

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 004.421-047.25

КУРЕЦ
Андрей Леонидович

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА В ВИДЕОПОТОКЕ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра технических наук

по специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения»

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

Ролич Олег Чеславович,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Бондарик Василий Михайлович,

кандидат технических наук, доцент, декан факультета доуниверситетской подготовки и профессиональной ориентации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «26» января 2018 г. года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Видеонаблюдение зарождалось как охранная замкнутая система, предназначенная только для решения вопросов безопасности. Ограничения аналогового видеонаблюдения не позволяли использовать оборудование как-то иначе. Интеграция видеонаблюдения с цифровыми системами открыла возможность автоматизированно получать различные данные, анализируя последовательность изображений. Появились сложные алгоритмы анализа видео: подсчет посетителей, подсчет конверсии, статистика кассовых операций и многое другое. В этой системе исчезает оператор наблюдения, компьютеру предоставляется возможность «смотреть» и делать выводы. Самой простой пример умного видеонаблюдения – детекция движения. Один детектор способен заменить сразу несколько операторов видеонаблюдения, следовательно такая возможность и будет рассмотрена в данной диссертации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Одной из важных задач анализа видеопотока является поиск объекта, а также слежение за объектом, сопоставление изображения с базой данных, поиск дубликатов изображений.

Использование электронно–вычислительных средств цифровой обработки изображений способствует расширению функциональных возможностей бытовых устройств. Стабилизация, автоматическая настройка экспозиции, отслеживание лиц и многие другие подобные задачи решаются этими устройствами в реальном времени. Увеличение вычислительных мощностей процессоров позволяет разработчику реализовывать все более сложные алгоритмы и оснащать создаваемые устройства новыми функциями, практически граничащими с ожидаемыми возможностями искусственного интеллекта.

В связи с вышеизложенным, исследования в работе используются для поиска варианта детектирования объекта в видеопотоке.

Степень разработанности проблемы

На сегодняшний день существует достаточно большое количество работ в области детектирования объекта в видеопотоке.

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, оптическими аберрациями, и шумом приёмника (датчика). Для

реальных практических приложений задача должна обрабатывать видеопоследовательность в нормальной скорости получения потока данных.

Одним из недостатков в представленной литературе является неполная информация по компьютерному моделированию в области детектирования объекта в видеопотоке, а также ряд осложнений, вызванных искажениями анализируемого объекта. Предложенное исследование направлено на устранение данного недостатка.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка варианта слежения за объектом в видеопотоке.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи:**

- определение набора требований к системе поиска объекта в видеопотоке;
- исследование алгоритмов поиска объекта в видеопотоке;
- обоснование эффективного набора функций и структуры системы;
- разработка алгоритма поиска объекта в видеопотоке.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и белорусских ученых в области детектирования объекта в видеопотоке.

Для получения теоретических результатов исследования применялись различные модели и алгоритмы поиска объекта в видеопотоке. В результате чего были выделены слабые и сильные стороны различных методов и алгоритмов, что позволило прийти к наиболее приемлемому, для целей диссертации, алгоритму.

Информационная база исследования варианта слежения за объектом в видеопотоке, а также различные решения в этой области.

Научная новизна диссертационной работы заключается:

- в результатах анализа методов поиска объекта в видеопотоке, включающий шаги вычисления дескрипторов ключевых точек на основе предварительно проективных искажений эталона, и оценки меры схожести дескрипторов кадра и дескрипторов объекта, позволяющий уменьшить время поиска объекта;
- в разработанной модели формализованного описания параметров объекта, используемой для идентификации на базе совмещения интегральных и локальных признаков изображения объекта, обеспечивающая уменьшение ошибок поиска;
- в предложенном варианте детектирования объекта в видеопотоке, на основе проведенных исследований.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Систематизация информации по методам и алгоритмам детектирования объекта в видеопотоке, позволяющая увидеть отличия методов и их слабые, а также сильные стороны.

2. Анализ и сравнение методов и алгоритмов поиска объекта в видеопотоке, а также их систематизация и нахождение сильных и слабых сторон различных методов и алгоритмов.

3. Разработка алгоритма детектирования объекта в видеопотоке, исходящим на основе исследования алгоритмов поиска объекта в видеопотоке, основанного на обнаружении и сопоставлении локальных признаков изображения и использующего цветовую гистограмму для идентификации изображения объекта и позволяющего повысить вероятность обнаружения.

Теоретическая значимость диссертации заключается в создании варианта поиска объекта в видеопотоке на основе предложенной компьютерной модели.

Практическая значимость диссертации состоит в применении предложенной компьютерной модели поиска объекта в видеопотоке в программном обеспечении систем видеонаблюдения и анализа. Также вариант детектирования объекта в видеопотоке может быть применен в системах безопасности для поиска определённого предмета или человека. В реалиях современности поиск объектов и предметов является немаловажным фактором для предупреждения, а в некоторых случаях и предотвращения чрезвычайных ситуаций

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях и семинарах: 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2017 г.

Опубликование результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. В их числе 1 статья в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трех глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 63 страницы. Работа содержит 6 таблиц, 12 рисунков. Библиографический список включает 50 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, основные задачи, полученные научные результаты, обоснованы их достоверность, новизна и практическая ценность.

Проведен аналитический обзор работ по поиску и слежению за объектом в видеопотоке, который позволил выявить основные проблемы в данной области, установить возможные пути их решения.

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 не применяется 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.

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:

- алгоритм системы должен быть основан на поиске ключевых точек объекта;
- вычислительная сложность метода поиска должна быть минимально достижимой для применения в решении задач реального времени;
- алгоритм работы системы не должен содержать шаг предварительного обучения;
- 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;

- структура системы должна быть статической или сетевой.

Предложена модель представления изображения объекта в виде совокупности интегральных и локальных признаков изображения объекта, таким образом, методика поиска объекта представлена в виде двух этапов:

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

- 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.

Представлена диаграмма A0, на которой выявлены следующие основные функции (рисунок 1):

функция вычисления вектора дескрипторов по многомерной матрице проективно искажённых изображений объекта;

- функция вычисления гистограммы изображения объекта;

- функция извлечения кадра из видеопотока;

- функция вычисления вектора ключевых точек кадра;

- функция нахождения областей претендентов объекта;

- функция идентификации объекта в найденных областях претендентов на основании вычисления цветových гистограмм.

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.

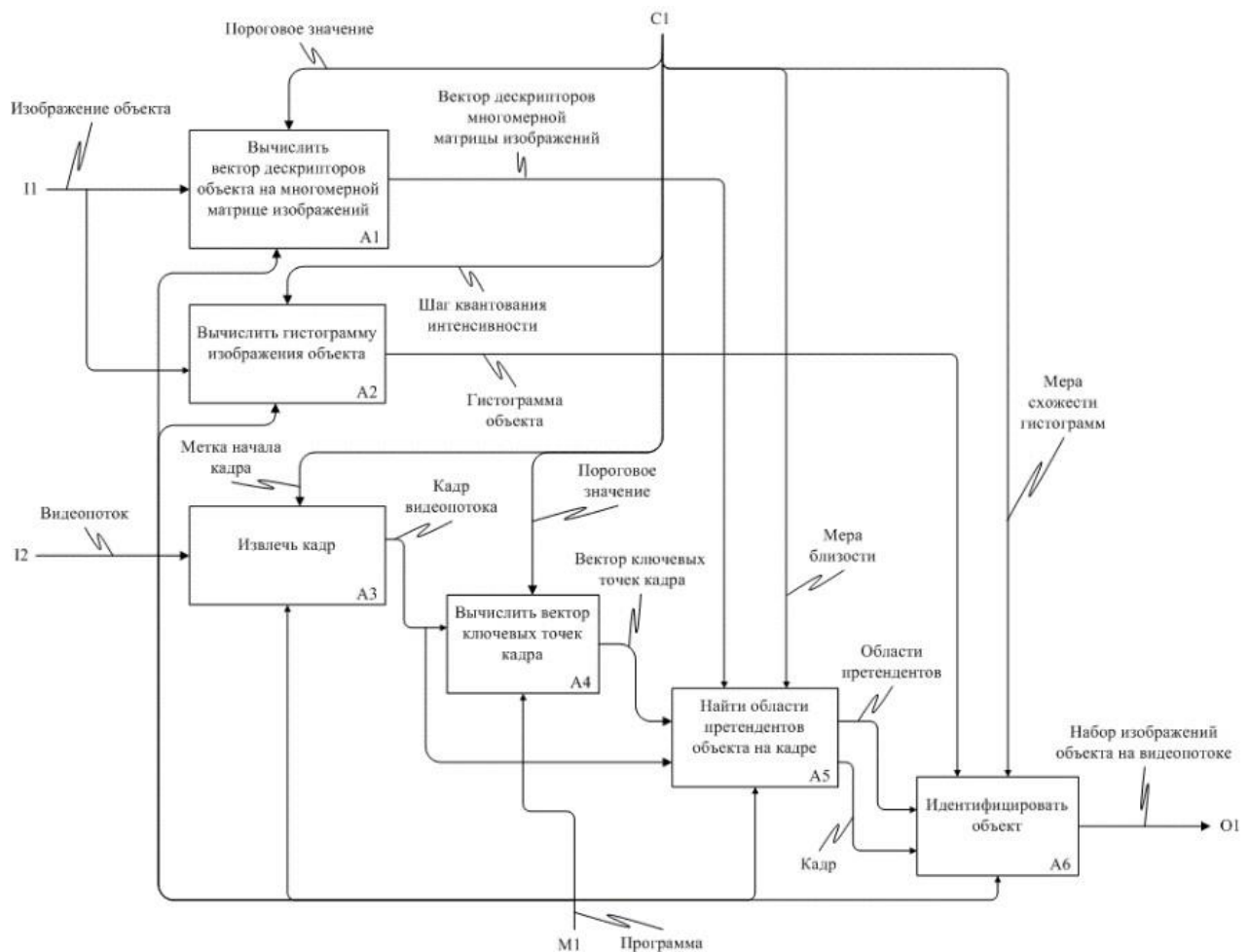


Рисунок 1 – Функциональная диаграмма A0

Таким образом, вычислительная сложность модифицированного алгоритма *SURF* уменьшится примерно в 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. Алгоритм идентификации должен определять, является ли область на кадре изображением или частью изображения объекта. Для этого алгоритм должен найти параметры окна на кадре по найденным областям, полученными на основании сопоставления локальных признаков изображения – ключевых точек.



Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма ограничения области поиска

Мера близости между дескрипторами кадра и изображением образца вычисляется по коэффициенту Бхаттачария. Представлена блок-схема функции удаления прямоугольных областей по пересечению с другими областями (рисунок 2).

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

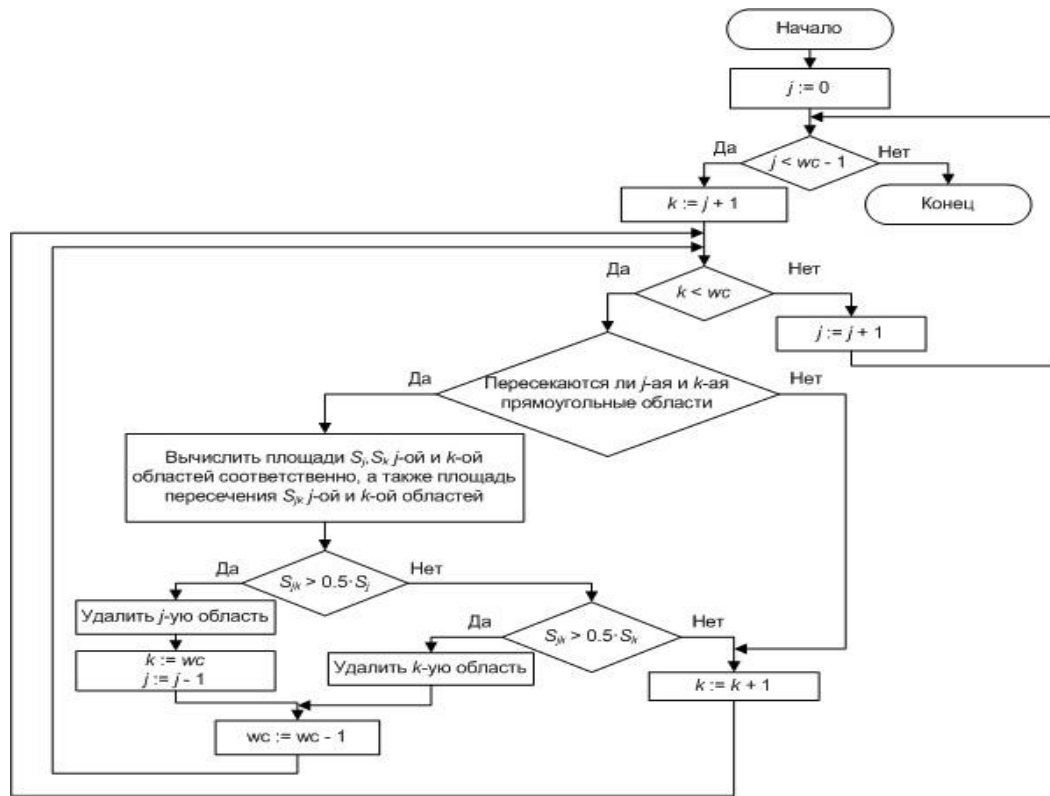


Рисунок 3 - Блок-схема процесса удаления прямоугольных областей поиска объекта

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 ρ_{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 1):

$$\rho_0 = \sum_{b \in B} \sqrt{hist_{ref} \cdot hist_{ob}} \quad (1)$$

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 2):

$$grad\rho_{i-1} = \left(\frac{\partial \rho_{i-1}}{\partial x}, \frac{\partial \rho_{i-1}}{\partial y}, \frac{\partial \rho_{i-1}}{\partial w}, \frac{\partial \rho_{i-1}}{\partial h} \right) \quad (2)$$

5.2 Вычислить коэффициент k_{i-1} (формула 3):

$$k_{i-1} \approx \frac{1 - p_i(x_{i-1}, y_{i-1}, w_{i-1}, h_{i-1})}{|\text{grad} \rho_{i-1}|} \quad (3)$$

5.4 Изменить параметры эллипса (формула 4):

$$(x_i, y_i, w_i, h_i) = (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta w_i, \Delta h_i) + (x_{i-1}, y_{i-1}, w_{i-1}, h_{i-1}) \quad (4)$$

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

5.6 Вычислить меру схожести ρ_i (формула 5):

$$\rho_i = \sum_{b \in B} \sqrt{hist_{ref} \cdot hist_{ob}} \quad (5)$$

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.

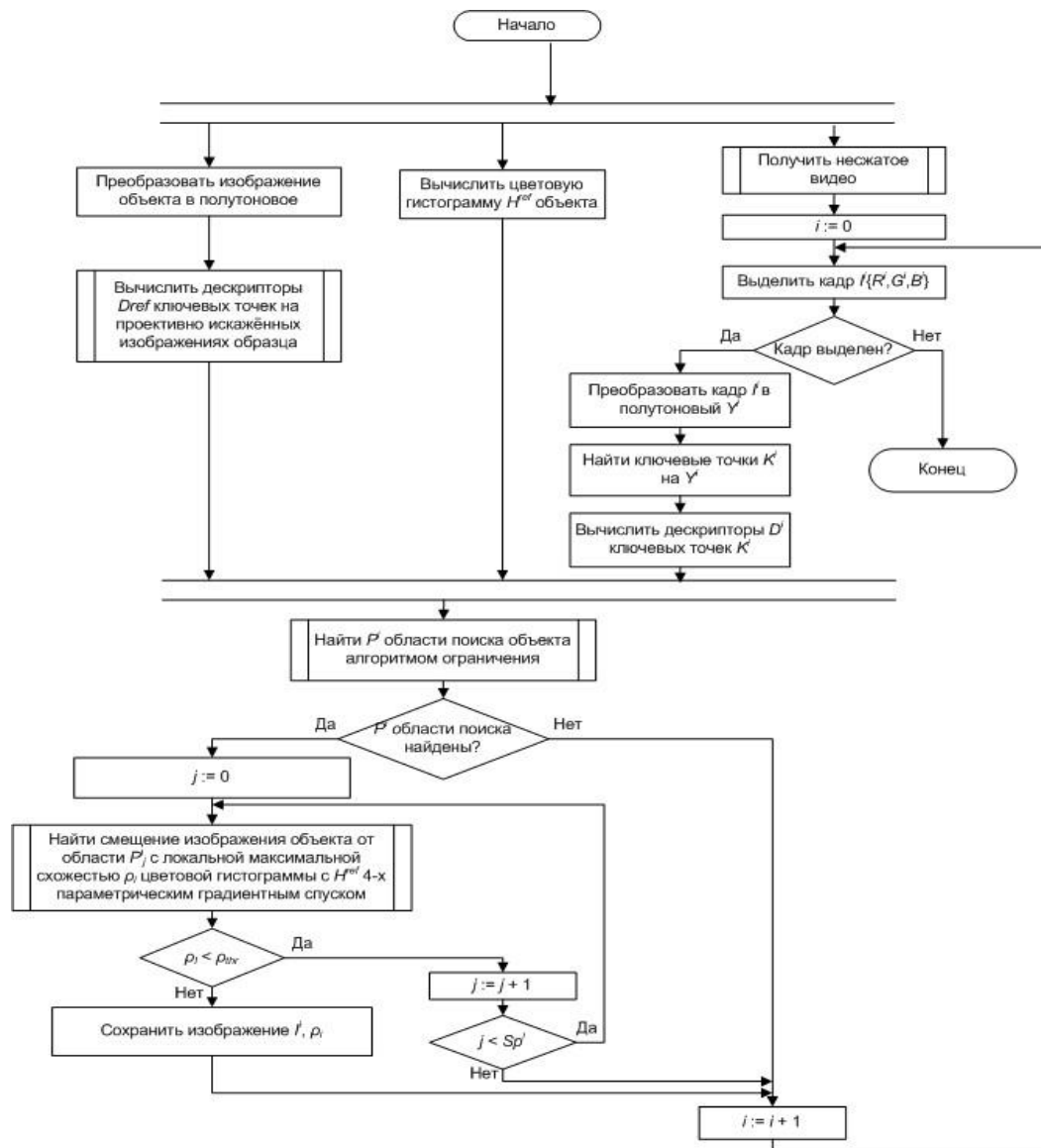


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма поиска объекта в видеопотоке

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

Рассмотрено исследование эффективности работы системы, сравнение результатов с аналогами.

Заключение

Предложенная методика поиска объекта в видеопотоке, основанная на анализе ключевых точек и использовании алгоритмов идентификации, инвариантных к проективным искажениям изображения.

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 по сравнению с быстроедейственным аналогом SURF.

Разработанный алгоритм ограничения области поиска объекта в кадре, основанный на оценке масштабов ключевых точек проективно искаженных изображений объекта, обеспечивает уменьшение времени поиска объекта по сравнению с алгоритмом RANSAC.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в сборниках материалов научных конференций

- [1]. Компьютерное моделирование устройства детектирования объекта в видеоопотоке / А.Л. Курец, Д.С. Григорук // XII международная научно-практическая конференция «Advances in Science and Technology», Москва, Россия, 2018.
- [2]. Автономные системы видеонаблюдения / А.Л. Курец, Д.С. Григорук // XIII международная научно-практическая конференция «Eurasiascience», Москва, Россия, 2018.
- [3]. Источники питания на солнечной энергии / Д.С. Григорук, А.Л. Курец // XII международная научно-практическая конференция «Advances in Science and Technology», Москва, Россия, 2018.
- [4]. Развитие солнечных элементов питания / А.Л. Курец, Д.С. Григорук // XIV международная научно-практическая конференция «Российская наука в современном мире», Москва, Россия, 2018.
- [5]. Микроструктура и оптические характеристики тонких пленок при создании солнечных элементов / Д.С. Григорук, А.Л. Курец // XIII международная научно-практическая конференция «Eurasiascience», Москва, Россия, 2018.
- [6]. Компьютерное моделирование устройства детектирования объекта в видеоопотоке / А.Л. Курец, Д.С. Григорук // 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, Беларусь, 2017.

РЕЗЮМЕ

Курец Андрей Леонидович

Компьютерное моделирование устройства детектирования объекта в видеопотоке

Ключевые слова: видеопоток, алгоритм детектирования объекта в видеопотоке.

Цель работы разработка варианта слежения за объектом в видеопотоке..

Полученные результаты и их новизна: проведен анализа методов поиска объекта в видеопотоке, включающий шаги вычисления дескрипторов ключевых точек на основе предварительно проективных искажений эталона, и оценки меры схожести дескрипторов кадра и дескрипторов объекта, позволяющий уменьшить время поиска объекта. Разработанной модели формализованного описания параметров объекта, используемой для идентификации на базе совмещения интегральных и локальных признаков изображения объекта, обеспечивающая уменьшение ошибок поиска. Предложен вариант детектирования объекта в видеопотоке, на основе проведенных исследований.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в лекционные курсы.

Область применения: видеоанализ.

РЭЗІЮМЭ

Курец Андрэй Леанідавіч

Камп'ютэрнае мадэляванне прылады дэтэктавання аб'екта ў відэастрэмені.

Ключавыя словы: відэастрэмень, алгарытм дэтэктавання аб'екта ў відэастрэмені.

Мэта работы: распрацоўка варыянту сачэння за аб'ектам у відэопатоке .. Атрыманыя вынікі і іх навізна: праведзены аналізу метадаў пошуку аб'екта ў відэастрэмені, які ўключае крокі вылічэнні дэскрыпцый ключавых кропак на аснове папярэдне праектыўных скажэнняў этало-на, і ацэнкі меры падабенства дэскрыпцый кадра і дэскрыпцый аб'екта, які дазваляе паменшыць час пошуку аб'екта. Распрацаванай мадэлі фармалізаванай апісання параметраў аб'екта, якая выкарыстоўваецца для Ідэн-тэфікацыі на базе сумяшчэння інтэгральных і лакальных прыкмет выявы аб'екта, якая забяспечвае памяншэнне памылак пошуку. Прад-ложэн варыянт дэтэктавання аб'екта ў відэастрэмені, на аснове прав-дэн-ных даследаванняў.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта інфарматыкі і радыоэлек-тронікі ў лекцыйных курсах.

Вобласць ужывання: відэааналіз.

SUMMARY

Kurets Andrey Leonidovich

Computer modeling of the object detection device in the video stream

Keywords: video stream, object detection algorithm in the video stream.

Objective: developing an option for tracking an object in a video stream.

The obtained results and their novelty: the analysis of the methods of object search in the video stream is carried out, including the steps of calculating the key point descriptors on the basis of preliminary projective distortions of the standard, and estimating the measure of the similarity of the frame descriptors and object descriptors, which reduces the search time of the object. The developed model of a formalized description of the parameters of the object used to identify on the basis of combining the integral and local features of the image of the object, providing a reduction in search errors. A variant of detecting an object in a video stream is proposed, based on the conducted studies.

Degree of use: the results are introduced into the educational process of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics into lecture courses.

Field of application: video analysis.