle-earth-shadow-of-war-guide/2017/10/9/16439610/the-nemesis-system-and-you> (дата звернення: 10.07.2018).

72. The Nemesis system. Дата оновлення: 03.11.2015. URL: http://www.ign.com/wikis/middle-earth-shadow-of-mordor/The_Nemesis_System (дата звернення: 20.07.2018).

73. Peirce N., Conlan O., Wade V. Adaptive educational games: Providing non-invasive personalised learning experiences//2008 Second IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning. 2008. С. 28–35.