

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный  
университет»

Математико-механический факультет  
Кафедра Системного Программирования

Чугаева Татьяна Васильевна

## **Локальная оценка качества отпечатков пальцев**

Бакалаврская работа

Допущена к защите.

Зав. кафедрой:

д. ф.-м. н., профессор А.Н. Терехов

Научный руководитель:

ст. преподаватель Сартасов С.Ю.

Рецензент:

Мордвинов Д.А.

Санкт-Петербург

2014

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Mathematics&Mechanics Faculty

Department of Software Engineering

Tatiana Chugaeva

## **Local fingerprint quality estimation**

Bachelor's Thesis

Admitted for defence.

Head of the chair:

Professor Andrey Terehov

Scientific supervisor:

Assistant professor Stanislav Sartasov

Reviewer:

Dmitry Mordvinov

Saint-Petersburg

2014

## Оглавление

Введение.....	4
Постановка задачи.....	7
Глава 1. Обзор предметной области и существующих алгоритмов .....	8
1.1. Проблема качества отпечатков пальцев.....	8
1.2. Алгоритм NFIQ.....	8
1.3. Идентификация отпечатков пальцев .....	9
1.3.1. Алгоритм улучшения изображений отпечатков .....	9
1.3.2. Алгоритм сегментации изображений отпечатков.....	9
1.3.3. Алгоритм бинаризации изображений отпечатков .....	9
1.3.4. Алгоритм утончения изображений отпечатков .....	9
1.3.5. Алгоритм поиска минуций.....	9
1.4. Сопоставление отпечатков на основе алгоритма MCC.....	9
1.5. Ошибки FMR, FNMR и EER .....	9
Глава 2. Метод определения качественных областей отпечатков пальцев ...	12
2.1. Карта качества .....	12
2.1.1. Карта направлений.....	12
2.1.2. Карта низкого контраста .....	14
2.1.3. Карта низкой направленности .....	14
2.1.4. Карта высокой кривизны.....	14
2.2. Критерии определения качественных областей отпечатков .....	14
Глава 3. Эксперименты.....	15
3.1. Сопоставление отпечатков пальцев с помощью MCC SDK.....	16
3.2. Ошибки FMR, FNMR и EER и сравнение результатов.....	16
Заключение .....	19
Список используемой литературы .....	20

## Введение

Идентификация по отпечаткам пальцев является наиболее распространённым биометрическим способом определения личности. Отпечатки пальцев всё шире используются в криминалистике, в пропускных системах аэропортов и т.д. благодаря своей уникальности и неизменности.

Однако всегда существует возможность получить некачественное изображение отпечатка. Причины могут быть различны: слишком жирная или сухая кожа рук, крупные поры или случайное движение пальца при снятии отпечатка (см. Рис. 1).

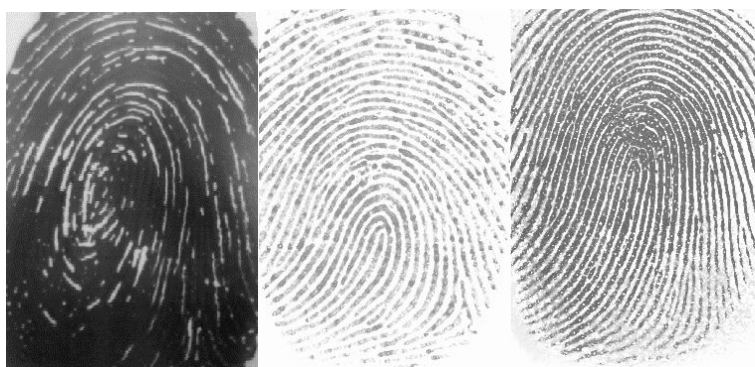


Рисунок 1: Примеры отпечатков пальцев

Таким образом, после распознавания отпечатка может оказаться неуспешным сопоставление с ещё одним отпечатком этого же пальца. Или же наоборот такой отпечаток может совпасть с отпечатком другого человека. Также использование некачественных изображений отпечатков снижает производительность биометрических систем.

Для того чтобы заранее избежать подобных проблем, были разработаны алгоритмы определения качества. Так, перед тем как использовать отпечаток для идентификации личности, проверяется его качество. Например, в алгоритме NFIQ (NIST Fingerprint Image Quality) каждое изображение отпечатка пальца характеризуется значением от 1 (отличное качество) до 5 (плохое качество) [1]. Также существуют более специфичный алгоритм LFIQ

(Latent Fingerprint Image Quality), который специализируется на определении качества отпечатков, найденных на месте преступления [2].

Для распознавания отпечатков пальцев существуют два основных подхода: на основе глобальных признаков и по локальным признакам.

Глобальные признаки – это внешний облик отпечатка, ориентация изображения, кривизна и поле направлений, описывающее общее положение папиллярных линий отпечатков пальцев. Локальные признаки или минуции – это локальные особенности папиллярных линий уникальные для каждого отпечатка точки. Всего существует 150 видов минуций, однако наиболее известными считаются два вида минуций, в которых обрываются или раздваиваются папиллярные линии [3]. Далее в работе будет рассматриваться подход, основанный на локальных признаках, так как он является наиболее распространённым в настоящее время и более надёжным, чем подход на основе глобальных признаков.

Для сопоставления отпечатков по минуциям в работе будет использован алгоритм МСС (Minutia Cylinder-Code) [4], как наиболее точный и быстрый из практически применимых. В нём каждой минуции сопоставляется цилиндр, в котором учитываются положение и направление ближайших соседей минуции.

Для того чтобы оценить надёжность дактилоскопических систем, обычно используют вероятности ошибок 1-го и 2-го рода. В данном случае это ложное совпадение и ложное несовпадение отпечатков пальцев. Для них определены вероятность ложного совпадения (False Match Rate, FMR) и вероятность ложного несовпадения отпечатков (False Non-Match Rate, FNMR) [3]. В общем случае алгоритм, используемый для сравнения, принимает решение на основании некоторого порогового значения  $t$ . В связи с этим важно помнить, что ошибки FMR и FNMR зависят друг от друга, и при увеличении чувствительности системы, то есть при увеличении порога (и, соответственно,

снижении FMR), также повышается FNMR. Для наглядного представления данных вероятностей используют ROC-кривые (Receiver Operating Characteristic, операционная характеристика принимающего устройства) или DET-кривые (Detection-Error Tradeoff, компромисс ошибок обнаружения). ROC-кривые представляют собой зависимость FMR(t) от (1-FNMR(t)) при варьировании порогового значения, а DET-кривые – зависимость FMR(t) от FNMR(t).

Также иногда используют коэффициент равной вероятности ошибок 1-го и 2-го рода (Equal Error Rate, EER, уровень равной ошибки), который обозначает точку совпадения ошибок FMR и FNMR. Чем ниже уровень EER, тем система считается надёжнее.

## Постановка задачи

Целью данной работы является создание метода по определению качественных областей отпечатков на основе локальных признаков. Для достижения данной цели были выделены следующие задачи:

- получить карты качества отпечатков пальцев по алгоритму NFIQ;
- предложить критерии определения качественных областей отпечатков;
- провести ряд сопоставлений отпечатков пальцев для различных выборок минутий согласно их качеству с помощью пакета MCC SDK [5];
- вычислить ошибки FMR, FNMR, EER и сравнить результаты сопоставлений.

## Глава 1. Обзор предметной области и существующих алгоритмов

### 1.1. Проблема качества отпечатков пальцев

Отпечатки пальцев, как уникальные и неизменные характеристики человека широко используются для идентификации личности. Так или иначе для алгоритмов распознавания и сопоставления отпечатков важно качество изображений, например, отсутствие шума. Под шумом понимаются смазанные области отпечатка, области без выраженного направления папиллярных линий и т.д., из которых невозможно получить характеризующую отпечаток информацию.

Причины получения некачественных изображений отпечатков могут быть различны: слишком жирная или сухая кожа рук, крупные поры или случайное движение пальца при снятии отпечатка (см. Рис. 1).

Некачественные изображения отпечатков пальцев как правило характеризуются отсутствием выраженных направлений папиллярных линий и низкой контрастностью.

На данный момент существуют два основных алгоритма определения качества отпечатков: NFIQ и LFIQ. Последний является довольно специфичным, так как используется для отпечатков, найденных на месте преступления. Поэтому в работе будет рассмотрен алгоритм NFIQ.

### 1.2. Алгоритм NFIQ

NFIQ (NIST Fingerprint Image Quality) – это алгоритм определения качества отпечатков пальцев, разработанный в Национальном Институте стандартов и технологий (NIST). Для оценки качества используется информация о направлениях и кривизне папиллярных линий, о контрастности изображения.

На вход алгоритму подаётся изображение в градациях серого, которое разбивается на непересекающиеся блоки. Для каждого блока определено окно



– область, используемая для получения информации касательно качества блока, которая включает в себя сам блок и некоторую его окрестность. Окна могут между собой пересекаться.

Далее для каждого блока вычисляется направление, определяется степень кривизны папиллярных линий, степень контрастности изображения. По этим характеристикам вычисляется значение качества блока. Существует пять уровней качества: плохое (5), среднее (4), хорошее (3), очень хорошее (2) и отличное (1). Значения качества для каждого блока отпечатка образуют карту качества. На основании данной карты вычисляется характеристический вектор и статистика качества минуций отпечатка, где под качеством минуции понимается качество блока, в котором она находится. Затем характеристический вектор используется в качестве входа для многослойного перцептрона (MLP), являющегося классификатором.

На выходе алгоритм выдаёт значение качества всего изображения отпечатка пальца, аналогично случаю с отдельными блоками.

### 1.3. Идентификация отпечатков пальцев

### 1.4. Сопоставление отпечатков на основе алгоритма MCC

### 1.5. Ошибки FMR, FNMR и EER

При сопоставлении двух отпечатков могут быть высказаны 2 гипотезы:

- $H_0$ : данные отпечатки принадлежат разным людям (несовпадение) и
- $H_1$ : данные отпечатки принадлежат одному человеку (совпадение).

Результатом сопоставления является некоторое значение схожести, как было сказано ранее. В зависимости от выбранного порога это значение интерпретируется как совпадение или несовпадение отпечатков, то есть подтверждается одна из предъявленных гипотез.

Для таких гипотез существует два типа ошибок:

- ошибка 1-го рода: ложное совпадение отпечатков и
- ошибка 2-го рода: ложное несовпадение отпечатков.

Соответственно, определены вероятность ложного совпадения (False Match Rate, FMR) и вероятность ложного несовпадения отпечатков (False Non-Match Rate, FNMR) (см. Рис. 2).

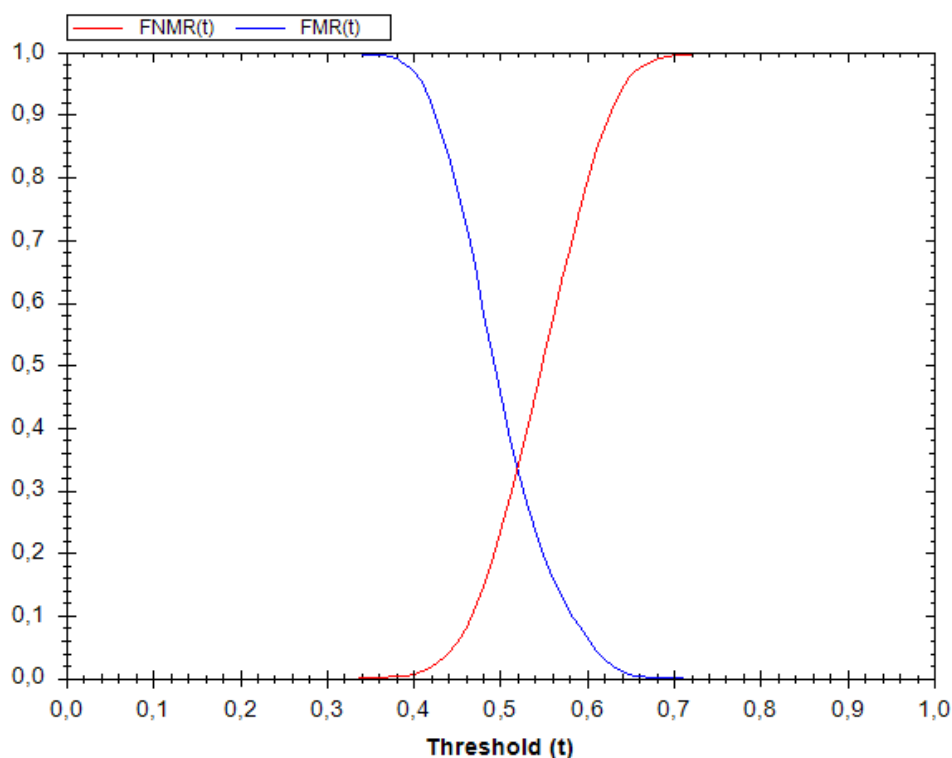


Рисунок 2: Пример зависимости ошибок FMR и FNMR

Как было сказано ранее данные ошибки связаны. Если уменьшить порог, ради получения более терпимой системы по отношению к входным данным, то FMR возрастёт. С другой стороны, если увеличить порог с целью улучшения надёжности системы, увеличится FNMR.

Например, в криминалистике требуется обеспечить минимальное значение FNMR. Высокая вероятность ложной идентификации при этом не является критичной, так как целью является поиск преступника, даже если потребуются организовать дополнительную экспертизу для некоторого числа схожих отпечатков. С другой стороны, для систем безопасности с высоким уровнем защиты важно, чтобы значение FMR было как можно меньше. В таком случае

высокое значение FNMR является допустимым. Как правило, большинство биометрических систем требуют некоторого компромисса между значениями FMR и FNMR.

Для определения оптимального порога используют ROC-кривые или DET-кривые (см. Рис. 3). Точка совпадения ошибок FMR и FNMR называется коэффициентом равной вероятности ошибок 1-го и 2-го рода (Equal Error Rate, EER). Чем ниже уровень EER, тем система считается надёжнее. В реальных системах значение EER около 0,05.

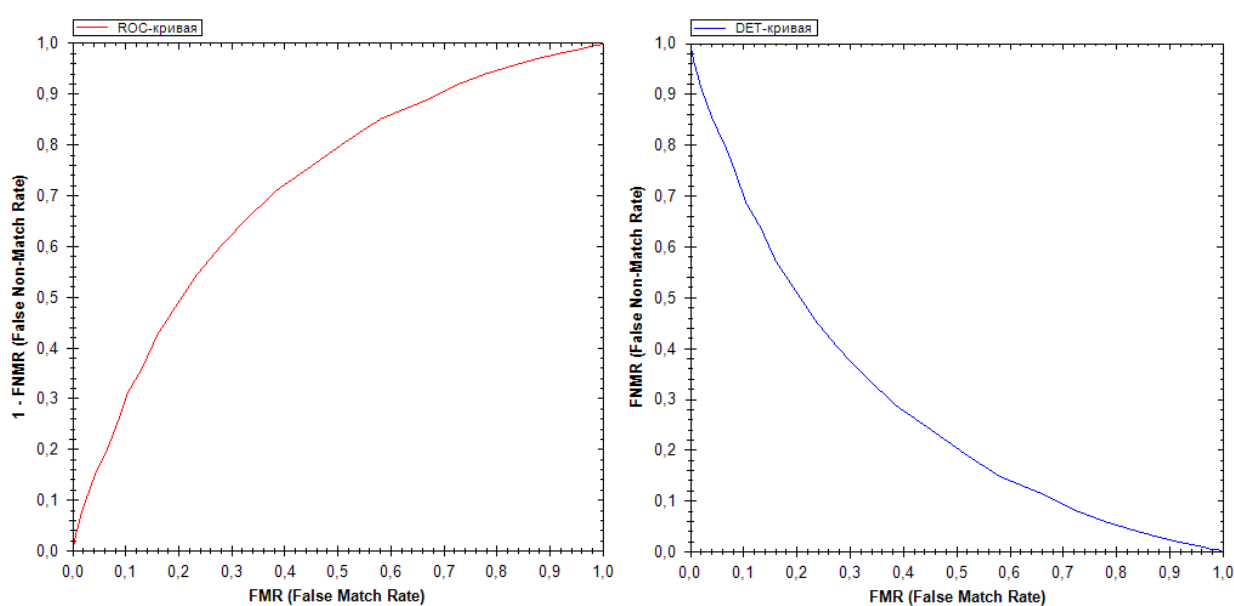


Рисунок 3: ROC-кривая и DET-кривая

## Глава 2. Метод определения качественных областей отпечатков пальцев

### 2.1. Карта качества

В алгоритме NFIQ качество отпечатка определяется в зависимости от контрастности изображения, определённости направления папиллярных линий и областей высокой кривизны. Так для каждого отпечатка вычисляются:

- карта направлений;
- карта низкого контраста;
- карта неопределённого направления;
- карта высокой кривизны.

Объединяя все описанные выше результаты, вычисляется карта качества отпечатка. Каждому блоку изображения присваивается значение от 5 (плохое качество) до 1 (отличное качество). На Рисунке 4 показан пример карты качества. Области качества 1 помечены белым цветом, а области качества 5 – чёрным.



Рисунок 4: Отпечаток пальца и его карта качества

#### 2.1.1. Карта направлений

Цель создания данной карты – показать области с достаточным количеством рёбер и выявить их общее направление.

Сначала изображение делится на непересекающиеся квадратные блоки со стороной  $M=8$  (см. Рис. 5). Для определения общего направления блока требуется рассмотреть некоторую окрестность – окно со стороной  $L=24$  (смещение блока относительно окна  $N=8$ ). Если размер изображения не кратен размеру блока, окно может зайти за границы изображения. В этом случае изображение дополняется средними значениями серого – 128.

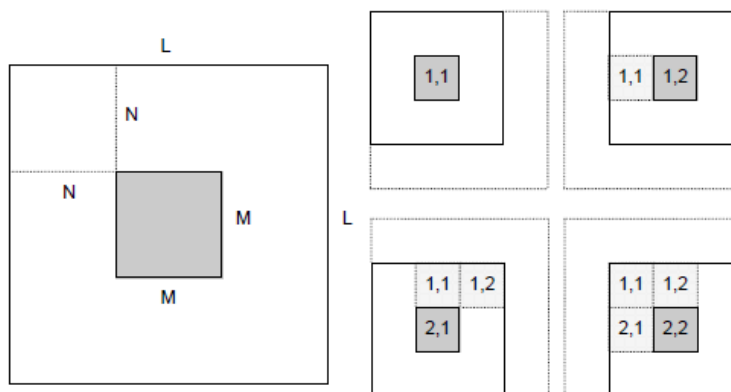


Рисунок 5: Блоки изображения и перекрывающимися окнами

Далее для каждого блока изображения мы инкрементально поворачиваем его окно в соответствии с каждым из 16 направлений (угол между направлениями равен  $11.25^\circ$ ) и проводим DFT (дискретное преобразование Фурье) для каждого направления, т.е. поворота окна. Так каждому направлению соответствует число от 0 до 15, а блокам без определённого направления соответствует -1.

Пример определённых направлений представлен на Рисунке 6, а на Рисунке 7 – карта направлений.

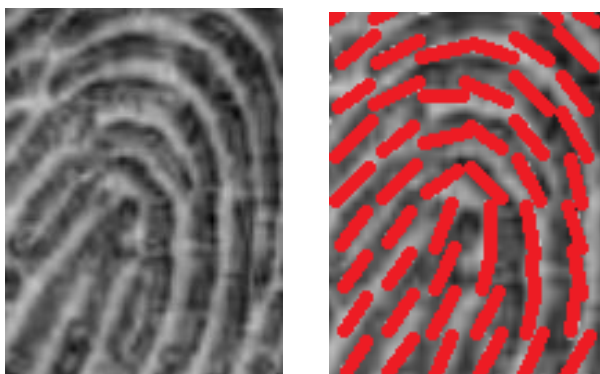


Рисунок 6: Часть оригинального изображения отпечатка пальца и это же изображение с выделенными направлениями

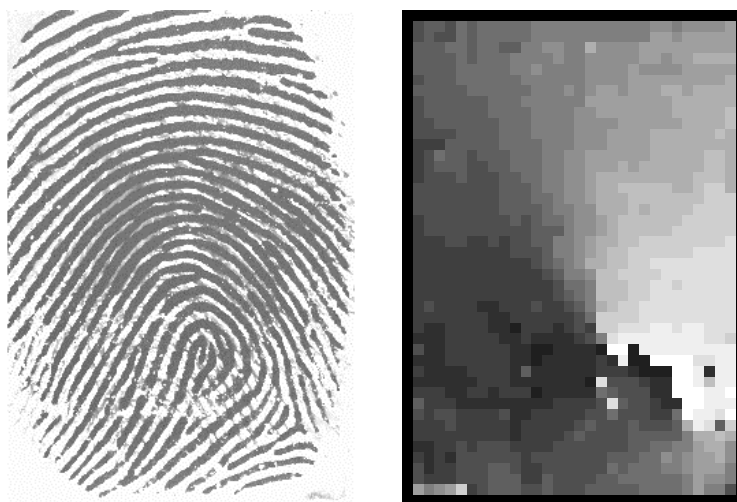


Рисунок 7: Изображение отпечатка пальца и его карта направлений

#### 2.1.2. Карта низкого контраста

#### 2.1.3. Карта низкой направленности

#### 2.1.4. Карта высокой кривизны

### 2.2. Критерии определения качественных областей отпечатков

В алгоритме NFIQ определялось качество всего изображения отпечатка. Однако, как правило, у каждого изображения имеются качественные области, по которым отпечаток может быть идентифицирован. Если процент таких областей невелик, то изображение в целом будет оценено как некачественное, даже если в них содержится достаточно достоверной информации.

Для того, чтобы была возможность использовать изображения отпечатков в таких ситуациях, было принято решение использовать для сопоставлений только качественные области отпечатков, то есть блоки качества 1, 2, 3. Таким образом будут получены достоверные результаты даже для тех отпечатков, которые могут быть признаны некачественными.

### Глава 3. Эксперименты

В рамках данной работы был проведён ряд экспериментов по схемам, представленным на Рисунках 11 и 12. Для каждого эксперимента качественные блоки определялись по-разному.

Для экспериментов было взято 800 отпечатков из открытой базы данных отпечатков пальцев FVC 2000 [11]. Алгоритмы вычисления карт качества и выделения минуций, реализованы на С# для платформы .NET 4.5.



Рисунок 11: Вычисление шаблонов отпечатков пальцев

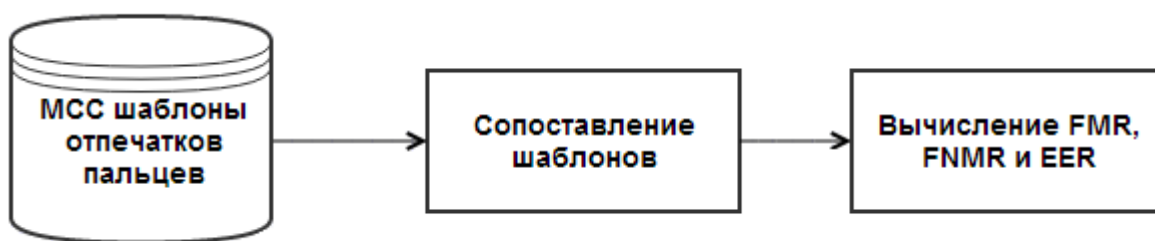


Рисунок 12: Сопоставление шаблонов и вычисление ошибок FMR, FNMR и EER

### 3.1. Сопоставление отпечатков пальцев с помощью MCC SDK

Для сопоставлений использовалась .NET библиотека MCC SDK. Можно выделить несколько этапов работы:

- создание шаблонов отпечатков (метод “`MccSdk.CreateMccTemplate`”);
- установка параметров сопоставления (метод “`MccSdk.SetMccMatchParameters`”);
- сопоставление шаблонов отпечатков (метод “`MccSdk.MatchMccTemplates`”).

Шаблоны создаются на основе списка минуций отпечатка. Таким образом для каждого случая выбора качественных областей, брались минуции из этих областей.

В качестве параметров сопоставления были взяты стандартные значения, предоставленные библиотекой, за исключением метода определения локального сходства. Был использован метод LSS, как наиболее быстрый.

Как было сказано ранее, похожесть отпечатков выражается числом от 0 (отпечатки принадлежат разным людям) до 1 (отпечатки принадлежат одному человеку). Итоговое значение идентификации или неидентификации отпечатков зависит от заданного порога.

### 3.2. Ошибки FMR, FNMR и EER и сравнение результатов

Для каждой выборки минуций были вычислены ошибки FMR, FNMR в зависимости от порогового значения. Также были вычислены EER, как точки совпадения ошибок FMR и FNMR, и были построены графики DET-кривых (см. Рис. 13).



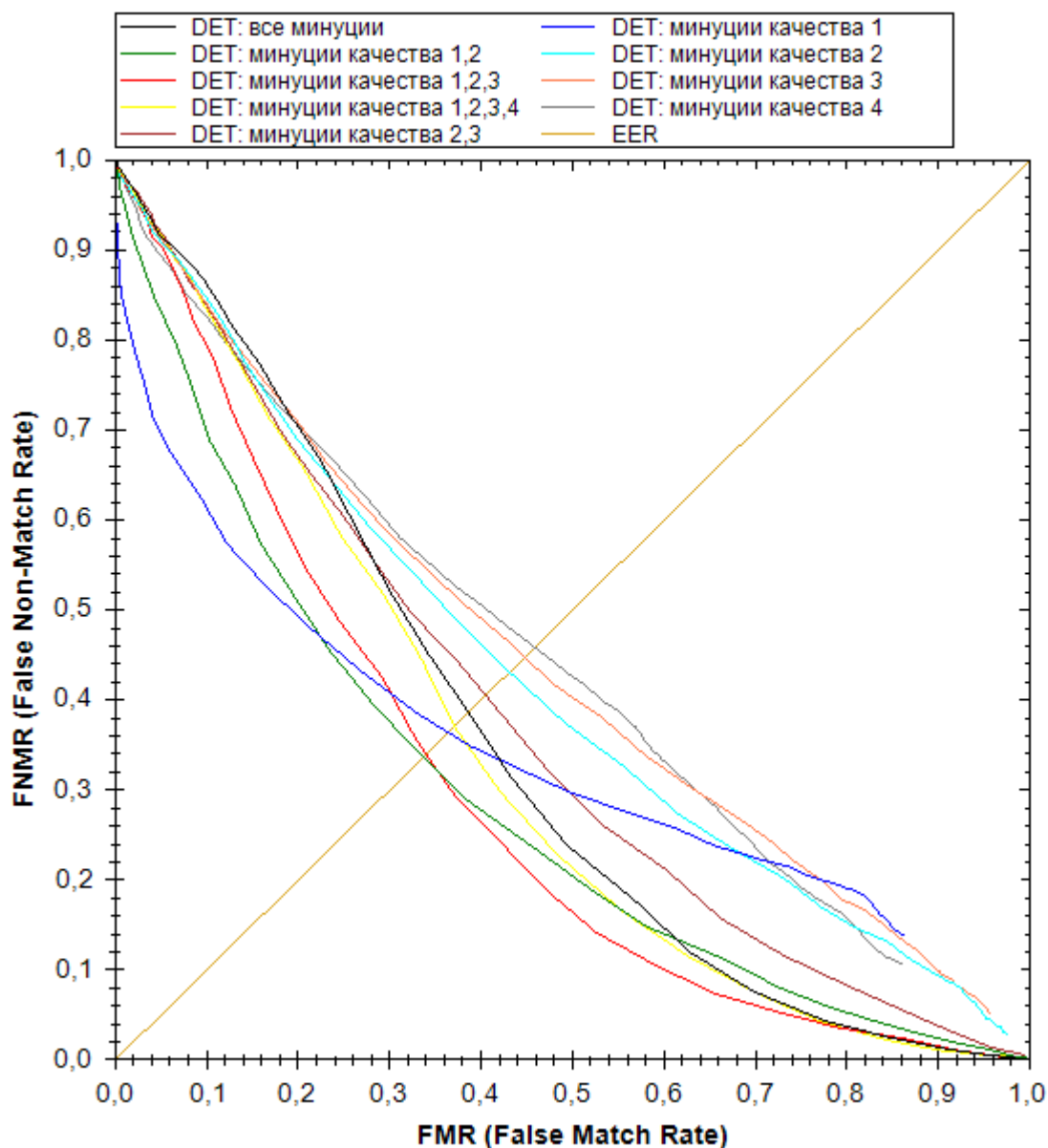


Рисунок 13: DET-кривые для разных выборок минуций согласно их качеству

По результатам видно, что для небольших выборок минуций из блоков одного качества 2 или 3, или 4, DET график становится больше похож на линейную зависимость  $y = x$ . Если придерживаться такого выбора минуций, решения системы идентификации будут похожи на случайное гадание.

Также стоит отметить тот факт, что у каждого из этих графиков максимальное значение вероятности ложного совпадения FMR не равно 1. Это значит, что каким бы малым не был порог, всё равно некоторые отпечатки, принадлежащие разным людям, не совпадут.

Особо стоит отметить график для минуций качества 1. Видно, что в данном случае максимальное значения обоих вероятностей не достигает 1, поэтому к описанному выше стоит добавить, что каким бы высоким не был порог, всё равно некоторые отпечатки одного человека будут распознаны как одинаковые. Причина возникновения подобных особенностей скрыта в недостаточном количестве данных.

Рассматривая остальные случаи видны два наиболее подходящих графика: при выборке минуций качества 1, 2 и при выборке 1, 2, 3. Видно, что значения EER у них довольно близки, более точные результаты можно посмотреть в Таблице 1. Можно сказать, что выбор минуций качества 1, 2, 3 применим там, где ложная идентификация не так критична, как ложная неидентификация.

Ниже представлены результаты вычисления EER для всех случаев в порядке убывания. Сразу стоит оговориться, что значения несколько выше, чем у реальных биометрических систем, по причине точности алгоритма выделения минуций. Видно, что наименьшее значение EER достигается при выборе минуций качества 1, 2, однако, так как разница между ними довольно мала (разница равна 0.00337), то её можно интерпретировать как статистический шум при данном количестве обрабатываемых отпечатков.

<b>Качество минуций</b>	<b>Порог</b>	<b>EER</b>
Минуции качества 1, 2	0,51894	0,33665
Минуции качества 1, 2, 3	0,56711	0,34002
Минуции качества 1	0,43436	0,36398
Минуции качества 1, 2, 3, 4	0,59010	0,37073
Все минуции	0,59996	0,38696
Минуции качества 2, 3	0,52336	0,40525
Минуции качества 2	0,43923	0,43107
Минуции качества 3	0,42647	0,44775
Минуции качества 4	0,41888	0,45867

Таблица 1: Значения EER для разных выборок минуций

## Заключение

В рамках данной работы были получены следующие результаты.

1. Получены карты качества изображений отпечатков пальце по алгоритму NFIQ.
2. Предложен метод определения качественных областей отпечатков.
3. Проведён ряд сопоставлений отпечатков пальцев для различных выборок минутий согласно их качеству.
4. Вычислены ошибки FMR, FNMR, EER и проведено сравнение результатов сопоставления отпечатков.

## Список используемой литературы

- [1] *Elham Tabassi, Charles L. Wilson, Craig I. Watson* Fingerprint Image Quality // 2004. [ftp://sequoyah.nist.gov/pub/nist\\_internal\\_reports/ir\\_7151/ir\\_7151.pdf](ftp://sequoyah.nist.gov/pub/nist_internal_reports/ir_7151/ir_7151.pdf)
- [2] *Soweon Yoon, Eryun Liu, and Anil K. Jain* On Latent Fingerprint Image Quality // 2012.  
[http://www.cse.msu.edu/~yoonsowo/Publications/LFIQ\\_IWCF12.pdf](http://www.cse.msu.edu/~yoonsowo/Publications/LFIQ_IWCF12.pdf)
- [3] *Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S.* Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition // 2009.
- [4] *R. Cappelli, M. Ferrara, D. Maltoni* Minutia Cylinder-Code: a new representation and matching technique for fingerprint recognition // 2010.
- [5] Biometric System Laboratory MCC Software Development Kit (SDK) Version 1.4 // 2014.
- [6] *Hartwig Fronthaler, Klaus Kollreider, Josef Bigun* Local Features for Enhancement and Minutiae Extraction in Fingerprints // 2008.  
<http://www2.hh.se/staff/josef/publ/publications/fronthaler08tip.pdf>
- [7] *Louisa Lam, Seong-Whan Lee and Ching Y. Suen* Thinning Methodologies – A Comprehensive Survey // 1992.
- [8] *T.Y. Zhang, C.Y. Suen* A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns // 1984.
- [9] *R. Cappelli, M. Ferrara, D. Maltoni* Fingerprint Indexing based on Minutia Cylinder Code // 2011.
- [10] *M. Ferrara, D. Maltoni, R. Cappelli* Noninvertible Minutia Cylinder-Code Representation // 2012.
- [11] *Maio D., Maltoni D., Cappelli R., Wayman J. L., Jain A.K.* FVC2000: Fingerprint verification competition // 2002.