

Г. Д. БИРИН, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ
(Новосибирск)

**ОБ ОПЕРАТИВНОМ ВВОДЕ ИНФОРМАЦИИ
В КОГЕРЕНТНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ
УСТРОЙСТВА**

(Обзор)

Сложность ряда технических задач и связанных с ними вычислительных процедур, с одной стороны, развитие квантовой электроники — с другой, вызвали к жизни новый класс аналоговых систем обработки данных — когерентных оптических вычислительных устройств (КОВУ). Под такими устройствами понимаются оптические системы, осуществляющие линейные интегральные преобразования двумерной информации, вводимой путем пространственной модуляции параметров (амплитуды, фазы, частоты, поляризации) когерентного пучка света. Параллельный принцип обработки информации, лежащий в основе оптических устройств, высокое быстродействие, сравнительная простота и многообразие функциональных возможностей [1] позволяют рассматривать КОВУ в качестве перспективных средств обработки информации при решении задач распознавания образов, сжатия информации, частотной фильтрации и других. Ожидается также в недалеком будущем объединение современных ЭЦВМ и оптических вычислительных устройств в мощные вычислительные комплексы с совмещенными электронными и оптическими элементами [2]. Однако принятые способы ввода данных в КОВУ существенно ограничивают быстродействие этих устройств, лишают их гибкости, универсальности и вызывают большие затруднения при практическом использовании. В этой связи задача ввода информации в КОВУ приобретает особую актуальность, и авторы ставят своей целью обратить на нее внимание специалистов, раскрыть содержание задачи, обсудить состояние работ в указанной области и выделить перспективные пути решения.

Оптическая схема рассматриваемых КОВУ представлена на рис. 1. Принцип действия устройств основан, как известно, на использовании дифракционных явлений света, благодаря чему в плоскостях P_2 или P_3 получают распределение амплитуд и фаз, как интегральное распределение амплитуд и фаз в плоскостях P_1 или P_2 . При этом связь между заданными и искомыми распределениями устанавливается практически мгновенно (со скоростью распространения света в среде) и одновременно для всех точек входного транспаранта. Последнее определяется самим принципом работы оптических систем, сигналы которых являются функциями пространственных координат и времени. Когерентные свето-

вые волны выполняют роль несущей, а информация, подлежащая обработке, модулирует характеристики волн как во времени, так и в пространстве.

Ввод данных в КОВУ производится в плоскостях P_1 , P_2 и P_3 и осуществляется преимущественно с помощью носителей информации — транспарантов (диапозитивов), параметры которых модулируются соответствующими сигналами. Этими параметрами, например, могут быть пропускание или толщина носителя, а в случаях, когда он не прозрачен и работает на отражение, — оптическая разность хода лучей. Результаты вычислений представляются в виде одной из характеристик световой волны в выходной плоскости, именуемой также плоскостью результатов вы-

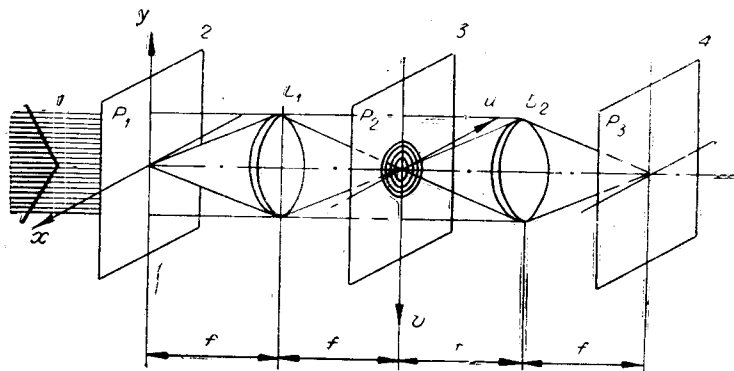


Рис. 1. Принципиальная схема КОВУ:

1 — когерентный пучок света; 2 — плоскость ввода данных P_1 ; 3 — Фурье-плоскость P_2 ; 4 — плоскость результатов вычислений P_3 .

числений P_3 . Информация на вход КОВУ может поступать в аналоговом или дискретном виде от специальных измерительных установок (радиолокационные системы, спектрометры и пр.), ЭЦВМ, оператора и непосредственно от исследуемых (контролируемых) объектов. Но практическое применение КОВУ, несмотря на их простоту, ограничивается из-за отсутствия устройств оперативного ввода данных. Широко распространенные в настоящее время диапозитивы, обладая высокой плотностью записи информации, не позволяют использовать потенциально высокое быстродействие КОВУ, вследствие значительной инерционности электромеханических или иных лентопротяжных устройств и затрат времени на фотохимические процессы изготовления самих диапозитивов. Помимо этого, ввод данных с помощью диапозитивов лишает КОВУ, необходимой гибкости, возможности работать в реальном масштабе времени, затрудняет их эффективную связь с ЭЦВМ и исключает участие оператора в вычислениях.

Из сказанного вытекает настоятельная необходимость замены фотоматериалов как носителей информации быстродействующими устройствами ввода, основанными на использовании пространственной модуляции когерентных световых волн путем воздействия на параметры транспарантов. Очевидно, что наличие таких устройств обеспечит взаимодействие электронных и оптических вычислительных машин, дополняющих друг друга по своим возможностям, создаст условия для построения замкнутых систем, а также для обмена информацией между оператором и машиной; станет реальной перестройка импульсной переходной харак-

теристики КОВУ путем управления амплитудно- и фазочастотной характеристиками фильтров, синтезированных с помощью ЭЦВМ.

Совершенно необходимы такие устройства в КОВУ, специализированных для решения задач распознавания (классификации), в которых требуется обеспечивать независимость вычисляемых мер близости от масштаба и ориентации предъявляемых изображений. Наконец, оперативные входные устройства, работающие по принципу «мгновенных транспарантов», позволили бы решить многочисленные задачи фильтрации и коррекции изображений (в том числе и в реальном времени [3]) и проблеме оптических связей в вычислительных комплексах путем пространственного уплотнения каналов [4].

Создание оперативных устройств ввода затрудняется из-за отсутствия управляемых пространственных модуляторов света. В то же время известен ряд физических эффектов, которые могут быть использованы при разработке таких модуляторов.

Принципиально работа пространственных модуляторов основывается на свойствах оптически прозрачных сред с переменными (управляемыми) параметрами изменять амплитуду и фазу несущей. Технически это достигается известными способами внешней амплитудной и фазовой модуляции светового пучка путем изменения коэффициентов поглощения, преломления или отражения сред и вращения плоскости поляризации.

Указанные воздействия на световой пучок могут быть получены при использовании электрооптических эффектов (линейного и квадратичного) в твердых телах (кристаллы ADP, KDP, KTN и др.), жидкостях (нитробензол, коллоидные среды), явлений поглощения среды, через которую проходит свет (эффект Франца — Келдыша), магнитооптического эффекта в тонких магнитных пленках (эффект Фарадея), явлений «оптического контакта» в волоконных световодах, поверхностных микроскопических деформаций в светомодулирующих слоях (термопластики) и в пленочных объемных конструкциях.

Модулирующая среда и структура «рабочего поля» модулятора (дискретная или непрерывная) выбираются, исходя из требуемых разрешающей способности модуляторов, скорости ввода данных, возможности многократного повторения циклов записи и стирания, оптической однородности и технической воспроизводимости. Помимо элементов непосредственного воздействия на световой пучок рассматриваемые устройства должны включать управляемые каналы связи с источниками информации (ЭЦВМ, внешние устройства, оператор) и в случае необходимости функциональные узлы, осуществляющие наряду с вводом предварительную обработку исходных изображений (например, с целью их нормирования по положению, ориентации и масштабу).

Возможны ситуации, когда в качестве пространственных модуляторов могут использоваться отражающие или прозрачные поверхности исследуемых объектов (случай измерения поля деформаций или вибраций на металлических, металлизированных или оптически прозрачных поверхностях). В этом случае необходимость непосредственно в устройствах ввода отпадает и назначение последних ограничивается только функциями предварительного преобразования сигналов.

Существует два основных алгоритма ввода и предварительной обработки информации: последовательный и параллельный. Первый из них уже реализован в некоторых разработках (например, [3]) и заключается в последовательном разложении входных изображений и в их поэлементном преобразовании. Сведений о реализации параллельных алгоритмов еще не имеется, но очевидно, что в этом случае процессы разложения

и преобразования изображений должны совмещаться и совершаться для всех элементов одновременно.

Прототипы устройств ввода последовательного действия могут быть созданы на телевизионных трубках светоклапанного типа со светомодулирующими экранами в вакуумной камере. Электроннолучевая система высокого разрешения позволяет создавать на экране распределение заряда, соответствующее вводимому в оптическую систему черно-белому изображению. При этом предполагается, что трубка работает в паре с одной из обычных передающих трубок, например с видиконом, используемой для считывания предъявляемых изображений.

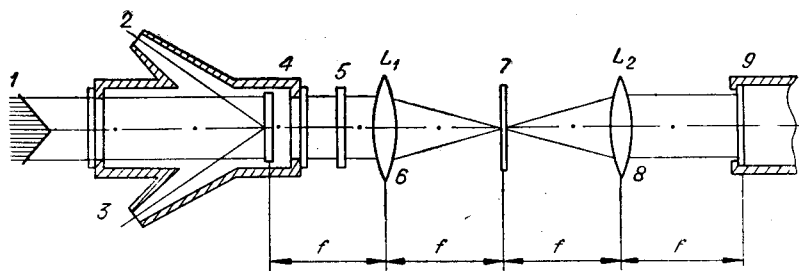


Рис. 2. Схема пространственной фильтрации с использованием светоклапанной трубки:

1 — поляризованный когерентный пучок света; 2 — записывающий луч; 3 — стирающий луч; 4 — кристаллический экран; 5 — анализатор; 6 — линза, осуществляющая пространственное Фурье-преобразование; 7 — фильтр пространственных частот; 8 — линза, восстанавливающая изображение; 9 — светочувствительная поверхность передающей телевизионной трубки.

Так, в трубке с кристаллическим экраном заряд, наносимый на поверхность экрана, создает между его лицевой стороной и подложкой поперечное электрическое поле, которое изменяется в соответствии с рельефом считываемого изображения. Каждый элементарный участок экрана представляет собой модулятор на срезе кристалла и благодаря электрооптическому эффекту осуществляет фазовую модуляцию проходящей через экран когерентной световой волны. Для преобразования фазомодулированного сигнала в амплитудномодулированный непосредственно за экраном под прямым углом к плоскости поляризации луча располагается анализатор. При отсутствии поля на кристаллическом экране свет через анализатор не проходит. Увеличение поля в данной точке приводит к вращению плоскости поляризации элементарного модулятора и к изменению интенсивности света на выходе анализатора. Подобные трубки использованы в системах дальней космической связи (рис. 2) для фильтрации изображений в реальном масштабе времени [3]. Поляризованный лазерный пучок света 1 в такой системе, пройдя через трубку и анализатор 5, попадает на линзу 6, осуществляющую пространственное преобразование Фурье в плоскости фильтра 7. Затем изображение, записанное электронным лучом на поверхности кристалла, восстанавливается линзой 8 и проектируется на светочувствительную поверхность видиконовой телевизионной камеры 9, осуществляющей дальнейшую передачу.

Прототипами модуляторов параллельного действия являются мозаичные (матричные) системы компактно расположенных электрооптических ячеек («точечных» модуляторов), каждая из которых работает в режиме «оптического затвора» и управляется автономно соответствующим сигналом (рис. 3), а также светомодулирующие слои с фотопластической или фотозарядной записью.

В качестве точечных модуляторов света могут быть использованы твердые или жидкостные электрооптические ячейки, модуляторы, основанные на эффекте Франца — Келдыша, мембранные модуляторы света и волоконные переключатели. «Оптические затворы», выполняемые на электрооптических ячейках, представляют собой единичные фазовые модуляторы, помещаемые между поляризующим элементом и анализатором. Главные плоскости последних скрещены между собой и составляют некоторый угол с собственным направлением ячейки. В отсутствие управляющего сигнала (поля) свет через такую систему не проходит

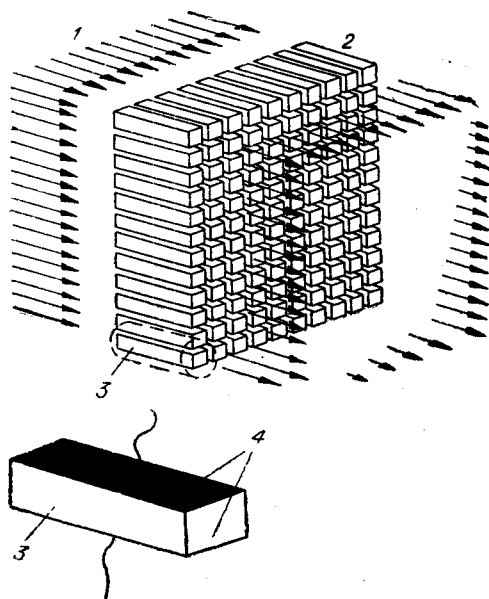


Рис. 3. Матричный модулятор света:

1 — когерентный пучок света;
2 — матрица электрооптических кристаллов; 3 — единичный элемент матрицы («точечный» модулятор);
4 — управляющие электроды.

(затвор «закрыт»). Наличие двойного лучепреломления, которое возникает при наложении поля, приводит к появлению разности фаз между обыкновенными и необыкновенными лучами. При разности фаз лучей, равной π , световой пучок, проходящий через единичный модулятор, максимален (затвор «открыт»). Для уменьшения величины управляющих напряжений в системах на электрооптических элементах используют поперечный электрооптический эффект. При этом минимальные размеры описанных ячеек на кристаллах составляют $0,25 \times 0,25 \times 3 \cdot 10^{-3}$ м. Изготовление большого числа таких микроскопических кристаллов, трудность их ориентации, а также малая разрешающая способность, являются главными препятствиями на пути создания и применения подобных мозаичных модуляторов [4].

В основе «оптических затворов» на полупроводниковых материалах может лежать эффект поглощения света свободными носителями зарядов. Управление их концентрацией позволяет изменять прозрачность среды по отношению к световому пучку в довольно широких пределах.

Принцип действия световолоконных переключателей основан на использовании явления «оптического контакта» [5, 6]. Воздействуя электрическим путем на коэффициент преломления среды, окружающей световолокно, можно «отпирать» и «запирать» отдельные волокна, осуществляя пространственную амплитудную модуляцию проходящего пучка света.

Перспективными являются методы механической модуляции лазерного излучения пространственными модуляторами, составленными из

мембранных элементов [7, 8]. Такая система представляет собой твердую структуру, преобразующую микроскопические механические деформации элементов в изменение фазы световой волны. Это достигается особым конструктивным исполнением модулятора, который в простейшем случае состоит из металлизированного слоя полимера, расположенного на плоской подложке с большим количеством микроскопических отверстий. Электростатические силы, возникающие при приложении к электродам управляющего напряжения, вызывают «рябь» в полимерной пленке, осуществляя тем самым фазовую модуляцию когерентных световых волн, отраженных от данной части поверхности. Минимальные размеры элементарного мембранного модулятора составляют $10-50 \cdot 10^{-6}$ м, время реакции $50-500 \cdot 10^{-3}$ с.

Пространственные модуляторы независимо от физической природы и принципа действия их элементов работают совместно с первичными преобразователями, осуществляющими кодирование (в частности, двоичное) входных оптических изображений в некогерентном свете и их перезапись с целью обработки в КОВУ. При невысокой разрешающей способности модулятора роль первичных преобразователей могут выполнять обычные фотоматрицы. С увеличением числа элементов модулятора возрастают и требования к первичному преобразователю, который по своему разрешению не должен уступать разрешающей способности модулятора. Возникают, таким образом, значительные трудности управления этими элементами. Поэтому неизбежен переход на электронно-оптические методы управления модуляторами, при которых роль первичного преобразователя примут на себя фотокатоды электронно-оптических систем или фотополупроводниковые слои, управляющие поверхностными деформациями светомодулирующих сред [9].

В заключение еще раз заметим, что при всей простоте, многообразии функциональных возможностей и многочисленных приложениях КОВУ их практическое использование сдерживается отсутствием оперативных и гибких систем ввода данных. Поэтому ввод данных в КОВУ становится одной из центральных задач, решение которой сводится к разработке пространственных модуляторов света и методов управления ими.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. J. Cutrona, E. N. Leith, C. J. Palermo, L. J. Parcelllo.— Optical Data Processing and Filtering Systems.— IRE Trans., 1960, IT-6, № 3.
2. W. V. Smith. Critique of Symposium on Optical and Electro-optical Information Processing Technology.— Opt. and Electroopt. Information Process. Cambridge, Mass.— London, 1968.
3. W. J. Poppelbaum, M. Faiman. Uncommon Electrooptics for Display and Processing.— Wescon Techn. Papers, 1968, № 1. Экспресс-информация, «Вычислительная техника», 1969, № 26, реф. 84.
4. B. R. Shah, K. L. Konnerth. Optical interconnections in computers. Wescon Techn. Papers, 1968, № 1. Экспресс-информация, «Вычислительная техника», 1969, № 28.
5. A. H. Nethercot. Electro-optical Coupling of Fibers. Патент США, 3208342.
6. Memorie optique permanente. Французский патент, 1541986.
7. Входные устройства вычислительных машин с мембранными модуляторами света.— Радиоэлектроника за рубежом, 1969, № 45.
8. K. Preston. Proceedings 1968 International Solid State Circuits Conference. Philadelphia, Pennsylvania.
9. В. П. Азовцев, Д. Д. Судравский. Принцип управления поверхностными деформациями светомодулирующих слоев (обзор).— «Техника кино и телевидения», 1969, № 12.

Поступила в редакцию
7 сентября 1970 г.