

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕИСКАЖЕННОГО АТМОСФЕРОЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО Н ЕГО ПЯТЕННЫМ ИНТЕРФЕРОГРАММАМ

П. А. Бакут, К. Н. Свиридов и Н. Д. Устинов

Известно [1], что спектрально-фильтруемые короткоэкспозиционные изображения астрономических объектов, наблюдаемых через турбулентную атмосферу, представляют собой пятенные картины. Физически появление этих пятен в изображении объясняется явлением интерференции световых волн от объекта, дифрагировавших на фазовом экране, создаваемом турбулентностями атмосферы перед апертурой телескопа. Впервые метод обработки пятенных интерферограмм от астрономических объектов для определения их геометрических характеристик был предложен в 1970 г. [2]. Этот метод основан на усреднении амплитуд (квадратов модулей) пространственных спектров N независимых пятенных интерферограмм, последующем получении квадрата модуля пространственного спектра от объекта (эквивалента безопорной голограммы [3], получаемого в естественном свете) и восстановлении из него при обратном Фурье-преобразовании неискаженной атмосферой автокорреляции изображения объекта. Вследствие потери при обработке наряду с атмосферными фазовыми флуктуациями и полезной фазовой информации пространственного спектра от объекта этот метод не позволяет восстановить изображение объекта, а восстанавливается только его автокорреляция. По полученной автокорреляции, к сожалению, можно однозначно судить о геометрических характеристиках только центросимметричных объектов, таких, например, как звездные диски и двойные звездные системы [4]. Это делает метод практически непригодным для наблюдения объектов произвольной геометрической формы, таких, например, как туманности и шаровые скопления галактик.

В данном сообщении обсуждается возможность сравнительно простой модификации метода [2], позволяющей восстанавливать неискаженное атмосферой изображение объекта по его пятенным интерферограммам. Она основывается на получении фазы пространственного спектра от объекта путем усреднения фаз пространственных спектров пятенных интерферограмм.

Заметим, что применительно к голографической обработке искаженных атмосферой когерентных монохроматических световых полей идея усреднения (или «осреднения») волновых фронтов высказывалась ранее в работе [5].

В рассматриваемом случае наблюдения некогерентных источников широкополосного излучения пятенное изображение объекта (пятенную интерферограмму) $I_{\text{И}}^j$ можно представить сверткой

$$I_{\text{И}}^j = I_{\text{О}} * I_{\text{T}}^j, \quad (1)$$

где $I_{\text{О}}$ — истинное распределение интенсивности объекта, I_{T} — мгновенный импульсный отклик системы атмосфера—телескоп, а индекс j указывает на порядковый номер регистрируемой пятенной интерферограммы.

В предположении пространственной инвариантности (изопланатичности) системы атмосфера—телескоп, преобразуя обе части уравнения (1) по Фурье, получаем его описание в пространственно-частотной области в виде

$$|\tilde{I}_{\text{И}}^j| \exp\{i\theta_{\text{И}}^j\} = |I_{\text{О}}| \exp\{i\theta_{\text{О}}\} |\tilde{I}_{\text{T}}^j| \exp\{i\theta_{\text{T}}^j\}. \quad (2)$$

Здесь $|\tilde{I}_{\text{И}}^j|$ и $\theta_{\text{И}}^j$ — соответственно модуль и фаза пространственного спектра j -й интерферограммы, $|\tilde{I}_{\text{T}}^j|$ и θ_{T}^j — модуль и фаза оптической пе-

редаточной функции системы атмосфера—телескоп для j -й интерферограммы; $|\tilde{I}_0|$ и Θ_0 — модуль и фаза пространственного спектра от объекта. Нетрудно видеть, что

$$\theta_{\text{И}}^j = \theta_0 + \theta_{\text{Т}}^j, \quad (3)$$

т. е. случайная фаза пространственного спектра j -й интерферограммы является суммой детерминированной фазы пространственного спектра от объекта θ_0 и случайной фазы $\theta_{\text{Т}}^j$, изменяющейся произвольным образом для разных интерферограмм.

Если перемножить N полей вида (2), получаемых в результате Фурье-преобразований от N независимых пятенных интерферограмм, зарегистрировать фазу результирующего поля, например, с помощью детектора фазового фронта, используемого в адаптивной оптике [6], и отнормировать ее на число преобразований, то получим

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \theta_{\text{И}}^j = \theta_0 + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \theta_{\text{Т}}^j. \quad (4)$$

Учитывая, что

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \theta_{\text{Т}}^j \approx \langle \theta_{\text{Т}}^j \rangle \equiv 0, \quad (5)$$

где угловые скобки $\langle \cdot \rangle$ обозначают статистическое среднее, окончательно получаем

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \theta_{\text{И}}^j \approx \langle \theta_{\text{И}}^j \rangle = \theta_0, \quad (6)$$

т. е. усреднение фаз пространственных спектров пятенных интерферограмм позволяет выделить фазу пространственного спектра от объекта.

Добавляя полученную фазу θ_0 к модулю $|\tilde{I}_0|$, получаемому по методу [2], при обратном Фурье-преобразовании от $\tilde{I}_0 = |\tilde{I}_0| \exp \{i\theta_0\}$ можно восстановить искаженное атмосферой изображение объекта любой геометрической формы.

Литература

- [1] Ю. Ю. Балсга, Н. А. Тихонов. Письма в Астрон. ж., 3, 497, 1977.
- [2] А. Лабегрие. Astron. Astrophys., 6, 85, 1970.
- [3] В. В. Аристов, В. Л. Броуде, Л. В. Ковальский, В. К. Полянский, В. Б. Тимофеев, В. Ш. Шехтман, ДАН СССР, 177, 65, 1967.
- [4] D. Y. Gezari, A. Labeyrie, R. Stachnic. Astrophys. J., 173, L1, 1972.
- [5] Ю. Н. Денисюк, И. Н. Давыдова. Опт. и спектр., 28, 333, 1970.
- [6] П. А. Бакут, К. Н. Свиридов, И. Н. Троицкий, Н. Д. Устинов. Зарубежная радиоэлектроника, № 1, 3, 1977.

Поступило в Редакцию 17 апреля 1980 г.