

Приведены оценки погрешностей ввода и обработки интерферограмм при использовании разработанных алгоритмов. Предложены способы снижения указанных погрешностей.

Эффективность оптимизированного варианта ГИС иллюстрируется на примере исследования остаточных напряжений в плоском образце. Показано, что случайный разброс остаточных напряжений обусловлен не только случайными погрешностями измерений, но и индивидуальными особенностями образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишняков Н. А., Грингауз Г. Д., Рудзей Г. Ф. Остаточные напряжения в образцах с отверстием при действии статических и циклических нагрузок.— Проблемы прочности, 1978, № 12.
2. Козачок А. Г. Голографические методы исследования в экспериментальной механике.— М.: Машиностроение, 1984.
3. Количественная расшифровка голографических интерферограмм: Методика.— Горький: Горьковский филиал ВНИИМаша Госстандарта СССР, 1982.
4. Вест Ч. Голографическая интерферометрия.— М.: Мир, 1982.
5. Писарев В. С., Яковлев В. В., Щепинов В. Ю. Оценка точности определения компонентов вектора перемещений в методе голографической интерферометрии.— В кн.: Физика и механика деформации и разрушения. М.: Энергоиздат, 1981, вып. 9.
6. Nobis D., Vest C. M. Statistical analysis of errors in holographic interferometry.— Appl. Opt., 1978, v. 17, p. 2198.
7. Крамер Г. Математические методы статистики.— М.: Мир, 1975.
8. Гинзбург Э. С., Гришанов А. Н., Де С. Т., Козачок А. Г., Кухаренко А. В. Экспериментальное исследование характеристик спекл-структуры голографических изображений.— В кн.: Системы автоматизации обработки оптической информации. Новосибирск, 1984.
9. Антонов А. А., Бобрик А. И., Морозов В. К., Чернышев Г. Н. Определение остаточных напряжений при помощи создания отверстий и голографической интерферометрии.— Изв. АН СССР. Сер. Механика твердого тела, 1980, № 2.
10. Чернышов Г. Н., Антонов А. А. Методика определения остаточных напряжений при помощи создания отверстий и голографической интерферометрии.— В кн.: Труды II Всесоюз. симп. «Остаточные технологические напряжения». М., 1985.
11. Савин Г. Н. Распределение напряжений около отверстий.— Киев: Наукова думка, 1968.

Поступила в редакцию 13 февраля 1986 г.

УДК 621.378.9 : 778.4

В. Н. САРНАДСКИЙ

(Новосибирск)

СИСТЕМА ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА ПОЛЕЙ НЕОДНОРОДНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ОСНОВЕ НАКЛАДНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

Введение. Решение ряда актуальных задач экспериментальной механики связано с переходом от анализа напряженно-деформированного состояния объектов по конечному набору точек к исследованию пространственного распределения механических параметров с высоким разрешением. Это стало возможным благодаря появлению интерференционно-оптических методов, позволяющих преобразовывать поля механических величин в оптические поля в виде интерферограмм [1]. В настоящее время оптические методы широко используются для решения разнообразных задач исследования формы, перемещений и деформаций объектов.

Ручные способы расшифровки интерферограмм не в состоянии обеспечить обработку всей доступной для измерения информации. Поэтому реализация полных возможностей оптических методов связана с соз-

данием систем автоматизации обработки интерферограмм (САОИ). У нас в стране [2—4] и за рубежом [5—8] создан ряд подобных систем. Оптический метод и решаемая с его помощью задача определяют вид и качество интерференционных картин (т. е. геометрию полос, их контраст и уровень шумов). Известные САОИ обеспечивают, как правило, решение задач при простой и сложной геометрии полос, но низком уровне шума [2—6] либо при высоком уровне шума, но простой геометрии полос [7—8].

В настоящей статье рассматривается САОИ на базе микроЭВМ, реализующая полный цикл автоматизированной обработки интерферограмм с высоким уровнем пространственных шумов и сложным видом картины полос. Эта система при использовании накладного голографического интерферометра (НГИ) [9] обеспечивает решение важной в практическом отношении задачи исследования полей неоднородных деформаций плоских изделий на стандартных испытательных машинах в промышленных условиях.

Основные функции системы. Рассматриваемая САОИ основывается на использовании НГИ в качестве первичного преобразователя полей перемещений поверхности объекта в оптические поля в виде интерферограмм с их регистрацией на промежуточный носитель; статическом методе расшифровки голографических интерферограмм [10]; выделении по интерферограммам полезной информации в виде координат середин полос; реализации всех функций обработки на основе цифровых методов.

Математическая задача определения полей деформаций по интерферометрическим данным на основе НГИ сводится к расчету полей компонентов вектора перемещения и их дифференцированию. Так как порядки интерференционных полос N в точке поверхности объекта связаны с вектором перемещения этой точки Δr_s известным соотношением [11]

$$\Delta r_s = N, \quad (1)$$

где s — вектор чувствительности интерферометра [10], то для определения компонентов вектора перемещения необходимо в общем случае для трех направлений s получить интерферограммы и решить для каждой точки поверхности систему линейных уравнений вида (1). Основная же проблема обработки голографических интерферограмм — извлечение точной информации о порядках полос по сильно зашумленным данным и привязка этой информации для интерферограмм, восстановленных под разными углами зрения, к единой системе координат, связанной с поверхностью объекта.

С учетом изложенного для реализации полного цикла обработки интерферограмм САОИ должна обеспечивать следующие основные функции: ввод и оцифровку интерферограмм; координатную привязку и коррекцию геометрических искажений; устранение крупных дефектов; повышение отношения сигнал-шум; выделение, нумерацию и сглаживание линий середин интерференционных полос; восстановление дробных порядков полос по всему полю; расчет компонентов вектора перемещения; численное дифференцирование для перехода к полям деформаций.

Кроме перечисленных функций, система должна реализовать ряд дополнительных, облегчающих решение целевой задачи: представление промежуточной и конечной полевой информации в удобном для восприятия виде; предоставление пользователю средств графического взаимодействия; оперативное хранение изображений на ВЗУ; долговременное хранение данных об интерферограммах в сжатом виде; обеспечение быстрого обмена между ВЗУ и средствами отображения.

Принципы построения системы. Анализ задач обработки интерферограмм на основе НГИ позволил сформулировать ряд принципов организации САОИ для цифровой обработки статических интерферограмм. К ним относятся: экономичность, инвариантность к виду интерферо-

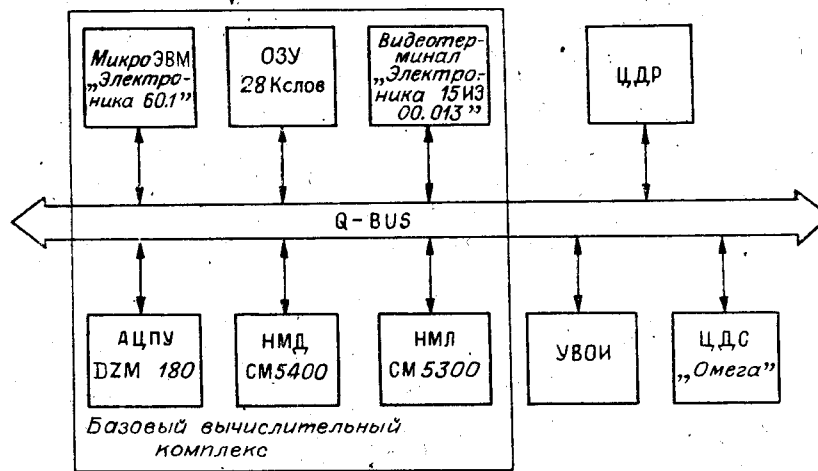


Рис. 1. Структурная схема системы цифрового анализа голографических интерферограмм

грамм, интерактивность, функциональная автономность, программная адаптируемость.

Аппаратные средства системы. Система включает в себя следующие функциональные компоненты: универсальный вычислитель и подсистемы программного развития, взаимодействия с пользователем, ввода и оцифровки изображений, оперативного хранения полутоновых изображений и долговременного хранения их контурных препаратов, цифровой специализированной памяти изображений с произвольным доступом к элементу, визуализации полутоновой и графической информации.

Структурная схема системы показана на рис. 1, а ее внешний вид — на рис. 2. В составе базового вычислительного комплекса (БВК) [12] в качестве вычислителя может использоваться ряд программно-аппаратно совместимых микроЭВМ семейства «Электроника», различающихся по производительности. МикроЭВМ управляет вводом интерферограмм и обеспечивает их обработку в диалоговом режиме с пользователем. ВЗУ на магнитных дисках является резидентом развитой ОС (RT-11),

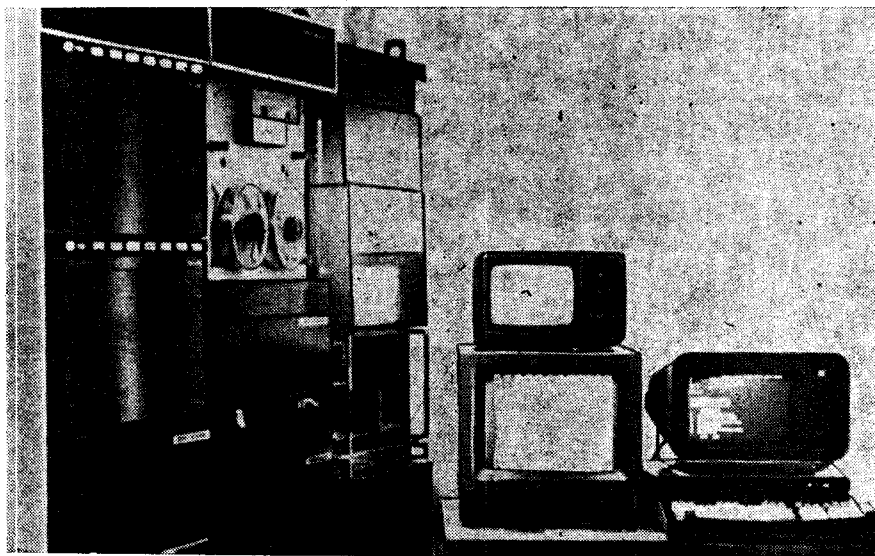


Рис. 2. Внешний вид системы

а также реализует функцию оперативного хранения вводимых и обрабатываемых изображений. Долговременное хранение интерферограмм, закодированных в виде средин интерференционных полос, поддерживает ВЗУ на магнитной ленте. Основным средством общения экспериментатора с системой служит видеотерминал (ВТ).

Подсистема ввода и оцифровки изображений реализована в виде устройства ввода оптической информации (УВОИ) с электромеханическим типом развертки (привод на шаговых двигателях, ФЭУ в качестве фотоэлектронного преобразователя, рабочее поле 20×20 мм, шаг дискретизации и входная апертура 25, 50, 100 мкм). Так как используется промежуточная регистрация интерферограмм и время их ввода не слишком существенно в общем балансе времени обработки, то предпочтительнее использовать устройства ввода электромеханического типа. Это позволяет избежать многих отрицательных моментов, характерных для устройств на основе ТВ-камер: неравномерности чувствительности по полю; малого динамического диапазона; высокого уровня собственных шумов и главное растровых искажений, которые приводят к геометрическим искажениям картины полос.

Подсистемой специализированной цифровой памяти изображений служит цветная дисплейная станция (ЦДС) «Омега» [13]. ЦДС имеет память на три кадра форматом $512 \times 512 \times 8$ с доступом к произвольному элементу изображения. Хранящаяся в памяти информация визуализируется на экране цветного монитора при различных режимах отображения. На основе памяти ЦДС эффективно реализуются алгоритмы обработки интерферограмм на микромашинном комплексе с ограниченной собственной оперативной памятью. Это и определяет принятый в системе формат оцифровки интерферограмм. Отображение содержимого памяти ЦДС на экране монитора позволяет использовать ее как подсистему визуализации полутоновой и графической информации. В качестве дополнительного средства визуализации в системе используется относительно дешевый цветной растровый дисплей на базе бытового телевизора [14], который служит для вывода алфавитно-цифровой и графической информации в виде графиков сечений, гистограмм и аксонометрических изображений.

Алгоритмическое обеспечение системы. Цифровая обработка интерферограмм связана с переработкой больших объемов информации. Например, для принятого в системе формата общее число элементов изображения составляет около $2,5 \times 10^5$, и даже при быстродействии вычислителя, равном 10^6 опер./с, простая операция над каждым элементом изображения займет $1/4$ с. С другой стороны, интерактивный характер работы системы требует, чтобы время выполнения отдельного шага алгоритма, предполагающего активное участие человека в процессе обработки, не превышало в худшем случае минуты. Поэтому использование в системе вычислителя на основе универсальной ЭВМ требует разработки простых и высокоэффективных алгоритмов. Для решения этой проблемы применяются следующие подходы: использование локальных методов обработки; предоставление функций анализа сложно формализуемых ситуаций человеку; выделение критических по времени выполнения частей алгоритмов и максимальное использование архитектурных особенностей вычислителя при их реализации; минимизация общего числа операций над элементом; минимизация числа элементов, участвующих в обработке; минимизация затрат на доступ к элементу; использование целочисленной арифметики и простых операций; реализация сложных преобразований над элементами табличными методами.

Основные алгоритмы. Для используемой геометрии схемы интерферометра [9] система координат оцифрованной интерферограммы связана с координатами точек поверхности аффинным преобразованием. Поэтому координатная привязка и коррекция геометрических искажений производятся путем дискретного инверсного преобразования с би-

линейной интерполяцией, параметры которого для отдельной интерферограммы определяются в интерактивном режиме по реперной системе координат на поверхности объекта.

Функции распознавания и устранения крупных дефектов интерферограмм возложены на человека; ЭВМ лишь обеспечивает для него необходимый сервис: программный курсор с окном, манипулируя которым, оператор «зарисовывает» найденные дефекты. Для удобства предусмотрена возможность работы на увеличенном фрагменте ($K_n = 2, 4, 8, 16$) с последующим возвращением отредактированного фрагмента на исходное место целого кадра.

Задача подавления спекл-структуры, являющейся основным источником шума для голографических интерферограмм, решается на основе каскадно-векторной реализации 2D цифровой линейной фильтрации [15], суть которой сводится к формированию сложного фильтра с регулируемой в широких пределах областью пропускания путем последовательного применения 1D фильтров, произвольно ориентируемых в пространственной области. В качестве базовых фильтров используются [15]: двукратное одномерное несимметричное прямоугольное окно (ДОНПО):

$$\tilde{a}_i = 1/2M \sum_{k=1}^{2M} a_{i-M+k}, \quad \tilde{a}_i = 1/2M \sum_{k=1}^{2M} \tilde{a}_{i-M+k-1}, \quad M = 1, 2, 4 \dots;$$

одномерное треугольное решетчатое окно (ОТРО):

$$\tilde{a}_i = 1/4(a_{i-L} + 2a_i + a_{i+L}), \quad L = \text{var};$$

одномерное конечно-разностное решетчатое окно (ОКРРО):

$$\tilde{a}_i = 1/4(-a_{i-H} + 6a_i - a_{i+H}), \quad H = \text{var}.$$

Квазиоптимальная фильтрация интерферограмм выполняется на основе подбора параметров фильтров и их ориентации в соответствии с картиной полос.

Выделение середин полос производится алгоритмом отслеживания экстремумов полос с оптимизацией на основе конечно-разностных оценок и адаптацией к ширине полосы [16]. При отслеживании определяется оценка ориентации и ширины полосы на основе максимизации второй конечной разности с переменным интервалом для четырех направлений. Максимальная по модулю конечная разность должна быть больше порога, в противном случае интервал оценки увеличивается и сравнение повторяется. Найденный интервал и направление используются для выбора экстремальной точки полосы по первой конечной разности. Для интерферограмм со значительным изменением частоты полос по полю используется поэтапная обработка на фрагментах разного масштаба с выделением середин полос только в пределах области квазиоптимальной фильтрации на основе чередования процессов фильтрации и отслеживания. Для сжатого кодирования линий середин полос при записи их в файл на ВЗУ используется модифицированный цепной код [17]. Нумерация полос выполняется как чисто интерактивная процедура с привлечением средств графического взаимодействия. Сглаживание линий середин полос осуществляется путем фильтрации (на основе ДОНПО) параметрического представления $X(t)$ и $Y(t)$, где X, Y — координаты линии, а в качестве t используется порядковый номер точек линии в цепном коде. Степень сглаживания регулируется.

Для восстановления дробных порядков полос по всему полю используется 2D адаптивная линейная интерполяция. Интерполяция в точке производится вдоль одного из четырех направлений с минимальным расстоянием между полосами. Для особых точек (эллиптические или седловые точки), указываемых оператором, выполняется квадратичная интерполяция и строятся опорные линии до пересечения с ближайшими полосами, с заданными на них дробными порядками. Эти опорные линии, наряду с линиями середин интерференционных полос, участвуют в дальнейшей интерполяции. Переход от полей порядков

Время выполнения основных и сервисных операций обработки

№	Название операций	Время, с	Примечание
1	Запись-чтение массива в (из) файл из (в) ЦДС	7/4	Формат 512×512×8
2	Инверсное аффинное преобразование	196	—
3	Чтение из файла фрагмента с увеличением	6, 4, 3	$K = 2, 4, 8$
4	Запись в файл фрагмента с уменьшением	12, 6, 3	—
5	Усеченная билинейная интерполяция	17	—
6	Фильтрация ДОНПО	27/—	Осевая или произвольная ориентация
7	Фильтрация ОТРО	18/33	
8	Фильтрация ОКРРО	21/36	—
9	Отслеживание середины полосы	4	Длина 512 точек
10	Сглаживание середины полосы	1	—
11	Запись-чтение середины полосы	0,1	—
12	Запись-чтение массива в (из) файла из (в) ЦДС	3,5/2	Формат 256×256×16
13	Преобразование формата массива в ЦДС	52	256×256 в 512×512
14	Вывод 3D графика на ЦДР из ЦДС	15	Точками
15	Вывод 3D графика на ЦДС/ЦДР из файла	57/43	Векторами
16	Получение на ЦДС контурных карт	0,1	—

полос к компонентам вектора перемещения сводится к простейшим поэлементным матричным операциям. Для получения полей деформаций используется конечно-разностное дифференцирование с предварительным сглаживанием. Для представления полей порядков полос, компонентов вектора перемещения и деформаций используется формат $256 \times 256 \times 16$.

Время выполнения основных алгоритмов обработки приведено в табл. 1.

Программное обеспечение системы. Программное обеспечение (ПО) системы может быть разделено на две части: общесистемное и целевое ПО. К общесистемному ПО относится система RT-11 со всеми ее программными компонентами, которая поддерживает все вычислительные процессы в системе и служит средством развития целевого ПО системы. Целевое ПО состоит из трех компонентов: специализированного, сервисного и проблемного.

Специализированное ПО представляет собой набор модулей, для удобства собранных в объектную библиотеку, реализующий функции программной поддержки подсистем УВОИ, ЦДС, ЦДР некоторых режимов функционирования устройств БВК (НМД, ВТ) для обеспечения работы с ними на физическом уровне (например, для организации максимально быстрого обмена между НМД и ЦДС). Сервисное ПО реализует дополнительные функции системы. Оно состоит из библиотеки графической поддержки и комплекса сервисных программ. В библиотеке собраны модули, обеспечивающие базовый набор графических функций для растровых дисплеев с внутренней памятью, и средства графического взаимодействия с пользователем в виде различного рода программно-управляемых курсоров. Особенность библиотеки состоит в том, что она обеспечивает работу через одни и те же подпрограммы как с ЦДС, так и с ЦДР за счет организации программно-переключаемого канала ввода-вывода. Комплекс сервисных программ включает программы: обмена полутоновой и контурной информацией между НМД и ЦДС, ЦДР; построения 3D графиков по данным из файла на ЦДС, ЦДР; построения 3D графика на ЦДР по фрагменту памяти ЦДС; получения контурных карт; преобразования форматов представления полей ($256 \times 256 \times 16$ и $512 \times 512 \times 8$) и ряд других.

Проблемное ПО является функциональным ядром системы и реализует при активном взаимодействии с пользователем все процедуры обработки интерферограмм. Оно состоит из библиотеки основных алгоритмов обработки и целевого программного комплекса в виде набора рабочих программ, выполняющих отдельные этапы обработки. В состав комплекса входят программы: геометрических преобразований интерферограмм; полутонового графического редактирования; выделения средин интерференционных полос, нумерации, сглаживания; интерполирования дробных порядков полос и расчета компонентов вектора перемещения и тензора деформаций.

Рабочие языки целевого ПО — Фортран и Макроассемблер. Интерфейс с пользователем через терминал БВК организован как на основе исполняющей системы Фортран, так и с помощью программ физического уровня, обеспечивающих более эффективное управление средствами графического взаимодействия с пользователем.

Экспериментальные результаты. Цифровой анализ интерферограмм* был выполнен для пластины с круглым отверстием, подвергнутой осевому растяжению. Геометрические размеры и условия нагружения образца показаны на рис. 3. Нагружение образца осуществлялось на стандартном прессе. Запись двухэкспозиционной голограммы проводилась по схеме с нормальным освещением коллимированным пучком от лазера ЛГ-38. Регистрация восстановленных интерферограмм выполнялась фотокамерой «Зенит-Е» с объективом «Телемар-22». В работе приводятся результаты определения поля линейной деформации ϵ_x на основе обработки двух интерферограмм с симметричной регистрацией в плоскости X0Z [10]. На рис. 4, а показана фотография одной из них после ввода в ЭВМ, координатной привязки и коррекции геометрических искажений, сделанная, как и все последующие фотографии, с экрана монитора ЦДС. Результаты полутонового графического редактирования интерферограммы представлены на рис. 4, б. Помимо устранения крупных дефектов средствами редактирования была выполнена также «дорисовка» полос внутри отверстия с целью сделать функцию порядков полос непрерывной по всему полю, чтобы облегчить процедуры дальнейшей обработки. На рис. 4, в показаны линии выделенных средин полос, наложенные на исходную интерферограмму. Линии средин интерференционных полос после сглаживания представлены на рис. 4, г. Рис. 4, д — е демонстрируют найденное поле деформаций в виде карты изолиний и 3D графика. Цена изолиний равна $1,75 \times 10^{-4}$; деформация на максимальном удалении от концентратора составила $\epsilon_{x, \infty} = 9,26 \times 10^{-4}$; коэффициент концентрации деформации, определяемый как $K_\epsilon = \epsilon_{x, \max} / \epsilon_{x, \infty}$, получен равным 2,8. Время выполнения основных этапов обработки интерферограмм приведено в табл. 2. Общее время обработки двух интерферограмм для получения поля деформаций ϵ_x составило около двух часов. Причем только менее 50% этого времени потребовало активного участия человека в обработке. Следует подчеркнуть, что функция человека при обработке сводится к управлению и контролю, и сам он не производит измерений координат центров полос, что характерно для полуавтоматических систем.

Заключение. В статье рассмотрены вопросы, связанные с созданием системы цифрового анализа полей неоднородных деформаций плоских объектов на основе использования накладных голографических интер-

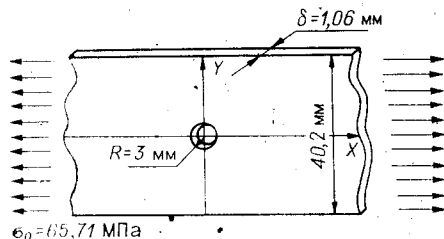


Рис. 3. Одноосное растяжение пластины с центральным круглым отверстием

* Интерферограммы предоставлены автору С. И. Герасимовым.

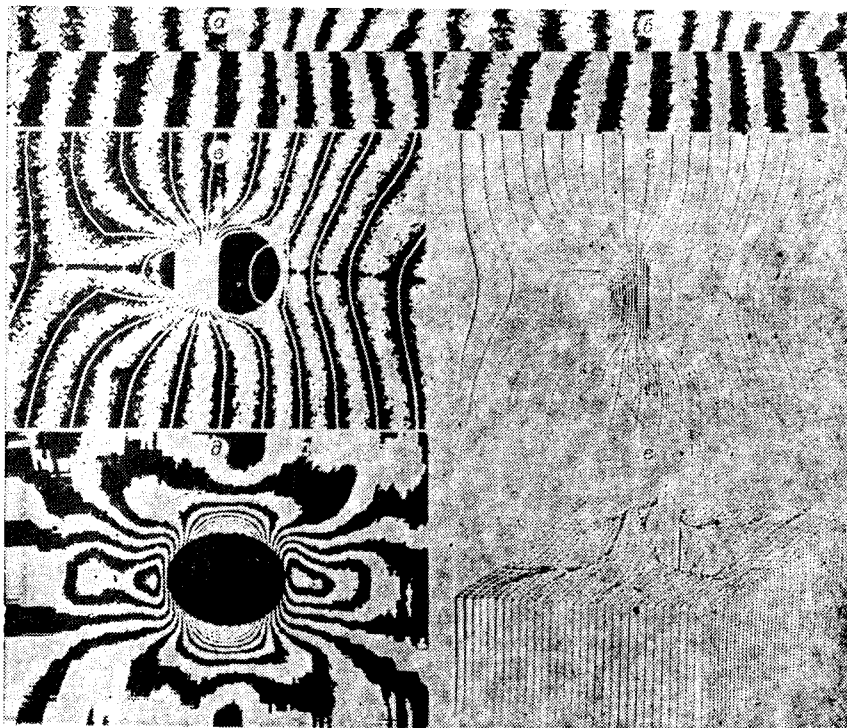


Рис. 4. Стадии обработки интерферограмм:

a — интерферограмма после ввода и оцифровки; *b* — интерферограмма после редактирования; *c*, *г* — выделенные и сглаженные середины полос соответственно; *д* — карта изолиний поля деформации ϵ_x ; *e* — 3D график поля деформации ϵ_x

ферометров. Описана конкретная реализация подобной системы и приведен пример ее использования. При определенной программной адаптации система может быть эффективно использована для решения и ряда других задач, связанных с обработкой статических интерферограмм.

Т а б л и ц а 2

Время выполнения основных этапов обработки

№	Название этапа обработки	Время, мин	Примечание
1	Ввод интерферограммы в ЭВМ *	12	Формат 512×512×8
2	Преобразование координат	4—6	—
3	Графическое редактирование	10—15	—
4	Выделение середины полос	6—12	—
5	Нумерация середин полос	2—5	—
6	Сглаживание середин полос	1—2	—
7	Интерполирование дробных порядков	15—25	Формат 256×256×16
8	Расчет массива компонентов $\Delta \mathbf{r}$	1	
9	Расчет массива деформаций	0,5	

* Пункты 1—7 приведены для одной интерферограммы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пригоровский Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. — М.: Машиностроение, 1983.
2. Гришин М. П., Курбанов Ш. М., Маркелов В. П. Автоматический ввод и обработка фотографических изображений на ЭВМ. — М.: Энергия, 1976.
3. Соколов Б. Б. Исследование полей деформаций методами цифровой обработки муровых картин. — Машиностроение, 1980, № 6.
4. Ушаков А. Н. Автоматическая обработка интерферограмм на ЦВМ. — В кн.: Цифровая обработка сигналов и ее применение. М.: Наука, 1981.
5. Augustyn W. H., Rosenfeld A. H., Zaroni C. A. An automatic interferometry in the optical shop. — Proc. SPIE, 1978, v. 153, p. 146.
6. Muller R. K., Saackel L. R. Complete automatic analysis of photoelastic fringes. — Exp. Mech., 1979, v. 19, N 7, p. 245.
7. Choudry A. Digital holographic interferometry of convective heat transport. — Appl. Opt., 1981, v. 20, N 7, p. 1240.
8. Nakadate S., Yatagai T., Saito H. Computer-aided speckle pattern interferogram. — Appl. Opt., 1983, v. 22, N 2, p. 237.
9. Жалкин В. А., Герасимов С. И. О возможности изучения деформированного состояния изделий с помощью накладного интерферометра. — ЖТФ, 1982, т. 52, № 10.
10. Вест Ч. Голографическая интерферометрия. — М.: Мир, 1982.
11. Александров Е. Б., Бонч-Бруевич А. М. Исследование поверхностных деформаций с помощью голограммной техники. — ЖТФ, 1967, т. 37, № 2.
12. Дружинин А. И., Сарнацкий В. Н. Универсальная вычислительная система на базе микроЭВМ «Электроника-60» с резидентным устройством на магнитных дисках ИЗОТ-1370. — В кн.: Автоматизация экспериментальных исследований. Куйбышев: КУАИ, 1983.
13. Михальцов Э. Г., Шакиров Р.-А., Команьков Б. В. и др. Устройство для хранения и отображения оцифрованных изображений. — Исследование Земли из космоса, 1984, № 3.
14. Сабуров В. С., Селиванов А. Н. Модуль микроЭВМ «Электроника-60». Привод цветного растрового дисплея. — В кн.: Автоматизированные системы управления, научных исследований и обучения. — Новосибирск: НГУ, 1982.
15. Сарнацкий В. Н. Произвольно ориентируемый цифровой низкочастотный фильтр для обработки изображений, реализуемый на микроЭВМ. — В кн.: Системы автоматизации обработки оптической информации. — Новосибирск: НЭТИ, 1984.
16. Сарнацкий В. Н. Реализация алгоритмов автоматизированного выделения средних интерференционных полос на микромашином комплексе. — В кн.: Обработка изображений и дистанционные исследования. Ч. 1: Тез. докл. на Всесоюз. конф. ОИДИ-84. Новосибирск: НИИГАиК; ВЦ СО АН СССР, 1984.
17. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. — М.: Мир, 1982.

Поступила в редакцию 11 марта 1986 г.

УДК 519.713 : 007.5 : 681.5

Г. И. ПЕРЕТЯГИН

(Новосибирск)

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБУЧАЕМОГО КЛАССИФИКАТОРА ДВУМЕРНЫХ ПОЛЕЙ В ЦИФРОВОМ КОМПЛЕКСЕ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Введение. В данной работе рассмотрены алгоритмы и программы текстурного анализа и классификации двумерных полей в цифровом комплексе обработки изображений [1]. Основная цель реализованных программных средств — всестороннее исследование предъявляемых обучающих подмножеств изображений для выделения состава текстурных признаков, позволяющих наиболее эффективно проводить классификацию данных по материалам дистанционных съемок земной поверхности.

Состав программных средств. Алгоритмы обучаемой классификации ориентированы на системное математическое обеспечение комплекса об-