

Секция «17.3 Искусственный интеллект и анализ данных в космических исследованиях»

**Исследование влияния многоканальности и мультимодальности данных ДЗЗ
для задачи повышения разрешения**

Научный руководитель – Беляков Никита Викторович

Капитова Софья Дмитриевна

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет
космических исследований, Москва, Россия

E-mail: sonya.kapitova@gmail.com

Проблема повышения пространственного разрешения мультиспектральных спутниковых изображений является актуальной в задачах дистанционного зондирования Земли, где компромисс между спектральной информативностью и пространственной детализацией является конструктивным ограничением сенсоров. Так, например, для данных миссии Sentinel-2 характерно различное пространственное разрешение спектральных каналов (10, 20 и 60 м), что затрудняет совместный анализ мелких пространственных структур и спектральных индексов. Современные методы повышения разрешения (super-resolution, SR) позволяют частично компенсировать этот разрыв, однако большинство работ ориентировано либо на синтетически пониженные данные, либо на ограниченное число каналов [1,2]. При этом вопрос о том, как именно число спектральных каналов и использование дополнительных модальностей влияет на качество реконструкции, остается недостаточно изученным.

В ряде исследований показано, что учет межканальных зависимостей повышает устойчивость моделей и снижает спектральные искажения [3,4]. Архитектуры с механизмами канального внимания демонстрируют преимущество по метрикам PSNR и SSIM по сравнению с базовыми сверточными сетями [3]. В работах, где используются реальные пары низко- и высокоразрешённых изображений, отмечается, что корректная геометрическая регистрация и сохранение радиометрической согласованности оказывают решающее влияние на итоговое качество [5]. В частности, применение снимков спутника Ven μ s в качестве эталона высокого разрешения для обучения моделей на данных Sentinel-2 позволило получить более реалистичную постановку задачи по сравнению с искусственным downsampling [5,6].

Настоящее исследование направлено на оценку влияния многоканальности и мультимодальности на качество решения задачи повышения разрешения для данных ДЗЗ. В отличие от большинства существующих работ, в которых анализируется преимущественно RGB-конфигурация снимков ДЗЗ либо же их вариации в четырех каналах, в данной работе используется набор из 8 доступных спектральных каналов Sentinel-2. Для формирования обучающей выборки было выполнено геопространственное сопоставление изображений датасета Sen2Ven μ s с соответствующими сценами Sentinel-2. Согласование осуществлялось по координатной информации с последующей пространственной интерполяцией и приведением к единой сетке, что обеспечивает формирование реальных LR–HR пар без искусственного понижения разрешения и использования иных синтетических данных.

В рамках работы реализована модификация архитектуры модели повышения разрешения, адаптированная к многоканальному входу. Расширен входной сверточный слой для обработки полного спектрального набора, выполнена поканальная нормализация, а также интегрирован механизм канального внимания для учета спектральных зависимостей. Дополнительно исследуется влияние мультимодального расширения входа за счет включения

географических координат сцены (широта, долгота и их производные) в виде позиционного кодирования, внедряемого в латентное пространство модели. Такая постановка позволяет проверить гипотезу о том, что пространственный контекст может способствовать более точной реконструкции текстур и границ объектов.

Оценка качества проводится по метрикам PSNR, SSIM и LPIPS, что соответствует современным подходам к оценке SR-методов [1,3,4]. Сравнение осуществляется между несколькими конфигурациями: трехканальной (RGB), мультиспектральной (полный набор каналов) и мультиспектральной с добавлением координатной модальности. Такой подход позволяет изолированно оценить вклад спектральной информации и дополнительных признаков в итоговое качество реконструкции.

Отдельное внимание уделяется устойчивости моделей к различным типам земного покрова. Анализ выполняется отдельно для урбанизированных территорий, сельскохозяйственных участков и природных ландшафтов, что позволяет оценить, в каких условиях вклад многоканальности наиболее выражен. Подобный анализ отсутствует в большинстве существующих публикаций, где результаты приводятся агрегированно по всей выборке [2,6].

Перспективным направлением дальнейшего исследования является переход к задаче Multi-Image Super-Resolution (MISR), в которой используется несколько изображений одной сцены, полученных в разные моменты времени. Работы последних лет показывают, что пространственно-временная агрегация позволяет дополнительно повысить точность реконструкции по сравнению с SISR-подходами [7,8]. В рамках текущей работы уже сформирован датасет, в котором для каждой сцены подобраны несколько изображений Sentinel-2 по географическим координатам, что создает основу для последующего анализа мультивременных архитектур. Детальное исследование MISR-моделей рассматривается как следующий этап развития проекта.

Таким образом, предлагаемое исследование направлено на систематическое изучение влияния числа спектральных каналов и включения дополнительных модальностей на задачу сверхразрешения спутниковых изображений. Полученные результаты позволяют уточнить роль спектральной избыточности и пространственного контекста при реконструкции высокочастотных деталей и могут быть использованы при решении даунстрим задач обработки данных ДЗЗ, таких как регрессия, классификация, детекция и др.

Источники и литература

- 1 Wang Z., Chen J., Hoi S. C. H. Deep learning for image super-resolution: A survey //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2020. – Т. 43. – №. 10. – С. 3365-3387.
- 2 Li J. et al. Model-guided coarse-to-fine fusion network for unsupervised hyperspectral image super-resolution //IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2023. – Т. 20. – С. 1-5.
- 3 Yang X. et al. Super-resolution reconstruction of terahertz images based on a deep-learning network with a residual channel attention mechanism //Applied optics. – 2022. – Т. 61. – №. 12. – С. 3363-3370.
- 4 Kowaleczko P. et al. A real-world benchmark for Sentinel-2 multi-image super-resolution //Scientific Data. – 2023. – Т. 10. – №. 1. – С. 644.
- 5 Sharifi A., Shah-Hosseini R. Super-resolution of Sentinel-2 RGB images with VEN μ S reference images using SRResNet CNNs //Environmental Sciences Proceedings. – 2024. – Т. 29. – №. 1. – С. 80.

- 6 Nguyen-Vi K., Bui-Quoc B., Kamel N. Deep learning-based Sentinel-2 super-resolution via channel attention and high-frequency feature enhancement //Frontiers in Remote Sensing. – 2025. – Т. 6. – С. 1644460.
- 7 Li Y. et al. Multi-Image Super-Resolution for Remote Sensing Images Based on Deep Learning. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2022.
- 8 Jiang Z. et al. Research on cross-spatiotemporal remote sensing detection of marine oil spills and emulsions based on coupling optical and thermal response characteristics //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2024. – Т. 62. – С. 1-21.