

ПРОГРАМНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ РОСТУ РОСЛИННИХ СТРУКТУР

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто проблематику математичного та комп'ютерного моделювання фрактальних біологічних структур. Запропоновано архітектурне рішення програмного модуля на базі алгоритмів L-систем для візуалізації росту рослин у тривимірному просторі.

Ключові слова: математичне моделювання, L-системи, фрактальна геометрія, генерація рослин, комп'ютерна графіка.

Abstract

The problem of mathematical and computer modeling of fractal biological structures is considered. An architectural solution of a software module based on L-systems algorithms for visualizing plant growth in 3D space is proposed.

Keywords: mathematical modeling, L-systems, fractal geometry, plant generation, computer graphics.

Вступ

Моделювання складних біологічних процесів, зокрема росту та розвитку рослинних структур, є актуальною задачею у сферах екології, агрономії та комп'ютерної графіки. Відтворення реалістичної морфології рослин вимагає застосування потужних математичних апаратів, здатних описувати рекурсивну природу їхнього розгалуження. Одним із найефективніших інструментів для вирішення цієї задачі є L-системи (системи Лінденмаєра) – математичні моделі переписування рядків, які ідеально підходять для генерації фрактальних структур [1]. Метою роботи є розробка оптимізованих програмних модулів, які дозволяють гнучко налаштувати правила L-систем та інтерактивно візуалізувати результати їх виконання.

Основна частина

В основу розробленої системи покладено алгоритм контекстно-вільної L-системи, яка формально задається кортежем $G = (V, w, P)$, де V – алфавіт символів, w – початковий стан, а P – набір правил перетворення [2]. Програмний модуль інтерпретатора рекурсивно замінює символи аксіоми згідно з правилами протягом заданої кількості ітерацій, формуючи складний рядок команд.

Архітектура розробленого програмного забезпечення складається з трьох ключових підсистем: модуля синтаксичного аналізу, ядра генерації та підсистеми просторової інтерпретації. Парсер відповідає за перевірку вхідних правил на наявність синтаксичних помилок та їх перетворення у внутрішнє комп'ютерне представлення. Ядро генерації безпосередньо реалізує ітеративний процес розгортання рядка. Для підвищення функціональності та реалістичності біологічних моделей базовий інструментарій було розширено підтримкою параметричних та стохастичних L-систем. При перетворенні згенерованого математичного рядка у візуальну модель використано концепцію «черепашачої графіки» (Turtle graphics) у тривимірному просторі [3]. Під час обробки рядка спеціальні символи відповідають за збереження та відновлення стану системи. При зустрічі символу збереження поточні координати та орієнтація «черепашки» записуються у стек, а при зустрічі символу відновлення - витягуються назад. Це дозволяє імітувати природне розгалуження рослин [4].

Щоб обґрунтувати доцільність створення власного застосунку, було проведено порівняльний аналіз із існуючими рішеннями для генерації рослинності (таблиця 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика засобів моделювання рослинних структур

Критерії порівняння	SpeedTree	Blender	Запропонований модуль (L-системи)
Базовий підхід	Процедурна генерація	Процедурна генерація	Математичне моделювання (L-системи)
Ресурсоємність	Висока	Середня	Низька
Гнучкість математичних правил	Обмежена інтерфейсом	Низька	Висока
Інтеграція у веб-системи	Складна	Неможлива	Пряма

Аналіз показує, що потужні графічні редактори та комерційні рушії створюють високе навантаження на обчислювальні ресурси і є надлишковими для задач суто математичного чи біологічного моделювання, де важливий контроль над структурними правилами, а не фотореалістичністю кори чи листях [5].

Розроблений програмний модуль проєктувався з дотриманням принципів модульності та незалежності від конкретного графічного рушія. Серцевина системи відповідає виключно за генерацію рядків за правилами L-системи, тоді як модуль рендерингу отримує ці дані і може бути реалізований за допомогою будь-якої технології (наприклад, Three.js [6] для браузера або OpenGL [7] для десктопних застосунків). Система підтримує використання стохастичних L-систем (додавання ймовірностей до правил P), що дозволяє моделювати природні мутації та асиметрію росту, роблячи кожен згенеровану рослину унікальною.

Висновки

У результаті дослідження розроблено програмні модулі системи математичного моделювання росту рослин на базі L-систем. Використання формальних граматик у поєднанні зі стековою інтерпретацією команд дозволило створити ефективний інструмент для швидкої генерації складних фрактальних об'єктів. Запропонована архітектура вирізняється низькою ресурсоємністю та високою гнучкістю налаштувань, що робить її придатною для використання як у наукових дослідженнях з біомоделювання, так і для процедурної генерації контенту в інформаційних системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants. Springer-Verlag, 2012. 228 p.
2. Мартин Р. Чиста архітектура. Мистецтво розробки програмного забезпечення / Роберт Мартин; пер. з англ. – Харків: Фабула, 2019. – 368 с.
3. Мандельброт Б. Б. Фрактальна геометрія природи / Б. Б. Мандельброт. – Київ : Вища школа, 2001. – 656 с.
4. Кормен Т. Вступ до алгоритмів / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Рівест, К. Стайн ; пер. з англ. – Київ : К.І.С., 2019. – 1288 с.
5. Algorithmic Botany: L-systems [Електронний ресурс] / Biological Modeling and Visualization research group. – Режим доступу: <http://algorithmicbotany.org/papers/> – Дата звернення: 01.04.2026 р.
6. Офіційна документація WebGL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.khronos.org/webgl/> Дата звернення: 01.04.2026 р.
7. Офіційна документація бібліотеки Three.js [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://threejs.org/docs/>. Дата звернення: 01.04.2026 р.

Майданюк Володимир Павлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

Повар Павло Ігорович – студент групи 6ПІ-22б, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: povarpavlo04@gmail.com.

Maidaniuk Volodymyr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Pavlo Povar – student of group 6PI-22b, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.