

На правах рукописи



**Пастушков Александр Викторович**

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ОБЪЕКТА В ВИДЕОПОТОКЕ**

05.13.17 – Теоретические основы информатики

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Калайда Владимир Тимофеевич**

**Официальные  
оппоненты**

**Спицын Владимир Григорьевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры вычислительной  
техники Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета

**Тригуб Максим Викторович,**  
кандидат технических наук, научный  
сотрудник лаборатории квантовой  
электроники института оптики  
атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского  
отделения Российской академии наук  
(ИОА СО РАН)

**Ведущая организация:** Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
«Институт физики прочности и  
материаловедения» Сибирского  
отделения Российской академии наук

Защита состоится 12 октября 2017 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.268.05 в ТУСУРе по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТУСУРа по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146 и на сайте ТУСУРа по адресу: <https://storage.tusur.ru/files/59501/dissertation.pdf>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Костюченко Евгений  
Юрьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Одной из важных задач анализа видеопотока является поиск объекта. С этой задачей связаны задачи слежения за объектом, сопоставления изображения с базой данных, поиск дубликатов изображений, соединения кадров.

Анализ научных работ по данному направлению исследований показал, что задача поиска объекта изучается многими исследователями (Т. Анштедт, И. Келлер, Х. Лутц, Y. Guoshen, P. Viola, M. J. Jones, Соколов С. М., Богуславский А. А., Потапов А. С. и др.), но, несмотря на это, на сегодняшний день задача не является полностью решённой. Процесс поиска объекта осложняется аффинными, проективными искажениями анализируемого изображения, перекрытием объекта другими объектами и шумом приёмника (датчика). Для реальных практических приложений задача должна обрабатывать видеопоследовательность в реальной скорости получения потока данных.

В связи с вышеизложенным объектом исследования в работе является задача поиска объекта в видеопотоке без предварительного обучения, а предметом исследования являются методы цифровой обработки изображений, используемые для решения задач по поиску объекта и слежению за объектом в видеопотоке.

Существующие в настоящее время решения этой проблемы, такие как Google Glass, Microsoft HoloLens, Kinect SDK, OpenCV, продукты компании «Синезис», обладают рядом недостатков, которые ограничивают область использования продуктов. Среди них следует отметить:

- ориентированность на узкий круг задач (в решении задачи используются ограничения, применяемые в определённой области);
- необходимость дополнительного специального оборудования (сенсоры, датчики);
- длительный процесс предварительного обучения.

Актуальность данной задачи в Российской Федерации подтверждается включением задачи «Информационно-телекоммуникационные системы» в список приоритетных направлений развития науки, технологии и техники в Российской Федерации и внесением «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем» в перечень критических технологий Российской Федерации.

### **Цели и задачи исследования.**

Цель исследования: разработка инвариантных к проективным преобразованиям и условиям съёмки алгоритмов, обеспечивающих поиск заданного объекта в видеопотоке в реальном масштабе времени.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определение набора требований к системе поиска объекта в видеопотоке.
2. Разработка метода поиска объекта в видеопотоке.
3. Определение эффективного набора функций системы.
4. Разработка структуры системы.
5. Разработка алгоритмов поиска объекта в видеопотоке.
6. Реализация алгоритмов поиска объекта в видеопотоке в программной системе.
7. Экспериментальное исследование эффективности работы системы – оценка качества процесса поиска объекта в видеопотоке.

#### **Научная новизна.**

1. Предложен метод поиска объекта в видеопотоке, включающий шаги вычисления дескрипторов ключевых точек на основе предварительно проективных искажений образца, и оценки меры схожести дескрипторов кадра и дескрипторов объекта, позволяющий уменьшить время поиска объекта.

2. Предложена модель формализованного описания параметров объекта, используемых для идентификации на базе совмещения интегральных и локальных признаков изображения объекта, обеспечивающая уменьшение ошибок поиска.

3. Разработан новый алгоритм поиска объекта в видеопотоке, основанный на обнаружении и сопоставлении локальных признаков изображения и использующий цветовую гистограмму для идентификации изображения объекта, позволяющий повысить вероятность обнаружения.

4. Предложен новый алгоритм сопоставления образца и области кадра, основанный на выборе масштаба сравниваемой области по масштабу сопоставляемого набора ключевых точек, обеспечивающий уменьшение количества анализируемых областей кадра.

#### **Практическая значимость работы.**

1. Основные результаты диссертации внедрены в компании ООО «Универсальные терминал системы» в виде программного модуля, предназначенного для осуществления поиска объекта в видеопотоке, и используемого в коммерческом продукте игрового движка GameX, поставляемого компанией ООО «Универсальные терминал системы».

2. Разработанный алгоритм поиска объекта в видеопотоке послужил основой для создания программы слежения за объектом в видеопотоке – «Object tracking PS». Разработанный в диссертации алгоритм поиска объекта в видеопотоке использован при выполнении федеральной целевой программы научно-исследовательской работы №2013-1.5-14-515-0036-109 «Разработка технологий активного и пассивного зондирования атмосферы».

земли в оптическом и радио диапазонах для создания распределенной информационно-вычислительной системы комплексной обработки, передачи и использования экспериментальных данных» (2013 г.), проведенной на кафедре оптико-электронных систем и дистанционного зондирования Томского государственного университета.

3. Предложенные автором метод и алгоритмы использованы при разработке алгоритмов кластеризации облачных полей по спутниковым изображениям земной поверхности по теме: «Разработка радиофизических, оптических и ультразвуковых методов, аппаратуры и программных средств для комплексных исследований окружающей среды», выполняемой НИ ТГУ в рамках программы «Государственная поддержка ведущих университетов Российской Федерации в целях повышения их конкурентной способности среди ведущих мировых научно-образовательных центров» (проект № 1.42.2014).

4. Программно-техническая система слежения за объектом в видеопотоке «Object tracking PS», созданная в рамках диссертационного исследования, используется в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН) для решения задачи определения скорости и направления ветра по слежению за облачными полями.

#### **Методология и методы исследования.**

В качестве основных методов исследования выбраны методы обработки цифровых изображений, системного анализа, метод функционального проектирования по методологии IDEF0: метод структурного проектирования; методы объектно-ориентированного проектирования; методы объектно-ориентированного программирования.

#### **Защищаемые положения.**

1. Метод поиска объекта в видеопотоке, включающий шаги вычисления дескрипторов ключевых точек по предварительно искаженному проективными преобразованиями изображению образца и оценки меры схожести дескрипторов кадра и объекта, позволяет повысить скорость обработки до  $\approx 10$  раз.

*Соответствует пункту 7 паспорта специальности: Разработка методов распознавания образов, фильтрации, распознавания и синтеза изображений, решающих правил.*

2. Методика поиска объекта в видеопотоке, основанная на анализе ключевых точек и использовании алгоритмов идентификации, инвариантных к проективным искажениям изображения, позволяет повысить вероятность нахождения объекта с  $\approx 0,8$  до уровня  $\approx 0,9$ .

*Соответствует пункту 5 паспорта специальности: Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.*

3. Алгоритм ограничения области поиска объекта в кадре, основанный на оценке масштабов ключевых точек проективно искаженных изображений объекта, обеспечивает уменьшение времени поиска объекта до  $\approx 10\%$ .

*Соответствует пункту 5 паспорта специальности: Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.*

4. Программная система поиска объекта в видеопотоке, использующая все вычислительные ресурсы ЭВМ, обеспечивает решение задачи в условиях проективных искажений со скоростью обработки 25 кадров в секунду для размеров картинки до  $960 \times 540$  точек.

*Соответствует пункту 1 паспорта специальности: Исследование, в том числе с помощью средств вычислительной техники, информационных процессов, информационных потребностей коллективных и индивидуальных пользователей.*

**Достоверность результатов.** Степень обоснованности результатов, изложенных в диссертации, обеспечивается корректностью постановки задачи, тщательным анализом предложенных методов и алгоритмов, а также подтверждается удовлетворительным согласием результатов численных расчётов и экспериментальных данных. Основные научные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2014» (г. Одесса, 2014); международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиофизики» (г. Томск, 2013, 2015); международная научно-практическая конференция «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2013» (г. Одесса, 2013); международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (г. Томск, 2015). Основное содержание диссертации отражено в 11 научных работах, в том числе в 3 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК, в 1 статье в журнале, входящем в систему Web Of Science. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2014662190). Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с государственным заданием ТУСУР 2.8172.2017/8.9.

**Личный вклад.** Личный вклад автора в работе заключается в непосредственном участии на всех этапах исследований: аналитический обзор методов, алгоритмов и технологий поиска объекта на изображении, формулирование требований к системе, разработка алгоритмов, реализация алгоритмов в информационной системе, проведение тестирования, анализ результатов экспериментов на реальных видеоданных, написание статей. Основные результаты, включенные в диссертацию и выносимые автором на защиту, получены А.В. Пастушковым самостоятельно. Постановка задач исследований осуществлена соискателем как единолично, так и в соавторстве с научным руководителем.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 135 страницах, содержит 47 рисунков, 14 таблиц, и состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 84 наименования, 3 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, основные задачи, полученные научные результаты, обоснованы их достоверность, новизна и практическая ценность.

**В первой главе** диссертации проведен аналитический обзор работ по поиску и слежению за объектом в видеопотоке, который позволил выявить основные проблемы в данной области, установить возможные пути решения проблем.

Методы выделения объекта можно разделить на следующие группы:

- нейросетевые методы;
- комбинированные методы;
- вероятностные методы;
- детерминированные методы.

Нейросетевые и часть комбинированных методов с предварительным обучением используются только на классах объектов, вошедших в обучаемые выборки. При этом сам процесс обучения системы является трудоёмким. В комбинированных методах с динамическим обучением предполагается что проективные искажения изображения объекта между соседними кадрами незначительны, и параметры поиска адаптируются к изменению проективных свойств изображения объекта между соседними кадрами в процессе слежения, поэтому эта группа методов неприменяется для поиска. Для вероятностных методов необходимо задать начальное положение на первом кадре, поэтому они в основном используются только для слежения в видеопотоке. Из детерминированных методов самыми

устойчивыми к проективным искажениям являются методы, основанные на поиске особенных точек. Однако их недостатком является высокая вычислительная сложность.

Как следует из вышесказанного, методы, основанные на поиске ключевых точек объекта, более всего удовлетворяют требованиям практики. Алгоритмы, построенные на базе этих методов, инвариантны к проективным преобразованиям, устойчивы к шуму, изменению яркости и характеризуются меньшими вычислительными затратами по сравнению с альтернативными.

**Во второй главе** определены требования к системе поиска объекта в видеопотоке, предложены метод, модель и алгоритм поиска объекта, алгоритм ограничения области поиска, построены функциональная и структурная модели.

Основные требования к системе поиска объекта в видеопотоке формулируются на основании результатов аналитического обзора и потребностей практического использования:

1. Алгоритм системы должен быть основан на поиске ключевых точек объекта.

2. Вычислительная сложность метода поиска должна быть минимально достижимой для применения в решении задач реального времени.

3. Алгоритм работы системы не должен содержать шаг предварительного обучения.

4. Система должна позволять управлять способом обработки результата: сохранять результат в виде текстовой информации, в виде набора изображений с выделенным найденным объектом, либо выводить на экран набор кадров с выделенными объектами.

5. Структура системы должна быть статической или сетевой.

Предложена модель представления изображения объекта в виде совокупности интегральных и локальных признаков изображения объекта:

$$F(x, y) \rightarrow \begin{cases} K^{ref} = \{K_0^{ref}, \dots, K_{m-1}^{ref}\}, \\ H^{ref} = \{H_0^{ref}, \dots, H_{n-1}^{ref}\} \end{cases},$$

где  $F(x, y)$  – прямоугольная матрица значений интенсивности пикселей,  $K^{ref}$  – вектор ключевых точек изображения объекта размерности  $m$ ,  $H^{ref}$  – цветовая гистограмма изображения объекта, состоящей из  $n$  элементов.

Таким образом, методика поиска объекта в видеопотоке представлена в виде двух этапов:

1. Быстрый поиск областей претендентов с изображением объекта с помощью ключевых точек.

2. Идентификация объекта на изображении на основе глобального признака – цветовой гистограммы.

Ключевая точка состоит из координат центра и радиуса окружности. Ключевые точки сопоставляются при помощи дескриптора. Дескриптор – это нормализованный вектор признаков, описывающих ключевую точку.

На рисунке 1 представлена диаграмма А0, на которой выявлены следующие основные функции:

- функция вычисления вектора дескрипторов по многомерной матрице проективно искажённых изображений объекта (А1);
- функция вычисления гистограммы изображения объекта (А2);
- функция извлечения кадра из видеопотока (А3);
- функция вычисления вектора ключевых точек кадра (А4);
- функция нахождения областей претендентов объекта (А5);
- функция идентификации объекта в найденных областях претендентов на основании вычисления цветowych гистограмм (А6).

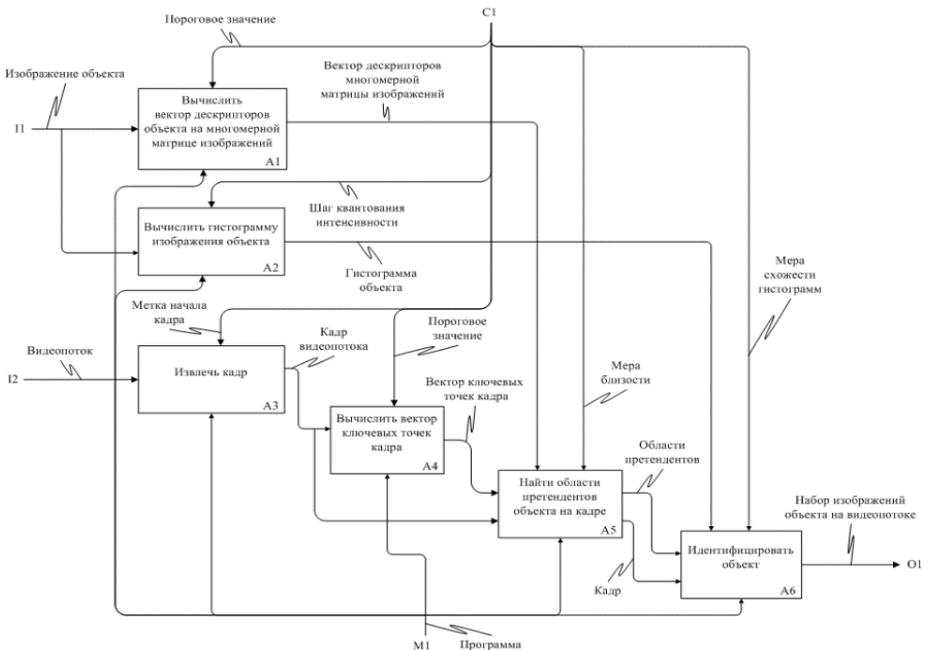


Рисунок 1 – Функциональная диаграмма А0

Если в функции A5 области претендентов объекта на кадре не найдены, то процесс поиска переходит к обработке следующего кадра. В функции идентификации по выделенным областям кадра находится область с ближайшим соответствием гистограммы изображения искомого объекта.

Проведенные исследования показали, что алгоритм поиска ключевых точек ASIFT является наиболее устойчивым к рассмотренным критериям, но обладает высокой вычислительной сложностью. Построенная функциональная модель позволяет уменьшить вычислительную сложность метода благодаря удалению из метода шагов осуществления деформаций кадра и изображения объекта и поиска на них ключевых точек. ASIFT обрабатывает каждое модифицированное изображение при помощи алгоритма SIFT, у которого существует быстроедейственный аналог – SURF. Ключевая точка в SURF – это локальный экстремум детерминанта матрицы Гессе. На практике алгоритм SURF выделяет меньше ключевых точек на изображении объекта, но имеет высокую скорость обработки кадра по сравнению с SIFT. Для быстрого нахождения ключевых точек и вычисления дескрипторов за основу предложено использовать алгоритм SURF. Построенная функциональная модель позволяет оставить в SURF шаг нахождения ключевых точек только на одной октаве и использовать один масштаб ключевой точки вместо четырёх. Таким образом, вычислительная сложность модифицированного алгоритма SURF уменьшится в  $\approx s$  раз, где  $s$  – количество октав (в SURF предлагается использовать 6-7 октав).

На этапе нахождения пересечения дескрипторов необходимо группировать ключевые точки в области-претендентов и быстро отсеивать кадры, на которых не обнаружены локальные особенности объекта. Предложен алгоритм ограничения области поиска объекта в кадре, основанный на оценке масштаба изображения объекта по дескрипторам ключевых точек, представленный в виде блок-схемы на рисунке 2, где  $Thr$  – порог меры близости дескрипторов.



Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма ограничения области поиска

Мера близости между дескрипторами кадра и изображением образца вычисляется по коэффициенту Бхаттачария (формула 1):

$$p = \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{a_i \cdot b_i}, \quad (1)$$

где  $a, b$  – векторы размерности  $n$ ,  $p$  – мера близости,  $p \in [0, 1]$ .

На рисунке 3 представлена блок-схема функции удаления прямоугольных областей по пересечению с другими областями.

Предложенный алгоритм имеет меньше вычислительную сложность, чем алгоритмы RANSAC и Куна-Манкреса.

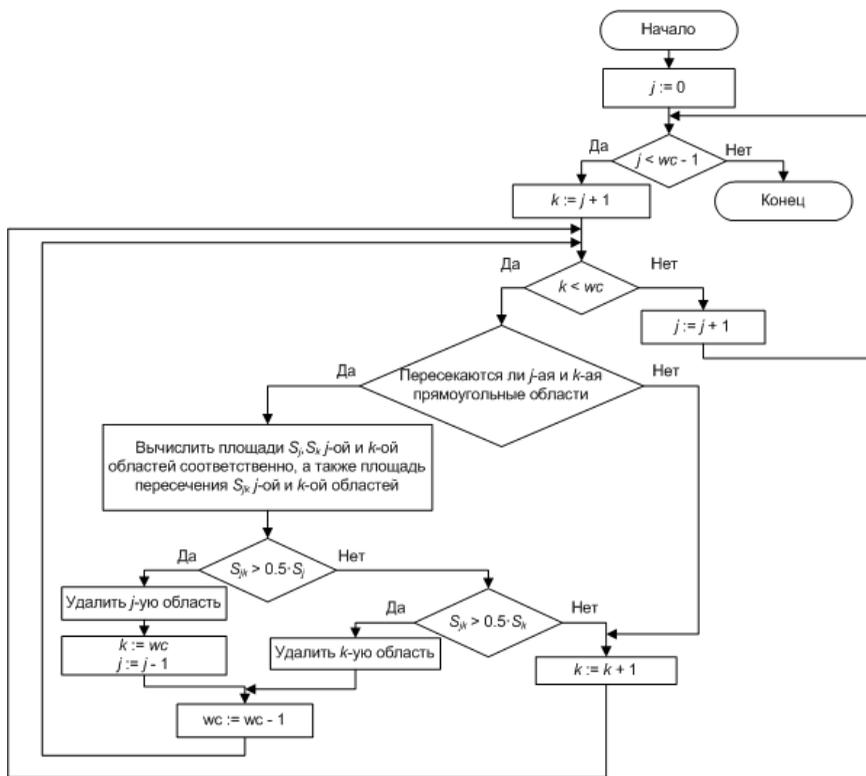


Рисунок 3 – Блок-схема процесса удаления прямоугольных областей поиска объекта

Каждая прямоугольная область после выполнения алгоритма ограничения проверяется на принадлежность изображению объекта. Проверка областей кадра осуществляется в процессе идентификации при помощи вычисления цветовой гистограммы. В основе идентификации объекта использована техника Mean Shift, применяющаяся для слежения за объектом. Идентификация осуществляется четырёх параметрическим поиском изображения объекта градиентным спуском, состоящего из следующих шагов:

1. Задать  $\rho_{th}$  (минимальное значение порога схожести),  $i_{max}$  (максимальное количество итераций),  $w_0$  и  $h_0$  (длины полуосей эллипса).

2. Вычислить нормированный вектор частот значений интенсивностей (гистограмму)  $hist_0$  в эллиптической области  $(x_0, y_0, w_0, h_0)$ .

3. Вычислить меру схожести (формула 2):

$$\rho_0 = \sum_{b \in B} \sqrt{hist_{ref} \cdot hist_{ob}} \cdot \quad (2)$$

где  $hist_{ref}$  – гистограмма изображения объекта для поиска,  $b$  – шаг гистограммы,  $b \in B$ .

4.  $i = 1$ .

5. Пока  $\rho_{i-1} < \rho_{th}$  и  $i < i_{max}$  выполнить:

5.1 Вычислить градиент  $grad\rho_{i-1}$  (формула 3):

$$grad\rho_{i-1} = \left( \frac{\partial\rho_{i-1}}{\partial x}, \frac{\partial\rho_{i-1}}{\partial y}, \frac{\partial\rho_{i-1}}{\partial w}, \frac{\partial\rho_{i-1}}{\partial h} \right). \quad (3)$$

5.2 Вычислить коэффициент  $k_{i-1}$  (формула 4):

$$k_{i-1} \approx \frac{1 - \rho_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}, w_{i-1}, h_{i-1})}{|grad\rho_{i-1}|^2}. \quad (4)$$

5.3 Вычислить величину шага (формула 5):

$$(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta w_i, \Delta h_i) = k_{i-1} \cdot grad\rho_{i-1}. \quad (5)$$

5.4 Изменить параметры эллипса (формула 6):

$$(x_i, y_i, w_i, h_i) = (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta w_i, \Delta h_i) + (x_{i-1}, y_{i-1}, w_{i-1}, h_{i-1}). \quad (6)$$

5.5 Рассчитать гистограмму  $hist_i$  эллиптической области  $(x_i, y_i, w_i, h_i)$ .

5.6 Вычислить меру схожести  $\rho_i$  (формула 7):

$$\rho_i = \sum_{b \in B} \sqrt{hist_{refb} \cdot hist_{ib}} \cdot \quad (7)$$

5.7  $i = i + 1$ , перейти на шаг 5.

6. Стоп.

Для сравнения двух гистограмм используется коэффициент Бхаттачария. Процесс идентификации останавливается после превышения порогового значения меры схожести гистограмм либо превышения максимального количества итераций.

Блок-схема алгоритма поиска объекта в видеопотоке представлена на рисунке 4. На рисунке 5 представлена блок-схема функции вычисления дескрипторов объекта.

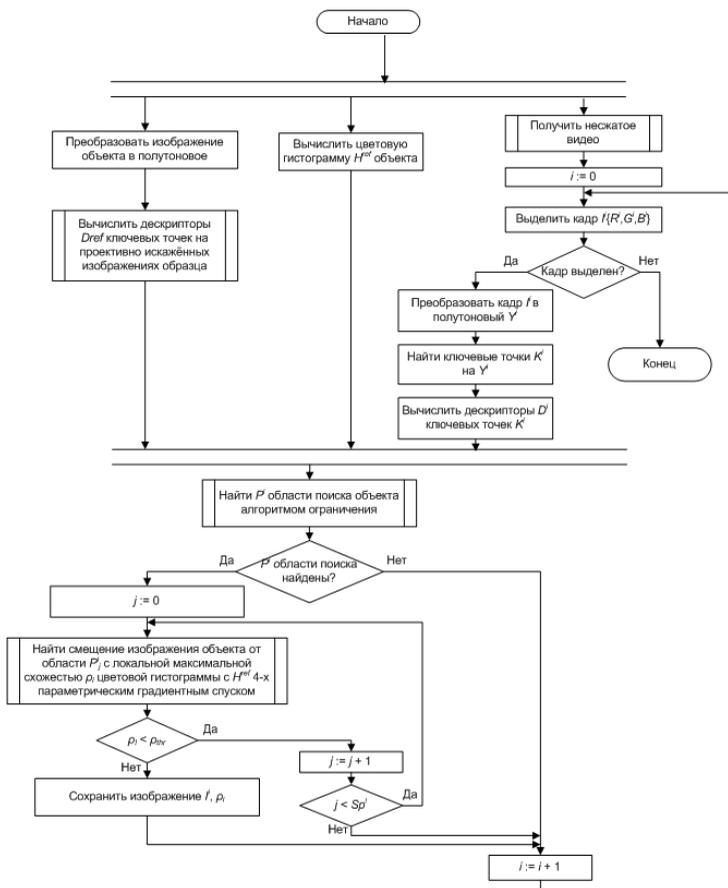


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма поиска объекта в видеопотоке

В третьей главе проведено проектирование, реализация в информационной системе и предложена структура, позволяющая разворачивать систему на все доступные вычислительные процессоры, включая видеопроцессор.

Проектирование системы выполнено на основе построенной функциональной модели с построением UML диаграмм. Выполнение функций разбито на компоненты с целью повышения эффективности выполнения процесса поиска за счёт параллельной работы на разных вычислительных ресурсах компьютера (видеопроцессор, ядра процессора).



Рисунок 5 – Блок-схема функции вычисления дескрипторов объекта на проективно искажённых изображениях

**В четвёртой главе** проведено экспериментальное исследование эффективности работы системы, сравнение результатов с аналогами.

Тестирование проводилось на машине HP Z420 с восьми ядерным процессором Intel Xeon E5-1620 v2 с частотой 3,7 ГГц, объёмом памяти равным 8 Гб и операционной системой MS Windows 7 x64 с видеокартой GIGABYTE GeForce GTX 750 Ti частотой 1033 МГц и объёмом памяти 2048 Мб. Поиск при помощи Vuforia SDK и Kudan SDK осуществлялся на мобильной платформе Android 4.1.2 с четырёх ядерным процессором Qualcomm частотой 1,2 ГГц, объёмом памяти 1 Гб с графическим ускорителем Adreno 203.

Для проведения тестирования инвариантности к проективным преобразованиям подготовлено 10 видеофайлов с изменённым поворотом, масштабом объекта и наклоном камеры к объекту. В последовательности также принимали участие кадры, не содержащие изображения объекта. В качестве аналогов взяты методы SURF, ASIFT совместно с методом RANSAC, методы из Vuforia SDK 5.5.9, Kudan SDK 1.2.3. Для сравнения результатов построены ROC кривые, которые позволяют наглядно сравнивать методы поиска бинарной классификации. Для численного сравнения вычисляются площади под ROC кривой (AUC). На рисунке 6, 7, 8 представлены результаты тестов, где DEV – разработанный метод.

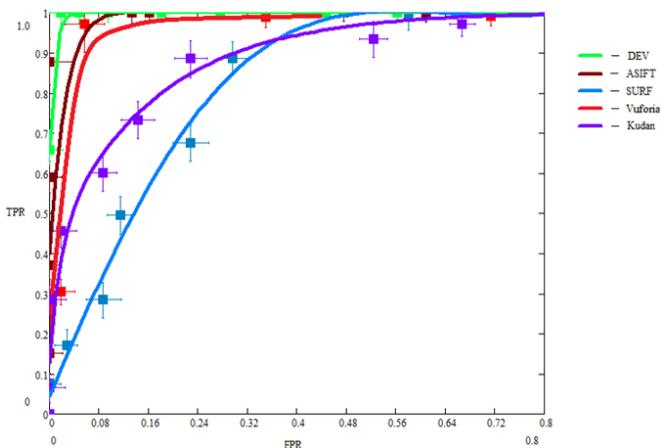


Рисунок 6 – ROC кривые результатов выполнения теста на проверку инвариантности к повороту объекта

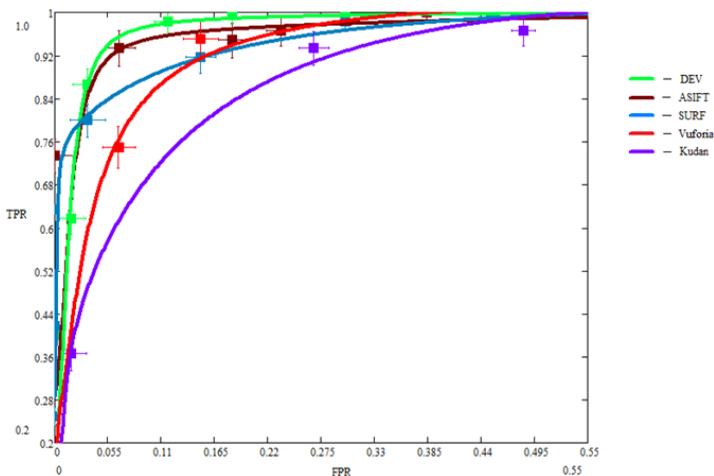


Рисунок 7 – ROC кривые результатов выполнения теста на проверку инвариантности к изменению масштаба объекта

На основании анализа результатов, приведённых на графиках, можно сказать, что классификация разработанного метода является сопоставимой с классификацией методов Vuforia SDK, ASIFT и разработанный метод позволяет находить проективно искажённое изображение объекта.

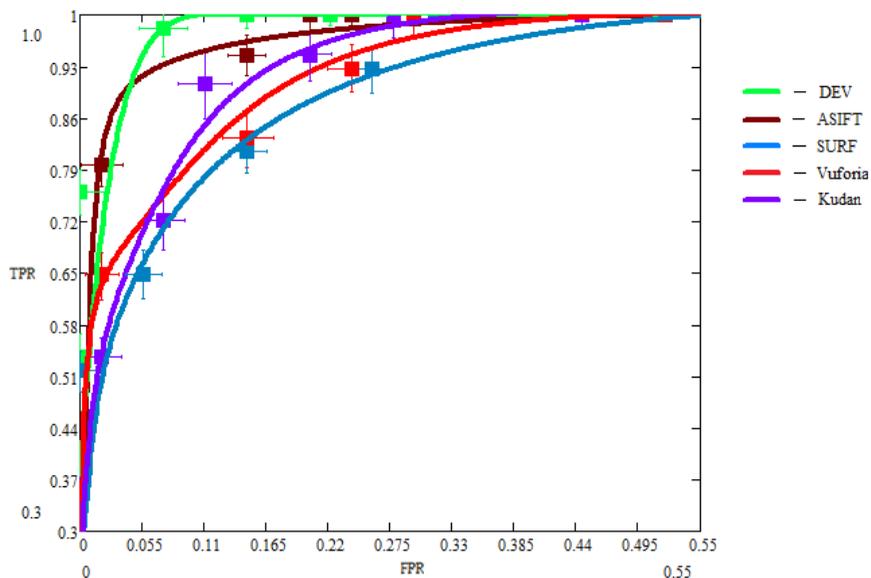


Рисунок 8 – ROC кривые результатов выполнения теста на проверку инвариантности к изменению наклона камеры

Значения AUC методов представлены в таблице 1. Разработанный метод имеет максимальные значения результатов в проведённых тестах.

Таблица 1 – AUC значения тестов

Тест	Метод				
	DEV	Vuforia SDK	Kudan SDK	ASIFT	SURF
Изменение поворота	<b>0.9967</b>	<b>0.9678</b>	<b>0.8863</b>	<b>0.9917</b>	<b>0.8332</b>
Изменение масштаба	<b>0.9807</b>	<b>0.9457</b>	<b>0.9264</b>	<b>0.9775</b>	<b>0.9653</b>
Изменение наклона	<b>0.9897</b>	<b>0.9444</b>	<b>0.9535</b>	<b>0.9753</b>	<b>0.9355</b>

Под вероятностью обнаружения объекта  $\rho$  определено отношение суммы количества верно обнаруженных кадров объекта ( $TP$ ) и количества

верно классифицированных кадров с отсутствием объекта ( $TN$ ) к общему количеству кадров ( $N$ ) (формула 8):

$$\rho = \frac{TP+TN}{N}. \quad (8)$$

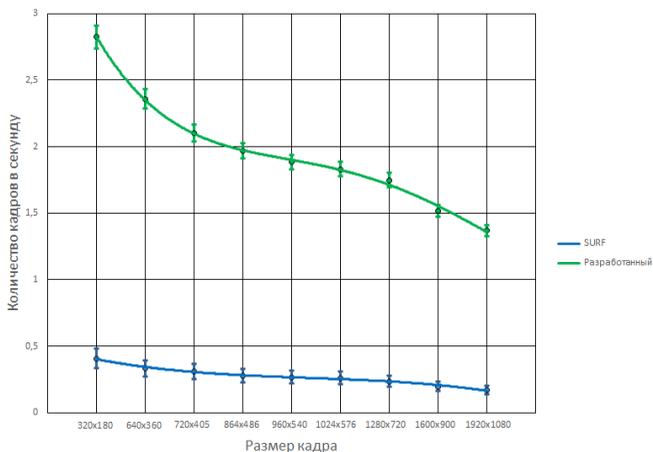
В таблице 2 приведены значения вероятностей обнаружения методов на тестируемых видеофайлах. Общее количество кадров  $N = 944$ . На основании результатов AUC и вероятностей обнаружения можно сказать, что разработанная методика позволяет находить проективно искажённый объект и увеличить вероятность обнаружения с уровня  $\approx 0,8$  до уровня  $\approx 0,9$ .

Таблица 2 – Вероятности обнаружения методов

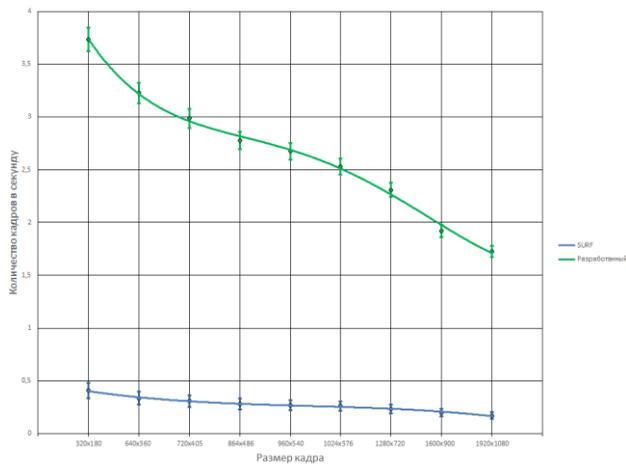
Метод	TP (количество кадров)	TN (количество кадров)	Вероятность обнаружения
SURF	<b>333</b>	<b>321</b>	<b>0,69</b>
Kudan SDK	<b>345</b>	<b>341</b>	<b>0,73</b>
Vuforia SDK	<b>427</b>	<b>335</b>	<b>0,81</b>
ASIFT	<b>432</b>	<b>319</b>	<b>0,80</b>
DEV (разработанный)	<b>471</b>	<b>351</b>	<b>0,87</b>

Для сравнения быстродействия разработанного алгоритма с SURF реализована программа, выполняющая последовательный поиск в одном вычислительном потоке заданного объекта в видеофайле одним из алгоритмов. На рисунках 9, 10 представлены результаты выполнения с видеопотоками, содержащих изображение объекта и без изображения объекта соответственно. На основании анализа приведённых результатов можно сказать, что разработанный алгоритм позволяет обрабатывать кадры с изображением объекта до  $\approx 8$  раз быстрее аналога SURF и до  $\approx 10$  раз – кадры без изображения объекта.

Для проведения экспериментов получены снимки земли при помощи набора инструментов API Google карт. Спутниковые данные над участком с заданными координатами предоставляются с интервалом в 1 час, поэтому, вычислив перемещение облачных полей, можно определить скорость и направление ветра.



**Рисунок 9 – Результаты выполнения SURF и разработанного методов в видеофайлах, содержащих изображение объекта. Поиск осуществляется в одном вычислительном потоке**



**Рисунок 10 – Результаты выполнения SURF и разработанного методов в видеофайлах, не содержащих изображения объекта. Поиск осуществляется в одном вычислительном потоке**

Программа может быть применена в системах безопасности для поиска определённого предмета или человека. Для проведения эксперимента использованы видео контенты с открытого источника

Xiph.org. На каждом видеофайле выбран объект для поиска. На рисунке 11 представлен пример работы программной системы над видео контентом pedestrian\_area.



Рисунок 11 – Поиск человека в видеопотоке

В результате выполнения программы выделены участки кадров с найденными изображениями объекта (см. рисунок 11). В течение всей видеопоследовательности искомый объект перекрывается 5 раз другими объектами, после которых успешно локализуется.

Для проверки производительности системы выбрано 11 видеофайлов из открытого доступа Xiph.org. На каждом видеофайле выбран объект для поиска. Новые видеопоследовательности получены путём масштабирования исходных видео в новые разрешения. На рисунке 12 представлены графики зависимости частоты обработки кадров от разрешения.

Методы поиска объекта из библиотеки Vuforia SDK и Kudan SDK уменьшают размер изображения до 640×480 точек и во время поиска могут принимать решения о пропуске кадров из процесса анализа для достижения реальной скорости обработки (25 кадров в секунду), поэтому графики скорости этих методов отсутствуют.

Значения средней загрузки процессоров в секунду на обработку видеопотока, состоящего из 944 кадров, представлены в таблице 3. Показатели средней загрузки процессоров у методов Vuforia SDK, Kudan

SDK и DEV при обработке видеопоследовательности из 944 кадров в секунду являются намного выше показателей методов SURF и ASIFT.

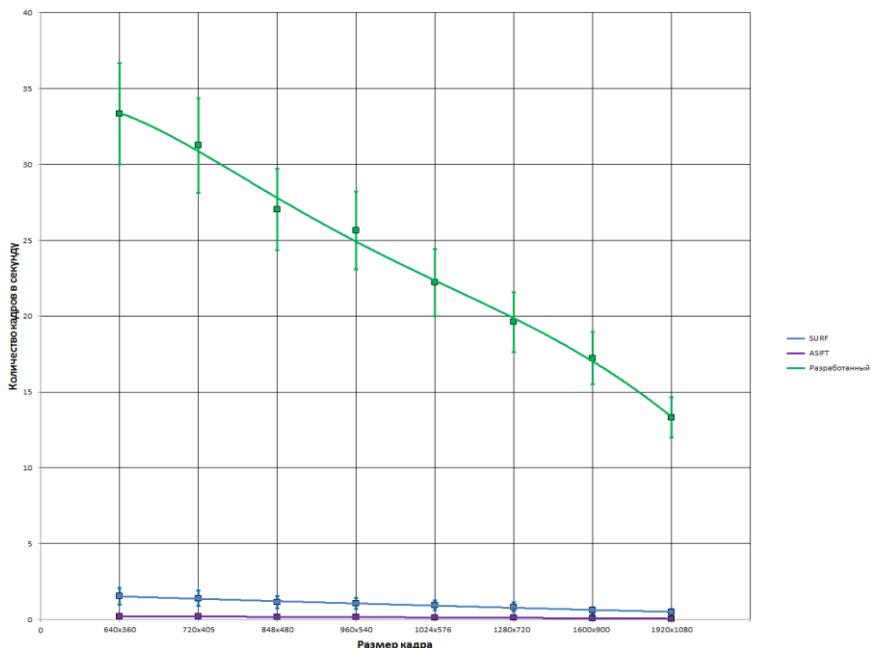


Рисунок 12 – Результаты сравнения скорости обработки на различных размерах кадров

Таблица 3 – Средняя загрузка процессоров на обработку видеопоследовательности из 944 кадров в секунду

В процентах в секунду

SURF	ASIFT	Vuforia SDK	Kudan SDK	DEV
<b>0,09</b>	<b>0,04</b>	<b>1,57</b>	<b>1,31</b>	<b>1,84</b>

В таблице 4 приведены ограничения к объекту для поиска.

Таким образом, разработанный метод инвариантен к частичному перекрытию, к временному отсутствию объекта, к изменению общей яркости изображения и реализованная программная система позволяет осуществлять поиск объекта с реальной скоростью потока данных (25 кадров в секунду) на разрешении до 960×540 точек.

Таблица 4 – Ограничения к целевому объекту для поиска

Ограничение	Значение
Минимальный размер изображения объекта	20×20 точек
Максимальное изменение (увеличение/уменьшение) размера изображения объекта в кадре	До 20 раз
Цветовая характеристика	Цветовые гистограммы изображений образца и объекта в кадре должны соответствовать по мере Бхаттачария > 80%
Изменение яркости	Значение детерминанта матрицы Гессе для ключевой точки должно быть не меньше 300

### Заключение

В диссертации решена задача разработки инвариантного к проективным преобразованиям и условиям съёмки алгоритма поиска заданного объекта в видеопотоке. Практическая реализация подтвердила теоретическое обоснование разработанной системы для применения в задачах с реальной скоростью потока (25 кадров в секунду). Исследование выполнено полностью: по проекту системы создан программный продукт «Object tracking PS», и на реальных задачах подтверждена его эффективность.

По результатам исследования можно сделать выводы:

1. Предложенная методика поиска объекта в видеопотоке, основанная на анализе ключевых точек и использовании алгоритмов идентификации, инвариантных к проективным искажениям изображения, позволяет повысить вероятность нахождения объекта с  $\approx 0,8$  до уровня  $\approx 0,9$ .

2. Разработанный метод поиска объекта в видеопотоке, включающий шаги вычисления дескрипторов ключевых точек по предварительно искаженному проективными преобразованиями изображению образца и оценки меры схожести дескрипторов кадра и дескрипторов объекта, позволяет повысить скорость обработки до  $\approx 10$  раз по сравнению с быстросейственным аналогом SURF.

3. Разработанный алгоритм ограничения области поиска объекта в кадре, основанный на оценке масштабов ключевых точек проективно искаженных изображений объекта, обеспечивает уменьшение времени поиска объекта до  $\approx 10\%$  по сравнению с алгоритмом RANSAC.

4. Разработанные в диссертации функциональная и структурная модели позволяют полностью удовлетворить основные требования, выдвигаемые к системе поиска объекта в видеопотоке, а, следовательно, существенно повысить эффективность вычислений и использования имеющихся вычислительных ресурсов.

5. Предложенный метод поиска сюжета в видеопотоке в отличие от существующих позволяет осуществлять инвариантный к проективным искажениям поиск объекта в режиме реальной скорости потока данных (25 кадров в секунду).

6. Разработанная программная система поиска объекта в видеопотоке позволяет использовать аппаратно-программные средства со средней загрузкой процессора на обработку видеопотока в секунду  $L_s \approx 1,84\%$ .

7. Реализованная программная система поиска объекта в видеопотоке, ориентированная на использовании всех ресурсов компьютера, включая видеопроцессор, позволяет решать широкого круга задачи в различных функциональных областях.

8. Результаты испытаний программной системы «Object tracking PS», основанной на разработанной архитектуре, подтвердили эффективность заложенных алгоритмов и технологий.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Научные труды в журналах из перечня ВАК РФ:**

1. **Пастушков, А. В.** Программная система слежения за объектом в видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В.Т. Калайда // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, №8/3. – С. 334–335.

2. **Pastushkov, A. V.** Search and tracking method of cloud fields on image [Текст] / A. V. Pastushkov, V. T. Kalayda // SPIE Proceedings. – 2015. – Vol. 9680. – 96805V. – 4 p. – DOI:10.1117/12.2205433.

3. **Пастушков, А. В.** Метод поиска объекта на изображении [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, №10/3. – С. 117–119.

### **Свидетельство о регистрации программы:**

Программа слежения за объектом в видеопотоке «Object tracking PS»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662190 Российская Федерация / Пастушков А. В.; правообладатель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (RU). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25 ноября 2014 г.

### **Публикации в журналах и трудах научных конференций:**

1. **Пастушков, А. В.** Программная система слежения за объектом в видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Южно-Сибирский научный вестник. – 2013. – №1. – С. 90–91.

2. **Пастушков, А. В.** Методы и алгоритмы поиска объекта на видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Сборник научных трудов SWorld. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 38–42.

3. **Пастушков, А. В.** Инвариантность компонент цветowych пространств к изменению естественной яркости на видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 6, № 1. – С. 54–56.

4. **Пастушков, А. В.** Сравнение качеств методов поиска объекта на видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Международный союз учёных «НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ПРОИЗВОДСТВО». – 2014. – №2 / 2014. – С. 21–24.

5. **Пастушков, А. В.** Метод поиска человека на видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Мир науки и инноваций. – 2015. – Вып. 1(1), т. 3. – С. 39–42.

6. **Пастушков, А. В.** Метод поиска и слежения за облачными полями на изображении [Текст] / А. В. Пастушков, А. И. Елизаров, В. Т. Калайда // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: тезисы докладов XXI международного симпозиума. Томск, 22–26 июня 2015 г. – Томск, 2015. – С. 156–158.

7. **Пастушков, А. В.** Программа поиска и слежения за человеком на видеопотоке [Текст] / А. В. Пастушков, В. Т. Калайда // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Тамбов, 30 апреля 2015 г. – Тамбов, 2015. – Т. 12. – С. 108–109.