

МЕТОД ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ РІВНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ДВІЙКОВОГО РОЗБИТТЯ ПРОСТОРУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено програмний модуль для автоматичної генерації ігрових рівнів у середовищі Unreal Engine на основі методу двійкового розбиття простору (Binary Space Partitioning, BSP). Запропонований підхід поєднує алгоритми процедурної генерації, параметричне керування структурою рівня, а також систему метрик, що дозволяє оцінювати якість, збалансованість та варіативність отриманих результатів. Новизна роботи полягає у створенні інтегрованої підсистеми генерації, яка забезпечує побудову адаптивних ігрових просторів, можливість тонкого налаштування параметрів, автоматичну валідацію отриманих рівнів та вбудовану аналітику для відтворюваності експериментів. Модуль може бути використаний у розробці ігор та комплексних інтерактивних середовищ.

Ключові слова: процедурна генерація, BSP, Unreal Engine, алгоритми генерації рівнів, C++, валідація, аналітика.

Abstract

A software module for automatic level generation in Unreal Engine using the Binary Space Partitioning (BSP) method has been developed. The proposed approach integrates procedural generation algorithms, parameter-driven structure control, and a metrics system enabling the evaluation of level quality, balance, and variability. The novelty lies in designing an integrated BSP-based generation subsystem that provides adaptive environment creation, fine parameter control, automated validation, and built-in analytics for reproducible experimentation. The module can be applied in game development and complex interactive environments.

Keywords: procedural generation, BSP, Unreal Engine, level design algorithms, C++, validation, analytics.

Вступ

Ігрові та тренувальні системи потребують створення багатоваріативних середовищ, де структура рівня може формуватися автоматично відповідно до вимог дизайну та сценарних умов. Ручна побудова локацій є трудомісткою та обмеженою з точки зору масштабованості.

Алгоритми процедурної генерації, зокрема метод BSP, дозволяють автоматизувати процеси формування карт, забезпечити їх логічну структуру, зв'язність, відповідність ігровим вимогам та можливість швидкого повторного налаштування. Unreal Engine надає гнучкі інструменти для інтеграції таких алгоритмів у робочий процес розробника.

Основний розділ

Основна частина роботи присвячена аналізу методів процедурної генерації ігрових просторів, проектуванню архітектури BSP-модуля та його практичній реалізації в середовищі Unreal Engine з використанням мови програмування C++. У ході дослідження було вивчено сучасні підходи до поділу простору, зокрема алгоритми деревоподібного розбиття та оптимізації, які впливають на варіативність і стабільність результатів. На основі проведеного аналізу розроблено систему, що поєднує рекурсивне формування структури рівня, побудову топології кімнат і коридорів, а також механізми параметричного керування процесом генерації. BSP-ядро забезпечує розбиття області відповідно до заданих обмежень, формуючи структуру, придатну для побудови зв'язаного ігрового простору. Після виконання розбиття формується топологія рівня, у межах якої визначаються положення кімнат і шляхів їх з'єднання, що гарантує логічну прохідність та відповідність вимогам ігрового дизайну. Підсистема параметризації дає змогу керувати ключовими характеристиками генератора — початковим випадковим значенням, цільовою кількістю кімнат, розмірами областей та іншими параметрами, що визначають стиль і густину майбутнього рівня.

Для забезпечення контролю якості отриманих результатів у модуль інтегровано підсистему

аналітики, яка розраховує такі показники, як середня площа кімнат, щільність структури, глибина дерева розбиття та відхилення фактичних значень від запланованих. Додатково реалізовано підсистему валідації, що перевіряє зв'язаність структури та правильність побудови рівня за допомогою алгоритмів пошуку шляхів і аналізу топологічних властивостей. Усі ці компоненти працюють у взаємодії з інтерфейсом інтеграції в Unreal Editor, який дозволяє керувати генерацією в реальному часі, візуалізувати внутрішні етапи роботи алгоритму та фіксувати результати для подальшого аналізу.

Проведене тестування продемонструвало здатність системи стабільно створювати логічно структуровані рівні навіть при значних змінах параметрів. Варіативність структури забезпечується використанням випадкового генератора та динамічних правил формування кімнат, що мінімізує повторюваність та розширює можливі конфігурації рівнів. Програмні інструменти аналітики дали змогу оцінити вплив різних параметрів на результат, визначити оптимальні діапазони для побудови збалансованих рівнів та підтвердити ефективність запропонованого підходу для застосування у проектах, які потребують автоматизованого, масштабованого формування ігрових середовищ.

Висновки

Розроблений BSP-модуль для Unreal Engine забезпечує автоматизовану побудову структурованих ігрових рівнів та дозволяє істотно скоротити час ручного проєктування. Система підтримує параметричну генерацію, валідацію результатів, їх статистичний аналіз і може бути інтегрована у більші програмні комплекси. Отримані результати підтверджують перспективність використання BSP-методів у створенні адаптивних ігрових світів і симуляцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Binary Space Partitioning and Spatial Algorithms in Game Development / T. Akenine-Möller, E. Haines – 2020. – P. 1–312.
2. Level Design Patterns and Procedural Generation Techniques / R. Ashmore, M. Becker – 2019. – P. 1–278.
3. Unreal Engine Documentation / Epic Games – 2021. – P. 1–950.

Сирдій Дмитро Петрович — студент групи 2KI-24М, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 20sirdiy16@gmail.com

Колесник Ірина Сергіївна — кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: iskolesnyk@gmail.com

Syrdii Dmytro P. — a student of group 2KI-24M, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 20sirdiy16@gmail.com

Kolesnyk Iryna Serhiivna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: iskolesnyk@gmail.com