

УДК 778.19

В. Р. Севрюгин, кандидат технических наук, докторант, Московский государственный университет печати имени Ивана Федорова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ БИНАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПОЭЛЕМЕНТНОЙ ЗАПИСИ

На основе разработанной автором системы структурометрии процесса поэлементной записи проведено исследование способности таких процессов точно воспроизводить элементы изображения.

Ключевые слова: поэлементный способ записи, структурометрия, лазерное излучение.

К настоящему времени практически прошло техническое перевооружение полиграфического производства, в результате которого на смену форматной записи информации на формный материал пришла поэлементная запись в устройствах СтР «компьютер – печатная форма» с использованием лазерного излучения. Созданы разнообразные по конструкции и характеристикам устройства СтР, однако вопрос об их дальнейшем совершенствовании, выборе оптимальных решений при проектировании и настройке по-прежнему остается актуальным. Это требует проработки теоретических основ и расчетных методов, позволяющих закладывать в такие устройства возможность высокоточной регистрации мелкоструктурных бинарных изображений на формный материал. В [1–3] была предложена система структурометрии процесса поэлементной записи и методы оценки параметров элементов изображения. В данной статье на основе этой системы и методов приведено исследование способности устройств с поэлементной записью точно воспроизводить элементы изображения.

Методы исследования

Элемент изображения задается бинарными данными в компьютерном файле, состоит из квадратных пикселей со стороной, равной шагу развертки устройства записи, и имеет *точный геометрический контур*. При движении лазерного луча на шаг развертки и рассеянии энергии в регистрирующем слое формируется распределение плотности энергии пикселя. Суммарное действие записанных в соответствии с бинарными данными пикселей образует распределение плотности энергии элемента изображения. Для бинарного изображения на носителе информации можно выделить два уровня *градиационного параметра*. Зависимость такого параметра от экспозиции, отображаемая *сенситометрической кривой*, не является ступенчатой, и на краях элементов изображения параметр принимает промежуточные между уровнями значения. Принято допущение постоянства градиационного параметра по всему элементу, что равнозначно использованию *эквивалентной сенситометрической кривой* со ступенчатым переходом параметра при *пороговой экспозиции* H_{\perp} .

В таком случае элемент изображения воспроизводится по уровню H_{\perp} распределения плотности энергии.

В основу разработанной системы структурометрии процесса поэлементной записи [1] положены нормированные распределения плотности энергии: пикселя – *функция воспроизведения пикселя* (ФВП) – и краев энергетической плашки – *краевые функции направлений кадровой и строчной развертки*. Функции воспроизведения являются функциями дискретных аргументов x и y , связанных с направлениями и шагом строчной и кадровой развертки, имеют область определения $x, y = \{-b, -b+d, \dots, 0, \dots, b\}$, где

$d = \frac{1}{N}$ – шаг дискретизации и $N, b \in N$. В узлах сетки дискретизации функции заданы нормированной плотностью энергии от 0 до 1. Функции воспроизведения могут быть рассчитаны по экспериментальным данным, полученным для конкретных систем, или аналитическим способом [2].

Предложена методика расчета распределения нормированной плотности энергии для произвольного изображения, заданного бинарными данными, по известной ФВП [1]. Такое распределение содержит *геометрический контур воспроизведения* элемента изображения на уровне

$L_k \sim \frac{H_{\perp}}{H_k}$ при экспозиции H_k [3], для которого будем

рассчитывать *коэффициент искажения*:

$$K_{\neq} = \frac{\lambda_{\neq}}{\lambda}, \quad (1)$$

где λ_{\neq} – количество ячеек сетки дискретизации, входящих только в один геометрический контур – точный или воспроизведения; λ – количество ячеек сетки дискретизации, входящих в точный геометрический контур.

При записи пикселей во все позиции образуется *энергетическая плашка*, на которой в зависимости от характера распределения ФВП образуется постоянный единичный уровень ($r_0 = 1,2$ на рис. 1) или колебания уровня в направлениях и с шагом кадровой развертки ($r_0 = 0,7$ на рис. 1). При этом в целочис-

ленных координатах образуется единичный максимум, а в координатах, смещенных на половину шага развертки, – минимум $h_{пл}^{min}$. Средний уровень плотности энергии на плашке соответствует экспозиции в устройстве записи H_k ; для перехода от относительных значений к абсолютным используется коэффициент перехода к нормированию по среднему $K_n = \frac{2}{1+h_{пл}^{min}}$. В [2, 3] было показано наличие в процессах поэлементной записи *балансных экспозиций* для направлений кадровой и строчной разверток H_0^k и H_0^c , при которых края энергетической плашки, перпендикулярные этим направлениям, проходят по

точному геометрическому контуру $(x, y = -0,5)$. При этих экспозициях геометрический контур воспроизведения находится на уровнях $L_0^k = 0,5h_{пл}^{min}$ или $L_0^c = \frac{0,5}{K_n}$ (рис. 1). Балансные экспозиции связаны между собой и с пороговой следующей формулой:

$$H_{\perp} = 0,5h_{пл}^{min} K_n H_0^k = 0,5H_0^c. \quad (2)$$

Экспозиция в устройстве записи управляет размером элемента изображения, искажения минимальны при балансной экспозиции и растут при отклонениях от нее в зависимости от среднего углового коэффициента краевых функций [3].

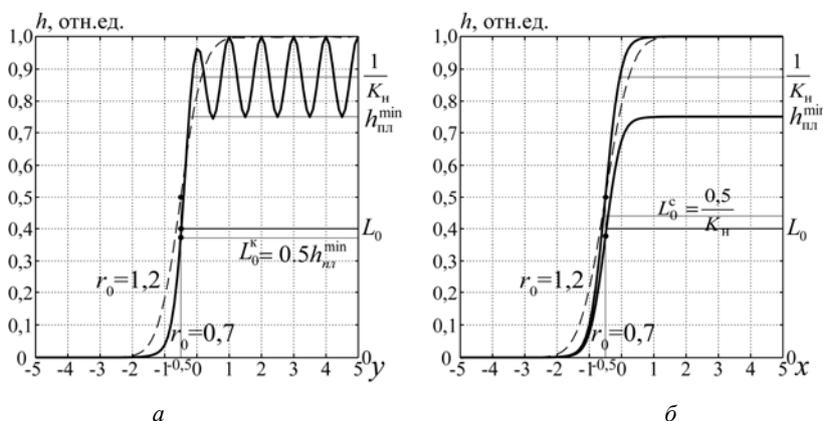


Рис. 1. Распределения плотности энергии краев энергетической плашки: а – направление кадровой развертки; б – направление строчной развертки

Для исследования искажений k -пиксельных элементов изображений выберем *балансную растровую структуру* [3], для которой по *матрице балансных точек* записанными пикселями в количестве от 1 до 100 формируются *активные* элементы, а незаписанными – *пассивные*. При этом малые элементы стремятся к круглой форме, а 100-пиксельный элемент имеет квадратную форму и образует с соседними элементами шахматную структуру. Искажения k -пиксельных элементов отображаются графиками зависимости $K_{\neq}(k)$, объединенными для активных и пассивных элементов (рис. 2). Оценивать искажения будем по максимальному, минимальному и среднему значениям коэффициентов искажения, вычисленных для экспозиции H_0 – геометрической средней балансных экспозиций направлений кадровой и строчной развертки по геометрическому контуру воспроизведения уровня L_0 . Для H_0 и L_0 с учетом (2) можно записать:

$$H_0 = \sqrt{H_0^k H_0^c} = \sqrt{h_{пл}^{min} K_n H_0^k}. \quad (3)$$

и

$$L_0 = \frac{H_{\perp}}{K_n H_0} = \frac{0,5h_{пл}^{min} K_n H_0^k}{K_n \sqrt{h_{пл}^{min} K_n H_0^k}} = 0,5 \sqrt{\frac{h_{пл}^{min}}{K_n}}. \quad (4)$$

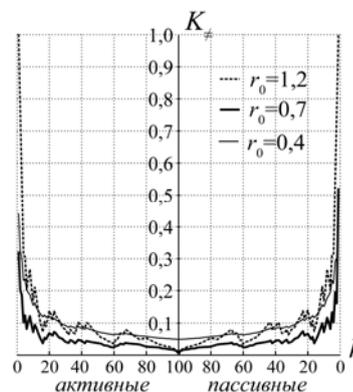


Рис. 2. Зависимость коэффициента искажения от количества пикселей

Результаты исследования и их объяснение

Исследуем влияние характера распределения ФВП на точность воспроизведения элементов изображения балансной растровой структуры при балансной экспозиции. Распределение ФВП зависит в первую очередь от r_0 – радиуса лазерного луча в зоне перетяжки по уровню $e^{-2} \approx 0,135$ и может быть рассчитано аналитическим способом при постоянных параметрах рассеяния, подобранных для термочувствительного слоя [2]. Для ряда значений радиуса r_0 рассчитаны и занесены в таблицу: мини-

мум энергетической плашки $h_{пл}^{\min}$; балансный уровень L_0 по (4); отношение балансной и пороговой экспозиций по (2) и (3):

$$\frac{H_0}{H_{\perp}} = \frac{\sqrt{h_{пл}^{\min} K_{\neq} H_0^k}}{0,5 h_{пл}^{\min} K_{\neq} H_0^k} = \frac{2}{\sqrt{h_{пл}^{\min} K_{\neq}}};$$

K_{\neq}^{\min} , K_{\neq}^{\max} , K_{\neq}^{cp} – минимальное, максимальное и среднее значения коэффициентов искажения, вычисленных по (1). На рис. 2 приведены графики зависимости коэффициентов искажения активных и пассивных k -пиксельных элементов от количества пикселей для трех значений радиуса.

Результаты исследования могут быть объяснены влиянием следующих факторов на точность воспроизведения элементов изображения [3].

1. Колебания плотности энергии при формировании изображений узким распределением ФВП создают:

– колебания линий края для начала и конца строк за счет выпуклости для активных и вогнутости для пассивных элементов (рис. 3);

– для кадрового и строчного направлений развертки получаются разные балансные экспозиции, вследствие чего при средней балансной экспозиции происходит смещение линий края: под действием активных элементов – внутрь точного геометрического контура для направления кадровой развертки и наружу для направления строчной развертки, а под действием пассивных – наоборот (рис. 1). С ростом амплитуды колебаний увеличиваются величины смещений, снижаются балансные уровни и увеличиваются балансные экспозиции.

2. Положение точки на геометрическом контуре воспроизведения относительно точного геометрического контура зависит от количества и позиций записанных пикселей, в область определения которых она попадает, а также от характера распределения ФВП. Точка лежит на точном геометрическом контуре, если формируется аналогично точкам края энергетической плашки – тем же количеством пикселей в тех же позициях или в позициях с эквивалентным вкладом плотности энергии в эту точку. Последнее условие объясняет существование балансных структур, например, шахматной структуры, которые при балансной экспозиции имеют точный геометрический контур. Для других элементов точка смещается внутрь точного геометрического контура тем сильнее, чем больше в ее плотность энергии не довели пиксели, дополняющие край с этой точки до края плашки. Следовательно, чем меньше пикселей формируют элемент изображения и более широкое распределение ФВП, тем сильнее сужается область внутри геометрического контура вплоть до полного невоспроизведения элемента изображения. При этом происходит сглаживание ступенчатого края, образованного в бинарных данных квадратными пикселями. Сглаживание усиливается при более широком распределении ФВП (рис. 3).

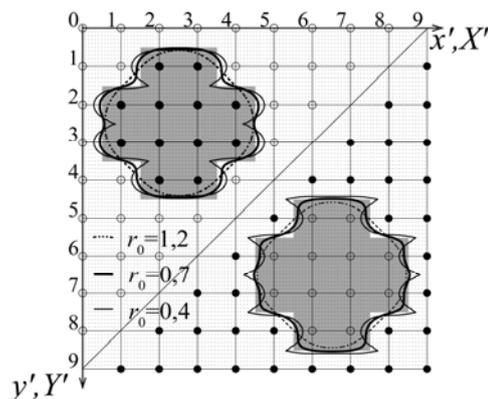


Рис. 3. Формирование активного и пассивного элементов изображения

На основе этих факторов проведем анализ результатов исследования (см. табл.).

Влияние радиуса лазерного луча на точность воспроизведения элементов изображения

r_0 , шаг развертки	$h_{пл}^{\min}$	L_0	$\frac{H_0}{H_{\perp}}$	Коэффициенты искажения K_{\neq}		
				K_{\neq}^{\min}	K_{\neq}^{\max}	K_{\neq}^{cp}
1,20	1,00	0,50	2,00	0,00	1,00	0,10
1,10	0,99	0,50	2,00	0,00	1,00	0,09
1,00	0,98	0,49	2,01	0,00	1,00	0,08
0,90	0,94	0,48	2,03	0,00	0,84	0,07
0,80	0,87	0,45	2,07	0,00	0,60	0,05
0,70	0,75	0,40	2,16	0,01	0,52	0,05
0,60	0,57	0,34	2,34	0,02	0,32	0,05
0,50	0,37	0,25	2,73	0,03	0,40	0,07
0,40	0,19	0,17	3,58	0,05	0,48	0,09
4×4	1,00	0,50	2,00	0,00	0,20	0,03

1. При радиусе $r_0 \geq 1,2$ практически отсутствуют колебания плотности энергии (рис. 1, а), следовательно, балансные экспозиции совпадают и по (2) равны удвоенной пороговой экспозиции $H_0 = 2H_{\perp}$, отсутствует искажение 100-пиксельного элемента, образующего балансную шахматную структуру, $K_{\neq}^{\min} = K_{\neq}(100) = 0$ (рис. 2). Широкое распределение плотности энергии ФВП приводит к тем большему искажению остальных элементов изображения, чем меньшим количеством пикселей k они сформированы (рис. 2). При этом не воспроизведены 1-пиксельные элементы $K_{\neq}^{\min} = K_{\neq}(1) = 1$. Флуктуация на кривых (рис. 2) отражает зависимость искажений от позиций записи пикселей.

2. При уменьшении радиуса r_0 усиливаются колебания уровня энергетической плашки и увеличивается балансная экспозиция H_0 .

3. При уменьшении радиуса r_0 увеличивается минимальное значение коэффициентов искажения $K_{\neq}^{\min} = K_{\neq}(100)$ и отличие коэффициентов для активных и пассивных элементов (рис. 2) из-за усиления фактора, связанного с колебаниями плотности энергии. До $r_0 = 0,6$ уменьшается максимальное

значение K_{\neq}^{\max} , а до $r_0 = 0,7$ – среднее K_{\neq}^{cp} из-за ослабления фактора, связанного с широким распределением плотности энергии ФВП, затем начинают увеличиваться из-за усиления первого фактора. При $r_0 \leq 0,3$ элементы изображения разбиваются на отдельные строки, что недопустимо.

При использовании пикселя [2], состоящего из субпикселей большего разрешения записи, формируется постоянный уровень энергетической плашки при узком распределении плотности энергии ФВП, близком к квадратной форме в бинарных данных, что позволяет существенно уменьшить искажения элементов изображения без повышения балансной экспозиции (строка 4×4 табл.). Однако такой подход требует дорогостоящих аппаратных решений.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлены следующие особенности процесса поэлементной записи, связанные с точностью воспроизведения.

1. Искажения элементов изображения, минимальные при балансной экспозиции, зависят от характера распределения плотности энергии пикселя, от количества пикселей и их позиций записи, от вида элемента (активный или пассивный). Искажения элементов изображения при балансной экспозиции максимальны для малых элементов, уменьшаются с ростом количества пикселей и минимальны для балансных структур.

2. При уменьшении радиуса лазерного луча увеличивается балансная экспозиция, что нежелательно для процессов с недостаточной активностью.

3. При уменьшении радиуса лазерного луча действуют два разнонаправленных фактора, влияющих на искажения элементов изображения по сравнению с их точным геометрическим контуром:

– из-за увеличения амплитуды колебаний плотности энергии усиливаются искажения линий края, образованных началом и концом строк, а также смещения линий края вдоль направлений развертки; искажения и смещения имеют противоположное направление для активных или пассивных элементов;

– из-за более узкого распределения плотности энергии пикселя уменьшается сужение и сглаживание геометрического контура воспроизведения.

Существует оптимальный радиус луча, при котором искажения минимальны. Радиус зависит от параметров рассеяния регистрирующего слоя.

4. Возможны другие решения, позволяющие увеличить точность воспроизведения элементов изображения без отрицательных последствий уменьшения радиуса лазерного луча, например, применение пикселя, состоящего из субпикселей большего разрешения [2].

Выявленные закономерности могут быть использованы при проектировании и настройке устройств с поэлементной записью изображений.

Библиографические ссылки

1. Севрюгин В. Р. Система структурометрии процесса поэлементной записи : Пространственные характеристики воспроизведения // Изв. высших учебных заведений : Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 4. – С. 46–59.

2. Севрюгин В. Р. Краевые функции процессов поэлементной записи // Изв. высших учебных заведений : Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 5. – С. 44–58.

3. Севрюгин В. Р. Методы оценки точности и стабильности воспроизведения элементов изображения в процессах с поэлементной записью // Изв. высших учебных заведений : Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 6. – С. 66–80.

V. R. Sevryugin, PhD in Engineering, Doctor's degree candidate, Moscow State University of Printing Arts

Research of Accuracy of Binary Image Elements Reproduction in Pixel-by-Pixel Imaging Processes

The paper deals with the research of the pixel-by-pixel imaging processes ability connected with the accuracy of binary image elements reproduction. This research is based on the developed by author detail reproduction theory of pixel-by-pixel imaging process.

Key words: pixel-by-pixel imaging mode, detail reproduction theory, lasing.