

зовании больших увеличений, а также при введении цифровой коррекции геометрических искажений оптико-телевизионного тракта.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили эффективность применения методов пространственно-частотной фильтрации при разработке оптико-цифровых систем промышленного контроля на базе телевизионных средств. С помощью этих методов удается осуществить мультиплицирование изображения по сложному закону совместно с его высокочастотной фильтрацией и тем самым сформировать в приемном поле телекамеры дифференциальное изображение, содержащее всю необходимую информацию о геометрических параметрах различных фрагментов контролируемого изделия. Сочетание такого аналогового оптического преобразования с его цифровой обработкой позволяет существенно расширить класс контролируемых изделий и увеличить диапазон измерений практически без потери точности и быстродействия измерительной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вертопрахов В. В., Михляев С. В., Чугуй Ю. В., Юношев В. П. Оптико-цифровая система промышленного контроля.— Автометрия, 1983, № 4.
2. Полоник В. С. Телевизионные автоматические устройства.— М.: Связь, 1974.
3. Горелик С. Л., Кац Б. М., Киврин В. И. Телевизионные измерительные системы.— М.: Связь, 1980.
4. Birch K. G. A spatial frequency filter to remove zero frequency.— Opt. Acta, 1968, vol. 15, N 2.
5. Dew G. D. The application of spatial filtering techniques to profile inspection, and an associated interference phenomenon.— Opt. Acta, 1970, vol. 17, N 4.
6. Gupta S. V., Sen D. Dark-field (diffrimoscopic) images of periodic objects.— Opt. Acta, 1972, vol. 19, N 2.
7. Зверев В. А., Хилько А. П., Шишарин А. В. К вопросу об использовании источников некогерентного белого света в схемах пространственной фильтрации изображений.— Автометрия, 1978, № 2.
8. Кривенков Б. Е., Чугуй Ю. В. Качественное оконтуривание двумерных теневых изображений.— Автометрия, 1979, № 1.
9. Бобров С. Т., Котлецов Б. Н., Минаков В. И., Туркевич Ю. Г. Дифракционные решетки с порядками одинаковой интенсивности.— В кн.: Голографические измерительные системы/Под ред. А. Г. Козачка.— Новосибирск, 1978, вып. 2, с. 123—129.

Поступила в редакцию 24 марта 1983 г.

УДК 681.325 : 621.378.9

С. К. ЛИ, Э. А. МНАЦАКАНЯН, В. Н. МОРОЗОВ

(Москва)

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ

Введение. Несмотря на то, что создание БИС (больших интегральных схем) явилось крупнейшим достижением цифровой вычислительной техники, оно, однако, не смогло решить проблемы выпуска малыми сериями разнообразных логических схем, так как это связано с большими затратами на проектирование и производство БИС. Для реализации указанных логических схем в последнее время разработаны и находят все более широкое применение в различных устройствах вычислительной техники и цифровой автоматики программируемые логические матрицы (ПЛМ). Они представляют собой высокорегулярные электронные логические схемы, позволяющие вычислять набор определенных дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ) [1].

В зависимости от внутренней структуры различают ПЛМ комбинационной логики и ПЛМ с памятью [2]. Общим у них является то, что они состоят из двух частей: первая часть формирует m конъюнкций от n переменных, а вторая часть образует l дизъюнкций от этих конъюнкций. Имеются также входные и выходные буферы для перевода в парафазный код или инвертирования входных и выходных разрядов. Отличие же между указанными типами ПЛМ заключается в том, что ПЛМ с памятью содержит p -разрядный регистр обратной связи между второй и первой частями, так что в этом случае $n = n_0 + p$, а $l = l_0 + p$ (n_0 — число внешних входов, l_0 — выходов), а ПЛМ комбинационной логики обратной связи не имеет, т. е. $p = 0$.

ПЛМ обоих типов могут быть как однократно программируемыми в процессе изготовления или в условиях эксплуатации, так и репрограммируемыми пользователем (ниже последние будем обозначать РПЛМ). Одна из главных причин того, что РПЛМ не нашли пока широкого применения, заключается в трудности быстрого и «удобного» изменения вида реализуемых ДНФ. Так, например, в одном из типов РПЛМ содержимое стирается при помощи получасового облучения ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами, после чего может быть вновь запрограммировано электрическим способом.

Таким образом, основными характеристиками ПЛМ (наряду с возможностью репрограммирования) служат быстродействие t , число входов n , выходов l и элементарных конъюнкций m . Значения указанных величин для выпускаемых серийно и описанных в литературе матриц следующие [2]: $n \approx 10 \div 20$, $m \leq 20$, $l \approx 50 \div 100$, $t \approx 30 \div 250$ нс. Важнейшими достоинствами ПЛМ, на наш взгляд, являются высокое быстродействие, параллельная и многофункциональная обработки данных и исключительная надежность, поскольку неисправность часто приводит лишь к незначительному сокращению n , l или m . Очевидно, что у репрограммируемых структур последние два свойства выражены значительно сильнее. Именно эти свойства более всего присущи обработке в оптическом диапазоне, что позволяет надеяться на возможность создания достаточно быстродействующих оптоэлектронных РПЛМ с малыми временами репрограммирования.

В настоящей работе предлагается принципиальная оптическая схема такого РПЛМ, анализируются ее особенности и оцениваются некоторые физические и геометрические параметры элементов. Чтобы не касаться вопросов влияния и реализации обратной связи между двумя частями матрицы, рассмотрим лишь ПЛМ комбинационного типа; приведенные ниже рассуждения будут справедливы и для ПЛМ с памятью.

Принципиальная схема оптоэлектронной ПЛМ и ее функционирование. В основу работы схемы, представленной на рис. 1, положены оптические методы выполнения логических операций, разработанные в [3]. Пусть набор входных переменных $\{x_i\}$ задан в виде бинарной световой картины, где каждому x_i соответствуют две горизонтальные полосы: при $x_i = 1$ сначала идет светлая полоса, затем — темные; при $x_i = 0$ — наоборот.

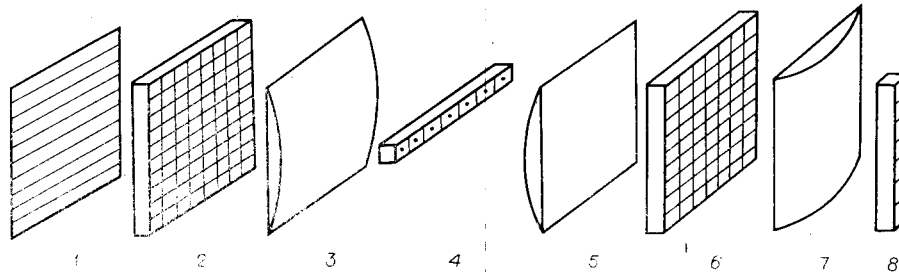


Рис. 1. Оптическая схема репрограммируемой оптоэлектронной логической матрицы: 1 — входное устройство бинарных переменных в парафазном коде, 2 — бинарная маска, 3 — цилиндрическая линза, 4 — линейка фотоприемник — излучатель, 5 — цилиндрическая линза, 6 — бинарная маска, 7 — цилиндрическая линза, 8 — линейка фотоприемников.

рот, т. е. переменные представлены в парафазном коде. Указанная картина модулируется некоторой бинарной маской, затем собирается по одной координате (в данном случае по вертикали) оптической системой с цилиндрической линзой на линейку фотоприемников, каждый из которых связан простейшей логической схемой со своим светоизлучателем (последние также образуют линейку). Логические схемы должны обеспечивать включение светоизлучателей при отсутствии света на соответствующем фотоприемнике, иными словами, выполнять инверсию поступающего на вход оптического сигнала. Поскольку фотоприемник работает в данном случае как пороговый элемент, а по известной формуле —

$$a_1 \vee \bar{a}_2 \vee \dots \vee a_i \vee \dots \vee \bar{a}_{n-1} \vee a_n = \\ = \bar{a}_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge \bar{a}_i \wedge \dots \wedge a_{n-1} \wedge \bar{a}_n$$

(a_i — 0 или 1, \vee и \wedge — логические сложение и умножение), ясно, что описанная часть схемы реализует набор конъюнкций вида

$$k_1 = \bar{x}_1 x_2 \dots \bar{x}_i \dots \bar{x}_{n-1} x_n,$$

$$k_2 = x_1 \bar{x}_3 x_n,$$

.....

$$k_j = x_2 x_3 \bar{x}_n,$$

.....

$$k_{m-1} = x_5 x_6 x_7 x_{n-1},$$

$$k_m = \bar{x}_{n-1} x_{n-3} \bar{x}_{n-4} x_n.$$

Здесь m равно числу столбцов в маске и, следовательно, числу фотоприемников. Очевидно, вид k_j задается маской, ибо наличие или отсутствие x_i и \bar{x}_i в данной конъюнкции полностью определяется соответствующей ячейкой маски.

Вторая часть схемы служит для получения l дизъюнктивных нормальных форм от вычисленных конъюнкций:

$$D_1 = k_1 \vee k_2 \vee \dots \vee k_j \vee \dots \vee k_{m-1} \vee k_m,$$

$$D_2 = k_2 \vee \dots \vee k_{j-1} \vee k_{m-4},$$

.....

$$D_s = k_1 \vee k_3 \vee k_5,$$

.....

$$D_{l-1} = k_2 \vee k_4 \vee k_6 \vee k_8,$$

$$D_l = k_4 \vee k_5 \vee k_7.$$

Одномерная картина от линейки светоизлучателей преобразуется соответствующей оптикой в параллельный пучок, представляющий собой вертикальные полосы света. Затем этот пучок проходит через вторую маску и вновь собирается оптической системой (но уже в горизонтальном направлении) на вертикально расположенную линейку фотоприемников. Выход схемы может быть как электрическим, так и оптическим. В последнем случае необходимо соединение фотоприемников с линейкой излучателей, как и в первой части схемы, но без инверсии сигнала с фотоприемника.

Таким образом, представленная на рис. 1 оптическая схема выполняет функции ПЛМ комбинационного типа. Для того чтобы иметь возможность репрограммирования, необходимо заменить постоянные маски электрически управляемыми транспарантами. Это позволит, меняя управляющие сигналы, формировать произвольные маски, а значит, и менять виды конъюнкций и дизъюнкций. Время репрограммирования будет, очевидно, зависеть только от типа и формата транспаранта.

Следует отметить, что существует возможность реализовать на двух транспарантах несколько параллельно работающих оптоэлектронных

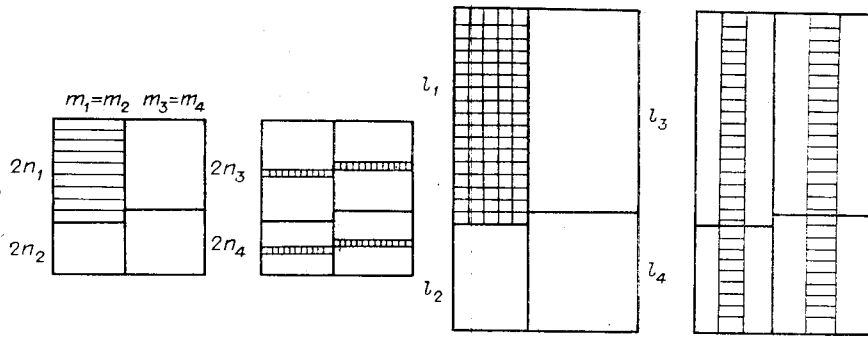


Рис. 2. Преобразование информации в оптической схеме рис. 1 для четырех параллельно работающих репрограммируемых логических оптоэлектронных матриц.

РПЛМ. Действительно, если информационная емкость транспарантов достаточно велика, их рабочие поля можно разделить на участки, каждый из которых в своем оптическом канале выполняет функции переменной маски. На рис. 2 показано преобразование входной картины по мере ее прохождения через оптическую схему, причем рассмотрен случай, когда число параллельно и независимо работающих РПЛМ равно четырем. Из рисунка нетрудно понять связь между емкостью транспарантов, количеством реализуемых логических матриц и их основными информационными характеристиками. При расположении отдельных ПЛМ в один ряд

$$N_1^1 = \sum_{i=1}^I m_i, N_2^1 = \max 2n_i, N_1^2 = N_1^1, N_2^2 = \max l_i,$$

где n_i , m_i , l_i — указанные выше параметры i -й логической матрицы; N_1^1 и N_2^1 , N_1^2 и N_2^2 — размеры (в битах) по горизонтали и вертикали первого и второго транспарантов соответственно. Если же расположение матриц неоднородное, размеры транспарантов определяются количеством рядов и их максимальной длиной. Так, например, при $N_1^1 \times N_2^1 = 128 \times 128$, $N_1^2 \times N_2^2 = 128 \times 256$ бит возможна реализация 32 четырехрядно расположенных логических матриц с параметрами $n_i = m_i = 16$, $l_i = 64$.

Оценим быстродействие рассматриваемой оптической схемы. В случае пренебрежения временем прохождения света через схему можно считать, что

$$t = t_1 + t_2, \text{ а } t_{1,2} = (t_{\Phi} + t_{\Pi} + t_c)_{1,2}.$$

Здесь t — быстродействие всей схемы, t_1 и t_2 — быстродействия первой и второй линеек, причем t_1 и t_2 складываются из времен срабатывания фотоприемника t_{Φ} , логической схемы t_{Π} и светоизлучателей t_c . Поскольку временные характеристики указанных отдельных элементов достигают 10 нс и меньше, t может составлять 20—30 нс, что сравнимо с самыми быстродействующими электронными ПЛМ.

Из изложенного ясно, что характеристики транспарантов не влияют на быстродействие схемы, но полностью определяют время репрограммирования. Если оба транспаранта имеют стандартное построчное электрическое управление и изменение их управляющих сигналов происходит одновременно, время репрограммирования

$$t_p = \max(\tau_i N_2^i),$$

где τ_i — время перезаписи одной строки i -го транспаранта. Принимая $\tau_i \leq 10^{-5}$ с (что вполне достижимо), а количество строк $N_2^i \approx 2 \cdot 10^2$, получим значения t_p порядка или меньше $2 \cdot 10^{-3}$ с. Для транспарантов на ортоферрите иттрия, у которых $\tau_i \approx 3 \cdot 10^{-8}$ с [5], время репрограммирования достигает 10^{-5} с.

Анализ особенностей схемы и оценки некоторых характеристик ее элементов. В предложенной оптической схеме в качестве светоизлучателей могут применяться источники как когерентного, так и некогерентного света. Нам представляется оптимальным использование светодиодов, ибо, с одной стороны, они подходят по габаритам, быстродействию, легко стыкуются с электроникой, а с другой — работа в некогерентном свете имеет ряд известных преимуществ. Так как излучение каждого светодиода делится лишь на m или l ячеек, нетрудно видеть, что существующие светодиоды и фотоприемники вполне удовлетворяют данным требованиям [6].

С точки зрения оценочного расчета схему, изображенную на рис 1, удобно разделить на две части, каждую из которых можно рассматривать отдельно. Поскольку в функциональном смысле эти части аналогичны, достаточно ограничиться рассмотрением только одной из них, например первой. Пусть на каждую ячейку транспаранта падает световая мощность P_n . Мощность света, собранного цилиндрической линзой со всех $2n$ ячеек столбца на фотодетектор, будет

$$P_\phi(c) = \alpha P_n [c + (2n - c)/K],$$

где α — пропускание транспаранта, c — число открытых ячеек в столбце, K — контраст. Чтобы избежать ложных срабатываний фотоприемника, необходимо иметь $P_\phi(1)/P_\phi(0) \gg 1$ или $K/2n \gg 1$, поскольку только в этом случае можно подобрать пороговую чувствительность фотоприемника так, чтобы уверенно определить, есть ли свет хотя бы в одной ячейке столбца или светящихся ячеек вообще нет.

Как указано во введении, $n \lesssim 20$, поэтому контраст должен быть $K \gtrsim 200$. На наш взгляд, наиболее перспективными для использования в оптоэлектронных РПДМ являются электрически управляемые транспаранты на жидкокристаллических, магнитооптических и сегнетоэлектрических материалах. Они обладают достаточно высоким контрастом [5], а их выбор зависит от требуемых в конкретной задаче быстродействия, рабочей длины волны и других важнейших характеристик.

Ошибки в считывании могут возникнуть также из-за перекрестных помех вследствие дифракционных эффектов и аберраций оптических элементов. Рассмотрение аберраций выходит за пределы данной работы, поэтому остановимся только на оценке влияния дифракционных эффектов в случае некогерентного света. Помехи на i -м фотоприемнике, очевидно, максимальны тогда, когда все ячейки $i+1$ - и $i-1$ -го столбцов транспаранта полностью открыты. Следовательно, расстояние между фотоприемниками (а значит, и между столбцами) следует выбрать таким, чтобы интенсивность света, попадающего из-за дифракции с $i+1$ - и $i-1$ -го столбцов на i -й фотоприемник, даже в данном предельном случае была существенно меньше интенсивности одной светящейся ячейки I_n . Только тогда можно уверенно определить на фоне помех наличие хотя бы одной открытой ячейки в i -м столбце. Чтобы оценить требуемый шаг линейки фотоприемников, воспользуемся известными результатами дифракции Фраунгофера, считая для простоты эффективный зрачок оптической системы круглым. Но в отличие от обычного подхода, принимающего во внимание только размер центрального пятна картины Эйри, здесь следует учитывать и вторичные максимумы. Действительно, из-за наложения дифракционных картин от $2n$ ячеек интенсивности максимумов возрастут в $2n$ раз и будут сравнимы с I_n . Поэтому минимальный шаг Δ должен определяться из выражения [7]

$$\Delta \approx (\lambda/d) 2nrf,$$

где λ — длина волны света, d — диаметр эффективного зрачка, r — порядковый номер минимума дифракционной картины, f — фокусное расстояние оптической системы. Из [7] ясно, что можно ограничиться $r=4$, и тогда, принимая $\lambda = 0,63 \cdot 10^{-6}$ м, $n \approx 20$, $f = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $d = 3 \cdot 10^{-2}$ м, получим $\Delta \approx 200$ мк.

Заключение. Предложенная в работе оптоэлектронная РПЛМ может иметь высокое быстродействие ($\sim 20 \div 30$ нс) и малое время репрограммирования (до $10^{-4} - 10^{-3}$ с). Процедура репрограммирования весьма проста и, по существу, сводится к стандартному построчному переключению ячеек электрически управляемых транспарантов. При большой емкости транспарантов существует возможность реализации на них нескольких параллельно работающих РПЛМ. Учитывая изложенное, можно надеяться на достаточно широкое применение оптоэлектронных логических матриц как в периферийных устройствах ЭВМ, так и в центральном процессоре. Наиболее перспективными они могут быть там, где требуются многофункциональность и параллельность обработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рейлинг Дж. Программируемые логические матрицы — новый элемент систем обработки данных. — Электроника, 1974, № 16.
2. Баранов С. И., Синев В. Н. Программируемые логические матрицы в цифровых системах. — Зарубеж. радиоэлектроника, 1979, № 1.
3. Басов Н. Г. и др. Принципы построения оптических процессоров с переменными операторами. — Квант. электроника, 1978, № 1.
4. Шеффер Д. Х., Стронг III Дж. П. Пиктографические ЦВМ. — ТИИЭР, 1977, № 1.
5. Микаэльян А. Л., Комлев А. А., Киселев Б. С. Линейные многоканальные модуляторы света для радиооптических систем. — В кн.: Тез. докл. Первой всесоюз. конф. по радиооптике. Фрунзе, 1981.
6. Ботез Д., Херсковиц Дж. Дж. Компоненты оптических систем связи: Обзор. — ТИИЭР, 1980, № 6.
7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973.

Поступила в редакцию 18 июня 1982 г.

УДК 535.8 : 535.411

**В. А. ЗУБОВ, А. В. КРАЙСКИЙ,
С. М. МЕСА ХОРДАН, Т. Т. СУЛТАНОВ**
(Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ КОГЕРЕНТНОСТИ ДЛЯ КОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Проблема уменьшения габаритов когерентных оптических систем обработки имеет важное значение в практических приложениях. Одно из основных направлений ее решения заключается в переходе от газовых лазеров к полупроводниковым инжекционным лазерам, характеризующимся высокими КПД и выходной мощностью [1]. В некоторых случаях может представлять интерес использование газоразрядных источников света. Однако практическое использование таких источников излучения в схемах с согласованным голографическим фильтром (см., например, [2, 3]) и в схемах интерференционных корреляторов [4, 5] вызывает трудности, связанные с низкой степенью когерентности излучения. В данной работе рассматривается схема интерференционного коррелятора с модифицированным двухлучевым интерферометром [6]. Эта схема, как и схема, описанная в [4, 5], основана на фотоэлектрической регистрации картины интерференции двух световых полей, сформированных транспарантом и фильтром. Отклик приемника дает функцию корреляции для указанных световых полей. Схема обеспечивает выравнивание с высокой точностью длин оптических световых пучков и надежное совмещение их пространственных структур в обоих плечах интерферометра, что резко снижает требования к временной и пространственной коге-