

УДК 004.932.1

СЖАТОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ: АНАЛИЗ РАЗРЕЖЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

А. Р. АЗАРЁНОК

Научный руководитель В. Г. ЗАМУРАЕВ, канд. физ.-мат. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Классический подход к дискретизации сигналов, основанный на теореме отсчётов [1], требует частоты выборки, вдвое превышающей максимальную частоту сигнала, что зачастую приводит к избыточности данных. Многие реальные сигналы (медиаданные, изображения) обладают структурной разреженностью – в подходящем ортогональном базисе они могут быть представлены малым числом значимых коэффициентов. Теория сжатого зондирования [2] преодолевает ограничения классической дискретизации, позволяя восстанавливать сигналы из существенно меньшего числа измерений за счёт комбинации случайных проекций, несогласованных с базисом разреженности, и применения методов выпуклой оптимизации с L1-регуляризацией для поиска разреженного решения.

Была разработана программа на Python, реализующая алгоритм сжатого зондирования для восстановления изображений из неполных измерений на основе их разреженного представления в вейвлет-базисе. Архитектура решения объединяет дискретное косинусное преобразование для построения матрицы измерений, многоуровневое вейвлет-разложение для анализа разреженной структуры и ускоренный проксимальный градиентный метод (FISTA) с L1-регуляризацией для решения обратной задачи оптимизации.

Программа предоставляет интерактивный веб-интерфейс на основе фреймворка Streamlit для настройки параметров: уровня вейвлет-разложения, процента измерений, коэффициента регуляризации и критериев остановки. Анализ разреженности включает расчёт L0- и L1-норм, индекса Джини, меры Хойера и доли значимых коэффициентов. Для оценки качества восстановления используются такие метрики, как PSNR, SSIM, MSE и др. Визуализация включает сравнение оригинального и восстановленного изображений, карту различий и гистограмму распределения вейвлет-коэффициентов.

Алгоритм демонстрирует устойчивость к шумам за счёт мягкого порогового сжатия и адаптивной скорости сходимости. Реализация поддерживает преждевременную остановку итераций и обеспечивает воспроизводимость результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гоноровский, И. С.** Радиотехнические цепи и сигналы: учебник / И. С. Гоноровский. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с.
2. **Foucart, S.** A mathematical introduction to compressive sensing / S. Foucart, H. Rauhut. – New York: Springer, 2013. – 625 p.