

ОПТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.332(088.8)

Е. Г. СТОЛОВ

(Ленинград)

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОДИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

В статье предлагается новый подход к проблеме параллельной обработки больших массивов данных. Кодирование в данном случае осуществляется путем представления информации о каждом объекте в виде светящейся точки с определенным спектром излучения. В основе физико-технической реализации предлагаемого подхода лежат следующие возможности:

а) получение плоской светящейся площадки, каждая точка которой имеет определенный спектр излучения (например, с помощью источника света, объектива, спектрального прибора и волоконного жгута);

б) одновременное прохождение излучения каждой точки плоской светящейся площадки через спектральный фильтр, выполненный, например, в виде двух линз и расположенного между ними интерференционного фильтра;

в) выявление точек светящейся площадки с определенной яркостью свечения, сложения и вычитания изображений (например, с помощью структур, содержащих прилегающие друг к другу слои фотопроводника и электрооптического материала, помещенные между прозрачными электродами [1, 2]).

Используемые здесь способы кодирования и обработки информации поясняются на примере построения оптического вычислителя для решения нелинейных уравнений.

Блок-схема такого устройства изображена на рис. 1, а. Вычислитель содержит источник света 1 с непрерывным спектром излучения, входной объектив 2, фокусирующий излучение источника на входной щели спектрометра 3. В плоскости выходной щели спектрометра расположен плоский торец кодирующего волоконно-оптического жгута 4, другой плоский

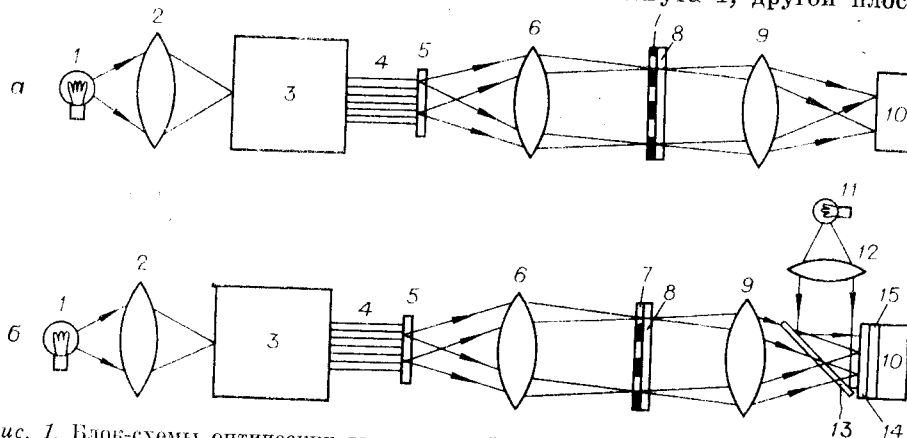


Рис. 1. Блок-схемы оптических вычислителей для решения нелинейных уравнений.

торец которого граничит с корригирующим фильтром 5 и находится в фокальной плоскости коллимирующего объектива 6. В зрачке оптической системы, образованной коллимирующим 6 и фокусирующим 9 объективами, помещен клиновой интерференционный фильтр 8 [3, 4] и прилегающий к его поверхности управляемый пространственный модулятор света 7 [5]. В фокальной плоскости фокусирующего объектива установлен приемник излучения 10, позволяющий осуществлять одновременную и независимую регистрацию оптического сигнала во всех точках рабочей поверхности, выполненный, например, на основе структур фотопроводник — электрооптический материал [1, 2]. Такой вычислитель позволяет решать нелинейные уравнения вида

$$f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n) = A, \quad x_1 \in [x_1^{(1)}, x_1^{(2)}] \dots x_n \in [x_n^{(1)}, x_n^{(2)}], \quad (1)$$

а также системы уравнений такого же типа.

Вычислитель, изображенный на рис. 1, б, содержит дополнительный источник света 11, а его излучение, преобразованное в параллельный пучок объективом 12 и отраженное от спектроделительного фильтра 13, падает на рабочую поверхность приемника, перед которой установлены тонкий слой фотохромного вещества 14 и оптический фильтр 15. Этот вычислитель позволяет находить решения в заданных интервалах изменения неизвестных нелинейных уравнений и их систем.

Не ограничивая общности, для простоты объяснения работы вычислителя по схеме рис. 1, б рассмотрим следующее нелинейное уравнение:

$$f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n) + \varphi(x_1)\beta(x_2) = B. \quad (2)$$

Будем считать все функции в уравнениях (1) и (2) положительными.

Для кодирования информации об x_1 отводится оптический интервал длин волн $[\lambda_1^{(1)}, \lambda_1^{(2)}]$, при этом каждому значению x_1 соответствует длина волны излучения λ_1 :

$$\lambda_1 = \lambda_1^{(1)} + \frac{x_1 - x_1^{(1)}}{x_1^{(2)} - x_1^{(1)}} (\lambda_1^{(2)} - \lambda_1^{(1)}). \quad (3)$$

Аналогичным образом для x_2, x_3, \dots, x_n отводятся интервалы $[\lambda_2^{(1)}, \lambda_2^{(2)}], \dots, [\lambda_n^{(1)}, \lambda_n^{(2)}]$, и значению x_i будет соответствовать длина волны излучения λ_i :

$$\lambda_i = \lambda_i^{(1)} + \frac{x_i - x_i^{(1)}}{x_i^{(2)} - x_i^{(1)}} (\lambda_i^{(2)} - \lambda_i^{(1)}). \quad (4)$$

Таким образом, светящаяся «точка», в спектре излучения которой содержится n монохроматических линий равной интенсивности $\lambda_1 \in [\lambda_1^{(1)}, \lambda_1^{(2)}], \dots, \lambda_n \in [\lambda_n^{(1)}, \lambda_n^{(2)}]$, представляет в закодированной форме одну из точек области, в которой ищется решение уравнения (под светящейся «точкой» подразумевается торец одного из волокон жгута 4).

В плоскости выходной щели спектрометра 3 (см. рис. 1, а) образуется непрерывный спектр. В результате прохождения излучения через кодирующий волоконно-оптический жгут 4 на противоположном его торце образуется светящаяся площадка, каждая точка которой представляет в закодированной форме одну из точек области изменения значений неизвестных; иначе говоря, спектр излучения каждой точки содержит n монохроматических линий, относящихся к интервалам длин волн $[\lambda_1^{(1)}, \lambda_1^{(2)}], [\lambda_2^{(1)}, \lambda_2^{(2)}], \dots, [\lambda_n^{(1)}, \lambda_n^{(2)}]$. Этот эффект достигается за счет надлежащего выбора конструкции кодирующего жгута 4 (рис. 2). Число волокон в жгуте 4 равно nN , где N — общее число точек в области изменения неизвестных, среди которых ищется решение. Для представления каждой точки используются n элементарных волокон, торцы которых располагаются в плоскости выходной щели спектрометра таким образом, что в одном волокне распространяется монохроматическое излучение, относящееся к интервалу длин волн $[\lambda_1^{(1)}, \lambda_1^{(2)}]$, в другом — $[\lambda_2^{(1)}, \lambda_2^{(2)}]$, и т. д. Проти-

воположные концы этих волокон соединяются в одно волокно, торец которого располагается в фокальной плоскости коллимирующего объектива 6. Таким образом, источник света 1, объектив 2, спектрометр 3 и волоконно-оптический жгут 4 реализуют операцию ввода в оптический вычислитель информации о всех точках из области изменения неизвестных, среди которых ищутся решения. Излучение каждой точки торца кодирующего жгута 4, прошедшее корригирующий фильтр 5, преобразуется коллимирующим объективом 6 в параллельный пучок лучей (корригирующий фильтр 5 введен для достижения одинаковой спектральной плотности излучения с учетом спектральной чувствительности прибора). Параллельный пучок проходит через управляемый пространственный модулятор света 7 и клиновидный интерференционный фильтр 8. Спектральная характеристика всего фильтра, состоящего из элементов 7 и 8, устанавливается равной

$$T(\lambda) = Cf_1 \left(x_1^{(1)} + \frac{\lambda - \lambda_1^{(1)}}{\lambda_1^{(2)} - \lambda_1^{(1)}} (x_1^{(2)} - x_1^{(1)}) \right), \lambda_1^{(1)} \leq \lambda \leq \lambda_1^{(2)},$$

. . .

$$T(\lambda) = Cf_n \left(x_n^{(1)} + \frac{\lambda - \lambda_n^{(1)}}{\lambda_n^{(2)} - \lambda_n^{(1)}} (x_n^{(2)} - x_n^{(1)}) \right), \lambda_n^{(1)} \leq \lambda \leq \lambda_n^{(2)},$$

где $T(\lambda)$ — зависимость энергетического коэффициента пропускания от длины волны λ оптического фильтра, C — произвольная положительная постоянная. Отсюда видно, что если спектр излучения какой-либо «точки» в торце жгута 4 содержит n монохроматических линий, соответствующих длинам волн $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, представляющих в закодированном виде точку в области изменения неизвестных с координатами x_1, x_2, \dots, x_n , то после прохождения излучения через оптический фильтр яркость точки, оптически сопряженной с вышеуказанной и расположенной на рабочей площадке приемника излучения 10, будет равна

$$D = E(f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n)), \quad (6)$$

где E — постоянная, зависящая от свойств всех элементов оптического вычислителя. Таким образом, коллимирующий 6 и фокусирующий 9 объективы, расположенные между ними клиновидный интерференционный фильтр 8 и пространственный модулятор света 7 осуществляют функциональное преобразование набора n чисел — (x_1, x_2, \dots, x_n) — в функцию n переменных: $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_1(x_1) + \dots + f_n(x_n)$. Заметим, что при этом происходит переход от одной формы кодирования к другой: если до этого информация о значении конкретного числа, например x_1 , полностью определялась длиной волны излучения согласно (3), то после прохождения интерференционного фильтра информация о значении функции и переменных будет полностью определяться яркостью свечения соответствующей точки согласно (6).

Приемники излучения, выполненные, например, в виде структуры фотопроводник — электрооптический материал (ФПЭМ) и канала считывания (канал считывания приемника на схемах рис. 1, а и б не приво-

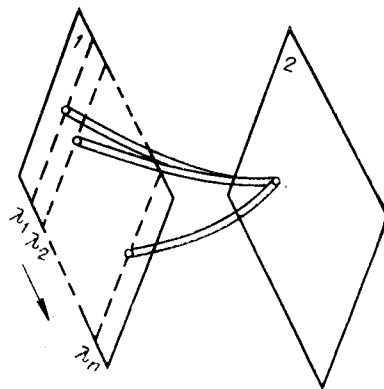


Рис. 2. Конструкция одного элементарного суммирующего жгута, входящего в жгут 4 и представляющего в закодированной форме одну из точек области изменения неизвестных. Жгут содержит n волокон, в каждом из которых распространяется монохроматическое излучение определенной длины волны: 1 — плоскость выходной щели спектрометра, 2 — фокальная плоскость объектива 6, стрелкой обозначено направление оси дисперсии спектрометра.

дится), позволяют выявлять и регистрировать те точки изображения, в которых яркость имеет заданный уровень.

Процесс выявления контуров изображений, в которых яркость имеет заданный уровень, описан в работе [1]. Он заключается в том, что на пути считывающего луча устанавливаются либо компенсатор Бравэ, либо ориентированную пластинку $\lambda/4$. При этом происходит поворот плоскости поляризации электрического вектора считывающего луча на такой угол, что точки с заданным уровнем яркости будут при считывании получаться совершенно темными или наиболее яркими. Такие точки могут селективно выделяться визуально при проецировании исследуемого изображения на экран достаточно больших размеров. Заметим также, что в данном случае без проигрыша во времени могут применяться приемники с последовательным считыванием, например передающая электронно-лучевая трубка с блоком электронной обработки, селекционирующим точки с заданным уровнем сигнала. Устанавливая уровень отсечки в приемнике равным

$$D_0 = AE, \quad (7)$$

получим, что на выходном экране приемника будут высветены лишь те точки, для которых выполнено соотношение

$$f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n) = A, \quad (8)$$

т. е. точки, которые удовлетворяют уравнению (1).

Таким образом, вышеописанный приемник выполняет операцию отбора таких чисел, для которых справедливо

$$A - \varepsilon < Y < A + \varepsilon, \quad (9)$$

где величина ε зависит от конкретных параметров схемы.

Для решения системы уравнений достаточно последовательно зафиксировать на обратной фотошленке сначала все точки, представляющие в закодированном виде решения первого уравнения, затем на другом кадре — второго уравнения и т. д. После этого все M кадров (M — число уравнений системы) устанавливаются вплотную друг к другу. Такая строка будет прозрачна в тех точках, где прозрачен каждый из кадров. Поскольку каждый кадр прозрачен в точках, представляющих в закодированном виде решения одного из уравнений системы, то точки прозрачности строки будут представлять в закодированном виде решения системы уравнений. Заметим, что если при этом возникнут искажения, обусловленные значительной толщиной носителей фоточувствительных слоев, то этот нежелательный эффект может быть устранен путем последовательного проецирования кадров друг на друга с помощью $M - 1$ репродукционных объективов.

Для решения системы уравнений возможен другой путь, заключающийся в использовании в качестве экрана при считывании структуры ФПЭМ с электростатической памятью. Последовательно проецируя на такой экран решения всех уравнений, можно отсеleccionировать искомые решения системы (приемники на основе структуры ФПЭМ с памятью позволяют складывать и вычитать изображения). Математический смысл вышеуказанных операций заключается в определении пересечения M множеств чисел.

Для решения уравнения типа (2) сначала описанным выше методом получают на структуре ФПЭМ с электростатической памятью распределение интенсивности, описываемое формулой (6), после этого перед рабочей поверхностью приемника устанавливается слой фотохромного вещества 14 и оптический фильтр 15, включается дополнительный канал, состоящий из источника света 11, объектива 12 и светоделительного фильтра 13. Причем светоделитель 13 отражает излучение источника света 11 и пропускает излучение источника света 1; фотохромный слой 12 чувствителен к излучению источника 1 и нечувствителен к излучению источника 11; оптический фильтр 15 пропускает излучение источника 11 и не пропускает излучение источника 1. Спектральная характеристика оптически-

го фильтра, состоящего из модулятора 7 и интерференционного фильтра 8, устанавливается равной:

в интервале $\lambda_1^{(1)} \leq \lambda \leq \lambda_1^{(2)}$

$$T(\lambda) = H - \frac{1}{kJ_0} \ln \varphi \left(x_1^{(1)} + \frac{\lambda - \lambda_1^{(1)}}{\lambda_1^{(2)} - \lambda_1^{(1)}} (x_1^{(2)} - x_1^{(1)}) \right), \quad (10)$$

в интервале $\lambda_2^{(1)} \leq \lambda \leq \lambda_2^{(2)}$

$$T(\lambda) = P - \frac{1}{kJ_0} \ln \beta \left(x_2^{(1)} + \frac{\lambda - \lambda_2^{(1)}}{\lambda_2^{(2)} - \lambda_2^{(1)}} (x_2^{(2)} - x_2^{(1)}) \right),$$

при всех других λ $T = 0$.

Здесь H и P — произвольные положительные постоянные; J_0 — интенсивность излучения, распространяющегося в одном элементарном волюке.

Как известно [6], коэффициент пропускания фотохромного слоя γ определяется выражением

$$\gamma = Le^{-kI}, \quad (11)$$

где L и k — постоянные, характеризующие фотохромный слой; I — интенсивность падающего света. Сопоставляя формулы (11) и (10), легко убедиться в том, что распределение интенсивности излучения на рабочей площадке приемника будет

$$D = G\varphi(x_1)\beta(x_2), \quad (12)$$

G — постоянная, зависящая от параметров схемы.

Из вышеизложенного ясно, что вычислитель, схема которого приведена на рис. 4, б, позволяет осуществлять операцию перемножения нескольких функций разных переменных.

Калибруя схему так, что

$$G = E \quad (13)$$

(E — постоянная из формулы (6)), получим, что суммарное распределение коэффициента пропускания рабочей поверхности приемника равно

$$D' = G(f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n) + \varphi(x_1)\beta(x_2)). \quad (14)$$

Устанавливая уровень отсечки в приемнике

$$W = BG, \quad (15)$$

получим, что на выходе приемника будут зарегистрированы лишь точки, удовлетворяющие уравнению (2).

Оценим основные параметры оптического вычислителя. Количество точек, одновременно обрабатываемых вычислителем, зависит от разрешения оптоэлектронной системы и размеров поля изображения, в пределах которого оптическая часть схемы не дает существенных искажений. Разрешение оптической схемы лимитируется приемником и волокопто-оптическим изгибом, разрешающая способность которых примерно одинакова и составляет $R \approx 100$ лин./мм [4, 7]. Размер поля изображения можно принять равным $l \approx 100$ мм (при этом предполагается, что размер системы вдоль оптической оси не превышает 1,5 м). В этом случае общее количество точек из области изменения неизвестных, среди которых одновременно ищутся решения уравнения типа (2), будет $R^2 l^2 = 10^8$.

Время τ , затрачиваемое непосредственно на вычислительный процесс, определяется временем регистрации изображения приемником, которое зависит от мощности источника света, светосилы оптической схемы, вида уравнения, пороговой чувствительности приемника и требуемой точности селекции точек с заданным уровнем яркости. Пороговая чувствительность приемников на основе ФПЭМ равна $\delta \approx 10$ мкДж/см² [1]. Несложно вывести формулу для приближенного значения мощности источника света

Q , необходимой для обеспечения относительной точности селекции точек по яркости K :

$$Q = \delta l^2 \eta^{-1} K^{-1} T_{\max}^{-1} \tau^{-1}, \quad (16)$$

где T_{\max} — средний энергетический коэффициент пропускания фильтра, соответствующий набору длин волн излучения, для которых он максимален; η — отношение светового потока, падающего на интерференционный фильтр по всему световому потоку, излучаемому источником света (при этом предполагается, что уровень отсежки приемника по яркости D_0 составляет не менее $0,1D_{\max}$, D_{\max} — максимальная яркость точек изображения). Как показывает анализ формулы (16), при $\eta = 0,01$, $\tau = 1$ с, $K = 0,01$, $T_{\max} = 0,1$ мощность источника $Q = 100$ Вт, что соответствует реально существующим источникам света. Точность, с которой найденные наборы $\{x_i\}$ удовлетворяют уравнению (1), определяется не только точностью селекции точек с заданным уровнем яркости K , но и погрешностью установки требуемой спектральной характеристики оптического фильтра согласно (5). Оценить влияние последнего фактора весьма сложно. Заметим, что значение величины K можно снижать не только за счет увеличения Q или τ , но и, например, путем фотографирования изображения в фокальной плоскости объектива g (см. рис. 1, а) на высокочувствительную пленку, проецируя затем полученный позитив, освещенный мощным источником света, на рабочую поверхность приемника.

Ограничения, накладываемые на функции $f_i(x_i)$, обуславливаются спектральными характеристиками интерференционных фильтров. Существующие теории позволяют рассчитывать конструкции интерференционных фильтров с любыми заданными спектральными характеристиками [8, 9]. Однако реализовать такие фильтры невозможно в основном из-за наличия небольшого поглощения и рассеянного излучения в диэлектрических слоях. Этот нежелательный эффект приводит к тому, что практически не удается изготавливать фильтры со сколь угодно большим значением $\left| \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right|$, $T(\lambda)$ — коэффициент пропускания фильтра. Как показывает анализ спектральных характеристик экспериментальных образцов фильтров, предельные значения $\left| \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right|$ для видимой области спектра составляют $\left| \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right|_{\max} \approx (5 \div 10) \text{ нм}^{-1}$. Поэтому значения границ интервалов $[\lambda_i^{(1)}, \lambda_i^{(2)}]$ при решении каждой конкретной задачи следует выбирать таким образом, чтобы $\left| \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right|$, рассчитанный согласно (5), не превышал вышеуказанную величину. Дифференцируя уравнение (5) по λ , получим соотношение

$$\frac{dT}{d\lambda} = C \frac{df_i(x_i)}{dx_i} \frac{x_i^{(2)} - x_i^{(1)}}{\lambda_i^{(2)} - \lambda_i^{(1)}} \leq \left| \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right|_{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (17)$$

или

$$\lambda_i^{(2)} - \lambda_i^{(1)} \geq C \left| \frac{df_i(x_i)}{dx_i} \right|_{\max} \left| \frac{dT}{d\lambda} \right|_{\max}^{-1} (x_i^{(2)} - x_i^{(1)}), \quad (18)$$

где $\left| \frac{df_i(x_i)}{dx_i} \right|_{\max}$ — максимальное значение модуля $\frac{df_i(x_i)}{dx_i}$ при $x_i \in [x_i^{(1)}, x_i^{(2)}]$.

Зная протяженность спектральной рабочей области вычислителя и используя соотношение (18), можно установить ограничения на основные рабочие параметры вычислителя:

$$[x_i^{(1)} - x_i^{(2)}], \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad \left| \frac{df_i(x_i)}{dx_i} \right|_{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Сопоставим быстродействия предлагаемого вычислителя и современной ЭВМ. Пусть спектральный рабочий диапазон вычислителя $500 \div$

$\div 700$ нм; $C = 1$; $\left| \frac{df_i(x_i)}{dx_i} \right|_{\max} = \left| \frac{dT}{d\lambda} \right|_{\max}$, $i = 1, 2, \dots, n$; $(x_i^{(2)} - x_i^{(1)}) = 10$, $i = 1, 2, \dots, n$. Из соотношения (18) получим для выбранного набора параметров

$$\lambda_i^{(2)} - \lambda_i^{(1)} \geq 10 \text{ нм}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (19)$$

Поскольку протяженность рабочей зоны вычислителя 200 нм, а спектральный интервал для кодирования информации о каждом неизвестном не менее 10 нм, то максимальное значение n в этом случае равно 20. При решении задачи на ЭВМ все $f_i(x_i)$ будут представляться в виде их разложений по полной ортогональной системе функций, например, в ряды Фурье. Анализ показывает, что при выбранных значениях $\left| \frac{df_i(x_i)}{dx_i} \right|_{\max} = 1, 2, \dots, \dots, n$ и C тригонометрические ряды, представляющие $f_i(x_i)$, должны содержать не менее 10 гармоник по синусам и косинусам. Известно, что расчет одного значения тригонометрической функции требует ≈ 50 опер. Для расчета значения левой части уравнения (1) в одной точке ЭВМ потребуется $20 \times 10 \times 2 \times 50 = 2 \cdot 10^4$ опер. При быстродействии ЭВМ 10^6 опер./с время, затрачиваемое на проверку одной точки из области изменения неизвестных, составляет $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ с. Предлагаемый вычислитель затрачивает на эту же процедуру $\approx 10^{-8}$ с без учета времени на считывание, но значительно уступает ЭВМ в точности и универсальности. В качестве примера, иллюстрирующего данный метод, рассмотрим задачу обработки результатов измерения структуры спектральных линий. Цель обработки — определение значений длин волн, соответствующих компонентам линии в случае, когда спектральная ширина структуры линии соизмерима с шириной аппаратного контура спектрального прибора. Такая задача возникает, например, при исследовании напряженностей магнитного и электрических полей в плазме по эффектам Зеемана и Штарка. Пусть измеряемая структура линий содержит n компонент одинаковой интенсивности, а спектральный прибор имеет лоренцовый аппаратный контур:

$$D(\lambda) = 1/[1 + ((\alpha_{\max} - \alpha)/\Delta)^2], \quad (20)$$

где α — длина волны излучения; Δ — полуширина аппаратного контура; α_{\max} — длина волны, соответствующая максимуму пропускания прибора и изменяющаяся при сканировании. В результате измерений определяется величина сигнала при n значениях α_{\max} . В процессе обработки необходимо найти значения длин волн $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, соответствующих отдельным компонентам структуры. Таким образом, задача сводится к решению системы уравнений

$$\sum_{p=1}^n \frac{1}{1 + [(\alpha_{\max,l} - \alpha_p)/\Delta]^2} = C_l, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad (21)$$

которые по своей структуре совпадают с уравнением (1). Однако, поскольку все $f_i(\alpha_i)$ в данном случае имеют одинаковый вид, для кодирования информации об $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ могут быть выбраны один и тот же спектральный интервал $[\lambda_1, \lambda_2]$ и одна область изменения всех неизвестных — $[\alpha_{\max,1}, \alpha_{\max,n}]$. Согласно формуле (5) спектральная характеристика интерференционного фильтра при решении l -го уравнения системы (21) должна иметь вид

$$T(\lambda) = C/[1 + ((\lambda_{3,l} - \lambda)/\Delta_0)^2], \quad (22)$$

$$\lambda_{3,l} = [\lambda_1 (\alpha_{\max,n} - \alpha_{\max,1}) - (\lambda_2 - \lambda_1) (\alpha_{\max,l} - \alpha_{\max,1})] (\alpha_{\max,n} - \alpha_{\max,1})^{-1},$$

$$\Delta_0 = \Delta (\lambda_2 - \lambda_1) / (\alpha_{\max,n} - \alpha_{\max,1}).$$

Спектральной характеристикой вида (22) обладают диэлектрические узкополосные фильтры из чередующихся слоев с высоким и низким показателями преломления, у которых оптические толщины всех слоев, кроме среднего, равны $\lambda_{3,l}/4$, а оптическая толщина среднего слоя — $\lambda_{3,l}/2$

[10]. Используя фильтры такой конструкции, отличающиеся значением $\lambda_{z, l}$, можно последовательно найти решения всех уравнений системы (21). При решении системы уравнений (24) на ЭВМ для $n = 10$ на проверку одной точки из области изменения параметров требуется $\approx 10^3$ операций суперпозиции этих десяти кадров. Очевидно, что это время будет значительно меньше, нежели время, необходимое для вычислительного процесса при решении задачи на ЭВМ.

Статья носит чисто проблемный характер. При практической реализации предложенных схем возникнет немало трудностей. Однако проработка данного направления представляется целесообразной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фотоника; Сб. статей/Под ред. М. Балкански и П. Лалемана.— М.: Мир, 1978.
2. Grenot M., Pergale J., Donjon J., Marie G. New Electro-Optic Light Valve Device for Image Storage and Processing.— Appl. Phys. Lett., 1972, vol. 21, N 3, p. 83.
3. Физика тонких пленок/Под ред. Г. Хасса и Р. Э. Туна.— М.: Мир, 1972, т. 5.
4. Столов Е. Г. Применение клиновых интерференционных фильтров в качестве диспергирующих элементов спектральных приборов.— ОМП, 1980, № 1.
5. Пространственные модуляторы света: Сб. статей/Под ред. С. Б. Гуревича.— Л.: Наука, 1977.
6. Престон К. Когерентные оптические вычислительные машины.— М.: Мир, 1974.
7. Тидекен Р. Волоконная оптика.— М.: Мир, 1975.
8. Столов Е. Г. Расчет интерференционных оптических покрытий с заданной спектральной характеристикой.— Опт. и спектр., 1977, т. 46, № 6.
9. Фурман Ш. А., Столов Е. Г. Синтез многослойных оптических покрытий.— Опт. и спектр., 1974, т. 36, № 3.
10. Фурман Ш. А. Тонкослойные оптические покрытия.— Л.: Машиностроение, 1977.

Поступила в редакцию 3 декабря 1979 г.;
окончательный вариант — 7 января 1981 г.

УДК 550.834.5

Л. Д. ГИК, Н. М. ДЕРЖИ, В. П. ЗАЙЦЕВ,
С. Е. КОЛОВА, Ю. А. ОРЛОВ
(Новосибирск)

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ МАЛОЙ ПЛОЩАДКИ

При анализе голографического изображения сложных объектов желательно установить связь между характеристиками изображения и параметрами простых элементов, из которых можно составить эти объекты. В качестве «составного» элемента целесообразно выбрать прямоугольную площадку. Анализ изображения такого объекта позволяет сделать вывод как о геометрии изображения, включая вопросы разрешения малых деталей, так и об интенсивности (яркости), что невозможно при рассмотрении точечных объектов [1].

Рассмотрим голографическое восстановление изображения прямоугольной площадки размером $2a_x \times 2a_y$, расположенной параллельно плоскости наблюдения в k -м слое горизонтально-слоистой среды на глубине

$h = \sum_{i=1}^k h_i$. Полагаем, что каждый слой имеет толщину h_i и скорость v_i .

Пусть система регистрации является «площадной» с апертурой $2D_x \times 2D_y$,