

На правах рукописи

ПАЛИЙ Ольга Ивановна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЧЕЛОВЕКА ПО ФОТОПОРТРЕТУ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(информатика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2006

Работа выполнена на кафедре информационных и управляющих систем в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кракау Татьяна Константиновна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Александров Анатолий Михайлович
кандидат технических наук, доцент
Кружалов Сергей Владимирович

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-
Производственное предприятие «Радуга»»

Защита состоится « 06 » апреля 2006 года в « 14⁰⁰ » часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.229.18 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, 9 корпус, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан « 1 » марта 2006 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

Шашихин В.Н.

Общая характеристика работы

Актуальность

В настоящее время все больший интерес вызывают методы биометрической идентификации, позволяющие определить личность человека по его физиологическим характеристикам.

Одной из причин повышенного внимания к биометрическим технологиям является существование обширного круга социальных и коммерческих приложений, где возможные решения названной проблемы будут восприняты весьма успешно. Например, изображения лиц, полученные с помощью видеокамер наружного наблюдения, являются сегодня важным элементом документальной базы при расследовании преступлений, наблюдения и расследования криминальных событий (автоматическое наблюдение за подозреваемыми, розыск людей, активное видеонаблюдение при чрезвычайных происшествиях и т.д.), а также в банковской сфере (банкоматах, системах удалённого управления счётом), идентификация людей по лицам применяется в системах контроля удостоверений личности (паспортов, водительских прав, иммиграционных карт), информационной безопасности (доступ к ЭВМ и отдельным программам, базам данных, криптографическим приложениям, медицинским сведениям, глобальной сети Интернет, системам электронной торговли).

Задача распознавания лиц имеет серьёзную практическую перспективу, так как этот метод опознания личности для человека естественен и реализуется на интуитивном уровне.

По данным Международной ассоциации по компьютерной безопасности ожидается, что идентификация человека по изображению его лица будет наиболее используемой биометрической технологией, поскольку она может быть достаточно точной, быстрой, бесконтактной, ненавязчивой.

С точки зрения обмана системы современные методы идентификации по лицу пока проигрывают в надёжности по сравнению с идентификацией по радужной оболочке глаза, но уже считаются более надёжными, чем распознавание по отпечаткам пальцев или геометрии кисти.

Анализируя тенденции развития и применения биометрических технологий, можно заключить, что задачи автоматической идентификации человека по изображению, полученному с видеокамер наружного наблюдения, и автоматической идентификации человека по предъявляемому документу, а также поиск изображений заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений являются наиболее актуальными.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности данной работы.

Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является развитие методического, алгоритмического и программного обеспечения систем автоматизированной идентификации человека по изображению лица.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- ◆ выполнить анализ текущего состояния и направлений развития систем идентификации человека по изображению лица и выбрать способ сравнения фотопортретов в соответствии с целью;
- ◆ сформулировать ограничения на входные изображения, обеспечивающие корректность статистического эксперимента;
- ◆ разработать алгоритм предварительной обработки и нормализации цифровых фотопортретов;
- ◆ формализовать задачу распознавания методами математической статистики;
- ◆ сформулировать принципы выбора границы критической области исходя из допустимых значений вероятностей ошибочных решений конкретных задач распознавания;
- ◆ реализовать систему автоматизированной идентификации человека по фотопортрету на основе решения перечисленных выше задач.

Методы исследования

Теоретические исследования основываются на методах цифровой обработки изображений в пространственной области, распознавания цифровых изображений, дискретных преобразований и системного анализа. Экспериментальные исследования выполнены с использованием известных и разработанных методов и алгоритмов обработки и анализа цифровых изображений в среде системы MATLAB. Для реализации разработанных алгоритмов использовались методы проектирования программных систем.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата, согласованием данных, получаемых различными способами, и практическим внедрением разработанного программного обеспечения.

Научная новизна

1. Детально исследованы возможности компьютерной идентификации человека на основе анализа корреляции данных, представляющих центральные части лиц сравниваемых фотоизображений, с позиций количественного влияния параметров масштаба, ракурса, яркости, контрастности фотопортрета на эффективность корреляционной идентификации.

2. Разработан алгоритм предварительной обработки и нормализации сравниваемых цифровых фотопортретов, основанный на выравнивании параметров масштаба, ракурса, яркости, контрастности. Масштаб фотопортрета и угол наклона головы выравниваются по расстоянию между зрачками и линии, соединяющей центры зрачков соответственно.
3. Определена и математически обоснована методика корреляционной идентификации человека по фотопортрету.
4. Сформулированы принципы выбора границы критической области исходя из допустимых значений вероятностей ошибочных решений задач: *«Контроль доступа»* и *«Поиск фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений»*.
5. Построена система корреляционной идентификации. Определена область рационального использования разработанной системы корреляционной компьютерной идентификации людей по фотоизображениям в органах уголовного розыска и прокуратуре для сбора доказательной базы при расследовании преступлений, а также в системах автоматического контроля доступа (к необходимому ресурсу) в аэропортах, банках, универсамах.

Практическая значимость работы

Результаты диссертационной работы внедрены в Прокуратуре г. Санкт-Петербурга.

Разработанные алгоритмы могут быть использованы в автоматизированных системах проведения криминалистической фотопортретной экспертизы и автоматических контрольно-пропускных устройствах, в системах расследования криминальных происшествий и в банковских системах (банкоматах, системах удаленного управления счетом).

На защиту выносятся следующие результаты

1. Методика корреляционной идентификации человека по фотопортрету.
2. Методика нормализации.
3. Принципы выбора границы критической области исходя из допустимых значений вероятностей ошибочных решений задач: *«Контроль доступа»* и *«Поиск фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений»*.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы обсуждены на научной конференции студентов и аспирантов «XXXII Неделя науки СПбГПУ», межвузовской конкурс-конференции студентов и молодых ученых Северо-Запада 4-5 марта 2004 года «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», II Всероссийской конференции

«Математические и инженерные разработки в MATLAB 6.5», политехнических симпозиумах «Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона» в 2004 и 2005гг.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем работы

Диссертация содержит 172 страниц основного текста, 41 иллюстрацию, 25 таблиц и состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и 1 приложения.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы; сформулирована цель и поставлены задачи проводимых исследований; определены научная новизна и практическая значимость выполненных изысканий; приведены сведения о внедрении, публикациях и апробации полученных результатов, структуре диссертации; представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор по проблеме автоматизированной идентификации человека по изображению лица с позиций трех ключевых задач:

- 1) *контроль доступа;*
- 2) *поиск фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений;*
- 3) *идентификация человека по предъявляемому документу (верификация человека по предъявляемому удостоверению личности).*

Определены основные требования к системам указанных типов. Представлены математические основы обработки изображений.

Проанализировано множество методов идентификации человека по фотопортрету, включающее метод главных компонент, метод распознавания с помощью нейронных сетей, метод, основанный на анализе геометрических характеристик лица, метод эластичного сопоставления графов, метод сравнения эталонов, метод, основанный на анализе оптического потока, метод гибких контурных моделей.

Заключительные разделы главы посвящены анализу аппарата, применяемого для нормализации фотопортретов, обзору существующих коммерческих и экспериментальных систем распознавания человека по изображению лица и обоснованию выбора способа распознавания для построения автоматизированной системы идентификации.

Выявлено, что системы распознавания, созданные ведущими фирмами Cognitec, Viisage Technology, Identix, SAGEM и др., реализованы на основе метода главных компонент, метода распознавания с помощью нейронных сетей, метода, основанного на анализе геометрических характеристик лица и метода эластичного сопоставления графов. По данным теста Face Recognition Vendor Test (FRVT) института стандартизации и технологий США

(NIST) достоверность распознавания этих систем – достигает 92% на тестовом наборе FERET database. Однако все эти системы мало доступны и чрезвычайно дороги.

Обоснован выбор корреляционного способа сравнения для построения системы автоматизированной идентификации человека по фотопортрету. В качестве количественного показателя степени сходства фотопортретов предложено использовать коэффициент корреляции Пирсона, измеряющий степень линейной связи между изображениями.

Достоинством предложенного подхода является устойчивость значений коэффициента корреляции Пирсона к отличиям яркости и контрастности сравниваемых изображений, а также однозначность в выборе признака сходства, доступность и простота реализации.

В то же время основными трудностями при использовании данного подхода является вычислительная трудоемкость, чувствительность к ракурсу и масштабу фотоизображений распознаваемых/сравниваемых людей. Для преодоления трудностей предложена нормализация (предобработка) изображений.

Так как центральная часть лица содержит максимальное число признаков, необходимых для идентификации человека, в качестве области сравнения фотопортретов выбран прямоугольник $ABCD$, образованный прямыми:

- AB – проходящей через середину лба;
- CD – параллельной AB , проходящей через нижнюю точку подбородка;
- AD и BC – перпендикулярными AB , проходящими через крайние точки левой и правой бровей соответственно.

Подобный выбор области сравнения позволяет исключить нежелательное воздействие фона и незначительных деталей для идентификации (например, волос).

В работе использована процедура корреляционного сравнения двух фотопортретов, состоящая из трех этапов:

- на первом этапе выбираются два фотопортрета: L_1 и L_2 - матрицы изображений фотопортретов размерности $N \times M$. L_1 - матрица изображения, полученная из базы данных, L_2 - матрица целевого изображения. Из матрицы L_2 по предложенному правилу выделяется матрица L_3 размерности $n \times m$, представляющая центральную часть лица;
- на втором этапе вычисляется матрица коэффициентов корреляции C , размерность которой совпадает с размерностью матрицы L_1 .

Матрица L_3 используется в качестве скользящего окна. Для L_3 и фрагмента W изображения L_1 вычисляется коэффициент корреляции $C(i, j)$ по формуле (1). Фрагмент W эталонного изображения L_1 выбирается так, чтобы центром фрагмента W

был элемент с координатами (i, j) . Размер фрагмента W равен размеру L_3 . \bar{W} - среднее значение элементов фрагмента W , \bar{L}_3 - среднее значение L_3 .

$$C(i, j) = \frac{\sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^m (W(q, p) - \bar{W})(L_3(q, p) - \bar{L}_3)}{\sqrt{\sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^m (W(q, p) - \bar{W})^2 \sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^m (L_3(q, p) - \bar{L}_3)^2}}, \quad i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M} \quad (1)$$

- на третьем этапе вычисляется значение показателя сходства:

$$R = \max_{i, j} (C(i, j)), \quad i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M} \quad (2)$$

Вторая глава посвящена решению задач предварительной обработки и нормализации исходных изображений.

Для экспериментального исследования определены требования к отбору фотопортретов по параметрам: ракурс, равномерность освещения, контраст, масштаб изображения.

В процессе исследования использована серия фотопортретов, полученных при съемке на документы цифровой фотокамерой, чем обеспечивается постоянство проводимого статистического эксперимента.

Применительно к решаемой задаче проанализировано понятие качества изображения в контексте модели зрения, приведены геометрические характеристики, количественные показатели качества изображения, сделан обзор методов цифровой обработки для улучшения качества изображения, проведен их сравнительный анализ, приведена программная реализация методов цифровой обработки изображений в среде MATLAB и предложена методика выбора параметров для гамма-коррекции и гистограммных методов, выявлена необходимость улучшения качества фотопортретов для визуальной идентификации.

В работе проанализированы известные показатели визуального качества сравниваемых фотопортретов, их геометрические и статистические характеристики и предложенный Р.А. Воробелем интегральный показатель качества:

- оценка уровня адаптации зрительной системы $LQ = 1 - \frac{\bar{L} - LMAX / 2}{LMAX / 2}$

для полутоновых изображений, с которыми проводились исследования, $LMAX = 255$;

- полнота использования элементами изображения градаций яркостей $KQ = \frac{U}{LMAX}$, где

U - количество уровней яркостей, для каждого из которых на данном изображении

присутствуют большее, чем $\mu \times N \times M$ количество элементов с данной яркостью (N и M -размеры изображения, $\mu < 1$ - некоторая константа);

- оценка резкости изображения $RQ = \frac{RO}{LMAX}$, где RO - резкость, которая измеряется скоростью нарастания яркости, разделенной на общую величину перепада;

- $RO = \frac{\int_a^b \left(\frac{df}{dx}\right)^2 dx}{f(a) - f(b)}$, где $f(x)$ - это видеосигнал; a и b - точки, которые расположены на противоположных краях перепада.

- оценка контраста изображения KC , определяемая по правилу суммирования контрастов, предложенному Р.А. Воробелем

$$C_{gen} = \frac{1}{2LMAX} \int_0^{\infty} [2(L - \bar{L}) + LMAX - |2(L - \bar{L}) - LMAX|] \cdot H(L) dL;$$

- интегральный показатель: $Q = k \cdot KC \cdot LQ \cdot KQ \cdot RQ$,

где k - нормирующий коэффициент.

Статистические характеристики

- средняя яркость пикселей матрицы изображения $\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}}{Z}$,

- стандартное отклонение $s_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (l_{ij} - \bar{L})^2}{Z}}$,

где $Z=N \times M$ – количество элементов матрицы,

l_{ij} – значение яркости пикселя в матрице изображения.

Геометрические характеристики изображений:

D – масштаб (размер центральной части лица в пикселях);

γ - угол наклона головы (в градусах) – это угол, образованный линией, соединяющей центры зрачков, и горизонтальной прямой.

В связи с возможностью рассогласования визуальных показателей качества, геометрических и статистических характеристик сравниваемых фотопортретов конкретного человека исследованы зависимости значения показателя сходства R от рассогласования наклона головы, яркости, контрастности, размера (дискретности) изображения центральной части лица фотопортретов.

Для построения зависимостей значений показателя сходства R от рассогласования размера (дискретности) центральной части лица, наклона головы сравниваемых

фотопортретов конкретного человека (рис.1) различия между изображениями создавались искусственно в ADOBE Photoshop®: размер эталонного изображения лица увеличивался (уменьшался) по отношению к исходному (рис.1а.), изображение лица поворачивалось на угол $\pm\gamma$ (рис.1б.). Проанализировано представительное множество тестовых изображений.

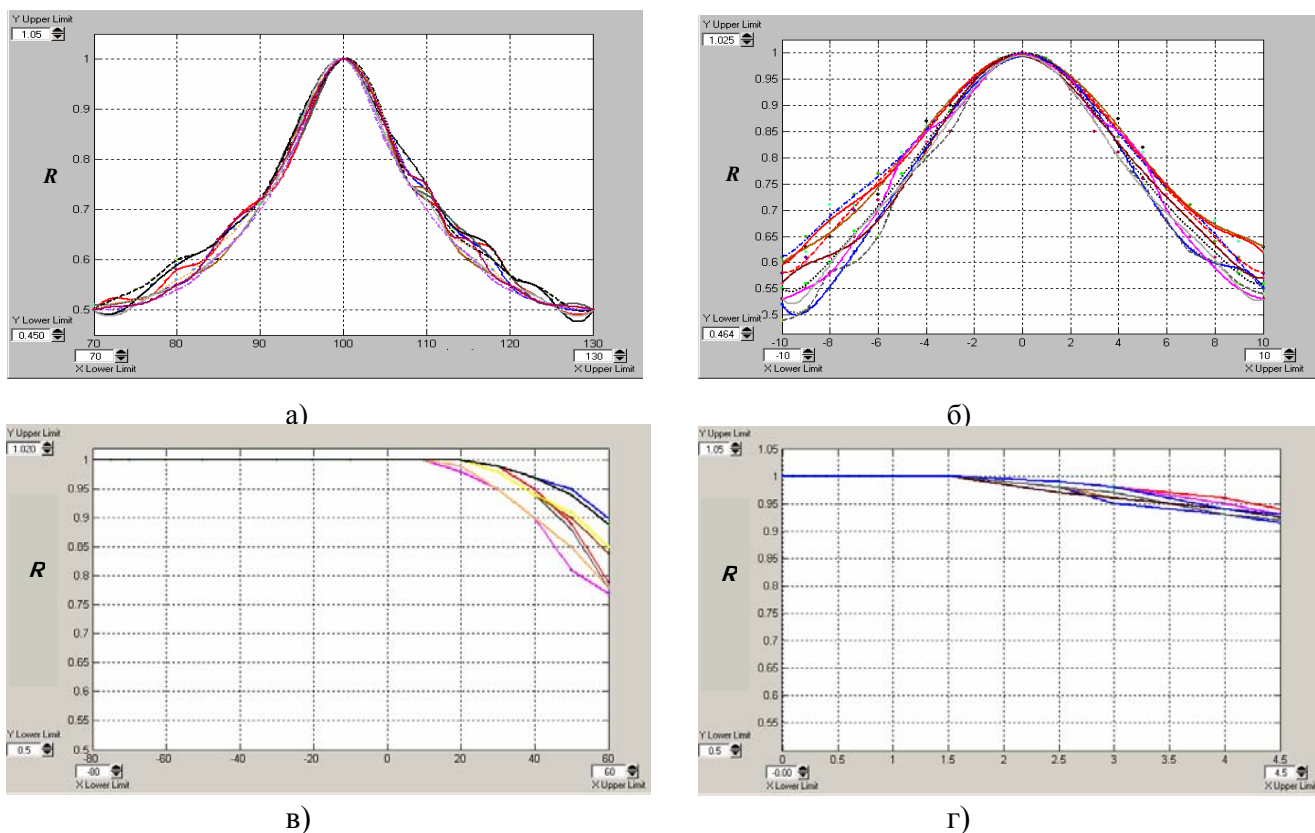


Рис.1. Зависимость показателя сходства R от рассогласования:
 а) размера (дискретности) центральной части лица по отношению к исходному (в %);
 б) угла наклона головы $\pm\gamma$ (в градусах);
 в) уровней яркости;
 г) контрастности.

Для построения зависимостей значений показателя сходства R от рассогласования яркости и контрастности сравниваемых фотопортретов конкретного человека (рис.1) различия между изображениями создавались программно в среде пакета MATLAB. Проанализировано представительное множество тестовых изображений.

Результаты экспериментов подтвердили теоретический вывод о том, что значительное изменение яркости и контрастности не влияет на значения показателя сравнения, используемого при идентификации.

В целях повышения эффективности корреляционной идентификации предложена процедура нормализации сравниваемых фотопортретов, включающая:

- выравнивание масштаба центральной части лица по отношению к эталонному фотопортрету;
- выравнивание угла наклона головы по отношению к эталонному фотопортрету;

- кадирование области, содержащей центральную часть лица;

Предлагается использовать, как наиболее эффективный, способ выравнивания дискретности фотопортрета и угла наклона головы по расстоянию между зрачками и линии, соединяющей центры зрачков, соответственно. Линия, соединяющая центры зрачков, должна совпадать с горизонтальной прямой, соединяющей центры зрачков.

В третьей главе выполнена формализация задачи распознавания методами математической статистики, определена и обоснована процедура принятия решения об идентичности субъектов, представленных на фотоизображениях, разработана методика распознавания, проведена обработка экспериментальных данных и проанализированы результаты экспериментальной проверки разработанной методики.

Задача распознавания поставлена как задача проверки статистических гипотез о типе распределения статистики R , представляющей собой значения показателя сходства.

По результатам статистического анализа совокупностей $R_1 \dots R_n$, где n – число фотопортретов, определялась плотность распределения величины R при справедливости гипотезы H_i $f_R(x|H_i)$, $i = \overline{0,1}$. H_0 – гипотеза, соответствующая событию A_0 – фотопортрет принадлежит группе «чужой» (т.е. сравниваемые фотопортреты принадлежат разным людям), H_1 – конкурирующая гипотеза, соответствующая событию A_1 – фотопортрет принадлежит группе «свой» (т.е. сравниваемые фотопортреты принадлежат конкретному человеку).

Для построения эмпирического распределения исходной статистики R при справедливости гипотезы H_0 обработана серия снимков высокого визуального качества, сделанных в фотоателье цифровой камерой.

Плотность распределения статистики R при справедливости гипотезы H_0 и конкурирующей H_1 аппроксимируется распределением Вейбулла

$$f_R(x) = \frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}, \quad (3)$$

с параметрами $b_0 = 0,65$ и $c_0 = 11,12$, $b_1 = 0,92$ и $c_1 = 23,94$ соответственно.

Проверка гипотез о виде распределения для H_0 и H_1 производилась с помощью критерия согласия χ^2 (критерий Пирсона). Гипотезы о распределении исходных выборок соответствующие гипотезам H_0 и H_1 приняты с уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Теоретические распределения $f_R(x|H_0)$ и $f_R(x|H_1)$ схематически изображены на рис.2.

Для проверки гипотез выбран критерий максимального правдоподобия. В качестве критериальной статистики использовалось отношение правдоподобия:

$$L(x) = \frac{c_1 b_0^{c_0}}{c_0 b_1^{c_1}} \cdot e^{\left(\frac{x}{b_0}\right)^{c_0} - \left(\frac{x}{b_1}\right)^{c_1}} \cdot x^{c_1 - c_0}, \quad (4)$$

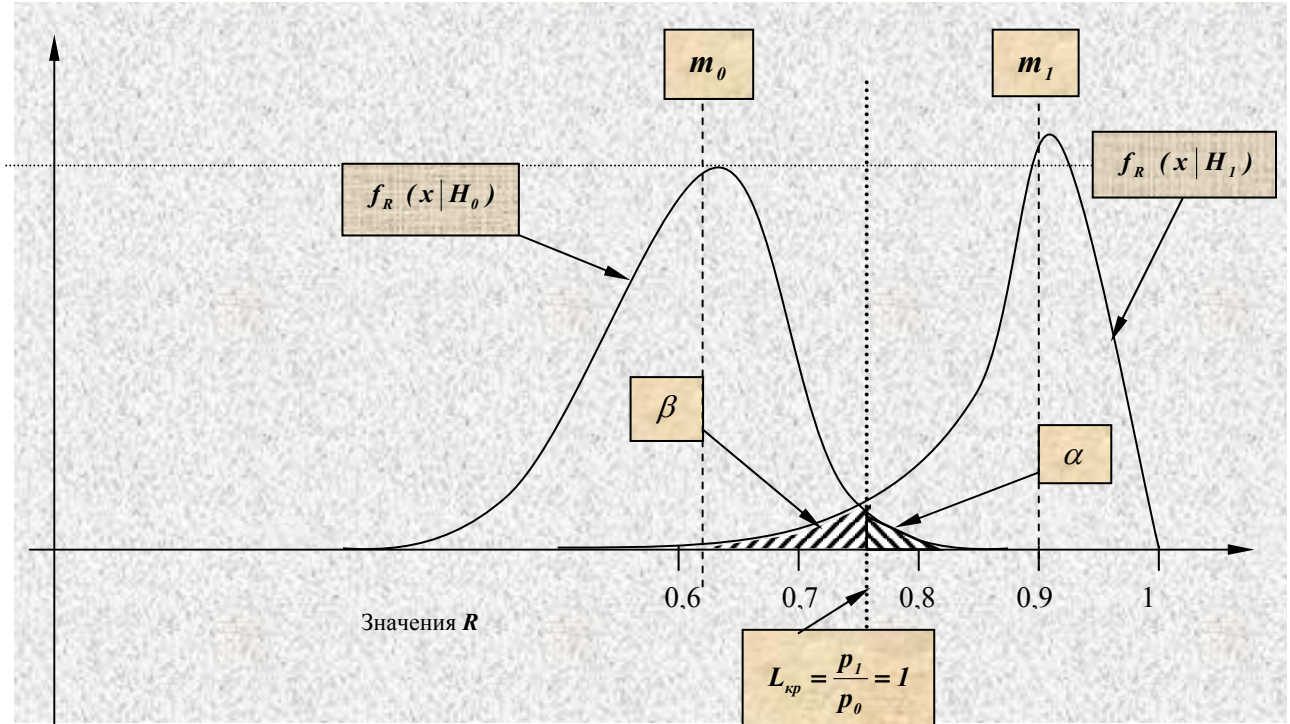


Рис.2. Схематическое изображение теоретических распределений статистики R при справедливости гипотез H_0 и H_1 : $m_0 = 0,62$; $m_1 = 0,9$; значение $R = 0,76$, соответствует величине $L_{кр} = \frac{p_1}{p_0} = 1$; $n=200$; $\alpha = 2,7 \cdot 10^{-3}$; $\beta = 9,6 \cdot 10^{-3}$.

Для $L_{кр} = 1$ и $f_R(x|H_0)$, $f_R(x|H_1)$ вычислены теоретические значения ошибок I и II рода α и β по формулам:

$$\alpha = \int_{R_{кр}}^{\infty} f_R(x|H_0) dx, \quad \beta = \int_{-\infty}^{R_{кр}} f_R(x|H_1) dx \quad (5)$$

$$\alpha = 2,7 \cdot 10^{-3}; \quad \beta = 9,6 \cdot 10^{-3}.$$

Экспериментальная проверка предложенной методики распознавания заключалась в подтверждении теоретических значений α и β при выборе $L_{кр} = 1$.

Для выборочной оценки значений α производились сравнения 200 изображений различных людей, а для оценки значений β производились сравнения 200 изображений конкретного человека, фотопортреты которого имели случайный разброс по отношению к эталонному портрету по углу наклона головы ($\pm 5^\circ$), яркости (± 30).

В результате проверки получены оценки:

$$\hat{\alpha} = 0,02 \quad \text{и} \quad \hat{\beta} = 0,035,$$

что согласуется с теоретически полученными значениями.

При решении задачи *поиска фотопортретов в базе фотоизображений* решение принимается по результатам сравнения двух фотографий. Обозначим N - число экспериментов, где N равно объему базы фотоизображений. Ряд значений $L(x)$, полученных для базы, состоящей из N элементов, ранжируется, а затем из него выбираются те фотопортреты, для которых $L(x) > L_{кр}$. Вероятность ошибочного значения $\beta = P\{L < L_{кр} | H_1\}$, где $L_{кр}$ соответствует уровню α , задаваемому пользователем.

Выбор границы критической области по критерию максимума правдоподобия целесообразен только в том случае, когда вероятность ошибочно идентифицировать «своего» как «чужого» или «чужого» как «своего» равноопасны.

Задачи: *контроль доступа, поиск фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений, идентификация человека по предъявляемому документу (верификация человека по предъявляемому удостоверению личности)*, - предъявляют разные требования к значениям α и β . Изменяя $L_{кр}$, можно обеспечить допустимые значения вероятностей ошибочных решений для конкретной задачи.

Например, для решения задачи *«поиск фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений»* пропуск «чужого» с первого предъявления не играет большой роли, а непропуск «своего» может привести к нежелательным последствиям. Иными словами, в этом случае лучше иметь большее количество людей, похожих на «подозреваемого» человека, так как выбор окончательного решения предоставляется эксперту-оператору. **В этом случае целесообразно выбирать уровень $L_{кр} < 1$, соответствующий заданному значению β .**

При решении задачи *«контроль доступа»* пропуск «чужого» является недопустимым, а вероятность ошибочной идентификации «своего» как «чужого» не так опасна, т.к. субъекты, не идентифицированные как «свои», могут пройти процедуру дополнительной идентификации. Иными словами необходимо усилить фильтрацию «чужих», поэтому рекомендуется **выбирать уровень $L_{кр} > 1$, соответствующий необходимому уровню α .**

Для уточнения значений вероятностей ошибок I и II рода при выборе $L_{кр} = 1$ сделан переход из пространства эмпирических наблюдений в пространство решений, построены распределения статистики $l = \ln(L)$ при справедливости гипотез H_0 и H_1 , аппроксимируемые нормальным законом распределения

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-m}{\sigma}\right)^2} \text{ с параметрами } \hat{m}_0 = -7,43, \hat{\sigma}_0 = 3,07 \text{ и } \hat{m}_1 = 40,1, \hat{\sigma}_1 = 21,63$$

соответственно. Объем выборки $n=200$. Распределения $f(y|H_0)$ и $f(y|H_1)$ схематически изображены на рис.3.

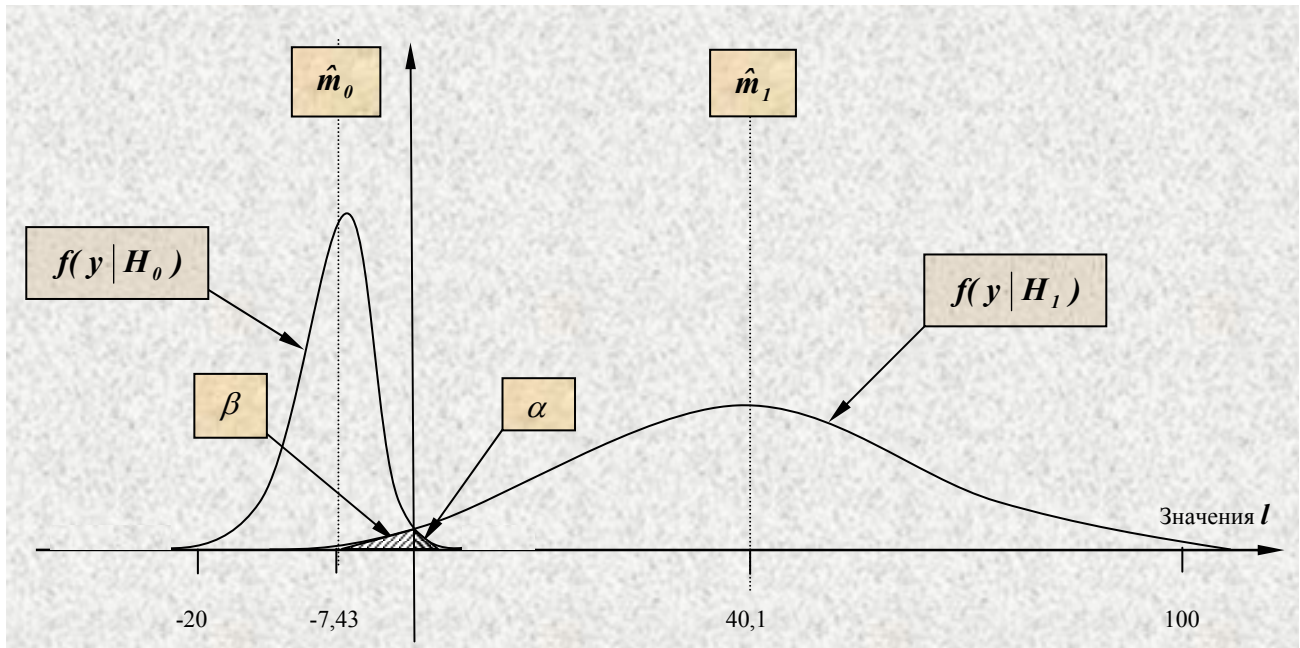


Рис.3. Схематическое изображение теоретических распределений статистики $l = \ln(L)$ при справедливости гипотез H_0 и H_1 : $m_0 = -7,43$; $m_1 = 40,1$; $n = 200$.

В диссертационной работе приведена таблица значений $l_{кр}$ в зависимости от заданного значения α .

Предлагаемая методика решения задачи распознавания включает четыре этапа.

На первом этапе формируются выборки объема n фотографий и осуществляется их предварительная обработка с целью обеспечения статистической однородности.

На втором этапе для данной выборки строятся эмпирические распределения статистики R : $f_R(x|H_0)$ - при справедливости гипотезы H_0 - гипотеза, соответствующая событию A_0 - фотопортрет принадлежит группе «чужой» (т.е. сравниваемые фотопортреты принадлежат разным людям) и $f_R(x|H_1)$ - при справедливости конкурирующей гипотезы H_1 - гипотеза, соответствующая событию A_1 - фотопортрет принадлежит группе «свой» (т.е. сравниваемые фотопортреты принадлежат конкретному человеку).

На третьем этапе выбирается критерий отношения правдоподобия для проверки гипотезы H_0 при конкурирующей H_1 . Вычисляется критериальная статистика l

$$l = \ln \frac{f_R(x | H_1)}{f_R(x | H_0)}$$

и выбирается граница критической области $l_{кр}$.

На четвертом этапе в результате обработки представительного статистического материала строятся гистограммы l , на основании которых уточняются значения вероятностей ошибок первого и второго рода, даются рекомендации по выбору $l_{кр}$ при решении конкретной практической задачи.

В четвертой главе рассмотрено использование разработанной методики для решения практических задач. Описан набор экспериментальных программ и итоговая программная реализация автоматизированной системы идентификации, а также результаты экспериментальной проверки работоспособности разработанной системы. Приведено описание программных модулей разработанной системы и функций интерфейса пользователя.

Первый модуль выполняет функцию нормализации фотопортретов по параметрам масштаба, угла поворота и занесение файла фотоизображения в базу данных.

Второй модуль выполняет функцию сравнения целевого фотоизображения со всеми изображениями в базе данных, вычисление основного показателя сравнения (коэффициента корреляции), предъявление пользователю значений коэффициентов корреляции и фотопортретов, которые могут быть идентифицированы с задаваемым значением доверительной вероятности $(1 - \alpha)$ как фотопортреты человека, представленного на целевом фотоизображении.

Третий модуль выполняет функцию сравнения двух фотоизображений и вычисления дополнительных количественных показателей сравнения двух портретов: средней разности, нормированной корреляции, качества корреляции, максимальной разности, верности изображения, среднеквадратичной лапласиановой погрешности, среднеквадратичной погрешности, максимальной среднеквадратичной погрешности, нормированной абсолютной погрешности, нормированной среднеквадратичной погрешности, нормы Минковского, отношения сигнал/шум, максимума отношения сигнал/шум.

В четвертой главе приведены результаты сравнения эффективности разработанной системы FRS (Face Recognition System) и методики распознавания с имеющимися мировыми аналогами. Сравнение было выполнено с помощью методики теста Института стандартизации и технологий США (NIST) Face Recognition Vendor Test (FRVT), основанной

на использовании при разработке систем идентификации и тестирования их функциональных режимов двух наборов фотопортретов: тестового набора (probe set) и галереи (gallery).

Тестовый набор включал в себя k фотопортретов m субъектов отличающихся по параметрам: а) ракурс съемки; б) масштаб; в) освещенность во время съемки; г) мимика; д) возраст во время съемки.

Галерея включала в себя фотопортреты разных субъектов, по одному фотопортрету на каждого.

На рис.4. изображены результаты тестирования разработанной системы FRS и системы разработанной фирмой Cognitec, лидирующей в тесте FRVT2002.

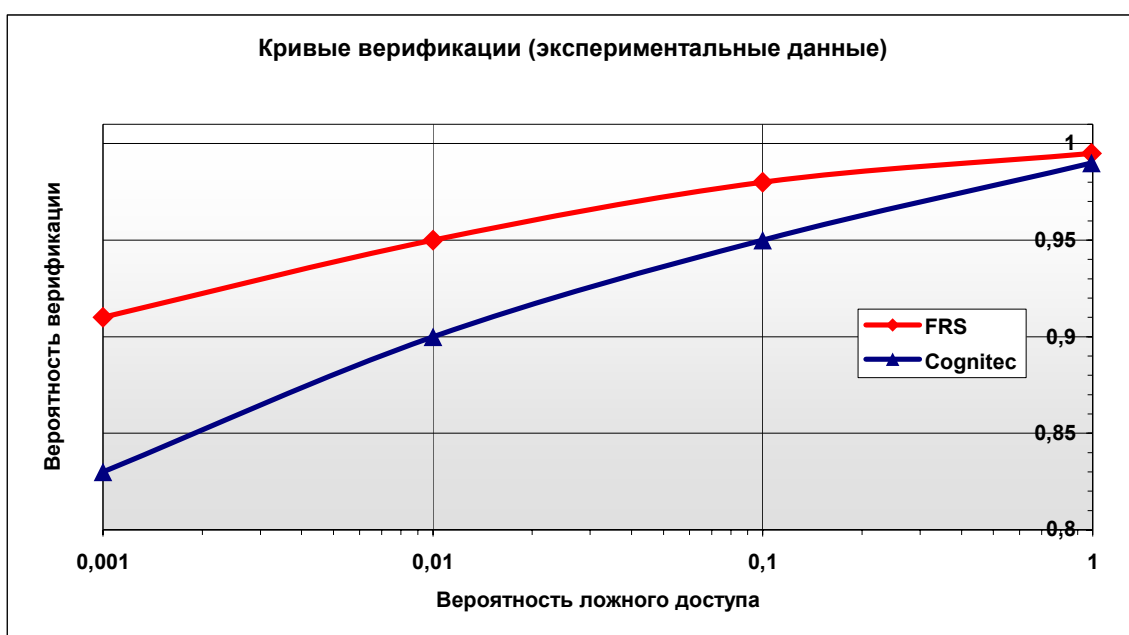


Рис.4. Результаты сравнения разработанной системы FRS с мировыми аналогами по методике Face Recognition Vendor Test.

Предложенная методика идентификации человека на основе корреляционного сравнения может быть использована в задачах *контроля доступа, поиска фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений, идентификация человека по предъявляемому документу (верификация человека по предъявляемому удостоверению личности).*

В заключении дана итоговая оценка проделанной работы и сформулированы основные результаты работы.

В приложении 1 представлены экспериментальные данные и дополнительные иллюстрации ко второй и к третьей главам, а также акт внедрения результатов диссертационной работы в Прокуратуре г.Санкт-Петербурга.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Детально исследованы возможности компьютерной идентификации людей по фотопортретам на основе корреляции.
2. Определено понятие нормализации фотоизображений как операции выравнивания основных геометрических характеристик и показателей качества сравниваемых изображений. Показано, что для повышения эффективности идентификации необходимо выполнять нормализацию перед корреляционным сравнением.
3. Проведена формализация задачи распознавания как задачи проверки статистических гипотез о типе распределения предложенной статистики. По результатам обработки серии фотоизображений построены эмпирические и теоретические распределения. Получены значения границы критической области для различных уровней ошибочного распознавания α . Теоретические значения α и β , определенные для границы критической области $L_{кр} = 1$ подтверждены экспериментально.

Определены принципы оптимального выбора границы критической области исходя из допустимых значений вероятностей ошибочных решений задач *контроля доступа, поиска фотопортретов заданного человека и похожих на заданного человека людей в базе фотоизображений, идентификация человека по предъявляемому документу (верификация человека по предъявляемому удостоверению личности)*.

4. Разработана система корреляционной компьютерной идентификации людей, позволяющая сравнивать целевое фотоизображение со всеми изображениями из базы данных фотоизображений, осуществлять предварительную нормализацию, кадрирование, корреляционное сравнение, выделение круга изображений, близких к целевому, дополнительную нормализацию каждой пары сравниваемых изображений по полному набору показателей, окончательное корреляционное сравнение и принимать решения.
5. Определена область рационального использования разработанной системы кросскорреляционной компьютерной идентификации людей по фотоизображениям. Предлагается использовать разработанную систему в органах уголовного розыска и прокуратуре для сбора доказательной базы при расследовании преступлений и в системах автоматического контроля доступа в аэропортах, банках, универсамах.

Содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Палий О.И., Тутыгин В.С. Оптимальный выбор параметров при обработке изображений в среде MATLAB 6.5. //Материалы межвузовской научно-технической конференции 24-29 ноября 2003 «XXXII Неделя науки СПбГПУ». СПб.: СПбГПУ, 2004.С.4-5.
2. Палий О.И. Разработка новых методов обработки изображений в Image Processing Toolbox MATLAB 6.5.// Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов и молодых ученых Северо-Запада 4-5 марта 2004 года «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». СПб.: СПбГПУ, 2004.С.51-52.
3. Палий О.И. Оптимальный выбор параметров при обработке изображений. //Сборник научных трудов аспирантов и молодых ученых факультета технической кибернетики «Вычислительные, измерительные и управляющие системы».СПб.: СПбГПУ, 2004.С.44-50.
4. Палий О.И., Тутыгин В.С. Автоматизация обработки изображений в среде MATLAB6.5. //Труды Второй Всероссийской научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB».М: ИПУ РАН.2004.С.1780.
5. Палий О.И. Компьютерная идентификация человека по фотопортрету. //Материалы семинаров политехнического симпозиума декабрь 2004 года «Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона».СПб.: СПбГПУ, 2004.С.31-32.
6. Палий О.И. Система кросскорреляционной идентификации человека по фотопортрету. //Академический журнал Западной Сибири. №1.Тюмень:2005.С.72-73.
7. Палий О.И. Компьютерные технологии идентификации человека по изображению лица //Материалы семинаров политехнического симпозиума май 2005 года «Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона».СПб.: СПбГПУ, 2005.С.30-31.
8. Палий О.И., Тутыгин В.С. Статистические методы формализации задачи распознавания //Материалы семинаров политехнического симпозиума май 2005 года «Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона».СПб.: СПбГПУ, 2005.С.50-51.