

УДК 519.72

М.И.Кулак, профессор;

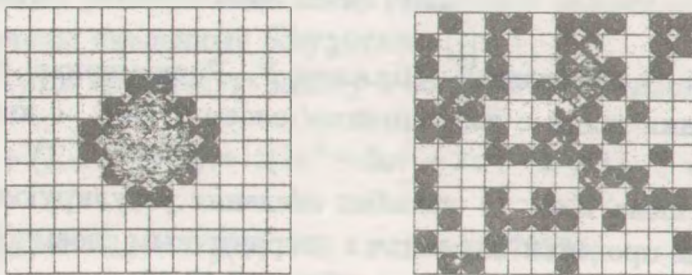
М.В.Астапов, студент

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ ПРОЦЕССОВ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО РАСТРИРОВАНИЯ ТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Fractal approach have been used for modelling of the processes in raster image processors.

Метод частотно-модулированного растривания тоновых изображений являет собой пример вклада теории информации в процесс развития современных полиграфических технологий. Основные принципы этого метода были сформулированы Герхардом Фишером в 1986 году. Собственно растривание — это алгоритмическое преобразование значений оптической плотности изображения типографского оригинала в цифровой форме в определенную точку растра с параметрами интенсивности и местоположения.

При электронном методе растривания [1,2] растровые точки формируются из большого числа малых одиночных точек на основе цифрового способа кодирования. Так как при переменных по площади растровых точках количество точек на единицу площади остается все время постоянным, можно соотнести с каждой растровой точкой определенную единицу площади, называемую "единичным квадратом". При этом изображение характеризуется количеством точек, необходимых для заполнения "единичного квадрата". В разных системах оно не одинаково, однако может быть равно, например, 144, 256 и т.д. Эти 144 единичные точки воспроизводятся в виде матрицы  $12 \times 12$  (см. рис.1). Подобное размещение называют "Битмэп" (Bitmap), или битовой картой.



а

б

Рис.1. Битовая карта  $12 \times 12$ .

а) регулярная растровая точка; б) битовая карта, построенная по теории фракталов, фрактальная размерность кластера  $D = 1.6$ , координаты центра (7,5).

Существует два метода растривания изображения: амплитудно- и частотно-модулированное. При распространении принятых в электронных системах обработки информации понятий "частота" и "амплитуда" на допечатные полиграфические RIP-системы (Raster Image Processor) под частотой растра подразумевают количество точек на сантиметр, что совпадает с понятием "линеатуры растра". Под амплитудой подразумевается размер площади точки. В амплитудно-модулированном растривании точки различного размера расположены на равном расстоянии друг от друга. В частотно-модулированном растривании отдельные точки распределяются стохастически и так, что только в областях высоких значений плотностей они смыкаются между собой.

Основные идеи частотно-модулированного растривания восходят непосредственно к традиционному электронному амплитудно-модулированному принципу растривания. Существует несколько схем реализации частотно-модулированного растривания. Это, например, Error-Diffusion, Dither, Crystal Raster и т.д. [1].

В RIP-системах с битовой картой  $12 \times 12$  в соответствии с подобным методом возможна передача 144 различных степеней запечатывания площади или степеней насыщения тона (начиная от 0% для белой бумаги). Для каждой из 144 степеней можно оговорить форму свободного размещения одиночных точек, чтобы сформировать определенную форму растровых точек.

Битовые карты строят несколькими способами [1,2]. Можно использовать заранее заготовленные битовые карты, но при воспроизведении сплошного тона с помощью одной битовой карты появляется нежелательный рисунок, который является следствием периодического повторения битовой карты. Для недопущения появления этого рисунка используется несколько битовых карт одного тона. Так как всего передаваемых тонов 144 или 256, то необходимо выделять большой объем памяти RIP-системы для хранения битовых карт, что является недостатком этого метода.

Можно использовать для построения битовых карт генератор случайных чисел. В этом случае на генерацию каждой новой битовой карты уходит много времени, а также оказывает влияние качество генерации случайных чисел.

Теория фракталов достаточно активно используется в RIP-системах не только для создания необычных красочных картин. На ее основе разработан метод сжатия больших растровых изображений [3]. Этот метод называется фрактальным сжатием, или IFS-сжатием, поскольку он реализуется с помощью системы итерационных функций (Iterated Function System) аффинного преобразования исходного растра. Суть метода состоит в том, что с помощью стандартных приемов обработки изображений оно делится на сегменты нерегулярной формы.

Затем выполняется ряд преобразований, сводящих объединение этих сегментов к IFS-виду. Число аффинных преобразований может достигать 100 и более.

Естественно, что IFS-сжатие не затрагивает растровую основу изображения, т.е. оно используется для сжатия всей картинке, а не одной битовой карты. Идея же данной работы состоит в том, чтобы на основе теории фракталов разработать метод сжатия информации на уровне битовых карт.

Для целей практической реализации этого подхода растровая точка представляется в виде фрактального кластера. При растривании тонового изображения с каждой из степеней насыщения тона соотносится одна битовая карта, а находящийся на ней кластер однозначно характеризуется фрактальной размерностью  $D$ . Фрактальная размерность может определяться, например, в результате анализа битовой карты с помощью известного в теории фракталов [4] соотношения, связывающего радиус кластера  $R$  и число содержащихся в нем частиц  $N$ :

$$N = R^D \quad (1)$$

Использование представления о фрактальной размерности позволяет, таким образом, "сжать" информацию о битовой карте до предела, однако это, к сожалению, еще не решает проблему. Вся сложность проблемы переносится на обратную задачу реконструкции (восстановления) изображения. При восстановлении изображения для каждой битовой карты необходимо по фрактальной размерности реконструировать кластер.

В настоящее время разработаны эффективные алгоритмы для построения регулярных фракталов [4], что же касается стохастических фракталов, то существующие 6-7 алгоритмов не подходят для данной задачи по эффективности и к тому же каждый из них позволяет строить кластер только одной размерности.

Предлагаемый в данной работе алгоритм работает следующим образом. С помощью генератора случайных чисел разыгрываются координаты некоторой точки на битовой карте, которая является центром кластера. Распределение плотности в нем характеризуется зависимостью [4]

$$\rho(r) \sim r^{D-d}, \quad (2)$$

где  $\rho(r)$  — плотность числа точек на слое в зависимости от радиуса,  $r$  — радиус слоя,  $d$  — евклидова размерность пространства,  $d = 2$ .

Формула (2) позволяет найти зависимость количества точек на слое от расстояния до центра при различных фрактальных размерностях  $1 \leq D \leq 2$ . Далее ведется перебор слоев от центральной точки по координатам  $(i, j)$ , причем  $j$  перебирается от 1 до  $i$ , поскольку координаты рассчитываются в единицах диаметра единичных точек.

В зависимости от количества единичных точек на слое радиусом  $r$  можно выделить два типа слоев. В первом типе на слое находится по 4 точки ( $i=j$  или  $j=1$ ), а во втором по 8, поэтому программа, реализующая алгоритм, работает в двух режимах в зависимости от типа слоя. Координаты всех точек слоя записываются в массив, и затем с помощью генератора случайных чисел определяются одиночные точки, которые остаются на этом слое. Слои перебираются таким образом, чтобы при любом положении центра кластера заполнялась вся площадь битовой карты.

Результаты работы алгоритма и программы по реконструкции на битовой карте фрактального кластера с размерностью  $D = 1.6$  представлены на рис.16. Видно, что предлагаемый алгоритм позволяет обеспечить стохастическое заполнение карты.

Как правило, возможности различных схем растривания в RIP-системах принято сравниваются путем чисто визуального восприятия результатов обработки какого-либо характерного изображения [1]. Для более детального количественного анализа различных методов построения битовой карты в данной работе использовалось компьютерное моделирование. С этой целью на дисплее создавалась картинка, содержащая 400 битовых карт ( $20 \times 20$ ), и строилась функция распределения расстояний между одиночными точками.

При построении такой тестовой картинке использовались три алгоритма. По первому из них все время использовалась одна и та же битовая карта со случайным расположением одиночных точек. Во втором алгоритме предусматривалось, что для каждой карты точки размещались заново, но степень заполнения карты, соответственно степени насыщенности тона, сохранялась. Последним был алгоритм, построенный на основе теории фракталов.

Результаты вычисления функций распределения для трех значений степени заполнения приведены на рис.2. На рис.2а видно, что при малых значениях степени насыщенности тона стохастический и фрактальный алгоритмы дают примерно одинаковое достаточно однородное распределение одиночных точек. Использование одной битовой карты приводит к появлению на картинке периодических структур. При переходе к средним степеням насыщенности результат остается аналогичным. Для высоких степеней насыщенности она результаты, полученные всеми тремя методами построения битовых карт, практически совпадают.

Таким образом, теория фракталов, в принципе, позволяет построить схему растривания, не уступающую по качеству результатов стохастической, но требующую значительно меньший объем памяти RIP-системы для хранения битовых карт. Естественно, что по эффективности фрактальный алгоритм восста-

новления битовых карт пока уступает стохастическому. В настоящее время продолжается работа по его дальнейшему совершенствованию.

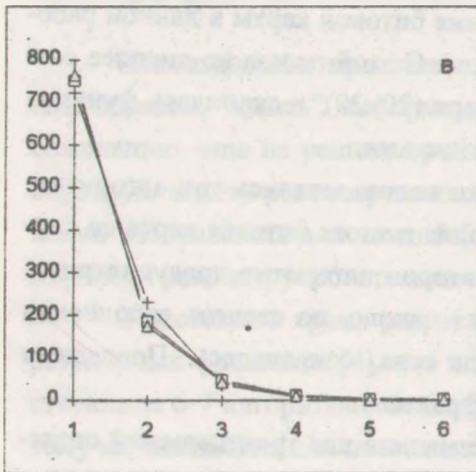
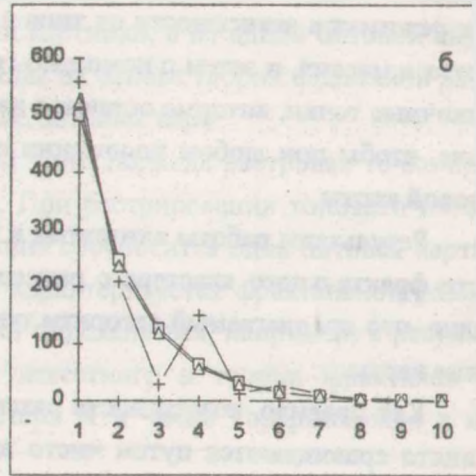
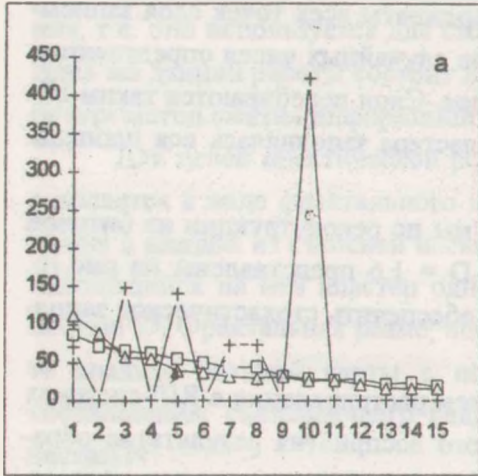


Рис.2. Функция распределения расстояний между единичными точками для разных степеней заполнения битовой карты а) 10%; б) 50%; в) 75%. Реализованы алгоритмы с битовой картой:

- + - регулярной;
- - стохастической;
- Δ - фрактальной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шлепфер К. Частотно-модулированное растривание в офсете // Интерпринт. - 1993, № 2. - С.18-25.
2. Усов В. Альтернативные методы растривания // Полиграфия. - 1994, №2. - С.24-27.
3. Просис Дж. Фракталы и сжатие данных // PC Magazine. - 1994, №8. - С.182-185.
4. Федер Е. Фракталы. - М.: Мир, 1991.