

Аналитическая модель цифрового изображения круглой печати

The analytical model for digital image of a round stamp

Ключевые слова: цифровое изображение печати – seal digital image; коэффициент корреляции – correlation coefficient; компонентный анализ – component analysis, RanSaC.

В статье рассматриваются вопросы формирования пространства признаков для идентификации цифровых изображений печатей. Представлена аналитическая модель цифрового изображения круглой печати.

The article considers the problem of feature space forming to identify digital image stamps. The analytical model of a digital image of the round stamp is presented.

В настоящее время, несмотря на развитие телекоммуникационных технологий, повсеместное использование сети Интернет и электронной почты остается широко распространенной такая форма передачи документов как факсимильная связь. Основное достоинство факсимильной связи – простота использования, что обуславливает рост рынка факсимильного оборудования. Сегодня в мире установлено более 140 млн. факсмашинок и ежегодно продается до 6 млн. новых аппаратов [1]. По данным исследований Davidson Consulting, объем рынка факсуслуг в 2012 году составил 1,17 трлн. долларов, а к 2016 году прогнозируется увеличение объема рынка до 2,37 трлн. долларов [2]. Факсимильная связь остается востребованной в течение последних 30 лет.

При этом современные условия ведения бизнеса диктуют необходимость разработки средств обработки факсимильных сообщений, внедрение средств электронного документооборота, ведения архива принятой документации, оперативного поиска сообщений графических форматов (СГФ) в данном архиве.

Одним из способов повышения производительности обработки потока СГФ может стать их сортировка посредством анализа бланка по эмблеме/логотипу, печати организации без

ШИШКИН / SHISHKIN N.

Николай Викторович

(shishkin_nv@mail.ru)
доктор технических наук.
Академия ФСО России,
военнослужащий.
г. Орел

БИТКОВ / BITKOV E.

Евгений Николаевич

(bitkov321@mail.ru)
Академия ФСО России,
адъютнт.
г. Орел

распознавания текстового содержимого. Однако данная функция в современных средствах документооборота отсутствует. Известные алгоритмы позволяют решать указанную задачу только при существенных ограничениях, накладываемых на положение, ориентацию, масштаб изображения, а также на характер воздействующих шумов.

В данной статье представлена аналитическая модель цифрового изображения (ЦИ) круглой печати, позволяющая выявлять характеристические векторы (ХВ) признаков круглых печатей и отличающаяся от известных моделей инвариантностью к повороту, масштабу и воздействию шумов в виде наложения реквизитов документа на изображение оттиска печати.

Процесс моделирования ЦИ круглой печати представляет собой последовательность преобразований функции яркости пикселей изображения в характеристический вектор.

Рассмотрим представленные преобразования более подробно.

Этап I. Предобработка входного изображения круглой печати.

В рамках данного этапа осуществляется коррекция яркости и высокочастотная фильтрация изображения печати с целью устранения возникающих на ЦИ шумов типа «соль и перец».

Этап II. Вычисление геометрических параметров изображения круглой печати в условиях воздействия помех.

Подпись и текст документа, расположенные на изображении оттиска печати, являются дополнительными шумовыми составляющими, снижающими эффективность поиска изображения печати на документе и влияющими на точность ее идентификации.

Для поиска центра окружности необходимо ввести понятие граничных точек изображения печати.

Определение 1. Граничной точкой изображения печати будем называть такую точку изображения, в которой происходит резкое изменение градиента яркости в направлении, перпендикулярном границе ЦИ оттиска печати.

Для поиска граничных точек проводится попиксельное сканирование каждой строки градиентного изображения до момента нахождения первого пикселя, превышающего заданный порог яркости. Сканирование проводится четыре раза – сначала слева направо, затем справа налево, сверху вниз и снизу вверх. Таким образом формируется граница изображения. Однако в результате воздействия шума фотоприемной матрицы, наложения текста и перекрытия подписи граница изображения печати не идеальна: граничные точки изображения не принадлежат одной окружности (рис. 1). Это позволяет интерпретировать задачу определения центра ЦИ круглой печати как нахождение окружности, которая проходит через максимальное количество граничных точек изображения.

Для решения данной задачи решено использовать метод отбраковки аномальных данных (выбросов) RANSAC (RANdom SAMple Consensus) [3]. Задавшись долей выбросов не более 60% и точностью 0,975, проводим 56 испытаний [4].

Этап III. Масштабирование изображения печати.

Необходимо учитывать, что более 90% всех факсимильных сообщений передаются в стандартном режиме [5], который предполагает разрешение 1728 пикселей по горизонтали и 1143 пикселей по вертикали. Диаметр гербовой печати (РФ в частности), согласно анализу нормативной документации, составляет 40–50 мм. Таким образом, во избежание внесения дополнительных помех при масштабировании целесообразно осуществлять приведение ЦИ печатей к размеру 361x361 пиксель. Однако при наличии соответствующих вычислительных ресурсов логично вычислять ХВ признаков для каждого класса печатей при различных разрешениях.

Этап IV. Вычисление колец яркостей пикселей изображения печати.

В зависимости от разрешения изображения печати после масштабирования вычисляется количество точек (K) в каждом кольце яркостей пикселей

$$K = \frac{2\pi}{\arctg\left(\frac{1}{R}\right)}, \quad (2)$$

где R – значение внешнего радиуса печати (в пикс.).

Иными словами, число точек вычисляется исходя из того условия, что на окружности наибольшего радиуса расстояние между двумя соседними точками должно быть не больше размера одного пикселя. При этом минимальный угол между двумя прямыми, проходящими через точку (\bar{x}, \bar{y}) , вычисляется по следующей формуле:

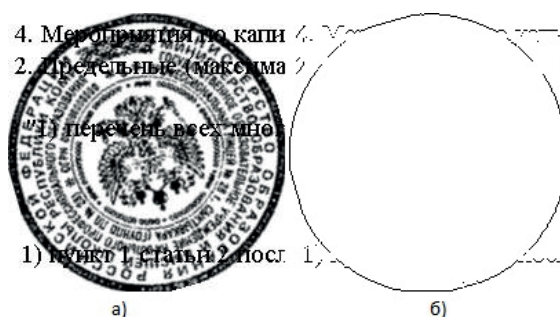


Рис. 1. а) Исходное изображение печати с наложением текста документа б) выделенные граничные точки изображения оттиска печати.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

$$\beta = \arctg\left(\frac{1}{R}\right). \quad (3)$$

После вычисления шага угла происходит формирование колец яркостей пикселей ЦИ оттиска печати.

Определение 2. Кольцом яркости пикселей радиуса r_a будем называть вектор значений яркостей пикселей, расположенных на расстоянии a от центра изображения печати, считываемых по окружности против часовой стрелки с шагом β градусов в следующей последовательности:

1. Задаются начальные условия $r = 1$, $\alpha = 0$.
2. Вычисляются координаты очередной точки для считывания:

$$x = \bar{x} + r \cos(\alpha); \quad (4)$$

$$y = \bar{y} + r \sin(\alpha). \quad (5)$$

3. Значение яркости пикселя с координатами (x, y) заносится в соответствующую позицию вектора яркости пикселей радиуса r .

4. Угол α увеличивается на величину β .

5. Шаги 2–4 повторяют до тех пор, пока α не станет равным 360° .

6. Значение текущего радиуса r увеличивают на

1. Шаги 2–5 повторяются до тех пор, пока $r < R$.

Пример полученного набора колец яркостей пикселей представлен на рис. 2.

Утверждение 1. Поворот изображения оттиска печати при неизменном центре изображения печати ведет к циклическому сдвигу значений колец яркостей пикселей.

Данное утверждение доказывается посредством представления пикселей изображения в полярной системе координат. Получение декартовых координат из полярных осуществляется с использованием выражений (4, 5). Обратное преобразование описывается выражениями

$$R = \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{y}{x}\right). \quad (6)$$

Известно, что формулы (4–6) задают взаимно-однозначное преобразование точек из полярной в декартову систему координат. Поэтому поворот точки в декартовой системе координат относительно центра изображения печати приводит к ее смещению на угол α в полярной системе координат. Таким образом, утверждение 1 доказано.

Этап V. Вычисление характеристического вектора признаков.

Для вычисления ХВ признаков выдвинута гипотеза о том, что характер зависимостей между смежными кольцами яркостей пикселей может быть использован в качестве признаков для различения ЦИ печатей. Для количественной оценки степени зависимости предлагается использовать



Рис. 2. Пример формирования колец яркостей пикселей.

а) – исходное изображение оттиска печати.

б) – сформированные кольца яркостей пикселей, представленные в графическом виде

вычисление коэффициента корреляции в смежных кольцах яркостей пикселей.

Для двух колец яркостей пикселей радиусов r_a и r_b соответственно коэффициент корреляции вычисляется по формуле [6]:

$$r_{ab} = \frac{\sum_{k=1}^K (I(\alpha_k, r_a) - \bar{I}_a)(I(\alpha_k, r_b) - \bar{I}_b)}{\sqrt{\sum_{k=1}^K (I(\alpha_k, r_a) - \bar{I}_a)^2 (I(\alpha_k, r_b) - \bar{I}_b)^2}}, \quad (7)$$

где $I(\alpha_k, r_a)$ – значение яркости пикселя на расстоянии r_a от центра изображения печати и углом α_k от оси абсцисс;

$$\alpha_k = k\beta; \quad (8)$$

$$\bar{I}_a = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K I(\alpha_k, r_a), \quad \bar{I}_b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K I(\alpha_k, r_b). \quad (9)$$

Характеристический вектор признаков формируется посредством последовательного вычисления коэффициента корреляции в смежных кольцах яркостей пикселей и занесения их в вектор:

$$U\{r_{1,2}, r_{2,3}, \dots, r_{R-2,R-1}\} \quad (10)$$

где $r_{i,i+1}$ – значение коэффициента корреляции между кольцами яркостей пикселей радиуса i и $i+1$.

При формировании характеристического вектора ЦИ оттиска печати его длина соответствует размеру внешнего радиуса окружности и для факсимильных сообщений стандартного разрешения составляет 180 позиций.

Для снижения размерности признакового пространства и устранения коррелированности признаков применимы методы компонентного анализа [7]. Благодаря этому появляется возможность перехода к меньшему числу переменных за счет отбрасывания последних компонент, которым соответствуют малые дисперсии [8].

Для предварительных экспериментов с использованием компонентного анализа сформировано 2160 монохромных изображений трех разных печатей. Из них – 1080 чистых изображений и 1080 изображений, содержащих наложения текста документа. Для каждого ЦИ вычислялся ХВ. Затем все полученные ХВ чистых печатей использовались в качестве исходных данных для компонентного анализа. Его проведение позволило сформировать главные компоненты, из которых 10 первых обеспечивают 93% вклада в общую дисперсию.

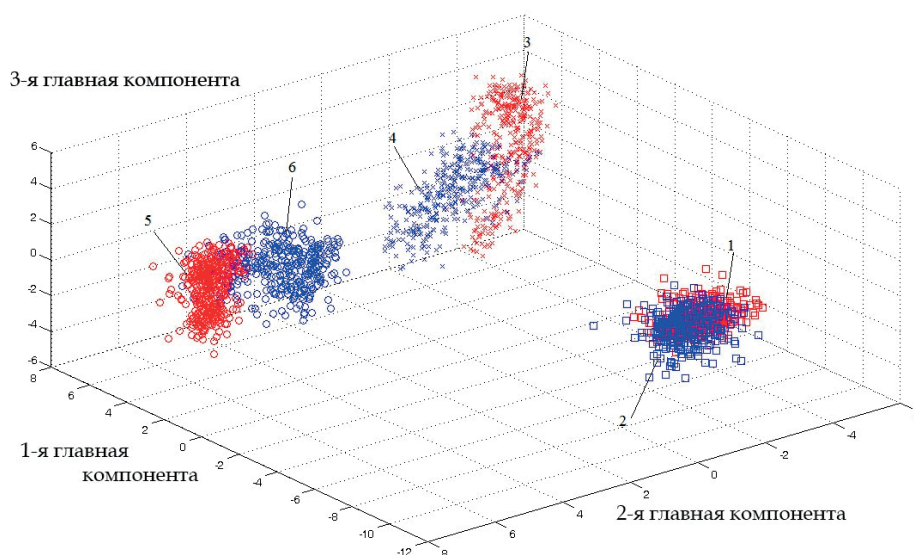


Рис. 3. Результат построения ХВ 1080 чистых и 1080 изображений печатей с наложением текста документа в пространстве трех первых главных компонент.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Далее вычислялись значения главных компонент для каждого изображения из той же выборки. Для визуализации результатов, полученных при вычислениях, построено трехмерное пространство, оси которого соответствуют трем первым главным компонентам. В данном пространстве получены точки для всех 2160 изображений (рис. 3). Обозначения на рис. 3 в виде окружностей крестиков и квадратов соответствуют трем различным изображениям печатей, повернутых с шагом в 1 градус, при этом красным цветом (1, 3, 5) выделены векторы в пространстве главных компонент, полученные из чистых печатей, а синим (2, 4, 6) – из изображений печатей, на которые был наложен текст документа.

На рис. 3 становится возможным выделить области изображений печатей трех разных классов. При этом изображения печатей, искаженные наложением текста документа, в пространстве главных компонент группируются вблизи своих чистых копий, вследствие чего становится возможным построить разделяющие поверхности по обучающей выборке чистых печатей и произвести идентификацию изображений оттисков печатей.

Необходимо отметить, что информация о дисперсии выборки для трех главных компонент составляет 82%. Следовательно, границы классов анализируемых ЦИ можно определить даже при потере 18% информации о дисперсии. Для снижения разброса значений и увеличения точности определения границ необходимо дополнительно использовать оставшиеся информативные главные компоненты.

Таким образом, аналитическая модель ЦИ круглой печати представлена выражением 10, а также утверждением 1. А процесс моделирования включает этапы преобразования информации из значений функции яркости изображения печати в R-мерный характеристический вектор-признак. Анализ поведения ХВ показывает его устойчивость к повороту ЦИ и наложению текста документа на изображение печати. Результаты проведенных исследований информативного признака позволяют сделать вывод о том, что размерность ХВ возможно редуцировать посредством применения компонентного анализа, а сам признак может быть использован для идентификации ЦИ оттисков печатей.

Литература

1. Ван Беллинген Т. Факс жив, факс будет жить [Электронный ресурс] // Международный компьютерный еженедельник Computerworld Россия. – 2006 г. – № 1. – Режим доступа : <http://www.osp.ru/cw/archive/#2006/01>, свободный. — Загл. с экрана.

2. Исследование рынка факсимильных услуг [Электронный ресурс] / Davidson Consulting. – Режим доступа : <http://davidsonconsultinginc.com/reports.html>, свободный. – Загл. с экрана.

3. Fischler M.A. Random Sample Consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography / Martin A. Fischler, Robert C. Bolles // Communications of the ACM. – 1981. – Vol. 24. – P. 381–392.

4. Конушин А. Устойчивые алгоритмы оценки параметров модели на основе случайных выборок // Компьютерная Графика и Мультимедиа Сетевой журнал. – 2003. – Режим доступа : <http://cgim.computergraphics.ru/content/view/47>, свободный. – Загл. с экрана.

5. Davidson P. Technology Update: Integrating Fax into Microsoft Office Environments / P. Davidson, L. Johnson // Microsoft TechNet 2004. – Режим доступа : <http://www.pdfio.com/k-1758842.html>, свободный. – Загл. с экрана.

6. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

7. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт ; пер. с англ. под редакцией Стефанюка В.Л. — М.: Мир, 1976. – 511 с.

8. Юсупов Р. М. Статистические методы обработки результатов наблюдений / Р. М. Юсупов и др.; под ред. Р. М. Юсупова. М.: МО СССР, 1984. – 786 с.