

Т-406

На правах рукописи

Тилипман Михаил Шимонович

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ БОЛЬШИХ ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕЛ
В ИНТЕРАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

01.01.10 - математическое обеспечение вычислительных
машин и систем

Дубна 1983

Работа выполнена в Московском радиотехническом институте АН СССР.

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук,
профессор ЕРМОЛОВ Павел Федорович

Кандидат физико-математических наук СЫЧЕВ Александр Юрьевич

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук,
профессор Пытьев Юрий Петрович

Кандидат физико-математических наук Дикусар Николай Демьянович

Ведущая организация: Институт теоретической и экспериментальной
физики, г. Москва

Защита состоится "1" декабря 1983г. в "10³⁰" час.
на заседании Специализированного совета Д047.01.04 при Лаборатории
вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ г. Дубна, Московской обл.

Автореферат разослан "31" октября 1983г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета
кандидат физико-математических наук

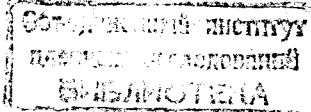
Иван З.М. ИВАНЧЕНКО

I

Актуальность проблемы. Современное состояние электронной и вычислительной техники позволило ставить и решать задачи автоматической обработки экспериментальных данных, регистрируемых на фотопленку, что имеет широкое применение в различных областях науки и техники. Функции ЭВМ в системах обработки заключаются как в проведении научных расчетов, так и для управления измерительной аппаратурой в реальном времени, диалога с оператором, обработки измерений и ведения архива эксперимента.

Автоматизированные измерительные системы стали непременным инструментом исследований в физике высоких энергий. Эксперименты на пузырьковых камерах требуют обработки большого количества фотоснимков с достаточно сложной и разнообразной информацией. Выделяются два этапа: первичный измерительный (фильтрация и сжатие информации) и физический (реконструкция взаимодействия (событий) в пузырьковой камере, проверка гипотез). На физическом этапе в различных научных центрах используются, как правило, одни и те же пакеты программ на мощных ЭВМ, что дает возможность сопоставлять результаты, обмениваться итогами в рамках международного сотрудничества по эксперименту.

В отличие от этапа физической обработки, математическое обеспечение, осуществляемое в реальном времени процесс измерения и фильтрации, существенно различно в различных центрах. Это обусловлено разнообразием измерительных приборов, работающих под управлением различных ЭВМ.



В современных измерительных системах сочетается диалог с оператором, распознающим и измеряющим особо сложные участки изображения, и автоматические процедуры фильтрации, освобождающие оператора от рутинной работы. Такой подход необходим для обеспечения производительности обработки современных экспериментов на больших пузырьковых камерах - БПК (пришедших на смену так называемым классическим камерам), для которых характерны большой объем требуемой статистики эксперимента (до I млн стереоснимков) и резкое усложнение изображения.

Принцип действия практически всех современных автоматических устройств измерения фотоснимков состоит в том, что световой поток, сфокусированный в некоторую точку снимка, модулируется плотностью изображения в этой точке, оцифровывается и вводится в ЭВМ. Организация автоматического сканирования, фильтрация полезной информации и вычисление координат точек треков входит в задачу программного обеспечения.

Сложность алгоритмов автоматической обработки трековых изображений такова, что производительность системы, т.е. скорость измерения при заданных уровнях погрешности и надежности результатов, связана прежде всего с качеством программного обеспечения. Однако предельно достижимые характеристики системы определяются возможностями сканатора: параметрами светового пятна, способом и скоростью изменения его положения, качеством измерений и т.п. В этом смысле серьезными преимуществами обладают ЭЛТ-сканаторы, удачно сочетающие довольно высокую скорость движения луча с возможностью произвольного доступа в любую точку снимка, что позволяет, частности, совмещать в рамках одной системы автоматический режим измерения с диалоговой ручной обработкой особо сложных фрагментов изображения.

Усложнение изображения в экспериментах на БПК привело к росту частоты отказов алгоритмов автоматической обработки, в результате чего значительную часть снимков полностью или частично приходится обрабатывать ручным способом. Это приводит к резкому снижению производительности в ЭЛТ-системах - о 30 - 40 событий в час для классических камер* до 3 - 4 событий в час для БПК** Учитывая, что производительность обработки современных сложных экспериментов является одной из определяющих характеристик, анализ математических моделей, построение алгоритмов и программного обеспечения автоматической обработки снимков БПК на ЭЛТ-автоматах в свете современных достижений математики и вычислительной техники представляется весьма актуальным.

* Berge J.P., et al., In Proc. of Int. Conf. of Data Handling Systems in High Energy Physics, Cambridge, 1970

** Diezermann H., Status of the ERASME system, CERN/EF/INSTR 76-7, Geneva, 1976.

Состояние вопроса. Организация современных систем обработки на базе сканаторов обычно предполагает наличие иерархии нескольких процедур, начиная от быстрых и относительно простых алгоритмов автоматического анализа, за которыми следуют более медленные, но и более надежные алгоритмы, и кончая диалоговыми процедурами ручной помощи оператора.

Развитие методов автоматической обработки снимков БПК было направлено, в основном, на увеличение надежности процедур автоматической обработки за счет усложнения алгоритмов, создания алгоритмов, эффективно учитывающих особенности камеры, специфику конкретного эксперимента. Эти усовершенствования хотя и привели к достижению необходимого уровня эффективности обработки (оцениваемого по доле брака в результатах реконструкции геометрических и кинематических параметров событий), но не приблизили производительность к ранее достигнутым показателям.

В диссертации выделено несколько причин в основе запятости и повышения производительности.

1. За основу "быстрых" алгоритмов были взяты алгоритмы обработки снимков с "классических" камер без глобального анализа особенностей снимков БПК. Ориентация на эволюционное развитие измерительных систем для БПК в плане создания МО приводит в ряде случаев к неадекватности применяемых алгоритмов решаемым задачам. Так, если для классических камер типичной была ситуация выделения трека из фона случайных отсчетов, то для БПК - выделение трека из совокупности других, близких по параметрам, треков.

2. При построении иерархической схемы обработки недостаточно внимания уделялось вопросам принятия решений, в частности, об успешности завершения первичной обработки. Поэтому для снимков БПК велика доля забракованных на стадии реконструкции треков (а следовательно и событий). Основной причиной брака является плохая согласованность трековых измерений. Также мало внимания уделялось адекватному (по сложности) назначению процедур обработки: недооценка, как и переоценка, сложности фрагмента изображения ведет в конечном счете к непроизводительным затратам времени.

3. С этой точки зрения существенно, что процедуры принятия решений зачастую отсутствуют уже на начальном, как правило реализованном в аппаратуре, этапе снятия информации, снимаемой с фотопленки. Причем погрешности принимаемых на этом этапе решений часто уже не могут быть компенсированы в дальнейших программных процедурах.

Цель работы — исследование принципов построения и реализация базового МО автоматической обработки, ориентированного на снимки БПК. Задачей этого МО является обработка основного объема информации, причем скорость измерения должна быть значительно выше скорости альтернативных специализированных процедур (и естественно оператора), чтобы оставить основу повышения производительности.

Условием разработки является ориентация на ЭВМ среднего класса. Быстродействие определяется временем автоматических процедур: оно должно быть сравнимым с временем получения измерений. Точностные характеристики оцениваются по результатам реконструкции геометрических и кинематических параметров событий, их согласованности с результатами обработки тех же фильмов на других прецизионных приборах.

В работе сделана попытка с единых позиций адекватности результирующих алгоритмов исходной задаче подойти к решению ряда ключевых вопросов построения МО автоматической обработки снимков БПК в интерактивной электронно-лучевой измерительной системе. Эти вопросы:

- формализация основных задач;
- математический аппарат решения конкретных задач;
- структура отдельных алгоритмов и комплекса программ.

В данную работу входит:

- анализ основных особенностей автоматической обработки информации на снимках БПК; выделение участков, критических по производительности; постановка задач, решение которых способно привести к значимому повышению производительности;
- разработка математического аппарата решения узловых задач, ориентированного на применение в условиях системы реального времени без использования мощных ЭВМ и электроники с предельными показателями быстродействия и прецизионности;
- разработка алгоритмов и структуры программного обеспечения выделенных задач автоматической обработки;
- разработка структуры МО конкретной ЭЛТ-системы (ЭЛАС);
- экспериментальное исследование эффективности принятых решений на системе ЭЛАС.

Научная новизна. В итоге анализа процессов автоматической обработки выделены участки, на которых при переходе к снимкам БПК произошло снижение производительности ранее эффективных алгоритмов. Получена адекватная математическая интерпретация решаемых здесь вопросов в классе линейных обратных задач. Отмечено, что они являются некор-

ректно-поставленными задачами (НПЗ) и характерная их особенность — малое количество исходных данных — присуща многим задачам обработки косвенных наблюдений.

Для выделенного класса задач разработан аппарат построения алгоритмов, базирующийся на методе регуляризации А.Н.Тихонова, и позволяющий определять вид решения и способ дискретизации, адекватные математической модели задачи. В условиях малого числа измерений схема дискретизации требует особого внимания, так как неудачный выбор может существенно исказить результаты даже при использовании адекватных математических методов.

Разработанный аппарат позволил определить схему организации программного обеспечения, обеспечившую решение задач обработки в миллисекундном диапазоне реального времени измерений при использовании ЭВМ среднего класса.

Найдено адекватное решение задачи выделения элемента трека по гистограмме отсчетов, определяющаяся сплайнами 4-й степени. Найден локальный базис этого подпространства и оптимальная аппроксимация линейных оценок, к которым сводится алгоритм выделения при анализе представленного пиком гистограммы распределения отсчетов.

Разработан тест достоверности измерений трека, заключающийся в детектировании грубых погрешностей и изломов трека. Адекватная модель этой задачи состоит в аппроксимации измерений трека гладкой линией при наилучшем среднеквадратичном приближении его кривизны. Точным решением этой аппроксимационной задачи является кубический сплайн и тест сводится к анализу локальных кривизн.

Разработан метод повышения разрешения треков, основанный на программном восстановлении исходной прозрачности фотонизображения трека: решение обратной задачи сканирования при известной функции распределения яркости сканирующего пятна ЭЛТ. Найдены адекватные задаче краевые условия и определен локальный базис пространства решений. Показано, что полученная математическая модель и ее решение с достаточной точностью описываются локальными сплайнами 4-й степени.

Предложенная денситометрическая обработка может быть использована в реальном времени и позволяет обрабатывать фотоснимки с объектами, характерные размеры которых сравнимы и меньше размеров пятна ЭЛТ.

Реализация. Разработанные принципы построения общего МО автоматической обработки информации на снимках БПК реализованы в электронно-лучевой автоматизированной системе ЭЛАС, эксплуатировавшейся в ИФВЭ

Общий объем созданного автором или под его непосредственным руководством программного обеспечения составил около 9 тысяч операторов языка Фортран и автокода использованной ЭВМ. При этом, кроме упомянутых выше процедур автоматической обработки в режиме реального времени, автором были разработаны вошедшие в комплекс МО ЭЛАС программы подготовки входной информации, сборки результатов, входной процедур в программу геометрической реконструкции, программы обработки статистических данных о ходе и результатах измерений. Был обработан ряд фильмов к \bar{p} - и $\bar{p}\bar{p}$ - экспериментов при 32 Гэв/с на пузырьковой камере Мирабель. Эксплуатация проводилась штатными операторами ИФВЭ, фильмы к \bar{p} - эксперимента использовались для тестирования системы, а измерения фильмов $\bar{p}\bar{p}$ - эксперимента вошли в физическую статистику.

Анализ обранных в процессе эксплуатации данных подтвердил выход на ориентировочные показатели:

- Время быстрой фильтрации трека составило от 2 до 4 секунд на трек, причем на обработку одного микрорастра требуется 20мс при 10мс чистого времени оцифровки. Это, в частности, позволило достичь итогового показателя производительности 6-9 событий в час при показателях точности определения кинематических параметров, не уступающих аналогичным показателям измерений тех же событий на существующих автоматических приборах (сравнение проводилось с НРД в ИФВЭ).

- Применение теста достоверности измерений трека позволило уменьшить брак реконструкций событий в среднем на 20%, вследствие чего, в частности, характеризующее точность остаточное средноквадратичное отклонение уменьшилось на 8-10%. Время тестирования не превышает 2% полного времени измерения трека.

- Применение цифрового восстановления прозрачности трекового изображения позволило, без изменения характеристик аппаратуры сканатора, повысить разрешение вдвое по сравнению с традиционными подходами к выделению трековых сигналов. При типичных для БПК размерах треков границы их разрешения составляют: 60 - 70 мкм при традиционных подходах, около 45 - 60 мкм при денситометрическом подходе без восстановления и 25 - 30 мкм при анализе восстановленной "исходной" прозрачности трековых изображений.

Практическая ценность. Результаты данной работы были внедрены в МО ЭЛАС и проверены в эксплуатационном режиме в ИФВЭ на снимках с камер "Мирабель". Разработанные решения могут также использоваться при создании аналогичных систем. Результаты расчетов свидетельствуют

о целесообразности размещения разработанных компонент МО целиком в современной управляющей ЭВМ, что дает возможность существенно сократить время автоматической обработки. Результаты работы использованы в автоматизированной ЭЛТ-системе, принятой в качестве базовой автоматической линии комплексного центра обработки фильмовой информации в НИИЯФ МГУ.

Развитый в работе аппарат решения задач интерпретации малого количества косвенных интегральных измерений был использован при разработке измерительно-вычислительных систем и в других областях. Так, в задаче диагностики плазмы методами СВЧ применение этого метода^{*} позволило получить новые в данной области результаты, повышающие как разрешающую способность, так и точность восстановления плотности распределения электронов.

Апробация и публикации. Постановка задачи, основные положения диссертации, результаты исследований и эксплуатации разработанного МО были доложены на Всесоюзном совещании по системам автоматизации научных исследований (Рига, 1975), Всесоюзных семинарах по обработке физической информации (Ереван, 1975, 1977), Всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Алма-Ата, 1978) на семинарах в МРТИ АН СССР, ИФВЭ, ЛВТА ОИЯИ, факультета ВМиК МГУ и опубликованы в работах /1- 8/.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 4 Приложений. Объем диссертации составляет 128 стр. текста и 17 рисунков. Список литературы включает 122 наименования.

Во введении излагается основная цель работы, ее актуальность и место в общей задаче построения МО автоматической обработки снимков. Приводятся данные по распределению материала в диссертации.

В первой главе содержится обзор состояния обсуждаемых вопросов, анализ цепочки обработки и выделено три основных звена, наиболее ограничивающих производительность измерительной системы.

Во-первых, снижение скорости автоматической обработки не соответствует степени усложнения снимков БПК по сравнению с "классическими" камерами и обусловлено тем, что в рамках режима быстрой автоматической фильтрации обрабатывается недостаточная доля треков. Поэтому

* И. Н. Коскалев, М. Ш. Тилипман "О восстановлении плотности распределения электронов из многомодовых резонаторных измерений" в кн. "Сборник научных трудов ВНИИТРИ" под ред. Н. Г. Власова, 1982, с. 32-44.

необходим быстрый и адекватный анализ ситуаций распознавания и соответствующий их сложности выбор алгоритмов обработки.

Во-вторых, значительно увеличившийся процент брака реконструкции событий объясняется, в основном, наличием в наборе опорных точек трека неотфильтрованных грубых погрешностей. Ввиду присущих этому поколению камер искажений (широкоугольной оптики, неоднородности магнитного поля и др.) форма треков на проекциях усложнилась. Поэтому необходима разработка теста достоверности измерений, свободного от параметрического задания формы трека.

В-третьих, для повышения уровня автоматизации обработки этих экспериментов необходимо повысить разрешение треков в измерительном тракте прибора. Именно порог разрешения определяет в конечном счете успешность автоматической обработки в ситуациях, когда ширина треков и расстояния между ними сравнимы с размерами сканирующего пятна ЭЛТ. Поскольку такие ситуации характерны для БИК (тонкие, близкие треки, пересекающиеся под малым углом), а современное состояние технических средств не позволяет аппаратно увеличить разрешение приборов рассматриваемого класса, возникает задача разработки алгоритма повышения разрешения треков. Приводится аргументация целесообразности пересмотра ранее принятых решений этих задач как в чисто автоматических, так и в интерактивных измерительных системах. Показано, что адекватная математическая постановка выделенных задач, относящихся к основному тракту автоматической обработки треков, определяет их как некорректные обратные задачи интерпретации малого числа косвенных линейных интегральных наблюдений.

Вторая глава посвящена разработке математического аппарата, необходимого для решения поставленных задач. Центральное место занимает анализ структуры решения и выбор метода реализации в рамках пригодных для работы на ЭВМ среднего класса в реальном времени при автоматических измерениях.

В рамках метода А.Н. Тихонова среди функций, удовлетворяющих условиям $B_k[x] = 0$ ищется решение $x_\alpha = x_\alpha(t)$ из условия минимума функционала $\Phi_\alpha[x] = \|z - A[x]\| + \alpha \Omega[x]$, где $z = \{A_i(\omega)z_i\}$ - вектор измерений; $A_i[x]$ - набор аппаратных функций измерительного прибора; $i = 1, 2, \dots, N$; α - коэффициент регуляризации и $\Omega[x]$ - стабилизирующий функционал вида $\int \|L[x(t)]\|^2 dx$ при фиксированном дифференциальном операторе $L[x]$.

Уравнение Эйлера для нахождения $\min \Phi_\alpha[x]$ при линейных операторах B_k и L в общем случае является интегро-дифференциальным, но для рассматриваемого класса задач оно сводится к краевой задаче для обыкновенного дифференциального оператора L^*L :

$$\alpha L^*L = \sum_{i=1}^N \left\{ z_i - \int A_i(t)x(t)dt \right\} A_i(t)$$

В рассматриваемых задачах B_k и L таковы, что для (I) существует функция Грина $\Gamma(t, \xi)$, и решение x_α представимо в виде $\sum \lambda_i h_i(t)$, где $h_i(t) = \int \Gamma(t, \xi) A_i(\xi) d\xi$, а вектор $\lambda = \{\lambda_i\}$ находится из $\lambda = (G + \alpha I)^{-1} z$,

где I - единичная матрица, а $G_{ij} = \iint A_i(t)\Gamma(t, \xi)A_j(\xi) dt d\xi$.

Полученная таким образом схема дискретизации однозначно определяется набором аппаратных функций, краевыми условиями и видом стабилизирующего функционала.

В ряде задач, в т.ч. при анализе пиков гистограммы, конечной целью обработки наблюдений неявно заданной зависимости является не полное ее восстановление, а оценка некоторых линейных непрерывных функционалов (ЛНФ) от этой зависимости. Используя найденный базис $\{h_i\}$ и теоремы Сарда-Шёнберга об эквивалентности оптимальных аппроксимаций ЛНФ получены алгоритмы оптимального оценивания в выделенном классе задач обработки.

Возможность работы алгоритмов решения выделенных задач в миллисекундном диапазоне реального времени обеспечена тем, что в рамках разработанного аппарата достигнуто разделение алгоритмов на подготовительные, которые не используют данных измерения и могут, следовательно, выполняться автономно, и рабочие, причем последние являются быстрыми процедурами типа скалярного произведения.

Третья глава содержит собственно решение трех выделенных в главе I задач автоматической обработки трековой информации.

Для каждой задачи проводится: построение математической модели путем анализа задач с привлечением априорных сведений об обрабатываемом объекте, шумах измерения и тп.; исследование структуры решения при применении адекватных этой модели методов, построение схемы реализации и оценка быстродействия алгоритма.

В основе алгоритма первой задачи - быстрой оценки ситуации при распознавании трека - лежит интерпретация пика гистограммы отсчетов микроаэра как выборочной плотности распределения условной вероят-

ности принадлежности отсчетов треку при данном соотношении направлений трека и микрорастра сканирования. Применение аппарата аппроксимации ЛНФ из гл.2 позволяет сочетать адекватные оценки моментов с высоким быстродействием алгоритмов.

В программе фильтрации оцениваются моменты распределения отсчетов, производится выбор сегмента трека из помех, анализ согласованности с предсторией слежения по треку и назначение режима дальнейшей обработки. Вычисление базиса в пространстве решений и коэффициентов оптимальных оценок для моментов вынесены в Приложения I и 2.

Быстрый тест достоверности измерений треков, полученных как в автоматическом режиме, так и в результате ручных измерений оператора, основан на критерии плавности изменения локальной кривизны трека, что позволяет отказаться от параметрического задания формы трека. Отбраковка подлежит точки флуктуаций локальной кривизны. Адекватная модель этой задачи состоит в аппроксимации опорных точек гладкой линией с наилучшим среднеквадратичным приближением вторых производных, что приводит к построению кубического сплайна, аппроксимирующего опорные точки трека, и детектированию флуктуаций его локальной кривизны. При обнаружении таких флуктуаций проверяются гипотезы об изолированной особенности (кратковременный сбой) и об изломе (действительном - изменение траектории частицы, или мнимом - вследствие перехода программы фильтрации на другой трек). Приложение 3 содержит статистическое обоснование теста.

Алгоритм улучшения разрешения треков при их автоматической обработке основан на компенсации исходной прозрачности трекового изображения по известной функции распределения яркости пятна ЭЛТ, в качестве которой выбрано Гауссово распределение. Для получения линейной модели измерения и быстрой схемы восстановления в качестве измеряемой функции выбрана интегральная прозрачность, а не плотность, как это обычно принято. В этом случае дециматрическая обработка может быть использована в реальном времени при сканировании зоны снимка серией сканиний, ориентированных по треку.

Результурующий алгоритм использует аппроксимацию исходной прозрачности локальными сплайнами 4-й степени. Линейное пространство решений получено специальным выбором однородных краевых условий, сохраняющих тенденцию поведения сигнала в приграничной зоне. Вычисления базисных функций содержатся в Приложении I.

В четвертой главе излагается структура, состав и отличительные особенности автоматизированной измерительной системы ЭЛАС, включающей управляющую ЭВМ "Электроника-100" и центральную ЭВМ среднего класса ICL-1903A. Описана структура разработанного программного обеспечения, связи между измерительной программой и другими составляющими МО системы. Схема оверлейной структуры измерительной программы приведена в Приложении 4.

Рассмотрены особенности использования разномасштабных реальных координатных систем экрана сканатора и генератора микрорастра.

Описана дисциплина хранения данных в системе и взаимодействие функциональных компонент программного комплекса в рамках специальной версии системы HYDRA, вспомогательные сведения о которой вынесены в Приложение 4. Показано, что в задачах автоматизированной обработки на ЭЛАС возможно такое планирование заполнения динамической памяти, при котором практически не требуются операции реорганизации памяти.

Отдельно рассмотрено взаимодействие процедур быстрой фильтрации с другими компонентами обработки треков. Рассмотрена задача раннего диагностирования ситуаций, требующих смены режима обработки данного трека или помощи оператора.

Пятая глава содержит данные о функционировании программного комплекса, точностные и технологические характеристики результатов эксплуатации ЭЛАС в ИФЭЗ. Приведен анализ эффективности разработанных алгоритмов и программ.

Измеренное быстродействие процедур фильтрации, в рамках базового режима автоматической обработки, составило 2-4 сек/трек. Причем из общего количества автоматически обработанных треков 60% обработано полностью по алгоритмам базового МО, а 30% было обработано в "коллективном" режиме (с переключением на более мощные, но и менее быстрые процедуры). Эффективность принятия решений о переключении режимов отражает среднее время автоматической обработки 6 сек/трек, в то время как при альтернативных вариантах это время оценивается в 10-12 сек/трек. Время расчета опорной точки трека на ЭВМ составляет 20 мс/точку при 10 мс "чистого" времени сканирования микрорастра, из отсчетов которого выделен представляемый этой точкой участок трека.

Эффективность теста достоверности измерений трека характеризуется сравнением результатов реконструкции событий при использовании этого теста и без него. Достоверность измерений увеличена в среднем

на 20% при уменьшении погрешности на 8 - 10%. Время тестирования не превышает 2% общего времени измерения трека. Использование программного восстановления прозрачности фотоизображения привело к существенному повышению разрешения треков. На снимках камеры Мирабель разрешение повысилось вдвое - от 60-70 микрон до 25-30 микрон.

Проведено сравнение точностных характеристик с другими приборами на экспериментальном материале одних и тех же фильмов рр-экспонента на камере Мирабель. Результаты сравнения свидетельствуют о достижении параметров необходимых для обработки рассматриваемого класса физических экспериментов.

В заключении перечислены основные результаты диссертации.

Приложения к диссертации содержат вычисления, охваты, форматы и другой вспомогательный материал.

Основные результаты. В работе предложено новое решение актуальной задачи построения производительных алгоритмов реального времени, образующих базу программного обеспечения автоматической обработки информации со снимков с больших пузырьковых камер в системе с ЭЛТ-сканатором. С единих позиций адекватности результирующих алгоритмов исходным задачам последовательно проанализированы критичные по производительности участки автоматической обработки, формализованы содержащиеся там задачи, исследован математический аппарат и определена структура результирующих программ.

В результате был разработан комплекс программ, составивший ядро МО автоматической обработки снимков БПК Мирабель в ЭЛТ-системе ЭЛАС.

В ходе разработки получены результаты, представляющие самостоятельный научный интерес.

1. Показано, что ряд задач математического обеспечения, которые определяют производительность автоматической обработки снимков больших пузырьковых камер, являются по существу некорректными обратными задачами с малым количеством исходных данных.

2. Разработан метод построения алгоритма решения задач выделенного класса, позволяющий по конкретной математической модели задачи получить адекватное ей вид решения и способ дискретизации.

3. На базе данного метода разработана схема организации программы, обеспечивающая решение задач обработки в реальном времени миллисекундного диапазона на ЭВМ среднего класса.

Показано, что при естественных моделях процессов обработки точные решения выделенных задач определяются в классе сплайнов.

4. Впервые рассмотрен метод улучшения разрешающей способности тракта трековых измерений ЭЛТ-автомата, основанный на адекватной цифровой схеме восстановления прозрачности изображения трека. Показано, что с достаточной для практики точностью реализация метода может быть построена с использованием сглаживающих сплайн-аппроксимаций не выше 4-ой. Показано, что предложенная денситометрическая обработка может быть использована в реальном времени при сканировании зоны кадра серийой строк, ориентированных по треку.

5. Проведены экспериментальные исследования денситометрической обработки и показано, что на снимках камеры Мирабель разрешение треков может быть увеличено вдвое без изменения аппаратуры сканатора.

6. Разработан алгоритм оценки моментов по гистограмме, адекватный обратной задаче восстановления плотности распределения, для которой найдено точное решение в классе сплайнов 4-ой степени. Применение этого алгоритма для выделения элемента трека позволило обработать основной объем треков на снимках камеры Мирабель в темпе сканирования.

7. Разработан быстрый тест достоверности результатов измерения треков, не требующий априорного знания формы трека, основанный на детектировании флуктуаций локальной кривизны. Показано, что адекватное решение этой задачи приводит к анализу кубического сплайна, аппроксимирующего опорные точки трека.

Л и т е р а т у р а

1. Силин А.Я., Эрлихман Г.А., Тилипман М.Ш. и др. Структура системного математического обеспечения автоматизированного комплекса обработки фильмов пузырьковой камеры. Труды Всесоюзной конференции по системному программированию, Рига, 1975, с.133-137.
2. Тилипман М.Ш. Организация и методы прослеживания треков в автоматизированной системе ЭЛАС, Труды РИ АН СССР №26, 1976, с.64-69.
3. Тилипман М.Ш. Применение интерполяционных сплайнов для анализа достоверности опорных точек треков на снимках с пузырьковых камер. Труды РИ АН СССР №26, м.1976, с.70-80.
4. Тилипман М.Ш. Применение интерполяционных сплайнов в обработке трековой информации в системе ЭЛАС. Материалы Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, изд-во ЕрФИ, 1976, с.426-433.
5. Силин А.Я., Тилипман М.Ш., Деварт А.Ф. и др. Математическое обеспечение системы обработки фильмовой информации на базе ЭЛТ-сканатора, Материалы Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, изд-во ЕрФИ, 1976, с.330-335.
6. Тилипман М.Ш. О решении регуляризованной задачи восстановления сигнала, Труды РИ АН СССР №40, м., 1981, с.62-69.
7. Уваров В.А., Силин А.Я., Тилипман М.Ш. и др. Результаты, полученные на системе ЭЛАС в режиме массового обмера снимков с камеры Мирабель. Тезисы докладов Второго всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике, Алма-Ата, 1978, препринт ИФВЭ АН КазССР №83-79, 1979.
8. Силин А.Я., Тилипман М.Ш. Анализ результатов эксплуатации математического обеспечения ЭЛТ- системы ЭЛАС, Труды РИ АН СССР №40, 1981, с.14-24.

Тилипман

Т-17554. Подписано к печати 28.09.83г.
Заказ №6320. Тираж 100экз. МРТИ, ОНТИ.