

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
О ХАРАКТЕРИСТИКАХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В. А. Зубов

Существующие способы исследования оптических сигналов, как правило, основаны на регистрации какого-либо одного вида информации о сигнале. Регистрация спектрального состава осуществляется спектроскопическими методами. Регистрация временной картины основана на принципах механической или электронной разверток. Регистрация информации о фазах базируется на явлениях интерференции. Однако, в последнем случае для света сложного спектрального состава классические методы не годятся.

В работах /1-3/ предложен метод голографической регистрации нестационарных оптических сигналов

$$E_0(t) = \varepsilon_0(t) \exp[-i\omega t],$$

где $\varepsilon_0(t)$ - комплексная функция, характеризующая изменение амплитуды и фазы сигнала во времени. Метод основан на использовании специально сформированного опорного пучка с частотой, линейно меняющейся по сечению,

$$E_r(\xi, t) = \varepsilon_r \exp[-i\omega t + ia\xi t \cos\theta + i \frac{\omega}{c} \xi \sin\theta],$$

где a - скорость изменения частоты по сечению пучка, θ - угол с нормалью к голограмме. В результате на голограмме регистрируется временной Фурье-образ исследуемого сигнала. Амплитудная прозрачность голограммы

$$t(\xi) = t_r + g \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_0(t) \varepsilon_0^*(t) dt + \varepsilon_r^* \exp[-i \frac{\omega}{c} \xi \sin\theta] \times \right. \\ \left. \times \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_0(t) \exp[-ia\xi t \cos\theta] dt + \text{компл. сопр.} \right\}$$

содержит полную информацию о сигнале: с одной стороны, информацию об амплитудной и фазовой характеристиках сигнала, с другой стороны, информацию о спектральных и временных характеристиках сигнала.

Информация о временной картине сигнала может быть получена в результате выполнения операции обратного преобразования Фурье, как это рассмотрено в работах /1-3/. Операция осуществляется с восстанавливающим пучком того же вида, что и опорный

$$E_p(\xi, t) = E_p \exp[-i\omega t + ib\xi t c \cos\theta + i \frac{\omega}{c} \xi \sin\theta],$$

где b - скорость изменения частоты по сечению пучка. В рамках приближения Френеля в фокальной плоскости линзы получается восстановленное поле

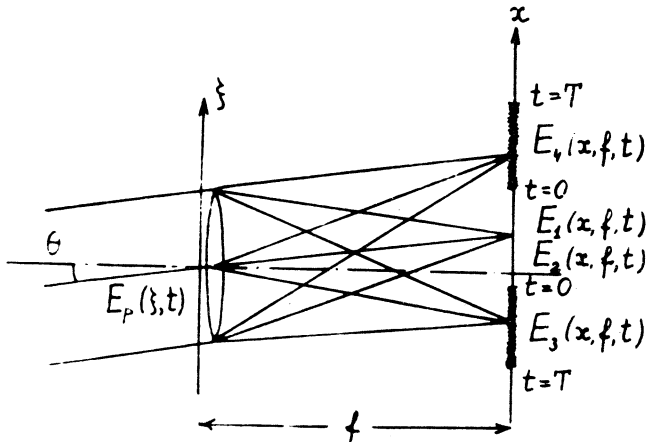
$$\begin{aligned} E(x, f, t) = & C_1(x, f, t) \tilde{\delta} \left[b t c \cos\theta - \frac{b f}{c} \cos\theta - \frac{\omega}{c} \cos\varphi + \frac{\omega}{c} \sin\theta \right] + \\ & + C_2(x, f, t) \tilde{\delta} \left[b t c \cos\theta - \frac{b f}{c} \cos\theta - \frac{\omega}{c} \cos\varphi + \frac{\omega}{c} \sin\theta \right] + \\ & + C_3(x, f, t) \tilde{\delta}_0 \left[\frac{b}{a} t - \frac{b f}{a c} - \frac{\omega}{a c} \frac{\cos\varphi}{\cos\theta} \right] + \\ & + C_4(x, f, t) \tilde{\delta}_0 \left[-\frac{b}{a} t + \frac{b f}{a c} + \frac{\omega}{a c} \frac{\cos\varphi}{\cos\theta} - 2 \frac{\omega}{c} \operatorname{tg}\theta \right]. \end{aligned}$$

Картина восстановленного поля приведена на рис. 1. Полезные сигналы $E_3(x, f, t)$ и $E_4(x, f, t)$, содержащие информацию о временной картине, разделены в пространстве и отделены от мешающих составляющих $E_1(x, f, t)$ и $E_2(x, f, t)$. Временное разрешение определяется диапазоном изменения частоты в опорной волне $t_{\text{разр}} \sim [aD]^{-1}$, где D - сечение опорной волны. Восстановление картины может выполняться в статическом режиме ($b = 0$).

В настоящей работе рассматриваются методы получения информации о спектре сигнала и о фазовой модуляции сигнала при наличии как фазовой, так и амплитудной модуляции. Для этого используется вариант восстановления голограммы в статическом режиме (стационарное восстановленное поле) и методы оптической обработки информации.

Полученная голограмма содержит Фурье-образ исследуемого временного распределения, т.е. зарегистрированная величина со-

держит именно спектр сигнала. Однако, эта запись содержит и другие составляющие. В результате оптического преобразования полученной картины можно избавиться от мешающих составляющих.



Р и с. 1. Картина восстановленного поля для начального момента времени.

Суть метода заключается в следующем. При использовании стационарного восстанавливающего пучка ($b = 0$) в фокальной плоскости первой линзы получается распределение исследуемого поля. Полезная составляющая поля

$$E_3(x, f, t) = c_3(x, f, t) \tilde{e}_0 \left(-\frac{\omega}{ac} \frac{\cos \varphi}{\cos \vartheta} \right)$$

выделяется диафрагмой d . С помощью второй линзы выполняется обратное преобразование Фурье /4/. Другими словами, эта линза изображает голограмму в плоскость наблюдения ($1/f' = 1/\rho + 1/\rho'$). Диафрагма выполняет роль фильтра (рис. 2). В выходной плоскости получается поле

$$E(u, \rho', t) = -\frac{1}{\lambda \rho'} \int_0^{x_{\max}} \varepsilon_3(x, f, t) \exp \left[-i \frac{\omega}{c} \frac{x^2}{2f'} \right] \times \\ \times \exp \left[i \frac{\omega}{c} r \right] dx,$$

где 0 и x_{\max} - границы области, в которой содержится полезный сигнал. С учетом того, что $F_{\xi}(\nu)$ представляет Фурье-образ сигнала $\xi_0(-\omega \cos \varphi / \cos \theta)$ получаем

$$E(u, \rho', t) = C(u, \rho', t) \int_{-\infty}^{\infty} F_{\xi}(\nu) \times \left. x \left\{ \int_0^{x_{\max}} \exp \left[-ix \left(\frac{\omega \nu}{\cos \theta \cos \varphi} - \frac{\omega u}{c \rho'} \right) \right] dx \right\} d\nu = \right.$$

$$= C(u, \rho', t) \tilde{F}_{\xi} \left(-\frac{u \cos \theta}{\rho'} \right).$$

Таким образом, получается информация о спектре сигнала в виде свертки спектра сигнала с аппаратной функцией, которая определяет спектральное разрешение. В рамках критерия Релея ширина аппаратной функции составляет

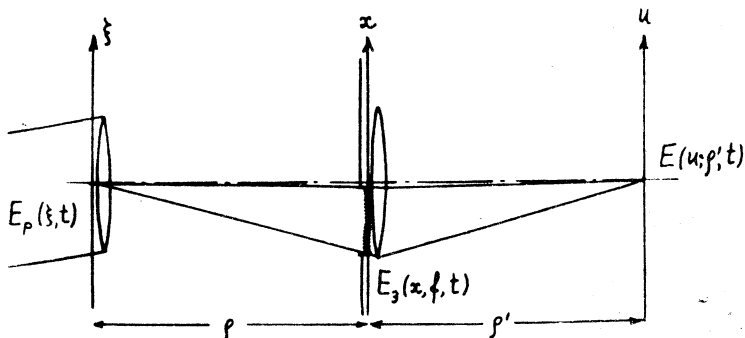
$$\delta \omega = 2\pi/T,$$

где T - полное время регистрации. Область дисперсии в данном случае определяется спектральным интервалом зарегистрированных частот $\Delta \omega \approx \omega D$.

Проблема извлечения информации о фазах сигнала встает в том случае, если амплитуда исследуемого сигнала имеет вид

$$\xi_0(t) = e_0(t) \exp[i\varphi_0(t)],$$

где $e_0(t)$ и $\varphi_0(t)$ - действительные функции. Задача заклю-



Р и с. 2. Схема получения информации о спектре сигнала.

чается в том, чтобы извлечь информацию о $\varphi_0(t)$. Решение ее может быть выполнено по методу, аналогичному методу извлечения информации о фазах для статического фазового объекта /5,6/. Рассмотрим принцип одного из вариантов. Пусть голограмма восстанавливается в статическом режиме. Сигнал при этом переводится в координатное представление. Пусть осуществлено такое устройство, которое на выходе дает поле

$$\alpha_1 \varepsilon(x) = \alpha_1 e(x) \exp[i\varphi(x)],$$

$$\alpha_2 \frac{1}{I} \frac{\partial \varepsilon(x)}{\partial x} = \alpha_2 \left[\frac{1}{I} e'(x) + e(x) \varphi'(x) \right] \exp[i\varphi(x)].$$

Регистрация совместного действия этих полей при $\alpha_2 \ll \alpha_1$ дает транспарант с амплитудным пропусканием $t(x)$, пропорциональным

$$I(x) = e^2(x) \{ \alpha_1^2 + 2\alpha_1 \alpha_2 \varphi'(x) \}.$$

При регистрации только одного поля $\alpha_1 \varepsilon(x)$ получается транспарант с амплитудным пропусканием $t_1(x)$, пропорциональным

$$I_1(x) = \alpha_1^2 e^2(x).$$

В результате операции деления

$$I(x)/I_1(x) = 1 + \frac{2\alpha_2}{\alpha_1} \varphi'(x)$$

получается информация о фазе в виде производной или в виде частоты в данный момент времени. Схема реализации указанного устройства приведена на рис. 3. Делительные пластинки характеризуются прозрачностью τ_1 и τ_2 и отражения δ_1 и δ_2 . В результате на выходе одного канала существует поле

$$\delta_1 \tau_2 \varepsilon_1(x, \rho) = \delta_1 \tau_2 \varepsilon_3(x, \rho) \tilde{\varepsilon}_0 \left(- \frac{\omega x}{a \cos \theta} \right).$$

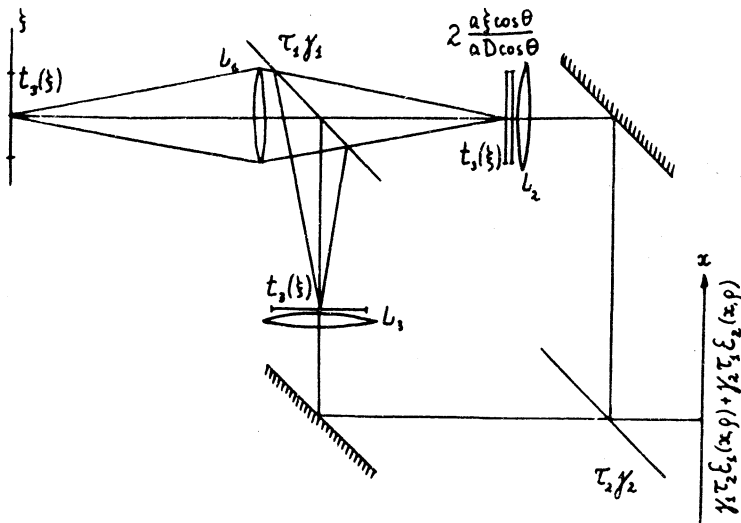
В другом канале при использовании транспаранта с амплитудной прозрачностью $2a \zeta \cos \theta / a \cos \theta$ на выходе создается поле

$$\delta_2 \tau_1 \varepsilon_2(x, \rho) = \frac{1}{I} \frac{\delta_2 \tau_1 \varepsilon_3(x, \rho)}{(1/2) a \cos \theta} \tilde{\varepsilon}_0 \left(- \frac{\omega x}{a \cos \theta} \right).$$

Таким образом, устройство обеспечивает создание полей необхо-

димого характера. Информация на выходе будет иметь вид

$$\frac{I(x, \rho)}{I_1(x, \rho)} = 1 + 4 \frac{\tau_1 \delta_2}{\tau_2 \delta_1 a D \cos \theta} \frac{d\varphi \left(-\frac{\omega x}{a \rho \cos \theta} \right)}{d \left(-\frac{\omega x}{a \rho \cos \theta} \right)}.$$



Р и с. 3. Схема получения информации о фазовой модуляции сигнала.

В случае необходимости может быть выполнена операция интегрирования для получения величины $\varphi(t) / 4/$.

Таким образом, при использовании метода голографии Фурье для нестационарных оптических сигналов с помощью оптической обработки полученной информации можно извлечь временные и спектральные характеристики сигнала.

Поступила в редакцию
21 апреля 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. И. Кузнецова. Письма в ЖЭТФ, 13, 443 (1971).
2. В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. И. Кузнецова. Авторское свидетельство № 303618.
3. В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. И. Кузнецова. Аннотации докладов, представленных на 5-ую Всесоюзную конференцию по нелинейной оптике, стр. 155, № 15. Изд-во МГУ, 1970 г.
4. L. J. Cutrona, E. N. Leith, C. J. Palermo, L. J. Porcello. TRE Transactions on Information, IT-6, N 3, 386 (1960); (перевод: Зарубежная радиоэлектроника, № 10, 3, 1962).
5. Дж. Де Веллис, Дж. Рейнольдс. Голография. Сокращенный перевод с английского. Воениздат, Москва, 1970 г.
6. Л. М. Сороко. Основы голографии и когерентной оптики. Изд-во "Наука", Москва, 1971 г.