

Термины и условные обозначения.

Аутентификация – подтверждение идентичности представленного образа одноименному эталону, хранящемуся в памяти системы распознавания; аутентификация реализуется на основе проверки утверждения о том, что представленный образ является именно тем, за кого он себя «выдает».

Биометрика – область знаний, представляющая методы измерения физических характеристик и формулирования персональных поведенческих черт человека и их использования для идентификации или аутентификации человека.

Биометрические технологии – методы и соответствующие им технические средства получения и использования биометрических данных человека в целях его идентификации (верификации, аутентификации и распознавания).

Биометрическая система – автоматизированная система, решающая задачи регистрации пользователей и их идентификацию (аутентификацию) и реализующая следующие функции:

- фиксацию биометрической выборки от конечного пользователя;
- извлечение биометрических данных из этой выборки;
- сравнение биометрических данных с одним или большим количеством эталонов;
- принятие решения о том, насколько хорошо соответствуют друг другу сравниваемые биометрические данные;
- формирование результата, например, информации о том, была или нет идентификация или аутентичность;
- принятие решения о повторении, окончании или видоизменении процесса идентификации (или аутентификации).

Верификация – дополнительная проверка результата распознавания с целью установления истинности этого результата; верификация реализуется аналогично аутентификации.

Конечный пользователь – человек, который взаимодействует с биометрической системой, чтобы зарегистрироваться или проверить идентичность.

Нормализация образов – приведение образов к некоторому стандартному виду; в некотором смысле согласование размеров изображений.

Пиксель – наименьший элемент цифрового изображения, который характеризуется собственным значением (уровнем) яркости.

Признак – компоненты образа (выделенный объект, текстура), атрибуты образа (его размер, форма) или характеристики образа (яркость, спектр), используемые в распознавании образов; в общем случае признак определяется той категорией, посредством которой он выражен.

Распознавание образов – под этим термином будем принимать процесс, при котором на основании многочисленных характеристик (признаков) некоторого объекта определяется одна или несколько наиболее существенных, но недоступных для непосредственного определения его характеристик, в частности принадлежность к определенному классу объектов. Данное определение используют в задачах искусственного интеллекта при анализе любого сложного изображения, когда отсутствует ограничение по времени обработки данных [2].

Содержание.

1. Введение.....	5
2. Обзор и причина выбора системы MATLAB.....	6
2.1. Описание системы.....	6
2.2. Причина выбора данной системы.....	8
3. Этап проектного исследования.....	9
3.1. Обзор методов распознавания лиц.....	9
3.2. Коммерческие системы.....	10
4. Концептуальный этап проектирования системы.....	11
4.1. Концептуальная диаграмма верхнего уровня <i>A0</i>	12
4.2. Декомпозиция диаграммы верхнего уровня <i>A0</i> : блок <i>A1</i> , <i>A2</i> , <i>A3</i> и <i>A4</i>	12
4.2.1. Блок <i>A1</i> – блок предварительной настройки системы.....	13
4.2.2. Блок <i>A2</i> – блок регистрации нового пользователя.....	13
4.2.3. Блок <i>A3</i> – запись полученной информации с <i>A2</i> в базу данных.....	14
4.2.4. Блок <i>A4</i> – блок верификации (идентификации) нового пользователя.....	14
4.3. Декомпозиция диаграммы <i>A1</i> – блока предварительной настройки системы.....	15
4.3.1. Блок <i>A11</i> и <i>A12</i> – блок обработки видеопотока с web-камеры и выбора параметров яркости и резкости web-камеры.....	15
4.3.2. Блок <i>A13</i> и <i>A14</i> – блок выделения эталонов образов-масок и блок определения расстояния между глазами <i>R</i>	16
4.4. Декомпозиция диаграммы <i>A4</i> – блока верификации (идентификации) нового пользователя.....	17
4.4.1. Блок <i>A41</i> и <i>A42</i> – блок обработки видеопотока с web-камеры и блок предварительной обработки изображения.....	17
4.4.2. Блок <i>A43</i> и <i>A44</i> – блок выделения образа лица и его признаков и блок проведения процедуры распознавания (верификации) образа.....	19
4.5. Декомпозиция диаграммы <i>A43</i> – блока выделения образа лица и его признаков.....	19
4.5.1. Блок <i>A431</i> – блок выделения рабочего изображения образа лица.....	19
4.5.2. Блок <i>A432</i> – блок обработки изображения.....	20
4.5.3. Блок <i>A433</i> – блок приведения образа к требуемому виду.....	21
4.5.4. Блок <i>A434</i> – блок выделения требуемых признаков образа.....	21
5. Формирование ТЗ.....	22
5.1. Общие сведения.....	22
5.2. Назначение и цели создания системы.....	22
5.3. Характеристика объектов автоматизации.....	22
5.4. Требования к разрабатываемой системе распознавания.....	23
6. Технический этап проектирования системы.....	24
6.1. Характеристика изображений, получаемых с web-камеры.....	24
6.2. База данных изображений лиц и их признаков разрабатываемой системы.....	24
6.3. Отбор признаков при распознавании лиц. Категории признаков.....	25
6.4. Основные методы распознавания изображений по [2].....	26
6.5. Инварианты геометрических преобразований.....	26
6.6. Блок <i>A4</i> – блок верификации (идентификации) образа пользователя.....	28
6.6.1. Блок <i>A41</i> – блок обработки видеопотока с web-камеры.....	28
6.6.2. Блок <i>A42</i> – блок предварительной обработки изображения.....	29
6.6.3. Блок <i>A43</i> – блок выделения образа лица и его признаков.....	30
6.6.4. Блок <i>A44</i> – блок проведения процедуры распознавания (верификации) образа.....	31
6.7. Декомпозиция блока диаграммы <i>A43</i> – блока выделения образа лица и его признаков.....	32
6.7.1. Блок <i>A431</i> – блок выделения рабочего изображения лица.....	32
6.7.2. Блок диаграммы <i>A432</i> – блок обработки изображения.....	34
6.7.3. Блок <i>A433</i> – блок приведения образа к требуемому виду.....	35

6.7.4. Блок A434 – блок выделения требуемых признаков образа.....	35
6.8. Алгоритм выделения образа лица по заданному эталону.....	35
7. Рабочий этап проектирования системы.....	36
7.1. Выделение образа лица: сравнение и анализ применяемых подходов.....	36
7.1.1. Использование информации о градиентах яркости исходного изображения.....	36
7.1.2. Просмотр исходного изображения локальной маской.....	37
7.2. Сравнение и выбор методов улучшения, предоставляемых системой MATLAB v.7.....	39
7.3. Получение эталонов образов-масок.....	41
7.4. Сводные результаты выделения образов лиц из заданных изображений сцен.....	42
7.4.1. Результаты выделения при размере матрицы инварианта [500 500].....	42
7.4.2. Результаты выделения при размере матрицы инварианта [2000 2000].....	44
8. Заключение.....	45
9. Список литературы и использованного программного обеспечения.....	46
10. Приложения. Листинги программ.....	47
10.1. <i>ddk_compare.m</i>	47
10.2. <i>ddk_edge.m</i>	47
10.3. <i>ddk_grad.m</i>	47
10.4. <i>ddk_invD.m</i>	48
10.5. <i>ddk_selectD.m</i>	48

1. Введение.

В данной работе сделана попытка представить основные идеи, раскрыть методы и средства, а также способы реализации систем, используемые в настоящее время в биометрических технологиях идентификации личности человека и, в более широком смысле, технологиях распознавания образов, а также рассмотреть тенденции развития и применения упомянутых технологий в будущем.

В работе представлены известные на сегодня методы и средства решения задачи, как бурно развивающегося направления биометрических технологий, связанной с распознаванием человеческих лиц, которые доведены до практической реализации. Большая часть данной курсовой работы посвящена практическим разработкам, связанным с построением, синтезом и анализом систем распознавания лиц. Будет приведена и достаточно подробно рассмотрена структура системы, обеспечивающая контроль доступа к различным объектам (в конкретном случае к компьютеру).

Цель курсового проекта – разработать структуру системы «on-line» контроля доступа конечного пользователя, а также решить задачу выделения образа лица из представленных изображений сцен, полученных с web-камеры.

Многу будет предпринята попытка реализации данной системы с помощью средств мощнейшей системы моделирования MATLAB (далее будет подробно обоснована причина выбора именно этого программного комплекса), некоторые мелкие задачи и проблемы реализации системы (ввиду малости этих задач, в системе MATLAB не предусмотрено методов и функций их реализации) будут решены методами объектно-ориентированного программирования средствами, предоставляемыми этой же системой.

В 1974 г. вышла в свет монография «Pattern Recognition Principles» («Принципы распознавания образов»), авторы которой Ту и Гонсалес отметили одну из нарождающихся тенденций тех лет: "...В нашем обществе создалось такое положение, при котором все большее количество людей и организаций занимаются обработкой информации и все меньшее – обработкой материальных объектов. Ощутимой стала потребность в более совершенных информационных системах..." За прошедшие 30 лет эта тенденция интенсивно и экстенсивно развивалась, в результате чего человечество перешло от простых информационных систем к использованию интеллектуальных сред – вычислительных и информационных технологий современного поколения [4].

Примерами интеллектуальных сред являются:

- интернет, через который происходит, в частности, общение людей (видеоконференции, консультации, почта), поиск информации и доступ к ней, реализуются интернет-маркетинг и интернет-магазины и т. д.;
- виртуальные предприятия, реализующие проекты по типу «start up», сообщества и ассоциации, осуществляющие обмен информацией, технологиями, другими информационными и вычислительными ресурсами;
- выкоординированные интерфейсы «клиент-банк»;
- системы класса «Visitor Identification», реализующие распознавание или аутентификацию, например, постоянного покупателя магазина, гостя (посетителя) частного дома или офиса, пассажира международного транспорта и т. д.;
- системы контроля доступа информации (базам данных), к средствам (техническим, финансовым), к помещениям, к вычислительным ресурсам и т. д.;
- системы поиска фотографий лиц людей в базах данных по заданному образцу.

Для всех перечисленных примеров характерно одно: все задачи решаются в процессе непосредственного "общения" человека со средой (в режиме «on-line») и, что самое важное, - этим человеком может быть зарегистрированный пользователь, подлинность личности которого проверяется на входе в интеллектуальную среду. Поэтому, очевидно, что одной из актуальных проблем широкого использования интеллектуальных сред является идентификации (аутентификации) конечного пользователя.

На современном этапе развития интеллектуальных сред задачи идентификации (аутентификации) конечного пользователя решаются в рамках биометрических технологий. Так, например, в мае 2000 г. компания Microsoft заявила о том, «что все будущие версии OS Windows будут иметь встроенные средства поддержки биометрического интерфейса (Biometric Application Programming Interface – BAPI) и технологии авторизации SecureSuite. Совместно с компанией I/O Software, занимающей лидирующие позиции в области программных средств биометрики, Microsoft намеревается реализовать комплексный подход к идентификации пользователей во всех своих операционных системах...»

2. Обзор и причина выбора системы MATLAB.

2.1. Описание системы.

MATLAB – одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций.

Типичное использование MATLAB – это:

- математические вычисления;
- создание алгоритмов;
- моделирование;
- анализ данных, исследования и визуализация;
- научная и инженерная графика;
- разработка приложений, включая создание графического интерфейса.

MATLAB – это интерактивная система, в которой основным элементом является массив. Это позволяет решать различные задачи, связанные с техническими вычислениями, особенно в которых используются матрицы и вектора в несколько раз быстрее, чем при написании программ с использованием "скалярных" языков программирования, таких как C или Fortran. Применение матриц как основных объектов системы способствует резкому уменьшению числа циклов, которые очень распространены при выполнении матричных вычислений у других программ. Матрицы способствуют также созданию алгоритмов параллельных вычислений и широко применяются в сложных математических расчетах, они являются основой автоматического составления и решения уравнений состояния динамических объектов и систем. Примером программы, выполняющей это, может служить расширение MATLAB – **Simulink** – она существенно повышает интерес к рассматриваемой системе, как вобравшей в себя лучшие достижения в области быстрого решения матричных задач за последнее время.

MATLAB развивался в течении нескольких лет, ориентируясь на различных пользователей. В университетской среде он представлял собой стандартный инструмент для работы в различных областях математики, машиностроения и науки. В промышленности – это инструмент для высокопродуктивных исследований, разработок и анализа данных.

Одной из основных задач системы MATLAB всегда было предоставление пользователям мощного языка программирования, ориентированного на технические и математические расчеты и способного превзойти возможности традиционных языков программирования, которые многие годы использовались для реализации численных методов. При этом особое внимание уделялось как повышению скорости вычислений, так и адаптации системы к решению самых разнообразных задач пользователей.

Важным достоинством системы являются её открытость и расширяемость. Большинство команд и функций системы реализованы в виде m-файлов текстового формата (с расширением .m) и файлов на языке C/C++, причем все файлы доступны для модификации. Пользователю дана возможность создавать не только отдельные файлы, но и библиотеки файлов для реализации специфических задач. Такие файлы можно писать (создавать) как в простом и удобном редакторе m-файлов системы, так и в любом другом текстовом редакторе – например Notepad или Microsoft Word. Более того, такие файлы можно перенести с помощью буфера в командную строку MATLAB и тут же исполнить [4].

В MATLAB важная роль отводится специализированным группам программ, называемым *toolboxes*. Они очень важны для большинства пользователей системы, так как позволяют изучать и применять специализированные методы. *Toolboxes* – это встроенная коллекция функций MATLAB (m-файлов), которые позволяют решать частные классы задач. *Toolboxes* применяются для обработки сигналов и изображений, систем контроля, нейронных сетей, нечеткой логики, вейвлетов, моделирования и т. д.

Система MATLAB состоит из 5-ти основных частей:

- **Язык MATLAB.** Это язык матриц и массивов высокого уровня с управлением потоками, функциями, структурами данных, вводом-выводом и особенностями объектно-ориентированного программирования. Это позволяет как программировать в "небольшом масштабе" для быстрого создания небольших программ, так и в "большом" для создания больших и сложных приложений.
- **Среда MATLAB.** Это набор инструментов и приспособлений, с которыми работает пользователь или программист MATLAB. Она включает в себя средства для управления переменными в рабочем пространстве MATLAB, вводом и выводом данных, а также создания, контроля и отладки m-файлов и приложений MATLAB.
- **Управляемая графика.** Это графическая система MATLAB, которая включает в себя команды высокого уровня для визуализации двух- и трехмерных данных, обработки изображений, анимации и иллюстрированной графики. Она также включает в себя команды низкого уровня, позволяющие полностью редактировать внешний вид графики, также как при создании Графического Пользовательского Интерфейса (GUI) для MATLAB приложений.
- **Библиотека математических функций.** Это обширная коллекция вычислительных алгоритмов от элементарных функций, таких как сумма, синус и косинус, комплексная арифметика, до более сложных, таких как обращение матриц, нахождение собственных значений, функции Бесселя, быстрое преобразование Фурье.
- **Программный интерфейс.** Это библиотека, которая позволяет писать программы на C/C++ и Fortran, которые взаимодействуют с системой. Она включает средства для вызова программ из MATLAB (динамическая связь), вызывая последний как вычислительный инструмент и для чтения-записи mat-файлов.

Simulink – сопутствующая MATLAB программа, - это интерактивная система для моделирования нелинейных динамических систем. Она представляет собой среду, управляемую мышью, которая позволяет моделировать процесс перекидыванием блоков диаграмм на экране и их манипуляцией. Simulink работает с линейными, нелинейными, непрерывными, дискретными, многомерными системами.

Toolboxes – это не просто дополнительные функции для решения различных классов задач; они представляют собой плод усилий множества известных ученых, работающих в таких областях, как: системы управления, обработка сигналов и изображений, идентификация систем и др.

Blocksets – это дополнения к Simulink, которые обеспечивают библиотеки блоков для специализированных приложений, таких как связь, обработка сигналов, обработка видео и изображений, энергетические системы.

Real-Time Workshop – это программа, которая позволяет генерировать С код из блоков диаграмм и запускать их на выполнение на различных системах реального времени.

MATLAB поставляется как комплекс MATLAB+Simlink+Toolbox+Blockset, где разделами системы Toolbox и Blockset корпорация MathWorks называет пакеты расширения для систем MATLAB и Simlink соответственно. Данный курсовой проект будет реализован с помощью средств системы новейшей реализации – MATLAB 7 Service Pack 1.

2.2. Причина выбора данной системы.

Как будет далее показано, разрабатываемая система будет состоять из различных по назначению (реализации) блоков, работающих с разными объектами и типами данных: видео потоки – обработка видео с web-камеры; изображения – обработка и нормализация изображений, полученных с web-камеры, приведение их к необходимому виду для дальнейшего анализа, сравнения с образами из базы данных и последующего размещения в базе данных; база данных, состоящая из обработанных и нормированных изображений или из векторов признаков образов изображений.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что реализация системы распознавания и контроля доступа требует применения и работы внутри себя большого количества различных алгоритмов, работающих с разными типами данных. Очевидно, что, если бы система писалась с "нуля", скажем на C++, то это заняло бы огромного количества времени, затраченного на написание как самого программного кода, так и на поиск, анализ и реализацию упомянутых выше алгоритмов. По большей части, именно из того, что MATLAB предоставляет пользователю и разработчику огромное количество реализованных алгоритмов и методов (работающих с изображениями, видео потоками, базами данных, различными аппаратами логики и математики), средства генерации (встраивания) программного кода и разработки GUI, а также средства для имитационного моделирования различных по классу систем, и выбран этот программный пакет. Также выбор MATLAB обуславливается и тем, что основным объектом для исследования и анализа в реализуемой системе является цифровое изображение образа, представляемое, как известно, в виде матрицы (массива) пикселей, каждый из которых в свою очередь характеризуются своими собственными информативными матрицами (двумерными и трехмерными массивами, в зависимости от типа цифрового изображения); тогда как изначально MATLAB разрабатывалась как диалоговая среда для матричных вычислений (что отражается в названии системы - MATrix LABoratory) и заведомо все операции в системе выполняются над объектами-матрицами, а не над числами, как в других языках программирования, что позволяет системе быстро и легко оперировать с матричными объектами.

Все это богатство методов и алгоритмов, а также сама система реализовывается с помощью дополнительных специализированных пакетов MATLAB – Toolboxes.

Основные пакеты, Toolboxes, и их описание, которые будут использованы в ходе выполнения работы над системой и её реализации:

Image Processing Toolbox Version 5.0.1 (основной пакет, на котором построен фундамент системы распознавания) – предоставляет ученым и инженерам широкий спектр средств для обработки и анализа цифровых изображений. Назначение пакета расширения состоит в апробации и совершенствовании уже известных и разработка новых математических методов обработки изображений и создание новых высокоэффективных, а порой и уникальных, программных средств для этого.

Основные свойства пакета:

- восстановление и выделение деталей изображения;
- работа с выделенным участком изображения;
- анализ изображения;
- линейная фильтрация;
- преобразование изображения (включая геометрические);
- увеличение контрастности важных деталей;
- бинарные преобразования;
- обработка изображений и статистика;
- цветовые преобразования и изменение палитры;
- преобразование типов изображений.

Neural Network Toolbox Version 4.0.4 – пакет для работы с нейронными сетями; пакет обеспечивает всестороннюю поддержку проектирования, обучения и моделирования множества известных сетевых парадигм, от базовых моделей персептрона до самых

современных ассоциативных и самоорганизующихся сетей. Пакет может быть использован для исследования и применения нейронных сетей к таким задачам, как обработка сигналов и изображений, нелинейное управление и финансовое моделирование.

Wavelet Toolbox Version 3.0.1 – пакет программ для обработки и анализа сигналов, изображений, сжатия и фильтрации. Данный пакет предоставляет пользователю полный набор программ для исследования многомерных нестационарных явлений; методы пакета расширяют возможности пользователя в тех областях, где обычно применяется техника Фурье-разложения.

Основные свойства пакета:

- преобразование многомерных непрерывных сигналов;
- дискретное преобразование сигналов;
- декомпозиция и анализ сигналов и изображений;
- широкий выбор базисных функций, включая коррекцию граничных эффектов;
- пакетная обработка сигналов и изображений;
- анализ пакетов сигналов, основанный на энтропии;
- фильтрация с возможностью установления жестких и нежестких порогов;
- оптимальное сжатие сигналов.

MATLAB Compiler – транслирует MATLAB код в C код стандарта ANSI C, автоматически генерирует оптимизированный C и C++ код для m-файлов.

Основные свойства пакета:

- автоматическое конвертирование m-файлов в высококачественный C/C++ код;
- существенное повышение скорости выполнения программ;
- возможность встраивать код в другие приложения с помощью библиотек MATLAB C и C++ Math;
- генерация хорошо аннотированного и переносимого C/C++ кода;
- возможность скрытия кода для обеспечения защиты запатентованных алгоритмов.

3. Этап проектного исследования.

3.1. Обзор методов распознавания лиц.

Результат распознавания лиц автоматической системой зависит от качества исходных данных (фото и видеопортретов); выбор исходных информационных знаков лица и/или способа выделения признаков из них; метода, используемого для распознавания, и критериев распознавания.

Если говорить о методах, то в технической литературе, посвященной данной проблеме, наиболее часто встречаются следующие методы по [1]:

- корреляционный метод (метод согласованной фильтрации);
- метод, основанный на преобразовании Карунена-Лоэва и понятии «собственных лиц»;
- метод, основанный на линейном дискриминантном анализе и понятии «Fisherface», названном так в честь Роберта Фишера, использовавшего дискриминантный анализ в распознавании образов;

Относительно простым среди перечисленных является *корреляционный метод*. Обычно он реализуется в пространстве исходных признаков (исходных изображений) и аналогично тому, как реализуется согласованная фильтрация. Стоит отметить важность самого факта существования корреляции между распознаваемым образом лица и эталоном, хранящимся в базе данных. Если условия получения новых образов соответствует условиям получения эталона (освещение, пункт наблюдения лица, определяющий его наклон и поворот, масштаб, фон и т. д.), то корреляция между ними близка к единице, а уровень распознавания в целом доходит до 96%. Однако если фон, масштаб, повороты и наклоны изменяются, то обычная линейная корреляция не устанавливает подобия двух образов и становится практически бесполезной.

Развитием корреляционного метода является переход от исходного пространства признаков (исходного изображения) к пространству инвариантов Фурье-Меллина

(элиминирующих масштаб и заменяющих поворот на циклический сдвиг), что позволяет на основе той же самой согласованной фильтрации достичь высоких оценок корреляции между двумя образами. Проблемой по-прежнему здесь остается высокая размерность пространства признаков, соответствующая размерам исходных изображений и, кроме того, преобразование Фурье-Меллина существенно усложняет весь вычислительный процесс согласованной фильтрации.

Второй метод, использующий преобразование Карунена-Лоэва, позволяет осуществить значительную редукцию исходного пространства признаков, оставляя для дальнейшего использования только те из них, которые имеют принципиальное значение для конкретного класса образов. При этом, непосредственное влияние условий получения образов на его представление в редуцированном пространстве признаков становится не так заметно, а сравнение образов в этом пространстве значительно упрощается. Уровень правильного распознавания здесь стабильно достигает 80% даже при заметных изменениях условий получения образов лиц по сравнению с условиями получения эталона.

Третий метод, основанный на линейном дискриминантном анализе, так же как и предыдущий, позволяет реализовать редукцию исходного пространства признаков, при этом он существенно улучшает кластеризацию образов в редуцированном пространстве признаков. Последнее обеспечивает ещё более высокий уровень распознавания, достигающий до 99% даже при изменении условий получения образов.

На сегодняшний день основное развитие при распознавании лиц получили методы, ориентированные на следующее:

- а) репрезентативных характер исходных данных – использования для обучения системы распознавания того диапазона изменений образов лиц (освещение, ориентация, масштаб, фон и т. д.), в рамках которого система должна распознавать все другие образы;
- б) уменьшение размерности исходных данных – применение редукции исходного пространства признаков с представлением исходных образов в редуцированном пространстве признаков;
- в) реализацию процесса распознавания в редуцированном пространстве признаков;
- г) использование процедур сопоставления распознаваемого образа с эталоном с оценкой меры подобия между ними (на основе какой-либо метрики), используемой в качестве критерия распознавания.

В связи с изложенным выше, в данной работе будет дана общая методика построения систем распознавания, использующих базы, которые призваны обеспечить репрезентативность исходных данных, и систем, в которых редукция (разбиение, выделение) признаков основана на методах анализа главных компонент (англ. PCA – Principal component analysis), преобразовании Карунена-Лоэва (ПКЛ, англ. KLT – Karhunen-Loeve Transformation), и линейном дискриминантном анализе (ЛДА, англ. LDA – Linear discriminant analysis). Обоснованием для их детального представления и рассмотрения может служить тот факт, что большинство реализованных в последнее время на практике систем распознавания людей по их лицам используют именно эти подходы и методы.

Достаточно очевидно то, что практическое применение этих, относительно непростых (с вычислительной точки зрения), методов стало возможным благодаря мощному развитию вычислительных средств, в том числе ресурсов персональных компьютеров, используемых в биометрических системах.

3.2. Коммерческие системы.

Согласно исследования рынка, приведенном в [1], среди коммерческих продуктов можно выделить системы распознавания лиц, разработанные в компаниях Visionic, Viisage, Miros, Dialog Communication Systems AG.

Компания «Visionic» предлагает систему «Faceit», распознавание в которой реализовано на алгоритмах анализа локальных признаков, при этом главные из них – координаты центров глаз, относительно которых потом вычисляются и другие параметры лица. Известно

применение данной системы для идентификации преступников по видеоданным, получаемым со 144 камер, установленных в центре Лондона. Применение системы возможно также в аэропортах и на станциях метрополитена, на входе в производственные комплексы, заводы и фабрики, а также в других местах перемещения и скопления людей.

Компания «Visage» предлагает систему «*Photobook*», в которой использованы методы, основанные на "собственных лицах" и реконструкции образов на их основе. Иными словами, здесь реализованы алгоритмы сравнения каждого нового образа с эталоном в редуцированном пространстве признаков, а редукция выполнена с использованием PCA. Эта система ориентированна на поиск образов лиц (близких заданному) в больших базах данных, для целей упорядочивания данных в базах и использования в системах аутентификации человека на основе образа лица с камеры и фотографии с какого-либо документа.

Компания «Miro» предлагает систему «*TrueFace*», распознавание в которой реализовано на нейронных сетях, а общая идея обработки состоит в выделении неизменяемых частей лица и их распознавании при игнорировании остальных его деталей.

Компания DSG AG разработала систему «*BioID*» - мультимодальную биометрическую систему идентификации. Система реализует свою задачу на основе трёх характеристик человека: изображения лица, голоса и движения губ. Именно использование последней характеристики обеспечивает высокую степень защиты систему от обмана с помощью муляжа или фотографии лица. «*BioID*» рассчитана на использование в системах контроля доступа к компьютерным сетям непосредственно на рабочих местах или через терминалы удаленных пользователей. Алгоритмы, с помощью которых решается задача распознавания лиц в данной системе, основаны на моделях лиц и их антропометрических характеристиках и сравнении с эталоном из базы данных (на каждого зарегистрированного пользователя в БД системы можно иметь до 8 образов-эталонов).

4. Концептуальный этап проектирования системы.

Согласно [1] и анализом полученных результатов данной курсовой работы, на результат распознавания влияют достаточно многочисленные факторы: плохое освещение, размер исходного образа, не соответствующий базовому эталону, дополнительные элементы на лице, неполное соответствие формы и вариантов предъявленных образов образам в исходной базе данных. Это позволяет сформулировать основные требования, предъявляемые к системам распознавания «on-line».

Итак, рассматриваемый класс систем, равно как и разрабатываемая система, должны характеризоваться:

- высоким качеством распознавания, исключающее ложное принятие решений;
- относительно несложными алгоритмами, обеспечивающими высокое быстродействие при решении задач распознавания;
- простыми способами настройки (переналадки) системы под новую базу данных.
- робастностью по отношению к некоторым изменениям условий получения исходных данных и некоторым изменениям биометрических характеристик образов – пользователей систем.

Последнее требование вытекает из следующих соображений: разрабатываемая система распознавания «on-line» относится к отдельному подклассу систем, а именно – системы, предназначенные для контроля доступа (КД) к чему-либо, например, к компьютеру или помещению [1]. Достаточно очевидно, что в приложение к данным системам КД неактуальность образа пользователя становится главной проблемой. Это объясняется тем, что при длительной эксплуатации системы практически невозможно выдержать одни и те же условия получения исходных данных. Также очевидно, что решение возникших при этом проблем невозможно, поскольку заведомо невозможно предусмотреть все случаи вариантов изменений исходных данных. Именно поэтому и предъявляется последнее требование к разрабатываемой системе.

4.1. Концептуальная диаграмма верхнего уровня A0.

Сформулируем цель, выражающую причину создания модели: выявить внутреннюю структуру и логику работы разрабатываемой системы распознавания, сформулировать требования, предъявляемые к данному классу систем.

Как видно, на вход системы подается видео поток с web-камеры, изображение которого представляет собой поток полутоновых кадров с градацией серого цвета от 0 до 256 и разрешением 240x240 пикселей.

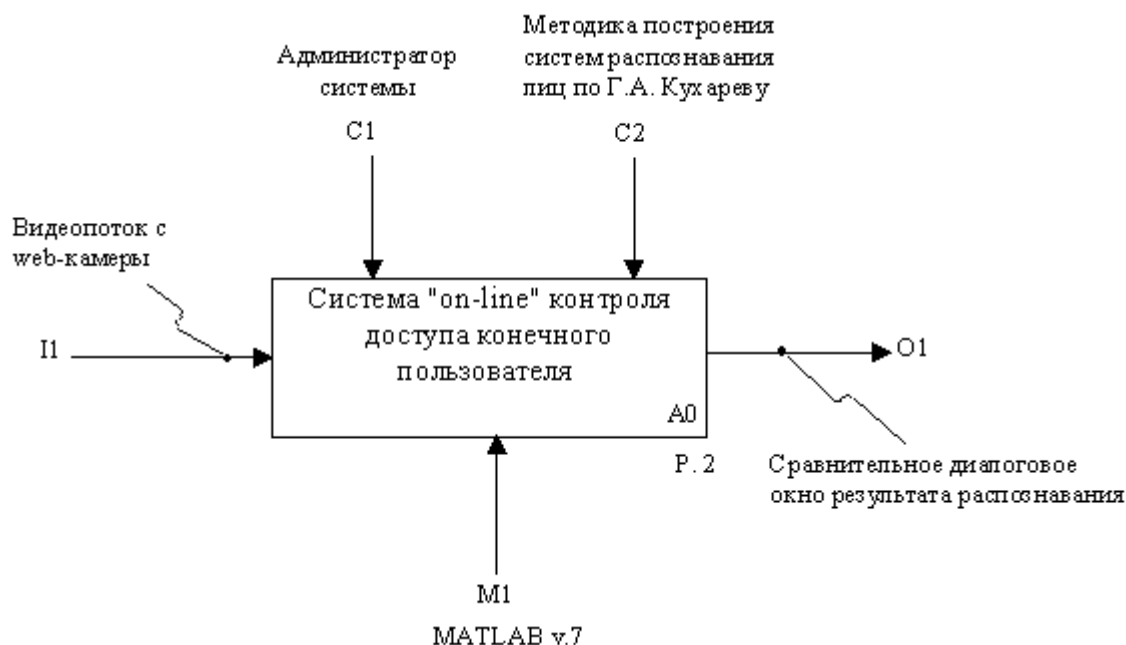


Рисунок 1. Концептуальная диаграмма верхнего уровня A0.

Сформулируем цель, выражающую причину создания модели: выявить внутреннюю структуру и логику работы разрабатываемой системы распознавания, сформулировать требования, предъявляемые к данному классу систем.

Как видно, на вход системы подается видео поток с web-камеры, изображение которого представляет собой поток полутоновых кадров с градацией серого цвета от 0 до 256 и разрешением 240x240 пикселей.

На выходе система выдает сравнительное диалоговое окно результатов распознавания: оно может представлять собой окно со сравнительной характеристикой параметров распознаваемого образа и образа, выбранного системой как наиболее близкий к рабочему, а также результат распознавания, то есть, значение коэффициента корреляции между образами и решение системы о допуске пользователя к ресурсу (компьютеру).

Механизмом работы системы является программный комплекс MATLAB v.7, посредством которого будут реализованы основные алгоритмы системы и управляющие программы, а также администратор системы, осуществляющий предварительную настройку и принятие решения о пополнении базы данных системы новым пользователем, что будет достаточно наглядно показано на следующем уровне декомпозиции системы.

Разрабатываемая система распознавания использует основные методы и идеи, заложенные в её реализацию, приведенные в [1].

4.2. Декомпозиция диаграммы верхнего уровня A0: блок A1, A2, A3 и A4.

Диаграмма верхнего уровня A0 декомпозируется на три самостоятельных блока разрабатываемой системы: A1 – блок предварительной настройки системы, A2 – блок регистрации нового пользователя, допущенного администратором системы до пользовательского ресурса, A3 – блок записи полученной информации с A2 в базу данных

системы, **A4** – собственно главный рабочий блок системы, блок верификации (идентификации) образа пользователя.

4.2.1. Блок A1 – блок предварительной настройки системы.

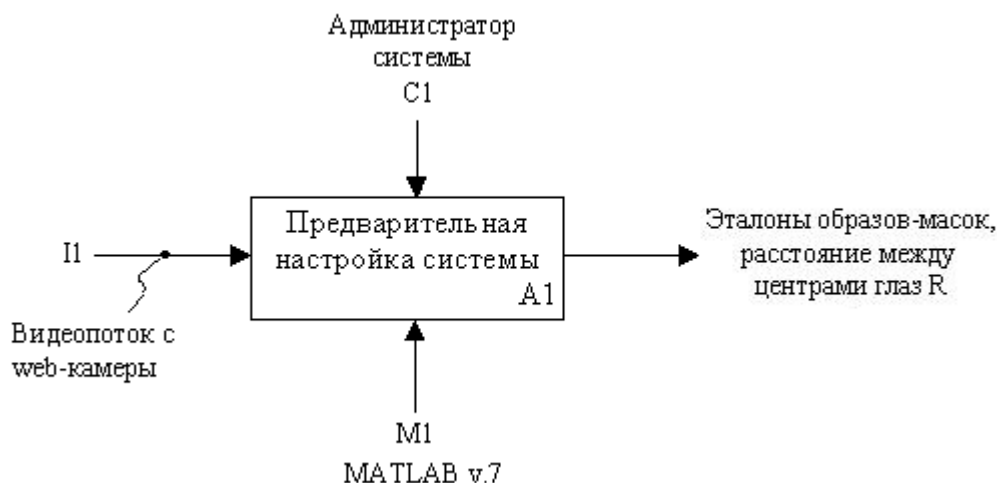


Рисунок 2. Блок предварительной настройки системы.

Данный блок служит для настройки и выбора основных параметров системы, например параметры яркости и резкости web-камеры, на начальном этапе её работы (на стадии внедрения или установки). На вход данного блока, как видно из приведенного выше рисунка, подается видеопоток с web-камеры; администратор запускает функции обработки потока, реализованные в MATLAB, выбирает параметр яркости и резкости, наиболее благоприятный для условий эксплуатации системы, после чего выбирает наилучшее из полученного каскада изображение, выделяет из него эталоны образов (лица, средней его часть, глаз и т. д.) и определяет расстояние между центрами глаз. Соответственно на выходе блока: выделенные эталоны образов-масок и численные значения расстояния между центрами глаз R – эти выходные параметры будут в дальнейшем являться "константами" внутри системы распознавания, на этих данных основываются основные алгоритмы, заложенные в реализацию системы. Определенные "константы" подаются на вход управления следующих за **A1** блоков.

4.2.2. Блок A2 – блок регистрации нового пользователя.



Рисунок 3. Блок регистрации нового пользователя.

Администратор системы, при возникновении надобности, а также на начальном этапе работы системы распознавания (на этапе заполнения базы данных), проводит регистрацию указанного пользователя.

Цель функционирования блока – предоставить данные о новом пользователе и параметрах образа его изображения базе данных системы в виде, удобном ей для выполнения последующих операций над полученным изображением (верификации, распознавания).

Как отмечалось в предыдущем пункте, *на вход* блока подаются "константные" параметры: эталоны образов, яркость, расстояние между центрами глаз R , которые "вшиваются" в основные функции, используемые в ходе работы системы распознавания, и используются в операциях по стандартизации последующих образов БД.

Информацию о новом пользователе может нести в себе как видеопоток с web-камеры, получаемый в тот момент, когда данный пользователь находится у компьютера, так и разнородные источники изображения регистрируемого человека – это может быть фотография, видео информация, другие базы и источники данных.

По запросу следующего блока $A3$ диаграммы системы, описываемый блок выдает последовательно (в закономерном порядке) всю информацию о пользователях, имеющих доступ к ресурсу (компьютеру), накопленную в базе данных.

4.2.3. Блок $A3$ – запись полученной информации с $A2$ в базу данных.

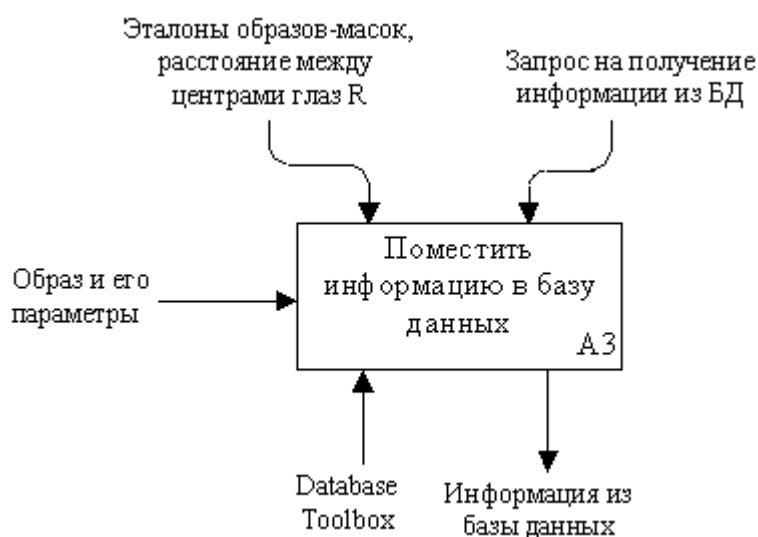


Рисунок 4. Блок диаграммы $A3$.

Цель функционирования блока – занести должным образом информацию о пользователе в базу данных системы распознавания.

Образ и его параметры, полученные из блока регистрации нового пользователя, определенным образом заносятся в базу данных системы и хранятся внутри неё. По запросу блока верификации (идентификации) образа пользователя информация в определенной последовательности выводится из базы данных.

4.2.4. Блок $A4$ – блок верификации (идентификации) образа пользователя.

Как уже отмечалось выше, этот блок является главным рабочим блоком разрабатываемой системы распознавания.

Цель его функционирования – принять решение о допуске потенциального пользователя, сидящего за компьютером перед web-камерой, и представить в наиболее наглядном виде результат распознавания - выдать сравнительное диалоговое окно, в котором будет представлен образ пользователя, выбранный системой как наиболее подходящий для распознавания, и образ из базы данных, выбранный в свою очередь как наиболее соответствующий распознаваемому, а

также корреляционные коэффициенты между этими изображениями и решение о допуске потенциального пользователя за рабочий ресурс (компьютер).

Образы из базы данных подаются на вход блока по его запросу из блока диаграммы A2.

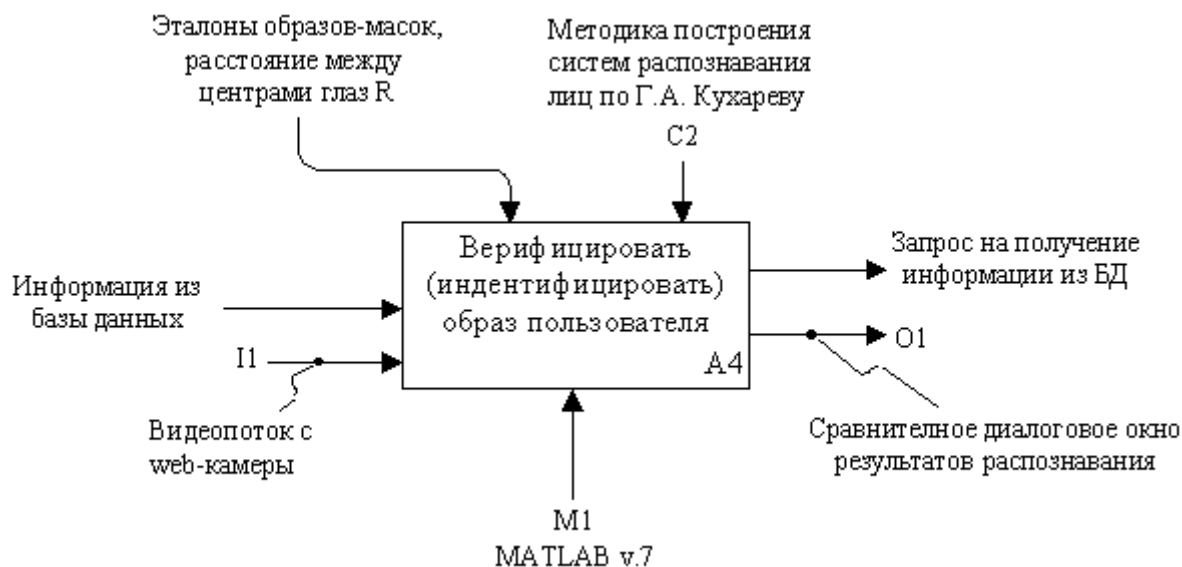


Рисунок 5. Блок верификации (идентификации) образа пользователя.

4.3. Декомпозиция диаграммы A1 – блока предварительной настройки системы.

Цель функционирования блока – настроить систему для её последующей работы и эксплуатации, а также получить эталоны образов-масок и численное значение параметра R (расстояния между центрами глаз).

4.3.1 Блок A11 и A12 – блок обработки видеопотока с web-камеры и выбора параметров яркости и резкости web-камеры.



Рисунок 6. Блок диаграмм A11 и A12.

Видеопоток, несущий в себе информацию о человеке (потенциальном пользователе), желающем получить доступ от системы распознавания пользовательскому ресурсу (компьютеру) и находящийся за компьютером перед web-камерой, считывается с неё и поступает на вход блока *A11*. После чего, посредством функций компонента *MATLAB Video and Image Processing Blocksets*, предназначенного для блочного моделирования и работы с видео и изображениями, видеопоток преобразуется в каскад изображений с визуализацией их свойств (гистограммой изображений и её передаточной характеристикой яркости пикселя), и подается на вход следующего блока – блока *диаграммы A12* (выбора параметров яркости и контрастности web-камеры).

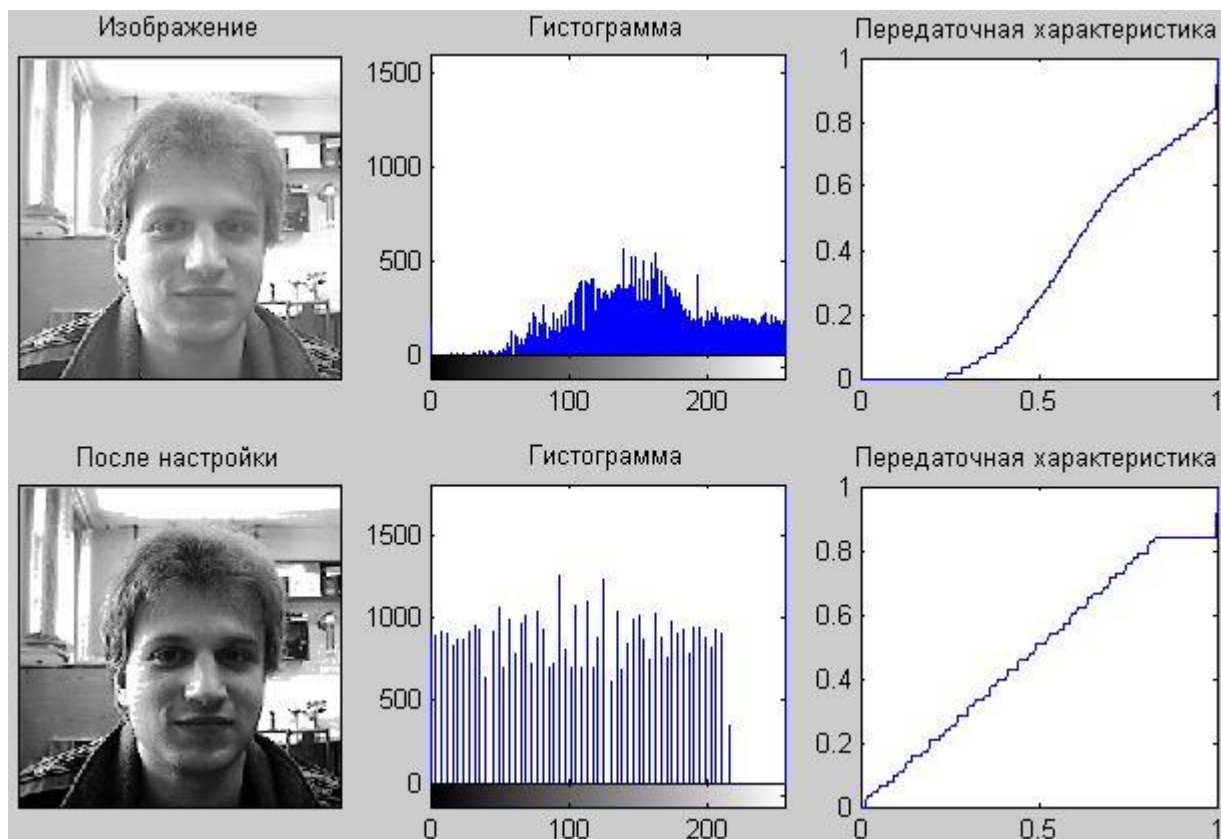


Рисунок 7. Пример диалогового окна на выходе блока *A11*.

Администратор, исходя из анализа предоставленных изображений, их гистограмм и передаточных характеристик, настраивает должным образом камеру для дальнейшей нормальной работы и эксплуатации разрабатываемой системы распознавания и выбирает изображение, образ-эталон, имеющее наиболее подходящие и правильные характеристики как самого изображения (правильное положение лица перед камерой), так и его гистограммы (передаточная характеристика должна иметь вид, близкий к линейному).

Из всего выше сказанного, можно сделать вывод о целях совместного функционирования описываемых блоков: настроить должным образом web-камеру (её параметры должны адекватно отвечать условия освещенности внешней среды, помещения, в котором она работает), стоящую на входе системы распознавания, и выбрать образ-эталон, из которого в дальнейшем будут выделены "константы" системы (эталонные образы-маски).

4.3.2. Блок *A13* и *A14* – блок выделения эталонов образов-масок и блок определение расстояния между глазами *R*.

Выделенное эталонное изображение, образ-эталон, поступает на вход блока *A13* – блока выделения эталонов образов-масок. Администратор системы выделяет с помощью какого-либо графического редактора (в данной работе я использовал редактор Adobe Photoshop CS2) эталоны образов-масок (эталонные лица, его средней части, глаз и другие по мере необходимости,

возникающем в ходе реализации системы), которые в дальнейшем будут "вшиты" в применяемые в системе функции выделения и распознавания как "константы" и на которых будет построена почти вся основная работа разрабатываемой систем распознавания.

Один из выделенных эталонов образов-масок, эталон образа лица, с выхода блока *A13* подается на вход *A14* – блока определения расстояния между глазами *R*, в котором администратор с помощью опять же графического редактора и функции определения центров глаз, реализованной в MATLAB, численно определяет значение расстояния между глазами в пикселях и заносит его в константу *R*.

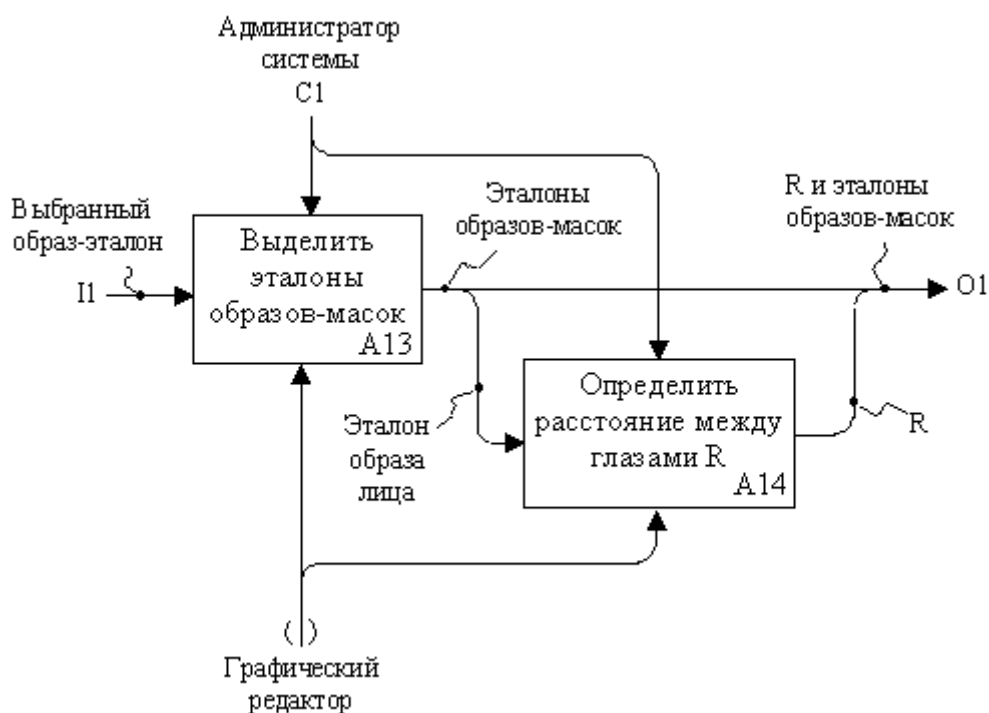


Рисунок 8. Блок диаграммы *A13* и *A14*.

Результатом совместной работы описанных блоков, как можно видеть из приведенного выше рисунка, являются выбранные эталоны образов-масок и определенный параметр *R* (значение расстояния между центрами глаз, выраженное в пикселях), которые в дальнейшем будут использоваться как "константы" в реализуемых функциях разрабатываемой системы распознавания и, фактически, управлять всем процессом вычисления внутри системы.

4.4. Декомпозиция диаграммы *A4* – блока верификации (идентификации) образа пользователя.

Цель функционирования блока – принять решение о доступе потенциального пользователя к ресурсу (компьютеру). Данное решение будет приниматься на основе сравнения изображения образа человека, требующего доступ к пользовательскому ресурсу, полученного с web-камеры и после подвергнутого определенной обработке, и его признаков с аналогичными по виду и репрезентативности изображениями образов и их признаков, хранящихся в базе данных системы распознавания.

4.4.1. Блок *A41* и *A42* – блок обработки видеопотока с web-камеры и блок предварительной обработки изображения.

Работа блока *A41* почти схожа с работой одноименного блока *A11*. Видеопоток с информацией о потенциальном пользователе компьютера, считывается с web-камеры и поступает на вход блока. После чего, посредством функций того же компонента MATLAB *Video and Image Processing Blocksets*, предназначенного для блочного моделирования и работы

с видео и изображениями, видеопоток преобразуется в отдельные изображения рабочей сцены, которое подается на вход следующего блока – *блока диаграммы А42* (предварительной обработки изображения). При возникновении необходимости, например, при установлении ошибки в ходе проведения процедуры распознавания, система запускает механизм повторного считывания информационного видеопотока с web-камеры.

Рисунок 10. Блок диаграммы A41 и A42.



4.4.2. Блок A43 и A44 – блок выделения образа лица и его признаков и блок проведения процедуры распознавания (верификации) образа.

Обработанное изображение с выхода блока A42 поступает на вход A43, приблизительный его вид показан на рисунке 11. С помощью реализованных на языке MATLAB функций из входного изображения выделяется образ лица человека, сидящего перед web-камерой, после полученное изображение приводится к виду, удобному системе для дальнейшей работы с ним (изображение приводится к должному масштабу, улучшается, элиминируется поворот головы относительно камеры) и далее из полученного изображения образа лица выделяются его признаки (см. на рисунке), которые вместе с ним поступают на вход следующего блока A44.

В блоке проведения распознавания (верификации) полученный выше образ лица и его признаки сравниваются определенным образом и по описанным в [1] методам и алгоритмам с каждым аналогичным образом и его признаками из базы данных разрабатываемой системы.

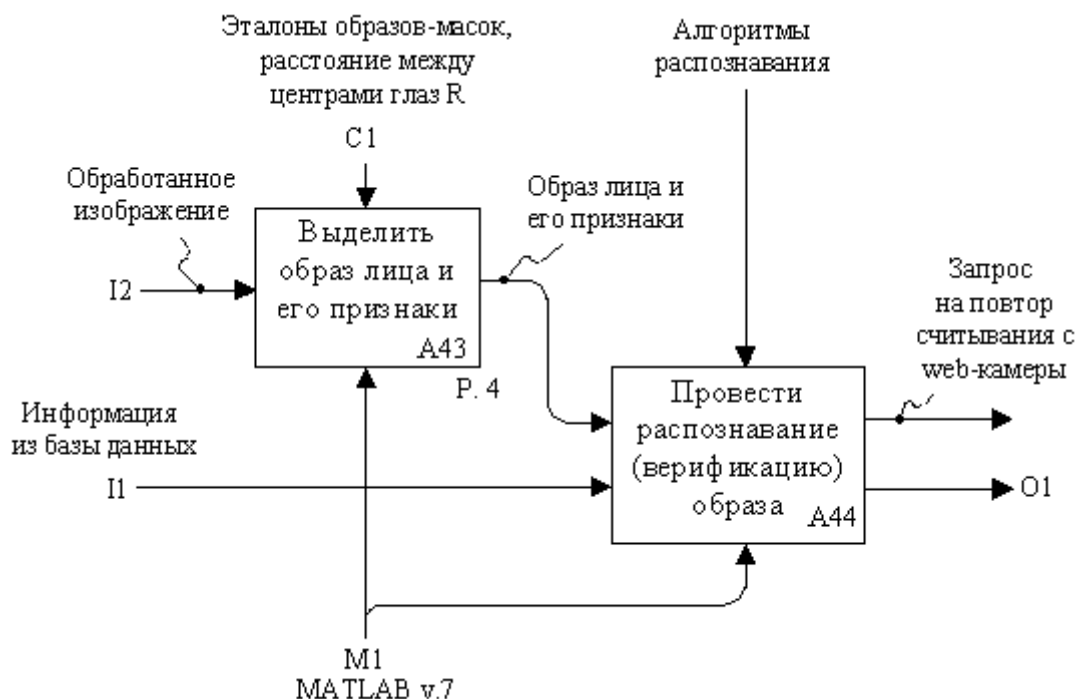


Рисунок 12. Блок диаграммы A43 и A44.

После проведения процедуры распознавания система выдает диалоговое пользовательское окно с результатами своей работы (сравнительными результатами процедуры распознавания) или же, при возникновении сбоя в работе описываемого блока A44, выдает запрос на повторное считывания видео информации с web-камеры, после чего вся описанная процедура внутри A4 повторяется.

4.5. Декомпозиция диаграммы A43 – блока выделения образа лица и его признаков.

Цель функционирования данного блока – выделить из представленного на вход данного блока изображения требуемый для удачного проведения процедуры распознавания образ лица и его признаки.

4.5.1. Блок A431 – блок выделения рабочего изображения образа лица.

Из входного изображения рабочей сцены (например, показанного на рисунке 11) посредством реализованного на языке MATLAB "алгоритма выделения образа по данному этану" (в описываемом случае по эталону образа-маски лица, получение и выделения которого было описано в пункте 4.3.2) выделяется изображение образа лица.

Целью работы описываемого блока является избавление от фона сцены предоставляемого изображения и выделение наиболее информативной его части, с целью удачного осуществления последующей процедуры распознавания (в фоне сцены содержится много

ненужных признаков, которые крайне негативно будут сказываться на конечном результате работы процедуры распознавания).

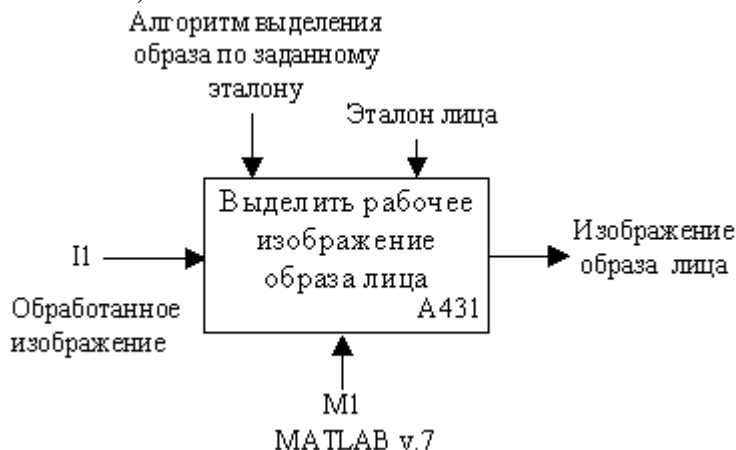


Рисунок 13. Блок выделения рабочего изображения лица.

4.5.2. Блок A432 – блок обработки изображения.

Как видно из рисунка 14, на вход блока поступает описанное в предыдущем пункте изображение образа лица, которое подвергается вторичной обработке, заключающейся, главным образом, в оптимизации его яркости и контрастности (первичная обработка выполнялась над всем изображением сцены).

Цель проведения вторичной обработки заключается в необходимости получения наилучшего результата в ходе выполнения процедуры "подчеркивания границ форм лица" (его овала, границ рта, глаз, бровей и т.д.), применяемой в алгоритме "выделения образа по заданному эталону". Изображение лица является локальным по отношению к изображению сцены, из которого оно получается, следовательно, получаемая вследствие выделения гистограмма образа лица не имеет требуемый вид и надо проводить нормализацию яркости изображения.

Нужно особенно подчеркнуть, что качество распознавания образов в огромной степени зависит от качества самих образов. Именно поэтому улучшению их качества, как изображений, предназначенных для распознавания, необходимо уделить особое внимание. Все процедуры обработки призваны способствовать улучшению качества образов, а также дальнейшему наилучшему выделению признаков вообще или биометрических признаков в частности. В связи с этим, в разрабатываемую систему распознавания включен (как обязательный) блок обработки изображений.

Все процедуры обработки изображения, заложенные в реализацию разрабатываемой системы распознавания, используют в качестве базиса функции пакета *Image Processing Toolbox* программного комплекса MATLAB.

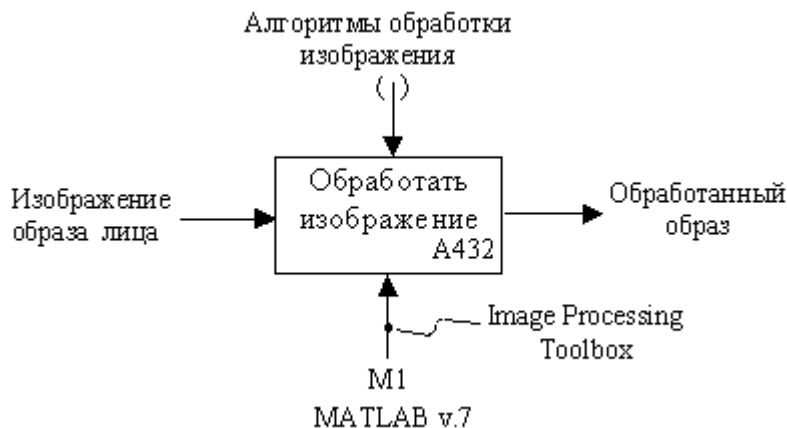


Рисунок 14. Блок обработки изображения.

4.5.3. Блок A433 – блок приведения образа к требуемому виду.

Обработанный образ изображения лица с выхода блока A432 поступает на вход описываемого блока, внутри которого изображение подвергается определенным модификациям (элиминированию поворотов головы, если он имеется, а также перемасштабированию) для приведения его к виду, схожему с эталоном образа лица.

Результатом функционирования блока является "идеальный" образ лица, то есть, его изображение, центрированное относительно поля рамки и приведенное под должный масштаб с четко определенными осями (оси перпендикулярны границам изображения и проходят через центр лица – точку середины отрезка, началом и концом которого являются найденные центры глаз образа лица).

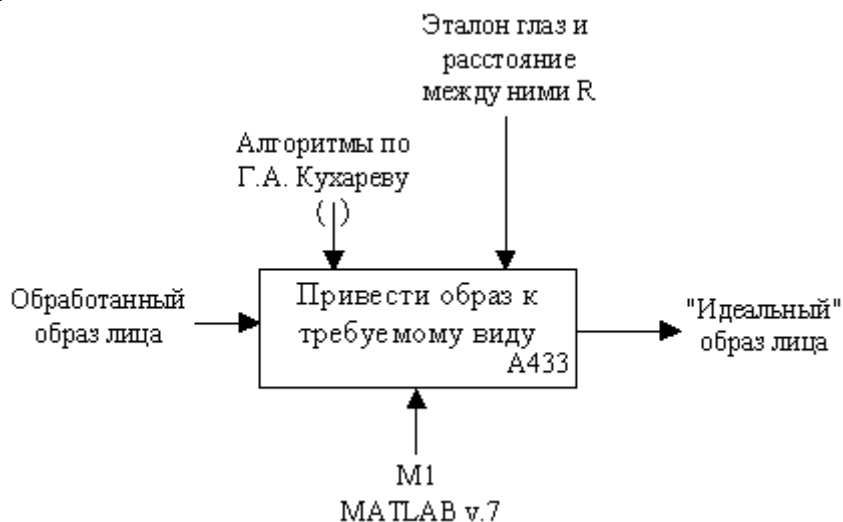


Рисунок 15. Блок диаграммы A433 – блок приведения образа к требуемому виду.

4.5.4. Блок A434 – блок выделения требуемых признаков образа.

Цель функционирования данного блока – выделить из "идеального" образа лица, полученного в ходе работы предыдущего блока приведения образа к требуемому виду, его локальные признаки (среднюю часть лица, образы глаз, носа, подбородка и других в зависимости от вида применяемых в системе алгоритмов и методов распознавания образов) требуемых для проведения последующей процедуры распознавания по ним.

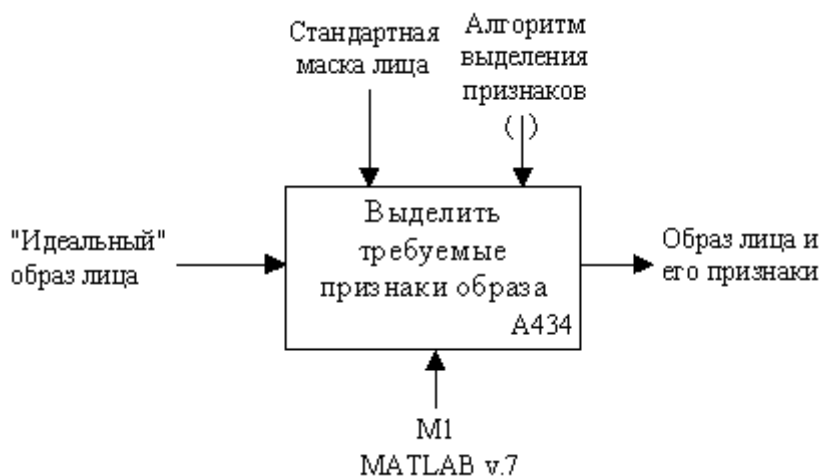


Рисунок 16. Блок диаграммы A434.

5. Формирование ТЗ.

5.1. Общие сведения.

Процесс распознавания в системе «on-line» можно представить следующим образом. Пусть несколько разных изображений лиц (образов) заданного класса (или классов) находятся в базе данных, которая встроена в систему распознавания или к которой она оперирует. Каждый такой образ может быть выбран или представлен как эталон. В процессе реализации задачи распознавания новый образ получается непосредственно с видеокамеры. Необходимо проверить его принадлежность (меру подобия) к одному из классов базы данных; данная операция осуществляется либо посредством вычисления некоторой меры подобия между новым образом и каждым эталоном, либо посредством вычисления меры подобия между некоторой характеристикой нового образа и совместной характеристикой в классе образов. Новый образ будет принадлежать тому классу, мера подобия с которым будет наивысшей и окажется превышающей некоторый порог идентификации. После проведения распознавания, система должна принять решение о допуске потенциального пользователя до пользовательского ресурса (компьютера) на основе полученных результатов верификации (аутентификации).

5.2. Назначение и цели создания системы.

Разрабатываемая система принадлежит к классу биометрических систем, т.е. *автоматизированных систем, предназначенных* для решения задач регистрации пользователей и их идентификацию (аутентификацию). Таким образом, данная система должна реализовывать следующие функции, согласно [1]:

- фиксацию биометрической выборки от конечного пользователя;
- извлечение биометрических данных из этой выборки;
- сравнение биометрических данных с одним или несколькими эталонами;
- принятие решения о том, насколько хорошо соответствуют друг другу сравниваемые биометрические данные;
- формирование результата, например, информации о достижении идентификация или аутентичность;
- принятие решения о повторении, окончании или видоизменении процесса идентификации (аутентификации).

Из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что назначение разрабатываемой системы заключается в проведении автоматической процедуры распознавания человека, пытающегося получить доступ к ресурсу, на котором установлена система. В курсовом проекте этим ресурсом является компьютер, но им может являться, например, закрытые помещения (научные лаборатории, склады), различные вычислительные и информационные ресурсы, банковские терминалы, а также сейфы и различные хранилища.

Стоит также отметить, что технологии, по которым заложены в реализацию системы, как отмечено в [3] *«ненавязчивы (распознавание происходит на расстоянии, не задерживая и не отвлекая человека), они, как правило, пассивны (не требуют специальных действий со стороны человека), не ограничивают пользователя в свободе перемещений и к тому же относительно недороги. Но самое важное, по-видимому, то, что люди обычно узнают друг друга по голосу и по лицам довольно просто и, значит, не будут испытывать неудобств с подобными системами...»*

Цель создания системы – получить навыки разработки и моделирования работы автоматизированных информационных систем распознавания, понять логику построения и работы данного класса систем.

5.3. Характеристика объектов автоматизации.

В данном случае объектом автоматизации является пользовательский компьютер, установленный в одной из аудиторий кафедры РК10.

Важно отметить, что компьютер, на который будет устанавливаться разрабатываемая система распознавания, должен иметь высокие параметры быстродействия и мощности, зависящие от его комплектации. Особенно важным, критичным, параметром является объем оперативной памяти (он должен быть достаточно большим, минимум 512 Мб).

Курсовой проект выполнялся на компьютере со следующими характеристиками:

- процессор: Intel Pentium III Copermine 800 Мц;
- объем оперативная память: SDRAM 381 Мб;
- операционная система: Microsoft Windows 2000 SP4.

Наилучшее быстродействие системы распознавания будет получаться при минимальной тактовой частоте работы процессора 1500 Мц и объеме оперативной памяти равной 512 Мб.

5.4. Требования к разрабатываемой системе распознавания.

Повторим требования к разрабатываемой системе, которые уже были сформулированы ранее в п.4.

Система, должны характеризоваться следующими параметрами:

- высоким качеством распознавания, исключающее ложное принятие решений;
- относительно несложными алгоритмами, обеспечивающими высокое быстродействие при решении задач распознавания;
- простыми способами настройки (переналадки) системы под новую базу данных.
- робастностью по отношению к некоторым изменениям условий получения исходных данных и некоторым изменениям биометрических характеристик образов – пользователей систем.

Последнее требование вытекает из следующих соображений: разрабатываемая система распознавания «on-line» относится к отдельному подклассу систем, а именно – системы, предназначенные для контроля доступа (КД) к чему-либо, например, к компьютеру или помещению [1]. Достаточно очевидно, что в приложение к данным системам КД неактуальность образа пользователя становится главной проблемой. Это объясняется тем, что при длительной эксплуатации системы практически невозможно выдержать одни и те же условия получения исходных данных. Также очевидно, что решение возникших при этом проблем невозможно, поскольку заведомо невозможно предусмотреть все случаи вариантов изменений исходных данных. Именно поэтому и предъявляется последнее требование к разрабатываемой системе.

6. Технический этап проектирования системы.

6.1. Характеристика изображений, получаемых с web-камеры.

В задании на курсовой проект содержалось несколько однотипных по свойствам изображений сцен, полученных с web-камеры, установленной на пользовательском компьютере консультанта по проекту профессора кафедры РК10 Воротникова С.А.

Они представляют собой полутоновые изображения размером 240x240 пикселей и градацией оттенков серого цвета от 0 до 256 формата "tif" (tagged image file format).

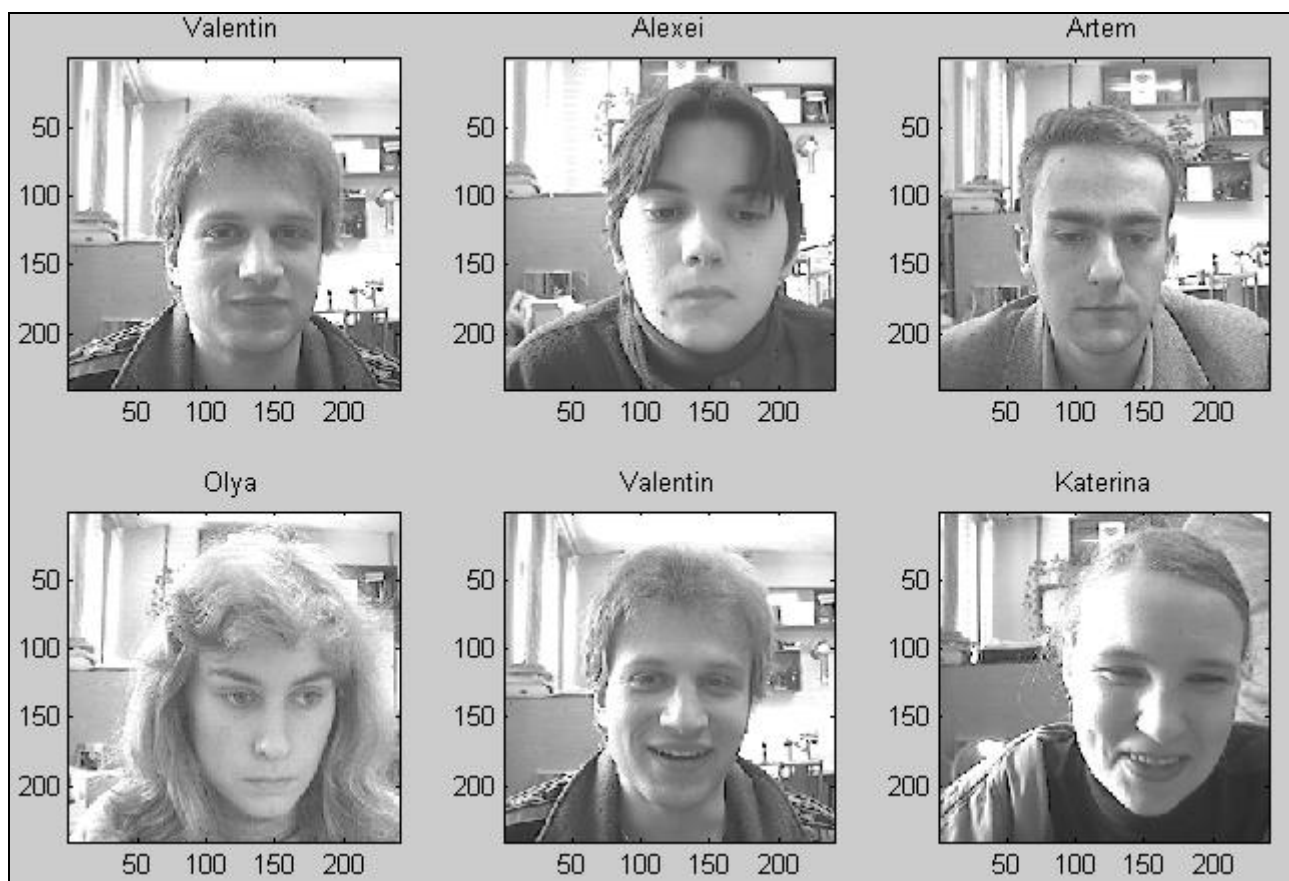


Рисунок 17. Изображения полученные непосредственно с web-камеры.

6.2. База данных изображений лиц и их признаков разрабатываемой системы.

Состав база данных должен быть в достаточной степени качественным. Здесь под качеством исходной базы данных понимается [1]:

- её репрезентативность;
- факт и/или способ структурирования данных;
- качество самих образов, а именно: размер каждого образа (выраженный в пикселях, например), контраст и прорисовка деталей, фон, на котором находится основная часть лица, отсутствие мешающих деталей на области лица и т.д.

В свою очередь, репрезентативность базы данных лиц (и их признаков) и способ её структурирования, выраженный, например, в числе классов и числе образов в каждом классе, определяются необходимостью наличия в базе образов лиц с различным поворотом головы – вверх/вниз, влево/вправо и их комбинацией, присутствием или отсутствием дополнительных предметов (очки, серьги), а также с различной мимикой на лицах. Важно при этом еще и соблюдать более или менее одинаковые условия получения образов лиц (освещенность, размер самого лица на фоне всего образа, незначительные возрастные изменения лиц, представленных в каждом классе).



Рисунок 18. Пример базы данных изображений лиц.

6.3. Отбор признаков при распознавании лиц. Категории признаков.

Рассмотрим категории признаков и способы их получения в задачах распознавания лиц, описанных в [1].

Выбор и выделение признаков играют в распознавании образов центральную роль. Выделяю три основных категории признаков: *физические, структурные и математические*.

В приложении к задачам распознавания людей по лицам, физические и структурные признаки образов лиц выражаются через формы лица (его овала, геометрия основных частей лица). При этом наиболее часто используемый признак этих категорий – яркость, выраженный через значение каждого пикселя на образе лица. Темные и ясные контрасты определяют границы овала лица на общем фоне исходного изображения, границы начала и окончания волосяного покрова на голове, границы и местоположение основных частей лица (глаз, носа, бровей, рта, ушей и т.д.).

К категории *физических и структурных признаков* можно также отнести координаты точек лица в местах, соответствующих смене контраста и являющихся такими частями лиц, как брови, глаза, нос, уши, рот и овал лица. К категории *математических признаков* относятся спектры исходных образов, статические характеристики образов, градиенты изменения яркости и другие, полученные в результате математического преобразования исходных образов.

Для более надежного конечного результата распознавания (верификации) образа в разрабатываемой системе в блоке А44 (блок проведения процедуры распознавания (верификации) образа) должно работать параллельно два алгоритма распознавания: основной и дополнительный. В их основу заложена работа с разными видами признаков (в одном - структурные, в другом - математические).

6.4. Основные методы распознавания изображения по [Вор05].

Условно все методы распознавания можно разделить на две группы: *теоретические* и *структурные*. Наиболее распространенные теоретические методы распознавания используют принципы теории принятия решений.

Рассмотрим группу, состоящую из M классов объектов m_1, m_2, \dots, m_M . На этапе описания формируется n -мерное пространство признаков, такое, что каждому объекту соответствует свой вектор признаков $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$. Компонентами этого вектора обычно служат рассмотренные ранее геометрические признаки объекта. Тогда распознавание представляет собой процедуру отнесения данного объекта к одному из M классов на основании анализа его вектора признаков. Согласно теории принятия решений, нужно найти M дискриминирующих функций $f_1(V), f_2(V), \dots, f_M(V)$, таких, чтобы для произвольного вектора V' , принадлежащему некоторому классу, выполнялось неравенство вида

$$f_i(V') > f_j(V') \text{ при всех } i, j = 1, 2, \dots, M; i \neq j.$$

Таким образом, неизвестный объект, обладающий вектором признаков V_0 , распознается (т.е. относится к i -ому классу), если при подстановке V_0 во все дискриминирующие функции функция $f_i(V_0)$ будет иметь наибольшее значение. При построении дискриминирующих функций обычно используется эталонный вектор V_f , с которым сравниваются векторы признаков объектов. В качестве эталонного может быть выбран вектор, все компоненты которого являются средними арифметическими значениями соответствующих компонент всех объектов заданного класса.

Структурные методы распознавания возникли из теории формальных языков, основанной на математических моделях грамматик. Наиболее известной здесь является модель Хомского. Её идея состоит в построении описания сложного объекта в виде иерархической структуры подобразов (образ описывается более простыми подобразами, каждый подобраз – ещё более простыми подобразами и т.д.).

6.5. Инварианты геометрических преобразований.

Подход к решению задач распознавания образов в разрабатываемой системе основывается на сравнении каждого образа с эталоном и оценке меры подобия между ними. Эталоном в данном случае будет ранее зарегистрированный (выбранный практическим путем) администратором системы образ.

На практике распознаваемый образ и образ-эталон, как правило, отличаются друг от друга масштабом представления, поворотом или же сдвигом. Для образов одного и того же класса в большинстве случаев исходят из того, что распознаваемый образ появился в результате геометрического преобразования (масштабирования, поворота в плоскости рисунка и циклического сдвига) образа-эталона. Если последовательно выполнить все возможные геометрические преобразования (повороты, сдвиги и изменения масштаба) эталонного образа и при этом сравнить результат преобразования с распознаваемым образом, то, в конце концов, можно будет зарегистрировать те параметры преобразований, при которых выступает наивысшее значение меры подобия. Не составит особого труда заметить, что такой многоитерационный подход (распознавание через регистрацию) является достаточно трудоемким с вычислительной точки зрения.

Подход, который заложен в разрабатываемую систему распознавания, строится не на сравнении самих образов, а на сравнении *инвариантов их геометрических преобразований*. При этом инвариант эталона вычисляются заранее и хранятся в памяти, а сравнение нового образа с эталоном происходит за одну итерацию сразу же после вычисления его инварианта.

На практике распознавания образов применяются инварианты, основанные на моментах, UNL-преобразованиях и преобразовании Фурье-Меллина, на разностных функциях, оценке функций расстояний и др.

Многу были выбраны инварианты, основанные на матрице расстояний, как наиболее подходящие и актуальные к методам представления изображений в ходе работы системы распознавания.

Инварианты, основанные на матрице расстояний.

Как известно, расстояние между двумя пикселями, имеющими координаты (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , определяется следующими образом: $d_{1,2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$. Также известно, что оно не изменяется при их синхронном сдвиге и повороте. Это свойство можно использовать при построении инвариантов контурных образов на бинарных и полутоновых изображениях.

Рассматриваемый класс инвариантов вычисляется как расстояния между нормализованными координатами контурного образа. Нормализация координат позволяет дополнительно к отмеченному выше свойству элиминировать масштаб представления образа. Нормализация выполняется отдельно по каждой координате. Последнее связано с тем, что рассматриваемый контур может быть получен как проекция на плоскость контурного объекта из трехмерного пространства. При такой проекции масштаб по каждой координате не всегда остается одинаковым.

Весь процесс вычисления инварианта можно представить следующим образом:

1. Проводится операция выделения контурного графика рабочего изображения.
2. Исходные координаты контура записываются в форме вектора X , состоящего из N комплексных чисел: $X = [(x_1 + iy_1), (x_2 + iy_2), \dots, (x_N + iy_N)]^T$.
3. Проводится операция центрирования исходных данных относительно среднего значения: $X_0 = X - \bar{X}$, где \bar{X} - среднее значение вектора X .
4. Вычисляются нормированные координаты:
 $X^{(N)} = \text{real}(X_0) / \max(\text{real}(X_0)) + i[\text{imag}(X_0) / \max(\text{imag}(X_0))]$, где $\max(*)$ – максимальный элемент.
5. На основании выше приведенной формулы для нахождения расстояния между двумя точками вычисляется матрица расстояний для всей совокупности нормированных координат:

$$D_N = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{N1} & \dots & d_{NN} \end{pmatrix}, \text{ где}$$

d_{ij} - расстояние между i -ой и j -ой координатами и $i, j = \overline{1, N}$.

На рисунке 19 приведены контурные образы руки, полученные для различных параметров масштаба, поворота и сдвига, и вычисленные для этих образов матрицы расстояний. Сравнивая между собой полученные матрицы расстояний, можно отметить, что все они одинаковые (взаимная корреляция между ними равна строго 1).

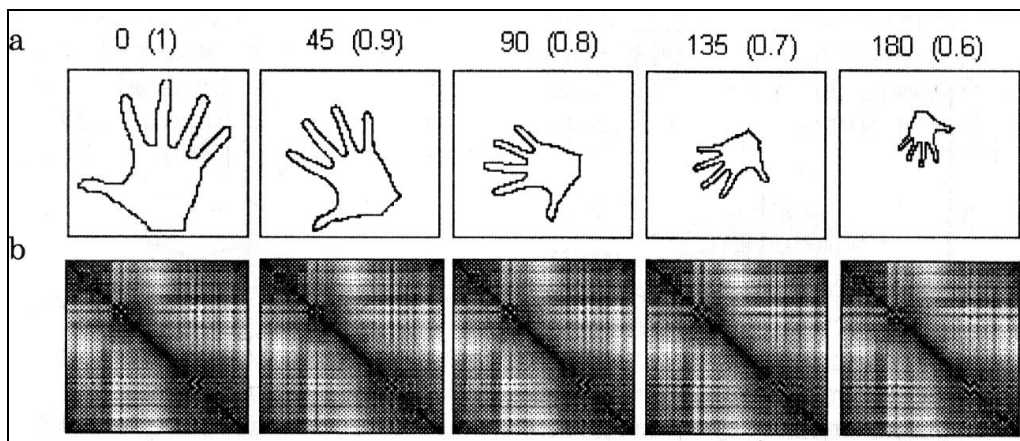


Рисунок 19. Контурные образы (a) и соответствующие им матрицы расстояний (b)

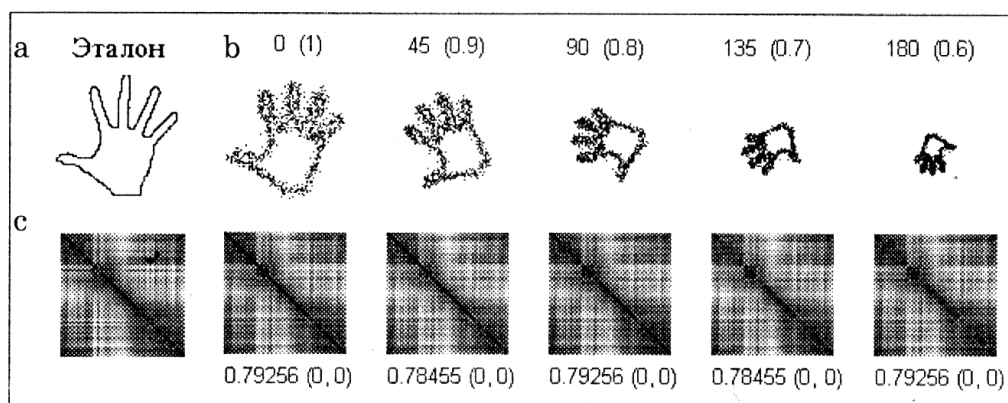


Рисунок 20. Сравнение образа-эталона (a) с зашумленными контрольными (b) образами, соответствующие им матрицы расстояний (c) и корреляция между ними.

На рисунке 20 представлены результаты сравнения образа-эталона руки с аналогичными образами, границы которых зашумлены. В данном примере наложенный шум изменял границы контуров в пределах 5 пикселей по каждой координате. Такое или подобное представление контурных образов может возникнуть на практике при обработке реальных данных.

Как видно, значения взаимной корреляции почти доходит до величины 0.8, что свидетельствует о подобию всех образов между собой.

6.6. Блок A4 – блок верификации (идентификации) образа пользователя.

Как было уже отмечено выше, блок A4 является основным блоком системы, отвечающим за проведение непосредственно самой процедуры распознавания и принятия решения о допуске человека, находящегося перед камерой и требующего допуска к пользовательскому ресурсу.

Остальные блоки (A1, A2 и A3) имеют отношение непосредственно только к начальной настройке и пополнению новой информацией базы данных системы распознавания. Их описательный характер был дан на концептуальном этапе проектирования системы и акцентировать на них внимание на этом этапе проектирования не имеет особого смысла, так как это не являлось главной целью данной курсовой работы. Стоит лишь отметить, что часть администраторской работы, а именно – выделение эталонов образов-масок, приписанная блоку A13 (одноименному блоку), была мною проведена, и её результаты будут описаны ниже на рабочем этапе проектирования системы.

Итак, как уже было отмечено в пункте 4.4, *цель функционирования блока A4* – принять решение о доступе потенциального пользователя к ресурсу (компьютеру). Данное решение принимается на основе сравнения изображения образа человека, полученного с web-камеры и подвергнутого после нормализации (приведению к некоторому стандартному виду), и его признаков с аналогичными по виду и репрезентативности изображениями образов и их признаков, хранящихся в базе данных системы распознавания.

6.6.1. Блок A41 – блок обработки видеопотока с web-камеры.

Видеопоток с информацией о потенциальном пользователе компьютера, считывается с web-камеры и поступает на вход блока. После чего, посредством функций компонента MATLAB Video and Image Processing Blocksets, предназначенного для блочного моделирования и работы с видео и изображениями, видеопоток преобразуется в отдельные изображения рабочей сцены. При возникновении необходимости, например, при установлении ошибки в ходе проведения процедуры распознавания, система запускает механизм повторного считывания информационного видеопотока с web-камеры. Пример выходного изображения с его гистограммой и её передаточной характеристикой (эквализацией) показан ниже.

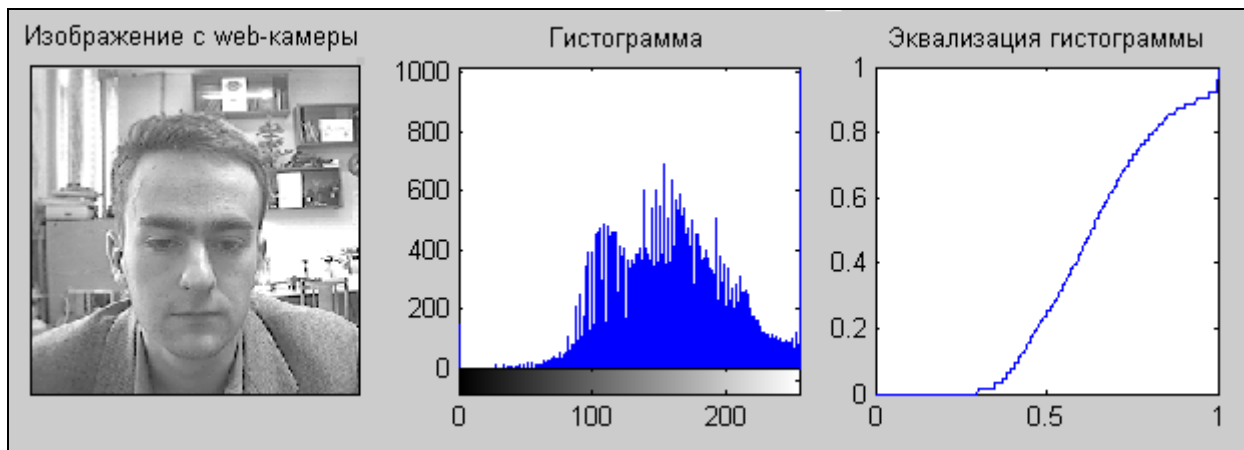


Рисунок 21. Изображение, полученное обработкой видеопотока, и его характеристики.

Как можно видеть, вследствие того, что камеры, предназначенной для получения исходных изображений, используется web-камера не очень высокого качества (предназначенная для видеоконференций), возникает проблема, связанная с нестабильностью яркостных параметров изображения: яркость и контраст изображения полностью зависят от окружающего (наружного) освещения. Именно поэтому, полученные изображения далее подвергаются предварительной обработке в блоке А42.

6.6.2. Блок А42 – блок предварительной обработки изображения.

В блоке А42 полученное изображение подвергается обработке (фильтрации, изменению яркости и контрастности) функциями пакета *Image Processing Toolbox* программного пакета MATLAB v.7 для последующей лучшей и удачной проведения процедуры выделения из данного изображения сцены образа и его признаков (соответственно изображение с выхода описываемого блока подается на вход А43 – блока выделения образа и его признаков).

Так как исходными признаками для методов распознавания являются значения пикселей, то нестабильность или различие в уровнях яркости становятся особенно опасными. И хотя в упомянутых методах с помощью яркости выявляются форма и детали образа (например, овал лица, форма рта, бровей, глаз), система будет скорее реагировать на подобие в освещении некоторого эталона и исходного изображения, чем на подобие в деталях лиц.

Одним из методов улучшения таких изображений является *видоизменение гистограммы яркости* – преобразование яркостей изображения так, чтобы гистограмма распределения яркостей выходного изображения приняла желаемую форму; перепад яркости при этом рассматривают относительно некоторого её порогового значения, который выбирают на этапе формирования изображения путем регулирования освещенности.

Стоит также отметить [1], что выбор *порога яркости* является важнейшей процедурой первого этапа предварительной обработки изображения (в разрабатываемой системе эта процедура проводится в блоке А1 – предварительной настройки системы), поскольку его качество сильно зависит от освещенности рабочей сцены. Если освещенность занижена, то увеличивается количество помех на изображении вплоть до потери объекта; при очень сильной освещенности происходит засвечивание изображения, т. е. объект снова пропадает.

Обычно при улучшении изображения применяют покадровую регулировку яркости и контрастности вводимого изображения. Для каждого кадра строят гистограмму распределения яркости изображения и вычисляют её параметры: математическое ожидание и дисперсию. Каждая точка гистограммы определяет, какое количество пикселей изображения имеет данное значение яркости. При этом математическое ожидание определяет общую яркость изображения, а дисперсия – его контрастность.

В автоматическом режиме операция нормализации яркости изображения сцены осуществляется с применением функции пакета *Image Processing Toolbox* "adapthisteq" – она выполняет контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы. Здесь методика

повышения контрастности изображений базируется на анализе и эквализации гистограмм локальных окрестностей изображения.

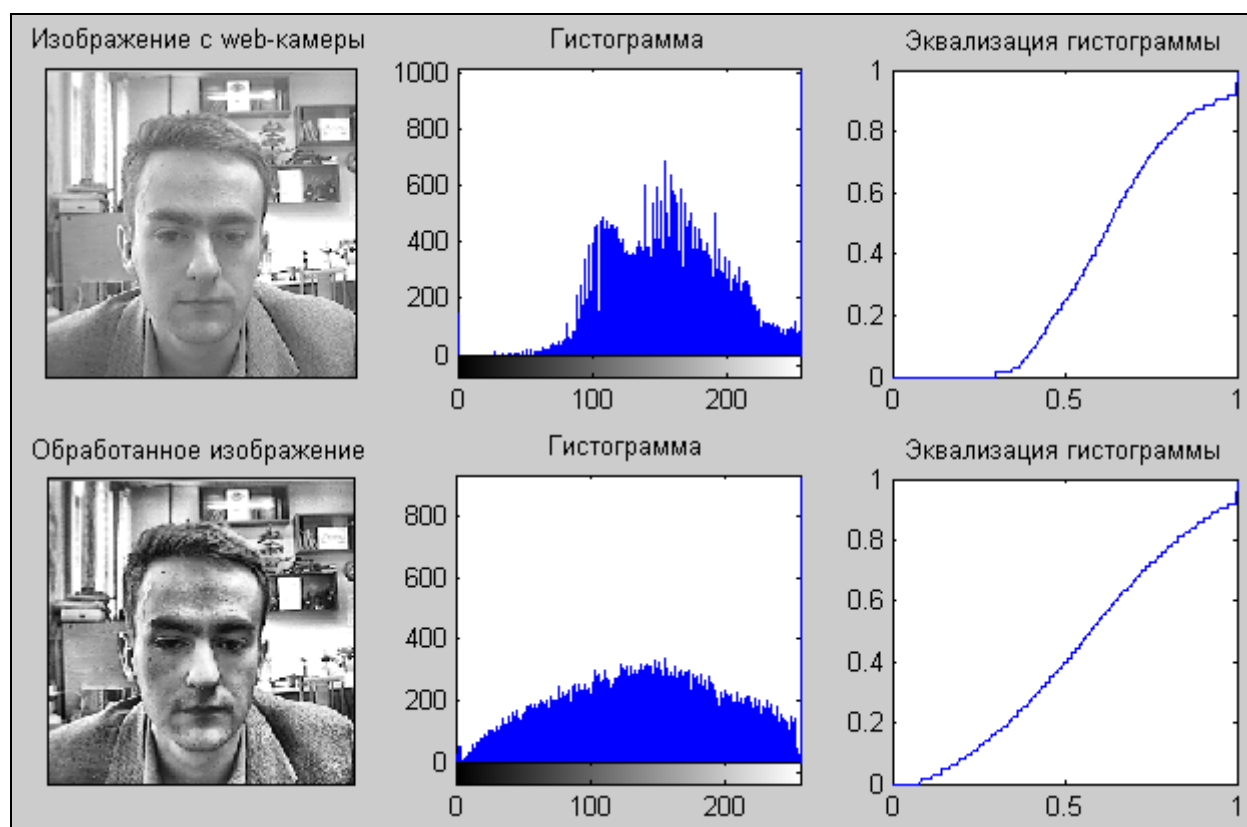


Рисунок 22. Исходное и обработанное изображение.

Достаточно очевидно, что в разрабатываемой системе распознавания "on-line" операцию нормирования (обработки изображения образа) необходимо применять дважды: *первый раз* непосредственно к исходному изображению, полученному с web-камеры, что создаст лучшие условия работы блока А431 выделения изображения образа лица; *второй раз* – к выделенному изображению внутри блока А432, поскольку оно является локальным по отношению ко всему исходному изображению и в нем не использован весь диапазон изменения яркости.

6.6.3. Блок А43 – блок выделения образа лица и его признаков.

Прежде чем подойти к проблеме выделения образов из общей сцене, введем определение «описания изображения» как понятие, непосредственно относящееся к решению этой задачи.

Под *описанием* по [2] понимается определение характерных параметров объекта – признаков (дескрипторов), необходимы для его выделения из числа всех, образующих сцену. Выбор описания является очень ответственной задачей, так как если оно выбрано удачно, то распознавание (идентификация) может быть проведена достаточно легко, и наоборот. Чаще всего формирование признаков проводит сам разработчик системы или алгоритма распознавания или эксперт, хорошо знающий конкретную задачу. Поэтому универсальных подходов к выбору признаков не существует, и при распознавании объектов велика роль субъективного фактора. В то же время некоторые общие принципы существуют. Так, в большинстве случаев к признакам, входящим в описание, предъявляется требование инвариантности к повороту, трансляции (переносу) и гомотетии (изменении масштаба). Инвариантность к гомотетии особенно существенна, когда объекты располагаются не на плоскости, а в пространстве. К таким инвариантным признакам относятся, например, яркость объектов сцены, их текстура и цвет.

Модель лица в разрабатываемой системе представляет собой набор некоторых элементов прямоугольной формы – масок. Каждая маска характеризуется двумя геометрическими

признаками – площадью и расстоянием от геометрического центра маска до выбранного центра изображения. Анализируется 7 масок: правый глаз, левый глаз, нос, рот, правая и левая носогубные складки и подбородок. Центром изображения является геометрический центр лица (точка, приблизительно соответствующая середине переносицы, рисунок 23).

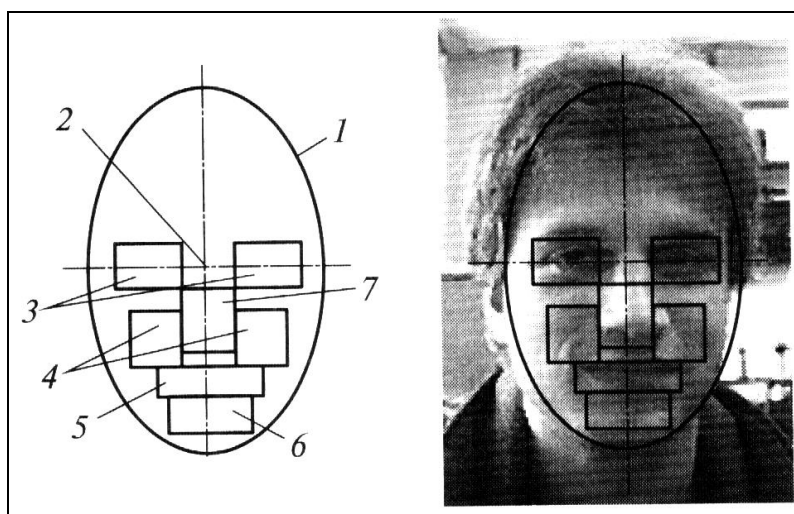


Рисунок 23. Модель исходного изображения.

1- контур лица; 2 – геометрический центр изображения; 3 - 7 – маски глаз, носогубных складок, рта, подбородка и носа соответственно.

Элементы распознаваемого лица хранятся в виде вектора признаков, содержащего все маски с их признаками. Следовательно, лицо характеризуется 14-компонентным вектором признаков. Размеры масок различны и изменяются в диапазоне от 15х11 пикселей для носогубных складок до 31х13 пикселей для рта.

Работа данного блока как раз и заключается в том, чтобы корректно выделить описанные выше признаки (элементы) распознаваемого образа лица. В функционирование блока заложена работа «алгоритма выделения образа по заданному эталону»; заданными в данном случае как раз и являются те константные образы-маски, которые специальным образом выделяются администратор системы в блоке А13.

6.6.4. Блок А44 – блок проведения процедуры распознавания (верификации) образа.

В блоке проведения распознавания (верификации) полученный выше образ лица и его признаки сравниваются определенным образом и по описанным в [1] методам и алгоритмам с каждым аналогичным образом и его признаками из базы данных разрабатываемой системы.

Работа данного блока построена на параллельном функционировании двух алгоритмов распознавания: *основного* (основанного на сравнении по структурным признакам, описанным выше) и *дополнительного* (основанного на сравнении по математическим признакам). Если система посчитает, что результат распознавания по основному алгоритму некорректный или был отрицательный, то осуществляется вторичная обработка результатов распознавания по дополнительному алгоритму, использующему другие признаки.

После следует сравнительная оценка общих результатов распознавания входного образа и выдача сравнительного диалогового окна с результатами распознавания и решением о допуске человека к пользовательскому ресурсу (компьютеру). Система может запросить повторное считывание видеoinформации с web-камеры с целью повторения всей процедуры заново (это может произойти, как уже говорилось выше, при сбое в ходе выполнения процедуры распознавания).

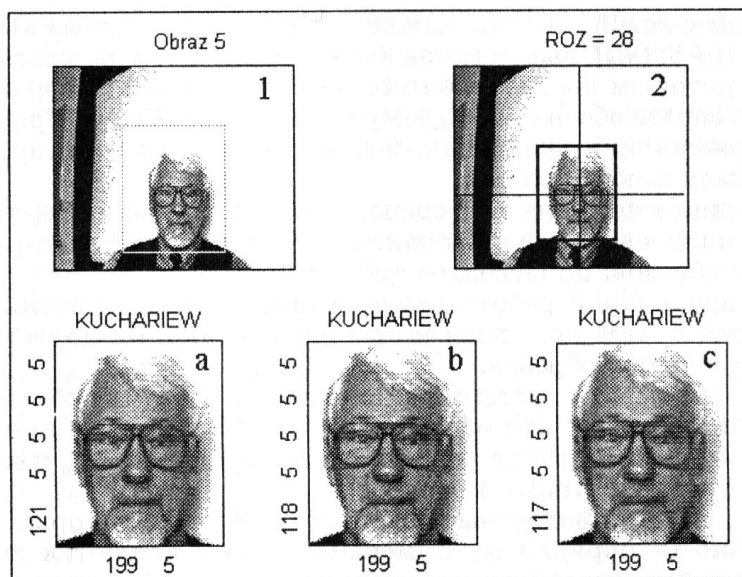


Рисунок 24. Возможный вид диалогового окна результатов распознавания.

6.7. Декомпозиция блока диаграммы A43 – блока выделения образа лица и его признаков.

Опишем более подробно процедуру выделения образа лица и его признаков, выполняющуюся в этом блоке, его внутреннюю работу и функционирование декомпозиционных всех блоков.

Функции, выполняемые описываемым блоком:

- выделение собственно лица из целого изображения (исходного образа);
- улучшение выделенного образа лица;
- согласование размеров с эталоном;
- элиминирование поворотов и наклонов изображения головы;
- выделение требуемых признаков образа.

Следует отметить, что сущность обработки изображения заключается в приведении исходного изображения сцены к виду, позволяющему решить задачу распознавания её объектов. Это многочисленные процедуры *предварительной обработки*, заключающиеся в улучшении изображения, выделении на изображении объектов сцены и определении их признаков. Конечной целью обработки изображения является подготовка объектов сцены к распознаванию, т. е. отнесению их изображений к некоторым заранее заданным классам [2].

6.7.1. Блок A431 – блок выделения рабочего изображения лица.

Наиболее трудной задачей реализации функций среди перечисленных выше является выделение собственно лица из исходного (заданного) изображения, а также его основных частей. Для решения этих задач используются два известных метода [1].

Первый основан на просмотре всего исходного изображения локальной маской и сопоставлении образа в поле этой маски с некоторым эталоном. Эталон является изображением заданного размера, в котором человеческое лицо или его часть (с фотографии) расположенного в центре, а фон в окружении лица соответствует фону исходного изображения. При этом на эталоне должно быть представлено практически фронтальное изображение лица человека. В качестве меры различия берется среднеквадратическая ошибка или нормированная корреляция между образом в поле маски и эталоном. Минимум среднеквадратической ошибки (или максимум взаимной нормированной корреляции), полученный в результате всего просмотра, будет свидетельствовать о наилучшем соответствии изображения в поле маски – эталону.

В данном курсом проекте в качестве метода выделения рабочего изображения лица был выбран первый подход. Опишем его использование более подробно, на примере *рисунка 25*.

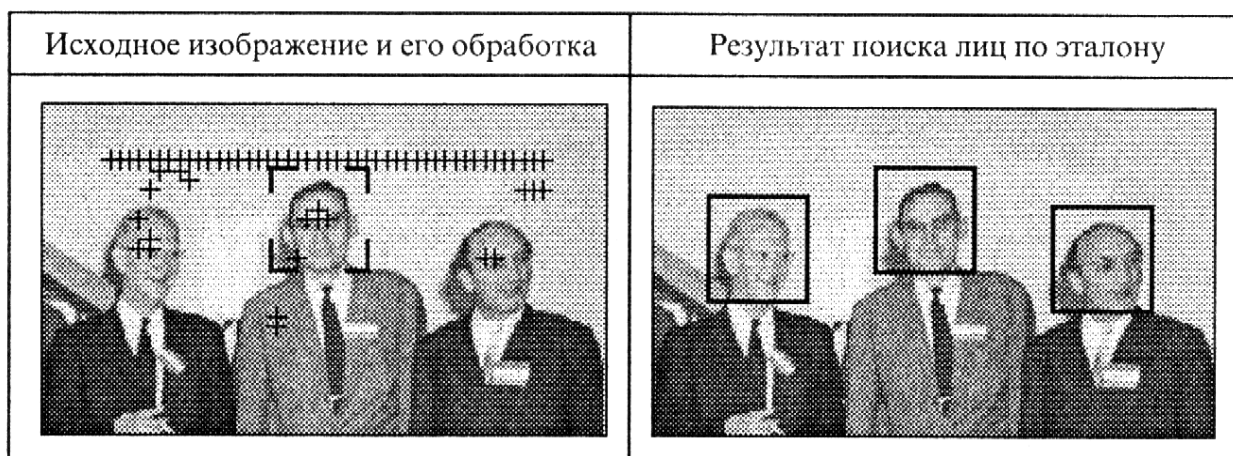


Рисунок 25. Выделение лиц из фотографии с помощью первого подхода.

В качестве эталона выбрано лицо человека, стоящего в центре левой фотографии, а сам эталон выделен квадратной рамкой. Просмотр изображения (с помощью маски размером с эталон) начинается от некоторой позиции левого верхнего угла и продолжается вертикально вниз до момента, пока маска находится в поле исходного изображения. На рисунке знаками «+», выстроенными в линейку, обозначены позиции начала поиска. На каждом шаге просмотра оценивается среднеквадратическая ошибка между образом в поле маски и эталоном. Если на текущем шаге просмотра ошибка меньше некоторого заданного порога и меньше, чем вычисленная на предыдущем шаге, то она записывается в "вектор ошибок", а координаты центра маски запоминаются. На верхнем рисунке в поле лица каждого человека видны знаки «+», определяющие координаты центров маски, для которых вычисленная ошибка отвечала приведенным выше условиям. По окончании первого вертикально просмотра в векторе ошибок отыскивается «глобальный минимум», а по нему – соответствующие координаты центра маски, которые определяют наилучшее совмещение (привязку) изображения в поле маски с эталоном. Полученные при этом три параметра – ошибка, координата X (столбец исходного изображения) и координата Y (строка) записываются в некоторый вектор результатов.

Далее просмотр продолжается с новой верхней позиции, отстоящей от самой первой позиции на некоторую величину *delta*. И так проводится сканирование всего изображения, а в векторе результатов накапливается информация о тех участках исходного изображения, которые соответствуют эталону.

Для ускорения сканирования всего исходного изображения переход на новую позицию маски осуществляется скачкообразно, с некоторой *delta* (большей, чем один пиксель). Поэтому по окончании всего просмотра выполняется, так называемая, локальная привязка. Она реализуется относительно параметров, записанных в векторе результатов, с шагом сканирования ± 1 пиксель и только в пределах *delta*. В процессе выполнения локальной привязки также ищется минимум ошибки (при этом порогом является значение ошибки, взятое из текущей позиции вектора результатов), по которому и определяется окончательные координаты интересующего нас образа.

Второй подход использует информацию о градиентах яркости исходного изображения и процедуру вычисления центра лица, относительно которого затем выделяется все лицо.

Рассмотрим этот подход немного поподробнее. Вместо обычного изображения эталона всегда используется матрица его градиентов яркости, а перед процедурой выделения лица (или его деталей) исходного изображения также представляется в форме его градиентов яркости. При этом в качестве меры различия двух матриц градиентов (одна соответствует эталону, другая – образу в поле рамки на исходном изображении) используется, так называемая метрика L_0 (сумма модулей разностей между ними).

На рисунке 26 приведено изображение сцены и три различных способа получения вычисления градиентов его яркости, построенных с помощью написанной на языке MATLAB

функцией «`ddk_grad`»: I_x – градиент яркости по оси X; I_y – по оси Y; $I_x + I_y$ – соответственно их сумма.

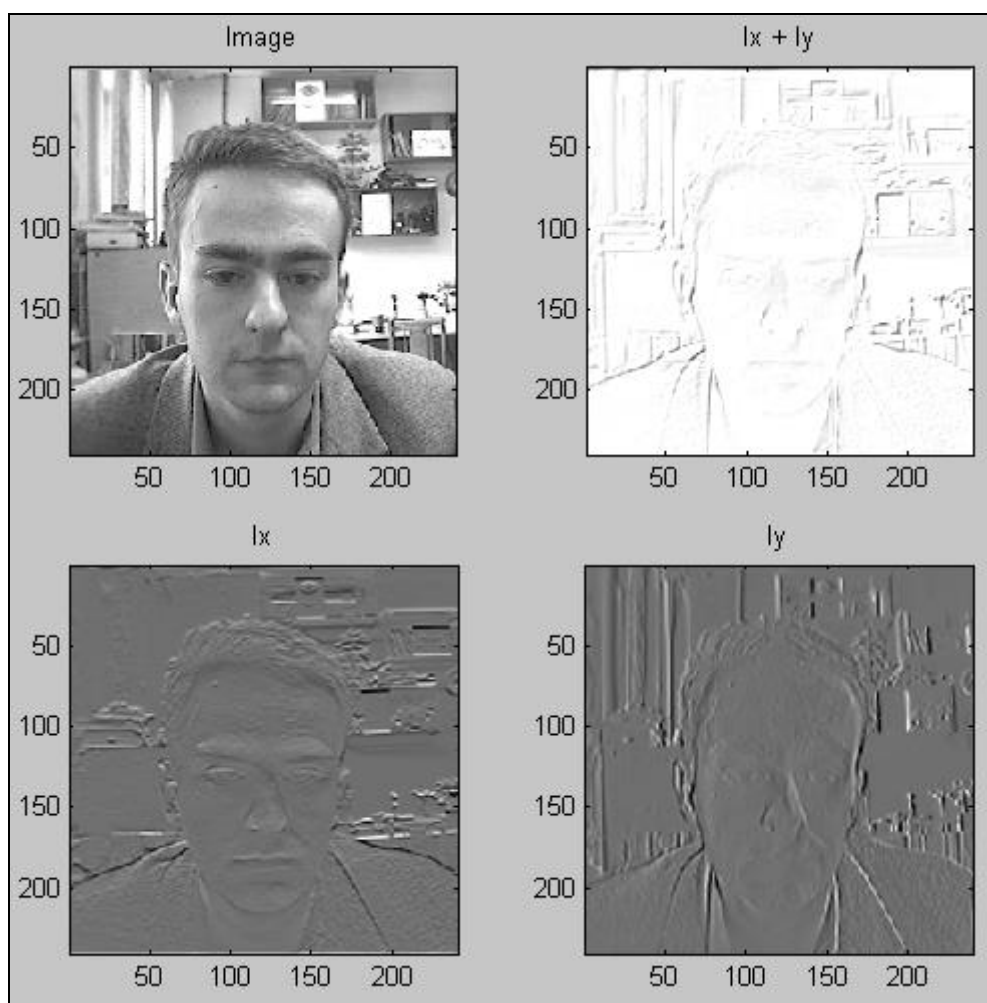


Рисунок 26. Исходное изображение и представление его в форме градиентов.

6.7.2. Блок диаграммы A432 – блок обработки изображения.

Следует напомнить, что *цель проведения вторичной обработки* заключается в необходимости получения наилучшего результата в ходе выполнения процедуры "подчеркивания границ форм лица" (его овала, границ рта, глаз, бровей и т.д.), требуемой в процедуре "выделения образа по заданному эталону"; в нашем случае, эта процедура, прежде всего, делается для подчеркивания и более четкого выделения областей глаз с целью четкого получения их центров после проведения последующей одноименной процедуры.

Изображение лица является локальным по отношению к изображению сцены, из которого оно получается, следовательно, получаемая вследствие выделения гистограмма образа лица не имеет требовательный вид и надо проводить нормализацию яркости изображения.

На вход блока поступает описанное в предыдущем пункте изображение образа лица, которое подвергается вторичной обработке, заключающейся, главным образом, в оптимизации его яркости и контрастности (первичная обработка выполнялась над всем изображением сцены). Она осуществляется все той же функций пакета *Image Processing Toolbox* **adapthisteq**.

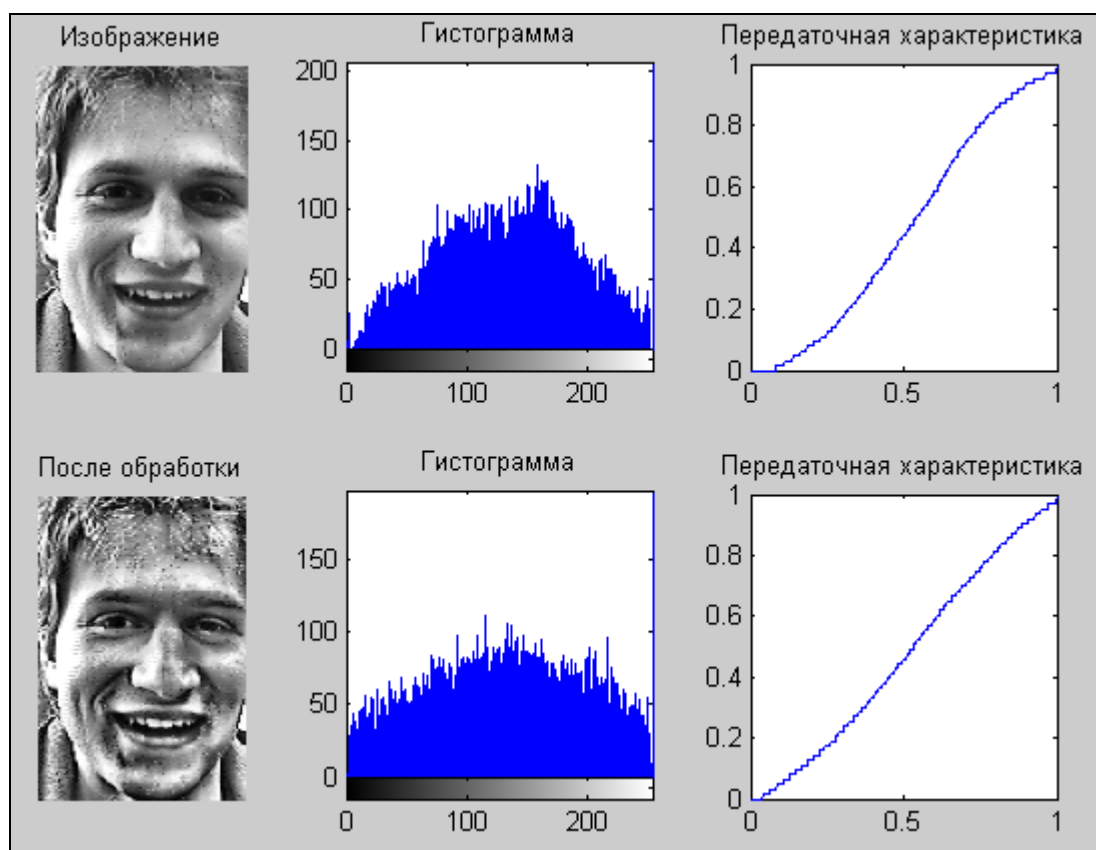


Рисунок 27. Улучшение выделенного образа.

6.7.3. Блок А433 – блок приведения образа к требуемому виду.

Обработанный образ изображения лица с выхода блока А432 поступает на вход описываемого блока, внутри которого изображение подвергается следующим модификациям:

- определяются центры глаз образа и расстояние между ними;
- устанавливается геометрический центр лица;
- выполняется согласование размеров образа и изображением эталона;
- выполняется операция элиминирования поворота и наклона головы;
- выделенный образ центрируется относительно рамки изображения;
- прорисовываются оси изображения образа.

Результатом функционирования блока является "идеальный" образ лица, то есть, его изображение, центрированное относительно поля рамки и приведенное под должный масштаб с четко определенными осями (оси перпендикулярны границам изображения и проходят через центр лица – точку середины отрезка, началом и концом которого являются найденные центры глаз образа лица).

Выполнение процедуры нахождения центров глаз также основывается на работе алгоритма «выделение образа по заданному эталону» (в качестве эталона выступает образ-эталон глаза, правого и левого).

6.7.4. Блок А434 – блок выделения требуемых признаков образа.

Цель функционирования данного блока – выделить из "идеального" образа лица, полученного в ходе работы предыдущего блока приведения образа к требуемому виду, его признаки согласно исходной модели лица, показанной на рисунке 23, требуемых для проведения последующей процедуры распознавания по ним.

6.8. Алгоритм выделения образа лица по заданному эталону.

В пункте 5.7.1 были описаны два метода решения задачи выделения собственно лица из исходного (заданного) изображения, а также его основных частей.

Как будет показано далее (на этапе рабочего проектирования системы) первый подход, основанный на просмотре всего изображения локальной маской и сопоставлении образа в поле маски с некоторым эталонным образом, наиболее результативен и востребован для заданных исходных данных функционирования системы (этим условиям соответствуют параметры яркости и контрастности на заданных фотографиях с web-камеры, а также окружающий изображения лиц фон помещения, в котором установлена камера).

В итоге был разработан и реализован в функции «*ddk_selectD(im, id)*» алгоритм, решающий задачу выделения образа лица из исходного изображения (оно характеризуется своей матрицей *im*, которую принимает функция) по заданному образу-эталону (также характеризующимся матрицей *id* и принимаемом описываемой функцией).

Суть алгоритма описана в п. 5.7.1 и будет излишне повторять его заново; приведем лишь основные отличия и новые идеи, заложенные в реализованную функцию «*ddk_selectD(im, id)*»:

- функция принимает матрицы исходного изображения сцены, из которого требуется выделить образ лица, и эталонный образ лица;
- определяются и записываются в соответствующие переменные габаритные размеры входных изображений;
- проводится операция выделения контурных графиков для последующей дальнейшей работы с ними;
- вычислить инвариант, основанный на матрице расстояний, с помощью реализованной функции *ddk_invD(Id)* изображения-контраста образа-эталона лица;
- произвести сканирование всего изображения сцены локальной маской размера равного вычисленному выше размеру эталона; на каждом шаге сравнивать (на основе нахождения корреляции, меры подобия, между матрицами) вычисленный инвариант контура, охваченного локальной маской, с определенным выше "идеальным" значением инварианта, и если полученный коэффициент сравнения больше, чем аналогичный, вычисленный на предыдущем шаге, то записать его значение и координаты расположения маски в определенные ранее переменные;
- выделить из входного изображения сцены матрицу по координатам, соответствующим максимальному коэффициенту корреляции, полученного после описанной выше процедуры сканирования контурного образа этого изображения;
- записать полученную матрицу образа в файл «*Result.tif*».

Блок схемы функции *ddk_selectD(im, id)* и *ddk_invD(Id)*, а также листинг этих функций, написанных на языке программирования MATLAB, смотри в приложении.

7. Рабочий этап проектирования системы.

На данной стадии разработки системы распознавания будет достаточно подробно обоснован выбор методов (улучшений изображения, вид его представления), которые "вшиты" в основные реализованные функции системы, а также результаты проведенной работы по выделению образов-эталонов из выбранного мною изображения, как идеального, и собственно самого образа лица из представляемого для распознавания изображения сцены, содержащий образ потенциального пользователя системы.

7.1. Выделение образа лица: сравнение и анализ применяемых подходов.

В пункте 5.7.1 было сказано, что для решения задачи выделения собственной лица из исходного (заданного) изображения, а также его основных частей, используются два базовых подхода: первый, основан на просмотре всего изображения локальной маской (он используется в реализации алгоритма выделения образа лица по заданному эталону, в функции *ddk_selectD*); второй, основывается на информации о градиентах яркости изображения исходного изображения.

7.1.1. Использование информации о градиентах яркости исходного изображения.

На основе информации о градиентах яркости изображения сцены вычисляется центр лица, относительно которого затем выделяется все лицо.

Процедура получения информации о градиентах была реализована мною в функции «*ddk_grad(Im)*», которая принимает матрицу исходного изображения и выдает вычисленное распределение градиентов по осям X и Y, а также суммарную картину градиентов входного изображения. Проиллюстрируем работу этой функции с одним из выданных изображений.

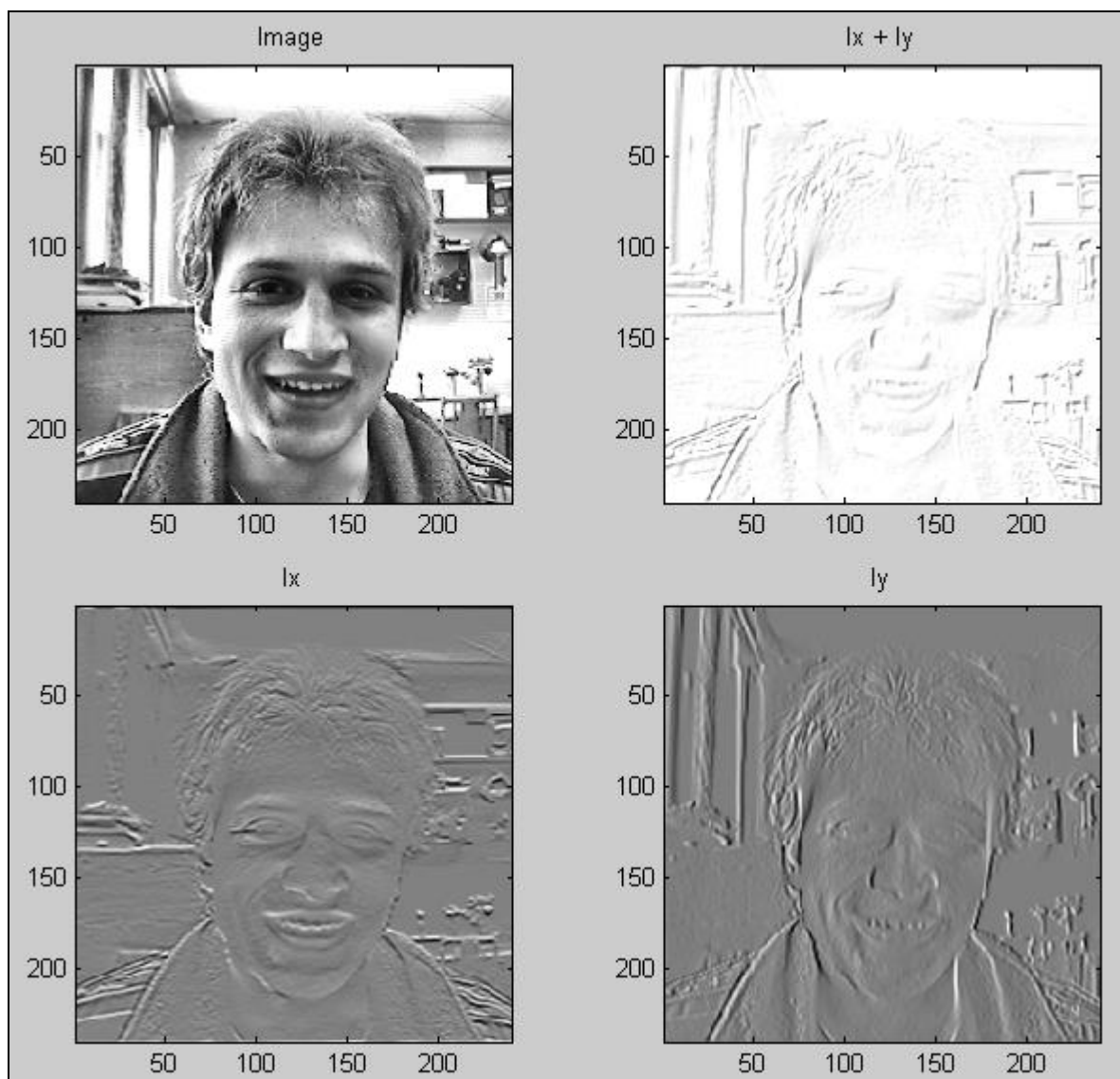


Рисунок 27. Информация о распределении градиентов яркости изображения.

Как видно из приведенного выше рисунка, суммарное распределение градиента яркости по обеим осям не дает четкой и однозначной информации о нахождении как самого контура лица, так и его центра (в данном подходе под центром понимается кончик носа). Эта неопределенность вытекает из того, что сцена изображения сильно неоднородна по своей структуре и содержанию, следствием этого является присутствие резких перепадов яркости по всему изображению, следовательно, применение этого подхода в базовой процедуре выделения образа лица нежелательно.

7.1.2. Просмотр исходного изображения локальной маской.

Как было сказано выше, эта идея и суть этого подхода заложена в реализованную функцию «*ddk_selectD(im, id)*» – функцию выделения образа лица по заданному эталону.

Изображение, полученное из исходного путем проведения процедуры выделения его контурного графика, просматривается локальной маской размером с эталонный образ, и образ, заключенный в поле этой маски, сопоставляется с контурным образом-эталон (находится корреляция, мера подобия, между инвариантами сопоставляемых образов).

Эталоном является изображение определенного размера, в котором человеческое лицо или его часть (с фотографии) расположенного в центре, а фон в окружении лица соответствует фону исходного изображения.

Приведем результаты проведенной работы по выделению контурного графика, нахождению инварианта, основанного на матрице расстояний (на основе реализованной функции «*ddk_invD(Iedge)*», принимающей контурный график образа), а также результат выделения образа лица и эталона, по которому производилась процедура выделения.

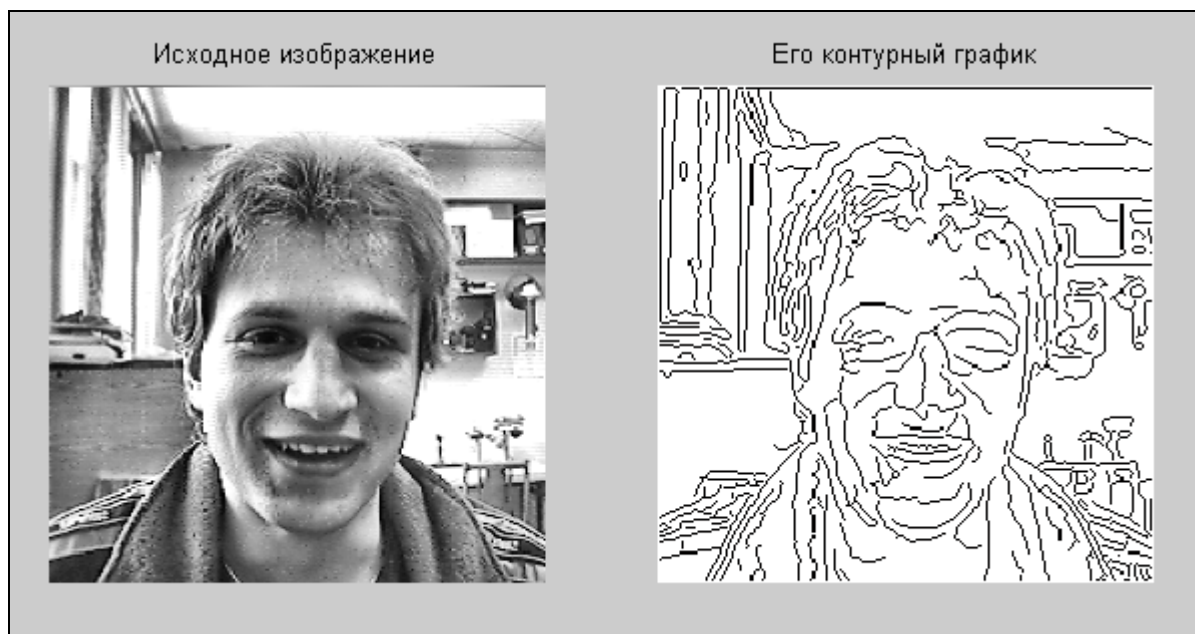


Рисунок 30. Результат выделения контурного графика исходного изображения.

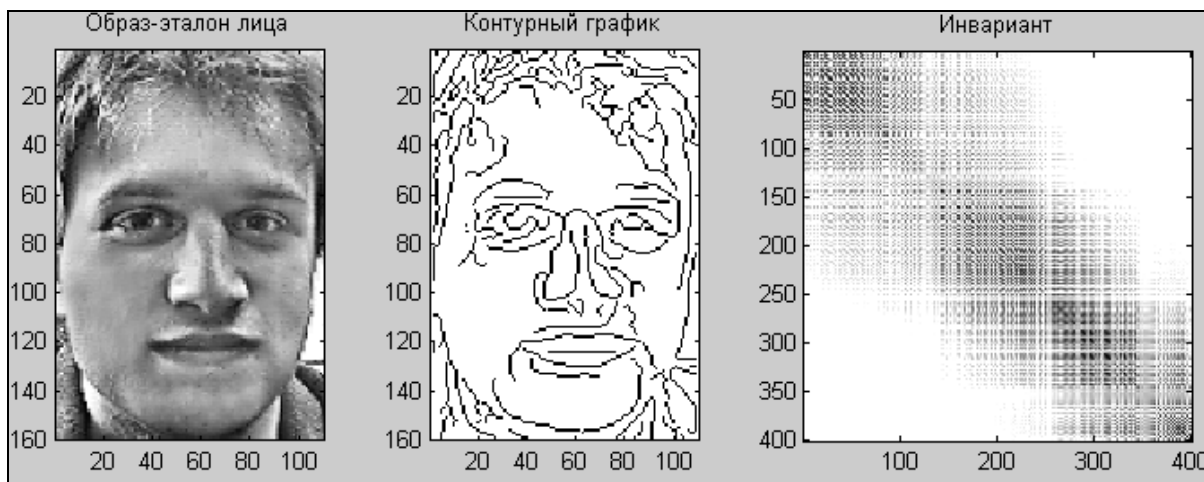


Рисунок 31. Инвариант и контурный график образа-эталона лица.

Следует отметить, что вместо контурного графика изображения, вполне можно, и даже нужно, использовать само изображение образа, и работа внутри системы должна вестись с матрицами изображений, но тогда процедура выделения лица, да и нахождение инварианта-матрицы расстояний, занимала бы большой промежуток времени (одна итерация в теле цикла алгоритма выделения длилась бы около 5 секунд, а всего таких итераций около 440 при шаге цикла равном 6). Поэтому, для облегчения вычислительной нагрузки на систему, мною было решено работать с контурными графиками. Как видно, результат их выделения, в достаточной степени, можно считать удачным, так как визуально четко просматривается контурный образ лица, а значит можно заставить машину его найти и выделить из общей сцены изображения. Попыткой решения этой задачи стала разработанная функция «*ddk_selectD(im, id)*».

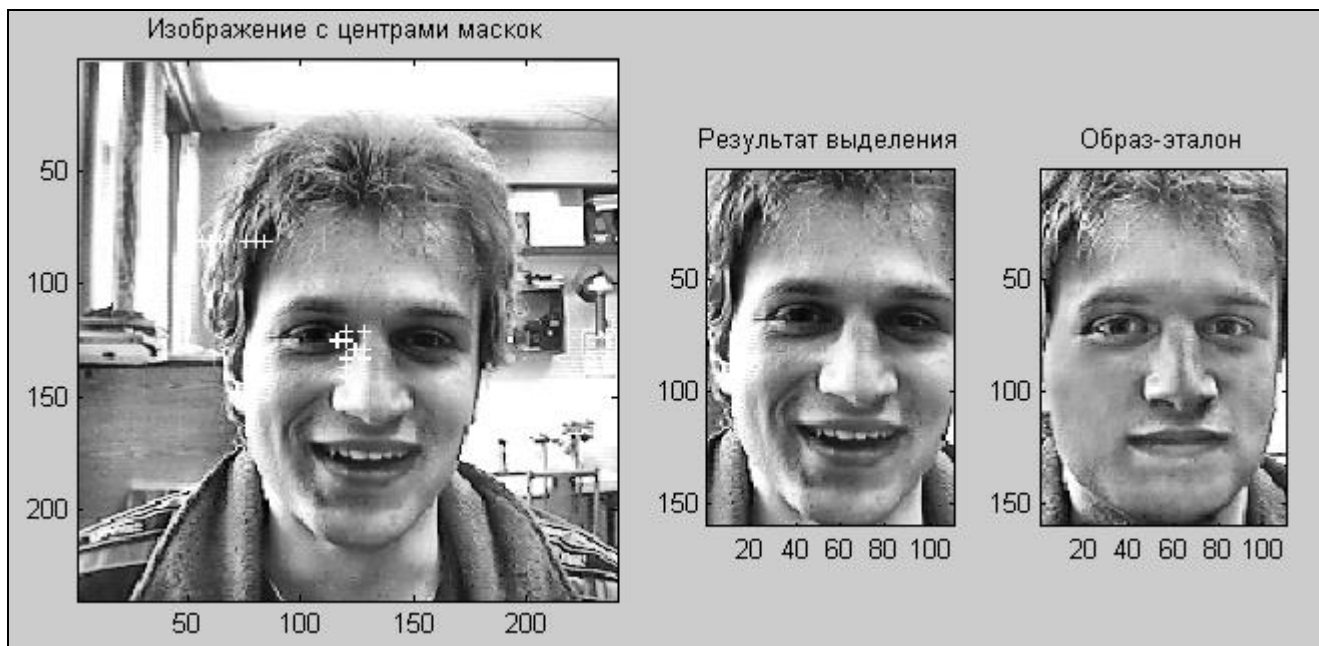


Рисунок 32. Сравнительные результаты выделения образа лица.

На рисунке 32 показана работа функции «*ddk_selectD(im, id)*»; на левой фотографии показаны центры масок (за центр я принимал пересечение диагоналей прямоугольника маски) соответствующие максимальным корреляционным коэффициентам, принимающим значения >0.7 , между образом-эталон и изображением, заключенным в маску-прямоугольник.

7.2. Сравнение и выбор методов улучшения, предоставляемых системой MATLAB v.7.

Отметим основные функции улучшения качества изображения, направленных на изменение яркости и контрастности, предоставляемых системой MATLAB v.7 и собранных в отдельный пакет *Image Processing Toolbox*:

- Функция *histeq* улучшает контраст изображения с помощью преобразования значений пикселей исходного изображения таким образом, чтобы гистограмма яркостей пикселей результирующего изображения приблизительно соответствовала некоторой предопределенной гистограмме. Данная функция предназначена для преобразования полутоновых или палитровых изображений.
- Функция $Id = imadjust(Is, [low\ high], [bottom\ top], gamma)$ создает полутоновое изображение *Id* путем контрастирования исходного полутонового изображения *Is*. Значения яркости в диапазоне *[low high]* преобразуются в значения яркости в диапазоне *[bottom top]*. Значения яркости, меньшие *low*, принимают значение *bottom*, а значения яркости, большие *high*, принимают значение *top*. Значения *top*, *bottom*, *low*, *high* должны принадлежать диапазону $[0,1]$. Если в качестве второго (*[low high]*) или третьего (*[bottom top]*) параметров передать пустой вектор *[]*, то по умолчанию будет использован вектор $[0,1]$. С помощью показателя *gamma* можно дополнительно осуществлять преобразование, называемое *гамма - коррекцией*. Параметр *gamma* определяет форму кривой характеристики передачи уровней яркости. Если *gamma* меньше 1, то характеристика передачи уровней будет выпуклой и результирующее изображение будет светлее, чем исходное. Если *gamma* больше 1, то характеристика передачи уровней будет вогнутой и результирующее изображение будет темнее, чем исходное. По умолчанию параметр *gamma* равен 1, что соответствует линейной характеристике передачи уровней и отсутствию *гамма - коррекции*. При вызове функции показатель *gamma* можно опустить.

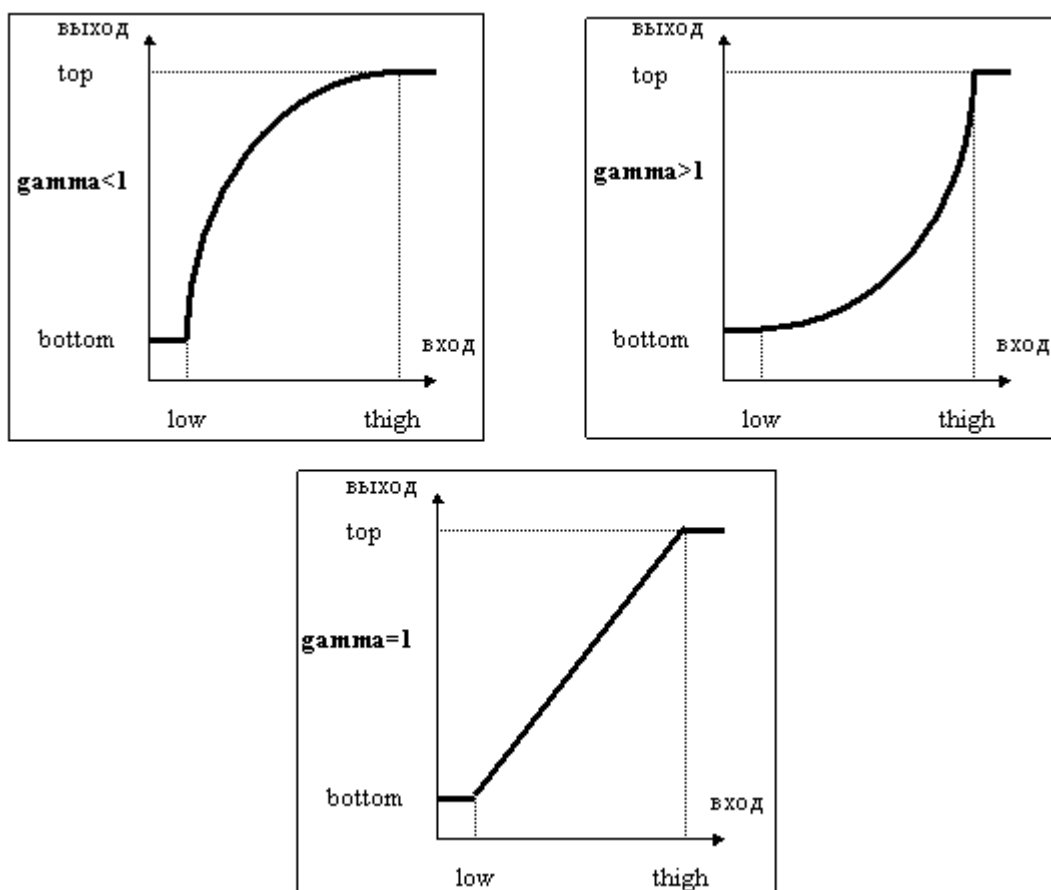


Рисунок 33. Характеристика передачи уровней для различных значений γ .

- Функция ***adapthisteq(I)*** улучшает контраст полутонового изображения I путем преобразования значений его элементов методом контрастно ограниченной адаптивной эквализации гистограммы (CLAHE). Метод CLAHE более эффективный при работе с небольшими локальными окрестностями изображений, чем с полными изображениями. При улучшении контраста локальных окрестностей используется описание гистограммы, которое определяется с помощью параметра 'Distribution'. Во избежание появления ложных границ при обработке локальных окрестностей используются также соседние окрестности, которые объединяются с помощью билинейной интерполяции. Контраст, особенно на однородных окрестностях, должен быть ограниченным во избежание усиления шумовой составляющей.

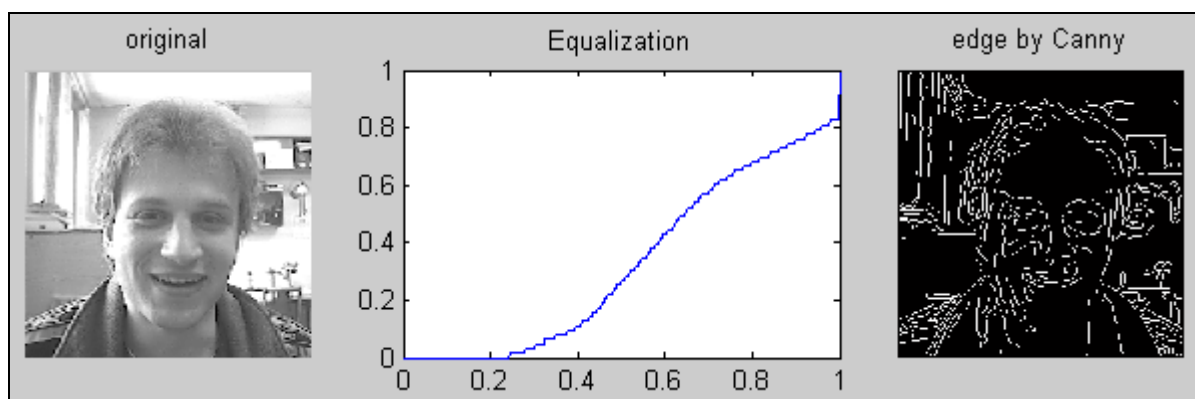


Рисунок 34. Изображение и свойства оригинала.

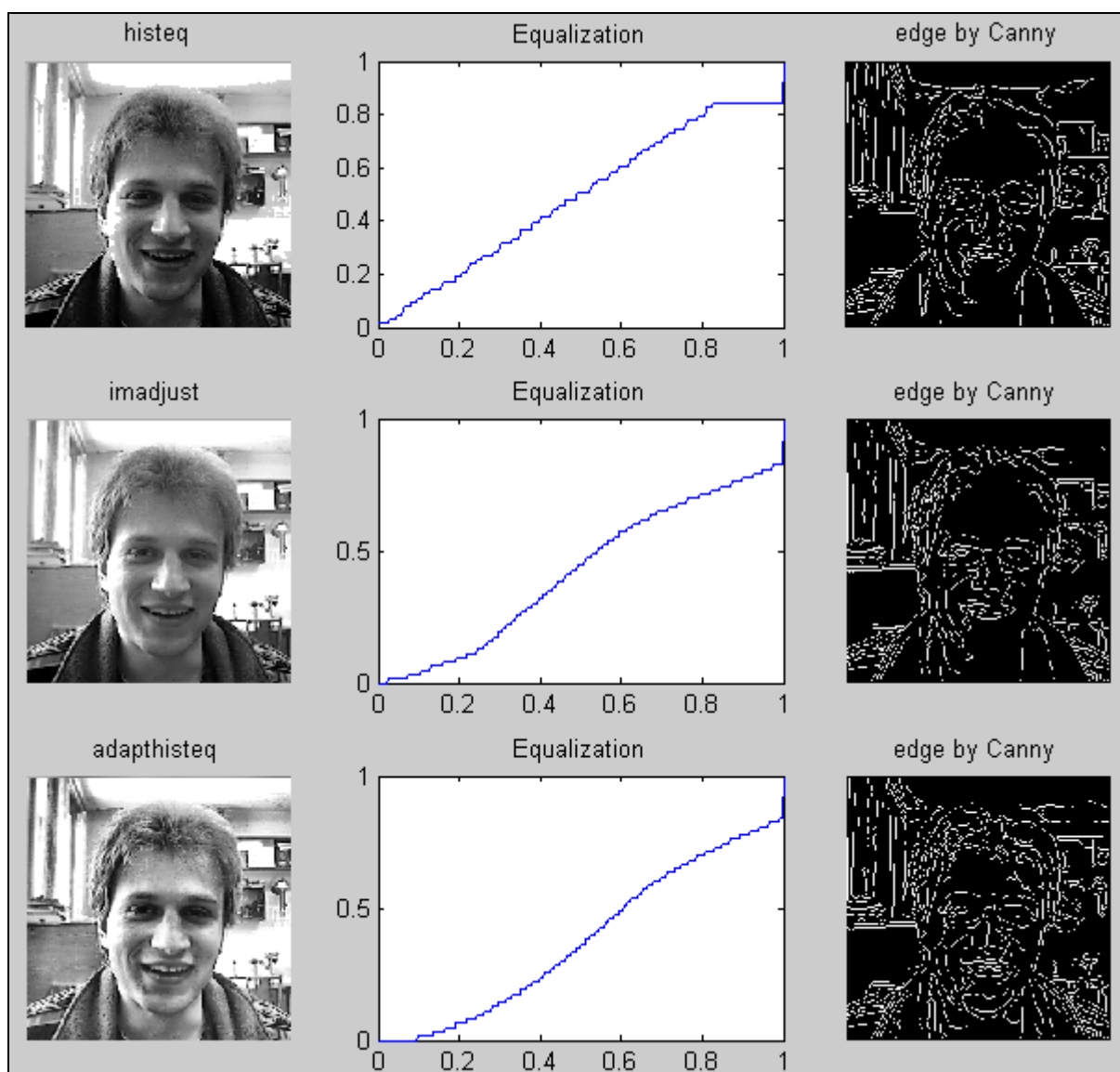


Рисунок 35. Сравнение методов улучшения.

Анализируя приведенные выше результаты сравнения, можно сделать вывод, что в автоматическом режиме улучшение изображения нужно проводить с помощью последней описанной функции, а именно - ***adapthisteq(I)***. Она обеспечивает, в сравнении с другими приведенными функциями, последующее более четкое выделения контура улучшенного изображения, что и можно видеть на *рисунке 35*.

7.3. Получение эталонов образов-масок.

Проведение процедуры получения эталонов образов-масок осуществляется в блоке диаграммы A13. Стоит напомнить, что на вход данного блока поступает выбранный администратором образ-эталон, коим является выбранное мной одно из изображений, содержащим изображением потенциального пользователя. После с помощью графического редактора *Photoshop* из выбранного изображения выделяются требуемые образы-маски. Далее эти образы проходят процедуру улучшения.

На *рисунке 36* представлена графическая иллюстрацию работы по выделению эталонов образов-масок и их дальнейшему улучшению. На начальном этапе разработки системы распознавания требуются пока только три образа-эталона: эталон-маска лица (для выделения собственно лица из распознаваемого изображения) и два эталона-маски глаз (для определения по ним центров глаз у выделенного образа лица и расстояния между найденными центрами в автоматическом режиме).



Рисунок 36. Выделение эталонов образов-масок.

7.4. Сводные результаты выделения образов лиц из заданных изображений сцен.

Приведем результаты выделения образа лица из улучшенного изображения сцены, полученного с web-камеры.

Основными критериями удачного выделения будем считать:

- получение информативного образа лица, близкому по параметрам заданному эталону;
- обязательное наличие информации о глазах распознаваемого образа;
- работа функции выделения не должна занимать большой промежуток времени.

Выбор приведенных выше критериев достаточно очевиден: согласно первому, полученный образ должен содержать полную биометрическую информации о пользователе, находящимся у экрана камеры, а точнее целый образ лица, аналогичный эталону; второй критерий подчеркивает важность наличия информации о глазах выделенного образа, так как по ним далее будут находиться оси выделенного образа и расстояние между глазами, для проведения последующей процедуры эквализации и перемасштабирования до нужного размера; третий критерий подчеркивает существенность времени работы функции выделения по заданному эталону, функции *ddk_selectD*, её работа не должна превышать установленного администратором времени, исходя из мощности вычислительного ресурса, компьютера, на котором установлена система распознавания.

Как будет далее показано, все эти критерии зависят от размерности матрицы инварианта, основанного на матрице расстояний, вычисляемого функцией «*ddk_invD(im)*». В теле функции полученная матрица *D* приводится к нужной размерности функцией пакета *Image Processing Toolbox imresize()*, принимающей исходную матрицу *D*, требуемый размер выходной матрицы и используемый метод интерполяции (я применял бикубическую – параметр 'bicubic').

7.4.1. Результаты выделения при размере матрицы инварианта [500 500].

Проанализировав приведенные ниже рисунки, можно сделать вывод, что результаты выделения при заданном размере матрицы не совсем утешительные: хорошо прошло выделение лишь образа лица, родственного образу-эталону, на остальных изображениях в лучшем случае захвачена только половина лица.

Полученные результаты обуславливаются перемасштабированием исходной матрицы-инварианта расстояния, имеющей начальные размеры [2000 2000], именно из-за проведения процедуры перемасштабирования до размера [500 500] произошла потеря (размывание) полной информации об образе.

Важно отметить, что перемасштабирование матрицы-инварианта к меньшему размеру обусловлена большим её начальным размером и долгой процедурой выделения.

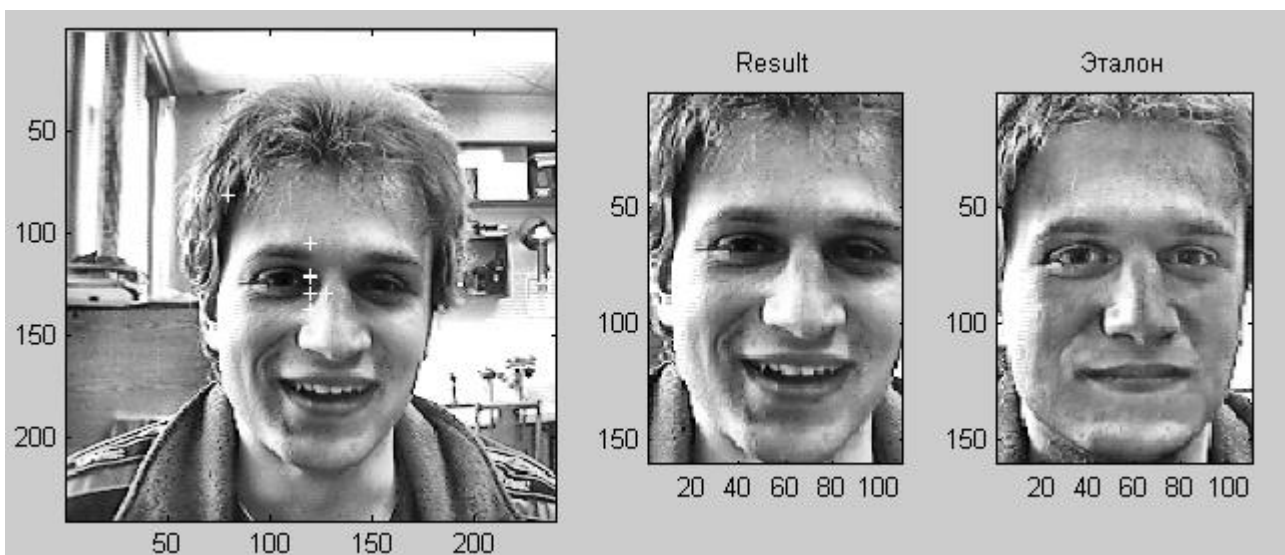


Рисунок 37. Valentin.

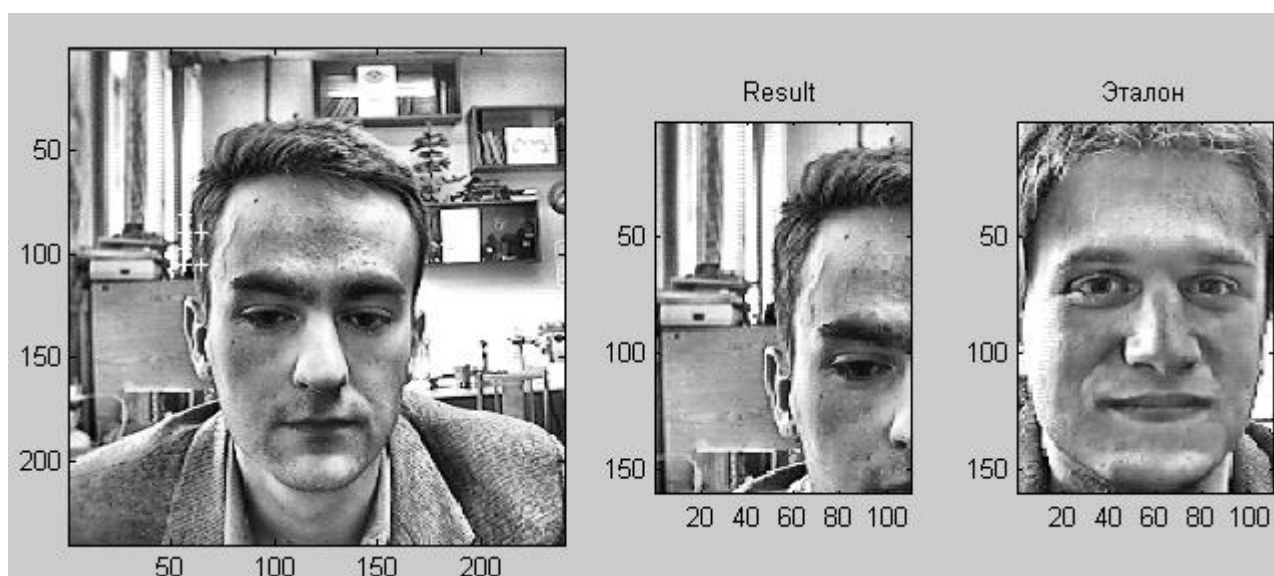


Рисунок 38. Artem.

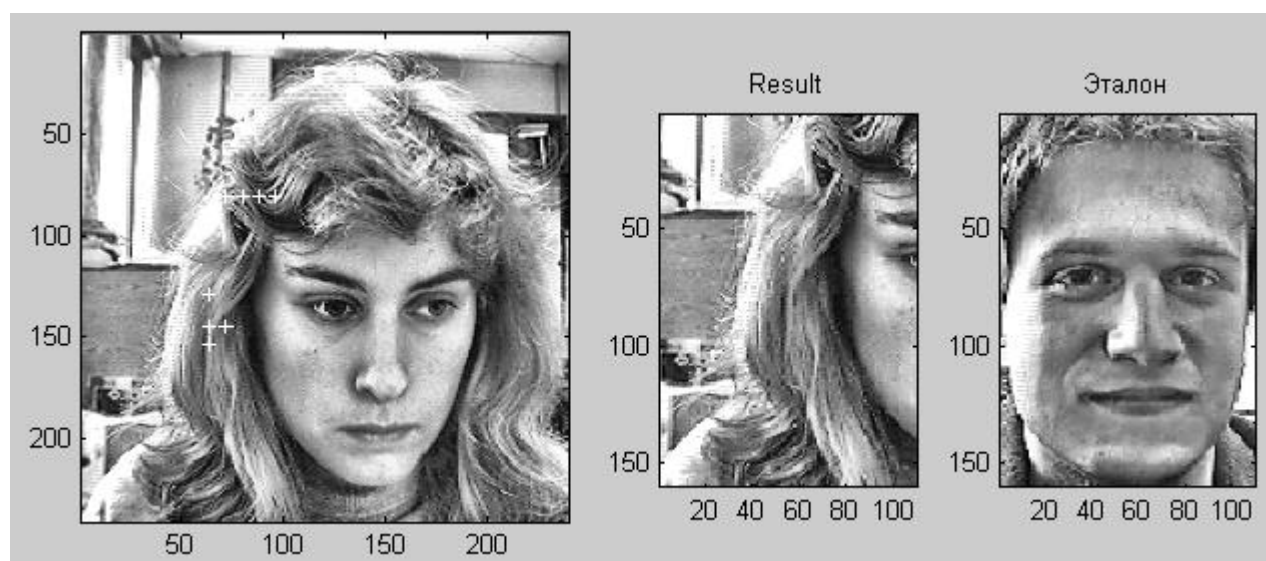


Рисунок 39. Olya.

7.4.2. Результаты выделения при размере матрицы инварианта [2000 2000].

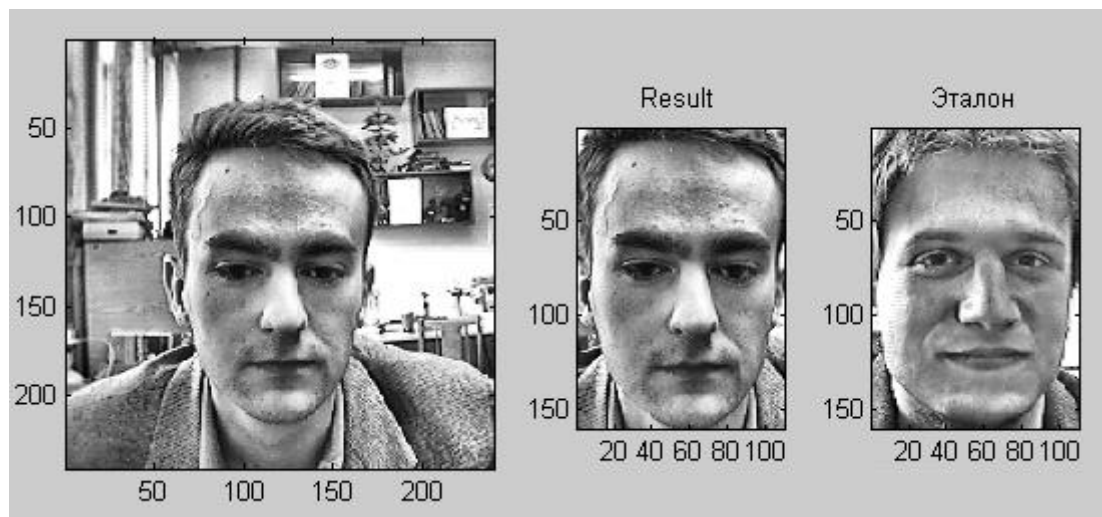


Рисунок 40. Artem.

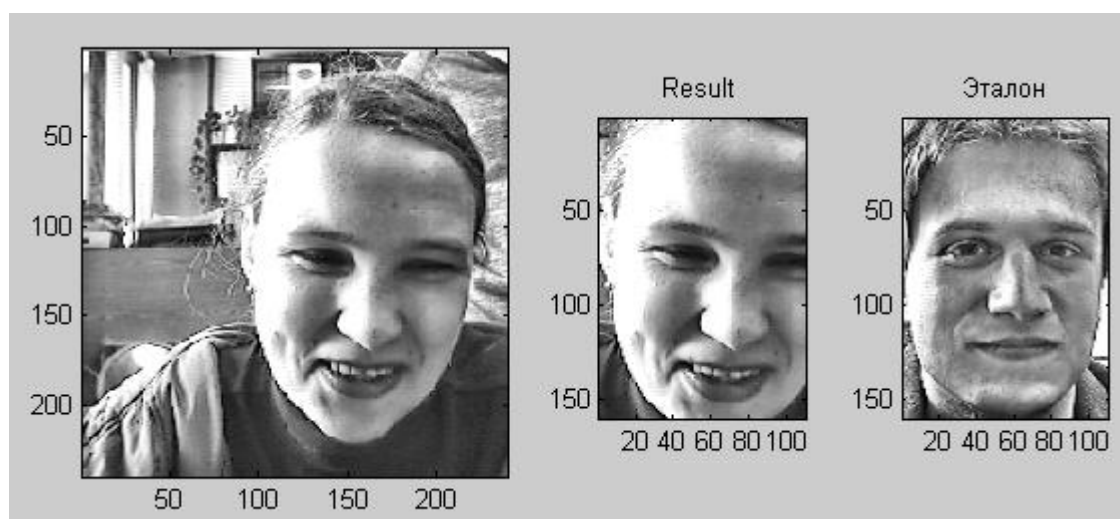


Рисунок 40. Katerina.

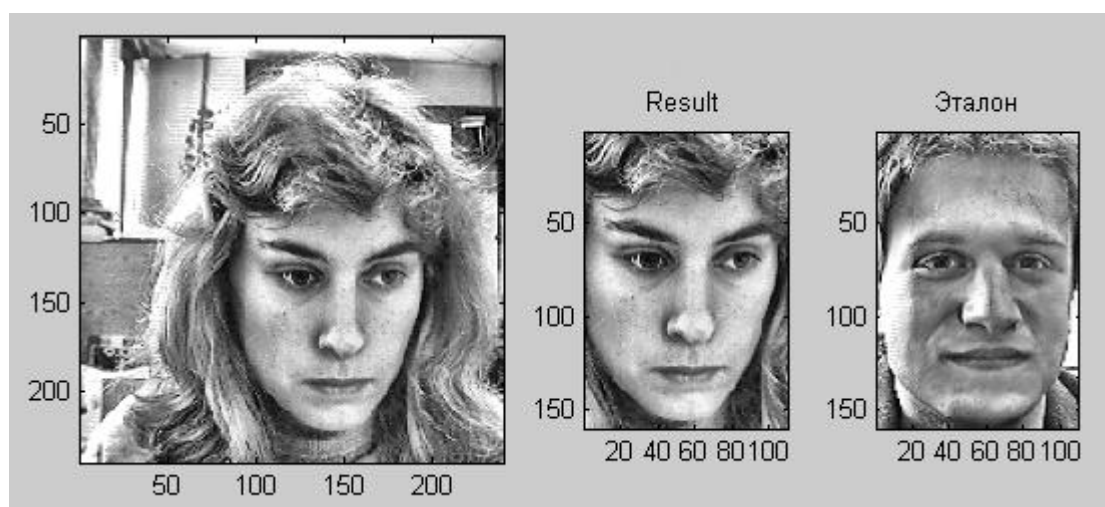


Рисунок 41. Olia.

Как можно видеть, что данные результаты выделения можно назвать удачными, и все потому, что первоначальная информация о матрице-эталоне почти не была потеряна, процедура

перемасштабирования проводилась лишь для согласования размеров матриц с целью дальнейшего корректного проведения их сравнения (корреляции).

Но если сравнивать параметр "время проведения процедура выделения", то можно отметить, что последняя процедура занимала в 4 раза больше времени.

8. Заключение.

В курсовом проекте была разработана структура системы доступа на основе визуального контроля, представлены основные идеи, методы и средства реализации данного класса систем распознавания образов. Были представлены известные на сегодняшний момент методы и средства решения задачи, как бурно развивающегося направления биометрических технологий, связанной с распознаванием человеческих лиц. Дан достаточно обоснованный выбор методов и признаков, заложенных в концепцию системы, используемых при проведении процедуры распознавания и выделения признаков образов лиц.

Были изучены и доведены до практической реализации методы предварительной обработки изображений и решена задача выделения образа лица из представленного для распознавания изображения сцены, полученных с web-камеры. Работа выполнена с использованием средств и функций, предоставляемых системой MATLAB v.7.

Планируется дальнейшая работа, направленной на реализацию и более глубокое проектирование системы распознавания, а именно: доработка и улучшение способов нормализации образов, доведение до практической реализации процедуры выделения центров глаз и признаков лица и собственно самой процедуры распознавания образов.

9. Список литературы и использованного программного обеспечения.

1. Кухарев Г.А. Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека. – СПб.: Политехника, 2001. – 240 с., ил.
2. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.; ил. (Робототехника / Под ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Ющенко).
3. Пентланд А. Распознавание лиц для интеллектуальных сред//Открытые системы. – 2000. - №3. – с.17 - 20.
4. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1 + Simulink 5/6. Работа с изображениями и видеопотоками. – М.: СОЛОН – Пресс. 2005. – 400 стр.
5. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: Издательская версия BHV, 2005. – 512 с.: ил.
6. Блатнер Дэвид, Фрейзер Брюс. Adobe Photoshop, Искусство допечатной подготовки: Пер. с англ./Дэвид Блатнер и Брюс Фрейзер – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. – 752 с.
7. Горнев В. Ф., Грибанов Н.Г., Овсянников М.В., Методические указания к дипломному проектированию для студентов кафедры РК-9 «Компьютерные системы автоматизации производства». Учебное пособие. - М.: Каф. РК9 МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004, 41с. (Файл: 04B10Метод ДП Горнев В.Ф., Грибанов Н.Г., Овсянников М.В.).
8. ГОСТ Р 50.1.028 – 2001 «Методология функционального моделирования».
9. ГОСТ 19.002 – 80 «Схемы алгоритмов и программ. Правила оформления».
10. ГОСТ 19.003– 80 «Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические».
11. www.matlab.exponenta.ru
12. MATLAB v.7 SP1, The MathWorks, Inc.
13. AutoCAD 2005, Autodesk, Inc
14. Design/IDEF 3.7, Meta Software Corp.
15. Adobe Acrobat 7.0 Professional, Adobe Sistem, Inc.
16. Adobe Photoshop CS2, Adobe Sistem, Inc.

10. Приложения. Листинги программ.

10.1. Функция *ddk_compare.m*

```
function ddk_compare(filename)
% Функция сравнения методов улучшения изображений, предоставляемых
% средствами MATLAB v.7
% Изображение должно быть представлено в формате *.tif. Функция получает
% начальным параметром имя изображения (оно должно находиться в главном
% корневом каталоге).
I = imread(filename);
B = edge(I, 'canny');
Ih = histeq(I);
Bh = edge(Ih, 'canny');
Ii = imadjust(I, stretchlim(I), []);
Bi = edge(Ii, 'canny');
Ia = adapthisteq(I);
Ba = edge(Ia, 'canny');
% Визуализация
subplot(4, 3, 1); imshow(I); title('original');
subplot(4, 3, 2); ddk_histequal(I); title('Equalization');
subplot(4, 3, 3); imshow(B); title('edge by Canny');
subplot(4, 3, 4); imshow(Ih); title('histeq');
subplot(4, 3, 5); ddk_histequal(Ih); title('Equalization');
subplot(4, 3, 6); imshow(Bh); title('edge by Canny');
subplot(4, 3, 7); imshow(Ii); title('imadjust');
subplot(4, 3, 8); ddk_histequal(Ii); title('Equalization');
subplot(4, 3, 9); imshow(Bi); title('edge by Canny');
subplot(4, 3, 10); imshow(Ia); title('adapthisteq');
subplot(4, 3, 11); ddk_histequal(Ia); title('Equalization');
subplot(4, 3, 12); imshow(Ba); title('edge by Canny');
```

10.2. Функция *ddk_edge.m*.

```
function Iedge = ddk_edge(Im)
% Функция выделения контура исходного изображения по методу 'Canny'.
% Im - матрица изображения ,контур которого требуется получить.
Iedge = edge(Im, 'canny');
[N, M] = size(Iedge);

for n = 1 : N
    for m = 1 : M
        if Iedge(n, m) == 0
            Iedge(n, m) = 1;
        else
            Iedge(n, m) = 0;
        end
    end
end
end
```

10.3. Функция *ddk_edge.m*.

```
function ddk_grad(Im)
% Функция вычисления поля градиентов входного изображения.
h = fspecial('sobel');
ix = filter2(h, Im);
Ix = mat2gray(ix);
clear ix;
ht = h';
iy = filter2(ht, Im);
Iy = mat2gray(iy);
clear iy;

I = Ix + Iy;
%Запись изображения в файл
imwrite(I, 'D:\Ixy.tif');
```



```

imwrite(Ix, 'D:\Ix.tif');
imwrite(Iy, 'D:\Iy.tif');
% Визуализация
subplot(2, 2, 1); subimage(Im); title('Image');
subplot(2, 2, 2); subimage(I); title('Ix + Iy');
subplot(2, 2, 3); subimage(Ix); title('Ix');
subplot(2, 2, 4); subimage(Iy); title('Iy');

```

10.4. Функция *ddk_invD.m*.

```

function D = ddk_invD(Iedge)
% Функция вычисления инварианта, основанного на матрице расстояний.
% На входе: Iedge - контур исходного изображения.
% На выходе: D - матрица расстояний (инвариант). Также на выходе может быть
% комплексный вектор-столбец нормализованного контура.
% !!! Нужно внимательно следить за размером выходной матрицы расстояний и
% входного вектора-столбца: при размере второго > 2000, размер выходной
% матрицы расстояний будет D = 2000x2000 = 4 000 000

% X - комплексный вектор-столбец исходного контура изображения.
% Для уменьшения размера X перемасштабируем исходный контур.
I = imresize(Iedge, 0.8, 'bicubic');
[N, M] = size(I);
X = 0;

for n = 1 : N
    for m = 1 : M
        if I(n, m) == 0
            K = X;
            X = [K; m + i*n];
        end
    end
    clear K;
end

X(1) = []; % удаляем первый элемент положенный равным нулю в начале

% Центрирование и нормирование данных
H = mean(X); X = X - H;
Xx = real(X); Xy = imag(X);
clear H X;
maxx = max(Xx); maxy = max(Xy);
Xx = Xx/maxx; Xy = Xy/maxy;
Xnew = Xx + i * Xy;
clear Xx Xy;

% Вычисление матрицы расстояний (инварианта)
D = Xnew * ones(1, length(Xnew));
clear Xnew;
D = abs(D - D. ');
D = imresize(D, [500 500], 'bicubic');

```

10.5. Функция *ddk_selectD.m*.

```

function ddk_selectD(im, id, k0)
% Функция выделения изображения лица, его деталей и параметров.
% Функция принимает рабочее изображение лица, с которым будет идти работа,
% эталонный образ, по которому будет выделяться нужная часть лица
% для дальнейшей работы с ней и минимальный коэффициент корреляции.
% На выходе матрица выделенной части изображения.
[N, M] = size(im);
[n, m] = size(id);
Im = ddk_edge(im); % бинаризация и получение контура
Id = ddk_edge(id);

```

```

D = ddk_invD(Id);

x = 0; y = 0; p = 0; k = 0;
Temp = zeros(20, 3);

for i = 1 : 8 : (N - n) % сдвиг на 8 пикселя при сканировании по вертикали
    for j = 1 : 8 : (M - m) % -||-
        S = Im(i : (i - 1 + n), j : (j - 1 + m));
        Dtemp = ddk_invD(S);
        temp = corr2(D, Dtemp);
        clear Dij;
        if temp > k
            k = temp;
            x = i; y = j;
            if temp > k0
                p = p + 1;
                Temp(p, 1 : 3) = [x + n/2, y + m/2, temp];
            end
        end
    end
end

clear S D;
Iedge = Im(x : (x - 1 + n), y : (y - 1 + m));
clear Im;
I = im(x : (x - 1 + n), y : (y - 1 + m));

Mask = zeros(N, M);
for i = 1 : p
    t1 = Temp(i, 1);
    t2 = Temp(i, 2);
    if (t1 > 0) & (t2 > 0)
        Temp(i, 3)
        Mask((t1 - 3):(t1 + 3), t2) = [1 1 1 1 1 1 1];
        Mask(t1, (t2 - 3):(t2 + 3)) = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1];
    end
end
clear Temp;

% Наложение матрицы расположения max центров рамки с источником
imwrite(Mask, 'Plus.tif');
Mask = imread('Plus.tif');
P = imadd(im, Mask);
clear Mask;

imwrite(P, 'Plus.tif');
imwrite(I, 'Result.tif');

subplot(2, 3, 1); imshow(im); title('Изображение');
subplot(2, 3, 2); imshow(id); title('Эталон');
subplot(2, 3, 3); imshow(Id); title('Эталон-контур');
subplot(2, 3, 4); imshow(P); title('Маска');
subplot(2, 3, 5); imshow(I); title('Result');
subplot(2, 3, 6); imshow(Iedge); title('Result-контур');

```