BALANCING IN PUZZLE GAMES: METHODOLOGY, EXAMPLES AND SYSTEM FOR OPTIMIZING PARAMETERS IN A SEQUENCE OF LEVELS

Melnyk O.
2nd year master's student of the Department of Information Technology,
National Transport University,
Kyiv, Ukraine

БАЛАНСУВАННЯ В ГОЛОВОЛОМКАХ: МЕТОДОЛОГІЯ, ПРИКЛАДИ ТА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ У ПОСЛІДОВНОСТІ РІВНІВ

Мельник О.
магістр 2 року навчання кафедри інформаційних технологій,
Національний Транспортний Університет,
Київ, Україна
https://doi.org/10.5281/zenodo.17942568

Abstract

The article examines principles for balancing level difficulty in puzzle games with step-by-step solutions. It presents an overview of methods for introducing mechanics, building a learning curve, and maintaining player engagement based on classic games. The author's game, which uses a time-rewind mechanic to create player clones and interact with spatial objects, is described, and the application of a formal level parameterization model for predicting difficulty is demonstrated. Examples of difficulty calculations are provided, allowing for level adjustments and the creation of a balanced progression.

Анотація

У статті розглядаються принципи балансування складності рівнів у головоломках із пошаговими рішеннями. Представлено огляд методів введення механік, побудови навчальної кривої та підтримання інтересу гравця на основі класичних ігор. Описано авторську гру, яка використовує механіку повернення часу для створення клонів гравця та взаємодії з просторовими об'єктами, і продемонстровано застосування формальної моделі параметризації рівнів для прогнозування складності. Наведено приклади обчислення складності, що дозволяють коригувати рівні та формувати збалансовану прогресію.

Keywords: puzzles, balancing, level difficulty, game design, mechanic progression, tutorial levels, game mechanics

Ключові слова: головоломки, балансування, складність рівнів, геймдизайн, прогресія механік, навчальні рівні, ігрові механіки.

Вступ. Головоломки спираються не на рефлекси, а на здатність гравця розпізнавати закономірності, розуміти правила та творчо поєднувати механіки. Через це балансування стає цілеспрямованим та ітеративним процесом: кожен рівень має бути достатньо складним, щоб відчуватися корисним, але не настільки складним, щоб призводити до розчарування.

Багато сучасних головоломок побудовані навколо послідовності ручно створених рівнів. Кожен рівень виступає як викликом, так і навчальним інструментом. Ця структура створює унікальні проблеми балансування:

- Як слід впроваджувати нові механіки?
- Як швидко має зростати складність?
- Як гра може підтримувати зацікавленість протягом десятків або сотень рівнів?

У цій роботі аналізуються ці проблеми та пропонується структурований підхід до їх вирішення.

Аналіз існуючих головоломок. Перед тим як застосовувати формальні моделі складності, корисно розглянути підходи до балансування, які використовують відомі головоломки. Аналіз існуючих ігор дозволяє зрозуміти, як поєднуються навчання, виклик і поступове ускладнення рівнів для підтримки інтересу гравця.

1) Portal / Portal 2

- Серія використовує принцип "teach → verify → challenge": спочатку нова механіка демонструється у безпечному середовищі, потім закріплюється, а далі комбінується з попередніми механіками.
- Використання портальних дверей навчає гравця просторовому мисленню та таймінгу, при цьому кожний новий рівень додає одиндва елементи, щоб уникнути когнітивного перевантаження.

2) The Witness

- Гравець навчається без текстових підказок.
- Рівні структуровані так, що відкриття правил відбувається через повторювані варіації.
- Основний принцип: **самостійне виведення закономірностей.**
- Баланс досягається через контрольовану експозицію: нова механіка з'являється тільки після освоєння попередньої.

3) Braid

- Механіка часу вводиться поступово у світи з обмеженою кількістю змінних.
- Кожен світ знайомить гравця з новим типом взаємодії з часом, що дозволяє планомірно підвищувати складність.

- Додатковий ефект: стимулює гравця мислити **назад і вперед у часі**.

4) Baba Is You

- Правила гри змінюються в реальному часі.
- Рівні групуються за типами взаємодії: це дозволяє уникнути одночасного введення кількох складних механік.
- Баланс досягається через обмеження кількості одночасних правил і контрольовану прогресію.

Опис авторської гри. Авторська гра є ізометричною головоломкою для ПК. Гравець проходить послідовність рівнів, використовуючи механіку **подорожі в часі**, яка фактично дозволяє створювати клонів — копії попередніх дій гравця, що взаємодіють із механізмами рівня.

Таблиця 1.

Механіка	Опис	Вага складності
Подорож в часі (створення клона)	Створює копію гравця, яка повторює попередні дії та переміщує поточного гравця в часі	3
Натискні плити	Відкривають двері або активують елементи	1
Лазери	Можуть знищити гравця або активувати лазерні приймачі	2
Дзеркала	Відбивають лазери, змінюючи напрямок	2
Рухомі платформи	Самостійно переміщуються в просторі	2
Рухомі коробки	Переміщення коробок для активації плит	1
Пастки	Можуть знищити гравця	1

Цільова аудиторія та платформа:

- Платформа: ПК
- Аудиторія: гравці, які люблять логічні та інтелектуальні виклики.
- Прогресія: кожен наступний рівень вводить новий виклик або поєднання механік, щоб підтримувати інтерес та стимулювати мислення.

Модель параметризації рівнів. Кожен рівень можна описати вектором параметрів:

$$\vec{P} = (C_m, C_s, L_t)$$

де:

- **Cm — механічна складність**: сумарна вага усіх механік на рівні.
- **Cs — просторовофункціональна складність**: кількість об'єктів, активних зон та інтерактивних елементів.
- **Lt — навчальне навантаження**: оцінка того, наскільки рівень вводить нові механіки або комбінує їх для тренування.

Формула оцінки складності. Складність рівня обчислюється:

$$D = w_1 C_m + w_2 C_s + w_3 L_t$$

де w_1, w_2, w_3— ваги параметрів.

Ці ваги можна коригувати на основі телеметрії гравців: середній час проходження, кількість перезавантажень.

Приклади розрахунку складності.

Приклад 1: Початковий навчальний рівень

- Механіки: Плита (1), Клон (3)
- Просторова складність: 1
- Навчальне навантаження: 2
- Ваги: w1=1.2, w2=1.0, w3=1.5

$$C_m = 1 + 3 = 4$$
$$C_s = 1$$
$$L_t = 2$$
$$D = 1.2 * 4 + 1 * 1 + 1.5 * 2 = 4.8 + 1 + 3 = 8.8$$

Інтерпретація: легкий/середній рівень, навчальний.

Приклад 2: Рівень із лазером і платформами

- Механіки: Клон (3), Лазер (2), Платформа (2)
- Просторова складність: 3
- Навчальне навантаження: 1

$$C_m = 3 + 2 + 2 = 7$$
$$C_s = 3$$
$$L_t = 1$$
$$D = 1.2 * 7 + 1 * 3 + 1.5 * 1 = 8.4 + 3 + 1.5 = 12.9$$

Інтерпретація: середній/високий рівень, комбінування механік.

Приклад 3

- Механіки: Клон (3), Лазер (2), Платформа (2), Штовхання (1), Плити (1)
- Просторова складність: 4
- Навчальне навантаження: 0

$$C_m = 3 + 2 + 2 + 1 + 1 = 9$$
$$C_s = 4$$
$$L_t = 0$$
$$D = 1.2 * 9 + 1 * 4 + 1.5 * 0 = 10.8 + 4 + 0 = 14.8$$

Інтерпретація: високий рівень.

Висновки. У статті запропоновано формальну модель оцінки складності рівнів головоломок і показано її застосування на реальному проєкті. Модель дозволяє автоматизувати частину роботи з побудови прогресії, оцінювати якість рівнів та коригувати їх залежно від фідбеку користувачів. Наведені приклади доводять, що параметризований підхід може слугувати ефективним інструментом для подібних проектів.

Список літератури:

1. Schell J. *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. CRC Press, 2019.
2. Fullerton T. *Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games*. CRC Press, 2018.
3. Rollings A., Adams E. *Fundamentals of Game Design*. Pearson, 2019.
4. Hunicke R., LeBlanc M., Zubek R. *MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research*, 2004. [https://www.cs.northwestern.edu/~hunicke/MDA.pdf]

5. Koster R. *A Theory of Fun for Game Design*. O'Reilly Media, 2013.

6. Adams E., Dormans J. *Game Mechanics: Advanced Game Design*. New Riders, 2012.

7. Tychsen A., Canossa A. *Players, Structures, and Experience in Puzzle Games*, 2008. [Conference paper]

8. Juul J. *Half-Real: Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*. MIT Press, 2005.

9. Isbister K. *How Games Move Us: Emotion by Design*. MIT Press, 2016.

10. Salen K., Zimmerman E. *Rules of Play: Game Design Fundamentals*. MIT Press, 2004.

11. Bura, S. *Procedural Generation and Difficulty Balancing in Puzzle Games*, 2020. [https://arxiv.org/abs/2004.02725]

12. Smith G., Whitehead J., Mateas M. *Tanagra: Reactive Planning and Constraint-based Level Design for Puzzle Games*, 2010. [https://users.cs.duke.edu/~gjordan/papers/tanagra2010.pdf]

13. Spector A. *Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research*, 2017.

14. Hunicke R. *The Case for Dynamic Difficulty Adjustment in Games*, 2005.