

**МЕТОД ЧИСЛЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОГО ОПЕРАТОРА
ФУРЬЕ**

Кондратьева Александра Федоровна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: a.kondratyeva@gmail.com

Научный руководитель — Крылов Андрей Серджевич

Задача выделения границ (edge detection) — фундаментальный этап анализа изображений. В классических подходах, таких как алгоритм Сэнну [1], чувствительность к шуму обычно проявляется в шаге вычисления градиента, поэтому качество детектирования сильно зависит от масштаба сглаживания. В результате при фиксированном уровне сглаживания слабые и тонкие контуры теряются, а при недостаточном сглаживании возникают ложные границы. Более того, выбор единого параметра сглаживания (одно значение σ на всё изображение) не решает задачу, когда уровень шума существенно различается в разных областях изображения.

В данной работе предлагается решать задачу с помощью нейронного оператора Фурье (FNO) [2], который вычисляет численные производные зашумлённых изображений, неявно адаптируясь к локальному уровню шума. Для обучения нейронного оператора был создан синтетический набор данных, где на одном изображении моделируется переменный уровень шума в разных областях. Благодаря этому FNO реализует оператор регуляризованного дифференцирования: нейронная сеть подавляет шумовые высокие частоты и одновременно сохраняет геометрически значимые перепады интенсивности — то, чего крайне сложно добиться с помощью фиксированных линейных фильтров. Благодаря спектральному представлению данных FNO эффективно обучает отображения между функциональными пространствами, сохраняя глобальный контекст изображения при умеренных вычислительных затратах [3].

Ключевым преимуществом предложенного подхода является пространственно-адаптивная регуляризация. В отличие от классического алгоритма Сэнну с единственным значением σ , FNO способен динамически изменять степень сглаживания в зависимости от локального уровня шума.

Таким образом, использование FNO в пайплайне выделения границ превращает вычисление производных из чувствительной к шуму операции в обучаемый устойчивый оператор. Это расширяет применимость метода в условиях реальных наблюдений и обеспечивает более стабильное качество при широком диапазоне уровней шума.

Литература

1. Canny J. A. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, Vol. PAMI-8, No. 6, P. 679–698
2. Li Z. Kovachki N. Azizzadenesheli K. Liu B. Bhattacharya K. Stuart A. Anandkumar A. Fourier Neural Operator for Parametric Partial Differential Equations // In International Conference on Learning Representations, 2021
3. Kovachki N. Li Z. Liu B. Azizzadenesheli K. Bhattacharya K. Stuart A. Neural Operator: Learning Maps Between Function Spaces // Journal of Machine Learning Research, 2021, P. 1–97