

ГОЛУБ Ю.И.

## БЕЗЭТАЛОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ПОДПИСИ

*Государственное научное учреждение "Объединенный институт проблем информатики  
Национальной академии наук Беларуси"  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Цель данной работы заключается в разработке простого критерия оценки качества цифрового изображения подписи, которая была выполнена на бумаге и отсканирована (т.е. статическая подпись). Предложенный подход может быть использован как инструмент мониторинга образцов подписи в биометрических системах распознавания для контроля качества данных. Например, при регистрации изображения, выборе метода обработки и настройки его параметров, после выполнения различных операций (поворота, масштабирования) и необходимости оценки и анализа полученных изображений подписи. Также в работе описаны факторы, которые могут негативно влиять на качество статической подписи, и выполнен экспериментальный анализ на цифровых изображениях подписей, представленных в базах CEDAR, BHSig260-Bengali, SigComp2009 и изображениях, собранных в процессе выполнения исследования.*

**Ключевые слова:** биометрическая система, бинарное изображение, цифровое изображение подписи человека, оценка качества бинарных изображений, рукописная подпись

### Введение

В современном мире биометрические технологии играют важную роль в обеспечении защиты и распознавания личности. Благодаря своей простоте и удобству использования рукописная подпись – один из наиболее распространённых методов индивидуальной аутентификации человека [1, 17, 18]. Люди используют свою подпись в государственных и коммерческих организациях для подтверждения личности при совершении финансовых операций, заключении соглашений и договоров, подписании долговых расписок и т. д. Однако даже профессиональные криминалистические эксперты, работающие с документами, достигают правильной классификации примерно в 70 % случаев, что подтверждает сложность этой области исследований [1]. Привлечение человека для распознавания подписей и оценки их качества может быть дорогостоящим и трудоёмким процессом. В такой ситуации для оптимизации процесса и повышения точности распознавания можно использовать автоматизированные системы обработки и анализа подписей.

В настоящее время человек может подписывать документы используя ручку и бумагу, а также – планшет и стилус [25, 5]. В первом варианте проверка подписи выполняется офлайн (статически), при этом подпись представляется в виде цифрового изображения. Во втором случае – онлайн (динамически) и образец представлен бóльшим количеством информации. В зависимости от используемого планшета, это могут быть пространственные и

временные координаты пера, давление на планшет, угол наклона пера.

Основная задача любой системы распознавания подписи – это автоматически отличить подлинную подпись от поддельной. Одним из предварительных этапов такой системы является анализ качества предъявляемых цифровых изображений, т. к. на производительность биометрических систем в значительной степени влияет качество данных [1, 2]. Поэтому важной и актуальной задачей является создание эффективных методов и алгоритмов оценки качества изображений подписей.

В последние годы растёт популярность нейронных сетей (НС), в том числе при решении задач оценки качества цифровых изображений. В этом случае чаще всего используется следующий подход: обучение НС на базе эталонных изображений с последующей классификацией и оценкой качества бинарных изображений. Однако при решении задач распознавания подписи человека не всегда есть доступ к эталонным изображениям. А генерация достаточного количества подписей с помощью различных вариаций по-прежнему остается сложной и до конца нерешенной задачей [11, 20].

В последние годы активно ведутся исследования в области оценки качества биометрических данных, но до сих пор нет единого стандарта и правил для универсальных оценок качества, нет решения о том, какие критерии считать ключевыми, определяя качество того или иного биометрического образца.

Процесс распознавания подписи может осуществляться биометрической системой в двух режимах [12]:

1) идентификация – определение владельца подписи, т. е. сопоставление «один ко многим» (выполняется сравнение подписи человека со всеми шаблонами, хранящимися в базе данных). Система может выбрать либо «лучшее» совпадение, либо оценить возможные совпадения и расположить их в порядке сходства;

2) верификация – проверка того, является ли человек тем, за кого себя выдает, т. е. сравнение «один к одному» (система выполняет сравнение подписи с одним выбранным шаблоном, хранящимся в базе данных). Такой метод применяется, когда целью является обеспечение безопасности и ограничение доступа к определенным объектам с явно сотрудничающими пользователями.

Распознавание подписи выполняется на основе бинарного представления. Данный этап используют по нескольким причинам [14–15]:

– упрощение процесса обработки: бинаризация изображений уменьшает количество деталей, что позволяет сконцентрироваться на ключевых элементах подписи, таких как контур, структура, форма, положение и т. д. На рисунке 1 слева представлены полутоновое и цветное изображения, а справа – результаты их бинаризации. Можно заметить, что двоичное представление подписи подчёркивают ее основные черты, делая более выразительной для последующего анализа, позволяя сосредоточиться на главном и не учитывать информацию о цвете и оттенках. Важно отметить, что правильно настроенная бинаризация улучшает точность выделения ключевых характеристик подписи.



Рисунок 1. Полутоновый (слева) и бинарный (справа) варианты представления статической подписи человека

– упрощение процесса сравнения: для задач, связанных с распознаванием и сопоставлением, бинарные изображения легче поддаются сравнительному анализу, так как каждая точка может иметь только два значения (черный и белый), что позволяет использовать более простые алгоритмы;

– снижение вычислительной сложности: полутоновые и цветные изображения требуют больше вычислительных ресурсов для обработки, что может быть нецелесообразно для задач, связанных с анализом формы на цифровых изображениях подписи,

и может быть критичным при обработке большого количества подписей.

Оценка качества биометрических данных – важный и сложный [1, 16], с практической точки зрения, процесс. Его можно проводить на разных этапах:

– при регистрации образца подписи в первый раз или его обновления в уже имеющейся базе данных (БД). Качество шаблонов можно контролировать, выполняя их регистрацию до тех пор, пока они не будут соответствовать заданным критериям качества, при этом можно менять пишущий инструмент или настройки сканирования;

– после корректировки или обработки изображения, например, после выполнения поворота или масштабирования образца подписи, при выборе метода бинаризации;

– при вычислении признаков подписи на изображении в областях только хорошего качества.

Все перечисленные этапы требуют исследований и новых решений, поскольку они недостаточно изучены в сравнении с основной задачей извлечения признаков в системах распознавания [1]. В данной статье рассматривается задача безэталонной оценки качества статической подписи (выполненной разными ручками), отсканированной и преобразованной в бинарное изображение. При этом динамическая информация (наклон, давление и положение ручки) не учитывается.

### Факторы, влияющие на качество цифровых изображений статических подписей

Факторы, которые могут оказывать влияние на качество изображения статической подписи:

1. Параметры пишущего предмета, сканирования, хранения и передачи изображения: фон, тип бумаги, цвет ручки, яркость, контраст, разрешение (dpi – точки на дюйм), формат файла и его степень сжатия.

Ограничения по объему хранения или скорости обмена данными могут оказывать влияние на алгоритмы сжатия данных – например, в случае использования смарт-карт. Слишком сильная степень сжатия может вносить искажения, давать потерю информации и приводить к визуальным артефактам. Поэтому регулирующие органы или международные организации по стандартизации могут указать, что биометрические данные должны храниться в необработанном виде (а не в виде обработанных шаблонов, которые могут зависеть от алгоритмов обработки), что может повлиять на размер данных. Таким образом, влияние сжатия данных на производительность распознавания становится критически важным [2].

Разрешение изображения подписи должно быть достаточно высоким, чтобы корректно отобразить все детали подписи. Высокое разрешение

изображения позволяет сохранить больше деталей подписи, что важно для точного распознавания. Однако слишком высокое значение при сканировании добавляет лишнюю информацию на изображение подписи, например, проявляется текстура бумаги. В свою очередь слишком низкое разрешение может привести к потере информации и затруднить дальнейший анализ. Уровень контраста на исходном полутоновом или цветном изображении между фоном и подписью должен быть достаточным для чёткого различения подписи. Например, подписи, выполненные карандашом, имеют недостаточный контраст, что затрудняет выполнение бинаризации стандартными методами, например, методом Отсу (рисунок 26 – результат бинаризации изображения подписи методом Отсу).

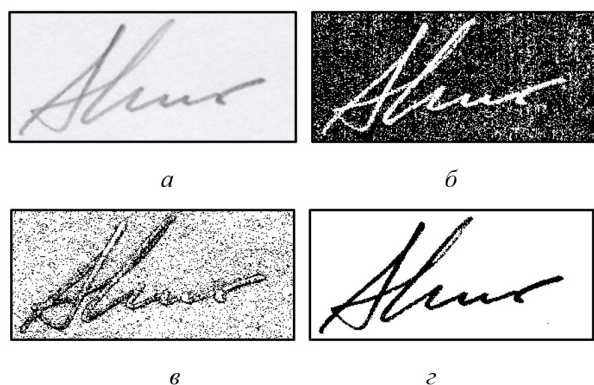


Рисунок 2. Исходное изображение статической подписи, выполненной карандашом, и результат бинаризации снимка разными методами

Такие искажения, как наклон, деформация и загибы бумаги при сканировании, также могут повлиять на качество изображения подписи, создавая затемненные или размытые участки, затрудняя дальнейшую обработку. Таким образом, важно обеспечить сбалансированный выбор настроек сканирования, поскольку неверные параметры могут привести как к искажению, так и к потере деталей на изображении.

2. Физиологические и поведенческие факторы: поза (сидя или стоя, с опорой или без), состояние человека (болезнь, возраст, нарушение зрения, травма, усталость, нервозность, заинтересованность и мотивация) [2, 12]. Эти составляющие могут оказывать влияние на темп написания и концентрацию человека, в результате чего подпись может быть выполнена либо четко и уверенно, либо нечитаемой.

Некоторые из вышеперечисленных факторов можно контролировать. Поэтому важно оценивать качество получаемого образца подписи. Это может помочь вовремя предпринять корректирующие действия, такие как выбор подходящего алгоритма для обработки, техобслуживание оборудования или другая помощь специалиста.

### Результаты экспериментального исследования и предлагаемый подход к безэталонной оценке качества изображения подписи

В рамках данного исследования рассматривалась задача оценки качества изображения статической подписи, когда отсутствует эталонный образец, а изображение признавалось неудовлетворительным, если содержало много разрывов в элементах подписи или шум (рисунок 3). Наличие таких характеристик может привести к снижению точности, затруднить последующую интерпретацию и анализ образца (рисунок 3).

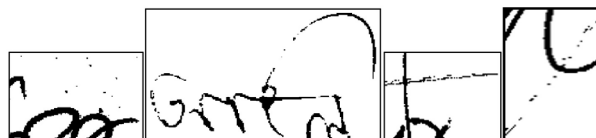


Рисунок 3. Пример разрывов линий подписи и наличия шума

Экспериментальные исследования были проведены с использованием цветных, полутоновых и бинарных изображений, представленных в базах CEDAR [13], BHSig260-Bengali [21], SigComp2009 [22], а также изображений, полученных белорусскими исследователями. Последние изображения были записаны в формате jpeg с разрешением 300 dpi, с высотой от 300 до 600 пикселей и шириной от 420 до 1145 пикселей, для выполнения подписи были использованы ручки с синими чернилами. Примеры цветных изображений из данной базы представлены на рисунке 4.

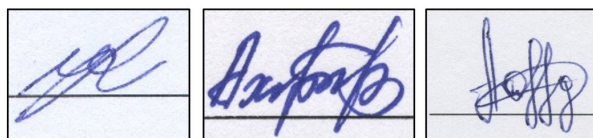


Рисунок 4. Примеры цветных изображений подписей

База CEDAR содержит 2640 изображений разного размера (от 264x277 пикселей до 888x816 пикселей). Некоторые изображения этой базы выглядят как полутоновые, а записаны как цветные (с одинаковыми RGB-каналами). Данная база включает в себя подписи 55 человек: 1320 подлинных и 1320 поддельных образцов (по 24 для каждого автора). Подделки созданы опытными фальсификаторами. Выполненные на бумаге подписи были отсканированы с разрешением 300 dpi и сохранены в формате png. Авторы подписей просили подписать документы в заранее определённой области размером 2x2 дюйма. На рисунке 5 показан один образец для каждого из 55 авторов подписей базы.



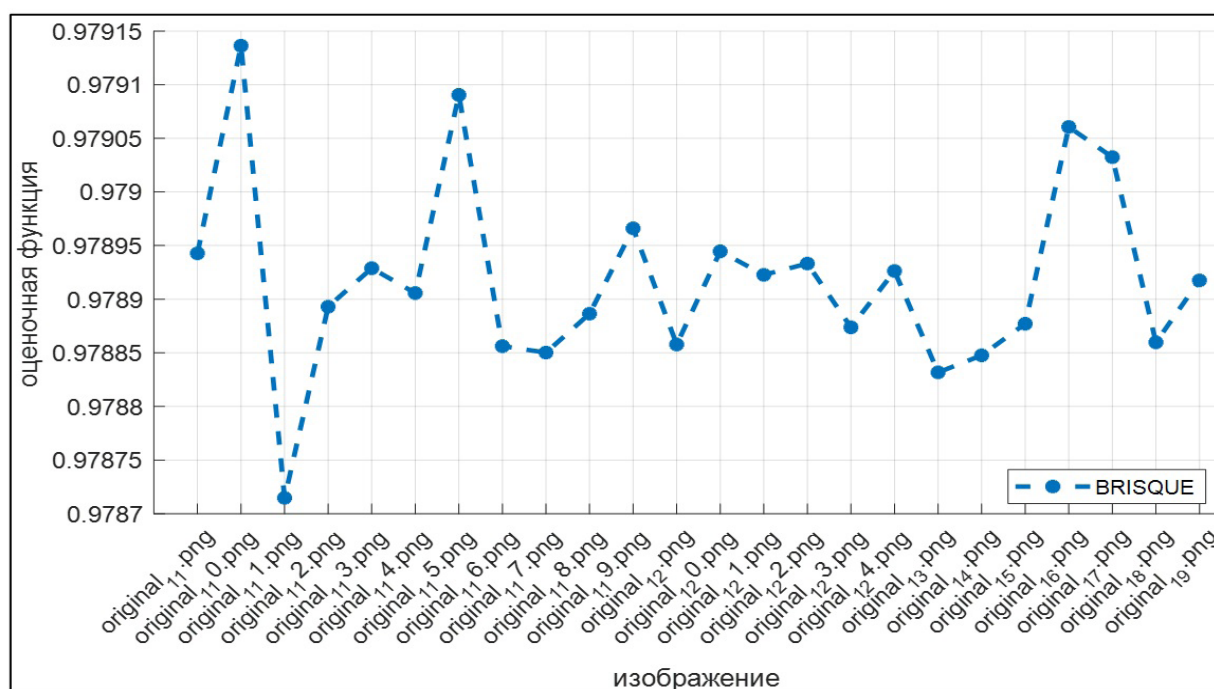
Рисунок 5. Образец подписи каждого из 55 авторов, база изображений CEDAR

База BHSig260-Bengali (используется бенгальский язык или бенгали) содержит 5400 статических подписей 100 человек, включая 24 подлинных и 30 поддельных подписей для каждого человека. Собранные данные были отсканированы с помощью планшетного сканера с разрешением 300 dpi в полутоновом режиме и сохранены в формате tiff. Авторами базы для бинаризации использовано пороговое преобразование гистограммы. Размер изображения составляет от 904x238 пикселей до 1032x285 пикселей.

База цифровых изображений подписей SigComp2009 содержит одновременно полученные онлайн и офлайн образцы подписей. В экспериментах использован второй набор данных (1524 изображения: 940 оригинальных подписей и 624 – подделки), в котором представлены отсканированные подписи после бинаризации, сохраненные в формате png с разрешением 600 dpi.

### Предлагаемый подход к оценке качества изображения статической подписи

Для оценки качества цветных и полутоновых изображений подписей было выбрано несколько безэталонных оценочных функций (BEGH, GORD, GRAE [23]), используемых для анализа контраста и резкости, в том числе BRISQUE, встроенную в программную среду MATLAB. Эксперименты показали, что значения количественных оценок не соответствовали визуальной, поэтому в данной ситуации их не целесообразно использовать для анализа цифрового изображения статической подписи. Графики количественной оценки BRISQUE для двадцати четырех подлинных и поддельных подписей представлены на рисунке 6. Некоторые изображения, выбранные для эксперимента, были малоконтрастными или имели размытость контура подписи (рисунок 1, слева).



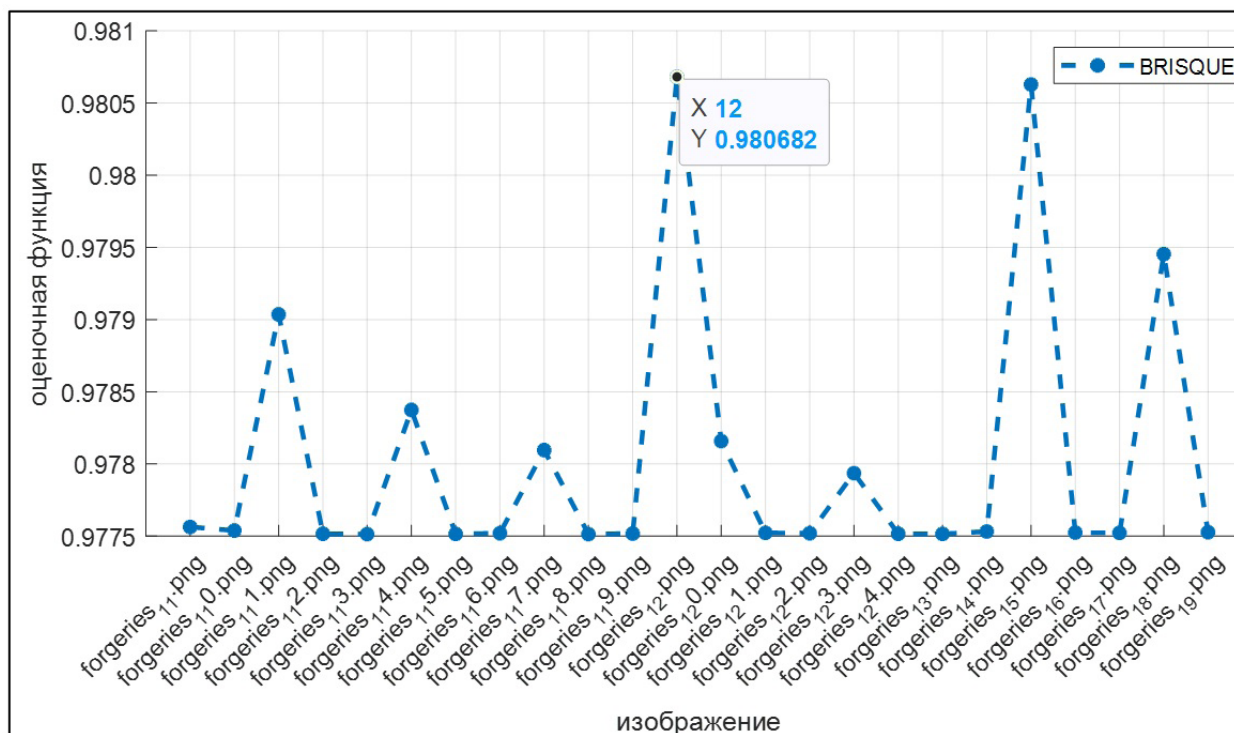


Рисунок 6. Графики количественной оценки BRISQUE для подлинных и поддельных подписей одного человека, база CEDAR

На графиках рисунка 6 можно заметить, что разделить изображения на два класса (удовлетворительные и неудовлетворительные) затруднительно.

В ходе экспериментального исследования был сделан вывод, что целесообразно автоматическую безэталонную оценку качества изображения статической подписи выполнять на бинарных изображениях, переводя цветные и полутоновые изображения в двоичное представление.

На основании проведенных экспериментов и анализа литературных источников предлагается новый подход к оценке качества цифровых изображений подписи, который включает в себя пять этапов:

1. Перевести цветное или полутоновое изображение в бинарное представление (рисунок 7).

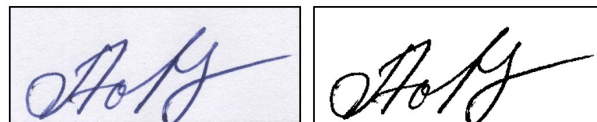


Рисунок 7. Цветное изображение подписи и результат его бинаризации (метод Оцу)

2. На бинарном изображении удалить шум в виде черных точек размером в несколько пикселей и избыточный фон вокруг подписи, выходящий за границы описывающего ее прямоугольника (рисунок 8).

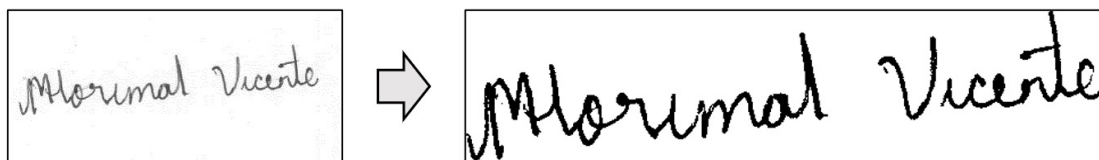


Рисунок 8. Пример удалением шума и предобработки изображения подписи

На данном этапе алгоритма размер, полученных изображений из используемых баз, составлял от 172x275 пикселей до 819x629 пикселей. Если изображение слишком маленького размера, получить достоверные признаки подписи будет невозможно. Поэтому такие изображения необходимо отсеивать на данном этапе.

3. Найти все связные компоненты на бинарном изображении статической подписи, полученном на предыдущем этапе, и вычислить их площади, записав полученные значения в вектор *area*.

4. Вычислить среднее (mean) и медианное (median) значения для полученного вектора *area*.

5. Найти количество связанных компонент ( $count\_small$ ), площадь которых меньше, чем  $mean * tr1$  или  $median/2$ . Если  $count\_small$  больше порога  $tr2$ , то изображение относится к классу неудовлетворительного качества.

Значения параметров для морфологических операций и фильтрации бинарного изображения подписи, а также пороги  $tr1$  и  $tr2$  настраиваются в соответствии с базой изображений и особенностями работы алгоритмов, используемых для дальнейшего анализа подписи. Стоит отметить, что подписи могут быть выполнены разными пишущими предметами при разнообразных условиях

и способах оцифровки статической подписи. В результате чего, варьируется фон на изображениях, толщина линии и другие характеристики. Кроме того, длина и общее количество связанных компонент подписи могут изменяться в зависимости от этнического происхождения человека и его языковой группы [1, 2, 24]. На рисунке 9 представлены бинарные изображения из трех баз, в которых представлены подписи с разной толщиной линий. В таблице собраны данные для нескольких наборов изображений и можно заметить, что значения параметров (количество связанных компонент и их площадь) варьируются.

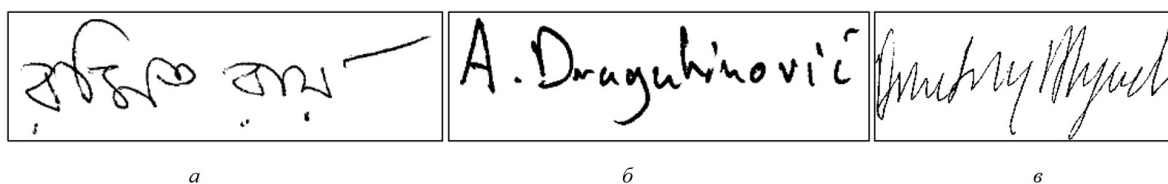


Рисунок 9. Примеры бинарных изображений из разных баз: а – BHSig260-Bengali, б – SigComp2009, в – CEDAR

Таблица. Сводная таблица для нескольких баз изображений подписей

| Параметры                                              | База BHSig260-Bengali |      |           |      | База SigComp2009 |       |           |       | База CEDAR                 |       | Белорусская база |       |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|------|-----------|------|------------------|-------|-----------|-------|----------------------------|-------|------------------|-------|
|                                                        | подделки              |      | подлинные |      | подделки         |       | подлинные |       | для всех изображений сразу |       | подлинные        |       |
|                                                        | min                   | max  | min       | max  | min              | max   | min       | max   | min                        | max   | min              | max   |
| Mean (area)                                            | 579                   | 8464 | 80        | 5366 | 1156             | 95049 | 999       | 91548 | 125                        | 14231 | 1143             | 57934 |
| Median (area)                                          | 186                   | 8464 | 27        | 5366 | 49               | 95049 | 51        | 91548 | 10                         | 14231 | 9                | 57934 |
| Количество связанных компонент подписей, $count\_comp$ | 2                     | 11   | 2         | 44   | 1                | 28    | 1         | 20    | 1                          | 31    | 1                | 28    |

Примечание: среднее (mean) и медианное (median) значения были вычислены для всей базы.

Например, максимальное количество связанных компонент одной подписи ( $count\_comp$ ) в базе BHSig260-Bengali составляет 44, в то время как для базы CEDAR – 31. В базе SigComp2009 лишь 2,6 % изображений имеют количество связанных компонент, превышающее 10. Для базы BHSig260-Bengali почти треть всех подлинных подписей содержит больше 10 компонентов. Кроме того, в базе SigComp2009 максимальное значение средней площади для оригинальных подписей больше в 17 раз, чем в базе BHSig260-Bengali, что свидетельствует о том, что площадь связанных компонент одной подписи может значительно отличаться у различных баз.

Экспериментальный анализ показал, что подпись одного человека, выполненная несколько раз,

может иметь разное количество связанных компонент. На рисунке 10 показано несколько изображений одной подписи. Можно заметить, что количество компонент – разное и чем больше разрывов, тем хуже качество изображения. Однако простое пороговое разделение изображений на два класса качества по количеству компонент не целесообразно использовать, т. к. не дает стабильных результатов.

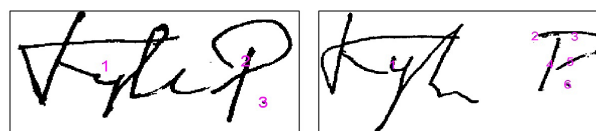


Рисунок 10. Бинарные изображения одной подписи, выполненной дважды

На этапе бинаризации изображения подписи важно автоматически оценить качество получаемого результата на предмет его пригодности для дальнейшего анализа. Если качество оказывается неудовлетворительным, необходимо изменить метод или параметры бинаризации, а затем повторить процедуру. Если подпись на изображении четкая и расположена на однородном, достаточно контрастном фоне, рекомендуется применять метод Оцу с расчетом глобального порога (рисунок 7), который дает хорошие результаты в этом случае. В противном случае стоит использовать метод адаптивной бинаризации.

После выполнения бинаризации на изображении могут появиться шумы, которые можно удалить с помощью морфологических операций, фильтрации и других методов. В ходе исследования было выявлено, что на втором этапе, описанного выше подхода оценки качества изображения подписи, целесообразно последовательно исполь-

зовать функции *bwareaopen* (применяется в среде MATLAB для удаления объектов на бинарном изображении, содержащих менее заданного количества пикселей  $P$ ), *imclose* (морфологическая операция закрытия с использованием заданной маски, применяется для заполнения отверстий и сглаживания границ), а затем медианную фильтрацию. На рисунке 11 представлен результат выполнения морфологических операций *bwareaopen* и *imclose* (рисунок 11б)), а также медианной фильтрации (рисунок 11в)). Эксперименты показали, что для операции открытия следует использовать  $P$  равное 8 с использованием 8-связной структуры, а для операции закрытия – круг размером 1. Применение этих операций обеспечивает более гладкий контур и более точный скелет. На рисунке 11 первых три фрагмента – это изображения белорусской базы, следующие три фрагмента – изображения базы BHSig260-Bengali. На представленных фрагментах можно заметить, что толщина линий у подписей разная.

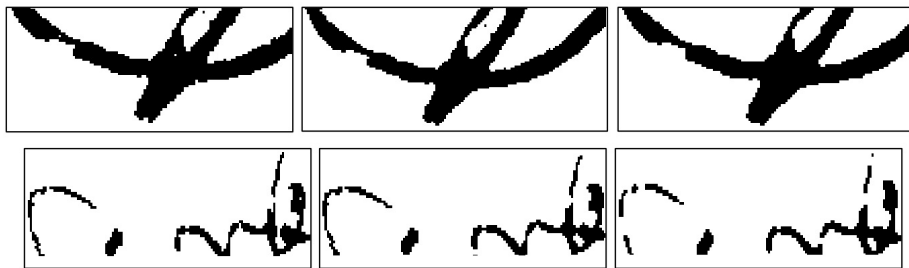


Рисунок 11. Результат морфологических операций и медианной фильтрации: а – фрагмент бинарного изображения подписи, б – результат морфологических операций, в – результат морфологических операций и медианной фильтрации (3x3)

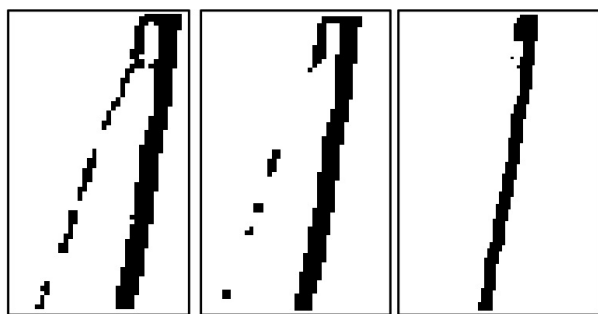


Рисунок 12. Результат морфологических операций и медианной фильтрации: а – фрагмент бинарного изображения подписи (база CEDAR) после морфологических операций, б – результат морфологических операций и медианной фильтрации (3x3), в – результат морфологических операций и медианной фильтрации (5x5)

Избыточное применение морфологических операций и медианной фильтрации на цифровых бинарных изображениях может привести к нежелательным результатам, таким как слияние или разъединение значимых фрагментов и элементов подписи.

Медианный фильтр большого размера не является оптимальным выбором для изображений, на которых подпись выполнена тонкой ручкой, например, изображения базы CEDAR (рисунок 12). Данная фильтрация может вызывать разрывы тонких линий и увеличение количества связанных компонент, что, в свою очередь, создает ложные контуры и элементы скелета, негативно влияя на качество изображения. Напротив, для баз данных, содержащих подписи, выполненные толстым стержнем, использование медианной фильтрации может быть оправданным (рисунок 11 верхний ряд изображений). Для изображений белорусской базы можно использовать медианный фильтр, размер которого превышает размер, применяемый для базы CEDAR. Это можно отметить на рисунках 11–12, а также анализируя средние значения площадей связанных компонент для этих наборов данных в таблице 1. В частности, максимальное значение площади различается в четыре раза. Поэтому выбор метода обработки изображений должен основываться на характеристиках подписей и условиях их выполнения.

### Заключение

В рамках данного исследования была поставлена задача оценки качества статических подписей без использования эталонных образцов. Если на изображении были множественные разрывы подписи или лишний шум, оно считалось неудовлетворительным из-за невозможности дальнейшего точного анализа. Эксперименты проводились с использованием нескольких баз данных (CEDAR, BHSig260-Bengali, SigComp2009 и изображения, полученные в рамках данного исследования), в которых содержались подписи, выполненные в разных условиях и разными ручками. Для оценки качества был предложен новый подход, состоящий из нескольких этапов: преобразование изображения в бинарное представление, удаление шума, поиск связанных компонент и анализ их площадей. Исследования показали, что применение различных методов бинаризации и фильтрации изображений может привести к нежелательным результатам, например, слиянию или удалению некоторых

элементов подписи. Важно выбирать подходящие параметры обработки в соответствии с условиями создания подписей. Предложенный подход может быть применим для устранения изображений низкого качества на этапе регистрации подписи, при выборе метода ее обработки или улучшения, если качество полученного образца неудовлетворительное. Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейших разработок в данной области, направленных на усовершенствование алгоритмов оценки качества и повышение точности распознавания подписей, что в итоге позволит автоматизировать трудоемкий и дорогостоящий процесс экспертизы, минимизируя влияние человеческого фактора и повышая надежность биометрической идентификации и верификации в государственных или коммерческих организациях.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР рег. № НИОКТР 20241508.

### REFERENCES

1. **Fernandez F.A.** Biometric sample quality and its application to multimodal authentication systems. Universidad Politecnica de Madrid. Madrid, Spain. 2008. 50 p.
2. **Fairhurst M.** Signature verification revisited: promoting practical exploitation of biometric technology. *Electronics and Communication Engineering Journal*. 1997. Vol. 9. Pp. 273-280.
3. **Jain A., Ross A., Prabhakar S.** An introduction to biometric recognition // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2004. Vol. 14. № 1. Pp. 4-20.
4. **Plamondon R., Srihari S.N.** On-line and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2020. Vol. 22. № 1. Pp. 63-84. DOI: 10.1109/34.824821
5. **Yogesh G., Patil A.** Offline and online signature verification systems: A survey. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014. Vol. 3. № 3. Pp. 328-332.
6. **Alonso-Fernandez F., Fierrez J., Ortega-Garcia J.** Quality measures in biometric systems. *IEEE Security & Privacy Magazine*. 2011. Vol. 9. № 4. Pp. 34-41. DOI: 10.1109/msp.2011.178
7. **Hameed M.M. et al.** Off Sig-Sin GAN: A Deep Learning-Based Image Augmentation Model for Offline Signature Verification. *Computers, Materials & Continua*. 2023. Vol. 76. № 1. Pp. 1-15.
8. **Hafemann L.G., Sabourin R., Oliveira L.S.** Offline handwritten signature verification – Literature review. 2017 seventh international conference on image processing theory, tools and applications (IPTA). IEEE. 2017. Pp. 1-8.
9. **Jain A., Flynn P., Ross A. (eds.)** Handbook of biometrics. Springer, 2008. 694 p.
10. **Bouridane A., Shafique M.** Signature verification and recognition: A review. In *Handbook of research on image and video processing*. 2008. Pp. 531-558.
11. **Alonso-Fernandez F., Fierrez J., Ortega-Garcia J.** Quality Measures in Biometric System. *IEEE Security & Privacy*. 2012. Vol. 10. № 6. Pp. 52-62. DOI: 10.1109/MSP.2011.178
12. **Benini S.** Biometric sample quality standards: Applications, status, and direction. *Proc. NIST Biometric Quality Workshop*. Gaithersburg, MD, USA, November 7-8, 2007.
13. **Kalera M.K., Srihari S., Xu A.** Offline signature verification and identification using distance statistics. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 2004. Vol. 18. Pp. 1339-1360.
14. **Pal S. et al.** Performance of an off-line signature verification method based on texture features on a large indic-script signature dataset. 2016 12<sup>th</sup> IAPR Workshop on Document Analysis Systems (DAS). IEEE. 2016. Pp. 72-77.
15. **Blankers V.L., van den Heuvel C.E., Franke K.Y., Vuurpijl L.G.** Icdar 2009 signature verification competition. In: *Proceedings of the International Conference on Document Analysis and Recognition*. 2009. Pp. 1403-1407.
16. **Golub Y.I., Starovoitov V.V.** Image quality assessment. Minsk: UIIP NAS Belarus. 2023. 252 p.
17. **Finogeev E.L., Terehova Y.V.** Investigation of the dependence of the accuracy of recognition of handwritten signatures from the language group using deep neural networks. The second international scientific and practical forum on economic security "VII VSKEB". 2021. Pp. 97-104

## NO-REFERENCE DIGITAL IMAGE QUALITY ASSESSMENT OF OFFLINE SIGNATURE

*United institute of informatics problems of the National Academy of Sciences of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus*

*The purpose of this paper is to develop a simple criterion for image quality assessment of a signature scanned from a paper (i. e., a static or offline signature). A new approach to no-reference assessment of the quality of a binary signature image is proposed, which can be useful as a tool for monitoring signature samples in biometric recognition systems to control data quality. For example, it can be used during image registration, selection of processing methods and its parameters adjustment, after performing various operations (such as rotation or scaling) and the need to evaluate and analyze the obtained signature images. The paper also describes factors that can negatively affect the quality of a static signature. The experimental analysis was performed on digital images of signatures available in the CEDAR, BHSig260-Bengali, SigComp2009 databases and images collected during the research.*

**Keywords:** *biometric system, binary image, digital image of human signature, image quality assessment of binary image, handwriting signature*



**Голуб Юлия Игоревна**, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси».

**Yuliya I. Golub**, PhD, Associate Professor, Leading Researcher at the United Institute of Informatics Problems, National Academy of Sciences of Belarus.