

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535.854

МЕТОД КОРРЕЛЯЦИОННОГО СРАВНЕНИЯ ИНТЕРФЕРОГРАММ НА ОСНОВЕ СТАТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Дубков В. И.

При решении задачи идентификации исследуемых веществ по спектру излучения [1] с использованием Фурье-спектрометра интерпретацию экспериментальных данных можно осуществить путем корреляционного сравнения измеренной и эталонной интерферограмм, не прибегая к их преобразованию в спектрограммы [2]. Воспроизводимость интерферограмм, являющаяся важнейшим условием корреляционного сравнения, в сканирующих Фурье-спектрометрах снижается из-за нестабильности сканирующей системы и источника излучения. Нами предлагается метод с использованием статического интерферометра, осуществляющего пространственно-частотную модуляцию, и многоэлементного приемника. Отсутствие подвижных деталей повышает стабильность интерферометра, а параллельный съем отсчетов интерферограммы многоэлементным приемником исключает влияние флуктуационных колебаний источника. В предлагаемом методе погрешность анализа определяется шумами приемника.

Цель данной работы заключается в оценке информативности метода корреляционного анализа интерферограмм по отношению сигнал/шум с учетом шума приемника и на основе этой оценки в нахождении принципа построения интерференционного модулятора, наиболее эффективно решающего задачу корреляционного анализа.

Пусть измерена интерферограмма $I(u)$ в интервале $[u_1, u_2]$ с погрешностью $\xi(u)$, вызванной шумами приемника. Тогда корреляционный сигнал $K = \int_{u_1}^{u_2} [I(u) + \xi(u)] I_0(u) du$, где $I_0(u)$ — эталонная интерферограмма. Напишем выражение для отношения сигнал/шум

$$\eta = \frac{\int_{u_1}^{u_2} I(u) I_0(u) du}{\int_{u_1}^{u_2} \xi(u) I_0(u) du}. \quad (1)$$

Чтобы найти среднее квадратичное значение погрешности, составим средний квадрат

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}^2 &= \int_{u_1}^{u_2} \int_{u_1}^{u_2} I_0(u) I_0(u') \xi(u) \xi(u') du du' = \\ &= \int_{u_1}^{u_2} I_0(u) \int_{u_1}^{u_2} I_0(u') K_\eta(u-u') du' du, \end{aligned}$$

где $K_\eta(u-u')$ — автокорреляционная функция погрешности. Полагая, что на интервале корреляции шума эталонный сигнал заметно не меняется, получим $\bar{\varepsilon}^2 = \int_{u_1}^{u_2} I_0^2(u) du \sigma^2$, где σ^2 — дисперсия шума, равная значению $K(0)$ (ин-

тервал корреляции шума, определенный как $t = \int_{u_1}^{u_2} K_{\eta}(u - u') du / \sigma$, т. е. как сторона прямоугольника с высотой, равной σ). Тогда в случае $I(u) = \Phi I(u)$, где Φ не зависит от u , выражение (1) примет вид

$$\eta = \Phi \left(\int_{u_1}^{u_2} I_0^2(u) du \right)^{1/2} / \sigma t^{1/2}. \quad (2)$$

Здесь $\Phi = EA$, $\sigma = A^{1/2} / D^* \tau^{1/2}$ (для тепловых приемников), E — средняя освещенность интерференционного поля, A — площадь чувствительной площадки приемника, D^* — обнаружительная способность, τ — постоянная времени приемника.

Прежде чем оценить значение квадратного корня, отметим, что интерпретация спектров с помощью ЭВМ часто возможна не по их полным описаниям, а по характерным признакам, достаточным для интерпретации. Например, для молекулярных спектров таким характерным признаком являются квазипериодические структуры в спектре. При дальнейшей оценке рассмотрим модель характерного признака в виде косинусоиды: $b_0(\nu) = \frac{2}{\Delta\nu} \cos(2\pi\nu t_0 + \beta)$, где f_0 — частота структуры в спектре, β — начальная фаза косинусоидальной структуры, заданной на интервале $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$. Переменная составляющая интерферограммы, соответствующая признаку, описывается выражением

$$I_0(u) = \frac{2}{\Delta\nu} \int_{\nu_1}^{\nu_2} \cos(2\pi\nu f_0 + \beta) \cos(2\pi\nu u) d\nu = \\ = \frac{\sin z_1}{z_1} \cos y_1 + \frac{\sin z_2}{z_2} \cos y_2, \quad (3)$$

где $z_1 = \pi(\nu_2 - \nu_1)(f_0 - au)$, $z_2 = \pi(\nu_2 - \nu_1)(f_0 + au)$, $y_1 = \pi(\nu_2 + \nu_1)(f_0 - au) + \beta$, $y_2 = \pi(\nu_2 - \nu_1)(f_0 + au) + \beta$, a — конструктивный параметр интерферометра. Из этого выражения видно, что интерферограмма имеет две области максимальных значений при разности хода $u = \pm f_0$, которые назовем сигнатурами. Тогда интеграл в выражении (2) примет вид

$$K_0 = \int_{u_1}^{u_2} \left(\frac{\sin z_1}{z_1} \cos y_1 + \frac{\sin z_2}{z_2} \cos y_2 \right)^2 du.$$

Полагая пренебрежимо малыми значения одной сигнатуры в области максимума другой, а также значения интеграла типа $\frac{1}{2} \int_{u_1}^{u_2} \left(\frac{\sin z}{z} \right)^2 \cos 2y du$ [3], получим

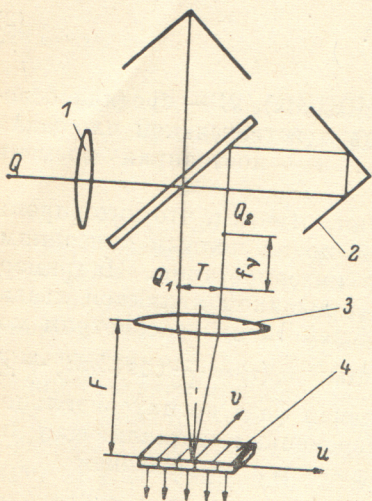
$$K_0 \approx \int_{u_1}^{u_2} \left(\frac{\sin^2 z_1}{z_1^2} + \frac{\sin^2 z_2}{z_2^2} \right) du \approx \frac{\Delta u}{2},$$

где $\Delta u = 2/a(\nu_2 - \nu_1)$ определяет ширину сигнатуры между нулевыми значениями главного пика огибающего контура. В интервале Δu функций вида $\sin z/z$ сосредоточено 90 % всей энергии сигнатуры [4]. После подстановки выражений для K , Φ и σ в формулу (2) получим

$$\eta = \frac{\Phi}{\sigma} \left(\frac{\Delta u}{2t} \right)^{1/2} = ED^* \left(\frac{\tau A \Delta u}{2t} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Для статического интерферометра величина t в формуле (4) имеет смысл размера одного элемента приемника в направлении, перпендикулярном полосам, $A = tv$ (v — размер приемника вдоль полос, равный их высоте), и оконча-

тельно получим $\eta = ED * (\tau/2)^{1/2} \Delta S_c^{1/2}$ ($\Delta S_c = \Delta uv$ — площадь части интерференционной картины, содержащей сигнатуру). Таким образом, условие оптимального приема заключается в том, что сегмент интерферограммы, содержащий сигнатуру, должен охватывать всю площадь поля излучения на выходе интерферометра. Например, если в рассмотренной выше модели интерферограммы сигнатура локализована при $u = f_v \gg \Delta u$, то при регистрации полной интерферограммы, включающей обе сигнатуры, площади, охватываемые самими сигнатурами, составят малую часть всего поля излучения. Если увеличить площадь, занимаемую одним сегментом до размера поля излучения, то пороговая чувствительность возрастет в $\frac{1}{2} \left(\frac{f_v}{\Delta u}\right)^{1/2}$ раз.



На рисунке приведена оптическая схема измерения сегмента интерферограммы, которая содержит исследуемый источник излучения Q , входной объектив 1 , интерферометр 2 , выходной объектив 3 и многоэлементный приемник 4 , расположенный в фокальной плоскости выходного объектива. Интерферометр состоит из светоделителя и двух двугранных зеркал, одно из которых сдвинуто относительно оптической оси в поперечном направлении, что ведет к попереч-

Оптическая схема измерения интерферограммы, содержащей сигнатуру.

ному расщеплению T соответственных лучей и изображений Q_1 и Q_2 источника и к образованию интерференционных полос в фокальной плоскости выходного объектива с фокусом F , частота которых равна αv , где $\alpha = T/F$. Вдоль оптической оси зеркала устанавливаются на различном расстоянии от светоделителя так, чтобы между соответственными лучами, параллельными оптической оси, разность хода была равна f_v . Тогда максимум сигнатуры расположится на оптической оси выходного объектива, а подбирая пространственную частоту путем изменения T , можно сегмент интерферограммы, содержащий сигнатуру, вписать в пределы поля излучения на выходе интерферометра.

Таким образом, корреляционный анализ интерферограмм наиболее эффективно осуществляется посредством сочетания пространственно-частотной интерференционной модуляции и селекции сегмента интерферограммы, содержащей сигнатуру (связанной с квазипериодической структурой в спектре). Метод перспективен при анализе слабых свечений и излучений нестационарных источников.

Литература

- [1] Смит А. Прикладная инфракрасная спектроскопия. М., 1982.
- [2] Small G. W. — Appl. Spectr., 1979, v. 33, N 5, p. 444.
- [3] Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., 1963, с. 464.
- [4] Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М., 1977, с. 53.

Поступило в Редакцию 1 августа 1983 г.