

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Математико-механический факультет

Кафедра системного программирования

СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ СУЩЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА АЭРОСНИМКАХ

Дипломная работа студента 545 группы

Гущиной Веры Михайловны

Научный руководитель д. ф. - м. н., проф. Граничин О. Н.
/подпись/

Рецензент Калитеевский И. Н.
/подпись/

“Допустить к защите” д. ф. - м. н., проф. Терехов А. Н.
заведующий кафедрой, /подпись/

Санкт-Петербург

2012

SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Mathematics & Mechanics Faculty

Software Engineering Chair

RECOGNITION OF SIGNIFICANT CHANGES IN AERIAL PHOTOGRAPHS

by

Vera Gushchina

Graduate paper

Supervisor Professor O. N. Granichin

Reviewer I. N. Kaliteevsky

"Approved by" Professor A. N. Terekhov
Head of Department

Saint Petersburg

2012

Содержание

1	Введение	2
1.1	Постановка задачи	4
2	Обзор	5
2.1	Кластеризация по местоположению	5
2.2	Компьютерное зрение	6
2.3	Компьютерное зрение в области аэрофотографии	7
2.3.1	Алгоритм SIFT	8
2.3.2	Алгоритм SURF	9
2.3.3	Выделение границ методом Кэнни	9
3	Реализация	11
3.1	Средства реализации	11
3.2	Кластеризация по местоположению	11
3.3	Область интереса	12
3.4	Сравнение изображений	15
3.5	Анализ обнаруженных границ. Наличие существенных изменений	16
4	Заключение	18
4.1	Результаты работы	18
4.2	Направления дальнейшей работы	19
	Список литературы	20

1 Введение

В современном мире задачи распознавания образов все чаще встречаются в повседневной жизни человека. Системы распознавания речи для голосового поиска контакта в телефоне или страницы в интернете, полуавтоматическое управление средствами передвижения, выделение лица на фотоснимках, считывание данных с заполненного бюллетеня или штрих-кодов, дорожные камеры с алгоритмом распознавания номерного знака автомобиля — эти и многие другие вещи еще недавно казались фантастикой, а сейчас являются реальностью.

Распознавание различных элементов на фотоснимках является бурно развивающимся направлением в области задач распознавания образов. Фотокамера стала неотъемлемой частью современных мобильных устройств. Выделение лица или определенного элемента на фотоснимке — это стандартная задача для портативных устройств.

В связи со стремительным развитием цифровых технологий, фотокамеры всё чаще применяются в различных областях непрерывного мониторинга территории (система охраны территории, аэрофотосъемка, и др.), где наблюдается значительный рост объемов хранимых и перерабатываемых данных. Основной задачей такой системы является не только накопление фотоснимков, но и выделение необходимой информации. Однако увеличение количества информации не означает непосредственного увеличения объемов знаний. В такой ситуации все более востребованными становятся новые математические методы, которые позволяют выделить и структурировать необходимую информацию, а также найти объективные закономерности в больших объемах данных.

Всё чаще для мониторинга территории стали применять аэрофотоснимки, полученные различными способами: снимки со спутников, с самолетов или вертолетов, с беспилотных летательных аппаратов. При таком мониторинге, как правило, поток информации или записывается на электронный носитель, или передается в центр обработки данных (ЦОД). Далее эти данные обрабатываются с целью выделения необходимой информации. На практике, как правило, обработка полученной информации происходит вручную оператором в режиме реального времени или после сбора всех данных. Но при скорости формирова-

ния данных в 10 кадров в секунду ручная обработка может занять довольно много времени. Для обработки такого количества информации разрабатываются алгоритмы выделения изменений на фотоснимках, в которых выделяются фотографии одной и той же местности и производится поиск изменений.

В последнее время для получения аэрофотоснимков стали применять легкие беспилотные летательные аппараты. Инициативной группой студентов и аспирантов математико-механического факультета СПбГУ под руководством профессора О.Н. Граничина спроектирован легкий беспилотный летательный аппарат (БПЛА [1]) с возможностью передавать полученную им информацию на сервер. Этот проект имеет следующие особенности:

- конечное решение должно быть экономически доступным;
- аппараты легкими, небольшими;
- летательные аппараты способны “патрулировать” в одиночку или группами в автоматическом режиме заданную местность, фотографировать и собирать данные о местности для дальнейшей обработки;
- передача накопленных данных осуществляется на интернет сервер при помощи GSM модема;
- такие самолеты способны летать на высоте до 1 км и делать фотографии с частотой до 6 кадров в секунду.

На текущий момент в рамках проекта эти цели достигнуты и летательные аппараты могут быть применены с целью обнаружения вырубki леса, пожаров, утечки газа. И если утечки газа и пожары можно детектировать, к примеру, с помощью газовых датчиков, у которых есть пороговое значение и таким образом участие человека не требуется, то для обнаружения вырубki леса требуется использовать данные с фотокамеры.

Особенностью набора снимков такой системы является невысокое качество (640*480), произвольная ориентировка по азимуту и углу наклона относительно земной поверхности.

Для обработки поступающих изображений с летательного аппарата требуется оператор. Его можно заменить, или, по крайней мере, существенно облегчить его труд, используя технику компьютерного зрения. Целью этой работы является создание системы, решающей эту задачу.

1.1 Постановка задачи

При регулярном облете заданной местности самолет постоянно записывает массивы однотипной информации (фотоснимки). Фотоснимки помещаются в архивы, которые поступают на центральный сервер данных. Принципиальная схема проекта показана на Рис. 1.1.

Разрабатываемая система при получении на вход архивов снимков должна сравнивать новые данные относительно ранее полученных и уведомлять пользователя о существенных изменениях, если таковые имеются.

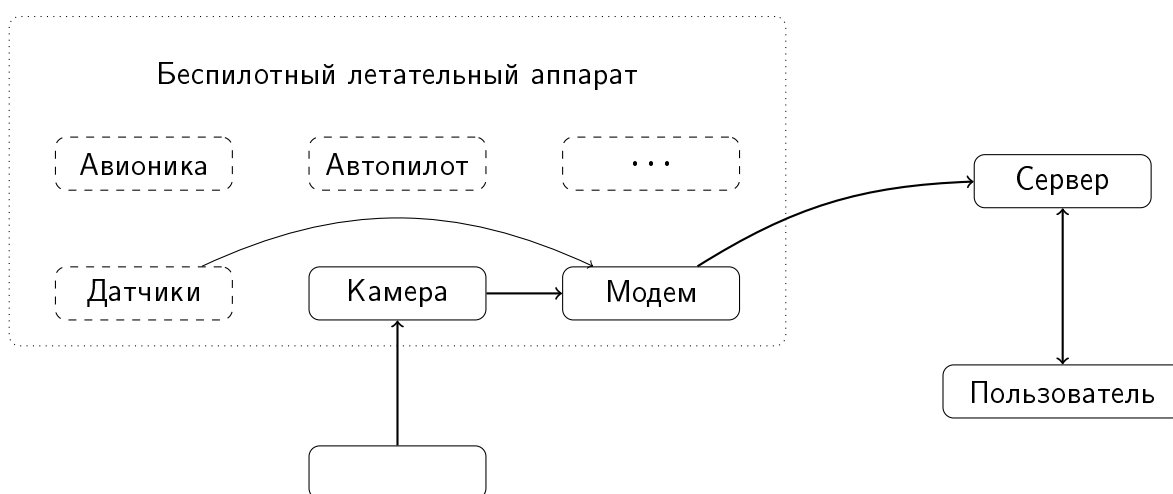


Рис. 1.1: Принципиальная схема проекта.

2 Обзор

Полученные от летательного аппарата снимки содержат в себе дополнительную информацию, такую как дата и время съемки, местоположение аппарата в пространстве в момент съёмки (координаты места), параметры камеры (например, фокусное расстояние).

2.1 Кластеризация по местоположению

Для сравнения изображений требуется найти снимки, сделанные максимально близко к тому месту, где сделан новый полученный от аппарата снимок. Таким образом, возникает задача кластеризации изображений по координатам. Эта задача встречается очень часто в таких областях науки, как астрономия. Методы кластеризации объектов являются одним из основных разделов машинного обучения. Задачу кластеризации объектов наиболее часто решают следующими методами:

- Метод k -средних;
- Метод s -средних;
- Генетические алгоритмы;
- Алгоритмы на графах;
- EM-алгоритмы.

Однако алгоритмы кластеризации обладают рядом недостатков [2]. В 1984 году А. Гуттманом для нахождения наиболее близких объектов по координатам была разработана специальная структура данных — R -дерево [3]. Так как эта структура данных подобна B -дереву, ветви дерева хорошо выгружаются на жесткий диск при необходимости с приемлимой потерей производительности. Это преимущество обеспечивает применимость и удобность такой структуры данных даже на очень большом объеме информации.

После того как задача нахождения максимально близких по месту съемки изображений решена, имеется массив снимков одной местности, сделанных в

различных условиях. Для нахождения на новом снимке существенных изменений по сравнению со старым, требуется использовать методы компьютерного зрения.

2.2 Компьютерное зрение

Впервые труд на тему распознавания образов был опубликован в середине прошлого века Ф. Розенблаттом, в котором он описал простейшие эксперименты по различению на основе перцептрона [4].

С тех пор создано множество различных подходов, методик, способов распознавания. Между тем, методы распознавания образов сильно варьируются от входных данных: нет никакого общего унифицированного алгоритма распознавания объектов произвольной природы. Существующие алгоритмы применимы при определенных входных данных, и способны распознавать лишь только наперед заданные классы объектов.

Можно выделить три основных подхода к распознаванию образов:

- *Метод перебора.* При таком подходе имеется набор шаблонов, по которому происходит поиск подобных объектов в оригинале. В задаче распознавания человеческой речи шаблонами выступают образцы слов и отдельных звуков, произнесенных различными людьми. Буквы разного размера и начертания (шрифты) употребляются в качестве шаблонов при распознавании текста.
- *Аналитический метод.* Подразумевает проведение глубокого анализа характеристик образа. Для речи объектом исследования будут частотные характеристики, длина звучания. При распознавании текста будет учитываться геометрическая форма знаков.
- *Машинное обучение.* Самым распространенным на текущий момент примером этого метода является распознавание лиц на фотографиях. Для этого система, распознающая лица, обучается на больших массивах обучающей выборки (размеченных фотографий). Итогом обучения является

небольшая система условий, позволяющая с высокой вероятностью определить, есть ли в области интереса человеческое лицо.

2.3 Компьютерное зрение в области аэрофотографии

Как было сказано выше, не существует универсального метода распознавания объектов, и выбор конкретного метода зависит от задачи.

Отличительной особенностью распознавания существенных изменений на аэроснимках является наличие небольшой коллекции снимков, сделанных с одной местности в разное время.

Так как объем коллекции фотоснимков исследуемой местности невелик, а исследуемые местности разные, не может быть применен метод машинного обучения, поскольку он подразумевает наличие большой выборки и небольшой вариации исследуемых объектов.

В силу только что описанных особенностей условий задачи неприменим и метод перебора — он также предполагает наличие большой выборки данных и фиксированного класса распознаваемых объектов. Следовательно, остановимся на аналитическом методе.

Для того, чтобы сравнить два аэроснимка, требуется привести их к одной системе координат — это задача геометрической коррекции, или по-другому совмещения изображений (*англ.* image registration). Проблема широко распространена при медицинской визуализации (компьютерная томография), автонаведении оружия на цель и при обработке аэрофотографии [5].

В задаче аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратах в рамках “патрулирования” территории проблема появляется в связи с тем, что при каждом облёте территории съёмка любого объекта, находящегося на патрулируемой территории, производится с разных точек с различной высоты.

Подходы к решению можно классифицировать следующим образом [6]:

- Методы, основанные на интенсивности или особых точках;
- Методы, использующие линейные преобразования или “эластичные” преобразования (*англ.* elastic, nonrigid);

- Пространственные и частотные методы;
- Одно- и мультимодальные методы;
- Автоматические и интерактивные методы;
- Методы измерения подобия.

В рамках задачи сравнения аэроснимков интересна первая классификация. Поскольку при подходе, основанном на интенсивности, изображения сравниваются полностью, был использован подход, основанный на особых точках, как более подходящий задаче.

2.3.1 Алгоритм SIFT

SIFT — Scale-Invariant Feature Transform — алгоритм поиска и описания локальных особенностей изображения. Он инвариантен по отношению к масштабированию, ориентации, частично инвариантен к аффинным преобразованиям и изменению освещения.

- *Детектирование экстремумов.* Сначала ищутся потенциально особые точки с помощью функции вычисления разницы гауссиана. Они не зависят от масштаба и ориентации.
- *Локализация особых точек.* Для каждого из кандидатов определяются масштаб и расположение.
- *Нахождение ориентации.* Каждой особой точке сопоставляются одна или более ориентаций, основанных на локальном направлении градиента.
- *Формирование дескрипторов.* Формируется дескриптор (совокупность расположения, области, ориентации, масштаба и других свойств для особой точки) для особой точки. В области каждой точки вычисляется локальный градиент с учетом масштаба и откидываются точки, в которых мало меняется контрастность.

Таким образом достигается независимость от изменений освещения и локальных искажений формы [7].

2.3.2 Алгоритм SURF

Дальнейшим развитием алгоритма SIFT является алгоритм SURF — Speeded Up Robust Feature — алгоритм поиска и описания особых точек изображения. Для их нахождения используется матрица Гессе, чей детерминант достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. В методе задается пороговое значение гессиана. Если вычисленное значение для пиксела выше порога — пиксел рассматривается как кандидат на особую точку. Алгоритм хорошо детектирует пятна, углы, края линий [8].

Поскольку гессиан является производной, он зависит не от яркости, а от разницы яркости, а значит, инвариантен к изменению яркости изображения.

Гессиан инвариантен относительно вращения, но не относительно изменения масштаба. Поэтому в алгоритме используются разномасштабные фильтры для нахождения гессиана. После нахождения особых точек формируются их дескрипторы [9].

2.3.3 Выделение границ методом Кэнни

Для поиска произвольных объектов на изображении удобно использовать алгоритмы поиска границ. Наиболее универсальным и общепризнанным алгоритмом этого класса на сегодняшний день является детектор границ Кэнни [10]. В алгоритме Кэнни можно выделить следующие 4 этапа:

- *Избавление от шумов.* Традиционно это делается с использованием размытия по Гауссу со следующей матрицей размерности 5×5 и $\sigma = 1.4$:

$$\mathbf{B} = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * \mathbf{A}.$$

Результатом является незначительно размытая версия оригинала с уменьшенным количеством шумов;

- *Нахождение градиента интенсивности.* Производятся следующие шаги:

а. Применение маски свертки по направлениям осей координат

$$\mathbf{G}_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G}_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}.$$

б. Нахождение модуля и направления градиента, направление градиента округляется до одного из 4 возможных значений: 0° , 45° , 90° , 135° :

$$\mathbf{G} = \sqrt{\mathbf{G}_x^2 + \mathbf{G}_y^2} \quad \Theta = \arctan\left(\frac{\mathbf{G}_y}{\mathbf{G}_x}\right).$$

- *Избавление от немаксимумов.* Убираются из рассмотрения точки, не являющиеся локальными максимумами.
- *Двойная пороговая фильтрация.* Все точки со значением выше верхнего порога относятся к границе, все точки со значением ниже нижнего порога отбрасываются, а точки со значениями между этими двумя порогами относятся к границе только в случае смежности с точкой, отнесенной к границе. Иллюстрация этого шага расположена на Рис. 4.2.

Результатом выполнения алгоритма являются множества смежных точек, рассматриваемых как границы объектов на изображении.

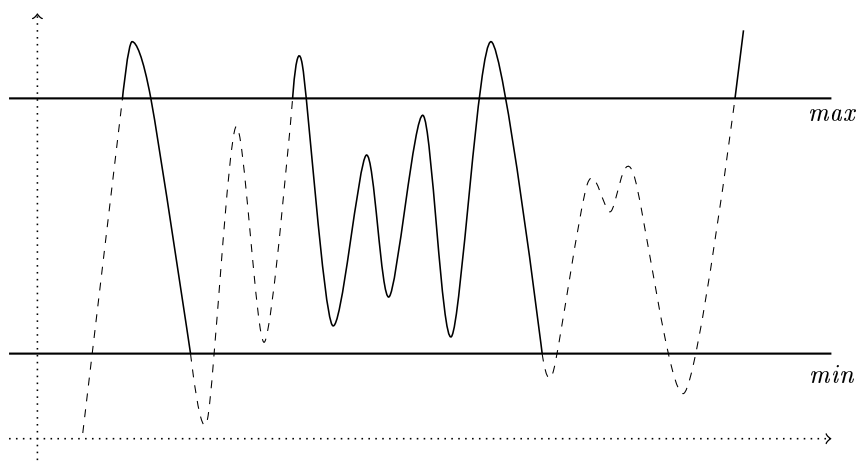


Рис. 2.1: Удаление слабых границ. Верхний и нижний порог.

3 Реализация

3.1 Средства реализации

Фотографии хранятся в распространяемой под свободной лицензией BSD СУБД PostgreSQL, открытой кроссплатформенной объектно-реляционной базе данных, разрабатываемой энтузиастами по всему миру. Она активно используется астрономами, поэтому в ней была реализована широкая поддержка работы с пространственными данными.

Для обработки изображений была выбрана открытая кроссплатформенная библиотека OpenCV, также распространяемая в условиях лицензии BSD. Библиотека разрабатывается уже много лет компанией Intel. Эта библиотека de facto является стандартом в области компьютерного зрения. Библиотека имеет интерфейсы к двум языкам: C++ и Python.

Связующим звеном между различными компонентами системы был выбран скриптовый язык Perl и операционная система Linux.

3.2 Кластеризация по местоположению

Итак, самолет облетает территории и посылает данные о них на сервер. Это могут быть фотоизображения, изображения в инфракрасном диапазоне, замер газа или другие данные. В постановке задачи рассматриваются фотоснимки территории.

Снимки делаются с обширной территории, они содержат изображения различных географических точек. Для сравнения изображений с целью нахождения существенных изменений требуется сначала решить задачу кластеризации изображений по местоположению съемки. В главе 2.1 описывалась специальная структура R -дерево, рационально решающая задачу кластеризации точек в пространстве. В качестве реализации R -дерева использовалась таковая в PostgreSQL.

Каждое полученное с летательного аппарата изображение имеет следующий набор свойств: время, в которое изображение было сделано, и GPS-координаты места, с которого производилась съемка. Эти метаданные о каждом изобра-

жении складываются в СУБД PostgreSQL вместе с информацией о том, где находится изображение в файловой системе. По метаданным снимков в базе строится индекс, быстро перестраиваясь при добавлении нового изображения. В листинге 3.1 показана схема базы данных и пример построения запроса [11].

```
create table qq(filename varchar, gps point);
create index qq_gps_idx on qq using gist(gps);
select * from qq order by (gps <=> '(0,0)') asc;
```

Листинг 3.1: Схема базы и запрос ближайших к точке '(0,0)' объектов

Для каждого поступившего изображения ищутся ближайшие фотографии, сделанные в окрестности точки съемки, а само изображение добавляется в базу данных для обеспечения возможности дальнейшего поиска. Следующие шаги осуществляются попарно с новым изображением для каждого из найденных.

3.3 Область интереса

Сравниваемые попарно снимки предположительно содержат в себе изображение одной местности.

Снимки могут быть сделаны с разной высоты, с отклонением в различные стороны, кроме этого летательный аппарат может лететь в другом направлении и под углом к горизонту. Съёмка производится в разное время суток, а также могут варьироваться время года, погодные условия.

Можно выделить два типа различий между сравниваемыми снимками:

- **Геометрические.** Чтобы избавиться от такого типа различий, необходимо найти общую часть двух изображений (*область интереса*) с учетом масштабирования и разворота.
- **Хроматические.** Для обеспечения возможности дальнейшего сравнения снимков требуется нивелировать этот тип искажений, выполнив ряд операций над изображениями.

После избавления от искажений обоих типов может быть произведён поиск существенных изменений.

Для работы с изображениями с помощью алгоритмов компьютерного зрения, как было сказано выше, выбрана библиотека OpenCV по причине её доступности, широкой распространенности и наличия реализации многих требовавшихся алгоритмов.

На каждом из двух сравниваемых изображений с помощью алгоритма SURF определяются основные точки. В OpenCV реализованно множество алгоритмов, предназначенных для определения основных точек, они являются реализациями базового класса `FeatureDetector`, а алгоритм SURF реализован в классе `SurfFeatureDetector`.

OpenCV имеет свой внутренний формат представления изображений. Для работы с изображением требуется загрузить его в формат матричного представления `Mat`, используемый библиотекой, а затем с помощью метода `detect` класса `SurfFeatureDetector` найти основные точки. Листинг кода, проделывающего эту операцию, представлен ниже:

```
Mat img = imread(filename, CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE);
SurfFeatureDetector detector;
std::vector<KeyPoint> keypoints;
detector.detect(img, keypoints);
```

Для найденных основных точек надо определить дескрипторы. Это делается с помощью класса `SurfDescriptorExtractor`.

```
Mat descriptors;
SurfDescriptorExtractor extractor;
extractor.compute(img, keypoints, descriptors);
```

Результатом проделанных действий будет два массива дескрипторов изображений. Для сопоставления найденных дескрипторов отдельных основных точек требуется применить одну из реализаций базового класса `DescriptorMatcher`. В этой работе был использован `FlannBasedMatcher`:

```
FlannBasedMatcher matcher;
std::vector<DMatch> matches;
matcher.match(descriptorsA, descriptorsB, matches);
```

В результате проделанных операций был получен массив пар точек, соответствующих друг другу на изображениях. По совокупности таких точек возможно найти области интереса.

Область интереса — суть область территории, которая запечатлена на каждом изображении. Однако из-за масштабирования и разворота, как было описано выше, требуется выделить эту область на каждом из изображений. Делается это путем наложения одного снимка на другой с совмещением основных точек.

Так как все геометрические искажения являются аффинными преобразованиями, то матрица трансформации основных точек изображений друг в друга будет линейной:

$$[A^*|b^*] = \arg \min_{[A|b]} \sum_i \|dst[i] - Asrc[i]^T - b\|^2,$$

$$[A^*|b^*] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ -a_{12} & a_{11} & b_2 \end{bmatrix}.$$

Функция библиотеки OpenCV, решающая эту задачу, была использована следующим образом:

```
Mat Ab = estimateRigidTransform(A, B, false);
```

Для нахождения общей области на каждом из изображений была придумана следующая схема: границы одного из изображений фиксируются в своих начальных координатах. К границам второго изображения применяется линейное преобразование с матрицей Ab . Находится пересечение границ изображений, координаты границ этого пересечения и будут являться границами области интереса для первого изображения в его исходных координатах. Эта же операция повторяется для второго изображения с матрицей Ab^{-1} .

Задача поиска пересечения изображений не является тривиальной. Существует несколько алгоритмов, призванных решить эту задачу. Одним из самых быстрых алгоритмов клиппинга (от *англ.* clipping — отсечение) является алгоритм под авторством Бала Ватти [12]. При реализации использовалась библиотека General Polygon Clipper (GPC) [13].

Так как OpenCV не умеет работать с областями интереса произвольной фор-

мы, но лишь с областями прямоугольной формы, на изображения накладывается маска для выделения области интереса.

Для избавления от хроматических различий, существующих между изображениями, снятыми в разное время года и суток, изображение конвертируется в оттенки серого с повышением контрастности.

3.4 Сравнение изображений

На предыдущем шаге была найдена область интереса, с которой осуществляются дальнейшие действия.

Как было описано в начале главы, невозможно применять обычные методы сравнения изображений даже после нахождения их общих частей, такие как преобразование Фурье [14]. Поэтому был разработан метод на основе детектирования объектов, присутствующих на изображениях, и дальнейшего сравнения результатов.

В качестве метода нахождения объектов был использован детектор границ Кэнни. Он позволяет находить границы объектов на изображении. Метод реализован в OpenCV в функции, имеющей следующую сигнатуру:

```
void cv::Canny(const Mat& src, Mat& dest,
               double thresholdMin, double thresholdMax);
```

Он имеет два параметра: верхний и нижний пороги. Эти пороги определяются эмпирическим путем. Поскольку к границам относятся точки, значение которых выше порогов, повышение этих параметров уменьшает количество точек, отнесенных алгоритмом к границам.

Области интереса на обрабатываемых изображениях имеют различные масштабы, поэтому невозможно применение одинаковых значений верхних и нижних границ для обоих изображений. Для того, чтобы нивелировать различия в масштабах, все пороги делятся на логарим площади области интереса:

```
Canny(img, img, 1024/log(area), 1024/log(area));
```

Результатом являются изображения, состоящие из черных и белых пикселей, где белыми пикселями обозначены границы объектов.

3.5 Анализ обнаруженных границ. Наличие существенных изменений

В результате всех проделанных ранее шагов на аэроснимках были найдены общие области и границы объектов на них. Целью заключительного шага является ответ на вопрос, произошли ли существенные изменения в общей области.

Поскольку на беспилотных летательных аппаратах установлены камеры низкой разрешающей способности, невозможно масштабирование области интереса для наложения снимков друг на друга с последующим применением операции исключающего «или». Поэтому приходится искать эмпирическим путём другие характеристики, указывающие на существование различий между обнаруженными границами на изображениях.

Хорошо зарекомендовавшим себя на тестовых данных методом является подсчет соотношения количества точек, занимаемых границами, и площади области интереса с помощью плавающей рамки. В случае если отношение этих характеристик изображений не превышает порогового значения (на тестовых данных пороговым значением было $\pm 15\%$), то считается, что существенных изменений обнаружено не было. В противном случае, если на этом шаге отношение этих характеристик очень отличается, существенное изменение есть.

Результатом работы программы сравнения изображений является ответ на вопрос, есть ли существенные изменения в общих областях двух аэроснимков. В случае, если общие области на снимках не нашлись, считается, что это снимки разных территорий и дальнейшее сравнение не производится.

Архитектура полученной системы представлена на Рис. 3.1.

Все используемые константы можно подбирать с помощью алгоритмов математического обучения при условии, что будет существовать большая обучающая выборка. Это позволит сделать результат обработки изображений более точным.

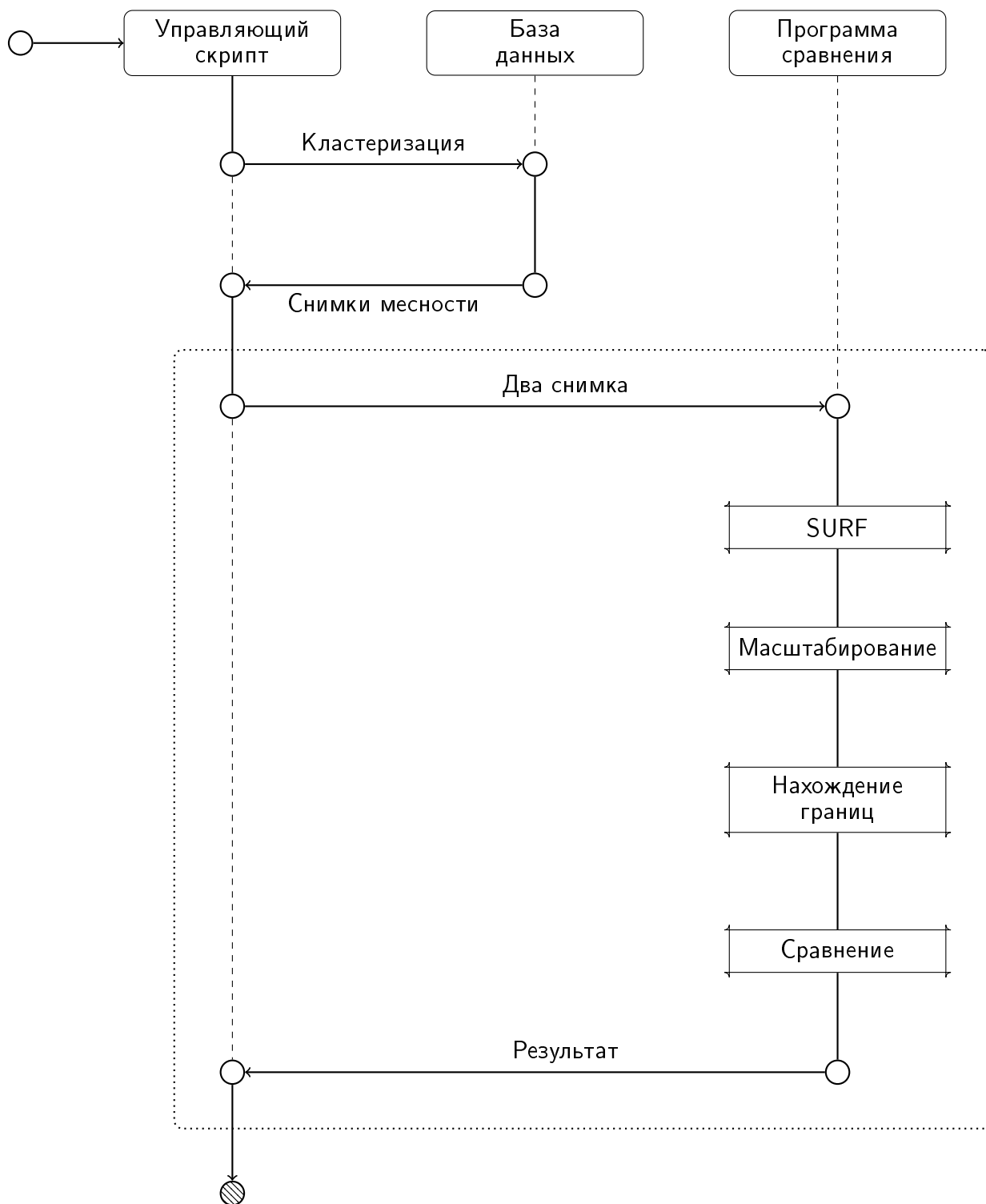


Рис. 3.1: Архитектура системы.

4 Заключение

4.1 Результаты работы

На Рис. 4.1 представлен пример нахождения на двух снимках особых точек (подобные особые точки соединены линиями) и общей области, которая присутствует на обоих снимках (выделена на каждом из снимков прямоугольной рамкой).



Рис. 4.1: Нахождение основных точек и общей области.

Рис. 4.2 иллюстрирует выделение границ и поиск существенных изменений на общей области двух снимков.



Рис. 4.2: Выделение границ и поиск существенных изменений.

Разработана система, определяющая существенные изменения на поступающих с летательного аппарата на сервер аэрофотоснимках, которая удовлетворяет постановке задачи.

4.2 Направления дальнейшей работы

В будущем планируется, что вместе с “эскадрильями” самолетов будет летать т.н. квадрокоптер — это устройство наподобие вертолета, у которого 4 вращающихся лопасти. Квадрокоптер перемещается медленней, чем самолеты, и на нем, например, может быть сервер координации на платформе Intel с FPGA Altera. В таком случае, на мобильном сервере можно сразу обрабатывать поступающие с самолетов данные, отправляя уже лишь данные о существенных изменениях. На FPGA можно одновременно разместить “батарей” тестов изображений на наличие существенных изменений.

Список литературы

- [1] *Сайт проекта БПЛА* <http://sites.google.com/site/smartyflyllc/>
- [2] IAN H. WITTEN, EIBE FRANK, MARK A. HALL. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 3rd Edition. Morgan Kaufmann, 2011.
- [3] ANTONIN GUTTMAN. *R-Trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching*. Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '84. pp. 47. ISBN 0897911288.
- [4] ROSENBLATT, FRANK. *The Perceptron—a perceiving and recognizing automaton*. Report 85-460-1, Cornell Aeronautical Laboratory, 1957.
- [5] A. ARDESHIR GOSHTASBY. *2-D and 3-D Image Registration for Medical, Remote Sensing, and Industrial Applications*. Wiley Press, 2005.
- [6] B. FISCHER, J. MODERSITZKI. *Ill-posed medicine – an introduction to image registration*. Inverse Problems, 24:1–19, 2008.
- [7] DAVID G. LOWE. *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoint*. International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- [8] HERBERT BAY, ANDREAS ESS, TINNE TUYTELAARS, LUC VAN GOOL. *SURF: Speeded Up Robust Features*. Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, pp. 346–359, 2008.
- [9] CHRISTOPHER EVANS. *Notes on the OpenSURF Library*. MSc Computer Science, University of Bristol.
- [10] JOHN F. CANNY. *A Computational Approach To Edge Detection*. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679–698, 1986.
- [11] ОЛЕГ БАРТУНОВ. *Эффективный поиск ближайших соседей в PostgreSQL*, слайд № 28. Российские интернет-технологии 2011. <http://www.slideshare.net/rit2011/postgre-sql-2>

- [12] BALA R. VATTI. *A generic solution to polygon clipping*. Communications of the ACM, Vol 35, Issue 7 (July 1992) pp. 56–63. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=129906>
- [13] *General Polygon Clipping*. <http://www.cs.man.ac.uk/~toby/alan/software/>
- [14] SIDNEY C. BURRUS. *Fast Fourier Transforms*. Book. <http://cnx.org/content/col110550/latest/>
- [15] *OpenCV official website*. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- [16] *OpenCV documentation*. <http://docs.opencv.org/>.