

**МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦИИ РЕЛЬЕФА
ХУДОЖЕСТВЕННОГО МАЗКА**

***Сагиев Андрей Вадимович, Латипова Ляйля Фанисовна,
Пивоварова Милена Александровна***

Студент, студент, студент

*Московский институт электроники и математики, НИУ ВШЭ, Москва,
Россия*

*E-mail: avsagiev@edu.hse.ru, lflatipova@edu.hse.ru,
mapivovarova@edu.hse.ru*

Научный руководитель — Попов Максим Александрович

Одной из актуальных задач в сфере широкоформатной печати является качественное воспроизведение живописных художественных произведений. Обычно печать выполняется без воспроизведения рельефа, в результате теряется художественная выразительность.

Предлагаемая методика направлена на приближённую реконструкцию рельефа по единственному изображению: как для оцифрованных работ данных о рельефе, так и для изображений, созданных искусственным интеллектом.

На этапе предварительной обработки выполняются нормализация освещения и выделение первичных признаков по яркостному каналу с использованием градиентных карт и контурных признаков (детектор Canny [1]). Далее модуль анализа текстур оценивает локальную ориентацию и характер мазков на основе тензора структуры [2] и банка фильтров Габора [3]. Ядро фильтра Габора в пространственной области задаётся формулой:

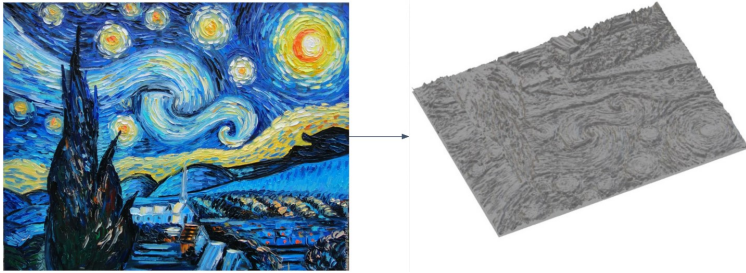
$$G(x, y) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \quad (1)$$

где $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$, $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$; λ — длина волны, θ — ориентация, ψ — фазовый сдвиг, σ — ширина гауссовой огибающей, γ — коэффициент аспектного сжатия.

Извлечённые признаки используются для формирования маркеров и последующей сегментации на области отдельных мазков. Для уточнения границ применяется нейросетевой модуль сегментации на базе U-Net [4], предварительно обученный на синтетических данных и доработанный с использованием псевдоразметки. Это повышает устойчивость метода к вариациям художественного стиля, освещения и качеству входного изображения.

По результатам сегментации формируется приближенная карта высот. Постобработка включает сглаживание с сохранением границ и ограничение перепадов высот. Модуль генерации файла преобразует карту высот в трёхмерную полигональную модель формата STL, пригодную для последующей послойной печати. Пример рельефа, восстановленного с помощью предлагаемой методики, приведен на рисунке.

Иллюстрации



Пример входных данных (слева) и результирующего рельефа (справа).

Литература

1. Canny J.F. A Computational Approach To Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. P. 679–698. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
2. Zhang Q., Ji D., Zhou Y., Zhang L. et al. Coupling shearlet coefficients and spatial information from a single image to construct a tensor for sparse-view tomography reconstruction // Signal, Image and Video Processing. 2025. V.19. DOI: 10.1007/s11760-025-04417-9.
3. Karunakar Y. Prodigious Utilization of Genetic Algorithm in Tuning Gabor filter parameters in the Application of Iris Recognition // International Journal of Information and Electronics Engineering. 2011. V.1(1). P. 55–58. DOI: 10.7763/IJIEE.2011.V1.8.
4. Farmakis-Serebryakova M., Heitzler M., Hurni L. Terrain Segmentation Using a U-Net for Improved Relief Shading // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. V.11(7). P. 395. DOI: 10.3390/ijgi11070395.