

Модифицированный метод статистической дифференциации для задачи сопоставления аэрофотоизображения и космического снимка

М.О. Еланцев¹, И.О. Архипов¹, Р.М. Гафаров¹

¹Ижевский государственный университет им. М.Т. Калашникова, Студенческая 7, Ижевск, Россия, 426069

Аннотация. Статья посвящена модификации метода статистической дифференциации, который применяется для сопоставления снимка с камеры беспилотного летательного аппарата с участком космического снимка с целью получения параметров их взаимного сдвига, поворота и масштаба. Модификация направлена на повышение надежности метода в случае, когда сопоставляемые изображения отличаются условиями и временем съемки. Предложенный метод отличается от оригинального добавлением текстурных признаков в дескрипторы треугольников, изменением структуры хранимых данных и способом выбора наилучшего опорного отрезка, который используется для расчета сдвига, поворота и масштаба. В статье приводятся результаты эксперимента для сравнения работы модифицированного и оригинального методов, а также сравнение с использованием методов SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, AKAZE.

1. Введение

В множестве прикладных задач, связанных с обработкой картографических данных, требуется выполнение операции совмещения изображений, т.е. их сопоставления с целью определения параметров их взаимного смещения, поворота и масштабирования. Предлагаемый метод используется как составная часть разрабатываемой системы пассивной навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на основе компьютерного зрения. Определение координат базируется на сопоставлении снимка с камеры БПЛА и космического снимка. Если сопоставление удастся найти, то по координатам найденного участка определяются координаты БПЛА. На рисунке 1 представлена упрощенная схема процесса обработки:



Рисунок 1. Упрощенная схема работы разрабатываемой пассивной системы навигации БПЛА.

Этапы обработки:

1. Предобработка. Включает перевод изображения в градации серого и нормализацию - приведение снимка с БПЛА к проекции космического снимка [1].

2. Выделение ключевых точек на кадре БПЛА.
3. Извлечение участка космического снимка по межкадровой привязке. Выполнение межкадровой привязки позволяет ограничить область сопоставления с космическим снимком, тем самым, сократив время расчета.
4. Выделение ключевых точек на участке космического снимка.
5. Сопоставление изображений. Выполняется модифицированным методом статистической дифференциации. Результатом сопоставления являются коэффициенты смещения, угла поворота и изменения масштаба между изображениями.
6. Расчет координат. Определение координат БПЛА, используя информацию о положении ранее выделенного участка космического снимка и коэффициентах, полученных на этапе 5

Сопоставление снимка с БПЛА и космического снимка осложняются следующими факторами:

- изображения не совпадают в точности из-за перспективных искажений и условий съемки
- изображения местности отличаются по составу и расположению объектов (перемещение автомобилей, сезонные изменения, строящиеся объекты и т.д.)
- на обозреваемой местности может быть недостаточное количество характерных объектов или много однотипных случайно расположенных не являющихся устойчивыми ориентиров местности (пролет над полем, лесом, над водной гладью и т.д.)
- местность под БПЛА может быть частично или полностью перекрыта облаками

Метод сопоставления изображений должен учитывать эти факторы: изменения местности не должны мешать сопоставлению, а малое число характерных объектов не должно приводить к ложному сопоставлению. На рисунке 2 представлены примеры изображений с камеры БПЛА и участков космического снимка, которые должны сопоставляться друг с другом.



Рисунок 2. Примеры пар кадров с камеры БПЛА (а, б) и соответствующих им участков космического снимка (в, г).

2. Обзор методов сопоставления изображений

Методы сопоставления можно разделить на два основных класса: площадные и признаковые.

Площадные методы основаны на анализе всего изображения в целом. К ним относятся корреляционный метод, метод на основе наименьших квадратов. Такие методы требуют, чтобы сопоставляемые объекты на изображения в точности совпадали, что невозможно в рамках рассматриваемой задачи. Другим недостатком площадных методов является высокая вычислительная сложность, обусловленная необходимостью перебора всех возможных положений сопоставляемых объектов.

Признаковые методы основываются на анализе определенных характерных черт изображений. В качестве них наиболее часто используются ключевые точки. Общая идея подобных методов заключается в выполнении следующих шагов: детектирование ключевых точек, построение их дескриптора, сравнение дескрипторов. В результате сравнения дескрипторов определяются пары наиболее близких по дескриптору точек, уже на основании которых определяется соответствие между изображениями в целом. Поскольку ключевые точки и их окрестность занимают лишь небольшую площадь изображения, то сопоставление

изображений занимает меньше процессорного времени, и оно становится более устойчивым к помехам, чем при использовании площадных методов

По виду дескриптора данный класс методов разделяются на вещественные и бинарные. К методам с вещественным дескриптором относятся SIFT [2], SURF [3] и KAZE [4]. К методам с бинарным дескриптором относятся ORB [5], BRISK [6] и AKAZE [7]. Для расчета близости бинарных дескрипторов используется расстояние Хэмминга, а для вещественных – Евклидовое.

Общим недостатком признаков методов, опирающихся исключительно на сравнение дескрипторов ключевых точек, является то, что они не учитывают взаимное расположение точек. Это приводит к ложному сопоставлению дескрипторов, что является критичным в условиях малого количества совпавших пар. Для устранения этой проблемы часто точки рассматриваются не отдельно, а по тройкам [8-13]. При данном подходе необходимо учесть, что для N точек существует C_N^3 вариантов построения троек, что может значительно увеличить вычислительную сложность метода, если при сопоставлении не уменьшить пространство перебора.

В работе [8] для учета пространственного расположения ключевых точек среди первоначально сопоставленных друг с другом точек выбирается набор опорных точек, которые с наибольшей долей вероятности сопоставлены верно. По данному набору на одном из изображений выполняется триангуляция Делоне. Так как вершины полученных треугольников уже связаны с точками на втором изображении, то точки второго изображения также оказываются связаны в треугольники. Далее каждый треугольник рассматривается отдельно. По изменению положения вершин треугольника между двумя изображениями рассчитывается матрица трансформации для текущего треугольника. Эта матрица используется, чтобы для всех ключевых точек, попавших внутрь текущего треугольника на первом изображении, определить область поиска соответствующей пары на втором изображении. Таким образом уменьшается количество ложных сопоставлений.

В работе [9] также сначала производится предварительное сопоставление ключевых точек. При этом получается два набора пар точек: точно сопоставленные, когда одной точке наиболее вероятно соответствует только одна точка второго изображения, и сопоставленные неточно, когда одной точке могут соответствовать несколько точек другого изображения. По первому набору пар точек для обоих изображений выполняется триангуляция Делоне и отсеиваются точки, которые геометрически не соответствуют друг к другу. После этого выполняется уточнения второго набора пар точек. Точки считаются сопоставленными верно, если они соответствуют одному и тому же треугольнику на втором изображении.

Аналогично, используя триангуляцию Делоне, производится отсев первоначально отобранных точек, по различным критериям в работах [10, 11]. Общей проблемой таких методов является то, что качество работы зависит от того, насколько удачно были выбраны опорные точки, по которым была выполнена триангуляция.

В работе [12] после определения набора соответствующих друг другу точек, производится их отсев на основе топологического фильтра, который подразумевает проверку совпадения порядка обхода вершин внутри всех возможных треугольников на обоих изображениях.

В работе [13], для уменьшения вычислительной сложности при сопоставлении треугольников, количество первоначально отобранных точек ограничено числом 50. Верные сопоставления определяются на основе оценки совпадения углов всех возможных треугольников на обоих изображениях.

В работе [14] был предложен метод статистической дифференциации, в котором пространство перебора треугольников сокращается благодаря их кластеризации по заданным признакам (дескрипторам). Метод статистической дифференциации не требует предварительного сопоставления ключевых точек на изображениях и включает следующие этапы:

1. Выделение ключевых точек, наиболее контрастных относительно фона. В работе отбиралось 130 точек.
2. Построение треугольников с вершинами в ключевых точках и расчет их дескрипторов. Треугольники строятся по всем возможным сочетаниям ключевых точек без

повторений. Вершины треугольника нумеруются таким образом, что 1-3 – это наибольшая сторона (основание), 2-3 – следующая по длине, 1-2 – наименьшая из сторон. Deskриптор треугольника учитывает типы точек, на которых построен треугольник, и округленные геометрические соотношения сторон треугольника. После расчета deskриптора треугольник помещается в словарь треугольников, где ключом является deskриптор, а значением – список треугольников с данным deskриптором.

3. Сопоставление треугольников между двумя входными изображениями. Для этого из словарей треугольников сопоставляемых изображений выбирается пара треугольников по одинаковому ключу (deskриптору). Если разность углов поворота и длин оснований выбранных треугольников удовлетворяют заданным ограничениям, то считается, что данные треугольники соответствуют друг другу. После обхода всех ключей в словарях основания, которые принадлежат наибольшему числу совпавших треугольников, помечаются как кандидаты на опорные отрезки. В работе выбиралось 150 кандидатов. На рисунке 3 приведен пример сопоставления треугольников в случае, если размер deskриптора равен 2 битам. В сопоставлении участвуют только треугольники с одинаковым deskриптором, так, например, треугольники BAC, DCA и BAD сравниваются только с треугольником A'C'D', а треугольники ECA, DCB и BCE исключаются из сопоставления вовсе, так как на втором изображении нет треугольников с таким же deskриптором. Результирующими кандидатами на опорный отрезок получились пары: AE-B'C', BD-A'D' и BE-A'B'.

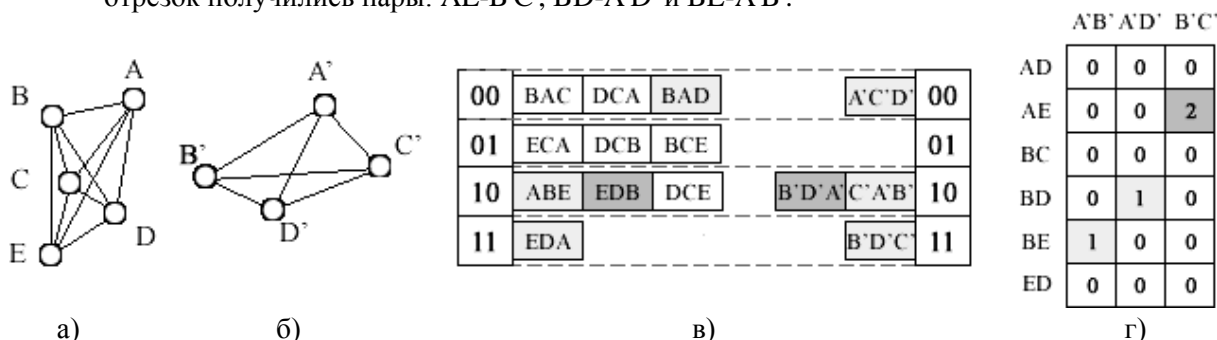


Рисунок 3. Пример сопоставления треугольников. (а, б) – исходные наборы ключевых точек для двух входных сопоставляемых изображений. Так как изображения обрабатываются независимо, то имена соответствующих точек не совпадают. (в) – построенные словари треугольников: в левой части – для (а), в правой – для (б). Найденные соответствующие друг другу треугольники отмечены цветом. (г) – двумерная гистограмма, показывающая для каждой пары отрезков-оснований, сколько треугольников, ими образованных, соответствуют друг другу на изображениях.

4. Определение опорного отрезка на сопоставляемых изображениях на основе корреляции точек на обоих изображениях вдоль предполагаемого опорного отрезка.
5. Расчет сдвига, поворота и масштаба по опорному отрезку.

3. Модифицированный метод статистической дифференциации

Оригинальный метод статистической дифференциации наиболее хорошо работает при межкадровой привязке, когда сопоставляются текущий и предыдущий кадры с камеры БПЛА. При привязке к космическому снимку, когда одна и та же местность выглядит по-разному, возникает проблема ложной привязки, при которой на концах опорного отрезка выбираются не соответствующие друг другу ключевые точки. В результате этого рассчитываются неверные коэффициенты сдвига, поворота и масштаба между сопоставляемыми изображениями.

Для улучшения качества работы в оригинальный метод были внесены следующие изменения:

- расширен deskриптор треугольника;
- изменена структура данных для хранения выделенных треугольников;

- изменен принцип выбора опорного отрезка

3.1. Построение дескриптора треугольников

В методе статистической дифференциации изображения сопоставляются по большей части исходя из значений дескрипторов треугольников. Для того, чтобы снизить риск ложной привязки, дескриптор треугольника был расширен, путем ввода в него дополнительных признаков точек, которые образуют треугольник.

В качестве новых признаков точек использовались текстурные признаки: дисперсия и математическое ожидание в окрестности точек. Для получения их значений строятся карты текстурных признаков в уменьшенном разрешении. При формировании дескриптора по положению ключевой точки выбирается то или иное значение из соответствующей карты текстурных признаков. Для уменьшения размера признаков в дескрипторе дисперсия и математическое ожидания бинаризируются.

Для бинаризации текстурных признаков с помощью специального алгоритма автоматически выбирается глобальный порог для каждой карты текстурных признаков. После применения порога для уменьшения шума используется операция морфологического размыкания [15]. На рисунке 4 показаны карты текстурных признаков для пары сопоставляемых изображений.

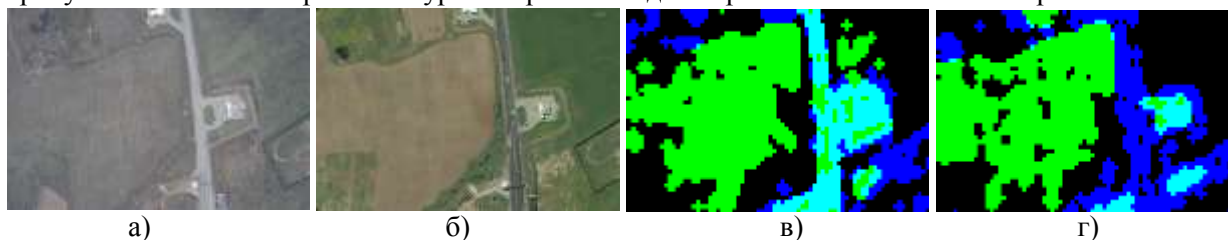


Рисунок 4. Примеры входных изображений (а, б) и соответствующих им карт текстурных признаков, в которых синим цветом показаны значения дисперсии, а зеленым – математического ожидания (в, г).

Таким образом, дескриптор треугольника в модифицированном методе статистической дифференциации состоит из следующих элементов:

- знак функции детектора особых точек [14] для каждой точки, образующей треугольник (s_1, s_2, s_3) ;
- значение дисперсии (низкая или высокая) для каждой точки, образующей треугольник (t_{d1}, t_{d2}, t_{d3}) ;
- значение математического ожидания (низкое или высокое) для каждой точки, образующей треугольник (t_{m2}, t_{m2}, t_{m3}) ;
- порядок обхода точек (по часовой стороне или против, o);
- соотношения сторон треугольника (d_1, d_2) , которые при внесении в дескриптор масштабируются и округляются до целых.

Графическое представление дескриптора показано на рисунке 5.

s_1	s_2	s_3	t_{d1}	t_{d2}	t_{d3}	t_{m1}	t_{m2}	t_{m3}	o	d_1	d_2
-------	-------	-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----	-------	-------

Рисунок 5. Дескриптор треугольника. Жирным выделены добавленные признаки.

3.2. Сопоставление треугольников и определение кандидатов на опорный отрезок

Увеличение размера дескриптора приводит к тому, что треугольники распределяются по большему количеству ключей в словаре треугольников, а значит, становятся менее локализованными, что снижает эффективность работы процессорного кэша и приводит к падению скорости обработки изображений. Чтобы уменьшить влияние данной проблемы вводится понятие дескриптор отрезков, по которому кластеризуются основания треугольников. Дескриптор отрезков состоит из следующих элементов:

- знак функции детектора особых точек на концах отрезка (s_s): оба отрицательны, оба положительны или имеют разное значение;
- значение дисперсии на концах отрезка (t_{ds}): обе низкие, обе высокие или имеют разное значение;
- значение математического ожидания на концах отрезка (t_{ms}): оба низких, оба высоких или имеют разное значение;

Графическое представление дескриптора показано на рисунке 6.

s_s	t_{ds}	t_{ms}
-------	----------	----------

Рисунок 6. Дескриптор отрезка.

Используя дескриптор отрезков в качестве ключа, строится словарь отрезков, в котором значением является словарь треугольников из оригинального метода. В каждый словарь треугольников попадают только треугольники, основания которых соответствуют определенному ключу словаря.

При сопоставлении изображений сначала перебираются ключи словарей отрезков и если есть совпадающие записи, то перебираются соответствующие словари треугольников. Данный подход позволил сохранить скорость работы оригинального метода, несмотря на увеличение дескриптора треугольника.

3.3. Определение опорного отрезка

Результатом сопоставления треугольников является набор кандидатов на опорный отрезок. В модифицированном методе для уменьшения числа ложных сопоставлений кандидаты на опорный отрезок обрабатываются в два этапа:

1. Выбор наилучших кандидатов по дополнительным критериям.
2. Выбор лучшего кандидата с помощью процедуры валидации.

Для выбора наилучших кандидатов используются следующие дополнительные критерии:

1. Значение корреляции между точками опорного отрезка на сопоставляемых изображениях. Выбирается 5 кандидатов с максимальным значением.
2. Количество совпадающих по положению и признакам ключевых точек на рассматриваемых изображениях, при выборе данного отрезка в качестве опорного. Выбирается 3 кандидата с максимальным количеством.

Для отобранных наилучших кандидатов применяется процедура валидации. Задача процедуры валидации – оценить кандидатов, насколько они хорошо подходят и отбросить те, которые приведут к ложной привязке. Оценка производится с помощью следующей функции:

$$v(x) = \sqrt{\frac{e_k^2(x)w_k + e_a^2(x)w_a + e_s^2(x)w_s + e_p^2(x)w_p}{w_k + w_a + w_s + w_p}}, \quad (1)$$

где x – оцениваемый отрезок-кандидат, $e_k(x)$ – функция оценки схожести между уменьшенными изображениями с камеры БПЛА и участка космического снимка, полученного по текущему кандидату x , $e_a(x)$ – функция оценки, показывающая соответствие изменению поворота и текущего поворота БПЛА, $e_s(x)$ – функция оценки, показывающая соответствие изменения высоты и текущей высоты полета БПЛА, $e_p(x)$ – функция оценки, показывающая количество совпадающих ключевых точек при наложении кадра с БПЛА и участка космического снимка, полученного по текущему кандидату x , w_k, w_a, w_s, w_p – взвешивающие коэффициенты.

Если значение функции $v(x)$ у наилучшего из кандидатов не превышает заданный порог, то считается, что привязка неуспешна.

4. Эксперименты

Для оценки работы предложенного метода была обработана серия снимков, полученная при полете БПЛА по траектории показанной на рисунке 7. Траектория содержит 340 кадров,

включая участки как с большим количеством характерных деталей (застройка), так и с малым (дорога, поля). В экспериментах использовались следующие методы: предложенный модифицированный метод статистической дифференциации, его оригинальная версия, а также методы сопоставления общего назначения: SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, AKAZE. В каждом эксперименте снимки подвергались одной и той же процедуре предварительной обработки и сопоставлялись с одинаковыми участками космического снимка.



Рисунок 7. Траектория, участвующая в экспериментах. Положения БПЛА на кадрах с большим количеством характерных деталей отмечены зелеными точками, с малым – желтыми. Черными отрезками отмечены границы между участками.

Результатом каждого сопоставления являлось значение смещения между кадром БПЛА и участком космического снимка. Это значение сравнивалось с вручную размеченным эталоном и если оно превышало заданный порог, то считалось, что сопоставление неуспешно.

Для методов сопоставления SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, AKAZE полученное смещение считалось следующим образом. Результатом сопоставления являлся набор соответствующих друг другу пар точек. Если количество пар было меньше 3, то смещение вычислялось как разница между центрами масс точек. Если количество пар было больше или равно 3, то смещение определялось по матрице гомографии, вычисленной методом RHO [16]

В таблице 1 и 2 представлены результаты проведенных экспериментов

Таблица 1. Результаты работы методов SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, AKAZE.

Показатель	Траектория	SIFT	SURF	KAZE	ORB	BRISK	AKAZE
Среднее количество сопоставленных пар точек	застройка	8.2	9.8	4.7	7.5	4.9	3.7
	дорога, поля	3.3	8.3	0.4	2.7	0.6	0.3
Число успешно привязанных кадров	вся траектория	5.3	8.9	2.2	4.7	2.4	1.7
	застройка	82	86	99	85	94	110
	дорога, поля	107	78	36	122	66	34
Процент успешно привязанных кадров	вся траектория	189	164	135	207	160	144
	застройка	56.9%	59.7%	68.8%	59.0%	65.3%	76.4%
	дорога, поля	54.6%	39.8%	18.4%	62.2%	33.7%	17.3%
	вся траектория	55.6%	48.2%	39.7%	60.9%	47.1%	42.4%

Таблица 2. Результаты работы модифицированного и оригинального методов статистической дифференциации.

Показатель	Траектория	Модифицированный метод	Оригинальный метод
Число успешно привязанных кадров	застройка	135	112
	дорога, поля	175	161
	вся траектория	310	273
Процент успешно привязанных кадров	застройка	93.8%	77.8%
	дорога, поля	89.3%	82.1%
	вся траектория	91.2%	80.3%

Проанализировав результаты экспериментов можно сделать следующие выводы.

Методы сопоставления общего назначения на основе SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, AKAZE слишком чувствительны к временным изменениям местности, изображения которой

сопоставляются, и они работают лучше в условиях, когда пролет осуществляется над застройкой, когда выделяется большое число стабильных ключевых точек. На рисунке 8 представлен пример работы метода AKAZE и предложенного метода на одной и той же паре изображений, когда стандартный метод ошибается, если обозреваемая местность изменилась со временем

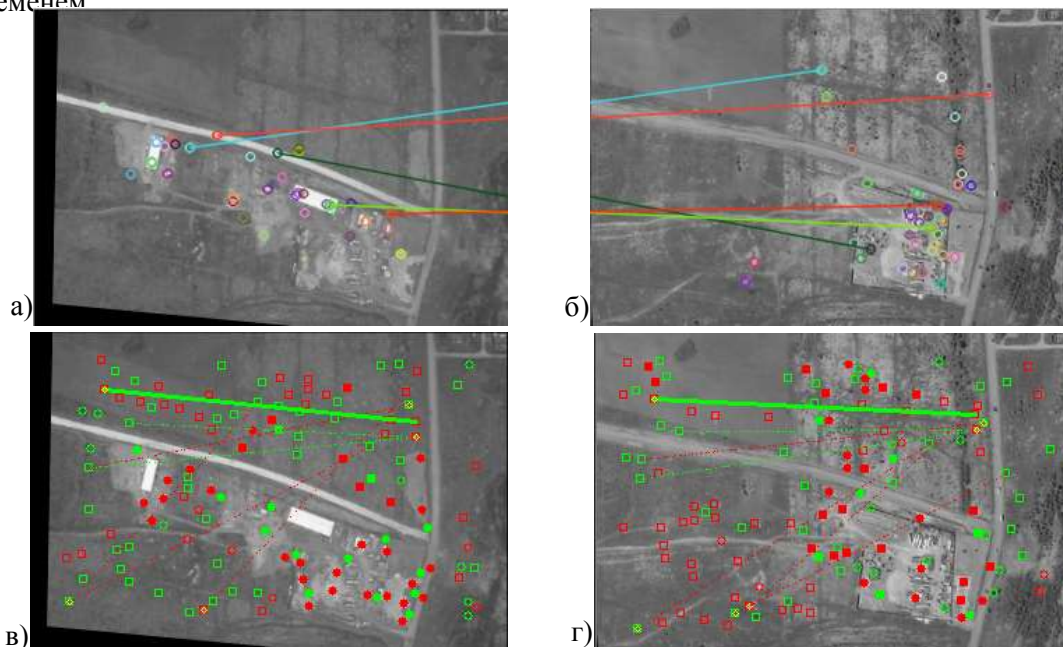


Рисунок 8. Пример работы метода AKAZE (а, б, сопоставленные точки соединены) и предложенного метода (в, г, опорный отрезок выделен жирным).

Благодаря введению в дескриптор дополнительных признаков ключевых точек и добавления процедуры валидации, предложенный модифицированный метод статистической дифференциации работает лучше, чем оригинальный метод, как показано на рисунке 9.

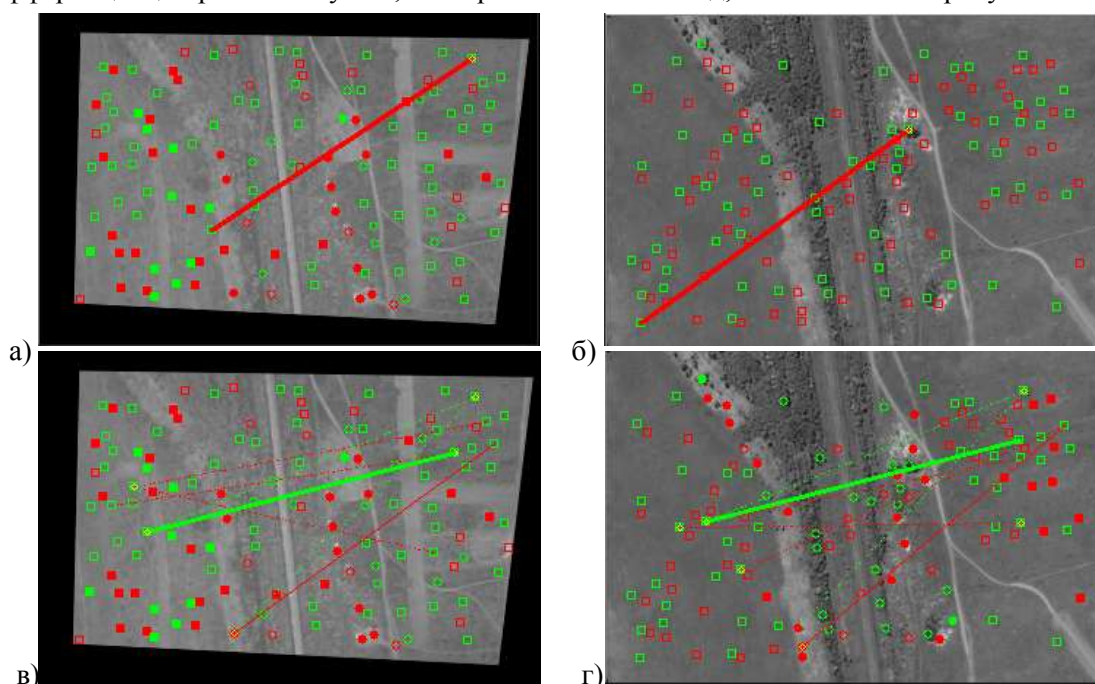


Рисунок 9. Пример работы метода оригинального (а, б) и модифицированного метода (в, г). Выбранные опорные отрезки выделены жирным.

5. Заключение

Разработанная модификация метода статистической дифференциации позволила увеличить количество верно привязанных кадров к космическому снимку и уменьшить количество ложных привязок, а значит, повысить надежность разрабатываемой системы визуальной навигации БПЛА. При этом предложенный метод работает лучше, чем стандартные подходы с использованием таких дескрипторов ключевых точек как SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, AKAZE за счет того, что метод статистической дифференциации позволяет учесть не только характерные особенности отдельных участков снимков, но и взаимное расположение точек.

6. Литература

- [1] Elantcev, M.O. A method of iterative image normalization for tasks of visual navigation of UAVs / M.O. Elantcev, I.O. Arkhipov, R.M. Gafarov // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2391. – P. 144-152.
- [2] Lowe, D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints / D. Lowe // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60(2). – P. 91-110.
- [3] Bay, H. Speeded-up robust features (SURF) / H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L. Gool // Computer Vision and Image Understanding. – 2008. – Vol. 110(3). – P. 346-359.
- [4] Alcantarilla, P.F. KAZE features / P.F. Alcantarilla, A. Bartoli, A.J. Davison // European Conference on Computer Vision. – 2012. – P. 214-227.
- [5] Rublee, E. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // International Conference on Computer Vision, 2011. – P. 2564-2571
- [6] Leutenegger, S. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints / S. Leutenegger, M. Chli, R.Y. Siegwart // International Conference on Computer Vision. – 2011. – P. 2548-2555.
- [7] Alcantarilla, P.F. Fast explicit diffusion for accelerated features in non-linear scale spaces / P.F. Alcantarilla, J. Nuevo, A. Bartoli // British Machine Vision Conference, 2013.
- [8] Guo, X. Good match exploration using triangle constraint / X. Guo, X. Cao // Pattern Recognition Letters. – 2012 – Vol. 33(7). – P. 872-881. DOI: 10.1016/j.patrec.2011.08.021.
- [9] Chen, J. A triangle division based point matching for image registration / J. Chen, D. Zeng, C. Kang, Z. Zhang // Advanced Materials Research – Trans Tech Publications Ltd. – 2013. – Vol. 765. – P. 726-729.
- [10] Bhattacharya, P. Improving RANSAC feature matching with local topological information / P. Bhattacharya, M. Gavrilova // Ninth International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering. – 2012. – P. 17-23. DOI: 10.1109/ISVD.2012.8.
- [11] Wu, B. A triangulation-based hierarchical image matching method for wide-baseline images / B. Wu, Y. Zhang, Q. Zhu // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2011. – Vol. 77(7). – P. 695-708. DOI: <https://doi.org/10.14358/PERS.77.7.695>.
- [12] Блохинов, Ю.Б. Задача привязки изображений для некоторых случаев ракурсной фотосъемки / Ю.Б. Блохинов, Д.А. Грибов, А.С. Чернявский // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2008. – Т. 6. – С. 129-143.
- [13] Lv, G. A novel correspondence selection technique for affine rigid image registration / G. Lv // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 32023-32034. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2847399.
- [14] Гафаров, Р.М. Применение метода статистической дифференциации для координатной привязки аэрофотоизображения к космическому снимку / Р.М. Гафаров, И.О. Архипов, А.В. Коробейников, М.О. Еланцев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2017. – Т. 15, № 2. – С. 109-112. DOI: 10.22213/2410-9304-2017-2-109-112.
- [15] Афонасенко, А.В. Быстрые морфологические преобразования для задач коррекции и преобразования бинарных изображений / А.В. Афонасенко // Известия ТПУ. – 2006 – Т. 309, № 8.
- [16] Bazargani, H. A fast and robust homography scheme for real-time planar target detection / H. Bazargani, O. Bilaniuk, R. Laganier // Journal of Real-Time Image Processing. – 2015. – Vol. 15(4). – P. 739-758. DOI: 10.1007/s11554-015-0508-4.

The modified method of statistical differentiation for the matching of aerial photograph and satellite image

M.O. Elantcev¹, I.O. Arkhipov¹, R.M. Gafarov¹

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Studencheskaya 7, 426069

Abstract. The article is devoted to the modification of the method of statistical differentiation, which is used to match the image from the camera of an unmanned aerial vehicle and a portion of a satellite image in order to obtain the parameters of their mutual shift, rotation and scale. The modification is aimed at increasing the reliability of the method in the case when the matching images differ in the conditions and the time of shooting. The proposed method differs from the original one by adding texture features to triangle descriptors, changing the structure of the storing data, and the way to select the best reference segment, which is used to calculate resulting shift, rotation and scale. The article presents the results of an experiment for comparing modified and original methods, as well as a comparison using the SIFT, SURF, KAZE, ORB, BRISK, and AKAZE methods.