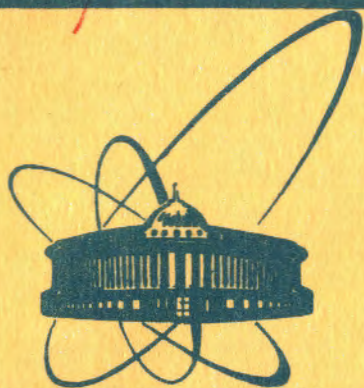


2737/2-80

23/VI-80



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P10-80-162

+

И.Байла, Г.А.Ососков, В.И.Приходько

К ВОПРОСУ О СЖАТИИ ДАННЫХ  
ПРИ БЕСФИЛЬМОВОМ СЪЕМЕ ИНФОРМАЦИИ  
СО СТРИМЕРНЫХ КАМЕР

1. Методические аспекты  
и общая концепция сжатия

1980

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных методических принципов, используемых при изучении некоторых свойств субъядерных частиц и атомных ядер в физике высоких энергий, является визуализация физических явлений, возникающих в экспериментальных установках. Съем событий, протекающих в "визуальных" трековых детекторах, на пленочную пленку и ее последующую офф-лайн-обработку при помощи специализированных измерительных комплексов и мощных ЭВМ считают в настоящее время классической методикой, хорошо освещенной в отечественной и зарубежной литературе /см., например, /1-5/ /.

Многостепенность процесса пленочной обработки ведет неизбежно к его удорожанию и большому разрыву во времени между получением экспериментальных данных и окончательных физических результатов. Поэтому наряду с развитием аппаратных средств и постоянным совершенствованием математических методов и программного обеспечения обработки пленочной информации появляются и развиваются и новые методы съема информации с трековых детекторов.

Среди последних особое место занимает метод бесфильмового /телевизионного/ съема и обработки, который представляет собой более автоматизированную, лишенную "фильмового звена" модификацию оптического принципа регистрации и обработки информации о треках частиц.

Этот метод лежит в основе проекта бесфильмовой системы регистрации и обработки информации с пятиметровой стримерной камеры магнитно-ионизационного спектрометра "РИСК" /6/, разрабатываемого в ОИЯИ в последние годы. Стримерная камера выгодно отличается от пузырьковых камер значительно меньшим уровнем фона, практически полным отсутствием вторичных взаимодействий, а также возможностью управляемого запуска, что обеспечивает появление полезных событий почти при каждом срабатывании.

Все указанные преимущества стали основой для предложений об использовании бесфильмового съема данных.

Установку РИСК характеризует высокая частота срабатывания. Поэтому очень важной в упомянутом проекте становится проблема эффективного сжатия экспериментальных данных. Результаты исследований, которые ведутся в ОИЯИ по этой проблеме, были опубликованы в работах /7,8/.



Наличие таких физических требований, как необходимость вычисления плотности ионизации, обеспечение точности восстановления геометрических параметров стримерных треков и быстрого действия алгоритмов обработки он-лайн, а также более сложная по сравнению с пузырьками форма самих стримеров делают проблему эффективного сжатия экспериментальной информации с этой установки весьма сложной задачей.

Широкий диапазон направлений, по которым приходится вести исследования, определяется как спецификой бесфильмового съема и обработки данных со стримерной камеры, так и окончательной методической целью - созданием эффективной системы массовой обработки.

В программе исследований нами были намечены два этапа.

I этап включает в себя:

1/ Проведение анализа методических аспектов обработки информации при бесфильмовом съеме исходя из основных принципов массовой обработки фильмовой информации.

2/ Формулировку общей концепции сжатия данных.

3/ Исследование возможности применения дискретных ортогональных преобразований для сжатия.

4/ Разработку методики сжатия данных, соответствующей принятой концепции.

В настоящую работу входят результаты исследований по первым двум пунктам. Результаты остальных двух частей первого этапа будут изложены в следующей работе авторов.

На II -ом этапе предполагается:

1/ Разработать алгоритм параллельной сортировки и фильтрации для повышения коэффициента сжатия.

2/ Проверить модельные алгоритмы на реальных данных.

3/ Исследовать методические проблемы он-лайн-реализации модельных программ сжатия.

## 1. КАК ПОНИМАТЬ СЖАТИЕ ДАННЫХ В БЕСФИЛЬМОВОЙ СИСТЕМЕ

Проблему сжатия физической информации можно отнести к классу методов обработки физической информации, носящей непрерывный характер, в ос-

нове которых лежит представление такой информации при помощи конечного набора дискретных данных. В физике высоких энергий актуальность этой проблемы повышается с быстрым нарастанием потоков данных, получаемых в новых высокостатистических экспериментах.

Само понятие и методика "сжатия данных", получаемых в результате операций дискретизации и квантования, исторически происходит из области передачи информации<sup>9,10</sup> /телеметрии/.

Необходимость однозначной интерпретации этого понятия в нашем случае требует введения некоторого формализма.

Условимся, что для любого набора  $N$  данных /  $N$  - натуральное число/, представляющего собой множество  $N$  целых чисел, располагаем  $N$  бинарными словами соответствующей фиксированной длины.

Назовем объемом данных объем памяти в битах, необходимый для запоминания полного набора этих данных.

Если априорным объемом считать объем данных некоторого исходного набора данных, то под сжатием данных будем подразумевать любой метод, который:

1/ обеспечивает фильтрацию ненужных /относительно извлечения окончательной физической информации/ данных исходного набора и некоторое представление сокращенного набора полезных данных при помощи данных меньшего, чем априорный, объема;

2/ включает в себя метод реконструкции, т.е. метод перехода от сжатого представления к некоторой аппроксимации полезных данных.

Коэффициентом сжатия данных называется отношение количества битов априорного объема данных к объему данных сжатого представления.

Если взять любой конкретный набор данных, то под задачей их сжатия следует потом подразумевать поиск метода сжатия, оптимального для этого набора данных /или соответствующего класса данных/ в смысле соотношения между:

- достоверностью окончательных результатов обработки /определяемой некоторым критерием точности реконструкции/ и  
- коэффициентом сжатия данных.

Любая задача сжатия экспериментальных данных непосредственно связана с аппаратурными средствами генерирования и хранения этих данных, поэтому в процессе ее решения приходится принимать во внимание и технические факторы.

Однако в задаче сжатия данных для конкретного типа физической информации, несмотря на специфику технических факторов, следует иметь в виду, что эта задача представляет собой только промежуточную ступень методической иерархии, т.е. что окончательной целью обработки физической информации, порождающей задачу их сжатия, является извлечение некоторой физической информации.

## 2. ЧТО МОЖНО ВЗЯТЬ ИЗ МЕТОДИКИ ФИЛЬМОВОЙ ОБРАБОТКИ

Исследования, проводимые в области массовой фильмовой обработки трековых изображений, привели к некоторым важным

выводам относительно методических проблем распознавания, порождаемых определенными свойствами структуры обрабатываемой информации. Эти выводы необходимо иметь в виду и при создании

бесфильмовой системы обработки данных со стримерных камер, включающей в себя процедуру сжатия данных, так как характер первичной физической информации, подлежащей бесфильмовой и фильмовой обработке, одинаков, совпадают также и окончательно извлеченные физические параметры. Более того, проектом предполагается обработка данных о распознанных треках на проекциях событий по геометрической и кинематической программам, общим как для фильмовой, так и бесфильмовой методик.

Исходя из схемы на рис. 1 рассмотрим сначала основные методические характеристики фильмовой обработки.

Общим методическим принципом обработки экспериментальной информации с оптических трековых детекторов является преобразование первичной информации, существующей в детекторе только короткое время, в информацию большей длительности существования. Соответственно этому принципу первой основной методической характеристикой систем фильмовой обработки трековых изображений считают аналоговую форму преобразованной информации, получаемой он-лайн с экспериментом.

Так как получение массива исходных данных дискретного представления изображения не связано с экспериментом во времени, то требования, предъявляемые к алгоритмам квантования и дискретизации относительно их быстродействия, касаются только вопроса производительности массовой обработки, но не имеют принципиального физического значения.

Системы фильмовой обработки можно, таким образом, характеризовать и тем, что основная часть их математического обеспечения реализована в программной форме. При этом ЭВМ, управляющие измерительными комплексами и являющиеся машинами среднего класса, выполняют только процедуры первых стадий обработки, а в обработке информации на остальных, более сложных стадиях принимают участие мощные ЭВМ.

С точки зрения эффективности любой конкретной системы фильмовой обработки важную роль играет достижение оптимального соотношения между производительностью массовой обработки и физической достоверностью полученных результатов.

В существующих фильмовых системах этой цели служит автоматизация процесса обработки с одновременным внедрением дополнительных средств переработки исходной информации в затруднительных случаях распознавания треков.

Можно указать на два различных подхода, сложившихся в этой области:

- 1/ создание станций спасения событий;
- 2/ создание систем диалога оператора с измерительным прибором в ходе измерения.

Общей чертой этих подходов является наличие некоторых обратных связей /ОС - см. рис.1/, причем сущность первого

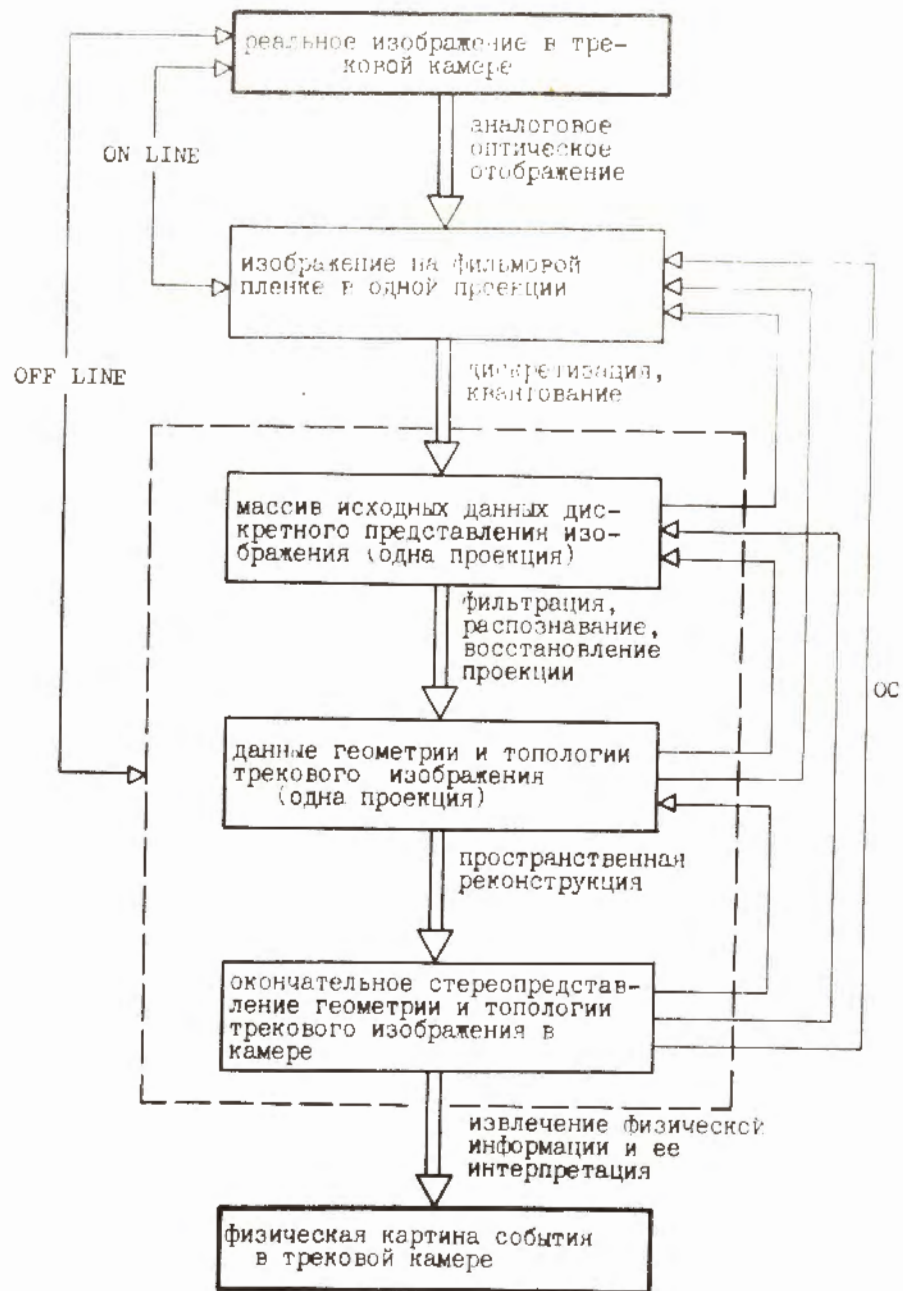


Рис. 1



заключается, очевидно, в возможности системы повторно обрабатывать исходную информацию при помощи разных программ распознавания. Второй подход позволяет разрешить затруднения по ходу их возникновения.

Итак, второй основной методической характеристикой систем фильмовой обработки трековых изображений считаем возможность повторной многократной обработки исходного изображения /или его дискретного представления/.

Необходимость в наличии этого методического принципа в фильмовой обработке подчеркивает и следующее положение /14, с.35/, основанное на большом практическом опыте:

"...измерительный комплекс следует обеспечить несколькими алгоритмами распознавания и обмера треков, поскольку при наличии только одного алгоритма его отладка, рассчитанная на предотвращение потерь какого-либо класса событий, в конце концов может привести к потере событий других классов. При сбое в обработке какого-либо события диагностической программой следует предпринять попытку автоматического спасения событий с помощью другого алгоритма распознавания треков".

### 3. БЕСФИЛЬМОВАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Переход от фильмовой концепции обработки трековых изображений к бесфильмовой характеризуется следующими основными изменениями в методике.

Первичная физическая информация - изображение в камере - фиксируется путем телевизионного отображения, существующего ограниченное время, которое, в свою очередь, преобразуется в дискретную форму, носящую уже перманентный характер. Большая интенсивность потоков данных дискретного представления при бесфильмовой оптической методике делает затруднительной их полную запись и приводит как раз к задаче сжатия этих данных.

Хотя события в стримерной камере по своей структуре более просты, чем в пузырьковых камерах, нет оснований ожидать полного исключения затруднительных ситуаций в последующем оффлайн-распознавании. Однако из-за невозможности прерывания процесса измерения /дискретизации/ единственно приемлемым из упомянутых подходов в данном случае является обеспечение возможности повторной обработки основной части дискретной информации. Этому методическому принципу должно быть подчинено и решение задачи сжатия данных.

Обеспечить извлечение необходимой физической информации об ионизации в системе, реализующей одновременно алгоритмы сжатия исходных данных, возможно двумя способами:

1/ вычислять физические параметры ионизации в ходе получения он-лайн сжатого представления;

2/ алгоритмы сжатия построить так, чтобы необходимые параметры ионизации можно было вычислять на основе реконструкции он-лайн исходных данных.

В настоящее время существует несколько подходов к разделению частиц по плотности ионизации  $g$ , основывающихся на использовании разных формул для определения этой физической величины /11,12/. Основными данными, которые приходится извлекать из дискретного представления трекового изображения, являются значения следующих величин:

- длина стримера /или сгустков стримеров/,
- длина пробела между стримерами,
- длина всего трека.

В последнее время сюда включают и площади стримеров.

Итак, учитывая основные особенности системы бесфильмового съема и обработки данных, выдвигаем следующие требования относительно общей концепции сжатия.

1. Алгоритм он-лайн-сжатия данных исходного дискретного представления должен реализовать отображение данных, допускающее возможность такой их повторной оффлайн-реконструкции, которая сохраняет с достаточной точностью геометрию и топологию исходного представления.

2. Алгоритм он-лайн-сжатия данных должен обладать достаточным высоким быстродействием, зависящим от параметров используемой аппаратуры дискретизации.

3. Алгоритм он-лайн-сжатия данных должен предоставлять возможность вычисления необходимых параметров для определения плотности ионизации  $g$  или относительной ионизации по отношению к пучковому треку.

Он-лайн-извлечение параметров ионизации неизбежно требует применения некоторой процедуры распознавания треков /так как ионизация должна быть приписана определенному треку/. При любой распознающей процедуре имеется вероятность отбрасывания полезной информации. Отсюда следует, что для выполнения пункта 1 необходимо перенести извлечение параметров ионизации на оффлайн-процедуры.

### 4. ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОН-ЛАЙН-СЖАТИЯ

Первая задача цифровой обработки двумерных изображений /13,14/ состоит в выборе их цифрового

представления, т.е. в переходе от конкретного изображения к некоторому кусочно-постоянному изображению  $\{I\}$ . Изображение  $\{I\}$  можно формально представить как функцию, определяемую на множестве точек  $(i,j)$  некоторой прямоугольной  $(M \times N)$  решетки  $(i=1,M; j=1,N)$

и принимающую в этих точках значения только из конечного множества натуральных чисел /уровней квантования/.

Если значения такой дискретной функции-растра являются только числами 0 и 1, то говорят о черно-белом, или бинарном, изображении. Камерные бинарные изображения характеризует связность точек, поэтому их называют штриховыми. Следовательно, растр любого штрихового изображения  $\mathfrak{F}$  можно представить в виде матрицы из нулей и единиц /0;1/.

Особенностью трековых изображений со стримерных камер, относящихся к классу штриховых изображений, является большое число точек растра (M,N), число нулей в котором на несколько порядков превышает число единиц.

Эта специфика приводит, естественно, к вопросу о целесообразности применения в качестве исходного массива дискретных данных элементов /0;1/ матрицы.

Чтобы ответить на этот вопрос и для получения информации о том, имеет ли вообще смысл основывать общую концепцию сжатия на быстрых ортогональных преобразованиях двумерных массивов данных /15,16/, был проведен ряд численных экспериментов на ЭВМ.

Результаты этих экспериментов, в которых для сжатия модельных прямолинейных изображений в растре 64x64 использовалось двумерное дискретное преобразование Фурье /17,18/, показали, что для получения допустимой точности реконструкции достаточно взять 64 из 4096 спектральных коэффициентов и тем самым получить коэффициент сжатия 64; значения, большие чем 64, приводят к недопустимым искажениям.

Однако коэффициент сжатия определен для исходного массива данных /0;1/, который содержит в основном нули. Поэтому заметного сжатия данных относительно исходного числа единиц, представляющих отдельные точки бинарного изображения, не достигается.

Из этого последовал вывод, что в данном случае необходимо вместо двумерных представлений использовать одномерное, т.е. перейти от матриц к векторам.

Более логично представление /0;1/ матрицы в виде 2t-мерного вектора

$$(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_t, y_1; \dots; x_t, y_t), \quad /1/$$

где индекс  $i=1, t$  соответствует порядку, в котором аппаратура бесфильмового съема дискретизирует линии, встречающиеся на мигни телевизионной трубки при сканировании ее электронным лучом.

Это представление исследовалось в работе /8/, где выяснилось, что для достижения достаточно большого коэффициента сжатия

/20±30/ необходимо использование приемов распознавания трековых элементов типа метода шнуров /4/, причем быстрота алгоритмов сжатия достигалась сложной аппаратной реализацией этого метода в виде блоков слежения по трекам.

Второй метод, изложенный в работе /8/, также использует представление /1/ и состоит в огрублении координат  $x_i, y_i$  с введением весов, равных числу точек, попавших в ячейку новой грубой координатной сетки. Он значительно более прост в аппаратной реализации, но дает меньшее сжатие /13-15/.

Количественные оценки точности восстановления как геометрической, так и ионизационной информации при этих двух подходах проведены только на модельном материале и должны быть исследованы на реальных данных.

Далее будет рассмотрено альтернативное представление /0;1/ матрицы исходного изображения.

Пусть  $A = \|a_{ij}\| /0;1/$  - матрица некоторого исходного штрихового изображения  $\mathfrak{F}$ .

Для всех  $(i, j)$ ,  $i=1, M$ ;  $j=1, N$ , для которых  $a_{ij}=1$ , можно ввести некоторый кортеж

$$\langle (i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_t, j_t) \rangle,$$

в котором каждой паре индексов соответствует определенная точка дискретного представления изображения  $\mathfrak{F}$ . Пусть первая координата этой точки обозначена через  $x_{ikjk}$  ( $k=1, t$ ).

Тогда изображение  $\mathfrak{F}$  можно представить при помощи кортежа

$$\langle x_{i_1 j_1}, x_{i_2 j_2}, \dots, x_{i_t j_t} \rangle$$

/t - число единиц в матрице A /.

Выбор конкретного кортежа однозначно определен типом аппаратуры, реализующей дискретизацию и квантование трекового изображения /т.е. ориентацией сканирования/. Функционирование такой аппаратуры в рассматриваемом случае можно, опуская технические подробности, описать следующим образом.

Кадр, снятый с  $1 \times 1 \times 0,8$  м<sup>3</sup> рабочего объема установки при помощи одной телевизионной камеры, сканируется параллельными одинаково ориентированными скан-линиями, число которых  $N=2^9=512$  /или  $N=2^{10}$ /. Число M отсчетов вдоль каждой скан-линии равно  $2^{13}=8192$ .

Результатом процесса сканирования вдоль одной скан-линии является последовательность пар чисел в отсчетных единицах. Первому числу x каждой пары соответствует на кадре середина некоторого фрагмента изображения. Второе число определяет ширину h того же фрагмента, измеряемую вдоль данной скан-линии. Разрешение аппаратуры вдоль скан-линии может быть принято равным 32 отсчетным единицам.



Регистрацией значения величины  $h$  расширяется класс методов, которые можно использовать для вычисления плотности ионизации, реализуемого в процессе он-лайн- либо офф-лайн-обработки. Одновременное решение проблем сжатия для обоих массивов данных  $/x$  и  $h/$  приводит к дополнительному осложнению задачи сжатия. Поэтому на первом этапе ее решения необходимо из данных выделить только координаты середин отдельных фрагментов изображения /один из вариантов, указанных в работе /8/. Итак, последующая концепция сжатия, а также соответствующие ей алгоритмы будут относиться к исходному массиву координат  $x$ .

Если обозначить через  $s_1, s_2, \dots, s_N$  число отсчетов в 1-ой, 2-ой, ..., N-ой скан-линии соответственно и условиться для простоты, что скан-линии ориентированы вниз по вертикали, то данные сканирования всего кадра можно представить в виде кортежа

$$\langle x_{11}, x_{21}, \dots, x_{s_1 1}, x_{12}, x_{22}, \dots, x_{s_2 2}, \dots, x_{1N}, x_{2N}, \dots, x_{s_N N} \rangle, \quad /2/$$

где первые индексы перенумерованы в соответствии с порядком сканирования.

Исходный массив данных, как правило, разбивают на части, так называемые слайсы, которые подлежат последовательной обработке.

Исходя из кортежа /2/ и обозначив через  $n$  число скан-линий в одном слайсе, можно перейти к другому представлению исходных данных одного слайса в виде системы векторов-столбцов различных размерностей:

$$\{x_n\} = \left\{ \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{21} \\ \vdots \\ x_{s_1 1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{12} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{s_2 2} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} x_{1n} \\ x_{2n} \\ \vdots \\ x_{s_n n} \end{bmatrix} \right\}. \quad /3/$$

Систему /3/ будем называть векторным представлением исходных данных сканирования одного слайса.

Алгоритм он-лайн-сжатия можно было бы основать на уже упомянутой процедуре слежения по треку /8/, т.е.

- на поиске связей между компонентами соседних векторов-столбцов, выделяющем в множестве исходных точек связанные сегменты кандидатов треков и

- на последующей аппроксимации образованных таким путем линейных участков треков.

Очевидно, что такой алгоритм будет реализовывать, вообще говоря, некоторую процедуру он-лайн-распознавания, которая не должна допускать неоднозначных ситуаций.

Однако обеспечение однозначности в алгоритме сжатия /однозначного сопоставления некоторой точке  $j$ -ой линии точки из  $(j+1)$ -ой линии, реализуемого благодаря разрешению аппаратуры/ требует принять некоторые ограничения относительно геометрической структуры обрабатываемого изображения\*. Это, в свою очередь, влечет за собой сужение класса изображений, которые можно после сжатия однозначно восстановить.

С другой стороны, сжатие данных методом слежения основывается на отбрасывании несвязанных элементов, что является необратимым преобразованием. Никакая офф-лайн-реконструкция исходного изображения не может этого исправить.

В итоге можно сказать, что такая методическая концепция дает возможность:

- 1/ вычислять необходимые параметры ионизации /относящиеся к отдельным трекам/ в режиме он-лайн,
- 2/ получать высокий коэффициент сжатия.

В то же время следует отметить, что эти преимущества будут обусловлены:

- ограничением класса обрабатываемых изображений,
- пренебрежением нелинейными искажениями системы координат сканирующей аппаратуры в процессе слежения,
- предпосылкой 100%-ой восстанавливаемости событий в процессе последующей обработки офф-лайн.

Однако для выполнения всех 3 вышеизложенных требований необходимо принять другую концепцию сжатия.

Для этого обозначим через  $m$  заранее фиксированное максимальное число координат, встречающихся в одной скан-линии.

Предположим дальше, что вместо системы  $\{x_n\}$  задана система  $\{\bar{x}_n\}$   $m$ -мерных векторов-столбцов, записанных в виде следующей матрицы:

\* Пусть для координат  $x_{\ell j}, x_{kj}$  имеет место неравенство  $|x_{\ell j} - x_{kj}| = d > r$ , где  $r$  - данное разрешение.

Пусть в  $(j-1)$  скан-линии существует координата  $x_{i, j-1}$ , для которой справедливо  $|x_{i, j-1} - x_{\ell j}| = |x_{i, j-1} - x_{kj}| = d/2$ , и не существует других координат, более близких координатам  $x_{\ell j}, x_{kj}$ , чем  $d/2$ . Тогда допущение наклона  $\alpha > d/2$  связанного сегмента трека приводит к неоднозначной ситуации распознавания - связывания элементов.

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{s_p 1} & \bar{x}_{s_p 2} & \dots & \bar{x}_{s_p n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{pmatrix},$$

/4/

где 1/  $\bar{x}_{ip} = x_{ip}$ ,  $i = 1, 2, \dots, s_p$   $p = 1, n$ ,  
2/  $\bar{x}_{ip} = 0$ ,  $i = s_p + 1, s_p + 2, \dots, m$

Для  $k = 1, m$  обозначим, наконец, через  $\{z_m\}$  систему  $n$ -мерных векторов-строк матрицы /4/, т.е.

$$z_k = (\bar{x}_{k1}, \bar{x}_{k2}, \dots, \bar{x}_{kn}).$$

При переходе к такому представлению исходных данных получаем:

1/ возможность независимого сжатия данных, составляемых компонентами векторов  $z_k$  /заметим при этом, что из того, что алгоритм сжатия не будет нуждаться в распознавании, вытекает его большая универсальность/;

2/ возможность параллельной обработки отдельных векторов в системе  $\{z_m\}$ , т.е. обеспечения высокого быстродействия алгоритмов сжатия/;

3/ возможность применения таких алгоритмов сжатия, которые допускают адекватное офф-лайн-восстановление массива исходных данных /т.е. возможность повторной его обработки/ и вычисление параметров ионизации.

Естественно, что концепция сжатия, исходящая из векторного представления данных системой  $\{z_m\}$ , приводит:

а/ к необходимости построения соответствующих алгоритмов офф-лайн-распознавания и вычисления параметров ионизации\*,

б/ к априори меньшему коэффициенту сжатия, так как наше представление разрушает корреляцию между компонентами отдельного вектора  $z_k$ , причем степень "декорреляции" зависит от структуры пропусков в треках, от шумов и числа пересечений треков и, наконец,

\*Примером тут могут служить программы, разработанные в настоящее время для математического обеспечения параллельно разрабатываемой системы обработки फिल्मовой информации со стримерной камеры РИСК.

в/ к потребности в некоторой дополнительной буферной памяти.

Для того, чтобы увеличить коэффициент сжатия, представляется целесообразным наделять алгоритмы он-лайн-сжатия иерархической структурой.

Таким образом, процесс сжатия разбиваем на три уровня.

1 уровень	Частичное восстановление корреляции компонентов в векторах $z_k$ путем параллельной сортировки.
2 уровень	Фильтрация однозначно определимых шумовых точек.
3 уровень	Реализация основной части сжатия достаточной универсальности.

Следует отметить важный с методической точки зрения факт, что любое повышение коэффициента сжатия, достигнутое при помощи алгоритмов 1 и 2-го уровней, не будет в процессе реконструкции сказываться на геометрических или топологических свойствах исходного представления, так как эти алгоритмы не реализуют процедуру распознавания, сохраняя даже несвязные элементы. Эта функция - выявления связности - переносится на этап офф-лайн-обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hough P.V.C. Status and New Trends in Film Data Handling. В сб.: Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, 8-12 сентября 1970 г. ОИЯИ, Д-5805, т.2, с.679-701, Дубна, 1971.
2. White H.S. Finding Events in a Sea of Bubbles. IEEE Trans. Comput., Sept.1971, vol. C-20, pp.988-995.
3. Beck F. The Special Features of POLLY: How They are Used for Automatic Scanning. IEEE Trans.Comput., Sept.1971, vol. C-20, pp.1002-1006.
4. Strand R.C. Optical - Image Recognition for Experiments in the Track Chambers of High-Energy Physics. В сб.: Распознавание образов при помощи ЦЭВМ, "Мир", М., 1974.
5. McIlwain R.L., Jr. Image Processing in High-Energy Physics. Topics in Applied Physics, vol.11: Digital Picture Analysis, editor: A.Rozenfeld. Springer-Verlag, Heidelberg - Berlin - New York, 1976.



6. Алексеева Н.П. и др. ОИЯИ, Б1-13-80-133, Дубна, 1980.
7. Алексеева Н.П. и др. В сб.: Материалы семинара по обработке физической информации. Агверан, сентябрь 1975 г. Изд-во ЕрФИ, 1976, с.420-425.
8. Ососков Г.А. и др. ОИЯИ, Р10-11213, Дубна, 1978.
9. Huang T.S., Tretjak O.J. Picture Bandwidth Compression. Gordon and Breach Science Publishers, New York - London - Paris, 1972.
10. Kortman C.M. Redundancy Reduction - A Practical Method of Data Compression. Proc. IEEE, March 1967, vol.55, No.3.
11. Glasneck C.-P., Peter G. PHE, 1975, 75-9.
12. Гласнек К.П., Кадыков Г.М. ОИЯИ, 10-10923, Дубна, 1977.
13. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. "Мир", М., 1972.
14. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. "Советское радио", М., 1979.
15. Ahmed N., Rao K.R. Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1975.
16. Pratt W.K. Digital Image Processing. A Wiley - Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York - Chichester - Brisbane - Toronto, 1978.
17. Cooley J.W. et al. The Finite Fourier Transform. IEEE Trans. in Audio and Electroacoustics, June 1969, vol. AU-17, No.2.
18. Subroutine "CFT". CERN Computer Centre Program Library II, D-702.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 февраля 1980 года.