АНАЛИЗ МЕТОДОВ СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ЦЕЛИ

ANALYSIS OF SUPER-RESOLUTION METHODS FOR DETERMINING ANGULAR COORDINATES

УДК 002.304

DOI: 10.24411/2658-4964-2020-10280

Храмцов Е.М.

студент 2 курс

институт магистратуры и аспирантуры факультет радиотехники и телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Рязанской государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» Россия, г. Рязань

Khramtsov, E. M. Khramcov90@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена анализу методов сверхразрешения для определения угловых координат цели, что позволяет оценивать угловые координаты источников радиопередачи с использованием сигналов, поступающих на вход антенной системы. В статье рассмотрены основные алгоритмы определения целей, проведен их анализ и определены их основные преимущества и недостатки. В результате исследования проведена оценка координат углов источников радиоизлучения методом сверхразрешения и выявлена при этом оптимальная разрешающая работоспособность.

Annotation

The article is devoted to the analysis of methods of superresolution for determining the angular coordinates of the target, which allows you to evaluate the angular coordinates of the sources of radio emission using the signals received at the input of the antenna system. The article discusses the basic algorithms for determining goals, analyzes them and identifies their main advantages and disadvantages. As a result of the study, the coordinates of the angles of the sources

of radio emission were estimated by the superresolution method and the optimal resolving performance was revealed.

Ключевые слова: *цель, активные помехи, угловые координаты, метод ROOT-MUSIC, источники радиоизлучения.*

Keywords: *target, active interference, angular coordinates, method ROOT-MUSIC, sources of radio emission.*

Знание угловых координат радиоэлектронных устройств позволяет определить их расположение и, при необходимости, направить на них антенны передатчиков помех.

При обнаружении расположения радиоисточников направление сигнала сравнивается с пеленгатором и нормалью, направленной на фронт волны и генерируемый источником излучения. Разница между классическими методами определения угловых координат сводится к определению направления этой нормы.

Современные методы и алгоритмы со сверхразрешением позволяют определять нахождение нескольких целей, расположенных под небольшим углом, при условии, что отношение сигнал / шум (ОСШ) имеет большое значение, а распределение «амплитуды-фазы» в диапазоне реальной антенной системы меньше, чем у модели.

Основным преимуществом таких алгоритмов является то, что они позволяют определять количество источников излучения (ИИ) и угол прихода без перемещения антенны с использованием алгоритмических методов обработки сигналов. Кроме того, современные спектральные методы адаптируются к входным данным. Как правило, они используют матрицу корреляции сигналов, принимаемых в качестве источника антенны.

Алгоритмы со сверхразрешением можно разделить на две основные группы в соответствии с методами обзора пространства: последовательное и параллельное направление пеленгации ИИ. Методы первой группы включают метод Капона, метод MUSIC, метод EV, метод теплового шума.

В совокупности эти методы выполняют последовательный пространственный анализ. В последовательном изучении ИИ угловые координаты находятся при сканировании с пространственным опорным сигналом и дальнейшим определением максимального положения. Главным недостатком является низкий темп обзора. Вторая группа, позволяющая обеспечить параллельный обзор пространства, включает методы ROOT-MUSIC, Писаренко, поворота подпространства (ESPRIT) и другие.

Как было отмечено ранее, оценивают координаты углов источников радиоизлучения (радиопередачи) (ИРИ) методом сверхразрешения. На сегодняшний день существует множество алгоритмов определения угловых координат ИРИ, но алгоритм Root-Music заслуживает особого внимания.

Этот алгоритм относится к группе алгоритмов, которые проводят параллельное исследование пространства. Его основными преимуществами являются высокое разрешение и довольно быстрая скорость сканирования земли. Однако этот алгоритм применим к линейным антенным решеткам.

Метод Root-Music основан на анализе собственных векторов корреляционной матрицы R и его отличительной особенностью является более высокая точность оценивания угловых координат, чем методы, использующие лишь непосредственно корреляционную матрицу.

Алгоритм Root-MUSIC, применяемый к линейной серии антенн, может быть описан в следующих шагах:

1. Оценка корреляционной матрицы.

2. Разделение корреляционной матрицы на собственные векторы и значения.

3. Формирование матрицы C, состоящей из R собственных векторов:

4. Получение многоугольных коэффициентов путем суммирования элементов на диагонали матрицы C:

5. Расчет корней полинома D (z):

6. Выбор значений z, лежащих на единичной окружности, образующих взаимно связанные пары.

7. Определение пеленгационных углов по формуле:

$$a_m = \arcsin\left(\frac{1}{\pi}\arg\left(z_m\right)\right), \quad (1)$$

Смоделировав работу алгоритма, были получены результаты оценки угловых координат ИРИ, которые представлены на рисунке 1.

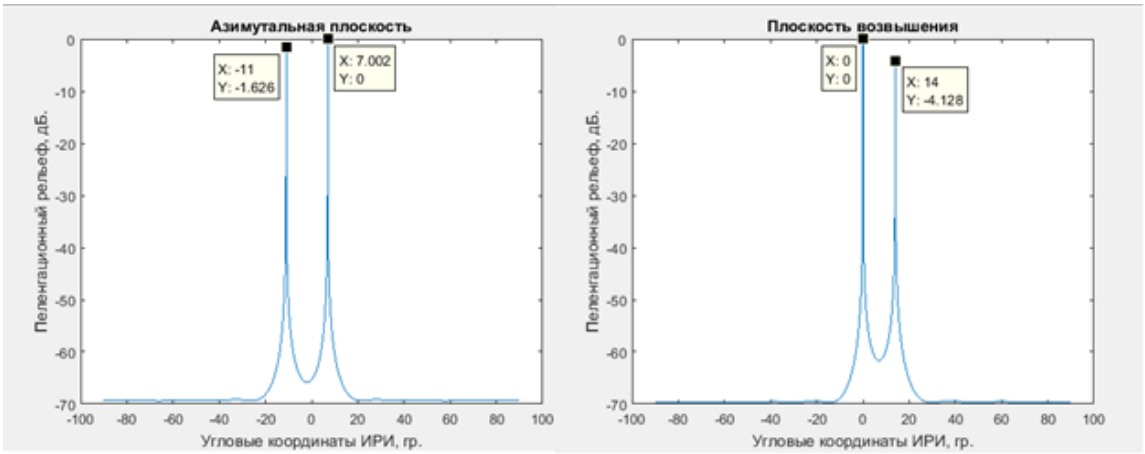

Рисунок 1 - Пеленгационный рельеф метода Root-Music

Кроме того, определить угловые координаты можно путем измерения среднеквадратического отклонения (СКО) максимумов пеленгационного рельефа при изменении отношения мощности сигналов к мощности собственных шумов.

Формула для расчета СКО представлена ниже:

$$\sigma = \sqrt[2]{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m < x >)^2}, \quad (2)$$

где n - объем выборки;

xi – значение случайной величины на i-ой итерации;

m<x> – математическое ожидание.

СКО характеризует разброс некой случайной величины относительно ее математического ожидания. Однако при ограниченном количестве выборок n, вместо математического ожидания используют среднее арифметическое:

$$x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \ , \qquad (3)$$

Тогда с учетом вышесказанного, уравнение (2) можно переписать:

$$\sigma = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x)^2}, \qquad (4)$$

Результаты зависимости СКО от величины отношения мощности сигнала к мощности собственных шумов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Отношение мощности сигнала к мощности собственных шумов

Рс/Рш, дБ	σ, гр.
50	0,0015
40	0,0024
30	0,0081
20	0,0221
10	0,0476
0	0,0782

Полученные результаты отражены в виде графика на рисунке 2.

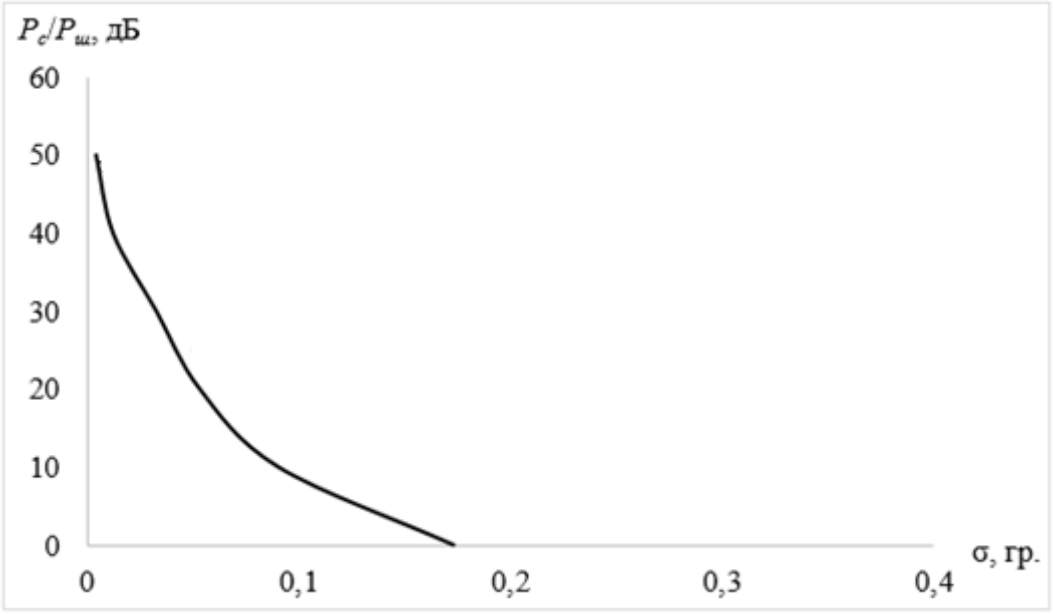

Рисунок 2 - Зависимость СКО от отношения сигнал/шум

Теперь определим разрешающую способность метода различать источники распространения радиоволн при одинаковых угловых координатах (таблица 2). В качестве критерия для оценки разрешения определим глубину провала между пиками пеленгационных максимумов нахождения, которая должна составлять не менее 3 дБ.

Таблица 2 - Разрешающая способность метода Root-Music

Рс/Рш, дБ	Δ, гр
50	<0,01
40	0,2
30	0,8
20	1,8
10	5,7
0	>15

Полученные результаты отражены в виде графика на рисунке 3.

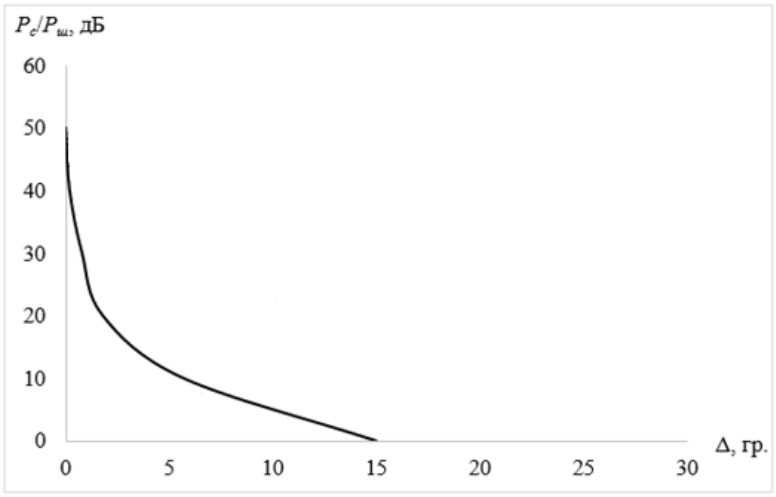

Рисунок 3 -Зависимость разрешающей способности от отношения сигнал/шум

Анализируя результаты проведенного исследования, можно с уверенностью сказать, что метод углового сверхразрешения Root-MUSIC позволяет достаточно хорошо оценить угловые координаты ИРИ, имея при этом оптимальную разрешающую способность .

Литература

1. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. – М.: Изд-во Радио и связь, 2016;

2. Зотов С.А. Методы сверхразрешения в задачах радиопеленгации // Информационные процессы и технологии в обществе и экономике. – 2016. – №3;

3. Душко И. В. Пространственная обработка радиолокационных сигналов малогабаритной РЛС в условиях множественных переотражений на фоне активных шумовых помех: дис. … канд. физ. мат. наук. – НН., 2016;

4. Сидоренко К.А. Разработка методик и алгоритмов повышения быстродействия определения угловых координат априорно неопределенных источников радиоизлучения: дисс… док. тех. наук. – Омск, 2017;

5. Романовский В. И. Математическая статистика. Книга1. Основы теории вероятностей и атематической статистики. –2016.

Literarture

1. Ratynsky M. V. Adaptation and superresolution in antenna arrays. - Moscow: Radio and communications Publishing house, 2016;

2. Zotov S. A. Methods of super-resolution in radio direction finding problems / / Information processes and technologies in society and economy. - 2016. - №3;

3. dushko I. V. Spatial processing of small-size radar signals in conditions of multiple re-reflections against the background of active noise interference: dis. ... candidate of physical and mathematical Sciences-NN, 2016;

4. Sidorenko K. A. Development of methods and algorithms for increasing the speed of determining angular coordinates of a priori uncertain radio sources: Diss ... doctor of technical Sciences. - Omsk, 2017;

5. Romanovsky V. I. Mathematical statistics. Book 1. Fundamentals of probability theory and mathematical statistics. –2016.