

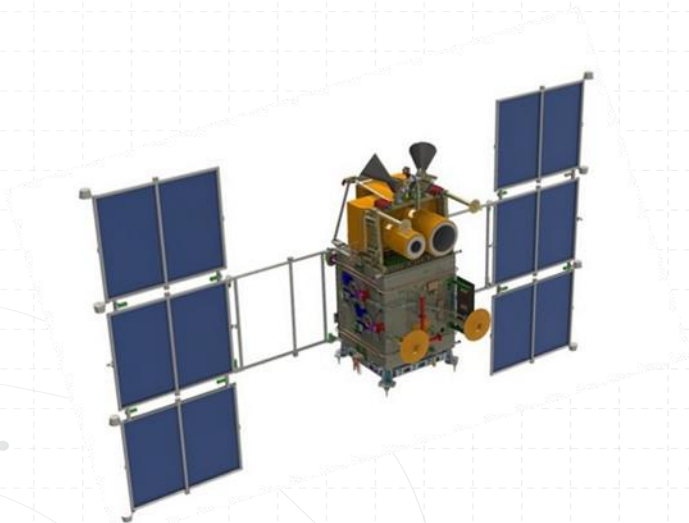
# Применение технологий компьютерного зрения при производстве контроля геодезической привязки продуктов ДЗЗ.

Д. Ю. Малев<sup>1</sup>, П. П. Румянцев<sup>1</sup>, Т. Е. Малышкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Российские космические системы», Москва, Россия



- Отраслевой запрос на потоковое, автоматизированное средство контроля качества геодезической привязки стандартных продуктов ДЗЗ оптико-электронных съемочных систем высокого разрешения;
- Независимое средство оценки геодезической привязки стандартных продуктов ДЗЗ;
- В основе работы – параметрические и объектно-ориентированные методы компьютерного зрения;
- Тестирование методов – данные ДЗЗ КА группировки «Канопус-В».



**Цель** – оценка применимости методов компьютерного зрения для выполнения работ по оценке качества геодезической привязки стандартных продуктов ДЗЗ.

### **Задачи:**

1. Формирование перечня методов компьютерного зрения для выполнения задачи в рамках цели исследования.
2. Программная реализация исследуемых подходов с применением библиотек с открытым исходным кодом.
3. Проведение тестирования исследуемых методов, формирование статистики результатов.

## Используемые методы компьютерного зрения

	SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)	FAST (Features from Accelerated segment Test)	ORB (Oriented FAST and Rotated Brief)
Авторы	David Lowe (1999, 2004)	Edward Rosten, Tom Drummond (2006)	Ethan Rublee, Vincent Rabaud и др. (2011)
Тип	Детектор ключевых точек + дескриптор	Только детектор ключевых точек (без дескриптора)	Детектор (FAST) + дескриптор (модифицированный BRIEF)
Основные свойства	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Инвариантность к масштабу, повороту, освещению</li> <li>- Устойчивость к шуму и небольшим деформациям</li> <li>- Высокая точность, но относительно медленная работа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Очень высокая скорость работы</li> <li>- Чувствительность к углам и текстурированным областям</li> <li>- Не инвариантен к масштабу и повороту</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Быстрый и эффективный (альтернатива SIFT/SURF)</li> <li>- Инвариантен к повороту</li> <li>- Бинарные дескрипторы (быстрое сравнение)</li> </ul>
Достоинства	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокая точность</li> <li>- Устойчивость к масштабу, повороту, освещению</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Очень быстрый (тысячи точек за миллисекунды)</li> <li>- Хорошо работает на текстурированных сценах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Быстрый (в 10–100 раз быстрее SIFT)</li> <li>- Инвариантен к повороту</li> <li>- Компактные бинарные дескрипторы</li> </ul>
Недостатки	-Вычислительная сложность	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Нет дескриптора (требует комбинации с другими методами)</li> <li>- Чувствителен к шуму</li> <li>- Не инвариантен к масштабу и повороту</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Менее устойчив к масштабу, чем SIFT</li> <li>- Чувствителен к сильным изменениям освещения</li> </ul>
Время обработки стандартной сцены (20x20 км), секунды	35	18	29



Инструменты: Python, OpenCV, Rasterio

- Разработана программа с визуально-графическим пользовательским интерфейсом (GUI) – «GeoImageMatcher»;
- Пользователь загружает опорное (изображение, относительно которого ведутся измерения) и измеряемое (изображение, по которому ведутся измерения) изображения в формате GeoTiff в любой системе геодезических координат;
- По результатам работы программы пользователь получает отчет со статистикой о выявленных ошибках геодезической привязки измеряемого изображения, а также набор геопространственных данных с соответствующими точками на паре изображений;
- Поддерживается пакетная обработка массива изображений.

Отчет о сопоставлении изображений

Дата обработки: 2025-08-04 08:57:38

Метод детектирования: FAST

Предельная ошибка: 100.0 пикселей

Изображение 1: F:/ISR\_sensing\_routes/total/Irkutsk\_KV3.tif

Разрешение 1: 2.573355408700921 м/пиксель

Битовая глубина 1: 8

Размер 1: 9411 x 9773 пикселей

Изображение 2: F:/ISR\_sensing\_routes/total/KV3\_35532\_38096-01\_KANOPUS\_20240628\_034852\_82.L2.PMS.SCN35.tif

Разрешение 2: 2.1 м/пиксель

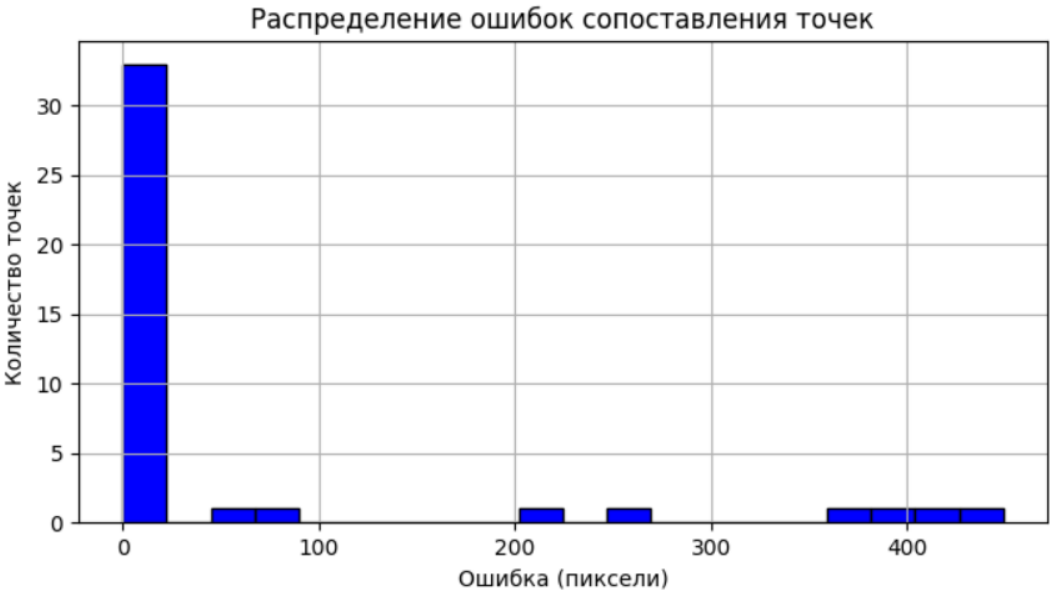
Битовая глубина 2: 16

Размер 2: 12178 x 12557 пикселей

Коэффициент масштабирования: 0.82

Система координат: PROJCS["WGS 84 / UTM zone 48N",GEOGCS["WGS 84",DATUM["World Geodetic System 1984",SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["degree",0.0174532925199433,AUTHORITY["EPSG","9122"]]],PROJECTION["UTM",false,false,false,false,false],PARAMETERS["utm\_zone",48,"utm\_spheroid","WGS 84","utm\_datum","World Geodetic System 1984","utm\_prime\_meridian","Greenwich","utm\_false\_easting",500000,"utm\_false\_northing",0,"utm\_scaling\_factor",0.999609309226345,"utm\_bearing\_angle",0],AUTHORITY["EPSG",31450]],PROJ4="+proj=utm +zone=48 +datum=WGS84 +spheroid=WGS84 +ellipsoid=WGS84 +prime=Greenwich +units=degrees +no\_defs",PROJCS["WGS 84 / UTM zone 47N",GEOGCS["WGS 84",DATUM["World Geodetic System 1984",SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["degree",0.0174532925199433,AUTHORITY["EPSG","9122"]]],PROJECTION["UTM",false,false,false,false,false],PARAMETERS["utm\_zone",47,"utm\_spheroid","WGS 84","utm\_datum","World Geodetic System 1984","utm\_prime\_meridian","Greenwich","utm\_false\_easting",500000,"utm\_false\_northing",0,"utm\_scaling\_factor",0.999609309226345,"utm\_bearing\_angle",0],AUTHORITY["EPSG",31449]],PROJ4="+proj=utm +zone=47 +datum=WGS84 +spheroid=WGS84 +ellipsoid=WGS84 +prime=Greenwich +units=degrees +no\_defs"]

Распределение ошибок



Результаты сопоставления

Общее количество точек: 8252

Количество совпадений: 41

Количество точек с ошибкой ≤ 100.0px: 35

RMSE: 138.38 пикселей

Матрица гомографии:

[ [ 1.193100e+00 1.185000e-01 -1.126751e+02 ]

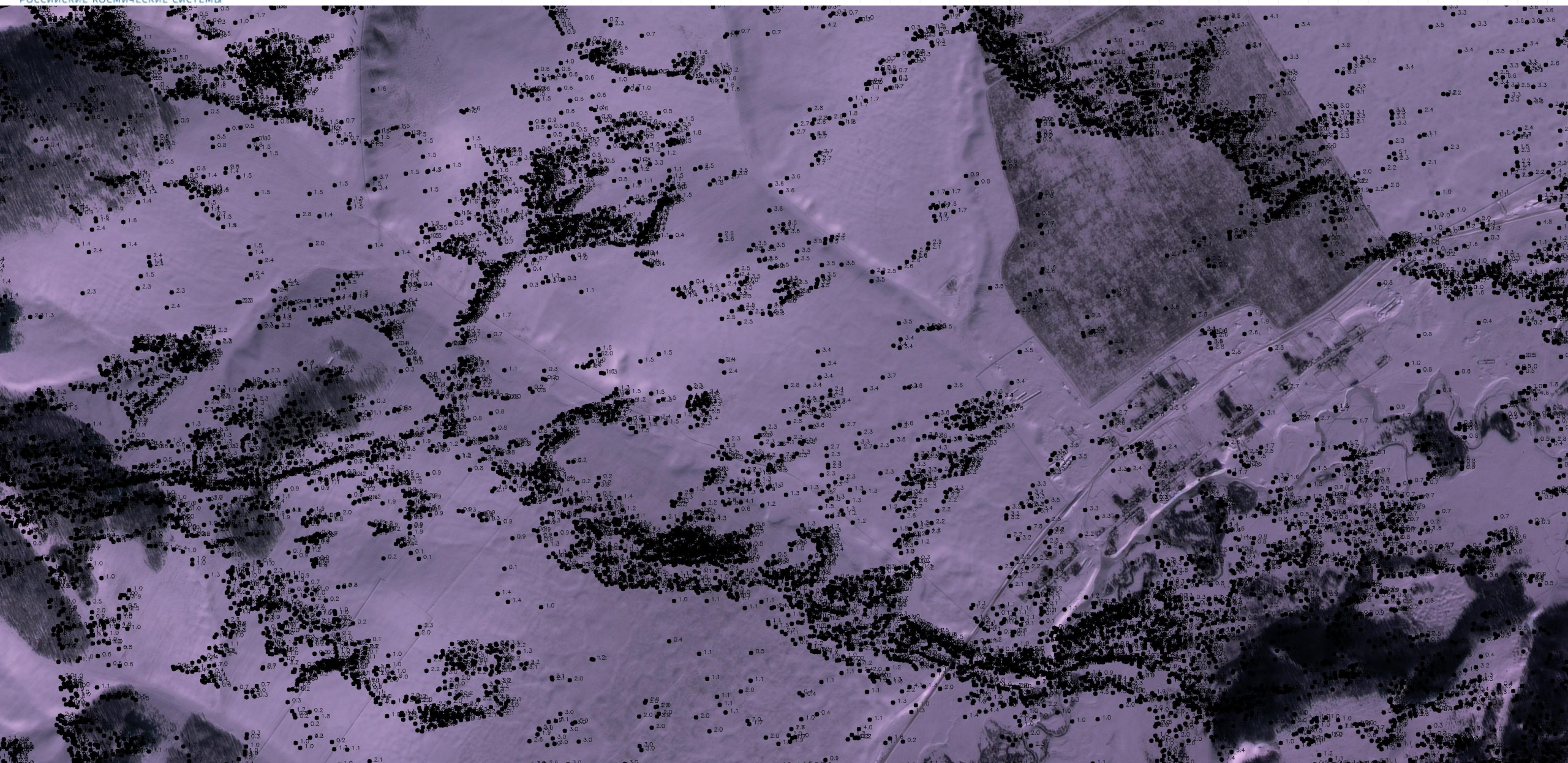
[ -1.114000e-01 1.142200e+00 3.849763e+02 ]

[ -0.000000e+00 0.000000e+00 1.000000e+00 ]

Метрики качества сопоставления

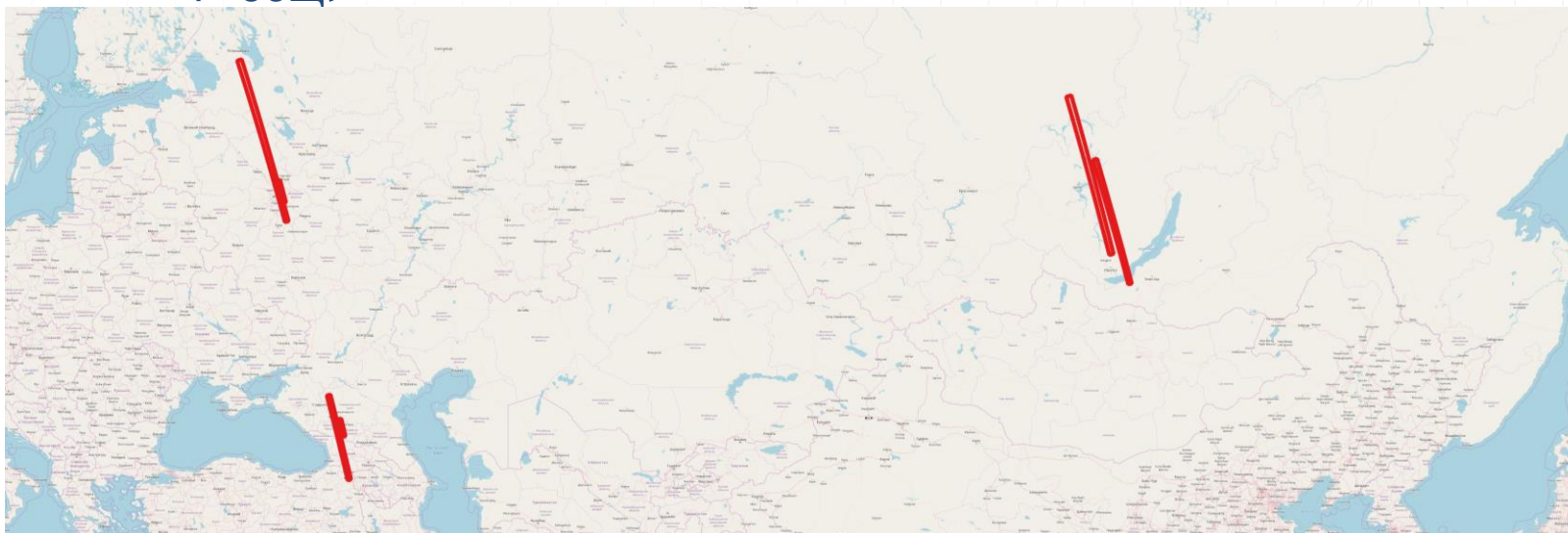
Метрика	Значение
Precision (точность)	0.85
Recall (полнота)	0.85
F1-score	0.85
Минимальная ошибка	0.12 px
Максимальная ошибка	448.84 px
Средняя ошибка	55.55 px
Медианная ошибка	1.47 px







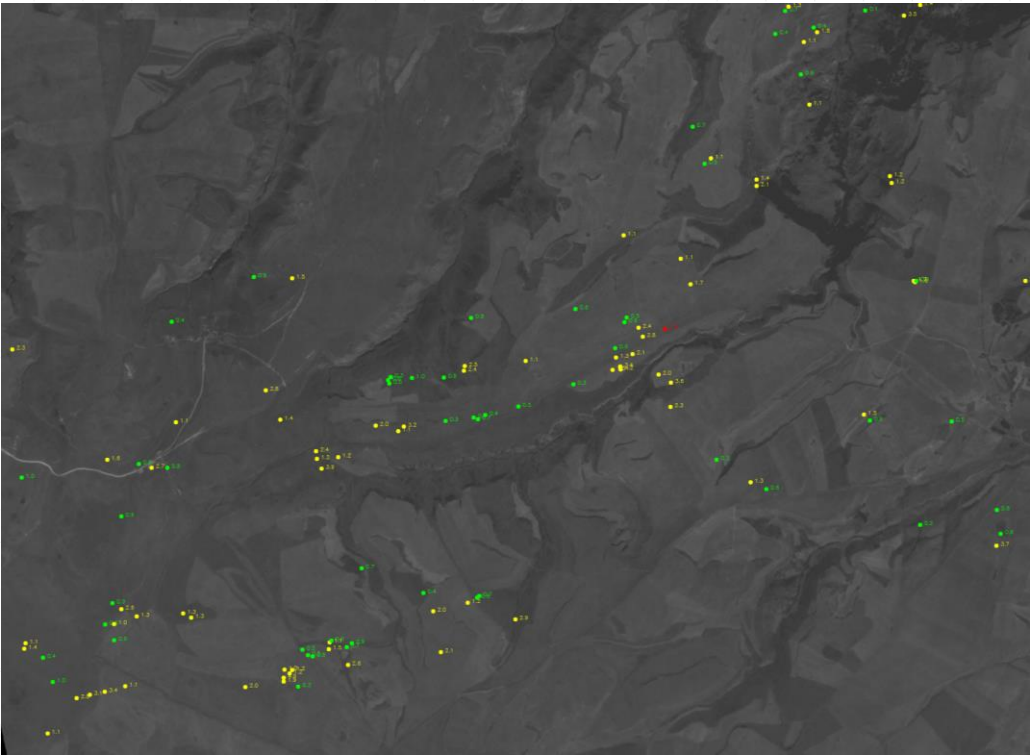
- КА: «Канопус-В» №4 – №6;
- Территория: Московская обл., Ставропольский край, Иркутская обл.;
- Сезоны съемки: зима, лето;
- Уровень стандартных продуктов ДЗЗ: 2В (L2 Ortho);
- Независимое спутниковое покрытие – Planet Tiles;
- Критерий оценки точности результатов (КОТ) – безразмерная величина, отражающая отношение количества точек с ошибкой детектирования менее 100 пикселей ( $n_{\text{удовл}}$ ) к общему числу детектированных связующих точек ( $n_{\text{общ}}$ ).



$$\text{КОТ} = \frac{n_{\text{удовл}}}{n_{\text{общ}}}$$

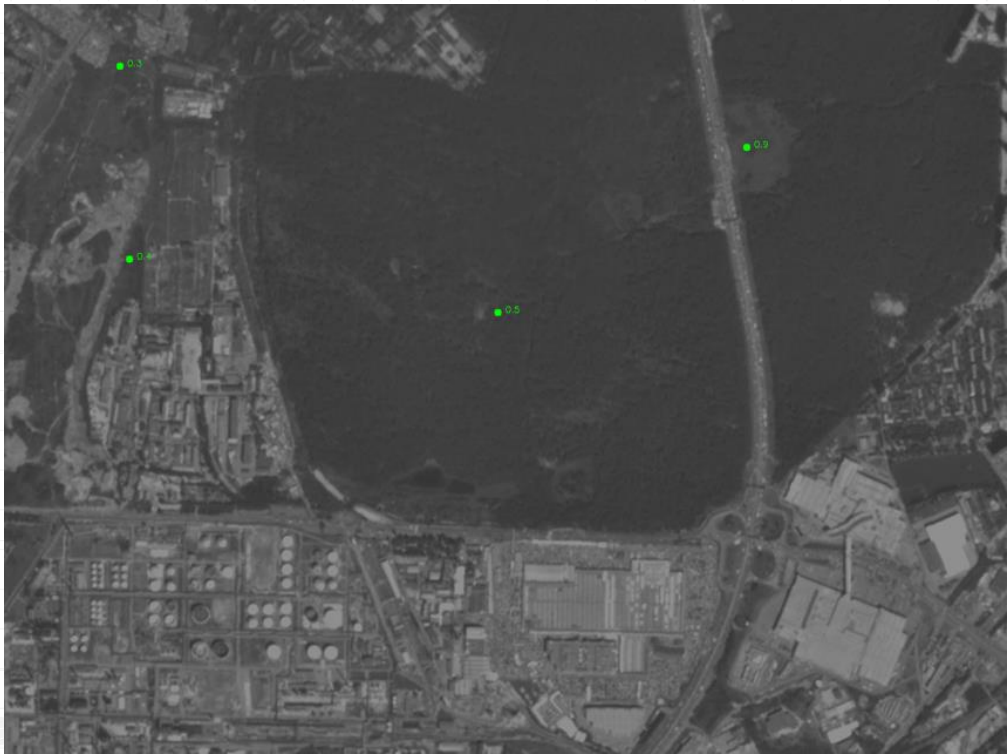


Измеряемое изображение	Опорное изображение	Общее количество точек	Критерий оценки точности	Медианная ошибка
Иркутск. АПОИ. Лето	Иркутск. Planet. Лето	164364	1.00	0.31 px
Иркутск. НКПОР. Лето		75509	1.00	1.05 px
Москва. АПОИ. Лето	Москва. Planet. Лето	17481	0.99	0.79 px
Москва. НКПОР. Лето		9461	0.99	0.58 px
Пятигорск. АПОИ. Лето	Пятигорск. Planet.Лето	4326	0.97	0.66 px
Пятигорск. НКПОР. Лето		11502	0.97	0.48 px
Москва. НКПОР. Зима	Москва. Planet. Лето	32687	0.86	1.12 px
Москва. АПОИ. Зима		17183	0.86	0.74 px
Пятигорск. НКПОР. Зима	Пятигорск. Planet.Лето	48991	0.57	4.92 px
Пятигорск. АПОИ. Зима		33961	0.48	459.23 px



# Результаты тестирования. FAST

Измеряемое изображение	Опорное изображение	Общее количество точек	Критерий оценки точности	Медианная ошибка
Иркутск. АПОИ. Лето	Иркутск. Planet. Лето	96087	1.00	0.56 px
Иркутск. НКПОР. Лето		3998	1.00	0.79 px
Москва. АПОИ. Лето	Москва. Planet. Лето	42942	1.00	1.20 px
Москва. НКПОР. Лето		2085	0.99	0.72 px
Пятигорск. АПОИ. Лето	Пятигорск. Planet.Лето	19040	0.98	1.01 px
Пятигорск. НКПОР. Лето		5411	0.92	1.01 px
Москва. НКПОР. Зима	Москва. Planet. Лето	8252	0.85	1.47 px
Москва. АПОИ. Зима		11148	0.75	1.02 px
Пятигорск. НКПОР. Зима	Пятигорск. Planet.Лето	8252	0.65	5.08 px
Пятигорск. АПОИ. Зима		9373	0.61	8.41 px





# Результаты тестирования. ORB

Измеряемое изображение	Опорное изображение	Общее количество точек	Критерий оценки точности	Медианная ошибка
Иркутск. АПОИ. Лето	Иркутск. Planet. Лето	1000	1.00	0.00 px
Иркутск. НКПОР. Лето		1000	1.00	1.80 px
Москва. АПОИ. Лето	Москва. Planet. Лето	1000	1.00	1.75 px
Москва. НКПОР. Лето		1000	0.99	1.01 px
Пятигорск. АПОИ. Лето	Пятигорск. Planet.Лето	1000	0.99	1.64 px
Пятигорск. НКПОР. Лето		1000	0.86	1.90 px
Москва. НКПОР. Зима	Москва. Planet. Лето	1000	0.81	16.27 px
Москва. АПОИ. Зима		1000	0.69	3.86 px
Пятигорск. НКПОР. Зима	Пятигорск. Planet.Лето	1000	0.67	0.00 px
Пятигорск. АПОИ. Зима		1000	0.57	58.04 px



- В ходе исследования методов компьютерного зрения было выявлено, что:
  1. SIFT показал лучший результат для изображений с близкими параметрами(разрешение, масштаб, система координат), относящимися к одному сезону года;
  2. FAST демонстрирует стабильную работу с однородными изображениями, но при сравнении изображений, отличных по пространственному разрешению, системам координат и масштабу, наблюдаются ложные срабатывания;
  3. **ORB лучшим образом выполняет задачу поиска связующих точек на космических снимках, относящихся к разным сезонам.**
- Рассчитываемые метрики и рассматриваемые подходы возможно использовать для решения задачи оценки точности геодезической привязки стандартных продуктов ДЗЗ.





@TIMUR\_EXPLORER

Малышкин Тимур Евгеньевич,  
НЦ ОМЗ АО «РКС», г. Москва  
e-mail: malyshkin\_te@ntsomz.ru