

Ю. И. ГОЛУБ, В. В. СТАРОВОЙТОВ

БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ПОДПИСИ: ПРЕДОБРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА

Государственное научное учреждение

"Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси"

г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье мы представляем сравнительное исследование методов бинаризации цветных изображений статических подписей, выполненных шариковыми ручками разных типов и цветов. Бинаризация представления подписи – это первый шаг перед вычислением ее признаков и анализом подлинности. Из-за неравномерности нанесения на бумагу пасты особую сложность представляют изображения подписей, выполненных шариковыми ручками.

Выполнено сравнение методов предобработки цифровых изображений подписей, направленных на сохранение формы линий на их бинарном представлении. Сравнительный анализ методов бинаризации цветных изображений подписи выполнен на примере четырех методов, относящихся к разным классам: с глобальным порогом (Отсу, Капура), с локально-адаптивным порогом (Саувола) и метод прямого индексирования цветового пространства RGB на белые и черные пиксели. Впервые предложены эмпирические объективные критерии качества бинарного представления подписи в отсутствие ее эталона, основанные на анализе связанных компонент и скелета бинарного представления подписи.

Эксперименты выполнялись на изображениях из общедоступной базы CEDAR и базе подписей, собранных в процессе исследований. Показано, что метод Капура обеспечивает наилучшее сохранение формы подписи на ее бинарном представлении, превосходя остальные методы, включая популярный метод Отсу.

Формирование бинарного представления подписи предлагается выполнять в четыре этапа: сканирование подписи в цвете (модель RGB) с разрешением 300 или 600 DPI, преобразование цветного изображения в полутоновое методом PCA, бинаризацию методом Капура, постобработку бинарного изображения. Данная методика формирования бинарного изображения подписи ориентирована на разработку систем верификации статических подписей.

Ключевые слова: статическая подпись, обработка изображений, бинаризация, связанные компоненты, скелетизация, оценка качества изображения в отсутствие эталона

Введение

Статическая (оффлайн) верификация подписи по ее цифровому изображению остается актуальной задачей в области компьютерного зрения и биометрии, несмотря на развитие динамических (онлайн) методов. [1]. Область применения – проверка документов в различных сферах: банковская, судебная, криминалистическая и т.д. Качество исходных данных варьируется: подписи могут быть выполнены на разной бумаге и ручками с различной насыщенностью, толщиной штриха. В свою очередь процесс сканирования также вносит разнообразие в получаемые данные – шумы, сжатие данных, разнообразные настройки программ, неравномерность освещения. Качество полученного изображения подписи напрямую влияет на эффективность последующих этапов ее верификации, поэтому важно определить оптимальные способы сканирования (оцифровки) и методы предварительной обработки изображения подписи, включающие бинаризацию, фильтрацию и оценку качества.

В рамках данного исследования не оценивается художественная ценность цифрового изображения, а выполняется анализ бинарного представления

подписи человека. Методы бинаризации изображений разных объектов широко используются для выделения их особенностей. Например, при распознавании символов, автомобильных номеров и др. При верификации подписи с бумажного документа, методы бинаризации изображений используются применительно к предварительно оцифрованной и выделенной из документа области, включающей в себя подпись.

На бумажном документе подпись выполняется ручкой, обычно синего или черного цвета. Все пишущие ручки делятся на четыре типа: шариковая, гелиевая, роллерная и перьевая. В шариковой ручке используется стержень, заполненный пастой с шариком на конце. Диаметр шарика составляет от 0,3 до 1 мм. При письме он вращается, захватывает пасту и переносит ее на бумагу. Линия получается тоньше диаметра шарика примерно на 30 %, а паста переносится на бумагу неравномерно.

Гелиевая ручка имеет такую же конструкцию, как и шариковая, но пишет не пастой, а чернилами в виде геля на водной основе, менее вязкого, чем паста. Линии выглядят ровнее, четче и тоньше, чем нанесенные шариковой ручкой.

Роллерная ручка также имеет подобную конструкцию. Стержень ручки-роллера заполнен чернилами на водной основе, они легко просачиваются, едва шарик коснется бумаги, и след от чернил всегда выглядит ровным.

Перьевая ручка состоит из корпуса с емкостью для жидких чернил и металлического раздвоенного пера. Она дороже других типов ручек.

Самым распространенным типом ручек является шариковая, поэтому большинство подписей на документах в нашей стране выполняются ручками этого типа. Поскольку в стержне таких ручек используется паста вместо чернил, для обеспечения вращения шарика в пишущем узле необходимо прикладывать больше усилий в процессе письма. При положении шариковой ручки близком к горизонтальному – качество линий становится хуже, поскольку нарушается оптимальный режим подачи пасты, и она не доходит до шарика равномерно. Поэтому шариковая ручка иногда оставляет неравномерный след, порой с пропусками пасты. Это сказывается на качестве линий, из которых состоит изображение подписи (рисунок 1). Стандартные методы бинаризации изображений формируют разрывы в линиях подписи. Кроме того, доминирующий цвет ручки порождает фоновый шум такого же оттенка (рисунок 1). Даже две подписи, выполненные человеком подряд одной и той же шариковой ручкой на одном листе бумаги, будут иметь отличия как в структуре штрихов, так и в однотипных участках подписи на оцифрованных изображениях.

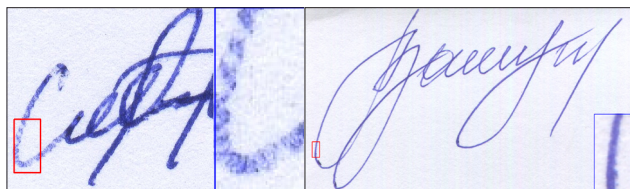


Рисунок 1. Примеры оцифрованных подписей, выполненных шариковой ручкой

Бумажные документы могут быть отсканированы с разным разрешением (96, 150, 300, 600, 1200 DPI, где DPI – dots per inch, «точек на дюйм»), в цвете (модель RGB), полутоне и даже в бинарном представлении. В последнем случае автоматически используется сканирование в полутоновом представлении и бинаризация с глобальным порогом. Сканирование бумажного образца с разрешением ниже 300 DPI или сохранение его цифрового представления в формат JPEG ухудшает качество цифрового изображения. На рисунке 2 для наглядной демонстрации блочного эффекта применено гамма-преобразование яркости полутонового изображения подписи. Алгоритм JPEG порождает блочный эффект, усредняя яркость в группах 8x8 пикселей. Это может привести к тому, что признаки, вычисленные для подлинных и поддельных подписей, будут описывать как локальные особенности линий, так и границы блоков. Чем ниже разрешение изображения, тем больше блочность влияет на вычисление локальных признаков (рисунок 2).

На рисунке 3 представлены три варианта сканирования бумажной подписи с разным разрешением. Для статических подписей достаточное разрешение важно, чтобы корректно отобразить все детали: форму элементов, толщину штрихов, особенности соединений и другие характеристики, которые используются при вычислении признаков. Форматы записи изображений PNG и TIFF не сжимают и не искажают цифровое изображение и рекомендуются для записи изображений подписи в процессе сканирования.



Рисунок 2. Исходное цифровое изображение и его преобразованный вариант, демонстрирующий блочность в передаче яркости пикселей

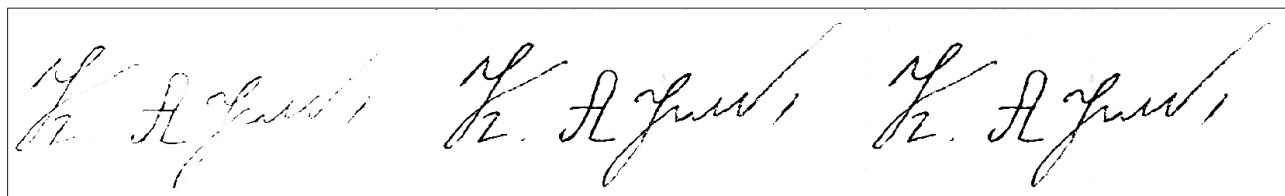


Рисунок 3. Результат бинаризации изображений подписи, сделанной шариковой ручкой и отсканированной с разным разрешением (96, 150, 300 DPI)

Наибольшую сложность при предварительной обработке изображений статической подписи представляют образцы, выполненные шариковыми ручками.

В научно-технической литературе исследований, посвященных сравнительному анализу качества методов бинаризации подписей, не выявлено. Поэтому были исследованы методы бинаризации разных типов. Эк-

периментальные исследования выполнялись на изображениях подписей, выполненных шариковыми ручками. Для автоматического вычисления признаков и анализа подлинности подписей, выполненных шариковыми ручками, требуется выполнить преобразование цифрового изображения подписи в бинарное представление с максимальным сохранением связности линий и их формы.

Подробный анализ сорока методов бинаризации изображений разных объектов представлен в работе [2]. Более свежий обзор методов бинаризации документов представлен в статье [3]. В работе [4] описана методика бинаризации оцифрованных текстовых исторических документов, она предполагает построение скелетов символов, их интерактивное редактирование и использование в качестве эталонов, т.е. качество бинаризации определяется посредством сравнения с эталонами. Публикации об оценке качества бинаризации текстовых изображений и подписей в отсутствие эталона в открытом доступе не найдены.

1. Бинаризации цветных изображений подписей

Бинаризация цифровых изображений статических подписей является важной процедурой их предварительной обработки в задаче верификации. Согласно обзору [5] для этого чаще всего применяется метод Отсу [6]. Поскольку фон вокруг подписи достаточно однородный и светлый, это позволяет вычислить глобальный порог для сегментации изображения на два

класса: белые и черные пиксели.

Цифровое представление собственно подписи в описывающем ее прямоугольнике занимает примерно 3–8 % площади (рисунок 1). Это значит, что при вычислении глобального порога бинаризации фоновые пиксели доминируют. На гистограммах яркостей или других величин, описывающих изображение подписи, фон представлен пиком с амплитудой намного выше, чем едва заметный пик, описывающий яркость пикселей подписи. На рисунке 4 представлены три варианта гистограмм распределения яркостей изображения подписи, выполненной синей шариковой ручкой. На них присутствует один заметный пик и второй – почти незаметный. Между этими пиками расположена широкая область низких значений, поэтому все алгоритмы бинаризации вычисляют разные пороги. При обработке подписей высокого качества (равномерная толщина штриха, отсутствие разрывов, шумов и неравномерного распределения пасты) наблюдаемая вариативность пороговых значений не оказывает существенного влияния на результат бинаризации изображения, т.е. разделение объекта и фона осуществляется корректно.

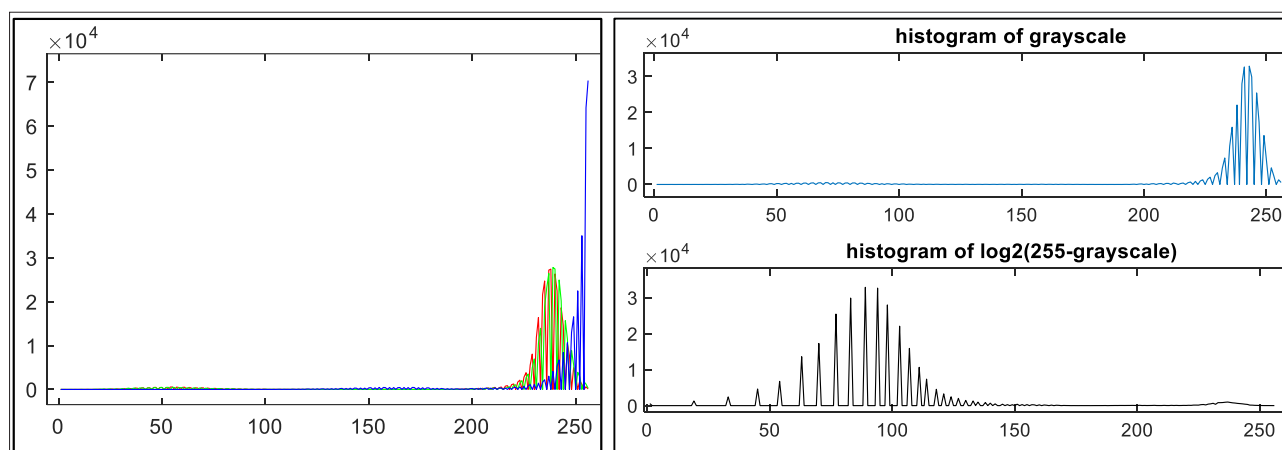


Рисунок 4. Гистограммы распределения яркостей: слева – цветов R, G, B; справа – полутонового представления и инвертированного полутонового после логарифмирования

В данной статье кратко описаны результаты анализа бинаризации изображений подписей на примере четырех методов разных типов. Большинство других методов [2] формируют бинарные представления схожие с исследуемыми методами, поэтому здесь не рассматриваются. Предполагается, что бинарное изображение подписи должно быть максимально связным и отражать форму подписи для более точного вычисления ее локальных признаков. Исследуется задача выбора наиболее точного метода бинаризации цветного изображения подписи, отсканированного с разрешением не менее 300 DPI. На исходных цифровых изображениях не должно быть печатей и линий, нанесенных типографским способом, только подписи, выполненные вручную ручками разных типов и цветов. Основное требование к методу бинаризации подписи – бинарное представление подписи (независимо

от цвета и типа ручки) должно максимально достоверно представлять ее форму.

Алгоритмы, вычисляющие глобальный порог бинаризации [7–10], дают примерно одинаково завышенные пороги на полутоновых изображениях подписи. Для сравнительного анализа использовались два метода – Отсу [6] и Капура [9]. Метод Отсу выбирает глобальный порог бинаризации на основе максимизации межклассовой дисперсии. Метод Капура вычисляет порог бинаризации, максимизирующий информационную энтропию. Для более точного представления подписи величина порога уменьшается на k процентов. Параметр k подбирается экспериментально.

Алгоритмы, вычисляющие локально-адаптивный порог бинаризации [11–15], также дают примерно одинаковые пороги. В отличие от методов с глобальным порогом, они требуют задания двух – трех пара-

метров, которые требуется подбирать экспериментально. Для сравнительного анализа использовался метод Саувола [11]. Он вычисляет локальный порог для каждого пикселя на основе среднего и дисперсии яркости в окрестности этого пикселя.

Все указанные методы применяются к полутоновым изображениям. Дополнительно исследовался метод бинаризации цветного изображения посредством индексирования полноцветного RGB-пространства на два цвета (белый и черный) с минимизацией межклассовой дисперсии. Алгоритм описан в статье [16], использовалась его реализация в программе rgb2ind системы Matlab.

При бинаризации первыми тремя методами цветное изображение чаще всего преобразуется в полутоновое К согласно рекомендации МСЭ-R BT.601-7 [17] по формуле (1) либо методом вычисления главных компонент (PCA – principal component analysis) [18].

$$K = 0,299 * R + 0,587 * G + 0,114 * B. \quad (1)$$

Преобразование на базе PCA вычисляет коэффициенты, которые зафиксированы в формуле (1), для каждого изображения индивидуально.

2. Методика сравнительного анализа

Цветное изображение подписи преобразуется в полутоновое методом PCA, затем выполняется бинаризация полутонового изображения либо цветное напрямую преобразуется в двухиндексное представление. На полученных бинарных изображениях удаляются одиночные черные и белые пиксели, а также области черных пикселей, имеющие площадь менее порогового значения T_a , которое вычисляется адаптивно и зависит от средней толщины линий оцифрованной подписи в пикселях, а также от типа применяемого алгоритма бинаризации.

После этого формируются два скелетных представления подписи: без удаления мелких ответвлений и с удалением ответвлений длиной менее L_s . Этот порог также вычисляется адаптивно, он зависит от средней толщины бинарного представления линий подписи. Средняя толщина линий подписи вычисляется с помощью дистанционного преобразования, применяемого к бинарному изображению подписи.

По бинарному и скелетным представлениям каждой подписи вычисляются следующие параметры: 1) количество связанных компонент бинарного представления подписи; 2) суммарная длина скелетного представления подписи; 3) суммарная длина отброшенных отростков скелета; 4) количество связанных компонент, удовлетворяющих условию: площадь компоненты менее $\text{mean} \times K$, где mean – средняя площадь связанных компонент подписи, K – задаваемый коэффициент.

Эмпирические критерии качества бинарного представления подписи предполагают минимизацию первого, третьего, четвертого и максимизацию второго параметра. Согласно этим критериям, выбирается метод бинаризации, продемонстрировавший лучшие

показатели на цифровых изображениях подписей, выполненных разными ручками и оцифрованных с разным разрешением.

3. Анализ результатов

Для исследования были использованы цифровые изображения статических подписей, выполненных шариковой ручкой синего и черного цвета из баз CEDAR [19], а также базы подписей, сформированной в процессе исследований. Визуальная оценка цифровых изображений показала, что на многих подписях неравномерно нанесена паста, линии прерывисты, имеют разную толщину и т.д. (рисунки 1–3). Подписи отсканированы в цветовом представлении RGB, с разрешением 300 или 600 DPI. Использование популярного метода глобальной бинаризации Отсу на многих изображениях приводит к фрагментации штрихов подписи на ряд мелких компонент, поэтому были выполнены сравнительные эксперименты для четырех методов по методике, описанной выше.

Для экономии места далее представлены только ключевые результаты исследований. На рисунке 5 представлены зеленое и синее изображения подписи f389, на рисунке 6 – результаты бинаризации зеленого изображения методами Капура и Отсу. Результаты бинаризации синего изображения похожи на изображения первого столбца на рисунке 6 при обоих вариантах преобразования в полутоновое представление.

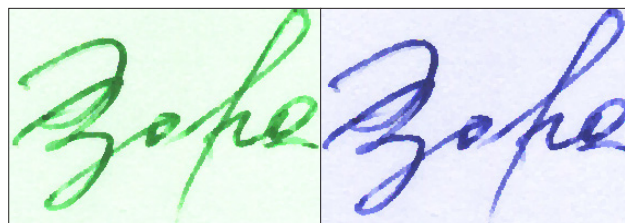


Рисунок 5. Исходное цветное изображение подписи



Рисунок 6. Результаты преобразования цветного изображения (рисунок 5) в полутоновое с последующей бинаризацией: верхний ряд – методом Капура, нижний – методом Отсу

Полутонные представления подписи (рисунок 5) были получены двумя способами – с применением метода на основе PCA и формулы (1), которая реализована в Matlab функцией `rgb2gray`. Анализ результатов показал, что метод PCA определяет весовые коэффициенты для цветовых каналов адаптивно, что обеспечивает максимальное разделение подписи и фона. Метод Капура сохраняет максимум информации о форме подписи. Преобразование в полутонное изображение методом PCA и бинаризация методом Капура дает более связное представление подписи.

На рисунках 7–9 представлены исходное изображение, результаты его бинаризации четырьмя методами и последующего построения скелетов с удаленными ответвлениями.

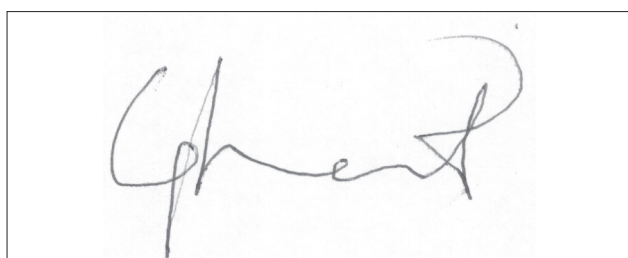


Рисунок 7. Изображение статической подписи (forgeries_14_4) из базы CEDAR

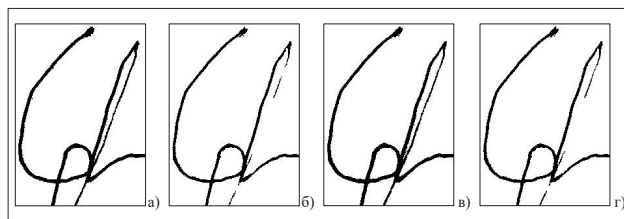


Рисунок 8. Бинаризация фрагмента подписи методами: а) Капура, б) Отсу, в) Саувола, г) индексированием

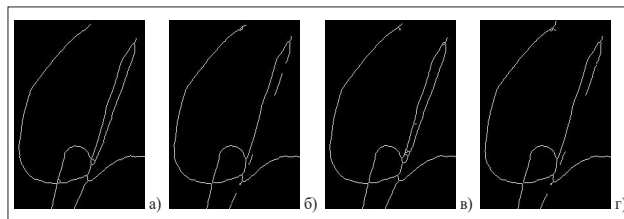


Рисунок 9. Скелеты подписи после бинаризации четырьмя методами и удаления мелких ответвлений

На рисунках 10–12 представлены графики для 10 изображений базы CEDAR и четырех методов бинаризации. Суммарная длина отброшенных отростков вычислялась по каждому изображению. В таблице 1 собраны усредненные данные для 60 изображений.

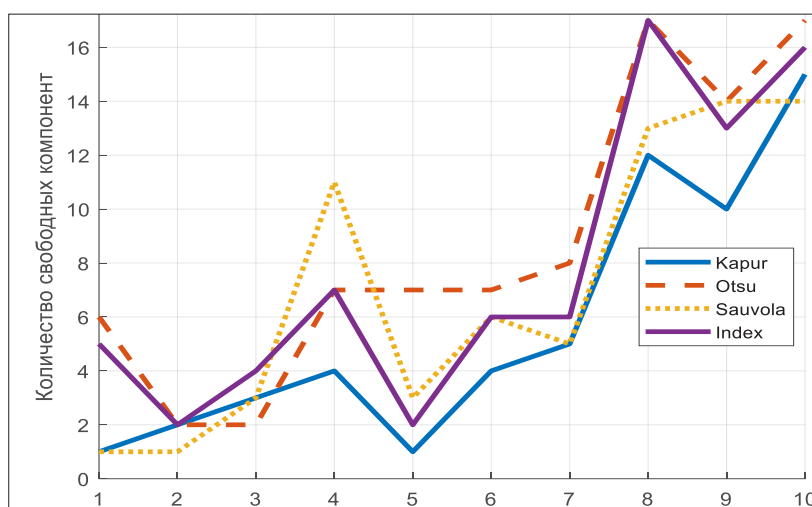


Рисунок 10. Количество связных компонент после бинаризации 10 изображений подписей из базы CEDAR. Метод Капура дает более связные представления подписей

Таблица 1. Результаты анализа связных компонент и скелетов для 60 изображений из базы CEDAR, полученных четырьмя методами бинаризации

Метод бинаризации	Среднее число связных компонент подписи	Средняя длина скелета с удалением ответвлений	Средняя длина удаленных ответвлений	Кол-во изображений хорошего качества
Капура	5 (min)	1914 (max)	9 (min)	42 (max)
Отсу	11	1783	17	14
Саувола	6	1873	10	37
индексирование	8	1849	12	27

Примечание: min – минимальное значение в столбце, max – максимальное значение в столбце. Изображения хорошего качества (в пятом столбце) определены согласно методу оценке качества подписей, описанному в [20].

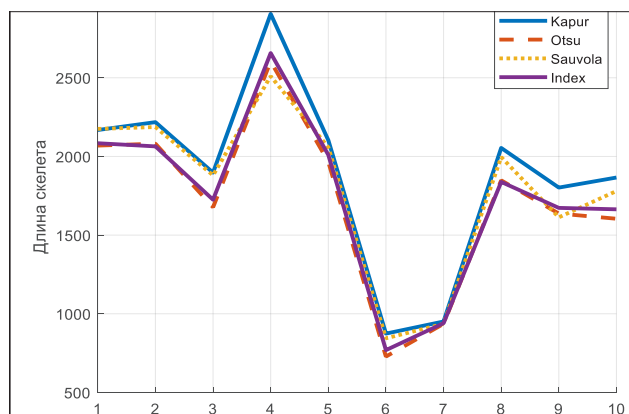


Рисунок 11. Длины скелетного представлений 10 бинаризованных подписей из базы CEDAR. Метод Капура порождает более длинные линии подписей

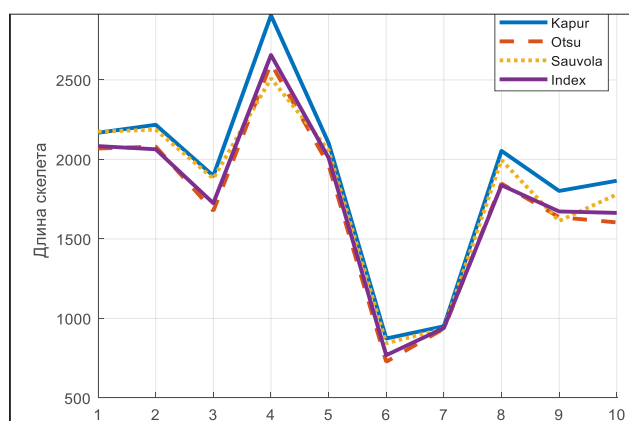


Рисунок 12. Суммы длин отброшенных отростков скелетов 10 бинарных изображений подписей из базы CEDAR

Анализируя экспериментальные результаты, часть из которых представлена на рисунках 5–12 и в таблице 1, сделан вывод о том, что метод Капура формирует наиболее качественное бинарное представление цветного изображения подписи после его преобразования в полутоновое методом PCA. Метод Капура также в среднем формирует более гладкие линии, о чем свидетельствует меньшее число второстепенных отростков скелета (рисунки 9 и 12). Таким образом, метод Капура обеспечивает:

- 1) максимальную целостность линий подписи;
- 2) наиболее точное ее скелетное представление;
- 3) наибольшее количество изображений, признанных пригодными для дальнейшего анализа подлинности подписи.

При некачественных бумажных изображениях подписи метод бинаризации Отсу уступает методу Капура по всем параметрам (таблица 1). При его использовании подпись чаще дробится на более короткие компоненты, что свидетельствует о потере связности линий. Скелет бинарного представления подписи короче, а удаляемых ответвлений больше, что указывает

на потерю части информации о форме подписи. Маленькая средняя площадь при максимальном количестве компонент свидетельствует о разделении подписи на мелкие фрагменты.

В результате выполненных исследований, методы бинаризации изображений подписей, выполненных шариковыми ручками, можно ранжировать от лучшего к худшему в следующем порядке: 1) метод Капура обеспечивает целостность, гладкость и информативность бинарного образа; 2) метод Сауволы дает хороший результат, но уступает по целостности и гладкости, лучше оставшихся двух методов, но требует настройки трех параметров; 3) метод бинарного индексирования чаще приводит к фрагментации подписи; 4) метод Отсу на подписях плохого качества нарушает структуру линий и создает больше мелких фрагментов, чем другие методы.

Для бинаризации изображений подписей, выполненных шариковой ручкой произвольного цвета, рекомендуется следующая последовательность операций.

Этап 1 – сканирование бумажного изображения подписи с разрешением 300 или 600 DPI в представлении RGB.

Этап 2 – преобразование цветного изображения в полутоновое с использованием PCA-преобразования. Координаты главного вектора задают коэффициенты преобразования, адаптированные под оттенки изображения подписи.

Этап 3 – вычисление порога бинаризации полутонового изображения методом Капура с уменьшением на k процентов (экспериментально подобрано $k = 5\%$).

Этап 4 – выполнение постобработки бинарного изображения для коррекции артефактов бинаризации: удаления изолированных черных, белых пикселей и малых связанных компонент, площадь которых меньше порога T_a .

Результаты экспериментального исследования демонстрируют, что для достижения достоверных результатов при верификации статических подписей важно обеспечить качественную реализацию этапов получения и предварительной обработки данных. В частности, требуется выбрать и настроить методы сканирования, бинаризации изображения, фильтрации шумов и оценки его качества.

Заключение

В работе выполнен сравнительный анализ четырех методов бинаризации изображений статических подписей, выполненных шариковыми ручками. На основе предложенных критериев, учитывающих связность и скелетное представление, установлено, что метод Капура обеспечивает наилучшее сохранение целостности подписи. Он позволяет получить минимальное количество связанных компонент (в среднем 5), максимальную длину скелета (1914 пикселей) и наименьшую длину удаляемых ответвлений (9 пикселей), а также наибольшее число изображений (42 из 60),

удовлетворяющих критерию качества. Метод Саувола показывает близкие результаты, однако уступает по ряду показателей и требует настройки параметров. Методы Оцу и бинарного индексирования демонстрируют существенно худшие результаты, приводя к фрагментации и потере информации о подписи.

Предложенная четырехэтапная процедура получения бинарного представления подписи (сканирование, РСА-преобразование, бинаризация методом Ка-

пура, постобработка с удалением мелких компонент) позволяет получать бинарные изображения, пригодные для дальнейшего вычисления признаков и верификации статических подписей. Разработанный метод оценки качества бинарного представления подписи в отсутствие эталона предложен впервые. Полученные результаты могут быть использованы при создании систем автоматической верификации подписей в банковской и криминалистической практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Singla, A. Exploring offline signature verification techniques: A survey based on methods and future directions / A. Singla, A. Mittal // *Multimedia Tools and Applications*. 2024. Vol. 84, № 6. P. 2835–2875. DOI: org/10.1007/s11042-024-20454-x.
2. Sezgin, M. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation / M. Sezgin, B. Sankur // *Journal of Electronic Imaging*. 2004. Vol. 13, № 1. P. 146–168. DOI: org/10.1117/1.1631315.
3. Comprehensive review on document image binarization / Bataineh B. [et. al.] // *Journal of Imaging*. 2025. Vol. 11. P. 133. DOI: org/10.3390/jimaging11050133.
4. Ntirogiannis, K. Performance evaluation methodology for historical document image binarization / K. Ntirogiannis, B. Gatos, I. Pratikakis // *IEEE Transactions on Image Processing*. 2013. Vol. 22, № 2. P. 595–609. DOI: org/10.1109/tip.2012.2219550.
5. Machine learning-based offline signature verification systems: A systematic review / M. M. Hameed, R. Ahmad, M. L. M. Kiah, G. Murtaza // *Signal Processing: Image Communication*. 2021. Vol. 93. P. 116139. DOI: org/10.1016/j.image.2021.116139.
6. Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1979. Vol. 9, № 1. P. 62–66. DOI: org/10.1109/tsmc.1979.4310076.
7. Zack, G. W. Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency / G. W. Zack, W. E. Rogers, S. A. Latt // *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 1977. Vol. 25, № 7. P. 741–753. DOI: org/10.1177/25.7.70454.
8. Kittler, J. Minimum error thresholding / J. Kittler, J. Illingworth // *Pattern Recognition*. 1986. Vol. 19, № 1. P. 41–47. DOI: org/10.1016/0031-3203(86)90030-0.
9. Kapur, J. N. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram / J. N. Kapur, P. K. Sahoo, A. K. Wong // *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1985. Vol. 29, № 1. P. 140. DOI: org/10.1016/s0734-189x(85)90156-2.
10. Tsallis, C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics / C. Tsallis // *Journal of Statistical Physics*. 1988. Vol. 52, № 1–2. P. 479–487. DOI: org/10.1007/bf01016429.
11. Sauvola, J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola, M. Pietikainen // *Pattern Recognition*. 2000. Vol. 33, № 2. P. 225–236. DOI: org/10.1016/s0031-3203(99)00055-2.
12. Yang, Y. An adaptive logical method for binarization of degraded document images / Y. Yang, H. Yan // *Pattern Recognition*. 2000. Vol. 33, № 5. P. 787–807. DOI: org/10.1016/s0031-3203(99)00094-1.
13. Gatos, B. Adaptive degraded document image binarization / B. Gatos, I. Pratikakis, S. J. Perantonis // *Pattern Recognition*. 2006. Vol. 39, № 3. P. 317–327. DOI: org/10.1016/j.patcog.2005.09.010.
14. Bernsen, J. Dynamic thresholding of gray-level images / J. Bernsen // *8th International conference on pattern recognition : proceedings, Paris, October 27–31, 1986. Paris, 1986. P. 1251–1255.*
15. Niblack, W. *An Introduction to Digital Image Processing* / W. Niblack. Birceroed : Strandberg Publishing Company, 1985. 215 p.
16. Thomas, S. W. Efficient inverse color map computation / S. W. Thomas // *Graphics Gems II*. 1991. P. 116–125. DOI: org/10.1016/b978-0-08-050754-5.50034-7.
17. Дворкович, В. П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) / В. П. Дворкович, А. В. Дворкович. Москва : Техносфера, 2012. 1008 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/26907.html> (date of access: 20.01.2026).
18. Старовойтов, В. В. Методы сегментации цветных изображений / В. В. Старовойтов, М. А. Талёб. Минск, 1999. 44 с. (Препринт / Ин-т техн. кибернетики НАНБ ; № 1).
19. Kalera, M. K. Offline signature verification and identification using distance statistics / M. K. Kalera, S. Srihari, A. Xu // *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 2004. Vol. 18, № 7. P. 1339–1360. DOI: org/10.1142/s0218001404003630.
20. Голуб, Ю. И. Безэталонная оценка качества цифрового изображения статической подписи / Ю. И. Голуб // *Системный анализ и прикладная информатика*. 2024. № 4. С. 54–62. DOI: org/10.21122/2309-4923-2024-4-54-52.

REFERENCES

1. Singla A., Mittal A. Exploring offline signature verification techniques: a survey based on methods and future directions. *Multimedia Tools and Applications*. 2024 Nov 20;84(6):2835–2875. <http://dx.doi.org/10.1007/s11042-024-20454-x>.
2. Sezgin M., Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*. 2004 Jan 1;13(1):146. <http://dx.doi.org/10.1117/1.1631315>.
3. Bataineh B., Tounsi M., Zamzami N., Janbi J., Abu-ain W.A.K., AbuAin T., et al. A comprehensive review on document image binarization. *Journal of Imaging*. 2025 Apr 26;11(5):133. <http://dx.doi.org/10.3390/jimaging11050133>.
4. Ntirogiannis K., Gatos B., Pratikakis I. Performance evaluation methodology for historical document image binarization. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2013 Feb;22(2):595–609. <http://dx.doi.org/10.1109/tip.2012.2219550>.
5. Hameed M.M., Ahmad R., Kiah M.L.M., Murtaza G. Machine learning-based offline signature verification systems: a systematic review. *Signal Processing: Image Communication*. 2021 Apr;93:116139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.image.2021.116139>.
6. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1979 Jan;9(1):62–66. <http://dx.doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076>.
7. Zack G.W., Rogers W.E., Latt S.A. Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 1977 Jul;25(7):741–753. <http://dx.doi.org/10.1177/25.7.70454>.
8. Kittler J., Illingworth J. Minimum error thresholding. *Pattern Recognition*. 1986 Jan;19(1):41–47. [http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203\(86\)90030-0](http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203(86)90030-0).
9. Kapur J.N., Sahoo P.K., Wong A.K.C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1985 Jan;29(1):140. [http://dx.doi.org/10.1016/s0734-189x\(85\)90156-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0734-189x(85)90156-2).
10. Tsallis C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *Journal of Statistical Physics*. 1988 Jul;52(1–2):479–487. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01016429>.
11. Sauvola J., Pietikäinen M. Adaptive document image binarization. *Pattern Recognition*. 2000 Feb;33(2):225–236. [http://dx.doi.org/10.1016/s0031-3203\(99\)00055-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0031-3203(99)00055-2).
12. Yang Y., Yan H. An adaptive logical method for binarization of degraded document images. *Pattern Recognition*. 2000 May;33(5):787–807. [http://dx.doi.org/10.1016/s0031-3203\(99\)00094-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0031-3203(99)00094-1).
13. Gatos B., Pratikakis I., Perantonis S.J. Adaptive degraded document image binarization. *Pattern Recognition*. 2006 Mar;39(3):317–327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2005.09.010>.
14. Bernsen J. Dynamic thresholding of gray-level images. *Eighth International Conference on Pattern Recognition. Proceedings, Paris, October 27–31, 1986*. pp. 1251–1255.
15. Niblack W. *An Introduction to Digital Image Processing*. Birceroed: Strandberg Publishing Company; 1985. 215 p.
16. Thomas S.W. Efficient inverse color map computation. *Graphics Gems II*. 1991;116–125. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-050754-5.50034-7>.
17. Dvorkovich V.P., Dvorkovich A.V. *Tsifrovyye videoinformatsionnyye sistemy (teoriya i praktika)* [Digital Video Information Systems (Theory and Practice)]. Moscow: Technosfera; 2012. 1008 p. (in Russian). Available at: <https://www.iprbookshop.ru/26907.html> (accessed 20 January 2026).
18. Starovoitov V.V., Taleb M.A. *Metody segmentatsii tsvetnykh izobrazheniy* [Methods of Segmentation of Color Images]. Preprint No 1. Minsk; 1999. 44 p. (in Russian).
19. Kalera M.K., Srihari S., Xu A. Offline signature verification and identification using distance statistics. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 2004 Nov;18(07):1339–1360. <http://dx.doi.org/10.1142/s0218001404003630>.
20. Golub Y.I. No-reference digital image quality assessment of offline signature. *System analysis and applied information science*. 2024;(4):54–62 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2024-4-54-52>.

Y. I. GOLUB, V. V. STAROVOITOV

BINARIZATION OF A STATIC SIGNATURE IMAGE: PREPROCESSING AND ITS QUALITY ASSESSMENT

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

Abstract. *In the paper we present a comparative study of binarization methods for color images of static signatures made with ballpoint pens of different types and colors. Signature image binarization is the first step before calculating its features and verification. Because of the uneven flow of ink from ballpoint pens, images of signatures made with such pens present particular challenges.*

A comparison of digital signature image preprocessing methods aimed at preserving the shape of the signature lines in the binary representations is conducted. A comparative analysis of binarization methods for color signature images is performed based on four methods from different classes: global thresholding (Otsu, Kapura), locally adaptive thresholding (Sauvola), and a method of direct indexing the RGB color space into two classes: white and black pixels. For the first time, empirical objective criteria for the quality of a binary signature representation in the absence of a reference are proposed, based on the analysis of connected components and the skeleton of the binary signature representation.

Experiments were performed on images from the publicly available CEDAR database and a database of signatures collected during the research. It has been shown that Kapur's method provides the best preservation of signature form in its binary representation, outperforming other methods, including the popular Otsu method.

We propose a four-step procedure for generating a binary signature representation. This procedure consists of scanning a color signature at 300 or 600 DPI in the RGB model, converting the color image to grayscale using principal component analysis (PCA), binarization by the Kapoor method, and post-processing the binary image. This method is intended for developing static signature verification systems.

Keywords: *static signature, image processing, binarization, connected components, skeletonization, no-reference image quality assessment*



Голуб Юлия Игоревна

Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ОИПИ НАН Беларуси), г. Минск, 220012, Республика Беларусь.

Кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси.

Yuliya I. Golub

The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (UIIP NAN Belarus), Minsk, 220012, Republic of Belarus.

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



Старовойтов Валерий Васильевич

Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ОИПИ НАН Беларуси), г. Минск, 220012, Республика Беларусь.

Доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси. Лауреат Государственной премии Республики Беларусь (2003 год). Сфера научных интересов: обработка и анализ цифровых изображений, полученных в разных участках электромагнитного спектра. Опубликовал более 170 научных работ.

Valery Starovoitov

The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (UIIP NAN Belarus), Minsk, 220012, Republic of Belarus.

Doctor of Sciences and Professor of computer science. He is a Principal research fellow at the United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. Award: the State Prize of the Republic of Belarus in science. Research interests of professor Starovoitov are processing and analysis of digital images obtained in different parts of the electromagnetic spectrum. He has published over 170 papers.