



ИППИ РАН

# Геометрическая коррекция гиперспектральных изображений по опорному RGB фото

Терехова Ольга (ИППИ РАН, МФТИ)

Научный руководитель: Д.С. Сидорчук (ИППИ РАН)

20 мая 2025

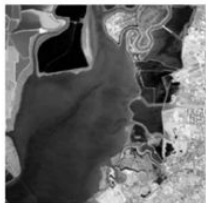


ИППИ РАН

# Гиперспектральный мониторинг поверхности Земли

Для каждого пикселя гиперспектрального изображения (далее -- ГСИ) доступны интенсивности для сотен или тысяч каналов с не пересекающимися друг с другом функциями спектральной чувствительности.

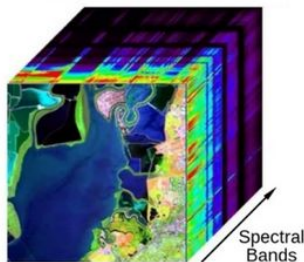
Single Band



Multispectral

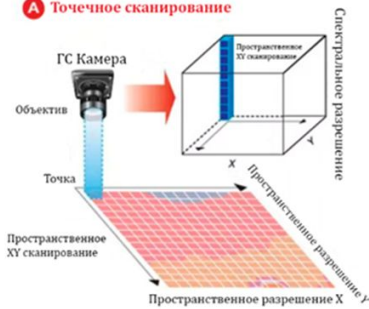


Hyperspectral

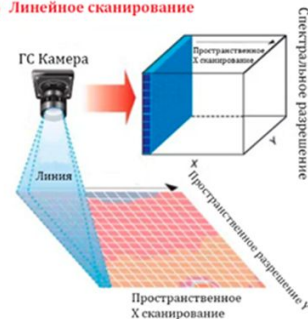


Spectral Bands

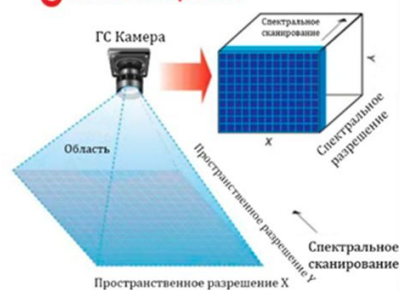
А Точечное сканирование



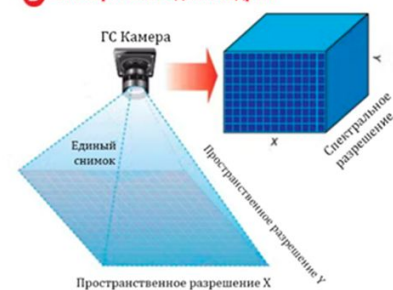
В Линейное сканирование



С Плоское сканирование



Д Сканирование одним кадром





## Проблематика формирования ГСИ при линейном сканировании

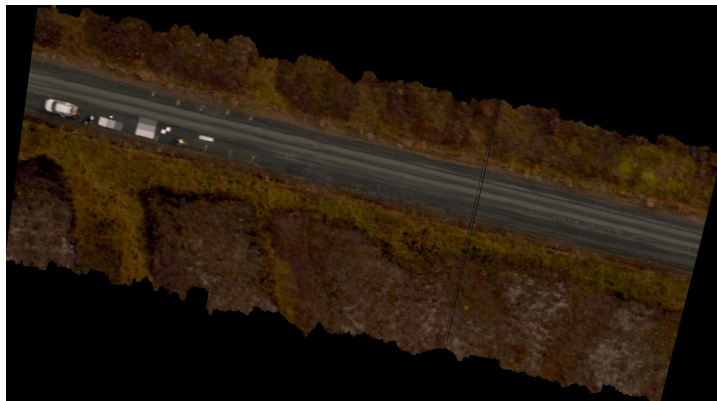
За полёт беспилотное воздушное судно (БВС) регистрирует набор кадров ГСИ, из которых необходимо сформировать одно ГСИ, согласованное с системой координат местности.

Задача сводится к поиску параметров геометрических преобразований, сопоставляющих снятые кадры ГСИ с системой координат в плоскости Земли, и определению значений интенсивностей по каналам в каждой точке итогового изображения.

- Неточность инерциальных датчиков приводит к искажениям фрагментов изображения
- Неравномерность движения приводит к неравномерному покрытию местности снимками и существенным площадям, где данных ГСИ нет.

Современные исследования направлены на устранение артефактов, вызванных неточными преобразованиями.

## Проблематика формирования ГСИ при линейном сканировании



Пример сформированного по данным телеметрии изображения из датасета [1]



ИППИ РАН

## Постановка задачи

Требуется сформировать ГСИ по

- последовательности ГС кадров, снятых с борта БВС методом линейного сканирования на целевую ГС-камеру,
- данным телеметрии БВС
- вспомогательного RGB изображения снятого одним кадром (опционально)



## Построение бейзлайна для задачи формирования и геометрической коррекции ГСИ

- Данные: нужны ГС-полоски, телеметрия, желательно опорный RGB
- Методы формирования и геометрической коррекции ГСИ
- Метрики качества для оценки полученных результатов

## Методы формирования и геометрической коррекции изображений

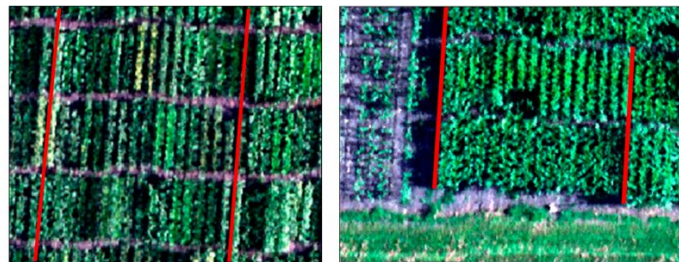
- Ректификация: проецирование ГС-кадров в общую систему координат на основе данных телеметрии.
  - Математическая модель описана в статье *Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 1: Parametric orthorectification*, Schläpfer D. Richter R., 2002, и с тех пор используется везде как классическая
- Геометрическая коррекция искажений, вызванных неточностью датчиков телеметрии
  - Существующие методы
  - Метод на основании алгоритма dynamic time warping
- Интерполяция
  - Существуют различные методы: knn, Inverse Distance Weighted interpolation



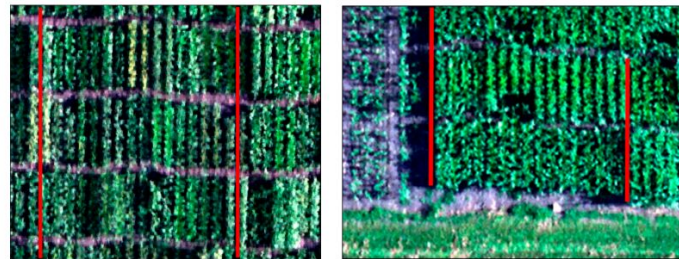
## Существующие методы

В работе [1] метод основывается на автоматическом поиске сопряженных точек на RGB изображении и ГСИ, и модификации ГСИ для их выравнивания.

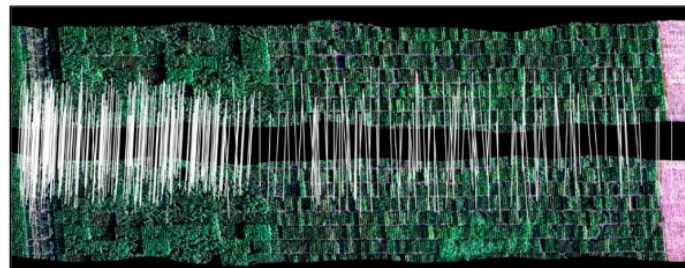
Недостаток метода: поиск ключевых точек некорректен в случае существенных сдвигов соседних полос относительно друг друга



(a)



(b)



[1] Habib A. et al. Automated ortho-rectification of UAV-based hyperspectral data over an agricultural field using frame RGB imagery //Remote Sensing. – 2016. – Т. 8. – №. 10. – С. 796.





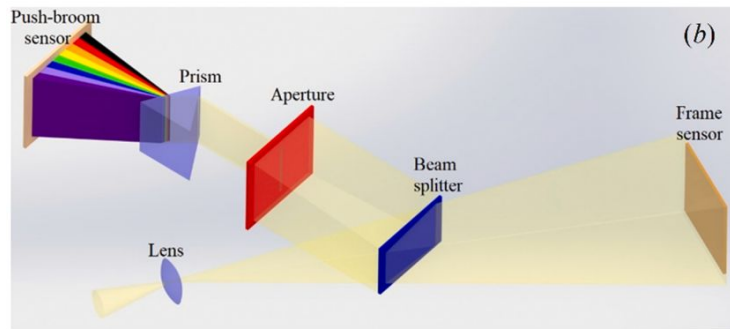
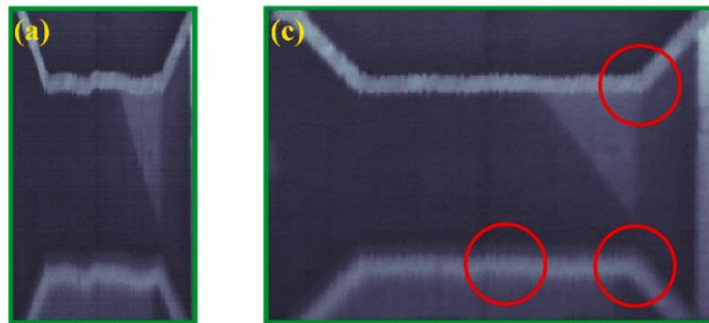
ИППИ РАН

## Существующие методы

В работе [2] авторы используют синхронную съемку RGB и ГС изображений, что позволяет точно определить местоположение ГС-полоски на RGB снимке.

При помощи автоматического поиска ключевых точек RGB изображения сшиваются в единую сцену, после чего на неё проецируются ГС-полоски.

Проблема: метод работает только для камер специфичной конструкции, гарантирующих синхронность съемки.

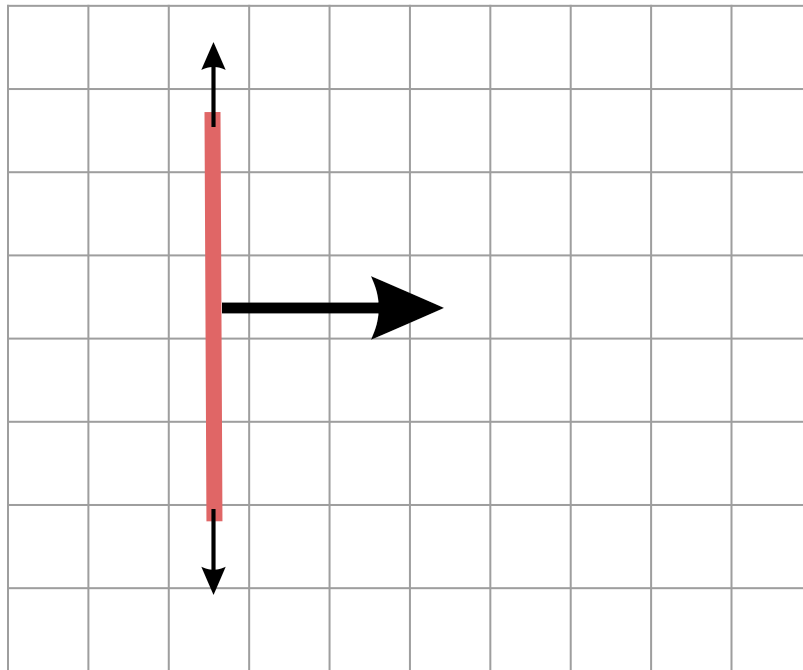


[2] Khezrabad M. A., Zoej M. J. V., Safdarinezhad A. A new approach for geometric correction of UAV-based pushbroom images through the processing of simultaneously acquired frame images //Measurement. – 2022. – T. 199. – C. 111431.



## DTW для геометрической коррекции: одномерная модель искажений

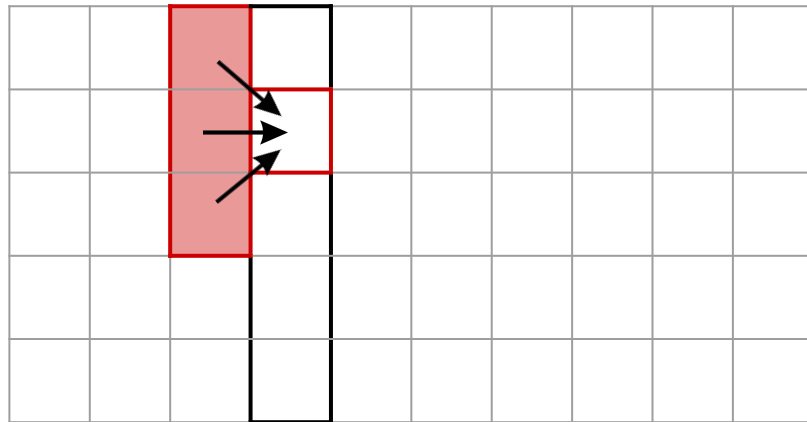
- Рассматривается прямолинейный полет параллельно одной из границ изображения
- Каждый столбец изображения - ГС-полоска
- Искажения представляют из себя смещения полос в направлении, перпендикулярном траектории полёта





## DTW для геометрической коррекции: одномерная модель искажений

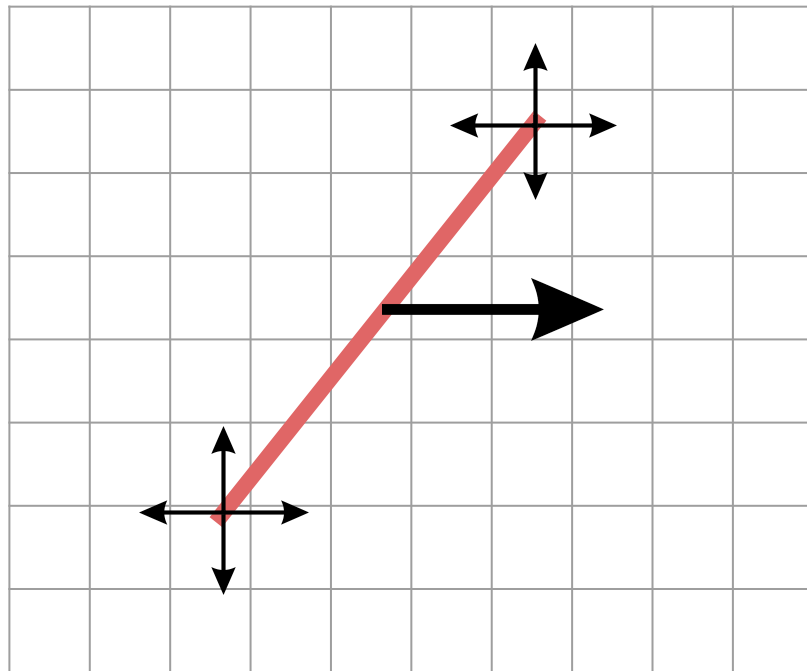
1. Заполняем матрицу невязок MSE между полосками опорного и ректифицируемого изображений
2. Заполняем матрицу стоимостей: для каждой ячейки стоимость её достижения складывается как сумма её стоимости и минимальной стоимости достижения ячеек предыдущего столбца
3. Для каждой полоски выбираем оптимальное смещение на основании матрицы стоимостей





## DTW для геометрической коррекции: многомерный случай

- Положение полосы на изображении задаётся парой координат её концов, что позволяет рассматривать смещения и повороты
- Матрица невязок становится пятимерным тензором: номер полосы и четыре параметра смещения.
- Чтобы вычислить невязку, находим для каждого пикселя ГС-полоски ближайший на RGB-изображении, и считаем MSE.





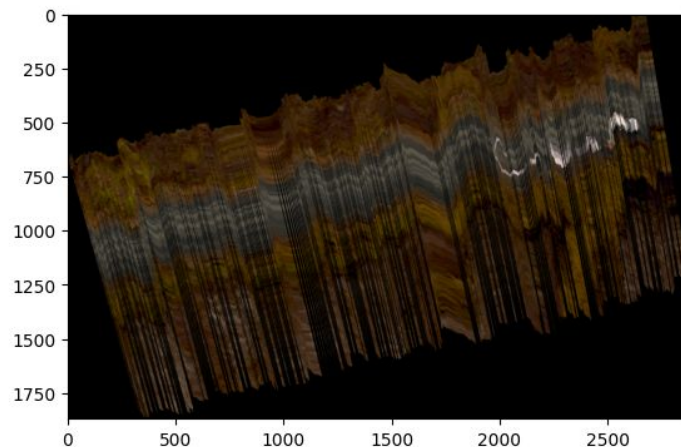
ИППИ РАН

## Данные

Был обнаружен единственный подходящий на первый взгляд открытый датасет *High-resolution hyperspectral images of Council, Alaska 2019*.

Данные оказались непригодны для работы:

- Отсутствует сопоставление между ГС-полосками и строками таблиц телеметрии
- Попытка интерполировать зависимость по ключевым точкам с известными координатами не даёт удовлетворительных результатов из-за неравномерности движения БВС



Синтез RGB изображения по RGB, построенному по интерполированным данным телеметрии

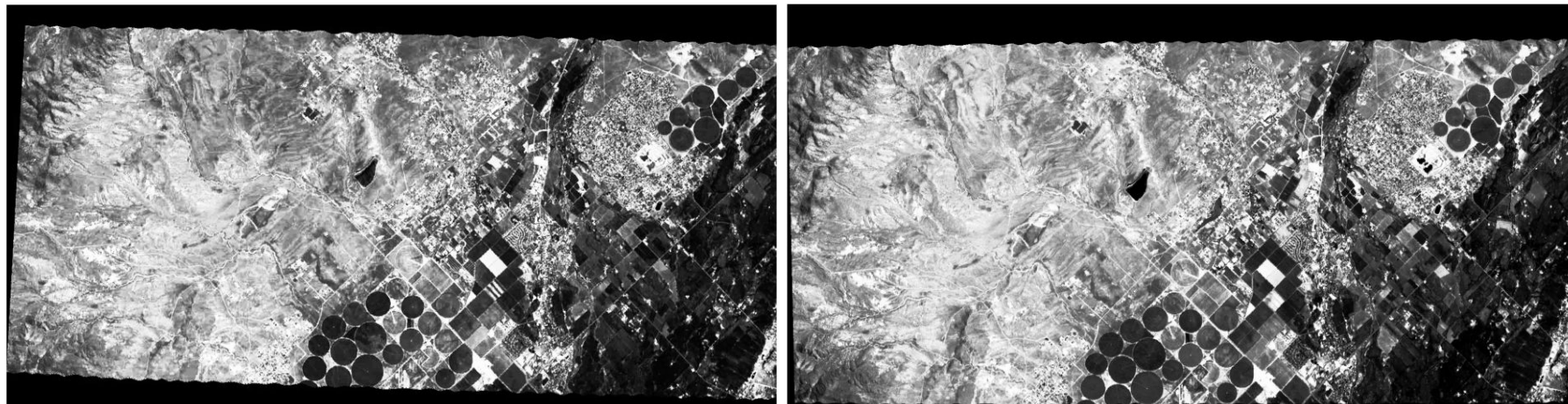


## Данные

Другие открытые датасеты не предоставляют исходные данные и телеметрию, поэтому мы столкнулись с необходимостью аугментации. Для неё мы использовали данные проекта AVIRIS.

- Полоски были искусственно раздвинуты со смещениями из нормального распределения в двух моделях искажений.
- В качестве опорного изображения был использован синтез RGB по ГСИ другого пролёта над той же местностью.

## Данные

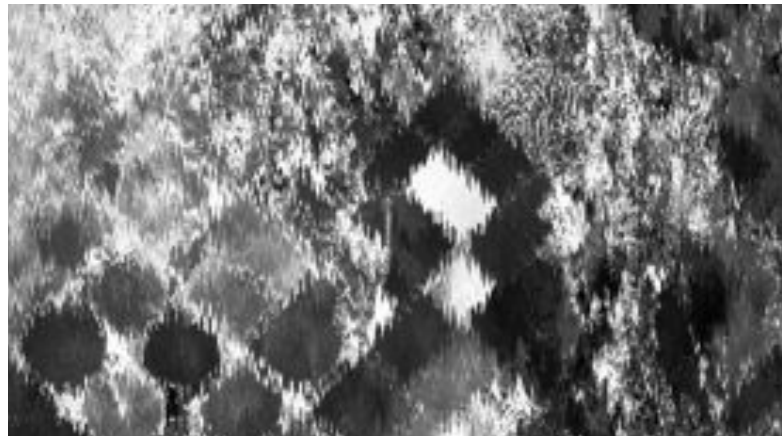
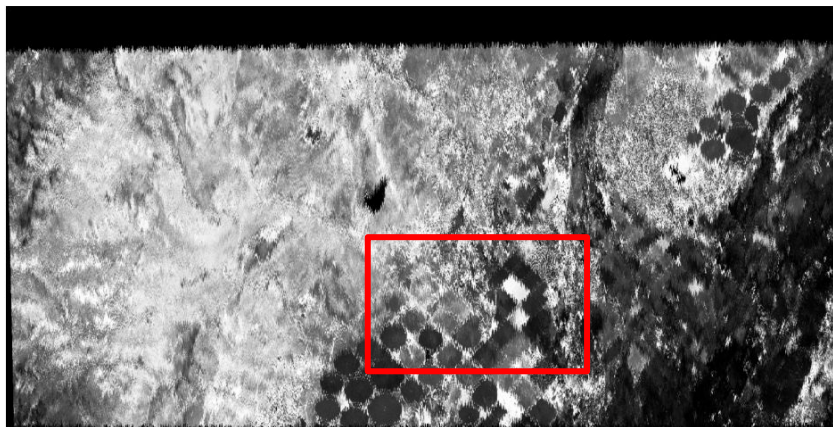


Синтез черно-белого изображения по ГСИ и RGB снимкам двух различных пролетов над одной зоной



ИППИ РАН

## Данные

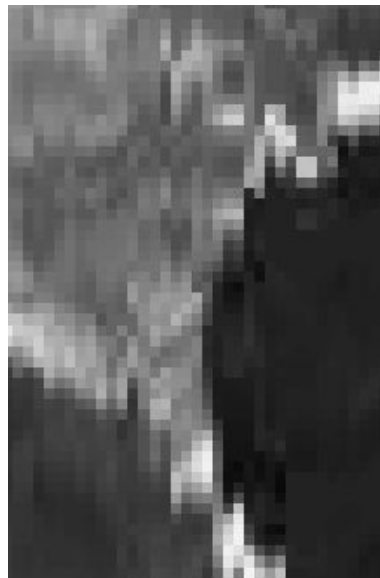
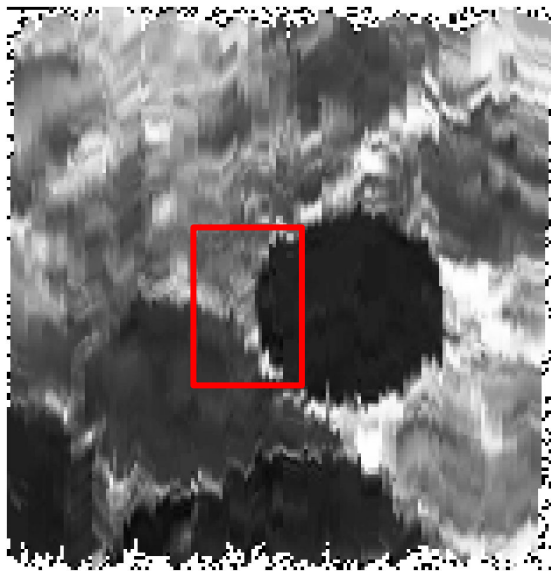


Черно-белое аугментированное изображение с искажениями в одномерной модели





## Данные



Черно-белое аугментированное  
изображение с искажениями в  
многомерной модели



## Постановка эксперимента

- Аугментированы искаженные данные в одномерной и многомерной модели
- Реализован DTW для обеих моделей
- Для обеих моделей аугментированное ГС-изображение пролета скорректировано по опорному RGB-снимку другого пролета над этой же зоной
- В качестве метрик оценки качества взяли structural similarity index (SSIM) скорректированного изображения с опорным и исходным изображениями



## Результаты: одномерная модель

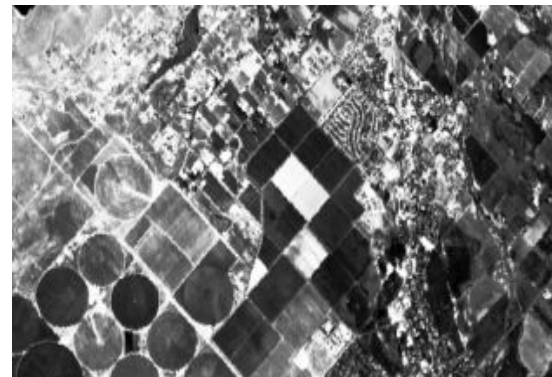
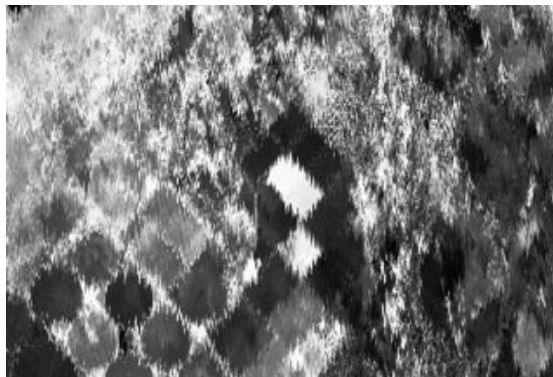
	SSIM с опорным изображением	SSIM с исходным изображением
исходное изображение	0.46	1.0
аугментированное изображение	0.27	0.39
результат коррекции	0.44	0.58



## Результаты: многомерная модель

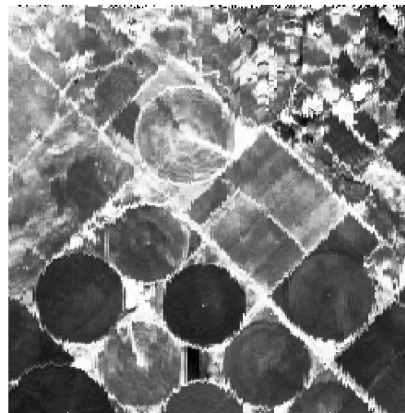
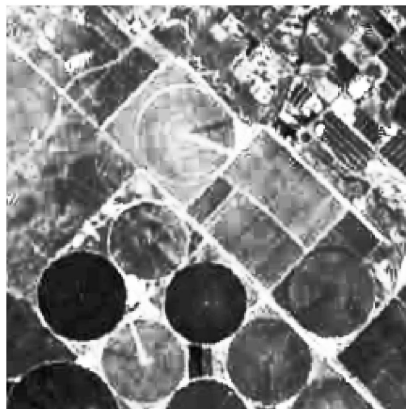
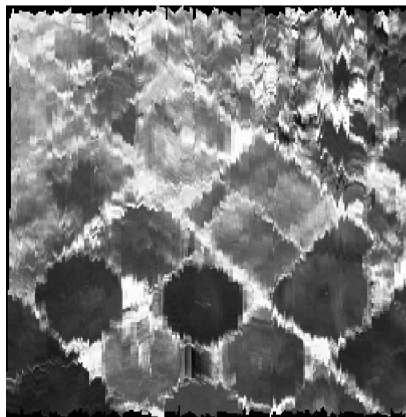
	SSIM с опорным изображением	SSIM с исходным изображением
исходное изображение	0.38	1.0
аугментированное изображение	0.37	0.49
результат коррекции	0.50	0.57

## Результаты: одномерная модель



Результаты геометрической коррекции: аугментированное изображение с искажениями, опорное изображение, результат коррекции

## Результаты: многомерная модель



Результаты геометрической коррекции: аугментированное изображение с искажениями, опорное изображение, результат коррекции



## Результаты

- Проведен анализ существующих методов геометрической коррекции изображений, снятых на щелевую гиперспектральную камеру [1], [2]
- Изучены открытые датасеты гиперспектральных данных и выявлена непригодность датасета [3]
- Предложены две модели искажений для аугментации данных
- Предложен метод геометрической коррекции для выбранных моделей искажений
- Проведен эксперимент, демонстрирующий улучшение качества аугментированных изображений при применении предложенного метода

[1] Habib A. et al. Automated ortho-rectification of UAV-based hyperspectral data over an agricultural field using frame RGB imagery //Remote Sensing. – 2016. – Т. 8. – №. 10. – С. 796.

[2] Kheezabad M. A., Zoej M. J. V., Safdarinezhad A. A new approach for geometric correction of UAV-based pushbroom images through the processing of simultaneously acquired frame images //Measurement. – 2022. – Т. 199. – С. 111431.

[3] Kim J. I. et al. High-resolution hyperspectral imagery from pushbroom scanners on unmanned aerial systems. – 2022.