

УДК 530.191:[004.925:791]

ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ 3D-КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В КІНЕМАТОГРАФІ

Нестьогіна А.Є

e-mail: alina.nestohina@nure.ua

Науковий керівник – к. ф.-м. н. Онищенко А.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. Фізики

Харків, Україна

The paper investigates how fractal geometry is used to create three-dimensional graphics in filmmaking. Mandelbrot's theoretical framework - self-similarity and Hausdorff dimension - is reviewed as the mathematical basis. Three core production algorithms are examined: L-systems for plant and vegetation modeling, Perlin noise for terrain and texture synthesis, and ray marching for volumetric 3D fractal rendering. The timeline from Loren Carpenter's Vol Libre (1980) through Star Trek II: The Wrath of Khan (1982) to contemporary blockbusters illustrates how deeply fractal methods are embedded in modern CGI pipelines.

Фрактальна графіка – один із трьох базових видів комп'ютерної графіки поряд із растровою і векторною – дозволяє описувати природні форми з мінімальними витратами пам'яті. Поняття фрактала запровадив математик Бенуа Мандельброт наприкінці 1970-х років для опису нерегулярних самоподібних структур (від лат. *fractus* – «роздроблений»): «хмари – не кулі, гори – не конуси, блискавка не рухається по прямій» [1]. Фрактальна геометрія – це спроба описати природу мовою математики.

Головна властивість фрактала – самоподібність: кожна частина об'єкта повторює форму цілого у зменшеному масштабі. Математично це описується через розмірність Хаусдорфа – нецілочисельну величину. Один із методів для обчислення розмірності, добре відомої як крива Коха, обчислюється за формулою

$$D = \frac{\log \log N}{\log \log \frac{1}{s}}, \quad (1)$$

де N – кількість самоподібних фрагментів ($N = 4$), s – коефіцієнт масштабування $\left(s = \frac{1}{3}\right)$.

Результатом є значення $D \approx 1,2619$ [2]. Нецілочислена розмірність відрізняє фрактал від звичайної геометричної фігури, а фрактальні алгоритми здатні породжувати нескінченно складні форми буквально з кількох математичних правил. L-системи Лінденмайера (1968) застосовуються для моделювання рослинності, берегових ліній та природних текстур [3]; без них сучасні кінематографічні ліси просто не

існували б. Ще один ключовий алгоритм – шум Перліна, розроблений після роботи над «Троном» і описаний на SIGGRAPH 1985 [4].

По суті, це фрактальна функція виду

$$f(x) = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{2^k} * noise(2^k * x), \quad (2)$$

яка передбачає накладання кількох шарів (октав) псевдовипадкового шуму один на одного, з різними частотами й амплітудами, породжуючи самоподібну текстуру на різних масштабах. Результат – переконлива імітація хмар, вогню, скель, дерева, мармуру. Академія кіномистецтв у 1997 році нагородила Перліна премією за технічні досягнення саме за цей алгоритм. І це говорить само за себе.

Перше кінематографічне застосування фракталів – короткометражка Vol Libre (1980) Лорена Карпентера, який розробив алгоритм рекурсивного підрозділу трикутників для генерації гірського ландшафту [1]. Показ на SIGGRAPH 1980 відкрив Карпентеру двері до Lucasfilm, де з'явилася сцена Genesis Demo у «Зоряний шлях II: Гнів Хана» (1982) – перша повністю комп'ютерно згенерована планета в кіноісторії. Відтоді фрактальні алгоритми стали невід'ємною частиною Голлівуду – від лавових потоків у «Зоряних війнах» (2005) до сучасних блокбастерів.

Природа сама по собі фрактальна, тому алгоритми на основі самоподібності відтворюють її форми природно й ефективно [1, 3]. З розвитком GPU-обчислень фрактальний рендеринг став можливим у реальному часі [4], і ці алгоритми не втратять актуальності, поки існує природа.

Список використаних джерел:

1. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. New York : W. H. Freeman, 1982. 468 p.
2. Маценко В. Г. Комп'ютерна графіка : навч. посіб. Чернівці : Рута, 2009. 343 с.
3. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants. New York : Springer-Verlag, 1990. 228 p.
4. Perlin K. An image synthesizer. SIGGRAPH '85 : Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. New York : ACM, 1985. P. 287–296. DOI: <https://doi.org/10.1145/325334.325247>
5. Лазоренко О. В., Онищенко А. А., Чорногор Л. Ф. Мультифрактальний аналіз модельних фрактальних і мультифрактальних сигналів. Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2022. № 211. С. 74–85. DOI: 10.30837/rt.2022.4.211.05