

# Интеллектуальный анализ данных и распознавание образов

## Использование центрально-симметричных признаков Хаара для локализации печати на паспорте гражданина РФ

М.А. Валов<sup>I</sup>, Д.П. Маталов<sup>II</sup>, С.А. Усилин<sup>II</sup>

<sup>I</sup> ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия

<sup>II</sup> Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

**Аннотация.** В статье предложена оригинальная модификация алгоритма Виолы-Джонса в части используемого пространства признаков для решения задачи поиска и локализации круглого оттиска печати на изображениях документа. Показано, что точность локализации объекта детектором существенно повышается при расширении признакового пространства квадратными центрально-симметричными признаками. Преимущества данного метода продемонстрированы в контексте поиска гербовой печати на изображениях паспорта гражданина Российской Федерации. Приведены количественные оценки полученного улучшения.

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

**DOI:** 10.14357/20790279230304

### Введение

Обучение каскада Виолы и Джонса с использованием признаков Хаара успешно применяется в задачах детектирования объектов, особенно в системах, где важнейшим критерием является быстроедействие.

Оригинальный алгоритм был предложен Виолой и Джонсоном в контексте задачи обнаружения анфаса лиц на фотографиях [1]. Детектирование целевого объекта происходит при помощи обученного классификатора методом скользящего окна. В угоду обеспечения высокой

производительности, итоговый классификатор представляется в виде каскада классификаторов, позволяющего отсеивать значительную часть наиболее простых для детектирования окон на первых уровнях, позволяя таким образом при обучении последующих уровней сконцентрироваться на сложных примерах. Каждый уровень каскада представляет собой сильный классификатор – построенная методом AdaBoost комбинация слабых, выбираемых последовательно жадным образом. В качестве слабых классификаторов традиционно применяются решающие

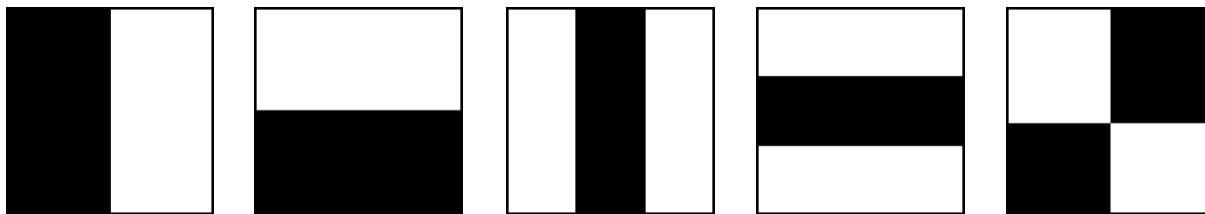


Рис. 1. 2-прямоугольные, 3-прямоугольные и 4-прямоугольные признаки Хаара

деревья с одним ветвлением на основе признаков Хаара. На рис. 1 представлены классические 2-прямоугольные, 3-прямоугольные и 4-прямоугольные признаки Хаара. Значения соответствующих признаков вычисляются как разность суммы пикселей в белых прямоугольниках и суммы пикселей в черных. Для быстрого подсчета признаков, действующих на прямоугольные области сканирующего окна, используется понятие интегрального изображения.

Предложенный Виолой и Джонсом метод по-прежнему успешно применяется для поиска лиц на изображениях [2,3]. Помимо этого, спроектированные на его основе системы находят свое применение в задачах детекции колесных пар в видеопотоке [4], распознавании дорожных знаков [5,6], обнаружения объектов на медицинских снимках [7], в комплексах искусственного зрения беспилотных летательных аппаратов [8,9].

Первичная задача в системах промышленного распознавания документов – определение типа и шаблона документа, для чего может применяться в том числе рассматриваемый нами метод Виолы и Джонса [10]. Помимо определения шаблона, каскадами Виолы и Джонса могут и детектироваться отдельные атрибуты документа [11].

Так, одной из востребованных на практике задач является детектирование печатей и штампов. Метод Виолы-Джонса в этом ключе уже рассматривался ранее [12] и неплохо зарекомендовал себя. Однако специфика объекта (произвольное место и угол выставления печати, возможное пересечение печати с полями паспорта и подписью,

постепенное выцветание со временем) создают необходимость в усовершенствовании существующего подхода для построения более конкурентного детектора с необходимыми показателями быстродействие-качество и разумным количеством признаков. На рис. 2 и 3 представлены примеры описанных проблем, затрудняющих построение детектора.

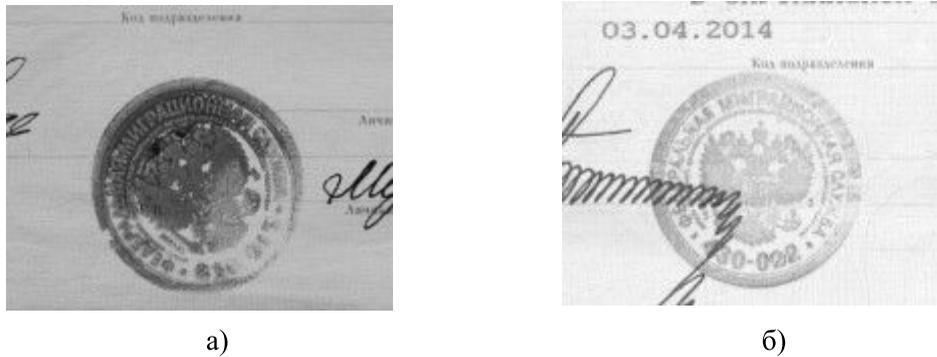
Стоит отметить, что печать в паспорте РФ может наноситься чернилами как красного, так и черного цветов. Помимо того, в результате выцветания и в зависимости от цветовой коррекции снимка и освещения, при котором производилась съемка, цвет оттиска также может варьироваться в различных оттенках. Все это не позволяет использовать пространства признаков, учитывающие цветовые характеристики [13].

Еще одной важной особенностью задачи поиска печати на документе является необходимость точной локализации объекта для возможности последующей качественной обработки информации (например, распознавания текстовой информации внутри печати с помощью OCR [14]).

На данный момент есть несколько общих методов решения описанных проблем с целью отбора наиболее подходящих признаков. Так, может применяться метод предварительной аугментации данных таким образом, чтобы в обучающем наборе оказалось как можно больше изображений оттиска печати под разнообразными углами. Еще один метод повышения эффективности детектора – использование увеличенной области для поиска печати вкупе с расширением признакового про-



Рис. 2. Различия в углах проставления печати



**Рис. 3.** Примеры возникающих проблем в задаче детекции печати на изображении паспорта гражданина РФ: а – Крайне неравномерный оттиск печати; б – пересечение с другими атрибутами документа, в том числе с подписью

странства, полученного добавлением граничных признаков – прямоугольных признаков Хаара поверх изображения модуля градиента. Именно этот подход был предложен в работе [12]. Тем не менее, классические прямоугольные признаки Хаара, используемые в той же работе, вообще говоря, являются особенно неустойчивыми относительно поворота объекта на произвольный угол, потому плохо подходят для решаемой нами задачи.

Для более успешного решения задачи поиска печати в работе предлагается модификация оригинального метода Виолы-Джонса с помощью расширения признакового пространства за счет добавления изначально, исходя из конструкции, более устойчивых к повороту и неравномерности оттиска признаков Хаара.

### 1. Расширение признакового пространства в задаче поиска печати

В целях повышения эффективности детектора предлагается использовать прямоугольные быстро вычисляемые области изображения, а исходя из геометрической формы детектируемого объекта, в конструкцию признаков должно быть заложено изначально использование строго квадратных областей. Принимая во внимание центральную симметричность внешних границ печати и неизвестный угол ее выставления, предлагается применение центрально-симметричных (как устойчивых к различным углам поворота) признаков. Совокупность представленных идей приводит нас к построению квадратных центрально-симметричных признаков Хаара. Исходя из особенностей, заложенных в их конструкции, эти признаки оказываются гораздо более устойчивыми к поворотам и неравномерностям оттиска печати, по сравнению с классическими. В качестве соответствующего слабого классификатора

используется решающее дерево с одним ветвлением на основе описанного признака.

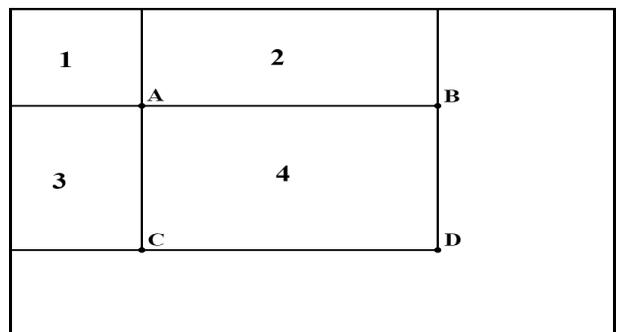
Обозначим через  $i(x, y)$  исходное одноканальное изображение размера  $N \times M$ . Тогда интегральное изображение определяется как изображение размера  $N \times M$ , в точке  $(x, y)$  вычисляемое по формуле:

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y').$$

Сумма значений интенсивностей пикселей внутри заданного прямоугольника выполняется с помощью четырех обращений к интегральному изображению. На рис. 4 приведена соответствующая схема-пояснение. Исходя из определения, значение интегрального изображения в каждой из отмеченных точек есть сумма пикселей во всех прямоугольниках, находящихся выше и левее данной точки. Нетрудно видеть, что сумма пикселей в прямоугольнике под номером 4 может быть вычислена как

$$\sum_{(x,y) \in ABCD} i(x, y) = ii(D) - ii(B) - ii(C) + ii(A).$$

Для краткости, в дальнейшем условимся обозначать подобное выражение через  $ii(ABCD)$ .



**Рис. 4.** Схема-иллюстрация к понятию интегрального изображения

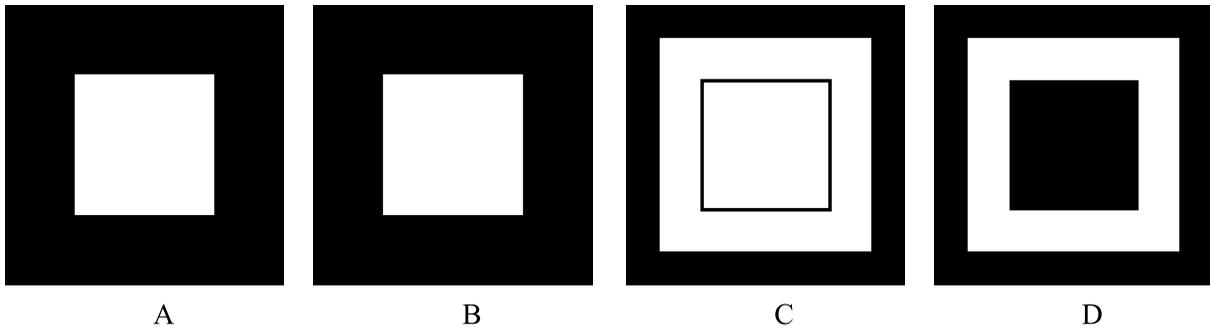


Рис. 5. Признаки, предлагаемые к рассмотрению

Предлагаются к рассмотрению следующие четыре семейства признаков (5 и 6).

- А – рамочный 2-квдратный центрально-симметричный признак. Он определяется двумя вложенными квадратами, внутренний располагается в центре внешнего. Значением признака А является  $ii(S_1)$ . Интенсивность пикселей во внутреннем квадрате  $S_2$  на результат вычислений не влияет.
- В – 2-квдратный центрально-симметричный признак. Определяется двумя квадратами. Производится подсчет разностей значений интенсивности пикселей в областях, на рис. 5А закрашенных черным и белым, соответственно. Значение признака В определяется как  $ii(S_1) - ii(S_2)$ .
- С – Рамочный 3-квдратный центрально-симметричный признак. Определяется тремя вложенными квадратами, расположенных в центральной симметрии относительно центра признака. Значения пикселей во внутреннем квадрате  $S_3$  на результат вычислений не влияет. Значение признака С может быть вычислено из соотношения  $ii(S_1) - ii(S_2)$ .

- D – 3-квдратный центрально-симметричный признак. Значение признака D определяется формулой  $ii(S_1) - ii(S_2) + ii(S_2)$ . Аналогично признаку В осуществляется вычисление разностей значений интенсивности пикселей в областях, закрашенных на рис. 5, D черным и белым.

## 2. Описание эксперимента

Для построения детектора применялся датасет из 1603 положительных примеров. Выполнялась аугментация изображений с помощью изменения гамма-коррекции и имитации частичного выцветания оттиска печати. После аугментации количество положительных примеров составило 3497. Негативный датасет состоял из 6412 не содержащих целиком оттиск печати изображений регионов паспорта. В качестве объекта для поиска использовался расширенный слева и справа на 36%, сверху на 27% и снизу на 18% образ печати. Это позволило использовать большую область для детектирования печати, что, как было показано в работе [12], способствует улучшению качества детектирования.

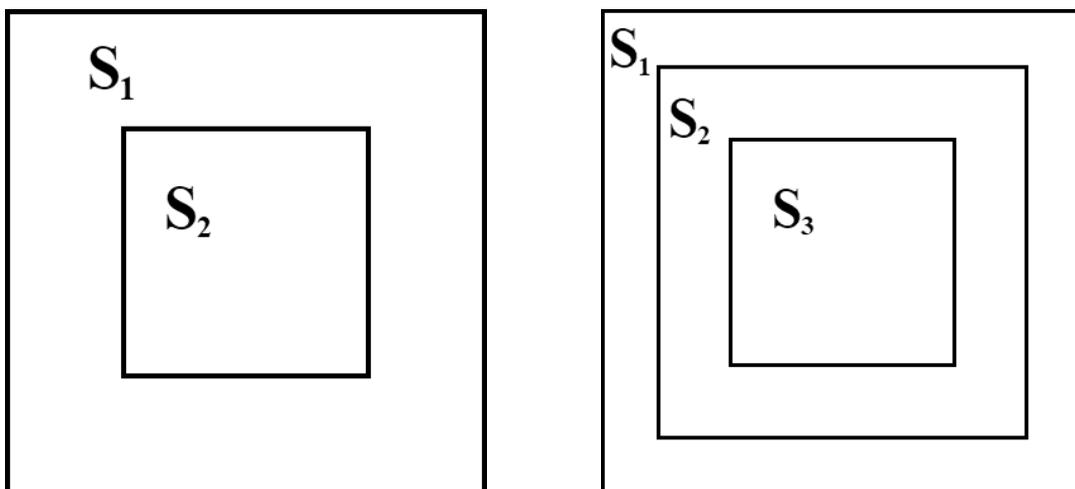


Рис. 6. Схема с выделенными областями, используемыми в вычислении квадратных центрально-симметричных признаков

В рамках эксперимента производилось обучение трех моделей детекторов.

В первой модели в качестве пространства признаков использовались классические 2-прямоугольные и 3-прямоугольные признаки Хаара.

Во второй в качестве пространства признаков использовались только представленные в данной работе квадратно-симметричные признаки.

В третьей модели использовалось признаковое пространство, составленное из совокупности классических 2-прямоугольных, 3-прямоугольных признаков и квадратных центрально-симметричных.

Во всех случаях признаки вычислялись поверх оригинального изображения, а также поверх изображения модуля градиента, что, как было показано в статье [12], способно улучшить показатели итогового детектора. Все остальные параметры алгоритма обучения каскада (максимально допустимые значения доли ложных срабатываний, критерии останова и т. д.) выбирались одинаковыми во всех моделях.

### 3. Результаты эксперимента

Проверка качества и точности построенных в эксперименте детекторов выполнялась на наборе данных из 2603 изображений второй страницы паспорта РФ с размеченной областью оттиска печати. В табл. 1 воспроизведены точность и полнота для трёх построенных моделей. При проверке качества для всех детекторов также подсчитывалось количество вычисляемых слабых классификаторов на каждом сканирующем окне. Среднее значение данного показателя для каждого детектора представлено в таблице. Данная величина представляется естественной оценкой быстродействия для детекторов типа Виолы-Джонса. На рис. 7 изображена карта насыщенности признаков для каждой построенной в рамках эксперимента модели.

Качество обученных детекторов оценивалось исходя из известных метрик:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP};$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN};$$

$$F_{mean} = \frac{2 \cdot Recall \cdot Precision}{Recall + Precision}.$$

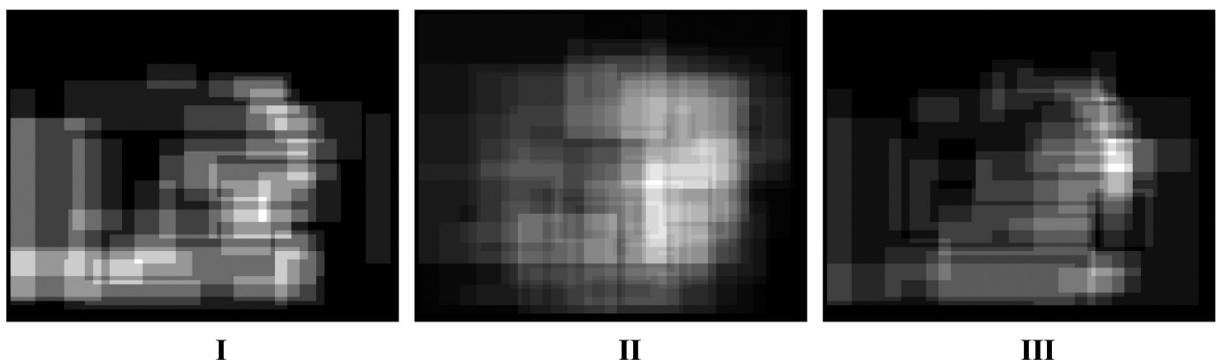
Результаты приведены в табл. 1.

**Табл. 1**

Качество и среднее количество вычисляемых слабых классификаторов на окно в рамках проведенного эксперимента

Номер модели	Precision	Recall	F-мера	Среднее количество слабых классификаторов на окно
<b>Модель 1</b>	0.9626	0.9985	0.9802	7.136
<b>Модель 2</b>	0.9646	0.9958	0.9800	14.813
<b>Модель 3</b>	0.9683	0.9988	0.9833	7.698

Из эксперимента следует, что все описанные способы позволяют строить детекторы, обладающие хорошей полнотой. Однако использование новых признаков сопряжено с улучшением в качестве обнаружения, заключающееся в меньшем количестве ложных срабатываний. Количество вычисляемых в среднем слабых классификаторов на окно оказалось схожим у модели, обученной на классических признаках и у модели, построенной на комбинированном пространстве. Модель, построенная исключительно с использованием центрально-симметричных признаков, демонстрирует существенно худший показатель быстродействия, — что логично обуславливается малой мощностью семейства возможных для генераций данных, исходя из серьезных заложенных в их конструкции ограничений, и сложностью к выделению отдель-



**Рис. 7.** Карта насыщенности признаков для построенных в эксперименте моделей

ных малых областей с увеличением глубины детектора.

Исходя из специфики задачи и принимая во внимание необходимость как можно более точного определения позиции искомого объекта на изображении, помимо параметров ложных положительных и отрицательных срабатываний и быстродействия, стоит учитывать и точность локализации детектором печати. В качестве метрики точности обнаружения используется, так называемая, мера Жаккара – отношение площади пересечения найденной детектором области с фактической областью печати к площади объединения этих областей. Данная метрика является классической и была представлена в работе [15]. На рис. 8 отображен график доли изображений без найденной печати в зависимости от минимально допустимого значения метрики. На оси абсцисс отмечено соответствующее пороговое значение для меры Жаккара, на оси ординат – доля изображений без найденного образа печати от общего числа изображений в наборе данных при определенном выставленном пороге точности. В табл. 2 представлено значение F-меры при различных показателях порога обнаружения объекта. Как можно видеть, существенно более точной локализации искомого объекта сопутствует применение центрально-симметричных признаков, учитывающих геометрические особенности отиска печати.

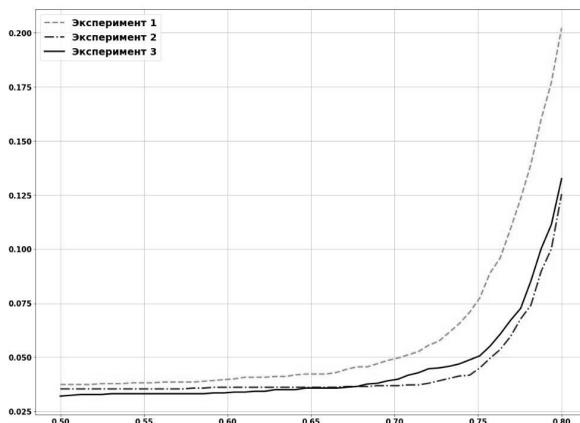
**Табл. 2**

Значение F-меры для представленных моделей с различными параметрами предельной допустимой для обнаружения объекта меры Жаккара.

Модель	0.5	0.6	0.7	0.8
1	0.9802	0.9783	0.9696	0.8188
2	0.9800	0.9792	0.9788	0.8888
3	0.9833	0.9818	0.9777	0.8877

## Заключение

В работе представлена модификация алгоритма Виолы и Джонса для локализации государственной гербовой печати в паспорте гражданина Российской Федерации. Для более эффективного нахождения области объекта предлагается расширение признакового пространства добавлением семейств квадратных центрально-симметричных признаков Хаара. Эта модификация делает итоговый детектор более устойчивым к неравномерности отиска печати, постепенным выцветанием со временем и различным углом проставления. Отмечено существенное улучшение точности решения задачи локализации. Предполагается, что подоб-



**Рис. 8.** Доля изображений без найденной печати при соответствующем пороге точности

ный подход может быть адаптирован для более результативного решения задачи детектирования прочих печатей и иных объектов, имеющих круглую форму.

## Литература

1. Viola P., Jones M.J. Robust Real-Time Face Detection // International Journal of Computer Vision 57, С. 137–154 (2004). <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>
2. Huang J., Shang Y., Chen H. Improved Viola-Jones face detection algorithm based on HoloLens // J Image Video Proc. 2019. Т. 2019. №. 1. С. 1-11.
3. Lu Wen-Yao, and Y.A.N.G. Ming. Face detection based on viola-jones algorithm applying composite features. 2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS) С. 82-85.
4. Поляков И.В., Кузнецова Е.Г., Усилин С.А., Николоев Д.П. Построение оптимальных каскадов Виолы–Джонса при помощи “жадных” алгоритмов перебора управляющих параметров с промежуточным контролем по валидационной выборке // Сенсорные системы. 2016. Т. 30. № 3. С. 241-248.
5. Пчелинцев С.Ю., Арзамасцев А.А. Применение Метода Виолы–Джонса для распознавания дорожных знаков // Российская наука в современном мире. 2019. С. 111-112.
6. Jose A, Thodupunoori H, Nair BB. A novel traffic sign recognition system combining Viola–Jones framework and deep learning // InSoft Computing and Signal Processing. Springer, Singapore. 2019. P. 507-517.
7. Hussein I.J. et al. Fully automatic segmentation of gynaecological abnormality using a new viola–jones model // Comput. Mater. Contin. 2021. Т. 66. P. 3161-3182.

8. *Usilin S.A., Slavin O.A., Arlazarov V.V.* Memory Consumption and Computation Efficiency Improvements of Viola–Jones Object Detection Method for Remote Sensing Applications // *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2021. Т. 31. № 3. P. 571-579.
9. *Xu Y, Yu G, Wang Y, Wu X, Ma Y.* A hybrid vehicle detection method based on viola-jones and HOG+SVM from UAV images. // *Sensors*. 2016 Aug 19;16(8):1325.
10. *Usilin S. et al.* Visual appearance based document image classification // *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*. Hong Kong, 2010. P. 2133–2136.
11. *Арлазаров В.В., Николаев Д.П., Усилин С.А., Шоломов Д.Л.* Распознавание гильоширных элементов: определение страниц паспорта РФ // *Труды ИСА РАН*. 2013. Т. 63. № 3. С. 106-110.
12. *Арлазаров В.В., Маталов Д.П., Усилин С.А.* Локализация образа печати на документе, удостоверяющем личность, методом машинного обучения // *Труды ИСА РАН*. 2018. Т. 68. Спецвыпуск № S1. С. 158-166. DOI: 10.14357/20790279180518.
13. *Kuznetsova E., Shvets E., Nikolaev D.* Viola-Jones based hybrid framework for real-time object detection in multispectral images // *ICMV 2015 / Antanas Verikas; Petia Radeva; Dmitry Nikolaev.* – Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). Т. 9875. 2015. P. 98750N1-98750N6. DOI: 10.1117/12.2228707.
14. *Алиев М.А., Арлазаров В.В., Маталов Д.П., Николаев Д.П., Полевой Д.В., Усилин С.А.* Способ оценки действительности документа при помощи оптического распознавания текста на изображении круглого оттиска печати/штампа на цифровом изображении документа // *Роспатент RU 2750395 C1*.
15. *Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I. et al.* The PASCAL Visual Object Classes (VOC) Challenge. *Int J Comput Vis*, 2010. Т. 88. No. 2, P. 303–338. <https://doi.org/10.1007/s11263-009-0275-4>.

**Валов Максим Александрович.** ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва. Лаборант-программист. Область научных интересов: теория аппроксимаций, машинное обучение. E-mail: m.valov@smartengines.com

**Маталов Даниил Павлович.** ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва. Научный сотрудник-программист. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва. Младший научный сотрудник. Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов, машинное обучение. E-mail: d.matalov@smartengines.com

**Усилин Сергей Александрович.** ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва. Исполнительный директор. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва. Ведущий научный сотрудник. Кандидат технических наук. Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов, машинное обучение. E-mail: usilin@smartengines.com (ответственный за переписку)

## The use of centrally symmetric Haar features for stamp localization on the passport of a citizen of the Russian Federation

M.A. Valov<sup>I</sup>, D.P. Matalov<sup>I,II</sup>, S.A. Usilin<sup>I,II</sup>

<sup>I</sup> Smart Engines Service LLC, Moscow, Russia

<sup>II</sup> Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** This paper proposes a modified version of the Viola-Jones algorithm to improve the accuracy of object localization in document images when searching for and locating a stamp. The modification involves expanding the feature space with square centrally symmetric features, resulting in a significant increase in accuracy. The effectiveness of this approach is demonstrated through its application to locating the official stamp on Russian Federation passports, and the paper provides quantitative estimates of the improvement achieved.

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

**DOI:** 10.14357/20790279230304

### References

1. *Viola P., Jones M.J.* Robust Real-Time Face Detection. *International Journal of Computer Vision* 57, P. 137–154 (2004). <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>
2. *Huang J., Shang Y., Chen H.* Improved Viola-Jones face detection algorithm based on HoloLens. *J Image Video Proc.* 2019. V. 2019. no. 1. P. 1-11.
3. *Lu Wen-Yao and Y.A.N.G. Ming.* Face detection based on viola-jones algorithm applying composite features. 2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS) P. 82-85.
4. *Polyakov I.V., Kuznetsova E.G., Usilin S.A., Nikolaev D.P.* Postroenie optimalnykh kaskadov violy–dzhonsa pri pomoshchi “zhadnykh” algoritmov perebora upravlyayushchikh parametrov s promezhutochnym kontrolem po validatsionnoi vyborke [Training optimal viola–jones detectors using greedy algorithms for selecting control parameters with intermediate validation on each level]. *Sensornye sistemy [Sensory systems]*. 2016. V. 30(3). P. 241-248 (in Russian).
5. *Pchelincev S.Y., Arzamashev A.A.* Primenenie Metoda Violy-Dzhonsa dlya raspoznavaniya dorozhnykh znakov [Applying the Viola-Jones Method to Traffic Sign Recognition]. *Rossiyskaya nauka v sovremennom mire [Russian science in the modern world]*. 2019. P. 111-112.
6. *Jose A, Thodupunoori H, Nair BB.* A novel traffic sign recognition system combining Viola–Jones framework and deep learning. *InSoft Computing and Signal Processing*. Springer, Singapore. 2019. P. 507-517.
7. *Hussein I.J. et al.* Fully automatic segmentation of gynaecological abnormality using a new viola–jones model. *Comput. Mater. Contin.* 2021. V. 66. P. 3161-3182.
8. *Usilin S.A., Slavin O.A., Arlazarov V.V.* Memory Consumption and Computation Efficiency Improvements of Viola–Jones Object Detection Method for Remote Sensing Applications. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2021. V. 31. No. 3. P. 571-579.
9. *Xu Y, Yu G, Wang Y, Wu X, Ma Y.* A hybrid vehicle detection method based on viola-jones and HOG+ SVM from UAV images. *Sensors*. 2016. Aug 19;16(8):1325.
10. *Usilin S. et al.* Visual appearance based document image classification. *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*. Hong Kong. 2010. P. 2133–2136.
11. *Arlazarov V.V., Nikolaev D.P., Usilin S.A. and Sholomov D.L.* Raspoznavanie gil’oshirnykh elementov: opredelenie stranic pasporta RF [Guilloche Elements Recognition Applied to Passport Page Processing]. *Trudy ISA RAN*. 2013. V. 63. No 3. P. 106-110.
12. *Arlazarov V.V., Matalov D.P. and Usilin S.A.* Lokalizaciya obraza pečati na dokumente, udostoverayushchem lichnost’, metodom mashinnogo obucheniya [Localization of the seal on the identity document image using machine learning approach]. *Trudy ISA RAN. Special Issue*. 2018. No. 1. Vol. 68. P. 158-166.
13. *Kuznetsova E., Shvets E., Nikolaev D.* Viola-Jones based hybrid framework for real-time object detection in multispectral images. *ICMV* 2015 V. 9875. 2015. P. 98750N1-98750N6. DOI: 10.1117/12.2228707.
14. *Aliiev M.A., Arlazarov V.V., Matalov D.P., Nikolaev D.P., Polevoy D.V. and Usilin S.A.* Sposob ocenki dejstvitel’nosti dokumenta pri pomoshchi opticheskogo raspoznavaniya teksta

na izobrazhenii kruglogo ottiska pečati/shtampa na cifrovom izobrazhenii dokumenta [Method of assessing the validity of a document using optical recognition of text on the image of a round impression of a print / stamp on a digital image of a document] // Rospatent RU 2750395 C1.

15. *Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I. et al.* The PASCAL Visual Object Classes (VOC) Challenge. *Int J Comput Vis.* 2010. V. 88. No. 2, P. 303–338. <https://doi.org/10.1007/s11263-009-0275-4>

**Valov M.A.** Laboratory assistant-programmer at Smart Engines Service LLC, Moscow, Russia. Number of publications: 1. Research interests: approximation theory, machine learning. E-mail: [m.valov@smartengines.com](mailto:m.valov@smartengines.com)

**Matalov D.P.** Researcher-programmer at Smart Engines Service LLC, Moscow, Russia. Junior researcher at the Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Research interests: image processing, pattern recognition, machine learning. E-mail: [d.matalov@smartengines.com](mailto:d.matalov@smartengines.com)

**Usilin S.A.** Executive Director at Smart Engines Service LLC, Moscow, Russia. Leading Researcher at the Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. PhD. Research interests: image processing, pattern recognition, machine learning. E-mail: [usilin@smartengines.com](mailto:usilin@smartengines.com)