

М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, М.В. Шинкарев

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ

Возможности лазерных систем и систем обработки изображений могут быть значительно расширены с применением элементов компьютерной оптики (ЭКО), реализующих большой класс функций амплитудно-фазового пропускания [1]. ЭКО представляют собой транспаранты с пространственно-модулированными амплитудным и фазовым коэффициентами пропускания. Особое значение имеют фазовые ЭКО.

В настоящей статье на основе анализа особенностей синтеза на ЭВМ ЭКО рассмотрена реализация унифицированной процедуры вычисления, освобождающая от разработки повторяющихся этапов расчета ЭКО.

Особенности синтеза ЭКО

Полный процесс получения ЭКО показан на рис. 1. Этап 1 является предметом теоретического исследования. Этапы 6, 7 связаны с физической реализацией пространственного фильтра. В данной работе описывается конкретная программная реализация этапов 2-5, выполняемых на ЭВМ.

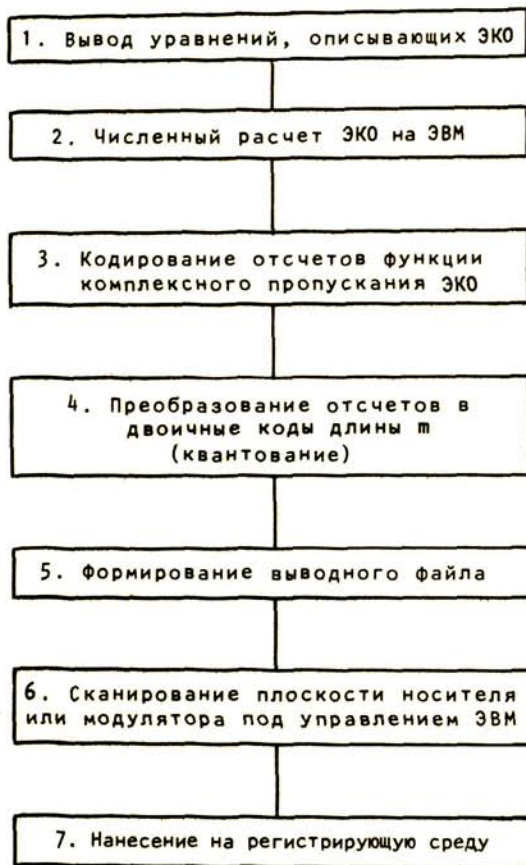


Рис. 1. Этапы синтеза ЭКО

По найденной теоретическим путем функции комплексного пропускания ЭКО $f(x, y)$, $|x| \leq T_x$, $|y| \leq T_y$

вычисляется дискретный набор ее отсчетов в центрах ячеек дискретизации

$$F_{ij} = f(\alpha_i, \beta_j), \quad i = \overline{1, NI}, \quad j = \overline{1, NJ};$$

$$\alpha_i = \frac{x_{i+1} + x_i}{2}, \quad \beta_j = \frac{y_{j+1} + y_j}{2};$$

$$x_i = \left(i - \frac{NI}{2}\right) \frac{2T_x}{NI}, \quad y_j = \left(j - \frac{NJ}{2}\right) \frac{2T_y}{NJ}.$$

На этапе 3 матрица отсчетов может быть подвергнута поэлементному преобразованию:

$$G_{ij} = g(F_{ij}), \quad i = \overline{1, NI}, \quad j = \overline{1, NJ}.$$

Преобразование, далее именуемое кодированием, может заключаться в формировании киноформа, выделении модуля или аргумента, положительной или отрицательной компонент, наложении пространственной несущей частоты и др.

На этапе 4 матрица отсчетов может быть проквантована по $M=2^m$ уровням (обычно $m=8$).

$$\hat{G}_{ij} = Q_m(G_{ij}),$$

где Q_m - функция, описывающая нелинейность преобразования.

Полученный набор данных подается на внешний носитель или непосредственно на устройство регистрации фильтров, производящее сканирование отсчетов на регистрирующую среду.

На этапах 2-5 рационально применение блочно-конвейерного метода, описанного ниже. После этапа 5 имеет смысл получить копию выводного файла на внешнем носителе, с тем чтобы иметь возможность получения нескольких амплитудно-фазовых транспарантов на этапе 6 без повторения вычислительного процесса, зачастую весьма трудоемкого.

При ориентации на вывод с помощью многоградационных фотопостроителей с строчным сканированием, например типа PHOTOMATION P-1700, расчет матриц отсчетов ЭКО имеет следующие специфические особенности:

1. Большие размеры массивов данных - от 0.1 Мбайт до 32 Мбайт на один ЭКО.
2. Большое количество пространственных фильтров с разнообразными функциями пропускания.

3. Использование широкого класса внешних запоминающих и регистрирующих устройств (диски, ленты, полутонные дисплеи, печать, графопостроители, устройства типа PHOTOMATION).

4. Допустимость больших затрат машинного времени для вычисления отсчетов ЭКО, так как синтезированный элемент может затем многократно использоваться в оптических системах.

При этом необходима гибкость пакета при замене внешнего носителя или устройства регистрации данных, рациональное использование оперативной и внешней памяти. Обязательным свойством описываемого комплекса программ должно быть удобство включения в него программ синтеза новых типов ЭКО.

Блочнo-конвейерный метод расчета ЭКО

Для решения вышеперечисленных задач предлагается блочно-конвейерный метод, положенный в основу реализации комплекса программ синтеза ЭКО (КПСЭКО) [2-5].

В связи с большой размерностью полностью разместить матрицу отсчетов ЭКО в оперативной памяти не представляется возможным. Матрицу приходится разделять на блоки. Вся матрица при обработке хранится на внешнем носителе, а в оперативной памяти помещается один блок, который подвергается необходимой обработке и записывается обратно на внешний носитель в другой файл.

Если матрица отсчетов ЭКО подвергается нескольким преобразованиям, невыгодно после каждого преобразования осуществлять вывод матрицы отсчетов на внешний носитель, так как при этом нерационально используется внешняя память и существенно возрастает время вычисления за счет обменов информацией между внешней и оперативной памятью. Поэтому для экономии памяти и сокращения времени расчета применяется блочно-конвейерный метод. При обработке по этому методу блок матрицы, находясь в оперативной памяти, последовательно подвергается всем необходимым преобразованиям и лишь затем записывается на внешний носитель.

Синтез ЭКО осуществляется одной из управляющих программ, выбор которой обуславливается формой структуры ЭКО (матричная, радиально-симметричная, цилиндрическая). Ввиду большой размерности при существовании симметрии в структуре ЭКО необходимо использовать ее для уменьшения времени расчета. При этом достаточно вычислить и подвергнуть всем преобразованиям лишь часть матрицы, а затем отобразить ее на симметричных частях. Так, например, при синтезе радиально-симметричного ЭКО рассчитывается, кодируется и квантуется только радиальный массив отсчетов, после чего при формировании выводного файла выводимым блокам присваиваются соответствующие им значения отсчетов.

В числе параметров управляющих программ имена подпрограмм, вычисляющих блок отсчетов функции пропускания, осуществляющих поэлементные преобразования над отсчетами блока и формирования выводного файла (рис. 2).

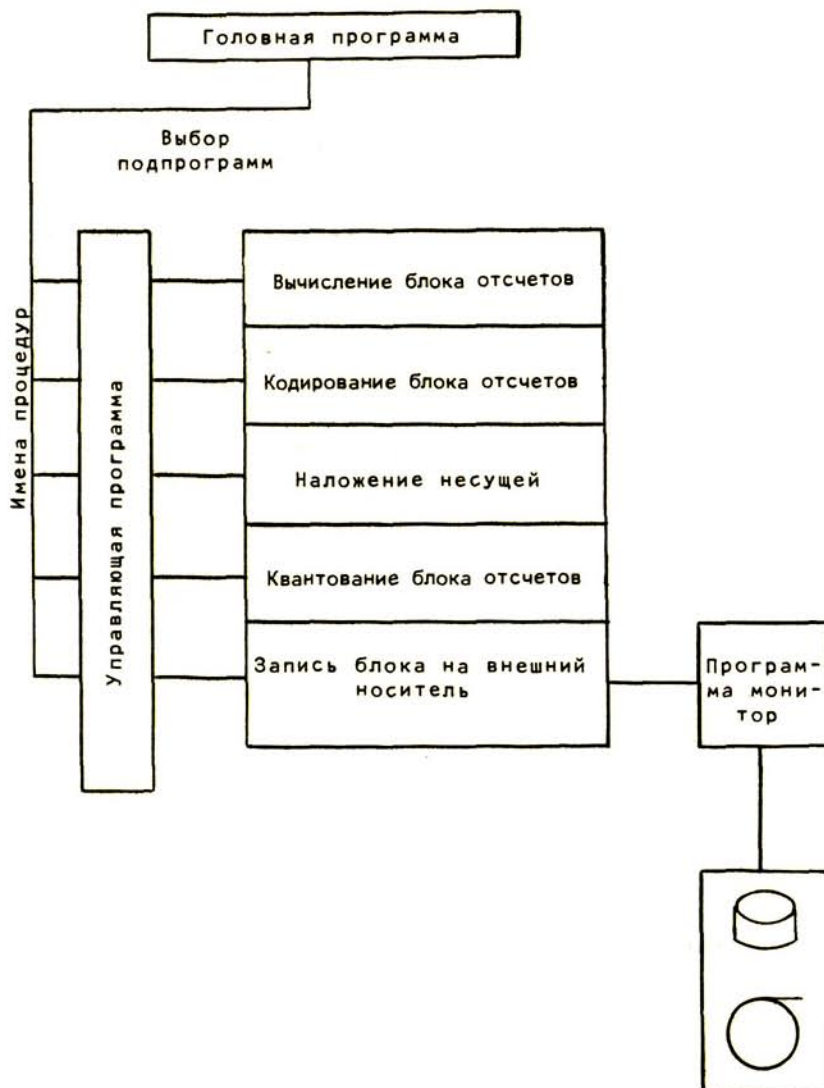


Рис. 2. Схема работы комплекса программ синтеза элементов компьютерной оптики

Управляющая программа осуществляет инициализацию вызываемых программ, затем вычисление блока отсчетов, необходимые поэлементные преобразования его в оперативной памяти и формирование выводного файла под управлением соответствующей программы-монитора. При несимметричной структуре ЭКО такую обработку проходят последовательно все блоки матрицы ЭКО.

Совместимость программ друг с другом и с управляющей достигается путем стандартизации параметров подпрограмм. Обмен данными с подпрограммами осуществляется через стандартные массивы, в которых упаковываются параметры, характеризующие синтезируемый ЭКО.

Процедура включения в состав КПСЭКО программ расчета нового ЭКО заключается в следующем. Создается подпрограмма поблочного расчета матрицы отсчетов нового ЭКО в принятом стандарте. Формируемая затем головная программа передает управляющей программе упакованные параметры синтезируемого фильтра и имена подпрограмм, осуществляющих поблочный расчет, кодирование, квантование и вывод на выбранный внешний носитель отсчетов матрицы ЭКО. При этом в головной программе уже не нужно повторять всей структуры управляющей программы с вызовом для синтеза данного ЭКО подпрограмм. В случае отсутствия какого-либо из этапов синтеза в конкретной реализации ЭКО (например, кодирования) управляющей программе передается имя "программы-заглушки".

При необходимости осуществления новых типов преобразований достаточно написать соответствующую подпрограмму и указать ее имя в параметрах управляющей программы. При введении в систему нового устройства регистрации или внешнего носителя достаточно написать новую программу-монитор и указать в головной программе имена входов в нее на месте соответствующих параметров управляющей программы.

Таким образом достигается необходимая гибкость комплекса при введении новых типов ЭКО, преобразований над ними и новых типов регистрирующих устройств.

В конце выводного файла осуществляется идентификация ЭКО. При создании каждому ЭКО автоматически присваивается шифр и дополнительно с дисплея вводится дата и время выполнения расчета ЭКО. Эти данные записываются на носитель вместе с самим ЭКО. При выводе, например, на фотопленку формируется надпись

N [шифр] [дата] [время],

позволяющая идентифицировать ЭКО в архиве на фотопленке. В архиве на магнитной ленте при выводе массива отсчетов ЭКО перед ним записывается заголовок, содержащий шифр и полную информацию об ЭКО: текст длиной 960 букв или цифр (комментарий), число отсчетов, форму их представления и др. Комментарий формируется в процессе синтеза ЭКО, причем каждый этап отражается в комментарии в виде добавочных слов.

Реализация блочно-конвейерного метода расчета ЭКО в ОС ЕС и СВМ

Блочно-конвейерный метод расчета положен в основу разработанного комплекса программ СЭКО, реализованного на базе пакета прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии [5]. Программы комплекса написаны на языках высокого уровня FORTRAN-4 и PL/1, что обеспечивает их инвариантность по отношению к операционной системе. При переносе КПСЭКО в новую операционную систему изменению подлежат только программы-мониторы.

КПСЭКО реализован в операционных системах:

- ОС ЕС на ЭВМ ЕС-1022, ЕС-1033, ЕС-1035, ЕС-1040, ЕС-1045, ЕС-1050, ЕС-1055; версии MVT 4.0, 4.1, 6.1;
- СВМ на ЭВМ ЕС-1045, ЕС-1055, ЕС-1061; версия СВМ 3.5.4.

Реализованы управляющие программы расчета ЭКО с блочной, радиально-симметричной, цилиндрической структурами, а также управляющая программа, осуществляющая суперпозицию двух матриц.

Реализованы мониторы [1,6] для работы с файлами на дисках, на лентах в форматах архива и PHOTOMATION и программы контрольного вывода на АЦПУ и полутоновой дисплей.

Реализованы подпрограммы расчета фокусаторов, компенсаторов волновых фронтов, плоских линз, пространственных фильтров для оптической обработки информации, элементов для анализа и формирования поперечно-модового состава излучения (моданов), дифракционных решеток.

Реализованы подпрограммы кодирования, формирующие знак отсчета, модуль отсчета, киноформ, выделяющие положительную и отрицательную компоненты отсчета.

Реализованы подпрограммы наложения несущих - плоской, сферической, конической.

Реализованы программы квантования - из плавающего типа в битовый, из плавающего типа в битовый с предсказанием, из плавающего в битовый с выборочным квантованием по 2 и 256 уровням.

С помощью разработанного КПСЭКО осуществлен синтез целого ряда оптических элементов, в том числе внеосевых фокусаторов в точку, отрезок, полукольцо, кольцо [7], моданов [8] и других ЭКО [9].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Общая характеристика программ синтеза пространственных фильтров. Куйбышев: КуАИ, 1984.
2. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Программы синтеза искусственных оптических элементов. Куйбышев: КуАИ, 1984.
3. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Программы синтеза оптических пространственных фильтров для обработки изображений. Куйбышев: КуАИ, 1984.
4. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Программы кодирования и квантования фильтров. Куйбышев: КуАИ, 1984.
5. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Государственный фонд алгоритмов и программ. Регистрационный № П004582 от 1.09.1980.
6. Белоусова М.П., Сергеев В.В., Тахтаров Я.Е. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Система управления базой данных. Куйбышев: КуАИ, 1987.
7. Голуб М.А., Карпеев С.В., Мурзин С.П. и др. Автоматизированная технология изготовления фокусаторов ИК диапазона // Оптическая запись и обработка информации. Куйбышев: КуАИ, 1988, с. 14-18.
8. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Карпеев С.В. и др. Фазовые пространственные фильтры, изготовленные с поперечно-модовым составом лазерного излучения // Квантовая электроника, 1988, № 3, с. 617-618.
9. Сисакия И.Н., Соيفер В.А. Компьютерная оптика. Достижения и проблемы // Компьютерная оптика. М.: МЦНТИ, Вып. 1, с. 5-19.