

# ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРНИХ ТЕКСТУР У ЗАДАЧАХ РЕСТАВРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

*Вінницький національний технічний університет*

## **Анотація**

*Розглянуто підходи до використання процедурних текстур у задачах цифрової реставрації зображень. Наведено переваги процедурних текстур порівняно з класичними текстурними картами з точки зору керованості, масштабованості та відсутності повторюваних патернів.*

**Ключові слова:** реставрація зображень, процедурні текстури, процедурний шум, цифрова обробка зображень, відновлення пошкоджених фрагментів.

## **Abstract**

*Approaches to the use of procedural textures in digital image restoration tasks are considered. The advantages of procedural textures over classical texture maps in terms of controllability, scalability, and absence of repetitive patterns are presented.*

**Keywords:** image restoration, procedural textures, procedural noise, digital image processing, restoration of damaged fragments.

## **Вступ**

Стрімке зростання обсягів цифрових зображень, що підлягають оцифруванню, архівуванню та подальшій реставрації, потребує розробки методів, здатних не лише відновлювати втрачені або пошкоджені фрагменти, а й забезпечувати візуальну узгодженість відновлених ділянок з оточенням. Традиційні підходи до реставрації, ґрунтовані на локальній інтерполяції, копіюванні фрагментів або використанні зразкових текстур, часто призводять до появи повторюваних артефактів, розмиття дрібних деталей та невідповідності глобальній структурі зображення. Особливо це критично для архівних фотографій, технічних та медичних зображень, де зберігання структури текстурованих поверхонь має принципове значення [1].

Одним із перспективних напрямів удосконалення методів реставрації є використання процедурних текстур – аналітично або стохастично заданих моделей, що описують візерунок поверхні через параметризовані функції, а не через дискретні зразки. Процедурні текстури дозволяють генерувати потенційно необмежені за розміром фрагменти збереженої структури, легко керувати масштабом, орієнтацією та рівнем деталізації, а також адаптувати параметри до локальних характеристик зображення. Інтеграція таких моделей із сучасними методами комп'ютерного зору та нейронними мережами відкриває можливості побудови гібридних систем реставрації, у яких процедурний опис текстури використовується як апіорна модель для відновлення фону, регулярних структур або однорідних областей.

**Мета дослідження:** обґрунтувати доцільність використання процедурних текстур у задачах реставрації зображень, виконати їх класифікацію та порівняльний аналіз, а також визначити підходи до інтеграції процедурних моделей текстур із сучасними алгоритмами inpainting та нейромережевими методами відновлення зображень.

## **Особливості процедурних текстур у задачах реставрації зображень**

Процедурні текстури розглядаються як параметричні моделі, у яких структура поверхні описується не дискретним зразком зображення, а набором аналітичних або стохастичних функцій. На відміну від класичних текстур, що зберігаються у вигляді растрових карт і вимагають доступу до зразків, процедурні моделі генерують значення текстури «на льоту» за координатами пікселя. Це забезпечує масштабованість, відсутність швів, можливість довільного збільшення області синтезу та просте керування параметрами вигляду – частотою, напрямком, рівнем шуму, анізотропією тощо [2].

У контексті реставрації зображень процедурні текстури виступають джерелом апіорної інформації про клас поверхні, що відновлюється. Для однорідних або квазіперіодичних структур (фони документів, текстиль, фактури стін, декоративні покриття, природні текстури типу каменю чи деревини) вони дозволяють сформувати узгоджений з навколишнім контекстом фрагмент без необхідності пошуку відповідних зразків у пошкодженому зображенні. Це особливо важливо для випадків, коли значна частина сцени зруйнована або закрита артефактами, і традиційні методи inpainting не мають достатньо локальної інформації для коректної реконструкції.

### **Класифікація процедурних моделей текстур**

У загальному випадку процедурні текстури можна класифікувати за типом математичної моделі, яка використовується для опису структури:

1. Аналітичні моделі – ґрунтуються на детермінованих функціях, що описують регулярні структури: сітки, смугасті візерунки, цегляну кладку, паркетування, текстури з чіткою періодичністю. Такі моделі задаються через явні формули, де колір пікселя визначається як функція його координат і набору параметрів (період, фаза, товщина ліній тощо).

2. Стохастичні та шумові моделі – базуються на генераторах псевдовипадкового шуму (Perlin noise, Simplex noise, Worley noise та їх модифікації). Вони забезпечують квазірандомізовану, але керовану структуру, що добре підходить для моделювання природних матеріалів, каменю, хмар, диму, паперу, металевих поверхонь із неоднорідностями. Контроль частоти та спектру шуму дозволяє підлаштовувати модель під статистику конкретного зображення.

3. Фрактальні моделі – описують текстури на основі ітеративних процедур, де структура повторюється на різних масштабах. Фрактальні текстури доцільно застосовувати для поверхонь, що характеризуються самоподібністю (мармур, кору дерев, природні ландшафти).

4. Параметричні гібридні моделі – поєднують аналітичні схеми з шумовими складниками, дозволяючи одночасно описувати регулярний базовий візерунок і випадкові мікровідхилення. Такі моделі є найбільш гнучкими для задач реставрації, оскільки дають змогу налаштовувати як глобальну геометрію текстури, так і дрібні дефекти поверхні.

### **Інтеграція процедурних текстур у процес реставрації**

Типовий процес реставрації зображень із використанням процедурних текстур включає декілька етапів. Спочатку алгоритми сегментації та класифікації виділяють області з однорідною або квазіперіодичною фактурою, які можуть бути описані процедурною моделлю. Далі на основі непошкоджених фрагментів оцінюються параметри текстури: просторові частоти, домінантні напрямки, статистичні характеристики яскравості й контрасту, спектральна щільність. На цьому кроці застосовуються методи спектрального аналізу, вейвлет-перетворення, оцінювання автокореляційних функцій та моментів розподілу [3].

Після ідентифікації класу текстури та калібрування параметрів відбувається синтез процедурної текстури в областях пошкоджень. Генерація може виконуватися в декартових або полярних координатах, з урахуванням локального орієнтаційного поля, щоб уникнути різких переходів на межі з непошкодженими ділянками. Для підвищення узгодженості з глобальним зображенням використовуються маски плавного змішування, просторово-змінні вагові коефіцієнти або оптимізаційні схеми, що мінімізують різницю по яскравості й градієнтах між синтезованою й оригінальною частинами.

У задачах реставрації архівних фотографій процедурні текстури доцільно застосовувати для відновлення однорідного фону, текстур одягу з регулярним малюнком, декоративних елементів інтер'єру, де основну роль відіграє узгоджена фактурна складова, а не унікальні локальні деталі. У технічних і медичних зображеннях процедурний підхід може використовуватися для компенсації шуму та реконструкції фонових структур, що підлягають подальшому кількісному аналізу.

Класичні методи текстурного inpainting базуються на перенесенні фрагментів із непошкоджених областей у зону реставрації. Вони добре працюють за наявності достатньої кількості зразків, але демонструють деградацію якості при великих за площею пошкодженнях або відсутності репрезентативних фрагментів. Процедурні текстури, навпаки, не потребують явних зразків, але вимагають правильної постановки моделі.

### **Гібридні системи реставрації на основі процедурних текстур**

Перспективним напрямом є побудова гібридних систем, у яких процедурні текстури виступають окремим модулем у складі загального конвеєра реставрації. Наприклад, нейронна мережа може виконувати сегментацію сцени та класифікацію областей за типами текстур, тоді як для кожного класу

запускається спеціалізований процедурний генератор. У такій архітектурі навчання нейромережі зосереджується на розпізнаванні структур та оцінюванні параметрів моделей, а сам процес генерації фактур перекладається на детерміновані алгоритми, що зменшує вимоги до обчислювальних ресурсів та обсягу навчальних даних.

Інший варіант гібридизації полягає у використанні процедурних текстур як регуляризатора в оптимізаційних схемах. У цьому випадку функція втрат включає складник, що примушує відновлену текстуру наближатися до виходу процедурної моделі за статистичними і спектральними характеристиками. Такий підхід дозволяє поєднати гнучкість навчуваних методів з жорсткими обмеженнями на вигляд фону або матеріалу.

Нарешті, процедурні текстури можуть застосовуватися на етапі постобробки, коли нейронна мережа відновлює загальну структуру сцени, а дрібні фактурні деталі «підфарбовуються» за рахунок додавання процедурного шуму з контрольованими параметрами. Це дозволяє компенсувати типові для нейромереж згладжування і повернути візуально правдоподібну мікроструктуру поверхні.

### Висновок

Застосування процедурних текстур у задачах реставрації зображень відкриває додаткові можливості для відновлення однорідних та періодичних структур, де класичні sample-based або суто нейромережеві підходи демонструють обмеження. Процедурні моделі забезпечують компактне подання фактури, масштабованість та просте керування параметрами, що робить їх зручним інструментом як для автономної реконструкції фону, так і в складі гібридних систем. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизовану ідентифікацію типу текстури, спільне навчання параметрів процедурних моделей та нейронних мереж, а також розширення класу поверхонь, які можуть бути адекватно описані процедурними функціями.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романюк О. Н., Дудник О. О., Романюк О. В. Модифікований метод parallax mapping з використанням карти відстаней до поверхні // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2017. – № 1. – С. 78–82.
2. Ebert D. S., Musgrave F. K., Peachey D., Perlin K., Worley S. Texturing & Modeling: A Procedural Approach. – 3rd ed. – San Francisco : Morgan Kaufmann, 2003. – 1056 p.
3. Lagae A., Lefebvre S., Drettakis G., et al. A survey of procedural noise functions // Computer Graphics Forum. – 2010. – Vol. 29, No. 8. – P. 2579–2600.

**Романюк Олександр Никифорович** – професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [romanyuk@vntu.edu.ua](mailto:romanyuk@vntu.edu.ua).

**Комісарик Артур Сергійович** – студент групи 2ПІ-24м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, [mz764233@gmail.com](mailto:mz764233@gmail.com).

**Oleksandr Romanyuk** – professor, head of the software department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [romanyuk@vntu.edu.ua](mailto:romanyuk@vntu.edu.ua).

**Artur Komisarik** – student of the group 2PI-24m, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, faculty of information technology and computer engineering, [mz764233@gmail.com](mailto:mz764233@gmail.com).