

С. П. БЕРЕСТНЕВ, А. А. ВАСИЛЬЕВ, Ю. Д. ДУМАРЕВСКИЙ
(Москва)

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-НЕИНВАРИАНТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Системы оптической обработки информации наиболее часто применяются для решения задачи обнаружения двумерных объектов в зашумленном изображении. Эта задача существенно усложняется, если ориентация и размеры объекта заранее неизвестны. В этом случае в спектральную плоскость оптической схемы, выполняющей двойное преобразование Фурье, необходимо последовательно вводить различным образом ориентированные пространственные фильтры разного масштаба или использовать вращающийся фильтр. Для объектов удлиненной формы роль согласованного фильтра в первом приближении может играть щелевая диафрагма с изменяющейся шириной. Однако использование механически движущихся элементов не всегда приемлемо.

Электрооптическим аналогом такой диафрагмы является устройство [1, 2] (см. рисунок), содержащее слой 1 из материала, уменьшающего свою прозрачность под действием электрического поля E , заключенный между проводящим 2 и прозрачным резистивным 3 слоями. На слой 3 нанесены две взаимно перпендикулярные пары электродов, 4 (a, b) и 5 (a, b), на каждую из которых подаются соответственно сигналы $\pm U_0 \sin \omega t$ и $\pm U_0 \cos \omega t$ с выходов парафазных генераторов синусоидального 6 и косинусоидального 7 напряжений амплитуды U_0 . Электрод 2 соединен с нулевым выходом генераторов.

Напряженность поля E в некоторой точке слоя 1 определяется потенциалом соответствующей точки слоя 3, который находится из выражения

$$U(x, y) = (2 U_0/l) (x \sin \omega t + y \cos \omega t), \quad (1)$$

где l — расстояние между противоположными электродами. Из (1) следует, что в слое 1 существует поперечное поле $E(x, y) = U(x, y)/d$ (d — толщина слоя 1), амплитуда которого равна нулю на прямой $y = -x \operatorname{tg} \omega t$ и возрастает с постоянным градиентом $2 U_0/l d$ в направлении, перпендикулярном этой прямой, причем угловое положение последней циклически зависит от времени, а модуль градиента не зависит ни от координат, ни от времени.

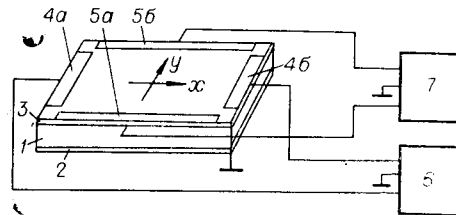
В дальнейшем, не нарушая общности, будем рассматривать случай $E(x, y) = 2 U_0 x/l d$ (прямая с нулевым полем направлена по оси y). При этом пропускание слоя 1 будет максимальным на прямой $x=0$, а с ростом x будет уменьшаться. Таким образом, формируется «щель», вытянутая вдоль оси y .

Ниже дается расчет параметров устройства, основанного на применении эффекта Франца — Келдыша, проявляющегося в деформации края полосы собственного поглощения полупроводников под действием поля E .

При использовании в качестве источника излучения ПКТ на основе GaAs целесообразно для обеспечения спектрального согласования слой 1 изготавливать из этого же материала. Для оценки параметров устройства можно воспользоваться экспериментальными результатами по исследованию эффекта Франца — Келдыша в компенсированном GaAs с удельным сопротивлением $\rho = (1-7) \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Исследование образцов, ориентированных в плоскости $\langle 100 \rangle$ и обработанных путем механической шлифовки и химической полировки, показало, что для излучения с длиной волны $\lambda = 880 \text{ нм}$ и спектральной шириной $\delta\lambda = 10,0 \text{ нм}$ зависимость $\alpha(E)$ можно аппроксимировать в диапазоне полей до $2 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ квадратичной функцией вида $\alpha = \alpha_0(pE^2 + 1)$, где $p = 10^{-9} \text{ В}^{-2} \cdot \text{см}^2$ и коэффициент поглощения материала $\alpha_0 = 800 \text{ см}^{-1}$. С увеличением E зависимость становится линейной.

Для улучшения модуляционных параметров устройства целесообразно электрод 2 сделать отражающим и использовать двойное прохождение света через слой 1, что приводит к незначительным изменениям в оптической схеме. В этом случае при $E = 0$ и толщине слоя 1, равной $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}$, проходящий через слой свет ослабляется в 10 раз и границы «щели», на которых поглощение увеличивается в 2,7 раза, соответствуют $E_{\text{гр}} = 2 \cdot 10^4 \text{ В/см}$.

Если ограничиться максимальным полем в слое 1 $E_{\text{мах}} = 4 \cdot 10^5 \text{ В/см}$ (поле пробоя $\sim 10^6 \text{ В/см}$), то минимальная ширина «щели» составит 0,05 от расстояния между электродами. При этом распределение про-



пускания T в границах «щели» описывается зависимостью вида

$$T(x) \sim \exp(-2U_0x/ld)^2 p\alpha_0 2d). \quad (2)$$

Максимальная допустимая скорость вращения «щели» и время, необходимое для изменения ее ширины, определяются постоянной времени зазора, т. е. емкостью слоя 1 пульсный отклик такого фильтра, являющийся преобразованием Фурье его функции пропускания в направлении оси η , параллельной оси x , есть функция Гаусса вида

$$H(\eta) \sim \exp(-\eta^2/(8(2U_0/ld)^2 p\alpha_0 d)), \quad (3)$$

а по оси $\xi \perp \eta$ — δ -функция.

Моделирование обработки тестового изображения посредством такого фильтра проводилось на ЭВМ.

Исходное изображение представляло собой массив S_{ij} случайных чисел «1» или «0» (i — номер строки, j — столбца) размером 50×50 элементов. Объект занимал область 5×30 элементов. Вероятность появления «1» в области объекта задавалась равной 0,7, а в остальной части массива — 0,5.

Операция обработки изображения сводилась к вычислению свертки исходного кадра с функцией Гаусса и квантованию результата по определенному порогу. Результатом вычисления свертки является массив P_{kj} , где k — номер строки преобразованного массива:

$$P_{kj} = \sum_{i=1}^{50} S_{ij} \exp - ((k-i)/c)^2, \quad (4)$$

а на печать выведен массив

$$Q_{kj} = \begin{cases} 1 & \text{при } R_{kj}/a \geq \Theta, \\ 0 & \text{при } R_{kj}/a < \Theta. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь $a = \sum_{k=i-25}^{25} \exp((k-i)/c)^2$, порог Θ выбирается исходя из заданной вероятности ложной тревоги [3]. Расчет проводился при наиболее благоприятной взаимной ориентации фильтра и объекта при значениях $c = 14$ и $\Theta = 0,7$.

В области объекта остается линия, ориентированная вдоль большей стороны прямоугольника, а в области фона выбросы отсутствуют.

При неизвестной ориентации объекта операция фильтрации должна выполняться при различных взаимных ориентациях фильтра и изображения, что легко достигается в реальном устройстве вращением «щели». При этом по временной задержке выходного сигнала можно определить пространственную ориентацию объекта.

Оптимизация алгоритма позволит, по-видимому, обнаруживать объект и при меньших отношениях сигнал/шум. Оптимизация может заключаться в согласовании параметров опорной функции с длиной объекта.

Таким образом, рассмотренное устройство дает возможность проводить обнаружение протяженных объектов в зашумленном изображении и определять их пространственную ориентацию. При этом скорость обработки информации способна достигнуть 10^5 кадров/с.

В заключение авторы выражают благодарность Л. К. Эйсымонту за помощь в проведении машинного расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Думаревский Ю. Д., Дульднер В. Н., Петрусевич В. А. Устройство для развертки светового луча. (Автор. свид-во № 234552.) ОИПОТЗ, 1969, № 4, с. 67.
2. Думаревский Ю. Д., Дульднер В. Н., Петрусевич В. А., Володин Е. Б. Оптические устройства на основе эффекта электропоглощения. — В кн.: Электронная техника. М.: изд. Ин-та электроники, 1971, сер. VI, вып. 2, с. 55.
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1966, т. 1.

Поступило в редакцию 28 июня 1979 г.