

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА ПАВИКОМ

А. Б. Александров^а, *Л. А. Гончарова*^а,
Д. А. Давыдов^{б,1}, *П. А. Публиченко*^б,
Т. М. Роганова^б, *Н. Г. Полухина*^а, *Е. Л. Фейнберг*^а

^аФизический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, Москва

^бНаучно-исследовательский институт ядерной физики МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

Новые автоматизированные методы существенно упростили и ускорили обработку данных трековых детекторов. Это позволяет обрабатывать большие массивы данных и существенно улучшает их статистическую обеспеченность, что предопределяет разработку новых экспериментов, предполагающих использование крупнообъемных мишеней, эмульсионных и твердотельных трековых детекторов большой площади [1]. В этой связи становится крайне актуальной проблема подготовки квалифицированных физиков, способных работать на современной автоматизированной технике. Около десяти московских студентов ежегодно осваивают новые методы, работая в ФИАНе на комплексе ПАВИКОМ [2–4]. Большая часть студентов, занимающихся сейчас физикой высоких энергий, при обучении получает представление лишь об устаревших ручных методиках обработки данных с трековых детекторов. В 2005 г. на базе комплекса ПАВИКОМ и физпрактикума физфака МГУ была подготовлена новая учебная работа по определению энергии нейтронов, проходящих через ядерную эмульсию, которая дает возможность приобрести начальные навыки обработки данных трековых детекторов с использованием автоматизированной техники и может быть включена в учебный процесс студентов любых физических факультетов. Специалисты, овладевшие приемами автоматизированной обработки на простом и наглядном примере трековых детекторов, смогут применить свои знания в самых разных областях науки и техники. Постановка учебных работ для студентов старших курсов — новый дополнительный аспект использования комплекса ПАВИКОМ, описанного ранее в статье [4].

New automatic methods essentially simplify and hasten the data treatment of tracking detectors. It allows handling big data files and appreciably improves their statistics; this fact predetermines an elaboration of new experiments, which suppose to use large volume targets, emulsive and solid-state large square tracking detectors. Thereupon the problem of training competent physicists able to work on modern automatic equipment is very relevant. About ten Moscow students are working in LPI at PAVICOM facility master new methods every year. The most of students working in high-energy physics takes the print only about archaic hand methods of data handling from tracking detectors. In 2005 on the base of PAVICOM facility and physics training of MSU a new educational work for a definition of the energy of neutrons passing through nuclear emulsion, which lets students acquire a base habit of data handling from tracking detectors using an automatic facility, was prepared; it can be included in training process for students of any physical faculty. Specialists mastering methods of an

¹E-mail: ddavydov@list.ru

automatic handling by the simple and obvious example of tracking detectors will be able to use their knowledge in various areas of science and techniques. The organization of upper division courses is a new additional aspect of using of PAVICOM facility described in an earlier paper [4].

PACS: 29.40.Gx

Ядерная эмульсия используется в экспериментах по физике частиц на протяжении уже многих десятилетий. Столь продолжительная жизнь методики, безусловно, связана с уникальным пространственным разрешением и возможностью разделения треков частиц. Ни один из применяемых сейчас детекторов элементарных частиц не может обеспечить пространственное разрешение, которое дает эмульсия: при размере зерна 0,7–1 мкм отклонение зерен от восстановленной траектории движения частицы в среднем не превышает 0,8 мкм, а при определенных условиях может быть уменьшено до 0,2 мкм. Использование двусторонней эмульсии позволяет определять углы прилета с погрешностью менее одного миллирадиана. Кроме того, из-за своей простоты и наглядности эмульсионные детекторы имеют большие преимущества перед другими системами детектирования при демонстрации некоторых явлений физики частиц на старших курсах учебных заведений физических специальностей.

На физическом практикуме физфака МГУ студенты при выполнении одной из лабораторных работ изучают облученную нейтронами ядерную эмульсию. Эмульсия имеет толщину около 40 мкм и облучена коллимированным пучком нейтронов от полониево-бериллиевого источника. Задача лабораторной работы — определение энергии первичных нейтронов, для чего студенты должны измерить длину треков и углы вылета нескольких протонов отдачи.

Ранее эти измерения проводились на оптических микроскопах вручную, и студенты визуально находили и фиксировали треки частиц. Однако на современном уровне развития техники стала возможной полная автоматизация обработки ядерных эмульсий и создание микропроцессорно-ориентированных систем: распознавание треков частиц и восстановление их пространственной конфигурации выполняется компьютером по специально разработанным программам. Этого удалось достичь благодаря широкому применению современных приборов с зарядовой связью (CCD-камеры) для регистрации и оцифровывания оптических изображений, вычислительным возможностям современных компьютеров, прогрессу в производстве прецизионной техники и созданию оптических столов, перемещаемых с высокой точностью по командам от компьютеров. Автоматизированный метод измерений в трековых детекторах практически полностью исключает использование изнурительного визуального труда микроскопистов и ускоряет процесс обработки приблизительно на три порядка по сравнению с полуавтоматическими методами. Кроме ускорения измерений, новый метод позволяет обрабатывать большие массивы экспериментальных данных, существенно увеличивает ожидаемую статистику событий в широкой области экспериментов, предопределяет разработку проектов новых экспериментов, для проведения которых появляется возможность использовать большие объемы мишеней и большие площади эмульсионных и твердотельных трековых детекторов [1].

Всего в мире в настоящее время действует около 40 автоматизированных систем для обработки ядерных эмульсий, в том числе около 20 — в Европе. В Италии, Франции и Германии в течение последних двух лет стремительно увеличивается количество таких автоматизированных комплексов, в частности, в связи с подготовкой эксперимента по по-

иску осцилляций нейтрино OPERA [1], где количество используемой ядерной эмульсии исчисляется десятками тонн (!). Российские физики также участвуют в этом престижном и амбициозном международном проекте. Остро стоит вопрос об увеличении количества ученых, имеющих соответствующий уровень подготовки и способных работать на столь сложной автоматизированной технике. Около десяти московских студентов из разных вузов (МФТИ, МИФИ, МГУ, МИСИС, Институт естественных наук) ежегодно осваивают новые методы, работая в ФИАНе на комплексе ПАВИКОМ. Однако большая часть студентов, занимающихся сейчас физикой высоких энергий, при обучении получают представление лишь об устаревших методиках ручной обработки ядерной эмульсии на оптических микроскопах. Как один из первых шагов расширения возможности подготовки специалистов, знакомых с современными автоматизированными методами экспериментальной ядерной физики, был разработан новый вариант лабораторной работы физфака МГУ, связанной с изучением процесса прохождения нейтронов через ядерную эмульсию. Новая лабораторная работа была подготовлена на базе созданного в ФИАНе комплекса ПАВИКОМ (полностью автоматизированный измерительный комплекс) [2, 3] — единственного в России комплекса, удовлетворяющего современным мировым стандартам.

СКАНИРОВАНИЕ ЭМУЛЬСИИ НА КОМПЛЕКСЕ ПАВИКОМ И СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ФАЙЛОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ

На ПАВИКОМ в режиме полной автоматизации осуществляется:

- поиск и оцифровывание треков заряженных частиц в материале детектора;
- распознавание и прослеживание треков с помощью ЭВМ;
- систематизация и первичная обработка данных.

Принцип работы: изображение на CCD-матрице создает объектив микроскопа. Аналоговый видеосигнал, формируемый видеокамерой, передается на вход карты оцифровки и захвата изображения. Карта производит оцифровку видеосигнала, передает эти данные в память компьютера, а также выводит оцифрованный видеосигнал в «живом окне» на монитор.

Комплекс состоит из двух установок, отличающихся некоторыми параметрами [4, 5]. Сканирование эмульсий для практикума физфака было выполнено на установке ПАВИКОМ-2 [6].

Автоматизированный микроскоп ПАВИКОМ-2 (рис. 1) создан на базе микроскопа МПЭ-11 производства ЛОМО. Основные узлы установки ПАВИКОМ-2:

- прецизионный стол немецкой фирмы Carl Zeiss с блоком управления;
- цифровая CCD-камера;
- персональный компьютер.

Пределы автоматического перемещения столика в горизонтальной плоскости составляют 0–100 мм, по вертикальной координате — около 1 см. Перемещение оптического столика по всем координатам осуществляется шаговыми двигателями, управляемыми контроллером, на который поступают команды от компьютера. Точность измерения координат x и y в горизонтальной плоскости составляет 0,25 мкм, по оси Z — $3,96 \cdot 10^{-3}$ мкм.

Матрица CCD-камеры имеет размеры 768×576 пикселей и глубину цвета 8 бит (256 градаций серого). Изображение на матрице создается объективом микроскопа с увеличением до $60\times$.



Рис. 1. Внешний вид автоматизированного микроскопа ПАВИКОМ-2

Сканирование ядерных эмульсий, облученных нейтронами, проводилось со следующими параметрами: объектив оптической системы — 60^X (поле зрения при этом составляло 80×60 мкм), шаг сканирования по оси X — 75 мкм, по оси Y — 55 мкм, по глубине — 2 мкм (в одном поле зрения сканирование проводилось на 18 глубинах). Всего было отсканировано 10 полей зрения по X , 30 полей зрения по Y . Программным обеспечением, выполняющим сканирование, были созданы файлы с изображениями формата JPEG и текстовый файл, содержащий координаты этих изображений.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОСМОТРА И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Для просмотра и обработки отсканированных файлов формата JPEG была написана специальная программа Emulsion Viewer, которая реализует следующие функции:

- составление изображения из большого количества JPEG-файлов;
- просмотр этого изображения в различных масштабах;
- указание на изображении точек, определение их координат и запись координат в файл.

Эти свойства позволяют использовать данную программу как для практикума, так и для научных целей.

Программа была написана в среде разработки Borland C++ Builder и использует лишь ее стандартные компоненты [7] без загрузки каких-либо других библиотек. Просмотр большого изображения, составленного из JPEG-файлов, осуществляется следующим образом: на основную форму программы помещается большая BMP-картинка. Изображения JPEG с помощью стандартных функций по очереди «рисуются» на BMP-картинке рядом друг с другом. Всякий раз при перемещении по изображению программа определяет, какие из картинок JPEG при данном масштабе помещаются на экран, и рисует их.

Для того чтобы изображение из файла можно было вывести на экран, файл должен быть загружен в оперативную память. Для экономии оперативной памяти в программу загружаются лишь те файлы, которые при текущем масштабе помещаются на экран. В программе для просмотра также предусмотрена возможность зеркальной инверсии изображений. Интерфейс программы (рис. 2) позволяет перемещаться по изображению, изменять масштаб просмотра, определять координаты, менять опции загрузки изображения. Созданная для учебной работы программа имеет открытый исходный код. Это дает

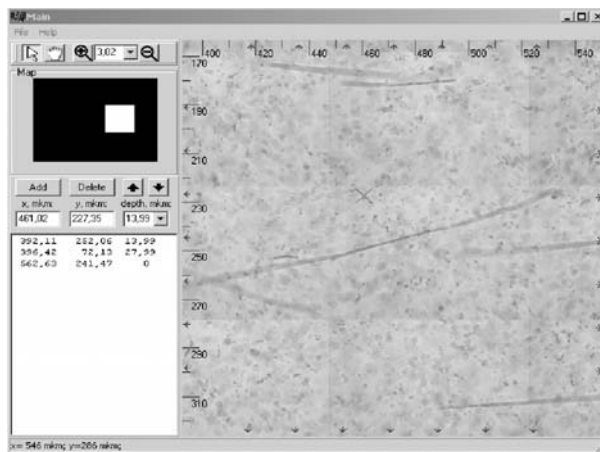


Рис. 2. Изображение на мониторе компьютера во время работы программы обработки. На демонстрируемом участке изображения эмульсии видны части треков протонов отдачи

возможность в ходе выполнения работы не только демонстрировать и изучать физические явления, но и ставить реальную задачу по разработке программного обеспечения для физического эксперимента. Студенту может быть предложено написать дополнительный модуль, например, модуль для сшивки треков, определения кривизны трека и т. п. При этом не только можно применить на практике знания по объектно-ориентированному программированию, но и освоить некоторые методы распознавания образов, в частности, в случае восстановления пространственного положения трека частицы на фоне зерен вуали в эмульсии. Таким образом, подготовленная работа допускает разные уровни сложности ее постановки — от простого измерения параметров треков до самостоятельной разработки части программного обеспечения. Поэтому окончательная реализация учебной работы должна быть адаптирована к уровню преподавания программирования и статистических методов обработки в конкретном вузе.

Возможность развития навыков объектно-ориентированного программирования и обучения приемам распознавания образов чрезвычайно полезна не только для автоматизированной обработки данных трековых детекторов [8–10]. Аналогичные приемы программирования и анализа данных широко используются во многих электронных ядерно-физических экспериментах, в прикладных работах, применяются в производимом промышленностью современном оборудовании [11, 12], а это означает востребованность специалистов, владеющих такими навыками.

ВЫВОДЫ

Высокотехнологичные методы обработки экспериментальных данных трековых детекторов являются основой для постановки ряда современных физических экспериментов. Осуществление таких методически новых экспериментов, в свою очередь, требует подготовки специалистов, способных работать на автоматизированных комплексах. Возможность постановки подобных учебных работ для студентов старших курсов физических факультетов — новый дополнительный аспект использования комплекса ПАВИКОМ. Предлагается проводить на самом современном оборудовании в Российской академии наук автоматизированное сканирование материала трековых детекторов, выбранных в конкретном вузе для демонстрации некоторых явлений физики частиц. Освоение новых методов обработки данных на примере предлагаемой учебной работы будет способствовать не только появлению физиков, применяющих автоматизированную обработку трековых детекторов, но и в целом повышению уровня подготовки выпускников физических факультетов, владеющих математическим аппаратом систем распознавания образов и свободно использующих эти знания в самых разных областях науки и техники.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 06-02-16864.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kodama K. et al.* The OPERA ν_τ Appearance Experiment in the CERN–Gran Sasso Neutrino Beam. CERN/SPSC 98-25 SPSC/M612; LNGS-LOI 8/97 add.1 (9/10/98).
2. *Калинин С. А. и др.* // Наука — производству. 2000. № 12. С. 29.
3. *Aleksandrov A. B. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 535. P. 542–545.
4. *Фейнберг Е. Л., Полухина Н. Г., Котельников К. А.* // ЭЧАЯ. 2004. Т. 35, вып. 3. С. 763–787.
5. *Aleksandrov A. B. et al.* // Proc. of SPIE. 2005. V. 5974. P. 408–419.
6. *Егоров О. К. и др.* // ПТЭ. 2003. № 6. С. 133–134.
7. *Архангельский А. Я., Тагин М. А.* Приемы программирования в C++ Builder. Механизмы Windows, сети. М.: Бинوم-Пресс, 2004. 656 с.
8. *Калинин С.* Дипломная работа. Группа ПАВИКОМ. М.: ФИАН; МФТИ, 2000.
9. *Kayis-Topakcu A.* CERN-PH-EP/2004-029.
10. http://greybook.cern.ch/programmes/experiments/CMS_detailes.html
11. *Dremin I. M., Sarycheva L. I., Teplov K. Yu.* Talk at QM2005, Budapest.
12. *Sartori M. S.* // Nucl. Tracks Radiat. Meas. 1993. V. 22. P. 615.

Получено 16 марта 2006 г.