

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/299442099>

# SUPERRESOLUTION by EXTRAPOLATION for SOLVING REMOTE SENSING PROBLEMS

Conference Paper · September 2015

CITATION

1

READS

52

1 author:



[Boris Lagovsky](#)

Russian Technological University MIREA

43 PUBLICATIONS 98 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Increase the volume and quality of information obtained from radar, radio navigation, remote sensing based on new mining techniques and digital data processing  
[View project](#)



Superresolution in Signal Processing Using A Priori Information [View project](#)

# SUPERRESOLUTION by EXTRAPOLATION for SOLVING REMOTE SENSING PROBLEMS

Lagovsky B.A.

Moscow State Institute of Radio Engineering and Automation (Technical University)

78, Vernadskogo sq., Moscow.

119454, Russian Federation

Ph.: (495)4347565; e-mail: Lagovsky@rambler.ru

**Abstract** — A new method of digital signal processing by smart antennas (SA), enabling to obtain an image of the object with angular superresolution is theoretically justified. The method is based on the extrapolation of the signals received by each element of the SA, outside the array aperture. This allows to introduce a new virtual emitters and thus synthesize much larger antenna array. The method tested in numerical experiments on a mathematical model.

## СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Лаговский Б.А.

Московский государственный университет информационных технологий,  
радиотехники и электроники»

Москва, 119454, пр. Вернадского, 78. Россия

тел.: (495)4347565; e-mail: Lagovsky@rambler.ru

**Аннотация** — Теоретически обоснован новый метод обработки сигналов цифровыми антенными решётками (ЦАР) позволяющий получить изображение исследуемого объекта с угловым сверхразрешением. Метод основан на экстраполяции сигналов, принимаемых каждым элементом ЦАР, за пределы апертуры решетки, что позволяет ввести в рассмотрение новые виртуальные излучатели, и тем самым синтезировать ЦАР значительно большего размера. Метод проверен в ходе численных экспериментов на математической модели.

### I. Введение

Одно из основных направлений совершенствования радиосистем на основе цифровых антенных решеток - повышение их информативности, основанное на новых методах обработки принимаемых сигналов. Повышение точности угловых измерений и увеличение угловой разрешающей способности – важный шаг в этом направлении. В этой связи актуальной является задача восстановления изображения исследуемого объекта с угловой разрешающей способностью, превышающей критерий Рэлея [1-5], т.е. со сверхразрешением. Эта задача является обратной и сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма типа свёртки:

$$U(\alpha) = \int_{\Omega} f(\alpha - \phi) I(\phi) d\phi \quad (1)$$

где  $\Omega$  - угловая область расположения источника,  $I(\alpha)$  – искомое распределение амплитуды излучаемого источником (или отражённого) сигнала, равное 0 вне  $\Omega$ ,  $f(\alpha)$  – ДН измерительной системы,  $U(\alpha)$  – принимаемый при сканировании сигнал.

Во многих странах разрабатываются и внедряются методы обработки сигналов, позволяющие достигать сверхразрешения, напр. [1-5,7]. Основная трудность реализации всех предложенных методов - неустойчивость решений, являющаяся следствием некорректности поставленной задачи (1).

### II. Основная часть

Для ЦАР возможен подход к задаче, напрямую не

использующий (1), что повышает устойчивость решений.

Для упрощения получаемых выражений рассмотрим большую линейную ЦАР с числом элементов  $2N+1$ . Амплитуды токов на излучателях полагаем равными, область  $\Omega$  одномерной, расположенной в пределах ширины луча. В пределах узкой области  $\Omega$  значения ДН отдельных излучателей считаем независимыми от  $\alpha$  и заменим  $\sin \alpha \approx \alpha$ . Обобщение полученных в дальнейшем выражений на общий случай принципиальных сложностей не вызывает.

Тогда (1) преобразуется в сумму:

$$U(\alpha) = \sum_{n=-N}^N \exp(-ikdn\alpha) \int_{\Omega} \exp(ikdn\phi) I(\phi) d\phi = \quad (2)$$

$$= \sum_{n=-N}^N C_n \exp(-ikdn\alpha),$$

$$C_n = \int_{\Omega} \exp(ikdn\alpha) I(\alpha) d\alpha \quad (3)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $d$  – расстояние между соседними излучателями.

Несложно показать, приближённое решение (2)  $I(\alpha)$  можно представить в виде

$$I(\alpha) \cong A \sum_{n=-N}^N \exp(-ikdn\sin(\alpha)) C_n, \quad (4)$$

повторяющем по форме  $U(\alpha)$ , где  $A$  – нормировочный коэффициент. Полученное разрешение соответствует критерию Рэлея.

Чем уже ДН, т.е. чем больше размеры АР, тем точнее получаемое решение (4). В пределе при  $N \rightarrow \infty$  получим точное решение, соответствующее ДН в виде дельта-функции, представляющее собой разложение искомой функции в ряд Фурье на соответствующем интервале.

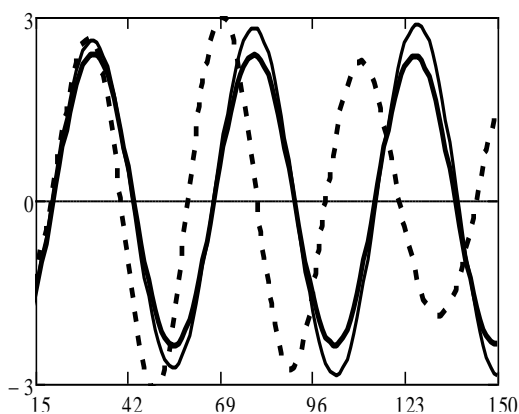
В отличие от обычных ФАР, коэффициенты  $C_n$  в ЦАР могут быть зарегистрированы в цифровом виде и их значения использованы в дальнейшем при цифровой обработке сигналов. Рассмотрим одну из возможностей использования полученных  $C_n$  для повы-

шения точности угловых измерений и увеличения углового разрешения.

Из (3) следует, что различия значений  $C_n$  определяются только пространственным положением отдельных излучателей ЦАР. Следовательно, проанализировав расположение большого количества излучателей и значения соответствующего им набора коэффициентов  $C_n$ , можно с хорошей точностью найти зависимость принимаемого сигнала в виде коэффициента  $C_j$  от координат  $j$ -того излучателя.

Решение этой задачи позволяет прогнозировать значения принимаемого сигнала за пределами апертуры ЦАР. Используя найденные новые значения  $C_j$ , при  $j = \pm(N+1) \dots \pm M$ , получим синтезированную ДН и решение в виде (4) с распространением суммирования до  $2M+1$  членов, т.е. для ЦАР с  $2M+1$  излучателями. В итоге, точность угловых измерений и разрешающая способность повысились в  $M/N$  раз.

Исследования показывают, что зависимость принимаемого сигнала  $S$  от расстояния до центра ЦАР описывается плавной осциллирующей кривой и хорошо поддаются экстраполяции.



Номер излучателя синтезированной ЦАР.

Рис. 1. Значения действительной части коэффициентов  $C_j$  за пределами апертуры: сплошная жирная линия — истинные значения, сплошная тонкая и штриховая — значения при различных методах экстраполяции.

Fig. 1. The values of the real part of the coefficients  $C_j$  outside the aperture: solid thick line - the true values, the solid and dashed thin - values with different methods of extrapolation.

Количественные характеристики сверхразрешения исследовались на математической модели. Была рассмотрена 17-элементная линейная ЦАР ( $N = 8$ ). Задавался объект в виде распределения  $I(\alpha)$  и решалась обратная задача - восстановление  $I(\alpha)$  посредством экстраполяции коэффициентов  $C_n$ ,  $n = 1 \dots N$  с учётом взаимовлияния элементов, вычисленных по методу, представленному в [6], и синтеза виртуальной ЦАР. На рис.1 показаны нормированные значения  $C_n$  (пределы изменения  $\pm 1$ ) для реальной ( $n \leq 8$ ) и синтезированной АР. За пределами реальной апертуры  $D$  ( $n > N$ ) до размеров  $2,5D$  ошибка вычислений  $S$  пренебрежимо мала. Ошибка остаётся небольшой вплоть до  $4D$  и даже больше, что позволяет резко повысить угловое разрешение.

На Рис.2 приведены результаты решения в виде приближённого восстановления изображения исследуемого объекта.

дугею объекта.

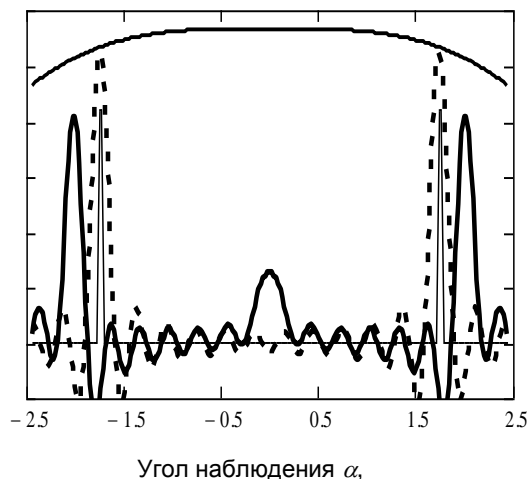


Рис. 2. Результаты приближённого восстановления изображения источника сигналов: жирная сплошная и штриховая кривые - изображение при различных методах экстраполяции, верхняя тонкая сплошная - принятый сигнал  $U(\alpha)$ , сплошная тонкая кривая - распределение интенсивности истинного источника.

Fig. 2. Results of restoration of a source of signals: thick solid and dashed lines - the source image with different methods of extrapolation, the upper thin solid - signal  $U(\alpha)$ , thin solid curve - the distribution of the intensity of the true source.

Итоговое решение устойчиво, положение максимумов найдено практически без смещения, амплитуды ложных источников невелики. Без обработки сигнала эти источники разрешаются на расстоянии  $1,4\theta_{0,5}$ , т.е. критерий Рэлея превышен почти в 5 раз.

### III. Заключение

Предлагаемый метод обработки сигнала ЦАР позволяет восстанавливать изображения объектов со сверхразрешением. Его использование при проектировании новых систем позволяет упростить технические решения и снизить их стоимость.

### IV. References

- [1] Herman M. A., Strohmer T.. High-resolution radar via compressed sensing. *IEEE Trans. Signal Processing.* – 2009. Vol. 57, № 6, pp. 2275–2284.
- [2] Radoi E., Quinquis A. A new method for estimating the number of harmonic components in noise with application in high resolution radar. - *EURASIP Journal on Applied Signal Processing.* 2004. № 8, pp. 1177-1188, 2004.
- [3] Nechfev I.B., Zotov S.A. Designing modern fast radio direction finders with superresolution. *Antennas.*, №4, 2009 г. pp.77-84.
- [4] Lagovsky B.A. Superresolution: Simultaneous Orthogonalization of Function Systems Describing the Received Signal and its Source. *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2012-Moscow), PIERS Proceedings 2012*, pp. 993 – 996.
- [5] Lagovsky B.A. Reconstruction of the image of the group target by digital antenna array. *Antennas.* - 2011. № 2(165), - pp. 40 - 46.
- [6] Lagovsky B.A. Radiation of UWB signals by antenna array systems // *Antennas.* - 2009, № 9(148), - pp.29-36.
- [7] Lagovsky B.A. High Performance Angular Resolution Algorithm for Radar Systems. *Proc. 2009 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2009-Moscow)*, pp. 1637 – 1641. 2009.