

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

436-89

P10-89-436

И.М.Иванченко, Н.Н.Карпенко, Д.А.Кириллов,  
М.Ф.Лихачев, В.В.Пальчик, Р.Г.Шанидзе\*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ,  
РЕГИСТРИРУЕМЫХ МНОГОЧАСТИЧНЫМ  
СПЕКТРОМЕТРОМ БИС-2

---

\* Научно-исследовательский институт  
физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

1989

Иванченко И.М. и др.

P10-89-436

Математическое обеспечение для распознавания траекторий, регистрируемых многочастичным спектрометром БИС-2

Рассмотрены программы распознавания, входящие в систему БИЗОН, используемую для контроля экспериментов в реальной времени измерений и для массовой обработки данных, регистрируемых многочастичным спектрометром БИС-2 ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод М.В.Коротковой.

Ivanchenko I.M. et al.

P10-89-436

Software for the Trajectory Understanding Registered by the Multi-Particle Spectrometer BIS-2

The understanding programs which form part of the BISON System being used for control of experiments in real time measurements and for mass data processing registered by the multi-particle spectrometer BIS-2 of JINR are discussed.

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

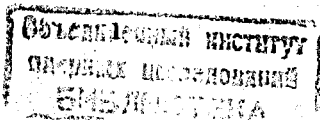
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989

В данной работе рассматриваются основные функциональные программы обработки первичных экспериментальных данных, регистрируемых многочастичным спектрометром БИС-2 ОИЯИ /1/. Увеличение мощности средств вычислительной техники, используемой в системах сбора данных, как за счет роста возможностей встроенных ЭВМ, так и за счет применения сравнительно больших ЭВМ в рамках вычислительных сетей, сгладило различия в части, касающейся функциональных возможностей программ обработки, используемых в обычном режиме и в реальном масштабе времени. Отражением этой общей тенденции является то, что анализируемые здесь программы для определения характеристик установки, распознавания и определения параметров событий входят как в систему программного обеспечения процессов сбора и накопления информации<sup>/2/</sup>, так и в систему последующей массовой обработки экспериментальных данных. Кроме основных функциональных модулей программный комплекс БИЗОН включает вспомогательные подсистемы, обеспечивающие:

- статистическое имитационное моделирование процессов детектирования и регистрации информации;
- калибровку и определение пространственного положения координатных детекторов установки;
- вычисление рабочих характеристик детектирующей аппаратуры;
- вывод информации методами машинной графики;
- накопление статистических распределений вычисляемых величин;
- автосопровождение процессов массовой обработки.

Одни из этих подсистем используются на этапе разработки алгоритмов и отладки основных функциональных программ, определяющих достоверность и точность получаемых результатов, другие, типа средств автосопровождения, применяются для обеспечения таких эксплуатационных характеристик, как производительность, надежность, экономичность и т.п.

На рисунке изображены основные элементы установки БИС-2. Начало декартовой системы координат расположено в центре спектрометрического магнита. Ось OZ направлена вдоль пучка перпендикулярно сигнальным плоскостям координатных детекторов, ось OY - вдоль вектора магнитного поля (вверх). Направление оси OX



выбрано так, чтобы система координат была правой. Используемые пропорциональные камеры – двухкоординатные: содержат в едином газонаполненном объеме разделенные небольшим промежутком две сигнальные плоскости. Координатные плоскости выставлены параллельно друг другу с достаточной степенью точности. Точность же юстировки поворотов сигнальных плоскостей и их положения в направлении координатных осей значительно уступает точности регистрации. Например, погрешности углов поворота координатных плоскостей достигают 7 мрад, погрешность аппликаты – 2,5 см, других координат – 1,5 см.

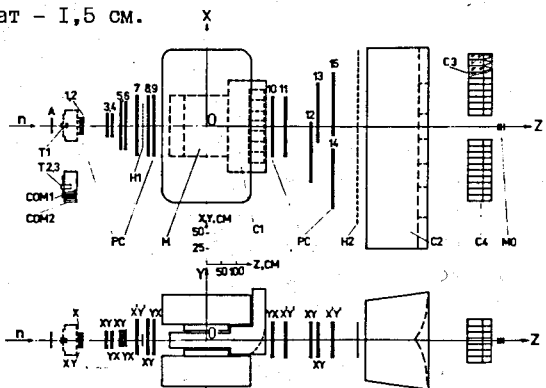


Схема расположения основных элементов установки БИС-2. T1/T2,3 – мишени; COM1/2 – счетчики окружения мишени; PC1/15 – двухкоординатные пропорциональные камеры; C1/2 – многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики; C3/4 – черенковские счетчики полного поглощения; MO – нейтронный монитор; M – спектрометрический магнит.

Для определения параметров локальных систем координат детектирующих модулей применяется вариант метода, приведенного в работе<sup>3/</sup>. Существенной особенностью этого варианта является включение в число искомых параметров аппликаты.

По условию запуска установки выбирались распады с оценкой числа траекторий от вторичных заряженных частиц не менее четырех. Условие запуска проверялось системой отбора на основании информации, регистрируемой детекторами с высоким временным

разрешением (триггер первого уровня). На этом уровне отбиралось  $10^3$  из  $2 \cdot 10^5$  взаимодействий пучковых частиц с веществом мишени спектрометра. Для повышения эффективности эксперимента были разработаны системы дополнительного отбора событий<sup>4/</sup> (триггер второго уровня).

Цели разработки таких систем:

1. Обогащение накапливаемой информации за счет уменьшения доли событий, не представляющих интереса для последующего анализа.
2. Уменьшение количества требуемых магнитных лент для накопления полезных событий.
3. Уменьшение удельного времени ЭВМ для последующей обработки данных.
4. Увеличение эффективности использования времени ускорителя благодаря тому, что время для принятия решения о выбрасывании события меньше времени передачи в ЭВМ.
5. Повышение качества контроля хода эксперимента за счет сокращения времени статистически обеспеченных результатов распознавания треков.

Высокая скорость вычисления значения решающей функции, переработка большого объема информации за строго ограниченное время достигается благодаря реальному распараллеливанию процессов распознавания, а гибкость системы запуска обеспечивается программируемостью, осуществляемой с использованием ЭВМ, входящих в распределенную вычислительную систему. На базовой ЭВМ с учетом текущего состояния установки (положение и размеры мишени, геометрические параметры и рабочие характеристики координатных детекторов) и выбранного алгоритма распознавания генерируется таблица трек-кодов. Сгенерированная таблица передается на коммуникационную ЭВМ и загружается в память трекowego процессора. Таблично-управляемая программа процессора используется для вычисления решающей функции, которая в данном случае соответствует условию: множественность набора треков требуемой топологии в текущем событии больше заданной величины. Вычисление значения решающей функции осуществляется параллельно с передачей события, отобранного триггерной системой первого уровня. В случае негативного решения на базовую ЭВМ передается специальный сигнал.

По этому сигналу прием события прекращается, в рамках канальной программы осуществляется самонастройка для приема следующего события. При этом меняются только значения указателей, никаких перемещений информационных массивов не производится.

Разработанная структура системы, рациональное распределение функций между различными ЭВМ и между аппаратными и программными средствами позволили создать систему отбора, обладающую высокой степенью адаптивности к меняющимся условиям эксперимента и приемлемыми временными характеристиками.

Одной из наиболее сложных задач обработки экспериментальных данных является распознавание графических образов событий, включающих набор траекторий частиц. Экспериментальные исследования рассматриваемого класса характеризуются высокой внутренней плотностью и множественностью событий, высоким уровнем траекторного и точечного фона, циклопическим количеством регистрируемых событий, малым количеством сигналов, соответствующих отдельным траекториям. Последнее обусловлено тем, что при бесфильмовом методе регистрации каждая точка конкретной траектории регистрируется отдельным детектором. В совокупности эти условия, закрывая возможность привлечения человека – оператора для визуального распознавания событий на этапе массовой обработки экспериментальных данных, определяют конструирование экономичных, высокоэффективных, автоматических алгоритмов распознавания.

При традиционном подходе в локальных методах распознавания траекторий общее направление поиска структурных элементов траекторий обратно движению частиц. Этим приемом пользуются для улучшения одной из важнейших характеристик экономичности – времени фильтрации. В условиях рассматриваемой задачи повышение эффективности процесса распознавания (уменьшение вероятности статистической ошибки первого рода) достигнуто благодаря разворачиванию процесса распознавания из района вершины, несмотря на большую плотность искомых траекторий, осложненную фоновой загрузкой в указанной области, расположенной в окрестности мишени – перед спектрометрическим магнитом.

На первом этапе распознавания находится подмножество проекций траекторий с доминирующим условием минимизации вероятности

статистической ошибки второго рода. Рассматриваемое подмножество включает траектории с максимальным количеством точек. На этом шаге не производится традиционная интеграция отсчетов – использование вместо кластера его центра тяжести. Это способствует повышению эффективности распознавания. Идентифицированные траектории используются для нахождения вершины – точки пересечения траекторий в трехмерном пространстве. Найденная вершина применяется далее для распознавания элементов события, позволяя достигать высокого уровня эффективности и избирательности процесса распознавания траекторий даже в условиях информационной недостаточности – уменьшения количества зарегистрированных точек. В результате выполнения рассматриваемого шага формируется массив  $XU$  – проекций прямолинейных треков, зарегистрированных до магнита. Затем по точкам, регистрируемым камерой в повернутой системе координат, составляется таблица соответствия найденных проекций траекторий. Синтез результирующих пространственных траекторий осуществляется после распознавания траекторий за магнитом. Поиск проекций треков и вершины события проводится с учетом значимого шага дискретности экспериментальных данных. Каждому срабатыванию сигнальной проволоки ставится в явное соответствие отрезок, равный по длине шагу дискретности. Общая схема распознавания повторяет метод опорной дорожки<sup>15/</sup> с шириной, приблизительно равной удвоенному шагу дискретности, но при этом учитывается корреляция ошибок и отличие закона распределения этих ошибок от нормального. Такой учет позволяет, не уменьшая эффективности распознавания, ввести дополнительный критерий отбора точек: траектория должна проходить через все отрезки, ассоциированные с точками, находящимися внутри опорной дорожки. Другая позитивная особенность алгоритма распознавания связана с оптимизацией анализа структуры кластеров, учитывающей, что срабатывание проволоки означает прохождение частицей прямоугольной области с центром в зарегистрированной точке и со сторонами, равными шагу дискретности и эффективной длине диаметра чувствительного промежутка камеры. Значение этой величины оценивается посредством статистической обработки экспериментальных данных на этапе определения калибровочных констант. С учетом этих факторов повышается достоверность результирующих данных и помехоустойчивость (робастность) процесса распознавания.

Методика распознавания с учетом дискретной структуры координатных детекторов хорошо согласуется с идеей применения трек-кодов - табулированного набора возможных траекторий. Отметим актуальность качественной юстировки ориентации (устранение угловых смещений) координатных детекторов, позволяющей существенно сузить область неопределенности - опорную полосу траектории. Максимальная эффективность применения трек-кодов достигается при ширине полос, внутри которых может оказаться не более трех проволок координатной плоскости. В этом случае значение соответствующего элемента трек-кода равно номеру центральной проволоки. Генерирование полного набора трек-кодов - ресурсоемкая процедура. Например, метод распознавания с трек-кодами в рассматриваемых условиях требует 18 мегабайт при том, что вся программа с альтернативным модулем распознавания требует около 400 килобайт. Радикальное сокращение требуемого объема памяти (более чем на три порядка) было достигнуто за счет генерирования базисного набора трек-кодов, из которого текущий трек-код получался операцией параллельного смещения. Однако прямое использование трек-кодов на скалярных ЭВМ в рассматриваемых условиях (высокая множественность, относительно простая аналитическая модель траектории и т.п.) дает незначительный ускоряющий эффект из-за последовательного доступа в прогнозируемую область. В связи с этим была введена статусная матрица события, каждый элемент которой характеризует состояние конкретной проволоки и может принимать одно из трех значений, соответствующее в порядке приоритета срабатыванию данной проволоки, срабатыванию соседней проволоки, несрабатыванию проволоки. Применение алгоритма вычисления решающей функции с информационным базисом, включающим массив трек-кодов и статусную матрицу события, позволило повысить более чем вдвое скорость распознавания траекторий.

Анализируемый метод распознавания ориентирован на применение традиционных скалярных ЭВМ. Аналогичный алгоритм разработан и исследован на матричном процессоре ЕС-2706. Наибольший эффект ускорения за счет применения матричных операций был достигнут на этапе отбрасывания случайного точечного фона посредством элементарной операции над двумя матрицами, одной из которых



является модифицированная матрица трек-кодов эксперимента, а второй - статусная матрица события.

Под действием однородного магнитного поля заряженные частицы отклоняются в XOZ-плоскости, а затем двигаются по траекториям, которые хорошо аппроксимируются линейной функцией.

Малое количество камер и связанное с этим их равномерное распределение по признаку ориентации локальных систем координат предопределило разработку алгоритмов распознавания, радикально отличающихся от традиционных, включающих два самостоятельных этапа: распознавание графических образов на плоскости, а затем синтез пространственных траекторий. В анализируемом ниже методе распознавание пространственных траекторий осуществляется как единый процесс. На начальном шаге выбираются базисные точки так, чтобы провести через них опорный пространственный трек. Распознавание траекторий за магнитом существенно базируется на результатах распознавания до магнита. С использованием параметров базисного трека определяются области для поиска точек во всех остальных камерах. Наборы опорных и найденных в прогнозируемых областях точек составляют список кандидатов, из которых выбираются, разрешая конкуренцию, наиболее достоверные. Размеры прогнозируемых областей для каждой сигнальной плоскости при всех комбинациях базисных камер определены посредством статистической обработки моделированных и реальных событий. Для сужения прогнозируемой области параметры пространственного базисного трека уточняются по мере присоединения новых точек. Это особенно существенно в условиях применения экстраполяции определения области новых точек. Результаты распознавания полных пространственных траекторий проверяются по ранее вычисленной таблице соответствий до магнита, причем при достаточно надежном соответствии проекций траекторий за магнитом подтверждение в таблице соответствий не является необходимым. Это существенно в условиях работы с недостаточно высокой эффективностью единственной повернутой камеры до магнита.

#### Заключение

Для первичной обработки данных, полученных с установки БИС-2, было разработано несколько систем, существенно различающихся как в

части архитектуры, так и в части функциональных модулей. Рассмотренные здесь программы системы обработки БИЗОН позволили достигнуть рекордных характеристик в части определения геометрических параметров траекторных детекторов, распознавания и определения параметров событий. Как показали тщательные исследования, эффективность программ системы БИЗОН, используемых для распознавания и восстановления многотрековых событий, в 1,5-2 раза превышает эффективность альтернативных программ.

Большое внимание при создании системы БИЗОН уделено задачам гибкости и адаптивности системы. Для решения указанных задач применяется развитый инструментарий. К нему относятся методы и средства структуризации, редактирования, генерирования, включающие макроподстановки и альтернативную выборку фрагментов многовариантного тела модуля на входном языке штатной системы трансляции. Динамическая настройка программ производится на языке директив. В качестве языкового процессора используется программа FFREAD<sup>6/</sup>.

Достижение рекордных характеристик функциональных программ стало возможным благодаря применению встроенных средств моделирования, статистический обработки данных (пакет HBOOK<sup>7/</sup>), средств машинной графики<sup>8/</sup>.

Для проведения обработки экспериментальных данных были разработаны подход, методы и программные средства<sup>9,10/</sup> эффективной организации массовых процессов в широком классе задач обработки информации на ЭВМ.

Резкая интенсификация процессов сбора первичных экспериментальных данных обусловила стремительный рост требований к системам обработки регистрируемой информации. Повышение производительности системы обработки с традиционной организацией прямо связано с экстремальным повышением требований (иногда значительно опережающим реальные возможности) к мощности и надежности ЭВМ и (или) возрастанием нагрузки по обслуживанию системы обработки на пользователя. В рамках предложенных решений обеспечивается радикальное повышение надежности и производительности массовых процессов для широкого диапазона изменения рабочих характеристик операционного окружения, а

физик-пользователь освобождается от трудоемких функций в контуре обслуживания системы массовой обработки информации.

В ОИЯИ система БИЗОН использовалась для обработки на ЕС-1061 и ЕС-1060 десятков миллионов многотрековых событий, связанных с экспериментальными исследованиями очарованных частиц на протонном синхротроне ИФВЭ (г. Серпухов).

Авторы выражают благодарность Н.Н.Говоруну за поддержку и содействие данной работе, В.Д.Кекелидзе и всем участникам сотрудничества БИС-2 за полезные обсуждения на всех этапах разработки создания и применения системы БИЗОН.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Говорун Н.Н. и др. Основные результаты, полученные на установке БИС-2. ОИЯИ, I-84-457, Дубна, 1984.
2. Евсиков И.И. и др. Математическое обеспечение неоднородной распределенной вычислительной системы для экспериментов в области физики высоких энергий. В кн: IV Всесоюзный семинар по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. ИФВЭ, Протвино, 1986, с.74.
3. Говорун Н.Н. и др. Определение параметров бесфильмовых искровых камер. ОИЯИ, P5-5397, Дубна, 1970.
4. Арефьев В.А. и др. Программируемые трековые процессоры в спектрометре БИС-2. ОИЯИ, I3-86-738, Дубна, 1986.
5. Говорун Н.Н. и др. Программы распознавания прямолинейных треков, регистрируемых посредством искровых камер. ОИЯИ, IO-7303, Дубна, 1973.
6. Brun R. et al. Format free input processing. CERN, DD/US/71, Geneva, 1987.
7. A) Brun R., Ivanchenko I., Palazzi P. HBOOK - histogramming, fitting and data presentation package. JINR, D10,11-11264, Dubna, 1978, p. 79.  
B) Brun R., Ivanchenko I., Palazzi P., Lienart D. HBOOK users guide. CERN, DD/EE/81-1, Geneva, 1984.



8. А) Говорун Н.Н. и др. Структура программного обеспечения машинной графики для физических экспериментов на линии с ЭВМ. ОИЯИ, IO-82-482, Дубна, 1982.
- Б) Иванченко И.М. и др. Распределенная графическая система на базе вычислительного комплекса центральная-персональная ЭВМ. ОИЯИ, P10-88-913, Дубна, 1988.
9. А) Аниховский В.Е. и др. Автосопровождение массовой обработки экспериментальных данных на ЕС ЭВМ. ОИЯИ, P10-87-193, Дубна, 1987.
- Б) Евсина В.Н. и др. Автосопровождение массовой обработки данных с применением инструментальной и объектной ЭВМ. ОИЯИ, Б1-10-88-894, Дубна, 1988.
10. Евсиков И.И., Иванченко И.М. IOPROG-программа ввода-вывода данных на внешние запоминающие устройства ЕС ЭВМ. ОИЯИ, P10-87-52, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 июня 1989 года.