

УДК 621.391:53.08

А. В. Антонов, Ю. М. Герасимов

Радіоастрономічний інститут Національної академії наук України, Харків

Особенности двумерного восстановления изображений космических источников нелинейным методом

Розглядається двовимірне відновлення зображень космічних об'єктів нелінійним ітераційним методом. Для отримання високоякісного відновлення зображення поверхні джерела з активними утвореннями використовуються три види апіорної інформації. Це кутовий розмір джерела, його середня яскрава температура і невід'єність ітераційного розв'язку. Крайня роздільна здатність обмежується просторовою дискретністю ресстрації зображення.

Получение изображения космических источников является одной из приоритетных задач радиоастрономических наблюдений. Разрешающая способность наблюдаемого изображения определяется максимальными пространственными частотами, выделяемыми радиотелескопом. Однако применение современных нелинейных методов обработки изображений позволяет при определенных условиях существенно повысить разрешающую способность и реализовать эффект «сверхразрешения». При этом удается восстановить утраченные радиотелескопом элементы изображения. Такая возможность возникает при учете в процессе восстановления априорной информации об энергетических, либо пространственных характеристиках исследуемого космического объекта. Особенно эффективно применение нелинейных методов восстановления для обработки радиоастрономических наблюдений на небольших радиотелескопах, что существенно повышает их функциональные возможности и расширяет класс решаемых задач.

В частности, используя нелинейный итерационный метод восстановления изображения для обработки солнечных наблюдений на 2-м радиотелескопе РТ-2, работающем в 3-мм диапазоне [2], удается существенно увеличить информативность наблюдений активных образований на поверхности Солнца [1]. Нелинейный итерационный алгоритм

двумерного восстановления яркостной температуры $T_{\text{я}}(\mathbf{r})$ солнечного диска по данным его двумерного ортогонального сканирования $T_{\text{а}}(\mathbf{r})$ радиотелескопом с диаграммой направленности $A(\mathbf{r})$ имеет следующий вид:

$$T_{\text{я}}^{k+1}(\mathbf{r}) = \{T_{\text{я}}^k(\mathbf{r}) + \lambda [T_{\text{а}}(\mathbf{r}) - T_{\text{я}}^k(\mathbf{r}) * A(\mathbf{r})]\} \cdot F.$$

Здесь \mathbf{r} — вектор координат, λ — параметр скорости восстановления, k — шаг итерации, знак «*» обозначает операцию свертки, оператор F контролирует соответствие решения на каждом шаге итерации априорным условиям. При нормированной диаграмме направленности $A(\mathbf{r})$ максимальное значение $\lambda = 2$.

Исследование применения данного алгоритма для двумерного восстановления яркостной температуры Солнца с активными образованиями на его поверхности показало, что для реализации эффекта «сверхразрешения» при восстановлении активных образований априорной информации о неотрицательности решения недостаточно. Использование при восстановлении изображения оператора F , контролирующего только неотрицательность решения позволяет хорошо восстановить только границы солнечного диска. Активные образования восстанавливаются плохо, и на поверхности диска возникают значительные осцилляции. Эти эффекты являются результатом того, что в данном случае

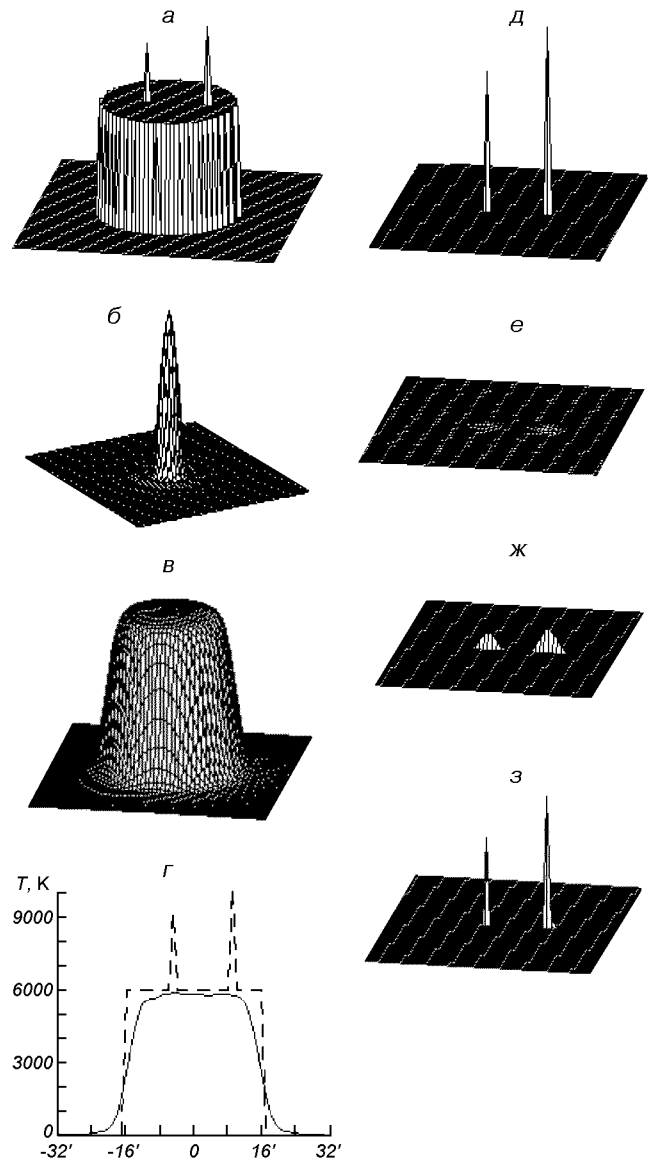
оператор F контролирует только восстановление основной энергетической составляющей солнечного диска.

Для качественного восстановления поверхности Солнца с активными образованиями необходимо использовать дополнительную априорную информацию о размере солнечного диска и его средней яркостной температуре. Это позволяет исключить из процесса восстановления данные параметры и ограничить его только восстановлением активных образований средней солнечной поверхности.

Поскольку процедура свертки деталей изображения является линейной операцией, то реализация данного решения заключается в вычитании из исходного восстанавливаемого изображения свертки изображения солнечного диска со средней яркостной температурой и ДН радиотелескопа. Полученное разностное изображение восстанавливается приведенным итерационным алгоритмом, в котором оператор F контролирует неотрицательность решения. Эффективность двумерного восстановления при данном подходе демонстрируется методом математического моделирования.

В качестве модели солнечного диска для диапазона волн 3 мм используем его цилиндрическую форму с угловым размером $32'$, средней яркостной температурой поверхности 6000 К и двумя активными образованиями гауссового вида с угловыми размерами $1.5'$ и яркостной температурой 9000 К и 10000 К. Ее вид приведен на рисунке (а). Двумерная свертка данной модели и ДН радиотелескопа (рисунок, б) шириной $7'$ показана на рисунке, в. Центральные сечения модели, проведенные через максимумы активных образований, для исходной модели и ее свертки, представленные на рисунке, г, соответственно пунктиром и сплошной линией, демонстрируют значительное сглаживание активных образований ДН.

Для сравнения на рисунке д и е показаны соответственно выделенные исходные активные образования на поверхности солнечного диска и их вид после выделения из свертки исходной модели Солнца и ДН радиотелескопа. Двумерная процедура итерационного восстановления изображения выполняется последовательно вначале по одной, а затем по другой координате. Результат восстановления по одной координате после 100 итераций приведен на рисунке ж. Окончательный результат получается после восстановления полученного одномерного решения по ортогональной координате. Его вид приведен на рисунке з. Данное моделирование проведено при отношении сигнал/шум равном 50. Такой уровень шума практически не ухудшает качество восстановления и позволяет реализовать «сверхраз-



Изображения активных образований: а — модель яркостной температуры солнечного диска в 3-мм диапазоне с двумя активными образованиями; б — двумерная ДН радиотелескопа шириной $7'$; в — их двумерная свертка; г — сечение исходной модели солнечного диска (штриховая) и аналогичное сечение сглаженного изображения (сплошная линия); д — выделенные активные образования на поверхности солнечного диска; е — вид выделенной свертки активных образований и ДН радиотелескопа; ж — одномерное восстановление изображения активных образований; з — Двумерное восстановление изображения активных образований

решение». При большем уровне шума хорошие результаты восстановления достигаются при использовании фильтрации методом скользящего среднего с регулируемым окном осреднения. Ре-

зультаты моделирования свидетельствуют о применимости данного подхода к восстановлению изображения солнечной поверхности с активными образованиями по реальным радиоастрономическим наблюдениям Солнца.

При этом, используя двумерное ортогональное сканирование радиотелескопом предварительно выделенной активной области на солнечном диске и восстановление данных сканирования с учетом информации о размере диска, его средней яркостной температуре, удастся определить точные координаты активных образований, их размеры и интенсивность излучения.

Для получения полного восстановленного изображения диска необходимо выполнить двумерное восстановление данных картографирования его поверхности. Данная процедура выполняется в два этапа. На первом этапе выполняется восстановление всех исходных элементов картографирования по прямому восхождению. При этом при восстановлении используется главное сечение ДН радиотелескопа по данной координате. На втором этапе полученные результаты восстановления по прямому восхождению, восстанавливаются по склонению с использованием главного сечения ДН радиотелескопа по этой координате. При построении карты

восстановленного изображения достигаемое разрешение определяется дискретом картографирования по обеим координатам.

1. Антонов А. В., Герасимов Ю. М., Руженцев Н. В. Применение итерационного метода к восстановлению параметров активных солнечных образований по наблюдениям в 3-мм диапазоне // Радиофизика и радиоастрономия.—2002.—7, № 3.—С. 246—253.
2. Antonov A. V., Churilov V. P., Gerasimov Yu. M., et al. Observations of Local Sources of Sun Activity at 94 GHz from Radiotelescope RT-2 // Proc. of The Fourth Int. Symp. «Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves» (June 4—9, 2001). — Kharkov, 2001.—Vol. 2.—P. 798—800.

PECULIARITIES OF A TWO-DIMENSIONAL IMAGE RECONSTRUCTION OF SPACE RADIANTS BY NONLINEAR METHOD

A. V. Antonov and Yu. M. Gerasimov

Two-dimensional reconstruction of space objects by the nonlinear iteration method is considered. Three aspects of *a priori* information is used to derive a high quality of image reconstruction of the surface of a radiant with active formations. The aspects are the angular size of a radiant, its medial brightness temperature, and nonnegativity of an iterative solution. The accessible resolving power is restricted to spatial discretization of detection of an image recovered.