

УДК 535.41:778.38

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ В ОПТИКЕ И ДЕШИФРОВКА ИНТЕРФЕРОГРАММ ФАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

МАРИПОВ А., ИСМАНОВ Ю. Х.
КГТУ им. И. Раззакова
izvestiva@ktu.aknet.kg

В статье перечислены общие положения теории обратных задач в оптике, их классификация, а также условия, при которых эти задачи разрешимы. Показано, что в случае голографической интерферометрии эта задача сводится к проблеме дешифровки интерферограмм. Данная проблема рассмотрена на примере интерферограмм двумерных прозрачных сред.

This article lists principles of the theory of inverse problems in optics, their classification, as well as the conditions under which these problems are solvable. It is shown that in the case of holographic interferometry, this problem reduces to the problem of decoding the interference. This issue is discussed on the example of the interference of two-dimensional transparent media.

Обратные задачи в оптике – это чаще всего проблема восстановления фазы волнового фронта, которая возникает во многих разделах физики. В рентгеноструктурном анализе, например, могут быть определены только абсолютные величины структурных факторов при явно утраченной фазе. Характеристики рассеяния (например, его дифференциальное сечение) позволяют получить только абсолютный квадрат амплитуды рассеяния, тогда как знание фазы необходимо для определения свойств рассеивающих объектов.

Необходимо подчеркнуть, что решение задачи нахождения фазы, т. е. вычисления фазы функции по ее модулю, возможно только тогда, когда известно наперед, что рассматриваемая комплексная функция принадлежит определенному функциональному классу [1, 2]. В случае оптических задач встречаемся с функциями, заданными в ограниченной полосе частот.

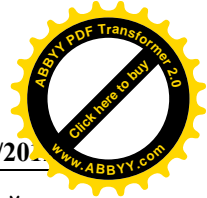
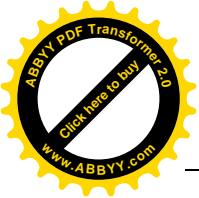
Обратные оптические задачи можно разделить на следующие два основных класса:

- 1) задачи, имеющие целью получение информации о пространственных изменениях функций источников (пространственно-частотных спектров), таких как профиль интенсивности или степень пространственной когерентности и другие пространственные корреляции [3];
- 2) задачи, имеющие целью получение информации о временных изменениях, т. е. динамики функций источников, или временных частотных спектрах, таких как спектральная плотность или степень временной когерентности и другие временные корреляции [4].
- 3) задачи, которые объединяют спектральный и пространственные подходы и представляют собой восстановление формы объемного резонатора по спектру собственных значений или функции временной когерентности [5].

Перечисленные задачи являются общими обратными задачами в оптике. В случае интерферометрии эти задачи сводятся к задаче расшифровки интерферограмм. Расшифровка интерферограмм предполагает установление однозначных зависимостей параметров интерференционной картины от условий прохождения светового луча через исследуемый прозрачный объект.

Известно, что интерферометрический метод изучения прозрачных неоднородностей основан на свойстве локального изменения показателя преломления просвечиваемой среды в результате изменения ее плотности. Следствием этого является запаздывание по фазе световой волны, прошедшей через объект исследования, по сравнению с волной, прошедшей без объекта исследования. Определение этого времени запаздывания и установление закона распределения показателя преломления (или плотности) вдоль светового луча и является задачей интерпретации интерферограмм.

В большинстве практических задач исследуемые неоднородности можно свести к двум типам: двумерным и осесимметричным. В первом случае оптическая длина светового луча через различные участки неоднородности одинакова, во втором – зависит от радиуса неоднородности.



Существуют два основных способа расшифровки интерферограмм: геометрический и фотометрический. Общим для обоих способов является то, что измеряемый параметр, например плотность ρ , определяется в виде суммы ρ_0 и $\Delta\rho$, где ρ_0 – некоторая начальная плотность, $\Delta\rho$ – приращение плотности. Приращение плотности определяется сравнением интерференционных картин с объектом и без объекта или сравнением участков интерферограмм с изменившимися и неизменившимися в результате влияния объекта характеристиками интерференционного поля.

При геометрической расшифровке измеряется смещение полос (при изменении плотности по всему полю) или их искривление (при локальном изменении плотности).

Зависимость между разностью фаз и плотностью ΔD на негативе, вызвавшей ее, имеет вид

$$\Delta\delta = 4,6 \frac{1-\rho}{\sqrt{\rho}} \cdot \frac{\Delta D}{\gamma}, \quad (1)$$

где ρ – коэффициент отражения зеркал интерферометра, γ – коэффициент контрастности фотоматериала.

Учет характеристик интерферометра для $\Delta\delta$ дает выражение

$$\Delta\delta = 4,6 \frac{1-\rho}{\sqrt{\rho}} \cdot \frac{\Delta D}{\gamma} \cdot \frac{1+2,3\Delta D^* / \gamma}{(2,3\Delta D^* / \gamma)^{1/2}}, \quad (2)$$

где $\Delta D^* = D_{\max} - D_0$ – разность оптических почернений, соответствующих максимальной интенсивности и интенсивности, на которую настроен интерферометр. Последний множитель учитывает настройку интерферометра, т. е. уровень интенсивности интерференционного поля по отношению к максимальной. Если приращение разности фаз $\Delta\delta$ произошло за счет изменения плотности исследуемой среды, то величину $\Delta\delta$ можно связать с изменениями интенсивности интерференционной картины, предварительно установив взаимозависимость показателя преломления и плотности.

В общем виде взаимозависимость этих величин определяется формулой Лоренц – Лорентца

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = N_0 \frac{4\pi e^2 f}{3m(\omega_0^2 - \omega^2)}, \quad (3)$$

где N_0 – число частиц в 1 см^3 материала исследуемой среды; e и m заряд и масса электрона соответственно; f – сила осциллятора; ω_0 – собственная частота колебаний электрона; ω – частота колебаний внешнего поля.

Для данного вещества и данной длины волны можно считать, что значения величин e , m , ω_0 и ω постоянны. Для газообразных сред, где $n \approx 1$, справедливо соотношение

$$(n^2 - 1)(n^2 + 2) = 2(n - 1)/3. \quad (4)$$

С учетом этого формулу (3) можно привести к виду

$$(n - 1)/\rho^* = K, \quad (5)$$

где ρ^* – плотность исследуемой газообразной среды; K – константа. Из полученного выражения, известного как формула Гладстона-Дейла, следует

$$n - 1 = K\rho^*;$$

$$dn = Kd\rho^*.$$

С учетом полученных зависимостей можно записать выражение для приращения плотности $\Delta\rho^*$ в виде

$$\Delta\rho^* = \frac{\lambda}{8Kh} \frac{1-\rho}{\pi\sqrt{\rho}} \frac{1+2,3\Delta D^* / \gamma}{(2,3\Delta D^* / \gamma)^{1/2}} \frac{2,3(D_1 - D_0)}{\gamma}, \quad (6)$$



где D_1 - оптическая плотность почернения на участке интерференционного поля, где произошло изменение интенсивности за счет приращения плотности.

В соотношении (6) значения величин λ, K, h, ρ известны, $\Delta D^*, D_1, D_0, \gamma$ определяются из эксперимента. Абсолютные значения плотности ρ^* складываются, как уже говорилось, из ρ_0^* и $\Delta \rho^*$. Таким образом проводится расшифровка интерферограмм при фотометрическом способе их обработки.

Если расшифровка выполняется геометрическим способом, то плотность определяется из соотношения

$$\rho^* = \rho_0^* + \frac{\lambda}{Kh} s, \quad (7)$$

где K – постоянная Гладстона; s – смещение в долях полосы, замеряемое на интерферограмме.

Литература

1. Walther A. Opt. Acta, v.10, No. 41, 1963, p.p. 78-96
2. Wolf E. Proc. Phys. Soc. , London, v. 80, No. 1269, 1962, 32-74
3. Goodman J. W. Synthetic-Aperture Optics. - Progress in Optics, ed. by E. Wolf, v. VIII, North-Holland, Amsterdam, London, 1970, p.p. 1-50
4. Frieden B. R. Evaluation, Design and Extrapolation for Optical Signals.- Progress in Optics, ed. by E. Wolf, v. VIII, North-Holland, Amsterdam, New York, 1971, p.p. 311-407
5. Wang J. Y., Goulard R. Appl. Opt. v. 14, 1975, p.p. 862-871