

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ОКРУЖЕНИЯ

**И.В.Александров, Б.М.Антипин, А.Д.Спирин**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича.

*Рассматривается алгоритм определения местоположения источников радиоизлучений на основе измерений уровней сигнала, ориентированный на использование в условиях сложного окружения, характеризующегося наличием естественных преград и элементов городской застройки. Алгоритм реализован в программно-аппаратном комплексе мониторинга систем УКВ радиосвязи. Проведенные испытания комплекса показали возможность получения практически значимых результатов оценки местоположения источников радиоизлучения в реальных условиях, в том числе в окружении плотной городской застройки.*

*мониторинг спектра, определение местоположения, сложное окружение, программно – аппаратная обработка.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Необходимость более эффективного использования радиочастотного ресурса требует совершенствования методов и технических средств его мониторинга, в том числе и совершенствования средств определения координат местоположения радиопередатчиков - источников радиоизлучений (ИРИ), использующих ресурс. Несколько разработанных методов, основанных только на измерении уровней принимаемых излучений от ИРИ (энергетические методы), получили свое подтверждение в получении положительных решений в национальных патентах [1]-[2].

Целью работы является модернизация алгоритма, основанного на известном энергетическом методе определения координат ИРИ [2], путем его оптимизации для использования в населенных пунктах и мегаполисах, в условиях сложного окружения, характеризующегося наличием многочисленных естественных преград и элементов застройки.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Если за основу алгоритма определения координат ИРИ принять энергетический метод, то возникает проблема реализации данного алгоритма, которая могла бы успешно функционировать в реальных условиях эксплуатации. Теоретически метод основан на измерении уровней радиоизлучений от ИРИ несколькими стационарными постами радиоконтроля (или несколькими измерениями мобильным комплексом

при его движении), расположенными не на одной прямой, и дальнейшей обработкой полученных значений. При этом вычисляется отношение уровней сигналов и составляются уравнения окружностей возможного положения ИРИ, с помощью которых вычисляются координаты его местоположения. В связи с этим актуальной задачей является модификация теоретического энергетического алгоритма определения местоположения ИРИ применительно к использованию в реальных условиях эксплуатации и создание программной реализации модифицированного алгоритма.

Общая постановка задачи может быть разбита на следующие этапы:

- Переход от аналитического метода решения системы уравнений к численным методам отыскания экстремумов функций.
- Разработка оптимального способа выбора мест измерения уровней сигналов от ИРИ, дающих максимальную информацию о его местоположении
- Применение алгоритма обработки результатов измерения уровней в различных точках, устойчивого к флуктуациям сигналов от ИРИ.
- Разработка программной реализации алгоритма определения местоположения ИРИ, реализующей модифицированный энергетический метод.
- Проверка разработанного алгоритма в реальных условиях.

### ПЕРЕХОД ОТ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА К ЧИСЛЕННОМУ

Из основного уравнения радиосвязи известно, что потери мощности при распространения радиоволн в свободном пространстве пропорциональны квадрату расстояний от источника радиоизлучений. Рассмотрим ситуацию, в которой имеется ИРИ в точке с координатами  $(x, y)$  и три измерительных комплекса, расположенных от него на расстояниях  $r_i, i=1..3$  и имеющие координаты  $(x_i, y_i)$ , как это показано на рис.1

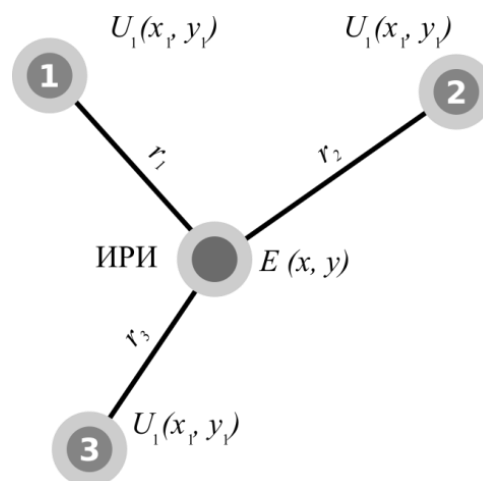


Рис. 1. Схема расположения ИРИ и комплексов радиоконтроля

Пусть уровни напряжений, принимаемых от ИРИ комплексами, равняются  $U_i$ ,  $i=1..3$ , которые, очевидно, связаны с уровнем излучения ИРИ следующими соотношениями

$$U_i = K \cdot \frac{E}{r_i^2}, \quad i=1..3 \quad (1)$$
$$r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2,$$

где  $K$ - одинаковый коэффициент пропорциональности.

Тогда, с учётом (1) можно составить систему из трех уравнений, связывающих уровни принимаемых комплексами излучений и расстояниями от комплексов до ИРИ, а именно:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{r_2}{r_1}, \frac{U_1}{U_3} = \frac{r_3}{r_1}, \frac{U_3}{U_2} = \frac{r_2}{r_3} \quad (2)$$

В [2] приводится решение данной системы, которое позволяет определить координаты местоположения источника радиоизлучений  $(x, y)$ , зная уровни принимаемых от него излучений. Однако в условиях сложного распространения радиоволн, характеризующегося многочисленными переотражениями от естественных преград и элементов застройки, аналитическое решение не всегда удается получить. В связи с этим предлагается перейти к алгоритму нахождения координат местоположения ИРИ, который минимизирует функцию

$$F = \sum_1^3 F_i^2$$
$$F_1 = \left( \frac{U_1}{U_2} - \frac{r_2}{r_1} \right)$$
$$F_2 = \left( \frac{U_1}{U_3} - \frac{r_3}{r_1} \right)$$
$$F_3 = \left( \frac{U_3}{U_2} - \frac{r_2}{r_3} \right) \quad (3)$$

Используя численные методы, можно найти расстояния от комплексов до ИРИ, минимизирующие функцию  $F$ , и, тем самым, будут найдены координаты местоположения источника.

## СТРУКТУРА МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА

Переход только к численному решению системы уравнений (2) как задачи поиска экстремума функции (3) не позволяет в общем случае сделать алгоритм определения местоположения ИРИ эффективным и в то же время устойчивым к флуктуациям принимаемых сигналов. Поэтому дополнительно в него добавлены блоки пред- и постобработки измерений, реализующие:

1. Выбор из всего множества измерений  $\{U_n\}$  троек  $(U_1, U_2, U_3)$ , которые обеспечивают максимальную базу.

2. Расчет местоположения внутри каждой из выбранных троек путём поиска экстремума функции (3).

3. Сопоставление каждому рассчитанному местоположению ИРИ весового коэффициента, в зависимости от степени флуктуации измеренных значений напряжений.

4. Проведение цензурирования и усреднения.

Для отбора троек измерений используется алгоритм с оценкой расстояния между точками измерений.

Для оценки местоположения ИРИ по каждой тройке измерений, полученных после отбора, проводится поиск минимума функционала (3) численными методами.

Для обработки результатов оценки местоположения от всех троек используется алгоритм поиска центра масс с цензурированием. Определяются координаты центра масс

$$\hat{x}_c = \frac{\sum_1^K m_i \cdot x_i}{\sum_1^K m_i}; \hat{y}_c = \frac{\sum_1^K m_i \cdot y_i}{\sum_1^K m_i}$$

где  $(x_i, y_i)$  - рассчитанные координаты местоположения ИРИ для  $i$  – ой тройки измерений,  $m_i$  - вес результата расчета, отражающий степень разброса значений измеренных напряжений внутри тройки.

Далее производится расчет набора расстояний от каждого рассчитанного местоположения ИРИ до центра и ранжирование данного набора по возрастанию расстояния.

Формируется новый набор местоположений ИРИ размера  $P$ , путем отсечения заданного процента по расстоянию до центра масс с конца вариационного ряда.

Окончательный результат формируется как среднее арифметическое нового набора

$$x_c = \frac{\sum_1^P x_i}{P}; y_c = \frac{\sum_1^P y_i}{P}$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Реализация алгоритма была проверена экспериментально с помощью переносимого приемного устройства и УКВ радиопередатчика. Проводилась серия экспериментов, в каждом из которых фиксировалось местоположение передатчика, после чего производился пеший обход предполагаемой зоны его нахождения. В процессе обхода фиксировался уровень сигнала и координаты точек измерений.

Проверка проводилась в плотной городской застройке, радиус поиска был принят 1,5 километра, с учетом мощности передатчика. В ходе эксперимента были получены следующие результаты:

- Среднеквадратическая погрешность (СКП) - 313 метров.
- Относительная СКП - 10,4 %.

### **Выводы**

Результаты испытаний разработанного модифицированного энергетического алгоритма показали его работоспособность и практическую эффективность в реальных условиях эксплуатации. Алгоритм и его программно-аппаратная реализация могут быть использованы для различных приложений организациями, занимающимися вопросами мониторинга радиочастотного ресурса, в том числе и анализом электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств [3]-[4].

Дальнейшая доработка алгоритма целесообразна путем добавления отдельных функций, обеспечивающих возможность его использования при определении местоположения ИРИ перспективных систем радиосвязи.

### **Список используемых источников**

1. Логинов Ю.И. Мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения. Пат. 2558640 Российская Федерация; 2014.
2. Логинов Ю.И. Разностно-энергетический способ определения координат местоположения источников радиоизлучения. Пат. 2505835 Российская Федерация; 2014.
3. Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Алгоритм оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2013. Т. 1. С. 102-110
4. Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Оценка электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств по результатам радиоконтроля. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2012. № 6. С. 97-104.