

МАЛІНІЧ ПАВЛО

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0008-2423-9100>e-mail: pavlo.malinich@vntu.edu.ua**ВОЙТКО ВІКТОРІЯ**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3329-7256>e-mail: dekanfki@i.ua

ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ АНАЛІТИКИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ВІДЕОІГОР ТА ДИНАМІЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ІГРОВОГО КОНТЕНТУ

У статті розглянуто особливості використання аналітики ігрової телеметрії для підвищення персоналізації ігрового досвіду користувача. Проаналізовано сучасні методи генерації ігрового контенту та розглянуто класифікацію типів гравців з урахуванням їх поведінки у динамічному середовищі. Запропоновано програмну архітектуру, яка поєднує аналіз даних у реальному часі з адаптивною генерацією ігрових сценаріїв. Досліджено, які аспекти відеоігри є критичними для реіграбельності, зокрема, яку роль у довготривалому утриманні користувача відіграють адаптивна складність, релевантність винагород та відповідність контенту психологічному профілю гравця. Доведено, що аналіз телеметричних даних є перспективною основою для розробки методу персоналізації ігрового процесу. Зазначено технічні труднощі, які виникають під час інтеграції методу персоналізації ігрового процесу з популярними ігровими рушіями, такими як Unreal Engine, Unity та Godot. Ці рушії надають потужні інструменти для реалізації ігрової логіки та візуалізації, але вимагають спеціалізованих рішень для глибокого збору телеметрії, керування геометрією гри в реальному часі, адаптивної складності та динамічної системи винагород. Розглянуто можливість створення інструменту, який не лише збирає дані про гравця безпосередньо через рушій гри, але й взаємодіє з основними механіками ігрового процесу без шкоди для стабільності та ефективності роботи. Крім того, було проведено аналіз придатності різних жанрів ігрових програм до підбору персоналізованого рівня складності ігрового контенту. Спостерігалось, що деякі жанри зазнають зниження продуктивності або нестабільності геймплею при застосуванні розширеної аналітики та адаптивної логіки в режимі реального часу. Встановлено, що платформери є найбільш збалансованим середовищем для інтеграції з адаптивним методом персоналізованого підбору рівня складності ігрової сесії завдяки відносно простій структурі рівнів, передбачуваному темпу гри та ідентифікованим діям гравця, які піддаються статистичному аналізу. Платформер обрано як базовий жанр для реалізації та валідації запропонованої програмної архітектури взаємозв'язку аналітики ігрової телеметрії та динамічної генерації ігрового контенту.

Ключові слова: динамічна генерація контенту, ігрова телеметрія, реіграбельність, персоналізація ігрового досвіду, ігрова аналітика, поведінкова модель гравця.

MALINICH PAVLO**VOITKO VIKTORIYA**

Vinnytsia National Technical University

SOFTWARE ARCHITECTURE OF INTERCONNECTION OF GAMING TELEMETRY ANALYTICS AND DYNAMIC GENERATION OF GAME CONTENT

The article examines the features of using game telemetry analytics to enhance the personalization of the user's gaming experience. Modern methods of game content generation are analyzed, and a classification of player types is considered based on their behavior in a dynamic environment. A software architecture is proposed that combines real-time data analysis with adaptive game scenario generation. The study explores which aspects of a video game are critical for replayability, particularly the role that adaptive difficulty, reward relevance, and content alignment with the player's psychological profile play in long-term user retention. It is shown that the analysis of telemetry data serves as a promising foundation for developing a method of gameplay personalization. The technical challenges of integrating gameplay personalization methods with popular game engines such as Unreal Engine, Unity, and Godot are discussed. These engines offer powerful tools for implementing gameplay logic and visualization, but require specialized solutions for deep telemetry collection, real-time control of game geometry, adaptive difficulty, and dynamic reward systems. The possibility is considered of creating a tool that not only collects player data directly through the game engine, but also interacts with the core game mechanics without compromising the system's stability and performance. Additionally, an analysis was conducted on the suitability of different game genres for the application of personalized difficulty adjustment in game content. It was observed that some genres experience performance degradation or gameplay instability when advanced analytics and adaptive logic are applied in real-time. It was found that platformers offer the most balanced environment for integrating adaptive methods of personalized difficulty selection during a game session, due to their relatively simple level structure, predictable gameplay pace, and clearly identifiable player actions that lend themselves to statistical analysis. Therefore, the platformer genre was selected as the baseline for implementing and validating the proposed software architecture that links game telemetry analytics with dynamic game content generation.

Keywords: dynamic content generation, game telemetry, replayability, gaming experience personalization, game analytics, player behavior model.

Стаття надійшла до редакції / Received 05.06.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.06.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Дедалі більшої актуальності набуває у сучасній індустрії відеоігор проблема реіграбельності (replayability). Забезпечення високого рівня реіграбельності спонукає гравців повертатися до гри та проходити

її знову. Це сприяє глибшому розумінню механік гри, детальнішому вивченню внутрішньоігрового світу та виконанню різноманітних досягнень, що збільшує тривалість часу, проведеного в грі. У свою чергу, прибутки видавця ігрової програми пропорційні часу, проведеному гравцями у грі, за рахунок продажу додаткового контенту (DLC), косметичних елементів та внутрішньоігрових транзакцій. Використання методів динамічної генерації ігрового контенту та аналізу телеметрії геймплею є комплексним завданням, оскільки надмірна випадковість у процедурній генерації може знизити якість ігрового досвіду, а збереження повторюваності часто зменшує реіграбельність, оскільки гравець вже знає сценарій і передбачає очікуваний розвиток подій. Динамічність сюжету та множинність рівнів впливає на логічну цілісність сприйняття ігрового контенту через невластиве поєднання згенерованих та наявних статичних елементів[1]. Телеметрія як інструмент дослідження ефективності повторних проходжень дедалі більше стикається як із проблемами збору, обробки та труднощами інтерпретації великих обсягів даних, так і з етичними та юридичними обмеженнями щодо конфіденційності гравців. Дані телеметрії не завжди можуть бути інтерпретовані вірно, оскільки не враховують різноманітність ігрових стилів гравців та їхню мотивацію. До того ж складність тестування варіацій динамічного контенту значно впливає на баланс та стабільність гри. У сукупності ці чинники вимагають ретельного аналізу, оскільки вагомо впливають на розробника при створенні ігрового контенту, орієнтованого на підтримку реіграбельності та довготривале утримання гравців в ігровому процесі.

Аналіз досліджень та публікацій

У сучасній індустрії відеоігор динамічна генерація контенту стала важливим напрямом досліджень, оскільки сприяє збільшенню масштабу гри, підвищенню варіативності досвіду гравця та водночас дозволяє оптимізувати витрати на розробку. Динамічна генерація контенту включає в себе низку алгоритмічних підходів, серед яких є класичні методи процедурної генерації та методи, що базуються на передових моделях штучного інтелекту і машинного навчання. Зокрема, варто виділити такі підходи та методи динамічної генерації: процедурна генерація, генерація за допомогою AI, правилозалежна генерація (Rule-based Generation), хвильова функція колапсу (Wave Function Collapse, WFC), еволюційні алгоритми та використання L-систем (Lindenmayer Systems). Процедурній генерації контенту властиве створення ігрових елементів на основі заздалегідь заданих алгоритмів, що включають випадковість та набір суворих чи гнучких правил. Прикладом такої генерації є гра Path of Exile. Кожна локація, окрім міст та певних ділянок, створюється динамічно та є унікальною. Самі рівні будуються на основі вже готової варіативності наявних модулів, які з'єднуються за визначеними правилами сумісності, забезпечуючи унікальність кожного проходження. Проте для забезпечення фізичної з'єднаності рівня використовується граф-схема зв'язків у поєднанні з алгоритмами пошуку у глибину Пріма, що гарантує існування шляху від початку до закінчення рівневої ігрової сесії. Також класичними прикладами процедурної генерації контенту є ігри Minecraft та No Man's Sky, що використовують шумові алгоритми для створення реалістичних ландшафтів, зокрема, шум Перліна та Simplex Noise[2]. Розглянуті методи та підходи забезпечують можливість видавцям сучасних відеоігор пропонувати гравцям досвід постійної адаптації в унікальних середовищах.

В умовах стрімкого розвитку нейромережових технологій значно зросли можливості для генерації контенту з використанням моделей машинного навчання. Зокрема, для створення унікальних та органічних рівнів набули популярності генеративні змагальні мережі (GANs) [3]. Органічність згенерованих моделями GAN рівнів забезпечується навчанням на вже існуючому наборі опрацьованих рівнів, на основі яких моделі GAN зберігають логіку старих рівнів і генерують нові унікальні рівні. У контексті динамічної генерації розробники дедалі більше експериментують із системами адаптації ігрових сценаріїв до поведінки гравця, наприклад, дозволяючи створювати за рішеннями гравця персоналізовану історію при проходженні сюжетної лінії. Створюються динамічно згенеровані патерни поведінки, характери та діалоги для неігрових персонажів (NPC) [4].

Правилозалежна генерація передбачає побудову контенту на основі строго визначених правил. До прикладу, при генерації квестів важливим для системи є визначення дозволених дій гравця, можливих подій, передбачених сценарієм, та об'єктів, з якими гравець має можливість взаємодіяти. При розробці сценаріїв для формування дерев рішень чи контекстно-вільних граматик мають бути реалізовані логічно-послідовні сюжетні елементи [5]. Особливо ефективною правилозалежна генерація є для архітектурних об'єктів, оскільки граматика можуть описувати будівельні модулі, що комбінуються відповідно до структурних норм. Так створюються реалістичні міста, фортеці та інші архітектурні комплекси, де кожна споруда генерується унікальною, проте зберігає логічну побудову.

Серед сучасних алгоритмів динамічної генерації контенту особливої уваги заслуговує метод хвильової функції колапсу, що забезпечує високий рівень структурної узгодженості генерованого середовища. Основна ідея алгоритму ґрунтується на аналізі вхідного шаблону та генерації нових конфігурацій, що відповідають заданим обмеженням сумісності тайлів. На відміну від класичних шумових методів, WFC працює з великою кількістю можливих станів кожної клітинки у початковій фазі, що поступово звужується до єдиного стану у відповідності до контексту локації. Такий підхід концептуально наслідує принципи квантової суперпозиції та дозволяє зберігати як локальну, так і глобальну узгодженість згенерованої структури [6]. Зазначений алгоритм знайшов широке застосування у жанрах, що потребують строгої просторової організації, зокрема, у головоломках, dungeon crawler-іграх та проєктах з обмеженими ресурсами.

Іншою важливою категорією є алгоритми роботи еволюційних методів, що моделюють процеси природного добору, мутації та змішування для поступового вдосконалення початково випадкових рішень. У сфері відеоігор такі алгоритми застосовуються для задач адаптивної генерації контенту, зокрема, рівнів, що підлаштовуються під стиль гри користувача, враховуючи балансування параметрів складності та привабливості ігрового процесу [7]. Починаючи з випадкової популяції, кожна ітерація фокусує пошук у напрямку ефективніших рішень, що з часом забезпечує створення високоякісного та функціонального контенту. Одним із прикладів є автоматизоване створення ігрових босів, де комбінування характеристик, поведінкових патернів та візуальних елементів відбувається на основі адаптивного аналізу результатів попередніх генерацій [8].

Формальні граматики L-систем (Lindenmayer Systems) також відіграють значну роль у генерації органічних об'єктів природного середовища. Їх використання дозволяє шляхом рекурсивного застосування простих правил створювати складні візуальні структури, що імітують ріст рослин, фрактальні утворення або архітектурні елементи [9]. Застосування L-систем у відеоіграх поширене для генерації дерев, кущів, квітів, а також декоративних конструкцій, що зберігають як індивідуальну естетику, так і логічну побудову внутрішньої структури об'єктів. Окрему увагу слід приділити телеметрії, яка набуває дедалі більшого значення як інструмент адаптивного управління ігровим процесом. Телеметричні дані можуть використовуватися для оцінки залученості гравців у реальному часі, що відкриває нові можливості для динамічного вдосконалення ігрового досвіду [10]. Розглянуті підходи базуються на безперервному аналізі дій користувача без потреби у зовнішніх сенсорах або опитуваннях, що значно підвищує точність оцінки та ефективність реакції системи на зниження зацікавленості гравця. Телеметрія дозволяє своєчасно змінювати складність, додавати додатковий контент або перебудовувати сценарні лінії, забезпечуючи персоналізоване середовище для кожного користувача. У сукупності такі підходи сприяють довготривалому утриманню уваги гравця та формуванню сталого інтересу до продукту, що є критично важливим в умовах високої конкуренції на ринку відеоігор.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка програмної архітектури взаємозв'язку аналітики ігрової телеметрії та динамічної генерації ігрового контенту. Ставиться завдання розглянути особливості різних методів для генерації ігрового контенту та методів аналізу даних ігрової телеметрії, а також створення програмної архітектури, яка могла б їх поєднати.

Виклад основного матеріалу

Для розуміння того, який динамічний контент буде корисним для гравців, необхідно враховувати їхні потреби та мотивацію. Кожен гравець має власні очікування та стиль взаємодії з грою. Виділимо три основні моделі, що описують мотивацію гравців, а саме: моделі Бартла, BrainHex і Hexad. Вони дають змогу визначити, який тип контенту найкраще підходить для різних категорій гравців [11]. Зазвичай у багатокористувацьких іграх найчастіше застосовуються моделі Бартла та Hexad. Модель Бартла поділяє гравців на чотири типи. Досягальники прагнуть винагород і результатів. Соціали цінують взаємодію з іншими. Дослідники вивчають світ гри. Кілери отримують задоволення від змагання і переваги над суперниками [12]. Ця класифікація підходить для традиційних онлайн-ігор. Вона допомагає розробникам розуміти поведінку гравців. Модель Hexad пропонує більш деталізований підхід. У ній виділяють шість типів гравців, а саме: досягальники, соціали, філантропи, дослідники, гравці та порушники. Така модель акцентує увагу не лише на діях гравця, але і на його внутрішній мотивації. Наприклад, філантропи орієнтовані на допомогу іншим. Порушники прагнуть змінити систему або знайти нестандартні способи взаємодії. Гравці очікують отримання винагороди [13]. Обидві моделі мають спільні риси. Досягальники та соціали зустрічаються в обох підходах. Проте Hexad дає змогу глибше зрозуміти поведінкові відмінності. Модель Hexad краще пристосована до неігрових контекстів. Зокрема, її застосовують у навчальних середовищах та при створенні інтерфейсів. Типологія гравців може використовуватися для адаптації контенту. Досягальникам підійдуть завдання з чіткою структурою. Соціалам і філантропам варто запропонувати кооперативні дії. Дослідникам доцільно додавати приховані механіки. Кілери і гравці потребують змагального режиму. Порушникам важливо дати можливість впливати на систему. Такий підхід підвищує рівень залученості гравців та покращує персоналізацію ігрового процесу.

При створенні зв'язку між телеметрією і генерацією контенту необхідно починати з аналізу поведінки гравців. Це дозволяє виявити закономірності, які впливають на мотивацію. Після цього система може пропонувати відповідний контент для кожного типу гравця. Така послідовність забезпечує ефективну адаптацію до ігрового процесу. Особливістю запропонованої архітектури (рис. 1) є те, що вона може генерувати як персоналізований, так і загальноігровий контент, що особливо корисно у багатокористувацьких іграх.

Запропонована архітектура програмної системи об'єднує механізми збору телеметрії геймплею з адаптивною генерацією контенту, що спрямовано на покращення користувацького досвіду в режимі реального часу. Як базовий жанр було обрано платформер для реалізації та валідації запропонованої програмної архітектури взаємозв'язку аналітики ігрової телеметрії та динамічної генерації ігрового контенту.

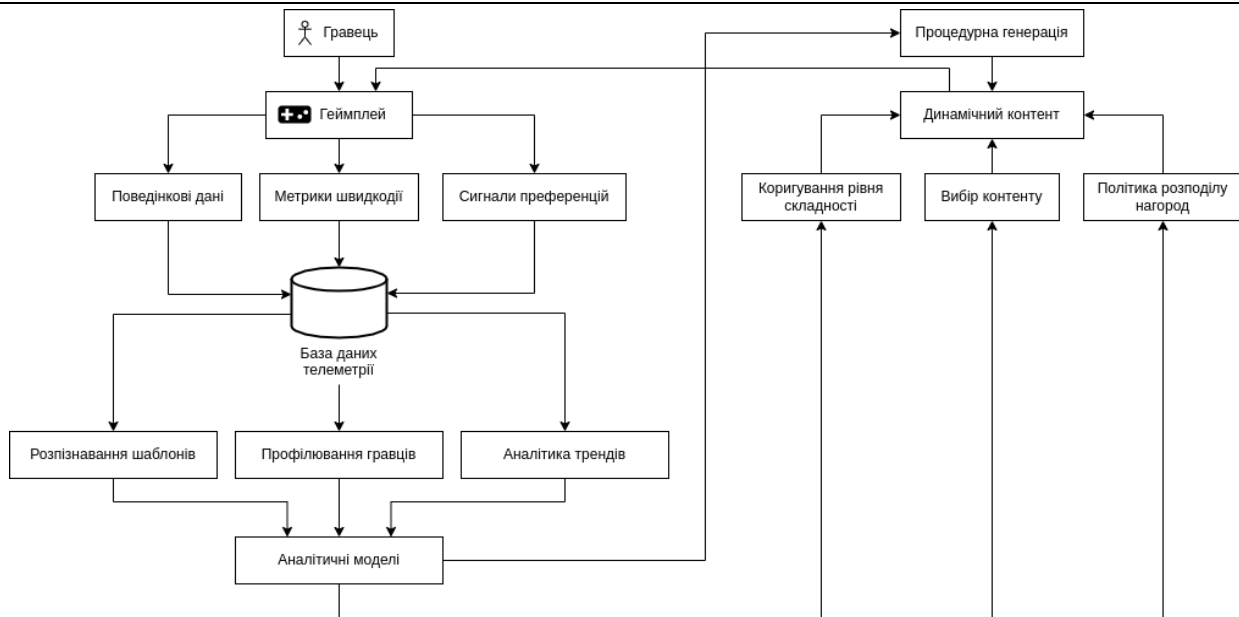


Рис. 1. Запропонована програмна архітектура взаємозв'язку аналітики ігрової телеметрії та динамічної генерації ігрового контенту

На початковому етапі гравець взаємодіє з ігровим середовищем, при цьому фіксується широкий спектр телеметричних параметрів. Система ідентифікує тип гравця за моделями Бартла та Нехада, реєструє поведінкові шаблони (вибір маршрутів, прийняття рішень), ефективність (час виконання завдань, кількість помилок, рівень майстерності) і вподобання (обрані предмети, тривалість перебування в певних зонах). Це дає змогу сформувати детальне уявлення про стиль гри конкретного користувача.

Зібрана інформація надходить до аналітичного модуля, що виконує функцію центрального обчислювального ядра системи. Тут застосовуються алгоритми розпізнавання шаблонів, інструменти побудови гравцевих профілів та моделі аналізу трендів. У результаті відбувається трансформація необроблених даних у структуровані аналітичні моделі. Ці моделі дозволяють глибше зрозуміти поведінку гравця, виявити сталі закономірності у взаємодії з грою, оцінити рівень навичок і встановити індивідуальні переваги. Так створюється база для персоналізованої адаптації ігрового процесу.

Система генерації контенту використовує результати аналізу для зміни параметрів ігрового середовища. Це охоплює адаптацію процедурної генерації рівнів, динамічне розміщення ворогів, побудову сюжетних гілок, регулювання складності та налаштування системи винагород.

Уся архітектура працює як замкнений цикл: новий контент впливає на подальшу поведінку гравця, яка знову збирається й аналізується для подальшого вдосконалення гри. Такий підхід підвищує варіативність геймплею, сприяє довготривалому утриманню аудиторії та зростанню реіграбельності.

Під час побудови моделі були досліджені різні підходи до аналізу телеметричних даних з метою оцінки факторів, що впливають на повторне проходження гри. Зокрема, враховувалися методи дослідження патернів залученості, розгалуження дерева рішень, аналіз досягнень, прогресу, соціальної взаємодії, а також когортний аналіз.

Патерни залученості гравців розглядаються як ключовий показник ефективності повторного проходження. До них належать кількість повторних сесій, їхня середня тривалість, інтервали між сесіями, відсоток завершених проходжень, а також поширені шаблони взаємодії з ігровим контентом. Кількість і тривалість повторних сесій дають загальну оцінку рівня реіграбельності. Інтервали між ними свідчать про глибину зацікавленості та схильність до повернення в гру. Частка завершених сесій демонструє потенціал гри до повторного залучення гравця, а аналіз найчастіших шляхів проходження допомагає визначити елементи, що стимулюють повернення до гри.

Ще одним важливим напрямом є аналіз варіативності між повторними проходженнями. З цією метою вивчається розгалуження сюжетних ліній, частота вибору різних варіантів розвитку подій і рівень дослідженого контенту. Це дозволяє встановити, чи прагнуть гравці експериментувати з новими сценаріями, чи повторюють вже знайомі.

Додатково порівнюються найбільш і найменш популярні елементи гри під час повторних проходжень, що дозволяє визначити сильні сторони розробки та окреслити потенційні зони для поліпшення. Також аналізується час, витрачений на створення нового контенту, порівняно з відомим. Це дає змогу оцінити інтерес до новизни та прагнення повторити попередній досвід.

У сукупності розглянуті методи формують комплексну картину реальної варіативності ігрового досвіду при повторному проходженні. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого розвитку адаптивних систем і персоналізації ігрового контенту.

Для впровадження архітектури запропоновано спрощену модель розгалуження сценаріїв гри (вираз 1):

$$C = [(M \times w) + (S \times (1 - w))] \times R, \quad (1)$$

де C – кількість гілок, M – бали вибору основного наративу, S – вторинні бали вибору, w – ваговий коефіцієнт (0,0-1,0), що визначає акцент на основних та другорядних вибіркових процесах, R – коефіцієнт рекомбінації (0,0-1,0), що вказує на частоту злиття гілок.

Для покращення реіграбельності важливо зацікавити гравця, щоб він залишався для дослідження різних ігрових ситуацій. Для мотивації гравця використовують набір досягнень і цілей. Опис цілей не завжди може бути конкретизованим, проте з опису має бути зрозуміла ідея мотивації. Існують різні метрики досягнень, зокрема, засновані на часових параметрах ігрових сесій. Такий тип досягнень відомий під назвою Speedrunning. Він вимагає глибоких знань гри для побудови оптимальних ігрових стратегій у режимі змагання з іншими гравцями. Зазвичай цей тип досягнень характеризується обмеженням впровадженням у гру у вигляді таблиці лідерів, проте розробники дозволяють стороннім ресурсам, таким як speedrun.com, отримати доступ до інформації про проходження ігрового сценарію, верифікації способу ігрової стратегії для встановлення правил взаємодії в ігровому середовищі. Для цього створюються категорії з правилами проходження ігрових сценаріїв, зокрема, орієнтовані на проходження лише найважливіших аспектів ігрової сесії, на проходження гри з повним дослідженням всіх наявних квестів чи дослідження всіх територій.

Також в окремі категорії виділяють швидкісне проходження з використанням інструментів Tool Assisted Speedruns (TAS). Впровадження підходу проходження ігрової сесії у вигляді змагальної стратегії за часовим параметром надало популярності іграм типу Doom та Mario, гравці яких постійно проводять стріми зі спробами досягнути рекордів, розповідаючи деталі механік гри аудиторії.

Важливим аспектом гри можуть виступати досягнення, сфокусовані на відсотку пройденого контенту при неможливості дослідити весь контент за одну ігрову сесію через розвинене розгалуження сюжету, виключаючи різні квестові гілки та сюжетні лінії. Залежно від планування сюжетних розгалужень такий підхід дозволяє робити кожне проходження ігрової сесії унікальним та сприяє росту реіграбельності ігрового процесу. Прикладом такої гри є Detroit: Become Human, яка має понад 40 різних кінцівок сценарію та з урахуванням вибору навіть незначних сюжетних відхилень має значні сюжетні відмінності при повторному проходженні гри.

Важливим критерієм реіграбельності постають також рівні складності. Типовим мотиватором є прагнення проходження гри з найвищою складністю. Проте існують й інші підходи до забезпечення високого рівня реіграбельності. Зокрема, до найпоширеніших підходів відносять наявність фіксованого і динамічного рівнів складності, також систему вибору сюжетних рішень.

Фіксована складність базується на статичному рівні, встановленому самим гравцем. Загальна складність проходження гри залишається подібною при зростанні прогресу досягнень гравця та вимагає подібних зусиль. Такий підхід допомагає вже досвідченому гравцю обрати вищий рівень складності, щоб урізноманітнити геймплей. Крім того, додають різні рівні складності для різних активностей, що допомагає гравцю, який не знайомий з ігровою стратегією, легше увійти в ігровий процес і, поступово адаптуючись до правил гри, підвищувати рівень складності ігрової сесії. Орієнтирним досягненням за такого підходу вважають проходження гри на найвищому рівні складності без провалу місії.

На противагу фіксованій, динамічна складність не дає можливості гравцю самостійно обирати складність гри, встановлюючи персоналізований рівень складності автоматично з урахуванням нещодавніх успіхів та невдач гравця протягом визначеного проміжку часу. Це проявляється в регулюванні кількості ворогів та їх поведінки, умов виконання квестів, отримання винагород чи доступу до ресурсів.

Деякі ігри забезпечують можливість періодичного автоматичного збереження досягнень, що спрощує геймплей недосвідченого гравця. Такий підхід не вимагає від гравця зайвих зусиль та дозволяє підтримувати інтерес до гри при повторних проходженнях ігрових сесій.

Ефективним є також введення опційних можливостей гри. Це можуть бути побічні завдання чи наявність додаткового функціоналу. Головним завданням побічних активностей є можливість забезпечення користувачу глибшого розуміння світу гри з використанням розважального чи розвиваючого контенту та наданням додаткових непрофільних ресурсів. Правильно підібрана система цілей, стимулів та досягнень заохочує гравців до дослідження ігрового світу, що сприяє росту реіграбельності.

Розглянуті чинники реіграбельності впливають на архітектуру генерації ігрових рівнів з урахуванням визначених вимог. Основний фокус вибору базується на прийнятті рішень для формування адаптивної відповіді на ідентифікований стиль гравця. Це включає в себе динамічну зміну елементів рельєфу, складності маршрутів, частоту та види перешкод. Важливо забезпечити процес перевірки вже створеного контенту на відповідність вимогам та на можливість часткової модифікації вже створеного ландшафту, зокрема, зміни висоти поверхні, додавання чи зменшення кількості об'єктів, з якими взаємодіє гравець, та зміни конфігурації маршрутів. Такий підхід має забезпечити як контрольованість процесу адаптації, так і відповідність наявним вимогам до геймдизайну.

При розробці архітектури варто враховувати технічні аспекти, зокрема, інтеграцію з ігровими рушіями, покращення продуктивності обробки великого обсягу даних про гравця та генерацію рівнів складності. Сумісність із популярними ігровими рушіями (наприклад, Unreal Engine, Unity чи Godot) дозволяє створювати універсальні інструменти для розробників й полегшувати інтеграцію архітектури з урахуванням типу гри. Забезпечена сумісність з ігровими рушіями надає інструменти для збору даних за діями гравця,

уможливило прямий доступ до геометрії і створення об'єктів ландшафту з метою аналізу і зміни їх параметрів.

Забезпечення продуктивності таких архітектур є важливим викликом, оскільки надмірний збір даних телеметрії дій гравця чи втручання у геометрію створення ландшафту під час ігрової сесії може призвести до зниження ефективності ігрового процесу й отримання негативного користувацького досвіду.

На рис.2 запропоновано діаграму діяльності для архітектури генерації рівнів ігрового контенту.

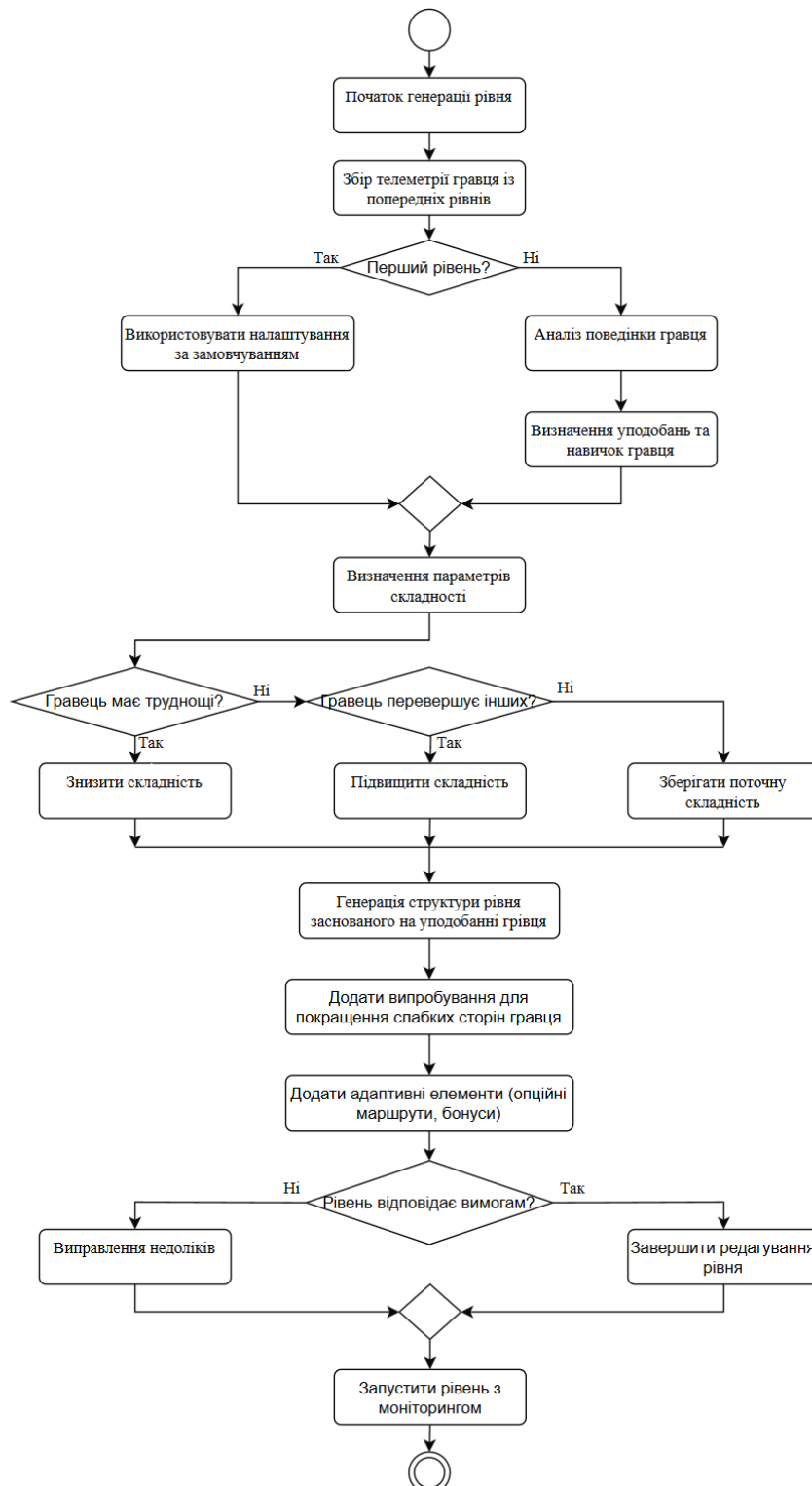


Рис. 2. Запропонована діаграма діяльності для архітектури генерації рівнів

Етап генерації ігрового контенту акумулює аналіз, прийняття рішень, генерацію та валідацію даних. На етапі аналізу проводиться збір і статистичний аналіз даних про дії гравця на попередніх рівнях з минулих ігрових сесій, визначаються навички й уподобання гравця. На етапі прийняття рішень з урахуванням успішності попередніх ігрових сесій визначається адаптивна персоналізована складність наступного рівня. На етапі генерації створюється структура рівня та його адаптивні елементи. На етапі валідації проходить

перевірка згенерованого рівня на відповідність до встановлених розробником стандартів з урахуванням комплексних рішень.

Висновки

Розглянуто особливості різних методів генерації ігрового контенту та методів аналізу даних ігрової телеметрії, проведено аналіз класифікації типів користувачів та особливостей їхньої поведінки в ігрових сценаріях. Запропоновано програмну архітектуру взаємозв'язку аналітики ігрової телеметрії та динамічної генерації ігрового контенту з метою підвищення реіграбельності ігрових сесій. Архітектура передбачає інтеграцію модулів збору даних, поведінкової аналітики та генератора адаптивного контенту, що дозволяє забезпечення гнучкого реагування на дії користувача в режимі реального часу. Запропоновано діаграму діяльності для архітектури генерації рівнів ігрового контенту. Розглянуто ітераційний підхід адаптації моделі до дій гравця із забезпеченням високого рівня персоналізації ігрового контенту в процесі генерації адаптивного рівня складності нової ігрової сесії.

Література

1. Yang M., Li J., Fang Z., Chen S., Yu Y., Fu Q., Ye D. Playable Game Generation // arXiv preprint arXiv:2412.00887. – 2024. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2412.00887> (Дата звернення: 2025-05-18).
2. Марчук Г. В., Левківський В. Л., Харченко А. В., Марчук Д. К. Огляд і аналіз алгоритмів процедурної генерації ігрових світів // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2024. – №4. – С. 101–110.
3. Liu J., Snodgrass S., Khalifa A., Risi S., Yannakakis G. N., Togelius J. Deep learning for procedural content generation // Neural Computing and Applications. – 2021. – Vol. 33, №1. – P. 19–37. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2010.04548> (Дата звернення: 2025-05-18).
4. Maleki M. F., Zhao R. Procedural Content Generation in Games: A Survey with Insights on Emerging LLM Integration // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment. – 2024. – Vol. 20, №1. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2410.15644> (Дата звернення: 2025-05-18).
5. Khalifa A., Green M. C., Perez-Liebana D., Togelius J. General video game rule generation // 2017 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CI-G). – 2017, August. – P. 170–177. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1906.05160> (Дата звернення: 2025-05-18).
6. Kim H., Lee S., Lee H., Hahn T., Kang S. Automatic generation of game content using a graph-based wave function collapse algorithm // 2019 IEEE conference on games (CoG). – 2019, August. – P. 1–4. – Режим доступу: https://ieeegog.org/2020/papers2019/paper_187.pdf (Дата звернення: 2025-05-18).
7. Kraner V., Fister Jr I., Brezočnik L. Procedural content generation of custom tower defense game using genetic algorithms // International Conference "New Technologies, Development and Applications". – Cham: Springer International Publishing, 2021, May. – P. 493–503.
8. Blasco D., Font J., Pérez F., Cetina C. Procedural content improvement of game bosses with an evolutionary algorithm // Multimedia Tools and Applications. – 2023. – Vol. 82, №7. – P. 10277–10309.
9. Кравець Н. Алгоритм визначення параметрів І-системи, що моделює структуру геометричного фрактального об'єкта / Н. Кравець // Інформаційні системи та технології : матеріали статей 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Коблеве-Харків, 10-15 вересня 2018 р. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – С. 115–117. – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/25186> (Дата звернення: 2025-05-18).
10. Rashed A., Shirmohammadi S., Hefeeda M. Real-Time Player Engagement Measurement Using Non-Intrusive Game Telemetry // IEEE Open Journal of Instrumentation and Measurement. – 2025.
11. Phosanarack M., Avril E., Lepreux S., Wallard L., Kolski C. User-centered personalized gamification: an umbrella review // User Modeling and User-Adapted Interaction. – 2025. – Vol. 35, №1.
12. Park S., Min K., Kim S. Differences in learning motivation among Bartle's player types and measures for the delivery of sustainable gameful experiences // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, №16. – Article 9121.
13. Krath J., Altmeyer M., Tondello G. F., Nacke L. E. Hexad-12: Developing and validating a short version of the gamification user types hexad scale // Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2023. – P. 1–18.

References

1. Yang, M., Li, J., Fang, Z., Chen, S., Yu, Y., Fu, Q., ... & Ye, D. (2024). Playable Game Generation. arXiv preprint arXiv:2412.00887. URL: <https://arxiv.org/pdf/2412.00887>
2. Marchuk, G. V., Levkivskiy, V. L., Kharchenko, A. V., & Marchuk, D. K. (2024). REVIEW AND ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR PROCEDURAL GENERATION OF GAME WORLDS. Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences, (4), 101-110.
3. Liu, J., Snodgrass, S., Khalifa, A., Risi, S., Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2021). Deep learning for procedural content generation. Neural Computing and Applications, 33(1), 19-37. URL: <https://arxiv.org/pdf/2010.04548>
4. Maleki, Mahdi Farrokhi, and Richard Zhao. "Procedural Content Generation in Games: A Survey with Insights on Emerging LLM Integration." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment. Vol. 20. No. 1. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2410.15644>

5. Khalifa, A., Green, M. C., Perez-Liebana, D., & Togelius, J. (2017, August). General video game rule generation. In 2017 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG) (pp. 170-177). IEEE. URL: <https://arxiv.org/pdf/1906.05160>
6. Kim, H., Lee, S., Lee, H., Hahn, T., & Kang, S. (2019, August). Automatic generation of game content using a graph-based wave function collapse algorithm. In 2019 IEEE conference on games (CoG) (pp. 1-4). IEEE. URL: https://ieeegog.org/2020/papers2019/paper_187.pdf
7. Kraner, V., Fister Jr, I., & Brezočnik, L. (2021, May). Procedural content generation of custom tower defense game using genetic algorithms. In International Conference "New Technologies, Development and Applications" (pp. 493-503). Cham: Springer International Publishing.
8. Blasco, D., Font, J., Pérez, F., & Cetina, C. (2023). Procedural content improvement of game bosses with an evolutionary algorithm. *Multimedia Tools and Applications*, 82(7), 10277-10309.
9. Kravets N. Algorithm for determining the parameters of an l-system that models the structure of a geometric fractal object / N. Kravets // *Information systems and technologies: materials of the articles of the 7th International Scientific and Technical Conference, Koblevo-Kharkiv, September 10-15, 2018 – Kharkiv: KhNURE, 2018. – P. 115–117. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/25186>*
10. Rashed, A., Shirmohammadi, S., & Hefeeda, M. (2025). Real-Time Player Engagement Measurement Using Non-Intrusive Game Telemetry. *IEEE Open Journal of Instrumentation and Measurement*.
11. Phosandarack, M., Avril, E., Lepreux, S., Wallard, L., & Kolski, C. (2025). User-centered personalized gamification: an umbrella review. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 35(1),
12. Park, S., Min, K., & Kim, S. (2021). Differences in learning motivation among Bartle's player types and measures for the delivery of sustainable gameful experiences. *Sustainability*, 13(16), 9121.
13. Krath, J., Altmeyer, M., Tondello, G. F., & Nacke, L. E. (2023). Hexad-12: Developing and validating a short version of the gamification user types hexad scale. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-18).