

Алгоритм определения местоположения источника радиоизлучения повышенной точности

Д.И. Николаев¹, В.В. Давыдов^{1,2} В.Ю. Рудь^{2,3}

¹Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Институтский пр. 5, Большие Вяземы, Россия, 143050

³ФТИ А.Ф. Иоффе, Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия, 194021

Аннотация

В работе рассматривается возможность повышения точности классического разностно-дальномерного метода определения местоположения (ОМП) источника радиоизлучения (ИРИ). Повышение точности осуществляется за счет добавления в существующий алгоритм ОМП дополнительных разностей времен прихода сигнала от ИРИ до приемных станций. Рассматриваются две основные возможности получения новых задержек: увеличение числа приемных станций и переход к использованию задержек между всеми возможными парами приемных станций. Кроме того, в работе показано влияние взаимного расположения приемных станций на точность позиционирования. Для разработанного алгоритма ОМП была получена формула, позволяющая заранее оценить влияние взаимного расположения приемных станций на точность ОМП. Это позволяет выбирать выгодное расположение приемных станций для максимизации точности ОМП. Результаты работы позволят существенно повысить качество дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова

Определение местоположения, приемные станции, источник радиоизлучения, точность

1. Введение

В работе рассматривается пассивная система, предназначенная для ОМП ИРИ, в которой для ОМП ИРИ используется разностно-дальномерный метод (РДМ). В такой классической системе, для ОМП на плоскости, используются 3 ПС и один пункт обработки измерений [1]. Классический РДМ основан на оценке разностей времен прихода сигнала от ИРИ до приемных станций. При этом одна станция выбирается опорной и относительно её вычисляются временные задержки. Эти разности используются для построения линий положения, точка пересечения которых является оценкой местоположения ИРИ.

Современные системы позиционирования позволяют установить строгую временную синхронизацию между всеми ПС. Это открывает широкие возможности для модернизации классического РДМ, которые ранее не рассматривались [2-3].

Целью работы является повышение точности классического РДМ за счет разработки алгоритма, использующего большее число разностей времен прихода.

В работе рассмотрены два способа получения дополнительных разностей времен прихода: за счет увеличения числа ПС, за счет отказа от использования опорной станции и рассмотрению разностей времен прихода между всеми парами станций.

2. Метод, учитывающий все временные задержки

В работе приведено математическое описание метода, работающего со всеми разностями времен прихода.

В то время как классический разностно-дальномерный метод использует разности времен прихода сигнала относительно одной опорной станции, в работе предлагается учесть разности между всеми парами станций. Дополнительные разности времен прихода получаются в результате взаимно-корреляционного анализа и дополняют существующий вектор разностей времен прихода. Умножив вектор, содержащий разности времен прихода сигнала между всеми парами станций, на скорость света, получается вектор разности расстояний R .

Зная координаты приемных станций, возможно задать вектор-функцию $R_{sum}(x, y)$:

$$R_{sum}(x, y) = [R_{12}(x, y), R_{13}(x, y), \dots, R_{(k-1)k}(x, y)]^T, \quad (1)$$

где $R_{ij}(x, y) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}$ – разность расстояний от точки с координатами x, y до приемных станций с номерами i и j , k – число приемных станций.

Тогда, в соответствии с критерием минимума суммы квадратов невязок между векторами R_{sum} и R , для оценки местоположения ИРИ, очевидно, требуется минимизировать следующий функционал:

$$F(x, y) = (R_{sum}(x, y) - R)^T (R_{sum}(x, y) - R). \quad (2)$$

При этом оценкой ОМП ИРИ являются координаты (\hat{x}, \hat{y}) удовлетворяющие уравнению

$$F(\hat{x}, \hat{y}) = \min_{(x, y)} (F(x, y)) \quad (3)$$

В работе показано существенное преимущество предлагаемого алгоритма над классическим РДМ. Например, для 6-ти приемных станций удается увеличить точность ОМП на 47% по сравнению с классическим РДМ. Кроме того, для указанного алгоритма получена математическая формула, позволяющая оценить взаимное влияние расположения приемных станций на точность ОМП. Это позволяет заранее выбрать такое расположение станций, которое максимизирует точность ОМП.

3. Заключение

В ходе работы была показана эффективность предлагаемого алгоритма по сравнению с классическим РДМ. Полностью подтвердилось предположение о том, что использование в алгоритме ОМП дополнительных разностей времен прихода сигнала способствует повышению точности ОМП.

Получена формула для оценки влияния взаимного расположения ПС на точность ОМП.

Комбинирование предлагаемого алгоритма с выгодным расположением приемных станций позволяет существенно повысить точность классического РДМ лишь за счет алгоритмических решений и без дорогостоящей замены комплектующих приемных станций

4. Литература

- [1] Гришин, Ю.П. Радиотехнические системы: учеб. для вузов / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
- [2] Коновалов, А.А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. / А.А. Коновалов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. – Ч. 1. – 164 с.
- [3] Аль-Одхари, А.Х. Исследование влияния геометрического распределения пунктов приема и источника радиоизлучения на точность позиционирования / А.Х. Аль-Одхари, Г.А. Фокин, И.В. Федоренко, Д.С. Рябенко, С.В. Лавров // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2017. – № 4.