

ГІБРИДНІ МОДЕЛІ СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ 3D-СЕРЕДОВИЩ НА ОСНОВІ НЕЙРО-ПРОЦЕДУРНИХ ПІДХОДІВ

Гребеннік І., Красніков В.

e-mail: igor.grebennik@nure.ua, vlad.krasnikov@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КМІТ
м. Харків, Україна

This paper proposes a hybrid approach to 3D content generation by integrating formal procedural rules with deep learning techniques. The methodology employs shape grammars and production systems to ensure structural integrity, while neural frameworks such as PyTorch and the Blender API enhance visual realism and detail. The optimization process uses a synergistic approach in which evolutionary algorithms perform global parameter searches, while reinforcement learning provides fine-tuning for specific environmental constraints. The proposed method significantly reduces time and resource costs in the production of digital assets. Practical applications include generating synthetic datasets for robotics, optimizing industrial design cycles, creating adaptive virtual environments for VR/AR systems.

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується стрімкою інтеграцією тривимірного контенту в найрізноманітніші сфери людської діяльності. Традиційні методи процедурної генерації забезпечують чітку структуру, але страждають від шаблонності. Натомість глибокі нейронні мережі дозволяють досягти високої деталізації, проте вони важко піддаються контролю на рівні архітекtonіки об'єктів. Гібридизація цих підходів є ключовим напрямком для створення керованих та фотореалістичних цифрових середовищ [1].

Традиційно створення 3D-об'єктів базувалося на використанні жорстких математичних правил або архітектурної граматики (CGA), що є універсальним математичним апаратом, який можна використовувати для будь-яких об'єктів, що мають чітку внутрішню логіку або ієрархію. Сучасні розробки переходять до використання нейронних мереж, зокрема дифузійних моделей (наприклад, DreamFusion) та імпліцитних представлень, що здатні генерувати тривимірні об'єкти за текстовим описом. Найбільш перспективним напрямком є поєднання машинного навчання з процедурними методами. Зокрема, пошук оптимальних рішень всередині «уяви» нейромережі за допомогою еволюційних алгоритмів дозволяє автоматично синтезувати унікальні складноструктуровані цифрові середовища та функціональні симуляційні простори, що адаптуються під конкретні сценарії використання.

Метою роботи є розробка гібридного методу, що поєднує правила формальної генерації з глибоким навчанням.

Для деталізації методологічного підходу важливо розрізняти етапи формування структури та накладання візуальних характеристик на модель. Теоретичне моделювання в межах даного дослідження базується на суворій формалізації процедурних правил через механізм продукційних систем та граматик форм, що дозволяє визначити логічну та ієрархічну побудову 3D-об'єктів. Це забезпечує необхідну структурну цілісність, якої часто бракує суто нейромережевим підходам.

Архітектурне рішення проекту реалізується шляхом інтеграції потужних нейромережевих фреймворків (PyTorch, TensorFlow) зі спеціалізованими інструментами обробки тривимірної геометрії (PyTorch3D, Blender API). Синергія цих етапів дозволяє маніпулювати хмарами точок або воксельними репрезентаціями безпосередньо в процесі навчання мережі. Глибоке навчання на цьому етапі відповідає за досягнення високого рівня реалізму та деталізації текстур, що нівелює проблему шаблонності, притаманну класичним процедурним методам.

Процес оптимізації та адаптації згенерованого контенту до конкретних умов середовища покладається на гібридну схему, де еволюційні алгоритми використовуються для глобального пошуку оптимальних параметрів процедурних правил, а алгоритми навчання з підкріпленням – для тонкого налаштування об'єктів. Використання подібних гібридних схем дозволяє досягти балансу між автоматизацією процесу та можливістю гнучкого контролю над кінцевим результатом.

Попередні дослідження [2] щодо стохастичного заповнення дискретних решіток зв'язаними областями слугують фундаментом для забезпечення структурної цілісності складних багатовимірних моделей.

Практична цінність отриманих результатів полягає у суттєвому зниженні часових та ресурсних витрат на створення керованого 3D-контенту. Запропонований гібридний підхід відкриває можливості для автоматизованої генерації високоточних тренувальних датасетів для систем робототехніки, оптимізації виробничих циклів у гейм-індустрії, а також формування адаптивних віртуальних середовищ у VR/AR системах, що здатні динамічно підлаштовуватися під потреби користувача.

Список використаних джерел:

1. Li X., et al. Advances in 3D Generation: A Survey. arXiv:2401.17807, 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2401.17807> (дата звернення: 05.03.2026).

2. Красніков В., Ситнікова П. Алгоритм завоювання для стохастичного заповнення двовимірних дискретних решіток зв'язаними областями// АСУ та прилади автоматики. 2025. № 1(185). С. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2025.185.070>