

УДК004.932:004.85:004.94

## БАГАТОКОМПОНЕНТНА МОДЕЛЬ ІГРОВОГО ПРЕДМЕТА ЯК ОСНОВА ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ КОНТЕНТУ

Жебрак А.М., аспірант

*Київський національний університет технологій та дизайну*

Скідан В.В., к.т.н., доцент

*Київський національний університет технологій та дизайну*

Мительська О.В., к.т.н., доцент

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*Ключові слова:* процедурна генерація контенту, PCGML, ігрові предмети, формалізація, багатокomпонентна модель.

Процедурна генерація контенту (ProceduralContentGeneration, PCG) традиційно розглядається як процес автоматизованого створення ігрових структур, зокрема рівнів, карт або сценаріїв[1-3]. У фундаментальних дослідженнях [4] контент інтерпретується як простір станів та операторів генерації. Водночас ігрові предмети здебільшого трактуються як елементи забезпечення ігрового балансу, а не як самостійні об'єкти генерації, що ускладнює застосування до них формальних методів і підходів машинного навчання.

Авторами статті [5]у межах підходу PCGML наголошується, що ефективна генерація контенту потребує чіткого структурованого подання об'єктів. Відсутність належної формалізації унеможливорює коректне визначення простору генерації, навчання моделей та забезпечення контролю якості результатів. Таким чином, формалізація ігрового предмета постає необхідною умовою побудови ефективних систем процедурної генерації.

У даному дослідженні ігровий предмет розглядається якбагатокomпонентний об'єкт, що задається у вигляді:

$$Item = \langle A, M, V, R, C \rangle \quad (1)$$

де:

A (Attributes) – множина числових і категоріальних характеристик;

M (Mechanics) – функціональний вплив на ігрові стани;

V (Visual) – візуальне представлення;

R (Rarity) – параметри розподілу та рідкості;

C (Context) – контекстуальні обмеження генерації.

На відміну від неформалізованих підходів, запропонована модель дозволяє розглядати ігровий предмет як точку в багатовимірному просторі параметрів, що узгоджується з сучасними підходами до формального представлення контенту в PCG.

Запропонована структура не лише описує ігровий предмет, але й визначає підзадачі його генерації.

Атрибутивний компонент. Множина атрибутів задається у вигляді:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (2)$$

та формує числовий простір параметрів, у якому можуть застосовуватися оптимізаційні, еволюційні або статистичні методи. Даний рівень є ключовим для задач балансування та кількісного аналізу.

Механічний компонент. Компонент  $M$  описує функціональний вплив предмета на ігровий процес у вигляді множини операторів переходу стану:

$$M = \{f_j: S \rightarrow S\} \quad (3)$$

де  $S$  – простір станів гри, а кожна функція  $f_j$  визначає зміну стану під впливом предмета (наприклад, нанесення шкоди, застосування ефектів або модифікацію параметрів). Така формалізація забезпечує можливість симуляції та оцінювання впливу предмета на ігровий баланс.

Візуальний компонент. Візуальне представлення визначається як функція від атрибутів і параметрів рідкості:

$$V = g(A, R) \quad (4)$$

що забезпечує узгодженість зовнішнього вигляду предмета з його характеристиками. У сучасних системах цей компонент може реалізовуватися за допомогою генеративних моделей.

Імовірнісний компонент. Компонент  $R$  визначає розподіл появи предметів у процесі генерації. Ймовірність генерації конкретного предмета може бути подана у вигляді:

$$P(Item_i) = f(R_i) \quad (5)$$

де  $R_i$  задає параметри розподілу (наприклад, рівень рідкості або вагу випадіння), а функція  $f$  визначає механізм генерації. Це дозволяє інтегрувати контроль ігрової економіки у формальну модель.

Контекстуальний компонент. Компонент  $C$  задає обмеження генерації залежно від стану гри (рівень гравця, локація, етап прогресії) та є основою для реалізації умовної генерації у сучасних моделях.

Таким чином, генерація ігрового предмета інтерпретується як задача узгодженого формування компонентів  $\langle A, M, V, R, C \rangle$  з урахуванням заданих обмежень.

Застосування формалізації у системах PCG. Запропонована модель може бути використана як базис для побудови систем процедурної генерації ігрових предметів.

По-перше, вона дозволяє формалізувати простір генерації як декартовий добуток підпросторів:

$$Item \in A \times M \times V \times R \times C \quad (6)$$

Це відкриває можливість застосування різних методів до окремих компонентів: оптимізаційних – для  $A$ , генеративних – для  $V$ , та правил – для  $C$ .

По-друге, модель забезпечує основу для розподілу відповідальності в гібридних системах, де:

- генеративні моделі (LLM, diffusion) застосовуються для формування V та частково A;
- rule-based механізми – для обмеження C та контролю R;
- аналітичні або симуляційні моделі – для перевірки M.

По-третє, формалізація дозволяє визначити критерії валідації результатів генерації. Перевірка може здійснюватися окремо для кожного компонента (баланс атрибутів, коректність механік, узгодженість візуального представлення, відповідність контексту), що підвищує надійність системи.

У даному дослідженні запропонована формалізація використовується як базова модель об'єкта генерації. Вона забезпечує:

- побудову архітектури системи генерації ігрових предметів;
- визначення структури даних і простору ознак;
- інтеграцію генеративних моделей у процес створення контенту;
- розробку механізмів валідації та балансування.

Таким чином, формалізація забезпечує зв'язок між теоретичними підходами до PCG та практичною реалізацією систем генерації.

#### Список використаних джерел

1. Жебрак А.М. Аналіз існуючих підходів до процедурної генерації ігрових об'єктів. / Жебрак А.М., Скідан В.В., Мительська О.В. // InnovativeResearchinScienceandEconomy: CollectionofScientificPaperswithProceedingsofthe 3rdInternationalScientificandPracticalConference. International Scientific Unity. Brussels, Belgium, January 28-30, 2026 – с. 141-144. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-28.01.2026.009>
2. Summerville, A. et al. (2018). Procedural Content Generation via Machine Learning (PCGML). DOI: <https://doi.org/10.1109/TG.2018.2846639>
3. Lazaridis, L., Fragulis, G. F. (2024). Creating a Newer and Improved Procedural Content Generation Algorithm with Minimal Human Intervention for Computer Gaming Development. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers13110304>
4. Shaker, N., Togelius, J., & Nelson, M. J. (2016). Procedural Content Generation in Games. ResearchGate. DOI: [https://www.researchgate.net/publication/309280537\\_Procedural\\_Content\\_Generation\\_in\\_Games](https://www.researchgate.net/publication/309280537_Procedural_Content_Generation_in_Games)
5. Summerville, A., Snodgrass, S., Mateas, M., Bontrager, P., Florence, F., Guidi, A., Lelis, L. H., Togelius, J., & Treasure, S. (2018). Procedural Content Generation via Machine Learning. arXiv. DOI: <https://arxiv.org/abs/1702.00539>