

Ц 848

Ш-559

4386 / 1-76

Шигаев В. Н.



Б2-10-10086;

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-10-10086

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19

76

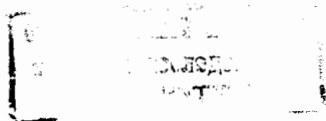
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

БЗ-10-10086

В.Н.Шигаев

О РАЗВИТИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ *HPD* В 1972 - 1976 г.г.

7 09 76



Дубна, 1976 г.

За последние 4 года была опубликована только одна работа /1/, касающаяся основного математического обеспечения измерительной системы *HPD*^{12/} Объединенного института ядерных исследований. С 1972 года система находится в эксплуатации, на ней ведется массовая обработка фильмов, получаемых с одно- и двухметровых водородных пузырьковых камер ОИЯИ. На протяжении этого периода времени математическое обеспечение постоянно совершенствовалось в плане улучшения основных эксплуатационных характеристик: универсальности, надежности, производительности и эффективности программ. Подвляющая часть того нового, что было внесено в программы, диктовалось практической эксплуатацией системы, и сейчас повзно подвести общий итог этой работы, что будет интересно не только пользователям измерительной системы в ОИЯИ, но и разработчикам аналогичных систем в других научно-исследовательских центрах. Детали алгоритмов мы здесь не приводим, ограничиваясь описанием идеи того или иного программного решения насколько это позволяет объем данной работы.

Программа *MIST*

Версия этой программы /3/, которая находилась в эксплуатации до 1974 года, проявила ряд присущих ей недостатков, которые не только усложняли условия работы группы операторского обслуживания, но также снижали производительность и эффективность всей последующей цепи программ. Эта программа, как и ранняя версия программы *SMOG*^{14, 15/}, была адаптацией черновских программ /6/ под транслятор *FORTRAN-63* с изменениями, обусловленными использованием магнитной ленты, вместо перфокарт, для ввода данных с просмотрово-измерительных столов.

В программе не учитывалась специфика работы СДС-1604А с внешними устройствами при обработке ошибок в операциях ввода-вывода, управление заданиями для программы было неоперативным (посредством пробивки перфокарт), что осложняло практическое использование программы в условиях массовой обработки снимков в системе *HPD*.

Небольшая программа *MASKTEST* написанная для аттестации выходных данных программы *MIST*^{13/}, выявила три основных недостатка в формировании управляющей информации для сканирующего автомата. Во-первых, программой задавался неоптимальный порядок измерения кадров, требующих более одного сканирования в продольном направлении. Суммарный путь, проходимый измерительным столом автомата при обмере таких кадров, можно было существенно сократить. Во-вторых, общее число сканирований в продольном направлении было избыточным. В-третьих, часть треков либо полностью, либо частично не попадала в границы продольного растра *HPD* (последний недостаток — прямое следствие алгоритма^{13/} вычисления координат стола *HPD* для продольного способа сканирования снимка). Наконец, не все режимы возобновления работы были предусмотрены в этой версии программы.

В начале 1974 года сдана в эксплуатацию новая версия программы *MIST*, лишенная перечисленных выше недостатков. В программе оптимизирован порядок измерения ложных кадров, корректно запрограммирована операция разбиения треков на сегменты разного способа сканирования, обработки коротких и прямых треков. Изменен алгоритм вычисления числа продольных сканирований и соответствующих им координат измерительного стола автомата. В отличие от алгоритма^{13/}, область не только первого продольного сканирования, но и всех последующих определяется фактическими значениями координат сегментов треков. Повышена устойчивость работы программы по отношению к ряду ошибок во входных данных (нулевые координаты точек маски, повторные координаты точек маски, отсутствие на входной магнитной ленте записи "Конец рулона", записи типа "Конец рулона" внутри границ области нахождения данных одного рулона и т.д.). Управление заданиями для программы *MIST* теперь осуществляется посредством пультового телетайпа ЭВМ СДС-1604А. В программе задействованы все режимы возобновления работ с входными и выходными магнитными лентами,

которые были испытаны в процессе эксплуатации других программ на СДС-1604А. Из 14 подпрограмм прежней версии изменениям подверглись 12 подпрограмм. Кроме того, в *MIST* новой версии включено 20 новых подпрограмм. Ниже дается таблица результатов аттестации выходных данных старой и новой версий программы *MIST*, полученная по программе *MASKTEST* на материале двух рулонов фильма с однометровой водородной камеры ОИЯИ нейтрон-протонного облучения (М II4 и М I50). Результаты, относящиеся к рулону М I50, приводятся в скобках.

| | Новая версия | Старая версия |
|---|---------------|---------------|
| Число поперечных сканирований | 545(562) | 545(562) |
| Число сегментов треков для поперечного сканирования | 4091(2478) | 4216(2534) |
| Число продольных сканирований | 404(333) | 751(609) |
| Число сегментов треков для продольного сканирования | 663(547) | 927(632) |
| Среднее число сегментов треков в одном поперечном скане для проекций 1, 2, 3 | 1) 7.53(4.39) | 7.80(4.50) |
| | 2) 7.43(4.47) | 7.63(4.54) |
| | 3) 7.57(4.37) | 7.77(4.49) |
| Среднее число сегментов треков в одном продольном скане для проекций 1, 2, 3 | 1) 1.64(1.41) | 1.22(1.11) |
| | 2) 1.70(1.39) | 1.22(1.13) |
| | 3) 1.60(1.37) | 1.26(1.17) |
| Среднее число продольных сканов на один кадр-проекция 1, 2, 3 | 1) 0.76(0.72) | 1.42(1.11) |
| | 2) 0.68(0.70) | 1.36(1.12) |
| | 3) 0.76(0.67) | 1.36(1.02) |
| Число сканов с неправильным заданием координаты измерительного стола автомата | 0(0) | 8(5) |

Сокращение в полтора-два раза числа сканов продольного способа сканирования вместе с оптимизацией порядка обмера кадра существенно повысило скорость измерения фильмов на *HPD* по программе *HAZE1*

Программа калибровки отсчетной системы

Длительное время вариант калибровочной программы /8/ эксплуатировался без существенных изменений. В августе 1974 года после изменения на *HPD* схемы управления движением стола была изменена подпрограмма *HPDORD 79,10/* и добавлена подпрограмма *ADVORDS*, которая для *HPDORD* готовила программу действий по выводу измерительного стола в заданную позицию. Подпрограмма *ADVORDS* учитывает существование значительного выбега стола по достижении столом заданной координаты, а также его зависимость от расстояния между начальной и конечной координатой движения стола. При перемещении на малые расстояния подпрограмма формирует задание на выполнение промежуточного акта управления столом, при котором стол отводится на несколько мм от конечной координаты. Это улучшает точность вывода стола, т.к. выбег стола при перемещении на расстояния больше некоторой константы мало зависит от величины перемещения.

В январе 1976 года калибровочная программа была дополнена пакетом подпрограмм, позволяющих при сканировании стандартного калибровочного кадра с координатными крестами (плечи крестов под 45°) обнаруживать и оценивать величину систематической ошибки в работе отсчетного канала по выделению координаты середины трекового сигнала. Метод обнаружения систематической ошибки основан на статистическом анализе отсчетов *HPD* в окрестности центральной части крестов, где сливаются оба плеча креста. Для каждого креста вычисляется статистика *DICUR*, зависящая от четырех случайных величин, и ее вес. *DICUR* дает оценку расхождения двух прямых линий регрессии среднего Y на X слева и справа от центра креста. Цикл калибровки отсчетной системы автомата завершается совокупным анализом статистик *DICUR*, полученных по 50 крестам для каждого способа сканирования, вычислением среднеквадратического отклонения отсчетов *HPD* от плеч крестов, формированием и выдачей на широкую печать гистограммы распределения отсчетов в ближней окрестности плеч крестов (отклонение до 17 отсчетов координаты сканирующего пятна) и обзорной гистограммы распределения отсчетов (отклонение до 150 отсчетов). Обзорная гистограмма позволяет обнаруживать появление двойных или большей кратности отсчетов в границах трекового сигнала, которые при значительном отклонении режима от оп-

тимального приводят к эффекту двоения трека. Гистограмма ближней окрестности помогает выявлять нарушение работы интерполятора в младших 4 двоичных разрядах. Новый пакет подпрограмм помогает также обнаруживать отказы в старших разрядах интерполятора, осуществляя автоматический контроль больших отклонений отсчетов в окрестности центра креста, где ширина сигнала (на пленке) достигает 250-350 мкм. Полугодовой опыт эксплуатации новой версии калибрующей программы свидетельствует о том, что она является весьма эффективным инструментом контроля функционирования сканирующего автомата, дополняя собой набор тестовых программ, разработанных отделом автоматизации ДВГА. Она дает количественную оценку точности выделения середины трекового сигнала, которая определяется работой не только счетной, но также аналоговой части отчетного канала автомата. Ежедневные сеансы калибровок автомата показывают, что систематическая ошибка в выделении середины трекового сигнала не превышает 1,5% полной ширины сигнала.

Программа HAZE1

Ввод в эксплуатацию программы HAZE1 осуществлялся на задаче обработки снимков нейтронного облучения однометровой водородной камеры. Предстояло для этого физического эксперимента измерить свыше 100 тысяч стереоснимков (свыше 300 тысяч кадров). За год до этого в 1972 году первое испытание программы проведено на задаче измерения 2,5 тысяч стереоснимков с этой же камеры в эксперименте по изучению $d-p$ взаимодействий. Программа HAZE1, как никакая другая программа системы HPD, явилась результатом почти непрерывной работы над ней на протяжении рассматриваемого периода времени. К настоящему времени по этой программе измерено на HPD более 250 тысяч стереоснимков для трех физических экспериментов с одно- и двухметровых водородных камер ОИЯИ. Алгоритмы программы HAZE1 отработывались на экспериментальном материале, для которого характерны многочисленные отступления от стандартных требований, предъявляемых к качеству измеряемых на HPD снимков. Отметим характерные для рабочей версии HAZE1 особенности алгоритмов и их программной реализации.

Начнем с особенностей, имеющих непосредственное отношение к производительности программы (скорости измерения снимков на HPD).

Посредством телетайпа оператор СДС-1604А может задать два режима работы программы. Резервный режим по существу разделяет цикл обработки одного кадра фильма на две операции: 1) управление автоматом, прием и запись на черновую магнитную ленту всех отсчетов *HPD* и 2) анализ данных *HPD*, считываемых с магнитной ленты, и запись результатов на выходную магнитную ленту программы *HAZE1*. Основным режимом совмещает во времени обе операции *III*. Задание на использование основного режима работы выдается оператором путем присвоения ненулевого значения указателю *NHPDOL*. Основным режимом вовсе не означает, что все кадры измеряемого фильма будут обработаны в реальное время сканирования фильма. Выбор режима и числа измеряемых треков на очередном скане производит подпрограмма-диспетчер *DISP* на основании данных просмотра кадра (маски событий), зашифрованных подпрограммой диагностики ошибок *ERTST* и ограничений, накладываемых оператором в процессе измерения фильма. Требования программы диагностики ошибок имеют для диспетчера наивысший приоритет, они основываются на результатах предшествующего сканирования. Переход на основной или резервный режим при выполнении очередного скана, предписываемой подпрограммой диагностики ошибок, преследует цель снижения потерь времени в конкретной ситуации, складывающейся при измерении текущего кадра фильма. Например, при неправильном обрабатывании протяжки фильма в фильмовом канале автомата или каком-либо отклонении от обычного порядка следования номеров кадров на пленке программа *ERTST* предписывает продолжать поиск нужного кадра в реальное время сканирования. Если предыдущий скан на кадре привел к переполнению входного циклического буфера оперативной памяти СДС-1604А или зафиксирован факт неравномерности движения стола *HPD* в границах изображения кадра, *ERTST* предписывает переход на резервный режим (неравномерность движения стола может быть кажущейся, являясь следствием потери части информации из-за значительного отставания процесса обработки данных от темпа поступления отсчетов от сканирующего автомата).

Подпрограмма диспетчер, исходя из данных просмотра, считываемых с входной ленты, производит оценку ожидаемого количества слов с результатами обработки данных в предстоящем скане,

исходя из средней скважности ристра *HPD*, суммарного ожидае-
 мого числа пересечений лентом масок треков, длины проекции со-
 вокупности масок на ось переменной координаты стола (направле-
 ние движения стола) и эмпирической константы, дающей среднее
 число отсчетов внутри маски одного трека при однократном пере-
 сечении его сканирующим пятном. Если ожидаемое число слов с
 результатами обработки (по 2 координаты в одном слове СДС-1604А)
 не превышает величины *MXØLWD*, диспетчер организует обра-
 ботку кадра в реальное время сканирования при условии, что это
 не было запрещено оператором или подпрограммой обнаружения оши-
 бок. Обычное значение *MXØLWD* равно 4500. Если же ожидаемое
 число слов с результатами обработки превышает *MXØLWD*, а
ERTST диктует переход на основной режим, диспетчер в этом
 случае организует два однотипных скана так, что первый из них
 может быть выполнен в основном режиме. Если ожидаемое число
 слов превышает *MXØLWD*, диспетчер всегда пытается организо-
 вать измерение всех треков событий на кадре в одном скане.
 Число треков может быть больше 10. Для некоторых фильмов с
 однометровой камеры среднее число событий на одном кадре 2,5 -
 - 3,5. На снимках с двухметровой водородной камеры встречаются
 события с большим числом треков (среднее число треков в одном
 событии 5-6). Чтобы можно было измерить сильно загруженные
 кадры в одном скане, были расширены рабочие массивы подпрограм-
 мы *GATE*. С августа 1974 года программа *HAZE1* получила
 возможность одновременной обработки 20 треков за один скан.
 Скорость измерения событий на некоторых сильно загруженных
 фильмах с однометровой водородной камеры возросла до 150-200
 событий/час (три проекции в стереоснимке). Возможность одно-
 временной обработки большого числа треков в одном скане стала
 возможной также благодаря отсутствию ограничений на емкость
 выходного буфера данных в новой версии программы *HAZE1 /II/*.
 В работе */II/* была указана перспектива повышения скорости об-
 мера фильмов по новой версии программы за счет изменения логи-
 ки схем управления перемещением стола *HPD*. В августе 1974
 года эти изменения были внесены группой инженерного обслужива-
 ния *HPD*, а в *HAZE1* внесены доработки, для обеспечения
 приемлемой точности вывода стола в условиях существования зна-
 чительного выбега стола (более 4 мм). Скорость измерения филь-

мов по программе *HAZE1* после этих усовершенствований возросла примерно в полтора раза. Какбыло указано в работе ^{11/}, при обработке фильмов с пузырьковых камер достаточна установка стола *HPD* с точностью $\pm 1,5$ мм. При перемещении стола *HPD* на расстоянии от 1,5 до 7 мм подпрограмма *ADVORDS* предварительно обеспечивает отвод стола *HPD* от заданной точки на расстояние 17 мм, т.к. величина выбега стола нестабильна при малых перемещениях, сопровождающихся затухающими колебаниями скорости стола.

Обработка первых партий фильмов с однометровой камеры показала в 1973 г., что для получения хорошего коэффициента прохождения событий через систему *HPD* измерений на двух проекциях недостаточно. Для того, чтобы иметь некоторую избыточность в измерениях (а для треков с большим углом рассеяния — возможность выбора лучшей пары объективов в пространственной реконструкции), надо было решать задачу об измерении на *HPD* третьей или четвертой проекции стереоснимков с однометровой камеры. События, регистрируемые в этой камере, фотографируются четырьмя объективами фотоаппарата на две пленки шириной 80 мм. При этом только первая и вторая проекции имеют связанный с ними так называемый бокс служебных данных (*DATE BOX*), содержащий в подходящей для считывания на автомате форме номер кадра, номер пленки, индекс энергии облучения и специальные кресты, по которым можно производить привязку маски события. Одна пленка содержит нечетные проекции, другая — четные. Кадры без бокса служебных данных чередуются с кадрами, имеющих его (разница в номере стереокадра соседней пары равна 2). Для измерения третьей или четвертой проекции снимков с однометровой камеры на *HPD* фильм после протяжки останавливается так, что в области сканирования попадают изображение камеры третьей (четвертой) проекции и бокс служебных данных соседнего кадра. Номер соседнего кадра первой (второй) проекции используется в *HAZE1* для поиска нужного кадра третьей (четвертой) проекции. Так как порядок следования изображения камеры и бокса данных обратный, а программы анализа данных сканирования были запрограммированы для возрастающего порядка следования переменной координаты стола *HPD*, диспетчер формирует, вместо одного, два поперечных скана для раздельного

сканирования бокса служебных данных и изображения камеры. Локализация пакета бит номера кадра в первом скане служит для задания зоны поиска первого камерного креста. Из-за большой нестабильности расстояния между соседними кадрами (для худших пленок разброс составляет ± 8 мм, для большинства же пленок он держится в границах ± 3 мм) во втором скане для поиска первого креста задается увеличенный размер зоны поиска (6×6 мм², вместо обычного 3×3 мм²). Первый камерный крест используется в роли одного из крестов бокса служебных данных для преобразования маски из системы координат просмотрово-измерительного стола БК-2 ^{/12/} в систему координат объема данных *HPD*. В начале рабочей области одномеровой камеры нет второго камерного креста, поэтому привязка маски фактически основана на использовании координат одного креста и ожидаемой ориентации кадра, которая уточняет ^{ср} по ходу измерения рулона фильма. Исследования наложений масок по двум крестам (1-я и 2-я проекции) и по одному кресту показали, что во втором случае дополнительная погрешность наложения маски увеличивается только на 30–50 мкм, что существенно меньше используемой нами ширины маски (1200 мкм). Поскольку программа *HAZE1* определяет координаты камерных крестов во время измерения и обработки фильма на *HPD*, параметры преобразования маски в систему координат *HPD* уточняются сразу же после измерения очередного кадра. Стандартный (с боксом данных) и особый случай (без бокса данных) обработки 3-ей и 4-ой проекции реализуются одной и той же версией программы *HAZE1*. Выбор ветви алгоритма определяется значением указателя (константы), которое может быть изменено с пультавого телетайпа ЭВМ.

Исследования калибровочных констант отсчетной системы *HPD*, проведенные в конце 1975 года, показали, что значения констант холодного автомата ^{сильно отлучается от констант обтиснотг} спустя несколько часов после его включения. В течение двух недель регулярно проводилась калибровка отсчетной системы автомата в различных условиях. Сравнение получаемых значений констант показало, что 4 основных фактора определяют изменчивость констант: теплопередача от блока ртутной лампы, выделение тепла в коробке с вращающимся диском, величина наддува от вентилятора, создающего избыточное давление под кожухом *HPD* для предотвращения попадания пыли, и комнатная температура. После включения автомата тепловое равновесие и стабилизация констант наступает спустя 5–6 часов.

Дальнейшие изменения констант определяются изменчивостью внешних условий, влияющих на тепловой режим сканирующего автомата. Для оценки ошибки, возникающей при сшивании результатов измерений в поперечном и продольном скане, мы ввели меру

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |T_{i,0^\circ}^{-1} T_{i,0^\circ}(\vec{P}_k) - T_{j,90^\circ}^{-1} T_{j,90^\circ}(\vec{P}_k)|,$$

где

суммирование идет по узлам \vec{P}_k прямоугольной решетки, соответствующим центрам крестов калибровочного кадра; $T_{i,0^\circ}^{-1}$ и $T_{j,90^\circ}^{-1}$ — линейные неоднородные преобразования координат из аффинных систем отсчета поперечного и продольного раstra в декартову систему, в которой даны координаты измерительного стола НРД; $T_{i,0^\circ}$ и $T_{j,90^\circ}$ — обратные преобразования. Индексы i и j указывают, какой набор калибровочных констант при этом используются. Ошибка сшивания ε_{ij} равна нулю, если $i=j$, то есть в случае, когда i -ый набор констант соответствует реальным константам отсчетной системы автомата в j -й момент времени. В общем случае нет одинаковых наборов калибровочных констант (напомним, что их шесть ^{18/}), поэтому $\varepsilon_{ij} \neq 0$ для наборов констант, полученных в разное время. При сравнении наборов констант, полученных сразу после включения автомата (на "холодном" приборе) и спустя 5-6 часов, оказывается, что ошибка сшивания ε_{ij} достигает величины 80-100 мкм. Спустя два часа после включения автомата нарастание ε_{ij} максимально и достигает 20 мкм/час. Медленный прогрев прибора является помехой при двухсменной эксплуатации автомата. Более детальный анализ констант показывает, что ошибка сшивания в основном обусловлена изменением двух констант: $XZER\emptyset$ и $YZER\emptyset$. Если в сравниваемых наборах калибровочных констант использовать одинаковые значения этой пары $XZER\emptyset$, $YZER\emptyset$, ошибка ε_{ij} уменьшается в десять раз. Набор констант, полученный спустя два часа после включения автомата, при сравнении с константами, получаемыми на протяжении последующих II часов, дает ε_{ij} менее 5 мкм.

Из-за ограниченного резерва свободной памяти в программе *HAZE1* оказалось трудно ввести режим измерения снимков, совмещенный с уточнением всех 6 калибровочных констант. В феврале 1976 г. создана версия *HAZE1*, которая в процессе измерения фильмов с пузырьковых камер уточняет значения констант $XZER\emptyset$, $YZER\emptyset$ после каждого продольного скана. Для минимизации ошибки в вычислении $XZER\emptyset$, $YZER\emptyset$, обусловленной использовани-

ем фиксированных значений остальных констант, новая подпрограмма *ABFIDS* из всех камерных крестов, попадающих в область продольного скана, выбирает крест, имеющий наименьшие значения координаты в направлении развертки сканирующего пятна при обо-их способах сканирования. Текущие значения констант *XZERO*, *YZERO* выдаются на широкую печать после измерения каждого 10 кадров. Вычисление новых значений констант производит под-программа *XYZUPD*, вызываемая диспетчером.

В версии 1972 года ^{II} была введена возможность одно-кратной смены уровня дискриминации сигналов на автомате при поперечном сканировании. Она использовалась в программе для сканирования бокса служебных данных и изображения камеры при оптимальных значениях уровня, допуская его раздельное регули-рование. Момент смены уровня при сканировании снимков с опти-метровой водородной камеры ОИЯИ можно было задавать грубо, так как между боксом служебных данных и изображением камеры имеет-ся промежуток в несколько сантиметров. Если в ранней версии смена уровней производилась после приема определенного объема данных от автомата, то с января 1975 года смена уровня опре-делается интервалом времени, прошедшим с момента начала попе-речного сканирования кадра. Это было вызвано необходимостью более точного задания границ использования двух уровней при переходе к массовым измерениям снимков с двухметровой водород-ной камеры "Лидрила".

В рабочей версии *HAZE1* сейчас максимально сужена область при сканировании которой контролируется равномерность движения стола и стабильность его неподвижной координаты. Контроль вклю-чается после измерения первого креста, используемого для при-вязки маски.

Заслуживает упоминание метод повышения точности находке-ния координат центра несимметричных крестов. Стандартный ме-тод, основанный на гистограммировании отклонений отсчетов *HPD* от заданных вспомогательных прямых, позволяет точно на-ходить центр, если направление вспомогательных прямых совпада-ет с направлением плеч креста. При расхождении их на угол $\Delta\varphi$, вычисленные координаты центра оказываются смещенными на вели-чину $\sim C \Delta\varphi$, где константа *C* зависит от распределения отсче-тов на плечах креста и имеет наименьшие значения для симметрич-ных крестов внутри зоны поиска. Для минимизации ошибки наход-

дения центра несимметричного креста, помимо суммирования числа отсчетов и их отклонений от прямых, программа *GATE* суммирует X-координаты отсчетов, попадающих в каждый карман формируемых гистограмм. Среднее значение X-координаты отсчетов на обоих плечах каждого креста выдают на выходную магнитную ленту вместе со значениями углов наклона вспомогательных прямых и координат центров крестов, найденных стандартной процедурой анализа гистограмм. В последующей программе анализа данных - программе фильтрации *HAZE 2* - производится уточнение координат центров крестов. При этом используется эталонная таблица крестов на каждой проекции и таблица точной ориентации плеч крестов. Линейное преобразование, задаваемое крестами *HAZE 1* и эталонными крестами, позволяет получить в системе координат раstra *HPD* точное направление плеч и вычислить поправку к координатам центров крестов. Эта операция вычисления поправок вынесена в программу *HAZE 2* из-за ^{ограничения} необходимого резерва в оперативной памяти ЭВМ при загрузке.

Цель алгоритмов обработки данных *HPD* начинается с алгоритма распознавания пакета бит (линейных штрихов), которым закодирован номер кадра в боксе служебных данных. При ошибке первого рода программа *GATE* организует процесс уточнения параметров, используемых при опознавании пакета бит (так называемая калибровка бокса служебных данных). Работа с первыми партиями фильмов с пузырьковых камер ОИИИ показала, что распределение штрихов в пакете бит заметно отличается от равномерного и к ним неприменима обычная модель бокса данных ¹⁶¹. Программа *HAZE 1* имеет возможность работать как с кадром, отвечающим требованиям стандарта, так и с кадром, на котором биты распределены неравномерно. Опыт работы с фильмами пузырьковых камер ОИИИ показал, что основное возмущение параметров бокса служебных данных заключается в изменении масштаба его изображения и в меньшей мере определяется дополнительными нелинейными искажениями. В операции калибровки бокса данных программа подбирает оптимальный масштаб опознаваемых элементов. Ошибка второго рода в опознавании пакета бит с кодом номера кадра, как правило, приводит к невозможности декодировать номер кадра и вызывает необходимость впритяжке фильма. Для уменьшения вероятности ошибки второго рода усилен алгоритм опознавания пакета бит. В первую очередь необходимость усиления алгоритма

диктовалась особенностями выполнения бокса служебных данных на снимках с одиометровой водородной камеры, где перед пакетом бит сфотографированы арабские цифры, выполненные набором точек, расстояние между которыми близко к величине, кратной среднему расстоянию между битами. Решение о наличии пакета бит в начальной зоне сканирования принимается на основании обработки не одной линии сканирования, а некоторой совокупности. На гистограммах отсчетов, формируемых для каждой линии группы, пики распределений должны быть согласованы по координате развертки сканирующего пятна. Кроме того, в направлении движения стола *HPD* линии с наличием и отсутствием пика в гистограмме должны соответствовать некоторому простому правилу, помогающему свести вероятность ошибки второго рода практически к нулю.

При наличии только второго пакета бит, которым закодирован номер фильма и индекс энергии пучка нейтронов, программа *HAZE1* перед повторным сканированием выполняет протяжку вперед-назад на один кадр. По окончании обработки результатов поперечного сканирования, проверяется, не были ли обрезаны трски и последняя пара крестов краем раstra. В случае обрезания крестов (полного или частичного) на телетайп выдается оператору величина обрезания, по которой производится регулировка схемы управления фильмопротяжкой. Если при частичном или полном обрезании не оставлен хотя бы один крест последней пары, программа протягивает вперед-назад фильм и производит повторное сканирование кадра.

Программа *HAZE1* отслеживает Y - координату нижней биты бокса данных при измерении рулона. При переходе к следующему кадру нормальный процесс декодирования номера кадра не нарушается, если скачок Y - координаты не превосходит $\pm 1,5$ мм.

Для курного оператора, работающего с *HAZE1*, программа в процессе измерения фильма выдает на широкую печать через каждые 10 измеренных кадров суммарные сведения о числе измеренных событий, коэффициенте заполнения масок событий отсчетами *HPD*, среднем индексе уровня дискриминации сигналов на автомате, общем объеме данных, поступающих с кадра при поперечном сканировании, числе скановых обходов сканирования, о текущих значениях калибровочных констант $XZER\emptyset$, $YZER\emptyset$.

Как известно, при разработке больших программ, работающих в реальном времени, подавляющая часть усилий разработчика уходит на разработку средств обработки исключительных ситуаций, ошибок в системе и т.п. Хотя много полезного для разработчиков

систем *HPD* можно было бы дать, продолжая анализ особенностей алгоритмов *HAZE1*, однако сделать это невозможно в кратком обзоре. В заключение стоит упомянуть об одном программном решении задачи декодирования данных *HPD*, главной целью которого была максимальная скорость работы с сохранением возможности регистрации ошибок кодирования ^{/II/}. Короткий цикл обработки массивов был развернут так, что тело подпрограммы включает 16 идущих подряд однотипных блоков для выделения 32 координат отсчетов *HPD*. Возможность исчерпания данных во входном массиве и переполнения выходного проверяется один раз при входе в цепочку однотипных блоков. Каждый блок в случае обнаружения ошибки кодирования или признака конца линии сканирования обрабатывается к своему входу в отдельных подпрограммах для анализа ошибок или завершения обработки данных с одной линии сканирования. Этот прием программирования коротких циклов широко используется в *HAZE1* и *HAZE2*. Он дает значительный выигрыш в скорости обработки данных на ЭВМ, где центральный процессор не имеет буферной оперативной памяти повышенного быстродействия.

Программа *HAZE2*

Исходной версией программы фильтрации служил черновский вариант программы ^{/6/}. Вначале эксплуатировался вариант, являвшийся адаптацией программы к специфическим условиям ЭВМ СДС-1604А. Последующие версии явились следствием решения задач, выдвигаемых практикой эксплуатации системы *HPD*. Отметим только главные усовершенствования в алгоритмах и подпрограммах.

1. Ввиду низкой точности измерения точек масок, зарегистрированной в 1972-73 г.г., была удвоена ширина окрестности, в пределах которой иницируется прослеживание треков в границах маски.

2. Для повышения скорости фильтрации написаны автокодные варианты программ *TRK\$RT*, *GATEST*, *FHIS*, в которых используется изложенный выше прием быстрой обработки массива данных.

3. При фитировании мастерных точек окружностью используется алгоритм, использующий только координаты точек.

4. В начальном участке прослеживания увеличен вес для направления, задаваемого точками маски.

5. Спустя N_1 точек (это обычно 6-10 точек) подпрограмма *FILTER* в сложных ситуациях, а также при ухудшении условий преследования, обращается к подпрограммам, предсказывающим параметры преследываемого трека на следующем участке снимка методом наименьших квадратов. Последняя группа из N_2 мастерных точек аппроксимируется окружностью. Добавочная ветвь алгоритма преследования трека реализована измененными подпрограммами *FILTER*, *FOLLOW*, *FAV*, *FITCIR* и новыми подпрограммами *FITRD*, *TANRD*, *DDTNRD*.

6. В программе изменена процедура выбора лучшего кандидата в трек события. С помощью подпрограммы *MATCHRD* принимается во внимание расстояние от крайних точек маски до окружности, аппроксимирующей точки трека.

7. В программе снято ограничение на объем входных данных в одном скане *HPD*. Оперативный буфер для хранения данных *HPD* равен 4000 слов. При работе программы сортировки данных, выбирающей отсчеты внутри маски одного трека, применена подкачка данных с магнитной ленты, осуществляемая подпрограммой *RDABFR*.

8. В новой подпрограмме *CLEANF* введен контроль точности измерения камерных крестов по χ^2 , получаемому аппроксимацией этих крестов набором эталонных крестов (линейные преобразования, 6 параметров).

9. С помощью программ *REFSQS* и *TRANS2* в *HAZE2* более точно вычисляется уравнение дорожки трека. Вместо дорожек, использованных в *HAZE1*, для привязки маски используется фактическое значение координат обоих опорных крестов маски. В случае отсутствия опорного креста в списке найденных в *HAZE1* крестов введена возможность использования соответствующего эталонного креста, преобразованного в систему координат *HPD*. Внеочередной контроль эффективности фильтрации в рабочей версии на СДС-1604А показывал на материале с однометровой камерой, что вероятность фильтрации трека достигает значений 0.98-0.99 (на одной проекции). Отказы обусловлены в основном грубыми ошибками в подготовке цифровой маски на столах БПС-2.

Программа SMOG

Вариант программы SMOG, описанный в работе /I/, является в настоящее время основным вариантом, по которому ведется обработка данных в системе HPD. Вариант /I/ был позднее доработан с тем, чтобы можно было обрабатывать события, имеющие более 10 треков в одной вершине.

В заключение отметим, что непрерывное развитие математического обеспечения HPD в ходе массовой обработки снимков с пузырьковых камер находит отражение в росте коэффициента успешного прохождения материала через программу геометрической реконструкции событий, измеренных на HPD. Если в 1974-1975 г.г. типичный коэффициент прохождения событий с однометровой камеры был 65%, то в 1976 г. он находится в пределах 80-90%. Анализ протоколов работы программ и диагностических выдач на материале с двухметровой водородной камеры показывает, что ожидаемый здесь коэффициент прохождения событий должен быть не ниже 70%.

Опыт эксплуатации системы HPD подтверждает, что годовая производительность в 100 тысяч событий вытекает из ограниченных возможностей системы подготовки цифровых масок событий. При наличии достаточного запаса масок и удовлетворительном качестве фильмов система позволяла при двухсменной работе стабильно измерять за неделю 3,5-4,5 тысяч событий с однометровой камеры ОИЯИ.

Валерий

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф.Которобай. Вариант программы *SMOG* для эксперимента *np* ($E=1+5$ Гэв). ОИЯИ, IO-8735, Дубна, 1975.
2. В.Н.Шигаев. Структура математического обеспечения измерительной системы типа ХЕЙЗ (*HAZE*). Программирование и вычислительные методы, ОИЯИ, II-4655, Дубна, 1969.
3. З.М.Иванченко. Программа вычисления и формирования массивов управляющей информации для сканирующего автомата. ОИЯИ, IO-7190, Дубна, 1973.
4. Л.А.Владимиров, И.М.Истомина. Разработка версии программы *SMOG* для ЭВМ СДС-1604А. Радиотехнический институт АН СССР, 539.1.073.3, Отчет № II88, Москва, 1971.
5. Л.А.Владимиров, И.М.Дурново, А.Б.Швачка. Программа сборки событий на ЭВМ СДС-1604А. ОИЯИ, P10-6837, Дубна, 1972.
6. *FSD Bubble Chamber Programs Manual, DD, CERN, 1967*
7. В.Н.Шигаев. Организация процесса измерения и обработки фильмовой информации в программном комплексе ОИЯИ, IO-5968, Дубна, 1971.
8. В.И.Милюткин, В.Н.Шигаев. Калибровка отчетной системы сканирующего автомата типа *HPD*. ОИЯИ, IO-5972, Дубна, 1971.
9. И.И.Мелонцев, В.Н.Шигаев. Программа управления сканирующим автоматом (*HPD*) и возможные пути оптимизации режима измерения фотоснимков с пузырьковых камер. ОИЯИ, IO-5728, 1971.
10. И.И.Мелонцев. Текст программы управления сканирующим автоматом. ОИЯИ, B3-IO-6001, Дубна, 1971.
11. В.Н.Шигаев. Быстрая программа измерения фотоснимков на сканирующем автомате *HPD* с анализом информации в реальное время сканирования. ОИЯИ, IO-6799, Дубна, 1972.
12. В.В.Ермолаев, Л.П.Калмыкова, Ю.А.Каржавин, Г.А.Ососков, Г.А.Погодина, В.Ф.Рубцов. Программа *MASK* для обработки снимков с водородных камер в системе БИС-2-ТРА. ОИЯИ, IO-6517, Дубна, 1972.

В.Шигаев