

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Ольховский и др. Сжатие данных при телензмерениях. М., «Советское радио», 1971.
2. Р. С. Симпсон. Сравнение алгоритмов уменьшения избыточности. Достижения в области телеметрии.— Материалы международной и национальных конференций США, М., «Мир», 1970.
3. В. А. Алексеев и др. Быстродействующая система ввода в ЭВМ одномерных оптических изображений.— Автометрия, 1974, № 3.
4. А. Н. Касперович, Ю. В. Шалагинов. Быстродействующее многопороговое устройство сравнения.— Автометрия, 1973, № 3.

Поступила в редакцию 28 ноября 1973 г.

УДК 681.327

Л. А. ДУШИН, В. И. ПРИВЕЗЕНЦЕВ, В. С. ТАРАН, В. А. ЯМНИЦКИЙ
(Харьков)

МНОГОГРАДАЦИОННАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОГРАММ ПЛАЗМЫ НА ЭВМ

Значительное количество информации, получаемой в физическом эксперименте, носит фильмный характер, т. е. представляет собой фотоснимок. Это и осциллограммы, и интерферограммы, снимки, полученные «теневым» методом, скоростные кинограммы и т. д. Общим для всех них является необходимость дальнейшей машинной обработки, для чего требуется введение изображений снимка в ЭВМ и дальнейший расчет по соответствующему алгоритму.

В отдельных областях, связанных с задачами кодирования изображения, достигнуты значительные успехи: созданы приборы для измерения фотоснимков треков ядерных частиц и приборы для кодировки записей самописцев (и осциллограмм). Как правило, эти снимки довольно контрастны и, кроме того, весьма специфичны по своей природе.

В то же время имеется ряд снимков полутонового характера, обработка которых на ЭВМ представляет существенный интерес. В нашем случае это прежде всего оптические интерферограммы. В таком виде информация получается при многих физических и технических измерениях и, в частности, в исследованиях на плазменных объектах, где метод оптической интерферометрии находит все более широкое применение при исследовании плазмы.

Информация об автоматизации измерений в этой области весьма скудна и, по сути дела, сводится к описанию фотометрической системы, связанной с ЭВМ «Минск-22» [1—4].

Система для автоматической обработки интерферограмм, приведенная в данной работе, была использована при исследовании твердотельного плазменного источника. Снимки были получены с помощью интерферометра Маха—Цендера с гелий-неоновым лазерным осветителем. Регистрация интерференционного поля осуществлялась на скоростном фоторегистраторе (СФР).

Целью оптической интерферометрии плазмы является построение пространственно-временного распределения плотности по величине измеренной оптической разности хода, вносимой плазмой:

$$\delta_m = - \frac{2\pi N_e e^2}{m \omega^2} l / \lambda = 4,46 \cdot 10^{-14} N_e \lambda l, \quad (1)$$

где δ_m — фазовый сдвиг; l — длина плазмы в см; λ — длина волны зондирующего света в см; N_e — плотность электронов плазмы в см⁻³.

Изменения фаз δ_m световых волн, распространяющихся через исследуемый объект по хордам в поперечном сечении, приводят к сдвигам интерференционных полос. Величина δ_m и ее изменение и являются в нашем случае объектом измерения.

Нами была поставлена задача: построить сканирующую систему для обработки полутонового снимка, отличающуюся 1) максимальной простотой; 2) полной управляемостью от ЭВМ; 3) допустимо невысоким быстродействием; 4) передачей полутоновых оттенков.

При вводе интерферограмм в ЭВМ производилось построчное фотометрирование кадра в перпендикулярном направлении к интерференционным полосам.

Выбор был остановлен на использовании графикопостроителя АПГ-М, подключенного к ЭВМ М-220 А. Этот графикопостроитель имеет приводы по обеим координатам от шаговых двигателей (шаг 0,5 мм, быстродействие до 200 мм/с), большое поле (900×900) и хорошее математическое обеспечение как в системе ИС-2, так и в ТА-1М. Впервые этот графикопостроитель, его подключение к ЭВМ М-220 и математическое обеспечение были описаны в [5, 6].

Используя АПГ-М, подключенный к ЭВМ М-220А, несложно программно организовать как растровое сканирование произвольного характера, так и работу в режиме «слежения» за характерными образованиями объекта. Единственный дополнительный узел, необходимый в этом случае, это блок фотоумножителя (светочувствительный элемент) с аналого-дискретным преобразователем.

Выход преобразователя подключается к имеющейся в ЭВМ М-220 А цепи «Прием с аналоговой машины», незадействованной в данном варианте ЭВМ. Единственная переделка ЭВМ сводится к замене импульсного входа цепи приема на потенциальный. Сама команда приема остается неизменной и выглядит следующим образом:

α	050	0036	0000	R
$\alpha+1$	070	R	0000	0000

Здесь R — адрес ячейки, куда принимается код от аналого-дискретного преобразователя.

Разрядность цепей связи принята равной 6. Количество уровней квантования видеосигнала первоначально выбрано равным 7, что достаточно для надежного измерения интерферограмм. Схема преобразователя содержит 6 пороговых схем с различной настройкой порога. Схема питания ФЭУ и одного разряда преобразователя приведена на рис. 1. Преобразователь представляет собой однокаскадную пороговую схему (усилитель с коэффициентом усиления около 50) и триггер с несимметричными плечами и несимметричным запуском (по верхнему и нижнему уровням). Для настройки схемы на заданный диапазон преобразования предусмотрены два потенциометра, один из которых задает нижний порог преобразования, а второй — усиление схемы. Уровни преобразователей соответствуют сигналам 1—6 В (с последнего потенциометра).

В качестве чувствительного элемента выбран ФЭУ-60 с коллимационным отверстием $\varnothing 1,5$ мм и призмой, изменяющей направление светового потока. ФЭУ вместе с делителем и призмой в корпусе крепятся на каретке АПГ. Чувствительность ФЭУ-60 достаточна для работы с увеличителем «Этюд». Питание накала лампы «Этюда» осуществляется от трехфазного выпрямителя с фильтром во избежание пульсаций яркости. Напряжение накала регулируется реостатом в пределах 120—220 В в зависимости от общего почернения снимка. Расшифровка сигнала с преобразователя и его перекодировка в стандартную для ЭВМ М-220 А

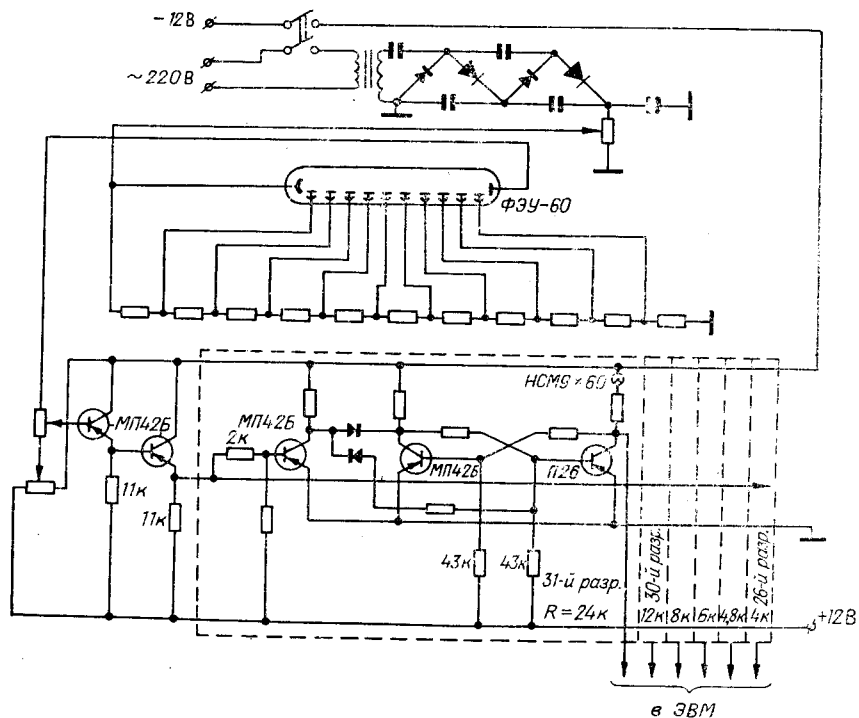


Рис. 1.

форму (нормализованное число с плавающей запятой) производится программным путем.

Итак, для количественной обработки интерферограмм необходимо определить величину смещения полосы относительно невозмущенного положения.

В идеальном случае для одноходового интерферометра почернение пленки B при ее сканировании поперек интерференционных полос (профиль строки) изменится по закону

$$B \cong B_0 \ln \cos^2 \alpha. \quad (2)$$

Однако обычно профиль строки довольно сильно отличается от идеального. Аналоговый сигнал может быть изрезан шумовыми импульсами (от отдельных зерен и неоднородностей пленки, от загрязнений царапин, пиковой генерации лазера и т. д.), возможны наложения на интерферограмму собственного светового излучения из плазмы. В этих случаях приходится применять более сложные методы программной фильтрации для определения координат полос.

В соответствии со всем сказанным программное обеспечение системы многоградационного измерения интерферограмм включает в себя программы: 1) сканирования интерферограммы; 2) цифровой фильтрации; 3) нахождения минимумов освещенности интерференционных полос; 4) визуальной коррекции интерферограммы с помощью осциллографа со световым карандашом; 5) расчета плотности плазмы в соответствии с формулой (1).

Программа сканирования обеспечивает движение каретки графопостроителя типа прямоугольного линейного раstra, причем обратный ход по строке также является полезным. На каждом шаге (0,5 мм) производится опрос фотоумножителя и значение яркости заносится в массив.

Наиболее ответственная часть программы — цифровая фильтрация, которая включается по окончании сканирования каждой строки и состо-

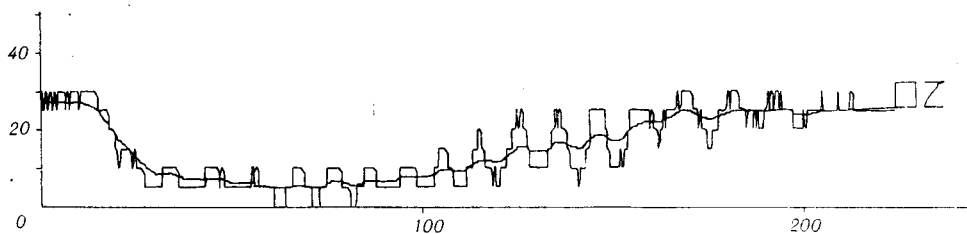


Рис. 2.

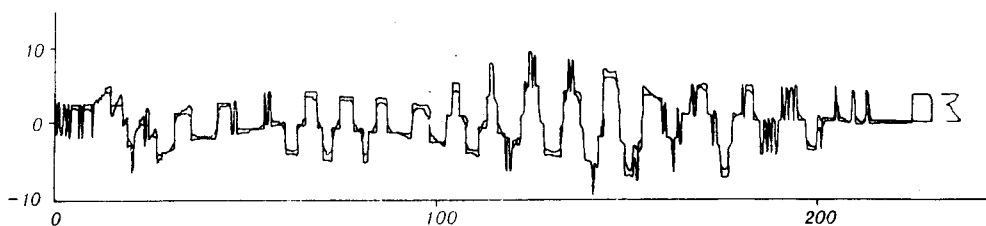


Рис. 3.

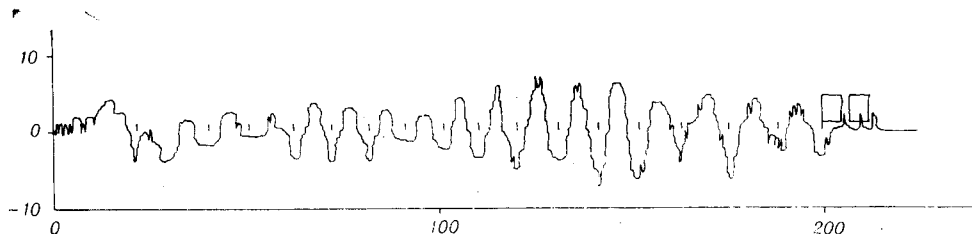


Рис. 4.

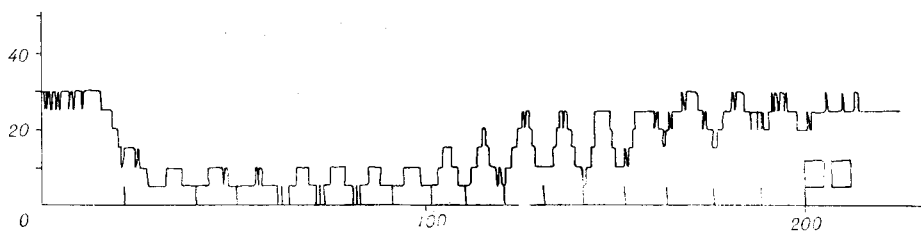


Рис. 5.

ит из трех этапов: 1) исключения фоновой, низкочастотной составляющей; 2) исключения высокочастотных шумов; 3) исключения узких полос.

На рис. 2 представлен типичный график яркости поперечного сечения интерферограммы (фотография с графикопостроителя). Размер по оси абсцисс дан в миллиметрах непосредственно по увеличенному изображению, размер по оси ординат (яркость) — в условных единицах. На рисунке легко видеть засветку от плазмы (провал в левой части интерферограммы) и шумы разных частот.

Для фильтрации применен типичный цифровой алгоритм фильтра нижних частот

$$\bar{y}_i = \alpha y_i + (\alpha - 1) \bar{y}_{i-1}. \quad (3)$$

Здесь y_i — несглаженное значение ординаты; \bar{y}_{i-1} , \bar{y}_i — сглаженные значения; α — коэффициент сглаживания.

Обычно принимается

$$y_{i-1}, y_i, \bar{y}_1 = y_1. \quad (4)$$

Легко видеть, что при $\alpha=1$ сглаживание отсутствует

$$\bar{y}_i = y_i, \quad (5)$$

а при $\alpha=0$ сглаживание стопроцентное

$$\bar{y}_i = y_1. \quad (6)$$

Реальные значения α приходится подбирать экспериментально.

Формула (3) учитывает только точки, находящиеся слева от y_i , и применяется для тех процессов, у которых ось абсцисс — время. В нашем случае ось абсцисс — координата, и направление отсчета не должно играть роли. В то же время при сглаживании справа налево получаем другое значение сглаженной величины:

$$\bar{y}'_i = \alpha y_i + (\alpha - 1) \bar{y}'_{i+1}. \quad (7)$$

Чтобы исключить влияние направления отсчета, нами используется усредненная величина

$$\bar{y}''_i = 1/2 (\bar{y}_i + \bar{y}'_i). \quad (8)$$

Как легко видеть из (8), фильтрованное значение яркости учитывает всю интерферограмму — слева и справа от искомой точки.

На том же рис. 2 приведена сглаженная кривая \bar{y}''_i при $\alpha=0,1$. Эта кривая хорошо отслеживает средний уровень яркости фотоснимка (фон, засветку), практически не реагируя на наличие полос.

На рис. 3 представлена разность $y_i - \bar{y}''_i$, т. е. результат исключения фоновой засветки. Вторая кривая на том же рисунке отфильтрована при $\alpha=0,5$; результат повторной фильтрации представлен на рис. 4. Эта кривая практически не содержит ни фоновой составляющей, ни высокочастотных колебаний (ср. с рис. 2).

Третий этап фильтрации понадобился в связи с тем, что повторная фильтрация все же не обладает 100-процентной эффективностью: отдельные пики остаются в графике (правая часть графика на рис. 4). При этом из рассмотрения исключаются те участки графика, в которых ширина полосы менее 1 мм (в поле графикопостроителя).

Все прочие полосы интерпретируются с помощью параболической интерполяции раздельно для участков выше и ниже оси абсцисс (см. рис. 4). Таким образом, каждая полоса описывается двумя параболой, что хорошо согласуется с формулой (2).

Достаточной информацией для (1) является координата середины потемнения (минимума освещенности), однако для повышения точности расчета каждый минимум уточняется по двум соседним максимумам. Положение уточненных минимумов отмечено рисками на рис. 4.

На рис. 5 сведены воедино исходная кривая яркости и расчетные положения минимумов. Как легко видеть, ошибочно определен лишь один минимум из 17 (самый левый). Эффекты подобного рода устраняются с участием человека с помощью осциллографа со световым карандашом, описанного в [6].

И, наконец, полученные отфильтрованные данные по формуле (1) пересчитываются для электронной плотности, значение которой для каждого скана выводится на графикопостроитель.

В заключение попытаемся дать оценку точности многоградационного метода.

Ошибка измерения координат складывается из ошибки квантования графикостроителя, составляющей 0,5 мм, и ошибки визирования, равной половине диаметра коллимационного отверстия ФЭУ, т. е. 0,75 мм. Суммарная среднеквадратичная ошибка в поле измерения 0,9 мм, что составляет менее 5% средней ширины интерференционной полосы в плоскости измерения (около 20 мм).

Среднеквадратичная ошибка определения яркости при 7-градационном измерении составит около 7%.

Учитывая, что для измерения середины одной интерференционной полосы измеряется до 40 точек (через 0,5 мм), легко получить оценку положения минимума яркости около 1,5% ширины полосы при использовании всех 7 градаций и около 3% при использовании 3 градаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Н. Бурдонский и др. Автоматическая обработка интерферограмм с помощью ЭВМ.— В сб. «Диагностика плазмы», вып. 3. М., Атомиздат, 1973.
2. В. С. Вайнштейн и др. Автоматическая обработка оптической информации с применением ЭЦВМ.— Измерительная техника, 1970, № 10.
3. И. Н. Бурдонский и др. Обработка оптических интерферограмм на ЭВМ.— Автометрия, 1971, № 4.
4. М. П. Гришин и др. Комплекс аппаратуры для автоматического ввода — вывода экспериментальной полутоновой информации в ЭВМ «Минск-22».— Автометрия, 1971, № 4.
5. В. А. Ямницкий и др. Автоматическое измерение выхода реакций на электростатическом ускорителе физико-технического института АН УССР.— УФЖ, 1967, т. 12.
6. А. Ф. Макаров и др. Вывод данных из ЭВМ М-220 и «Днепр-21» на осциллограф со световым карандашом.— Вопросы атомной науки и техники, серия «Автоматизация физического эксперимента и его математическое обеспечение». Препринт ХФТИ, 72—8, вып. 1. Харьков, 1971.

Поступила в редакцию 29 августа 1973 г.

УДК 681.326

**В. М. БЕЛОВ, В. А. БУРОВЦЕВ, К. Ш. ИБРАГИМОВ,
И. Ф. КЛИСТОРИН, А. Е. ПОДЗИН**

(Новосибирск, Кишинев)

УПРАВЛЯЕМАЯ ОТ ЭВМ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Высокая степень интеграции и функциональная сложность интегральных схем (ИС) требуют при их контроле проведения многих сотен или даже тысяч измерений с соответствующей обработкой полученной информации. В связи с этим понятна необходимость в создании автоматических контрольно-измерительных систем для быстрого контроля статических и динамических параметров схем, а также для проверки их на функционирование [1]. Существуют и разрабатываются различные автоматические системы контроля больших интегральных схем (БИС) с применением в них как ЭВМ, так и специализированных систем без ЭВМ [2—4].