

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВЕРТКИ ДИАГРАММЫ РАССЕЯННОГО ФОНА И ИСТОЧНИКА НА ЗАПИСИ ПРОТЯЖЕННОГО ИСТОЧНИКА

О. И. Крат

Предлагается метод восстановления свертки диаграммы рассеянного фона и источника записью протяженного источника по участкам свертки за пределами источника.

A method of cleaning of records from the scattering pattern is suggested.

Ошибки поверхности антенны создают рассеянный фон. Если ошибки носят случайный характер, то и диаграмма рассеянного фона является случайной функцией. Обычно расчет такой диаграммы сводят к нахождению средней диаграммы рассеянного фона по мощности [1, 2]. Однако часто для решения различных астрофизических задач, например нахождения распределения яркости по протяженному источнику по результатам конкретного наблюдения, знания средней диаграммы недостаточно. Ниже описывается метод восстановления величины и формы «подложки» под изображением протяженного источника, являющейся сверткой диаграммы рассеянного фона и источника, по участкам подложки, расположенным за пределами источника на записи.

Рассмотрим одномерный случай. Будем считать, что диаграмма состоит из узкого главного лепестка (по сравнению с размером источника) и протяженного фона: $F = F_0 + F_\phi$, а распределение яркости по источнику равномерное. Тогда антенная температура на выходе радиотелескопа, пропорциональная площади покрытой источником части диаграммы (рис. 1, а), равна

$$T_A(a) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x) T_{Я}(x-a) dx = \int_{a-R}^{a+R} F(x) T_{Я}(x-a) dx,$$

где $2R$ — размер источника.

Если источник движется относительно неподвижной диаграммы, то получим зависимость T_A от a (рис. 1, б). Наша задача состоит в определении зависимости

$$T_\phi(a) = \int_{a-R}^{a+R} F_\phi(x) T_{Я}(x-a) dx$$

в пределах изменения a от $-R$ до R (ход штриховой кривой на рис. 1, б).

Определим значение T_ϕ в точке 0, т. е. площадь заштрихованной фигуры на рис. 2, а. Эту площадь можно разбить на сумму двух площадей (рис. 2, б)

$$T_1 = \int_0^{2R} F_\phi(x) T_{Я}(x-R) dx + \int_{-2R}^0 F_\phi(x) T_{Я}(x+R) dx = T_\phi(R) + T_\phi(-R).$$

Если протяженность диаграммы рассеянного фона больше размера источника $2R$, то $T_1 > T_\phi(0)$. Поэтому от суммы T_1 отнимаем $T_\phi(2R)$, $T_\phi(-2R)$ (рис. 2, в) и получаем

$$T_2 = \int_0^{2R} F_\phi(x) T_{\text{И}}(x-R) dx + \int_{-2R}^0 F_\phi(x) T_{\text{И}}(x+R) dx - \int_R^{3R} F_\phi(x) T_{\text{И}}(x-2R) dx - \int_{-3R}^{-R} F_\phi(x) T_{\text{И}}(x+2R) dx = T_\phi(R) + T_\phi(-R) - T_\phi(2R) - T_\phi(-2R).$$

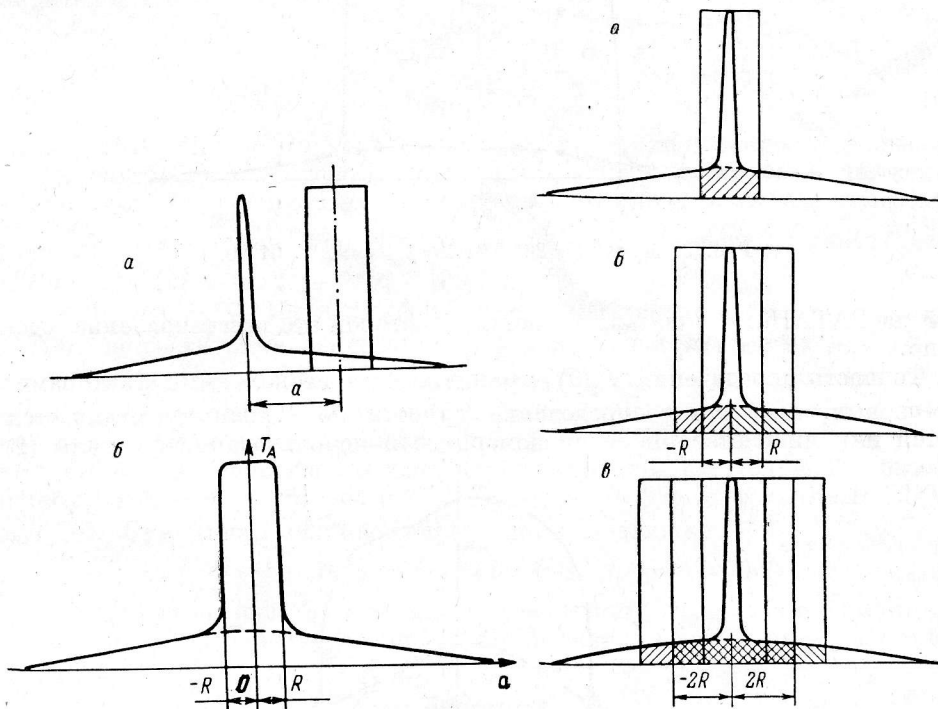


Рис. 1.

Рис. 2.

Если протяженность диаграммы рассеянного фона больше, чем удвоенный размер источника $4R$, то $T_2 < T_\phi(0)$ и тогда к T_2 прибавляем $T_\phi(3R)$ и $T_\phi(-3R)$ и т. д. В общем виде формула для $T_\phi(0)$ принимает вид

$$T_\phi(0) = \sum_{n=-N+1}^N T_\phi(2Rn - R) - \sum_{n=1}^N [T_\phi(2Rn) + T_\phi(-2Rn)].$$

N выбирается из условия, что при $n > N$ $T_\phi(2n) = 0$.

Для любой другой точки на расстоянии a ($-R < a < R$) величина $T_\phi(a)$ определяется аналогичным образом. Отличие заключается в том, что

$$T_2 = T_\phi(R) + T_\phi(-R) - T_\phi(2R+a) - T_\phi(-2R+a),$$

и окончательно:

$$T_\phi(a) = \sum_{n=-N+1}^N T_\phi(2Rn - R) - \sum_{n=1}^N [T_\phi(2Rn+a) + T_\phi(-2Rn+a)], \quad (4)$$

т. е. по точкам на записи, находящимся за пределами источника, можно восстановить значение свертки источника и диаграммы рассеянного фона под источником.

На рис. 3 приведена реальная запись Луны, сделанная на РАТАНе.* Штриховой линией обозначена восстановленная подложка под Луной, штрихпунктирной результат вычитания $T_A(a) - T_\phi(a)$. На рис. 4 показан еще один пример восстановления подложки под записью Луны, сделан-

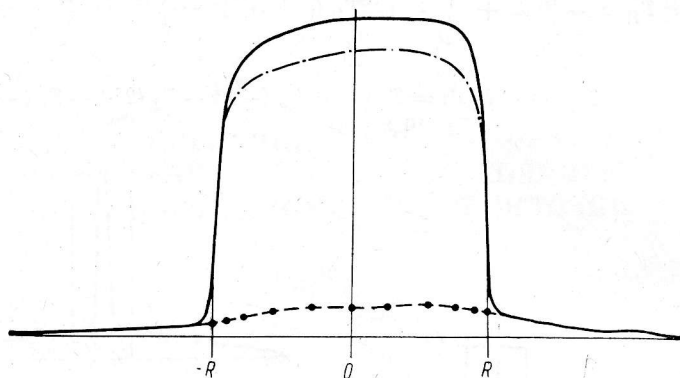


Рис. 3. Луна, $h=26^\circ 37'$, $\lambda=1.38$ см, 17.01.80.

ной на РАТАНе, и показана точность, с которой это восстановление сделано.

Точность определения $T_\phi(a)$ ограничивается несколькими факторами. Во-первых, тем, что распределение яркости по источнику отличается в той или иной степени от равномерного и использование формулы (1)

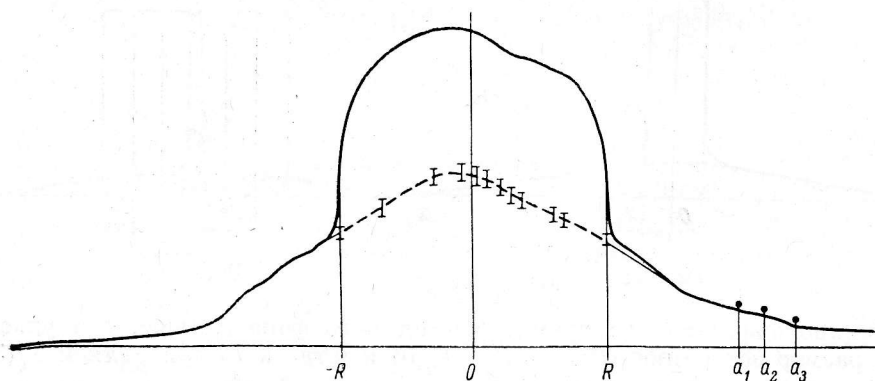


Рис. 4. Луна, $h=29^\circ 04'$, $\lambda=2.08$ см, 28.10.79.

При установке щитов по радиусу введена случайная ошибка с $\sqrt{\sigma^2}=1.5$ мм.

приводит к завышенному значению $T_\phi(a)$. Чтобы оценить величину ошибки $\Delta_1 T_\phi(a)$, которую мы допустили при восстановлении подложки под Луной (рис. 4), рассматривая распределение яркости по ней как равномерное, решим обратную задачу для рассмотренного выше конкретного примера. Предположим, что неизвестна подложка на участке $a_1 - a_3$, и восстановим ее по формуле (1), используя подложку под источником (рис. 4). Восстановленные значения $T_\phi(a)$ в точках a_1, a_2, a_3 превышают экспериментальные значения на величину $\sim 10\%$. Отсюда можно сделать вывод, что $\Delta_1 T_\phi(a)$ под Луной $\sim 5\%$.

* Записи Луны любезно предоставлены автору Н. С. Соболевой и М. Н. Наугольной.

Во-вторых, каждое слагаемое в формуле (1) определяется по записи с точностью, которая зависит от чувствительности используемого приемника. Точность эта равна $\Delta T_\phi(2n) = \Delta T$, где ΔT — пороговый сигнал приемника. Так как все слагаемые мы считаем независимыми, то $\Delta_2 T_\phi(a) = \Delta T \sqrt{4N}$, где $4N$ — число слагаемых в формуле (1).

Если регистрация наблюдения происходит на ленту самописца, то неравномерность движения ленты вносит ошибку в определение положений точек на ленте, для которых находятся значения $T_\phi(2n)$, а следовательно, вносит ошибку и в определение $T_\phi(a)$. Величина этой ошибки определяется по формуле

$$\Delta_3 T_\phi(a) = \sum_{n=-N+1}^N \frac{\partial T_\phi(x)}{\partial x} \frac{dv}{v} x - \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial T_\phi(y)}{\partial y} \frac{dv}{v} y + \frac{\partial T_\phi(z)}{\partial z} \frac{dv}{v} z \right],$$

где $x = 2Rn - R$; $y = 2Rn + a$; $z = -2Rn + a$; v — средняя скорость движения ленты самописца в пределах источника; dv — ошибка скорости движения ленты самописца в пределах от середины источника до точки измерения $\frac{dv}{v} x$; $\frac{dv}{v} y$; $\frac{dv}{v} z$ — средние ошибки определения положения на ленте точек $(2Rn - R)$, $(2Rn + a)$, $(-2Rn + a)$.

Величина $\Delta_3 T_\phi(a)$ для каждой точки a может быть своя.

Основной вклад в величину $T_\phi(a)$ вносят два слагаемых — $T_\phi(R)$ и $T_\phi(-R)$. Величина $T_\phi(R)$, так же как и $T_\phi(-R)$, находится при пересечении касательной, проведенной к подложке в точке, где свертка главной диаграммы и распределения яркости по источнику равна 0, — точки «R» или «-R». Неопределенность положения этой касательной вызывает ошибку в определении величины $T_\phi(R)$, а отсюда и величины $T_\phi(a)$ — $\Delta_4 T_\phi(a)$. Суммарная ошибка определения подложки

$$\Delta T_\phi(a) = \Delta_1 T_\phi(a) + \Delta_2 T_\phi(a) + \Delta_3 T_\phi(a) + \Delta_4 T_\phi(a).$$

В примере на рис. 4 последние три величины все вместе вносят такой же вклад, что и первая. И ошибка в определении величины $T_\phi(a)$ не более 10%.

Литература

1. Брауде Б. В., Есепкина Н. А., Кайдановский Н. Л., Хайкин С. Э. Исследование влияния случайных ошибок на электрические характеристики остронаправленных зеркальных антенн с отражателем переменного профиля. — Радиотехника и электроника, 1960, 5, вып. 4, с. 584.
2. Крат О. И. Расчет рассеянного фона диаграммы направленности АПП, обусловленного ошибками поверхности. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1982, 14, с. 132.