

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

3603/82

2/viii-82

P10-82-237

Г.А.Ососков, М.Турзова, Т.Л.Тханг

+

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРОГРАММНЫХ ИМИТАТОРОВ
СПЕЦПРОЦЕССОРОВ SHP И АСД
ПРИ СЖАТИИ ДАННЫХ
БЕСФИЛЬМОВОГО СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на ряд неоспоримых достоинств фильмовых методов регистрации данных физических экспериментов, сложность и многоступенчатость процессов обработки снимков, ведущие к дороговизне и запаздыванию окончательных физических результатов, вызывают все больший интерес к таким альтернативным методам получения данных, как бесфильмовый телевизионный съем информации с трековых камер. Типом камер, наиболее подходящим для применения этого метода, являются искровые и стримерные камеры, отличающиеся от пузырьковых значительно меньшим уровнем фона, отсутствием вторичных взаимодействий и наличием полезных событий при каждом срабатывании камеры.

Высокая частота срабатываний выдвигает важную проблему эффективного сжатия данных, достаточно быстрого, чтобы выполнить его в процессе телевизионного сканирования изображения, и в то же время полностью сохраняющего необходимую физическую информацию ввиду невозможности проведения при бесфильмовом съеме повторных измерений.

В ОИЯИ был разработан проект ^{1/7} бесфильмовой системы регистрации и обработки информации со стримерной камеры установки РИСК ^{2/2}. При создании этой системы широко используются возможности находящейся в эксплуатации с 1979 года телевизионной системы контроля стримерной камеры, состоящей из двух телевизионных камер, связанных с ЭВМ ^{3/3}. Это дало возможность записать на магнитную ленту достаточно представительный набор реальных оцифрованных событий, что, в частности, позволило разработать быстрые алгоритмы сжатия данных бесфильмового съема ^{4/4}, предназначенные для реализации в виде специальной аппаратуры сжатия данных /АСД/. В силу жестких ограничений по скорости работы и допустимым информационным потерям, налагаемых спецификой бесфильмового съема, АСД по логике своей работы значительно отличается от семейства хорошо известных спецпроцессоров, таких, как BRUSH ^{5/5}, ПРЭТ ^{6/6}, SHP ^{7/7} и др., предназначенных для сжатия фильмовой информации.

В настоящее время в ОИЯИ успешно эксплуатируется система измерения снимков с магнитного искрового спектрометра, работающая в режиме автоматического опознавания изображений, предварительное сжатие информации в которой осуществляется с помощью спецпроцессора SHP ^{8/8}. SHP разбивает каждый кадр на от-

дельные фрагменты - слайсы и производит быстрое отслеживание в каждом слайсе линейных трековых элементов /ЛТЭ/. Если число точек n , составляющих ЛТЭ, превышает заданный порог, то информация об этих точках заменяется всего на 5 чисел /координаты центра тяжести, наклон, ν и идентификатор принадлежности к определенному треку/. Такое сжатие информации при правильной настройке SHP позволяет потом выполнить геометрическую реконструкцию изображения с заданной точностью.

Хорошо развитая система настроечных параметров позволяет использовать SHP для обработки снимков с различными изображениями штрихового типа /в том числе и снимков с пузырьковых камер/, а достаточно высокое быстродействие / 6 ± 10 мкс на точку, см. /7/ / делают вполне целесообразной мысль о применении SHP для сжатия данных в системах бесфильмового съема информации со стримерных камер.

Таким образом, целью настоящего исследования явилось опробование процессоров SHP и АСД при сжатии реальной информации такого типа, а также выработка количественных критериев качества сжатия, позволяющих сравнить работу такого универсального спецпроцессора, как SHP, с более скромным по возможностям, но специально ориентированным на бесфильмовый съем, процессором АСД.

Укажем, что существуют две версии алгоритмов АСД^{/4/}, одна из которых выполняет отбор точек в ЛТЭ методом направленного поиска /что ближе к алгоритму SHP, хотя и несколько проще/, а вторая, менее сложная, но более быстрая, делает это без учета наклона ЛТЭ. Главное отличие обоих вариантов АСД от SHP состоит в применении процедуры быстрой линейной аппроксимации ЛТЭ, позволяющей значительно увеличить длину слайсов без потери точности /и соответственно, коэффициент сжатия/, и в запоминании координат неклассифицированных точек, необходимым для сокращения информационных потерь.

При сравнении использовался второй, более простой вариант АСД. Исследование носило предварительный характер и поэтому проводилось на сравнительно небольшой статистике /несколько десятков кадров/ с помощью программных имитаторов обоих спецпроцессоров^{/8,4/}, позволяющих легко менять настроечные параметры.

В процессе исследования были найдены простые характеристики качества работы спецпроцессоров обоих типов, определяющие величину сжатия и допустимый уровень информационных потерь, и проведена настройка параметров, оптимальная с точки зрения этих критериев.

Результаты опробования на реальном материале бесфильмового съема данных со стримерной камеры установки РИСК показали, что процессоры обоих типов могут быть с успехом использованы, а результаты их работы сравнимы по выбранным показателям.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ И КАЧЕСТВО СЖАТИЯ

При бесфильмовом телевизионном съеме каждое из нескольких /до восьми/ изображений, представляющих какой-то участок стримерной камеры в виде раstra $2^{18} \times 2^9$, кодируется по скан-линиям группами координат $(j; x_1, x_2, \dots, x_{m_j})$, где $j = \overline{1, 512}$ - номер скан-линии, а x_k - координаты отсчетов вдоль нее, их число m_j ограничено: $0 \leq m_j \leq 15$).

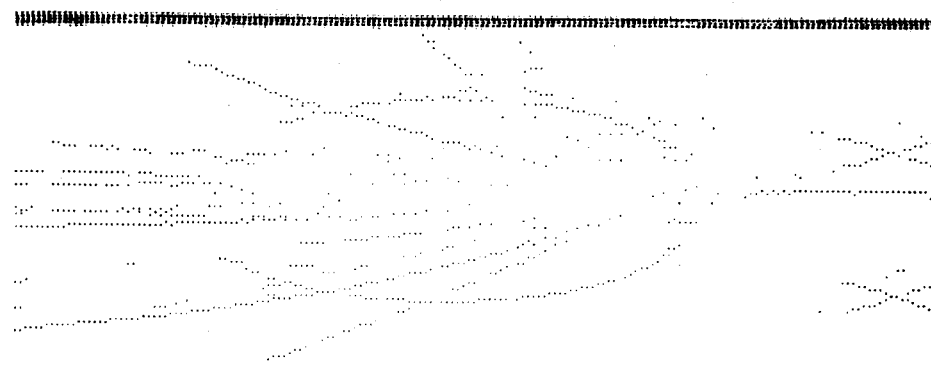


Рис. 1

Как видно из рис. 1, представляющего результаты бесфильмовой регистрации события участка стримерной камеры установки РИСК, содержащего мишень, основные отличия от аналогичного фильмового представления событий в пузырьковых камерах состоят в значительно меньшем числе точек изображения / 1 ± 2 тыс./ и уровне фона: нет треков от непроизводивших первичных и вторичных частиц, отсутствуют треки в области мишени. Сами стримерные треки, если рассматривать их как связанные множества отсчетных точек, отличаются от пузырьковых большим диапазоном длин пробелов в них, причем эта информация о распределении длин пробелов и сгустков отсчетов между ними во многих экспериментах является весьма значимой, так как позволяет оценить первичную ионизацию частиц^{/9/} и поэтому должна быть сохранена при обработке. Кроме того, на большинстве проекций, не содержащих изображения области взаимодействия, кривизна треков мала, что обеспечивает высокую точность их линейной аппроксимации на участках значительной длины /вплоть до 64 скан-линий/.

Укажем еще, что скорость работы спецпроцессора определяется временем сканирования изображения на мишени ТВ камеры и со-

ставляет не более 65 мс на кадр. Для сравнения работы спецпроцессоров разных типов требовалось выбрать такие численные характеристики качества их работы, которые позволяли бы оценить как величину сжатия, так и допустимый минимум потерь физической информации, не проводя при этом слишком громоздких вычислений /вроде полного распознавания всех треков события/.

Эта задача дополнительно усложнялась из-за разницы в кодировке выходных данных спецпроцессоров, вызванной различием ЭВМ, принимающих эти данные.

Мы остановимся на следующих трех характеристиках:

1. Коэффициент сжатия

$$\rho = \frac{N_{SUM} + N_{SC}}{N_L} \cdot \lambda,$$

где N_{SUM} - число точек на исходном изображении; N_{SC} - число линий сканирования; N_L - число линейных трек-элементов, выдаваемых спецпроцессором после сжатия; λ - коэффициент, учитывающий соотношение кодировок на входе и выходе спецпроцессора.

2. σ - среднеквадратичное отклонение точек всех ЛТЭ от аппроксимирующих их прямых, усредненное по всем слайсам.

3. N_{NOID} - число неидентифицированных точек /не отнесенных ни к одному из ЛТЭ/.

Чтобы учесть специфику спецпроцессора АСД, фиксирующего координаты всех N_{NOID} неклассифицированных точек, для АСД дополнительно вычислялся коэффициент сжатия

$$\rho_1 = \lambda \frac{N_{SUM} + N_{SC}}{N_L + N_{NOID}} \leq \rho.$$

Кроме того, чтобы учесть, насколько хорошо алгоритмы того или иного спецпроцессора позволяют разрешить трудные случаи прослеживания линейных участков через большие разрывы или пересечения треков под малыми углами, были выбраны именно такие "трудные" участки изображения и для обоих спецпроцессоров написаны специальные программы реконструкции данных после сжатия и их представления на широкой печати.

3. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА ПАРАМЕТРОВ

Управляющие параметры для разных типов спецпроцессоров различны и должны подбираться в соответствии со статистическим характером обрабатываемого материала так, чтобы при заданных ограничениях на время работы, точность аппроксимации и величину N_{NOID} - массива неидентифицированных точек обеспечить максимум ρ и наименьшее σ . Мы не касаемся здесь многих дополнительных ограничений /таких, например, как полный запрет

или требование минимальности числа случаев переполнения рабочих буферов/, так как они не являются существенными или могут быть устранены.

Для организации поиска были учтены как опыт параметризации SHP при обработке फिल्मовой информации, так и некоторые теоретические оценки оптимальных значений параметров АСД /4/. Это позволило выделить группу основных параметров, задать их стартовые величины и определить для каждого параметра 2 ± 3 значения в некоторой допустимой окрестности. После многократной обработки небольшой подборки реальных данных с самыми разными характеристиками окончательный выбор параметров был сделан с помощью гистограмм, полученных по всему набору данных.

Конкретные пояснения для каждого из спецпроцессоров требуют более подробного описания алгоритмов их работы и используемых параметров настройки.

3.1. Параметры SHP /7/

Рассматривая SHP как прибор, преобразующий входной массив точек текущего слайса в набор ЛТЭ, выделим в этом процессе 3 этапа, на которых последовательно образуются: 1/ банк отдельных точек; 2/ банк пар; 3/ трек-банк.

Трек-банк, содержащий n точек при n , превышающем порог T , определяется как ЛТЭ и передается на выход в виде пяти чисел:

- X, Y - координаты центра тяжести трек-элементов /ТЭ/;
- $SLOPE$ - наклон ТЭ, то есть тангенс угла ЛТЭ и оси абсцисс;
- n - число точек ТЭ;
- I - идентификатор принадлежности ТЭ к определенному треку.

Три параметра: ϵ /апертура, определяющая ширину дорожки, в которой происходит поиск точки на следующей скан-линии/, $SLOPE$ и L_{max} /максимально допустимый разрыв, отделяющий последнюю точку банка от очередной точки - кандидата для включения в этот банк/ определяются по-разному на трех этапах работы SHP. На первом этапе ϵ определяется как константа, в дальнейшем вычисляется в зависимости от текущего значения Δ - разности между номером текущей скан-линии и той, на которой находится Y_{BANK} согласно формуле

$$\epsilon = (SLOPE/FAT + DTP) \cdot \Delta + C,$$

где FAT , DTP и C - вспомогательные управляющие параметры. L_{max} задается на каждом этапе своей константой: $NSL1$, $NSL2$, $NSL3$.

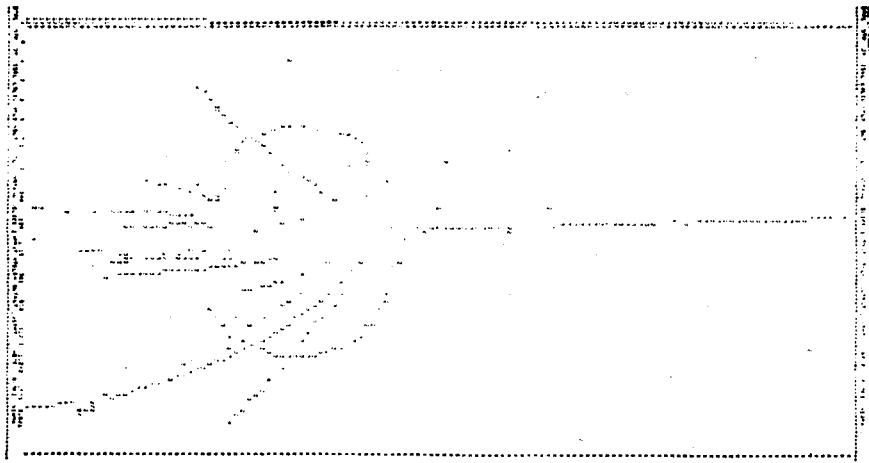


Рис. 2

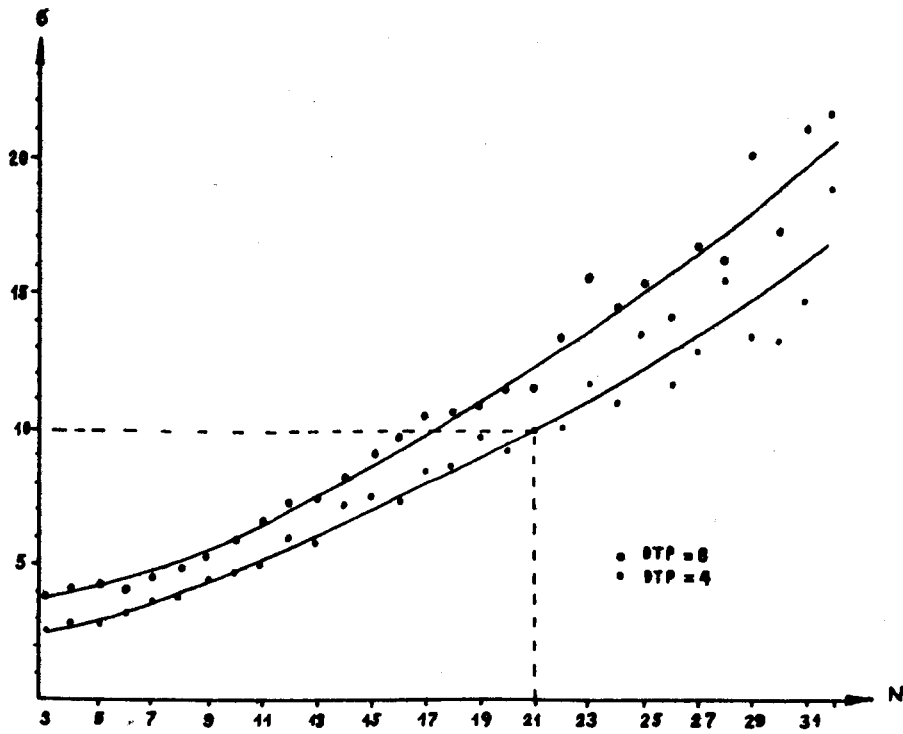
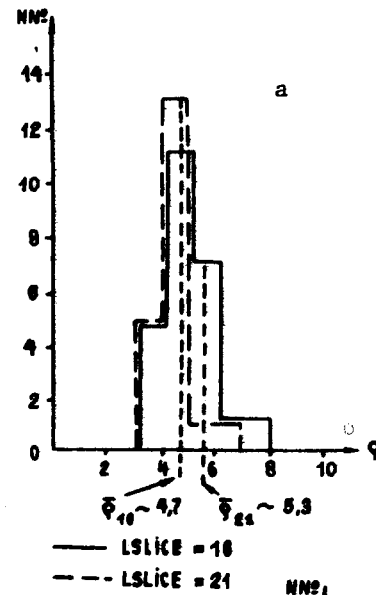
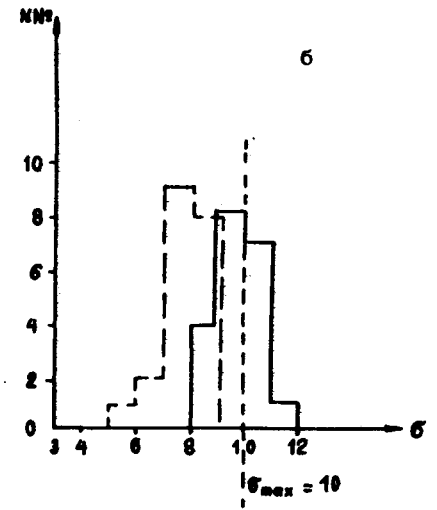


Рис. 3



— LSLICE = 16
 - - - LSLICE = 21



DP = 40
 DTP1 = 4
 DTP = 4
 DY = 4
 ISGL = 3
 NSL2 = 7
 NSL3 = 11
 DL = 20

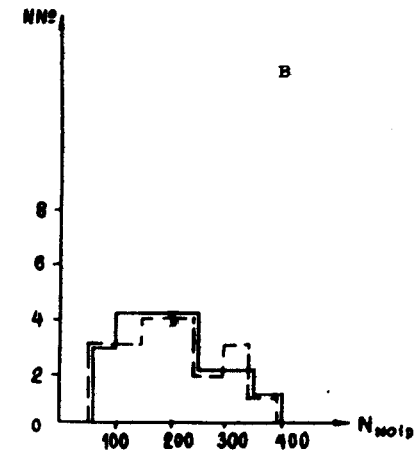


Рис. 4

SLOPE для различных этапов определяется отдельными формулами: а/ в процессе ассоциации "точка к точке" значение SLOPE1 определяется как $(Y_{HPD} - Y_{BANK}) / \Delta$; б/ в процессе анализа банка пар SLOPE2 определяется усреднением старого и нового наклона с равными весами $SLOPE2 = (SLOPE1 + (Y_{HPD} - Y_{BANK}) / \Delta) / 2$; в/ в случае, когда $p > 3$, усреднение наклонов идет с весом 3/4 для старого и 1/4 для нового наклона.

Нужно указать, что SHP допускает принципиальную возможность адаптивного изменения от слайса к слайсу основных параметров, таких, как длина слайса N или порог T, в зависимости от полученных в предыдущем слайсе значений ρ , SLOPE и ϵ . Эти богатые возможности делают SHP необычайно гибким прибором. С точки зрения повышения коэффициента сжатия наиболее существенным параметром SHP является длина слайса N. Однако, поскольку с ростом N растет и ошибка σ , необходимо тщательно подбирать и остальные параметры, облегчающие поиск близких точек и обеспечивающие наилучшее соответствие между треками исходного изображения и найденными ЛТЭ /то есть уменьшение σ и N_{NOID} /.

Для предварительного выбора параметров SHP были использованы 10 кадров различной конфигурации, в том числе и изображение, представленное на рис.1. После перебора с шагом 3 всех вариантов длины слайса от N=3 до N=27 /первый вариант представлен на рис.2, где каждый ЛТЭ обозначен цифрой - числом точек в нем/ был построен график зависимости σ от N /рис.3/, показавший, что при разумном ограничении $\sigma \leq 10$ отсчетных единиц должно быть выбрано N=16 или 21. Вариации остальных параметров позволили выбрать их оптимальный набор, перечисленный на рис.4. Окончательное решение вопроса о выборе оптимального значения N=16 было сделано по гистограммам величин ρ, σ и N_{NOID} /см. рис.4/, полученным по всему набору изображений.

3.2. Параметры АСД ^{14/}

При описании АСД мы будем придерживаться терминологии и обозначений проекта ^{1/}, согласно которым, в частности, координата кадра по оси абсцисс, идущей поперек направления сканирования, обозначается как j - номер скан-линии (j=1,512), а координата вдоль скан линий - через x.

В отличие от SHP, где сжатие заканчивается отбором точек в ЛТЭ и выдачей кратких данных о них, при работе АСД этап отбора точек генерирует одномерные массивы-векторы, которые могут включать несколько ЛТЭ, и отделен от второго этапа, осуществляющего собственное сжатие методом кусочно-линейной аппроксимации векторов с заданной точностью.

Будучи ориентированным на специфику бесфильмового съема /сравнительно малое число точек на кадре, малый фон, не более 15 точек на одну скан-линию и т.д./, АСД с самого начала рассматривает массив x-координат всех точек данного слайса как набор векторов, каждая из компонент которых соответствует отсчету на одной из скан-линий и выбирается в порядке скани-

рования. В отсутствие шумовых точек и пробелов на треках эти векторы состояли бы из частей треков, приходящихся на данный слайс, или из их фрагментов между возможными пересечениями.

Неизбежные на реальных треках пробелы и шумовые точки вызывают нарушение соответствия отсчетов и фрагментов треков и поэтому требуют проведения специальной сортировки для восстановления их естественного порядка. Эта сортировка и проводится на первом этапе путем такого перемещения одноименных компонент векторов в пределах одной скан-линии, которое восстанавливает их связность, то есть близость по x к точкам, лежащим на предыдущих скан-линиях.

Как уже упоминалось, проверка на близость при отборе точек в АСД осуществляется более простым, чем в SHP, способом без использования текущего наклона трек-элементов. Апертура вычисляется по формуле $\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_{\Delta} \cdot L$, где ϵ_0 и ϵ_{Δ} выбираются в соответствии со среднеквадратичным разбросом треков и их максимально возможным наклоном /обычно 45° /, а L - текущая величина разрыва, то есть число скан-линий, на которых не нашлось точек в коридоре $(X_{\text{BANK}} - \epsilon, X_{\text{BANK}} + \epsilon)$. Аналогично SHP при $L \leq L_{\text{max}}$ прослеживание обрывается, а элементы с длиной, меньшей порога T, передаются в массив шумовых и неидентифицированных точек.

При такой организации прослеживания в одном векторе могут оказаться точки нескольких фрагментов разных треков либо одного трека большой кривизны. Поэтому на втором этапе сжатия с помощью серии проверок производится разбиение вектора на ЛТЭ, все точки каждого из которых умещаются внутри прямолинейной полосы шириной 2δ . Очевидно, что длины этих ЛТЭ не будут всегда равны длине слайса N, а могут быть различными в зависимости от взаимного расположения кривизны и числа треков.

Кодировка выходных данных АСД, соответствующих одному ЛТЭ, состоит из шести чисел: J_S, J_F - номера скан-линий, на которых находятся начальная и конечная точки ЛТЭ; x_s - координата начальной точки; d_x - общий прирост по x; N_z - число нулевых отсчетов в данном ЛТЭ; N_B - число сгустков, то есть групп идущих подряд ненулевых отсчетов.

Кроме того, выходные данные АСД содержат массив неидентифицированных и шумовых точек в виде последовательности пар $/j_k, x_k$; $k=1, N_{\text{NOID}}$ /.

При подборе параметров прежде всего была установлена сильная зависимость σ от точности аппроксимации δ /см. рис.5/, позволившая выбрать в качестве оптимального значения $\delta = 20$ x-единиц отсчета. Тщательно было исследовано влияние на ρ, σ и N_{NOID} остальных параметров АСД: $\epsilon_0, \epsilon_{\Delta}, L_{\text{max}}$ и T, что позволило найти их оптимальный набор, приведенный на рис.6, где изображены гистограммы величин ρ, ρ_1, σ и N_{NOID} при таком выборе параметров.

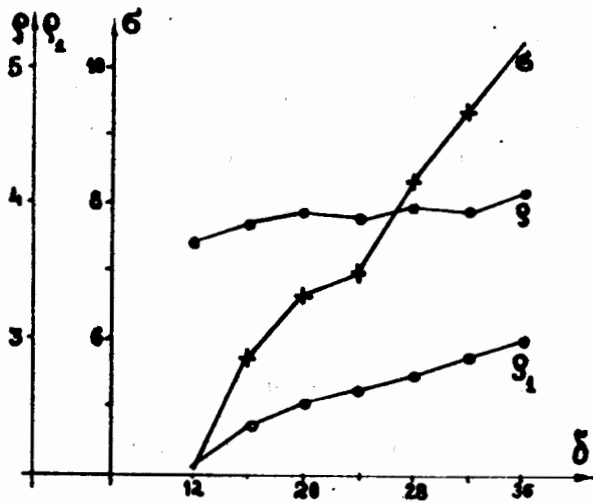


Рис.5

Примеры гистограмм для вариантов некоторых параметров даны на рис.7 и 8.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Результаты сжатия данных бесфильмового съема со стримерной камеры установки РИСК, представленные на гистограммах рис.4, 6-8, показывают, что предложенные критерии качества сжатия позволили выбрать оптимальные с точки зрения принятых критериев значения управляющих параметров спецпроцессоров. Для лучшей оценки качества работы ШПР было выполнено восстановление данных сжатия кадра с рис.1, при котором каждый ЛТЭ заменялся на последовательность из n точек, размещенных около центра тяжести ЛТЭ в соответствии с наклоном этого трек-элемента. Результаты восстановления, представленные на рис.9, показывают его хорошее соответствие с исходным изображением. Исчезновение двух треков вверху в центре кадра вызвано их большим наклоном, превышающим 60° . Восстановление крестов не производилось, так как предполагается их отдельная обработка^{4/}.

Включение в выходные данные АСД массива неидентифицированных точек приводит к снижению коэффициента сжатия до ρ_1 , который на 20-30% меньше ρ .

Можно отметить значительную устойчивость оптимального набора параметров АСД к небольшим вариациям отдельных параметров, в частности, переход от длины слайса $N=64$ к $N=32$, означающий значительную экономию аппаратуры, уменьшает коэффициент сжатия ρ_1 всего на 12%.

Процессор АСД

$\epsilon = 40, \epsilon_d = 20, l_{max} = 6, \delta = 20, T = 2,$
 $N = 64$

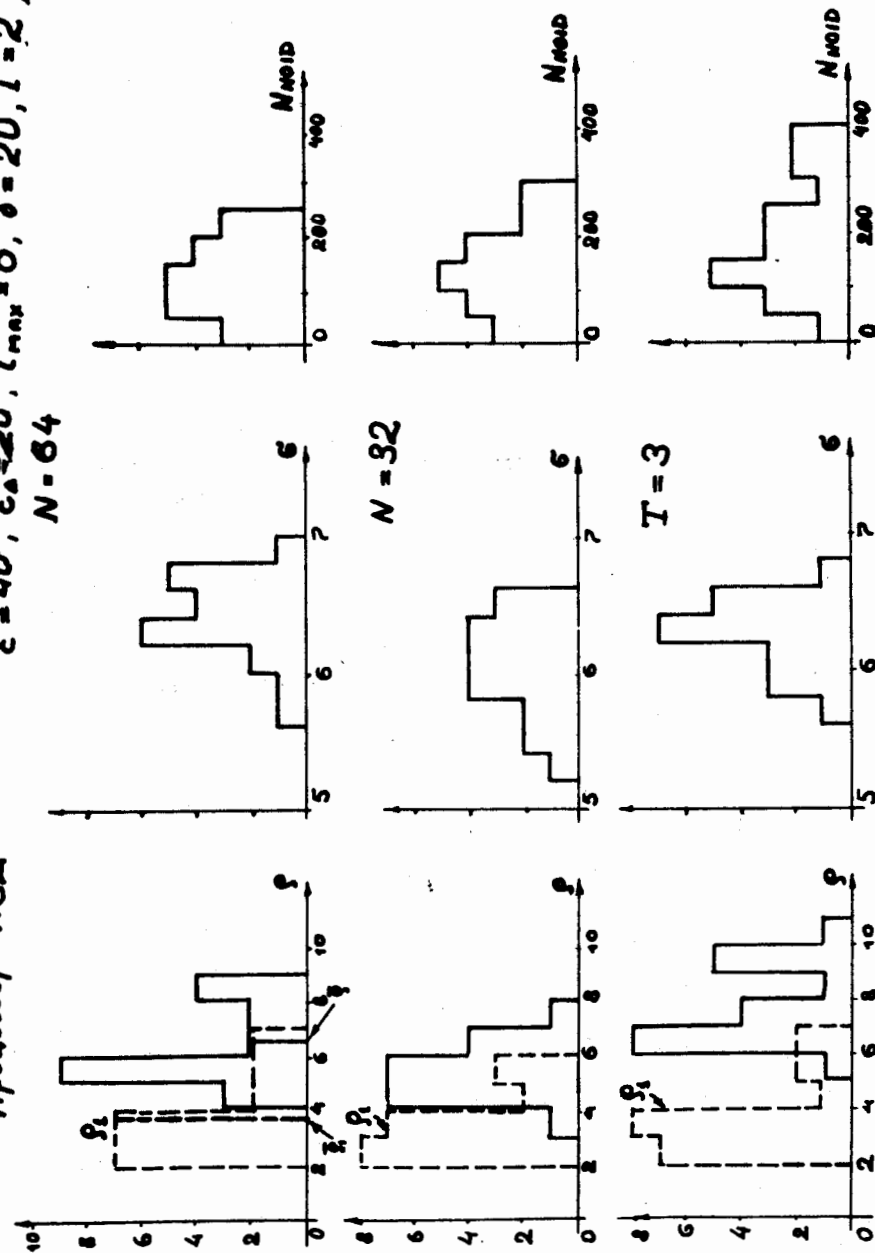


Рис.6

Рис.7

Рис.8

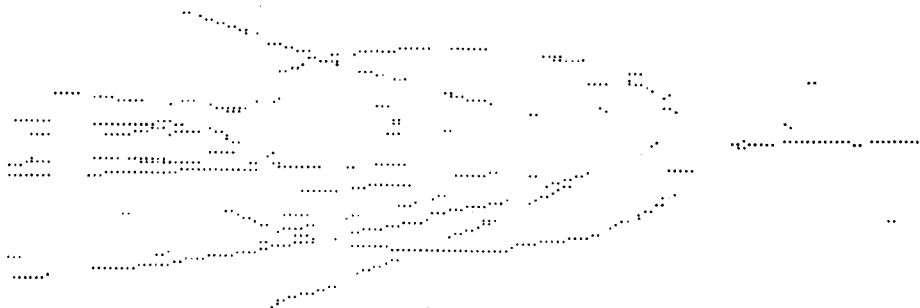


Рис. 9

Если сравнивать характеристики работы SHP и АСД, то можно сделать вывод, что оба процессора позволяют обрабатывать реальную информацию бесфильмового съема, достигая примерно одинаковых результатов по коэффициенту сжатия ρ .

В связи с тем, что исследование проводилось на программных имитаторах процессоров, реализованных на ЭВМ разных классов, сравнение скоростных характеристик обработки не проводилось.

Авторы приносят свою глубокую благодарность Н.Н.Говоруну за постановку задачи, постоянное внимание и поддержку в работе, Н.Д.Дикусару за полезные советы и содействие одному из авторов в ходе выполнения этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Н.П. и др. ОИЯИ, Б1,13-80-133, Дубна, 1980.
2. Voht G. et al. ANL-8055, 1975, p.117.
3. Бечер Ю. и др. В кн.: Материалы II Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1977, с.428.
4. Байла И. и др. ОИЯИ, Б1,10-82-119, Дубна, 1982.
5. Flawell A.J. et al. В кн.: Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. ОИЯИ, Д10-6142, Дубна, 1971.
6. Крупнов В.Е. и др. Препринт ИТЭФ, №219, М., 1980.
7. Vacillieri P. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 135, p.427.
8. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, 10-81-389, Дубна, 1981.
9. Двуреченский А. и др. ОИЯИ, 5-81-362, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 апреля 1982 года.