

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3376/82

19/7-82

10-82-295

Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар, Т.Л.Тханг

О ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКЕ  
СПЕЦПРОЦЕССОРА

1982

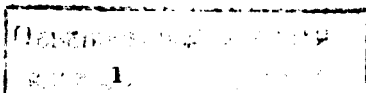
Специализированные процессоры для быстрой обработки больших объемов экспериментальных данных находят все более широкое применение в практике современного физического эксперимента<sup>/1/</sup>. Уже накоплен богатый опыт по применению этих устройств при автоматической обработке фотоснимков с трековых камер ( BRUSH, ПРЭТ, SNR и др.)<sup>/2-4/</sup>, главным образом при выполнении наиболее трудоемкого процесса - преобразования первичных данных (отсчетов) в линейные трековые элементы. Однако исследование проблемы выбора оптимального режима работы этих устройств в измерительных системах в известной авторам литературе практически отсутствует. Использование спецпроцессоров в сканирующих системах для обработки трековой информации позволяет значительно повысить производительность обработки огромных массивов первичной информации, улучшить эксплуатационные характеристики этих систем, приводит к экономии труда, материальных ресурсов и т.п.

Например, объем цифровых данных, полученный при измерении снимков с пузырьковой камеры на сканирующем автомате типа нрд, после обработки спецпроцессором в режиме реального времени сокращается примерно в 10 раз и без каких-либо потерь полезной информации.

С другой стороны, повышенное информационное содержание выходных данных спецпроцессора позволяет делать более эффективными алгоритмы и программы для распознавания образов на изучаемых снимках без использования дополнительных ресурсов ЭВМ.

Повышение производительности и расширение функциональных возможностей измерительной системы за счет использования спецпроцессора зависит прежде всего от согласованной параметрической настройки всех компонент системы: сканирующего автомата, алгоритма спецпроцессора и программного обеспечения с учетом конкретных особенностей обрабатываемых изображений.

Оптимальный выбор рабочих параметров спецпроцессора является весьма важной практической задачей, которая наряду с калибровкой автомата и тестами обеспечивает эффективную работу измерительной системы.



Важно при этом найти оптимальные размеры самого трекового элемента, которые в большой степени зависят от выбора параметров сканирования  $h$  и  $\ell$  - шага развертки и уровня дискриминации амплитуды отсчетного сигнала  $\sqrt{5,6}$ .

Особые случаи возникают, если измеряются треки малой длины ( $< 1$  мм). При обработке коротких треков возникают условия, из-за которых происходят потери отдельных точек (отсчетов) на концах треков, что может привести либо к потере трека вообще, либо к снижению точности обработки. В этом случае для сохранения результата необходимо запоминать не только трековые элементы, но и их концевые точки. Такой режим использования спецпроцессора является неэффективным и приводит, кроме того, к усложнению алгоритмов последующей обработки.

Характерным примером коротких треков являются следы искр на снимках с искровых камер и магнитных искровых спектрометров, а также изображения плеч реперных меток и т.п. Частые разрывы треков характерны и для событий, регистрируемых в стримерных камерах.

В сканирующей системе на базе автомата HFD в ОИИИ используется параметрически-настраиваемый спецпроцессор SNP  $\sqrt{7}$ . Запаянный в нем алгоритм преобразования отсчетов в линейные трековые элементы настраивается по совокупности 8-10 параметров, посредством которых можно учитывать специфику измеряемых событий или условия их обработки.

В настоящей работе предлагается методика для исследования поведения алгоритма спецпроцессора SNP в зависимости от выбора его параметров при обработке снимков с трековых камер. Эффективность обработки по алгоритму спецпроцессора определяется числовым показателем, который дает оценку качества обработки, выполненной при заданном наборе параметров. Для вычисления оценки качества обработки используется информация, полученная на выходе спецпроцессора, и другие вспомогательные характеристики, найденные алгоритмом SNP. На основе предложенной методики проведено экспериментальное исследование зависимости эффективности обработки трековой информации от выбора параметров спецпроцессора. Для проведения такого исследования был создан специальный вариант программы, имитирующей работу SNP. Результаты вычислений получены по измерениям реальных снимков с различных трековых установок (МИС, стримерная камера РИСК и др.).

Вывод формул и предложенная схема исследований носят общий характер и могут быть использованы при создании систем обработки на основе спецпроцессоров в других экспериментах, в том числе использующих бесфильмовый способ регистрации данных и т.п.

## I. Особенности обработки коротких треков по алгоритму спецпроцессора SNP

Для преобразования отсчетов в линейные трековые элементы (Т.Е.) в алгоритме SNP используется критерий слежения за линейным участком трека  $\sqrt{4}$ . Область поиска очередной точки  $(x_k, y_k)$  и направление поиска определяются по координатам последней точки в данном Т.Е.

$(x_{k-1}, y_{k-1})$  с учетом накопленной ранее информации о наклоне Т.Е.  $(\theta_{k-1})$  и набора ограничительных параметров (таблица I).

Приведем краткую запись этого алгоритма:

$$|\Delta y_k - \theta_k \cdot \rho_k| \leq \epsilon_k \rightarrow (x_k, y_k) \begin{cases} \in \text{Т.Е.} \\ \notin \text{Т.Е.} \end{cases} \quad (I.1)$$

где  $\Delta y_k = y_k - y_{k-1}$ ,  $\rho_k = E((x_k - x_{k-1}) / h)$ ,  $E(x)$  - целая часть  $x$ ,  $h$  - шаг сканирования.

$$\theta_k = w_1 \theta_{k-1} + w_2 \Delta y_{k-1} \rho_{k-1}^{-1}, \quad w_1 + w_2 = 1, \quad (I.2)$$

$$w_1 = \omega / 4, \quad \omega = \begin{cases} 2, & k \leq 3 \\ 3, & k > 3 \end{cases}, \quad w_1, w_2 - \text{веса,}$$

$$\theta_1 = \Delta y_2 \cdot \rho_2^{-1}, \quad \theta_1 \leq \theta_0, \quad \theta_0 - \text{заданная апертура в точке } (x_1, y_1)$$

$$k = 2, 3, \dots, n.$$

$$\epsilon_k(\theta_k, \rho_k, F, C_0, C_1, \eta) = (|\theta_k| / F + C_0) \rho_k + C_1 + \eta, \quad (I.3)$$

$$T \leq n \leq n_{\max}, \quad n_{\max} = T - 1 + \tau,$$

где  $T$  - порог, а  $\tau$  - заданный промежуток (слайс) на снимке, выраженный в числе сканлиний;  $\eta = 0$  при  $k > 3$ .

$$\text{Ограничения на } \rho_k: \rho_k \leq z_\alpha, \quad \alpha = 1, 2, 3, \quad (I.4)$$

где  $\alpha$  - индекс стадии развития Т.Е.. При  $\rho_k > z_\alpha$  и  $k < T$  соответствующий Т.Е. исключается из дальнейшего анализа (классифицируется как шум).

Правая часть решающего правила (I.1)  $\epsilon_k$ , вычисляемого по формуле (I.3), зависит от информации, которая была накоплена ранее  $(\theta_k, \rho_k, k)$ , и от значений параметров  $(F, C_0, C_1, \eta)$ , учитывающих величину наклона Т.Е. и поперечный разброс точек на нем (для Т.Е. с малыми углами наклона отношение  $|\theta_k| / F = 0$ ).

Таблица 1

Параметры	Область значений	Обозначение в имитаторе	Примечание
$S_0$	1 + 127	DP	начальная апертура
$T$	1 + 7	ISOGL	порог
$\tau$	1 + 32	ISLICE	длина слайса
$z_1$	3	NSL1	разрыв при $k=1$
$z_2$	3 + 6	NSL2	"-" $k=2$
$z_3$	7	NSL3	"-" $k \geq 3$
$F$	8, 16	FAT	учет поправки для Т.Е. с бол. $S_k$
$C_0$	2	DTP	линейная часть поправки для $S_k$
$C_1 + C_2$	1 + 4	DY	учет поперечного разброса на трек
$\tau$	0, 4	DTP1	"-" - при $k < 3$

Ограничения (I.4) позволяют учитывать возможные разрывы на треках, значения  $z_k$  выбираются в зависимости от стадии развития Т.Е. ( $k=1, k=2,3$  или  $k \geq 3$ ). Параметры  $t$  и  $\tau$  используются для регулирования длины Т.Е.

Если число точек в трековом элементе достигло порогового значения ( $k \geq t$ ), то при достижении последней строки промежутка ( $\sum \rho_k = \tau$ ) этот Т.Е. считается распознанным независимо от величины  $\rho_k$ . Это условие можно записать в виде логического выражения  $(k \geq t) \wedge (\sum \rho_k = \tau) = 1$ , где  $\wedge$  - символ логического "И".

Распознанный трековый элемент поступает на выход спецпроцессора в виде пятимерного вектора  $(x_0, y_0, s, n, J)$ , где  $x_0, y_0$  - координаты центра тяжести  $n$  точек, образовавших данный Т.Е.,  $s = \theta_n$  - средний наклон, а  $J$  - специальный индекс, приписанный этому Т.Е. (индекс слежения за треком).

Из-за ограниченных размеров памяти спецпроцессора выдача распознанных Т.Е. происходит периодически (порциями) в конце каждого слайса.

Таким образом, выбор параметров  $t$  и  $\tau$  влияет как на фактор сжатия информации, так и на ее избирательность (Т.Е. с  $k < t^*$  исключаются), а само разделение снимка на слайсы определяет частоту выдачи результата.

Рассмотрим некоторые особенности работы алгоритма (I.1)-(I.4) на примере обработки изображений коротких треков на снимках с магнитного искрового спектрометра. Все объекты на этих снимках (следы искр, реперные метки, служебная информация), за исключением царапин и других случайных помех, имеют вид коротких отрезков (таблица 2). Однако форма следов искр не является постоянной и в большинстве случаев отличается от линейной. Плотность почернения этих следов изменяется в зависимости от числа искр в искровом промежутке, что затрудняет обработку многотрековых событий. Следы слабых искр имеют размытую структуру, из-за которой увеличивается поперечный разброс отсчетов при сканировании и возникают разрывы, нарушающие монотонность точек на искомым Т.Е.

Существуют и другие факторы, которые приводят к снижению эффективности обработки и усложняют процесс настройки алгоритма спецпроцессора. Например, небольшая протяженность следа искры (~400 мкм) и переменная длина промежутков между последовательными искрами на одном и том же треке (от 150 мкм до 3 мм) накладывают соответствующие ограничения при выборе значений параметров  $\tau$ ,  $t$ ,  $z$  и являются наиболее трудными для обработки по алгоритму SNR. Так,

\* Отбор информации можно делать также с использованием параметров  $e_0, c_1, z_1, z_2, z_3$  и др.

Таблица 2

ОБЪЕКТЫ	линейные размеры (мм)		Среднее число отсчетов при шаге $h=55$ мкм	Число объектов на событие
	длина	толщина		
След искры	0,3-0,4	0,02-0,05	~7	~100 × (число треков в событии)
След штрихов кодировки	~1,0	0,02-0,04	~20	68
пле-чи реперов	маленькие	1,0-1,25	14-15	40x2
	средние	2,5	28-30	40x2
	большие	5,0	0,02-0,04	≤ 60

даже для идеального следа искры (с 7-8 отсчетами) появление условия

$$(T = 3) \wedge (\sum p_k = \tau) \wedge ((n-k) < T) = 1 \quad (1.5)$$

приведет к потере до 2 точек на следе, что составит около 25% потерь для данной искры. В общем случае появление условия типа (1.5) может привести к потерям до (T-1) точек на концах треков или в местах их разрывов независимо от длины следа и типа события (n - реальное число отсчетов на треке).

Таким образом, оптимальная настройка алгоритма спецпроцессора является важной практической задачей, особенно при обработке коротких треков. В частности, представляет интерес такая настройка алгоритма, при которой вся информация о коротком следе в максимальном объеме преобразуется в параметры одного, соответствующего данному следу, трекового элемента. Это позволило бы в значительной мере сократить вычислительные ресурсы ЭВМ на последующих этапах обработки.

## 2. Оценка эффективности работы алгоритма спецпроцессора

Качество обработки отсчетов по алгоритму спецпроцессора (при фиксированном наборе параметров) будем определять значением функции эффективности  $R_{эфф.}$ , которая дает оценку вероятности успешной обработки. Для вычисления  $R_{эфф.}$  используется результат, полученный на выходе алгоритма, и часть промежуточных данных.

Исход обработки по алгоритму (1.1)-(1.4) зависит от ряда факторов, среди которых наиболее важными, на наш взгляд, являются: а) общее число отсчетов, потерянных на концах треков при появлении условия типа (1.5); б) степень сжатия полезной информации; в) "глубина" прослеживания объекта или его части (степень распознавания); г) коэффициент сокращения общего объема данных; д) точность обработки. Вклад каждого из этих факторов в общую эффективность обработки будем определять на основе вычисления соответствующей оценки  $r_i$ ,  $i=1,2,\dots,5$ , так что общую оценку вероятности успешной обработки  $R_{эфф.}$  запишем в виде произведения оценок  $r_i$ :

$$R_{эфф.} \approx \prod_1 r_i, \quad 0 \leq r_i \leq 1. \quad (2.1)$$

## 3. Вычисление оценки потерь концевых точек трека

Как отмечалось в п.1, появление условия (1.5) при обработке концевых участков на треке может привести к потерям отсчетов в соответствующем Т.Е.

Пусть  $n$  - число реальных отсчетов, измеренных автоматом на концевом участке трека ( $0 < n \leq T + T - 1$ ), а  $k$  - число отсчетов, включенных в соответствующий Т.Е. в момент появления признака "конец слайса" ( $0 < k < n$ ). Тогда условие

$$\{(n-k) < T\} \wedge (\sum_{k=1}^n p_k = \tau) = 1 \quad (3.1)$$

будет означать потерю  $n-k$  отсчетов ( $n-k \leq T-1$ ) на данном Т.Е. ( $T$  - порог).

Используя (3.1) в процессе обработки отсчетов, по алгоритму (1.1)-(1.4) можно определить общее число отсчетов ( $\Delta$ ), которые не были включены в соответствующие трековые элементы:

$$\Delta = \sum_{j=1}^{N_{\Delta}} \delta_j, \quad (3.2)$$

где  $\delta_j = (n-k)_j$  - число отсчетов, потерянных на  $j$ -том Т.Е., а  $N_{\Delta}$  - число всех трековых элементов, для которых  $\delta_j > 0$ ;  $0 < \delta_j \leq T-1$ ;  $N_{\Delta} \in N, N$  - общее число трековых элементов, появившихся на выходе алгоритма (объем выборки). Величина  $\Delta$  - ограничена;  $0 \leq \Delta \leq \Delta_{max}$ , где  $\Delta_{max} = (T-1) \cdot N$  достигается в предельном случае, когда для всех трековых элементов  $\delta_j = T-1$ ,  $j=1,2,\dots,N$ .

С учетом (3.2) и ограничений на  $\Delta$  вклад неэффективности из-за потерь  $\delta_j$  в общую неэффективность обработки определится отношением  $\Delta / \Delta_{max}$ , а выражение для оценки  $r_1$  запишется в виде

$$r_1 = 1 - \Delta / \Delta_{max} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_{\Delta}} \delta_j}{(T-1) \cdot N}, \quad 0 \leq r_1 \leq 1. \quad (3.3)$$

Отсюда при  $\Delta \rightarrow 0$   $r_1 \rightarrow 1$  и при  $\Delta \rightarrow \Delta_{max}$   $r_1 \rightarrow 0$ , т.е. чем меньше потерь, тем выше оценка и наоборот.

Так как вычисление  $\Delta$  не предусмотрено в алгоритме snr, в программу-имитатор были внесены соответствующие изменения для определения  $r_1$  по (3.1)-(3.3).

## 4. Оценка эффекта сжатия информации

Преобразование отсчетов в линейные трековые элементы является информационным сжатием, так как полученные при таком преобразовании параметры Т.Е. ( $x_0, y_0, s, n, j$ ) позволяют с известной точностью восстановить исходные данные (сделать обратное преобразование) за исключением тех, которые были отнесены к помехам. Числовой мерой сжатия информации по алгоритму (1.1)-(1.4) может служить параметр  $n$  - число отсчетов, включенных в соответствующий Т.Е. Оценку эффекта сжатия информации можно получить, используя  $n$  и его предельные значения. Однако из-за возможных разрывов внутри самого Т.Е. ( $0 < p_k < 2\alpha$ ) оценка, вычисленная только по числу отсчетов  $n$ , будет заниженной. Поэтому вместо  $n$  будем брать величину  $n_x$ \*, опре-

\* индекс  $x$  означает, что длина определяется только по  $x$ -координате.

деляющую реальную длину трекового элемента, вычисленную по начальной и конечной точкам Т.Е. и шагу развертки  $h$  :

$$n_x = \frac{x_n - x_1}{h} + 1 = \frac{\Delta x}{h} + 1, \quad (4.1)$$

причем  $1 \leq t \leq n_x \leq n_{\max}$ , где  $n_{\max} = \tau + t - 1$ .

Оценку эффекта сжатия информации ( $r_2$ ) найдем через среднее значение  $\bar{n}_x$ , полученное по всей совокупности трековых элементов с учетом ограничений  $1 \leq \bar{n}_x \leq n_{\max}$  :

$$r_2 = \frac{\bar{n}_x - 1}{n_{\max} - 1}, \quad 0 \leq r_2 \leq 1, \quad (4.2)$$

где  $\bar{n}_x = \sum_{j=1}^N n_{xj} / N$ , а  $n_{\max}$  - максимальное возможное число отсчетов в трековом элементе при фиксированных  $t$  и  $\tau$ . Случай, когда  $\bar{n}_x = n_{xj} = 1$ , соответствует полному отсутствию сжатия, при этом  $r_2 = 0$ .

Своего максимального значения функция  $r_2$  достигает при

$\bar{n}_x = n_{\max}$ , что соответствует идеальному случаю, в котором все трековые элементы будут иметь максимально возможную длину ( $n_{xj} = n_{\max}$ ). В частности, если для коротких треков максимальное число отсчетов равно  $n_x$  и  $\bar{n}_x \leq n_x$ , то, независимо от выбора параметров  $t$  и  $\tau$ , полагаем  $n_{\max} = n_x$ . В этом случае максимальная оценка эффекта сжатия будет означать также высокую эффективность распознавания коротких треков, так как они будут отождествлены с отдельными трековыми элементами.

### 5. Оценка эффекта слежения по треку

Для определения этой оценки мы используем параметр слежения - индекс  $J$  ( $0 \leq J \leq J_{\max}$ ). Одно и то же значение индекса  $J_x$  алгоритм SNR приписывает тем трековым элементам, которые были образованы из отсчетов одного и того же трека с длиной, заведомо большей длины трекового элемента. Чем большее число Т.Е. с индексом  $J_x$  образуется для данного трека, тем выше будет эффект слежения. Этот фактор влияет на общую эффективность алгоритма обработки, так как он дает вклад в процесс распознавания треков и других объектов, который выполняется на последующих стадиях обработки событий.

Вместе с тем отсутствие полного эффекта слежения можно использовать для получения оценки эффективности распознавания коротких треков.

Приведем способ вычисления оценки  $r_3$  с помощью только двух параметров -  $J$  и  $n$ .

Пусть  $n$  - общее число трековых элементов, полученных на выходе

спецпроцессора при обработке одного или группы снимков;  $n_j$  - число отсчетов на  $j$ -м Т.Е. ( $j=1, 2, \dots, N$ ). Определим  $r_3$  на основе сравнения средней длины слежения ( $\bar{L}$ ), выраженной в числе отсчетов, со средней длиной трековых элементов  $\bar{n}$  :

$$r_3 = \frac{\bar{L} - \bar{n}}{\bar{L}}, \quad 0 \leq r_3 < 1, \quad (5.1)$$

где  $\bar{n} = \sum_{j=1}^N n_j / N$ ,  $\bar{n} \leq L$ .

Вычисление  $\bar{L}$ . Минимальная длина слежения ( $L_1$ ) соответствует нулевому эффекту слежения, при котором  $L_1 = \bar{n}$ . Длина слежения  $L_\mu$  с числом трековых элементов, равным  $\mu$ , равна

$$L_\mu = \sum_{k=1}^{\mu} n_k, \quad \mu = 1, 2, \dots, M_0. \quad (5.2)$$

Гистограммируя Т.Е. по длинам слежения  $L_m$ , получим частотное распределение этих величин для всей выборки трековых элементов или для ее части.

Пусть  $Q_m$  - число повторений (частота) длины слежения  $L_m$ ,  $m=1, 2, \dots, M$ ,  $M \leq M_0$ , для всей исследуемой области снимка. Определим среднюю длину слежения  $\bar{L}_m$  в  $m$ -м канале гистограммы:

$$\bar{L}_m = Q_m^{-1} \sum_{j=1}^{Q_m} L_j, \quad m=1, 2, \dots, M, \quad Q_m > 0. \quad (5.3)$$

С учетом веса ( $q_m$ ) каждого из  $\bar{L}_m$  получим выражение для вычисления средней длины слежения по всей совокупности трековых элементов, распределенных в  $M$  каналах гистограммы:

$$\bar{L} = \sum_{m=1}^M q_m \cdot \bar{L}_m, \quad (5.4)$$

где  $q_m = Q_m \cdot (\sum_{i=1}^M Q_i)^{-1}$ ,  $\sum_{m=1}^M q_m = 1$ ,  $0 < q_m \leq 1$ .

С учетом (5.2)-(5.4) выражение для  $\bar{L}$  запишем в следующем виде:

$$\bar{L} = \left( \sum_{i=1}^M Q_i \right)^{-1} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^{Q_m} \sum_{k=1}^m n_{kj}, \quad \bar{n} \leq \bar{L} \leq \bar{L}_x. \quad (5.5)$$

Для получения оценки предельного значения  $\bar{L}_x$  рассмотрим идеальный случай, при котором число отсчетов  $n_k$  одинаково для всех трековых элементов ( $n_k = \bar{n}$ ), а длины слежения  $L_m$  - разные;  $m=1, 2, \dots, M$ ,  $Q_i \neq Q_j$ ,  $i \neq j$ . Подставляя  $n_k = \bar{n}$  в (5.5), получим:

$$\bar{L}_x = \frac{1}{2} \left( 1 + \left( \sum_{i=1}^M Q_i \right)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^M Q_i^2 \right) \cdot \bar{n} = k \cdot \bar{n}, \quad (5.6)$$

где  $k$  - коэффициент, зависящий от  $Q_i$ ,  $i=1, \dots, M$ . Подставим (5.6) в (5.1), чтобы оценить функцию  $r_3$  сверху. Получим:

$$r_{3*} = \frac{\bar{L}_n - \bar{n}}{\bar{L}_*} = \frac{K-1}{K} < 1 \quad (5.7)$$

Таким образом,  $0 \leq r_3 \leq \frac{K-1}{K} < 1$ . Коэффициент  $K$  определяет степень распознавания треков спецпроцессором с помощью индекса слежения  $L$ . При  $K=1$   $r_3=0$ , что соответствует отсутствию эффекта распознавания, и при этом  $\bar{L}=\bar{n}$ . Чем ближе отношение  $\frac{K-1}{K}$  к 1, тем больший вклад в распознавание треков и наоборот.

При обработке коротких треков для соответствующих  $\tau$ ,  $t$  и т.д. эффект слежения будет минимальным, так как  $\bar{L} \approx \bar{n}$  означает отождествление трекового элемента с самим треком, и в этом случае значение для  $r_3$  будем находить по формуле:

$$r_3 = 1 - \frac{\bar{L} - \bar{n}}{\bar{L}} = \frac{\bar{n}}{\bar{L}}, \quad 0 \leq r_3 \leq 1 \quad (5.8)$$

которая и дает оценку эффективности распознавания коротких треков.

### 6. Сокращение объема данных

Влияние этого фактора на общую эффективность обработки в измерительной системе возрастает в зависимости от эффекта сжатия информации, а также с увеличением числа фоновых отсчетов. Частичное исключение фона можно получить еще на этапе оцифровки изображения с помощью подбора уровня дискриминации амплитуды отсчетного сигнала ( $\ell$ ). Однако при неравномерном почернении треков параметр  $\ell$  выбирается из условия минимальных потерь полезных отсчетов, что может привести к увеличению числа фоновых точек. Увеличение фона приводит к дополнительным затратам памяти и времени обработки на ЭВМ, поэтому его исключение с помощью спецпроцессора дает экономию ресурсов и тем самым повышает общую эффективность системы.

Эффект сокращения объема входных данных алгоритмом спецпроцессора определим на основе сравнения объема данных поступившего на вход алгоритма ( $v_{in}$ ) с объемом, полученным на его выходе ( $v_{out}$ ):

$$r_4 = \frac{v_{in} - v_{out}}{v_{in}} = 1 - \frac{v_{out}}{v_{in}}, \quad 0 < r_4 < 1. \quad (6.1)$$

Значения  $v_{in}$  и  $v_{out}$  можно определить в количестве слов ЭВМ, необходимых для размещения соответствующих массивов в памяти машины.

Функция  $r_4$  дает оценку объема той части входной информации, которая была исключена алгоритмом спецпроцессора, т.к.  $v_{out}$  содержит информацию только о трековых элементах. Однако функция  $r_4$  не дает оценки качества настройки спецпроцессора, и поэтому при вычислении  $R_{эфф}$  ее можно брать равной 1, а ее значения использовать в качестве индикатора количества фоновых отсчетов.

Если  $N_{SL}$  - число сканлиний,  $n_{y1}$  - число отсчетов на  $i$ -той сканлинии,  $i = 1, 2, \dots, N_{SL}$  и  $N_{TE}$  - число трековых элементов на выходе спецпроцессора, то с учетом входного и выходного форматов данных (форматы НРД и ШНР) формулу (6.1) можно записать в виде, удобном для вычислений:

$$r_4 = 1 - \frac{3 \cdot N_{TE}}{\sum_{i=1}^{N_{SL}} (n_{y1} + 3)} \quad (6.2)$$

где  $\sum_{i=1}^{N_{SL}} (n_{y1} + 3)$  соответствует числу слов памяти для хранения данных НРД, а  $3 \cdot N_{TE}$  - данных ШНР.

### 7. Контроль точности обработки

Для контроля за точностью преобразования отсчетов в линейные трековые элементы мы используем значение среднеквадратичного отклонения ( $\bar{\sigma}_y$ )  $y$ -координат измеренных точек ( $y^p$ ) от соответствующих им координат ( $y^T$ ), вычисленных по параметрам трековых элементов:

$$y_{ij}^T = \frac{S_j}{h} \cdot (x_{ij}^T - x_{oj}) + y_{oj} \quad (7.1)$$

где  $i$  - индекс точки, а  $j$  - индекс Т.Е.;  $i=1, \dots, n_j$ ;  $j=1, 2, \dots, N$ .  $S_j$ ,  $x_{oj}$ ,  $y_{oj}$ ,  $n_j$  - параметры  $j$ -го Т.Е.;  $h$  - шаг сканирования.

Величина  $\bar{\sigma}_y$  определяется по совокупности всех точек, включенных в трековые элементы:

$$\bar{\sigma}_y = \left[ \left( \sum_{j=1}^N n_j \right)^{-1} \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} \Delta y_{ij}^2 \right]^{1/2} \quad (7.2)$$

где  $\Delta y_{ij}^2 = (y_{ij}^p - y_{ij}^T)^2$ ;  $y_{ij}^T$  получено по (7.1) при  $x_{ij}^T = x_{ij}^p$ .

Критерием оценки точности преобразования по алгоритму ШНР может служить условие  $\bar{\sigma}_y < \sigma_{max}$ , где  $\sigma_{max}$  определяется заранее с учетом особенностей обрабатываемых треков. Например, для следов искр на снимках с МАС с трехлучевыми событиями  $\sigma_{max} \approx 6,8$  единиц отсчета НРД.

При  $\bar{\sigma}_y > \sigma_{max}$  значение общей эффективности обработки обрабатывается в 0 - независимо от значений оценок  $r_1$ . Поэтому функция  $r_5$  в выражении (2.1) при вычислении  $R_{эфф}$  служит лишь переключателем и ее можно записать в виде:

$$r_5 = \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{\sigma}_y < \sigma_{max}, \\ 0, & \text{если } \bar{\sigma}_y > \sigma_{max}, \end{cases} \quad (7.3)$$

или, в более удобной записи,  $r_5 = 1 - E\left(\frac{\bar{\sigma}_y}{\sigma_{max}}\right)$ , где  $E(x)$  - целая часть  $x$ ,  $E(x) < x$ , а  $0 < \bar{\sigma}_y < 2 \cdot \sigma_{max}$ .

Величина  $(\bar{\sigma}_y)^{-1}$  служит показателем точности и наряду с оценками  $r_i$  вычисляется для наблюдения за качеством обработки по алгоритму спецпроцессора.

#### 8. Экспериментальные оценки эффективности обработки реальных снимков

Для вычисления  $R_{эфф.}$  по (2.1) с использованием оценок (3.3), (4.2), (5.1) или (5.8) и (7.3) брались измерения реальных снимков с трех различных трековых установок: магнитного искрового спектрометра (МИС), спектрометра со стримерной камерой (РИСК) и однометровой жидководородной пузырьковой камеры (ЖВК-I). Снимки с МИС и ЖВК-I измерялись на сканирующем автомате нрд, а события со стримерной камеры были оцифрованы бесфильмовой телевизионной системой контроля<sup>8/</sup>. Результаты измерений обрабатывались по программе-имитатору snp, реализованной в системе МИСПРО<sup>9/</sup> и дополненной отдельными блоками для вычисления промежуточных параметров.

Обработка отсчетов по алгоритму snp проводилась при различных наборах основных параметров -  $\tau$ ,  $t$ ,  $z_\alpha$ ,  $c_0$ . Величины всех параметров, кроме  $\tau$ , подбирались в зависимости от обрабатываемых снимков из условия сохранения максимального числа полезных отсчетов (с учетом их поперечного разброса на треках), а также в соответствии со значениями этих параметров, реализованными в схеме спецпроцессора. Наибольшее влияние на поведение  $R_{эфф.}$ ,  $r_i$  и  $(\bar{\sigma}_y)^{-1}$  оказывает выбор параметра  $\tau$  (длина слайса). Поэтому значения  $\tau$  изменялись с шагом 1 на всем промежутке от 1 до 32, а значения остальных параметров фиксировались.

Экспериментальные кривые  $R_{эфф.}$ ,  $r_i$ ,  $(\bar{\sigma}_y)^{-1}$  получены в зависимости от  $\tau$  и приведены на рис.1 (обработка различных кадров с установки МИС), рис.4 (обработка отсчетов с кадра ЖВК-I) и рис.5 (обработка отсчетов на треках с установки РИСК). На рис.2 и 3 приведены графики соответствующих функций, полученные при отдельной обработке отсчетов на искрах и реперах для кадра #939 при одних и тех же значениях фиксированных параметров. Аналогичные кривые, полученные при обработке всех отсчетов того же кадра и в тех же условиях, приведены на рис.1 (сплошная линия). Здесь же приведены значения

$R_{эфф.}$ , вычисленные для двух групп из 10 различных кадров в каждой при фиксированных  $\tau$  ( $\tau=8$  и  $\tau=21$ ). Они хорошо группируются вокруг своих средних, что свидетельствует об устойчивом характере вычисляемой оценки. Аналогичные точки отмечены на кривой  $R_{эфф.}$  на рис.5.

Изменение других параметров ( $t$ ,  $c_0$ ,  $z_\alpha$  и т.д.) приводит к изменению численных значений  $R_{эфф.}$  и  $r_i$ , однако форма самих кривых в целом сохраняется.

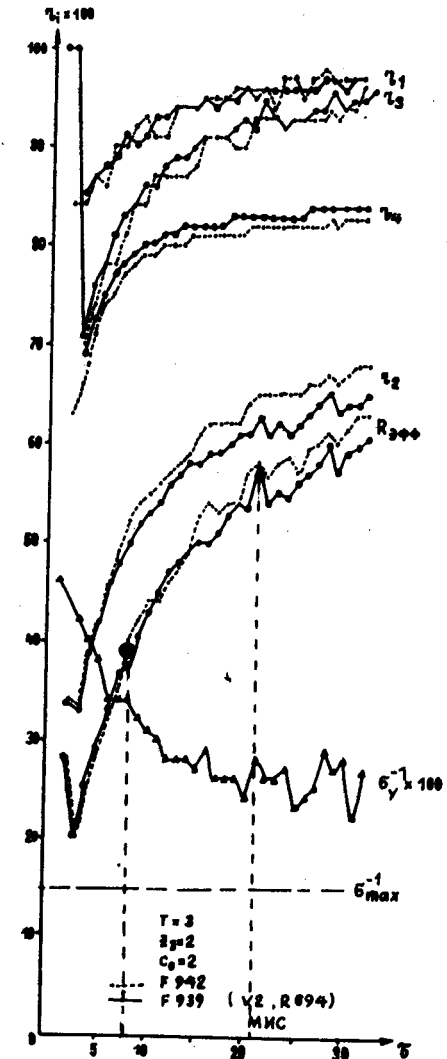


Рис.1



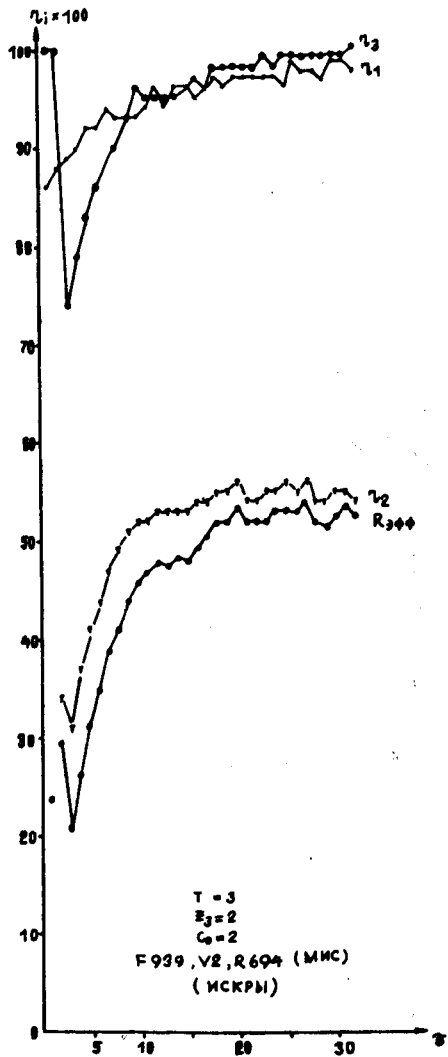


Рис. 2

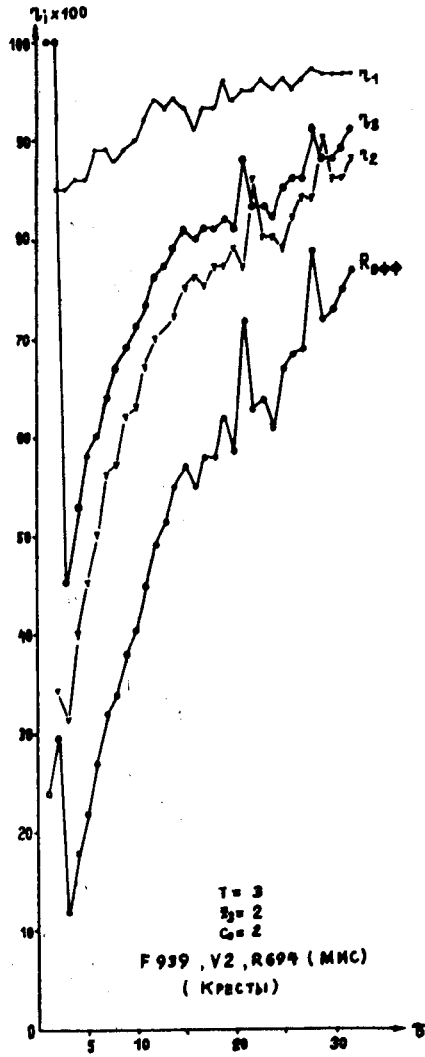


Рис. 3

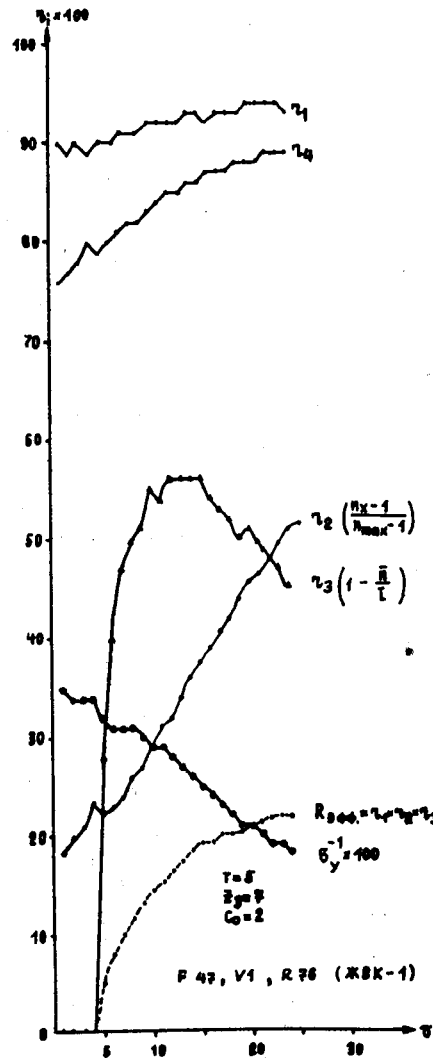


Рис. 4

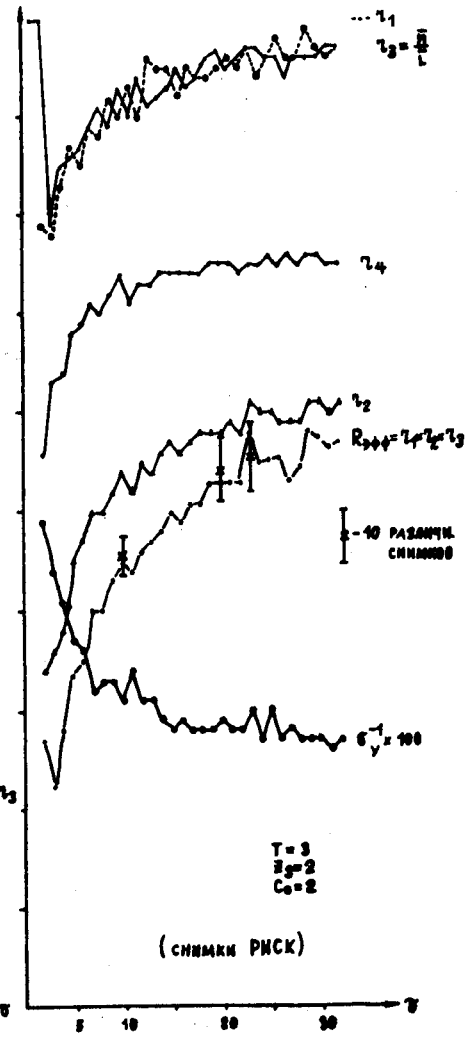


Рис. 5

Несмотря на предварительный характер полученных результатов, они дают основание утверждать, что предложенная в данной работе методика определения оценки эффективности преобразования отсчетов в линейные трековые элементы алгоритмом спецпроцессора позволяет делать определенные выводы о качестве его параметрической настройки. Например, при обработке трехлучевых событий с установки МИС оценка общей эффективности обработки для  $\tau=21$  (при фиксированных  $t$ ,  $C_0$ ,  $z_{\alpha}$  и др.) почти в 1,5 раза выше, чем для  $\tau=8$ , при сохранении допустимой точности обработки, которая ухудшается всего в 1,1 раза (рис.1). Дальнейшая обработка полученных данных по программам распознавания показала, что точность и надежность определения координат реперов и искр хорошо согласуются с эталонными.

В заключение следует отметить, что окончательная оценка качества настройки измерительной системы на обработку конкретного эксперимента может быть получена лишь на основе анализа результатов на различных этапах обработки, включая и физические результаты. Получение оценок эффективности работы спецпроцессора является одним из таких этапов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Proceeding of Topical Conference on Application of Microprocessors to High Energy Physics Experiments, CERN, Geneva, Switzerland, 4-6 May, 1981.
2. Flavell A.J. et al. В кн.: Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер, Дубна, 12-16 октября, 1971 г. ОИЯИ Д10-6142, 1972, с.248.
3. Крупнов В.Е., Федотов О.П. В кн.: Материалы второго Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, сентябрь, 1977. Изд-во ЕрФИ, 1978, с.300.
4. Vacilieri P. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1976, 135, p. 427.
5. Стрэнд Р., ТИИЭР, 1972, т.60, №10, "Мир", М., 1972, с.13.
6. Автоматическая обработка данных с пузырьковых и искровых камер. Атомиздат, М., 1971.
7. Vacilieri P. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1979, 160, p. 353.
8. Бечер Ю. и др. В кн. Материалы второго Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, сентябрь, 1977. Изд-во ЕрФИ, 1978, с.428.
9. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д., Тханг Т.Л. ОИЯИ, 1081-389, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 апреля 1982 года.