

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Ц 843 + С344.1э + С344.1е

6351/83

P10-83-527

Г.М.Комов, Л.М.Сороко

СЕКТОРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ  
ПРИ ПОМОЩИ ПЗС-МАТРИЦЫ

1983

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При считывании прямых треков частиц в фурье-микроскопе для просмотра ядерной фотоэмульсии<sup>/1/</sup> определяющим параметром является ориентация дифракционного изображения прямого трека частицы. Последнее лежит в плоскости пространственных частот, проходит через оптическую ось фурье-микроскопа и остается неподвижным в процессе перемещения слоя ядерной фотоэмульсии относительно пучка света от лазера. В работе показано, что ориентацию фурье-образа прямого трека можно определить без каких-либо дополнительных затрат времени на стадии формирования гистограммы углового распределения, если традиционный алгоритм считывания данных об изображении, формируемых при помощи телевизионной камеры на приборах с зарядовой связью /ПЗС/, заменить на алгоритм секторного сканирования.

В работе описаны алгоритм и программа WALSH реализации секторного сканирования, которые основаны на функциях Уолша, упорядоченных по секвенте<sup>/2/</sup>. Программа WALSH позволяет получить гистограмму углового распределения освещенности на кадре вдоль веера направлений, выходящих из общего апекса. Программа WALSH была промоделирована на ЭВМ для тестовых объектов - прямых треков с разрывами. Изображения прямых треков, выходящих из общего апекса, формировались при помощи светочувствительной ПЗС-матрицы размером 232x144 передающей телевизионной камеры "Электроника ЛТ-60" и поступали в блок памяти ЭВМ через интерфейс<sup>/3/</sup>. Результаты моделирования показывают, что разработанный алгоритм секторного сканирования обладает высокой помехоустойчивостью.

## 2. ПРОГРАММА WALSH

Программа WALSH секторного сканирования написана на ассемблере для ЭВМ ТРА-1001 /ЭВМ типа PDP-8/ и содержит 6008 слов машинной памяти. Исходные данные для программы имеют вид массива из 12-разрядных слов в следующем формате:

- 1 слово: 1xxx - код номера строки;  
          1 - марка строки;
- 2 слово: 0xxx - координата начала трека на данной строке;
- 3 слово: 0xxx - координата конца пересечения трека на данной строке;

4 слово: 0xxx - координата начала пересечения трека на данной строке;

6000 - марка конца массива.

На растровый дисплей выводят кадр с исходным изображением, хранящимся в блоке памяти ЭВМ, а также искомым гистограмму углового распределения прямых треков с общим апексом.

Программа WALSH содержит блоки: вычисления кода Грея, вычисления двоичной зеркальной инверсии компонент кода Грея, проверки четности логического поразрядного произведения зеркально инвертированного кода Грея на код сканируемой строки, выявления наличия освещенной ячейки матрицы изображения, заполнения выходного регистра гистограммы углового распределения прямых треков с общим апексом.

При помощи указанных блоков программы WALSH строят дискретные функции Уолша /4/:

$$h_W(x, s) = (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} q_i(s) x_i}, \quad /1/$$

заданные на массиве из  $N = 2^n$  точек, где  $q(s) = \tilde{g}(s)$ ,  $g(s)$  - код Грея секвенты  $s$ , а тильда означает зеркальную инверсию компонент числа  $g(s)$ . Значение секвенты  $s$  равно числу изменений знака дискретных функций Уолша на интервале  $0 \leq x < N-1$ .

Сущность алгоритма секторного сканирования одного октанта матрицы изображения  $M(x, y)$  состоит в том, что в процессе считывания ячеек столбца  $M(x, y)$  ячейки регистра гистограммы углового распределения прямых треков  $R(i)$  заполняют по правилам:

1/ если при увеличении индекса  $i$  на единицу знак  $\tilde{g}(x) \cdot i$  изменился, то значение освещенности следующей  $(y+1)$  ячейки матрицы  $M(x, y)$  направляют в следующую  $(i+1)$  ячейку регистра гистограммы углового распределения  $R(i)$ ;

2/ если при увеличении индекса  $i$  на единицу знак  $\tilde{g}(x) \cdot i$  не изменился, то значение освещенности данной  $(y)$  ячейки матрицы  $M(x, y)$  направляют в следующую  $(i+1)$  ячейку  $R(i)$ .

Блок-схема программы сортировки ячеек матрицы изображения для получения гистограммы углового распределения прямых треков приведена на рис.1, где использованы следующие обозначения:  $y$  - индекс строки,  $x$  - индекс столбца матрицы изображения,  $i$  - индекс ячейки гистограммы углового распределения прямых треков.

На рис.2 показано положение октанта, который подвергается секторному сканированию при помощи описанного выше алгоритма. Утолщенными линиями выделена та часть матрицы, которая подвергается сканированию. Стрелки с индексами  $R(i)$  условно показывают направления сканирования при получении гистограммы углового распределения  $R(i)$ . Значения освещенности за пределами матрицы ПЗС приняты равными нулю.

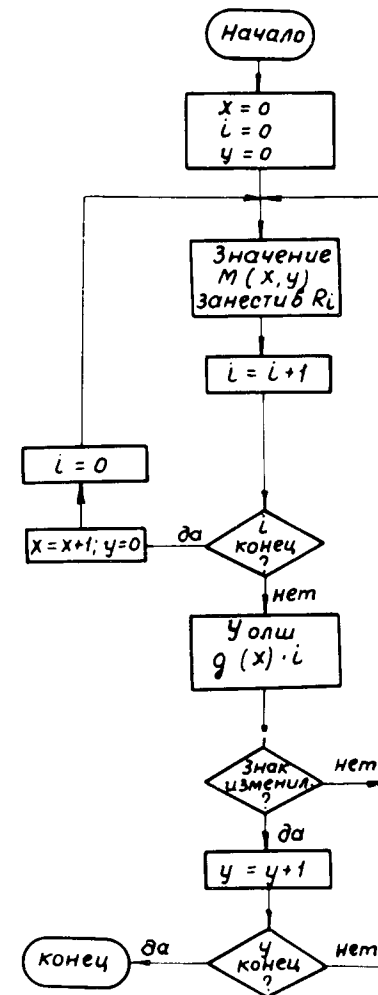
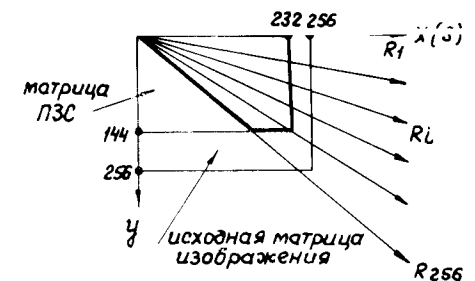


Рис.1. Блок-схема программы WALSH.

Рис.2. Взаимное расположение сканируемого октанта, матрицы ПЗС и исходной матрицы изображения, для которой построена программа WALSH.



Если  $y$  заменить на  $y-y_0$ , то апекс углового сканирования сдвинется на  $y_0$  ячеек вправо. Если  $y$  заменить на  $y_0-y$ , то при этом изменится также направление диагонали квадрата, которая ограничивает сканируемый октант /рис.3/. Объединение двух программ WALSH для каждого из указанных октантов, приведенных на рис.2 и 3, дает алгоритм секторного сканирования квадрата /рис.4/. Смещение точки апекса вдоль оси  $X$  приводит либо к вынесению апекса за пределы кадра, либо к перемещению его внутрь кадра /рис.5/.

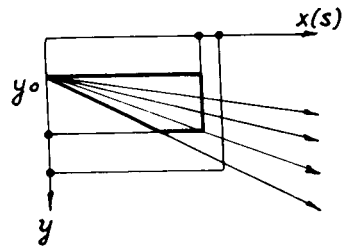


Рис.3. Область сканирования, получаемая после преобразования  $y \rightarrow y - y_0$ .

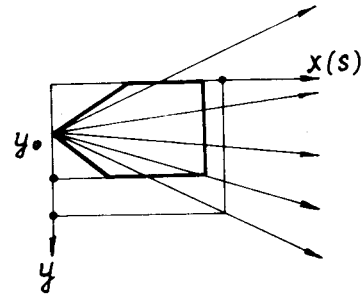


Рис.4. Область сканирования в алгоритме секторного сканирования квадранта.

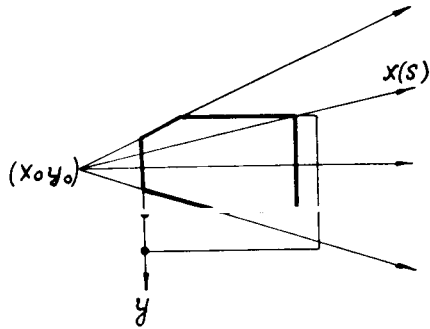


Рис.5. Область сканирования, когда точка апекса секторного сканирования квадранта вынесена за пределы кадра.

$M(k, y)$

$y_0$	•	••	x	xx
1		Δ	o	oo
2			ΔΔ	oo
3				□
	0	1	2	3

$k$

Рис.6. Исходная матрица изображения 4x4, ячейки октанта которой обозначены условными знаками в соответствии со значениями освещенности в каждой ячейке этой матрицы.

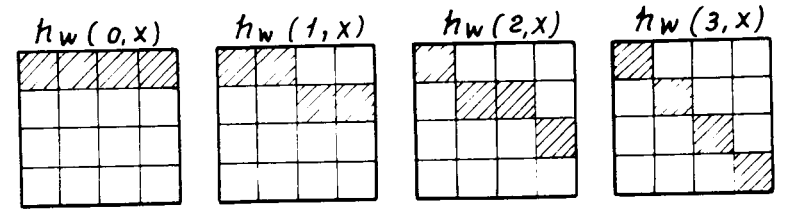


Рис.7. Последовательность собственных функций секторного сканирования, используемая в программе WALSH секторного сканирования октанта 4x4 матрицы. Заштрихованные поля соответствуют прозрачным ячейкам, светлые - непрозрачным. Индекс секвенты последовательно принимает значения  $s = 0, 1, 2, 3$  слева направо.

$R_x$

	•	••	x	xx
1	1	5	9	13
2	2	6	10	14
3	3	7	11	15
	4	8	12	16
	0	1	2	3

$R_x$

Рис.8. Подготовленные для построения суммирования данные об освещенностях ячеек матрицы изображения с указанием последовательности заполнения данной матрицы.

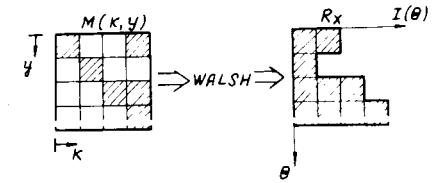


Рис.9. Пример, иллюстрирующий характер изменения исходной матрицы изображения с освещенным октантом в матрицу, подготовленную для получения гистограммы углового распределения  $R(x)$ .

Чтобы проиллюстрировать принцип действия программы WALSH, возьмем в качестве исходной матрицы изображения размером 4x4 /рис.6/. Различные знаки внутри ячейки октанта матрицы изображения указывают условно значения освещенности в каждой ячейке матрицы. Сканированию подвергается только октант матрицы изображения. Последовательность собственных функций секторного сканирования, используемых в программе WALSH, приведена на рис.7. Считывание информации по алгоритму секторного сканирования ведут вдоль оси Y, то есть при  $x=x_0$ . Полный объем инфор-

мации об освещенности ячеек матрицы изображения при сканировании согласно данному алгоритму приведен на рис.8 для случая, когда апекс расположен в точке /0,0/. Цифры /порядковые номера/ внутри ячеек образовавшейся матрицы указывают последовательность заполнения данной матрицы.

Сущность операции построения гистограммы углового распределения  $R(i)$  можно интерпретировать следующим образом<sup>/2/</sup>. Последовательно для каждого из четырех возможных значений секвенты  $s = 0, 1, 2, 3$  на исходную матрицу  $M(x, y)$  накладывают собственные функции, имеющие прозрачные и непрозрачные ячейки /рис.7/.

В регистр гистограммы углового распределения  $R(x)$  заносят те ячейки матрицы  $M(x,y)$ , которые попали на прозрачные ячейки соответствующей функции секторного сканирования с индексом, равным данной секвенте  $s$ . На рис.9 приведена исходная матрица изображения  $4 \times 4$  с освещенным верхним октантом, подготовленная для построения суммирования матрицы.

### 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ

Описанная выше программа WALSH секторного сканирования была промоделирована на ЭВМ для реальных изображений. В этой программе были заданы размеры исходной матрицы изображения  $256 \times 256$ , которая перекрывала светочувствительную матрицу ПЗС размером  $232 \times 144$ . В первом варианте ось секвенты  $s$  являлась осью  $X$  /см. рис.2/, а в следующем варианте моделирования программы WALSH ось секвенты  $s$  шла вдоль оси  $Y$ . Во втором варианте быстродействие программы было повышено в  $60 \pm 100$  раз. Такой выигрыш был получен благодаря тому, что алгоритм считывания данных из памяти ЭВМ для их сортировки был приведен в соответствие с алгоритмом записи данных с телевизионной камеры на основе ПЗС в память ЭВМ. На рис.10 дано исходное изображение прямых треков, а на рис.11 - гистограмма углового распределения  $R(i)$ , которая соответствует схеме сканирования октанта, приведенной на рис.2.

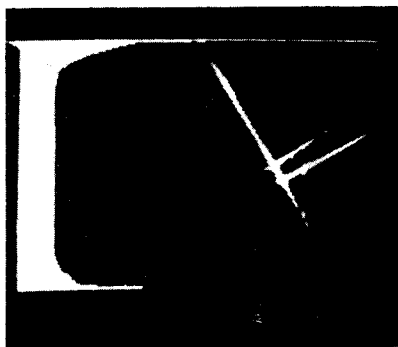


Рис.10. Исходное изображение прямых треков, сформированное при помощи телевизионной камеры на основе ПЗС.

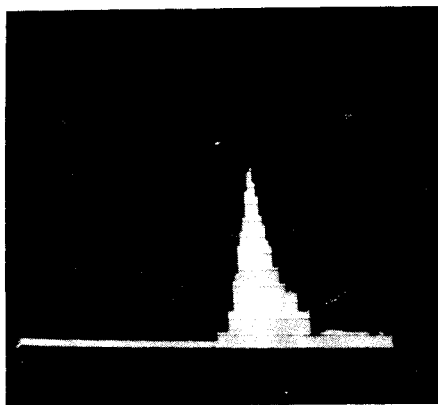


Рис.11. Гистограмма углового распределения прямых треков в верхнем октанте исходного изображения /см.рис.10/.

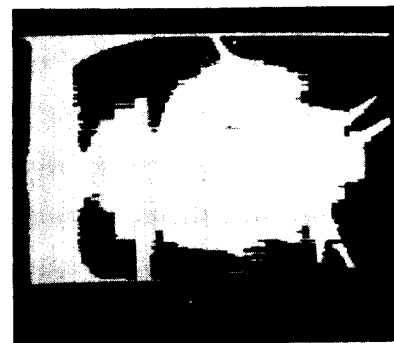


Рис.12. То же, что и на рис.10, но при высоком уровне помех.

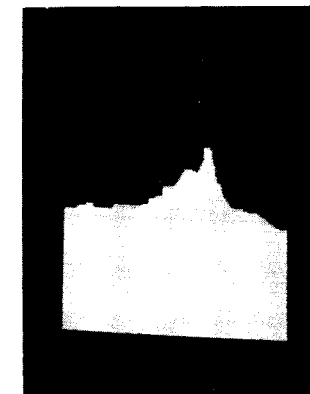


Рис.13. Гистограмма углового распределения исходного изображения при высоком уровне помех /см. рис.12/.

Были опробованы две схемы формирования изображений при помощи ПЗС. В первом случае на матрице ПЗС формировался дифракционный фурье-образ прямого трека. Во втором случае через объектив передающей камеры на матрице ПЗС формировалось изображение макета в виде белых полосок на черной бумаге. В том и другом случаях интерфейс телевизионной камеры ПЗС формировал бинарные /черные или белые/ значения освещенности ячеек матрицы исходного изображения.

Программа WALSH секторного сканирования обладает высокой помехоустойчивостью. Из рис.12 и 13 видно, что отношение сигнала к шуму в исходном изображении, равное  $1:15$ , повышается до значения  $1:1$ .

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программа WALSH секторного сканирования обладает важными положительными достоинствами: простотой построения алгоритма и реализации программы, высокой помехоустойчивостью, простотой перехода на матрицу изображения большого размера, высоким быстродействием и быстротой перестройки алгоритма секторного сканирования для произвольного положения аперкса. Программа WALSH секторного сканирования открывает возможность для построения быстродействующей итерационной программы поиска положения аперкса.

Программа WALSH секторного сканирования была создана для углового сканирования прямолинейных объектов, имеющих общий апекс. Однако фактическая область применения этой программы гораздо шире. Программу WALSH можно использовать для построения гистограммы углового распределения изображений любых объектов, для обнаружения в кадре прямолинейных объектов и для прослеживания вдоль криволинейных объектов. Непосредственно программа WALSH может быть сочленена с любым сканирующим устройством, в котором можно реализовать строчную развертку, а для устройств, разворачивающих изображение не по строкам, - после пересчета координат в декартову систему координат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сороко Л.М. ОИЯИ, Б1-13-81-229, Дубна, 1981.
2. Сороко Л.М. ОИЯИ, P10-83-77; Дубна, 1983.
3. Астахов А.Я., Комов Г.М. ОИЯИ, P10-80-227, Дубна, 1980.
4. Кожевникова С.О., Сороко Л.М. ОИЯИ, P10-7757, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 июля 1983 года.

Комов Г.М., Сороко Л.М.  
Секторное сканирование при помощи ПЗС-матрицы

P10-83-527

Описаны алгоритм и программа WALSH секторного сканирования, которые основаны на функциях Уолша, упорядоченных по секвенте. Программа WALSH промоделирована на ЭВМ для тестовых объектов - прямых линий с разрывами. Изображения прямых треков, выходящих из общего апекса, формировались на светочувствительной матрице прибора с зарядовой связью /ПЗС/. Показано, что реализация алгоритма секторного сканирования не выходит за пределы стадии считывания данных с ПЗС-матрицы и что отношение сигнала к шуму, равное 1:15 в исходном изображении, повышается до значения 1:1.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Комов G.M., Soroko L.M.  
Angular Scanning by Charge-Coupled Device Matrix

P10-83-527

The algorithm and WALSH program of angular scanning based on sequency ordered WALSH functions are described. The WALSH program has been simulated on computer for test objects as straight line tracks with gaps. The images of the straight line tracks emerged from the common apex are formed on light sensitive charge-coupled devices /CCD/. It is shown that the implementation of the algorithm of angular scanning is in the limits of read-out stage of data CCD-matrix and that the signal-to-noise ratio equal to 1:15 in the initial image is enhanced up to 1:1.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой