

В. Н. ДРОЗДОВ, Е. А. ШЕФЕР

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОГО АВТОТИПНОГО РАСТРИРОВАНИЯ

Исследована проблема замены непрерывно изменяющегося потока электромагнитного излучения, отраженного от подложки с нанесенным поглощающим фильтром, двухуровневым сигналом. Рассмотрены различные методы бинаризации сигнала. Получены результаты растривания изображения различными методами.

**Ключевые слова:** цифровая обработка изображений, автотипное растривание, преобразование спектров.

**Введение.** Глаз, с помощью которого человек получает порядка 80 % информации об окружающем мире, принимает поток электромагнитного излучения  $\Phi(x)$ , измеряемый в ваттах,  $\Phi(\cdot)$  — непрерывная функция, а  $x$  — векторный аргумент, имеющий две пространственные координаты. Полиграфическая продукция, ориентированная на пристальное рассматривание (иллюстрации), должна обеспечивать надлежащее распределение в пространстве потока электромагнитного излучения.

Существенную роль в производстве печатной продукции играет компьютер. Поток электромагнитного излучения как особая форма существования материи не может быть непосредственно введен в компьютер, оперирующий с числами, представленными двоичным кодом. Однако непрерывная функция  $\Phi(x)$  как элемент линейного пространства может быть разложена по базисным векторам

$$\Phi(x) = \alpha_1 \varphi_1(x) + \alpha_2 \varphi_2(x) + \dots + \alpha_k \varphi_k(x) + \dots \quad (1)$$

Этот ряд бесконечен в силу бесконечной размерности пространства непрерывных функций. В (1) базисные функции  $\varphi_i(x)$  являются некоторыми стандартными потоками электромагнитного излучения, а  $\alpha_i$ , амплитуды этих функций, могут быть представлены числами. Множество чисел  $\alpha_i$ , как известно [1], является спектром  $\Phi(x)$  в базисе  $\{\varphi_i(x)\}$ . Набор чисел, представляющий спектр, уже может быть введен в компьютер.

В полиграфии при оцифровывании изображений используются исключительно ортогональные базисы. Коэффициенты ортогонального базиса  $\alpha_i$  вычисляются по известной формуле [2]

$$\alpha_i = \frac{\langle \Phi(x), \varphi_i(x) \rangle}{\|\varphi_i(x)\|^2} = \frac{\int_X \Phi(x) \varphi_i(x) dx}{\int_X \varphi_i^2(x) dx}, \quad (2)$$

где  $X$  — область задания  $\Phi(x)$ .

Не останавливаясь на специфике различных базисов [1, 3, 4], отметим, что в технологии обработки изображения используется только сдвиговый базис. Теоретически базисными сдвиговыми функциями являются  $\delta$ -функции Дирака, однако практически для ряда (1) используются физически реализуемые приближения  $\delta$ -функций, в результате чего ряд получается конечным с последним слагаемым  $\alpha_k \varphi_k(x)$ . Технический процесс получения спектра  $\{\alpha_i\}$  в сдвиговом базисе называется сканированием; процесс, представленный выражением (2), в этом случае реализуется аппаратурой сканирования.

На рис. 1, *а* представлено изображение, на рис. 1, *б* — поток электромагнитного излучения, отраженный от этого изображения. Выбрано такое изображение, что отраженный поток излучения представляет собой сумму базисных функций различной амплитуды. Эти базисные функции являются физически реализуемой аппроксимацией  $\delta$ -функций. На рис. 1, *в* представлен график спектра потока излучения.

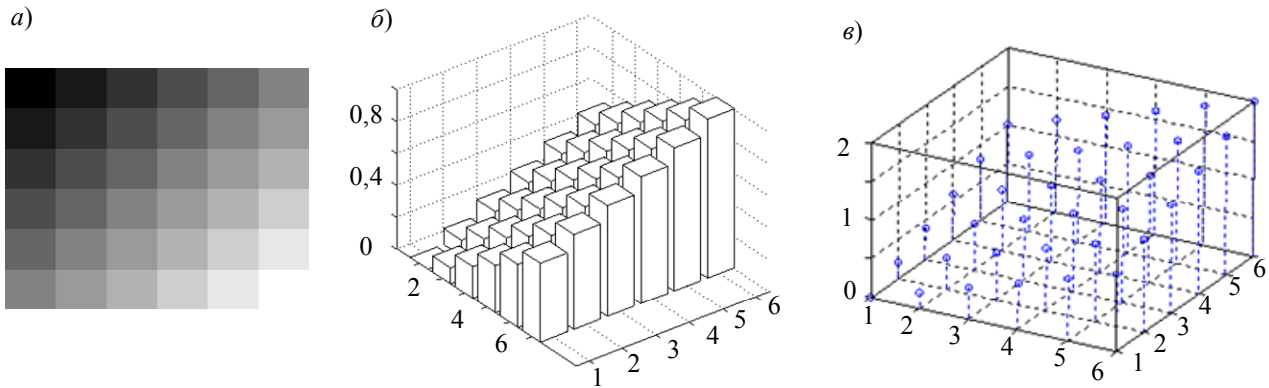


Рис. 1

Обработанный компьютером спектр потока излучения представляет собой двумерный массив чисел. Отметим, что в спектре  $\{\alpha_i\}$  не содержится сведений о виде базисных функций, породивших этот спектр.

**Основной результат.** После преобразований спектра необходимо вывести информацию из компьютера, т.е. сгенерировать поток электромагнитного излучения по имеющемуся спектру. В цифровом телевидении [4], например, эта задача решается с использованием элементарных излучателей потока, интенсивность которого можно изменять в соответствии с коэффициентом  $\alpha_i$ .

Формирование потока электромагнитного излучения, отраженного от печатной продукции, происходит за счет изменения интенсивности отраженного от подложки потока, дважды прошедшего через поглощающий фильтр — краску. Коэффициент поглощения потока излучения, согласно закону Ламберта—Бугера [5], определяется толщиной красочного слоя. Однако многие способы печати позволяют наносить на подложку слой краски только постоянной толщины [5—7]. В этом случае возникает проблема замены ряда (1), состоящего из модулированных по амплитуде базисных функций  $\varphi_i(x)$ , на сумму базисных функций  $\psi_i(x)$ , амплитуды которых  $\beta_i$  могут принимать только значение „0“, что соответствует запечатанному участку подложки, или „1“, что соответствует пробельному элементу. При этом новый ряд

$$\Phi(x) = \beta_1 \psi_1(x) + \beta_2 \psi_2(x) + \dots + \beta_m \psi_m(x) \quad (3)$$

должен быть эквивалентным в некотором смысле конечному ряду (1), математически это означает построение на основании массива  $\{\alpha_i\}$ , состоящего из чисел  $0 \leq \alpha_i \leq 1$ , эквивалентного массиву  $\{\beta_i\}$ , состоящему из чисел  $\beta_i = 0 \vee 1$ . Такой способ расположения элементов массива  $\{\beta_i\}$  в растровой ячейке называется автотипным растриванием.

В качестве базисных функций  $\psi_i(x)$  при выводе информации, так же как и при вводе, выбирается приближение  $\delta$ -функций, только при вводе площадь  $\varphi_i(x)$  определяется разрешением сканирующего устройства, а при выводе площадь  $\psi_i(x)$  — устройства печати.

В этом случае можно рассмотреть следующие алгоритмы построения массива  $\{\beta_j\}$  по исходному массиву  $\{\alpha_i\}$ .

Пусть формат выводимого изображения равен  $a \times b$  и разрешение устройства печати равно  $\Delta$ . В этом случае размер массива  $\{\beta_j\}$  будет следующим:

$$M \times N = \frac{a}{\Delta} \times \frac{b}{\Delta}.$$

На основании массива  $\{\alpha_i\}$  формируется массив амплитуд  $\{\bar{\alpha}_j\}$  размера  $M \times N$ . Если размер исходного массива  $\{\alpha_i\}$  меньше требуемого, то недостающие элементы массива  $\{\bar{\alpha}_j\}$  вычисляются с использованием какого-либо метода интерполяции.

Наиболее простое правило построения спектра  $\{\beta_j\}$  по массиву  $\{\bar{\alpha}_j\}$  состоит в том [8], что если  $\bar{\alpha}_j \leq 0,5$ , то соответствующему элементу  $\beta_j$  присваивается значение „0“, а число  $\bar{\alpha}_j$  добавляется к следующему числу  $\bar{\alpha}_{j+1}$ .

При  $\bar{\alpha}_j > 0,5$  соответствующему элементу  $\beta_j$  присваивается значение „1“, а число  $1 - \bar{\alpha}_j$  добавляется к следующему числу  $\bar{\alpha}_{j+1}$ . Это так называемый метод диффузии ошибки, характеризуемый низкой помехоустойчивостью к отклонениям параметров процесса печати от номинальных значений.

Предпочтение отдается таким правилам построения спектра  $\{\beta_j\}$ , которые обеспечивают компактное группирование базисных функций  $\psi_i(x)$ . С этой целью элементы массивов  $\{\beta_j\}$  и  $\{\bar{\alpha}_j\}$  объединяются в группы (растровые ячейки) размером  $p \times p$ , где  $p$  выбирается таким образом, чтобы выполнялось условие  $\Delta p < L$ ,  $L$  — максимальное расстояние между двумя точками, которые орган зрения человека воспринимает слитно, как одну точку. В каждой растровой ячейке массива  $\{\bar{\alpha}_j\}$  подсчитывается сумма  $n = \sum \bar{\alpha}_j$ , полученное число  $n$  заменяется числоимпульсным кодом. Эти равные единицы коэффициенты размещаются в соответствующей растровой ячейке массива  $\{\beta_j\}$ . Способ размещения единичных коэффициентов в каждой растровой ячейке может быть разнообразным. В настоящее время наибольшее распространение получил такой метод размещения единичных значений в растровой ячейке, когда печатающий элемент (нулевые значения коэффициентов) расположен в центре растровой ячейки [5, 6]. Назовем этот метод классическим растриванием.

Известен случайный метод расположения единиц в растровой ячейке [6] — это стохастическое растривание. Можно таким способом расположить единичные элементы, чтобы минимизировать расстояние между решетчатыми функциями  $\beta_j$  и  $\bar{\alpha}_j$  в каждой растровой ячейке [9]. Такой метод бинаризации назван D-алгоритмом.

На рис. 2, *a* в качестве примера приведен результат растривания некоторого изображения методом диффузии ошибки, *b* — классическим методом, *в* — стохастическим методом, *г* — с помощью D-алгоритма. Линиатура  $\frac{1}{L}$  на рисунке выбрана малой для того, чтобы продемонстрировать различия изображений, полученных с помощью методов растривания.

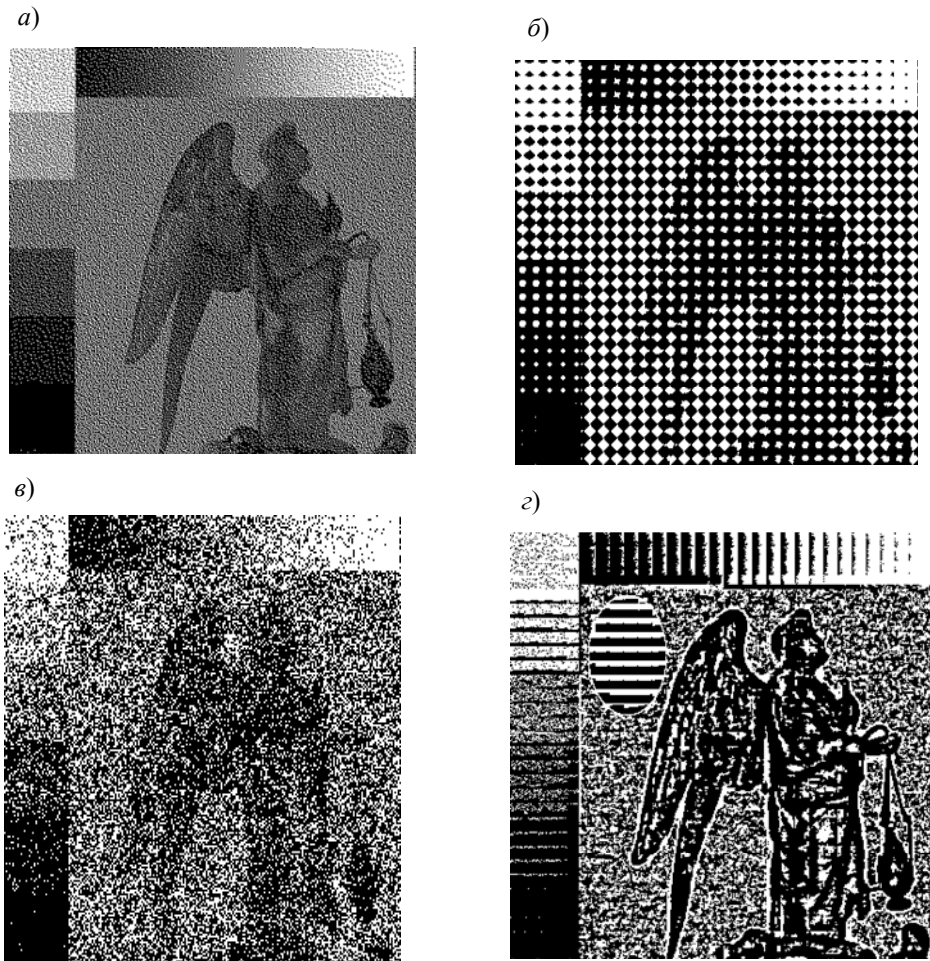


Рис. 2

Проанализировав эти результаты, можно сказать, что при растривании изображений, содержащих много контуров, лучше использовать D-алгоритм бинаризации. Широкоимпульсная модуляция подходит в случае растривания изображения, имеющего плавные переходы тона. В отношении метода диффузии ошибки и стохастического метода можно сказать, что они отличаются низкой помехоустойчивостью, которая возникает в процессе печати при отклонении параметров.

**Заключение.** Приведенные примеры показывают, что выбор правила построения спектра  $\{\beta_j\}$  существенным образом влияет на качество воспроизведения изображения. Представляется возможным на основании предложенного подхода разрабатывать различные методы растривания, т.е. различные способы размещения  $n$  единичных коэффициентов в каждой растровой ячейке массива  $\{\beta_j\}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярославский Л. П. Цифровая обработка сигналов в оптике и галографии. Введение в цифровую оптику. М.: Радио и связь, 1987. 296 с.
2. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М.: Наука, 1966. 576 с.
3. Потапов А. А., Пахомов А. А., Никитин С. А., Гуляев Ю. В. Новейшие методы обработки изображений. М.: Физматлит, 2008. 496 с.
4. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и практика. М.: Радио и связь, 1990. 528 с.

5. *Шашилов Б. А.* Цвет и цветовоспроизведение. М.: Книга, 1986. 280 с.
6. *Киптхан Г.* Энциклопедия по печатным средствам информации. Технология и способы производства. М.: МГУП, 2003. 1280 с.
7. *Кузнецов Ю. В.* Технология обработки изобразительной информации. СПб: Петербургский институт печати, 2002. 312 с.
8. *Floyd W., Steinberg L.* An adaptive algorithm for spatial grey scale // Proc. Soc. of Information Display. 1976. Vol. 17. P. 75—77.
9. *Горбачев В. Н., Дроздов В. Н., Яковлева Е. С.* Один алгоритм бинаризации полутоновых изображений // Дизайн, материалы, технология. 2009. № 2. С. 63—71.

**Сведения об авторах**

- Валентин Нилович Дроздов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, кафедра автоматизированного полиграфического оборудования; зав. кафедрой;  
E-mail: vndrozdov@uprint.spb.ru
- Елена Александровна Шефер** — Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, кафедра автоматизированного полиграфического оборудования; инженер; E-mail: sh68@hotmail.ru

Рекомендована кафедрой  
автоматизированного  
полиграфического оборудования

Поступила в редакцию  
21.06.10 г.