



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.38

## МЕТОДЫ РАЗРЕШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ РТС

**Коптев В.А.**

*ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ", Москва, Россия, (111024, город Москва, Авиамоторная ул., д.8а), e-mail: yyy.xxx.98@bk.ru*

**В данной статье описываются классические методы определения углового направления на источник электромагнитного излучения. Определены их фундаментальные ограничения и недостатки. И сделано заключение, что в целях повышения разрешающей способности по угловым координатам необходимо использовать алгоритмы сверхразрешения.**

Ключевые слова: разрешение Объектов, измерительные РТС, моноимпульсная радиолокация, сверхразрешение, разрешающая способность.

## METHODS FOR RESOLVING OBJECTS AND SIGNALS FOR USE IN MODERN MEASURING RTAS

**Koptev V.A.**

*OF THE ORDER OF THE RED BANNER OF LABOR OF THE MOSCOW TECHNICAL UNIVERSITY OF COMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Moscow, Russia, (111024, Moscow, Aviamotornaya str., 8a), e-mail: yyy.xxx.98@bk.ru*

**This article describes classical methods for determining the angular direction of an electromagnetic radiation source. Their fundamental limitations and disadvantages are identified. And it is concluded that in order to increase the resolution in angular coordinates, it is necessary to use super-resolution algorithms.**

Keywords: Object resolution, measuring RTDS, monopulse radar, super resolution, resolution.

### **Традиционные методы разрешения объектов и сигналов.**

В современной обстановке обилия излучателей электромагнитных волн (ЭМВ) и разного рода помех, актуально стоит задача разделения радиотехническими системами сигналов от нескольких независимых источников [1-3]. Если взять за точку отсчёта приёмную систему – то видится несколько способ для решения данной проблемы [4-5]:

1. Разделение сигналов по физическим параметрам – мощность, амплитуда, частота, фаза, поляризация, тип модуляции.
2. Пространственное разделение сигналов – по угловому направлению прихода сигнала.

Разделение по первому признаку широко распространено в стандартах связи, например, временное и частотное разделение. Поляризационное разделение используется сверхвысокочастотных линий передачи. За разделение принятых сигналов по угловым

координатам, отвечают антенные системы и соответственно, они задают определённые ограничения по разрешению.

Разрешающая способность радиотехнической системы (РТС) по углу определяется способностью разделить два одинаковых источника излучения, с минимальным угловым расстоянием, находящихся на одинаковом удалении (1), рисунок 1. И определяется она шириной диаграммы направленности (ДН) антенны, поэтому, ДН стараются делать как можно уже, но при этом, возрастает время сканирования участка пространства. [6-7]

$$d \geq 2D * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Где,  $d$  – минимальное расстояние между целями,  $\theta/2$  – половина угловой ширины ДН,  $D$  – дальность до цели.

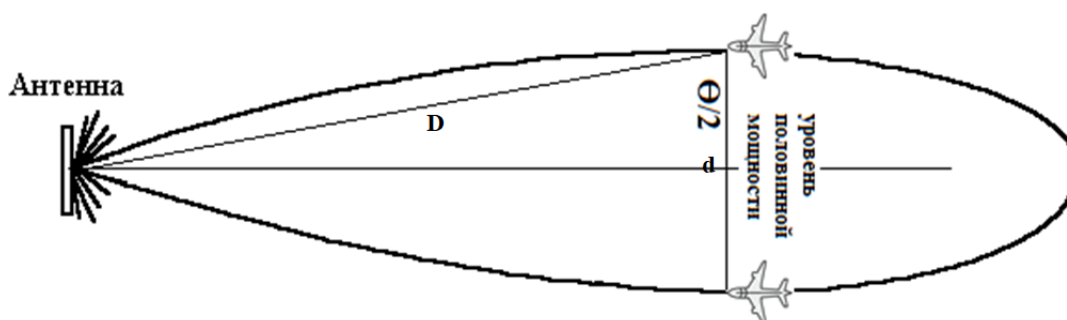


Рисунок 1 – Иллюстрация разрешающей способности антенны

Что бы улучшить определение координат цели, «внутри» ДН, используют определённые методы разрешения объектов и сигналов:

1. *Моноимпульсная радиолокация.* Этот метод основан на сравнении сигналов, одновременно принимаемых двумя антеннами или двумя каналами одной антенны. Для этого антенно-волноводный тракт должен быть специально построен определённым образом, чтобы снимать принятый сигнал с определённым смещением от нормали апертуры. Определение направления на источник определяется как направление, в котором разность амплитуд сигналов или их фаз минимальна – строятся разностные и суммарные диаграммы, что позволяет определить направление на источник сигнала за один импульс, рисунок 2.

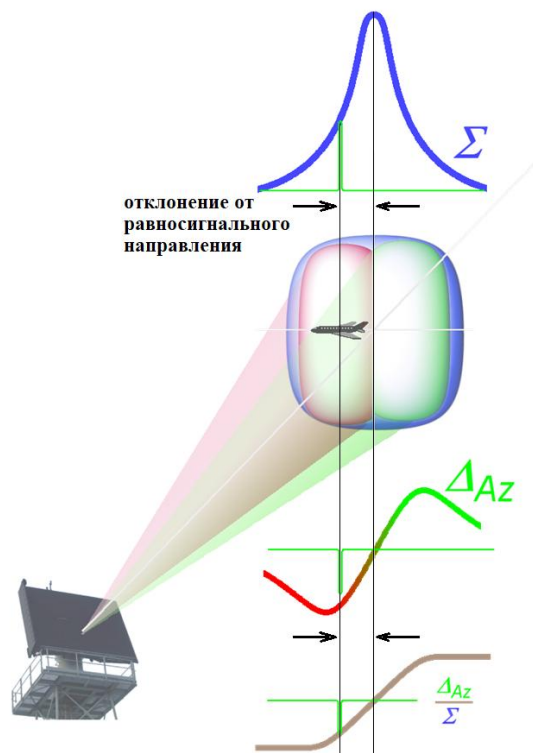


Рисунок 2 – Принцип моноимпульсной радиолокации

Но у этого метода есть весомые недостатки. Не может работать сразу по нескольким целям. Если источник сигнала находятся ближе друг к другу, чем ширина диаграммы направленности антенны, их сигналы сливаются, и определение направления становится невозможной. В условиях сложной радиочастотной обстановки, многолучевые сигналы искажают определение направления прихода. Также метод чувствителен к калибровки антенного тракта - любые отклонения в амплитудно-фазовых характеристиках антенны снижают точность. [5,7]

2. *Амплитудный методы.* Здесь используется зависимость уровня сигнала от угла прихода. Угол направления рассчитывается по амплитуде сигнала, измеренной на диаграмме направленности антенны, где угол определяется положением максимума сигнала, рисунок 3. Основной недостаток метода – низкая точность в условиях шумов и многолучевости. [5,7]

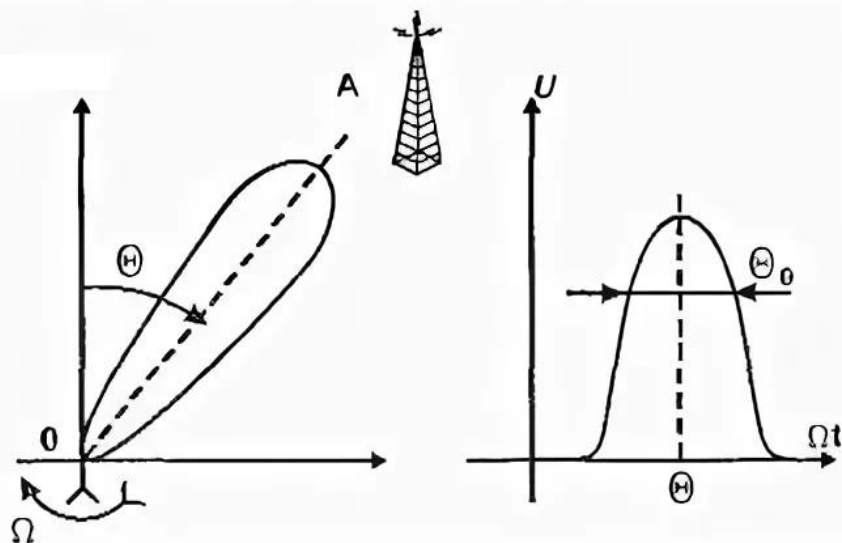


Рисунок 3 – Принцип работы амплитудного метода.

Эти методы демонстрируют ограниченные возможности при работе по нескольким целям и при наличии сильных помех, когда угловое расстояние между источниками меньше предела разрешения. Современные измерительные РТС сталкиваются с фундаментальным ограничением пространственного разрешения, установленным пределом Рэля – это критерий, который определяет минимальное расстояние между двумя объектами, при котором они могут быть различимы как отдельные источники в системе с ограниченной апертурой (2).[8]

$$\frac{d}{D} > 1,22 \frac{\lambda}{A} \quad (2)$$

Где,  $d$  – расстояние между объектами,  $D$  – удалённость от наблюдателя,  $\lambda$  – длина волны,  $A$  – площадь апертуры, 1,22 – эмпирически найденный коэффициент, для круговой апертуры [8]. Два источника считаются различимыми, если центральный максимум одного совпадает с первым минимумом другого. Если расстояние между источниками меньше предела Рэля, их дифракционные картины начинают перекрываться настолько, что становится трудно различить их как отдельные, рисунок 4.

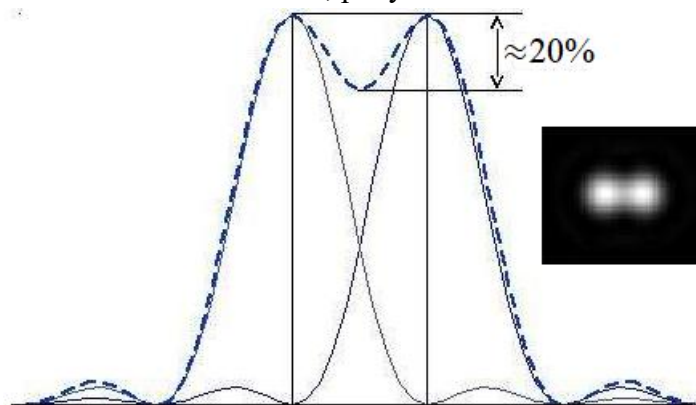


Рисунок 4 – Иллюстрация эффекта от предела Рэля

Оба методов разрешения объектов и сигналов широко распространены и считаются классическими для радиолокации. Но для разделения источников ЭМВ в сложной радиочастотной среде не представляется возможным. Разрешающая способность продолжает

быть ограничена шириной ДН. Для преодоления этого ограничения разрабатываются методы сверхразрешения, которые позволяют разделять сигналы несмотря на то, что их угловое расстояние меньше необходимого.

Например, рассмотрим два известных метода сверхразрешения. MUSIC и NVDR (метод Кейпона). Их смысл заключается в том, чтобы провести дополнительную пост обработку сигнала, принятого отдельными элементами антенной системы. Следовательно, для работы этих алгоритмов требуется использовать фазированные антенные решётки с независимым подключением элементов решётки к приёмному тракту.

### **Выводы.**

В данной работе были рассмотрены способы радения сигналов при помощи определения углового направления их прихода. Описаны области применения обычных методов разрешения сигналов и объектов и ограничения по разрешающей способности, которые с которыми они сталкиваются. Чтобы их преодолеть, требуется применять алгоритмы сверхразрешения.

### **Список литературы**

1. Колесников Р.А. Зюзин В.Д. Воронцов А.И. Лопухов Р.С. Багажков Д.И. проблема электромагнитной совместимости. электромагнитная обстановка и анализ источников помех для оборудования связи // Инновации и инвестиции. - 2020. - №10. - С. 154-158.
2. Задорожная О.Н. Электромагнитная совместимость, электромагнитные помехи, радиоэлектронное оборудование, электромагнитная обстановка, экранирование, центральный узел связи.: автореф. дис. Инженерно-физический факультет наук: 03.03.02.. - Благовещенск, 2019. - 55 с.
3. Байкенов А.С., Ермакбаев М.М. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. - Алматы: Алматинский Университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, 2022. - 67 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с. — (Учебная литература для вузов)
5. Сперанский В.С. Радиолокация, радиолокационные системы и устройства. – М.: Брис-М, – 2011 – 257 с.,
6. Разрешающая способность по угловым координатам // radartutorial URL: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb19.ru.html> (дата обращения: 05.01.2025).
7. Моноимпульсная антенна // radartutorial URL: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an41.ru.html> (дата обращения: 05.01.2025).
8. Критерий Рэлея // Элементы URL: [https://elementy.ru/trefil/33/Kriteriy\\_Releya?ysclid=m6b55i2wgy769205288](https://elementy.ru/trefil/33/Kriteriy_Releya?ysclid=m6b55i2wgy769205288) (дата обращения: 07.01.2025).
9. Capon, Jack. "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis." Proceedings of the IEEE 57, no. 8 (1969): pp.1408-1418.
10. Schmidt R.O. Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. — 1986. — Vol. 34, No. 3. — pp. 276–280.

### **References**

1. Kolesnikov R.A. Zyuzin V.D. Vorontsov A.I. Lopukhov R.S. Baggage D.I. The problem of electromagnetic compatibility. electromagnetic environment and analysis of interference sources for communication equipment // Innovations and investments. 2020. No. 10. pp. 154-158.
  2. Zadorozhnaya O.N. Electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, radioelectronic equipment, electromagnetic environment, shielding, central communications center.: abstract of the dissertation. Faculty of Engineering and Physics of Sciences: 03.03.02.-Blagoveshchensk, 2019. - p.55
  3. Baikenov A.S., Ermekbaev M.M. Electromagnetic compatibility of radioelectronic devices. Almaty: Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications, 2022. 67 p.
  4. Sergienko A. B. Digital signal processing: textbook. stipend. — 3rd ed. — St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2011. — p. 768— (Educational literature for universities)
  5. Speransky V.S. Radar, radar systems and devices. Moscow: Bris-M, 2011— p.257
  6. Angular resolution // radartutorial URL: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb19.ru.html> (date of request: 05.01.2025).
  7. Monopulse antenna // radartutorial URL: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an41.ru.html> (date of reference: 05.01.2025).
  8. Rayleigh's criterion // URL elements: [https://elementy.ru/trefil/33/Kriteriy\\_Releya?ysclid=m6b55i2wgy769205288](https://elementy.ru/trefil/33/Kriteriy_Releya?ysclid=m6b55i2wgy769205288) (accessed: 01/07/2025).
  9. Capon, Jack. "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis." Proceedings of the IEEE 57, no. 8 (1969): 1408-1418.
  10. Schmidt R.O. Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. — 1986. — Vol. 34, No. 3. — pp. 276–280.
-