

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СВЧ ЗОНДИРОВАНИИ И МИКРОСКОПИИ

Гайкович К.П., Грибков Б.А., Жилин А.В., Миронов В.Л.
Институт физики микроструктур РАН, ГСП-105, Н. Новгород - 603950, Россия
Тел.: (8312)675037; факс: (8312)675553; e-mail: gai@ipm.sci-nnov.ru

Аннотация – Метод деконволюции изображений, основанный на теории некорректных задач Тихонова, применяется в различных приложениях для восстановления изображений, искаженных влиянием аппаратной функции.

I. Введение

Актуальной проблемой в самых различных областях физики (радиоастрономии, радиолокации, радиотеплолокации, оптической, ближнепольной, атомно-силовой и туннельной микроскопии) является учет влияния аппаратной функции прибора на получаемое двумерное изображение. При этом может иметь место как заглаживание (замывание) реальной картины, так и её искажение в случаях, когда аппаратная функция имеет сложную структуру. Если аппаратная функция известна (хотя бы приближенно), то можно сформулировать обратную задачу восстановления исходного изображения.

Эта задача сводится к решению некорректного интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода типа двумерной свертки, которое, как известно, является некорректным. В данной работе рассматриваются возможности применения метода обобщенной невязки Тихонова [1]. Такой подход уже успешно применялся для решения задачи восстановления распределения яркостной температуры с учетом сглаживающего действия диаграммы направленности антенны в [2-4] и для восстановления двумерного распределения тока на поверхности сверхпроводящей пленки по измерениям магнитного поля над её поверхностью [5].

II. Основная часть

СВЧ-измерения.

Если измерено двумерное распределение некоторой величины, характеризующей изображение, то связь между измеренным и истинным распределениями в большинстве случаев может быть (по крайней мере, приближенно) представлена в виде двумерной свертки, которая для случая радиометрических измерений теплового радиоизлучения имеет вид:

$$T_A(x, y) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} \int K(x-s, y-t) T_B(s, t) ds dt \quad (1)$$

где ядро $K(w, W)$ - диаграмма направленности антенны, $T_A(x, y)$ - измеряемая антенная температура, $T_B(s, t)$ - яркостная температура (искомое распределение). Разрешение (1) относительно $T_B(s, t)$ позволяет восстановить распределение яркостной температуры. Известно, что точность восстановления в некорректных задачах может быть определена только из результатов численного моделирования и эти результаты представлены в [2-4].

В данной работе метод применяется для восстановления двумерного распределения яркостной тем-

пературы подстилающей поверхности по данным вертолетных радиометрических измерений на длине волны 0,8 см. Подробности измерений см. в [3-4], где представлены результаты восстановления для длины волны 3 см.

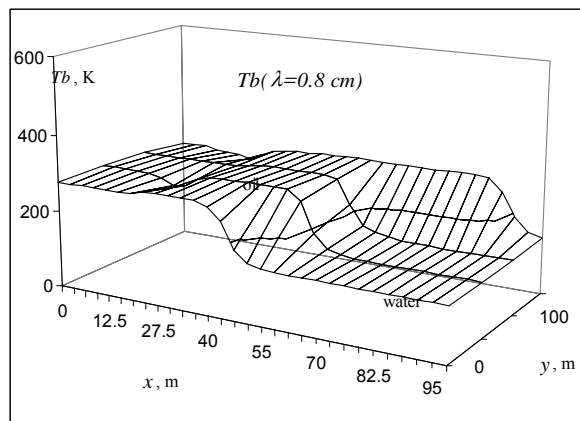


Рис. 1. Измеренное распределение антенной температуры участка на длине волны 0,8 см.

Fig.1. Measured distribution of antenna temperature at wavelength 0.8 cm.

Из результатов, показанных на рис.1,2, можно видеть, что восстановление позволило обнаружить более тонкую структуру распределения яркостной температуры, чем в исходных данных измеренной антенной температуры, что находится в соответствии с визуальными наблюдениями неоднородностей нефтяной пленки.

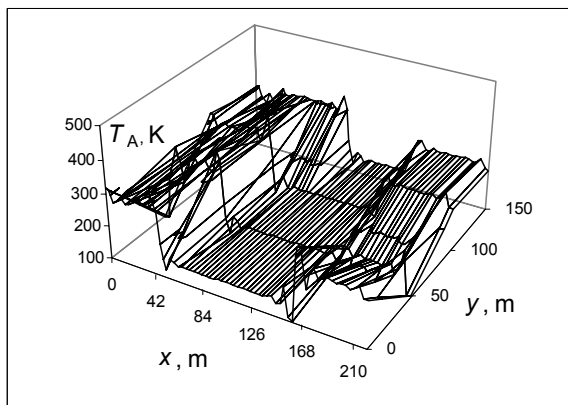


Рис. 2. Восстановление распределения яркостной температуры по данным рис.1.

Fig.2. Retrieved distribution of brightness temperature by data shown in Fig.1.

Атомно-силовая микроскопия.

В атомно-силовой микроскопии рельеф поверхности измеряется с помощью тонкого зонда, который взаимодействует с поверхностью. Для контактного режима работы атомно-силового микроскопа разработаны чисто геометрические методы учета формы иглы [5]. В режиме более слабого ван-дер-ваальсова взаимодействия связь между измеряемой и реаль-

ной формой поверхности может быть выражена соотношением типа (1). Информацию о форме аппаратной функции в этом случае можно получить прямо из измерений, выделяя наименьшие элементы в структуре измеренной формы поверхности. Такие элементы возникают на точечных по сравнению с шириной аппаратной функцией деталях рельефа, которые, действуя как дельта-функция, фактически дают в наблюдениях форму аппаратной функции зонда. На рис.3 показан пример исходного рельефа поверхности, а на рис. 4 – результат восстановления. Видно, что решение уравнения типа (1) позволяет существенно улучшить наблюдаемое разрешение.

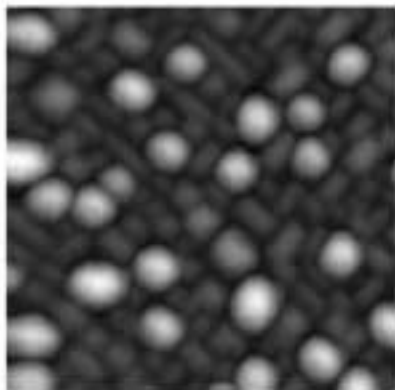


Рис.3. Исходное изображение квадратного участка поверхности со стороной 130 нм, полученная сканирующим атомно-силовым микроскопом.

Fig.3. Initial image of the square surface region with a lateral size of 130 nm, obtained using scanning atomic-force microscopy.

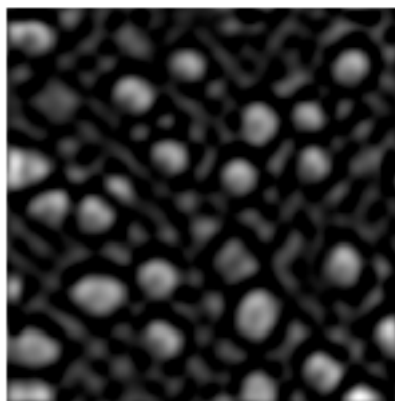


Рис.4. Восстановленное по данным рис.3 изображение

Fig.4. Retrieved by data in fig.3 image.
Туннельная микроскопия.

В туннельной микроскопии одним из режимов является режим постоянной высоты. При этом измеряемой величиной является двумерное распределение тока тунеллирования между иглой и исследуемой поверхностью. Этот метод позволяет разрешать положение отдельных атомов в решетке. Форма аппаратной функции в этом случае выделяется на каж-

дом атоме, и её можно с большой точностью определить путем усреднения для различных атомов, а затем применять для восстановления с более высоким разрешением на основе решения уравнения (1). На рис.5 представлено исходное изображение - распределение туннельного тока на решетке атомов графита, а на рис.6 – результаты восстановления, где видна более тонкая структура, связанная, возможно, с влиянием более глубоких слоев атомов на туннельный ток.



Рис.5. Исходное изображение квадратного участка поверхности со стороной 40 Å, полученное туннельным микроскопом.

Fig.5. Initial image of the square surface region with a lateral size of 40 Å, obtained using tunneling microscopy.

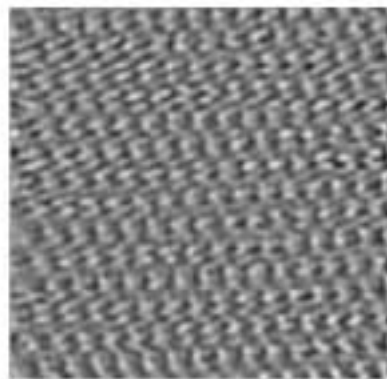


Рис.6. Восстановленное по данным рис.3 изображение

Fig.6. Retrieved by data in fig.3 image.

III. Заключение

Результаты применения развитого метода деконволюции двумерных изображений с учетом формы аппаратной функции в задачах СВЧ зондирования и микроскопии показывают его высокую эффективность.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 01-02-16444.

IV. Список литературы

- [1] Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. М: Наука, 1983, 200 с.
- [2] Гайкович К.П., Жилин А.В. Восстановление двумерного распределения радиояркой температуры по измерениям с известной диаграммой направленности. 7-я Международная Крымская конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (Крым, Украина, 15-18 сент. 1997, Севастополь), 1997, Севастополь: предприятие "Вебер", Материалы конф. т.2, с.510-513.
- [3] Gaikovich K.P., Zhilin A.V. Two-dimensional image retrieval. Proc. of 3-d Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques (8-11 Sept., 1999, Sevastopil, Ukraine), 1999, Sevastopil: Sevastopil State Technical University pp.209-211.
- [4] Гайкович К.П., Жилин А.В. Восстановление двумерного распределения радиояркости по измерениям с известной диаграммой направленности. Известия вузов. Радиофизика, 1999, т.42, №10, с.940-949.
- [5] Zhilin A.V., Gaikovich K.P., Nozdryn Y.N., Reznik A.N. Sheet Currents Retrieval in High- T_c Superconductor Films. Proceedings of 2000 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory MMET*2000 (Kharkov, Ukraine, 12-15 September 2000), v.2, pp. 601-603.
- [6] Buckaraev N.V., Berdunov D.V., Ovchinnikov K.M., Salikov K.M. Three-Dimensional Probe and Surface Reconstruction for Atomic Force Microscopy Using Deconvolution Algorithm. Scanning Microscopy, 1997, vol.11, No.1, p.25-31.

IMAGE RETRIEVAL IN MICROWAVE SOUNDING AND MICROSCOPY

Gaikovich K.P., Gribkov B.A., Zhilin A.V., Mironov V.L.
Institute for Physics of Microstructures RAS, GSP-105
Nizhny Novgorod – 603950, Russia
phone: (8312)675037, fax: (8312)675553
e-mail: gai@ipm.sci-nnov.ru

Abstract – Image deconvolution method based on the Tichonoff's theory of ill-posed problems is applied to the retrieval of images distorted by the instrument transfer function influence.

I. Introduction

An actual problem in various fields of physics (radio astronomy, radar and radiometer imaging, optical, near-field, atomic-force and tunnel microscopy) is the correction of the instrument transfer function influence on measured 2-D images. At that influence the smoothing of the real picture could take place, and even its distortion in cases when the transfer function has a complicated structure. If the transfer function is known (even approximately), it is possible to consider the inverse problem of initial distribution retrieval. This problem consist of the solution of ill-posed integral Fredholm equation of the 1-st kind of 2-D convolution type, which is known as ill-posed. In this paper the possibility of the Tichonoff's method of generalized discrepancy [1] is considered. The same approach has been used successfully in the problem of the brightness temperature distribution retrieval taking into account the smoothing effect of the antenna pattern [2-4] and in the problem of 2-D currents distribution on the superconductive film by measurements of magnetic field above its surface [5].

II. Main part

Microwave measurements.

If the 2-D distribution of some physical quantity is measured, which is related to image, then the relation

between the measured and the true distribution in most cases could be (at least, approximately) expressed as 2-D convolution, which in the case of radiometer measurements of radio emission is given:

$$T_A(x, y) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} K(x-s, y-t) T_B(s, t) ds dt \quad (1)$$

where the kernel $K(w, W)$ is the antenna pattern, $T_A(x, y)$ is the measured antenna temperature, $T_B(s, t)$ is the brightness temperature (to be found). The solution of (1) relative to $T_B(s, t)$ make possible to retrieve the brightness temperature distribution. It is known that the accuracy of retrieval in the ill-posed equations can be determined on the basis of numerical simulation only, and these results are presented in [2-4].

In this paper the this method is applied to the retrieval of the 2-D distribution of the brightness temperature of the underground at wavelength 0,8 cm. The measurements details could be found in [3-4], where retrieval results for wavelength 3 cm are presented.

Atomic-force microscopy.

In the atomic-force microscopy the surface relief is measured using a thin probe, which interacts with a surface. For the strong interaction mode (contact mode) to take into account the probe shape geometrical methods have been developed [5]. In the weak interaction mode the relation between the measured and the real shape of the surface could be expressed by the formula (1). In this case the information about the instrument transfer function one can obtain just from measurements, choosing the smallest elements in the structure of measured surface shape. Such elements appear on the point (comparing with the transfer function width) relief details, which effect like the δ -function and give, in fact, the transfer function of the probe. In fig.3 an example of initial relief of the surface is given, and in fig.4 one can see the retrieval result. It is clear, that the solution of the equation, similar with (1), makes possible to improve the observed resolution.

Tunnel microscopy.

In tunnel microscopy the 2-D distribution of tunnel current between the probe and the surface is used as measured value (so-called $z=\text{const}$ mode). This method makes possible to resolve the positions of single atoms in atomic lattice. The shape of transfer function in this case is stands out against an each atom, and there is the possibility to determine this shape with a high accuracy by averaging over total number of atoms. Then it is possible to apply this transfer function to retrieval with more high resolution on the basis of the solution of the equation (1). In fig.5 there is the initial distribution of the tunnel current and in fig.6 the retrieval results are shown, where one can see more thin structure, related perhaps to the influence of more deep atom layers.

III. Conclusion

Results of the application of the developed deconvolution method of 2-D images taking into account the instrumental transfer function to the problems of microwave sounding and microscopy prove its high efficiency.