

УДК 681.6.012+51-74+004.021

Н. Н. Л о б а н о в, С. Б. О д и н о к о в,
А. Ю. П а в л о в

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ПРИНТЕРОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ШТРИХОВ ПИСЬМЕННЫХ ЗНАКОВ

Проанализированы результаты современных исследований в области дифференциации печатающих устройств на основе выделения характеристик погрешностей, создаваемых ими в отпечатанных документах. Данная область исследований актуальна для целей технико-криминалистической экспертизы документов при выявлении возможной их подделки. Рассмотрены методы численного описания распределений тонера, возникающих из-за дефектов и неоднородности параметров основных узлов печатающих устройств и картриджей лазерных принтеров.

**E-mail: extech@phys.msu.ru; odinokov@rl2.bmstu.ru;
pavlovs@hotmail.ru**

Ключевые слова: *дифференциация печатающих устройств, текстурные признаки, автоматическая классификация.*

Разработка эффективных методик дифференциации электрофотографических печатающих устройств осложнена высокой точностью изготовления узлов и деталей принтеров, введением в схемы управления обратных связей, компенсирующих зазоры холостого хода, использованием для формирования изображений набора дискретных элементов с характеристическими размерами порядка 1...10 мкм, что в совокупности существенно сужает возможности дифференциации устройств.

Сложность данной проблемы не позволяет в настоящее время найти ее универсальное решение. В связи с этим большое значение приобретает опыт, полученный экспертами при решении идентификационных задач в тех или иных частных случаях. Значительный эмпирический опыт, накопленный при экспертизах, показывает, что в документах находят свое отражение признаки, возникновение которых обусловлено различными факторами, а в формировании следовой картины играют роль практически все узлы принтера.

В подавляющем числе документов, попадающих на технико-криминалистическую экспертизу, не встречается участков с однородной заливкой, поэтому основное исследование по дифференциации офисных электрофотографических печатающих устройств направлено

на выявление дефектов в размере и форме букв, а также в областях перехода одного цвета в другой и на выявлении периодических марашек.

В настоящее время во всем мире проводится множество исследований, посвященных возможностям дифференциации печатающих устройств по образцам документов, отпечатанным на них. Основные направления этих исследований следующие:

- выявление дефектов печати, возникающих из-за неравномерности вращения фотобарабана и скорости протягивания листа;
- выявление размытости печатных символов, а также параметров оптической плотности в области букв;
- выявление мелкой структуры в контурах печатных символов, связанных как с растеканием заряда по фотобарабану, так и с модуляцией мощности лазерного излучения в процессе создания на фотобарабане скрытого изображения;
- выявление разности в размерах печатных символов одного шрифта и кегля при их печати на принтерах разных производителей, что связано в основном с внутренними настройками микропрограмм, прошитых в память принтеров, и разбросом параметров оптических элементов сканирующего блока для каждой модели принтера;
- выявление особенностей химического состава тонера с помощью инфракрасной спектроскопии, пиролитической газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

В настоящей статье будут рассмотрены основные работы по этим темам.

Обзор технических публикаций по теме “Экспертиза документов, выполненных с помощью цифровой печати”. Авторы статьи [1] исследовали возможность определения марки принтера для выявления дефектов печати, свойственных конкретной модели принтера, которые не являются визуально заметными на структурированных двух градационных изображениях. Такие погрешности связаны с работой систем развертки лазерного луча, вращения фотобарабана, с протягиванием листа бумаги и являются конструктивными особенностями каждой модели принтера и должны претерпевать малые изменения за весь период эксплуатации печатающего устройства. В своем эксперименте авторы статьи исследовали принтеры четырех марок (HP Laserjet 4050, HP Laserjet 1200, Samsung ML-1450, HP Laserjet 1000), используя два принтера каждой модели.

Расчет погрешностей проводился по распечатанным изображениям в виде параллельных полос, идущих вдоль длинной стороны листа, занимающих 6 дюймов от ширины листа и имеющих площадь заполнения 12,5 %, 25 %, 33 % и 50 %. Отсканированные изображения были

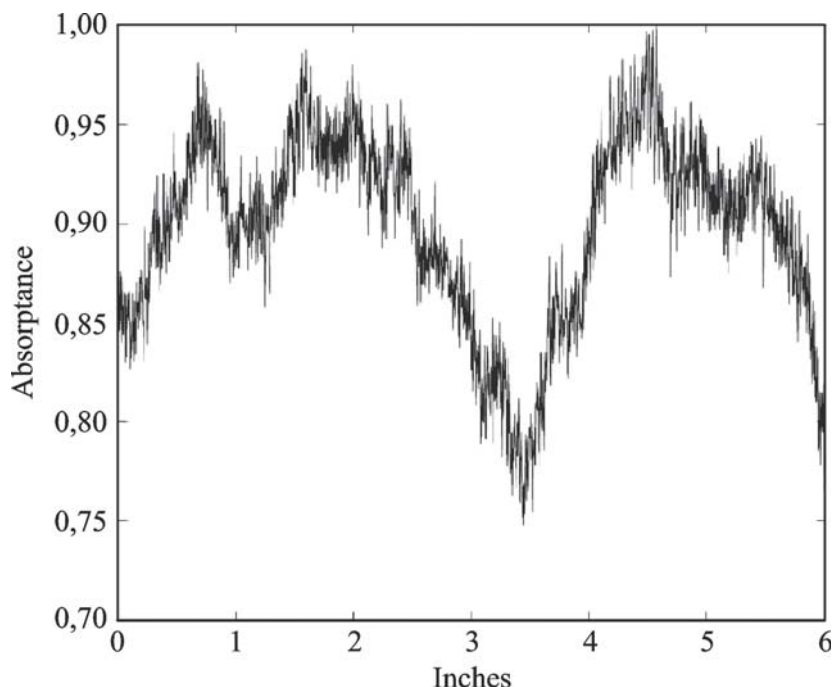


Рис. 1. Усредненное по горизонтали изображение набора вертикальных полос

преобразованы в одномерные данные путем усреднения яркости поперек полос (рис. 1). Далее вычисляли спектры мощности (рис. 2) и выделяли в них пиковые составляющие (табл. 1).

Таблица 1

Значения частот пиковых составляющих, выделенных из спектров мощности

Print	Principal Banding Frequencies (cycle/inch) for Greylevel Patches, %			
	12,5	25	33	50
LJ 1000	27,69	27,68	27,69	27,69
LJ 4050	51	51	51	51,100
ML-1450	16, 100, 106	16, 32, 100, 106	16, 32, 100, 106	16, 32, 100, 106
LJ 1200	69	69	69	69

Отметим высокую повторяемость пиковых частот в спектрах мощности для разных плотностей заполнения линиями изображений и их неизменность для следующих копий, сделанных на данных принтерах.

В работах [2–4] приведен метод для разработки средств компенсации погрешностей печати принтеров, использующий информацию об их периодических погрешностях и корректирующий соответственно скорости протягивания бумаги и развертки лазерного луча.

Развитие предложенного метода для дифференциации принтеров непосредственно по анализу напечатанных ими текстов приведено в работе [5]. Авторы предлагают выделять в тексте на листе все одинаковые символы и для каждого символа строить одномерную функцию, рассчитываемую как проекция символа на направление протягивания листа через принтер. Полученное распределение для каждого символа

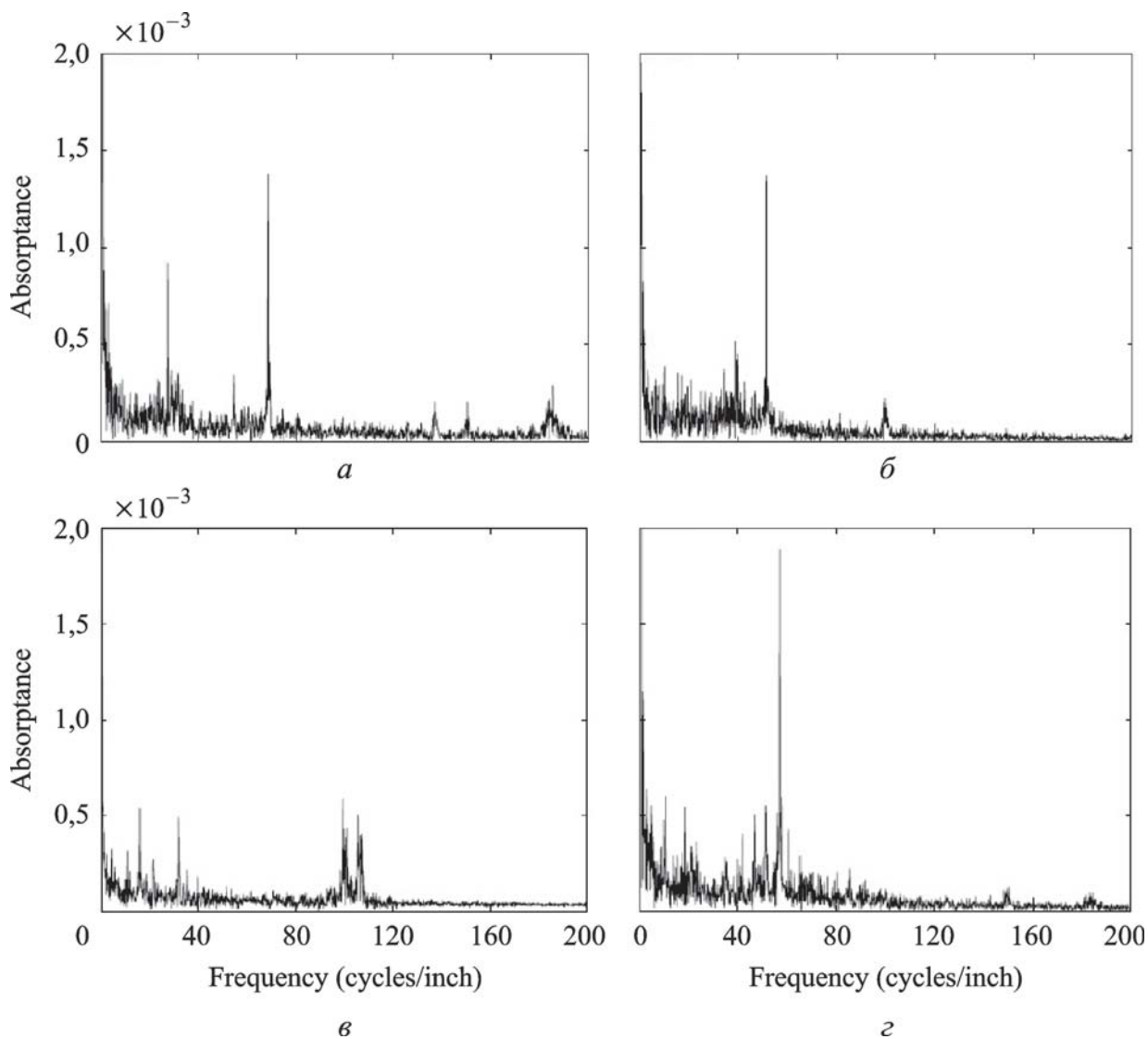


Рис. 2. Спектры мощности изображений при использовании принтеров LJ 1000 (а), LJ 4050 (б), ML-1450 (в) и LJ 1200 (г)

на листе для разных печатающих устройств является исходным набором данных для определения кластеров. Авторы предлагают использовать алгоритм вычисления главных компонент (Principal Component Analysis (PCA)) для наборов исходных функций и использовать две первые компоненты разложения. Результаты эксперимента по дифференциации лазерных принтеров приведены в табл. 2.

В седьмой колонке табл. 2 показан процент правильной дифференциации модели принтера, причем в эксперименте использовали по два принтера одной модели, образцы печати одного принтера использовали для обучения классификатора, а другого — для тестирования. При тестировании были использованы по 40 образцов печати на каждом принтере. Исследователи отмечают, что принтеры HP LaserJet 1200 и HP LaserJet 1000 имеют практически идентичные внутренние конструкции, поэтому вероятность правильной классификации между ними низка.

Задача выявления размытости печатных символов рассматривалась в статьях [6, 7]. Авторы предлагали использовать данную методику для

Классификация лазерных принтеров с использованием классификатора по смеси гауссовых моделей

Class	LJ4050	LJ1200	LJ1000	Oki	SS	CCR
Test						(%)
LJ 4050	40	0	0	0	0	100
LJ 1200	0	25	15	0	0	62,5
LJ 1000	0	35	5	0	0	12,5
Oki	0	0	0	40	0	100
SS 1450	0	0	0	0	40	100

*LJ=Laserjet, Oki=Okipage 14e, SS=Samsung ML-1450, and CCR=Correct Classification Rate

быстрого анализа подлинности документов в организациях с большим документопотоком (банки, страховые компании и т.д.). Предлагаемый метод должен различать документы, выполненные на струйных и лазерных принтерах. Авторы анализируют возможность использования низкого разрешения от 100 dpi при регистрации цифрового изображения документов и разные совокупности параметров, которые можно выделить из цифровых изображений. Для анализа предлагаются следующие параметры:

неровность линии края (Line Edge Roughness), рассчитываемую как отношение периметра контура символа, вычисленного по изображению с малым разрешением, и периметра, вычисленного по изображению с высоким разрешением; для нормализации данное отношение умножается на масштабный коэффициент, связывающий разрешения;

различие площадей (Area Difference), равное разности между площадями, занимаемыми символом при двух разных порогах бинаризации; данная разность нормализуется делением на площадь, рассчитанную для большего порога бинаризации;

коэффициент корреляции (Correlation Coefficient), рассчитываемый по формуле

$$\text{correlation} = \frac{\sum_{[i,j] \in \text{ROI}} (A[i,j] - \bar{A})(B[i,j] - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{[i,j] \in \text{ROI}} (A[i,j] - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{[i,j] \in \text{ROI}} (B[i,j] - \bar{B})^2}},$$

где $A[i, j]$ — значения яркостей пикселей в исходном изображении в градациях серого; $B[i, j]$ — бинаризованное изображение; ROI — область интереса, т.е. участок, включающий в себя символ целиком.

Для усиления этого критерия предлагается в качестве изображений использовать не сами символы, а их контуры в сером и бинарном видах;

текстура (Texture); предлагается считать наподобие градационной матрицы смежности (Gray-level co-occurrence matrix — GLCM), но смежность определять между двумя изображениями, т.е. между исходным серым и изображением, полученным из него путем размытия гауссовым фильтром, низкоуровневым приближением вейвлет-преобразования или преобразованным при использовании локальных бинарных карт. Для полученной матрицы смежности $p[i, j]$ рассчитывается четыре параметра по формулам

$$\text{contrast} = \sum_{i,j} |i - j|^2 p[i, j],$$

$$\text{correlation} = \frac{\sum_{i,j} (i - \mu_x)(j - \mu_y) p[i, j]}{\sigma_x \sigma_y},$$

$$\text{energy} = \sum_{i,j} p^2[i, j],$$

$$\text{homogeneity} = \sum_{i,j} \frac{p[i, j]}{1 + |i - j|},$$

где

$$\mu_x = \sum_{i,j} i p[i, j], \quad \mu_y = \sum_{i,j} j p[i, j],$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i,j} (i - \mu_x)^2 p[i, j]}, \quad \sigma_y = \sqrt{\sum_{i,j} (j - \mu_y)^2 p[i, j]};$$

периметр, базирующийся на неровности края (Perimeter Based on Edge Roughness), т.е. разность периметров бинаризованных изображений (исходного и сглаженного медианной фильтрацией); нормализуется делением на значение периметра сглаженного изображения;

карта расстояний, базирующаяся на неровности края (Distance Map Based on Edge Roughness), рассчитывается как минимальное расстояние для каждой точки контура символа, определенного по исходному изображению, до краевой точки символа, найденной в сглаженном изображении. Карта расстояний преобразуется в гистограмму расстояний, для которой рассчитывают среднее значение, дисперсию, относительное расстояние

$$\text{DIST}_{rel} = \frac{\sum_{x \in \text{Edge}} \text{dist}_{map}(x)}{|\text{Edge}|}$$

и максимальное расстояние

$$\text{DIST}_{max} = \max_{d \in \text{dist}_{map}} \{d - \overline{\text{dist}_{map}}\};$$

здесь $Edge$ — число точек, принадлежащих контуру края символа;

распределение серых значений по печатной области (Gray Value Distribution on Printed Area), т.е. интегральная гистограмма яркостей серых точек по площади, определяемой символом при бинаризации. В качестве параметров используются параметры a, b аппроксимирующей гистограмму прямой, определяемые формулами

$$b = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x},$$

$$\bar{x} = \sum_{i=0}^n x_i, \quad \bar{y} = \sum_{i=0}^n y_i, \quad n = 255.$$

Совместное использование всех предложенных критериев для классификации отпечатанных документов по принадлежности к определенному принтеру, информация о котором заранее введена в базу данных и для которого было проведено обучение системы по достаточно большой выборке, позволяет получить вероятность правильной дифференциации не менее 80 % даже для образцов, отснятых с разрешением 200 dpi. Причем исследователи отмечают, что для некоторых параметров увеличение разрешения приводит к увеличению погрешности дифференциации.

В работах [8, 9] приведены результаты исследования возможности дифференциации принтеров (при использовании в качестве символов прямоугольников разной формы и ориентации) по четырем критериям:

— гистограмме распределения яркостей пикселей в области, занимаемой символом (численные параметры, используемые для описания гистограммы, — интенсивность наибольшего числа пикселей и доля пикселей с такой интенсивностью в общем числе точек на символе);

— градиентам яркости на краях символа (градиенты рассчитывались для каждой точки края и обобщались по одинаково направленным краям разных символов);

— числу точек “спутников” (брызги чернил и частицы тонера, лежащие вокруг символа и не имеющие с ним общих границ; число точек рассчитывалось в зоне определенного размера, за “спутники” принимались только точки определенного размера и яркости);

— равномерности зачернения символа (метод расчета не описан).

В экспериментах, проведенных автором данных статей, были использованы как лазерные, так и струйные принтеры, а также устройства фотокопирования. Отметим, что предложенные в работах [8, 9] численные критерии и методы классификации уверенно справляются только с разделением устройств по принципу печати. При сравнении однотипных печатающих устройств значения предлагаемых параметров очень близки и использованные методы классификации не позволяют их разделить.

В статьях [10–12] рассматривается возможность дифференциации моделей электрофотографических печатающих устройств по параметрам, описывающим мелкую структуру распределения тонера по площади символа и рядом с его границами. Авторы провели эксперимент, используя набор из 10 лазерных принтеров, в котором дифференциация велась по численным параметрам, рассчитанным по градационной матрице смежности (GLCM), построенной для буквы “e” как самого распространенного символа в английском языке. В качестве численных параметров был выбран набор из 22 параметров, описывающих структуру градационной матрицы смежности.

В табл. 3 приведены тестовые результаты дифференциации, полученные в работах [10, 11] при использовании в классификаторе всех 22 выбранных параметров.

Таблица 3

Результаты классификации лазерных принтеров по вектору из 22 параметров

In\Out	hl1440	li4050	e320	li1000	li1200	li5m	li6mp	1250W	14e	mll1430	Majority Vote
hl1440	197	0	1	1	0	11	6	57	21	6	hl1440
li4050	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	li4050
e320	0	0	248	0	2	0	0	36	13	1	e320
li1000	4	0	0	152	66	5	11	7	4	51	lj1000
li1200	3	0	0	99	130	14	11	13	1	51	lj1200
li5M	60	0	1	1	7	165	29	30	5	2	lj5M
li6MP	30	0	14	11	6	28	153	29	9	20	lj6MP
1250W	33	0	49	2	1	7	4	181	20	3	1250W
14e	74	0	25	1	2	2	3	128	62	3	1250W
mll1430	10	0	9	61	15	21	30	13	17	124	mll1430

В табл. 3 на пересечениях столбцов и строк записаны числа, соответствующие числу подобных пар при распознавании. Из приведенных результатов следует, что метод из 10 принтеров ошибочно распознал только один. На остальных девяти принтерах метод показал очень хорошие результаты распознавания.

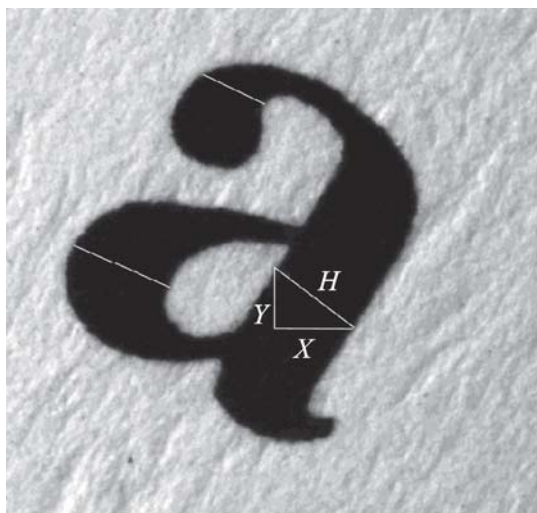


Рис. 3. Пример изображения символа и отрезков между противоположными границами символа

возможность создания автоматической системы для судебных экспертиз, которая, анализируя цифровые изображения печатных символов на документе, выделяет их границы и рассчитывает минимальные расстояния до противоположных границ у выбранного символа (рис. 3).

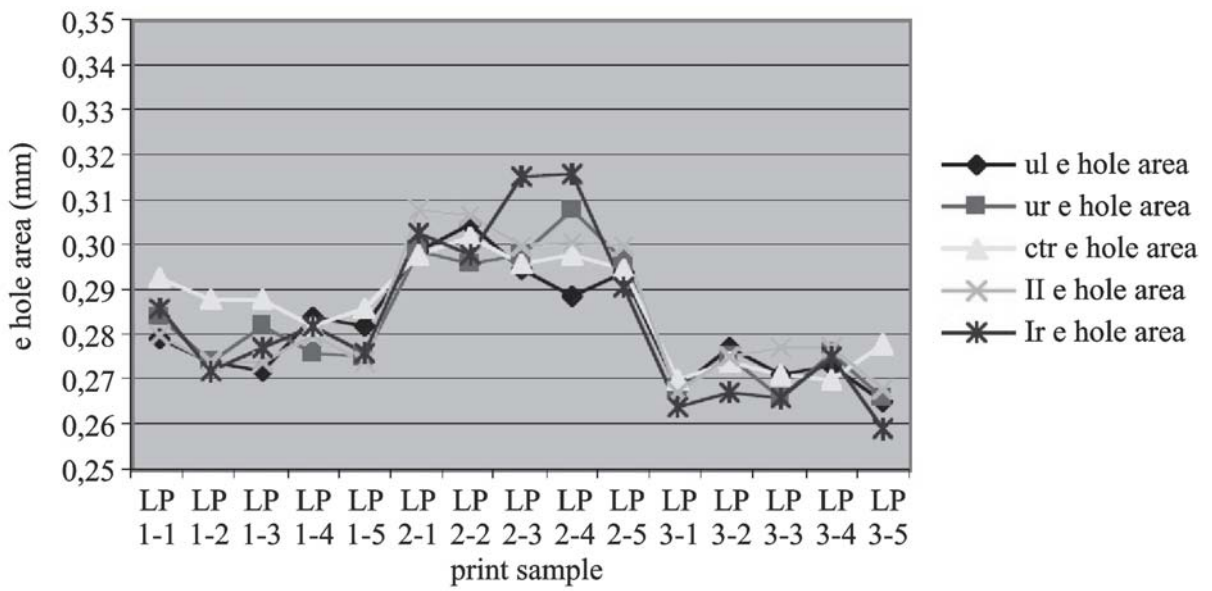
Автор отмечает, что метод расчета минимальных расстояний имеет инвариантность к углу поворота символа и положению в области анализа, что является существенным достоинством метода. Значения вычисленных расстояний заносятся в базу данных, им ставится в соответствие гарнитура шрифта документа, кегль шрифта, а также марка принтера (если она известна). При проведении криминалистического исследования предлагается сверять вновь полученные данные о размерах символов анализируемого документа с базой данных.

В статье приведены результаты эксперимента, выполненного по предложенному методу. В эксперименте было выполнено сравнение символов “а” шрифтов Antique Olive, Times Roman, Helvetica, CG Times с такими же символами, выполненными 10 шрифтами других гарнитур того же размера. Отмечается, что метод дает уверенно достоверные результаты только для ясных визуально различимых шрифтов, это подтверждено дополнительным исследованием при сравнении большой выборки символов для двух визуально похожих шрифтов Times Roman и CG Times. Найденные различия в этом случае были минимальны и недостоверны.

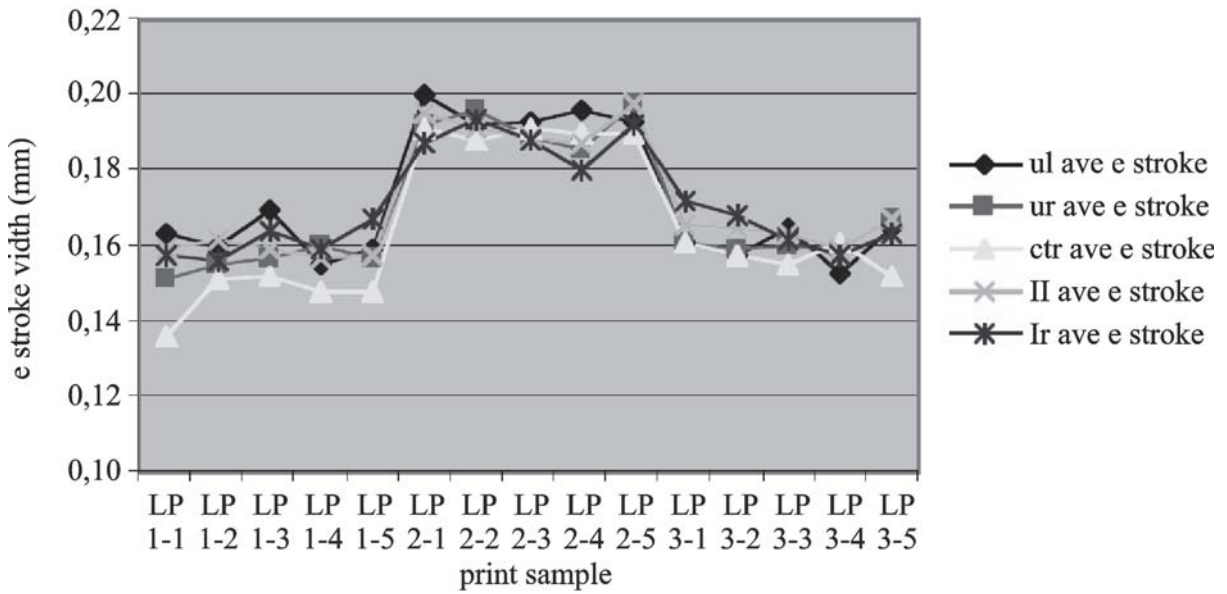
В работе [14] дифференциацию принтеров проводили, определяя площадь отверстия в символе “е”, длину внешнего контура символа и ширину его горизонтальной черты. В эксперименте использовали три лазерных принтера одной модели (Hewlett-Packard LaserJet 5Si) и по пять страниц образцов печати с каждого. На рис. 4 и 5 приведены результаты эксперимента для отверстий в букве “е” и ширины ее горизонтальной черты.

В работе [12] авторы использовали тот же метод [10, 11], но проводили эксперименты, в которых классификатор обучался на символах, выполненных шрифтом одного типа или размера, а тестировался на других шрифтах. Эксперименты проводились на бумаге разных типов с интервалом печати данных для обучения и тестирования системы — 5 месяцев. Во всех случаях система показала хорошие результаты дифференциации принтеров.

В работе [13] рассмотрена возмож-



a



b

Рис. 4. Идентификация принтера по искажению отверстия (a) и ширины черты (b) символа “e”

На рис. 4 линиями с разными значками отмечены параметры символов, расположенных в разных частях листа. Из представленных данных следует, что принтеры имеют некоторые постоянные искажения символов, свойственные даже не модели, а конкретному экземпляру принтера.

В работе [15] выполнен анализ различий в периметрах символов “.” и разницы между плотностью точек на краю вертикальной линии символов справа и слева. Отмечено, что разность в данных параметрах больше свойственна струйным принтерам, чем лазерным.

В работе [16] предложен метод дифференциации струйных принтеров по искажениям символов, которые вносятся при печати. Искажения определяются с помощью разложения формы символа на главные компоненты. Кластеризацию символов проводят по векторам из четы-

рех первых компонент. В статье приведены результаты эксперимента только для струйных принтеров.

В статьях [17–19] рассмотрена возможность дифференциации принтеров с помощью микроскопической отражательно-абсорбционной инфракрасной спектроскопии, которая позволяет выявить различия в химическом составе тонера, использованного при печати, и концентрации компонентов в нем. Предложен метод переноса тонера с документа на металлическую фольгу, не разрушающий бумажный носитель. Также в статьях проанализированы методы изучения состава тонера с помощью электронной микроскопии с рентгеноспектральным электронно-зондовым микроанализом (SEM-EDX) и пиролитической газовой хроматографии/масс-спектрометрии.

Выводы. Анализ технических публикаций по теме исследований показал, что для целей технико-криминалистической экспертизы документов в задачах дифференциации электрофотографических печатающих устройствах наилучшие результаты показывают методы анализа изображений, связанные с построением градационных матриц смежности яркостей серых изображений и расчета по ним численных параметров, характеризующих данные матрицы как реализации случайного поля. Определение численных параметров и условий построения градационных матриц смежности требует проведения дополнительных исследований. В дальнейшем авторы статьи планируют создание программного модуля расчета градационных матриц смежности и других параметров, характеризующих разброс частиц тонера возле границ напечатанных символов. Для анализа наличия корреляции между рассчитанными параметрами будет использован метод расчета главных компонент. Также планируется проведение анализа существующих методов классификации образов, описываемых векторами признаков, по кластерам и реализация их в программном модуле для дифференциации печатающих устройств при использовании базы данных о них.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках ГК от 28.04.2011 № 16.513.12.3006 ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы” и ГУ РФЦ Судебной экспертизы при Министерстве юстиции РФ. Авторы благодарят О.Ю. Миловидову, С.А. Притуляка и Т.Б. Черткову за рекомендации и обсуждение результатов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Intrinsic and extrinsic signatures for information hiding and secure printing with electrophotographic devices / Gazi N. Aliy, Aravind K. Mikkilineniy, Pei-Ju Chiangz, Jan P. Allebachy, George T. Chiuz, and Edward J. Delp // IS&T's NIP19: Intern. Conf. on Digital Printing Technologies. CityplaceNew Orleans, September 28. – 2003. – Vol. 19.*

2. B a n d i n g artifact reduction in electrophotographic processes using opc drum velocity control / Cheng-Lun Chen, George T.-C. Chiu and Jan P. Allebach // NIP17: Intern. Conf. on Digital Printing Technologies, StateplaceFlorida, October 2001. – Vol. 17.
3. R o b u s t spatial-sampling controller design for banding reduction in electrophotographic process / Cheng-Lun Chen, George T.-C. Chiu and J.P. Allebach // IS&T's NIP18: 20 Intern. Conf. on Digital Printing Technologies. StateplaceCalifornia, September 29. – 2002. – Vol. 18.
4. I m a g e analysis as a tool for printer characterization and halftoning algorithm development / J.P. Allebach, Guo-Yau Lin, Cheng-Lun Chen, Farhan A. Baqai, Je-Ho Lee and George T.-C. Chiu // Fifth IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (SSIAI 02). – 2002.
5. Application of principal components analysis and Gaussian mixture models to printer identification / Gazi N. Ali, Pei-Ju Chiang, Aravind K. Mikkilineni, George T. Chiu, Edward J. Delp and J.P. Allebach // Proc. of the IS\&T's NIP20: Intern. Conf. on Digital Printing Technologies, October, vol. 20. – 2004.
6. C h r i s t o p h H., L a m p e r t L i n M e i, T h o m a s M. B r e u e l. Printing technique classification for document counterfeit detection // Computational Intelligence and Security (CIS) 2006, China.
7. E v a l u a t i o n of graylevel-features for printing technique classification in high-throughput document management systems / Christian Schulze, Marco Schreyer, Armin Stahl and Thomas M. Breuel // Computational Forensics Second International Workshop, IWCF 2008. CityplaceWashington, StateDC, country-regionUSA. August 7–8. – 2008. – Proc.
8. J a c k T c h a n. Classifying digital prints according to their production process using image analysis and artificial neural networks // Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques III, Rudolf L. van Renesse, Willem A. 105 Vliegenthart, Editors, Proc. of SPIE. – Vol. 3973 (2000).
9. J a c k T c h a n. The development of an image analysis system that can detect fraudulent alterations made to printed images // Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V, edited by Rudolf L. van Renesse, Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE. – 2004. – Vol. 5310.
10. P r i n t e r identification based on graylevel co-occurrence features for security and forensic applications / A.K. Mikkilineni, P.-J. Chiang, G.N. Ali, G.T. Chiu, J.P. Allebach, E.J. Delp // Proc. of the SPIE Intern. Conf. on Security, Steganography and Watermarking of Multimedia Contents VII. – Vol. 5681. March. – 2005.
11. P r i n t e r Identification Based on Texture Features / Aravind K. Mikkilineni, Pei-Ju Chiang, G.N. Ali George T.-C. Chiu, Jan P. Allebach, Edward J. Delp // Proc. of IS &T Intern. Conf. on Digital Printing Technologies. – 2004.
12. P r i n t e r Forensics using SVM Techniques / Aravind K. Mikkilineni, Osman Arslan , Pei-Ju Chiang, Roy M. Kumontoy, Jan P. Allebach, George T.-C. Chiu, Edward J. Delp // Proc. of IS&T's NIP21: Intern. Conf. on Digital Printing Technologies, Baltimore, MD; September 18. – 2005.
13. J a c k T c h a n. Forensic analysis of print using digital image analysis // Human Vision and Electronic Imaging VIII, Bernice E. Rogowitz, Thrasyvoulos N. Happsas, Editors, Proc. of SPIE–IS&T Electronic Imaging, SPIE. – 2003. – Vol. 5007.
14. P r i n t e r differentiation using position dependent character attributes / ImageXpert, Inc. <http://www.imagexpert.com>
15. J. O l i v e r and J. C h e n. Use of signature analysis to discriminate digital printing technologies // Proc. of IS&T's NIP18: Intern. Conf. on Digital Printing Technologies, 2002.
16. P r i n t e r profiling for forensics and ballistics / E. Kee and H. Farid // ACM Multimedia and Security Workshop, Oxford, UK, 2008.

17. **F o r e n s i c** discrimination of photocopy and printer toners. I. The development of an infrared spectral library / Rena A. Merrill, Edward G. Bartick, J. Hollis Taylor III // Analytical and Bioanalytical Chemistry Springer Berlin. – Heidelberg. – 2003. – Vol. 376.
18. **F o r e n s i c** discrimination of photocopy and printer toners. II. Discriminant analysis applied to infrared reflection-absorption spectroscopy. William J. Egan, Stephen L. Morgan, Edward G. Bartick, Rena A. Merrill and Hollis J. Taylor III // Analytical and Bioanalytical Chemistry Springer Berlin. – Heidelberg. – 2003. – Vol. 376.
19. **F o r e n s i c** discrimination of photocopy and printer toners. III. Multivariate statistics applied to scanning electron microscopy and pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry / William J. Egan, Randolph C. Galipo, Brian K. Kochanowski, Stephen L. Morgan, Edward G. Bartick, Mark L. Miller, Dennis C. Ward and Robert F. // Mothershead. Analytical and Bioanalytical Chemistry Springer Berlin. – Heidelberg. – 2003. – Vol. 376.

Статья поступила в редакцию 13.09.2011



Николай Николаевич Лобанов родился в 1952 г., окончил МГУ им. М.В. Ломоносова в 1974 г. Канд. физ.-мат. наук, директор ООО “Центр экспертных технологий МГУ им. М.В. Ломоносова”. Автор около 50 научных работ в области физики твердого тела и судебной экспертизы.

N.N. Lobanov (b. 1952) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1974. Ph. D. (Phys.-Math.), director of ООО Center of Expert Technologies of the Lomonosov Moscow State University. Author of about 50 publications in the field of solid-state physics and forensic inquiry.



Сергей Борисович Одинокоев родился в 1950 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1973 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 150 научных работ в области оптоэлектронной обработки информации и голографии.

S.B. Odinokov (b. 1950) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1973. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Laser and Optical-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of about 150 publications in the field of optoelectronic data processing and holography.



Александр Юрьевич Павлов родился в 1983 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2007 г. Инженер кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 20 научных работ в области оптоэлектронной обработки информации, голографии и информационных защитных технологий.

A.Yu. Pavlov (b. 1983) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2007. Engineer of “Laser and Optical-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 20 publications in the field of optoelectronic data processing, holography and data security technologies.