

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P10-86-623

Л.П.Калмыкова, В.М.Котов, В.И.Мороз,
А.Е.Селиванов, Г.А.Шелков, В.С.Ямбуренко

**РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА
ИЗМЕРЕНИЙ СОБЫТИЙ С УСТАНОВКИ РИСК
НА СПИРАЛЬНОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ**

1986

И. И. Дубна, 1986

З в е д е н и е

Основная информация с пятиметрового спектрометра РИСК^{1/1} регистрируется на фотоленке. Измерение событий может проводиться приборами, созданными для обработки снимков с пузырьковых камер. Особенности, связанные со спецификой стримерных камер и поставленной физической задачей по исследованию взаимодействия адронов с импульсом 40 ГэВ/с с ядрами^{1/2}, вносят существенные отличия в топологию событий на снимках со спектрометра РИСК по сравнению с традиционными пузырьковыми камерами. К наиболее существенным особенностям относятся многообъектная система фотографирования, состоящая из 8 объективов, образующих четыре стереопары с неперекрывающимися по длине спектрометра полями зрения; использование в оптических каналах электронных усилителей изображения (ЭОП), обладающих значительными (~2%) дисторсиями, относительно невысоким пространственным разрешением (размер изображения стримера на фотоленке ~60 мкм); а использование ядерных мишеней и конвертеров для регистрации γ -квантов неизбежно вызывает появление в объеме стримерной камеры зон нечувствительности, вследствие чего вершина взаимодействия и точка конверсии γ -кванта невидимы; наблюдается высокая множественность (до 60 треков в случае свинцовой мишени) исследуемых событий.

Эти причины затрудняют эффективную обработку снимков со спектрометра РИСК на автоматических измерительных приборах, поэтому до недавнего времени главными измерительными инструментами являлись полуавтоматические устройства типа ПУОС. Обладая высокой эффективностью измерения сложных событий, ПУОСы в то же время имеют невысокую производительность.

Указанные причины при наличии большого объема данных (~10⁶ снимков), подлежащих изменению, поставили задачу применения сканирующего устройства - спирального измерителя (СИ)^{3/} для обработки снимков с установки РИСК.

К достоинствам СИ при его применении для обработки снимков с камеры РИСК следует отнести:

1. Возможность использования автоматического режима измерения - спирального сканирования, позволяющего за 6-7 секунд полностью оцифровать весь снимок, и комплекса программ фильтрации для выделения треков исследуемого события.

2. Наличие трех систем изображения исследуемого события:

- а) всего снимка на столе оператора с увеличением в 10 раз;
- б) выбранной зоны снимка с увеличением в 200 раз и
- в) результатов оцифровки этой зоны на растровом дисплее.

3. Участие в процессе измерения оператора, имеющего возможность измерять как дополнительные точки на треках для повышения эффективности программы фильтрации, так и полностью отдельные треки события в особо сложных случаях.

4. Программа графического представления данных сканирования в режиме он-лайн/4/, дающая возможность вести оперативный контроль результатов оцифровки снимка при измерении и выбирать параметры сканирования на данном кадре в зависимости от качества изображения.

5. Наличие в составе СИ управляющей ЭВМ, позволяющей организовать развитый диалог для управления процессом измерения и автоматизировать ряд подготовительных операций по поиску кадров, занесению служебной информации, а также оказать помощь оператору при ручном режиме измерений.

Как уже указывалось выше, на снимках с РИСК отсутствует явно выраженная вершина взаимодействия, что не позволяет совместить полюс спиральной развертки с центром взаимодействия. В то же время спиральное сканирование узкой прямоугольной щелью наиболее эффективно для выделения треков, выходящих из вершины события. Это потребовало изменения программ фильтрации/10/ и управления сканированием применительно к особенностям снимков с камеры РИСК.

Основные параметры и точностные характеристики СИ

СИ представляет собой установку для измерения камерных снимков, имеющую две различные системы координат: полярную (RT) и декартову (XY). Автоматическое сканирование снимка в RT -системе производится узкой прямоугольной щелью размерами 30×250 мкм. Максимальный радиус скана в плоскости пленки 57 мм. Шаг спирали переменный, управляется из ЭВМ и имеет 14 градаций. Максимальный шаг 4400 мкм, минимальный - 230 мкм.

Точность измерения, приведенная в XY -систему после введения параметров калибровки, составляет 3-5 мкм в плоскости пленки. Измерительный XY -стол имеет две независимые каретки, которые могут перемещаться по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Рабочие перемещения по осям x и y соответственно 200 и 70 мм. Точность измерения точек трека в полуавтоматическом режиме 7-9 мкм по пленке, а точность выезда измерительного xy -стола в автоматическом режиме в заданное положение 4-6 мкм.

Фильмопротяжное устройство включает механизм смены проекций и 4 отдельных лентопротяжных блока, конструкция которых позволяет уста-

навливать рулоны пленки длиной до 300 м и шириной 36 или 35 мм. Максимальная скорость подмотки 120 м/мин, а управление поперком кадра производится как по стоп-меткам кадра, так и при помощи меток на ведущем ролике (гапстане).

Каждое из указанных устройств имеет свой контроллер, систему датчиков и обслуживается набором программ библиотеки ОС СИ^{/5/}, что позволяет автоматизировать многие подготовительные, калибровочные и измерительные процессы. В качестве источника управляющей информации для автоматизации служит магнитная лента с результатами просмотра.

Функционирование всего комплекса аппаратуры осуществляется при помощи специализированной операционной системы реального времени с широким использованием прерываний и передачи данных по каналу прямого доступа в память. Операционная система реализует также развитые средства интерактивного режима работы, имеет собственную систему диалоговой отладки^{/6/}, а также набор программ функционального контроля и тестов^{/7/}.

В состав ОС СИ входит также программное обеспечение для графического представления данных сканирования в режиме текущего изображения: ^{/4/}, дающее возможность оператору, перемещаясь по экрану монитора выбранную область кадра, наблюдать результаты оцифровки этой же области в том же самом масштабе для оценки качества и выбора параметров сканирования (уровня дискриминации, магн. сигнала и т.п.). Имеется также отдельный пакет программ редактирования и контроля^{/8/}, формирующий магнитную ленту с выходными данными СИ.

дальнейшая обработка полученной информации производится на больших ЭАМ программами фильтрации, геометрической реконструкции и кинематической идентификации. Особенность фильтрации треков на снимках с установки РИСК заключается в том, что данные измерения не содержат координат центра взаимодействия как общей точки для всех треков данного события. Программа фильтрации выделяет точки треков измеряемого события, формируются т.н. "мастер-точки" треков, а затем, с учетом калибровочных параметров, переводит все данные в единую XY-систему координат и формирует выходной массив для дальнейшей обработки. Подробно программа фильтрации для снимков с камеры РИСК будет описана в отдельной работе.

Калибровка СИ проводится регулярно путем сканирования специальной калибровочной пластины. Результаты этих измерений обрабатываются по программе КАЛИБР^{/11/}. При этом определяются параметры преобразования координат из полярной системы в декартову с учетом искажений в оптико-механической системе СИ.

Алгоритм измерения события на СИ

Последовательность операций при измерении снимков задается программой управления. Начальные данные (номер снимка, содержащего нужное событие, номера проекций, топология и т.п.) определяются при предварительном просмотре. Эта информация используется для автоматического поиска нужного кадра, проекции, занесения служебной информации.

Обработка проекции начинается с измерения координат реперных крестов. Перемещение измерительного стола в зону расположения следующего креста производится под управлением ЭКЛ. Функции оператора сводятся к точному совмещению центра изображения креста с меткой на экране телевизионного монитора.

Спиральное сканирование начинается по команде оператора для проекций, содержащих вершины взаимодействия, а также треков v^0 -частиц и γ -квантов и автоматически для всех остальных проекций. Оцифрованное изображение снимка, переведенное в xu -систему координат, выводится программами графики на растровый дисплей, причем центр экрана, выделенный яркой точкой, совпадает с меткой на экране монитора. Оператор сравнивает изображение снимка на столе и его оцифровку и определяет необходимость ручных измерений. Для ускорения ручных измерений треков введен режим программного автосопровождения, при котором по трем измеренным точкам трека вычисляются координаты следующей и измерительный стол автоматически перемещается в предсказанную точку. За оператором остается только точное наведение на трек. По окончании измерения всех треков оператор заканчивает обработку текущей вершины и переходит к следующей вершине (если есть v -события или γ -конверсии) или к следующей проекции.

В отличие от ранее обработавшихся на СИ снимков, полученных в других экспериментах, ручное измерение точек треков в xu -системе для снимков с камеры РИСК имеет особенности.

Во-первых, в выходных данных СИ (после программ фильтрации) каждому треку должна быть присвоена метка, причем на разных проекциях одни и те же треки должны иметь одинаковые метки. Значение такой метки используется номер трека, присвоенный ему при предварительном просмотре, который в дальнейшем приписывается соответствующему треку программой фильтрации. Поэтому всегда хотя бы одна точка трека измеряется в ручном режиме. Во-вторых, отсутствие явно выраженной вершины взаимодействия требует измерения точки начала трека в ручном режиме. Координаты этой точки используются программой фильтрации для определения начальной области гистограммирования, а в дальнейшем для контроля качества найденного трека. Ранее эти функции

выполнили координаты вершины взаимодействия, также измерившиеся в ручном режиме.

Отметили, что необходимость измерения оператором указанных выше точек определяется возможностями программ: дальнейшей обработки данных сканирования.

Таблица затрат времени по этапам измерения проекции события

№ пп	Э т а п	Время (с)
1.	Поиск кадра, подготовка его к измерению	10
2.	Измерение реперных крестов, где n_k - количество измеренных крестов	$1,9 \times n_k$
3.	Выбор точки сканирования (или автоматический выезд в нес измерительного стола) и сканирование	1
4.	Ручные измерения треков (включая поиск и опознавание), n_p - общее количество измеренных точек	$5 \times n_p$

Примечание. К настоящему времени среднестатистические затраты на измерение проекции составляют примерно 340 секунд при измерении в среднем 6,2 трека на проекции и 6,4 опорных точки на треке.

Видно, что основные затраты падают на ручные измерения и они значительны. Поэтому для уменьшения потери времени при исправлении ошибок (измерен не тот трек и т.п.) введены программные средства, позволяющие выполнять частичный перемер элементов события. Сюда относятся (в порядке укрупнения структуры): перемер последней измеренной точки, перемер последнего трека, перемер всех точек, перемер крестов, перемер всей проекции. Эти возможности повышают эффективность работы оператора и облегчают ее.

Контрольные измерения

С целью определения точностных характеристик и эффективности выделения треков СИ при измерении спектров со спектрометра РИСК выполнена серия контрольных измерений, в ходе которой 70 событий были полностью измерены на СИ и на полуавтоматах ЛУОС. Все отобранные для измерения события сопровождались полным рисунком, на котором были

идентифицированы все треки как на проекциях, образующих стереопару, (TRACK-MATCH), так и на различных стереопарах (BRIDGING). Для этого в ходе просмотра при составлении рисунка каждому треку присваивался свой номер, который сохранялся на всех проекциях. Такая идентификация возможна благодаря тому, что разброс диаметров стержней вдоль трека частицы в стержневой камере существенно превышает разброс диаметров пузырьков вдоль трека в пузырьковой камере. Благодаря этому каждый трек стержневой камеры имеет свою особую микроструктуру, по которой удается идентифицировать даже близлежащие треки частиц одного знака, что подчас невозможно в пузырьковой камере. Проведение такой предварительной идентификации треков сняло все проблемы с определением соответствующих треков при сравнении результатов измерений, выполненных на разных измерительных устройствах.

Результаты измерений обрабатывались по программе фильтрации и геометрической реконструкции системы нудра^{7/9}, адаптированной для стержневой камеры ИФК. Сравнительный анализ данных производится на ЭВМ ЕС-1060.

На всех приведенных далее рисунках представлены гистограммы распределений разностей величин (ΔA), определенных по измерениям на ПУОС ($A_{ПУОС}$) и СИ ($A_{СИ}$):

$$\Delta A = A_{ПУОС} - A_{СИ}.$$

На рис. 1 приведены гистограммы распределений разностей величин импульсов частиц (Δp) - рис. 1а, угла погружения ($\Delta \lambda$) - рис. 1б и азимутального угла ($\Delta \varphi$) - рис. 1в вылета трека.

Средние величины

$$\begin{aligned} \Delta p &= (-16 \pm 17) \text{ МэВ,} \\ \Delta \lambda &= (-0,8 \pm 0,7) \text{ мрад,} \\ \Delta \varphi &= (-0,2 \pm 0,5) \text{ мрад} \end{aligned}$$

в пределах ошибок равны нулю.

На рис. 2 приведена гистограмма разностей средних величин отклонений координат измеренной точки в пространстве от кривой, аппроксимирующей все измерения на треке точки (ΔR , RESIDUAL). Средняя величина $\Delta R = (274 \pm 12)$ мкм больше нуля, что свидетельствует о более высокой точности измерения треков на СИ по сравнению с ПУОС. Среднее значение величины R составляет для данных ПУОС $R_{ПУОС} = (940 \pm 13)$ мкм и для СИ $R_{СИ} = (660 \pm 12)$ мкм в пространстве.

На рис. 3 представлена гистограмма распределений разности числа треков (ΔN) первичной вершины, восстановленных программами геометрической реконструкции. Средняя величина $\Delta N = 0,25 \pm 0,15$ в пределах ошибок близка к нулю, однако свидетельствует о некоторой неизбежной,

по-видимому, неэффективности выделения трека при автоматическом способе измерения (СИ) по сравнению с ручным (ПУОС).

Приведенные выше результаты говорят о том, что данные измерений снимков с ПУОС на старшей измерительной платке несут несомненные значения: величина всех измеряемых параметров, по сравнению с измерениями на полуавтоматах ПУОС, и имеют более высокую ($\approx 30\%$) точность. Эффективность измерения треков события близка к эффективности ПУОС. Производительность СИ составляет примерно 35 стереотреков/час.

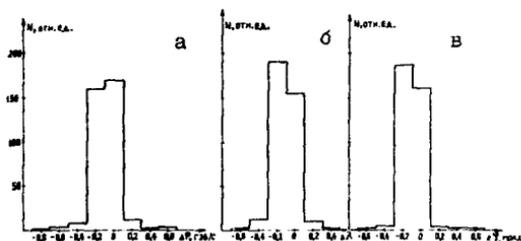


Рис. 1

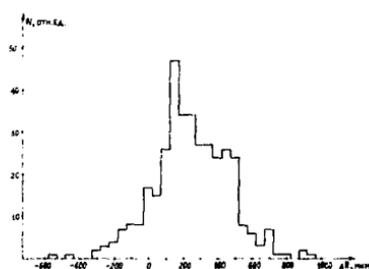


Рис. 2

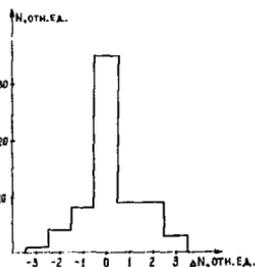


Рис. 3

Выводы

Результаты сравнительного анализа данных измерения на СИ и ПУОС событий с установки ПУОС свидетельствуют о том, что параметры СИ соответствуют требованиям, предъявляемым к измерительным системам обработки снимков стримерных камер, используемых в физике высоких энергий. Эффективность обработки на СИ близка к эффективности измерительных устройств типа ПУОС, а точность и производительность СИ в рассматриваемой системе обработки в 1,5 раза выше.

В настоящее время производительность СИ составляет ~ 35 , а на ПУОС 20-25 стереотреков в час. Отметим, что в СИ имеется значитель-

ный резерв повышения производительности, который заключается в реальной возможности уменьшения объема ручных измерений, времени затрат на которые велико, как следует из приведенных данных, составляют основное время измерения события. Исполнением избыточности ручных измерений определяется сложность событий и требования к высокой эффективности, а также возможности программы дальнейшей обработки в отсутствие оперативной обратной связи. Поэтому в настоящее время проведены работы по созданию канала связи СИ и ЭО-1000 и ведутся работы по созданию программного обеспечения для реализации интерактивного режима фильтрации, что значительно сократит объем ручных измерений до минимально необходимого программе фильтрации и критично для каждого измеряемого тиска.

Система СИ введена в режим массовых измерений, к августу 1986 года обработано 18 тысяч стереотреков.

В заключение авторы выражают признательность Л.С.Вертоградову, Ю.П.Мерекову, И.Фараго за полезные обсуждения, а также благодарят инженеров СИ А.А.Разину и Л.Н.Шакину за большую помощь при отладке системы измерений.

Литература

1. Bohn G., Vertogradov L.S., Grishkevich Ya.A. et al. Proceedings of the first International Conference on Streamer Technology. Preprint ANL-8085, page 117.
2. Бом Г., Беттхер Г., Гальм И. ДЗ, т.35, вып.3, 1982, с.700.
3. Котов В.М. и др. ОИЯИ, IO-7939, Дубна, 1974.
4. Бондаренко О.Н., Котов В.М., Ямбуренко В.С. ОИЯИ, IO-83-500, Дубна, 1983.
5. Котов В.М. ОИЯИ, IO-8438, Дубна, 1974.
6. Котов В.М., Ямбуренко В.С. ОИЯИ, ПГО-13017, Дубна, 1980.
7. Буланова Г.Н., Котов В.М., Лугов В.К. ОИЯИ, IO-8189, Дубна, 1974.
8. Ямбуренко В.С. ОИЯИ, IO-83-489, Дубна, 1983.
9. HYDRA System Library, CERN, 1974,
HYDRA Application Library, CERN, 1974.
10. Нергуи Б., Ососков Г.А. ОИЯИ, IO-83-612, Дубна, 1983.
11. Мороз В.И., Ососков Г.А. ОИЯИ, IO-84-791, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 сентября 1986 года.

Калмыкова Л.П. и др.

P10-86-623

Результаты сравнительного анализа измерений
событий с установки РИСК на спиральном измерителе

С целью определения точностных характеристик и эффективности выделения треков спиральным измерителем /СИ/ при обработке снимков со спектрометра РИСК была выполнена серия контрольных измерений. Результаты сравнительного анализа данных, полученных на СИ и ПУОС, свидетельствует о том, что параметры СИ соответствуют требованиям, предъявляемым к измерительным системам обработки снимков со стримерных камер. Эффективность обработки на СИ близка к эффективности ПУОС, а точность и производительность СИ в рассмотренной системе обработки примерно в 1,5 раза выше.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Kalmykova L.P. et al.

P10-86-623

Results of Comparative Analysis of Measurements
on a Spiral Reader of Events from RISK Spectrometer

Check measurement series was performed in order to determine spiral reader (SR) precision and efficiency for selecting tracks from the RISK spectrometer stereofilms. The comparative analysis of SR and PUOS data has the following results: the SR characteristics satisfy the requirements for the measurement systems of streamer chamber film processing. The efficiency of SR data processing is similar to that of PUOS but the accuracy and productivity of SR are by a factor of 1.5 greater.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986

10 коп.

Редактор Т.Я.Жабицкая. Макет Р.Д.Фоминой.

Подписано в печать 15.10.86.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,69.

Тираж 415. Заказ 38260.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.