

На правах рукописи



Лоханов Александр Васильевич

АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ И МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
ДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир - 2021

Работа выполнена на кафедре физики и прикладной математики (ФиПМ) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)

Научный руководитель: **Давыдов Николай Николаевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры ФиПМ ВлГУ, г. Владимир.

Официальные оппоненты: **Приоров Андрей Леонидович** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инфокоммуникаций и радиофизики ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль

Карпенков Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры робототехники и комплексной автоматизации, ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», г. Ковров Владимирской области.

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Владимирское конструкторское бюро радиосвязи», г. Владимир.

Защита состоится «22» сентября 2021 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.025.04 при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корпус 3, ауд. 301.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>.

Автореферат разослан «16» июня 2021 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, необходимо направить по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, кафедра РТ и РС, Самойлову А.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А.Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования, степень её разработанности

Методы и средства цифровой обработки и распознавания изображений относятся к числу одних из наиболее изучаемых и перспективных направлений развития телевизионных систем, используемых в различных отраслях народного хозяйства. На современном этапе развития телевизионной техники наблюдается увеличение объема видеоинформации, подлежащей оперативной передаче и аналитическому исследованию, что предопределяет необходимость повышения как скорости обработки видеоинформации, так и достоверности распознавания динамических телевизионных изображений.

Примером востребованности скоростных методов и средств обработки и достоверного распознавания видеоизображений (образов) являются, как системы ретрансляции и приема программ цифрового телевидения, так и сигнальные и охранные системы, системы распознавания лиц, системы кодирования биометрических данных, системы слежения за подвижными объектами и субъектами, системы дорожно-патрульной службы для контроля, регистрации и распознавания дорожно-транспортной обстановки, системы мониторинга запрещенного видео контента информационных платформ Интернета, медицинские диагностические системы, системы видео регистрации процессов электронной микроскопии и быстропротекающих в реальном масштабе времени научных экспериментов и др. При этом под образами понимаются не только регистрируемые динамические телевизионные видеоизображения, но и структурированное описание изучаемого объекта, субъекта или явления, представленное вектором признаков, каждый элемент которого характеризуется числовым значением параметров, отображающих конкретные свойства образа.

Под обработкой телевизионных изображений понимается не только стремление к улучшению их зрительского восприятия, но и процедура классификации видео субъектов, выполняемая в ходе анализа динамических изображений. При этом особое внимание уделяется вопросу обеспечения достоверности автоматизированного распознавания личности человека по биометрическим признакам относительно эталонных снимков за счет снижения ошибок 1 рода "False Rejection Rate" (FRR – вероятность отказа «своему») и ошибок 2 рода "False Acceptance Rate" (FAR – вероятность пропуска «чужого»).

Особый вклад в развитие методов и средств цифровой обработки телевизионных изображений и распознавания образов внесли советские и

русские ученые и их ученики Бакут П.А., Галушкин А.И., Гуляев Ю.В., Журавлев Ю.И., Загоруйко Н.Г., Потапов А.А., Снетков В.А., Соифер В.А., Фурман Я.А., а также такие отечественные и зарубежные авторы расчетных методов, моделей и алгоритмов, - в том числе, сопровождения объектов и субъектов на динамических телевизионных изображениях, - как Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Визильтер Ю.В., Васильев В.И., Гренандер У., Дуда Р., Кононюк А.Е., Приоров А.Л., Fisher Y., Khart P., Lucas B.D., Marr D., Kanade T., Pratt W.K., Roberts L.G., Sobel I.E. и др.

Объект исследования - цифровые системы, устройства и технологии контроля и распознавания полутоновых, в том числе, цветных телевизионных изображений.

Предмет исследования - методы, алгоритмы и модели распознавания, контроля и обработки телевизионных изображений и распознавания лиц.

Цель исследования – повышение эффективности и достоверности обработки и распознавания динамических телевизионных изображений в условиях хаотичности пространственного перемещения, визуального однообразия и многочисленности одновременно контролируемых субъектов съемки. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1) выполнить аналитические исследования современных методов и аппаратно-программных средств распознавания телевизионных изображений и лиц в условиях сложной помеховой обстановки;

2) разработать информационно-технологические модели, алгоритмы и методики распознавания лиц в условиях пониженной освещенности, при использовании одиночных архивных эталонов (фото) низкого качества и полутоновых динамических телевизионных изображений в виде сплошного потока кадров видеосъемки;

3) выполнить программную реализацию алгоритмов, обеспечивающих распознавание динамических телевизионных изображений, образов и лиц;

4) подготовить экспериментальный образец комплекса и провести лабораторные и натурные испытания разработанных аппаратно-программных средств обработки динамических телевизионных изображений и распознавания лиц;

5) реализовать результаты диссертационных исследований в инновационной научной и образовательной деятельности высших учебных заведений, а также в научно-производственной деятельности предприятий реального сектора промышленности.

Научная новизна результатов решения задач состоит в следующем:

- результаты исследования методов и аппаратно-программных средств распознавания телевизионных изображений и лиц в условиях сложной помеховой обстановки отличаются тем, что повышают вероятность распознавания в условиях изменения освещения, оптических искажений и перекрытия объектов за счет применения пакетного способа сравнения и принципа модульного объединения независимых методик и искусственных трансформаций регистрируемых изображений;

- разработанные информационно-технологические модели, алгоритмы и методики распознавания лиц в условиях пониженной освещенности отличаются возможностью использования одиночных архивных эталонов (фото) низкого качества и полутоновых динамических телевизионных изображений в виде сплошного потока кадров видеосъемки за счет структурной минимизации входных данных и совместного использования нескольких методов распознавания образов различного типа;

- результаты программной реализации алгоритмов, обеспечивающих распознавание динамических телевизионных изображений, образов и лиц, отличаются универсализацией аппаратно-программных средств, а именно, алгоритмов, реализующих принципы ближайшего соседа и попарного сравнения регистрируемых изображений с эталонами;

- результаты лабораторных и натурных испытаний разработанных аппаратно-программных средств обработки динамических телевизионных изображений и распознавания лиц, вошедших в состав образца комплекса «Стенд», отличаются более высокой достоверностью и результативностью по сравнению со специализированным алгоритмическим комплексом "COGNITEC";

- результаты разработки аппаратно-программного комплекса (АПК) «Стенд» отличаются востребованностью аппаратно-программных средств обработки динамических телевизионных изображений и распознавания лиц для использования в инновационной научной, образовательной и производственной деятельности учебных заведений и промышленных предприятий.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанные математические и информационно-технологические модели, алгоритмы и аппаратно-программные средства составили теоретическую основу системы распознавания телевизионных изображений и лиц, созданной в рамках выполнения государственных заданий и госбюджетных опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ. Система функционирует в виде образца АПК в

ВлГУ, и, кроме того, результаты диссертационной работы составили теоретическую первооснову для исследований, проводимых в ВлГУ, по государственному заданию Минобрнауки РФ от 17.03.2020г.

Научно-практическая значимость работы подтверждена рецензируемыми публикациями в журналах и в сборниках научных трудов, докладами на научных конференциях международного и российского уровня, а также государственными Свидетельствами РФ о регистрации программ для ЭВМ.

Практическая значимость работы подтверждена внедрением её результатов в инновационную научную и образовательную деятельность ВлГУ, их реализацией в рамках НИОКР Федерального казённого предприятия «Государственный лазерный полигон «Радуга» в г. Радужный Владимирской области, а также производственного предприятия ООО «Техника и технология» в г. Владимире и предприятия ООО «РУСОКСИД», г. Москва.

Методы исследования

При решении поставленных задач использовались современные научные достижения отрасли знаний о методах распознавания образов и цифровой обработке изображений, а также методы и средства компьютерного зрения, математического анализа, теории вероятностей и математической статистики. Для практической реализации алгоритмов и программ применялись современные численные методы и методы объектно-ориентированного программирования на языках Matlab, C++, C#.

Положения, выносимые на защиту:

- использование принципов модульного объединения независимых методик и искусственных трансформаций регистрируемых изображений наряду с разработанными информационно-технологическими моделями, алгоритмами и методиками распознавания лиц по одиночным архивным эталонам (фото) низкого качества в условиях низкой освещенности и сложной помеховой обстановки обеспечивает повышение вероятности детектирования образов до 0,98 и, в ряде случаев, до 1,00 за счет применения пакетного способа сравнения классов и исключения ложных срабатываний;

- программная реализация алгоритмов цифровой обработки полутонных динамических телевизионных изображений в виде сплошного потока регистрируемых кадров видеосъемки, обеспечивает повышение помехоустойчивости системы и вероятности среднего уровня распознавания лиц с 0,65 до 0,79, в том числе, при деградации описания классов;

- созданный образец комплекса аппаратно-программных средств «Стенд» при проведении лабораторных и натурных испытаний, а также при его применении в образовательной и производственной деятельности обеспечивает возможность совместного использования несколько методов распознавания различного типа и повышение быстродействия процедуры распознавания за счет модульного принципа построения комплекса, допускающего возможность добавления, исключения или замены подсистем верхнего уровня.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена использованием адекватного математического аппарата, результатами компьютерного моделирования, демонстрирующими эффективность предложенных алгоритмов и методик в идентификации образов, а также апробацией в печати и на научных конференциях различного уровня.

Апробация работы:

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-технических конференциях:

- XX международная научно-практическая конференция «Теоретические и методологические проблемы современных наук», г. Новосибирск, 2017 г.;
- Международная конференция по математической теории управления и механике, г. Суздаль Владимирской области, 2015 г.;
- XVIII всероссийская научно-методическая конференции «Телематика'2011», г. Санкт-Петербург, 2011 г.;
- Региональная научно-практическая конференция «Многоядерные процессоры и параллельное программирование», г. Барнаул, 2011 г.;
- XVII Всероссийская научно-методическая конференции «Телематика'2010», г. Санкт-Петербург, 2010 г.;
- IX международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», г. Санкт-Петербург, 2010 г.

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе две в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, получено 4 свидетельства о регистрации программ и базы данных для ЭВМ, изданы материалы 6-ти докладов в сборниках трудов научных конференций, включая международные.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 185 наименований источников

информации, и 5-ти приложений. Результаты исследования изложены на 139-ти страницах машинописного текста, включающего 54 рисунка и 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и степень её разработанности, определяется цель работы и подлежащие решению задачи, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, изложены используемые методы и средства исследования, обоснованы положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и примеры апробации достигнутых результатов.

В первой главе отражены "современные методы и средства распознавания, контроля и обработки телевизионных изображений", выполнено аналитическое исследование известных цифровых систем, устройств и технологий контроля, а также методов, моделей и алгоритмов обработки и распознавания полутоновых изображений при выполнении процедуры биометрической идентификации человека по изображению лица, например, при наличии единичного низкокачественного эталона. Определены научные задачи, подлежащие решению в процессе научно-теоретических и научно-прикладных исследований.

Показано, что известные методы и средства подразделяются на общую группу и группу специализированных методов. При этом общие методы характеризуются универсальностью применения, так как используются для распознавания произвольных объектов, а не только лиц (см., например, рисунок 1). К их числу отнесены методы главных компонент, линейного дискриминантного анализа, оптического потока, марковских моделей, нейросетевые методы.

Специализированные методы оперируют признаками, характерными именно для лица человека, разработаны для решения узкой задачи и, как правило, принципиально неприменимы для распознавания других объектов. К их числу отнесены методы анализа геометрических характеристик лица, сравнения эталонов, сравнения трехмерных моделей, гибридные и глобальные методы, метод сравнения эластичных графов (см. рисунки 2 и 3).

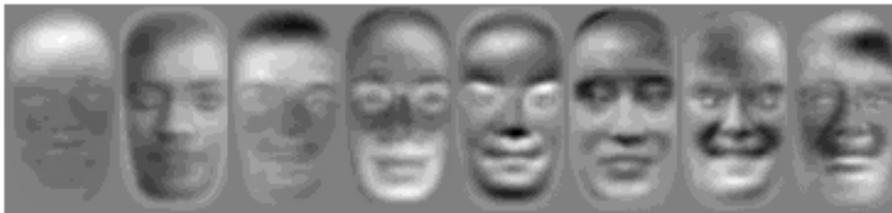


Рисунок 1 - Лицеподобные формы собственных векторов.

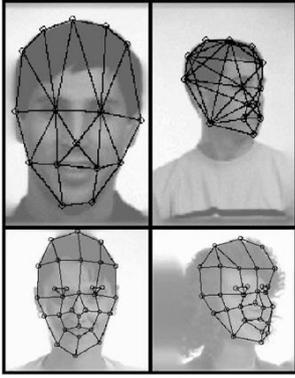


Рисунок 2 - Эластичный граф, покрывающий изображение лица.

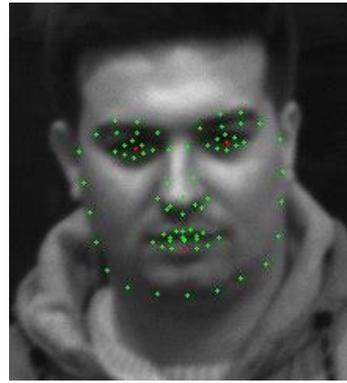


Рисунок 3 - Идентификационные точки и расстояния, наиболее часто применяемые при построении автоматизированных систем идентификации.

Например, в последнем случае процесс распознавания неизвестного лица состоит в сравнении графа изображения лица G^I со всеми остальными графами из набора B при помощи функции подобия:

$$S_B(G^I, B) = \frac{1}{N} \sum_n \max_m (S_\phi(J_n^I, J_n^{Bm})) - \frac{\lambda}{E} \sum_e \frac{(\Delta \bar{x}_e^I - \Delta \bar{x}_e^B)^2}{(\Delta \bar{x}_e^B)^2},$$

где N – количество вершин, E – количество граней, λ – коэффициент относительной важности топографической информации.

К настоящему времени в габитоскопии (науке о внешнем облике человека, методах собирания и использования данных) накоплен значительный объем знаний о биометрических инвариантных признаках лиц людей и предлагается использовать десятки и сотни признаков, допускающих достоверное описание внешнего облика для распознавания лица конкретного человека.

Однако следует заметить, что теория распознавания образов рекомендует относиться к проблеме выбора признаков с особым вниманием. От выбора признаков существенно зависит вычислительная сложность алгоритмов распознавания объектов, а также эффективность применения информационно-технологических моделей и средств. Поэтому в работе определены специализированные правила построения модели и конкретизированной структуры средств программно-алгоритмического обеспечения оптико-электронной системы обнаружения и распознавания образов.

Во второй главе отражены результаты "исследования и разработки методов и средств информационно-технологического обеспечения процессов

идентификации, контроля и обработки телевизионных изображений", обоснована технология выбора процесса распознавания и обработки изображений, а также разработаны информационно-технологические модели, алгоритмы и средства программного обеспечения удаленного контроля, диагностики и обработки изображений

Основу технологии выбора процесса распознавания на **этапе нормализации входного изображения** составляет алгоритм анализа изображения с возможностью маршрутизации процесса. Входными данными для алгоритма анализа и маршрутизации являются:

- а) не менее двух видеок кадров, поступающих из передающей части системы видеорегистрации;
- б) информация о положении объектов относительно кадра (силуэтная маска - ограничивающий прямоугольник).

Алгоритм анализа изображения с возможностью маршрутизации основан на процедуре слежения за точечными особенностями изображения, при этом под точечной особенностью понимается точка изображения, окрестность которой отличается от окрестности любой другой точки в некоторой обособленной окрестности данной особой точки.

Рассмотрены математические модели и алгоритмы решения задачи построения помехоустойчивой системы распознавания образов на телевизионных изображениях, при этом предложена следующая последовательность действий. Имеется совокупность $\{cl_s\}_n$ эталонных классов. Требуется определить принадлежность некоторого тестового объекта cl_t одному из уже имеющихся классов или же установить факт отсутствия этого объекта в любом из них. Формируется базисное понятие – «методика», то есть некоторый сравнительно простой алгоритм классификации объектов по эталонным классам. В основу положена гипотеза, состоящая в том, что, если тестовый объект соответствует некоторому эталонному классу, то значительное число используемых методик обладает свойством высокой степени схожести - так называемый согласованный результат. Если тестовый объект не соответствует эталонному классу, то результаты использования методик будут несогласованными. К избираемому множеству методик предъявляются следующие требования: во-первых, методики должны оценивать объект, основываясь на различающихся принципах; во-вторых, методики должны носить универсальный характер, то есть не должны быть отнесены к конкретному типу объектов, что означает принципиальную невозможность применения процедуры обучения. Для разрешения возникающей

проблемы описания класса необходимо ограничиться понятием описания, как предъявлением множества изображений, входящих в него объектов. Данное предложение обеспечивает возможность разработки алгоритма распознавания, представленного на рисунке 4, в соответствии со следующей процедурой.

Этап обнаружения объекта. Разработанный алгоритм обнаружения и детектирования лиц является модернизацией алгоритмов по методу Виола-Джонса, при этом введено понятие интегрального изображения. Каждый пиксель интегрального изображения представляет собою сумму значений всех пикселей исходного изображения, расположенных выше и левее текущего пикселя для представления исходного изображения, позволяющее осуществить быстрое вычисление характерных черт (особенностей), используемых при классификации изображения.

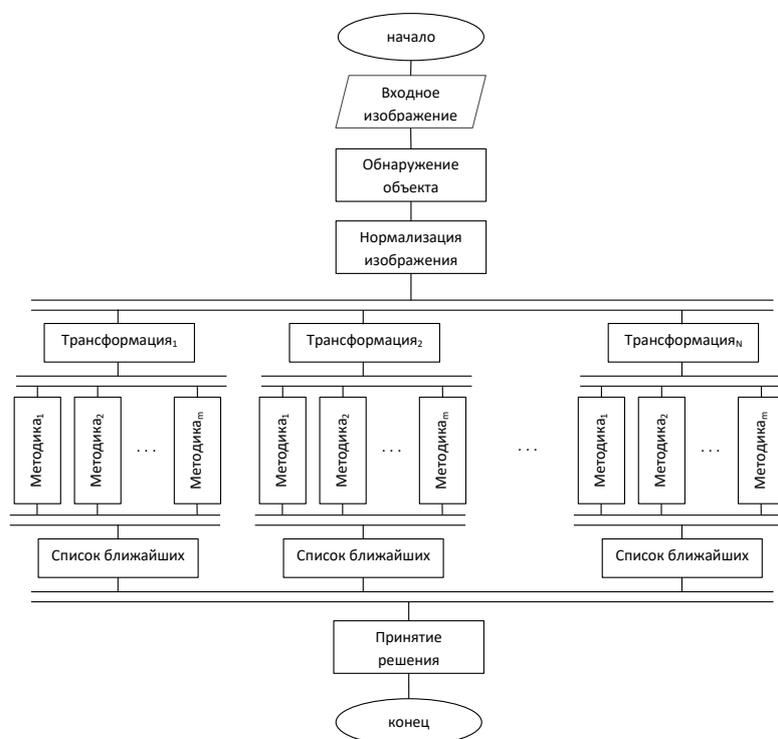


Рисунок 4 - Обобщенный алгоритм функционирования системы распознавания.

Этап нормализации входного изображения состоит в анализе и маршрутизации обнаруженного объекта, входными данными при этом являются пара видеокadres с передающей части системы, и информация о положении объектов относительно кадра (силуэтная маска - ограничивающий прямоугольник).

Разработанный алгоритм анализа изображения с возможностью маршрутизации основан на процедуре слежения за точечными особенностями изображения. Процедура слежения, использованная в системе, позволяет находить

точечные особенности изображения на кадре из видеопотока и обеспечивать их сопоставление на двух последовательных кадрах с целью определения смещения точечных особенностей сцены за промежуток времени между этими кадрами.

Этап формирования признакового описания лица. В данном случае разработана последовательность действий в пределах каждой методики, а именно:

- 1) трансформация, при этом входное изображение обрабатывается фильтром (комбинацией фильтров) общего назначения;
- 2) признаковое описание, при этом формируется набор чисел, характеризующих входное изображение (вектор, гистограмма, пакет);
- 3) сравнение, при этом, как правило, используется метрический способ сравнения полученных числовых характеристик.

Пример построения методики, основанной на дискретном косинусном преобразовании (ДКП), состоит в следующем:

- изображение не преобразуется или к изображению применяется гауссов фильтр (размытие);
- к изображению применяется разновидность Фурье-преобразования, например, ДКП;
- к изображению применяется синус-метрика.

В методике ДКП изображение рассматривается как совокупность пространственных волн, для которых оси X и Y проводятся параллельно продольной и поперечной осям, а по оси Z откладываются значения яркости соответствующего пикселя изображения (см. рисунок 5).

Для дискретного косинусного преобразования изображения $M \times N$ получено выражение вида:

$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I[x, y] \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right],$$

где $I[x, y]$ - яркость пикселя (x, y) ,

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{M}}, u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, u = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases}, \alpha(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, v = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}.$$

В качестве метрики для вычисления расстояния между векторами признаков (ВП) используется значение синуса угла между данными векторами:

$$D(h^1, h^2) = \sin(\widehat{h^1, h^2}) = \sqrt{1 - \cos^2(\widehat{h^1, h^2})} = \sqrt{1 - \left[\frac{\langle h^1, h^2 \rangle}{\|h^1\| \cdot \|h^2\|} \right]^2}.$$

Особенностью методики состоит в том, что при построении ВП структура поля изображения не анализируется и подвергается сканированию целиком (принцип структурной минимальности) (см. рисунок 6). Данный подход к построению ВП, обеспечивает устойчивость процедуры построения к искажениям и дефектам.

В качестве ВП используется не весь результат дискретного косинусного преобразования изображения человеческого лица, а только некоторая его часть. Низкочастотные коэффициенты в наибольшей степени определяют основные черты изображения. Высокочастотные коэффициенты соответствуют мелким деталям изображения. Остальные разработанные методики обладают аналогичными свойствами.

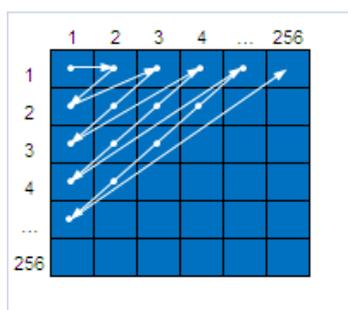


Рисунок 5 - Порядок нумерации элементов.

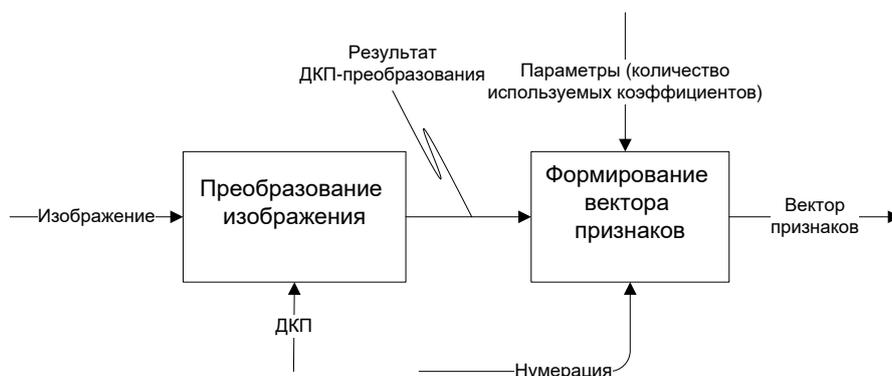


Рисунок 6 – Схема формирования вектора признаков при использовании ДКП.

Предложено дополнить стандартные методики группой методик, основанных на пакетном принципе сравнения. Например, известно, что при изучении текстуры изображения применяется метод, основанный на анализе семейства изображений, полученных с помощью различных фильтров как комбинация искажений анализируемого изображения. Данный принцип предлагается распространить на распознавание лиц. В качестве искажений применяются гауссовы фильтры, набор которых строится на основе двух групп параметров. Одна группа — это параметры самих гауссовых фильтров, другая группа – это весовые коэффициенты, с которыми первые включаются в линейную комбинацию. При этом предлагается исключить настройку по второй группе параметров, принципиально рассматривая все возможные линейные комбинации изображений, к которым применены гауссовы фильтры из заранее фиксированного набора. Как было указано выше, для сравнения в метрике используются не сами изображения, а результаты их сканирования-

сжатия (например, векторы, состоящие из части коэффициентов дискретного косинусного преобразования), то есть на картах размером 256x256 пикселей выбираются порядка 200 коэффициентов. Таким образом, формируется объект, который определяется как «пакет». При этом возникает значительное число возможных вариантов построения «пакетов», в которых допускается комбинирование последовательности применения преобразующих фильтров, различных приемов сканирования-сжатия и т. д.

Процедура построения «пакета» заключается в следующем. Пусть a_1, \dots, a_K – это векторы признаков, полученные в результате сканирования-сжатия (с помощью ДКП), а π – это линейное пространство, образованное данными векторами. Если для его нахождения применить стандартную ортогонализацию, то ортонормированный базис e_1, \dots, e_K пространства π будет являться «пакетом».

При сравнении «пакетов», полученных подобным образом, необходимо использовать специальную метрику – она должна характеризовать расстояние между соответствующими линейными пространствами. Наилучшим образом для этого подходит метрика на основе определителя Грама. Для упомянутого набора векторов a_1, \dots, a_K определитель Грама задается формулой: $\Gamma(a_1, \dots, a_K) = \det(\langle a_i, a_j \rangle)$ – определитель матрицы, составленной из скалярных произведений.

Пусть имеется два пространства (пакета) π и π' , построенных на наборах векторов a_1, \dots, a_m и a_{m+1}, \dots, a_{m+n} . Тогда справедливо неравенство

$$\Gamma(a_1, \dots, a_{m+n}) \leq \Gamma(a_1, \dots, a_m) \cdot \Gamma(a_{m+1}, \dots, a_{m+n}).$$

Равенство возможно в тех случаях, когда пространства π и π' ортогональны или один из определителей равен нулю. Так как зачастую на доступных изображениях оба случая практически не реализуемы, то расстояние между пространствами π и π' следует определить следующим образом

$$d_{m,n} = \frac{\Gamma(a_1, \dots, a_{m+n})}{\Gamma(a_1, \dots, a_m) \cdot \Gamma(a_{m+1}, \dots, a_{m+n})}.$$

Возможность применения подобных моделей предопределена, в том числе, тем обстоятельством, что изображения из базы данных зачастую получены при совсем других условиях освещения и качестве съемки.

В третьей главе отражены результаты "исследования и разработки средств технического и методического обеспечения процессов распознавания, контроля, диагностики, испытания и управления видеосистемами", обоснована структура информационно-технических средств визуализации процессов распознавания, контроля, диагностики и испытания видеосистем, разработаны средства информационно-программного кодирования при взаимодействии элементов

визуализации с элементами интерактивного управления видеосистемами, предложена методика управления средствами видеоконтроля процессов распознавания.

Система реализуется в составе следующих подсистем: регистрации, распознавания, управления, интеграции и пользовательского интерфейса.

Конструктивно, каждая подсистема состоит из набора компонент – сборок .NET, исполняемых файлов, файлов конфигурации, баз данных, динамических библиотек и т.п. Размещение компонент по узлам зависит от функций, выполняемых каждой подсистемой в составе того или иного узла. При этом некоторые компоненты связаны с внешними службами, дополнительно устанавливаемыми на соответствующих узлах.

Подсистема регистрации предназначена для получения видеоданных с устройств передающей части системы, их декодирования и последующего анализа с целью обнаружения лиц людей в зоне наблюдения. В задачи подсистемы регистрации также входит ведение архивной базы данных и видеозапись.

Подсистема регистрации является источником данных для ключевых функций комплекса, поэтому она тесно интегрирована со всеми остальными подсистемами. В состав подсистемы входят компоненты, изображенные на рисунке 7.

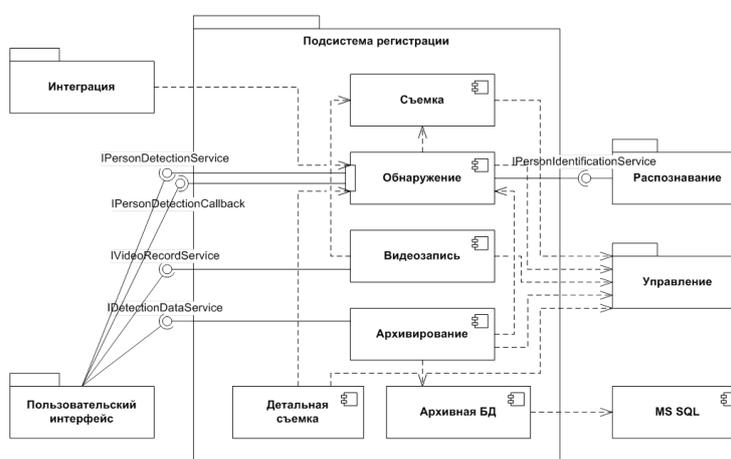


Рисунок 7 - Подсистема регистрации.

Подсистема распознавания предназначена для идентификации личности человека по изображению лица, фиксируемого подсистемой регистрации. Также в число задач подсистемы входит обслуживание оперативной базы идентифицируемых личностей.

Подсистема управления объединяет несколько разнообразных компонент, выполняющих различные служебные функции, необходимые для продуктивной работы остальных подсистем (см. рисунок 8).

Подсистема интеграции предназначена для сопряжения системы с внешними средствами безопасности и контроля доступа. Сопряжение обеспечивается путем трансляции видеоданных, полученных от подсистемы регистрации, сопутствующих данных об обнаруженных объектах, а также информации о событиях распознавания и решениях, принимаемых оператором (см. рисунок 9). Подсистема интеграции осуществляет трансляцию этих данных посредством разработанных протоколов.

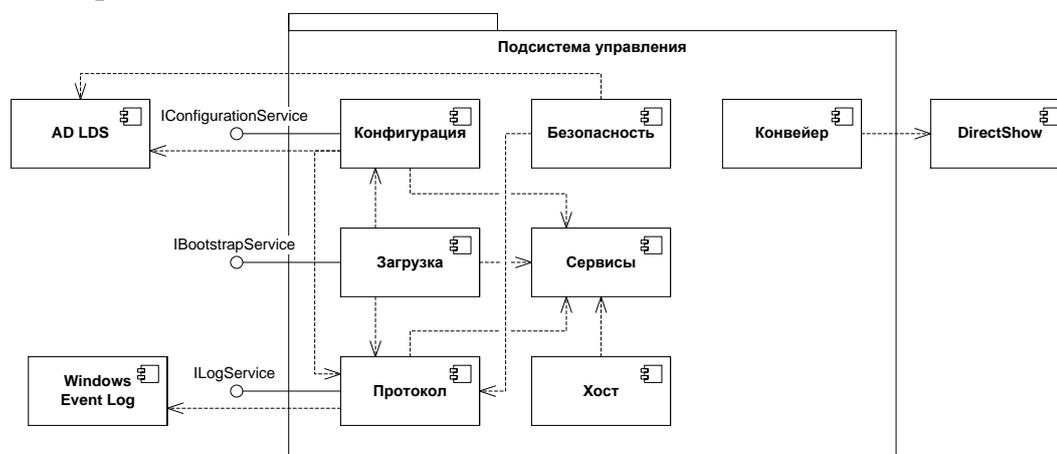


Рисунок 8 - Подсистема управления.

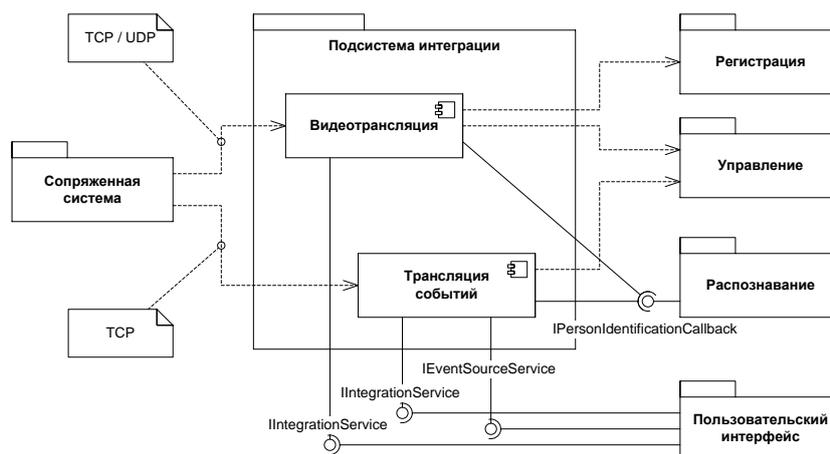


Рисунок 9 - Подсистема интеграции.

Подсистема пользовательского интерфейса представляет собой средство взаимодействия обслуживающего персонала со всеми подсистемами для

использования комплекса по назначению. Задачей подсистемы является наиболее полное отображение информации о функционировании всех модулей АПК как программных, так и аппаратных, а также обеспечение удобства выполнения функций оператором (см. рисунок 10).

В четвертой главе отражены результаты экспериментального исследования средств распознавания, контроля и обработки изображений, а также внедрения в учебный процесс и в промышленности разработанных аппаратно-программных средств, алгоритмов и моделей процессов распознавания динамических телевизионных изображений.

Обобщены и проанализированы результаты лабораторных и натуральных испытаний АПК по распознаванию лиц, выполненные в ВлГУ и на станции метро «Ладожская» в г. Санкт-Петербург (см. рисунок 11). Дана оценка выявленным недостаткам системы, их причинам и проведена модернизация АПК. Результаты испытаний зафиксированы на видеозаписях. Проведены экспериментальные исследования разработанных аппаратно-программных средств в сравнении с известными системами на основе «SDK Cognitec Systems GmbH».

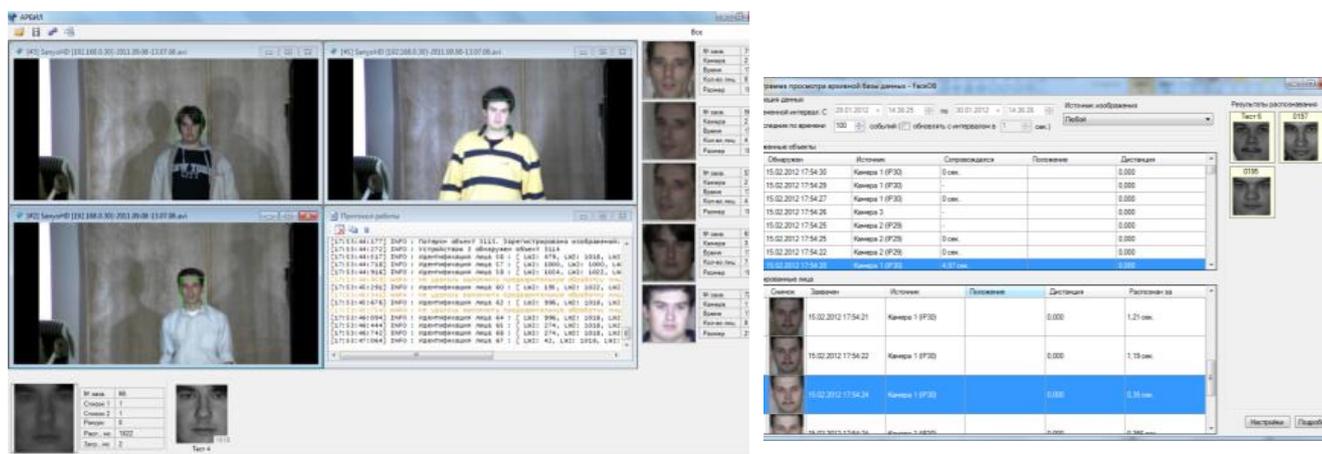


Рисунок 10 - Программная реализация - интерфейс приложения.

Обобщенная схема функционирования программного обеспечения модернизированного АПК представлена на рисунке 12, при этом:

- кадры с каждой из двух камер (в турникете и на колонне) независимо обрабатываются детектором лиц; результаты обработки отображаются на экране монитора оператора в окне просмотра видеоизображения в виде «рамки», ограничивающей лицо;

- обнаруженные изображения лиц поступают в общую очередь регистрации, последовательно записываются в базу данных АПК и отображаются в интерфейсе оператора как детектированные лица;

- после записи в базу данных изображение поступает в один из 10-ти параллельных потоков распознавания, при этом в каждом из потоков выполняется обработка изображения с извлечением биометрических параметров и характеристик по 5-ти методикам, а также поиск эталонов по базе данных;

- по завершении процедуры распознавания выполняется сохранение результатов поиска в базе данных АПК и отображение результатов на экране монитора оператора.

Сравнительные испытания выполнены в трёх режимах, которые получили условные наименования – «кривое зеркало», «наложение тумана» и «фотороботы» (см. рисунок 13).



Рисунок 11 - Монтаж камеры в турникете станции метро «Ладожская», г. Санкт-Петербург.



Рисунок 12 - Схема функционирования программного обеспечения в ходе испытаний.



Рисунок 13 - Вариант искажений «кривое зеркало» (а) и наложение маски «туман» (б).

Проблемы, которые выявились в результате экспериментов, подтвердили, что аппаратно-программные решения, построенные на использовании известных средств типа "SDK COGNITEC FaceVACS 8.4", эффективны лишь в обычной обстановке. Однако в условиях хаотичности пространственного перемещения, визуального однообразия и многочисленности одновременно контролируемых субъектов съемки при недостаточной освещенности, при наличии визуальных искажений телевизионного изображения и низком качестве эталонных фото возникают затруднения в применении известных систем. Показано, что достоверный результат распознавания лиц обеспечивается применением набора алгоритмов, оценивающих, например, только текстурное содержание фото. Данные испытаний подтверждают целесообразность применения универсальной платформы разработанного комплекса, который базируется на принципе использования многочисленных разноплановых аппаратно-программных средств и инструментов. При этом универсальная платформа дополняет узкоспециализированные методы.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования:

- исследованы методы и средства процесса распознавания и обработки телевизионных изображений, разработана структура процедуры распознавания лица человека на цифровом изображении;

- предложены новые информационно-технологические модели и алгоритмы распознавания и обработки телевизионных изображений, обоснованы этапы предварительной подготовки изображения, определена эффективность применения методов признакового описания;

- исследованы и разработаны средства программного обеспечения удаленного контроля, диагностики и обработки телевизионных изображений, проработан способ пакетного сравнения эталонных и тестовых изображений, предопределяющий процедуру предварительного применения трансформаций;

- разработана структура информационно-технических средств визуализации процессов распознавания, контроля, диагностики и испытания видеосистем, выполнено проектирование программной части системы, проведена декомпозиция на подсистемы и модули;

- реализованы средства информационно-программного кодирования для взаимодействия элементов визуализации с элементами интерактивного управления видеосистемами, определен состав средств системного программного обеспечения;

- предложена методика управления средствами видеоконтроля процессов распознавания, выполнена программная реализация алгоритмов и структуры данных, входящих в состав разработанных модулей;

- реализованы программы и база данных для ЭВМ, вошедшие в состав АПК «Стенд», а именно, программа полуавтоматической аппроксимации экспериментальных данных базисным набором гауссиан (см. Свидетельство № 2017611477); программное обеспечение автоматизированного тестирования алгоритмов распознавания лиц (см. Свидетельство №2014612123); модульная программа идентификации человека по растровому двумерному изображению лица (см. Свидетельство №2011611917); база данных биометрических признаков (см. Свидетельство №2010620768);

- разработан и изготовлен экспериментальный образец АПК «Стенд» для проведения лабораторных и натурных испытаний в реальных условиях эксплуатации;

- выполнены экспериментальные лабораторные и натурные исследования средств распознавания, контроля и обработки телевизионных изображений на объекте транспортной инфраструктуры метрополитена в г. Санкт-Петербург (станция "Ладужская"), дан анализ недостатков в работе программного обеспечения и выполнена доработка аппаратно-программных средств, достигнута вероятность корректного распознавания лиц при использовании единичных низкокачественных эталонов до 0,7 ... 0,79 (70...79%);

- проведены экспериментальные исследования аппаратно-программных средств в сравнении с известными системами на основе «SDK Cognitec Systems GmbH» в условиях неравномерного естественного освещения, перекрытия лиц субъектов в сплошном потоке пассажиров в «пиковые» часы работы метрополитена, показаны преимущества разработанных аппаратно-программных средств;

- подтверждена востребованность и практическая значимость аппаратно-программных средств обработки динамических телевизионных изображений и распознавания лиц для использования в инновационной научной, образовательной и производственной деятельности учебных заведений и промышленных предприятий.

В качестве рекомендаций по развитию темы предлагается использовать научно-теоретические и научно-прикладные результаты исследования, достигнутые в диссертационной работе при разработке новых методов и средств распознавания образов и модернизации известных методов биометрической

идентификации людей, в том числе, при создании систем безопасности и контроля доступа в охраняемые зоны, а также при организации поиска лиц, находящихся в розыске.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях

1. Лоханов, А.В. Исследование искаженных изображений при помощи инструментов текстурного анализа [Текст] / Д.Г. Васильченкова, А.С. Голубев, М.Ю. Звягин, А.В. Лоханов // Проектирование и технология электронных средств. — 2017. — №3. — С. 41-47.

2. Лоханов, А.В. Усовершенствованное распознавание образов на основе квази-эталонных образов [Текст] / А.С. Голубев, М.Ю. Звягин, А.В. Лоханов, Л.А. Семин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2015. - № 4 (358). - С.236-240.

Свидетельства о государственной регистрации программ и базы данных

3. Лоханов, А.В. Полуавтоматическая аппроксимация экспериментальных данных базисным набором гауссиан [Текст]: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017611477 / А.А. Куприянов, А.С. Голубев, М.Ю. Звягин, А.В. Лоханов. - № 2016663261; заявл. 05.12.2016; зарегистр. 03.02.2017.

4. Лоханов, А.В. Программное обеспечение автоматизированного тестирования алгоритмов распознавания лиц [Текст]: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014612123 / А.С. Голубев, И.В. Курочкин, А.В. Лоханов, П.Ю. Шамин. - № 2013619560; заявл. 22.10.2013; зарегистр. 19.02.2014.

5. Лоханов, А.В. Модульная программа идентификации человека по растровому двумерному изображению лица [Текст]: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011611917 / А.С. Голубев, А.В. Лоханов, В.Г. Прокошев и др. - № 2010617337; заявл. 22.11.2010; зарегистр. 28.02.2011.

6. Лоханов, А.В. База данных биометрических признаков [Текст]: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011620172 / А.С. Голубев, А.В. Духанов, Д.С. Квасов, А.В. Лоханов - № 2010620768; заявл. 22.11.2010; зарегистр. 28.02.2011.

Публикации в прочих изданиях

7. Лоханов, А. В. Текстуальный анализ искаженных изображений [Текст] / А.В. Лоханов // XX международная научно-практическая конференция «Теоретические и методологические проблемы современных наук». Сб. тез. докладов. – Новосибирск. – 2017. – С.78-84.

8. Лоханов, А.В. Численно-аналитические исследования в фазовом пространстве динамической системы [Текст] / М.Ю. Звягин, А.В. Лоханов, В.А. Складенко // Сборник трудов Международной конференции по математической теории управления и механике. - Суздаль, 2015г. – С.74-81.

9. Лоханов, А.В. Сравнительный анализ перспектив использования источников видеоизображения с компрессией и без компрессии в технических системах с функциями распознавания людей [Текст] / А.В. Лоханов, П.Ю. Шамин // Труды XVIII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2011». 2011, Санкт-Петербург, Россия. – СПб.: Изд-во Университета ИТМО. - 2011. - Т. 2. - С 264-266.

10. Лоханов, А.В. Поиск лиц людей на изображениях высокого разрешения в реальном времени [Текст] / И.И. Зиновьев, А.В. Лоханов // Региональная научно-практическая конференции «Многоядерные процессоры и параллельное программирование». - 25.02 2011г.; Барнаул. Сб. докладов. - Барнаул: Изд-во БГУ, 2011. – С. 71-77.

11. Лоханов, А.В. Компьютерное моделирование Mesh сети в системах GPSS и MATLAB [Текст] / А.В. Лоханов, А.В. Осин, М.В. Руфицкий // Девятая международная научно-практическая конференция "Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности". 2010г. - СПб.: Изд-во СПбПУ. - 2010. - Т. 1. – С.165-166.

12. Лоханов, А.В. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного распознавания и биометрической идентификации людей (АПК АР-БИЛ) [Текст] / С.М. Аракелян, А.В. Лоханов, В.Г. Прокошев и др. // Труды XVII Всероссийской научно-методической конференции "Телематика'2010". Санкт-Петербург, Россия. – СПб.: Изд-во Университета ИТМО. - 2010. - Т. 2. - С 255-256.

Подписано в печать 15.06.2021 Формат 60x84 1/16. Печ .л. 1,0.
Тираж 100 экз.

Типография Владимирского государственного университета имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
600000, г. Владимир, ул. Горького,87.