

Товсточуб Ігор Сергійович

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, м. Київ

ORCID 0009-0007-4743-5334

Зінченко Ольга Валеріївна

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, м. Київ

ORCID 0000-0002-3973-7814

МАСКУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В ВІДЕОІГРАХ

Анотація. Дослідження спрямоване на формалізацію методу ефективного маскування процедурної генерації контенту у відеоіграх для забезпечення природної візуальної єдності автоматично згенерованих елементів.

У роботі представлено формалізовану модель маскування переходів між різними типами процедурно згенерованого контенту, що базується на комбінації кількох шарів шумових функцій з адаптивними параметрами. Центральним елементом цієї моделі є функція маскування, що поєднує різні типи шумів із відповідними ваговими коефіцієнтами.

Для перевірки ефективності розроблених методів створено спеціалізоване програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес оцінки якості переходів між біомами, генерувати тестові ландшафти та візуалізувати перехідні зони з можливістю інтерактивного налаштування параметрів.

Порівняльний аналіз ефективності різних підходів до маскування виявив, що використання поодиноких шумових функцій створює характерні артефакти, тоді як запропонований комбінований підхід забезпечує більш реалістичні та органічні переходи між різними типами біомів, ефективно приховуючи алгоритмічне походження процедурно згенерованого контенту.

Встановлено оптимальні параметри для чотирьох типів шумових функцій: фрактального броунівського шуму, шуму Перліна, симплексного шуму та шуму Ворлі. Комбінування цих функцій із відповідними ваговими коефіцієнтами забезпечує вищу якість маскування порівняно з використанням одиночних шумів. Візуальний аналіз підтвердив, що комбінований підхід створює більш реалістичні та органічні переходи між різними типами біомів, ефективно приховуючи алгоритмічне походження контенту.

Ключові слова: процедурна генерація контенту, шумові функції, броунівський шум, шум Перліна, симплексний шум, шум Ворлі, маскування генерації, графічні об'єкти ігрові середовища.

Tovstochub Ihor

State University of Information and Communication Technologies, Kyiv

ORCID 0009-0007-4743-5334

Zinchenko Olha

State University of Information and Communication Technologies, Kyiv

ORCID ID 0000-0002-3973-7814

MASKING THE USAGE OF PROCEDURAL GENERATION IN VIDEO GAMES

Abstract: The research aims to formalize a method for effective masking of procedural content generation in video games to ensure natural visual unity of automatically generated elements.

The paper presents a formalized model for masking transitions between different types of procedurally generated content, based on a combination of several layers of noise functions with adaptive parameters. The central element of this model is a masking function that combines different types of noise with corresponding weight coefficients.

To verify the effectiveness of the developed methods, specialized software was created that allows automating the process of evaluating the quality of transitions between biomes, generating test landscapes, and visualizing transition zones with the possibility of interactive parameter adjustment.

Comparative analysis of the effectiveness of different masking approaches revealed that using individual noise functions creates characteristic artifacts, while the proposed combined approach provides more realistic and organic transitions between different types of biomes, effectively hiding the algorithmic origin of procedurally generated content.

Optimal parameters were established for four types of noise functions: fractal Brownian noise, Perlin noise, simplex noise, and Worley noise. Combining these functions with appropriate weighting factors provides higher quality masking compared to using single noises. Visual analysis confirmed that the combined approach creates more realistic and organic transitions between different biome types, effectively hiding the algorithmic origin of the content.

Keywords: procedural content generation, noise functions, Brownian noise, Perlin noise, simplex noise, Worley noise, generation masking, graphic objects, game environments.

1. Вступ. Процедурна генерація контенту (ПГК) у розробці відеоігор є інструментом для створення масштабних, динамічних ігрових світів. Використовуючи алгоритми для генерації контенту в реальному часі, розробники можуть створювати середовища, що пропонують гравцям відчуття новизни й унікальності при кожному проходженні. Проте математична природа процедурної генерації створює ризик того, що алгоритмічно згенерований контент буде помітно відрізнятися від вручну створеного, порушуючи іммерсивність ігрового досвіду.

Маскування використання ПГК є критично важливим для збереження цілісності ігрового світу. Основною проблемою є розробка алгоритмів, які забезпечують природність переходів між різними типами процедурно згенерованого контенту, зокрема на графічних об'єктах на межах біомів. Особливу увагу варто приділити візуальній когерентності між різними типами генерованого контенту, оскільки будь-які помітні невідповідності чи алгоритмічні артефакти на межах біомів можуть суттєво знизити відчуття реалістичності ігрового світу. Саме тому актуальним залишається пошук ефективних методів поєднання різних типів шумових функцій, що забезпечили б високу якість маскування і мінімізували вплив детермінованих алгоритмів на візуальне сприйняття.

Практика показує, що використання одиночних шумових функцій створює характерні артефакти, які досвідчені гравці легко розпізнають як "штучні". Натомість комбінування різних типів шумів з оптимальним балансом параметрів дозволяє досягти природності та реалістичності переходів між біомами, ефективно маскуючи процедурну природу генерованого контенту.

У даній статті досліджується метод маскування ПГК на основі комбінованих шумових функцій. Проводиться аналіз оптимальних типів шумів для забезпечення реалістичних переходів між ігровими середовищами. Також представлений порівняльний аналіз маскування процедурної генерації в контексті сучасних 2D відеоігор.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми Маскування процедурної генерації контенту (ПГК) у відеоіграх потребує міждисциплінарного підходу, що поєднує алгоритмічну оптимізацію, комп'ютерну графіку та теорію ігрового дизайну. Сучасні дослідження демонструють прогалини в методах забезпечення природності переходів між різними типами згенерованого контенту.

Шейкер, Тогеліус та Нельсон [1] класифікують методи ПГК на конструктивні, генеративно-тестувальні, пошукові та засновані на машинному навчанні, проте недостатньо досліджують моделі безшовної інтеграції генерованого контенту з ручним дизайном.

Смелік та співавтори [2] пропонують декларативний підхід до процедурного моделювання віртуальних світів із системою обмежень, але не аналізують методи оптимізації для забезпечення реалістичності на межі різних типів контенту.

Карт і Сміт [3] досліджують алгоритм Wave Function Collapse (WFC) для тайлової генерації контенту, не розглядаючи його розширення для підвищення узгодженості згенерованих елементів.

Ритшель та співавтори [4] аналізують методи інтерактивного глобального освітлення, проте не висвітлюють особливості освітлення процедурно згенерованих середовищ із динамічною геометрією.

Хендрікс та співавтори [5] класифікують методи ПГК для різних типів ігрового контенту, не розглядаючи моделі оцінки якості маскуванню процедурної генерації.

Існуючі дослідження переважно зосереджені на окремих аспектах шумів, таких як фрактальна деталізація чи параметрична гнучкість, але недостатньо уваги приділяють систематичному вивченню ефективності комбінування різних шумових функцій для створення реалістичних границь між біомами, що робить дану проблему особливо актуальною для практичної розробки відеоігор.

Основною проблемою залишається розробка формалізованої моделі для маскуванню переходів між різними типами ПГК, особливо на межах біомів, де одиночні шумові функції створюють помітні артефакти. Ефективне рішення потребує комбінування різних типів шумів із оптимальними параметрами для досягнення природності та реалістичності згенерованого контенту. Дане дослідження спрямоване на подолання виявлених недоліків через формалізацію методу маскуванню на основі комбінованих шумових функцій.

3. Мета і задачі дослідження Метою дослідження є маскуванню процедурної генерації контенту в відеоіграх, що забезпечить природну візуальну єдність автоматично згенерованих елементів ігрових середовищ.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- формалізувати модель маскуванню переходів між різними типами процедурно згенерованого контенту на основі комбінації шумових функцій з адаптивними параметрами;
- розробити приклад програмного забезпечення для автоматизованої перевірки ефективності методів маскуванню процедурної генерації контенту;
- провести порівняльний аналіз ефективності використання поодиноких шумів і комбінованих шумових патернів для маскуванню границь процедурно генерованого контенту.

4. Результати дослідження

4.1 Модель маскуванню переходів між біомами

В результаті дослідження формалізовано модель маскуванню переходів між різними типами процедурно генерованого контенту, що базується на комбінації кількох шарів шумових функцій з адаптивними параметрами. Центральним елементом моделі є функція маскуванню, що визначає характер переходу між різними типами біомів:

$$M(x, y) = w_1 \cdot n_1 + w_2 \cdot n_2 + w_3 \cdot n_3 \dots$$

де:

- w_x - вагові коефіцієнти для кожного типу шуму
- n_x - шумова функція відповідного типу
- (x, y) - координати точки у двовимірному просторі

4.2. Перевірка ефективності методів маскуванню

Для оцінки ефективності розроблених методів маскуванню було створено спеціалізоване програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес перевірки якості переходів між біомами. Програмне забезпечення реалізує наступні функціональні можливості:

- генерацію тестових ландшафтів з використанням поодиноких та комбінацій шумових функцій

- візуалізацію перехідних зон між біомами з можливістю інтерактивного налаштування параметрів

Розроблений інструмент дозволяє візуально оцінювати результати різних підходів до маскування та змінювати параметри шумових функцій для досягнення оптимальних результатів. Інтерфейс програми забезпечує можливість візуального порівняння результатів використання одиночних шумових функцій та їх комбінацій, як показано на рис. 1.

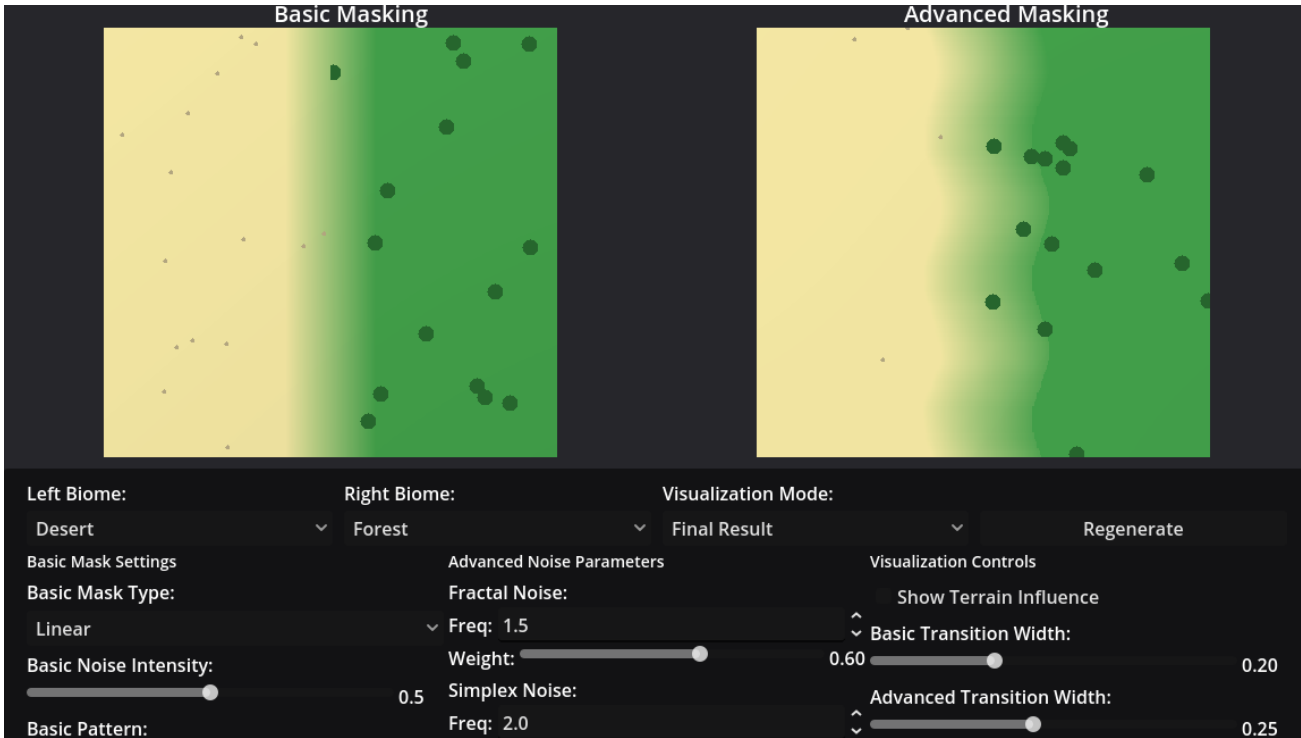


Рис.1. Інтерфейс програми візуального порівняння

4.3. Порівняльний аналіз ефективності шумових комбінацій

Для ефективного маскування процедурної генерації ключове значення має комбінування різних типів шумових функцій. Проведений аналіз показав, що використання одиночних шумових функцій призводить до появи характерних артефактів, які досвідчені гравці можуть ідентифікувати як процедурно згенеровані.

Спочатку досліджувалися базові типи шумів: фрактальний броунівський шум, шум Перліна, симплексний шум та шум Ворлі. Для кожного типу було згенеровано серію тестових ландшафтів з різними параметрами. Кожен зразок порівнювався візуально для виявлення характерних патернів та артефактів. Результати показали, що використання одиночних шумових функцій призводить до помітних недоліків:

- Фрактальний броунівський шум (fBm) створює занадто хаотичні переходи без урахування топографічних особливостей
- Шум Перліна генерує упізнавані регулярні патерни, що знижують реалістичність
- Симплексний шум формує занадто однорідні переходи без локальних особливостей
- Клітинний шум Ворлі створює структуровані переходи, але з надмірно різкими границями.

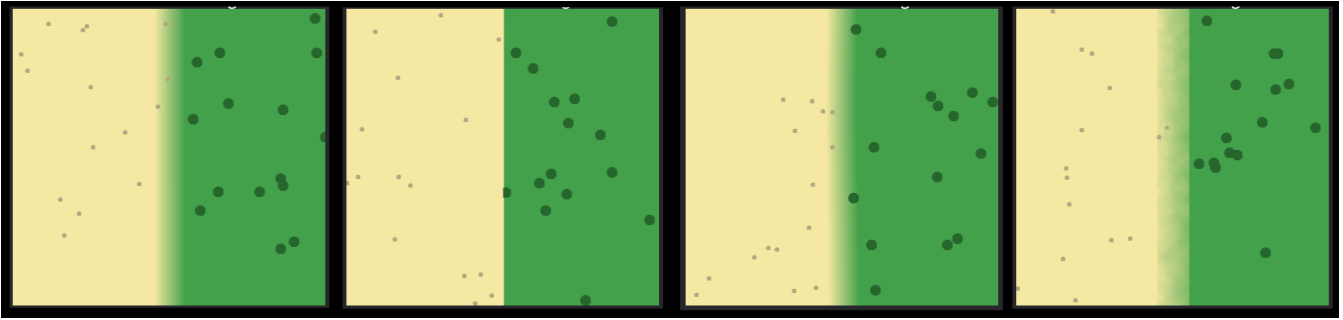


Рис.2. Приклад переходів (зліва – направо) броунівського шуму, шуму Перліна, симплексного шуму та шуму Ворлі

На основі виявлених недоліків одиночних шумів було проведено комбінування різних типів шумів з експериментальним підбором вагових коефіцієнтів. При комбінації шумів для різних типів переходів було виявлено, що кожен тип шуму відповідає за певний аспект реалістичності:

- Броунівський забезпечує загальну топографічну варіативність
- Шум Перліна додає плавні середньомасштабні переходи
- Симплексний шум вносить контрольовану випадковість
- Шум Ворлі формує чіткі структурні елементи

У результаті комбінації шумів у програмному забезпеченні, візуальний огляд показує, що комбінований шум демонструє значно вищу ефективність маскувannya процедурної генерації порівняно з одиночними шумами.

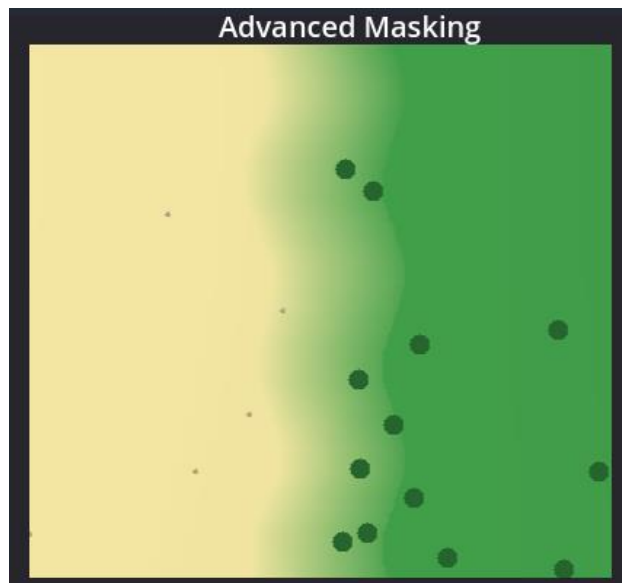


Рис.3. Приклад переходу комбінованих шумів

5. Висновки. Дослідження методів маскувannya процедурної генерації контенту в відеоіграх виявило ключову проблему помітності алгоритмічного походження генерованих елементів, що знижує іммерсивність ігрового досвіду. Розроблено комплексний метод маскувannya на основі синтезу кількох шарів шумових функцій з адаптивними параметрами, центральним елементом якого є математична модель функції маскувannya переходів між біомами.

Встановлено оптимальні параметри для чотирьох типів шумових функцій: фрактального броунівського шуму, шуму Перліна, симплексного шуму та шуму Ворлі. Комбінування цих функцій із відповідними ваговими коефіцієнтами забезпечує вищу якість маскувannya порівняно з використанням одиночних шумів.

Візуальний аналіз підтвердив, що комбінований підхід створює більш реалістичні та органічні переходи між різними типами біомів, ефективно приховуючи алгоритмічне походження контенту.

Запропонований метод комбінування шумових функцій також демонструє перспективність при генерації великих ігрових середовищ. Адаптивна природа комбінованих шумів дозволяє досягти високої якості візуальних переходів за менших обчислювальних витрат. Це робить розроблений підхід цінним для проєктів, де важлива візуальна якість з невеликими ресурсами, зокрема для мобільних ігор.

Результати дослідження можуть бути використані розробниками відеоігор для вдосконалення систем процедурної генерації та підвищення візуальної когерентності ігрових світів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку адаптивних методів маскування, що враховуватимуть особливості сприйняття візуальних патернів гравцями.

Список використаної літератури

1. Shaker N., Togelius J., Nelson M. J. *Procedural Content Generation in Games*. Cham : Springer International Publishing, 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-42716-4>
2. A Survey on Procedural Modelling for Virtual Worlds / R. M. Smelik et al. *Computer Graphics Forum*. 2014. Vol. 33, no. 6. P. 31-50. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.12276>
3. Karth I., Smith A. M. WaveFunctionCollapse is Constraint Solving in the Wild. *Proceedings of the 12th International Conference on the Foundations of Digital Games*. 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.1145/3102071.3110566>
4. The State of the Art in Interactive Global Illumination / T. Ritschel et al. *Computer Graphics Forum*. 2012. Vol. 31, no. 1. P. 160-188. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8659.2012.02093.x>
5. 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>
6. Bondarchuk, A., Dibrivniy, O., Grebenyk, V., Onyshchenko, V. (2021, October). Motion Vector Search Algorithm for Motion Compensation in Video Encoding. In *2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T) 2021*. pp. 345-348
7. Zhebka V., Ananchenko O., Osadcha K., Zhebka S., Aronov A. Improving a machine learning method for an automated control system / *CEUR Workshop Proceedings, 2024, 3826*, p. 372–377
8. Zhebka V., Skladannyi P., Zhebka S., Shlianchak S., Bondarchuk A. Methodology for Predicting Failures in a Smart Home based on Machine Learning Methods / *CEUR Workshop Proceedings 2024, 3654*, p. 322–332
9. Storchak K., Sablina M., Anakhov P., Zhebka V., Bondarchuk A. Increasing the Reliability of a Heterogeneous Network using Redundant Means and Determining the Statistical Channel Availability Factor / *Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems. 2023*, 231-236
10. O Shevchenko, A Bondarchuk, O Polonevych, B Zhurakovskiy, N Korshun Methods of the objects identification and recognition research in the networks with the IoT concept support / *CEUR Workshop Proceedings. 2021*, 46-65