

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

3403 / 2-80

4/8-80

P10-80-302

Б.Нэргуй

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ
НАХОЖДЕНИЯ ТРЕКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

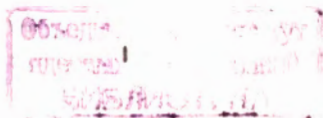
1980

Для нахождения трековых элементов при фильтрации данных, поступающих с автоматических сканирующих устройств, таких, как спиральный измеритель (СИ)^{1/}, НРД и др., широко применяется известный метод поворотных гистограмм^{2,3/}.

В данной работе предложен быстрый алгоритм метода поворотных гистограмм, который допускает простую реализацию, позволяющую добиться значительной экономии памяти ЭВМ.

I. Метод поворотных гистограмм

Функциональная схема метода гистограммирования заключается в том, что область, в которой необходимо обнаружить трековый элемент, разбивается на ряд полос одинаковой ширины и строится гистограмма по числу точек, принадлежащих таким полосам (см. рис. 1). Если провести такое гистограммирование под разными углами наклона полос, то элемент следа вызывает резкий максимум в той полосе, наклон которой лучше всего совпадает с направлением этого элемента. С вычислительной точки зрения метод осуществляется с помощью проектирования всех точек, принадлежащих области гистограммирования, на ось $Y=U \sin \alpha$ под разными углами, как показано на рис. 2.



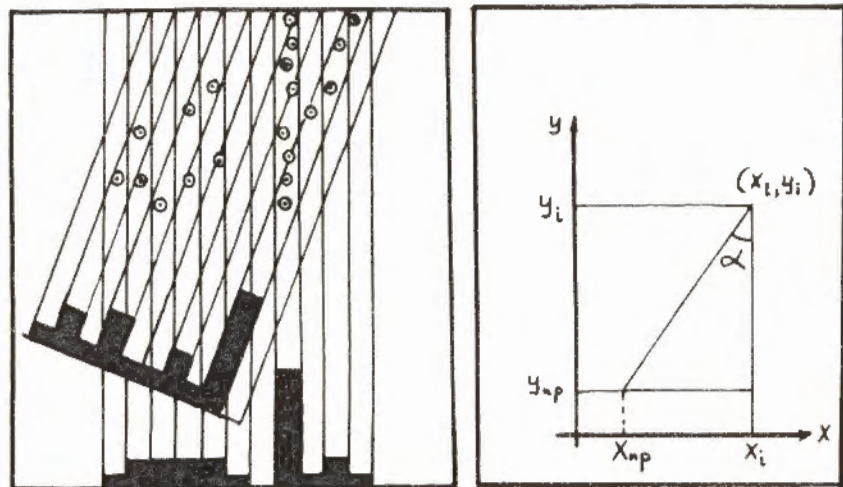


Рис.1

Рис.2

Из рис.2 видно, что X_{np} вычисляется по следующей формуле:

$$X_{np} = X_i + (Y_i - Y_{np}) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где α - угол проектирования.

Номер интервала $N_{гист}$, куда попала данная точка (X_i, Y_i) , вычисляется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_{np} &= \frac{X_{np}}{W} + 1 \\ N_{гист} &= [\bar{X}_{np}] \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где W - ширина интервала,
 $[]$ - символ целой части.

Представление результатов измерений, поступающих с СИ, в ортогональной системе (R, θ) очень наглядно, т.к. треки, являющиеся дугами окружностей, радиально выходящими из вершины, выглядят в таком представлении прямыми, наклон которых к горизонтальной оси (см. рис.3) зависит от радиуса кривизны этих треков.

Это делает метод поворотных гистограмм особенно удобным инструментом для обнаружения трековых элементов вблизи вершины.

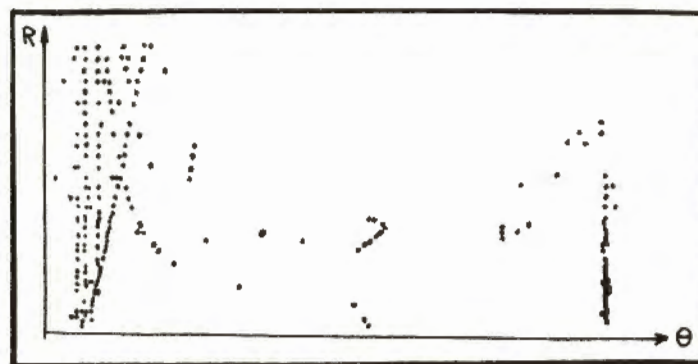


Рис.3

При спиральном сканировании шаг сканирования, т.е. расстояние ΔR между последовательными скан-линиями, можно считать постоянным в заданных участках поля сканирования, в том числе в области $R \leq 3,5$ мм вблизи вершины, где обычно строится гистограмма. Тогда можно переписать формулы (1-2) для j -ой скан-линии в области поиска трековых элементов следующим образом:

$$\theta_{np} = \theta_i + j \cdot \Delta R \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (-\alpha_{max} \leq \alpha \leq \alpha_{max}) \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\theta}_{np} &= \frac{\theta_{np}}{W} \\ N_{гист} &= [\bar{\theta}_{np}] \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где α_{max} определяется минимально возможным радиусом кривизны.

В дальнейшем назовем алгоритмами 1 и 2 соответственно формулы (1-2) и формулы (3-4).

Укажем на то полезное обстоятельство, что при гистограммировании алгоритмом 2 координата R_j данной точки фактически исключается из рассмотрения. Алгоритм 2 работает неточно при ΔR_j , зависящем от j , но по сравнению с алгоритмом 1 обладает рядом преимуществ по быстроте действия и легкости реализации. В самом деле, при выборе ширины интервала W , равной 2^k (k - целое число), процесс нахождения трековых элементов может быть полностью выполнен с помощью целой арифметики: операции сложения, вычитания

и сдвига, т.е. допускает особенно простую реализацию в автокоде ЭВМ.

2. Реализация быстрого алгоритма

Перед началом процедуры гистограммирования устанавливаются значения следующих параметров:

- $NBIN$ - максимальное число интервалов гистограммы,
- NSL - максимальное число наклонов, нечетное число $NSL = 2 \cdot S + 1$ *),
- $NZSL$ - номер нулевого наклона ($NZSL = \frac{NSL-1}{2}$),
- N - максимальное число скан-линий области гистограммирования,
- $NPNT$ - минимальное число точек возможного трекового элемента,
- W - ширина интервала гистограммы.

Параметры, определяющие область гистограммирования (см. рис. 4):

- $NBRV$ - номер скан-линии, соответствующий значению R_{MIN} ,
- $NBRV$ - номер скан-линии, соответствующий значению R_{MAX} ,
- $NBHIST$ - номер интервала, соответствующего значению T_{BEG} ,
- $NBHIST$ - номер интервала, соответствующего значению T_{END} .

Параметры, определяющие границу наклонов:

- $NBSL$ - номер начального наклона ($1 \leq NBSL \leq NSL$),
- $NBSL$ - номер конечного наклона ($NBSL \leq NBSL \leq NSL$).

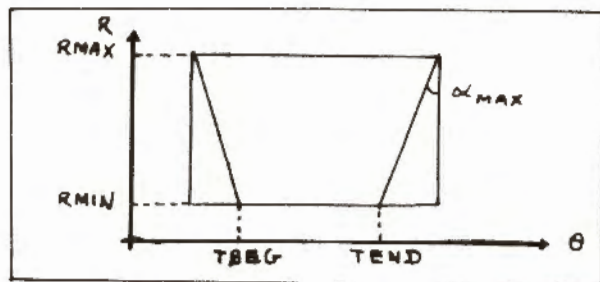


Рис. 4

*) $S = \frac{R_{MAX} - R_{MIN}}{W} \cdot \text{tg} \alpha_{max}$. Обычно $S = 7 + 10$, что достаточно для определения треков с минимальной энергией 50 + 100 МэВ/с.

Проектирование точек, принадлежащих области гистограммирования, осуществляется с постоянным шагом. Шаг наклона проектирования выбирается таким, чтобы последующий интервал гистограммы полностью перекрывал предыдущий, т.е. длина проекции меняется на постоянную величину $\Delta\theta$ (обычно $\Delta\theta = W$, см. рис. 5).

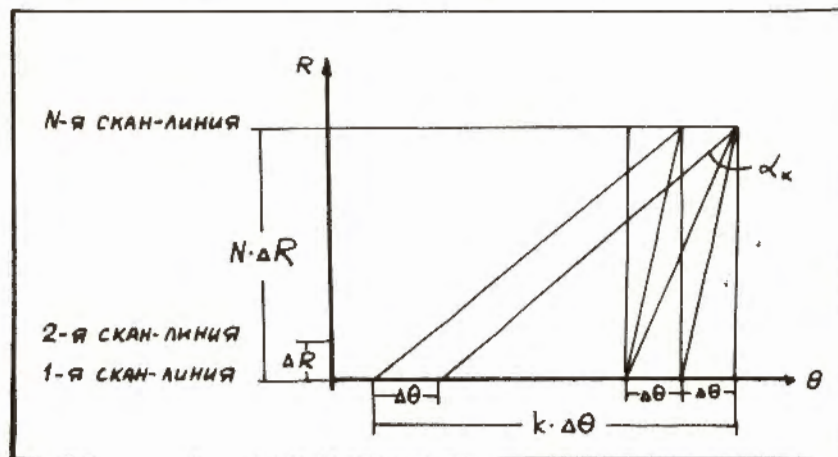


Рис. 5

- ΔR - расстояние между двумя последовательными наклонами,
- k - номер наклона ($k = NBSL - NZSL$),
- α_k - угол проектирования k -го наклона.

Найдем тангенс угла α_k :

$$\text{tg} \alpha_k = \frac{k \cdot \Delta\theta}{N \cdot \Delta R},$$

и подставим в формулу (3):

$$\theta_{np}^k = \theta_i + k \cdot j \cdot \frac{\Delta\theta}{N} \quad (j=1, N).$$

Отсюда следует

$$\theta_{np}^k = \theta_i + (k-1) \cdot j \cdot \frac{\Delta\theta}{N} + j \cdot \frac{\Delta\theta}{N}, \quad \text{или}$$

$$\theta_{np}^k = \theta_{np}^{k-1} + j \cdot \frac{\Delta\theta}{N}.$$

Таким образом, процедура проектирования точки (R_i, θ_i) с последовательным наклоном осуществляется переходом от одного значения проекции к другому путем прибавления константы $-j \cdot \frac{\Delta \theta}{N}$ к значению предыдущей проекции.

Процедура поиска трековых элементов состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Для каждой точки, принадлежащей области гистограммирования, вычисляются следующие значения:

$$DX_i = j \cdot \frac{\Delta \theta}{N},$$

$$X_i = \frac{\theta_i + k \cdot DX_i}{W} + 1,$$

где

$$k = NBSL - NZSL.$$

Шаг 2. Единица прибавляется к содержимому ячейки, имеющей номер, равный целой части X_i , после чего значение X_i увеличивается на DX_i .

Шаг 3. Все значения гистограммы сравниваются с некоторым пороговым значением $NPNT$. Если среди них есть значения, превышающие пороговое, то формируются соответствующий банк трековых элементов.

Структура банка каждого возможного трекового элемента выглядит так: первые 3 слова – заголовок банка, далее содержимое банка, т.е. номера уже найденных точек, принадлежащих данному треку.

1-ое слово	-	число точек (NP)	} заголовок ,
2-ое слово	-	номер гистограммы	
3-е слово	-	номер наклона	
4-ое слово	-	номер первой точки	} содержимое банка .
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	
$NP+3$ -ое слово	-	номер NP -ой точки	

Шаги 2-3 повторяются до тех пор, пока процесс гистограммирования не дойдет до последнего наклона $NESL$ проектирования.

Во избежание потери трековых элементов, пересекающих область полного оборота спирали (см. рис.6), предприняты следующие меры:

- В шаге 1: те значения X_i , которые оказываются меньше единицы, дополняются до $NBIN$.
- В шаге 2: правая часть гистограммы, т.е. содержимое ячеек

с номерами больше $NBIN$, объединяется с соответствующими значениями ячеек левой части, что означает, если X_i больше $NBIN$, то от X_i отнимается $NBIN$.

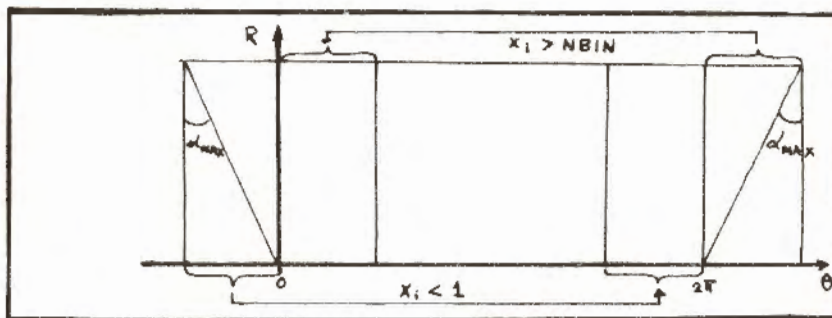


Рис.6

3. Результаты применения быстрого алгоритма

Вышеописанный алгоритм 2 был реализован на языке ФОРТРАН в виде подпрограммы *IHIST* и включен в состав программы *FILTR*^{/3/}. Подпрограмма *IHIST* является универсальной в том смысле, что в ней одновременно реализованы алгоритмы 1 и 2 и процесс гистограммирования осуществляется тем или иным алгоритмом в зависимости от значения ключа, который задан в одном из входных параметров.

Главными причинами отказа от комплекса подпрограмм *HIST*, *WFIELD*, *HITEST*, *SORT*^{/3/}, предназначенного для поиска трековых элементов, явились громоздкость и неудачная реализация алгоритма 1, что привело к уменьшению быстродействия, а также то, что этот комплекс требовал слишком большого объема рабочей памяти (4000₁₀ слов ЭВМ БЭСМ-6, см.^{/4/}).

Подпрограмма *IHIST* работает втрое быстрее (см. таблицу) и, главное, обеспечивает существенный выигрыш в памяти. За счет совмещения процедур гистограммирования и формирования банков трековых элементов объем рабочей памяти сокращен до 380 слов. И это несмотря на то, что число интервалов гистограммирования было увеличено с 256 до 360 в соответствии с требованиями точности поиска (NSL соответственно возросло с 15 до 21).

Таблица

Временные характеристики подпрограммы *IMST*, полученные по результатам обсчета 310 кадров α - ρ взаимодействия с 1-метровой пузырьковой камеры ЛВЭ.

Число лучей	Число проекций	Время обсчета в секундах	
		по старому	по новому
2-х	128	57,254	19,407
3-х	155	77,637	24,699
4-х	12	6,418	1,917
5	15	9,091	2,643
Σ	310	150,4	48,666

4. Заключение

Как следует из описания реализации быстрого алгоритма, он может быть с успехом применен также и при выделении трековых элементов для инициализации поиска треков в любых сканирующих устройствах с постоянным шагом сканирования, таких, как *HPD*, а также и в устройствах бесфильмового съема данных ^{/5/}.

Экономичность реализации позволяет также использовать алгоритм в режиме на линии с малыми ЭВМ.

В заключение благодарю Ососкова Г.А. за постоянный интерес к работе и полезные советы.

Литература

1. Астахов А.Я. и др. Препринт ОИЯИ P10-4943, Дубна, 1970.
2. European Spiral Reader Symposium, Stockholm, CERN 12-16, 1972.
3. Косарева З.М. и др. Сообщения ОИЯИ P10-5574, Дубна, 1971.
4. Косарева З.М. и др. Сообщения ОИЯИ P10-8613, Дубна, 1975.
5. Ососков Г.А. и др. Сообщения ОИЯИ P10-11213, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 1980 года.