



ФОНД
ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработка технологии идентификации личности по цифровому изображению лица в сложных условиях съемки (шифр «Облик»)

Исполнитель проекта:
ФГУП «ГосНИИАС»



Сложная международная обстановка,
обострение террористических угроз

Глобальное распространение систем
видеонаблюдения, технические
возможности некооперативной съемки лиц
с достаточным разрешением



 **В контакте**

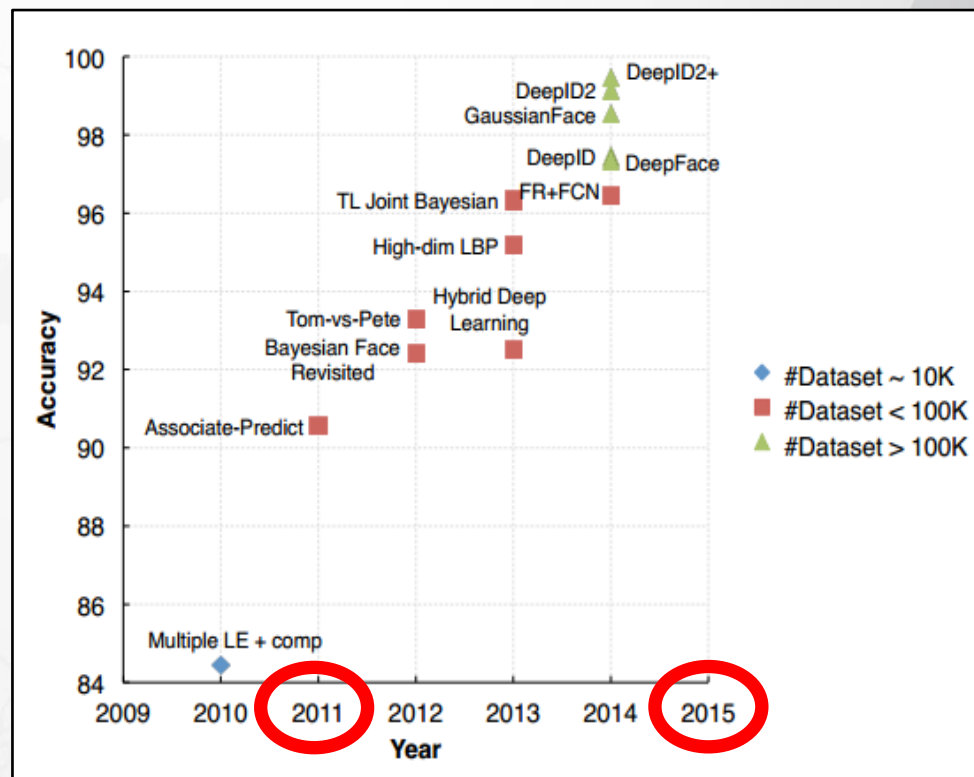
Широкое распространение социальных сетей,
содержащих изображения лиц,
присутствовавших при различных событиях

Активная разработка систем
распознавания лиц за рубежом





<http://people.idsia.ch/~juergen/deeplearning.html>



Динамика роста качества верификации лиц на LFW

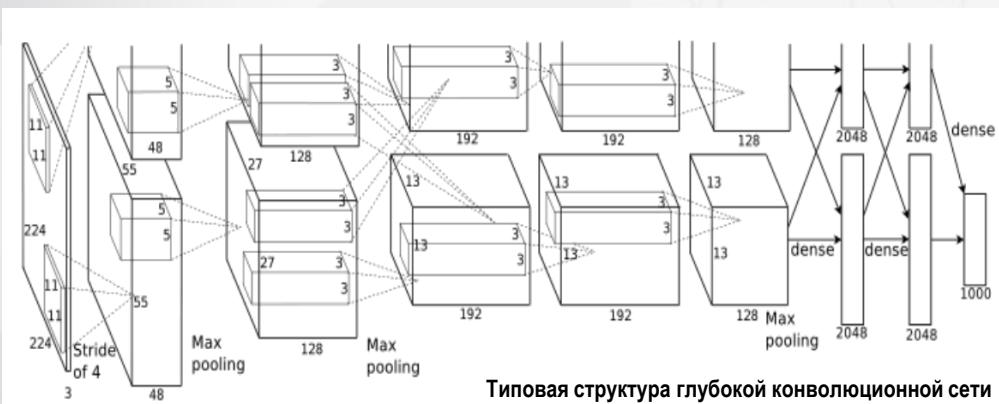
Появление нового класса алгоритмов на основе **глубоких конволюционных нейронных сетей**, позволяющего вплотную подойти к созданию системы автоматического распознавания лиц с качеством, превышающим уровень тренированного человека-оператора

Новое поколение алгоритмов распознавания

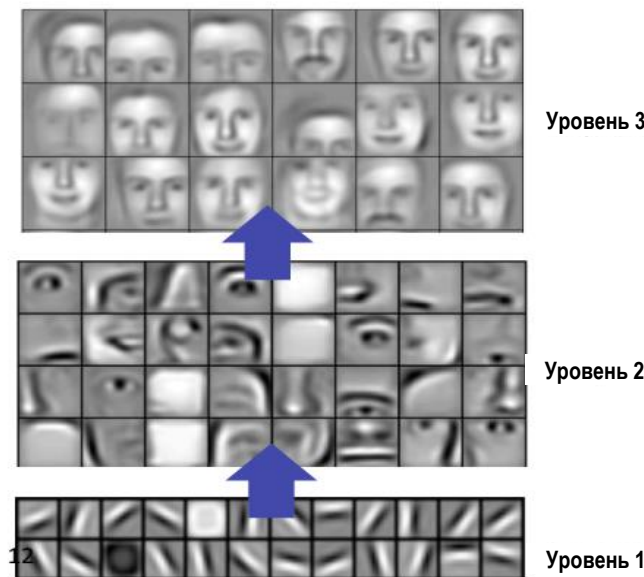
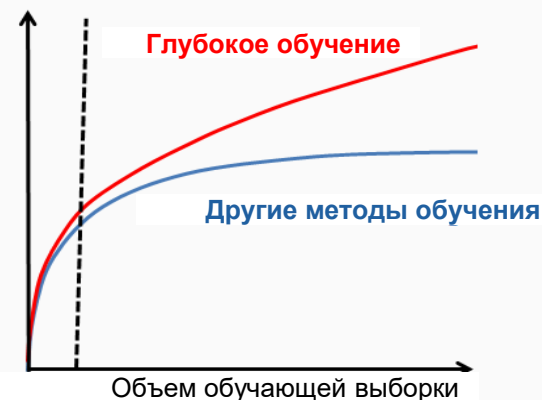
- **Глубокое обучение - это обучение без ограничений по сложности на сверхбольших объемах данных и за счет этого качественно превосходит методы прежних поколений**

- **Глубокое обучение - это иерархическое обучение с повышением абстракции данных от уровня к уровню**

- **Глубокие конволюционные сети - это нейросети, учитывающие специфику изображений как объекта распознавания (локальность, инвариантность к сдвигу, нечеткая пространственная локализация)**



Вероятность распознавания



Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»

- Главная организация в области систем радиоэлектронного оборудования для летательных аппаратов гражданской и военной авиации.
- 26 докторов наук, 232 кандидата наук

Подразделение 3000 – «Системы интеллектуального анализа данных, технического зрения, улучшенного и синтезированного видения» (2011)

лаборатория 3010 – «Технического зрения и цифровой видеометрии»

лаборатория 3020 – «Улучшенного и синтезированного видения»

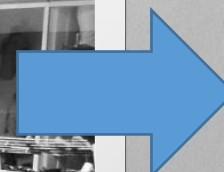
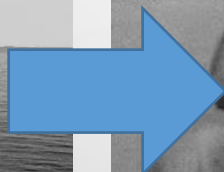
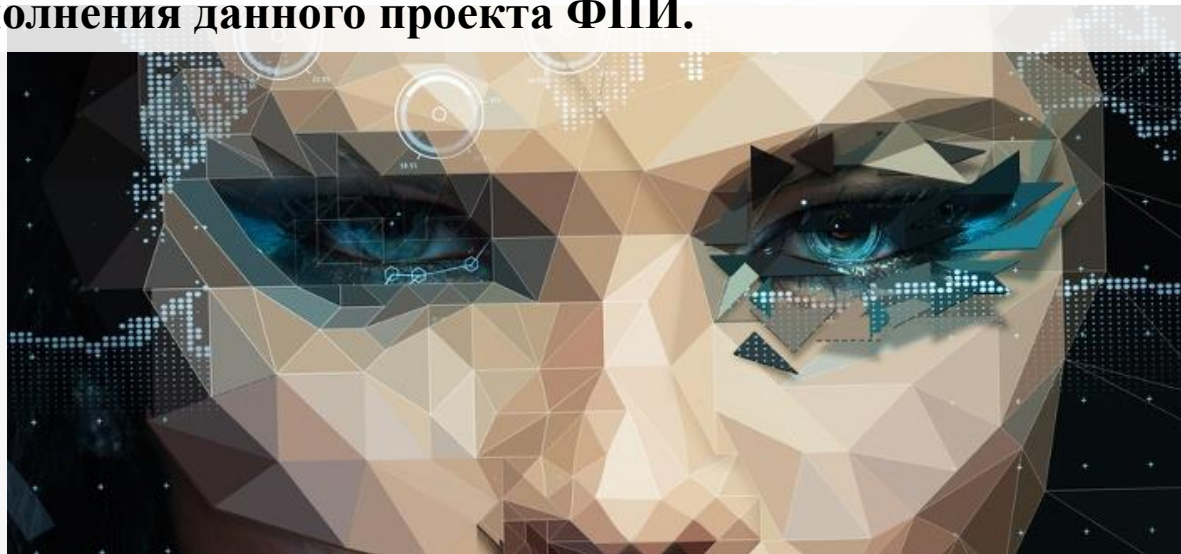
лаборатория 3030 – «Анализа динамических сцен»

лаборатория 3040 – «Интеллектуального анализа данных»

- Численность сотрудников подразделения – 58 человек
- 2 доктора, 8 кандидатов наук, 6 аспирантов, 3 соискателя
- Средний возраст – 33 года, медиана – 28 лет
- 2012-2017 – более 120 научных публикаций (60+ WoS/Scopus)



Разработанная ранее технология ФГУП «ГосНИИАС» победила в открытом конкурсе на лучший демонстрационный образец технологии распознавания лиц людей, проведённом ФПИ в 2015 году. **Опыт разработки и структура этой базовой технологии явились основой для выполнения данного проекта ФПИ.**



Цель проекта

Разработка технологии биометрической идентификации по изображениям лиц, полученным при некооперативной съемке в сложных условиях с качеством, максимально приближенным к качеству человека-оператора.

Задачи проекта

1. Разработать алгоритмы, реализующие данную технологию распознавания лиц:

- ☐ Алгоритм поиска изображения лица на цифровых изображениях.
- ☐ Алгоритм построения биометрического шаблона
- ☐ Алгоритм сравнения биометрических шаблонов для верификации и идентификации
- ☐ Ряд вспомогательных алгоритмов повышающие характеристики распознавания

2. Создать ПО – демонстратор, использующий разработанные алгоритмы

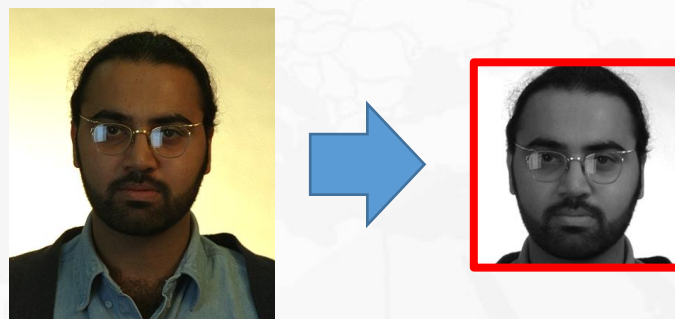
Схема работы модульной системы распознавания лиц:



Модули должны быть реализованы в виде динамических библиотек.

Поддерживаемые ОС – семейства Windows не ниже Windows XP SP1).

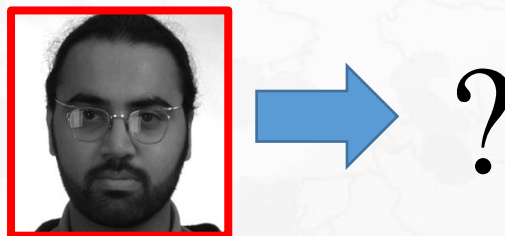
Модуль обнаружения лиц:



Модуль должен обеспечивать:

- Выделение произвольного количества лиц на изображении (площадь лица не менее 1% площади кадра)
- Время обработки не более 0,5 сек. на ПК Intel Core i5-3470/8Gb RAM
- Выделение области лиц на цифровых изображениях с точностью не ниже 95% при полноте не ниже 96% .

Модуль распознавания лиц:



Модуль должен обеспечивать:

- Время построения шаблона не более 1,5 сек на ПК Intel Core i5-3470/8Gb RAM
- Вычислением нормализованной меры сходства пары шаблонов
- Скорость сравнения шаблонов не ниже 1000000 пар/сек на ПК Intel Core i5-3470/8Gb RAM
- Качество верификации на уровне FRR не более 0.1 при FAR=0.001
- Качество идентификации FNIR не более 0.2 при FPIR = 0.02

Качество входных данных:

Проект нацелен на работу в сложных условиях съёмки:

- Требования к содержанию и качеству цифровых изображений лиц людей:
- Максимальный угол поворота головы – до 40 градусов;
- Максимальный допустимый угол наклона головы – до 40 градусов;
- Условия освещения – произвольные (неравномерное, естественное/искусственное, наличие бликов). Качество цифрового изображения лица должно быть достаточным для распознавания лица человеком – оператором.
- Цифровые изображения лиц выборки должны содержать естественные мимические искажения.
- Цифровые изображения лиц выборки должны содержать следующие элементы маскировки внешности:
 - Очки (темные и прозрачные), усы, борода, головной убор, высоко поднятый воротник;
 - Произвольные посторонние объекты, перекрывающие видимую часть лица. Суммарное перекрытие лица элементами маскировки не должно превышать 30% площади информативной области изображения лица
- Возможно присутствие различных искажений, типичных для съемки на цифровые фотокамеры, либо появляющихся в процессе сканирования фотографий – размытие (расфокусировка), засветка (не более 40% от информативной области лица вокруг глаз), эффекты старения фотографии (трещины, выцветание) и др.

ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

Примеры изображений по
ГОСТ Р ИСО/ МЭК 19794-5:



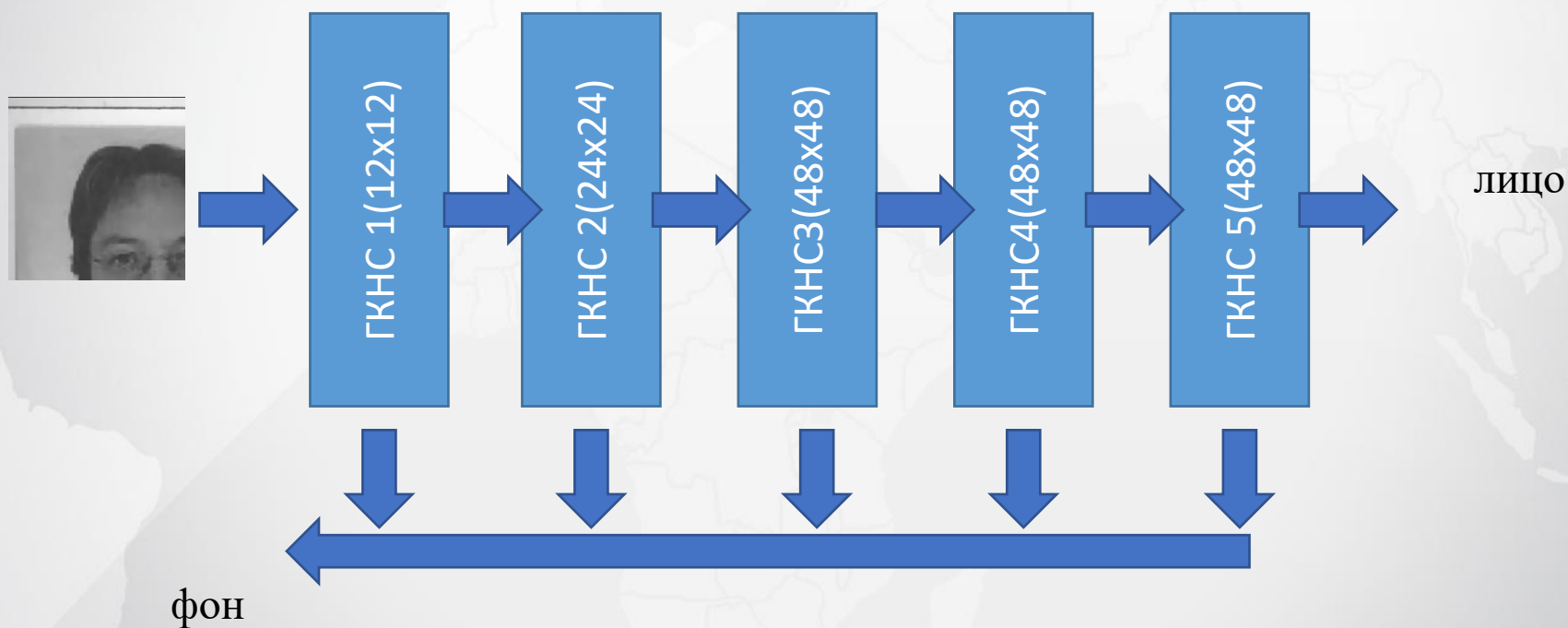
Примеры изображений, полученных в
сложных условиях съемки:



В рамках работ были разработаны следующие ключевые элементы:

- Оригинальный пятистадийный детектор лица и особых точек на основе ГКНС
- Технология обучения ГКНС для создания биометрического шаблона
- Оригинальная архитектура ГКНС для построения биометрического шаблона
- Оригинальная методика сравнения биометрических шаблонов с использованием персональной перенормировки коэффициентов достоверности
- Технология сжатия биометрических шаблонов

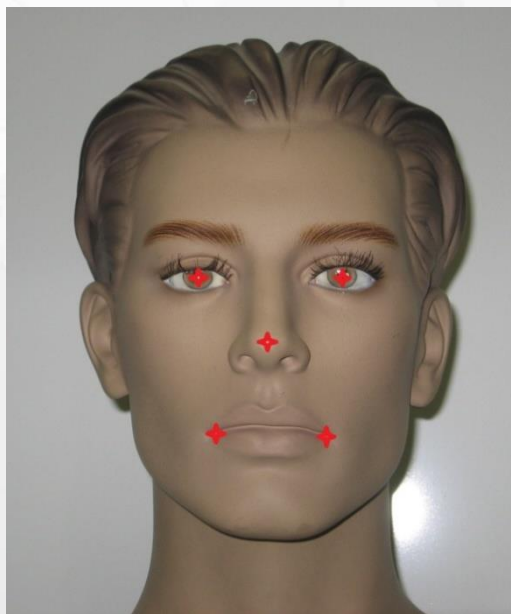
Каскадный детектор лиц и основных точек на изображении лица



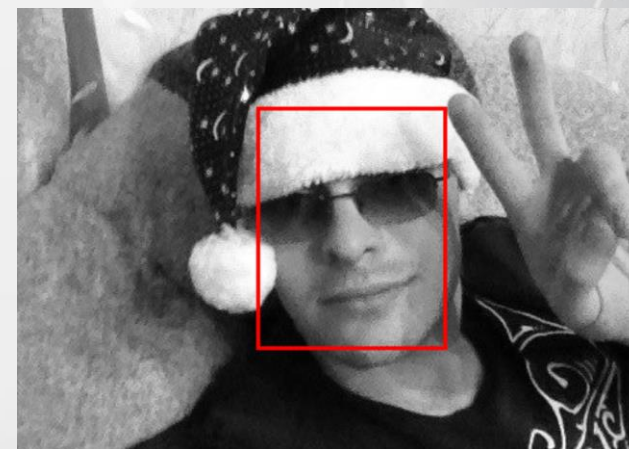
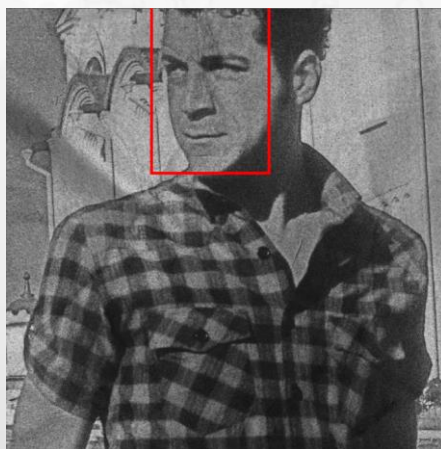
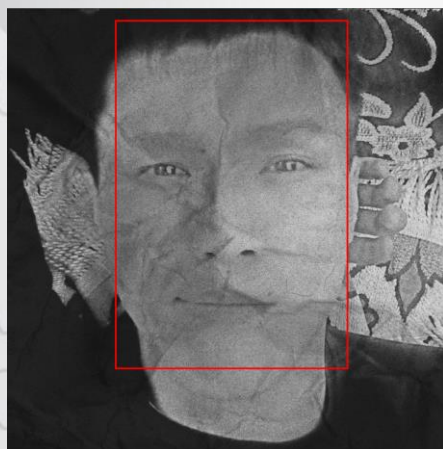
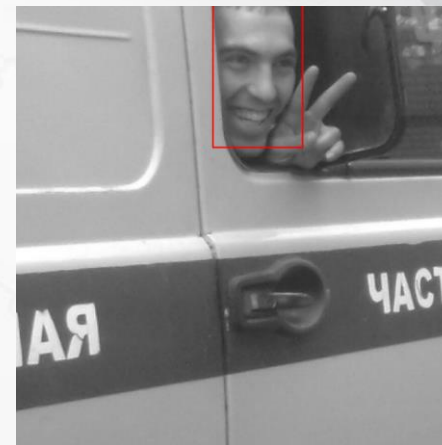
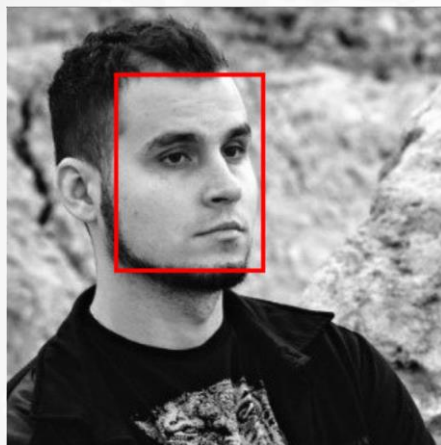
Программная реализация: Алгоритм реализован в виде dll.

Характеристики:

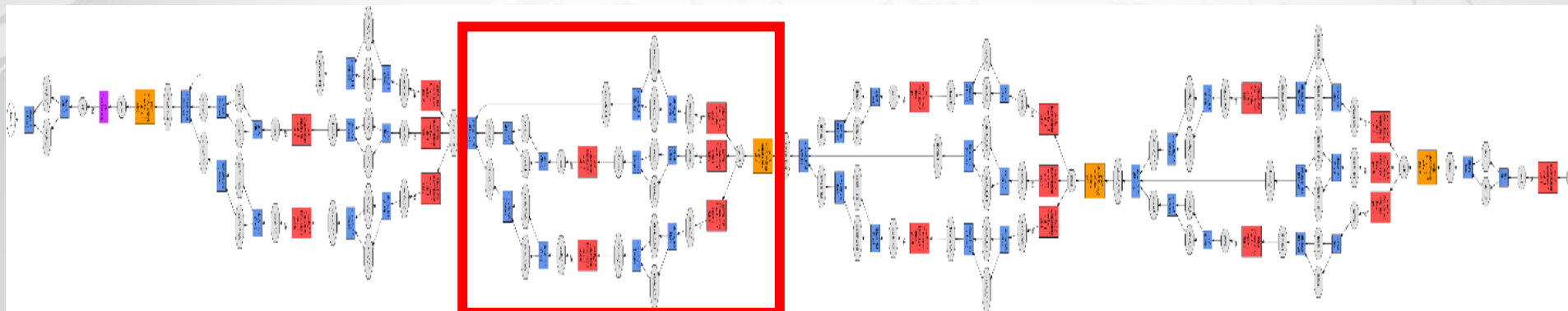
- Скорость поиска лица размером 60x60 по изображению 1024x768: 150 мс
- Обнаружение пяти антропометрических точек на лице: центры глаз, нос, уголки рта



Примеры работы детектора лиц в сложных условиях съемки:



Оригинальная архитектура ГКНС для построения биометрического шаблона



MFM(1x1_cnt, 1x1_1_cnt, 3x3_1_cnt, 5x5_cnt, 1x1_2_cnt)

- 1x1_cnt – число фильтров 1x1 в слое, относящемся к первой ветви;
- 1x1_1_cnt, 3x3_1_cnt – число фильтров, относящихся к слоям 1x1 и 3x3 из второй ветви;
- 5x5_cnt, 1x1_2_cnt – число фильтров, относящихся к слоям 5x5 и 1x1 из третьей ветви.

Идея MFM
из LightenCNN
+
Модульная
структура из
GoogleNet/
SqueezeNet

Создана база изображений лиц для обучения алгоритмов распознавания и обнаружения.

Источники информации:

1. Публичные БД;
2. Развлекательные веб сайты различной направленности.

Сформировано более 10 миллионов профилей, в общей сложности более 50 млн изображений.

На основе этих данных с использованием автоматизированного ПО для разметки сформировано 3 БД:

- База изображений лиц А состоит из персон с числом фото более 50 на персону (6 млн фото 70 тысяч персон);
- База изображений лиц Б со средним числом фото 10 на персону (600 тысяч персон);
- База изображений лиц В с числом фото не менее 5 на персону (1,2 млн. персон).

Оригинальная архитектура ГКНС для построения биометрического шаблона + оригинальная методика обучения

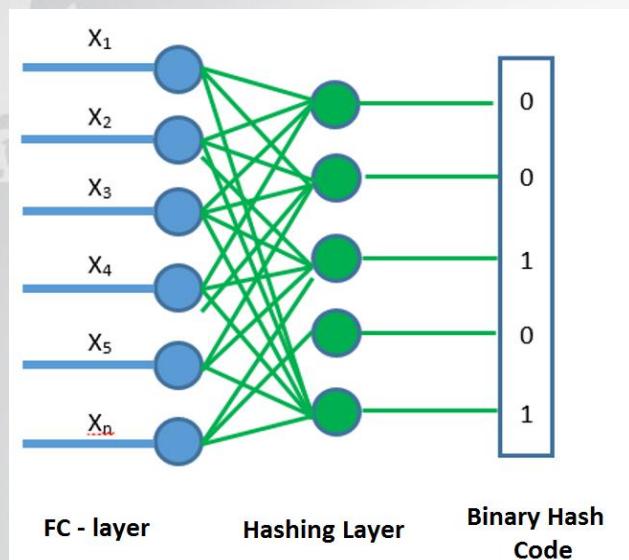
Архитектура

Конволюционный слой conv1 96 фильтров размером 5x5:2
MFM модуль(192,96,192,32,192)
пулинг MAX 2x2:2
MFM модуль(384,192,384,64,384)
пулинг MAX 2x2:2
MFM модуль(256,384,256,64,256)
пулинг MAX 2x2:2
MFM модуль(256,256,256,64,256)
пулинг MAX 2x2:2
Полносвязный слой число нейронов 512
MFM 512->256 DeepFeature

Методика обучения

Обучение проводилось в три этапа:

1. Первоначальное обучение – обучение на идентификацию по фиксированному набору персон по базе изображений А;
2. До обучение на разнообразие – на идентификацию по фиксированному набору персон по базе лиц Б;
3. Дообучение на верификацию и идентификацию - обучение на триплетах по базе В.



Характеристика/Алгоритм	Без кодирования		
	1 Kbit	2 Kbit	8Kbit
Top-1	0,832	0,84	0.86
Top-10	0,91	0,92	0.94
FAR@FRR = 0.001	0,32	0,304	0.28
FNIR@FPIR	0,301	0,287	0.27

Основной идеей разработанного подхода является использование дополнительного слоя нейронов с пороговой активационной функцией. Таким образом выходной вектор является бинарным вектором который и является биометрическим шаблоном.

Ключевые особенности:

- Оригинальный алгоритм обучения элементарной хеш-функции путём решения задачи минимизации взвешенного зазора.
- Для сравнения используется расстояние Хэмминга
- Скорость сравнения для 2000 бит более 60 млн в сек
- Скорость сравнения для 1000 бит более 120 млн в сек

Локальная нормировка меры сходства:

Основная идея:

“Все китайцы на одно лицо”

Есть люди с более типичным и с менее типичным лицом. Разных людей надо сравнивать по-разному!



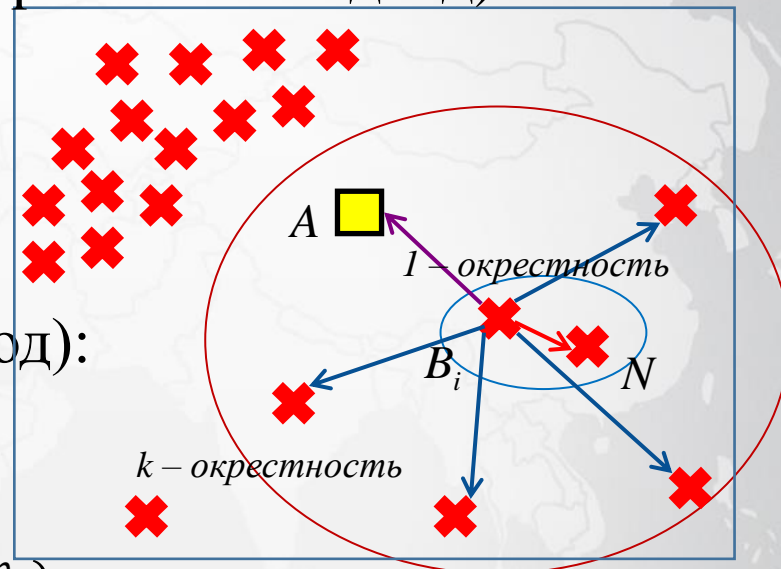
	P(1)	P(5)	P(10)	P(20)
Ref	0,4	0,52	0,57	0,62
L(20)	0,52	0,66	0,72	0,78

Вероятность идентификации

1) L-N нормировка меры сходства (геометрический подход)

$$\mu_i^{L(k)}(A, B_i) = \frac{\lambda(A, B_i)}{\lambda^{cp(k)}(B_i, B)}$$

$\lambda^{cp(k)}(B_i, B)$ - среднее расстояние в окрестности примера B



2) EVT нормировка (вероятностный подход):

$$\hat{\Psi}(x_i, x'; \hat{k}_i, \hat{\lambda}_i) = \begin{cases} \Psi_M(x_i, x'; k_i, \lambda_i), & \text{если } \lambda'_i < \lambda_i, \\ \Psi_C(x_i, x'; k'_i, \lambda'_i), & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

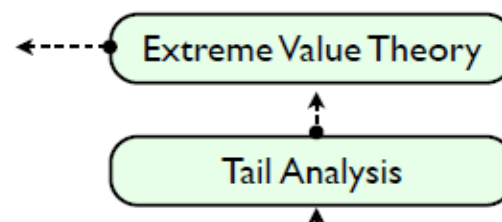
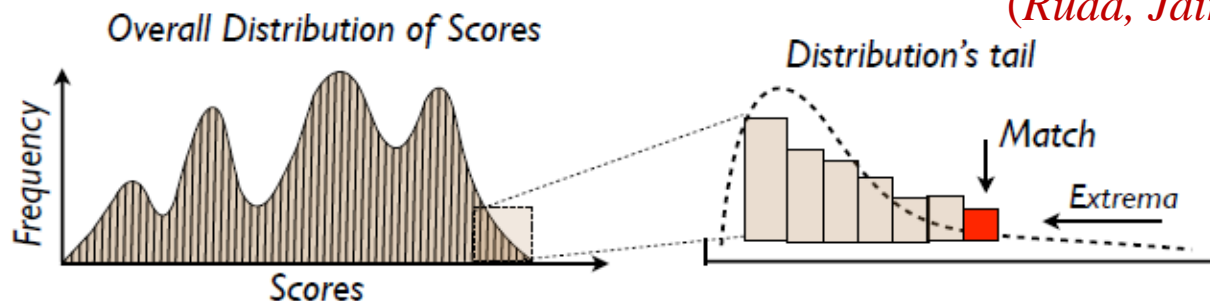
$\Psi_M(x_i, x'; k_i, \lambda_i)$ -

оценка вероятности включения примера на основе расстояния до чужих – распределение Вейбулла

$\Psi_C(x_i, x'; k_i, \lambda_i)$ -

оценка вероятности включения примера на основе покрытия своими – обратное распределение Вейбулла

(Rudd, Jain, Scheirer, and Boulton, 2016)



Разработанный алгоритм: комбинация идей L-N и EVT-нормировок

Последовательность шагов:

1. Получение базовых мер сходства по ансамблю ГКНС.
2. Усреднение коэффициентов по ансамблю.
3. Если коэффициент сходства с шаблоном из базы превышает значение для $FAR=0.001$ для EVT-распределения, значения коэффициента сходства заменяется на средний коэффициент сходства для персоны из базы.
4. L-20–нормировка выходных результатов.
5. Финальная EVT-нормировка.

Отличия от метода L-нормировки:

- Используются не только ближайшие «чужие», но и «свои» сравнения.
- Финальная нормировка - по функции распределения «чужих» сравнений

Отличия предложенного метода от метода EVM-нормировки

- Вместо расстояний используются значения мер сходства.
- Оценка масштабного параметра распределений «чужих» по среднему значению (как при L-нормировке).
- Вместо аналитического выражения для распределения Вейбулла используется непосредственно эмпирическая кривая EVT распределения
- Вместо «переключаемого» решающего правила, переключающего оценку по «чужим» Ψ_M на оценку по «своим» Ψ_C , предложено «переключаемое» решающее правило, переключающее усредненную по «своим» оценку Ψ_M на неусредненную оценку Ψ_M при уменьшении расстояния от референсного примера до заданного уровня вероятности ложной тревоги.

Разработанный алгоритм: комбинация идей L-N и EVT-нормировок



	Без нормировки	С использованием предлагаемого подхода
Top-1	0.86	0.862
Top-10	0.94	0.936
FAR@FRR= 0.001	0.22	0.11
FNIR@FPIR=0.02	0.26	0.21

Результат: существенное повышение характеристик FAR/FRR и FNIR/FPIR

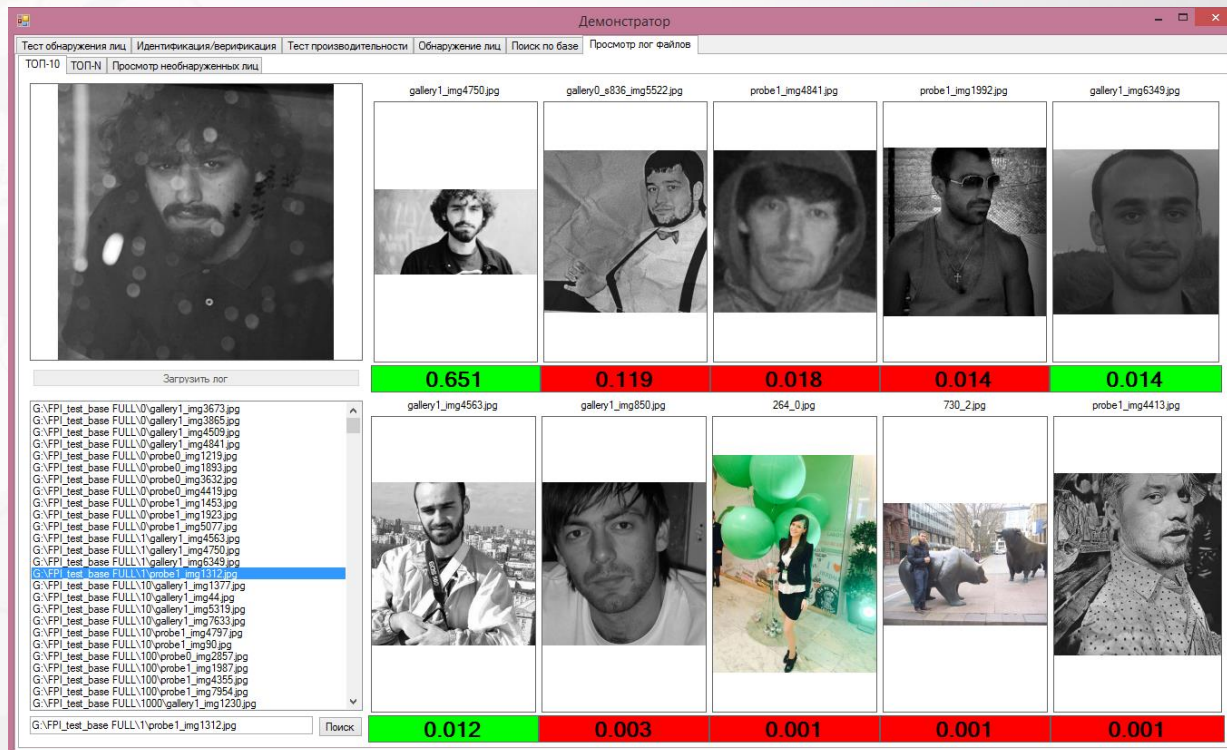
ПО-Демонстратор – предназначено для демонстрации возможностей технологии, разработанной в рамках проекта.

Состав:

1. ПО Демонстратор.
2. ПО Детектор(dll).
3. ПО Распознаватель(dll).

Возможности:

- Тестирование качества решения задачи верификации FAR/FRR
- Тестирование качества решения задачи идентификации FNIR/FPIR
- Тестирование качества решения задачи идентификации Top1/Top10
- Визуализация просмотрового списка из 10/N кандидатов
- Тестирование производительности
- Создание базы изображений с возможностью проведения поиска
- Визуализация процесса обнаружения лиц

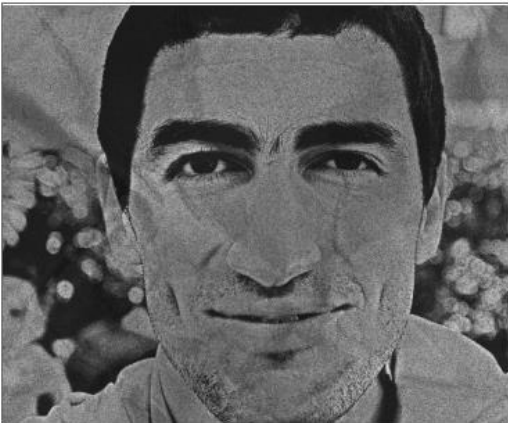

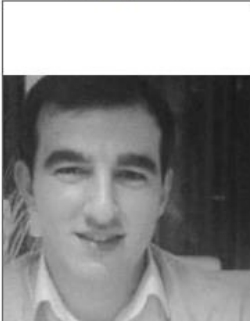









Примеры работы ПО Демонстратор

Демонстратор

Тест обнаружения лиц | Идентификация/верификация | Тест производительности | Обнаружение лиц | Поиск по базе | Просмотр лог файлов

ТОП-10 | ТОП-N | Просмотр необнаруженных лиц

gallery1_img5319.jpg	gallery1_img2518.jpg	probe0_img3693.jpg	probe1_img765.jpg	gallery1_img1377.jpg
				
Загрузить лог	0.738	0.550	0.352	0.292

probe1_img6540.jpg	probe1_img90.jpg	gallery1_img794.jpg	gallery1_img7633.jpg	probe0_img4065.jpg
				
0.225	0.216	0.212	0.211	0.197

G:\FPI_test_base FULL\0\gallery1_img3673.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\gallery1_img3865.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\gallery1_img4509.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\gallery1_img4841.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe0_img1219.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe0_img1893.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe0_img3632.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe0_img4419.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe1_img1453.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe1_img1923.jpg
G:\FPI_test_base FULL\0\probe1_img5077.jpg
G:\FPI_test_base FULL\1\gallery1_img4563.jpg
G:\FPI_test_base FULL\1\gallery1_img4750.jpg
G:\FPI_test_base FULL\1\gallery1_img6349.jpg
G:\FPI_test_base FULL\1\probe1_img1312.jpg
G:\FPI_test_base FULL\10\gallery1_img1377.jpg
G:\FPI_test_base FULL\10\gallery1_img44.jpg
G:\FPI_test_base FULL\10\gallery1_img5319.jpg
G:\FPI_test_base FULL\10\gallery1_img7633.jpg
G:\FPI_test_base FULL\10\probe1_img4797.jpg
G:\FPI_test_base FULL\10\probe1_img90.jpg
G:\FPI_test_base FULL\100\probe0_img2857.jpg
G:\FPI_test_base FULL\100\probe1_img1987.jpg
G:\FPI_test_base FULL\100\probe1_img4355.jpg
G:\FPI_test_base FULL\100\probe1_img7954.jpg
G:\FPI_test_base FULL\1000\gallery1_img1230.jpg




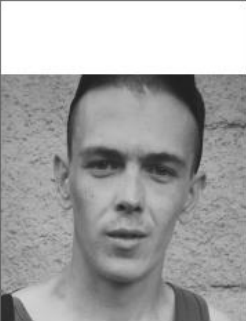

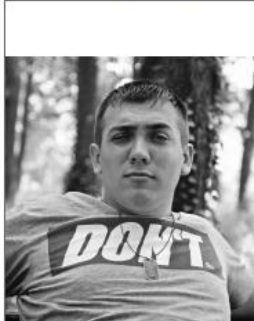




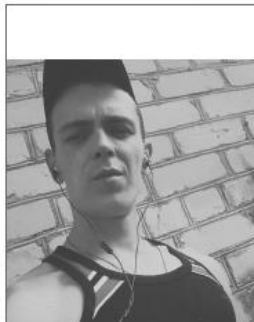
G:\FPI_test_base FULL\10\probe1_img4797.jpg Поиск

Примеры работы ПО Демонстратор

Демонстратор

Тест обнаружения лиц | Идентификация/верификация | Тест производительности | Обнаружение лиц | Поиск по базе | Просмотр лог файлов

ТОП-10 | ТОП-N | Просмотр необнаруженных лиц

	probe1_img769.jpg 	gallery1_img6821.jpg 	probe0_img5420.jpg 	gallery1_img2100.jpg 	probe1_img2526.jpg 
Загрузить лог	1.000	0.903	0.638	0.632	0.610
G:\FPI_test_base FULL\100\probe1_img4355.jpg G:\FPI_test_base FULL\100\probe1_img7954.jpg G:\FPI_test_base FULL\1000\gallery1_img1230.jpg G:\FPI_test_base FULL\1000\gallery1_img3820.jpg G:\FPI_test_base FULL\1000\probe1_img6744.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\gallery1_img1352.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\gallery1_img1522.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\gallery1_img2642.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\gallery1_img7120.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\probe0_img6795.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\probe1_img1815.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\probe1_img1871.jpg G:\FPI_test_base FULL\1001\probe1_img3593.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\gallery1_img3932.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\gallery1_img4126.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\gallery1_img525.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\gallery1_img7881.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\probe0_img668.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\probe1_img2467.jpg G:\FPI_test_base FULL\1002\probe1_img314.jpg G:\FPI_test_base FULL\1003\gallery1_img3931.jpg G:\FPI_test_base FULL\1003\gallery1_img4505.jpg G:\FPI_test_base FULL\1003\gallery1_img7015.jpg G:\FPI_test_base FULL\1003\probe0_img922.jpg G:\FPI_test_base FULL\1003\probe1_img3103.jpg G:\FPI_test_base FULL\1004\gallery1_img2293.jpg	gallery1_img6354.jpg 	probe0_img5340.jpg 	probe0_img6709.jpg 	gallery1_img3633.jpg 	probe1_img7505.jpg 
G:\FPI_test_base FULL\1004\gallery1_img2293.jpg	0.499	0.443	0.423	0.401	0.248

Поиск

Результаты испытаний на базе потребителя (~10 тысяч изображений):

Испытание	Результат	Требования ТЗ
FRR@FAR = 0.001	0,065	0,1
FNIR@FPIR=0.02	0,18	0,2
TOP-1	0,87	-
TOP-10	0,94	-
Скорость обнаружения лица	0,15 сек.	0,5 сек.
Скорость построения биометрического шаблона	0,4 сек.	1,5 сек.
Скорость сравнения	4 млн в сек.	1 млн в сек.
Точность/Полнота обнаружения лиц	0,997/0,992	0,95/0,96

1. Разработан алгоритм построения биометрического шаблона на основе глубоких конволюционных сетей, устойчивого к поворотам лица, ярко выраженной мимике, перекрытиям лица и эффектам съёмки, препятствующим распознаванию лиц.
2. Разработан алгоритм поиска изображения лица на цифровом изображении, устойчивого к поворотам лица, ярко выраженной мимике, перекрытиям лица и эффектам съёмки, препятствующим распознаванию.
3. Разработан метод построения компактного биометрического шаблона для задач идентификации по изображениям.
4. Разработан алгоритм сравнения биометрических шаблонов, оптимизированный с точки зрения достигаемых характеристик распознавания.

5. Разработан демонстратор технологии идентификации личности по цифровому изображению лица в сложных условиях съемки:
 - ПО (приложение), реализующее графический интерфейс, а также основные функции, необходимые для тестирования разработанных алгоритмов.
 - ПО для выделения лиц людей на изображениях (реализовано в виде динамической библиотеки – dll).
 - ПО для вычисления биометрического шаблона и ПО сравнения биометрических шаблонов (реализованы в едином программном модуле в виде динамической библиотеки – dll).
6. Проведено тестирование демонстратора технологии в целом на базе изображений лиц, переданной Заказчиком. Достигнутые на данной базе результаты биометрической верификации и идентификации соответствуют требованиям ТЗ.

Спасибо за внимание!