

ЧИСТКА ЗАПИСЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПОМЕХ ПРИ МНОГОВОЛНОВОМ ПРИЕМЕ

М. Н. Кайдановский

Приводятся схема и описание алгоритма, позволяющего очищать записи радиоисточников от атмосферных помех. Алгоритм реализован на языке ФОРТРАН-4 и показал хорошую работоспособность.

A scheme and a description of an algorithm allowing to rectify records of radio sources of atmospheric interferences are given. The algorithm is realized in FORTRAN-4 and shows good efficiency.

В работе М. Н. Кайдановского и А. А. Стоцкого* исследован метод подавления помех, обусловленных флуктуациями радиоизлучения облачной атмосферы, основанный на высокой корреляции атмосферных флуктуаций на разных волнах и отличии спектров излучения атмосферы и радиоисточников. Этот метод целесообразно применять при наблюдениях источников с размерами θ_s , во много раз превышающими ширину диаграммы направленности телескопа θ_0 ($\theta_s \gg 5\theta_0$), при наличии сильных атмосферных помех.

Алгоритм построен так, что при многоволновых наблюдениях одновременно обрабатывается пара записей, поэтому достаточно рассмотреть случай наблюдения на двух волнах λ_1 и λ_2 . Если $\lambda_1 > \lambda_2$, запись на волне λ_1 подвергается чистке.

На выходах двух радиометров при наблюдении прохождения источника на двух волнах будем иметь

$$\begin{aligned} T_1(t) &= T_{B1}(t) + T_{A1}(t); \\ T_2(t) &= T_{B2}(t + \Delta t) + T_{A2}(t + \Delta t_A), \end{aligned}$$

где T_B — сигнал от источника; T_A — сигнал, обусловленный флуктуациями радиоизлучения атмосферы. Видно, что сигналы от источника и атмосферы на разных волнах смещены во времени на Δt и Δt_A соответственно. Эти смещения обусловлены расхождением в пространстве диаграмм радиотелескопа на разных волнах, движением источника и ветровым сносом атмосферных неоднородностей.

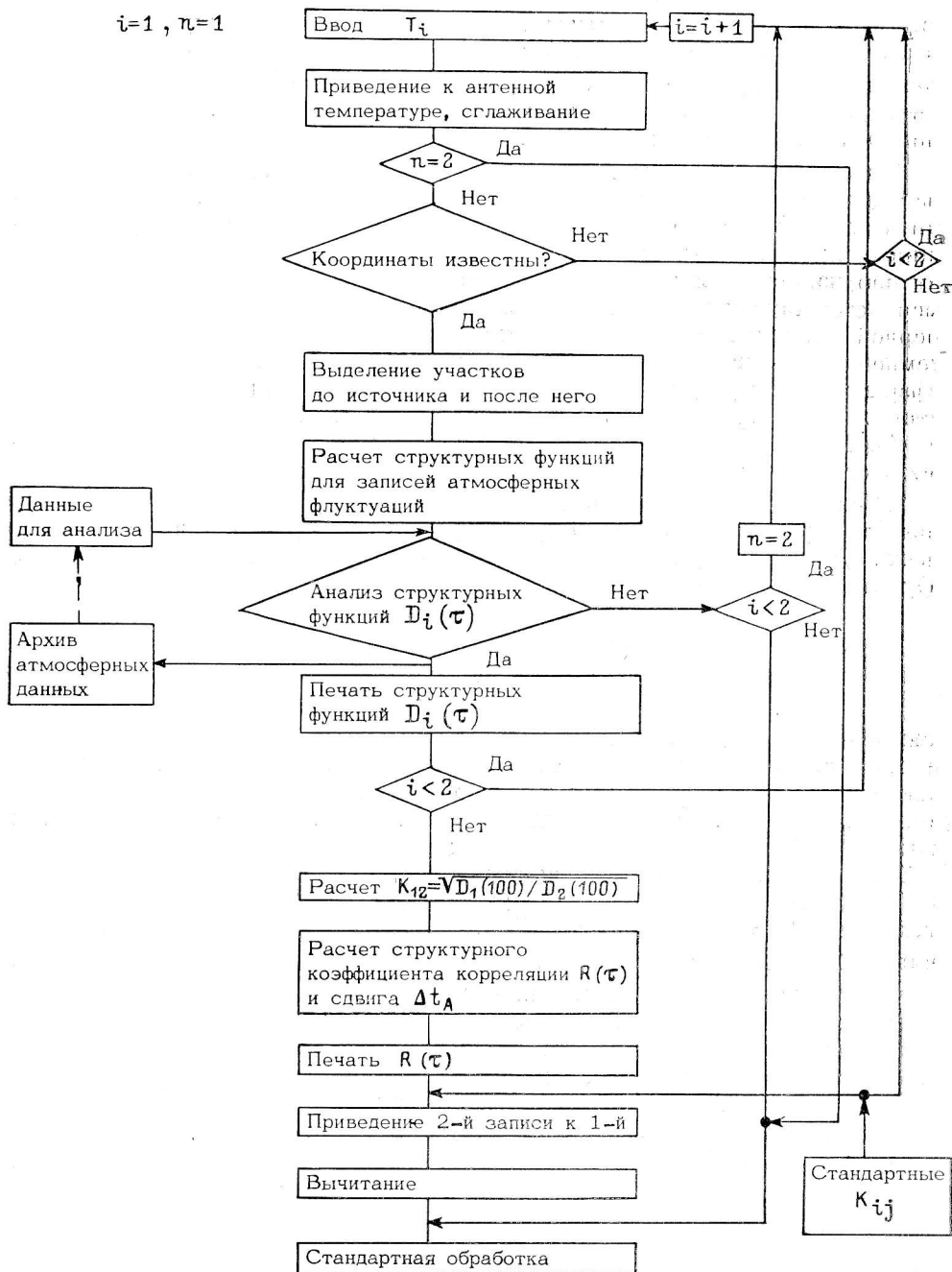
Для того чтобы осуществить чистку, необходимо привести записи к одному уровню атмосферных флуктуаций, совместить флуктуации во времени и произвести вычитание:

$$\begin{aligned} T_1(t) &= T_{B1}(t) + T_{A1}(t) \\ T_2(t) &= T_{B2}(t + \Delta t - \Delta t_A) + T_{A2}(t) \times k_{12} \\ \frac{T_2(t)}{T'_{B1}(t)} &= \frac{T_{B2}(t + \Delta t - \Delta t_A) + T_{A2}(t) \times k_{12}}{T_{B1}(t) - k_{12}T_{B2}(t + \Delta t - \Delta t_A)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где k_{12} — коэффициент приведения.

* Чистка радиоастрономических изображений протяженных объектов от атмосферных помех при многоволновом приеме. — Радиотехника и электроника (в печати).

Здесь предполагается, что атмосферные флуктуации полностью коррелированы и поэтому в результате вычитания полностью исключились. Если волны, на которых ведется наблюдение, достаточно разнесены по диапазону, коэффициент $k_{12} \ll 1$ в силу спектральной зависимости



радиоизлучения атмосферы $(\lambda_1/\lambda_2)^{-\nu}$, где $\nu \approx 2$, а $T_{B2} \ll T_{B1}$ в силу спектральной зависимости излучения источника (λ_1/λ_2) , где $\nu = 2 \div 2.5$. Поэтому можно считать, что величина $k_{12}T_{B2}$ пренебрежимо мала по сравнению с T_{B1} . Таким образом, в результате вычитания получается запись изображения источника, очищенная от атмосферных помех.

Для осуществления чистки необходимо провести наблюдения на двух или более волнах одновременно. Наблюдения на каждой волне ведутся в однолучевом режиме. До источника и после него делаются пятиминутные записи флуктуаций радиоизлучения атмосферы. По этим участкам записи определяются коэффициенты $k_{i,j}$ и необходимые сдвиги Δt_A . Если координаты источника неизвестны (случай обзоров, например), коэффициенты $k_{i,j}$ определяются на основании предварительного исследования флуктуаций радиоизлучения атмосферы в сходных условиях, а совмещения записей не производится, что несколько понижает эффективность чистки.

Схема алгоритма чистки приведена на рисунке. В этом алгоритме осуществляется следующая последовательность действий. Вводится запись, подвергаемая чистке, приводится к антенной температуре и сглаживается за собственный интервал антенны. После этого в зависимости от наблюдательной задачи возможны два варианта: координаты и размер источника известны или не известны. В последнем случае вслед за первой исходной записью вводится вторая запись, приводится к антенной температуре, сглаживается, затем приводится к одному уровню атмосферных флуктуаций с первой записью путем умножения на соответствующий коэффициент k_{12} и производится вычитание в соответствии с (1). После того как чистка закончена, очищенная запись обрабатывается стандартным образом по выбору наблюдателя.

В случае, когда координаты и размер источника известны, по времени выделяются участки записи флуктуаций атмосферы до источника и после него. Для этих участков рассматриваются временные структурные функции $D(\tau)$ по формуле

$$D(\tau) = D(I) = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^{N-1} [X(k) - X(k+1)]^2,$$

где X — массив данных; k — номер отсчета в массиве; N — число точек в массиве; I — дискретный интервал ($\tau = \Delta \tau I$). Полученные структурные функции анализируются с целью установить наличие либо отсутствие флуктуаций радиоизлучения атмосферы. Критериями служат: монотонный рост структурных функций при значениях аргумента $\tau = 12.5, 25, 50, 100$ с, вид, близкий к функции τ^2 , определяемый условием $0.7 < [\lg D(100) - \lg D(12.5)] / [\lg 100 - \lg 12.5] < 1.7$, и определенная величина $D_i(\tau) > A_i$ при $\tau = 100$ с для каждой длины волны. Величины A_i определяются на основании обработки архива атмосферных данных и данных о собственных шумах радиометров. Данные об атмосферных условиях при наблюдениях на телескопе накапливаются при каждом обращении к программе «чистка». Если атмосферные флуктуации не превышают A_1 , то чистка не производится и запись передается для стандартной обработки, затем вводится вторая запись и передается для стандартной обработки.

Если $D_1(100) > A_1$, флуктуации атмосферы достаточно велики. Структурные функции выводятся на печать и заносятся в архив. После чего вводится запись на второй волне и с ней продельваются те же операции. Если $D_2(100) < A_2$, чистка не производится и записи передаются для стандартной обработки. Если $D_2(100) > A_2$, структурные функции выводятся на печать и заносятся в архив. Затем рассчитывается коэффициент $k_{12} = \sqrt{D_1/D_2}$ для $\tau = 100$ с. После этого рассчитывается структурный коэффициент взаимной корреляции $R(\tau)$ при различных сдвигах одной записи относительно другой и находится величина сдвига, при котором записи совмещаются наилучшим образом. Расчет ведется по формуле

$$R(k_s, I) = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} [X(k) - x(k+I)] [Y(k+ks-1) - Y(k+ks-1+I)]}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N-1} [X(k) - X(k+I)]^2 \sum_{k=1}^{N-1} [Y(k+ks-1) - Y(k-ks-1+I)]^2}},$$

где X и Y — массивы данных; ks — сдвиг одной записи относительно другой. За Δt_A принимается сдвиг ks , при котором величина $\int_1^{100} R(\tau) d\tau$ максимальна. Величины $R(\tau)$ выводятся на печать. После этого записи приводятся к одному уровню атмосферных флуктуаций и совмещаются. После чего производится вычитание и получается очищенная от атмосферных помех запись. Очищенные записи могут быть подвергнуты стандартной обработке.

Описанный алгоритм в настоящее время реализован в виде набора подпрограмм на алгоритмическом языке ФОРТРАН-4 и показал хорошую работоспособность.

Поступила в редакцию
03.12.79