

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В. В. КУЛИКОВ
(Ленинград)

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ КОРРЕЛЯТОРА ГЕТЕРОДИННОГО ТИПА
НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОДУЛЯТОРА СВЕТА

Одно из перспективных направлений в решении задач обработки изображений — использование оптико-электронных корреляторов гетеродинного типа [1].

В настоящем сообщении рассматривается возможность применения ультразвукового модулятора света (УЗМС) для спектрального анализа интерференционной картины Фурье-образов сравниваемых изображений, определяется зависимость отношения сигнал/шум от параметров системы.

Схема коррелятора гетеродинного типа с использованием УЗМС приведена на рис. 1. Во входной плоскости P_1 устройства помещены транспаранты с записью сигнальной $f_1(x; y)$ и эталонной $f_2(x-a; y)$ функций. В задней фокальной плоскости P_2 линзы L_1 установлен УЗМС, возбуждаемый генератором сигнала с линейной внутриимпульсной модуляцией. Легко показать, что передаточная функция УЗМС, работающего в режиме Рамана — Ната, при условии, что изменение частоты по апертуре модулятора пренебрежимо мало, имеет вид

$$T(x_1; t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\psi) e^{jn(\omega t + \omega_{\text{пр}} x_1)}, \quad (1)$$

где $\omega_0 + \Delta\omega t/2T = \omega$ — мгновенная временная частота; $\omega_0/V + \Delta\omega t/TV = \omega_{\text{пр}}$ — мгновенная пространственная частота; $J_n(\psi)$ — функция Бесселя первого рода n -го порядка.

Индекс фазовой модуляции в выражении (1) зависит от угла падения световой волны на ультразвуковой модулятор света [2]. Поэтому для опорной и сигнальной световых волн, падающих под разными углами на апертуру УЗМС, индексы фазовой модуляции различны — ψ_1 и ψ_2 соответственно. Учитывая этот факт и опуская несущественные постоянные коэффициенты, выражения для полезных амплитуд сигнального и эталонного световых полей записываем в следующем виде:

$$C_1(x_2; y_2; t) = E_1 J_1(\psi_1) f_1(x_2 + f_{\text{пр}} \lambda F; y_2) e^{-j\omega t}; \quad (2)$$

$$C_2(x_2; y_2; t) = E_2 J_0(\psi_2) f_2(x_2 + a; y_2), \quad (3)$$

где $\dot{E}_1 = E_1 e^{j\nu t}$ и $\dot{E}_2 = E_2 e^{j\nu t}$ — комплексные амплитуды световых полей, падающих на соответствующие транспаранты.

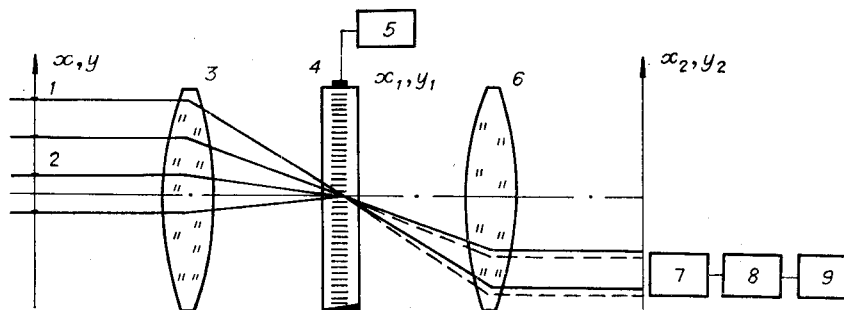


Рис. 1. Схема коррелятора гетеродинного типа с использованием УЗМС:
1, 2 — эталонный и сигнальный транспаранты; 3, 6 — преобразующие линзы; 4 — ультразвуковой модулятор света (УЗМС); 5 — генератор ЛЧМ сигналов; 7 — ФЭУ; 8 — полосовой фильтр; 9 — осциллограф.

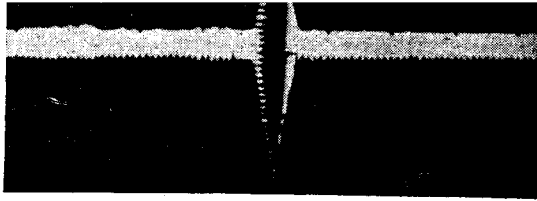


Рис. 2. Выделенный полезный сигнал.

определенный момент времени; $S_{\text{ФЭУ}}$ площадь фотокатода.

Совмещение используемых порядков дифракции произойдет при пространственной частоте в апертуре УЗМС $f_{\text{пр}} = a/F\lambda$, что соответствует временной частоте возбуждения

$$f_{\text{в.р.}} = aV/\lambda F. \quad (4)$$

Определим максимальное отношение сигнал/шум на выходе системы, под которым будем понимать отношение максимально допустимой интенсивности сигнала к собственному шуму фотоприемника. Если изображения на входе системы идентичны $[f_1(x; y) \equiv f_2(x; y)]$, то в момент их совмещения, т. е. при $\tau=0$, амплитуда полезного сигнала достигает наибольшего значения, равного

$$i_{c \text{ max}} = 2\varepsilon g/h\nu E_1 E_2 J_1(\Psi_1) J_0(\Psi_2) \int_S f^2(x_2; y_2) dx_2 dy_2. \quad (5)$$

В этом случае от интегрирования по всей площади фотокатода $S_{\text{ФЭУ}}$ при вычислении функции автокорреляции, переходим к интегрированию по площади изображения S .

Постоянная составляющая светового потока, падающая на фотоприемник, создает дробовый шум, который находится из выражения

$$i_{\text{ш}}^2 = 2\varepsilon g \Delta f_{\text{в.р.}} / h\nu \left[J_1^2(\Psi_1) E_1^2 \int_S f_1^2(x_2; y_2) dx_2 dy_2 + J_0^2(\Psi_2) E_2^2 \int_S f_2^2(x_2; y_2) dx_2 dy_2 \right], \quad (6)$$

где ε — квантовая эффективность фотокатода, g — заряд электрона, h — постоянная Планка, $\Delta f_{\text{в.р.}}$ — полоса частот фотоприемника.

Тогда отношение сигнал/шум определится следующим образом:

$$\frac{C}{\text{Ш}} = \frac{2\varepsilon}{h\nu \Delta f_{\text{в.р.}}} \frac{J_1^2(\Psi_1) J_0^2(\Psi_2) E_1^2 E_2^2 \int_S f^2(x_2; y_2) dx_2 dy_2}{J_1^2(\Psi_1) E_1^2 + J_0^2(\Psi_2) E_2^2}. \quad (7)$$

Определим оптимальное соотношение мощностей сигнального и эталонного световых потоков с точки зрения получения наибольшего отношения сигнал/шум. Обозначим: $P_{\text{л}}$ — мощность ОКГ, κ — коэффициент использования световой мощности, P_1 — мощность сигнального светового потока, P_2 — мощность эталонного потока, α — коэффициент деления полезной световой мощности $P_1 + P_2 = \kappa P_{\text{л}}$;

$$E_1^2 = \frac{\kappa P_{\text{л}} \alpha}{S}; \quad E_2^2 = \frac{\kappa P_{\text{л}} (1 - \alpha)}{S}. \quad (8)$$

Учитывая соотношения (8), перепишем выражение (7) в следующем виде:

$$\frac{C}{\text{Ш}} = \frac{2\varepsilon}{h\nu \Delta f_{\text{в.р.}}} \frac{\kappa P_{\text{л}} J_1^2(\Psi_1) J_0^2(\Psi_2) (1 - \alpha) \alpha \int_S f^2(x_2; y_2) dx_2 dy_2}{J_1^2(\Psi_1) \alpha + J_0^2(\Psi_2) (1 - \alpha) S}. \quad (9)$$

Анализ выражения (9) показал, что максимальное отношение $C/\text{Ш}$ обеспечивается при

$$\alpha = J_0(\Psi_2) / (J_0(\Psi_2) + J_1(\Psi_1)) \quad (10)$$

и наибольших значениях $J_1(\psi_1)$ и $J_0(\psi_2)$. Функция Бесселя первого порядка имеет максимальное значение при нормальном падении световой волны и $\psi_1=1,8$ рад и равна $J_1(\psi_1)=0,58$, в то время как $J_0(\psi_2)=1$ при $\psi_2=0$. Такие индексы фазовой модуляции можно получить, выбирая соответствующие углы падения сигнальной и эталонной световых волн на УЗМС. При выполнении этих условий оптимальное соотношение мощностей составит $\alpha=0,64$.

Из приведенного выше анализа видно, что для улучшения отношения сигнал/шум необходимо повышать мощность $P_{л.}$, увеличивать коэффициент использования мощности лазера κ , применять фотоприемники с высокой квантовой эффективностью, использовать узкополосные фильтры при выходе фотоприемника и уменьшать оптическую плотность записи изображений.

Для подтверждения возможности использования УЗМС в корреляторе гетеродинного типа использовалась экспериментальная установка, собранная по схеме рис. 1. Разнос между изображениями простых объектов, фокусное расстояние преобразующей линзы и параметры ЛЧМ сигнала выбирались в соответствии с выражением (4). Для выделения полезного сигнала (рис. 2) использовался полосовой фильтр. Огибающая сравниваемых сигналов пропорциональна функции корреляции сравниваемых изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Лось, Г. Х. Фридман, Е. Р. Цветов. Об использовании модуляционного спектрального анализа картин интерференции в Фурье-плоскости для распознавания образов.— «Автометрия», 1972, № 6, с. 46—54.
2. С. М. Рытов. Дифракция света на ультразвуковых волнах.— «Изв. АН СССР. Сер. физ.», 1937, вып. 2, с. 223—258.

Поступило в редакцию 1 апреля 1976 г.

УДК 621.378.9 : 535.8 : 535.241.13

Ю. В. ВОВК, И. С. ГИБИН, Е. Ф. ПЕН,
Ю. А. ЩЕПЕТКИН
(Новосибирск)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ С ПОМОЩЬЮ АКУСТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА СВЕТА

Известные способы записи голограмм с помощью акустооптических модуляторов света (АОМ) различаются как методами получения регистрируемой картины, так и приемами компенсации доплеровского сдвига частоты света предметного пучка [1, 2]. В работе [1] двоичная информация преобразуется в последовательность прямоугольных импульсов, модулирующих амплитуду несущей частоты f_0 , и вводится в АОМ, расположенный в сигнальном канале. Компенсация сдвига частоты света осуществляется с помощью дополнительной акустооптической ячейки, находящейся в опорном канале и возбуждаемой немодулированным синусоидальным сигналом. При этом из-за частичной компенсации разности частот света ($\Delta f=66$ МГц) запись голограмм производится с помощью специального импульсного лазера с временем импульса $\tau=2$ нс и мощностью 120 Вт. Полная компенсация сдвига частоты может быть достигнута в том случае, когда звуковая волна в ячейке опорного канала возбуждается синусоидальным сигналом частоты

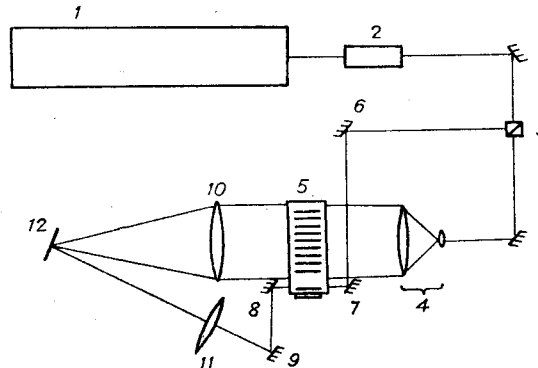


Рис. 1.