



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕРВИСА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕОПРИВЯЗКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С БПЛА

Алексанин А.И.^{1,2}, Алексанина М.Г.^{1,2}, Блохина В. Д.², Грузков Б. А.²

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

²Дальневосточный Федеральный университет

aleks@iacp.dvo.ru, margeo@mail.ru

Коротко

Актуальность: Современное активное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) открывает новые возможности **для обнаружения мелкоразмерных объектов** (техника, земляные работы и др.) и **выявления мелкоразмерных изменений** на местности и в окружающей среде.

Что требуется: Для принятия оперативных решений на основе изображений БПЛА необходим **автоматический поиск мелкоразмерных объектов и изменений с выдачей их геокоординат.**

Проблема: для точной геопривязки изображений БПЛА требуется стереосъемка и знание точного положения БПЛА в пространстве. Часто нет ни того, ни другого.

Альтернативное решение: предлагается изображения БПЛА совмещать с геопривязанными с высокой точностью спутниковыми изображениями местности.

Средство реализации: В Спутниковом центре ДВО РАН создано **программное обеспечение (ПО) - StreamDetector** - для совмещения изображений БПЛА с отдельными спутниковыми изображениями высокого пространственного разрешения с заданной точностью. (Это ПО сейчас интегрируется в систему Роскосмоса.)

Используемые данные: Роскосмос в РФ является обладателем **бесшовного покрытия** (пространственное разрешение 2 м) из спутниковых изображений высокого пространственного разрешения на всю Россию. Это дает возможность привязывать изображения БПЛА для любой территории страны.

Проблема: бесшовное покрытие устаревает, а изображения зависят от сезона.

НО: Качество совмещения изображений БПЛА с бесшовным покрытием Роскосмоса не исследовано.

Цель: **Исследование ПО StreamDetector на совмещение изображений БПЛА с бесшовным покрытием Роскосмоса.**

Постановка задачи:

Цель - оценить точность геопривязки изображений БПЛА, которая осуществляется по бесшовному покрытию Роскосмоса (2м), созданному по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения.

Данные -

1. изображения с БПЛА,
2. бесшовное спутниковое покрытие Роскосмоса,
3. спутниковые изображения с российского КА Канокус

Методы и средства -

1. Автоматическая идентификация района съемки с БПЛА на спутниковом изображении.
2. Определение положения спутникового изображения на изображении бесшовного покрытия.
3. Трансформация изображения БПЛА в формат географически привязанного спутникового изображения.

ПО STREAMDETECTOR ДЛЯ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С БПЛА СО СПУТНИКОВЫМИ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ

На основе атрибутивных данных изображения с БПЛА, таких, как высота полета, углы ориентации камеры в пространстве и фокусное расстояние её объектива автоматически рассчитывается район на изображении со спутника, после чего изображение с БПЛА поворачивается и масштабируется для соответствия данному району.

Далее производится трансформация изображения с БПЛА и преобразование его в формат географически привязанного спутникового изображения.

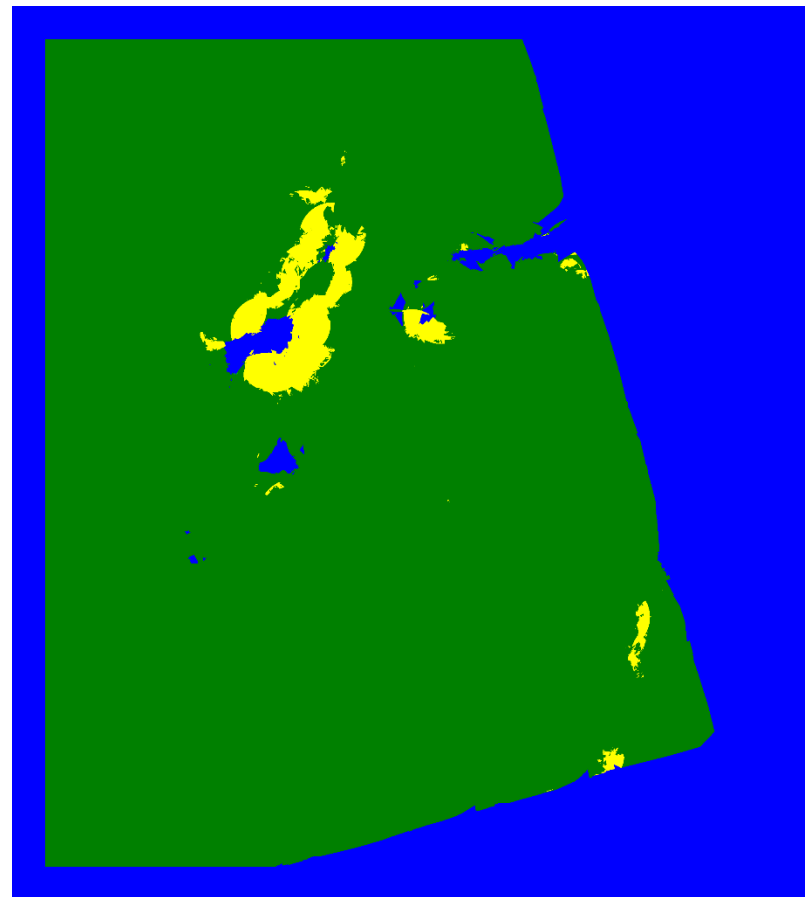


Пример работы StreamDetector : Совмещение изображений спутников Канопус-В4 и Канопус-В-ИК

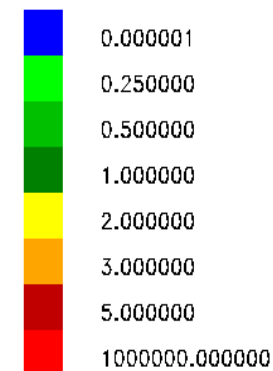
Канопус-В4, 24.01.2023, Канопус-В-ИК, 26.02.2023,
Владивосток, ТОР Надеждинская, рельеф от 0 до 83м, углы сканирования 13° и 8°



Один из 2-х совмещаемых фрагментов, Канопус-В4,
красный квадрат – участок с видимым исходным
расхождением.



Точность совмещения



Красные вектора –
> 3-х пикселей,
желтые – 2 пикселя,
зеленые – 1 пиксель.

Карта точности совмещения

Геометрические искажения двух ортофотопланов, построенных НЦ ОМЗ



Красные вектора – > 3 -х
пикселей,

желтые – 2 пикселя,

зеленые – 1 пиксель.

Качество совмещения бесшовного покрытия Роскосмоса и изображений с БПЛА

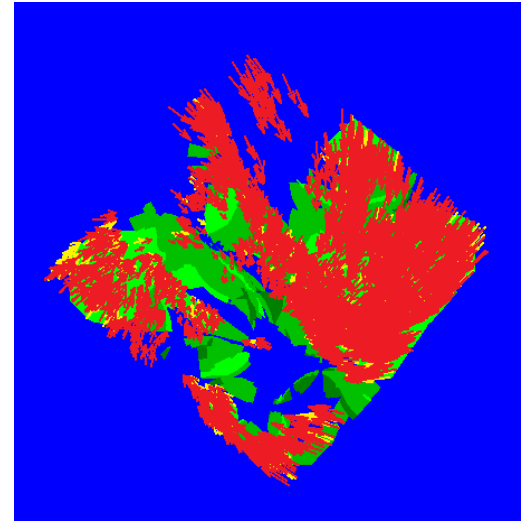
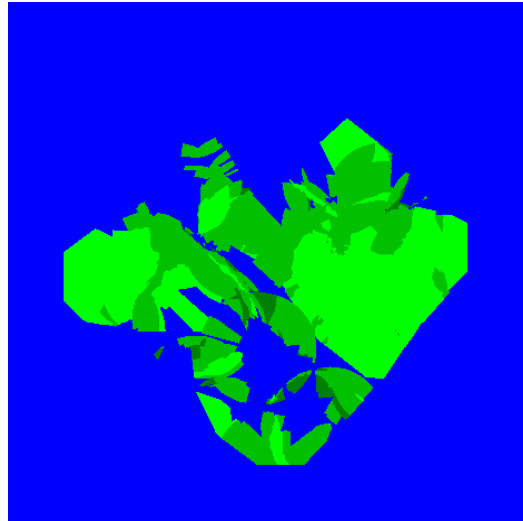
Ход исследования:

1. Преобразование изображения Роскосмоса в панхроматическое по стандартному алгоритму.
2. Преобразование изображения с БПЛА в панхроматическое с разными весами каналов.
3. Поиск оптимального соотношения, когда будет построено максимальное число векторов смещения при одинаковых настроечных параметров совмещения и близких карт точности совмещения.
4. Проверка на изображениях с БПЛА осенних и зимних.
5. Совмещение поканально и оценка по числу векторов какие каналы более информативны осенью и зимой.
6. Эту же процедуру провести при съемке в облачную погоду и в потемках.

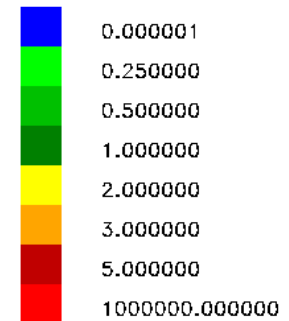
Результат:

1. На всех изображениях ошибка геопривязки колеблется от 0,5 до 4 метров.
2. Точность геопривязки осенних и зимних изображений к бесшовному покрытию разная.
3. На осенних фотоснимках за разные даты наблюдается увеличение точности геопривязки при усилении несовпадающих спектральных каналов. Это говорит о том, что подбор весов для каждого изображения должен быть индивидуальным.

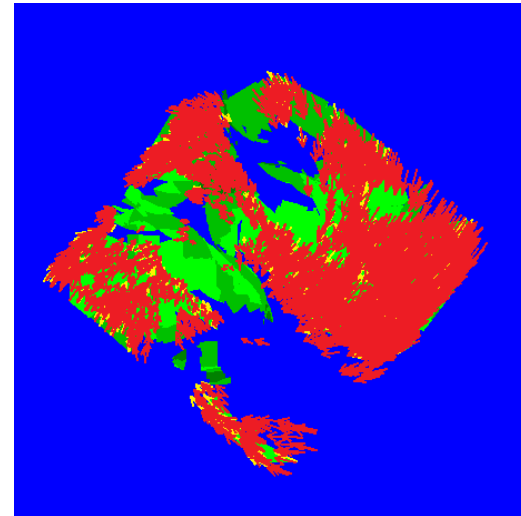
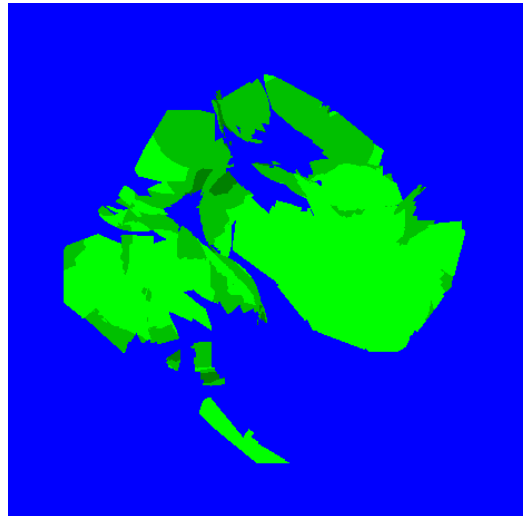
Автоматическое совмещение изображений при несовпадении сезона и времени съемки (разница в несколько лет)



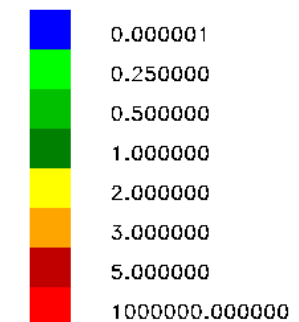
Количество
построенных векторов:
441



Лучшая точность при совмещении панхрома с усилением G-канала



Количество
построенных векторов:
497

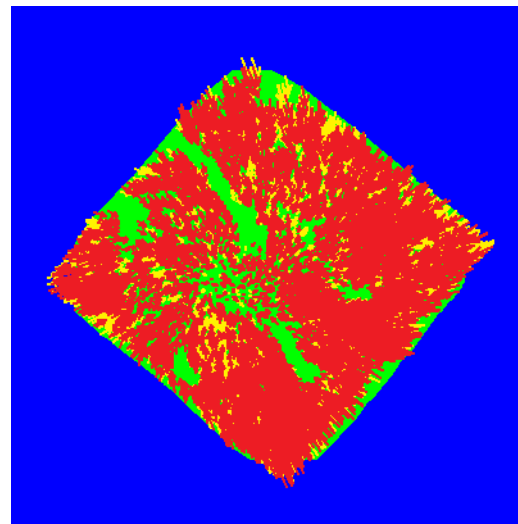
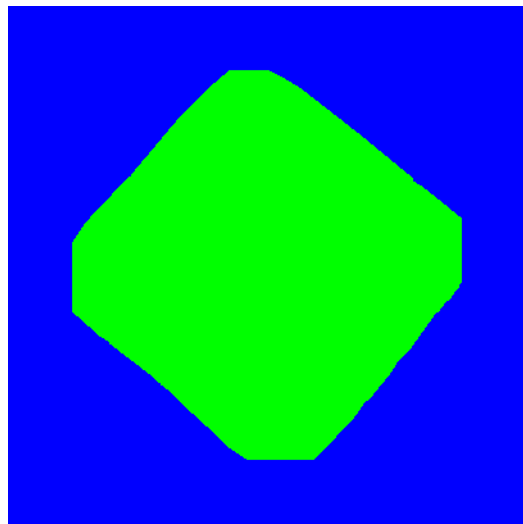


Качество совмещения бесшовного покрытия Роскосмоса и надирного изображения с Канопуса

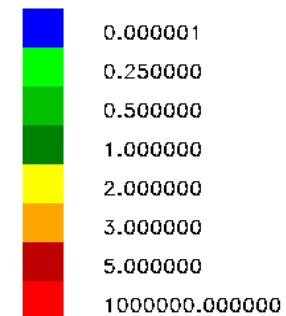
Результат:

1. Преобразование надирного изображения в панхроматическое по стандартному алгоритму.
2. Поиск оптимального соотношения весов по следующему принципу: совместить панхроматические изображения надирного снимка с помощью программы совмещения и определить количество построенных векторов. Оптимизация достигается при максимальном числе векторов при одинаковых параметрах совмещения и сопоставимых картах точности.
3. Оценка информативности отдельных каналов в разные сезоны путём поканального совмещения и анализа количества векторов.
1. Точность геопривязки зимних изображений Канопуса оказалась достаточно низкой.
2. Самая высокая точность геопривязки наблюдается в основном на фотоснимках с единичным весом G-канала.
3. Сервис совмещения изображений Stream Detector **показал практически идеальную точность геопривязки на осенних фотоснимках.**
4. Тенденция роста точности при увеличении веса какого-то конкретного канала незначительно мала.
5. Число построенных векторов совмещения также говорит о том, что **панхроматические изображения привязываются лучше.**

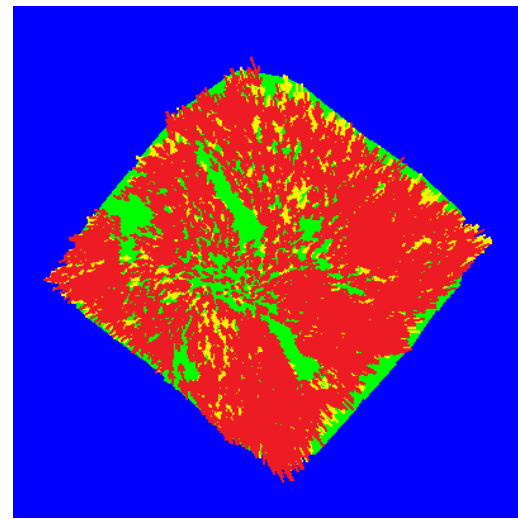
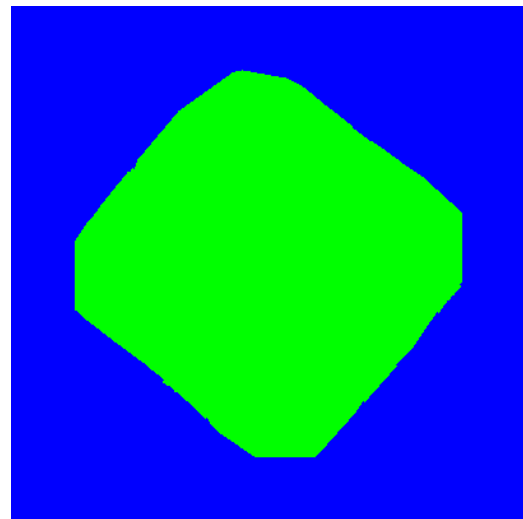
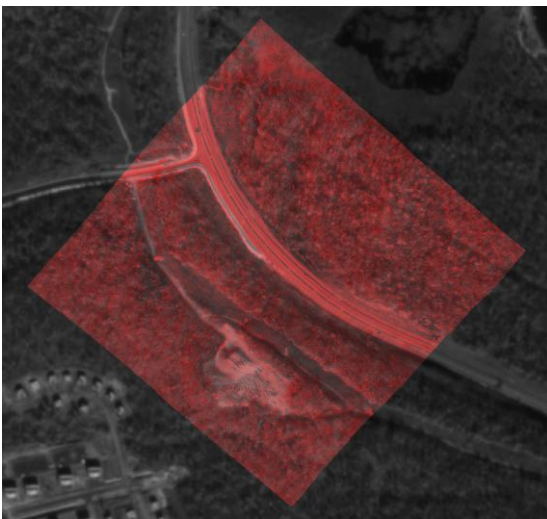
Автоматическое совмещение изображений при совпадении сезона и времени съемки (в пределах месяца)



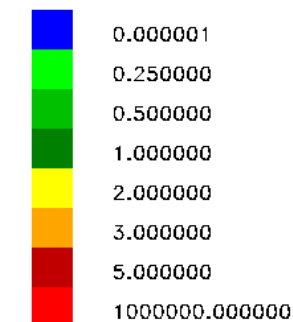
Количество
построенных векторов:
2368



Лучшая точность при совмещении панхрома с усилением R-канала



Количество
построенных векторов:
2542



Качество совмещения бесшовного покрытия Роскосмоса и ортотрансформированного на среднюю плоскость изображения с БПЛА

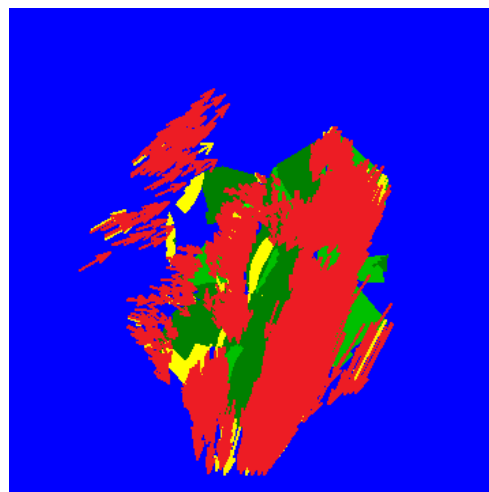
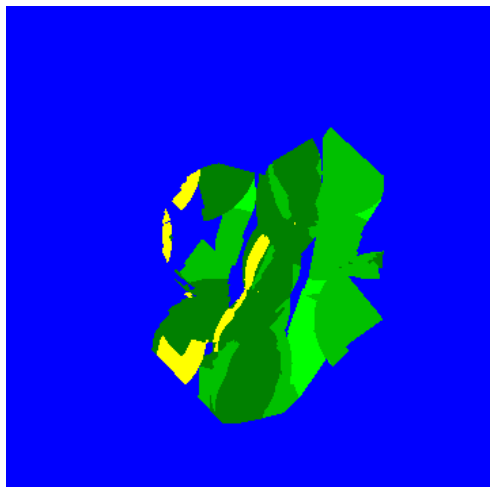
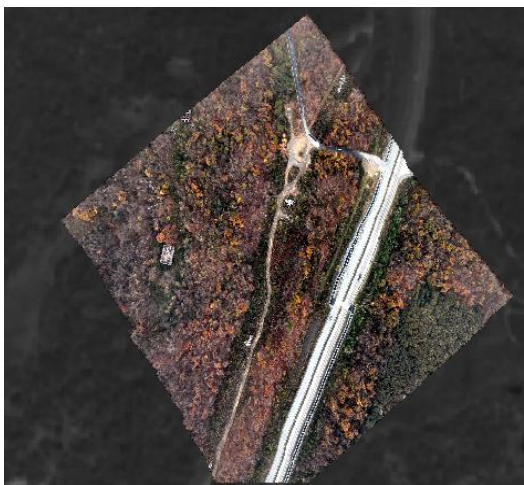
Ход исследования:

1. Преобразование изображения с БПЛА в ортофотоплан на среднюю плоскость.
2. Преобразование этих ортофотопланов в панхроматические изображения с использованием различных весов каналов.
3. Совмещение полученные панхроматические изображения с изображениями Роскосмоса.
4. Поиск оптимального соотношения весов каналов, при котором достигается максимальное число построенных векторов смещения при сопоставимых картах точности совмещения.
5. Оценить информативность и качество совмещения при использовании ортотрансформированных изображений БПЛА.

Результат:

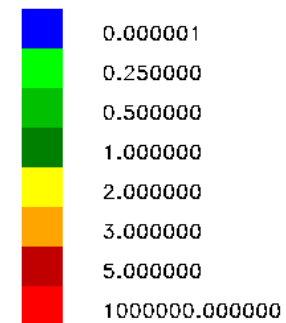
1. Использование ортофотоплана обеспечило более качественное совмещение зимних снимков с бесшовным покрытием в сравнении с исходными. Количество векторов увеличилось в 4–8 раз (с 50–100 до 400+).
2. Конвертация многоканальных изображений в панхроматические с различными весами показала в 4+ раза более высокую точность по сравнению с ортотрансформированными RGB-снимками.
3. Использование ортофотоплана обеспечило высокую точность совмещения осенних снимков с бесшовным покрытием. Количество векторов увеличилось в 2 и более раз (с 160 до 370+).
4. Конвертация многоканальных изображений в панхроматические с разными весами в среднем показала в 3+ раза более высокую точность по сравнению с ортотрансформированными RGB-снимками.

Совмещение 2-го октябрьского изображения в туманную погоду

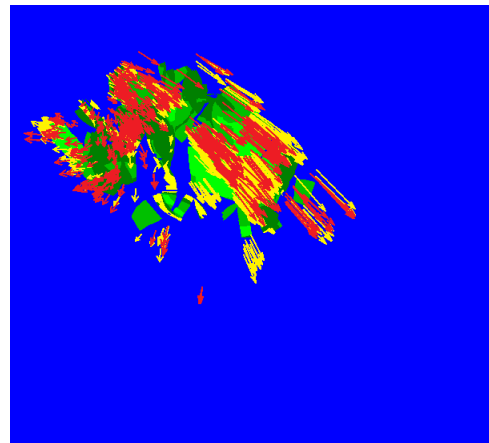
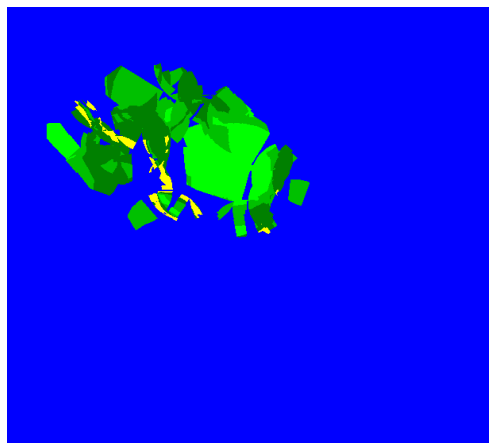
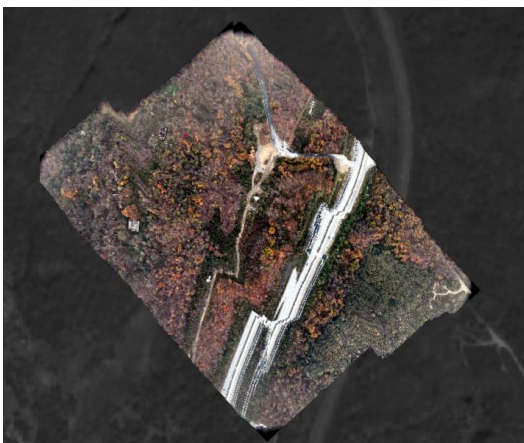


Количество построенных векторов:

241

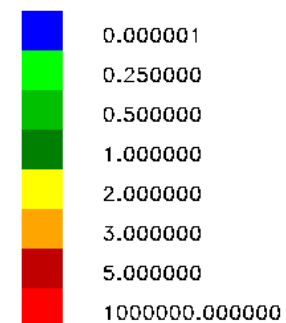


Совмещение 2-го ортотрансформированного октябрьского изображения в туманную погоду



Количество построенных векторов:

503



Влияние погодных условий на совмещение надирных спутниковых изображений с ЛА "Канопус" с изображениями с БПЛА

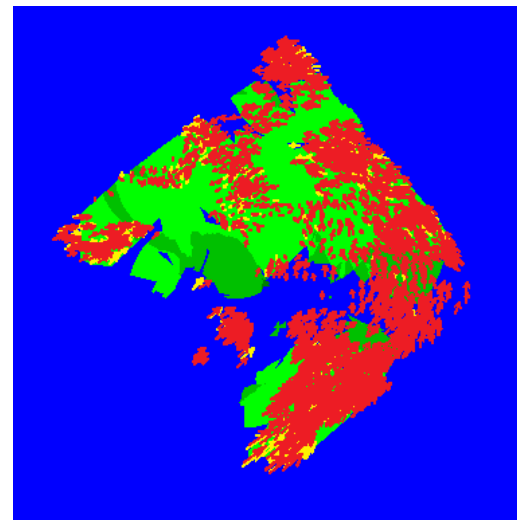
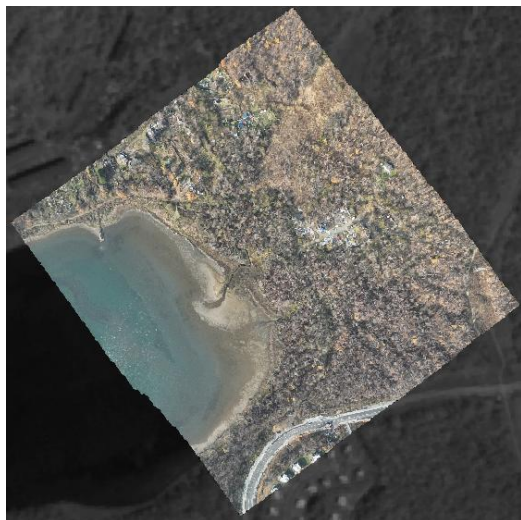
Ход исследования:

1. Совмещение летних надирных спутниковых изображений с ЛА "Канопус" с изображениями, полученными с БПЛА в условиях различной погоды (включая ясные дни и дни с туманом).
2. Сравнение информативности и карт точности этих совмещений для оценки влияния метеорологических условий на качество и надежность геопривязки изображений БПЛА.

Результат:

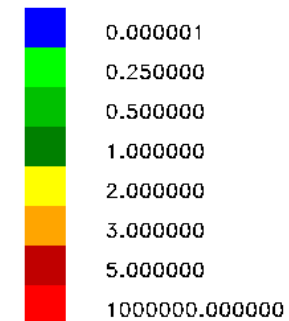
1. Неблагоприятные погодные условия, такие как туман, приводят к существенному ухудшению качества совмещения: резко снижаются количества построенных векторов; падает точность совмещения.
2. Результаты подтверждают, что точность совмещения зависит от освещения и погоды, причем ясные условия в целом более благоприятны.

Совмещение пятого изображения в ясную погоду



Количество построенных векторов:

444



0.000001

0.250000

0.500000

1.000000

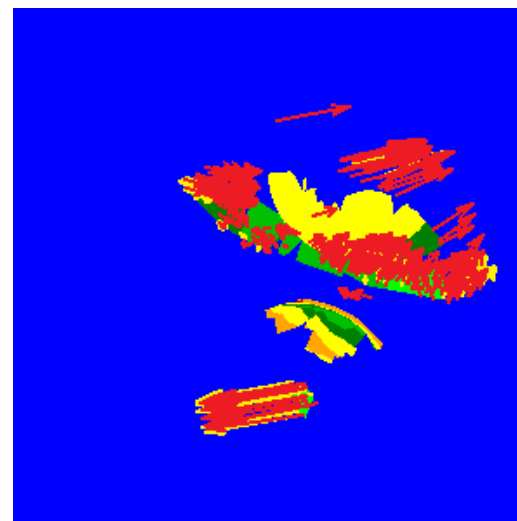
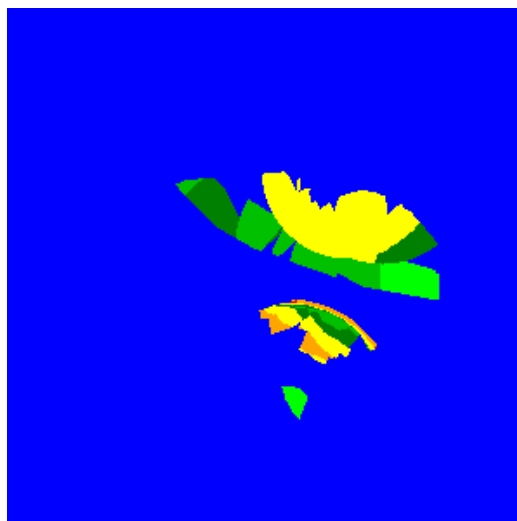
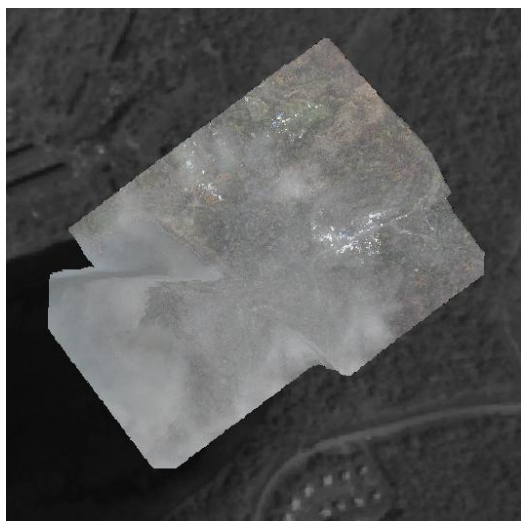
2.000000

3.000000

5.000000

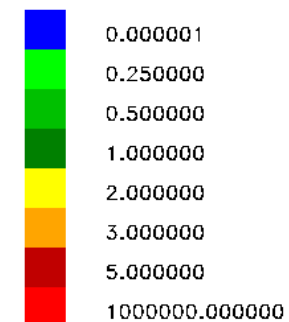
1000000.000000

Совмещение пятого изображения в туманную погоду



Количество построенных векторов:

110



0.000001

0.250000

0.500000

1.000000

2.000000

3.000000

5.000000

1000000.000000

Точность геопривязки

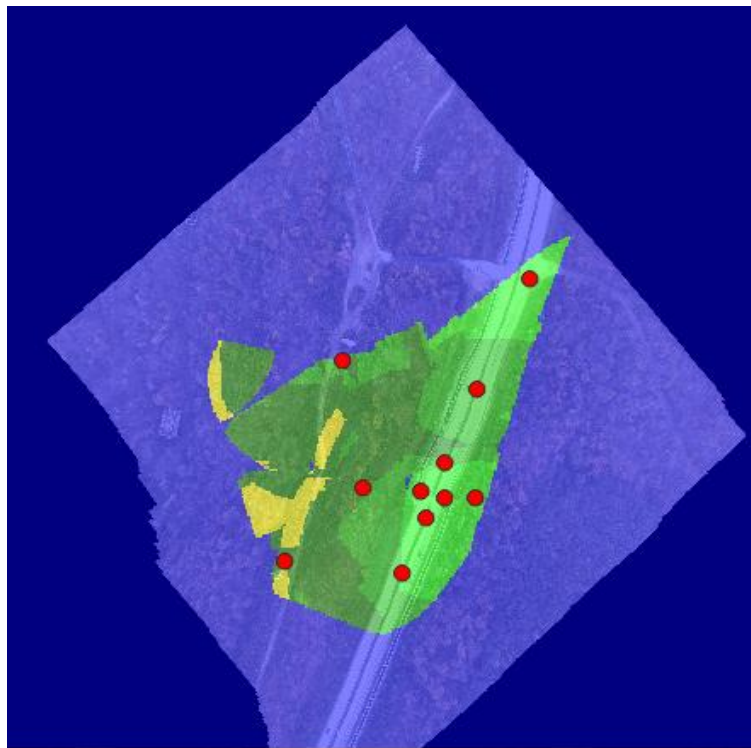
Ход исследования:

1. Совмещение изображения с БПЛА как исходных, так и ортотрансформированных на среднюю плоскость, с бесшовным покрытием Роскосмоса.
2. Оценка точности геопривязки БПЛА и относительной точности привязки перекрывающихся изображений с БПЛА разного яркостного разрешения.

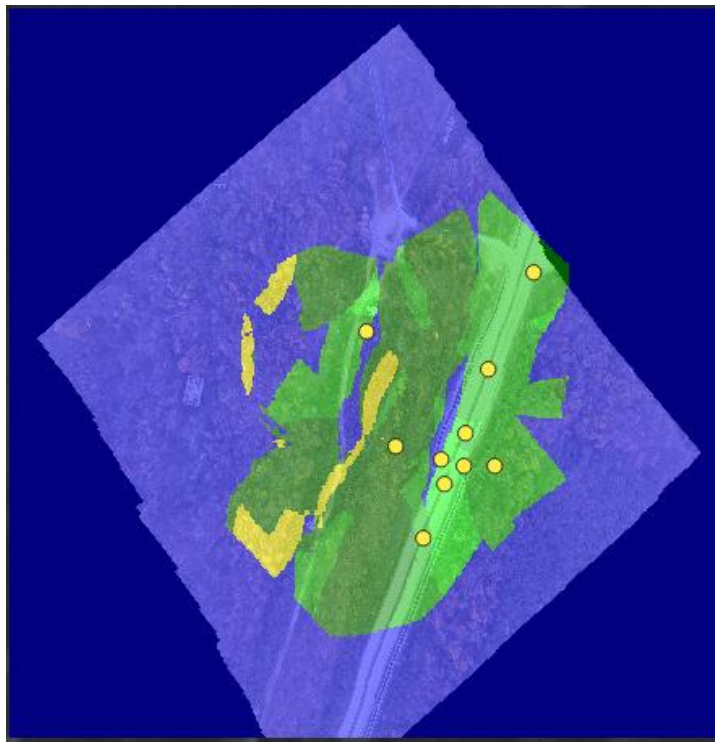
Результат:

1. По результатам экспериментов с тремя наборами перекрывающихся изображений, эмпирически были выявлены следующие средние точности привязки - 7.68, 9.71 и 3.23 метров.
2. Такой результат подтверждает заявленную точность бесшовного покрытия- 10 м.

Относительная точность геопривязки исходных 1-го и 2-го изображений



10 выбранных точек на 1-м изображении



10 этих же точек на 2-м изображении



Взаимное расположение
выбранных точек



Максимальное значение: 21.979 метра

Минимальное значение: 0.481 метра

Среднее значение: 1.149 метра

Среднеквадратичное отклонение: 2.57 метров

Оценка возможности восстановления рельефа

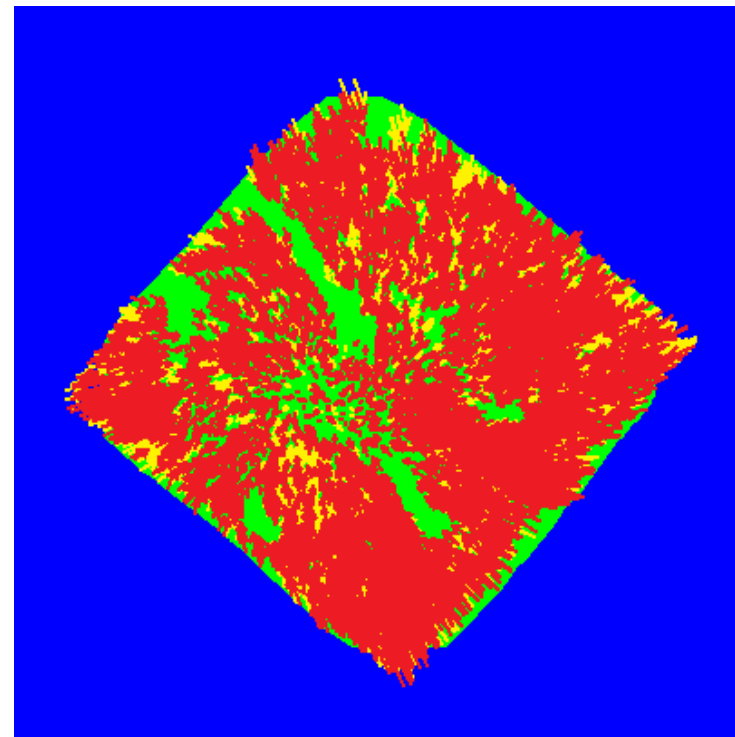
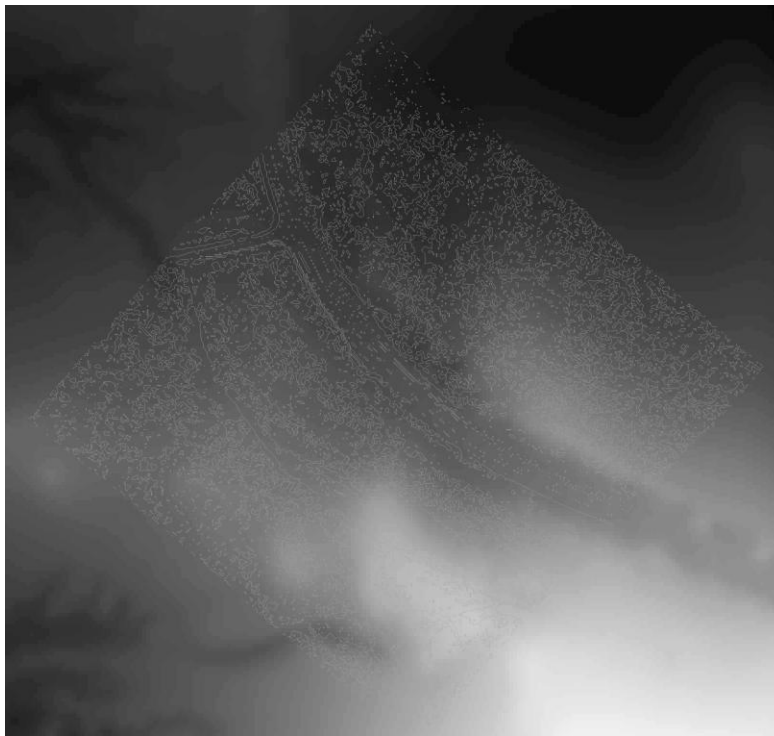
Ход исследования:

1. Взять ортофотоплан и рельеф, построенные по изображениям с БПЛА и совмещенные с бесшовным покрытием Роскосмоса и пару изображений с БПЛА, которые участвовали в совмещении.
2. Совмещая исходные изображения с ортофотопланом получить вектора совмещения.
3. Показать, что вектора можно использовать для коррекции восстановления рельефа по отдельному изображению, преобразованному в ортофотоплан на среднюю плоскость.

Результат:

1. Векторов больше в местах, где рельеф сильнее отличается от среднего
2. На основе векторов совмещения, генерируемых программой Stream Detector, существует принципиальная возможность восстановления рельефа, однако для подтверждения этой гипотезы требуются дополнительные исследования

Привязанное изображение 1



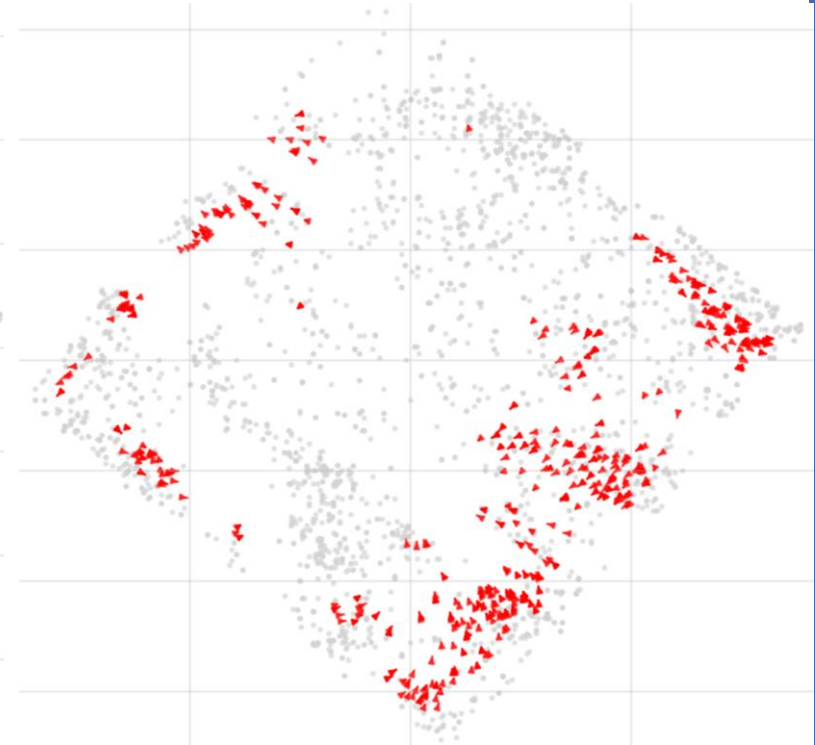
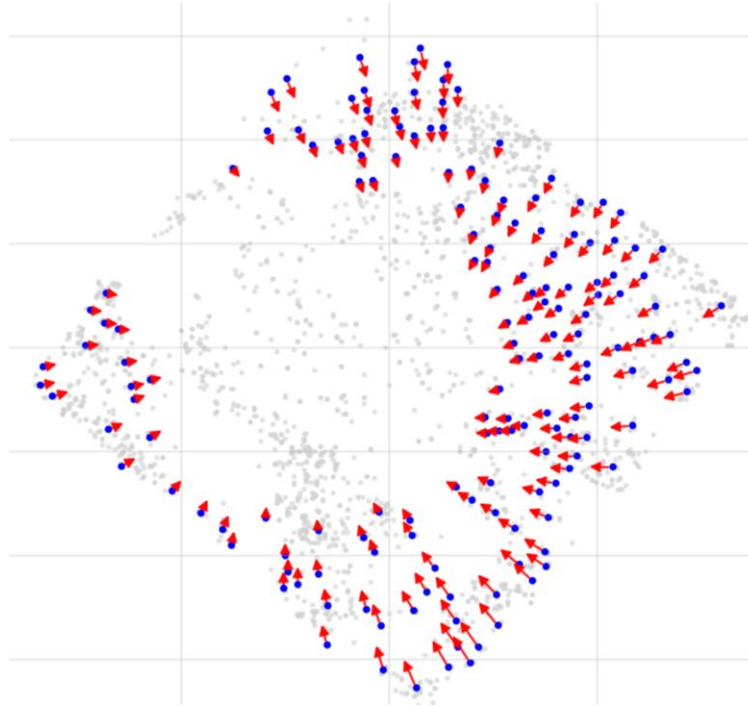
Привязанное изображение 1

Матрица аффинного преобразования:

$$\begin{bmatrix} 9.215e-01 & -3.278e-02 & 2.084e+01 \\ 1.892e-02 & 9.101e-01 & 1.540e+01 \end{bmatrix}$$

Смещение до: 9.5212

Смещение после: 1.5449



Заключение:

1. Хорошее качество совмещения изображений БПЛА со спутниковыми изображениями получается при совпадении сезонов съемки БПЛА и спутника.
2. Туман и пасмурная погода ухудшает результат совмещения.
3. Использование ортофотоплана существенно повышает точность геопривязки.
4. Конвертация многоканальных изображений в панхроматические с разными весами в среднем показала в 3+ раза более высокую точность по сравнению с ортотрансформированными RGB-снимками.
5. Относительная точность геопривязки перекрывающихся изображений БПЛА на объектах инженерной инфраструктуры близка к пространственному разрешению бесшовного покрытия Роскосмоса (2м), а на природных объектах может колебаться вплоть до 10м.
6. На основе векторов совмещения, генерируемых программой Stream Detector, существует принципиальная возможность восстановления рельефа, однако для подтверждения этой гипотезы требуются дополнительные исследования