

П.А. Бакут, И.П. Плотников, А.Д. Ряхин, К.Н. Свиридов

СТАТИСТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СЕРИИ КОРОТКОЭКСПОЗИЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗВЕЗДНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

С позиций статистического синтеза рассматривается обработка серии астрономических изображений, формируемых звездным интерферометром через турбулентную атмосферу. Для случая объекта, неразрешаемого отдельными апертурами интерферометра, размер которых много больше радиуса корреляций атмосферных искажений, получен оптимальный алгоритм обработки.

Одним из перспективных методов получения информации об астрономических объектах с высоким угловым разрешением является звездная интерферометрия, основанная на когерентном сложении световых потоков от разнесенных на большое расстояние телескопов. Существенный прогресс в этом направлении был достигнут А. Лабейри [1], предложившим использовать в интерферометре большие амплитуды с диаметром D превышающим радиус корреляции атмосферных фазовых искажений r_0 , и при этом для оценки модуля спектра $O(f)$ пространственных частот f распределения интенсивности наблюдаемого объекта применять метод спекл-интерферометрии, основанный на обработке серии короткоэкспозиционных изображений, время регистрации которых меньше времени заморозки атмосферных искажений. Вполне реальной при подобных интерферометрических наблюдениях является ситуация, когда апертуры интерферометра не разрешают по отдельности объект. При этом его пространственный спектр практически постоянен в пределах формируемой интерферометром области высоких пространственных частот Ω , соответствующей интерференции излучения от разнесенной пары телескопов (размер Ω равен $2D/\lambda F$, где λ — длина волны регистрируемого света, F — фокусное расстояние телескопов). В этом случае для повышения точности целесообразно осуществлять сглаживание оценки $|O(f)|$ по Ω [2]. В настоящей работе на основе метода статистического синтеза, ранее успешно использованного для наблюдений объектов обычными телескопами [3], будет выявлен оптимальный характер подобной обработки серии интерферометрических изображений. Следуя работе [4], будем считать пространственный спектр $I(f)$ зарегистрированного короткоэкспозиционного изображения в формируемой области высоких пространственных частот Ω нормальной случайной функцией с нулевым средним и функцией корреляции

$$R(f_1, f_2) = \alpha \left(\frac{r_0}{D}\right)^2 \exp\left(-6,88 \left|\frac{f_1 - f_2}{2r_0}\right|^2\right) \tau\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right) O(f_1) O^*(f_2) + N_0 \delta(f_1 - f_2), \quad (1)$$

где α — числовая константа; $\tau(f)$ — дифракционно-ограниченная оптическая передаточная функция (ОПФ) интерферометра; N_0 — мощность аддитивного шума регистрации. В асимптотике $\left(\frac{D}{r_0}\right) \gg 1$ разобьем область Ω на $K = \left(\frac{D}{r_0}\right)^2$ некоррелированных ячеек размером $\frac{2r_0}{\lambda F}$ и, считая объект неразрешаемым отдельными апертурами, перепишем (1) в виде

$$R(f_i, f_j) = R_{ij} = \alpha \left(\frac{r_0}{D}\right)^2 \tau(f_i) |O(f_0)|^2 \delta_{ij} + N_0 \delta_{ij}, \quad (2)$$

где f_i, f_j — центры ячеек; f_0 — центральная частота области Ω . Обратная корреляционная функция тогда примет вид

$$R_{ij}^{-1} = \frac{\delta_{ij}}{\alpha \left(\frac{r_0}{D}\right)^2 \tau(f_i) |O(f_0)|^2 + N_0}. \quad (3)$$

Оптимальную оценку интересующей нас величины $|O(f_0)|^2$ получим, максимизируя логарифм условной гауссовой плотности вероятности M искаженных атмосферой короткоэкспозиционных изображений

$$\frac{\partial}{\partial |O(f_0)|^2} \left\{ \ln \det \|R\| + \frac{1}{M} \sum_{s=1}^M \sum_{i,j=1}^K I_s(f_i) I_s^*(f_j) R_{ij}^{-1} \right\} = 0. \quad (4)$$

Проводя несложные выкладки, получаем из (4) с учетом (2) и (3)

$$|O(f_0)|^2 = \frac{\sum_{i=1}^K \frac{L(f_i)}{\alpha \tau(f_i)} \left(\frac{D}{r_0}\right)^2 M(1+q^{-1}(f_i))^{-2}}{\sum_{i=1}^K M(1+q^{-1}(f_i))^{-2}}, \quad (5)$$

где

$$L(f_i) = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M |I_l(f_i)|^2 - N_0; \quad q(f_i) = \frac{\alpha \left(\frac{r_0}{D}\right)^2 \tau(f_i) |O(f_0)|^2}{N_0}.$$

Отметим, что $\alpha \tau(f_i) \left(\frac{r_0}{D}\right)^2$ есть не что иное, как спекл-интерферометрическая ОПФ, которую необходимо измерить по опорному точечному источнику либо рассчитывать по заданным параметрам системы „интерферометр–атмосфера”, а величина $q(f)$ характеризует статистическую точность оценки $\frac{L(f)}{\alpha \left(\frac{r_0}{D}\right)^2 \tau(f)}$ квадрата модуля спектра $|O(f)|$ на частоте f , причем вместо $a(f)$ можно использовать от-

ношение $L(f)/N_0$. Заменяя в (5) сумму интегралом, окончательно получаем

$$|O(f_0)|^2 = \left(\frac{D}{r_0}\right)^2 \frac{\int_{\Omega} df \frac{L(f)}{\alpha \tau(f)} (1+q^{-1}(f))^{-2}}{\int_{\Omega} df (1+q^{-1}(f))^{-2}}. \quad (6)$$

Таким образом, оптимальная обработка сводится к формированию путем усреднения по серии квадратов модулей спектров зарегистрированных короткоэкспозиционных изображений и компенсации шумовой компоненты величины $L(f)$, получению оценок квадрата модуля $|O(f)|^2$ путем фильтрации величин $L(f_i)$ и усреднению этих оценок по области Ω с весом $(1+q^{-1}(f))^{-2}$, задаваемым их точностями.

В заключение подчеркнем, что полученный результат справедлив для любой многоапертурной системы разнесенных телескопов, не разрешающих по отдельности объект наблюдения.

1. Labeugie A. — *Astrophys. J.*, 1975, v. 196, № 2, p. 171.

2. Greenaway A. H. — *Optica Acta*, 1979, v. 26, № 9, p. 1147.

3. Бакут П. А., Польских С. Д., Ряхин А. Д., Свиридов К. Н., Устинов Н. Д. — *Проблемы передачи информации*, 1985, т. 21, № 2, с. 32.

4. Бакут П. А., Ряхин А. Д., Свиридов К. Н., Устинов Н. Д. — *Изв. вузов. Радиофизика*, 1986, т. 29, № 3, с. 247.

Московский физико-технический институт

Поступило в редакцию
2 марта 1988 г.

P. A. Bakut, I. P. Plotnikov, A. D. Ryakhin, K. N. Sviridov. **Statistical Synthesis of an Algorithm for Processing Short-Exposure Images in Stellar Interferometry.**

The problem of processing short-exposure images formed with a stellar interferometer through the turbulent atmosphere is considered from the standpoint of statistical synthesis. An optimal algorithm is derived for the case of an object unresolved by subapertures whose dimensions are much larger than the correlation radius of atmospheric distortions.