

**УСТРОЙСТВА ВОСПРИЯТИЯ
И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННЫЕ
НА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ**

Оптические устройства обработки информации

УДК 681.325+621.373.9

В. П. КОРОНКЕВИЧ, Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ

(Новосибирск)

КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОРЫ

(функциональные возможности и направления развития)

Краткая характеристика. Когерентно-оптические процессоры (КОП) могут быть отнесены к классу оптических вычислительных машин и основаны на использовании оптических (в том числе голографических) методов записи, хранения, обработки и отображения информации.

Как известно, возможны аналоговые и дискретные КОП. В обоих случаях сигналы, подлежащие обработке, вводятся в процессоры с помощью транспарантов путем модуляции амплитуды (фазы, частоты, поляризации) когерентной волны света. Различие состоит в том, что в аналоговых КОП модулируемый параметр волны принимает непрерывный ряд значений, а в дискретных — в большинстве случаев два значения, условно обозначаемых 0 и 1. Считывание информации в КОП производится многоэлементными фотоэлектрическими устройствами.

В отличие от существующих аналоговых и дискретных электронных средств обработки информации КОП являются процессорами параллельного принципа действия и предназначены для хранения и обработки больших массивов (страниц) информации. Объем страницы 10^3 — 10^7 бит. Необходимость в такой обработке давно назрела:

при анализе (преобразовании, распознавании) фотоизображений (аэрофотосъемка, обработка и передача данных; анализ культуры тканей, составление кариотипа в биофизике и биологии; построение рельефа местности по снимкам стереопары в фотограмметрии и т. д.);

при проведении информационно-поисковых работ в каталогах, справочниках, архивах (молекулярная спектроскопия — поиск информации по спектрам; лингвистика — перевод с одного языка на другой и т. п.);

при многоканальной обработке информации (обработка сигналов большого числа датчиков в космосе, сейсморазведке, биофизике и др.).

Интерес к КОП обусловлен главным образом двумя принципиально важными обстоятельствами:

1) возможностью значительного повышения быстродействия вычислительных машин, что является следствием высокой степени параллель-

ности процессов считывания, передачи, обработки и записи информации в таких процессорах и малоинерционности устройств переключения световых пучков и считывания информации (10^{-6} — 10^{-8} с);

2) возможностью повышения объема постоянной и оперативной памяти вычислительных машин с одновременным уменьшением времени на считывание информации, что является следствием потенциально высокой плотности записи информации оптическими методами на фоточувствительных средах (10^8 бит/см²) и малой энергетической плотности записи (0,01—0,03 Дж/см²).

Согласно оценкам быстродействие КОП может быть доведено до уровня 10^8 — 10^9 операций/с, а объем памяти до 10^{12} — 10^{13} бит.

Отметим, что КОП хорошо дополняют современные ЦВМ по выполняемым функциям и могут эффективно взаимодействовать с ними в вычислительных комплексах. К примеру, в ситуации распознавания изображений КОП могут выполнять трудоемкие интегральные преобразования, осуществляемые в ряде случаев с целью предварительной обработки изображений и выделения информативных признаков, а ЦВМ, обладающие гибкими вычислительными и логическими возможностями, помимо функций управления работой всего комплекса, могут проводить обработку получаемой информации с целью принятия решения о принадлежности изображения к тому или иному классу. Существенным является то, что перспективные КОП могут быть разработаны на гибридной оптико-электронной основе, учитывающей последние достижения квантовой электроники, интегральной оптики и технологии микроэлектроники.

Функциональные возможности когерентно-оптических процессоров.

Дискретные процессоры, выполненные с учетом арифметической и логической полноты, являются универсальными по назначению и возможностям в общепринятом смысле.

Аналоговые КОП хорошо приспособлены для моделирования линейных интегральных преобразований вида

$$\Phi(\tau_x, \tau_y) = \iint_{\Omega} f(x, y) K(x, y, \tau_x, \tau_y) dx dy, \quad (1)$$

где $f(x, y)$ и $\Phi(\tau_x, \tau_y)$ — функции (в общем случае комплексные) двух переменных; $K(x, y, \tau_x, \tau_y)$ — ядро преобразования; Ω — область интегрирования. При физической интерпретации выражения (1) функции $f(x, y)$ и $\Phi(\tau_x, \tau_y)$ описывают в момент времени t комплексные амплитуды волн соответственно во входной (x, y) и выходной (τ_x, τ_y) плоскостях процессора, а ядро преобразования эквивалентно его импульсной реакции, которая (в общем случае) зависит от положения точечного источника во входной плоскости.

Возможности выполнения в аналоговых КОП частных преобразований вида (1), когда ядро не зависит от координат выходной плоскости (скалярное произведение) или является разностным (функции корреляции и свертки), хорошо известны [1, 2]. Описаны также возможности выполнения преобразования Фурье, ядро которого не является разностным и более сложным образом зависит от координат входной и выходной плоскостей [1, 2]. Поэтому такие виды преобразований рассматривать не будем.

Остановимся подробнее на преобразованиях, возможности моделирования которых стали известны нам в последнее время (обобщенный спектральный анализ, преобразование плоскости (непрерывно-групповые преобразования) и умножение многоэлементных матриц).

I. *Обобщенный спектральный анализ.* Если в обычном спектральном анализе функцию $f(x, y)$ раскладывают по тригонометрической системе функций, то в обобщенном — по любой ортогональной двумерной системе функций $\varphi_{ij}(x, y)$, $i, j=0, 1, \dots, n-1$. Последними, к примеру, могут быть ортогональные системы Лежандра, Чебышева, Уолша и др., а также собственные системы, полученные в результате разложения Карунена-Лоэва. Результатом анализа является набор из n^2 коэффициентов

$$a_{ij} = \iint_{\Omega} f(x, y) \varphi_{ij}(x, y) dx dy.$$

Если система функций $\varphi_{ij}(x, y)$ подобрана хорошо, то при допустимых погрешностях приближения функция $f(x, y)$ представляется рядом $\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} \varphi_{ij}(x, y)$ с числом коэффициентов, меньшим числа выборок исходной функции. Таким образом может быть достигнуто «сжатие» исходной информации, что чрезвычайно важно, например, при передаче данных с космических объектов, при решении сложных задач распознавания изображений и т. п.

Структурные схемы и результаты экспериментального исследования анализаторов для получения обобщенного спектра приведены в [3]. Для иллюстрации разложение изображений проводилось по двумерным функциям Уолша. Особенностью разработанных анализаторов является то, что они обладают свойством обратимости, т. е. позволяют восстановить (синтезировать) исходное оптическое изображение $f(x, y)$ по известным значениям a_{ij} . Это означает, что КОП помимо функций преобразования и хранения информации могут выполнять и функции ее отображения в виде, удобном для использования (в том числе объемном).

II. *Непрерывно-групповые преобразования изображений.* Способность аналоговых КОП моделировать интегральные преобразования вида (1) может быть использована для преобразований плоскости, описываемых примитивными и импримитивными группами Ли. Среди них имеются группы, описывающие, в частности, проективные и аффинные преобразования. Именно такого рода искажения, как известно, возникают часто при проведении аэрофотосъемочных работ. Поэтому КОП могут быть использованы для исключения таких искажений. Кроме того, непрерывно-групповые преобразования лежат в основе современных алгоритмов распознавания изображений, реализация которых на ЭЦВМ из-за больших затрат времени весьма затруднительна [4]. Подобные алгоритмы более эффективным образом могут быть реализованы с помощью КОП.

Ядро интегрального преобразования в этом случае зависит от вида группы, которая устанавливает взаимно однозначное соответствие между координатами точек входной и выходной плоскостей.

В [5] описан метод синтеза оптических систем с импульсной реакцией общего вида, который применим, в частности, для построения непрерывно-групповых когерентно-оптических преобразователей изображений.

III. *Умножение многоэлементных матриц.* Известное правило умножения матриц гласит, что если $A = \|a_{mn}\|$, $B = \|b_{pq}\|$ — исходные матрицы чисел и $n=p$, то элементы результирующей матрицы $C = \|c_{mq}\|$ определяются из соотношения

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \dots + a_{in}b_{nj}; \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, q. \quad (2)$$

В КОП вычисления, согласно (2), производятся одновременно для всех элементов матрицы C путем специальной многоканальной «разводки» световых пучков [6]. Элементы матриц A и B задаются на соответствующих участках двух транспарантов с управляемыми коэффициентами пропускания. Такие транспаранты являются устройствами ввода информации.

Перечень функциональных возможностей аналоговых КОП можно продолжить. Так, применяемые в них методы обработки информации могут быть положены в основу процессоров для определения статистических параметров изображений (в том числе их фрагментов) и т. п.

В ряде случаев рассмотренные возможности могут быть эффективно использованы потому, что КОП в своем составе имеют голограммные запоминающие устройства большого объема памяти. Подобные запоминающие устройства обладают повышенной помехоустойчивостью хранения информации [в сравнении с просто оптическими запоминающими устройствами (ЗУ)] и позволяют хранить, а при необходимости восстанавливать не только цифровую, но и информацию в виде изображений, графиков, таблиц, диаграмм и т. п.

Направления развития и применения. Дальнейшее развитие и применение КОП, как техники обработки массивов информации, определяется потенциальными и функциональными возможностями таких процессоров, а также уровнем развития их элементной базы.

Возможности аналоговых КОП, как уже отмечалось, ограничиваются на сегодняшний день эффективным моделированием интегральных преобразований вида (1). Поэтому прежде всего следует работать над созданием многофункционального процессора для выполнения набора практически важных преобразований, которые сводятся к линейным интегральным (типа рассмотренных). Такие процессоры целесообразно иметь в крупных вычислительных центрах и применять для решения конкретных задач.

Интенсивно развиваются специализированные когерентно-оптические процессоры, предназначенные для решения задач на земле и в космосе (задачи информационного поиска, распознавания, навигации, сжатия и передачи информации и т. п.). Именно здесь необходимо сконцентрировать усилия специалистов.

Дискретные КОП могут быть также универсального и специализированного назначения. При этом подразумевается, что универсальность таких машин не ниже универсальности существующих ЭЦВМ. Существуют тенденции создания дискретных КОП как на основе оптических (оперативных и постоянных) запоминающих устройств и ЭЦВМ, так и на основе оптической матричной элементной базы, в силу чего такие машины иногда называют матричными.

Отдельно следует упомянуть о постоянных и оперативных голограммных ЗУ, развитие которых идет в направлениях повышения объема памяти (10^8 — 10^{12} бит), скорости считывания (10^{-6} — 10^{-7} с) и реализации ассоциативной выборки информации.

Наиболее близки к созданию и практическому применению аналоговые КОП, а также дискретные КОП, основанные на использовании оптических запоминающих устройств и ЭЦВМ. Выявлены основные структурные элементы таких машин и технические требования к их элементам (лазерные источники, дефлекторы и модуляторы света, матрицы фотоприемников, высокоразрешающие фотосреды с необратимыми и обратимыми характеристиками, синтезируемые с помощью ЭЦВМ фильтры пространственных частот и т. д.).

Сложнее ситуация с элементной базой для создания логической и арифметической функциональной полноты в процессорах дискретной обработки массивов информации. Такая база должна создаваться на основе известных элементов матричного интегрального исполнения: матриц лазеров, фотоприемников, растровой оптики, управляемых транспарантов и др. Здесь прежде всего необходимо разобраться в вопросах организации и программирования дискретных КОП и решить серьезные вопросы схемотехнического и технологического характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Гудмен. Введение в Фурье-оптику. М., «Мир», 1970.
2. А. Папулис. Теория систем и преобразований в оптике. М., «Мир», 1971.
3. И. С. Гибин, Е. С. Нежевенко, О. И. Потатуркин, П. Е. Твердохлеб. Когерентно-оптические методы обобщенного спектрального анализа.— Автометрия, 1972, № 5.
4. В. С. Файн. Оpozнание изображений. М., «Наука», 1970.
5. Е. С. Нежевенко, О. И. Потатуркин, П. Е. Твердохлеб. Линейные оптические системы для выполнения интегральных преобразований общего вида.— Автометрия, 1972, № 6.
6. Е. С. Нежевенко, П. Е. Твердохлеб. Умножение матриц оптическим методом.— Автометрия, 1972, № 6.

*Поступила в редакцию
22 мая 1972 г.*
