

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.932

ЛАМОВСКИЙ
Денис Владимирович

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА
ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЦ
И МОНИТОРИНГА ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ
В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.15 – Вычислительные машины и системы

Минск 2009

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель Садыхов Рауф Хосровович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: Абрамэйко Сергей Владимирович, академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, ректор Белорусского государственного университета

Борискевич Анатолий Антонович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры систем и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Оппонирующая организация Унитарное предприятие «Агат-Систем»

Защита состоится 1 октября 2009 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, тел. 293-89-89, e-mail: dissovvet@bsuir.by

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

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Задача цифровой обработки и анализа видеoinформации с каждым годом становится все более актуальной. Высокие требования к безопасности людей и имущества заставляют использовать большое количество камер для систем видеонаблюдения. Однако обработать все данные, полученные с помощью таких камер, с использованием только людских ресурсов все сложнее. Этим объясняется высокий интерес к автоматизации процессов обработки и анализа видеоданных в системах видеонаблюдения, что делает разработку методов и алгоритмов обработки видеoinформации в системах видеонаблюдения важной задачей в области машинного зрения.

В простейшем случае «интеллектуальная» система видеонаблюдения может привлекать внимание оператора или оповещать необходимые службы при обнаружении нежелательного движения, превышении скорости движения, появлении определенных объектов в поле зрения. Более сложная система должна следить за перемещениями объектов интереса, правильно обрабатывать их взаимодействие и уметь их классифицировать.

Существующие коммерческие цифровые системы видеонаблюдения позволяют решать задачи охраны и защиты имущества со значительным участием оператора. Интеллектуальная составляющая современных систем чаще всего представлена детектором движения и анализатором изменения сцены (несанкционированный поворот камеры, потеря фокуса, заслонение объектива). Дополнительно такие системы оснащаются модулем принятия решений, который позволяет задавать правила различного уровня сложности.

Обработка видеоданных в системах видеонаблюдения позволяет расширить их функциональность. При этом появляется возможность решать различные прикладные задачи: обнаружение пешеходов, лиц людей с последующей идентификацией, автомобилей, номерных знаков автомобилей и номеров вагонов с последующим распознаванием, оставленных без присмотра объектов; слежение за объектом; анализ плотности скопления людей и автомобильного трафика. Реализация каждой из перечисленных задач требует комплексного подхода к их решению, включающего ряд вспомогательных подзадач.

В диссертационной работе разработаны методы и алгоритмы анализа динамических изображений в системах видеонаблюдения с целью решения таких прикладных задач, как идентификация лиц в многоканальной системе видеонаблюдения и оценка количества пешеходов на станции метрополитена. Решение указанных задач позволит расширить возможности интеллектуальных систем видеонаблюдения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Исследования по теме диссертационной работы проводились в рамках научных программ:

1. «Разработка методов и алгоритмов идентификации человеческих лиц для систем видеонаблюдения реального времени», задание Министерства образования Республики Беларусь, ГР №20051430, срок выполнения с 1 марта 2005 г. по 31 декабря 2006 г.

2. «Разработка методов и алгоритмов обнаружения и распознавания лиц для систем видеонаблюдения реального времени», договор №Т05К-050 с БРФФИ от 1 апреля 2005 г., ГР №20061065, срок выполнения 1 апреля 2005 г. по 31 марта 2007 г.

3. «Разработать метод и алгоритмы детекции динамического фона на видеопоследовательности», грант Министерства образования для аспирантов от 19 февраля 2008 г., ГР №20080798, срок выполнения с 3 марта 2008 г. по 14 ноября 2008 г.

4. «Разработать теоретические основы, методы и алгоритмы анализа динамических 3-мерных изображений в задачах мониторинга для интеллектуальных систем машинного зрения», Государственная комплексная программа научных исследований «Научные основы новых информационных технологий» (ИНФОТЕХ), задание №16, сроки выполнения с 1 марта 2006 г. по 31 декабря 2010 г.

5. «Методы и алгоритмы детекции оставленных объектов на динамических изображениях для систем видеонаблюдения», договор №Ф08-113 с БРФФИ от 1 апреля 2008 г., ГР №20061065, срок выполнения с 1 апреля 2008 г. по 31 марта 2010 г.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов для автоматической обработки видеоданных в цифровых системах видеонаблюдения, которые направлены на решение ряда прикладных задач:

1) оценить реальные геометрические параметры наблюдаемых объектов, расстояние до них и их скорость на основе данных с одного сенсора;

2) оценить количество пешеходов, прошедших перед камерой системы в условиях плотного скопления людей;

3) получить изображения лица человека, движущегося перед камерой многоканальной системы видеонаблюдения с последующим распознаванием прошедшего.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи:

1. Разработать модель сцены, не требующей координатных преобразований.
2. Создать алгоритм построения модели сцены на базе наборов калибровочных линий.
3. Разработать быстрый корреляционный алгоритм определения оптического потока.
4. Создать алгоритм сопоставления пар ракурсов лица в условиях наблюдения с различных точек.
5. Разработать метод определения оптимального ракурса лица для задач распознавания.
6. Разработать метод уменьшения влияния различий в условиях освещения на точность идентификации лиц на основе PCA (Principle Component Analysis).

Объектом исследования являются видеоданные систем охранного наблюдения и изображения человеческих лиц. Предметом исследования выступают модели, алгоритмы и методы анализа и обработки видеoinформации и изображений лиц.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод оценки количества пешеходов, прошедших в поле зрения камеры видеонаблюдения, основанный на анализе потоков движения, не зависящий от способа установки камеры и позволяющий увеличить точность подсчета в случае движения людей плотным потоком.
2. Метод увеличения точности идентификации лиц на основе метода «собственные лица» при различных условиях освещения.
3. Алгоритм построения модели сцены для одноканальной системы видеонаблюдения, использующий в качестве калибровочных данных наборы параллельных линий в плоскости движения и не требующий знаний о реальных координатах точек сцены.
4. Алгоритм быстрого вычисления оптического потока на основе определения частичных сумм, использующий для оптимизации вычислений векторные команды процессоров общего назначения.
5. Алгоритм разреженного стереосопоставления для обнаружения стереолиц на видеопоследовательностях, полученных с нескольких камер, не требующий построения плотной карты глубины и применимый для поиска более чем одного лица на стереокадре.

Личный вклад соискателя

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Все алгоритмы, рассмотренные в работе, были разработаны и экспериментально исследованы автором самостоятельно. Научный руководитель принимал участие в постановке целей исследования, их предварительном анализе, а также в обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных конференциях: Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2006), г. Брест, Беларусь, 2006 г.; Nordic Signal Processing Symposium (NORSIG'2006), Университет Исландии, г. Рейкьявик, Исландия, 2006 г.; Информационные системы и технологии (IST'2006), г. Минск, Беларусь, 2006 г.; Pattern Recognition and Information processing (PRIP'2007), г. Минск, Беларусь, 2007 г.; IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advance Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2007), г. Дортмунд, Германия, 2007 г.; Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2008), г. Минск, Беларусь, 2008 г.; Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2008, пос. Кацивели, Крым, Украина, 2008 г.; International Multiconference on Computer Science and Information Technology (IMCSIT'2008), г. Висла, Польша, 2008 г.

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертационной работы опубликовано 14 печатных работ. Из них 4 статьи в научных журналах (1,5 авторских листа), 9 докладов в трудах международных конференций (3 авторских листа), 1 тезисы доклада на международной конференции (0,07 авторского листа).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и приложения.

В первой главе рассмотрены задачи обработки видеоданных в системах видеонаблюдения и существующие методы для их решения. Вторая глава посвящена разработке новых и улучшению показателей существующих алгоритмов анализа видеоданных в системах видеонаблюдения. В третьей главе рассмотрены модифицированные методы, направленные на решение прикладных задач в системах видеонаблюдения. В четвертой главе рассмотрено практическое применение разработанных алгоритмов в экспериментальных системах.

Объем диссертации составляет 152 страницы, 92 иллюстрации на 38 страницах, 13 таблиц на 3 страницах, библиография 125 наименований на 9 страницах и 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования.

В *первой главе* рассматривается проблема обработки видеoinформации с целью решения прикладных задач в цифровых системах видеонаблюдения. Главный акцент сделан на существующие методы и алгоритмы анализа, главной целью которых является замена оператора системы видеонаблюдения. Рассмотрены подходы к решению проблем, которые являются составными частями прикладных задач, поставленных перед автором. Было показано, что некоторые из существующих подходов могут быть применены без изменений, тогда как некоторые обладают определенными недостатками.

Одной из основных задач в интеллектуальной системе видеонаблюдения является задача моделирования сцены. Ключевым требованием к модели сцены является ее простота при построении и использовании. Первое обусловлено большим количеством устанавливаемых камер с заранее неизвестным сценарием использования, когда требуется быстро на месте либо удаленно произвести калибровку системы. При этом пользователь зачастую не должен обладать специальными знаниями о работе алгоритмов обработки. В связи с этим разработка модели, которая имела бы простой способ калибровки, не требующей определения реальных координат точек сцены, является весьма актуальной.

Для решения задачи выделения движения могут быть применены известные алгоритмы без значительных изменений, так как они позволяют получить приемлемый результат с высокой скоростью. Однако известные подходы к выделению оптического потока обладают высокой вычислительной сложностью. Поэтому весьма актуальной является задача улучшения скоростных показателей алгоритмов вычисления оптического потока, для обеспечения их работы в реальном масштабе времени.

Для детекции объектов на кадрах видеоизображения целесообразно использовать каскады слабых хааровских классификаторов, которые обладают относительно малой вычислительной сложностью. Однако данный подход не позволяет в чистом виде получить оценку качества выполненной детекции. Такая оценка может использоваться для получения наилучшего ракурса объекта при наблюдении его в динамических условиях, а также при наблюдении с нескольких точек. Постанализ полученного объекта требует

дополнительных вычислительных затрат, поэтому важным является получение оценки качества обнаружения на основе данных детектора.

Известные подходы к решению рассмотренных прикладных задач обладают рядом недостатков. Так, метод идентификации лиц на базе РСА требует доработки с точки зрения снижения зависимости его точности от изменений в условиях освещения. Существующие методы подсчета пассажиров требуют либо точного разделения объектов, либо обучения, либо специальных условий наблюдения. Поэтому разработка нового метода, который бы позволял с большой достоверностью оценивать количество прошедших в поле зрения камеры пешеходов и который был бы способен функционировать в условиях наблюдения плотного скопления людей при возможном перекрытии объектами друг друга, является весьма актуальной.

Во *второй главе* предложены алгоритмы предварительной обработки и анализа данных в системах видеонаблюдения.

Предложена *простая модель сцены*, позволяющая получить данные о ее структуре на основании данных с одного сенсора. Эта модель основана на следующих допущениях: объекты интереса движутся по поверхности, форма которой близка к плоскости; камера установлена на высоте h над этой поверхностью и направлена вниз под небольшим углом к ней (до 45°).

Модель состоит из двумерного поля коэффициентов масштаба, каждый элемент которого соответствует видимой точке поверхности движения на сцене. Значение коэффициента показывает отношение видимого размера объекта в конкретной точке к его размеру в базовой (нулевой) точке:

$$k_x = \frac{D_0}{D_x} = \frac{\Gamma_x}{\Gamma_0}, \quad (1)$$

где D_x – расстояние от камеры до точки x ,

Γ_x – видимый размер объекта в точке x .

На основании коэффициентов (1) можно получить дополнительную информацию об объектах на плоскости движения: расстояние до наблюдаемого объекта, реальный размер объекта, скорость его движения, области интереса для поиска объектов определенного размера.

Для построения описанной модели *разработан алгоритм, использующий простую калибровочную информацию*. В качестве калибровочных данных предложено использовать наборы параллельных линий в плоскости движения. Дополнительно для расчета модели указываются значения высоты установки камеры над плоскостью движения, разрешающую способность системы и фокусное расстояние объектива. На основе этих данных рассчитываются угол наклона камеры, расстояние до нулевой точки и поле коэффициентов.

Точки пересечения параллельных линий дают линию горизонта, определяющую угол наклона камеры. Для вычисления коэффициентов используются расстояния между параллельными линиями. *Достоинством нового алгоритма калибровки* является его простота. Он не требует от оператора-настройщика специальных знаний, а также в отличие от классических подходов к калибровке камеры не требует определения реальных координат точек сцены [4–А, 12–А].

Для решения задачи увеличения производительности методов оптического потока разработан *быстрый алгоритм вычисления функции взаимной корреляции* с применением векторных расширений процессоров общего назначения. За основу был взят оптимальный в вычислительном отношении метод, который использует методику частичных сумм для быстрого вычисления кросс-корреляции между областями кадров. Для эффективного применения векторных операций разработана схема хранения данных и алгоритм их обработки.

Разработанный алгоритм использовался для вычисления кросс-корреляционных коэффициентов на парах кадров размером 320×240 пикселей. В таблице 1 представлены измерения затрат машинного времени при выполнении указанной операции для всех точек кадра при использовании оптимизированного и неоптимизированного кода.

Таблица 1 – Затраты машинного времени в миллисекундах

Размер окна	Число коэффициентов на пиксель	C	C/ MMX/SSE
3×3	9	119	14
5×5	25	379	42

В обоих случаях удалось добиться значительного роста производительности. Коэффициенты, рассчитанные с помощью разработанного алгоритма, применялись для оценки оптического потока. В таблице 2 представлены временные затраты на вычисление оптического потока.

Таблица 2 – Время оценки оптического потока в миллисекундах

Размер кадров	3×3	5×5
640×480	85 (10 кадров/с)	159 (6 кадров/с)
320×240	19 (52 кадров/с)	45 (22 кадров/с)
160×120	4 (250 кадров/с)	7 (142 кадров/с)

Разработанный алгоритм позволяет оценивать поля движения на кадрах видеопоследовательностей низкого качества с высокой частотой кадров [1–А, 5–А, 6–А].

Для решения задачи поиска лиц в многоканальной системе видеонаблюдения разработан алгоритм детекции стереолиц. Под стереолицом понимается набор изображений лица с различных точек зрения, полученных в один момент времени. Алгоритм основан на разреженном стереосопоставлении объектов, найденных на кадрах видеопоследовательностей. Он является разреженным в том смысле, что работает с небольшим количеством точек сцены – это позволяет значительно повысить скорость его работы. Известные методы анализа лиц в стереосистемах на первом этапе строят плотные карты глубины и затем используют их для поиска лица. Для этого необходимо найти соответствие между кадрами для каждой точки сцены. Разработанный алгоритм проводит сопоставление только для точек, соответствующих объектам интереса. Объектами интереса выступают лица людей, обнаруженные на каждом из ракурсов наблюдения. Для детекции лиц используется каскад хааровских классификаторов. На рисунке 1 представлены изображения стереокадра с найденными лицами.



Рисунок 1 – Пара кадров, полученных стереоустановкой, на которых выделены найденные лица и соответствующие эпполярные линии

Степень соответствия пары лиц определяется произведением набора коэффициентов, каждый из которых соответствует корреляции некоторого параметра: K_1 – определяется точностью положения лица на эпполярной линии; K_2 – определяется степенью соответствия размеров лиц; K_3 – определяется соответствием гистограмм областей лиц.

Из всех возможных пар лиц к рассмотрению принимаются только те пары, для которых эпполярная линия, соответствующая центру области лица на левом кадре, проходит через область лица на правом. Это ограничение позволяет сразу отбросить большое количество заведомо ложных пар. Для каждой из возможных пар вычисляются коэффициенты, зависящие от положения и размера областей (K_1 и K_2), позволяющие отбросить значительную долю ложных соответствий. Для

оставшегося небольшого числа возможных пар вычисляется коэффициент соответствия K_3 , основанный на сопоставлении гистограмм.

Проведенные эксперименты показали высокую точность сопоставления областей на различных ракурсах. В таблице 3 представлены результаты тестирования.

Таблица 3 – Результаты работы алгоритма стереосопоставления лиц

Параметр	Левый ракурс	Правый ракурс
Число лиц	336	372
Обнаружено лиц	326 (97 %)	366 (98 %)
Всего пар	306	
Верно сопоставлено пар	286 (93,5 %)	
Невалидные пары по порогу	4 (1,3 %)	
Ложное сопоставление	2 (0,65 %)	
Количество лиц без пары	30	61

Таким образом, точность сопоставления составила 93,5 % [3–А, 11–А].

Достоинством представленного подхода является также то, что он в отличие от известных алгоритмов позволяет обнаруживать более одного лица на стереокадре. Для каждого найденного стереолица при необходимости может строиться карта глубины с целью получения информации о его трехмерной структуре.

Для оценки попадания найденного лица в трехмерную область интереса предложен способ *оценки глубины на стереоизображении*, не требующий проективных преобразований картинных областей. Разницу между положениями точки на разных ракурсах (диспаратет) предложено вычислять относительно эпиполярных центров, которые являются точками пересечения всех эпиполярных линий на соответствующем ракурсе. Это позволяет оценить расстояние до точки интереса. Такая оценка показывает, насколько близко объект находится к некоторой базовой точке [13–А].

Результаты работы алгоритмов, представленных в данной главе, используются как исходные данные для методов, направленных на решение прикладных задач в системах видеонаблюдения. Указанные методы рассмотрены в *третьей главе* диссертации.

Для решения задачи *оценки количества людей*, прошедших перед камерой системы видеонаблюдения, предложен новый метод, основанный на анализе потока движения. Под потоком движения понимается видимое движение точек изображения в процессе наблюдения. Для получения такого потока могут быть использованы алгоритмы сегментации движения и вычисления оптического потока. Данный метод основан на представленной *модели потока движения*. Она описывает наблюдаемого на сцене человека прямоугольником, высота

которого соответствует видимой высоте человека, а ширина выбирается таким образом, чтобы общая площадь прямоугольника соответствовала площади, занимаемой изображением человека на сцене. При прохождении человека через зону интереса им создается поток, который в идеальном случае равен площади описывающего его прямоугольника. На основе представленной во второй главе модели сцены определяется среднее значение этой площади, а значит, и потока, создаваемого человеком.

В случае когда люди движутся перед камерой с взаимным визуальным перекрытием, можно руководствоваться следующим: первое – пешеходы, двигаясь в толпе, сохраняют между собой определенную дистанцию. Второе – ситуация, когда люди движутся строго друг за другом, является маловероятной. То есть всегда существует некоторое видимое смещение объектов относительно друг друга. Эти два фактора позволяют сделать предположение о том, что поток видимого движения, вызванный несколькими людьми при загромождении ими друг друга, будет иметь скачкообразные изменения ширины в местах визуального перекрытия.

На практике силуэт объекта сильно отличается от прямоугольной формы. Поэтому в реальных условиях наблюдения графики потока через область интереса значительно отличаются от идеальной формы. На рисунке 2 представлены графики реального и идеального потоков через некоторую область. Идеальный поток определен как количество продвигающихся через область людей, умноженное на максимальную величину потока, соответствующего одному среднестатистическому человеку.

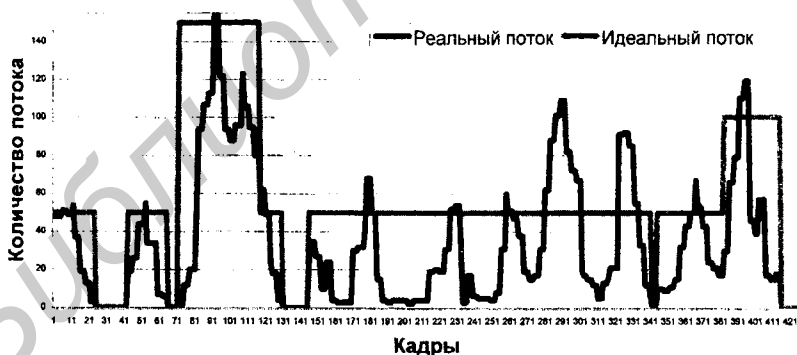


Рисунок 2 – Графики потоков через область на реальной сцене

Из графика видно, что продвижение объекта через область движения вызывает появление на графике потока участка пикообразной формы. Можно сказать, что картина потока соответствует описанной модели с тем отличием, что изменение количества потока не всегда вызвано изменением количества

наблюдаемых пешеходов. Оно также вызывается изменением ширины объекта в точке наблюдения при его движении. Однако изменение количества проходящих пешеходов вызывает значительный скачок уровня потока.

На основании анализа потоков, полученных на реальных сценах, был разработан алгоритм подсчета пешеходов, прошедших через область интереса. Он основан на мониторинге величины изменения уровня потока от кадра к кадру. При этом фиксируются моменты резкого возрастания потока, а также моменты его резкого убывания. Затем на основании данных о количестве потока между указанными моментами определяется количество прошедших пешеходов. Результаты тестирования предложенного метода на реальных данных представлены в четвертой главе.

Заключительная часть третьей главы посвящена задаче идентификации лиц в многоканальных системах видеонаблюдения. Для перехода от 2,5-мерного представления лица, которым является стереолицо, к двумерному представлению разработан *критерий определения степени доверия к положительному ответу детектора лиц*. Он показывает, насколько близко найденное лицо к среднему в обучающем наборе изображений, т. е. к фронтальному лицу. Данный критерий используется для определения наилучшего ракурса с точки зрения его последующего распознавания.

Для идентификации лиц в экспериментальной системе использован метод «собственные лица», который основан на анализе главных компонент. Недостатком данного метода является зависимость качества распознавания от условий освещения объекта. Для снижения этого влияния *разработан метод повышения точности распознавания лиц на базе метода «собственные лица»*. Показано влияние изменений в глобальном и локальном освещении лица на вектор признаков. Предложены модели, описывающие различные случаи возникновения теней на лице. Модели состоят из масок, каждая из которых представляет крайний случай соответствующей тени. Они используются для расширения тренировочного набора с целью стимуляции появления в пространстве «собственных лиц» компонент, которые «оттягивают» на себя изменения яркости тестового паттерна. Затем при вычислении расстояния между векторами признаков данные компоненты игнорируются, что соответствует игнорированию различных условий освещения. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.

Максимальный рост точности, которого удалось добиться, составил чуть больше 9 %. Основной недостаток описанного подхода состоит в значительном увеличении вычислительных затрат при построении базиса главных компонент. Модели тени применимы тогда, когда в наличии есть небольшое количество тренировочных изображений и необходимо предвидеть появление возможных изменений в условиях освещения [8–А].

Таблица 4 – Процент корректной идентификации в различных тестах

Тип модели	Число игнорируемых компонент			
	Нет игнорируемых компонент	Одна игнорируемая компонента (яркостная)	Две игнорируемые компоненты	Четыре игнорируемые компоненты
Без модели тени	77,83 %	79,45 %	80,57 %	78,13 %
Модель 2-х теней	78,44 %	80,46 %	85,22 %	–
Модель 4-х теней	78,44 %	81,17 %	–	86,94 %

В *четвертой главе* представлены результаты применения разработанных методов и алгоритмов в системах видеонаблюдения. Рассматриваемые системы нацелены на решение следующих задач: задача построения модели сцены для одноканальной системы видеонаблюдения; задача оценки пассажиропотоков на станции метрополитена с использованием системы видеонаблюдения; задача идентификации человека с помощью многоканальной системы видеонаблюдения.

Указанные задачи имеют общие алгоритмические компоненты, однако с прикладной точки зрения различны. Для реализации каждой из них были разработаны отдельные подсистемы, которые используют общие программные модули. Блок моделирования сцены выделен отдельно таким образом, чтобы его данные могли быть использованы другими блоками для обеспечения эффективного выполнения собственных алгоритмов.

Для практического применения метода подсчета людей разработана система оценки пассажиропотоков. Для тестирования алгоритма подсчета пешеходов на станции метрополитена были использованы видеоролики, полученные с камер системы видеонаблюдения (рисунок 3). Под анализ попали три зоны перед эскалатором и одна зона на лестнице перехода, где люди движутся в противоположных направлениях. В первом случае для вычисления потока движения использовались методы сегментации фона, а во втором – метод оптического потока.

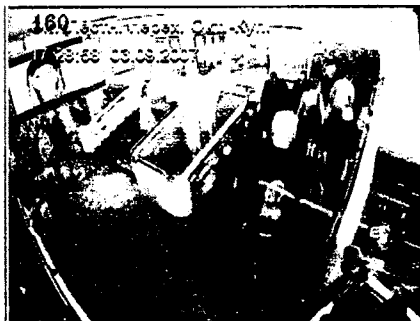
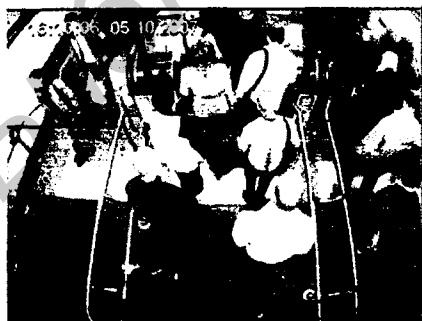


Рисунок 3 – Примеры обрабатываемых сцен

При правильном выборе параметров алгоритма можно добиться высокой точности подсчета. В таблице 5 представлены результаты тестирования метода.

Таблица 5 – Результаты тестирования метода оценки количества пешеходов

Время	Длительность	Обнаружено	Прошло	Ошибка, %
Сцена 1: Центральный эскалатор				
7:20:00	0:03:31	158	149	-6,040
7:23:31	0:03:22	165	165	0,000
Итого	0:24:59	1374	1383	0,651
Сцена 1: Левый эскалатор				
7:33:53	0:03:32	421	418	-0,718
7:40:57	0:04:02	478	496	3,629
Итого	0:24:59	2745	2766	0,759
Сцена 1: Правый эскалатор				
7:20:00	0:03:31	179	147	-21,769
7:23:31	0:03:22	161	142	-13,380
Итого	0:24:59	1456	1314	-10,807
Сцена 2: Движение к камере				
17:20:40	0:05:00	90	89	-1,124
17:25:40	0:05:00	99	112	11,607
Итого	0:15:00	303	318	4,717
Сцена 2: Движение от камеры				
17:20:40	0:05:00	102	95	-7,865
17:30:40	0:05:00	175	178	2,564
Итого	0:15:00	405	406	0,246

Ошибка возрастает при изменении плотности потока людей. Плотность пассажиропотока на станции метрополитена в нормальной ситуации изменяется предсказуемо в соответствии с графиком движения поездов. В моменты повышенной плотности потока алгоритм склонен завышать количество людей, а в моменты низкого потока – уменьшать их количество. Поэтому параметры подбираются таким образом, чтобы для данного времени суток наилучшим образом уравнивать положительные и отрицательные ошибки.

Ошибка оценки пассажиропотоков с помощью примененного метода не превышает 11 %. В таблице 6 представлены результаты подсчета пешеходов с применением известных методов, рассмотренных в первой главе.

Таблица 6 – Сравнение результатов с известными методами

Метод	Способ установки камеры	Наличие перекрытий	Точность подсчета	Тип подхода
Kim, Choi	Над головами	Нет	96 %	Трекинг объектов
Schlögl	Произвольно	Мало	75 %	Трекинг объектов
Schlögl	Произвольно	Много	15 %	Трекинг объектов
Roqueiro, Petrushin	Произвольно	Много	86,9 %	Анализ плотности областей движения (требует обучения)
Narasse, Bonnaud,	Произвольно	Возможно	85 %	Трекинг частей тела
Предложенный метод	Произвольно	Много	89 %	Анализ потока движения

Можно говорить о том, что точность предложенного метода существенно выше точности методов, основанных на трекинге объектов, особенно в случае наличия визуальных перекрытий объектами друг друга. Однако полученные результаты сопоставимы с результатами метода, основанного на анализе плотности областей движения. Последний требует обучения и не позволяет разделять людей, движущихся в различных направлениях. Таким образом, в отличие от известных разработанный метод позволяет увеличить точность подсчета в случае движения людей плотным потоком при наличии визуального перекрытия объектами друг друга [14–А].

Для решения задачи идентификации лиц разработана структура экспериментальной системы, которая состоит из двух программных модулей. Первый предназначен для регистрации лиц в многоканальной системе, а второй – для идентификации человека, наблюдаемого камерами. Оценено время работы модуля регистрации лиц (таблица 7).

Таблица 7 – Показатели быстродействия

Показателя	Полное изображение (3 Мп)	Изображение, ограниченное областью интереса (1,2 Мп)
Размер изображения	2048×1536 пикселей	1183×1060 пикселей
Время обработки кадра	~ 50 – 60 мс	~ 20 – 30 мс

Разработанный алгоритм позволяет проводить получение стереопар с большой вычислительной эффективностью благодаря алгоритму разреженного стереосопоставления объектов, найденных на стереоракурсах [4–А].

В *заключении* сформулированы основные научные результаты диссертации и рекомендации по их практическому применению.

Приложение содержит акты внедрения результатов диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Предложена простая модель сцены, состоящая из двумерного поля коэффициентов масштаба, значения которых показывают отношение видимого размера объекта в конкретной точке к его размеру в базовой (нулевой) точке (1). Это позволяет на основании данных с изображения оценить расстояние до объекта, скорость его движения. Рассмотрены примеры использования модели сцены для получения различной информации: размеров объектов, областей интереса. Разработан алгоритм построения предложенной модели сцены, использующий в качестве калибровочных данных наборы параллельных линий в плоскости движения. Отличительной особенностью алгоритма является то,

что он не требует определения координат точек сцены или их взаимоположения. Эксперименты позволили добиться точности определения расстояния до 15 см с погрешностью шага до 7 см/м [4–А, 12–А].

2. Разработан быстрый алгоритм для вычисления функции взаимной корреляции с применением векторных расширений процессоров общего назначения. Для эффективного применения векторных операций предложена стратегия хранения данных и разработан алгоритм их обработки. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность векторных расширений в области машинного зрения. Их применение позволило значительно повысить скорость обработки данных (см. таблицу 1). Разработанный быстрый алгоритм получения корреляционных коэффициентов применен для оценки оптического потока между кадрами видеопоследовательности, что позволяет вычислять оптический поток с высокой частотой кадров (см. таблицу 2) [1–А, 5–А, 6–А].

3. Разработан новый алгоритм детекции стереолиц в многоканальной системе видеонаблюдения, который основан на разреженном стереосопоставлении объектов, найденных на кадрах видеопоследовательностей. В отличие от существующих методов поиска изображений лиц в многоракурсных системах он не требует предварительного построения карты глубины, а также подходит для поиска более чем одного лица на стереокадре. Проведенные эксперименты показали высокую точность сопоставления областей на различных ракурсах (см. таблицу 3), что позволило по результатам тестирования добиться 93,5 % верного сопоставления пар. Предложена методика оценки глубины на стереоизображении, не требующая проективных преобразований картинных областей, которая использована для оценки попадания найденного лица в трехмерную область интереса. Ее использование наряду с разреженным алгоритмом стереосопоставления и эффективным с вычислительной точки зрения алгоритмом детекции лиц позволило добиться высокой скорости работы на изображениях большого разрешения (см. таблицу 7) [3–А, 11–А, 13–А].

4. Предложен новый подход для оценки количества людей, прошедших перед камерой системы видеонаблюдения, который основан на анализе потока движения. Получение потока основано на алгоритмах сегментации движения и оценки оптического потока. Отличительной особенностью алгоритма является возможность его применения независимо от варианта установки камеры, а также то, что он может быть применен для оценки плотного скопления людей. Представлена модель потока движения, которая используется в методе оценки количества пешеходов. Рассмотрены случаи, когда люди движутся перед камерой с взаимным визуальным перекрытием и без него. Сформулированы условия, при которых оба случая движения могут считаться идентичными, что приводит к единому алгоритму обработки данных. Показано, что поток движения, создаваемый людьми при перемещении через некоторую линейную

область, соответствует идеальному потоку движения, который создается моделью. Проведены эксперименты по подсчету прошедших людей в нескольких контрольных точках, для которых с помощью системы видеонаблюдения были получены видеоролики. Результаты показывают сравнительно небольшую ошибку подсчета (см. таблицу 5), которая составила порядка $\pm 11\%$. Полученный результат лучше результатов известных методов за счет инвариантности предложенного подхода к взаимным перекрытиям объектами друг друга (см. таблицу 6) [14–А].

5. Разработан метод повышения точности распознавания лиц на базе метода «собственные лица», который позволяет снизить зависимость влияния условий освещения на качество идентификации. Показано влияние изменений в глобальном и локальном освещении лица на вектор признаков. Предложены модели, описывающие различные случаи возникновения теней на лице. Описанные модели добавляются к тренировочному набору для стимуляции появления в пространстве «собственных лиц» компонент, которые «оттягивают» на себя изменения яркости тестового паттерна. Проведенные эксперименты показали, что применение моделей тени позволило увеличить вероятность верного распознавания на тестовой базе данных с 77,83 до 86,94 % (см. таблицу 4) [8–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты исследований использованы для практической реализации интеллектуальной системы видеонаблюдения реального времени. Научные и практические результаты диссертационной работы использованы в НИР, а также в ряде прикладных систем.

Так, алгоритм моделирования сцены одноканальной системы видеонаблюдения был использован в аппаратно-программном комплексе «Умная камера» для удаленной обработки видеоданных на стороне сенсора, а алгоритм разреженного стереосопоставления для построения стереолиц вошел в состав системы объемной регистрации лиц, разрабатываемой для использования в многоканальных системах видеонаблюдения реального времени.

Алгоритм оценки количества пешеходов был применен для автоматизации процесса оценки пассажиропотоков на пересадочном узле Октябрьская – Купаловская Минского метрополитена.

Кроме того, ряд результатов использован в учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1–А. Lamovsky, D. Estimation of the Cross Correlation Based Optical Flow for Video Surveillance / D. Lamovsky, R. Sadykhov // International Journal of Computing. – 2006. – №5. – P. 112–117.

2–А. Ламовский, Д. В. Инструментальная система для обработки видеoinформации / Д. В. Ламовский, Р. Х. Садыхов // Доклады БГУИР. – 2007. – №4. – С. 175–180.

3–А. Ламовский, Д. В. Детекция стереолиц в системах видеонаблюдения / Д. В. Ламовский, Р. Х. Садыхов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – №5. – С. 2–5.

4–А. Ламовский, Д. В. Алгоритм построения модели сцены для одноканальной системы видеонаблюдения / Д. В. Ламовский, Р. Х. Садыхов // Искусственный интеллект. – 2008. – №4. – С. 665–670.

Материалы конференций

5–А. Lamovsky, D. V. Fast cross correlation algorithm for optical flow estimation / D. V. Lamovsky, R. K. Sadykhov // 7th Nordic signal processing symposium (NORSIG'2006): proc. of the conference, Reykjavik, Iceland, June 7–9, 2006 / University of Iceland; edited by Johannes R. Sveinsson. – Reykjavik, 2006. – P. 322–325.

6–А. Lamovsky, D. V. Cross correlation function computation algorithm for video surveillance system / D. V. Lamovsky, R. K. Sadykhov // Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2006): proc. of Fourth International Conference, Brest, Belarus, May 30 – June 3, 2006 // Brest State Technical University; edited by V. Golovko. – Brest, 2006. – P. 103–106.

7–А. Ламовский, Д. В. Сравнительный анализ методов детекции движения для систем видеонаблюдения / Д. В. Ламовский, Р. Х. Садыхов // Информационные системы и технологии (IST'2006): труды 3-й Междунар. конф., Минск, Беларусь, 1–3 ноября 2006 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. Н. Курбацкий [и др.]. – Минск, 2006. – С. 221–226.

8–А. Lamovsky, D. V. Improved approach for face recognition using PCA / D. Lamovsky, R. Sadykhov // Pattern Recognition and Information processing (PRIP'2007): proc. of Ninth International Conference, Minsk, Belarus, May 22–24, 2007 / United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus; edited by A. Tuzikov [et al.]. – Minsk, 2007. – P. 235–239.

9–А. Combined Approach to Face Detection for Video-Surveillance / I. Paliy, Y. Kurylyak, V. Kapura, A. Sachenko, D. Lamovsky, R. Sadykhov // Intelligent Data Acquisition and Advance Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2007): proc. of the fourth IEEE Workshop, Dortmund, Germany, Septem-

ber 6–8, 2007 / University of Applied Sciences, Fachhochschule Dortmund; edited by A. Sachenko [et al.]. – P. 594–598.

10–А. Face detection algorithms for video-surveillance systems / A. Sachenko, I. Paliy, Y. Kurylyak, V. Kapura, R. Sadykhov, D. Lamovsky // Pattern Recognition and Information processing (PRIP'2007): proc. of Ninth International Conference, Minsk, Belarus, May 22–24, 2007 / United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus; edited by A. Tuzikov [et al.]. – Minsk, 2007. – P. 141–145.

11–А. Lamovsky, D. V. Stereo-faces detection for video surveillance in real time / D. V. Lamovsky, R. K. Sadykhov // Neural Networks and Artificial Intelligence (ICCNAI'2008): proc. of Fifth International Conference, Minsk, May 27–30, 2008 / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics; editor by R. Sadykhov [et al.]. – Minsk, 2008. – P. 186–189.

12–А. Ламовский, Д. В. Алгоритм построения модели сцены для одноканальной системы видеонаблюдения / Д. В. Ламовский, Р. Х. Садыхов // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ–2008: материалы междунар. науч.-техн. конф., пос. Кацивели, АР Крым, Украина, 22–27 сент. 2008 г. / Донецкий институт проблем искусственного интеллекта; редкол.: Т. А. Шевченко [и др.]. – Донецк, 2008. – С. 316–321.

13–А. Lamovsky, D. V. Algorithm for Real Time Faces Detection in 3D Space / D. V. Lamovsky, R. K. Sadykhov // Computer Science and Information Technology (IMCSIT'2008): proc. of International Multiconference, Wisla, Poland, October 20–22, 2008 / Polish Information Processing Society; edited by M. Ganzha [et al.]. – Wisla, 2008. – P. 727–732.

Тезисы докладов

14–А Ламовский, Д. В. Метод оценки пассажиропотока на базе анализа видеоданных систем видеонаблюдения / Д. В. Ламовский, Р. Х. Садыхов // Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ–БГУИР: тез. докл., Минск, 19 марта 2009 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; под ред. В. А. Ивкович. – Минск, 2009. – С. 148–149.



РЭЗЮМЭ

Ламоўскі Дзяніс Уладзіміравіч

Метады і алгарытмы апрацоўкі і аналіза дынамічных відарысаў для ідэнтыфікацыі твараў і маніторынга людскіх патокаў у сістэмах відэанагляду

Ключавыя словы: відэа, інтэлектуальны відэанагляд, аптычны паток, дэтэкцыя твараў, ідэнтыфікацыя твараў, падлік людзей, мадэліраванне сцэны.

Мэта работы: вырашэнне прыкладных задач ідэнтыфікацыі твараў у шматканальнай сістэме і ацэнка колькасці пешаходаў, якія прайшлі ў полі зроку.

Метады даследавання. У працы выкарыстаны метады абробкі відарысаў, распазнавання вобразаў і камп'ютэрнага мадэліравання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Для атрымання дапаможнай інфармацыі аб структуры сцэны на аснове даных з аднаго сэнсара распрацавана простая мадэль сцэны. Прадстаўлен алгарытм пабудовы прапанаванай мадэлі, які выкарыстоўвае ў якасці калібрывачнай інфармацыі наборы паралельных ліній у плоскасці руху.

Для аналізу дынамічных складаючых відарыса з дапамогай аптычнага патока распрацаваны хуткі алгарытм атрымання карэляцыйных каэфіцыентаў на аснове вылічэння частковых сумм з выкарыстаннем вектарных каманд працэсараў агульнага назначэння. Дадзены алгарытм выкарыстоўваецца ў прапанаваным метадазе ацэнкі колькасці пешаходаў, якія прайшлі ў полі зроку камеры відэанагляду. Указаны метадаз заснаваны на аналізе патокаў руху, што дазваляе ўжываць яго незалежна ад спосабу ўстаноўкі камеры, а таксама ў выпадку руха людзей шчыльным патокам.

Для рашэння задачы ідэнтыфікацыі твараў у шматканальнай сістэме відэанагляду распрацаваны алгарытм разрэджанага стэрэасапастаўлення, які выкарыстоўваецца дзеля ўстанаўлення адпаведнасці паміж тварамі, знойдзенымі на розных ракурсах. Ён дазваляе знаходзіць больш за адзін твар на стэрэаракурсах, што адрознівае яго ад існуючых метадаў. Для пераходу да задачы ідэнтыфікацыі выкарыстоўваецца крытэрыў выбару найлепшага відарыса твару ў кожнай з сапастаўленых пар. Лепшы ракурс выкарыстоўваецца дзеля распазнавання чалавека. З мэтай павелічэння дакладнасці ідэнтыфікацыі твараў з дапамогай метада «ўласныя твары» распрацаваны спосаб зніжэння ўплыву розных умоў асвятлення.

Галіна ўжывання: інтэлектуальныя сістэмы відэанагляду, якія выкарыстоўваюцца дзеля маніторынга людскіх патокаў.

РЕЗЮМЕ

Ламовский Денис Владимирович

Методы и алгоритмы обработки и анализа динамических изображений для идентификации лиц и мониторинга людских потоков в системах видеонаблюдения

Ключевые слова: видеоизображения, интеллектуальное видеонаблюдение, оптический поток, детекция лиц, идентификация лиц, подсчет людей, моделирование сцены.

Цель работы: решение прикладных задач идентификации лиц в многоканальной системе видеонаблюдения и оценка количества пешеходов, прошедших в поле зрения камеры.

Методы исследования. В работе использовались методы обработки изображений, распознавания образов и компьютерного моделирования.

Полученные результаты и их новизна. Для получения вспомогательной информации о структуре сцены на основе данных с одного сенсора разработана простая модель сцены. Представлен алгоритм построения предложенной модели, использующий в качестве калибровочной информации наборы параллельных линий в плоскости движения.

Для анализа динамических составляющих изображения с помощью оптического потока разработан быстрый алгоритм получения корреляционных коэффициентов на основе вычисления частичных сумм с использованием векторных команд процессоров общего назначения. Данный алгоритм используется в предложенном методе оценки количества пешеходов, прошедших в области видимости камеры видеонаблюдения. Указанный метод основан на анализе потоков движения, что позволяет применять его независимо от способа установки камеры, а также в случае движения пассажиров плотным потоком.

Для решения задачи идентификации лиц в мультиракурсной системе видеонаблюдения разработан алгоритм разреженного стереосопоставления, который используется для установления соответствия между лицами, найденными на различных ракурсах. Он позволяет находить более одного лица на стереоракурсах, что отличает его от существующих методов. Для перехода к задаче идентификации используется критерий выбора наилучшего изображения лица в каждой из сопоставленных пар. С целью увеличения точности идентификации лиц с помощью метода «собственные лица» разработан способ снижения влияния различных условий освещения.

Область применения: интеллектуальные системы видеонаблюдения, используемые для мониторинга людских потоков.

RESUME

Lamovsky Denis Vladimirovich

Methods and algorithms for dynamic images processing and analysis for face identification and people flow monitoring in video surveillance systems

Keywords: video processing, intelligent video surveillance, optical flow, stereo face detection, face recognition, pedestrians counting, scene modeling.

The main aim of this work is solving several applied problems such as face recognition in multicamera system and pedestrian counting.

Research methods: image processing, pattern recognition and computer modeling.

The obtained results and their novelty. Simple scene model was developed. It is used for scene structure understanding from single sensor. The algorithm for model generation is presented. The algorithm uses parallel lines as calibration information and doesn't require definition of real coordinates of scene points. It allows using it in wide range of scenarios and makes calibration process simple.

Fast area matching based algorithm for optical flow estimation is represented. It exploits cross correlation metric for correspondence estimation. The algorithm is based on partial sums method and uses vector extensions of modern general-purposes processors to achieve high frame rate of processing.

Fast optical flow algorithm is used in novel method for pedestrians counting. It is based on motion flow analysis to make a decision. Motion flow is a set of motion points at the image. It can be computed using optical flow or motion segmentation methods. The method can be applied in wide range of camera installation modes. Motion flow analysis allows to increase the accuracy when objects overlap each other.

Algorithm for stereoface detection in multi-camera system was developed for face identification purposes. It exploits sparse stereo matching algorithm for correspondence estimation between faces at different views of the scene. The algorithm processes several areas of the scene instead of building dense disparity map. Obtained stereofaces are used for best view estimation. Best face image is then used for person identification by eigenfaces technique. Method for recognition rate improving is presented. It uses shadow masks for training set extension that allow reducing influence of the difference in lightning conditions.

Field of application: the results of the dissertation can be applied in intellectual surveillance systems which are able to solve problems of people flow monitoring.

Научное издание

ЛАМОВСКИЙ ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА
ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЦ
И МОНИТОРИНГА ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ
В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

Специальность 05.13.15 – Вычислительные машины и системы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.07.2009. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая. Усл. печ. л. 1,63.

Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 60 экз. Заказ 487.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6.