

3. Автоматизация обработки камерных снимков

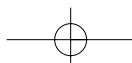
Как было отмечено выше, в исследованиях по физике высоких энергий в шестидесятые-семидесятые годы большую роль сыграло изучение взаимодействий ускоренных частиц с веществом с помощью пузырьковых и других оптических трековых камер. События взаимодействия частиц в объеме камеры фотографируются несколькими фотоаппаратами, и затем траектории участвующих во взаимодействиях частиц восстанавливаются по полученным стереофотографиям. Этот процесс принято называть обработкой фотографий. Он требует очень точных измерений координат нескольких точек на траекториях частиц на фотопленках (в пределах 2–5 мкм) и затем сложных математических расчетов для восстановления пространственной картины события. Для исследования закономерностей физических процессов, происходящих при таких столкновениях частиц, требуется анализировать десятки и сотни тысяч фотографий. Естественно было подумать об автоматизации таких сложных и многократно повторяющихся процессов обработки. Работы в этом направлении начались в ЛВЭ и ЛЯП еще в самом начале становления ОИЯИ и целесообразность объединения усилий в этом направлении, на базе вычислительной техники, послужили обоснованием для создания ЛВТА.

Работы по автоматизации обработки камерных снимков в ЛВТА велись одновременно по нескольким направлениям, главным образом в Отделе автоматизации под руководством Юрия Александровича Каржавина¹. Основным рабочим инструментом за все время работы в этой области в Институте служили полуавтоматические устройства ПУОС на основе «большого инструментального микроскопа», разработанные еще в ЛВЭ². Процесс измерения, то есть наведение измерительного стола на измеряемые точки траекторий, в этих устройствах оператор вел вручную, координаты точек при этом измерялись автоматически, и полученные данные выводились на перфорированную ленту. Ленты с данными поступали на одну из вычислительных машин для проведения с помощью специализированных программ геометрической реконструкции, кинематического анализа, физического анализа. Позже эти полуавтоматические приборы были подключены сначала к управляющим вычислительным машинам среднего уровня, а позже и к персональным компьютерам. Теперь данные измерения прямо передавались в управляющие ЭВМ, которые в реальном масштабе времени проводили проверку поступающих данных измерений на формальную исправность. Полуавтоматы типа ПУОС были переданы в ряд институтов стран-участниц ОИЯИ для обработки фотоснимков с пузырьковых камер ОИЯИ в больших коллаборациях.

Для обработки фотографий, полученных на трековых камерах ОИЯИ, а впоследствии и на камерах некоторых других институтов, был создан Отдел обработки

¹ *Govorun N.N., Inkin V.D., Karzhavin Ju.A., Meshcheriakov M.G., Moroz V.I., Pose R., Shigaev V.N., Shkunderkov V.N.* Development of Track Chamber Picture Processing Systems at JINR // Proc. of the Int. Conf. on Data Handling Systems in High-Energy Physics. Cavendish Laboratory. Cambridge, 1970. CERN 70-21. Geneva, 1970. P. 753–759.

² *Виноградов А.Ф., Говорун Н.Н., Елисеев Г.Н., Иванченко З.М., Кретов А.П., Мороз В.И., Проценко Н.А., Самойлов В.Н., Степанов В.Д., Чернышова Г.Н., Чулков Н.И.* Система для измерения камерных снимков на базе полуавтоматических измерительных приборов, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4. ОИЯИ 10-8783. Дубна, 1975.



фильмовой информации в ЛВТА под руководством Владимира Ивановича Мороза. В отделе велись работы по созданию, адаптации и модернизации программ для обработки информации, в частности, для материала с тяжеложидкостных пузырьковых камер ЛВЭ. Научные сотрудники отдела участвовали в физическом анализе обрабатываемых данных.

К сожалению, ряд оригинальных разработок, выполненных еще в ЛВЭ и ЛЯП и направленных на повышение уровня автоматизации процесса измерений, впоследствии не получили своего применения из-за недостаточно стабильной работы используемых в них только что появившихся полупроводниковых приборов.

Одно из направлений работ ЛВТА по автоматизации процесса измерения камерных снимков было связано с созданием автомата НРД, сканирующего фотоснимок «бегущим лучом». Тонкий световой луч, бегая по фотоснимку, просвечивает его, а расположенный за фотоснимком фоточувствительный элемент при этом вырабатывает электрические сигналы, несущие информацию о координатах точек пересечения световым лучом траекторий частиц. Оптико-механическая часть такого устройства была приобретена у зарубежной фирмы, а электронная часть изготовлена в отделе автоматизации ЛВТА. Это сканирующее устройство управлялось вычислительной машиной ТРА. Массивы данных сканирования по каналу связи передавались на ЭВМ CDC-1604 для фильтрации и обчета по программе геометрической реконструкции. Для проведения автоматического сканирования на этом автомате, помимо просмотра пленок и отбора событий, подлежащих обработке, необходим был предварительный промер снимков, задающий автомату общую картину каждого обрабатываемого события (так называемая «маска» события). Заготовка масок выполнялась на шести специальных, разработанных в Отделе автоматизации, просмотрово-измерительных столах (БПС), работавших на линии с малой ЭВМ¹. В создании сложных программ для фильтрации данных сканирования этого автомата принимали участие сотрудники Отдела математической обработки экспериментальных данных, которым руководил Н.Н.Говорун. Производительность сканирующего устройства НРД составляла около 200 тыс. событий в год.

Устройство с бегущим лучом (НРД) является довольно универсальным прибором, на котором, в принципе, можно обрабатывать фотографии с изображениями совершенно разных объектов. Ряд работ в этом направлении был проведен в ЛВТА по инициативе Н.Н.Говоруна.

По другому пути пошли разработчики прибора со спиральной разверткой — «Спиральный измеритель». В этом приборе использовалась особенность ядерных взаимодействий, состоящая в том, что для большинства изучаемых взаимодействий события имеют вид нескольких следов частиц, выходящих из одной точки, — так называемая вершина события. Если вершину такого события совместить с центром спиральной развертки и затем осуществить сканирование снимка по спирали увеличивающегося радиуса, то за время выполнения спиральной развертки можно зарегистрировать все

¹ Алмазов В.Я., Беляков В.Н., Ермолаев В.В., Зайцев В.И., Калмыкова Л.П., Каржавин Ю.А., Мещеряков М.Г., Ососков Г.А., Павлова В.В., Погодина Г.Ф., Позе Р., Рубцов Ю.Ф., Семенов В.Н., Скрьель И.И., Устинов В.И. Большие просмотрово-измерительные столы на линии с ЭВМ ТРА // Труды Междунар. симп. по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Д10-6142. Дубна, 1971. С. 213–226.



**Р.Позе, М.Г.Мещеряков, В.М.Котов, А.Е.Селиванов, В.А.Буров
за просмотром пленок для спирального измерителя (1975 г.)**

треки, выходящие из данной вершины. Скорость измерения, таким образом, не зависит от числа треков, выходящих из вершины. Кроме того, применяя для сканирования не точечную, а продольную щель, ориентированную на вершину события, можно существенно сократить количество помех и информацию о следах, не принадлежащих к данному событию. Фактически производится предварительная фильтрация сигналов со снимка. Для такого прибора также требуется предварительный отбор событий и измерение координат вершин событий, подлежащих измерению. Производительность составляла примерно 10 тыс. событий в год¹.

Разработка и создание Спирального измерителя является хорошим примером специфики работы ОИЯИ как международной организации и партнера международ-

¹ Котов В.М., Буланова Г.Н., Васильев В.Г., Ваттенбах К., Зайцев В.И., Живаев В.М., Каржавин Ю.А., Косарева З.М., Кулюкина Л.А., Кутуев Р.Х., Кушудун А.И., Лысяков В.Н., Маркозащивили Л.М., Ососков Г.А., О Хи Ен, Позе Р., Понятовский М., Селиванов А.Е., Скрыль И.И., Устинов В.И., Шуман Г. Спиральный измеритель. Общее описание и результаты определения точностных характеристик. Препринт ОИЯИ 10-7939. Дубна, 1974; Материалы VII Всесоюзной школы по автоматизации научных исследований. Л., 1974. С. 444–449.

ных коллабораций. Первый измерительный прибор по принципу спиральной развертки был разработан в Беркли, в Лаборатории им. Лоуренса, в группе Л.Альвареса. Директор ЛВТА М.Г.Мещеряков, во время посещения этого института, обратил внимание на это устройство и Альварес подарил ему чертеж перископа, то есть оптико-механической части, осуществляющей спиральную развертку. В ОИЯИ был создан коллектив конструкторов из лабораторий стран-участниц ОИЯИ, который на основе этого рисунка заново сконструировал прибор. Одним из участников этой работы был ИФВЭ АН ГДР, и в Берлине было найдено ОКБ точной механики, которое вместе с заводом в Карл-Маркс-Штадте (Хемниц) взялось за изготовление этой довольно сложной высокоточной конструкции. Соответственно, все конструкторские чертежи были переведены в стандарты ГДР, для чего был приглашен конструктор из Центра научного приборостроения АН ГДР. Электронная часть прибора была разработана и изготовлена в ЛВТА также коллективом инженеров из стран-участниц. В качестве управляющей ЭВМ использовалась малая машина типа Электроника-100. Программное обеспечение Спирального измерителя было разработано в ЛВТА с участием математиков. Была изготовлена серия из 10 приборов типа Спиральный измеритель для ряда институтов стран-участниц ОИЯИ.

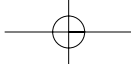
Третье направление разработок ЛВТА по автоматизации процесса обработки камерных снимков, руководителем которого был В.Н.Шкунденков, использовало электронно-лучевую трубку для формирования бегущего по снимку светового луча. В принципе такое устройство является наиболее универсальным прибором для сканирования снимков с различной информацией, так как положение и передвижение светового луча по снимку полностью управляется вычислительной машиной. В некоторых случаях с помощью такого прибора кроме координат точек на снимке можно снимать и информацию о степени почернения в данной точке. Автоматы, работающие по такому принципу (АЭЛТ-1 и АЭЛТ-2), в ОИЯИ использовались для обработки фотографий, получаемых с искровых камер.

Хотя описанные выше автоматы в основном работали в автоматическом режиме, участие человека в случае обработки сложных событий не исключалось. Кроме этого, всегда существуют некоторые события, которые по тем или иным причинам не поддаются полностью автоматизированной обработке. В таких случаях приходилось пользоваться полуавтоматическими установками ПУОС в качестве так называемых станций спасения.

В девяностых годах оптические трековые камеры постепенно были вытеснены электронными методами регистрации взаимодействий частиц, и обработка फिल्मовой информации в ОИЯИ и все связанные с ней научно-технические разработки были постепенно приостановлены. Отдел обработки फिल्मовой информации ЛВТА был закрыт.

Нужно отметить, что все эти разработки велись в тесном и плодотворном сотрудничестве со многими институтами стран-участниц и неучастниц ОИЯИ, в частности, с сотрудниками отдела обработки данных (DD-division) ЦЕРНа.

В связи с тем, что в большинстве камерных экспериментов, проводимых в ОИЯИ, участвовали сотрудники институтов стран-участниц и других стран, потребовалось создание современных для того времени программ для математической обработки результатов обмера камерных фотографий, которые могли быть легко адаптированы



для различных ЭВМ, имевшихся в распоряжении участников соответствующих со-трудничеств¹.

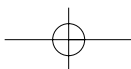
Обработка фильмовой информации, как правило, проводилась в следующей по-следовательности:

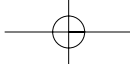
- Просмотр пленок и отбор стереоснимков с событиями исследуемого типа.
- Измерение отобранных при просмотре стереоснимков на одном из вышеописан-ных измерительных устройств.
- Восстановление пространственной картины событий и вычисление параметров частиц; кинематическая идентификация событий, в результате которой выявляет-ся одна или несколько наиболее вероятных гипотез о каждом рассмотренном со-бытии; формирование магнитных лент суммарных результатов и статистический анализ экспериментальных данных, накапливаемых на лентах суммарных резуль-татов (ЛСР).

В соответствии с решаемыми в процессе обработки фильмовой информации задаче-ми математическое обеспечение камерных экспериментов состояло из следующих частей:

- Комплекс программ для управления работой просмотрово-измерительных уст-ройств, сбора и накопления данных, получаемых в ходе просмотра, обмера или сканирования снимков, калибровки приборов и фильтрации данных. Эти про-граммы являлись элементами соответствующих измерительных систем и их на-значение, в основном, определялось характером последних.
- Система программ, предназначенных для анализа результатов обмера камерных фотографий. К ним относились программы геометрической реконструкции и ки-нематического анализа событий, программы для формирования ЛСР и статисти-ческого анализа экспериментальных данных. Эта часть математического обеспе-чения является общей для различных систем обработки, поскольку большинство составляющих ее программ практически не зависит ни от характера измеритель-ной системы, ни от конкретных особенностей камер. Исключение составляли лишь геометрические программы, конкретная организация которых зависела как от типа камер, так и от характеристик измерительной системы.
- Программы, предназначенные для решения различного рода вспомогательных за-дач, процесса анализа результатов обмера камерных фотографий. К ним относи-лись программы для вычисления параметров оптических систем камер, составле-ния и обновления каталогов обрабатываемых событий, моделирования экспериментов, генерации событий и т.п.
- Набор сервисных программ, предназначенных для редактирования и сборки тек-стов программ системы, организации и хранения библиотек и т.п.

¹ *Абдурахимов А.У., Бадалян С.Г., Бано М., Буздавина Н.А., Врба В., Говорун Н.Н., Гоман В.С., Дирнер А., Иванов В.Г., Илеусузова Р.Б., Кауфманн Х., Клабун Ю., Лепилова Л.И., Локтионов А.А., Новицкий В., Позе Р., Потребеников Ю.К., Реймер П., Ролофф Х.Е., Семан М., Стриж Т.А., Фогт Х., Фрибель В., Фудо Э., Херинек И., Шандор Л., Шиллер Х.* Система программ для математической обработки фильмовой информации на мощных ЭВМ. Препринт ОИЯИ Р10-80-657. Дубна, 1980.





Таким образом, математическое обеспечение камерных экспериментов должно было состоять из большого набора взаимосвязанных программных модулей, предназначенных для работы на различных ЭВМ, из которых можно было легко собирать требующиеся в каждом конкретном случае программы.

Развитие программ обработки फिल्मовой информации в значительной степени определялось возможностями имевшихся вычислительных машин. В первое время, например, когда быстродействие ЭВМ было низким, программы писались, как правило, на машинном коде для каждого конкретного эксперимента. Хотя это и позволило в максимальной степени использовать возможности имевшихся в то время ЭВМ, но затрудняло развитие программ и их адаптацию для новых камер или экспериментов.

Появление более мощных ЭВМ и трансляторов с языков программирования высокого уровня, в первую очередь ФОРТРАНа, позволило перейти к разработке универсальных программ. Так появилась разработанная в ЦЕРНе цепочка программ THRESH-GRIND-AUTOGR-SLICE-SUMX, предназначенная для анализа данных с жидководородных пузырьковых камер. Первый вариант этой системы силами сотрудников ОИЯИ и ИФВЭ АН ГДР был адаптирован на ЭВМ CDC-1604A и в течение ряда лет использовался для обчета данных с метровой водородной пузырьковой камеры ОИЯИ (ВПК 100). Затем на ЭВМ БЭСМ-6 в ОИЯИ и ИФВЭ АН ГДР были поставлены новые версии этих программ, которые позволяли учитывать неоднородность магнитного поля, потери энергии заряженных частиц, находить изображения одних и тех же треков события на его стереоснимках.

Следующий этап развития математического обеспечения камерных экспериментов был связан с внедрением в практику программирования модульных принципов организации программ с динамически распределяемой памятью. Первым шагом на пути решения этой задачи явилось создание в ЦЕРНе геометрической программы для больших пузырьковых камер (LBCG), которая затем была развита в систему «Гидра». Система «Гидра» затем была внедрена на ЭВМ ОИЯИ и стран-участниц ОИЯИ CDC-6500, БЭСМ-6, ЕС-1040, ИБМ-370/135 и постепенно заменила устаревшие программы обработки फिल्मовой информации.

4. Математическое обеспечение систем анализа ядерно-спектрометрической информации

Среди проблемно-ориентированных программ важное место в работах сотрудников ЛВТА занимало создание системы обработки спектрометрической информации, создание которой стало возможным с появлением мощных ЭВМ. Первой такой системой в ОИЯИ стала ПОФИ1, созданная на базе ЭВМ Минск-2 в конце шестидесятых годов.

В дальнейшем это направление работ продолжалось в тесном сотрудничестве с ЛНФ и рядом институтов стран-участниц ОИЯИ. Появились системы ПОФИ2 на БЭСМ-4 и СПРОС на машине Минск-2, а с появлением в ОИЯИ машины БЭСМ-6 открылась возможность создания более мощных систем обработки спектрометрической информации. Такой системой стала СОС (система обработки спектров), создан-

