

Локализация образа печати на документе, удостоверяющем личность, методом машинного обучения*

В.В. АРЛАЗАРОВ^{I,II}, Д.П. МАТАЛОВ^{II,III}, С.А. УСИЛИН^{II,IV}

^I Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

^{II} ООО «Смарт Энджинс Сервис», Москва, Россия

^{III} Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

^{IV} Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. В данной работе описан оригинальный метод поиска круглых печатей на изображениях документов, построенный на базе модифицированного алгоритма Виолы и Джонса. Эффективность представленного метода продемонстрирована на примере решения задачи поиска гербовой печати на изображении паспорта гражданина Российской Федерации. Представленный в работе алгоритм носит общий характер и может быть эффективно применен для решения различных задач локализации объектов для случаев, когда часть целевого объекта отсутствует или имеется слабый контраст между границами объекта и другими объектами сцены.

Ключевые слова: машинное обучение, детектирование образов, каскады Виолы и Джонса, обработка цифровых изображений, распознавание документов, контроль документов.

DOI: 10.14357/20790279180518

Введение

На текущем этапе развития промышленных систем документооборота применение автоматизированных и автоматических систем обработки изображений документов является стандартом де-факто [1-4]. Хотя основным приложением таких систем является распознавание печатного текста и предварительное заполнение электронных форм, в последнее время набирают популярность алгоритмы анализа отдельных областей документа (например, проверка наличия подписей и рукописных пометок в отведенных местах [5], выделение графических примитивов [6] и т.п.). Особую роль занимает поиск и распознавание печати на изображениях документов. Практически во всем мире печать является гарантией подлинности документа, придавая ему юридическую силу. Поэтому проверка наличия на документе печати в заданных местах является важным элементом любого документооборота. С другой стороны, печати зачастую содержат в себе ряд юридически значимой информации, распознавание и контроль которой сам по себе представляет высокую ценность. В обоих перечисленных выше примерах в качестве первого этапа необходимо локализовать печать на изображении документа.

Применяемые в настоящее время методы поиска печатей на изображениях можно сгруппировать в 2 класса: методы, опирающиеся на поиск геометрических примитивов [7-9, 12-14], и методы, основанные на спектральном анализе пикселей изображения [15-17]. Большое количество работ [7-9] в качестве основного метода для поиска печатей круглой формы используют обобщенное преобразование Хафа [10-11], которое применяется для анализа изображения модуля градиента. Экстремумы в таком пространстве Хафа соответствуют центрам искомым печатей на исходном изображении документа. Несколько работ основано на поиске и последующем анализе особых точек на изображении [12-14]. Причем в большинстве из них используется двухэтапная классификация областей изображения: вначале с помощью алгоритмов поиска особых точек и последующей кластеризации выполняется выделение областей интереса, затем проводится фильтрация найденных регионов по геометрическим характеристикам. Большое количество работ содержит описание алгоритмов, опирающихся на цветовые отличия печати и прочих элементов документа [15-17]. Существуют алгоритмы, построенные одновременно как на анализе геометрических особенностей, так и цветовых характеристик [18].

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проекты № 16-29-09508, № 17-29-03161

Высокий интерес к задаче поиска печатей на изображениях документов закономерно и большое количество работ, посвященных этой проблематике, закономерно побуждают исследователей сравнивать эффективность различных методов. Так, в работе [19] проводится сравнение трех подходов: алгоритма на базе обобщенного преобразования Хафа, алгоритма на базе анализа карты границ (треков), а также алгоритма поиска печатей с помощью Виолы и Джонса [20]. Отмечается, что наилучшие результаты (как с точки зрения качества детектирования, так и с точки зрения производительности) продемонстрировал метод на основе аппроксимации треков. Также отмечается, что невысокие показатели метода на базе Виолы и Джонса преимущественно связаны с возможным некорректным обучением соответствующего классификатора.

1. Печать на изображении паспорта гражданина РФ

В рамках данной статьи рассматривается поиск круглой гербовой печати на изображении второй страницы внутреннего паспорта гражданина Российской Федерации. Предварительная локализация зоны второй страницы на целиковом изобра-

жении выполнялась с помощью методов распознавания документов, описанных в работе [4].

Решение поставленной задачи осложняется целым рядом проблемных факторов, проиллюстрированных на рис. 1: нарушение целостности печати, большое количество шумовых элементов, физическое выцветание со временем и т.п.

Поиск печати на документах, выполненных на защищенных бланках, дополнительно осложняется наличием в зоне поиска печати различных элементов защиты (водяные знаки, гильоширные рисунки [21] и т.п.). Перечисленные факторы препятствуют применению тривиальных методов, основанных на поиске геометрических примитивов (поиск и анализ дуг и т.п.) или анализе цвета печати.

Важно также отметить, что печать в документах, удостоверяющих личность, может наноситься различными цветами. Например, в зависимости от бланка и даты выдачи паспорта РФ, печать может быть черного или красного цветов. Кроме того, в результате процесса выцветания, окраска печати может существенно отличаться от первоначальной. В результате этого методы, использующие спектральный анализ пикселей, для решения указанной задачи неэффективны.

В данной работе описан оригинальный метод поиска круглой гербовой печати на изображении

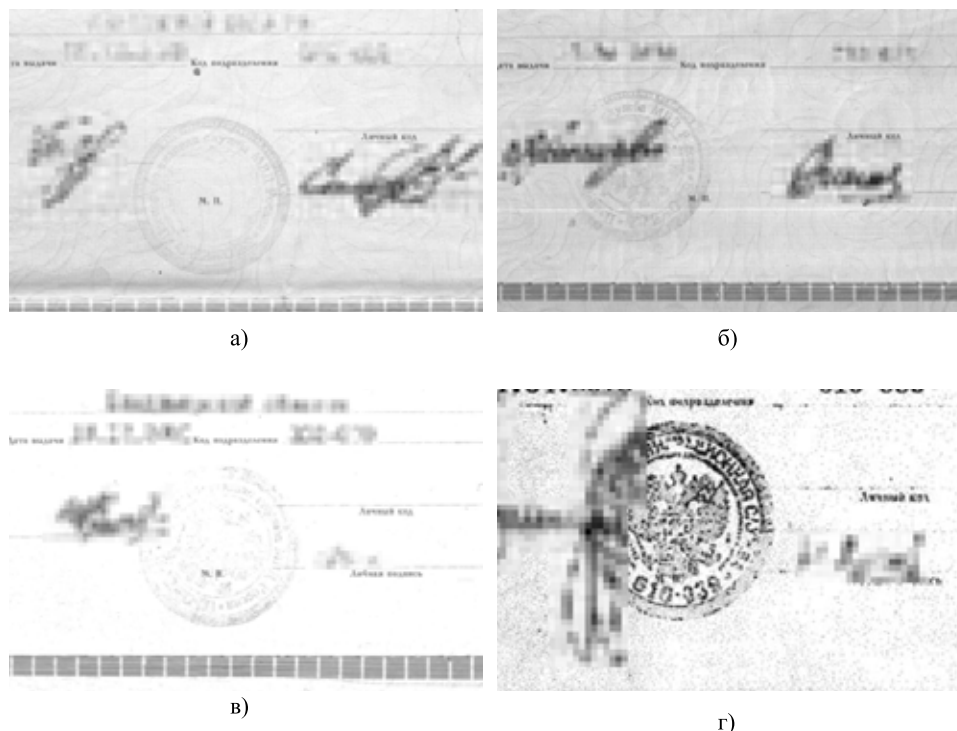


Рис. 1. Иллюстрация основных факторов, затрудняющих поиск печати на изображении паспорта гражданина РФ: а) выцветание со временем, б) перекрытие посторонними элементами, в) нарушение целостности печати, г) шумовые элементы

паспорта гражданина РФ, построенный на базе метода поиска объектов Виолы и Джонса [20]. При этом для успешного решения поставленной задачи описаны необходимые модификации оригинального алгоритма, а также предложен новый вид вычислительно эффективного признакового пространства.

2. Метод Виолы и Джонса

Метод Виолы и Джонса [20] представляет из себя схему построения детекторов ригидных объектов статистическим образом (опираясь на прецеденты). Изначально метод был применен для построения детектора человеческого лица в анфас.

В качестве признакового пространства в оригинальной версии метода используются признаки Хаара (рис. 2), значение которых вычисляется как разность сумм яркостей пикселей областей изображения внутри черных и белых прямоугольников. Для эффективного вычисления значений признаков используется интегральное представление изображения.

С каждым признаком связывается бинарный «слабый» классификатор $h(x) : X \rightarrow \{-1, +1\}$, представленный в виде распознающего дерева с одним ветвлением. Такие классификаторы демонстрируют слабую распознающую силу, поэтому в методе Виолы и Джонса используется алгоритм AdaBoost для построения «сильного» классификатора в виде линейной комбинации наиболее мощных слабых классификаторов:

$$S(x) = \left[\sum_{t=1}^T \alpha_t \cdot h_t(x) > 0 \right], \quad (1)$$

где $[\bullet]$ – индикаторная функция.

Для обеспечения высокой производительности детекторов объектов в методе Виолы и Джонса используется каскад классификаторов, который позволяет на «ранних этапах» распознавать заведомо «пустые» участки изображения. Классический каскад классификаторов представим следующим образом:

$$Cascade(x) = \prod_{i=1}^N [S_i(x) > 0]. \quad (2)$$



Рис. 2. Признаки Хаара и пример расположения признака относительно сканирующего окна

Детектирование искомого объекта выполняется с помощью построенного каскадного классификатора методом скользящего окна.

В настоящее время метод Виолы и Джонса стал одним из наиболее популярных способов поиска ригидных объектов. При этом его использование вышло далеко за пределы оригинальной области применимости.

3. Поиск печати на изображении паспорта гражданина РФ

Как было сказано выше, в работе в качестве основного способа поиска печатей на изображении используется метод Виолы и Джонса [20]. Однако для обеспечения должного качества работы оригинальный метод был модифицирован.

Во-первых, печать в паспорте обладает высокой вариативностью в части окраса и яркости, следовательно, применение классических яркостных признаков Виолы и Джонса в данном случае не эффективно. Следовательно, при построении эффективного классификатора печатей следует учитывать дополнительно геометрические особенности исследуемых объектов. Исследователями в области распознавания образов уже было показано, что эффективность алгоритма Виолы и Джонса значительно повышается при одновременном использовании нескольких признаков пространств различной природы [22]. В данном случае, для поиска печати логичным является одновременное использование яркостных и граничных признаков. В качестве граничных признаков использовались признаки Хаара, посчитанные поверх изображения модуля градиента.

Вторая особенность предложенного метода поиска печати заключается в способе вычисления изображения модуля градиента. Обычно модуль градиента вычисляется с использованием евклидова расстояния:

$$M(x, y) = \sqrt{g_x^2(x, y) + g_y^2(x, y)}, \quad (3)$$

где $g_x(x, y)$ и $g_y(x, y)$ – первые производные изображения по x и y соответственно в точке (x, y) . В задачах распознавания оказывается вы-

годным с производительной точки зрения использовать манхэттенское расстояние для вычисления модуля градиента:

$$M^*(x, y) = |g_x(x, y)| + |g_y(x, y)|. \quad (4)$$

Такое значение модуля градиента (4) сохраняет относительные изменения в уровнях яркостей и при этом на современных процессорах вычисляется быстрее, чем вычисленное по евклидовой норме значение модуля градиента, благодаря отсутствию необходимости вычислять квадратный корень.

Третья особенность предлагаемого в работе метода поиска объектов, заключается в расширении целевого объекта за счет намеренного добавления полей слева и справа. Если обратить внимание на представленные примеры печатей (рис. 1), то можно заметить, что слева и справа печать окружают незаполненные участки документа. Поэтому искусственное расширение искомого объекта за счет добавления полей позволит алгоритму Виолы и Джонса сфокусироваться не только на структуре печати (которая бывает часто нарушена), но и на особенностях окрестности печати.

4. Экспериментальные результаты

Для обучения классификатора печати использовался обучающий набор, состоящий из 446 «положительных» изображений печатей, а также 1588 изображений регионов второй страницы, не содержащих целиком образ печати, в качестве «отрицательных» образцов. Для расширения обучающего набора данных использовалась технология синтеза дополнительных изображений на основе реальных материалов (аугментация данных) [23]. В частности, оригинальные изображения печатей были подвергнуты аугментации с помощью горизонтального и вертикального отражения относительно центра изображения и гамма-коррекции (с коэффициентами 0.35, 0.50, 0.66, 1.50 и 2.00). В результате аугментации положительный обучающий набор данных был расширен до 9366 примеров.

В рамках данной работы на описанном выше обучающем наборе было выполнено несколько экспериментов по обучению классификатора печати. Начальные параметры обучения классификаторов (распределение весов положительных и отрицательных прецедентов, пороги на ложные пропуски и ложные срабатывания и т.п.) для всех экспериментов были одинаковы. Размер обучаемого классификатора печати составлял 51x51 пиксель.

Первый эксперимент состоял в обучении классического классификатора, используя яркост-

ные прямоугольные признаки Хаар. Второй эксперимент заключался в обучении классификатора Виолы и Джонса поверх граничных признаков (использовались прямоугольные признаки Хаара поверх изображения модуля градиента, посчитанного в соответствии с формулой приближенного значения). Третий эксперимент заключался в обучении классификатора, построенного поверх комбинированного пространства признаков, состоящего одновременно из яркостных и граничных прямоугольных признаков Хаара. Следующие три эксперимента были организованы аналогичным образом (яркостные признаки, граничные признаки и комбинированное семейство признаков соответственно), но в качестве искомого объекта использовался расширенный слева и справа на 20% образ печати.

Оценка качества работы построенных классификаторов выполнялась на тестовом наборе изображений, состоящем из 3189 изображений второй страницы паспорта гражданина РФ. Вычислялись значения точности (англ. Precision, доля верно найденных печатей среди общего количества всех найденных печатей), полноты (англ. Recall, доля найденных печатей относительно релевантного числа печатей в тестовом наборе) и F-мера (англ. F-measure, среднее гармоническое точности и полноты) по следующим формулам:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}; \quad (5)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (6)$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot Recall \cdot Precision}{Recall + Precision}. \quad (7)$$

В формулах (5)-(7) величины TP , FP и FN означают число верно обнаруженных печатей (англ. True Positive), число ложно обнаруженных печатей (англ. False Positive) и число ошибочно пропущенных печатей (англ. False Negative).

В табл. 1 представлены точность, полнота и F-мера для всех обученных классификаторов. Из таблицы следует, что все описанные выше эксперименты позволяют обучить классификаторы, обладающие высокой точностью (то есть, обеспечивающие низкий уровень ложных детекций). При этом наилучшую полноту имеет классификатор печати, построенный поверх комбинированного признакового пространства и использующий особенность окрестности печати.

Визуализировать структуру полученных классификаторов можно с помощью так называемой

Табл. 1

Качество работы классификаторов печатей

Эксперимент	I	II	III	IV	V	VI
Точность	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Полнота	0.981	0.969	0.974	0.979	0.979	0.988
F-мера	0.985	0.979	0.982	0.984	0.984	0.989

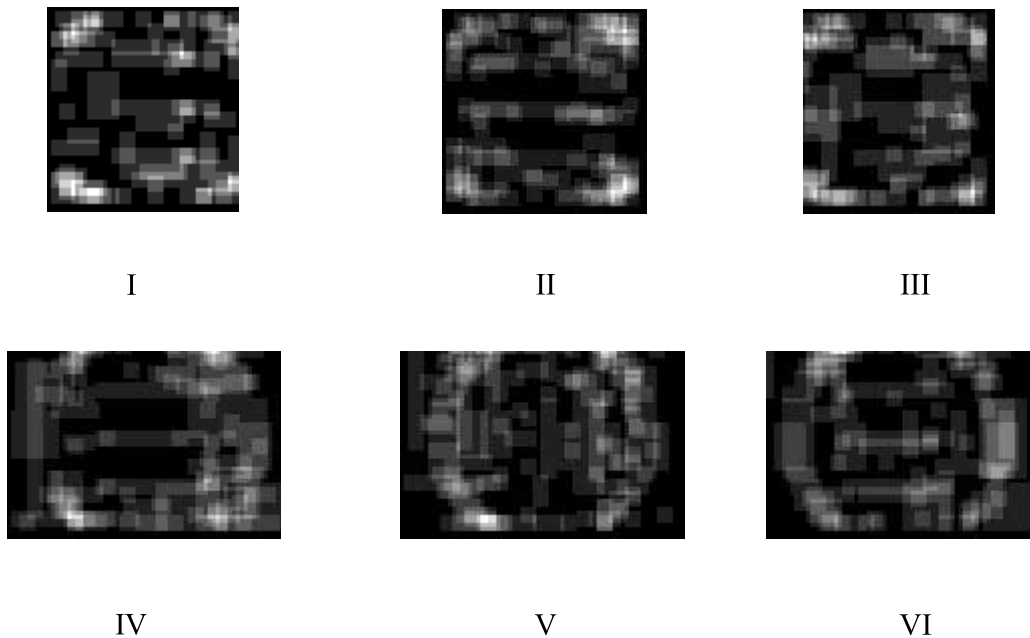


Рис. 3. Карта плотности признаков обученных классификаторов печати, обученных в рамках поставленных экспериментов

карты информационной насыщенности (рис. 3), которая представляет из себя цифровое изображение размером с соответствующий классификатор Виолы и Джонса, где каждый признак голосует за пиксель, покрываемый этим признаком. Чем большее количество признаков покрывает некоторую область изображения, тем светлее эта область на карте информационной насыщенности.

На рис. 3 представлены карты информационной насыщенности для каждого обученного классификатора. Из полученных данных следует, что признаки граничного классификатора сосредоточены в основном по периметру печати, тогда как для яркостного классификатора характерно более равномерное по всей площади печати распределение признаков. Кроме того, на информационных картах видно, что классификаторы «расширенных» печатей активно используют особенности окрестности (видны признаки, покрывающие левую и нижнюю части окрестности).

В рамках данной работы также был проведен эксперимент, который заключался в сравнении однотипных классификаторов печатей, отличающихся способом вычисления модуля градиента. На одном и том же обучающем наборе и при одинаковых настройках (комбинированное пространство признаков, расширение объекта слева и справа) были обучены два классификатора: C_1 (использующий формулу (3) для подсчета модуля градиента) и C_2 (использующий формулу (4) для подсчета модуля градиента). Помимо точности и полноты на тестовом наборе изображений замерялось также время работы каждого классификатора в пересчете на одно изображение. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Из таблицы следует, что формула приближенного вычисления модуля градиента позволяет строить не только более производительные классификаторы, но и обеспечивает лучшую полноту за счет большей устойчивости к шумовым элементам (гильоширные рисунки, защитные волокна, помарки и т.п.).

Табл. 2

Сравнение классификаторов C_1 и C_2

Классификатор	C_1	C_2
Среднее время, мс	27.65	24.62
Точность	0.99	0.99
Полнота	0.983	0.988
F-мера	0.986	0.989

Заключение

В данной работе предложен метод поиска круглых печатей на изображениях документов, построенный на базе модифицированного алгоритма Виолы и Джонса. Для обучения эффективного с точки зрения качества локализации и производительности классификатора печати предложено три модификации оригинального метода Виолы и Джонса: расширение целевого объекта за счет полей слева и справа, одновременное использование признаков различной природы и использование приближенной формулы вычисления модуля градиента.

Эффективность представленного метода была продемонстрирована на примере решения задачи поиска печати на изображении второй страницы паспорта гражданина РФ.

В последующих научных работах планируется изучить применимость описанного метода для решения задачи поиска печати на широком диапазоне документов, что позволит существенно расширить область применения.

Литература

1. Арлазаров В.Л., Славин О.А. Алгоритмы распознавания и технологии ввода текстов в ЭВМ // Информационные технологии и вычислительные системы № 1. 1996. Т. 6. С. 48–54.
2. Арлазаров В.В., Постников В.В., Шоломов Д.Л. Cognitive Forms – система массового ввода структурированных документов // Управление информационными потоками. М.: Эдиториал УРСС, 2002. С. 37–49.
3. Усилин С.А., Николаев Д.П., Постников В.В. Cognitive PDF/A – технология оцифровки текстовых документов для публикации в Интернет и долговременного архивного хранения // Труды Института системного анализа РАН. Технологии программирования и хранения данных / под ред. Арлазаров В.Л., Емельянов Н.Е. М.: ЛЕНАНД, 2009. Т. 45. С. 159–173.
4. Bulatov K., Arlazarov V.V., Chernov T., Slavin O., Nikolaev D. SmartIDReader: Document recognition in video stream // 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). IEEE. 2017. Vol 6, P. 39–44.
5. Безматерных П.В., Николаев Д.П., Постников В.В. Быстрый алгоритм детектирования рукописных пометок // Труды Института системного анализа. 2008. Т.38. С. 185 – 193.
6. Куроптев А.В., Николаев Д.П., Постников В.В. Выделение графических примитивов и текстовых блоков на изображениях документов с помощью морфологических операций // Труды 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». Часть IX. Инновации и высокие технологии. М.: МФТИ, 2008. С. 29–32.
7. Partha Pratim Roy, Umapada Pal, Josep Lladós. Seal Detection and Recognition: An Approach for Document Indexing // 10th International Conference on Document Analysis and Recognition. 2015. Vol. 2015, Article ID 367879. 15 p.
8. Partha Pratim Roy, Umapada Pal, Josep Lladós. Document Seal Detection using GHT and Character Proximity Graphs // Pattern Recognition. 2011. Vol. 44. № 6. P. 1282-1295.
9. Guangyu Zhu, Stefan Jaeger, David Doermann. A robust stamp detection framework on degraded documents // Document Recognition and Retrieval XIII. 2006. 60670B. 9 p. .
10. Ballard D. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern Recognition. 1987. Vol. 13. № 2. P. 111-122.
11. Nikolaev D.P., Karpenko S.M., Nikolaev I.P. and Nikolayev P.P. Hough Transform: Underestimated Tool in the Computer Vision Field // Proceedings of 22nd European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2008). 2008. P. 238-243. DOI: 10.7148/2008-0238.
12. Sheraz Ahmed, Faisal Shafait, Marcus Liwicki, Andreas Dengel. A Generic Method for Stamp Segmentation Using Part-Based Features // 12th International Conference on Document Analysis and Recognition. 2013. P. 708-712.

13. *Ning Ding, Xue-dong Zhang, Zhi-feng Wang, Chuan Wan*. Seal Identification based on SIFT and Edge Direction Histogram // The 9th International Conference on Computer Science & Education. 2014. Vol. 42. № 10. P. 357-361.
14. *Bo Jin, Haiying Wang*. Seal registration and identification based on SIFT // IEEE Proceedings of the International Conference on Anti-Counterfeiting Security and Identification. 2016. P. 97-100.
15. *Katsuhiko Ueda*. Extraction of signature and seal imprint from bankchecks by using color information // Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition. 1995. P. 665-668.
16. *Barbora Micenkova, Joost van Beusekom, Faisal Shafait*. Stamp Verification for Automated Document Authentication // International Workshop on Computational Forensics 2014: Computational Forensics. 2015. P. 117-129.
17. *Usilin S., Nikolaev D., Postnikov V.* Structural Compression of Document Images with PDF/A // Proceedings of «24th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2010». Kuala Lumpur, 2010. P. 242–246.
18. *Pawel Forcmański, Andrzej Markiewicz*. Stamps Detection and Classification Using Simple Features Ensemble // Mathematical Problems in Engineering. 2015. Vol. 2015. Article ID 367879. 15 p.
19. *Сараев А.А., Николаев Д.П.* Выделение графических примитивов для анализа структуры документа на примере локализации печатей // Информационные технологии и системы. 2012. С. 371-376.
20. *Viola P., Jones M.* Robust Real-time Object Detection // International Journal of Computer Vision. 2002.
21. *Усилин С.А., Николаев Д.П., Шоломов Д.Л., Арлазаров В.В.* Распознавание гильоширных элементов: определение страниц паспорта РФ // Труды Института системного анализа РАН. Обработка информационных и графических ресурсов. 2013. Т. 63. № 3. С. 106-110.
22. *Кузнецова Е.Г., Усилин С.А., Минкина А.Г., Николаев Д.П.* Модификация слабых классификаторов машины Виолы-Джонса для мультиспектральных изображений // Информационные технологии и системы (ИТиС'15): сборник трудов конференции. 2015. С. 329–337.
23. *Жуковский А.Е., Тарасова Н.А., Усилин С.А., Николаев Д.П.* Синтез обучающей выборки на основе реальных данных в задачах распознавания изображений // Информационные технологии и системы (ИТиС'12): сборник трудов конференции. М., 2012. С. 377–382.

Арлазаров Владимир Викторович. Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук, г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук. Количество печатных работ: 30. Область научных интересов: искусственный интеллект, машинное обучение, системы распознавания, информационные технологии. E-mail: vva777@gmail.com

Маталов Даниил Павлович. Студент магистратуры МФТИ (ГУ), г. Москва. Научный сотрудник – программист ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва. Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов, машинное обучение. E-mail: mataloff@gmail.com

Усилин Сергей Александрович. Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Ведущий программист. ООО «Смарт Энджинс Сервис», исполнительный директор, г. Москва. Количество печатных работ: 20. Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов, машинное обучение. E-mail: usilin.sergey@gmail.com

Localization of the seal on the identity document image using machine learning approach

V.V. Arlazarov^{I,II}, D.P. Matalov^{I,III}, S.A. Usilin^{II,IV}

^I Institute for information transmission problems (Kharkevich Institute) RAS, Moscow, Russia

^{II} LLC "Smart Engines Service", Moscow, Russia

^{III} Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

^{IV} Federal Research Center "Computer Science and Control" RAS, Moscow, Russia

Abstract. In this paper, the novel method for solving circular seal detection problem based on extended Viola-Jones algorithm is presented. The method's performance is demonstrated during solving the problem of government seal stamp localization on the second page of the passport of Russian Federation. The method is scalable and can be used for different detection problems.

Keywords: *machine learning, object detection, Viola-Jones cascades, digital image processing, document image recognition, forensics.*

DOI: 10.14357/20790279180518

References

1. Arlazarov V.L., Slavin O.A. Algoritmy raspoznaniya i tekhnologii vvoda tekstov v EHVM. – Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy № 1. 1996. Vol. 6. P. 48 – 54
2. Arlazarov V.V., Postnikov V.V., SHolomov D.L. Cognitive Forms – sistema massovogo vvoda strukturirovannykh dokumentov. // Upravlenie informacionnymi potokami. M: EHditorial URSS, 2002. P. 37–49.
3. Usilin S.A., Nikolaev D.P., Postnikov V.V. Cognitive PDF/A – tekhnologiya ocifrovki tekstovykh dokumentov dlya publikatsii v Internet i dolgovremennogo arhivnogo hraneniya // Trudy Instituta sistemnogo analiza RAN. Tekhnologii programirovaniya i hraneniya dannykh / pod red. Arlazarov V.L., Emel'yanov N.E. M.: LENAND, 2009. Vol. 45. P. 159–173.
4. K. Bulatov, V.V. Arlazarov, T. Chernov, O. Slavin, D. Nikolaev. SmartIDReader: Document recognition in video stream // 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). IEEE. 2017. Vol 6, P. 39–44. DOI: 10.1109/ICDAR.2017.347.
5. Bezmaternyh P.V., Nikolaev D.P., Postnikov V.V. Bystryj algoritm detektirovaniya rukopisnykh pometok // Trudy Instituta sistemnogo analiza. 2008. Vol.38. P. 185 – 193.
6. Kuroptev A.V., Nikolaev D.P., Postnikov V.V. Vydelenie graficheskikh primitivov i tekstovykh blokov na izobrazheniyakh dokumentov s pomoshch'yu morfologicheskikh operatsij // Trudy 51-j nauchnoy konferentsii MFTI «Sovremennye problemy fundamental'nykh i prikladnykh nauk». CHast' IX. Innovatsii i vysokie tekhnologii. M.: MFTI, 2008. P. 29–32.
7. Partha Pratim Roy, Umapada Pal, Josep Lladós. Seal Detection and Recognition: An Approach for Document Indexing // 10th International Conference on Document Analysis and Recognition. 2015. Vol. 2015, Article ID 367879. 15 p. DOI: 10.1109/ICDAR.2009.128.
8. Partha Pratim Roy, Umapada Pal, Josep Lladós. Document Seal Detection using GHT and Character Proximity Graphs // Pattern Recognition. 2011. Vol. 44. № 6. P. 1282-1295.
9. Guangyu Zhu, Stefan Jaeger, David Doermann. A robust stamp detection framework on degraded documents // Document Recognition and Retrieval XIII. 2006. 60670B. 9 p. DOI: 10.1117/12.643537.
10. D. Ballard. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern Recognition. 1987. Vol. 13. № 2. P. 111-122. DOI: 10.1016/0031-3203(81)90009-1.
11. D.P. Nikolaev, S.M. Karpenko, I.P. Nikolaev and P.P. Nikolayev. Hough Transform: Underestimated Tool in the Computer Vision Field // Proceedings of 22nd European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2008). 2008. P. 238-243. DOI: 10.7148/2008-0238.
12. Sheraz Ahmed, Faisal Shafait, Marcus Liwicki, Andreas Dengel. A Generic Method for Stamp Segmentation Using Part-Based Features // 12th International Conference on Document Analysis and Recognition. 2013. P. 708-712. DOI: 10.1109/ICDAR.2013.145.
13. Ning Ding, Xue-dong Zhang, Zhi-feng Wang, Chuan Wan. Seal Identification based on SIFT and Edge Direction Histogram // The 9th International Conference on Computer Science & Education. 2014. Vol. 42. № 10. P. 357-361. DOI: 10.1109/ICCSE.2014.6926485.
14. Bo Jin, Haiying Wang. Seal registration and identification based on SIFT // IEEE Proceedings of the International Conference on Anti-Counterfeiting Security and Identification. 2016.

- P. 97-100. DOI: 10.1109/ICASID.2015.7405669.
15. *Katsuhiko Ueda*. Extraction of signature and seal imprint from bankchecks by using color information // Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition. 1995. P. 665-668. DOI: 10.1109/ICDAR.1995.601983.
 16. *Barbora Mícenková, Joost van Beusekom, Faisal Shafait*. Stamp Verification for Automated Document Authentication // International Workshop on Computational Forensics 2014: Computational Forensics. 2015. P. 117-129.
 17. *Usilin S., Nikolaev D., Postnikov V.* Structural Compression of Document Images with PDF/A // Proceedings of «24th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2010». Kuala Lumpur, 2010. P. 242–246. DOI: 10.7148/2010-0242-0246
 18. *Paweł Forczmański, Andrzej Markiewicz*. Stamps Detection and Classification Using Simple Features Ensemble // Mathematical Problems in Engineering. 2015. Vol. 2015. Article ID 367879. 15 p. DOI: 10.1155/2015/367879.
 19. *Saraev A.A., Nikolaev D.P.* Vydelenie graficheskikh primitivov dlya analiza struktury dokumenta na primere lokalizatsii pechatej // Informatsionnye tekhnologii i sistemy. 2012. P. 371-376.
 20. *Viola P., Jones M.* Robust Real-time Object Detection // International Journal of Computer Vision. 2002.
 21. *Usilin S.A., Nikolaev D.P., Sholomov D.L., Arlazarov V.V.* Raspoznavanie gil'oshrnykh ehlementov: opredelenie stranic pasporta RF // Trudy ISA RAN. 2013. Vol. 63 № 3. P. 106-110.
 22. *Kuznetsova E.G., Usilin S.A., Minkina A.G., Nikolaev D.P.* Modifikatsiya slabikh klassifikatorov mashini Violi-Dzhonsa dlya mul'tispektral'nykh izobrazhenii // Informatsionnye tekhnologii i sistemy (ITiS'15): sbornik trudov konferentsii. 2015. P. 329–337.
 23. *Zhukovskii A.E., Tarasova N.A., Usilin S.A., Nikolaev D.P.* Sintez obuchayuschei viborki na osnove real'nykh dannikh v zadachah raspoznavaniya izobrazhenii // Informatsionnye tekhnologii i sistemy (ITiS'12): sbornik trudov konferentsii. M., 2012. P. 377–382.

V.V. Arlazarov. Lead researcher at IITP RAS, PhD. Moscow, Russia. Lecturer at MIPT, Moscow, Russia. Number of publications: 30. Research interests: artificial intelligence, machine learning, recognition systems, information technology, queueing theory. E-mail: vva777@gmail.com

D.P. Matalov. MIPT master's student, Moscow, Russia. Researcher-programmer at LLC "Smart Engines Service", pr. 60-letiya Oktyabrya, 9, Moscow, Russia. Research interests: image processing, pattern recognition, machine learning. E-mail: mataloff@gmail.com

S.A. Usilin. Institute for Systems Analysis, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Researcher. Executive Director at LLC Smart Engines Service, Moscow, Russia. Number of publications: 20. Research interests: image processing, pattern recognition, machine learning. E-mail: usilin.sergey@gmail.com