

**Ю. П. Шумилов** (Москва, ИПИР). **Алгоритм обнаружения объектов дальнего космоса.**

В работе [1] было обосновано применение метода тройной корреляции (МТК) при получении изображений объектов ближнего космоса полученных с предварительной адаптацией. При наземных наблюдениях объектов дальнего космоса (кометы, астероиды и т. д.) практически точечных осуществляется процесс обнаружения. Эти объекты движутся медленно в поле зрения телескопа и время их наблюдения ограничено практически только вращением Земли. С другой стороны, достижение дифракционного разрешения позволяет уменьшить до минимума (картинка Эйри) изображение объекта и соответственно уменьшить влияние фона, темнового тока и шумов считывания. Но это достигается при компенсации турбулентных искажений и некоторых аберраций оптического тракта. Применение МТК позволяет без применения адаптивной оптики компенсировать искажения, вносимые турбулентной атмосферой и оптикой с одной стороны, а с другой накопить необходимое количество кадров, которое позволит компенсировать искажения и получить необходимое отношение сигнал/шум.

Алгоритм предполагает часовое накопление сигнала с временем накопления в кадре  $\tau \approx 10^{-3} \text{ с}$ . Однако, большое время накопления предполагает существенные изменения в турбулентности атмосферы. Поэтому предлагается обработка больших блоков кадров, характеризующихся относительным постоянством параметров атмосферы, центрирование кадров в блоке, обработкой МТК с последующим объединением этих блоков, центрированием и их обработкой МТК. Высокая эффективность алгоритма предполагается в поле зрения две-три угловые секунды. с последующим объединением этих блоков и их обработкой также методом тройной корреляции.

Положим восстановленное изображение области космического пространства включает сигнальное пятно, которое в фокальной плоскости телескопа диаметром 3,12 м занимает  $9(3 \times 3)$  пикселей приемной матрицы размером  $0,04''$  каждый. Тогда, осуществляя обработку сигнала оптимальным алгоритмом [2] получим для выражение для минимального обнаруживаемого сигнала:

$$n_{c \min} \approx -\frac{1}{\sqrt{2} \cdot A_1} \sqrt{B \frac{\bar{n}_{1\Phi} + \bar{n}_{1T} + \sigma_{1\text{сч}}^2}{N_k} \ln 2F}$$

$$- \ln 2\alpha \sqrt{-\frac{\sqrt{2}A_2}{4A_1^3} \ln 2F \frac{1}{\sqrt{N_k}} \sqrt{B \frac{\bar{n}_{1\Phi} + \bar{n}_{1T} + \sigma_{1\text{сч}}^2}{N_k} + \frac{B}{2A_1^2} \frac{\bar{n}_{1\Phi} + \bar{n}_{1T} + \sigma_{1\text{сч}}^2}{N_k}}$$

$$A_1 = \frac{\sum_{i',j'=1}^N g^2(i',j')}{\sum_{i',j' \in \Omega} g(i',j')}, \quad A_2 = \frac{\sum_{i',j'=1}^N g^3(i',j')}{\sum_{i',j' \in \Omega} g(i',j')}, \quad B = \sum_{i',j'=1}^N g^2(i',j'),$$

где  $\bar{n}_{1\Phi}, \bar{n}_{1T}$  — среднее количество фоновых и темновых фотоэлектронов,  $\sigma_{1\text{сч}}^2$  — дисперсия шумов считывания в одном элементе исходной матрицы  $(i', j')$ ,  $\alpha = 1 - D$ ,

$F$  — вероятность ложной тревоги,  $D$  — вероятность правильного обнаружения. Для гауссовской функции маски и неподвижного объекта  $g(i', j') = \exp(-(i'^2 + j'^2)/2\sigma^2)$ , где  $g(0) = 1$ ,  $\int_{\Omega} g(i', j') d\Omega = 2\pi\sigma^2$  — эффективная площадь пятна маски,  $\Omega$  — область, которую на матрице занимает маска. Если  $FWHM = \Delta_f$  угл. с, то параметр  $\sigma$  будет определяться выражением  $\sigma = \Delta_f/2\sqrt{\ln 4} \approx 0,4246\Delta_f$ .

Минимальное значение звездной величины в диапазоне 0,4–0,76 мкм обнаруживаемой при заданных условиях (проницающая способность ОЭС) определяется по формуле:

$$m_{c \min} = 2,5 \lg(3,64 \cdot 10^6 S \tau_{\alpha} \tau_o \eta T) - 2,5 \lg n_{c \min},$$

где  $S$  — площадь приемной апертуры,  $T$  — время накопления,  $\tau_o$  — коэффициент пропускания оптики,  $\tau_{\alpha}$  — коэффициент пропускания атмосферы,  $\eta$  — квантовый выход матрицы.

Расчеты показывают, что при часовом накоплении кадров длительностью  $10^{-3}$  с,  $\eta = 0,8$ ,  $\tau_{\alpha} = 0,7$ ,  $\tau_o = 0,45$ , фоне звездного неба  $21^m$  с кв. угл. с.  $\sigma_{сч1} = 16$  1/эл проницающая способность рассматриваемой наземной оптико-электронной системы составит  $\sim 27^m,5$ .

В заключении заметим, что минимальная на настоящее время звездная величина  $31^m,5$  была зарегистрирована телескопом Хаббл.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shumilov Yu. P., Bakut P. A., Vygon V. G., Grishin E. A., Shargorodskii V. D.*, Photoreadout statistics analysis during space objects image acquisition in large aperture telescope. — In: Photon Counting Applications IV and Quantum Optics and Quantum Information Transfer and Processing. /Ed. by J. Fiurásek, I. Prochazka, R. Sobolewski. SPIE: Bellingham, 2013, p. 87730K-1–87730K-6. (Ser. Proceedings of SPIE. V. 8773.)
2. *Bakut P. A., Vygon V. G., Shargorodskii V. D., Shumilov Yu. P.* Statistical Synthesis of the Optimal Algorithm for Detecting Celestial Objects Observed in the Optical Band. — J. Comm. Tech. Electron., 2009, v. 54, № 8, p. 925–936.