

УДК 519.72

Ткаченко В. В., ст. преподаватель; Андреев О. В., аспирант

УПРАВЛЕНИЕ ФОРМОЙ РАСТРОВОЙ ТОЧКИ ПРИ АНИЗОТРОПНОМ РАСТРИРОВАНИИ

It is suggested algorithm of dot shaping for isotropic and non-isotropic half-tone screens. Offered algorithm taking into account dot gain. The model of dot gain is described and its limitation is considered. The simulation data are given.

Создание технологий электронного и цифрового растривания открыло широкие возможности для программирования формы и размеров точек печатного растра, в том числе с целью повышения точности тоно- и цветопередачи. Одна из главных причин искажений цветопередачи, возникающих в печатном и формных процессах, — это растискивание. Причем наиболее существенная и плохо управляемая составляющая искажений определяется процессом переноса краски с формы на оттиск. Согласно линейаризованной модели этого процесса, которая используется при анализе системы регулирования подачей краски [1], погрешность цветопередачи можно разложить на две составляющие: переменную, которая определяется динамической ошибкой системы регулирования краскоподачи печатного станка, и постоянную в виде установившейся ошибки, которую в идеале можно компенсировать за счет предискажений на стадии цветоделения. С этой целью используются тестовые данные в виде кривых оптических плотностей (как самой формы, так и тиражных оттисков или цветопробы) и модели эффектов растискивания, которые служат основой для задания и компенсирующего управления формой печатной точки.

Среди множества вариантов задания формы наиболее часто используется следующий: в светах (до 25%) — круглая точка, в полутонах (от 25% до 75%) — неправильная геометрическая фигура и в тенях (от 75% до 99%) — круглый пробельный элемент. Круглая печатная точка, обладающая минимальным отношением периметр/площадь, дает минимальное приращение из-за растискивания по краям в процессе печатания оттиска в светах. По той же причине круглый пробельный элемент оптимален в тенях. Переходная геометрическая форма печатных элементов в среднем интервале подбирается так, чтобы подавить влияние эффектов растискивания, подчеркивающих нелинейность градационной характеристики печатного процесса. Причем погрешность компенсации будет тем меньше, чем больше уровней дискретизации процента черного используется при растривании и изготовлении фотоформы. Число уровней определяется размерами апертуры и шагом дискретизации фоторегистрирующего устройства в дотах. Оно связано с разрешающей способностью устройства, определяемой при равенстве апертуры и шага дискретизации формулой

$$k_{\max} = R^2 L^{-2},$$

где R — разрешение, dpi; L — линиятура, lpi.

В общем случае апертура может не совпадать с равновеликими значениями шага дискретизации по осям координат X и Y (условие изотропии) или отличающимися друг от друга (условие анизотропии).

Операцию растривания можно рассматривать как двумерное квантование. При использовании прямоугольного, в частности, регулярного изотропного растра в окончательном виде цифровое изображение представляет собой матрицу, строки и столбцы

которой соответствуют строкам и столбцам изображения. Для каждой печатной точки выполняется следующее соотношение:

$$k = \sum \sum Z_{XY}^T,$$

где k — заполнение растровой точки в дотах, $k \in \{0, k_{\max}\}$; Z_{XY}^T — значение элемента пороговой матрицы, $Z_{XY}^T \in \{0, 1\}$.

В общем случае при фиксированном числе уровней квантователь может оптимизироваться по критерию минимальной среднеквадратической ошибки

$$E\{\varepsilon^2\} = E\{(b - b_{ke})^2\} = \min_{\{d_j, r_j\}}$$

где b — яркость, случайная величина с известной плотностью вероятности; d_j, r_j — уровни дискретизации.

Однако при такой оптимизации не учитываются эффекты последующего действия растискивания. Рассмотрим подробнее искажения формы точки, обусловленные одновременно действием и растискивания и дискретизации при растровых преобразованиях. Наихудшее соотношение сигнал/шум и наиболее сильное проявление негативных эффектов квантования имеют место при заполнении точки до 10—12%. Считается, кроме того, что для поддержания линейности градиционной характеристики преобразования желательно поддерживать постоянство отношения периметр/площадь растровой точки во всем воспроизводимом диапазоне оптических плотностей. Для оценки влияния формы растровой точки на точность в светах авторами была построена модель, учитывающая физическое растискивание при условии, что реальная растровая точка будет представлять фигуру, ограниченную эквидистантой к идеальной растровой точке, полученной после растривания. Приращение площади растровой точки после растискивания описывается выражением

$$\delta = S(k, a) - kR^{-2}, \quad (1)$$

где $S(k, a)$ — эквидистанта на расстоянии a от контура точки с заполнением k .

За основу аналитического описания растровой точки было взято уравнение эллипса в следующей форме:

$$r'_{XY} = \sqrt{(l\Delta y \cos \alpha)^2 + (l^{-1}\Delta x \sin \alpha)^2}, \quad (2)$$

где l — коэффициент эллипсоидности точки по отношению к кругу; α — угол наклона оси эллипса; $\Delta x = x - x_0, \Delta y = y - y_0$; x_0, y_0 — точные координаты центра растров; x, y — координаты текущей ячейки (целые).

Предложен следующий иррациональный алгоритм построения растровой точки в светах и полутонах для множества дотов Z_{XY} суперячейки, которая содержит несколько растровых точек. Вычисляются точные (с дробными значениями) координаты нахождения центра точки и определяются коэффициенты r_{XY}

$$r_{XY} = \sqrt{\Delta y^2 (l \cos \alpha)^{-2} + (\Delta x)^2 \sin^{-2} \alpha} \quad (3)$$

для всех элементов Z_{XY} подмножества N , объединяющего доты рассчитываемой точки,

$$Z_{XY} \in N, \text{ если } [X - x_0] \leq 0,5RL \wedge [Y - y_0] \leq 0,5RL. \quad (4)$$

Далее элементы Z_{XY} упорядочиваются в массив M , сортированный по возрастанию $M = [m_0 = z_{\min}, \dots, m_i, \dots, m_{k_{\max}} = z_{\max}]$.

Затем множество Z_{XY} подвергается бинарному преобразованию:

$$Z'_{XY} = 1, \text{ если } i \leq k \text{ для } m_i = Z_{XY};$$

$$Z'_{XY} = 0, \text{ если } i > k \text{ для } m_i = Z_{XY}.$$

Теперь каждый элемент множества соответствует доту растровой сетки. Введение формулы (3) вместо (2) потребовалось в связи с тем, что, согласно (2), коэффициент r_{XY} возрастает в направлении большей оси эллипса, а алгоритм основан на кластеризации k элементов с минимальными значениям коэффициентов, поэтому при применении (2) произойдет поворот точки на 90° .

Для определения растискивания по (1) предложен следующий алгоритм. Множество Z'_{XY} преобразуется (масштабируется) в $Z''_{X'Y'}$ мощностью $c^2 k_{\max}$.

$$Z''_{X'Y'} = \left\{ z''_{xc...(x+1)c, yc...(y+1)c} = caRz'_{xy} \right\},$$

где c — масштабный коэффициент преобразования, определяющий погрешность расчета ($c = 4 \dots 10$).

Далее проводится сканирующее преобразование по координатам x', y' с размерностью $0,5aRc$.

$$z''_{qx, qy}(i) = \sqrt{qx^2 + qy^2}, \text{ если } z''_{qx, qy}(i) < z''_{qx, qy}(i-1),$$

где i — текущая координата сканирования;

$$qx = x_i'' - 0,5aRc \dots x_i'' + 0,5aRc;$$

$$qy = y_i'' - 0,5aRc \dots y_i'' + 0,5aRc.$$

Последний этап построения реальной точки — пороговое преобразование:

$$z'''_{x'y'} = 1, \text{ если } z''_{x'y'} \leq aRc;$$

$$z'''_{x'y'} = 0, \text{ если } z''_{x'y'} > aRc.$$

Отобразив $Z'''_{X'Y'}$ на экране либо фотопленке как двумерный точечный объект, получаем изображение растрового элемента. Формула (3) принимает для данного случая вид

$$\delta = \sum_{X'} \sum_{Y'} z'''_{x'y'} c^{-1} - kR^{-2}.$$

Ограничение описанной модели заключается в том, что рассчитывается только одна точка, без учета взаимного влияния соседних растровых элементов, что исключает ее использование для анализа растискивания в тенях оптических плотностей и наиболее существенного градационного скачка в среднем диапазоне полутонов. Другой недостаток — идеализация свойств краски. Это вносит не только абсолютную погрешность, но и некоторую нелинейную составляющую, особенно сильную в районе основного градационного скачка. В силу описанных ограничений предложенную модель растискивания можно использовать для исследования характера физического растискивания различных способов растрирования и разных соотношений разрешения и линиатуры в диапазоне до большого градационного скачка.

На основе вышеописанных алгоритмов авторами была создана программа в среде C++ Builder, выполняющая построение растровых точек для задаваемых величин линиатуры, разрешения и величины растискивания в микронах. Строится как идеальная, так «реальная» точки, вычисляются величины их заполнений. На рис. 1 приведены результаты моделирования для случая с параметрами: $R = 2400 \text{ dpi}$; $L = 150 \text{ lpi}$; $l = 1$; $k/k_{\max} = 6\text{—}25\%$.

На графике отчетливо видны два небольших скачка площади растровой точки при заполнении примерно 11% ($k = 29$) и 19% ($k = 48$), причем с ростом абсолютной величины растискивания скачки в значительной степени увеличиваются. Изучение формы растровых точек в районах скачков показало, что наибольший прирост площади происходит при добавлении очередной строки (столбца) к растровой точке.

площадь растровой точки, кв. мкм

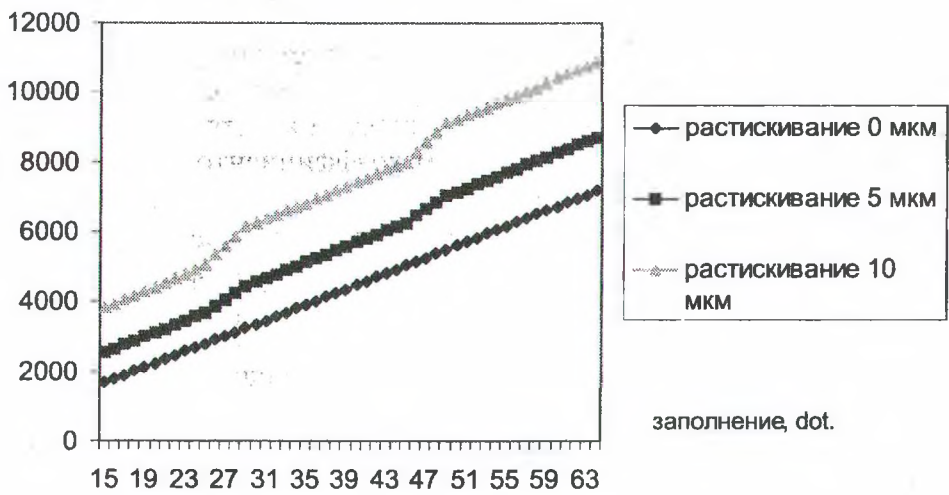


Рис. 1. Влияние растискивания на площадь растровой точки

Подобные скачки оптической плотности могут привести к появлению на изображении ложных контуров, значительно ухудшающих визуальное качество изображения, так как зрение человека особенно чувствительно именно к контурам. Известно, что характеристика восприятия оптической плотности (яркости) глазом имеет логарифмический характер, и света воспринимаются менее точно, чем полутона и тени. Кроме того, качественной тонопередаче в этом диапазоне способствует то, что на него приходится большая часть отсчетов передаточной характеристики растрового преобразования (первые 44% отсчетов соответствуют интервалу 0,01—0,25 D из всего диапазона бумаги 0,01—2,0 D). Однако на света попадают некоторые важные тоновые интервалы, например природная зелень и телесные тона [2], что повышает требования к равномерности функции передачи тона.

Ввиду того, что нелинейность градационной кривой осложняет использование функций компенсации растискивания, алгоритм необходимо модифицировать так, чтобы добавление нового столбца (строки) происходило как можно реже. Это нарушает симметрию точки, но позволяет сгладить характеристику тонопередачи. Однако наиболее радикальным средством профилактики растискивания является увеличение разрешающей способности и уменьшение шума квантования, в том числе и применение анизотропного растривания, при котором точность отсчетов по одной оси превышает абсолютное разрешение, являющееся обратной величиной размера пятна экспонирования.

Для формирования анизотропного растра можно использовать предложенный выше алгоритм с некоторой модификацией. Пусть ось X соответствует направлению быстрого сканирования. Тогда

$$k_{\max}^A = k_A R^2 L^{-2}$$

где k_{\max}^A — максимальное заполнение для анизотропной растровой точки; $k_A = y_{\min}/x_{\min}$ — коэффициент анизотропии.

Условие (4) и формула (3) примет вид

$$Z_{XY} \in N, \text{ если } [X - x_0] \leq 0,5k_A RL \wedge [Y - y_0] \leq 0,5RL ;$$

$$r_{XY} = \sqrt{\Delta y^2 (l \cos \alpha)^{-2} + (\Delta x)^2 \sin^{-2} \alpha k_A^{-1}} .$$

В связи с тем, что размер минимального пятна экспонирования не изменился по сравнению с изотропным растриванием, то анализируется множество Z'_{XY} и каждой его строке ставится в соответствие элемент множества V_y :

$$V_y = \sum z'_{xy}, \quad (5)$$

если $V_y < k_A$, то $\Delta k_y = k_A - V_y, V_y = k_A, V_{Y/2} = V_{Y/2} - \Delta k_y$.

Строка меньше размера апертуры дополняется до необходимой величины на значение Δk_y . Для избежания усиления растровой точки производится ее ослабление на величину Δk_y в строке максимальной длины, находящейся в середине точки.

Теперь Z'_{XY} трансформируется для соблюдения ограничений, связанных с минимальным размером пятна экспонирования,

$$z'_{xy} = 1, \text{ если } [x - x_0] < V_y / 2. \quad (6)$$

Рассмотренные алгоритмы формирования растрового описания точки могут быть применены непосредственно при создании процессоров растривания (программных или аппаратных). В существующих вариантах построения таких процессоров используются два подхода к реализации: либо с предварительным формированием растрового алфавита и последующим считыванием растровых массивов его символов в темпе сканирования полутонного цифрового изображения, либо формирование битовой карты изображения с одновременным вычислением ее элементов z_{xy} по аналитическим (контурным) описаниям формы точек. Так как случай анизотропного растривания зависит от величины дискретизации по X и Y , то формирование выходного растрового массива должно быть индивидуальным для каждого конкретного типа фоторегистрирующего устройства, а результаты работы универсальных программ растривания не могут быть использованы напрямую при выводе на форму. Как вариант для системы генерации такого анизотропного растра может быть применен подход, основанный на использовании файла битовой карты, созданной универсальными программами растривания. На первом шаге системой формирования анизотропного растра обрабатывается входной файл стандартным растеризатором для получения растрового описания с повышенным разрешением в t раз и равным шагом по X , Y . Происходит увеличение уровней квантования полутона в t^2 раз. На втором шаге создается массив с уменьшением в t раз числа строк и увеличением в t раз числа столбцов. При заполнении массива исключаются четные строки, а значения их битов равномерно расставляются между битами нечетных строк. На третьем шаге проводится "генерализация" — над битами в оставшихся строках выполняется модифицированная операция отмыкания-замыкания, при которой исключаются одиночные "0" и "1" биты без изменения их количества. На последнем шаге для согласования количества рядом стоящих бит с $z_{xy} = 1$ выполняются операции (5), (6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов М. В., Толстой Г. Д. Автоматизация процессов полиграфии. — М.: Книга, 1989. — 367 с.
2. Шашлов Б. А. Цвет и цветопроизводство. — М.: Мир книги, 1995. — 282 с.