

кет прикладных программ (ППП); 6 — магнитный диск (МД); 7 — терминал пользователя; 8 — сервисные процедуры анализа, состояния файлов на МД и восстановления их структуры после машинных сбоев; 9 — графопостроитель и/или графический дисплей.

В разработанном программном обеспечении реализованы основные требования к базам данных и информационным системам [8]: независимость хранимой информации от программного обеспечения, несложный и неизбыточный язык запросов, отсутствие необходимости прикладному программисту знать физическую реализацию хранимых данных и т. п.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ньюмен У., Спрулл Р. Основы интерактивной машинной графики.— М.: Мир, 1976.
2. Гиллой В. Интерактивная машинная графика.— М.: Мир, 1981.
3. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия.— М.: Мир, 1982.
4. Дегтярев С. А., Воронин Г. Ф. Применение сплайнов в термодинамике растворов.— В кн.: Математические проблемы фазовых равновесий. Новосибирск: Наука, 1983.
5. Василенко В. А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы.— Новосибирск: Наука, 1983.
6. Лоран П. Ж. Аппроксимация и оптимизация.— М.: Мир, 1975.
7. Дробышев Ю. П., Зыкин С. В. Идентификация областей, ограниченных  $n$ -арными поверхностями.— В кн.: Системы и методы анализа данных. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1984.
8. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах.— М.: Мир, 1980.

*Поступила в редакцию 2 июля 1985 г.*

УДК 681.3

К. И. КУЧЕРЕНКО, Е. Ф. ОЧИН

(Ленинград)

### МУЛЬТИМИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОРАЗРЯДНЫМ ПОИСКОМ МЕДИАНЫ

Эффективным методом подавления импульсных помех является медианная фильтрация [1, 2]. Двумерная медианная фильтрация изображения  $0 \leq D_{ij} < 1$ , дискретизованного в виде матрицы размером  $I \times J$  элементов и квантованного на  $2^q$  уровней, определяется следующим образом:

$$D'_{ij} = \text{med}(D_{i-m, j-n}), \quad -M \leq m \leq M, \quad -N \leq n \leq N, \quad (1)$$

где оператор  $\text{med}$  обозначает некоторую процедуру поиска элемента последовательности  $D_{i-m, j-n}$  длиной  $L = (2M + 1)(2N + 1)$ , для которого существует  $(L - 1)/2$  элементов, меньших или равных ему по величине, и  $(L - 1)/2$  элементов, больших или равных ему по величине.

Известны конвейерные алгоритмы медианной фильтрации [3, 4]. Время фильтрации изображения посредством данных алгоритмов не зависит от размеров окна фильтра, а затраты оборудования, необходимые для реализации алгоритмов, пропорциональны числу элементов локальной окрестности. Широко применяются гистограммные алгоритмы медианной фильтрации [2]. Поиск медианы локальной окрестности изображения сводится к определению локальной гистограммы

$$H_{ij}(q) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N [D_{i-m, j-n} = q2^{-q}], \quad q \in \{0, 1, \dots, (2^q - 1)\}, \quad (2)$$

где 
$$D_{ij} = \sum_{r=1}^Q d_{i,j,r} 2^{-r}, \quad d_{i,j,r} \in \{0, 1\},$$

$$[D_{ij} = q2^{-q}] = \begin{cases} 1, & \text{если } D_{ij} = q2^{-q}; \\ 0, & \text{если } D_{ij} \neq q2^{-q}; \end{cases}$$

к нахождению наименьшего целого  $q_{ij}^{\min}$ , удовлетворяющего уравнению

$$\sum_{q=0}^{q_{ij}^{\min}} H_{ij}(q) \geq \frac{(2M+1)(2N+1)+1}{2}, \quad (3)$$

и к вычислению медианы

$$D'_{ij} = q_{ij}^{\min} 2^{-Q}. \quad (4)$$

С целью ускорения формирования локальных гистограмм соседних фрагментов изображения используется рекурсивное вычисление  $H_{ij}(q)$ :

$$H_{i,j+1}(q) = H_{ij}(q) - H_{i,j-N}^1(q) + H_{i,j+N+1}^1(q). \quad (5)$$

Здесь

$$H_{ij}^1(q) = \sum_{m=-M}^M [D_{i-m,j} = q 2^{-Q}].$$

Время вычисления одной точки изображения  $D'_{ij}$  определяется временем формирования гистограммы  $t_{\Phi} = 2(2M+1)t^+$  (не зависит от  $N$ ) и временем поиска по полученной гистограмме медианы  $t_{ij}^{\min} = (q_{ij}^{\min} + 1)t^+$  (не зависит от  $M$  и  $N$ ), где  $t^+$  — время выполнения сложения двух чисел с фиксированной точкой. Вычисление суммы (3) в наихудшем случае должно выполняться до величины  $q_{ij}^{\min} = 2^Q - 1$ , поэтому максимальное время вычисления одной точки изображения  $D'_{ij}$  равно

$$T_1 = [2(2M+1) + 2^Q]t^+. \quad (6)$$

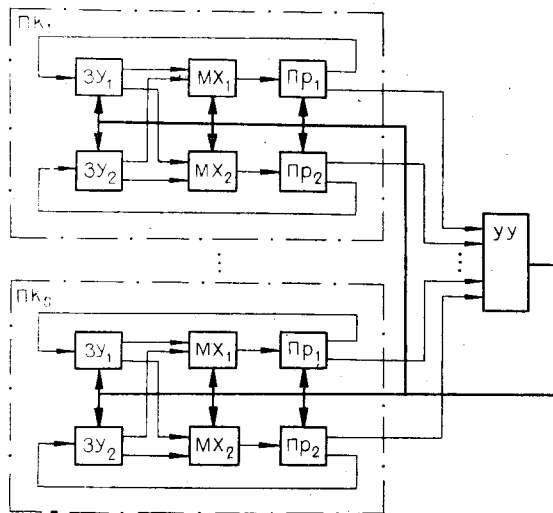
В работах [5, 6] рассмотрен быстрый гистограммный алгоритм поиска медианы, основанный на формировании  $Q$  гистограмм, наличие которых позволяет найти значение  $D'_{ij}$  за  $Q$  циклов, каждый из которых определяется временем сложения двух чисел. Максимальное время вычисления одной точки изображения  $D'_{ij}$  равно

$$T_1 = [2(2M+1) + Q]t^+. \quad (7)$$

Для реализации алгоритма используются  $Q$  процессоров и аналогичное число запоминающих устройств.

В данной статье предложен гистограммный алгоритм медианной фильтрации изображений с поразрядным поиском медианы (последовательным определением старших, а затем младших разрядов  $D'_{ij}$ ), характеризующийся как высоким быстродействием, так и большой величиной

критерия качества алгоритма  $E$  (критерий качества алгоритма  $E$  определяется отношением быстродействия  $T$  к затратам оборудования  $Z$ , необходимого для реализации алгоритма). Алгоритм основан на формировании точных отсчетов в соответ-



Структура мультимикропроцессорной системы медианной фильтрации изображений:

ПК — процессорный канал, ЗУ — запоминающее устройство, МХ — мультиплексор, Пр — процессор, УУ — устройство управления.

вии с (2) и грубых отсчетов гистограммы: реализующей данный алгоритм. Рассмотрим программу формирования одного из  $S$  процессорных каналов. В запоминающих устройствах ЗУ<sub>1</sub>, ЗУ<sub>2</sub> параллельно формируются грубые (8) и точные (2) отсчеты гистограммы.

Структура микропрограммы рекурсивного формирования грубых  $\widehat{H}(\widehat{q})$  и точных  $H(q)$  отсчетов гистограммы имеет следующий вид:

для  $m = -M \dots M$  цикл:

$$\begin{cases} \widehat{q} = d_{i-m, j-N, 1} d_{i-m, j-N, 2} \dots d_{i-m, j-N, Q/2}; \\ q = d_{i-m, j-N, 1} d_{i-m, j-N, 2} \dots d_{i-m, j-N, Q}; \\ \widehat{H}(\widehat{q}) \leftarrow \widehat{H}(\widehat{q}) - 1; \\ H(q) \leftarrow H(q) - 1; \\ \widehat{q} = d_{i-m, j+N+1, 1} d_{i-m, j+N+1, 2} \dots d_{i-m, j+N+1, Q/2}; \\ q = d_{i-m, j+N+1, 1} d_{i-m, j+N+1, 2} \dots d_{i-m, j+N+1, Q}; \\ \widehat{H}(\widehat{q}) \leftarrow \widehat{H}(\widehat{q}) + 1; \\ H(q) \leftarrow H(q) + 1; \end{cases}$$

конец;

Поиск медианы по построенным грубым и точным отсчетам гистограммы осуществляется в два этапа. На первом этапе по грубым отсчетам гистограммы определяется интервал точных отсчетов гистограммы, в котором находится медиана, т. е. ее старшие разряды. На втором этапе уточняются младшие разряды медианы по точным отсчетам гистограммы.

Микропрограмма вычисления  $D'_{ij}$  по гистограммному алгоритму медианной фильтрации с поразрядным поиском медианы имеет следующую структуру:

$$q_1^{\min} = 0; q_2^{\min} = 2^{Q/2} - 1; F_1 = F_2 = 0;$$

выполнять пока  $\{F_1 + \widehat{H}(q_1^{\min}) < (L+1)/2\} \& \{F_2 + \widehat{H}(q_2^{\min}) < (L+1)/2\}$ :

$$\begin{cases} F_1 \leftarrow F_1 + \widehat{H}(q_1^{\min}); q_1^{\min} \leftarrow q_1^{\min} + 1; \\ F_2 \leftarrow F_2 + \widehat{H}(q_2^{\min}); q_2^{\min} \leftarrow q_2^{\min} - 1; \end{cases}$$

конец;

если:  $F_1 + \widehat{H}(q_1^{\min}) \geq (L+1)/2$ , то  $\{q^{\min} \leftarrow q_1^{\min}; F_2 \leftarrow L - [F_1 + \widehat{H}(q_1^{\min})]\}$ ,

иначе  $\{q^{\min} \leftarrow q_2^{\min}; F_1 \leftarrow L - [F_2 + \widehat{H}(q_2^{\min})]\}$ ;

$$q_1^{\min} \leftarrow q^{\min} 2^{Q/2}; q_2^{\min} \leftarrow q_1^{\min} + 2^{Q/2} - 1;$$

выполнять пока  $\{F_1 + H(q_1^{\min}) < (L+1)/2\} \& \{F_2 + H(q_2^{\min}) < (L+1)/2\}$ :

$$\begin{cases} F_1 \leftarrow F_1 + H(q_1^{\min}); q_1^{\min} \leftarrow q_1^{\min} + 1; \\ F_2 \leftarrow F_2 + H(q_2^{\min}); q_2^{\min} \leftarrow q_2^{\min} - 1; \end{cases}$$

конец;

если  $F_1 + H(q_1^{\min}) \geq (L+1)/2$ , то  $q^{\min} \leftarrow q_1^{\min}$ ,

иначе  $q^{\min} \leftarrow q_2^{\min}$ ;

$$D'_{ij} = q^{\min} 2^{-Q};$$

Таблица 1

2M+1	T <sub>1</sub> (6), мкс	T <sub>1</sub> (7), мкс	T <sub>1</sub> (9), мкс	
			Один процессорный канал	Два процессорных канала
3	26,2	1,4	2,2	1,1
5	26,6	1,8	2,6	1,3
7	27,0	2,2	3,0	1,5
9	27,4	2,6	3,4	1,7

Таблица 2

2M+1	E (6), эл. из./с	E (7), эл. из./с	E (9), эл. из./с
3	3,81·10 <sup>4</sup>	8,93·10 <sup>4</sup>	22,73·10 <sup>4</sup>
5	3,76·10 <sup>4</sup>	6,94·10 <sup>4</sup>	19,23·10 <sup>4</sup>
7	3,7·10 <sup>4</sup>	5,68·10 <sup>4</sup>	16,67·10 <sup>4</sup>
9	3,65·10 <sup>4</sup>	4,81·10 <sup>4</sup>	13,16·10 <sup>4</sup>

В  $s$  процессорном канале ( $s = \overline{1, S}$ ), содержащем два процессора, параллельно формируются грубые (8) и точные (2) отсчеты гистограммы, а в режиме поиска медианы параллельно суммируется содержимое грубых (аналогично точных) отсчетов гистограммы с двух направлений. Максимальное время вычисления одной точки изображения  $D'_{ij}$  в  $s$  процессорном канале равно

$$T_1 = [2(2M + 1) + 2^{Q/2}]t^+ \quad (9)$$

Разбиение изображения на вертикальные секции шириной  $(2N + 1)$  элементов, сдвинутые относительно друг друга на один столбец изображения, позволяет осуществить параллельную фильтрацию в  $S$  процессорных каналах, что увеличивает быстродействие в  $S$  раз.

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики максимального времени вычисления одной точки изображения  $T_1$  в зависимости от размеров фильтра  $(2M + 1)$  при  $Q = 8$ ,  $t^+ = 10^{-7}$  с для (6), (7), (9), а в табл. 2 — сравнительные характеристики критерия качества алгоритма  $E$ .

Гистограммный алгоритм медианной фильтрации с последовательным определением старших, а затем младших разрядов медианы характеризуется высокими быстродействием (величина  $T_1$  (9) сравнима с  $T_1$  (7)) и критерием качества алгоритма  $E$ , определяемого числом элементов изображения, обрабатываемых в одном процессоре в единицу времени ( $E$  (9) в 2,5—3 раза выше  $E$  (7)).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кронрод М. А., Чочиа П. А. Фильтрация помех на изображении с использованием медианы распределения. — В кн.: Иконика: Теория и методы обработки изображений. М.: Наука, 1983.
2. Two-Dimensional Digital Signal Processing/Ed. T. S. Huang.— Berlin: Springer-Verlag, 1981.
3. Delman Dennis J. Digital pipelined hardware median filter design for time image processing.— Proc. SPIE, Real-Time Signal Process. IV, 1981, v. 298, p. 184—188.
4. Fisher A. L. Systolic algorithms for running order statistics in signal and image processing.— J. of Digital Syst., 1982, v. 6, N 2-3, p. 251—264.
5. Ataman E., Aatre V. K., Wong K. M. A fast method for realtime median filtering.— IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Process., 1980, v. ASSP-28, N 4, p. 415—421.
6. Danielsson P. E. Getting the median faster.— Computer Graphics and Image Process., 1981, v. 17, p. 71—78.

Поступила в редакцию 13 сентября 1984 г.