

УДК 004.9:793.7

DOI: 10.31673/2412-9070.2025.026690

І. С. ТОВСТОЧУБ, аспірант;

ORCID 0009-0007-4743-5334

О. В. ЗІНЧЕНКО, доктор техн. наук, доцент,

ORCID 0000-0002-3973-7814

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, м. Київ

БАЛАНСУВАННЯ ІГРОВОГО ДОСВІДУ В ПРОЦЕДУРНО ЗГЕНЕРОВАНИХ РІВНЯХ

Процедурна генерація контенту є важливим інструментом розробки відеоігор, проте забезпечення збалансованого ігрового досвіду в згенерованих рівнях залишається актуальною проблемою для розробників.

У статті представлено алгоритм балансування ігрового досвіду в процедурно згенерованих рівнях, що базується на моделі прогнозування тривалості проходження та коригуванні складності.

Дослідження встановило ключові фактори, що впливають на час проходження: загальна довжина шляху, кількість зупинок для прийняття рішень, кількість кроків та швидкість руху гравця. Виявлено, що вплив цих факторів відрізняється для різних категорій гравців.

Запропонований метод дозволяє розробникам ігор більш ефективно налаштовувати параметри процедурної генерації для досягнення цільового часу проходження та створення збалансованого ігрового досвіду для різних категорій гравців.

Ключові слова: процедурна генерація, генерація графічних об'єктів, балансування, адаптивна складність, балансування ігрового досвіду, лабіринти, ігровий дизайн.

Вступ

Одним із ключових викликів у розробці ігор з процедурно згенерованим контентом є забезпечення збалансованого ігрового досвіду з передбачуваною тривалістю проходження. На відміну від рівнів, створених вручну, де дизайнери можуть контролювати темп та тривалість проходження через ітеративне тестування, процедурно згенеровані рівні вимагають формальних методів прогнозування часу проходження ще на етапі генерації.

Основна проблема полягає в тому, що процедурно згенеровані рівні часто демонструють непередбачувану варіативність складності, темпу та часу проходження. Це може призвести до фрустрації гравців, коли рівні виявляються занадто складними або, навпаки, надто простими та нудними. Критично важливим стає розробка методів, які забезпечують контрольовану генерацію контенту з передбачуваними параметрами ігрового досвіду, зокрема, часом проходження.

Дослідження в області балансування процедурно згенерованих рівнів зазвичай зосереджуються на статичних аспектах складності, залишаючи поза увагою динамічні фактори, пов'язані з поведінкою різних категорій гравців. Існуючі алгоритми рідко враховують відмінності в стилях гри, швидкості прийняття рішень та перцептивних здібностях різних гравців, що призводить до непередбачуваних результатів.

У даній статті представлено комплексний алгоритм балансування ігрового досвіду в процедурно згенерованих рівнях, що базується на математичній моделі прогнозування часу проходження та адаптивного коригування параметрів складності. Ключовою особливістю пропонованого підходу є врахування поведінкових патернів різних категорій гравців для забезпечення оптимального ігрового досвіду.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження в галузі процедурної генерації ігрового контенту демонструють значний прогрес у розробці алгоритмів створення різноманітних типів ігрових елементів, проте питання балансування ігрового досвіду залишається недостатньо вивченим.

© Товсточуб І. С., Зінченко О. В., 2025

Тогеліус та співавтори [1] розробили таксономію методів оцінки процедурно згенерованого контенту, виділяючи прямі та непрямі методи, однак їхня робота не пропонує конкретних алгоритмів для динамічного балансування складності рівнів відповідно до часу проходження.

Хендрікс та колеги [2] провели всебічний огляд методів процедурної генерації для різних типів ігрового контенту, але питання прогнозування часу проходження та адаптивного коригування параметрів на основі поведінки гравців розглянуто поверхнево.

Ял та Торос [3] запропонували методи адаптивної складності в процедурно згенерованих іграх, фокусуючись на патернах поведінки гравців, проте їхня модель не враховує різниці між категоріями гравців та не пропонує математичного апарату для прогнозування часу проходження.

Важливий внесок у проблематику балансування зробили Сакс та Торпус [4], розробивши модель складності на основі теорії потоку, однак їхній підхід не включає конкретних механізмів контролю часу проходження рівнів.

Янг та співавтори [5] досліджували взаємозв'язок між параметрами процедурної генерації та суб'єктивним сприйняттям складності гравцями, але не запропонували алгоритму для забезпечення цільового часу проходження рівнів.

Представлене дослідження спрямоване на подолання вказаних обмежень шляхом формалізації алгоритму балансування, що поєднує прогностичну модель часу проходження з механізмами коригування параметрів генерації для досягнення оптимального ігрового досвіду.

Постановка задачі. Метою дослідження є адаптація генерації об'єктів на рівні завдяки прогнозуванню тривалості проходження згенерованих рівнів у відеоіграх. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити математичну модель прогнозування часу проходження на основі параметрів процедурно згенерованих рівнів, формалізувати алгоритм адаптивного коригування параметрів генерації для забезпечення цільового часу проходження рівнів та розробити програмне забезпечення для тестування та валідності запропонованого алгоритму.

Основна частина

У результаті дослідження розроблено спрощену модель для прогнозування часу проходження процедурно згенерованих лабіринтів. Ключовим показником у даній моделі є середній час подолання однієї секції лабіринту конкретним гравцем (T_s).

Формула для обчислення очікуваного часу проходження:

$$T = T_s \cdot D, \quad (1)$$

де:

- T - прогнозований час проходження лабіринту;
- T_s - середній час подолання однієї секції лабіринту гравцем (отриманий з базових рівнів);
- D - мінімальна дистанція від початку до кінця лабіринту (кількість секцій).

Цей підхід дозволяє встановити чітку кореляцію між структурними характеристиками лабіринту та очікуваним часом проходження для різних категорій гравців.

На основі відхилення фактичного часу проходження від очікуваного система приймає рішення про коригування параметрів генерації наступного рівня:

1. Якщо гравець завершив рівень швидше очікуваного часу $T_{\text{факт}} < 0.85 \cdot T_{\text{очік}}$, параметри генерації ускладнюються:

- збільшується кількість глухих кутів;
- підвищується складність структури лабіринту;
- додаються додаткові перешкоди.

2. Якщо гравець вклався в допустиме відхилення $0.85 \cdot T_{\text{очік}} \leq T_{\text{факт}} \leq 1.15 \cdot T_{\text{очік}}$, параметри лабіринту залишаються незмінними для наступного рівня.

3. Якщо проходження зайняло більше очікуваного часу $T_{\text{факт}} > 1.15 \cdot T_{\text{очік}}$, параметри спрощуються:

- зменшується кількість глухих кутів;
- спрощується структура лабіринту;
- зменшується загальна довжина оптимального шляху.

Для перевірки ефективності алгоритму було проведено серію експериментів із використанням процедурно згенерованих лабіринтів різної складності. Було виконано декілька рівнів, що адаптувалися згідно з розробленим алгоритмом.

Перший приклад на рис. 2 демонструє лабіринт, згенерований для гравця, який пройшов попередній рівень у межах очікуваного часу. Структура лабіринту характеризується помірною кількістю розгалужень, збалансованою довжиною оптимального шляху та наявністю декількох альтернативних маршрутів з меншою кількістю глухих кутів.

Другий приклад ілюструє лабіринт, згенерований для гравця, який пройшов попередній рівень значно швидше очікуваного часу. Структурні особливості цього лабіринту включають збільшену загальну кількість коридорів та перехресть. Тестування показало, що даний лабіринт успішно збільшив час проходження для гравців, приблизивши його до цільового показника.

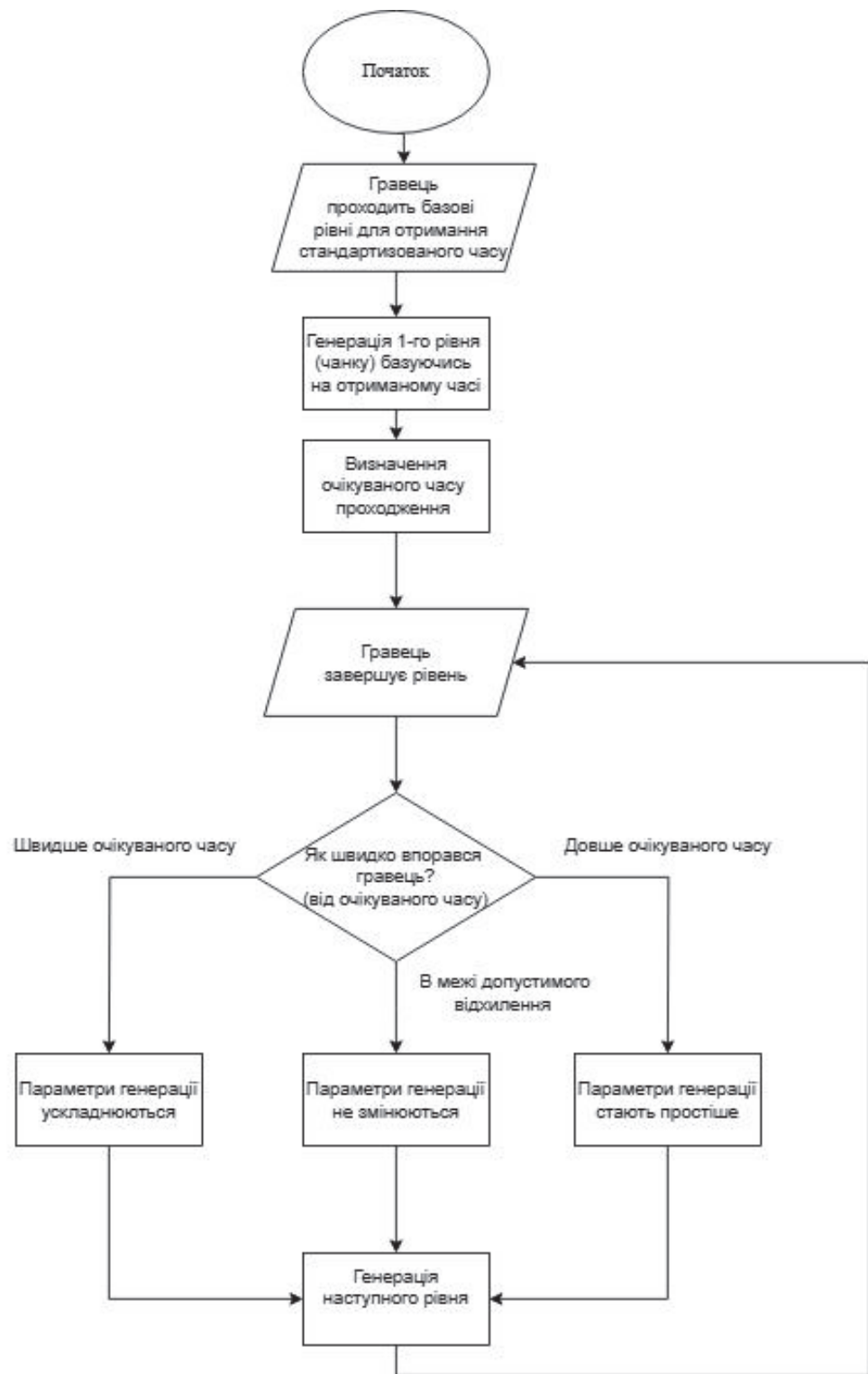


Рис. 1. Алгоритм балансування рівнів

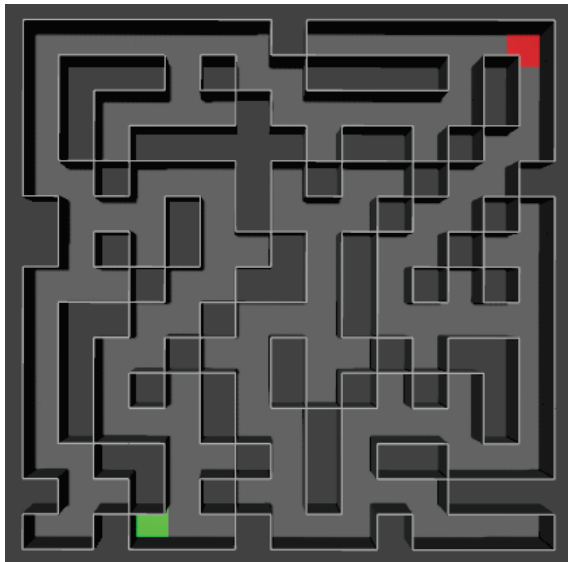


Рис. 2. Приклад лабіринту гравця який пройшов попередній рівень у межах очікуваного часу

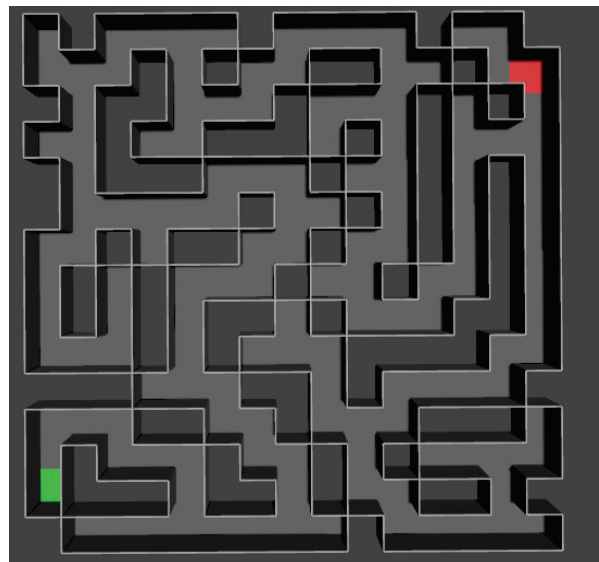


Рис. 3. Приклад лабіринту гравця, який пройшов попередній рівень швидше очікуваного часу

Висновки

У результаті дослідження балансування ігрового досвіду в процедурно згенерованих рівнях було формалізовано алгоритм, що базується на математичній моделі прогнозування часу проходження. Цей підхід дозволяє ефективно налаштовувати параметри процедурної генерації для досягнення цільової тривалості проходження.

Експериментальна перевірка ефективності запропонованого алгоритму на процедурно згенерованих лабіринтах різної складності підтвердила його дієвість для балансування ігрового досвіду. Алгоритм дозволяє розробникам ігор створювати більш збалансований ігровий досвід для різних категорій гравців шляхом точного налаштування параметрів процедурної генерації, що враховує індивідуальні особливості гравців та забезпечує оптимальний рівень складності.

Список літератури

1. *Procedural content generation for games* / M. Hendrikx et al. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*. 2013. Vol. 9, no. 1. P. 1-22. URL: <http://dx.doi.org/10.1145/2422956.2422957>
2. Shaker N., Togelius J., Yannakakis G. N. *The experience-driven perspective. Procedural Content Generation in Games*. Cham, 2016. P. 181-194. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42716-4_10
3. Pedersen C., Togelius J., Yannakakis G. N. *Modeling Player Experience for Content Creation. IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*. 2010. Vol. 2, no. 1. P. 54-67. URL: <https://doi.org/10.1109/tciaig.2010.2043950>
4. Drachen A., Canossa A., Yannakakis G. N. *Player modeling using self-organization in Tomb Raider: Underworld. 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG), Milano, Italy, 7-10 September 2009*. 2009. URL: <https://doi.org/10.1109/cig.2009.5286500>
5. Smith G., Whitehead J., Mateas M. *Tanagra: Reactive Planning and Constraint Solving for Mixed-Initiative Level Design. IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*. 2011. Vol. 3, no. 3. P. 201-215. URL: <https://doi.org/10.1109/tciaig.2011.2159716>

I. Tovstochub, O. Zinchenko

BALANCING GAMING EXPERIENCE IN PROCEDURALLY GENERATED LEVELS

Procedural content generation is an important tool in video game development; however, ensuring a balanced gaming experience in generated levels remains a significant challenge for developers.

This paper presents an algorithm for balancing the gaming experience in procedurally generated levels, based on a model for predicting completion time and adjusting difficulty. The study identified the key factors affecting completion time: overall path length, the number of decision-making stops, the number of steps, and the player's movement speed. It was found that the influence of these factors varies among different categories of players.

The proposed method enables game developers to more effectively adjust the parameters of procedural generation to achieve the target completion time and create a balanced gaming experience for various player categories.

Keywords: procedural generation, generation of graphical objects, balancing, adaptive difficulty, balancing the gaming experience, mazes, game design.
