

Крук В. В., студент, Волох Л. В., доц.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛІВ У КОМП'ЮТЕРНІЙ ГРАФІЦІ

Анотація. В статті розглянуто практичне застосування фракталів та типові програми для побудови фракталів та вплив фрактальної геометрії на сприйняття ігрового простору. Також наведені приклади використання фрактальних алгоритмів у побудові ландшафту в комп'ютерній грі «Minecraft».

Ключові слова: фрактали, фрактальна геометрія, фрактальна графіка, ландшафт, комп'ютерне забезпечення.

Kruk V. V., Volokh L. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

USING OF FRACTALS IN COMPUTER GRAPHICS

Abstract. The article discusses the practical application of fractals and typical programs for building fractals and the influence of fractal geometry on the perception of game space. Also, examples of the use of fractal algorithms in the construction of the landscape in the computer game "Minecraft" are given.

Keywords: fractals, fractal geometry, fractal graphics, landscape, computer software.

Вступ. Поняття *фрактал* і *фрактальна геометрія*, які з'явилися в кінці 70-х років минулого століття, з середини 80-х міцно увійшли у життя математиків і програмістів. Слово *фрактал* утворене від латинського *fractus* і в перекладі означає – складатися з фрагментів. Воно було запропоноване Бенуа Мандельбротом в 1975 році для позначення нерегулярних, проте слабоподібних структур, якими він займався. Мандельброт дав таке визначення фрактала: **фракталом називається структура, що складається з частин, які подібні до цілого**. Самоподібність – одна з основних властивостей фракталів. Об'єкт називають самоподібним, коли збільшені частини об'єкта схожі на сам об'єкт і один до одного.

Появу фрактальної геометрії прийнято пов'язувати з виходом в 1977 році книги Мандельброта «The Fractal Geometry of Nature». У його роботах використані наукові результати інших учених, що працювали в 1875 – 1925 роках в тій же галузі (Пуанкаре, Фату, Жюліа, Кантор, Хаусдорф). Але тільки у наш час вдалося об'єднати їх роботи в єдину систему.

Постановка завдання. Виходячи з вищенаведеного, метою дослідження є аналіз та порівняння реалізації фрактальної графіки та можливості її практичного застосування.

Результати досліджень. Фрактали дозволяють створювати деталізовані об'єкти, які при різній зміні масштабування будуть виглядати однаково реалістично. Це забезпечує природне відчуття заглиблення в ігровий процес. У реальній природі при наближенні об'єкта ми маємо змогу розглянути нові сторони його будови, тому ігри намагаються наблизити нас до такого реалістичного «зуму». Наприклад, при наближенні до текстур в іграх ми маємо змогу побачити гравій на доріжках, чи тріщини на горах. Усе це дає нам відчуття наближеності до реального світу. Та усе це доступно нам лише через допомогу фрактального алгоритма, під час створення ландшафту в іграх.

Процедурно згенеровані ландшафти на основі фрактальних алгоритмів можуть створювати масштабні світи, які виглядають органічно та реалістично на будь-якій відстані [4]. Гори та долини зберігають свою складність на великих дистанціях, забезпечуючи плавні переходи від загального вигляду до детальних елементів при наближенні.

Застосування фракталів як частини комп'ютерної графіки є дуже розповсюдженою технікою у світі відеоігор. Їх використовують для створення складного, реалістичного та детального зображення природних об'єктів та візуальних ефектів. Це пояснюється тим, що фрактальна геометрія досить чітко зображає гори, хмари, дерева чи вогонь. Це відбувається за рахунок того, що всі ці об'єкти мають складну самоподібну структуру, так само як і фрактали.

Генерація текстур, ландшафтів, хмар, вогню та інших ефектів.

• ***Текстура.*** Використання фракталів як текстури до 3D-об'єктів допомагає створювати більш деталізовані об'єкти. За допомогою своєї самоподібності, текстури, створені фракталами, мають високу детальність при будь-якій зміні в масштабуванні. Це дозволяє створювати високу реалістичність для кори дерева, каменю чи шкіри.

• ***Генерація ландшафтів*** – найрозповсюдженіша сфера комп'ютерної графіки при використанні фракталів. З допомогою фракталів можливе швидке та реалістичне створення великих ділянок ландшафту, такі як природні форми гір, долин, печер та пагорбів. Для прикладу можемо узяти шум Перліна, який часто використовується для створення гористих місцин у комп'ютерних іграх та кінематографі.

• ***Хмари та туман.*** Хмари і туман мають фрактальні особливості, через те, що їх структура змінюється при зміні масштабу. При допомозі фрактальної геометрії можливе створення динамічності туману та об'ємність хмар, що змінюються в реальному часі.

• ***Вогонь та дим.*** Рух вогню та динамічність диму також створені за допомогою фракталів. Це дозволяє отримати більш реалістичне явище. Як приклад можемо привести використання фрактальної турбулентності, яку використовують для створення вогню. Через хаотичність та самоподібність фрактальної турбулентності вогонь виходить природним та досить реалістичним.

Переваги фрактальної генерації.

• ***Реалістичність.*** Природні об'єкти та явища, такі як гори, хмари, вода та дерева, мають складну структуру, яку важко описати за допомогою традиційних методів моделювання. Фрактали дозволяють відтворити цю складність та зробити об'єкти більш реалістичними.

• ***Різноманітність.*** Фрактальна генерація забезпечує велику різноманітність форм та текстур. Невеликі зміни в параметрах фракталу можуть призвести до різних результатів, що дозволяє створювати унікальні моделі об'єктів без необхідності вручну малювати кожен з них.

• ***Ефективність.*** З погляду обчислювальних ресурсів фрактальні алгоритми може бути ефективнішими, ніж традиційне моделювання. Це особливо важливо в іграх та фільмах, де потрібно генерувати велику кількість деталізованих об'єктів та ефектів у реальному часі.

Фрактали дозволяють створювати не лише статичні зображення, а й анімаційні ефекти, які легко налаштовуються та можуть змінюватися в реальному часі, що робить їх незамінними у сучасному комп'ютерному моделюванні.

Наприклад, створення ландшафту в популярній грі «**Mincraft**» засновується на використанні фрактальних алгоритмів, які генерують світи, що дає змогу зробити кожний ландшафт унікальним та деталізованим, наближеним до реалістичних об'єктів у комп'ютерній грі. Загальний алгоритм, на якому базується уся генерація рельєфу та інших природних об'єктів, заснований на **шумі Перліна**.

Алгоритм шуму Перліна. Шум Перліна – це форма фрактального шуму, яка створює плавні, природні зміни у висоті, завдяки чому ландшафти виглядають органічно. Робота шуму Перліна базується на булевих комбінаціях математичних примітивів (еліпсоїди, циліндри, усічені конуси). Шум Перліна зазвичай реалізується як дво-, три-,

або чотирирівнева функція, але може бути визначений довільною кількістю вимірів. Реалізація складається з трьох кроків: визначення сітки, обчислення скалярного добутку градієнтних векторів, та інтерполяція між цими значеннями. Він генерує випадкові, але згладжені значення, які використовуються для побудови карт висот. Це дозволяє створювати поступові переходи між різними зонами, такими як гори та долини.

• Фрактальна основа. Алгоритм шуму Перліна базується на використанні багаторівневого самоподібного поля, задля додатку деталей на різних змінах масштабу. Цей алгоритм забезпечує досить багато варіантів та самоподібних об'єктів, що відповідає реальним природним ландшафтам.

• Згладжування рельєфу. Шум Перліна дозволяє прибрати різкі зміни у запрограмованому ландшафті, о забезпечує плавність переходу на підйоми та спуски, що наближає ігровий ландшафт до реалістичності.

Псевдокод двовимірної реалізації Класичного Шуму Перліна [9]:

```
// обчислення шуму Перліна для координат x, y
function perlin(float x, float y) {

    // Визначення координат комірки сітки
    int x0 = (x > 0.0 ? (int)x : (int)x - 1);
    int x1 = x0 + 1;
    int y0 = (y > 0.0 ? (int)y : (int)y - 1);
    int y1 = y0 + 1;

    // Визначення ваг інтерполяції
    // Також можна використати поліноміальну криву вищого порядку
    float sx = x - (double)x0;
    float sy = y - (double)y0;

    // Інтерполяція між градієнтами
    float n0, n1, ix0, ix1, value;
    n0 = dotGridGradient(x0, y0, x, y);
    n1 = dotGridGradient(x1, y0, x, y);
    ix0 = lerp(n0, n1, sx);
    n0 = dotGridGradient(x0, y1, x, y);
    n1 = dotGridGradient(x1, y1, x, y);
    ix1 = lerp(n0, n1, sx);
    value = lerp(ix0, ix1, sy);

    return value;
```

У грі «*Minecraft*» [13] фрактальні алгоритми такого типу забезпечують різноманітність ландшафтів. Вони дозволяють процедурно створювати різні біоми з унікальними характеристиками:

- Гірські біоми з крутими схилами та скелястими вершинами.
- Пустельні біоми з гладкими дюнами та рівнинами.
- Ліси та джунглі з великою кількістю дерев та нерівним рельєфом.

Фрактальна структура алгоритму дозволяє створювати деталізовані та складні форми, які не повторюються і не потребують збереження великої кількості даних.

Програми, які краще використовувати для побудови фракталів в іграх [8]:

Art Dabbler – базова програма для фрактальної графіки, призначена не тільки для комп'ютерної графіки, а і для малювання.

Пакет **Ultra Fractal** дозволяє створювати унікальні фрактальні зображення професійної якості.

Fractal Explorer – програма для створення зображень фрактальних та тривимірних об'єктів.

ChaosPro – один з кращих безкоштовних генераторів фрактальних зображень, за допомогою якого можна створити нескінченну кількість дивовижних фрактальних зображень. Створені фрактальні зображення можна генерувати у 3D-об'єкти.

Apophysis програма – для генерації фракталів на основі базових фрактальних формул. Створені за готовими формулами фрактали можна редагувати і змінювати, регулюючи різноманітні параметри.

Mystica – універсальний генератор двовимірних і тривимірних зображень і текстур, які надалі можна використовувати в різних проектах, наприклад в якості реальних текстур для Web-сторінок.

Terragen – застосунок, який дає змогу створювати та рендерити симуляцію реального навколишнього середовища.

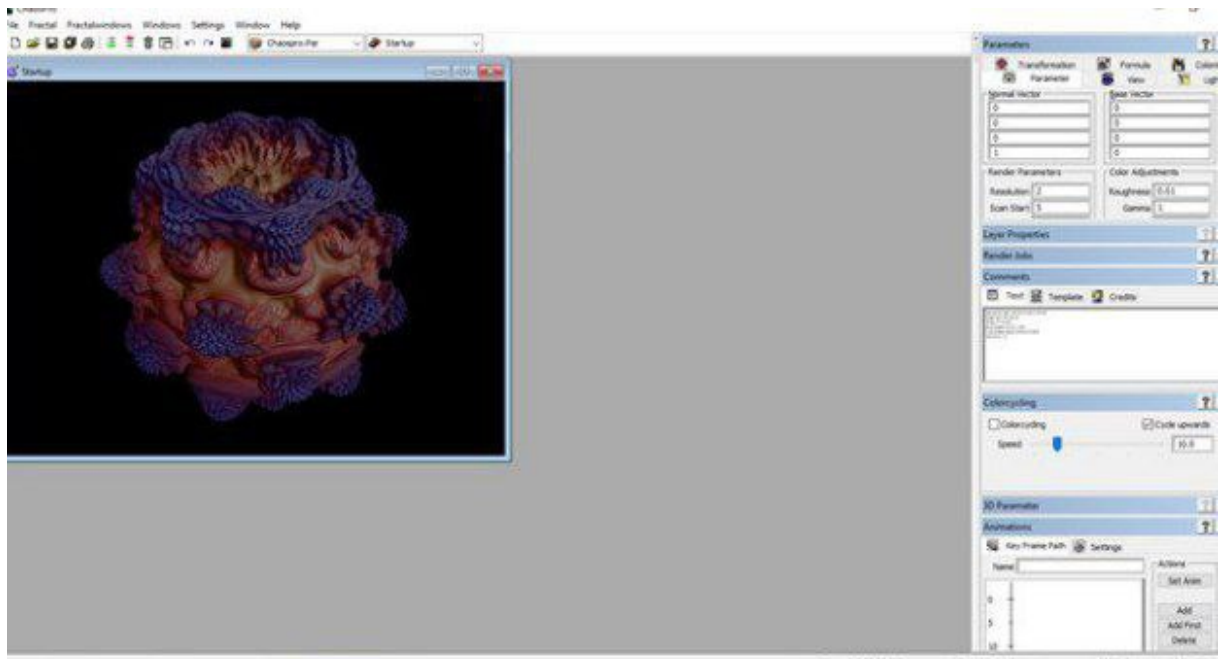
ChaosPro [11].

Призначення: Генерація фракталів із підтримкою різних формул.

Особливості:

- ✓ Великий вибір типів фракталів (множина Мандельброта, фрактали полум'я, 3D-фрактали).
- ✓ Підтримка анімацій та рендерингу в реальному часі.
- ✓ Підходить для вивчення основ фракталів і експериментів.

Переваги: Простий у використанні інструмент з великою кількістю налаштувань для генерації різних типів фрактальних зображень.



Джерело: авторська розробка В. Крук.

Рис. 1. Створення фрактала за допомогою програми *ChaosPro*

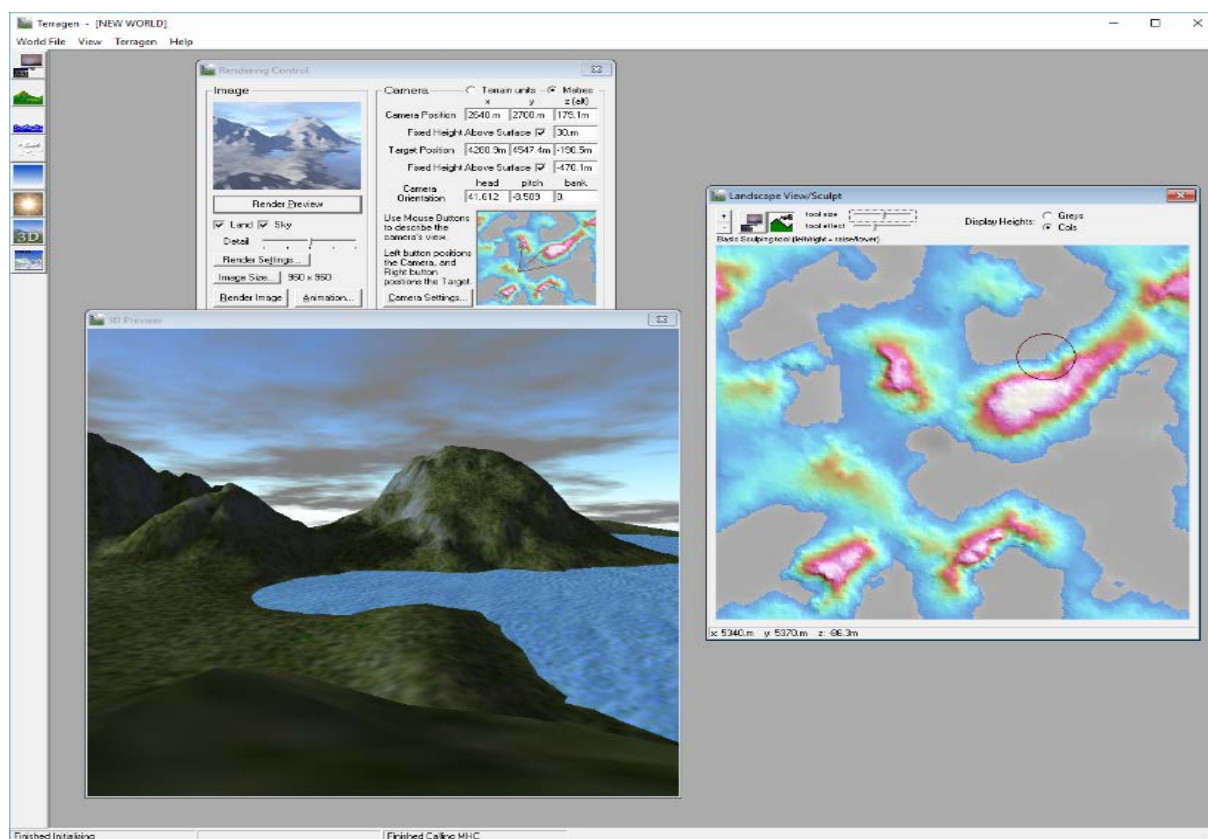
Terragen [12].

Призначення: Генерація фрактальних ландшафтів і террейнів.

Особливості:

- ✓ Гнучка система вузлів для точного налаштування об'єктів.
- ✓ Професійне програмне забезпечення для створення реалістичних ландшафтів з використанням фрактальних алгоритмів.
- ✓ Підтримує налаштування атмосфери, освітлення та водних об'єктів.
- ✓ Використовується в кіноіндустрії та ігровій розробці для створення фотореалістичних сцен.

Переваги: Потужний інструмент для створення високоякісних фрактальних ландшафтів.



Джерело: авторська розробка В. Крук.

Рис. 2. Створення фрактала за допомогою програми *Terragen*

Висновки. Таким чином використання фрактальної графіки у побудові ландшафтних об'єктів в комп'ютерних іграх дає нам змогу створювати багатопланові структури, які у віртуальному світі дають відчуття максимального наближення до нього.

Фрактали допомагають моделювати складні текстури поверхонь із різними видами висоти. Фрактальні алгоритми найкраще можуть імітувати самоподібні структури, такі як хмари, гори або берегові лінії. Фрактальна графіка також допомагає створювати дрібні текстурні деталі, такі як нерівності на деревах, хвилі на воді.. Усе це робить віртуальні світи більш реалістичними в наших очах. Безперечною перевагою фрактальної графіки є те, що у файлі фрактального малюнка зберігаються лише алгоритми та формули. Тому розміри цих файлів значно менші, ніж у аналогічних файлах векторної та растрової графіки.

Досліджені властивості роблять використання фрактальної графіки у побудові комп'ютерних ігрових моделей дуже перспективним напрямком досліджень.

Список використаної літератури

1. Barnsley M. F. Fractals Everywhere. URL: http://lib.ysu.am/open_books/418197.pdf.
2. Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=0R2LkE3N7-oC>.
3. Barnsley Michael. Fractals Everywhere The First Course in Deterministic Fractal Geometry. Reno, Nevada, United States, 1988. 394 p.
4. Олефіренко Н. В., Руденко О. І. Цікава фрактальна графіка. *Наумовські читання: матеріали XIX наук.-метод. конф. здобувачів вищої освіти та молодих учених, присвяч. року мат. освіти в Україні*, Харків, 23–24 листоп. 2021 р. / Харків. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди; редкол.: Н. О. Пономарьова та ін. Харків, 2022. С. 161–163.
5. Фрактальна графіка. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0.
6. Фрактальна графіка. URL: https://crashinform.blogspot.com/p/blog-page_41.html.
7. Залевська О., Яблонський П., Сидоренко Ю., Фіногенов О., Ситник А. Реалізація алгоритму фрактального стиснення графічного зображення. *Сучасні проблеми моделювання*. 2021. Вип. 22. С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.33842/22195203/2021/22/48/55>.
8. Peitgen H.-O., Saupe D. The Science of Fractal Images. Springer, 1988. 328 p.
9. Perlin K. An Image Synthesizer. *Computer Graphics (ACM)*. 1985. Vol. 19, No. 3. P. 287–296.
10. Ebert D. S., Musgrave F. K., Peachey D., Perlin K., Worley S. Texturing & Modeling: A Procedural Approach. *Morgan Kaufmann*. 2003. P. 31–45.
11. ChaosPro. URL: <https://chaospro.informer.com/3.2/>
12. Terragen. URL: <https://planetside.co.uk/>
13. Minecraft. URL: <https://mcpehub.org/news/727-download-last-version-minecraft.html>.