

СЗУЧ. 1Г

И-231

2530/2-76

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

5/vii-76



P10 - 9689

З.М.Иванченко, В.И.Мороз

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ  
ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ  
НА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ,  
РАБОТАЮЩИХ НА ЛИНИИ С ЭВМ

1976

**P10 - 9689**

**З.М.Иванченко, В.И.Мороз**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ  
ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ  
НА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ,  
РАБОТАЮЩИХ НА ЛИНИИ С ЭВМ**

В работе<sup>/1/</sup> было отмечено, что полуавтоматическая измерительная система ЦУОС-САМЕТ-БЭСИ-4 используется при обработке сложных событий в различных физических экспериментах. Обычно одновременно ведутся измерения для 7-12 различных экспериментов. Разнотипность экспериментов потребовала заложить в математическое обеспечение возможность анализа качества измерений по тестам, различным для каждого из экспериментов.

Чем более развиты тесты проверки измерений, чем ближе они к соответствующим программам геометрической реконструкции, используемым в экспериментах, тем большее количество ошибок будет обнаружено и исправлено в процессе измерений.

Уже в первых вариантах<sup>/2/</sup> измерительной системы для всех экспериментов проводился анализ качества обмера снимков в плоскости кадра. Проверялось:

- а) задание оператором всей необходимой служебной информации;
  - б) качество измерения реперных крестов на каждой из проекций
- и в) лежит ли в допуске величина разброса измеренных точек на проекции трека относительно аппроксимирующей кривой 5-го порядка.

Назначение этих тестов - установление факта ошибки и ее локализация на ранней стадии, сразу же после измерения соответствующего элемента проекции события. Такие тесты обнаруживают многие ошибки измерений. Но они не исключают всех ошибок, препятствующих успешной геометрической реконструкции события. Поэтому для одного из экспериментов в качестве теста для более глубокого анализа использовалась программа геометрической реконструкции<sup>/3/</sup>. Проведение аналогичного контроля измерений для остальных экспериментов было ограничено малыми вычислительными ресурсами управляющей ЭВМ.

Анализ работы программы геометрической реконструкции показал, что основную часть расчетов занимает введение различных поправок (на неоднородность магнитного поля в камере, ионизационные потери, многократное рассеяние и т.д.).

Для контроля качества измерений эти поправки менее существенны. Поэтому были выработаны критерии и создан соответствующий комплекс тестовых программы ГЕОМК, которые были близки к программам геометрической реконструкции по чувствительности к качеству измерений, но предъявляют менее жесткие требования к ресурсам ЭВМ.

В процессе геометрической реконструкции встречается, в основном, следующие отказы, обусловленные ошибками при измерениях:

1. Большой разброс реконструированных пространственных точек.
2. Перепутывание номеров треков на разных проекциях, что существенно для программы геометрической реконструкции, не использующей блок поиска соответствующих треков.
3. Излом на измеренной части трека из-за акта ядерного взаимодействия, который не был замечен оператором.

Последняя группа отказов может быть исключена в программе геометрической реконструкции, если в нее ввести блок поиска и выделения изломов.

Из изложенных выше замечаний следует, что правильным измерением трека может считаться такое, которое соответствует модели трека, заложеной в программу геометрической реконструкции.

Поэтому окончательный тест должен рассматриваться для такой же модели трека.

Координаты  $Z_i$ , реконструированных точек на треке могут быть представлены в виде

$$Z_{i3} = \int_0^{z_i} \frac{dZ}{ds} ds + Z_0 + \cos^2 \alpha_0 \sum_{j=1}^i (s_{ij} \delta_j + x_{ij} \eta_j) + \epsilon_i, \quad (I)$$

где  $\delta_j, \eta_j$  - угол и смещение частицы из-за многократного рассеяния на интервале между точками  $j$  и  $j+1$ ;

$\epsilon_i$  - измерительная ошибка;

$Z$  - проекция траектории  $\mathcal{L}$  на  $Z=0$ ;

$s_{ij}$  - расстояние (вдоль траектории) от середины интервала  $j$  до точки  $i$  ( $j < i$ ) или  $0$  ( $j \geq i$ );

$x_{ij} = 1$  ( $j < i$ ),  $= 0$  ( $j \geq i$ ).

Для случайных величин  $\delta, \eta, \epsilon$  имеем

$$\bar{\delta} = \bar{\eta} = \bar{\epsilon} = 0, \quad \bar{\delta}^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{21.2}{\rho V} \right)^2 \frac{\Delta s}{X_0}, \quad \bar{\eta}^2 = \frac{1}{24} \left( \frac{21.2}{\rho V} \right)^2 \frac{(\Delta s)^3}{X_0},$$

где  $X_0$  - радиационная длина среды;

$\Delta s$  - длина интервала;

$\rho V$  - произведение импульса частицы на ее скорость в МэВ.

Для оценки качества измерений, предлагается использовать величину  $W^2$  - нормированную сумму квадратов отклонений  $Z_{i3}$  от прямой  $Z = Z_0 + t S$

$$W^2 = (\bar{\epsilon}^2)^{-1} (N-2)^{-1} \sum_{i=1}^N (Z_{i3} - Z_0 - t S_i)^2, \quad (2)$$

где  $Z_0''$  и  $t''$  определяются из системы

$$\frac{\partial W^2}{\partial Z_0''} = 0, \quad \frac{\partial W^2}{\partial t''} = 0.$$

Измерение будем считать хорошим, если ( $W_{rp}^2$  определено ниже)

$$W^2 < W_{rp}^2, \quad (3)$$

В программе геометрической реконструкции<sup>/3/</sup> для оценки качества измерений используется величина  $W_1^2$

$$(N-2)W_1^2 = (Z_0 - Z) A^{-1} (Z_0 - Z), \quad (4)$$

где  $Z$  - первые два члена выражения (1);

$A$  - матрица измерительных ошибок и многократного рассеяния

$$\overline{W_x^2} = 1.$$

Если  $H_x = H_y = 0$ , то  $\int \frac{dZ}{dS} ds = t \cdot S$ , откуда следует, что  $W^2 = W_1^2$  для  $H_x = H_y = 0$  и  $\overline{\delta^2} = \overline{b^2} = 0$ .

Для случая заметного многократного рассеяния будем иметь  $W^2 > W_1^2$ , поэтому многократное рассеяние необходимо учитывать при выборе величины  $W_{rp}^2$ .

Среднее значение  $W^2$  и стандартное отклонение  $W^2$  могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} \overline{W^2} &= 1 + \left(\frac{21,2}{pV}\right)^2 \frac{N^3}{X_0} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2 \cos^2 \alpha} A, \\ \sqrt{(W^2 - \overline{W^2})^2} &= B, \\ \sqrt{(W^2 - \overline{W^2})^2}_{\delta, b} &= \left(\frac{21,2}{pV}\right)^2 \frac{N^3}{X_0} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2 \cos^2 \alpha} C. \end{aligned} \quad (5)$$

Коэффициенты  $A, B, C$  зависят от числа измеренных точек на треке  $N$ , их значения приведены в таблице.

С учетом (5) в условиях пренебрежимой неоднородности магнитного поля  $w_{rp}^2$  запишется в виде

$$w_{rp}^2 = d_3 \left[ 1 + B d_1 + \left( \frac{21.2}{pV} \right)^2 \frac{1}{X_0} \frac{\sigma^3}{\bar{\epsilon}^2 \cos^2 \alpha} (A + C) d_2 \right]. \quad (6)$$

Коэффициенты  $d_1$  и  $d_2$  следует выбирать в интервале (1,2). Уменьшение  $d_1$  и  $d_2$  приведет к появлению требований перемеров треков, на которых имеется незначительное увеличение измерительных ошибок или многократного рассеяния. Значительное увеличение  $d_1$  и  $d_2$  снизит чувствительность теста. Величина  $d_3$  введена из соображений практического удобства; она позволяет определить  $\bar{\epsilon}^2$  с точностью до постоянного множителя.

Для треков, на которых измерено почти постоянное число точек, выражение для  $w_{rp}^2$  может быть записано немного проще:

$$w_{rp}^2 = d_4 \left( 1 + d_5 \frac{1}{(pV)^2} \frac{\sigma^3}{\cos^2 \alpha} \right). \quad (7)$$

Величина  $\bar{\epsilon}^2$  зависит от алгоритма реконструкции пространственных точек, характеристик оптической системы, точности измерений на пленке и углов, между проекциями трека и направлением стереобазы.

Выражение  $\bar{\epsilon}^2$  для стереопары приведено в [3].

В случае заметной неоднородности магнитного поля формулы (6) и (7) должны быть дополнены еще одним членом, следующим из (I).

При наличии достаточного вычислительного ресурса критерий (3) может быть дополнен тестом, проверяющим среднюю величину разброса реконструированных точек на плоскости  $XOY$  относительно аппроксимирующей кривой.

Для определения граничного значения в этом случае нужно дополнительно учитывать коммутационные потери.

В системе ПУОС-САМЕТ-БЭСМ-4 совокупность функциональных программ подразделяется на пять приоритетных уровней<sup>1/4</sup>. Программа ГЕОМК работает третьим приоритетом.

Для каждого события определяется номер физического эксперимента, считывается с магнитного барабана, соответствующая информационно-управляющая таблица и требуемый комплекс тестовых подпрограмм.

В информационно-управляющей таблице содержатся все необходимые параметры и константы, используемые для анализа качества измерений.

Заявки на обработку событий по программе ГЕОМК удовлетворяются в порядке поступления. Имеется буфер (на магнитном барабане) для накопления результатов измерений.

В буфер поступает информация при почти одновременном завершении измерений двух событий на разных полуавтоматах.

Для контроля одного трека по программе ГЕОМК требуется около 1 сек. Работа программы ГЕОМК начинается с настройки на определенный физический эксперимент. Затем результаты обмера треков на всех проекциях преобразуются специальным блоком декодировки в нормализованные числа с учетом цены деления отсчетной системы измерительного прибора и переводятся из системы координат измерительного прибора в систему координат, связанную с оптическими осями стереофотоаппарата. Одновременно с этим формируется информация, отражающая структуру события. На этом завершается первый этап - подготовка измерений для анализа измерений ГЕОМК.

На втором этапе анализируются измерения каждого трека. Работает цикл по числу измеренных треков в событии. Считываются все



измеренные проекции очередного трека, выбирается оптимальная пара проекций для реконструкции и восстанавливаются пространственные координаты точек трека по двум стереопроекциям<sup>/5/</sup>. После восстановления точек трека в пространстве выполняется ряд проверок:

- не выходит ли трек за пределы камеры;
- правильно ли измерены первые точки трека, которые считаются соответствующими (если точки взаимодействия не измеряются отдельно);
- все ли измеренные точки трека восстановлены в пространстве;
- лежит ли разброс измеренных точек по  $\chi$  в допуске (3).

Предусмотрен режим накопления гистограммы величины  $W^2$ , что дает возможность уточнить  $W_{cr}^2$ .

Работа программы ГЕОМК завершается формированием информации для диалога с оператором измерительного прибора. Восстанавливается исходное статусное состояние программы, и управление получает местный диспетчер программ третьего приоритета, который в режиме диалога сообщает оператору результаты ГЕОМК. Параллельно начинается обработка очередного измеренного события.

Исследование работы ГЕОМК было проведено на материалах измерений фотографий  $1\mu$  водородной камеры, облученной пучком нейтронов высокой энергии. Измерялись 3- и 5-лучевые звезды, измерение которых на HPD вызвало трудности.

Распределение измеренных треков по величине  $W^2$  таково, что  $W_{max}^2 \approx 0,5 \overline{W^2}$  и число треков с  $W^2 > 3 \overline{W^2}$  составляет  $\approx 11\%$ . Здесь  $W_{max}^2$  - значение  $W^2$ , при котором распределение имеет максимум.

Было принято  $d_4 = 3W_{max}^2$  и  $d_5 = 0,3$ .

Анализ замерений показал, что 76% событий успешно проходит через программу геометрической реконструкции<sup>13/</sup> и не имеет замечаний от ГЕОМК, 16% событий успешно проходит после повторных замерений по требованиям ГЕОМК, 8% событий имеют отказы в процессе последующей геометрической реконструкции<sup>14/</sup> которые не были обнаружены ГЕОМК. Таким образом, использование пространственной реконструкции для фильтрации измерений на линиях с ЭВМ позволило в 3 раза сократить количество отказов с 24% до 8% от числа измерявшихся событий.

Исследование забракованных ГЕОМК событий показало, что в среднем требуется 1,5 повторных измерения забракованного ГЕОМК события.

События бракуются ГЕОМК в  $\approx 80\%$  случаев из-за ошибок оператора, приведших к большому разбросу реконструированных точек, и пропущенных изломов на треках, в  $\approx 17\%$  из-за перепутывания треков и  $\approx 3\%$  из-за дефектов изображения на пленке.

Следует отметить, что приведенное выше количество повторных измерений получается в связи с тем, что оператор, приняв сообщение ГЕОМК об отказе на одном из треков, измеряет событие еще раз, но более внимательно. При повторении отказа оператор начинает искать точку излома.

Сообщение об одновременном отказе на двух треках в событии, практически, всегда связано с перепутыванием изображений треков на разных проекциях, поэтому оператор сразу видит путь исправления ошибки.

Авторы выражают благодарность Г.Н.Чернышевой, А.Н.Чканниковой и А.П.Иерусалимову за помощь в отладке системы и Н.Н.Говоруну, Е.С.Кузнецовой, В.Н.Пеневу за постоянный интерес к работе.

ТАБЛИЦА

$N$	$A \cdot 10^3$	$B$	$C \cdot 10^3$
10	1,97	0,500	2,36
15	1,66	0,392	2,05
20	1,53	0,333	1,83
25	1,45	0,245	1,74

Значения коэффициентов, необходимых для вычисления  $\overline{W^2}$  и стандартных отклонений  $W^2$  в зависимости от  $N$  - числа измеренных точек на трее.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ф.Виноградов и др. Система для измерения камерных снимков на базе полуавтоматических измерительных приборов, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4. ОИИИ, IO-8783, Дубна, 1975; УС и М, № 3, 1976.
2. З.М.Иванченко. Накопление и анализ информации с целью контроля полуавтоматической измерительной системы, работающей на линии с БЭСМ-4. ОИИИ, IO-6141, Дубна, 1971.
3. Н.Ф.Маркова и др. Программа геометрической реконструкции для больших пузырьковых камер (вариант I-6). ПТЭ № 6, 1968; ВИНТИ № 377 - 68 деп; ОИИИ, P10-3768, Дубна, 1968 г.

4. Н.Н.Говорун, Э.М.Иванченко. Математическое обеспечение много-  
абонентной системы обмера снимков с трековых камер. ОИЯИ,  
IQ-9605, Дубна, 1976 г.
5. И.М.Иванченко и др. Программа восстановления пространственных  
координат точек треков по двум стереопроекциям, ОИЯИ, Р-2889,  
Дубна, 1966; ПТЭ № 6, 1967 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 апреля 1976 года.