

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P10-86-610**

**А.В.Беляев, Н.Г.Симонова, С.К.Слепнев,  
Ю.И.Сусов**

**МЕТОД ПОИСКА  
ЦЕНТРОВ РЕПЕРНЫХ КРЕСТОВ  
В СИСТЕМЕ ФИЛЬТРАЦИИ  
В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА НРД**

**1986**

Реперные кресты на снимках с трековых детекторов в системе ROAD GUIDANCE на НРД измеряются с целью:

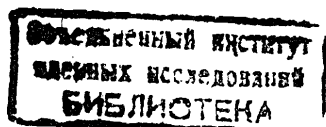
- а) уточнить "привязку" результатов предварительных измерений на снимке к системе координат кадра;
- б) получить достаточное число координат реперных меток для дальнейших этапов обработки события.

Следует отметить, что первая цель особенно актуальна для системы фильтрации в реальном времени на НРД ОИЯИ, т.к. центральная ЭВМ системы CDC-1604A обладает малым быстродействием и весьма малым объемом оперативной памяти (32К слов) при полном отсутствии внешних накопителей с быстрым доступом на дисках или барабанах. Наиболее радикальным способом сокращения времени обработки в подобной ситуации является метод аппаратного стробирования <sup>/1/</sup> информации, поступающей со снимка в центральную ЭВМ системы. Для сокращения размеров зон стробирования (масок), естественно, требуется более точная привязка центра маски к реальному положению стробируемого объекта на снимке. Наиболее точными и одновременно простыми для опознавания объектами являются реперные кресты.

Необходимое количество реперных крестов определяется степенью искажений в фоторегистраторе детектора и точностью обработки, достаточной для решения конкретной физической задачи. Обычно это количество колеблется от 4 до 8-12, что при реальной разнице качества изображения требует, с одной стороны, достаточно совершенных и точных алгоритмов опознавания, а с другой - приводит к необходимости искать от 8 до 20 реперов на каждом снимке.

Т.к. в системе фильтрации в реальном времени <sup>/2/</sup> обработка реперных крестов и треков события ведется по возможности одновременно, точность привязки увеличивается по мере нахождения таких элементов, как номер кадра, специальные реперные кресты; так называемые "кресты НРД", первая пара реперных крестов снимка и, наконец, первый и последний реперные кресты. Такая логика позволяет постепенно сужать маски по мере обработки события без снижения эффективности, т.е. без снижения вероятности измерения требуемых элементов события.

Упрощенный вариант алгоритма обработки реперных крестов описан в работе <sup>/3/</sup>. В настоящей работе подробно описывается полный алгоритм, используемый в системе фильтрации в реальном времени на НРД ОИЯИ.



Стандартный реперный крест в системе координат HFD показан на рис. I. Особо следует отметить, что прямые, образующие крест (плечи креста), наклонены к оси прибора  $x$  под углом  $\sim 45^\circ$ .

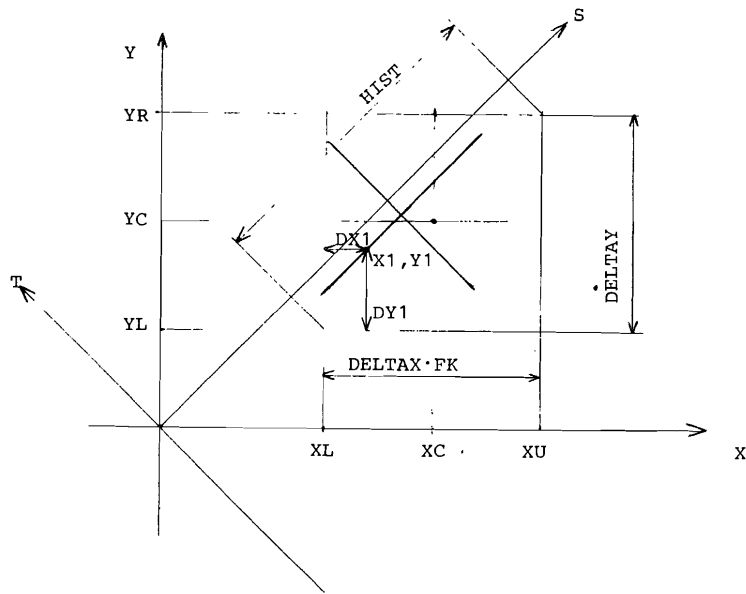


Рис. I

В отличие от работы /6/, алгоритм определения центра креста полностью реализуется в режиме реального времени и заключается в следующем:

а) по предварительно определенным координатам  $vit$ -системы  $x_0, y_0$  и известным центрам крестов мы с точностью не хуже  $0,2$  мм по  $x$ - и  $\pm 0,1$  мм по  $y$ -координате можем предсказать положение каждого реперного креста в системе координат прибора  $x, y$ , т.е. наложить маски;

б) информацию из маски гистограммируем в системе координат  $s, t$ , повернутой относительно системы координат  $x, y$  на угол  $45^\circ$ ;

в) определяем максимум гистограммы, рассчитывая на то, что в нем сосредоточена большая часть точек плеча креста, при этом выделяем вокруг максимума границы двух зон: по половине амплитуды максимума и по уровню шума;

г) методом наименьших квадратов проводим прямую через точки, принадлежащие первой зоне, тем самым уточняем наклон плеча в системе координат  $x, y$ ;

д) в  $\delta$ -окрестности вокруг построенной прямой выбираем точки из второй зоны и через них снова методом наименьших квадратов проводим прямую. Она-то и является плечом креста. При этом точки, попадающие в оба плеча одновременно, из рассмотрения исключаются;

е) решая совместно уравнения двух прямых, находим точку пересечения — центр креста.

Рассмотрим реализацию алгоритма более подробно.

1. Задача состояла в том, чтобы добиться максимального быстродействия, не потеряв при этом точности в определении координат центров реперных крестов. Для сокращения времени обработки все программы написаны на автокоде ЭВМ CDC-1604A CODAP-1. Везде, где это возможно, программа работает с целыми числами, т.к. на CDC-1604A операции над целыми числами выполняются быстрее, чем операции над числами с плавающей запятой. Операции, занимающие много времени, такие, как умножение, деление, заменены, по возможности, на более быстрые операции сдвига.

2. Так как на стандартных снимках угол наклона плечей креста близок к  $45^\circ$ , координаты точки  $x_1, y_1$  в повернутой системе координат  $s, t$  определяются по формулам:

$$t_1 = (y_1 - x_1) / \sqrt{2}; \quad s_1 = (y_1 + x_1) / \sqrt{2}.$$

Номер кармана гистограммы, в который попадает точка с координатами  $x_1, y_1$ , вычисляется так:

$$NK_T = t_1 / STEP \quad \text{— при гистограммировании на ось } t,$$

$$NK_S = s_1 / STEP \quad \text{— при гистограммировании на ось } s,$$

где STEP — ширина кармана гистограммы.

Для того чтобы избежать длительных операций деления при вычислении номеров карманов гистограммы, поступаем следующим образом:

а) границы маски креста определяем так:

$$XL = XC - DELTAX / 2; \quad XU = XC + DELTAX / 2;$$

$$YL = YC - DELTAY / 2; \quad YR = YC + DELTAY / 2;$$

здесь  $XC, YC$  — заданные координаты центра креста;  
 $DELTAX, DELTAY$  — размеры маски креста по осям  $x, y$  (см. рис. I).

Если размеры маски вдоль осей  $x$  и  $y$  выбрать одинаковыми, тогда ширина гистограммы, иначе говоря, диагональ квадрата

$$HIST = DELTAY \cdot \sqrt{2}.$$

б) Учитывая, что цены отсчетов вдоль осей  $x$  и  $y$  ( $SCIX, SCIY$ ) не одинаковы, длина маски по оси  $x$  будет:

$$DELTAX = DELTAY \cdot FK, \quad \text{где } FK = SCIY / SCIX.$$

Из этих же соображений при вычислении номера кармана гистограммы значение  $X$  - координаты умножается на  $FK$ . Следует отметить, что вводя дополнительную операцию умножения, мы, однако, не намного увеличиваем суммарное время обработки, поскольку умножение выполняется один раз на сканлинии  $\sqrt{5}$ . Для того чтобы заменить операцию умножения вещественных чисел (т.к. значение  $FK \sim 1,63$ ) на более короткую операцию умножения целых чисел, не потеряв при этом точности, вводим коэффициент  $FKI = FK \cdot 2^9$ .

в) Число карманов гистограммы выбрано 128 (т.е.  $2^7$ ).

г) Если задать величину  $DELTA Y$  таким образом, чтобы ширина кармана гистограммы могла быть представлена степенью 2, операцию деления можно заменить на значительно более короткую операцию сдвига, а при вычислении значения координат в повернутой системе избежать деления на  $\sqrt{2}$ .

Исходя из размеров креста (его высота равна 3,5 мм) и точности привязки, ширина маски  $DELTA Y$  была выбрана равной 2048 отсчетов. В этом случае номера карманов вычисляются так:

$$NK_T = \frac{Y_k \cdot 2^9 - X_k \cdot FKI}{2^{14}} ; \quad NK_S = \frac{Y_k \cdot 2^9 + X_k \cdot FKI}{2^{14}}$$

3. При определении максимума гистограммы выделяем две пары границ (см. рис.2). Границы  $LEFT$ ,  $RIGHT$  определяются по величине шума  $N/128$ , где  $N$  - суммарное число отсчетов в гистограмме. Границы  $LEFTMAX$ ,  $RIGHTMAX$  определяются значением  $MAX/2$ , где  $MAX$  - амплитуда гистограммы, значение которой должно удовлетворять условию

$$\frac{1}{K} L < MAX < L$$

где  $L$  - число сканлиний, информация из которых использована при построении гистограммы,  $K$  - коэффициент, обычно равный 3.

Число максимумов в одной гистограмме не должно быть больше 1, т.к. два и более максимумов как правило указывают на то, что параллельно плечу креста проходит трек.

Величина  $RIGHTMAX - LEFTMAX$  (ширина максимума) должна быть не более 4. Разброс точек внутри зоны максимума объясняется качеством изображения и поворотом кадра в фильмовом окне прибора.

4. Методом наименьших квадратов проводим прямую, используя точки, лежащие в пределах  $LEFTMAX$ ,  $RIGHTMAX$ . Затем среди точек, принадлежащих диапазону  $LEFT$ ,  $RIGHT$ , выбираем те, которые удовлетворяют условию:  $|Y_k - Y_T| \leq ROADY$ , где

$$Y_T = A \cdot X_k + B ;$$

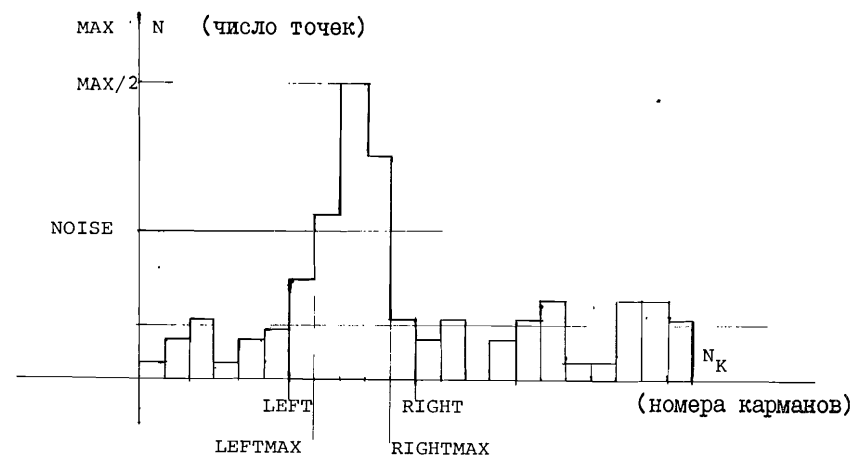


Рис. 2

$X_k, Y_k$  - координаты точки, лежащей в границах  $LEFT, RIGHT$  ;

$A, B$  - параметры построенной прямой ;

$ROADY$  - допустимое значение отклонения от прямой.

После этого через выбранные точки вновь проводим прямую, параметры которой  $A$  и  $B$  - параметры плеча креста.

5. Для того чтобы избежать потери точности при вычислении сумм, необходимых при построении МНК-прямой, т.к. эти суммы набираются из координат, представленных в целом виде, работаем не с координатами  $a$  с приращениями  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ , которые вычисляются так:

$$\Delta X_k = X_k - XL ; \quad \Delta Y_k = Y_k - YL .$$

Максимальные значения, которые могут принимать  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , - 2048 единиц в  $Y$  -отсчетах.

6. Из-за конечного разрешения в зоне пересечения плеч креста, оцифрованного на НРД, реальная конфигурация креста имеет вид, представленный на рис.3.

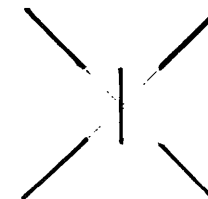


Рис. 3

В целях повышения точности определения координат центра при выделении максимума гистограммы не рассматриваем точки из центральной зоны, принадлежащей обоим плечам одновременно.

7. После того как определены параметры обоих плеч креста, вычисляем координаты центра креста – точку пересечения двух прямых. Вычисления выполняются сначала в виде приращений  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , затем в виде полных координат.

8. После нахождения первого креста границы масок для последующих крестов задаются более точно, благодаря коррекции значений  $x_0$ ,  $y_0$ , поэтому можно сузить эти границы, вернее сказать, изменить вид маски, уменьшив число карманов гистограммы (см. рис.4). При этом уменьшается количество подлежащей обработке информации, что, в свою очередь, приводит к уменьшению суммарного времени обработки.

В программе размер гистограммы задается равным 32 карманам.

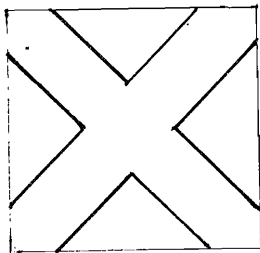


Рис. 4

9. Набор информации в гистограммы ведется одновременно для двух крестов, т.е. формируются сразу четыре гистограммы. Это возможно сделать благодаря тому, что на стандартных снимках кресты, как правило, располагаются парами. При подготовке центров крестов к обработке для тех из них, которые не имеют пары, ставим в соответствие фиктивный крест, лежащий за пределами снимка. Информация для такого креста не поступает, и время на его обработку не затрачивается.

Отметим, что одновременная обработка пары требует существенно меньшего времени, чем обработка этих крестов раздельно.

10. Для сокращения времени обработки контролируем следующие величины:

$$a) NCR > \frac{L}{K} \cdot LN$$

где  $NCR$  – количество координат, полученных для пары крестов;  
 $LN$  – расчетное число сканлиний в маске;

$$b) N > \frac{1}{K} \cdot L$$

где  $N$ , как и раньше, – общее число отсчетов в гистограмме;

$L$  – число сканлиний,

$K$  – коэффициент, равный 3.

При невыполнении любого из этих двух условий бракуем либо один, либо сразу оба креста.

Завершая описание алгоритма, следует сказать, что объем программ, реализующих его на языке ассемблера ЭВМ спс-1604А, составляет примерно 1100 команд. Время обработки пары крестов колеблется в зависимости от количества информации от 40 до 200 мс. Для оценки точности определения центров крестов можно использовать данные по многократному сканированию одного кадра, зафиксированного в фльмовом окне НРД. В таблице приведены данные, полученные при сканировании кадра с однометровой водородной камеры ОИЯИ. Кадр сканировался 20 раз.

В таблице используются следующие обозначения:

$\bar{x}, \bar{y}$  – усредненные координаты реперных крестов

$N$  – число удачных попыток найти заданный крест

$\text{SIGMAX}, \text{SIGMAY}$  – среднеквадратичные ошибки по  $x$ - и  $y$ -координатам.

Координаты и ошибки представлены в ценах отсчетов прибора: для  $x$ -координат – 2,5 мкм, для  $y$  – 1,53 мкм.

Следует отметить, что наилучшая точность (повторяемость) нахождения центров крестов получена при сканировании снимков с двухметровой водородной камеры СЕРН, где плечи крестов нанесены не сплошными штрихами на поверхность стекла камеры, как это делается в ОИЯИ, а в виде последовательности круглых лунок.

Таблица

№ креста	$N$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\text{SIGMAX}$	$\text{SIGMAY}$
5I	20	12912,22	5215,02	0,242	0,633
52	20	13069,14	31237,01	1,413	4,307
1	20	31893,80	24834,07	0,772	1,784
13	20	36412,12	12782,13	0,990	2,569
2	18	36497,36	29281,01	0,875	1,654
12	20	43281,13	11942,68	0,253	0,809
3	20	43368,21	29942,80	0,413	1,056
11	20	50155,90	11855,83	0,328	0,704
4	20	50248,33	29871,46	1,165	1,857

Продолжение

10	20	57041,90	11771,43	0,223	0,685
5	20	57110,34	29784,30	0,622	0,892
9	19	63928,27	12436,91	0,467	0,827
6	19	64010,62	28948,21	0,633	1,594

Литература

1. Бондаренко О.Н. и др. ОИЯИ, P10-11038, Дубна, 1977.
2. Беляев А.В. и др. ОИЯИ, IO-82-931, Дубна, 1982.
3. Беляев А.В. и др. ОИЯИ, IO-7429, Дубна, 1973.
4. Беляев А.В. и др. ОИЯИ, P10-86-609, Дубна, 1986.
5. Симонова Н.Г., Ю.И.Сусов ОИЯИ, P10-12172, Дубна, 1979.
6. CERN/DD/DH/69/24, S.SANTIAGO, NOVEMBER, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 сентября 1986 года.

Беляев А.В. и др.

P10-86-610

Метод поиска центров реперных крестов в системе  
фильтрации в реальном времени на HPD

Описываемый метод основан на хорошо известном гистограммировании; однако авторам удалось за счет применения ряда специальных приемов добиться сокращения времени обработки пары реперных крестов на ЭВМ CDC-1604A до 40-200 мс, высвобождая остальное время процессора для фильтрации трековой информации.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Belyaev A.V. et al

P10-86-610

Method for Search for Fiducials  
in On-Line Filter System on HPD

The method is based on the well-known histogramming techniques. Nevertheless, by means of some special tricks, the authors managed to reduce the time for processing a pair of fiducials down to 40-200 ms on CDC 1604A computer, making the rest of the processor time free for filtering the information from tracks.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986