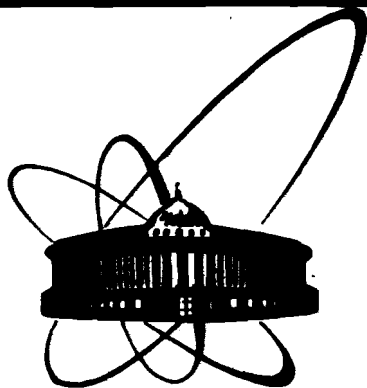


89-609



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

460

11-89-609

В. Чик, Л. Паулик, А. П. Меньшиков

**ПРИМЕНЕНИЕ МОЗАИЧНЫХ
ПЕЧАТАЮЩИХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ВЫВОДА ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

1989

В настоящее время в связи с распространением недорогих твердотельных телевизионных камер и устройств оцифровки телевизионных изображений, предназначенных для работы с персональными компьютерами, возник широкий спрос на периферийные устройства ЭВМ, позволяющие получать терпимые копии полутонных изображений. Известно, что наилучшее качество изображений обеспечивается устройства, основанные на фоторафической фиксации изображений, но стоимость их достаточно высока.

Традиционно для вывода полутонных изображений на ЭВМ использовались АЦПУ. Этот вид псевдополутонного вывода ограничен финансовыми характеристиками этих устройств и обладает рядом серьезных недостатков. В работах [1-5] предпринято несколько успешных попыток улучшить качество вывода изображений путем добавления псевдоумов, сглаживания контуров изображений, применения интерполяционных методов, использования различных наборов символов и др. Но никакую разрешающую способность, ограниченную для большинства существующих АЦПУ размером растра 160×120 , и трудности, связанные с масштабированием, устранить не удается, потому что АЦПУ специально созданы для четкого распределения отдельных строк и отдельных символов.

АЦПУ позволяют печатать 10 символов на дюйм в горизонтальном направлении и 6 строк на дюйм в вертикальном направлении. Размеры минимального элемента формирования (пиксела) при раскре 160 x 120 составляют 1,7 мм по ширине и 2,5 мм по высоте. Из приведенных данных следует, что картинка, полученная путем применения АЦПУ, помещается в пиксель вышесписанных размеров, разделенные пропорциональными пропорциями шириной 0,8 мм и вертикальными пропорциями шириной 1,7 мм. Наличие этих пропорций резко снижает разрешающую способность. Полутонный вывод на АЦПУ характеризуется также низким контрастом (отношение белого к уровню черного), равным 1,5 - 2,5 при максимальном наложении различных символов на один пиксель. Кроме того, вывод символов с наложением снижает скорость вывода. Из приведенных характеристик следует, что АЦПУ являются низкоэффективными и грубыми устройствами полутонного вывода.

Этими недостатками не обладают мозаичные печатающие устройства, способные работать в графическом режиме, которые являются стандартным оборудованием персональных компьютеров.

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ДВУХРАЗМЕРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Все методы отображения полутоновых изображений на двухразмерных устройствах основаны на том, что человеческий глаз воспринимает усредненное значение яркости мелких деталей изображения. Каждая пиксела выходного изображения представляется как прямоугловая фигура (узор) из (u, v) черно-белых точек. Яркость такого рода пикселов может принимать не более $(u \cdot v + 1)$ различных значений, причем каждому значению яркости приписывается какое-то одно или несколько различных распределений черно-белых точек по площади фрагмента. Субъективное восприятие изображения, созданного на двухразмерных устройствах, зависит от угловых размеров точек, угловых размеров пикселов и вида используемых узоров. Если размер точки не является достаточно малым, то становится заметной зернистость изображения. Большой размер пиксела (u, v) позволяет отображать большой диапазон яркости, но большой физический размер пиксела приводит к появлению в выходном изображении несуществующих в оригинале мелких (высокочастотных) деталей (становится заметной структура узора). В работе /6/ рекомендуется использовать пиксели с площадью не более $0,1 \text{ мм}^2$ (при наблюдении изображения с расстояния 25-30 см). У широко распространенных мозаичных печатающих устройств типа РТ-8065 диаметр точки равен $0,35 \text{ мм}$, значит, пиксела выходного изображения может состоять лишь из одной точки. Применение некоторых методов предварительной обработки изображений позволяет увеличить размеры узора до $0,2 - 1 \text{ мм}$.

Приведенные ниже методы выдачи изображений преобразуют плавные исходные картины с 256 градациями яркости в узоры прямоугловых форм, состоящие из $u \cdot v$ точек. Число точек, составляющих узор, выбирается равным 1, 4 или 16. Для мозаичного печатаемого устройства типа РТ-8065 размеры узора при использовании 16 точек составляют $1,68 \times 1,48 \text{ мм}$ (при нормальной плотности печати).

Простейшим методом отображения полутонового изображения на двухразмерном устройстве является метод фиксированного порога. При размерах пиксела $u \cdot v = 1$ яркость исходного изображения сравнивается с единственным порогом, и в зависимости от результата сравнения пиксела присваивается одно из двух значений: черное или белое. На рис. 1 представлено изображение, созданное по методу фиксированного порога (разрешение 240×360 точек, одинарная плотность печати). Исходное изображение было оцифровано с помощью аппаратуры системы сканера и цифровой обработки изображений /7/ и

имело формат 360×270 при 256 уровнях градаций серого. В формированном изображении присутствуют сильно выраженные локные контуры и отсутствуют полутона.



Рис. 1. Изображение, сформированное методом фиксированного порога.

Известно, что проявление локных контуров можно значительно снизить путем добавления к исходному изображению хаотического шума, имеющего прямоугловое распределение с нулевым средним и шириной, равной амплитуде изменения яркости исходного изображения, а также добавления большой отрицательной корреляцией близлежащих соседних отсчетов шума. Улучшающее влияние отрицательной корреляции шума на субъективное восприятие картины объясняется тем, что при передаче низкочастотных деталей изображения в выходной картине присутствуют искусственно созданные высокочастотные колебания яркости от одного уровня градации яркости к другому близлежащему уровню градаций яркости. Реакция глаза на усредненное значение яркости обеспечивает восприятие некоторого промежуточного значения. Вместо хаотического шума при цифровой обработке обычно используются построенные различными способами псевдослучайные последовательности с минимальным пространственным периодом. Субъективное восприятие большого числа градаций яркости в этом методе обеспечивается приближением дискретного распределения псевдослучайного шума к непрерывному за счет увеличения его пространственного периода до (u, v) , что дает

возможность отобразить $(m \cdot m + 1)$ значений градаций яркости. Отметим, что в методе добавления псевдослучайного сигнала (МДПС) увеличение количества градаций яркости происходит не за счет увеличения количества точек в пикселе выходного изображения, как в обобщенном методе фиксированного порога, а за счет потери высокочастотных деталей оригинала.

Процедура обработки исходного изображения в МДПС, заключающаяся в добавлении к оригиналу равномерно распределенной псевдослучайной последовательности с пространственным периодом (m, m) и сравнении суммы с фиксированным порогом, эквивалентна последовательному сравнению яркости фрагментов исходного изображения размера (m, m) с набором порогов, равномерно распределенных в диапазоне изменения яркости и определенным образом распределенных в пространстве по фрагменту (m, m) . Математически МДПС описывают именно таким образом. Если яркость исходного изображения нормализована и изменяется в диапазоне $(0, 1)$, то для отображения $(m \cdot m + 1)$ уровней серого в МДПС используются $m \cdot m$ порогов $T(k)$, выбираемых согласно выражению

$$T(k) = \frac{2k + 1}{2m^2}, \quad k = 0, 1, \dots, (m^2 - 1). \quad (1)$$

Распределение этих порогов в пространстве описывается с помощью матриц индексов порогов. Для $m=2$ часто используется матрица индексов, имеющая вид $/10, 11/$:

$$D^2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для отображения большего количества градаций яркости матрицы индексов строятся рекурсивно, согласно следующему правилу $/8/$:

$$D^m = \begin{bmatrix} 4D^{m/2} + d_{00} U^{m/2} & 4D^{m/2} + d_{01} U^{m/2} \\ 4D^{m/2} + d_{10} U^{m/2} & 4D^{m/2} + d_{11} U^{m/2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $U^{m/2}$ — квадратная матрица размера $(m/2, m/2)$, состоящая из единиц,

d_{ij} — элементы матрицы D^2 из (2).

Матрицы индексов могут быть построены и другими способами $/10/$. На рис. 2(а, б) приведены картинки, полученные по методу добавления псевдослучайной последовательности, реализованные согласно (1) и (3) для значений m , равных 2 и 4 соответственно и распечатанные на матричном печатающем устройстве PRT-80GS (растр 240×360). При $m=2$ в выходном изображении (рис. 2а) заметны ложные контуры. Как показывает опыт, увеличение "m" свыше 4 при данном формате изображения не приводит к уменьшению заметности ложных контуров.

Рис. 2. Изображения, сформированные методом добавления псевдослучайной последовательности: а/ при $m=2$, б/ при $m=4$.



Радикального повышения качества изображений можно добиться, увеличив растр выходного изображения, т.е. увеличив физические размеры формируемого изображения. Это дает возможность отобразить каждый пиксел исходного изображения в пиксел выходного, состоящий из более чем одной точки. На рис. 3 приведено изображение,

полученное обобщенным методом фиксированного порога, каждый пел исходного изображения представлен матрицей из $(4*2)$ точек, растр сформированного изображения составляет $960*720$ точек. На приведенном изображении заметны ложные контуры, что вызвано небольшим значением количества передаваемых градаций яркости.

Ложные контуры удается ликвидировать, используя метод добавления псевдослучайного сигнала, обобщенный для случая, когда пиксел выходного изображения отображает "n" градаций яркости $/8,9/$. При использовании печати для передачи "n" значений градаций яркости каждый пиксел должен состоять из матрицы черно-белых точек размера (u,v) (где $(u*v+1)$ должно быть не меньше n), то есть каждый пиксел должен отображаться в виде черно-белого узора.



Рис.3. Изображение, сформированное обобщенным методом фиксированного порога при представлении каждого пиксела матрицей из $(4*2)$ точек.

В этом случае метод МДПС будет создавать выходное изображение с $n*(m*m+1)$ градациями яркости. Значения порогов устанавливаются согласно выражению, аналогичному (1):

$$T(k) = \frac{2k + 1}{2m^2(n - 1)}, \quad k = 0, 1, \dots, m^2(n - 1). \quad (4)$$

При n различных значениях усредненной яркости пикселов, равных $(b_0, b_1, \dots, b_{n-1})$, формируются $(n-1)$ различные матрицы порогов по формуле

$$D_l^m = D_{l-1}^m + m^2 U^m, \quad (5)$$

где $l=0, 1, \dots, n-2$,

$$D_0^m = D^m \text{ (смотри (2) и (3))}$$

и яркость пикселов $\{B_{ij}\}$ фрагмента выходного изображения размера (m,m) устанавливается в результате сравнений яркости пикселов фрагмента исходного изображения $\{I_{ij}\}$ размера (m,m) с порогом $T(k)$, индексы которых задаются (i,j) - элементами матриц индексов D_l^m , то есть

$$B_{ij} = \begin{cases} b_0, & \text{если } I_{ij} < T(D_0^m(i,j)) \\ b_k, & \text{если } T(D_{k-1}^m(i,j)) \leq I_{ij} < T(D_k^m(i,j)) \\ b_{n-1}, & \text{если } I_{ij} \geq T(D_{n-2}^m(i,j)). \end{cases} \quad (6)$$



Рис.4. Изображение, сформированное методом добавления псевдослучайной последовательности для $m=4$ и $n=15$.

При $m = 4$ и $n = 16$ матрицы индексов D_k^m имеют вид:

$$D_1^4 = \begin{pmatrix} 16 & 24 & 18 & 12 \\ 28 & 20 & 30 & 22 \\ 19 & 27 & 17 & 25 \\ 31 & 23 & 29 & 21 \end{pmatrix} \quad D_2^4 = \begin{pmatrix} 32 & 40 & 34 & 42 \\ 44 & 36 & 46 & 38 \\ 35 & 43 & 33 & 41 \\ 47 & 39 & 45 & 37 \end{pmatrix}$$

$$D_{14}^4 = \begin{pmatrix} 240 & 248 & 242 & 250 \\ 252 & 244 & 254 & 246 \\ 243 & 251 & 241 & 249 \\ 255 & 257 & 253 & 245 \end{pmatrix} \quad (7)$$

На рис.4 представлено изображение, полученное по методу МДПС для $m=4$ и $n=15$. Полученное изображение имеет уже достаточно хорошее качество.

В А К Л Ю Ч Е Н И Е

В работе приведены результаты использования двух методов вывода полутоновых изображений на печатающее устройство PRT-80GS: метода фиксированного порога и метода добавления псевдослучайного сигнала. Программы для вывода полутоновых изображений написаны на ассемблере и фортране, они используются для получения твердых копий изображений в составе системы обработки изображений /7/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Hammil P. Line Printer Modification for Better Gray Level Pictures, CGIP, Vol.6, 1977, p.485-491
2. MacLeod I. D. G. Pictorial Output via Line Printer, IEEE Trans.Comp. C-19, 1970, p.160-162
3. Stucki P. Generation of Gray Tones by Computer for Simulation of Visual Information Systems, IEEE Trans. Comput. C-18, 1969, p.642-643
4. Tobler W., Lau J. Interpolation of Images via Histosplines, CGIP, Vol.9, 1979, p.77-81
5. Morrin T. H. A Black - White Representation of Gray-Scale Picture, IEEE Trans. Comput. C-23, 1974, p.184-186
6. Algie S. Resolution and Tonal Continuity in Bilevel Printed Picture Quality, CVGIP, Vol.24, 1983, p.329-346
7. Кулла П., Меньшиков А. Л., Полянцев А. Д., Поляков В. Н., Приходько В. И. Аппаратура и программное обеспечение системы съема и цифровой обработки двумерных изображений, P10-88-647, ОИЯИ, Дубна, 1988
8. Jarvis J. F., Judice C. N., Ninke W. H. A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays, CGIP, Vol.5, 1976, p.13-40
9. Limb J. O. Design of Dither Waveforms for Quantized Visual Signals, B.S.T.J., Vol.48, No.7, 1969, p.2555-2582
10. Stoffel J. C., Moreland J. F. A Survey of Electronic Techniques for Pictorial Image Reproduction, IEEE Trans. Commun. COM-29, No.12, 1981, p.1898-1925

Рукопись поступила в издательский отдел

17 августа 1989г.

Чик В., Паулик Л., Меньшиков А.Л.
11-89-609
Применение мозаичных печатающих устройств
для вывода полутоновых изображений

Работа посвящена формированию твердых копий полутоновых изображений с помощью мозаичных печатающих устройств. Рассмотрены два метода вывода: метод фиксированного порога и метод добавления псевдослучайного сигнала. Приведены картинки, полученные на печатающем устройстве PRT-80GS.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Chik W., Paulik L., Men'shikov A.L.
11-89-609
Application of Matrix Printers for Halftone
Image Output

The paper is devoted to forming hard copies of halftone images with the help of matrix printers. Two printing methods are considered: the specified threshold method and the dither signal method. Images are given prepared by the printer PRT-80GS.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989