

ность измерений плоских углов в диапазоне $\pm 5^\circ$ с дискретностью $0,01''$. При введении соответствующих поправок на внешние условия пределы допустимой погрешности измерений не превышают $\sim 0,05''$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Popela B. Einfluss der Messbedingungen bei Messungen mit Laser-Interferometern // Feingerätetechnik.— 1976.— 25, N 6.— S. 256.
2. Rohlin J. An interferometer for precision angle measurement // Appl. Opt.— 1963.— 2, N 7.— P. 762.

Поступила в редакцию 30 марта 1989 г.

УДК 681.327.5

В. И. КОЗИК, С. В. МИХЛЯЕВ

(Новосибирск)

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ ЗУ

Голографические ЗУ со страничной организацией [4—5] позволяют производить считывание данных двумерными массивами (страницами) размерностью $N \times N$. Обработка информации при этом может быть осуществлена как в ЭВМ после этапа считывания данных из ЗУ [1, 2], так и непосредственно в процессе считывания с использованием оптико-электронных (ОЭ) спецпроцессоров [3—5], которые обеспечивают высокую степень параллельности обработки и позволяют существенно сократить поток данных из ЗУ в ЭВМ.

Примером обработки, выполняемой такими процессорами, является реализация ассоциативного поиска данных. Базовая операция при этом (поразрядное вычисление функций равнозначности-неравнозначности) может быть сведена к вычислению и оценке скалярных произведений бинарных векторов — ключевых слов описаний, хранящихся в базе данных, и векторов, содержащихся в запросе [3—5].

Известно несколько вариантов ОЭ-процессоров, реализующих операции вычисления скалярных произведений и применимых для обработки данных в ГЗУ. Наибольшая степень параллельности обработки достигается в случае, когда на вход процессора поступает одновременно несколько страниц данных (т. е. при параллельном восстановлении нескольких голограмм). Однако известные процессоры такого типа обладают рядом недостатков, затрудняющих их практическое применение. Например, оптические системы, в которых плоскость голограмм проективно сопряжена с плоскостью фотоприемника [3, 4], не обладают инвариантностью к смещению голограмм, что затрудняет их использование в устройствах с движущимся носителем, а также требуют разработки специализированных фотоэлектронных БИС со сложной топологией. В процессорах, использующих представление данных на странице в виде разрядных слайсов совокупности N^2 векторов [4], увеличивается время считывания вектора (после этапа поиска), а также возникают проблемы при регистрации и восстановлении голограмм, связанные с несбалансированностью количества единиц и нулей в странице.

В настоящей работе предлагается новое схемотехническое решение оптической системы спецпроцессора, предназначенного для поиска данных в ГЗУ, который позволяет обрабатывать одновременно несколько

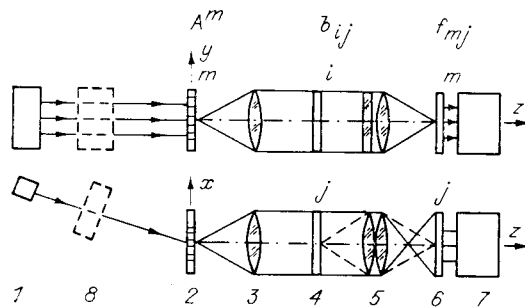


Рис. 1.

паденню, критерию «больше/меньше» и их чтения с применением этой оптической системы; приводятся результаты экспериментальных исследований. Поскольку одним из наиболее существенных факторов, определяющих характеристики предложенной оптической системы, являются ее дифракционные ограничения, в работе исследуются дифракционные эффекты и приводятся оценки уровня обусловленных ими перекрестных помех. Следует отметить, что полученные оценки носят более общий характер, поскольку аналогичные дифракционные ограничения имеют место также и в известных системах [3, 4].

Схема оптической системы процессора в двух проекциях приведена на рис. 1. Она включает блок формирования считывающих световых пучков 1, модуль памяти с массивом голограмм 2, восстанавливающий объектив 3 с фокусным расстоянием F , двумерный пространственный модулятор света (ПМС) 4, анаморфотный объектив 5 с фокусными расстояниями F_x и F_y по координатам X и Y , МФ 6 с электронным блоком обработки 7. При считывании голограмм с движущегося носителя (вращающийся диск, барабан, лента и т. п.) в системе может быть установлен оптико-электронный блок 8, выполненный на базе дефлектора оптического излучения и предназначенный для сопровождения считываемых голограмм световыми пучками.

Блок 1 формирует M параллельных световых пучков, освещающих столбец из M фурье-голограмм в модуле памяти 2. Изображения страниц данных, зарегистрированные на голограммах, восстанавливаются и совмещаются объективом 3 в плоскости ПМС 4. Страница данных содержит вектор A^m (где m — номер голограммы) длиной $K = N \times N$ бит, скомпонованный в виде матрицы таким образом, что в состав каждого j -го столбца ее входит N -разрядный j -й фрагмент A^m вектора A^m , а (i, j) -й элемент a_{ij}^m соответствует k -му ($k = N(j-1) + i$) разряду a_k^m вектора, где $i, j \in [1, N]$, $k \in [1, N^2]$. На ПМС 4 в аналогичном виде задается вектор B . Изображения страниц данных модулируются в соответствии со значениями разрядов b_k вектора B . Полученное световое распределение интегрируется анаморфотным объективом 5 по координате Y таким образом, что изображение каждой из M голограмм проецируется на соответствующую ей строку МФ 6. По координате X объективом 5 осуществляется проективное сопряжение плоскостей ПМС и МФ. Результирующая интенсивность света на (m, j) -м фотоприемнике МФ определяется скалярным произведением фрагментов векторов, размещенных в j -м столбце m -й страницы данных и ПМС:

$$f_{mj} = \sum_{i=1}^N a_{ij}^m b_{ij}. \quad (1)$$

Совокупность N сигналов с фотоприемных элементов каждой строки МФ полностью определяет скалярное произведение двух k -мерных векторов, один из которых представлен страницей данных, восстановленной с голограммы, а другой задан на ПМС. Оценка уровней сигналов, соответствующих частичным скалярным произведениям (1), и объединение этих

страниц данных, обладает инвариантностью к смещению голограмм по одной координате, ориентирован на использование матричного фотоприемника (МФ) с адресацией по строкам или столбцам [6] и характеризуется высоким коэффициентом сжатия потока данных из ЗУ в ЭВМ. Рассматриваются способы реализации основных операций, используемых при поиске данных: сравнения данных по сов-

результатов для оценки общего скалярного произведения осуществляются в электронном блоке 7. Поскольку на входе системы восстанавливается одновременно M страниц данных, то на выходе МФ 6 формируется одновременно M скалярных произведений различных k -мерных векторов, представленных на страницах данных, с k -мерным вектором, заданным на ПМС. На элементах МФ при этом производится аналоговое суммирование лишь N поразрядных произведений, что снижает требования к точности выполнения аналоговых операций.

При решении задач информационного поиска данный процессор используется для сравнения бинарных векторов посредством вычисления функций равнозначности-неравнозначности. Данные задаются в парафазном коде так, что каждый элемент матриц a_{ij}^m и b_{ij} представляется в виде $a_{ij}^m \bar{a}_{ij}^m$ и $b_{ij} \bar{b}_{ij}$ и занимает на странице два элемента $(2i - 1, j)$ и $(2i, j)$. При вычислении функций неравнозначности данные на ПМС представляются в обратном парафазном коде $\bar{b}_{ij} b_{ij}$. Частичные скалярные произведения (1) в этом случае принимают вид

$$g_{mj} = \sum_{i=1}^{N/2} h_{ij}^m = \sum_{i=1}^{N/2} (a_{ij}^m \bar{b}_{ij} + \bar{a}_{ij}^m b_{ij}), \quad (2)$$

где h_{ij}^m — суммарное световое распределение на выходе двух $((2i - 1, j)$ - и $(2i, j)$ -го) элементов ПМС, полученное в результате вычисления функции неравнозначности i -х разрядов j -х фрагментов векторов A^m и B .

Для выполнения операции считывания данных на ПМС последовательно задаются строки парафазных единиц ($b_{ij} = 1$ для $i = 1, \dots, N/2$ и всех $j \in [1, N]$). На i -м такте считываются i -е строки матриц A^m ($\{a_j\}_i^m = \{\bar{a}_j\}_i^m = \|r_{mj}\|_i$ для всех $m \in [1, M]$, $j \in [1, N]$, где r_{mj} — значения функций равнозначности, считываемые с (m, j) -х элементов МФ), а после $N/2$ тактов — полный набор элементов матриц A^m , зарегистрированных на линейке из M голограмм.

При сравнении по совпадению вектор запроса полностью задается на ПМС, а в электронном блоке осуществляется проверка условия $d_m = \bigcup_{j=1}^N g_{mj} = 0$ (символ \cup означает логическое суммирование). Проверка данного условия легко выполняется при использовании в качестве МФ фотоматричного ассоциативного ЗУ (ФМАЗУ) [6]. Выходными данными ФМАЗУ при этом является M -разрядное слово, в котором каждая строка МФ представлена одним разрядом, принимающим значение d_m .

Сравнение по критерию «больше/меньше» может производиться различными способами. Рассмотрим два из них. Для реализации первого варианта данные (в парафазном коде) размещаются на странице, как было представлено выше. На столбцах ПМС формируются слова опроса по аналогии с [4, 5] одновременно по каждому из N $N/2$ -разрядных фрагментов вектора B . Для формирования серии слов опроса во фрагментах вектора B , начиная со старших разрядов, последовательно выделяются нулевые (при поиске больших) или единичные (при поиске меньших) разряды. Выделенный разряд инвертируется, а все младшие маскируются. На последующем такте инвертированный разряд восстанавливается, выделяется следующий и т. д. Число тактов обработки (слов опроса) в данном случае определяется максимальным числом нулей (при поиске больших) или единиц (при поиске меньших) в различных фрагментах слова опроса. Объединение результатов обработки различных фрагментов вектора производится в электронном блоке 7.

Во втором случае при компоновке страниц данных парафазные разряды фрагментов векторов располагаются вдоль координаты Y (по столбцам), а сами фрагменты — вдоль координаты X (по строкам) таким образом, что каждый фрагмент вектора размещается на двух строках, на первой из которых двоичные разряды представлены в прямом, а на вто-

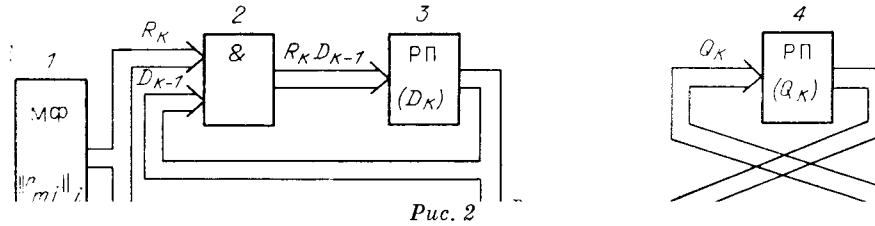


Рис. 2

рой — в инвертированном виде. При сравнении по критерию «больше/меньше» на ПМС в аналогичном виде поочередно задаются N -разрядные фрагменты вектора B , первый — на первой паре строк, следующей — на второй и т. д. В результате интегрирования по столбцам на элементах МФ получаем результат поразрядного вычисления функций равнозначности (или неравнозначности при взаимно-инверсном представлении векторов на странице данных и ПМС). При задании на ПМС i -го фрагмента вектора B (включаются $2i - 1$ - и $2i$ -я строки ПМС) на МФ получаем набор функций равнозначности i -х фрагментов векторов A^m и B : $\|r_{mj}\|_i = \|\bar{g}_{mj}\|_i$ для $j \in [1, N]$, $m \in [1, M]$. Дальнейшая обработка может производиться аппаратно в электронном блоке 7 в процессе считывания данных с МФ. Функциональная блок-схема электронного блока для этого случая изображена на рис. 2. Здесь 1 — МФ; 2, 6, 7 — логические элементы И; 3, 4 — регистры памяти (РП); 5 — инвертор; 8 — логический элемент ИЛИ. Все элементы 2—8 содержат по M каналов. Первоначально в РП 3 заносятся все «1», а в РП 4 — все «0» ($D_0 = 1$, $Q_0 = 0$, где D_k и Q_k — содержимое регистров РП 3 и 4 соответственно). В процессе сравнения по критерию «больше/меньше» при обработке i -х фрагментов векторов A^m и B с МФ считывается матрица $\|r_{mj}\|_i$ ($N M$ -разрядных слов — R_{ij} для $j \in [1, N]$ или R_k для $k \in [N(i - 1) + 1, N_i]$, где $R_k = \{r_m\}_k$ — вектор, составленный из значений функций равнозначности k -х разрядов векторов A^m и B). Последовательно считываемые с МФ слова по И заносятся в РП 3 и поступают на вход M -канального логического элемента И 6 (через инвертор 5), на второй вход которого подается очередной k -й разряд b_k вектора B при поиске меньших значений и \bar{b}_k — при поиске больших. После обработки k -х разрядов векторов A^m и B в РП 3 запоминается M -разрядное слово

$$D_k = \bigcap_{l=1}^k R_l$$

(символ \cap означает логическое произведение), разряды d_{mk} которого принимают значение 1, если все разряды соответствующего вектора A^m совпали с предъявленным вектором B вплоть до k -го разряда, и 0 в противном случае. На выходе элемента 6 при сравнении, например, по признаку «больше» вычисляются M произведений $\{\bar{r}_m\}_k \bar{b}_k = A'_k \bar{b}_k$ (где A'_k — M -разрядное слово, составленное из одноименных разрядов векторов A^m) и подаются на один из входов элемента 7, на другой вход которого поступает M -разрядное слово D_{k-1} , записанное в РП 3 на предыдущем такте. Результат $D_{k-1} A'_k \bar{b}_k$ на выходе элемента 7 логически суммируется с предыдущим содержимым РП 4, и полученное значение

$$Q_k = \bigcup_{l=1}^k D_{l-1} A'_l \bar{b}_l$$

снова заносится в РП 4. После K тактов обработки в РП 4 формируется M -разрядное двоичное слово Q , m -е разряды которого имеют единичное

значение, если $A^m > B$, и нулевое, если $A^m \leq B$. В результате после задания на ПМС $N/2$ фрагментов вектора B производится сравнение по критерию «больше/меньше» M K -разрядных векторов, зарегистрированных на страницах данных ГЗУ, с K -разрядным вектором, представленным в запросе.

Таким образом, рассматриваемый процессор, наряду с возможностью чтения данных, позволяет осуществлять их сравнение по совпадению и по критерию «больше/меньше». При реализации операций сравнения из ГЗУ считывается $M \times N^2$ бит информации, а результат формируется на выходе процессора в виде M -разрядного слова, что обеспечивает сокращение потока данных в N^2 раз.

Поскольку в рассматриваемой системе осуществляется одновременное восстановление нескольких голограмм, то представляется целесообразным оценить перекрестные помехи, обусловленные переналожением световых потоков, соответствующих отдельным голограммам.

В отличие от голографических ЗУ с восстановлением страниц данных непосредственно в плоскости фотоприемника в рассматриваемой системе в выходную плоскость проецируется изображение ПМС (по координате X) и изображение голограмм (по координате Y). Дифракционные ограничения оптической системы по координате X практически не сказываются на результирующем световом распределении в силу невысокой размерности страниц данных. По координате Y эти ограничения существенны, поскольку размер элемента ПМС δ значительно меньше апертуры системы D . При проецировании голограмм по этой координате их дифракционные изображения в плоскости фотоприемника оказываются размытыми, что приводит к перекрестным помехам — искажениям электрических сигналов с соседних фотоприемных элементов. Уровень возникающих перекрестных помех зависит от многих факторов: размеров голограмм и элементов ПМС, размеров фотоприемников, параметров считывающего светового пучка, скважности голограмм. Кроме того, уровень помех зависит также от режима работы системы: при чтении данных уровень помех меньше, чем при поиске, поскольку в последнем случае эффект усиливается за счет аналогового суммирования оптических сигналов по координате Y .

Приведем результаты численных расчетов уровня перекрестных помех для различных параметров системы. При этом воспользуемся известными приемами описания голографических систем [7] и предположим, что голограммы и элементы ПМС имеют квадратные апертуры.

Можно показать, что в этом случае огибающая интенсивности светового распределения на выходе системы вдоль координаты Y при восстановлении одной голограммы описывается выражением

$$I(y) = \left| \int_0^{\Delta} \frac{\sin \pi \zeta}{\zeta} e^{-\left(\frac{\zeta}{\zeta_0}\right)^2} \left[\frac{\sin \pi \alpha (y - \zeta)}{y - \zeta} + \frac{\sin \pi \alpha (y + \zeta)}{y + \zeta} \right] d\zeta \right|^2, \quad (3)$$

где $\alpha = \delta/d$; $\zeta_0^{-2} = \zeta_1^{-2} + \zeta_2^{-2}$; d — размер элемента ПМС при записи голограмм; δ — размер элемента ПМС, используемого при поиске; Δ — приведенный половинный размер голограммы (нормирован на величину $\zeta_a = \lambda F/d$; λ — длина волны света); ζ_1 и ζ_2 — приведенные размеры опорного и восстанавливающего гауссовых световых пучков.

Относительный уровень перекрестных помех на фотоприемнике с приведенным размером $2w$ от двух соседних голограмм определяется соотношением

$$\eta = (K_1 + K_2) P_c / P_n, \quad (4)$$

где

$$P_c = \int_{-w}^w I(y) dy —$$

Таблица 1

Δ	ξ_0^{-2}	α	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	$\frac{P_1}{P_0}, \%$	$\frac{P_2}{P_0}, \%$	$\frac{P_3}{P_0}, \%$	η_1	η_2
0,8	0,5	1,00	1,125	2,05	3,05	4,025	0,99	0,37	0,19	43,5	17,9
0,8	0,5	1,25	0,975	1,675	2,45	3,25	0,5	0,21	0,11	22,7	10,2
0,8	1,0	1,00	1,15	2,075	3,05	4,025	0,8	0,31	0,16	35,5	15,0
0,8	1,0	1,25	1,025	1,7	2,475	3,25	0,33	0,14	0,07	15,0	6,7
1,0	0,5	1,00	1,125	2,075	3,05	4,025	0,93	0,36	0,19	41,6	17,6
1,0	0,5	1,25	0,975	1,675	2,45	3,25	0,44	0,19	0,1	20,2	9,3
1,0	1,0	1,00	1,175	2,075	3,05	4,05	0,7	0,28	0,15	31,4	13,8
1,0	1,0	1,25	1,05	1,71	2,475	3,25	0,26	0,12	0,06	12,2	5,8

полезный сигнал фотоприемника, соответствующий ситуации несовпадения данных, восстановленных с m -й голограммы и заданных на ПМС, в один бит;

$$P_{\Pi} = \int_{T-w}^{T+w} I(y) dy - \quad (5)$$

перекрестная помеха от соседней голограммы при уровне несовпадения данных в один бит; T — скважность голограмм; K_1, K_2 — количество бит в страницах данных, восстановленных с двух соседних ($m \pm 1$)-х голограмм, не совпавших с данными, заданными на ПМС.

Проанализируем зависимость светового распределения (3) от различных параметров системы. Обозначим через Y_i ($i = 0, \dots, 3$) координаты дифракционных минимумов в соотношении (3), а через P_i световую энергию соответствующих дифракционных порядков. В результате численных расчетов можно получить значения относительных величин P_i/P_0 . Соответствующие данные при интервале дискретизации по Y — 0,025 приведены в табл. 1. Заметим, что случай $\xi_0^{-2} = 2$ соответствует одинаковым значениям параметров гауссова светового пучка, используемого при записи и восстановлении голограмм ($\xi_1 = \xi_2 = 1$), а значение $\xi_0^{-2} = 1$ — случаю считывания линейки голограмм световой полосой ($\xi_1 = 1; \xi_2 = \infty$).

Оценим величину η при парафазном представлении данных и размерности страницы $N = 32$. В этом случае $\max(K_1 + K_2) = 32$. В первом приближении можно не учитывать неэквидистантность расположения дифракционных порядков и принять размер фотоприемного элемента равным размеру дифракционного максимума. В этом приближении при размещении фотоприемников (и голограмм) по координате Y со скважностями $T_i \approx 0,5(i+1)$ для перекрестной помехи получим выражения

$$\eta_i \approx 32(P_i + P_{i+1})/P_0, \quad i = 1, 2.$$

Соответствующие значения η_i в процентах приведены в табл. 1. Данные этой таблицы позволяют выбрать параметры системы на качественном уровне таким образом, чтобы ограничить влияние перекрестной помехи и обеспечить надежную регистрацию полного совпадения данных при поиске по совпадению. Заметим, что при $\Delta \ll 1$ или $\alpha \gg 1$ ($\xi_0 \gg 1$) результаты расчетов дают для уровня помехи известные значения [8]. В случае $\alpha = 1$ (идентичные размеры элементов ПМС при записи и поиске данных) уровень боковых лепестков оказывается значительным. Снижение этого уровня может быть обеспечено путем увеличения скважности голограмм или размеров элементов ПМС, используемого при поиске данных. Так, при $\alpha = 1,25$ происходит снижение уровня перекрестной помехи примерно в 2 раза. Приведенные в табл. 1 данные могут служить первым приближением к оценке параметров системы. Более точные расчеты должны учитывать реальные размеры фотоприемных элементов. Так, известный многоэлементный фотоприемник с функциями обработки данных — ФМАЗУ [6] — имеет скважность $T1 = 1,67$. При

Таблица 2

α	w		
	0,5	0,6	0,7
1,0	36,4	34,6	20,9
1,25	18,9	9,8	9,2
T	0,83	1,0	1,17

использовании такого фотоприемника расстояние между центрами голограмм h должно быть связано с размером фотоприемного элемента зависимостью $h = 2wT1$, а скважность — $T = wT1/\Delta$. Соответствующие значения η для ФМАЗУ, вычисленные согласно (3) — (5) для различных значений w при $\Delta = 1$, $\xi_0^{-2} = 2$, приведены в табл. 2. Из этих данных следует, что при расположении голограмм вплотную друг к другу уровень перекрестной помехи не будет превышать величин $\eta = 34,6\%$ при $\alpha = 1,0$ и $\eta = 9,8\%$ при $\alpha = 1,25$. С ростом w уровень помехи снижается (возрастает полезный сигнал), но в то же время это приводит к нежелательному увеличению скважности голограмм. Для повышения плотности записи данных в ЗУ в этом случае могут быть использованы известные приемы, связанные, например, с изменением ориентации вектора несущей дифракционной решетки голограммы [9].

С целью проверки работоспособности процессора проведены макетирование и экспериментальные исследования предложенной оптической системы (см. рис. 1). Исследовалась зависимость размера изображений голограмм (по нулевому дифракционному порядку) в выходной плоскости от размеров элементов ПМС δ , а также оценивалось отношение сигнал/фон в результате аналогового суммирования световых распределений при вычислении функции g_{mj} (2).

Голограммы, предоставленные авторами работы [10], регистрировались в схеме с параллельными световыми пучками [7], при этом использовался ПМС размерностью 32×32 с размерами элементов $d = 150$ мкм и шагом 250 мкм. В качестве опорного и считывающего использовались гауссовы световые пучки с $\xi_1 = \xi_2 = 1$ (нормировочный коэффициент имел величину $\xi_d = 240$ мкм). Увеличение оптической системы составляло: по оси X — 1,7, по оси Y — 1.

Экспериментальные исследования показали, что размер нулевого дифракционного порядка практически не меняется с увеличением α при $\alpha \geq \alpha_0 = 1,15$. Выходное световое распределение для $\alpha = \alpha_0$ в случае восстановления одной голограммы приведено на рис. 3 (для исключения эффектов, связанных с интерференцией световых пучков, в плоскости ПМС выделена одна строка данных). Относительный уровень боковых лепестков при этом, согласно расчетам, составляет $P_1/P_0 = 0,41\%$. Полученное значение α_0 может быть использовано для оценки размеров элементов ПМС.

Для определения величины сигнал/фон использовалось отношение S_1/S_0 , где S_0 — величина сигнала фотоприемника при полном совпадении соответствующих данному элементу МФ фрагментов векторов, представленных на страницах данных и заданных на ПМС, т. е. при $g_{mj} = 0$ (сумма 16 «0»), а S_1 — величина того же сигнала при несовпадении фрагментов в один бит ($g_{mj} = 1$ — сумма 15 «0» и одной «1»). Величина S_1 определяет уровень сигнала в случае минимального различия векторов (на один разряд), которое необходимо обнаружить при сравнении векторов по совпадению. Получено отношение средних значений сигналов $\langle S_1 \rangle / \langle S_0 \rangle = 2,8$, разброс сигналов при полном совпадении $\Delta S_0 = 10\%$, при несовпадении в один бит — $\Delta S_1 = 3\%$, что позволяет обнаружить различие векторов в один бит (при оперировании 16-разрядными векторами).

Таким образом, применение предложенной оптической системы в составе ОЭ-процессора для поиска данных в ГЗУ обеспечивает возможность одновременной обработки M страниц дан-

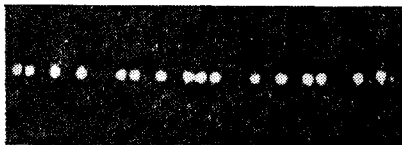


Рис. 3

ных размерностью $N \times N$ бит, зарегистрированных в виде одномерного массива голограмм. Базовой операцией процессора является параллельное поразрядное вычисление функций равнозначности (неравнозначности). Это позволяет проводить поиск (по совпадению, по критерию «больше/меньше») и чтение данных. При реализации операций сравнения может достигаться сжатие потока данных из ЗУ в ЭВМ в N^2 раз. Оптическая система процессора инвариантна к смещению голограмм по одной координате, что существенно при использовании ЗУ с движущимся голографическим носителем.

Приведенные оценки дифракционных эффектов позволяют выбирать параметры оптической системы процессора (скважность голограмм на носителе, размеры элементов ПМС и МФ) в зависимости от допустимого уровня перекрестных помех при одновременном восстановлении массива голограмм.

делается главным образом качеством голограмм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блок А. А., Ванюшев Б. В., Гибин И. С. и др. Испытания голографической системы архивной памяти емкостью 1 Гбайт // Шестая всесоюз. школа-семинар по оптической обработке информации.— Фрунзе: ФПИ, 1986.— Ч. I.
2. Грамматин А. П., Гусев В. К., Долгова Е. В. и др. Голографическое запоминающее устройство с произвольным доступом к информации // ОМП.— 1988.— № 6.
3. Гибин И. С., Гофман М. А., Пен Е. Ф. и др. Ассоциативная выборка информации в голограммных запоминающих устройствах // Автометрия.— 1973.— № 5.
4. Гибин И. С., Гофман М. А., Кибирев С. Ф. и др. Голограммные ЗУ с функциями поиска информации // Автометрия.— 1977.— № 5.
5. Твердохлеб П. Е. Логическая обработка данных в матричном оптико-электронном процессоре // Оптико-электронные методы обработки изображений/Под ред. С. Б. Гуревича.— Л.: Наука, 1982.
6. Коняев С. И. Фотоматричное ассоциативное запоминающее устройство // Электрон. пром-сть.— 1988.— № 4.
7. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М.: Мир, 1973.
8. Weizelt J. Space-bandwidth product and crosstalk of spatial filtering methods for performing binary logic optically // Opt. Eng.— 1988.— 27, N 10.— P. 883.
9. Блок А. А., Домбровский В. А., Домбровский С. А. Практический предел плотности записи данных в голографических ЗУ на плоских носителях.— Новосибирск, 1988.— (Препр./ИИиЭ СО АН СССР; 386).
10. Блок А. А., Ванюшев Б. В., Волков А. В. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных // Автометрия.— 1984.— № 3.

Поступила в редакцию 21 августа 1989 г.

УДК 389.64 : 535.338.334

А. Д. КУПКО

(Харьков)

ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЛАЗЕРНО-ДОПЛЕРОВСКИМИ АНЕМОМЕТРАМИ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКАХ

Исследование высокоскоростных турбулентных потоков имеет важное практическое значение для ряда областей науки и техники. При проведении экспериментальных исследований необходимы подходящие теоретические модели, которые позволяют выявить физические параметры, характеризующие данный процесс, связать эти параметры с показа-

© 1990 Купко А. Д.