

Ц 845
Г-577

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1624 / 2-77



25/11-77

10 - 10331

Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА СНИМКАХ С МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО
СПЕКТРОМЕТРА ОИЯИ

1976

10 - 10331

Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА СНИМКАХ С МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО
СПЕКТРОМЕТРА ОИЯИ**

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д.

10 - 10331

Автоматическая обработка изображений на снимках с магнитного искрового спектрометра ОИЯИ

Рассматриваются методика и алгоритмы для обработки данных, полученных при измерении снимков с магнитного искрового спектрометра ОИЯИ на сканирующем автомате НРД. Приводятся основные рабочие характеристики алгоритмов фильтрации.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Введение

В работе рассматриваются алгоритмы и программы, используемые при массовой обработке изображений на стереоснимках 5-метрового магнитного искрового спектрометра ОИЯИ /МИС/^{1/}. Приводятся характеристики этих программ, полученные при измерении снимков с МИС на сканирующем автомате /СА/ НРД/^{2/} в 1975-76 гг.

Программы обработки изображений являются составной частью математического обеспечения системы измерения снимков с МИС /система ПРОМИС/^{3/}.

В отличие от систем измерения для снимков с пузырьковых камер с управлением по маске^{4/} обработка данных для снимков с МИС производится без предварительных измерений. Управляющая информация для программ обработки задается в виде параметров описания изображения, она также может вырабатываться автоматически на основе анализа специального снимка /стопкадра/. Пакет программ для цифровой обработки изображений рассчитан на работу в автоматическом режиме, хотя в системе ПРОМИС имеется специальный программный аппарат для активного взаимодействия оператора с системой на различных уровнях обработки, включая визуальный контроль результатов на экране дисплея.

Процесс обработки одного кадра разбивается на ряд этапов. На первом этапе отбираются отсчеты в пределах вычисленной маски. Затем распознаются отдельные элементы изображения /штрихи кодировки служебной

информации, плечи реперных крестов, искры/. На конечном этапе восстанавливается искомый образ по отсчетам, полученным на этапе распознавания. Качество и эффективность рассматриваемых алгоритмов определяются параметрами P /вероятность распознавания/, σ /точность восстановления объекта/ и t /время полной обработки кадра/, значения которых приведены в работе.

*Основные параметры системы
сканирующей автомат - снимок - ЭВМ*

Оцифровка изображения выполняется под программным контролем на автомате HPD, описанном в ряде работ /см., напр., /2/ /. Основные параметры автомата, снимка и ЭВМ приведены в табл. 1-3.

На рис. 1 приведено изображение двух стереопроекций одного события, регистрируемых на установке МИС.

Анализ параметров сканирующего автомата совместно с размерами элементов изображения /см. таблицы/ показывает, что надежное распознавание и точное восстановление искр и нижних камерных крестов возможно лишь при нулевой плотности сканирования /шаг = 55 мкм/. В этом случае все поле снимка разворачивается примерно в 3000 строк (SCL). Для хранения информации требуется от 11К до 15К полноразрядных слов в памяти CDC-1604A. Качество оцифровки снимка регулируется подбором уровня дискриминации (LEVEL), значение которого изменяется целочисленно, от 0 до 63.

Цикл измерения и обработки изображения на снимке состоит из последовательности шагов:

1. Подвод и установка заданного кадра в рамке измерительного стола HPD.

2. Оцифровка /сканирование/ снимка, контроль, накопление и хранение отсчетов на магнитных лентах /МЛ/.

3. Обнаружение, распознавание и декодировка служебной информации /обработка района DATA BOX/.

4. Обнаружение опорного реперного креста и маскирование.

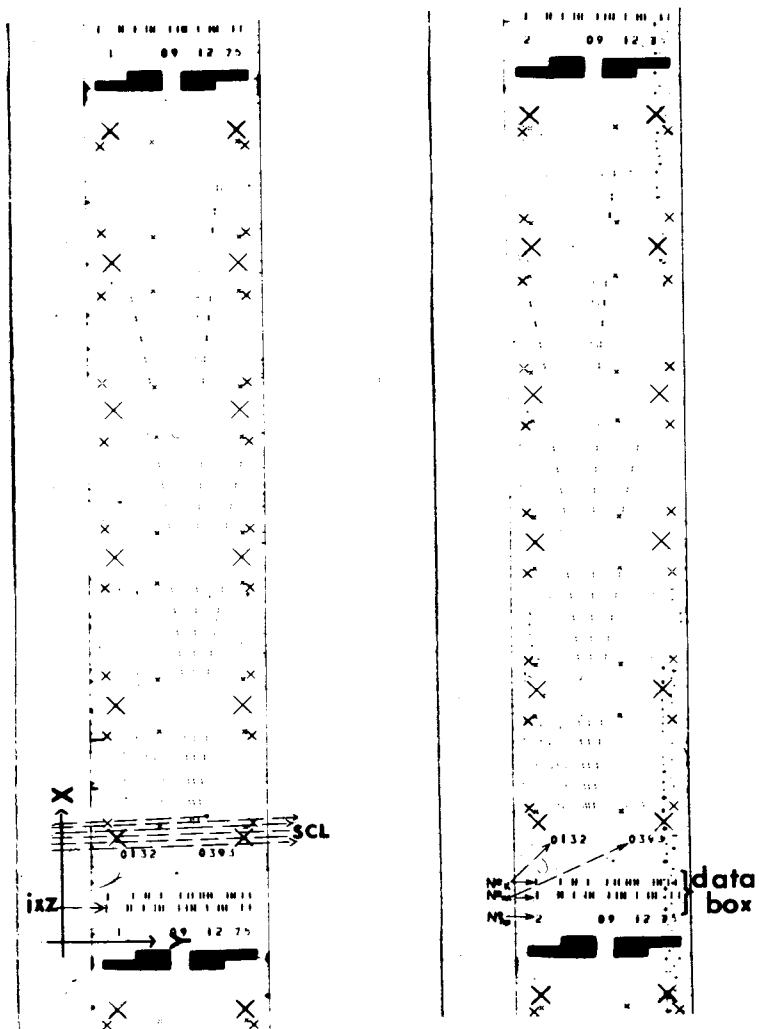


Рис. 1. Снимки двух стереопроекций одного события, Слева приведена схема развертки и системы координат.

Таблица 1
Основные характеристики сканирующего автомата HPD

Флятна (мкм)	Цена отсчета (мкм)		Разрешение (мкм)		Плотность строк (мкм)		Размер поля скан. (мм)		Время операций (с)			
	по X	по Y	по X	по Y	D=0	D=1	D=2	по X	по Y	разверт. строки	установка стола	подвод кадра
I2-I5	2.5	~ 1.5	25-40	55	I10	I20	I70	46	.0025	I.5-2	I-I.5	8-9

Таблица 2
Основные характеристики снимка МИС /ОИИИ/

Число проекц.	Размер снимка	количество и размеры реперных крестов		Размеры испр		Число зазоров	Число оптических систем
		Большие	Маленькие	Длина	Толщина		
2	35x170 мм ²	I2	20	~.4мм	~.05-01 мм	50x2	10

Таблица 3
Основные характеристики ЭВМ CDC-1604A

Число бит в слове	Объем памяти	Цикл памяти	Память на магнитных лентах		Скорость загрузки ленты	Скорость переноски	Число буферных каналов	
			Число НМЛ	Число дорожек				
48	32К	4.8 мкс	8	7	~10 ⁶ слов	3.7 м/с	8.6 м/с	6

5. Распознавание отдельных элементов изображения в пределах маски и восстановление объекта /координат/ по отсчетам найденного элемента.

6. Формирование стандартного массива результатов фильтрации и запись его на магнитную ленту.

Шаги 1 и 2 выполняются модифицированной подпрограммой HPDORD^{/5/}. Остальные шаги этой последовательности реализуются программами, сущность и результаты работы которых будут рассмотрены ниже.

Обнаружение и декодировка служебной информации

Описание служебной информации на снимках МИС приведено в работе^{/6/}. Алгоритмы поиска служебной информации учитывают, что на снимках, кроме полезной информации, могут быть случайные помехи различной природы. Так, алгоритм нахождения, распознавания и декодировки пакета штрихов /бит/ учитывает значительный разброс в точности установки снимка в рамке измерительного стола по обоим направлениям пленки /до 15 мм - вдоль и 1 мм - поперек/. Кроме того, учитываются также искажения типа царапин или потери отдельных бит в пакете /сбой при экспозиции или недопроявление пленки/. Подпрограмма TUMAN используется для поиска пакета бит. С помощью подпрограммы SOLVER^{/7/} она определяет границу области с пакетом бит. Для распознавания пакета по 3-5 строчкам раstra используются признаки, описывающие сам пакет, а также образ отдельной биты - ее размеры и непрерывность. После обнаружения начала пакета штрихов блок FINDBOX определяет место окончания пакета с учетом его возможного наклона относительно границ пленки до нескольких градусов. В результате работы подпрограммы TUMAN и блока FINDBOX определяется координата по X /число IXZ / середины пакета бит /рис. 1/.

При выходе IXZ за границы допусков происходит перемещение снимка на ± 1 кадр, перемер и повторный поиск. Фатальными исходами являются случаи сильного

искажения пакета бит или уход пакета из зоны сканирования.

Этап распознавания бит и восстановление кода выполняются подпрограммами GETCOD и SOLVER. Декодировка служебных номеров с обнаружением возможных ошибок и частичным их исправлением выполняется подпрограммами CODTON, KORR и NTCCOD. В системе ПРОМИС введены три блока для поиска служебной информации, определения номера пленки и номера кадра, а также соответствующие им экстракоды / FINDBOX, FILMNO и FRAMENO /. Время поиска района DATA BOX занимает от 1,5 до 3 с, а время получения служебного номера - 0,6 - 0,8 с, включая время распаковки и обращения к магнитной ленте.

Система реперных крестов на снимках МИС

На одной проекции снимка МИС измеряется 52 реперных креста /рис. 1/. По своему назначению и размерам все кресты делятся на три класса: большие оптические, камерные верхние и камерные нижние /табл. 2/.

При восстановлении пространственной картины события используются только камерные кресты. Для качественного восстановления необходимо знать минимум 3/4 полного набора крестов в каждой оптической системе. Большие реперные кресты используются программами фильтрации для формирования зон поиска в плоскости снимка.

Большое количество крестов и их разнотипность служат существенными ограничениями при создании надежного и быстрого алгоритма поиска реперных крестов, работающего к тому же в режиме подкачки упакованных данных с магнитной ленты. В этих условиях стратегия поиска креста направлена на сокращение количества вспомогательных операций /распаковка данных на сканлинии и т.д./ в расчете на один реперный крест.

Подпрограмма GETFID ведет поиск всех реперных крестов, развернутых пакетом SCL в одном цикле анализа отсчетов. Используя динамический принцип распределе-

ния памяти, подпрограмма GETFID обладает ресурсами для одновременного поиска всех разнотипных крестов в заданной области снимка. Алгоритм распознавания реперных крестов, используемый в ПРОМИС, изложен в работе /8/ и здесь не обсуждается. Рассмотрим более подробно принцип организации поиска всех крестов на снимке и результаты работы подпрограммы GETFID.

Процесс обработки изображения начинается с поиска опорного реперного креста. Используя координату IXZ и параметры снимка, подпрограмма GETLIM вычисляет зоны поиска больших реперных крестов. Поиск опорного креста ведется среди 12 больших крестов. Найденный первый крест принимается в качестве опорного, а его координаты используются для вычисления границ поиска других крестов.

Работа GETFID начинается с вычисления границ зон поиска $\{Z_k\}$ в обоих направлениях для реперных крестов указанного класса. Затем, из всех отсчетов на одной сканлинии формируются последовательности координат IX и IY, попадающие в зоны $\{Z_k\}$, которые служат входной информацией для подпрограммы SOLVER. Одновременно происходит коррекция параметров поиска плеч реперных крестов. Критерии отбора точек на плече заложены в подпрограмме DECIS, которую SOLVER использует в качестве теста для испытания очередной точки из входной последовательности. В алгоритме DECIS заложен принцип слежения за отрезком заданного направления. Возможен также режим коррекции направления по результатам частично найденных точек плеча.

Набор параметров настройки предусматривает возможность поиска реперных крестов при наличии помех типа постороннего шума или потери отдельных частей креста. Значения этих параметров сведены в табл. 4,

Таблица 4.

Тип реперных крестов	Размеры		Геометрические параметры (HPD-единицы)					Количественные параметры			
	INX	INY	T	TMAX	W	RMN	RMX	MINP	MAXP	MINF	MAXF
Большие	1000	2000	10.	38.	1.01	23.	300	12	50	2	6
Верхние	750	600	15.	38.	1.0	23.	350	4	28	2	5
Нижние	300	300	15.	38.	1.0	23.	250	4	18	2	5

где

- INH, INY - размеры креста /в единицах отсчета IPD /;
- T - допуск при вычислении прогнозируемой точки на очередной сканлинии;
- TMAX - допуск на разброс точек при поиске начала плеча. Этот параметр позволяет исключать отсчеты на концах плеч реперного креста;
- W - начальное значение абсолютного значения тангенса наклона плеча;
- RMN, RMX - определяют эффективную зону поиска очередной точки на плече. Используются для исключения точек в центральной зоне креста;
- MINP, MAXP - минимальное и максимальное число точек на одном плече;
- MINF - число соседних SCL, на которых не появлялись отсчеты плеча;
- MAXF - используется для выброса случайных линий, попавших в область поиска креста, а также для определения граничных точек на отдельном плече.

Приведенные в табл. 4 параметры можно корректировать через пультовый телетайп или на перфокартах /в свободном формате/ в процессе работы системы.

Принятие решения о завершении поиска реперного плеча делается на основе анализа величин N_j и F_j в соответствии со значениями истинности следующих выражений:

При

$$\{(N_j > \text{MINP}) \& (F_j > \text{MAXF})\}_k = 1 \quad \text{или}$$

$$\{(N_j \geq \text{MAXP}) \& (F_j \geq \text{MAXF})\}_k = 1$$

считается, что группа из N_j точек образует плечо k -го реперного креста. Если же $\{(N_j < \text{MINP}) \& (F_j > \text{MAXF})\}_k = 1$, то j -ый пакет отсчетов классифицируется как шум / F_j -

число соседних SCL, на которых не было отсчетов j -го плеча/.

После распознавания плеч подпрограмма GETFID анализирует результат этого распознавания и восстанавливает центры реперных крестов, определяющиеся точкой пересечения двух прямых, проведенных по МНК через систему точек соответствующих плеч. Найденные таким способом координаты центров запоминаются в специальных массивах.

Среднее время (t) поиска и восстановления реперных крестов составляет 5 с для 12 больших крестов и около 13 с для 40 камерных крестов, включая время распаковки и время работы с магнитной лентой.

Контроль качества измерений

Процедура контроля результатов восстановления координат реперных крестов введена, в первую очередь, для получения оценки качества измерений на снимке и служит эффективным инструментом для оператора, наблюдающего за измерительным процессом. Подпрограммы TRANSF и COEF реализуют процедуру контроля.

Сущность контроля качества измерений заключается в следующем. Выбранное подмножество центров реперных крестов, обнаруженное подпрограммой GETFID, натягивается на соответствующее ему подмножество эталонных крестов с помощью линейного преобразования:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ D & E \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C \\ F \end{pmatrix},$$

где X_M, Y_M - координаты измеренных крестов. Шесть коэффициентов этого преобразования определяются подпрограммой COEF из условия минимума величины χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{\{\phi\}} \{(X_E - X_T)^2 + (Y_E - Y_T)^2\},$$

где (X_E, Y_E) - эталонные координаты реперных крестов, а $\{\phi\}$ определяет выбранное подмножество контролируе-

мых крестов. В качестве подмножества $\{\phi\}$ можно выбрать $\{F_B\}$, $\{F_S\}$ или $\{F_B \cap F_S\}$, где $\{F_B\}$ и $\{F_S\}$ - подмножества больших и камерных крестов, найденных подпрограммой GETFID.

Критерием качества измерения на данном кадре служит неравенство:

$$\chi^2 \leq \text{const}, \quad (*)$$

где const - специально подобранная константа, соответствующая нескольким мкм на снимке. Результат совмещения данных измерения с данными эталона печатается в виде таблицы, в которой указывается величина ΔR для каждого реперного креста, величины отклонения по каждой координате $(\Delta X, \Delta Y)$ от X_E и Y_E . Приводится также максимальное значение ΔR и процент крестов, удовлетворяющих неравенству (*). Выдается информация о топологии общей картины восстановленных крестов.

В качестве эталонной системы реперных крестов можно взять либо данные измерения некоторого отдельного подходящего снимка, либо усреднить такие данные по серии снимков. Снимок считается хорошо измеренным, если на нем найдено не менее 75% реперных крестов для каждой оптической системы с максимальным отклонением от эталона около 5 мкм. Эти ограничения, при необходимости, легко изменяются в процессе измерения.

Описанная выше процедура использовалась также для выявления возможных систематических отклонений в измерениях, связанных с натяжением пленки в фильмовом канале или с искажениями оптической природы. При этом сравнивались системы реперных крестов, усредненных по измерениям серии снимков на автомате НРД и на полуавтоматическом устройстве /ПУОС/.

Результаты обработки реперных крестов

Рабочие характеристики подпрограммы GETFID были изучены на основе анализа результатов обработки изображений на снимках, полученных при различных сеансах. В результате такого анализа были определены вероятно-

сти распознавания каждого реперного креста для всех десяти оптических систем спектрометра, а также получены параметры по точности определения координат центра реперных крестов.

Для этих целей были получены распределения относительных* расстояний между отдельными реперными крестами по такой схеме /рис. 2/.

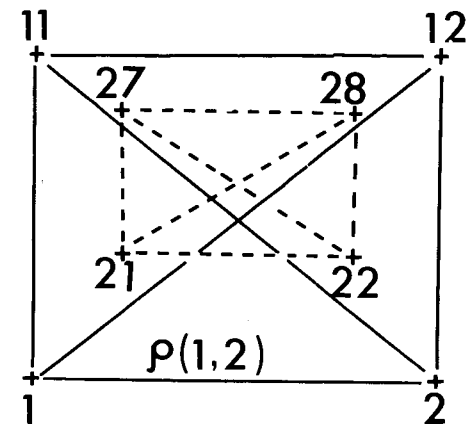


Рис. 2. Метки реперных крестов и расстояния, для которых строились распределения.

Обработка результатов показала, что примерно 98% реперных крестов /в объеме спектрометра/ распознаются с вероятностями $0,98 \leq P \leq 1$ для крестов верхней плоскости и $0,95 \leq P \leq 1$ для крестов нижней плоскости. При этом среднеквадратичная ошибка для вычисленных расстояний находится в пределах $2 \text{ мкм} \leq \sigma_p \leq 5 \text{ мкм}$.

На рис. 3 приведен пример распределения для $\rho(21, 27)$, построенного по результатам анализа 701 события на пленке № 393.

Исследования показали хорошую повторяемость результатов при многократном измерении одного и того же снимка. Распределения центров реперных крестов при этом характеризуются величиной среднеквадратичной ошибки в пределах 1 мкм.

* Распределения этих расстояний были получены в отделе искрового спектрометра ЛЯП А.Г.Гальпериным.

Изменение уровня дискриминации трекового сигнала при измерении на НРД практически не влияет на точность восстановления центров реперных крестов.

Фильтрация в границах искровых промежутков

Изображения искр на снимках МИС локализованы в границах искровых промежутков. На каждом стереоснимке имеется по 50 промежутков. Для эффективного распознавания искр весьма важным является знание точных границ каждого искрового промежутка. Вычисление этих границ составляет задачу маскирования на снимках МИС. С этой целью в подпрограмму распознавания искр (GETSPR) введена процедура самонастройки на предъявленную к измерениям партию снимков. Сущ-

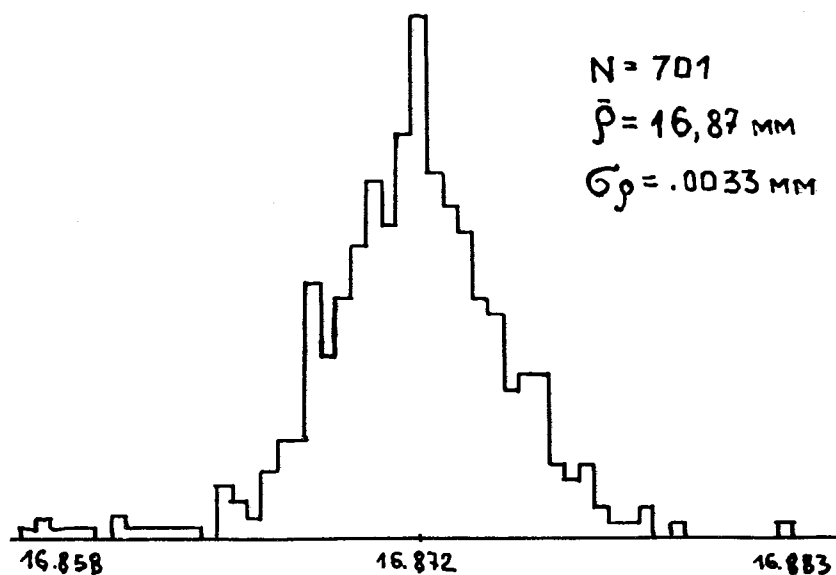


Рис. 3. Пример гистограммы.

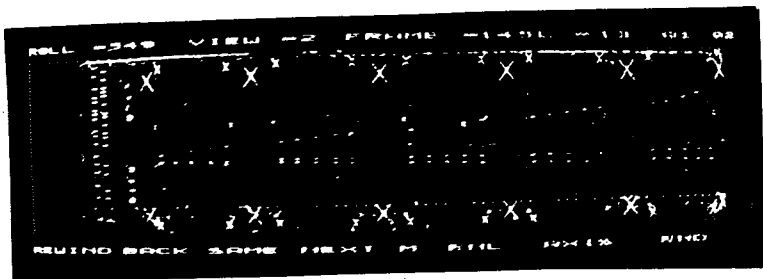
ность процедуры самонастройки состоит в анализе результатов сканирования специального снимка / стоп-кадра / и в выработке на основе данных этого анализа массива констант, задающих относительные расстояния между опорными реперными крестами и центрами искровых промежутков в плоскости снимка. На стоп-кадре в каждом искровом промежутке экспонировано по несколько десятков искр. Это позволяет использовать алгоритм поиска пакета бит служебной информации / подборкой значений параметров в подпрограмме TUMAN / при определении центра искрового промежутка.

По найденным центрам искровых промежутков и координатам опорных реперных крестов вычисляются константы, которые затем используются при измерении и обработке кадров данной партии снимков.

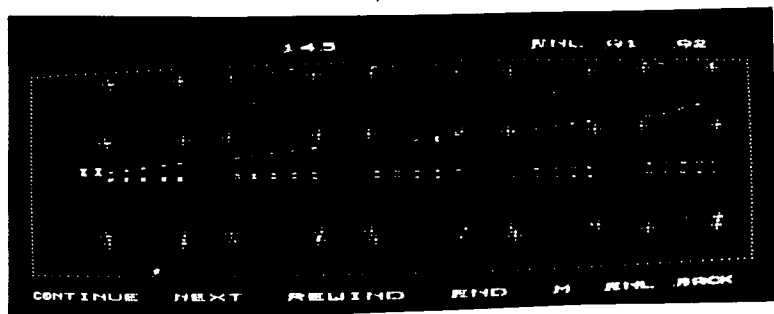
Формирование маски для искровых промежутков производится во время обработки каждого измеренного кадра по константам, полученным на этапе самонастройки. Алгоритм распознавания искр /8/ фактически реализует процедуру кластеринга по отсчетам в пределах вычисленной маски. Искра, как образ, определяется группой отсчетов на соседних сканлиниях, попадающих в прямоугольное окно заданных размеров. Размеры окна выбираются с учетом ширины и допустимого наклона искры в широкозачерных искровых камерах. Разброс отсчетов при сканировании искр на автомате НРД составляет 15-30 мкм и зависит от формы и плотности почернения самой искры. Восстановление координаты искры по отобраным отсчетам можно делать различными способами в зависимости от требований конкретного эксперимента.

В настоящей версии подпрограммы GETSPR центр тяжести группы отсчетов искры принимается в качестве восстановленной точки. Общее число отсчетов, порожденных одной искрой, ограничивается параметрами MINP и MAXP /3 и 8/. Учет этих ограничений в алгоритме поиска искр позволяет отбрасывать группы с числом точек, большим MAXP, классифицируя их как помехи. Это позволяет исключать отсчеты, полученные при сканировании сплошных царапин или других дефектов на снимках.

Иллюстрация результатов работы программ по обработке изображения на снимках МИС приведена на рис.4.



a/



б/

Рис. 4. Вид снимка на экране дисплея до обработки /а/ и после обработки /б/.

Фотографии получены с экрана дисплея /9/, используемого в системе для визуального контроля на различных этапах обработки.

Время поиска искр на одном снимке составляет 8-10 с для событий с 5-7 треками.

Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов показывает, что комплекс программ по обработке данных, полученных при сканировании снимков с МИС на автомате НРД, обеспечивает восстановление конечной информации на этапе измерения с хорошей надежностью и с использованием всех возможностей измерительного прибора и требований методики физического эксперимента.

Результаты промежуточных этапов работы этих программ показывают, что созданные алгоритмы распознавания элементов изображения на снимках характеризуются надежностью в пределах 95-100% и помехоустойчивостью к различного рода шумам и искажениям. Таким образом, обработку результатов сканирования снимков с магнитного искрового спектрометра ОИЯИ на автомате НРД можно вести в автоматическом режиме и без информации, полученной на стадии предварительного просмотра снимков.

Введение процедуры самонастройки на предъявленную партию снимков позволяет исключить этап предварительной "полуавтоматической" настройки и выработки управляющей информации, что значительно повышает эффективность и надежность процедур фильтрации. Производительность рассмотренного комплекса программ в настоящее время составляет примерно 130-150 снимков в час в условиях производственной эксплуатации системы.

Повышение производительности системы возможно за счет совмещения некоторых операций по обработке кадра с этапом сканирования путем оптимизации по времени исполнения алгоритма поиска района со служебной информацией, а также после исключения из анализа информации, не относящейся непосредственно к событию.

Предварительная оценка показывает, что в результате этого можно увеличить производительность системы примерно на 30% и значительно сократить количество магнитных лент, используемых на промежуточных этапах обработки.

Литература

1. Р. Анджек и др. Препринт ОИЯИ, 13-3588, Дубна, 1967.
2. В.Я. Алмазов и др. Сообщение ОИЯИ, 10-4513, Дубна, 1969.
3. Н.Н. Говорун, Н.Д. Дикусар. Материалы семинара по обработке физической информации. Стр. 218-223, Ереван, 1976.
4. В.Н. Шигаев. Сообщение ОИЯИ, 10-5968, Дубна, 1976.
5. И.И. Шелонцев, В.Н. Шигаев. Сообщение ОИЯИ, 10-5824, Дубна, 1971.
6. Е.М. Андреев и др. Сообщение ОИЯИ, 13-7763, Дубна, 1974.

7. Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар. Сборник докладов Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. ОИЯИ, Д10-6142, Дубна, 1972.
8. Н.Д.Дикусар. Сообщение ОИЯИ, 10-6626, Дубна, 1972.
9. А.В.Кавченко и др. Сообщение ОИЯИ, 11-6176, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 декабря 1976 года.