

Чернышов Виктор Геннадьевич
ВМК МГУ, кафедра ММП

Биометрическая идентификация личности по изображению внешней стороны ладони на базе мобильного устройства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 05.13.17 – «теоретические основы информатики»

Научный руководитель:
д. т. н. проф. Местецкий Л.М.

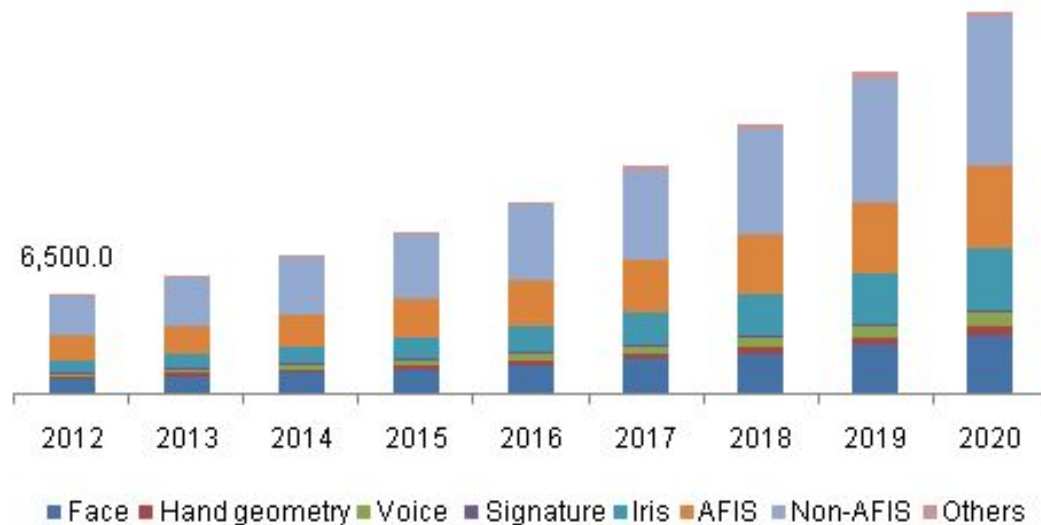
Москва, 2019

Актуальность

Тренды:

- стабильный рост рынка биометрии (~10-15% в год);
- бурное развитие мобильных устройств и приложений.

Синтез: носимые (wearable)/встраиваемые (embedded) системы биометрической идентификации, в т.ч. мультимодальные.



Рынок биометрических систем в млрд. \$

Идентификация по внешней стороне ладони

- простота и удобство;
- социальная приемлемость;
- не требуются специализированные сенсоры — лишь цифровая камера;
- характеристик камер современных мобильных телефонов и планшетов вполне хватает!



Информативность снимка зависит от его качества



Но на качество влияют в т.ч. условия съёмки и движения испытуемого



Обзор. Системы идентификации по форме ладони



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Обзор. Система идентификации по форме ладони



Рис. 4

Обзор. Система идентификации по рисунку ладони

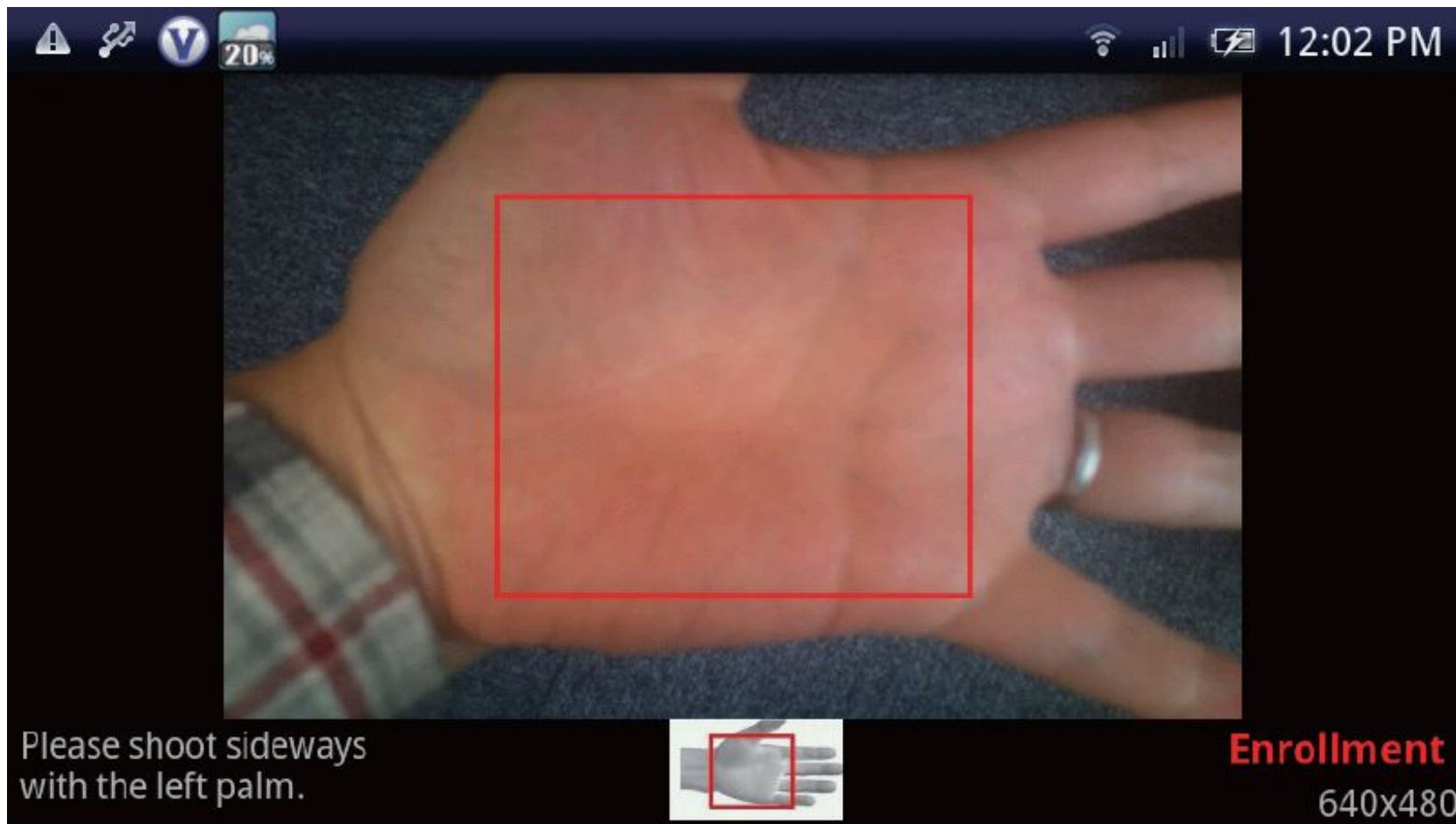


Рис. 5

Обзор. Система идентификации по рисунку кожных складок на пальце

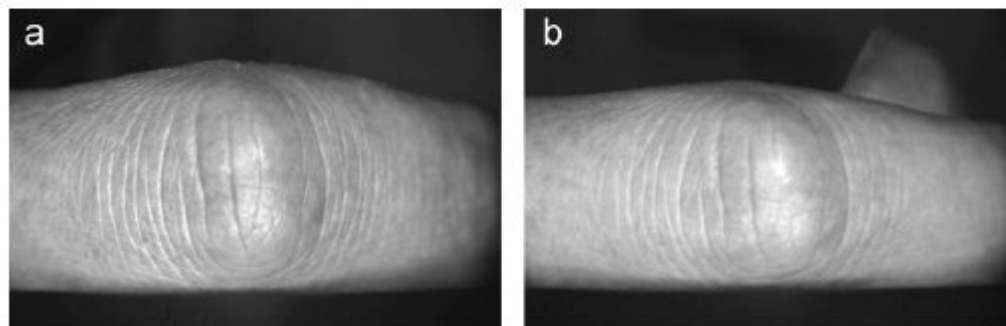
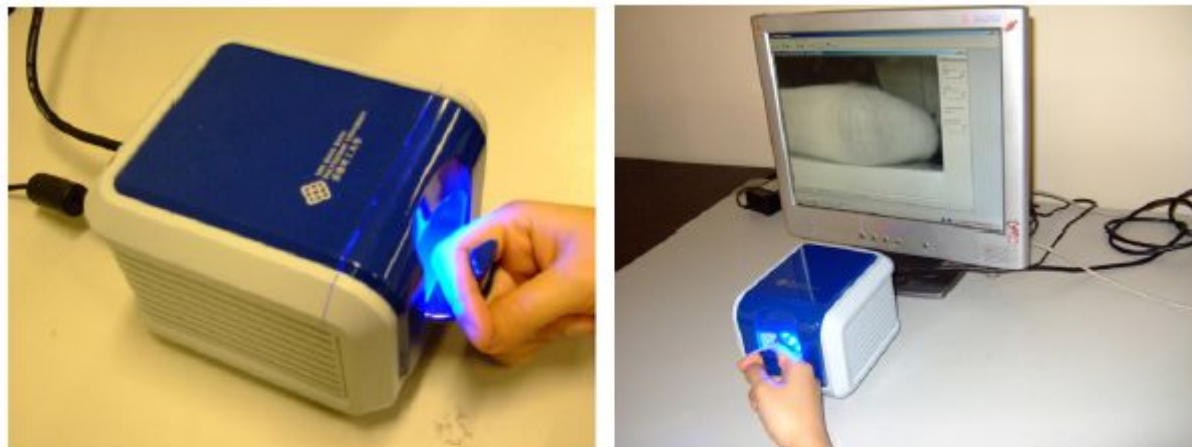


Рис. 6

Обзор. Системы биометрической идентификации по ладони

- Специализированные устройства:
 1. Schlage HandPunch 4000 - рис. 1;
 2. PolyU FKP Scanner по рисунку кожных складок на пальце (Lin Zhang et al.) - рис. 6.
- “Handmade” системы на базе сканеров и веб-камеры:
 1. по форме ладони - рис. 2 и 3;
 2. по форме ладони (Бакина, Местецкий) - рис. 4.
- На базе мобильного устройства по рисунку ладони (Aoyama et al.) - рис. 5.

Требования к системе идентификации по ладони

- **точность** - приемлемый для предметной области уровень ошибок ($EER < 2\%$);
- **скорость** - распознавание в реальном времени (или близко);
- **доступность** - состоит из распространённых и недорогих компонентов;
- **социальная приемлемость** - не должна вызывать негативную реакцию пользователей;
- **удобство** - процесс понятен для пользователя (интерактивен), эксплуатация проста для владельца (быстрый старт);
- **гибкость** - возможна работа при различных внешних условиях (например, освещении).

Применение. Идентификация в малых группах. Контроль посещаемости в вузах, школах, больницах, библиотеках.

Цель исследования

Создание **метода идентификации** человека по изображениям **внешней** стороны ладони, который может быть использован в системе распознавания на базе **мобильного устройства**.

- Неотъемлемой частью работы является реализация соответствующего программного комплекса, обосновывающего эффективность метода и его частей.
- Выбор в качестве модальности внешней стороны ладони, а также желаемые показатели точности и скорости метода идентификации во многом **продиктованы требованиями к системе распознавания в целом**.

Задача идентификации

Сводится к задаче классификации:

Вход: изображение (предположительно содержащее ладонь)

Выход: метка человека

Но размерность данных огромна, надо извлечь признаки.

- Для признаков формы качество сегментации критично.
- Для текстурных признаков критична их локализация.

В обоих случаях нужна **быстрая** (в реальном времени на мобильном устройстве) и **качественная** сегментация ладони относительно фона.

Сегментация. Обзор

Быстро и не очень качественно:

1. **Оцу** (Otsu).
2. Локальные пороговые методы [1].
3. Детектирование кожи (skin detection) [2-4].
4. Вычитание фона (background subtraction) [5].

Долго и **качественно**:

1. **Графовые модели**
 - a. GraphCuts (разрезы в графах)
 - b. TRWS
 - c. ...
2. Глубокие нейронные сети

Сегментация. Быстрая vs качественная



Сегментация по Оцу



Сегментация OneCut'ом

Метод идентификации. Декомпозиция

1. **Задача детектирования** — обнаружение объекта (ладони) на изображении и, в случае наличия, проверка «пригодности» изображения ладони для последующего распознавания (на клиенте, с **быстрой** сегментацией).
2. **Задача распознавания** — генерация признакового описания по изображению ладони, прошедшей проверки на «пригодность», и непосредственно классификация ладони путём сопоставления с базой признакового описания ладоней-эталонов (на сервере, с **качественной** сегментацией).

Получаем логическое и структурное распределение задач.

Метод детектирования. Корректная ладонь

Ладонь **корректна**, если:

- вместе с частью запястья находится целиком в кадре;
- посторонние предметы не закрывают ладонь, т. е. отсутствуют часы, кольца, браслеты, длинные рукава и т. п.;
- все пальцы расставлены (разведены).



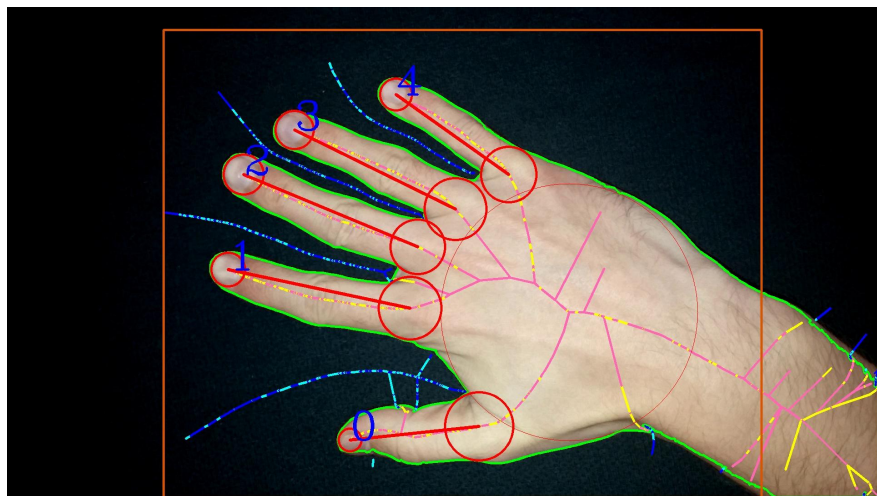
Рис. 7. (a) - кадры с корректными ладонями, (b) - кадры, где нет корректных ладоней

Метод детектирования. Этапы

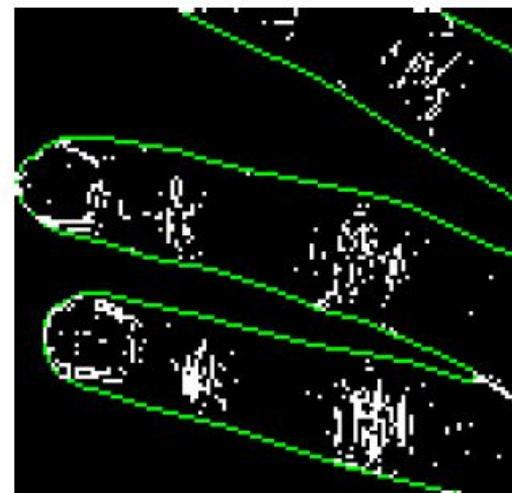
1. Быстрая сегментация по Оцу.
2. Анализ на базе скелетного представления:
 - a. построение непрерывного медиального представления (“скелета”) для формы ладони с последующей регуляризацией (“стрижкой”);
 - b. семантическая разметка и проверка корректности объекта-кандидата на роль ладони на основе внутреннего скелета.
3. Определение кадров, содержащих расфокусированные области интереса.
4. Формирование данных для отправки в модуль распознавания (например, зёрен для качеств. сегментации).

Вычисления происходят на клиенте!

Метод детектирования. Визуализация этапов 1,2,4



Метод детектирования. Визуализация этапа 3



Идея: если область интереса на исходном изображении мало отличается от результата его Гауссова размытия, то область интереса, вероятнее всего, расфокусирована.

$S_{diff} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - мн-во пикс. изображения-разности внутри области интереса

$$D = \frac{|\{p_i | p_i > T, p_i \in S_{diff}\}|}{|\{p_i | p_i > 0, p_i \in S_{diff}\}|} < \varepsilon \quad \text{- область интереса расфокусирована}$$

p_i - значение яркости пикселя, T, ε - пороги.

Метод распознавания. Этапы

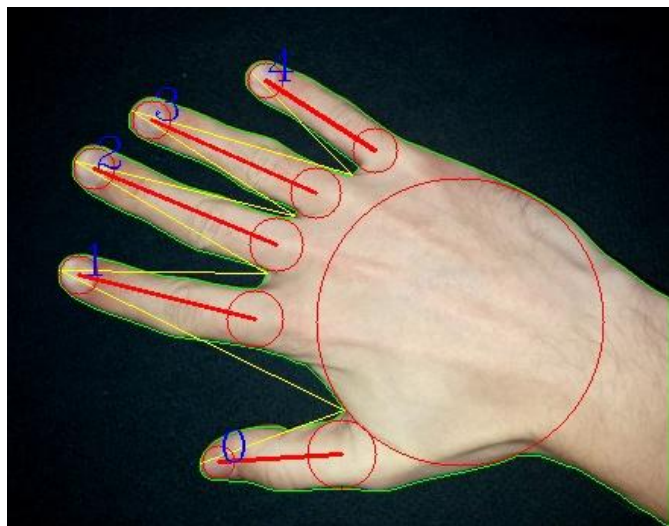
1. Качественная сегментация OpenCut, используя зёрна и область интереса с этапа детектирования.
2. Семантическая разметка (аналогично детектированию).
3. Локализация областей кожных складок на пальцах.
4. Генерация признаков с помощью 2D фильтров Габора.
5. Построение дескрипторов особых точек.
6. 1NN классификатор по эталонам со специальной мерой сходства.

Вычисления происходят на сервере!

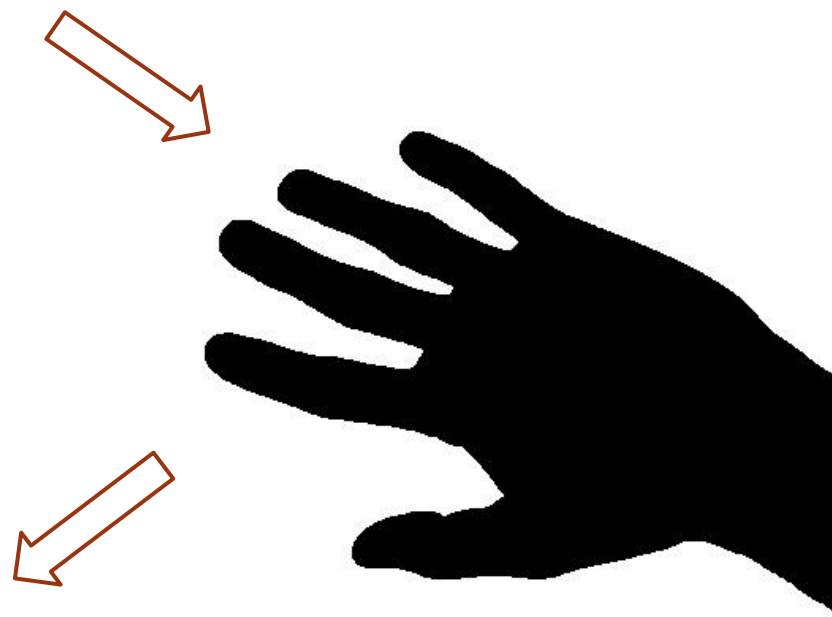
Метод распознавания. Этапы 1,2



Зёрна (seeds) с этапа детектирования

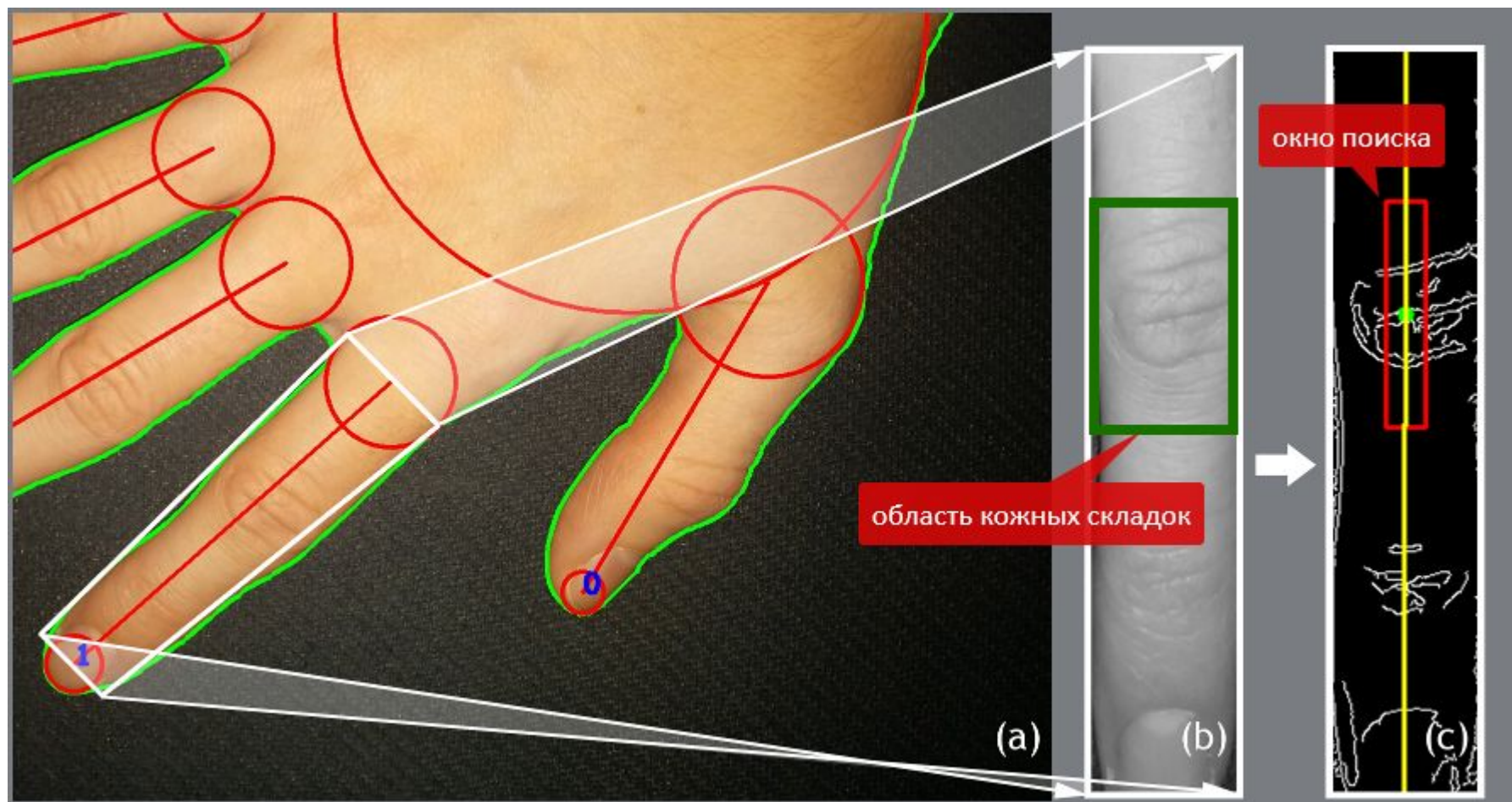


Семантическая разметка по OneCut-сегментации



Сегментация на основе OneCut

Метод распознавания. Этап 3 (локализация ROI)

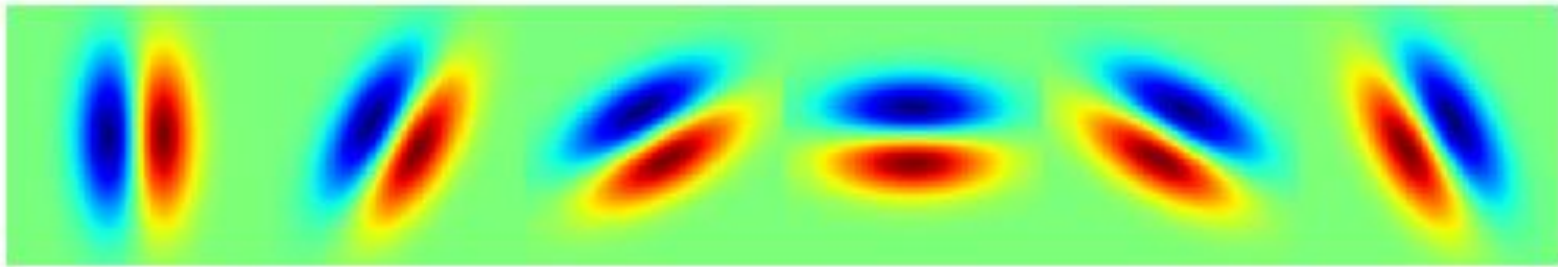


Извлечение (a) и нормализация (b) области пальца. Локализация центра области складок пальца на изображении границ (c) с помощью окна поиска.

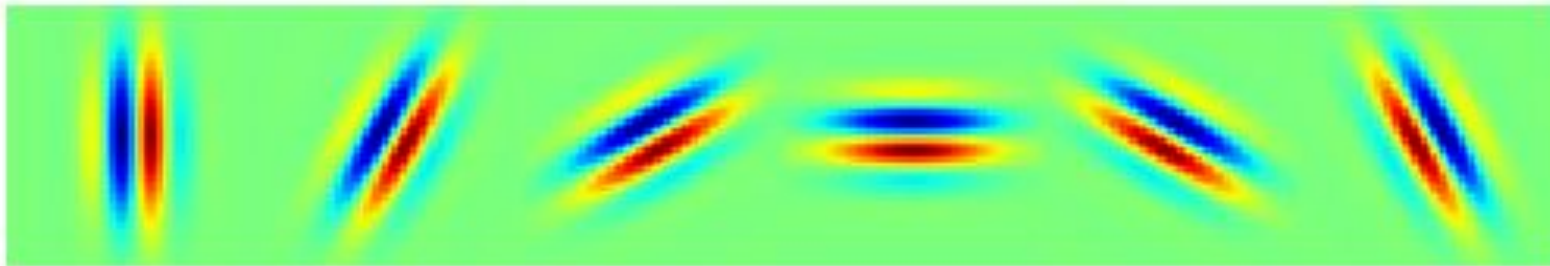
Метод распознавания. Этап 4 - 2D фильтры Габора

$$G_R(x, y; \lambda, \theta, \phi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \phi\right)$$

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta, & G_R(x, y, \theta_j, \dots) & & \gamma &= 0.25 \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta. & \theta_j &= j\pi/6, j \in \{0, \dots, 5\} & \phi &= 0 \end{aligned}$$



Семейство 1 - расстояния между морщинами (2-3 мм)



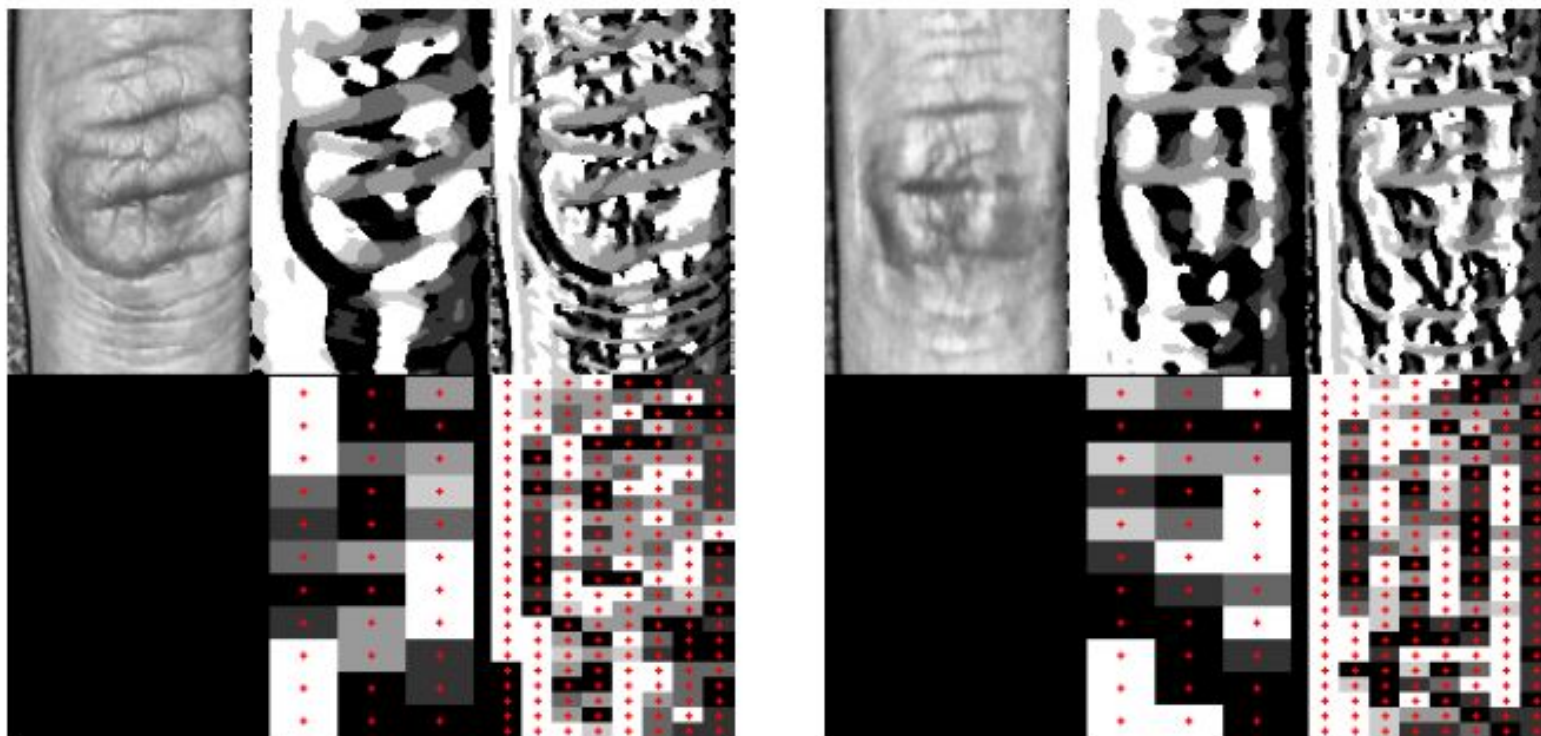
Семейство 2. Толщина самих морщин (1-2 мм)

Метод распознавания. Этап 4 - генерация признаков

$oriCode(x, y) = \underset{j}{\operatorname{argmin}} \{I(x, y) * G_R(x, y, \theta_j, \dots)\}$ - для каждой эпохи

$I(x, y)$ - окрестность изображения с центром в точке (x, y)

$P(j, i) = (O_x + j * S_x/2, O_y + i * S_y/2), i = 0, 1, \dots, \frac{2*Height}{S_y}; j = 0, 1, \dots, \frac{2*Width}{S_x}$ - узлы сетки



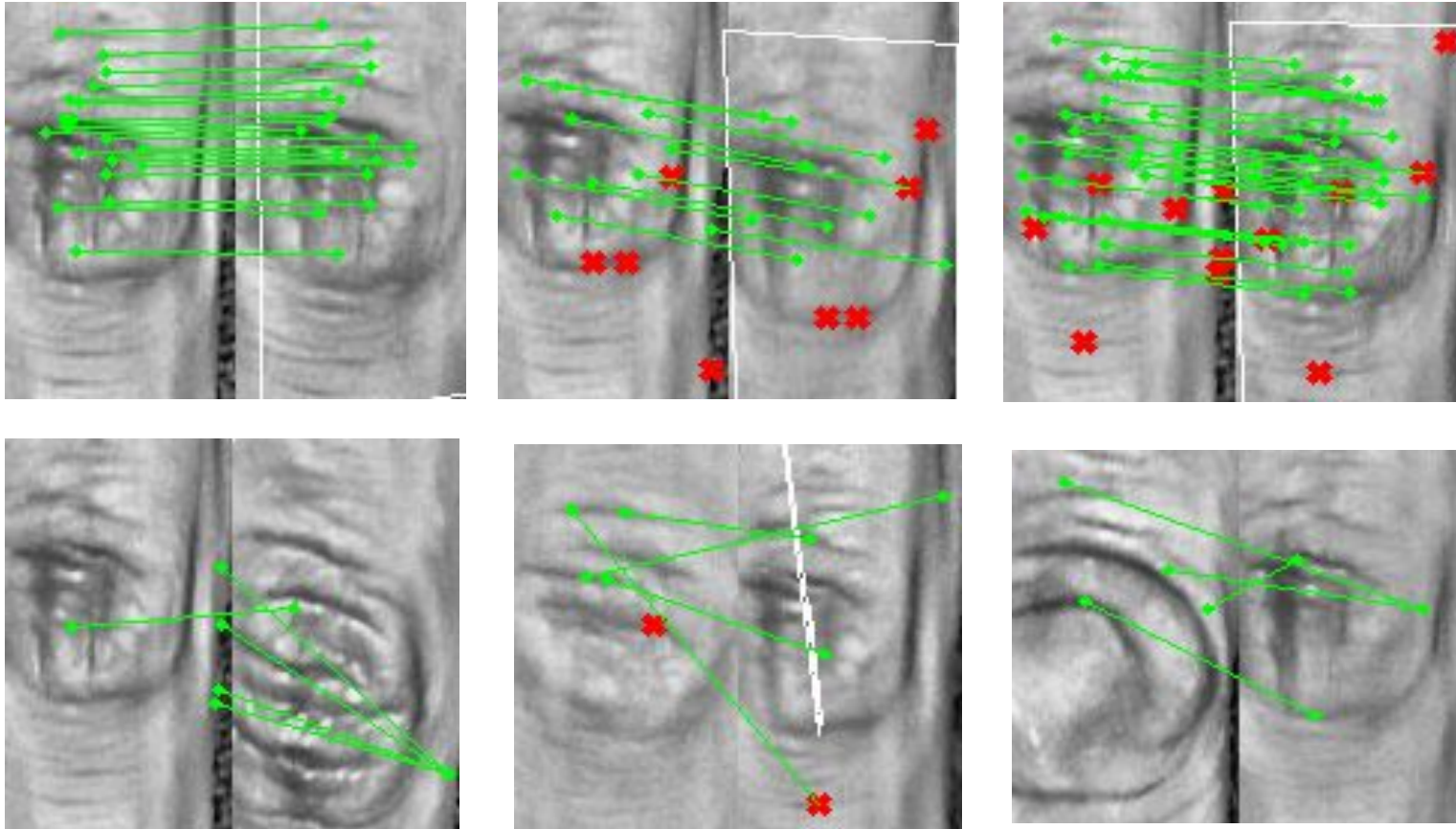
Метод распознавания. Этап 4 - сравнение признаков

- Для каждого узла сетки - две (по числу семейств) матрицы признаков (число элементов n : $3 \times 11 = 33$ и $8 \times 24 = 192$).
- Три пальца (большой мизинец не участвуют).
- При «прикладывании» матриц признаков пальцев i семейства k - сдвиги узлов вверх-вниз относительно друг друга для поиска минимального расстояния

$GDist_i^k(f^{(1)}, f^{(2)}) = \frac{1}{3n} \sum_{j=1}^n \min\{d_j, 6 - d_j\}$ - расстояние между двумя матрицами одного семейства k для пальцев i

$GDist_i = GDist^1 + \alpha_{gabor} \times GDist^2, i = \{1, 2, 3\}$ - итоговое расстояние между пальцами i

Метод распознавания. Этап 5 (SIFT дескрипторы)



$$SDist_i = \begin{cases} 1 & N_{pairs} \geq P \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Метод распознавания. Этап 6 - классификатор

Итоговое расстояние между ладонями на основе 2d Габор признаков (2 эпохи + сетка + сдвиги) и дескрипторов SIFT:

$$Dist_i = GDist_i + \alpha_{SIFT} SDist_i,$$

$$D = \min\{Dist_1, Dist_2, Dist_3\}$$

Классификатор - **1NN**.

Данные

	кол-во людей	кол-во снимков	разреш.	есть некорр. снимки?	тыльная сторона ладони?	задача
База-1	50	2322	1920x1080, 1280x720	да (1161)	да	детектирование
HGC Test	-	160	510x702	да (64)	нет	детектирование (семантич. разметка)
База-2	48	502	1920x1080, 1280x720	нет	да	распознавание
PolyU	165	931	1600x1200	нет	да	распознавание

- База-1 и База-2 собраны автором с помощью моб. прилож.
- В Базе-1 недостаточно внимания уделено фокусировке!

Тестирование. Детектирование

Авторы	Абсолютный штраф	Относительный штраф	Верная разметка (%)		Неверная разметка (%)	
			Концы пальцев	Точки между пальцами	Концы пальцев	Точки между пальцами
MCST [75]	22.00	0.14	99.38	97.34	0.63	2.66
Предложенный метод	15.00	0.16	99.17	97.14	0.83	2.86
ELSayed [83]	26.00	0.16	99.50	96.56	0.50	3.44
Alberto de Santos [84]	57.30	0.36	99.38	91.41	0.00	7.97
Diogo Martins [81]	77.90	0.49	97.00	88.91	0.63	4.84
scab12 [81]	98.10	0.61	96.13	86.56	0.25	7.97

Сравнительное тестирование семантической разметки из алгоритма детектирования.

База	FAR	FRR	Ошибка, %	TPF, мс
База-1	3.2	4.6	3.6	30.1
HGC [81]	3.8	5.1	4.3	45.4

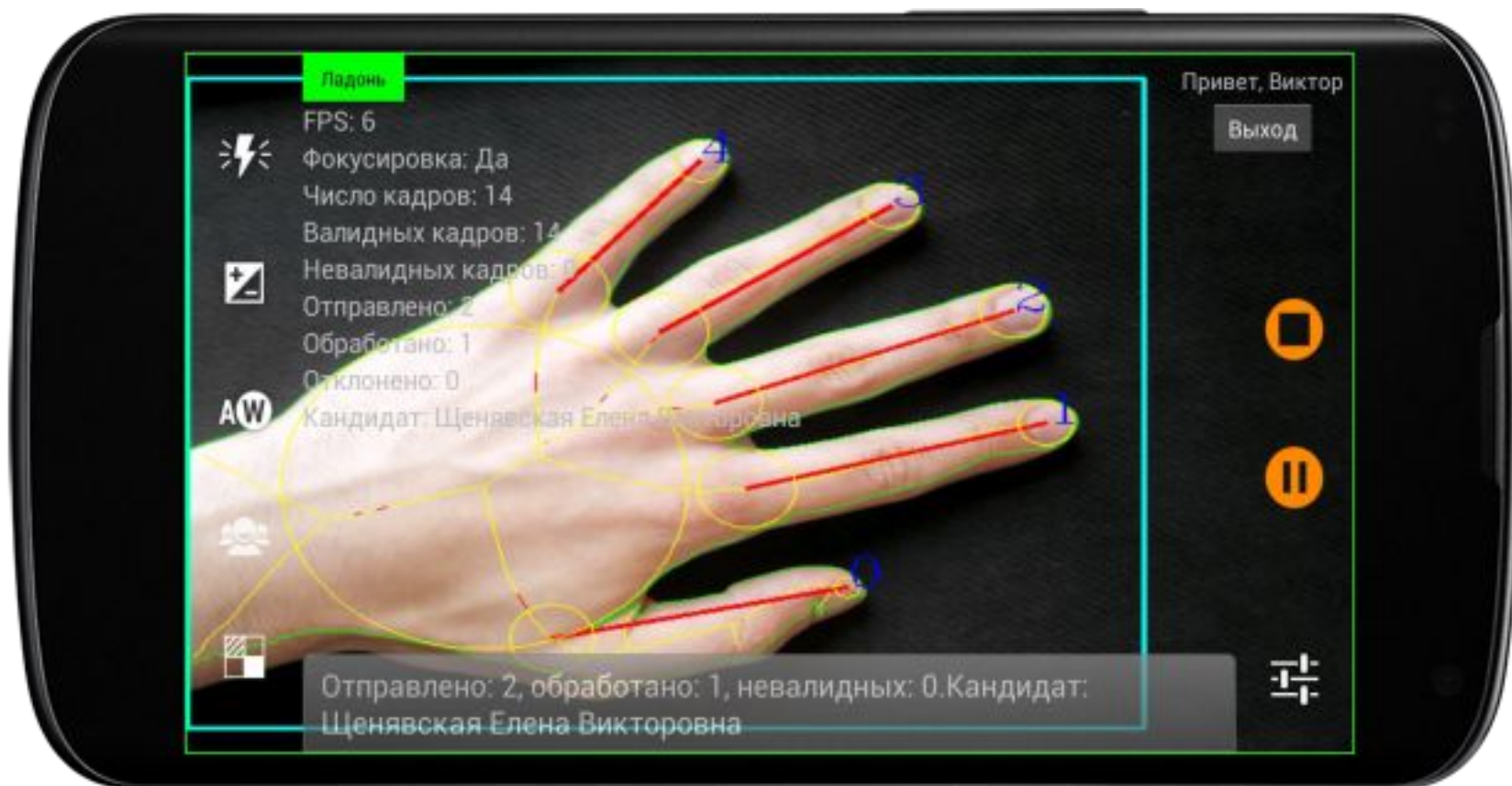
Тестирование алгоритма детектирования на База-1 и HGC.

Тестирование. Распознавание

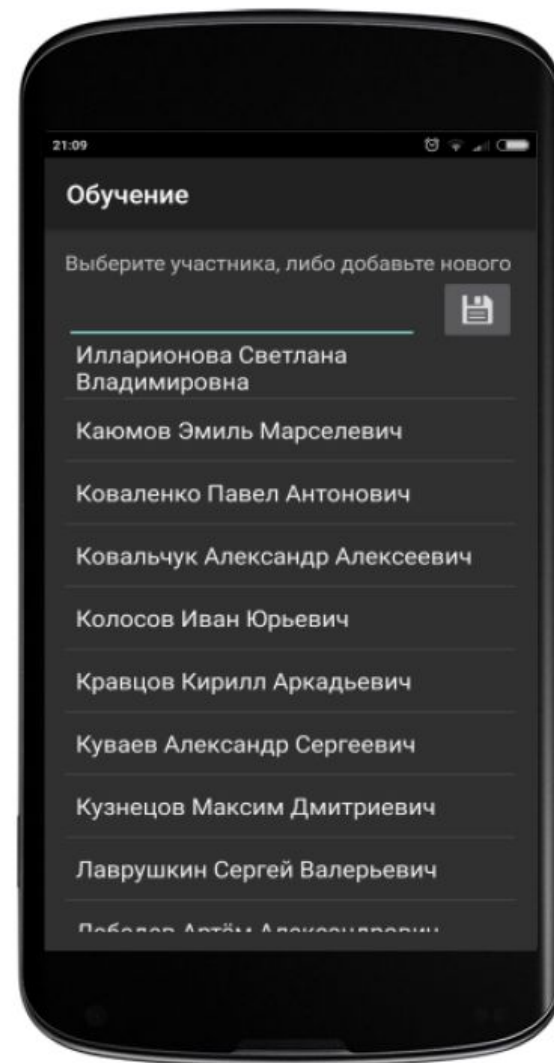
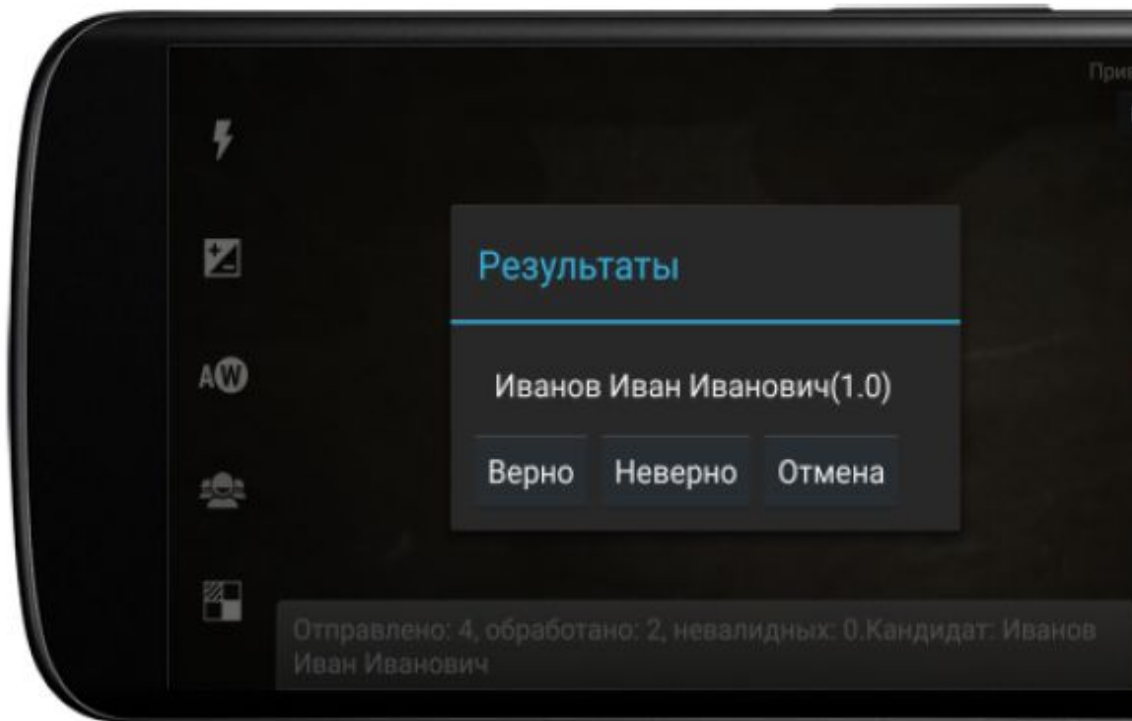
Метод	Ошибка, %	AUC	EER, %	Ошибка, %	AUC	EER, %
	База-2	База-2	База-2	PolyU HD	PolyU HD	PolyU HD
Кривизна	21.0	0.9692	8.7	10.6	0.9750	7.7
Ломаная	22.1	0.9589	11.2	12.6	0.9703	7.9
Спектр	24.3	0.9407	15.1	13.4	0.9672	9.8
Габор (палец 1)	5.7	0.9923	4.0	11.1	0.9734	6.5
Габор (палец 2)	6.3	0.9877	3.6	12.3	0.9723	8.4
Габор (палец 3)	6.1	0.9955	3.7	11.4	0.9757	7.1
Габор (три пальца)	1.4	0.9996	1.1	1.8	0.9990	1.3
Габор + SIFT (три пальца)	0.9	0.9997	0.7	1.4	0.9997	0.8

Таблица 1: Тестирование метода распознавания на Базе-2 и на базе PolyU HD при различных признаках. Столбцы «Ошибка, %...» содержат ошибку идентификации, усреднённую по $p = 10$ случайным разбиениям базы на обучающую и тестовую части в соотношении 2: 1 (оценка скользящего контроля). Столбцы «EER, %...» и «AUC, %...» — содержат характеристики ROC-кривой, построенной по разбиению базы, на котором достигается медианное значение *EER* среди всех разбиений.

Сессия идентификации



Режим обучения



Экспериментальные установки



Статичная съёмка



Съёмка «с руки» на Московском фестивале Науки

На защиту выносятся

1. Метод биометрической идентификации личности по изображениям внешней стороны ладони со свободным положением руки в кадре, включающий детектирование ладони по признакам формы объекта и классификацию по текстурным признакам.
2. Метод детектирования ладони на основе непрерывного медиального представления изображения.
3. Метод формирования признакового описания ладони по изображениям кожных складок пальцев на базе двумерных фильтров Габора.
4. Мера сходства изображений ладони, основанная на признаках, полученных с помощью двумерных фильтров Габора и дескрипторов SIFT.
5. Обоснование работоспособности предложенных методов путём реализации программного комплекса на базе мобильного устройства. Экспериментально доказано, что рисунок кожных складок на внешней стороне средних фаланг пальцев является индивидуальным признаком личности человека, дающим возможность уверенно проводить идентификацию в малых группах.

Научная значимость

Научный результат работы заключается в разработке **метода идентификации** по изображению внешней стороны ладони, а также в **разработке и обосновании подхода** к созданию систем идентификации по ладони на базе представленного метода.

Универсальность и гибкость предложенного подхода:

- сфера применимости подхода **не ограничена** смартфонами и планшетами на базе ОС Android — аналогичное программное обеспечение может быть реализовано для другой подходящей аппаратной платформы;
- разделение задачи идентификации на детектирование и распознавание **не обязывает** к физическому разнесению этих модулей между устройствами (клиентом и сервером) — возможно чисто структурное деление в рамках одного универсального устройства с нужными характеристиками;
- для построения информативного описания ладони в работе использованы области кожных складок пальцев на её тыльной стороне, однако в рамках предложенного подхода могут быть исследованы возможности построения системы, работающей с **другими текстурными особенностями** — например, с рисунком на внутренней стороне ладони.

Практическая значимость

Создан программный комплекс, который:

1. удовлетворяет всем поставленным требованиям, поставленным к системе биометрической идентификации;
2. решает задачу биометрической идентификации по тыльной стороне ладони в малых группах, не выходя при этом за рамки возможностей современных мобильных устройств.

Иными словами, любой человек со смартфоном или планшетом на базе ОС Android получает возможность за несколько минут внедрить для своего коллектива систему идентификации (контроля посещаемости).

Созданы базы ладоней и выработаны рекомендации для сбора.

Благодарю за внимание!

Литература

1. *Shafait F., Keysers D., Breuel T. M.* Efficient implementation of local adaptive thresholding techniques using integral images //Electronic Imaging 2008. – International Society for Optics and Photonics, 2008.
2. *Ю.В. Визильтер, В.С. Горбацевич, С.Л. Каратеев, Н.А. Костромов.* Обучение алгоритмов выделения кожи на цветных изображениях лиц с использованием самоорганизующихся нейронных сетей и морфологических классификаторов на разрезах графов // Труды конференции ГрафиКон'2011
3. *Vezhnevets V., Sazonov V., Andreeva A.* A survey on pixel-based skin color detection techniques //Proc. Graphicon. – 2003. – Т. 3. – С. 85-92.
4. *Elgammal A., Muang C., Hu D.* Skin detection //Encyclopedia of Biometrics. – Springer US, 2009. – С. 1218-1224.
5. *Sobral A.* BGSLibrary: An opencv c++ background subtraction library //IX Workshop de Viso Computacional (WVC'2013). – 2013.
6. *Kolsch, M. and Turk, M.* (2004). Robust hand detection. In International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (to appear), Seoul, Korea, pages 614–619.
7. *Fang, Y., Wang, K., Cheng, J., and Lu, H.* (2007). A realtime hand gesture recognition method. In Proceedings of the 2007 International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2007), Beijing, China, pages 995–998. IEEE.
8. *Mestetskiy, L., Bakina, I., and Kurakin, A.* (2011). Hand geometry analysis by continuous skeletons. In Proceedings of the 8th international conference on Image analysis and recognition - Volume Part II, ICIAR'11, pages 130–139, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
9. *Tang, M., Gorelick, L., Veksler, O., and Boykov, Y.* (2013). Grabcut in one cut. In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Computer Vision, ICCV'13, pages 1769–1776, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.