

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ показывает, что важная роль для полной реализации возможностей проекционной фотолитографии в направлении миниатюризации отведена моделированию процессов фотолитографии.

2. В субмикронной и микронной областях возможны как точная передача размеров предметов, заложенных в топологию ИС, на низких уровнях изофот, так и управление размерами элемента на стадии проектирования топологии ИС по заранее рассчитанным зависимостям размера изображения, соответствующего выбранному уровню изофоты, от размера предмета.

3. Правильный выбор численной апертуры объектива и уровня изофоты играет главную роль в оптимизации важнейших параметров оптико-механического оборудования, таких как минимальный воспроизводимый элемент и производительность.

4. Генерирование воспроизводимых микронных и субмикронных элементов накладывает жесткие требования к точности фокусировки и дозировки экспонирующей энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазков И. М., Райхман Я. А. Тенденции развития методов литографии в микроэлектронике.— Электрон. пром-сть, 1980, вып. 6.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики.— М.: Наука, 1970.
3. Coley J. W., Tukey J. W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series.— Math. Comput., 1965, vol. 19, N 4, p. 297—301.
4. Van den Berg H. A. M., van den Berg P. M. Optical lithography: The implications of the electromagnetic field theory.— IEEE Trans. on Electron Dev., 1981, vol. ED-28, N 12, p. 1535—1543.
5. O'Toole M. M., Lin E. D., Chang M. S. Linewidth control in projection lithography using a multilayer resist process.— IEEE Trans. on Electron Dev., 1981, vol. ED-28, N 11, p. 1405—1409.

Поступила в редакцию 7 июля 1982 г.

УДК 535.8 : 535.411

**В. А. ЗУБОВ, А. В. КРАЙСКИЙ, Т. Т. СУЛТАНОВ,
А. Г. ХЛЕБНИКОВ**
(Москва)

КОРРЕЛЯТОР НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ЭВМ

Оптическая обработка двумерной информации представляет большой интерес при решении ряда задач коррекции оптических изображений, выполнении различных интегральных преобразований, опознавании изображений и выделении сигналов на фоне помех [1, 2]. При этом приходится иметь дело с большими объемами входной информации, описывающими обрабатываемое изображение и фильтр. Это обстоятельство приводит к применению на первом этапе методов оптической обработки информации, выполняемой параллельно для всего изображения, а на следующих этапах (при существенно меньших объемах информации) — методов электронной техники.

В данной работе рассмотрена система сочетания оптической и электронной обработок информации [3] применительно к задачам получения корреляционных функций. В качестве оптической части устройства использован коррелятор на основе модифицированного двухлучевого ин-

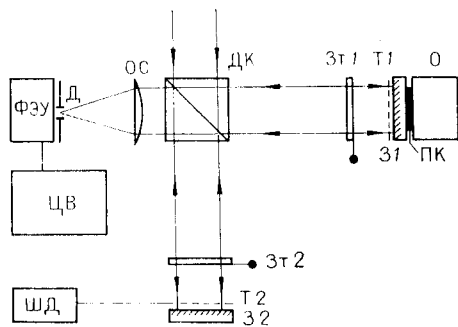


Рис. 1. Принципиальная схема оптической части экспериментальной установки, содержащая интерферометр Майкельсона.

терферометра Майкельсона [4], обеспечивающего двукратное прохождение излучения через обрабатываемый транспарант и фильтр или возможность работы с отражающими транспарантами. Выполненные оценки [5] позволяют предположить, что чувствительность интерференционного коррелятора с двойным прохождением транспарантов при определении положения опознаваемого объекта может быть выше, чем коррелятора с однократным прохождением транспарантов, так как корреляционные импульсы в этой схеме могут быть уже.

Схема оптической части экспериментальной установки приведена на рис. 1. Излучение лазера, сформированное с помощью телескопической системы, направляется в интерферометр Майкельсона, образованный делительным кубиком (ДК) и зеркалами (Зт1 и Зт2). В каналах интерферометра вблизи зеркал располагаются транспаранты (Т1 и Т2), содержащие соответственно изображения обрабатываемой картины и фильтра. Каналы могут перекрываться затворами (Зт1 и Зт2), управляемыми электрическими сигналами от ЭВМ. После выхода из интерферометра излучение оптической системой (ОС) направляется на катод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Для уменьшения паразитных засветок катода перед ним в плоскости пространственных частот, сформированных транспарантами Т1 и Т2 с информацией, помещают диафрагму (Д), выделяющую область с полезным сигналом. В этой же плоскости может выполняться дополнительная обработка информации за счет пространственной фильтрации, позволяющая в некоторых случаях улучшить опознавание образов объектов [6]. Выходной сигнал фотоумножителя регистрируется цифровым вольтметром (ЦВ).

В механической системе интерферометра Майкельсона предусмотрены необходимые юстировки оптических элементов. За счет трех юстируемых столиков, на которых закреплены зеркала и делительный кубик, осуществляется настройка интерферометра по направлениям световых пучков и по выравниванию длин оптических путей в двух его каналах. Пьезокерамика (ПК) обеспечивает перестройку интерферометра по отношению к основанию (О) таким образом, что световое поле на выходе, образованное световыми сигналами из каналов, может соответствовать либо сложению сигналов (сигналы в фазе), либо их вычитанию (сигналы в противофазе). Транспаранты также устанавливаются на юстируемых столиках. Для смещения одного из транспарантов (Т2) перпендикулярно оптической оси помимо ручного управления имеется привод от шагового двигателя (ШД) с управлением от ЭВМ. Управление механической системой интерферометра (затворами, перекрывающими световые пучки; пьезоэлектрической керамикой, перемещающей одно из зеркал; шаговым двигателем, передвигающим транспарант с фильтром) осуществля-

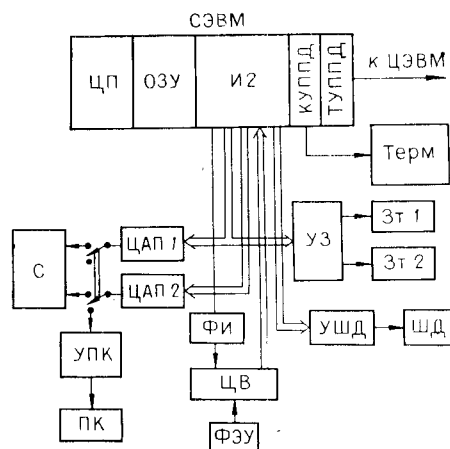


Рис. 2. Блок-схема электронной и управляющей частей экспериментальной установки, содержащая сателлитную ЭВМ и блоки управления механическими элементами.

ется с помощью электронных схем, которые, в свою очередь, управляются ЭВМ.

Для электронной обработки информации и автоматизации управления и измерений в экспериментальной установке с интерференционным коррелятором применена двухуровневая система ЭВМ с центральной ЭВМ (ЦЭВМ) ПДП-11/70 на верхнем уровне и спутниковой (СЭВМ) «Электроника-60» — на нижнем [7, 8]. Такая система обладает рядом достоинств. Экспериментатор за счет связи машин получает доступ к мощной периферии ЦЭВМ, к системам оперативной и постоянной памяти большой емкости, что чрезвычайно важно для хранения массивов экспериментальных данных. Использование ЭВМ с совместимой системой команд позволяет проводить составление программ на различных языках высокого уровня на ЦЭВМ. В данном случае применяются языки Ассемблер для управляющих программ и ФОРТРАН — для вычислительных. Отладка программ и их взаимодействие отрабатываются также на ЦЭВМ, и уже готовая система с программой загружается для работы в СЭВМ. ЦЭВМ ПДП-11/70 работает с операционной системой разделения времени (ОСРВ) и позволяет охватить до 50 пользователей. Периферия ЦЭВМ содержит на магнитных дисках объемом 177 Мбайт (оперативная память 500 К слов), два магнитофона, алфавитно-цифровое печатающее устройство. СЭВМ «Электроника-60» имеет объем оперативной памяти 28 К слов, в которую из ЦЭВМ загружается исполнительная система реального времени (ИСРВ) с включенной в нее пользовательской программой, позволяющая СЭВМ управлять конкретной экспериментальной установкой. Указанные преимущества двухуровневой системы ЭВМ реализованы в данной работе.

На рис. 2 приведена блок-схема электронной и управляющей частей экспериментальной установки без учета ЦЭВМ и регистрирующей части. СЭВМ содержит центральный процессор (ЦП), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), интерфейсные платы канального и терминального устройств последовательной передачи данных (КУШД и ТУШД), обеспечивающие ее связь с ЦЭВМ и терминалом (Терм) [9], и интерфейсную плату параллельного обмена И2, дающую возможность управления различными устройствами экспериментальной установки за счет программного определения разных разрядов выходного регистра для тех или иных устройств [8]. Через блок управления затворами (УЗ) подаются сигналы в катушки поворота экранов затворов (Зт1 и Зт2). Блок управления шаговым двигателем (УШД) управляет движением транспаранта. Сигнал с ФЭУ регистрируется цифровым вольтметром типа Ф-30, играющим роль аналого-цифрового преобразователя. Запуск вольтметра выполняется от платы И2 через формирователь импульсов (ФИ). Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП1 и ЦАП2) вырабатывают сигналы, позволяющие полученную информацию представить графически на двухкоординатном самописце (С) типа ПДС-021М. ЦАП2 может использоваться для выработки управляющих сигналов, которые через блок усилителя (УПК) подаются на пьезокерамику (ПК), и обеспечивает смещение зеркала интерферометра.

Работоспособность установки обеспечивают два вида программ: системные и прикладные, в которые включаются и вычислительные программы.

Системное программное обеспечение [8] базируется на ОСРВ и ИСРВ, осуществляющих весь процесс подготовки задачи к выполнению, контроль за прохождением задачи, распределение ресурсов ЭВМ между задачами и т. п. В ЦЭВМ работает в данном случае ОСРВ. В СЭВМ загружается ИСРВ, обеспечивающая запуск и прохождении задачи в реальном времени.

Прикладное программное обеспечение предназначено для управления экспериментальной установкой в автоматическом или полуавтоматическом режиме и для обработки получаемой экспериментальной информации. Груша подпрограмм, обеспечивающая работу установки, со-

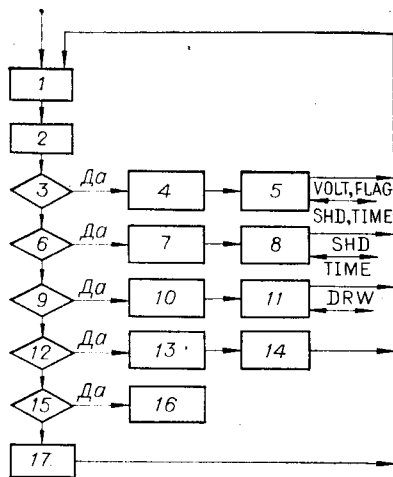


Рис. 3. Схема программы-диспетчера:
 1 — запрос диспетчером команды у оператора, 2 — ввод команды оператором, 3 — вызвать ли программу измерений?, 4 — запрос параметров измерений у оператора, 5 — выполнить измерения, 6 — вызвать ли программу обработки перемещения?, 7 — запрос параметров перемещения у оператора, 8 — выполнить перемещение, 9 — построить ли график?, 10 — запрос параметров графика у оператора, 11 — построить график, 12 — выполнить ли обмен информацией с ЦЭВМ?, 13 — запрос параметров по обмену информацией у оператора, 14 — выполнить обмен информацией, 15 — передать ли управление операционной системе?, 16 — стоп, 17 — выдать сообщение о вводе несуществующей команды.

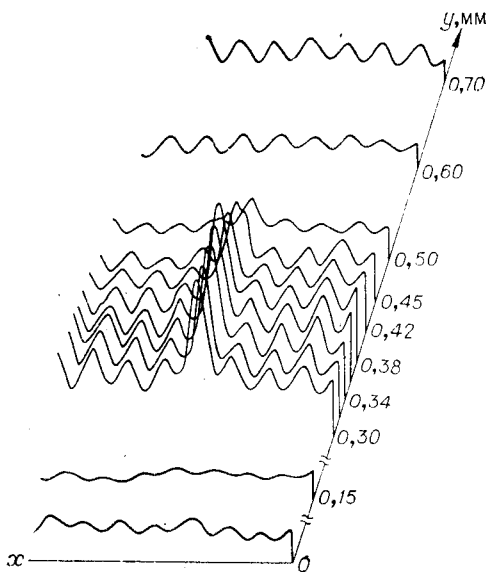


Рис. 4. Пример экспериментальных результатов по получению корреляционных функций.

DRW. Подпрограммы составлены на языке Ассемблер, а обращение к ним из вычислительных подпрограмм выполняется на языке ФОРТРАН. Подробное описание подпрограмм приведено в [5]. В эту же группу входит подпрограмма, обеспечивающая пересылку экспериментальной информации из СЭВМ в память ЦЭВМ для хранения и обработки, требующей больших ресурсов ЭВМ [5].

Согласование и управление работой всех подпрограмм осуществляется программой-диспетчером. Схема работы этой программы представлена на рис. 3.

В качестве примера, иллюстрирующего работу коррелятора на основе модифицированного интерферометра Майкельсона с управлением от ЭВМ, получены корреляционные функции для двоичных случайных транспарантов. Структура транспарантов рассчитывалась ЭВМ по программе случайных чисел. Изображение картины, напечатанное ЭВМ на бумаге, переснималось с уменьшением. Транспаранты, непосредственно используемые для обработки, изготовлялись в окончательном виде на фотопластинках ВРП. Период повторения элементов на транспаранте составляет соответственно по оси x 0,30 мм, по оси y 0,37 мм. Промежутки между отдельными элементами (по оси x ~0,06 мм, по оси y ~0,03 мм) на рабочем транспаранте темные, а сами элементы либо темные, либо прозрачные. Рабочая область на транспаранте имеет диаметр ~15 мм.

Экспериментальное исследование свойств корреляционной функции требует выполнения ряда операций. Для устранения систематической ошибки, обусловленной темновым током фотоумножителя и возможными случайными засветками, измеряется величина выходного сигнала при закрытых каналах интерферометра, т. е. величина фонового сигнала U_0 . Кроме того, измеряются выходные сигналы U_1 и U_2 , образованные отдельно каждым каналом интерферометра, так как транспаранты имеют различную оптическую плотность. Наконец, при измерении ин-

терференционного сигнала фазовые соотношения сигналов от двух каналов могут варьироваться. Для измерений корреляционного сигнала производится настройка интерферометра на максимальный U_{\max} или минимальный U_{\min} интерференционный сигнал. Это осуществляется за счет получения серии отсчетов U в процессе перемещения зеркала З1 пьезокерамикой и выбора из этой серии максимального и минимального значений. Таким образом, каждое измерение характеризуется набором пяти величин: U_{ϕ} , U_1 , U_2 , U_{\max} , U_{\min} . Дальнейшая обработка заключается в исключении фонового сигнала, выделении интерференционных составляющих и нормировке значений с учетом прозрачности транспарантов. В итоге получают величины

$$U_+ = (U_{\max} - U_1 - U_2 + U_{\phi}) / [2\sqrt{(U_1 - U_{\phi})(U_2 - U_{\phi})}],$$

$$U_- = (U_{\min} - U_1 - U_2 + U_{\phi}) / [2\sqrt{(U_1 - U_{\phi})(U_2 - U_{\phi})}],$$

являющиеся функциями относительного смещения транспарантов и представляющие собой искомые корреляционные функции, характеризующие присутствие опознаваемого изображения в анализируемой картине и его положение на ней.

Структура полученных корреляционных функций приведена на рис. 4. По оси x смещение транспаранта производится шаговым двигателем на расстояние 2,5 мм, число точек на кривой равняется 56. Для каждой кривой на рисунке указано относительное смещение транспарантов по оси y . Начало отсчета выбрано произвольно. Полученные корреляционные функции имеют характерный вид с периодической модуляцией, совпадающей с периодом повторения элементов. Максимумы в картине модуляции связаны с ложными корреляционными сигналами, возникающими при относительном смещении транспарантов на расстояние, равное периоду их структуры. Минимумы в картине модуляции обусловлены совпадением двоичных элементов одного транспаранта с темными промежутками между элементами другого транспаранта. Детальный анализ экспериментальных результатов в зависимости от разных условий в данной работе не приводится, поскольку это не связано с описанием системы обработки информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко Г. И. Голографическое опознавание образов.— М.: Сов. радио, 1977.
2. Оптико-электронные методы обработки изображений/Под ред. С. Б. Гуревича, Г. А. Гавридова.— Л.: Наука, 1982.
3. Thompson V. J. Hybrid processing systems — an assessment.— Proc. IEEE, 1977, vol. 65, N 1; Томпсон В. Дж. Гибридные системы обработки.— ТИИЭР, 1977, т. 61, № 1.
4. Зубов В. А., Крайский А. В., Султанов Т. Т. Обработка оптической информации с использованием схемы двухлучевого интерферометра.— Труды ФИАН. М.: Наука, 1982, т. 131.
5. Зубов В. А., Крайский А. В., Султанов Т. Т., Хлебников А. Г. Коррелятор со схемой модифицированного интерферометра Майкельсона с управлением от ЭВМ.— М., 1983. (Препринт/АН СССР, ФИАН; № 248).
6. Зубов В. А., Султанов Т. Т. Пространственная фильтрация и вариация разрешения в процессе корреляционной обработки.— Краткие сообщ. по физике, 1979, № 3.
7. Аверюшкин А. С., Баринов А. С., Витухновский А. Г., Питель Б. Л. Организация связи между ЭВМ «Электроника-60М», управляющей спектрально-кинетической установкой, и ЭВМ верхнего уровня ПДП-11/70.— М., 1983. (Препринт/АН СССР, ФИАН; № 150).
8. Баринов А. С., Зубов В. А., Крайский А. В., Хлебников А. Г. Автоматизация эксперимента с использованием двухуровневой системы ЭВМ.— М., 1983. (Препринт/АН СССР, ФИАН; № 140).
9. Алешкин М. Г., Асейкин В. С., Баринов А. С., Ерабенко В. В. Создание линии связи между ЭВМ «Электроника-60» и ЭВМ ПДП-11/70.— Труды ФИАН. М.: Наука, 1983, т. 135.

Поступила в редакцию 5 октября 1983 г.