

EXPANDING THE BEARING SECTOR IN A SINGLE-POSITION PASSIVE RANGEFINDER

Mescheryakov A. A.
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
Tomsk, Russia
e-mail: msch@rts.tusur.ru

Abstract

The paper deals with the issues of direction finding of reflected signals from terrain elements in a passive single-position system for determining the coordinates of the radio source. The measured parameter of reflections are phase differences on the separated antennas of the phase direction finder.

It is shown that the expansion of the sector of unambiguous direction finding of signals reflected from terrain elements is possible with known information about the location of the reflecting object in the “coarse” sector of unambiguity, determined by the position of the main beam of the radar antenna.

Keywords: Radio wave reflections, direction finder, phase difference, accuracy of measurement, radar

РАСШИРЕНИЕ СЕКТОРА ПЕЛЕНГОВАНИЯ В ОДНОПОЗИЦИОННОМ ПАССИВНОМ ДАЛЬНОМЕРЕ

Мещеряков А. А.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40
e-mail: msch@rts.tusur.ru

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы пеленгования отраженных сигналов от элементов рельефа местности в пассивной однопозиционной системе определения координат источника радиоизлучения. Измеряемым параметром отражений являются разности фаз на разнесенных антеннах фазового пеленгатора.

Показано, что расширение сектора однозначного пеленгования сигналов, отраженных от элементов рельефа местности возможно при известной информации о местоположении отражающего объекта в «грубом» секторе однозначности, определяемого по положению главного луча антенны радиолокационной станции.

Ключевые слова: Отражения радиоволн, пеленгатор, разность фаз, точность измерения, РЛС

Введение

Однопозиционная пассивная система определения местоположения импульсных источников радиоизлучения (ИРИ), основана на использовании отражений этого излучения от элементов рельефа местности и местных предметов. Однопозиционный метод определения координат ИРИ был разработан в НИИ РТС ТУСУР [1,2], применительно к условиям радиомониторинга источников излучения. Классические методы определения местоположения ИРИ основаны на использовании пространственно разнесенного приема [3]. В предложенном методе пространственное разнесение создается за счет использования отражений радиоволн от объектов на трассе распространения. Предложенный алгоритм обработки сигналов достаточно подробно изложен в

монографии [2]. Важно только, что для определения координат ИРИ измеряются пеленги на него и каждый отражатель, от которого поступил достаточно сильный сигнал, а также задержки отраженных сигналов относительно прямого. Таким образом однопозиционная система определения местоположения ИРИ представляет собой обзорный моноимпульсный пеленгатор с достаточно широким сектором одновременного обзора, дополненный устройством измерения задержек отраженных импульсов относительно прямого и устройством обработки результатов измерений.

В [4] рассмотрены погрешности однократного измерения дальности в зависимости от точности измерения временной задержки отраженного сигнала относительно прямого и пеленга на отражатель относительно направления на радиолокационную станцию (РЛС). Показано, что СКО измерения дальности σ_R может быть представлено формулой

$$\sigma_R = ac\sigma_\tau, \quad (1)$$

где c – скорость распространения радиоволн, σ_τ среднеквадратичная погрешность измерения временной задержки, a – коэффициент, зависящий от расположения отражателя относительно приемника и передатчика.

В статье приведены формулы для « a » и утверждается, что этот коэффициент лежит в пределах от единицы до двадцати. В экспериментальном макете аппаратурная погрешность измерения временной задержки составляла двум временным тактам АЦП – 20 нс. Тогда в худшем случае при $a = 20$ погрешность однократного измерения дальности будет составлять $\sigma_R = 120$ м.

Для того чтобы погрешность измерения дальности за счет неточности пеленгования была такой же как за счет погрешности измерения временной задержки, она в среднеквадратическом не должна превышать 0,1 градуса. Это в частности следует из графиков, приведенных в [4]. Для обеспечения такой точности следует использовать большую базу пеленгатора.

В алгоритм однозначного измерения дальности входит разность пеленгов на ИРИ и отражающие объекты.

В проведенных экспериментах по определению точности местоопределения ИРИ на наземных трассах различной протяженности на рабочей частоте измерительного комплекса интервал однозначного пеленгования на малой и большой базах фазового пеленгатора составлял $\pm 5,15$ и $\pm 1,03$ градуса относительно нормали к антенной системе соответственно. Измерения на большой и малой базах проводились одновременно (в один и тот же такт АЦП) для устранения влияния временных флуктуаций разностей фаз на точность измерения.

Обозначив $\alpha_{И}$ – пеленг на ИРИ, $\alpha_{О}$ – пеленг на отражатель, а $\nu_{И} = \sin \alpha_{И}$, $\nu_{О} = \sin \alpha_{О}$ разности фаз на грубой (малой) базе пеленгатора будут равны:

$$\varphi_{1И} = 2\pi \frac{l_1}{\lambda} \nu_{И}, \quad \varphi_{1О} = 2\pi \frac{l_1}{\lambda} \nu_{О}. \quad (2)$$

На точной (большой) базе пеленгатора разности фаз запишутся как:

$$\varphi_{2И} + 2\pi k_{И} = 2\pi \frac{l_2}{\lambda} \nu_{И}, \quad \varphi_{2О} + 2\pi k_{О} = 2\pi \frac{l_2}{\lambda} \nu_{О}, \quad (3)$$

где $k_{И}$, $k_{О}$ – полное число периодов разности фаз, утраченных при измерениях.

Целое число периодов разности фаз при измерении пеленгов на ИРИ и отражатель можно найти по формулам, полученным для «метода уточнений» [5],

$$k_{И}^* = \left[\varphi_{1И} \frac{l_2}{l_1} - \varphi_{2И} \right], \quad (4)$$

$$k_{О}^* = \left[\varphi_{1О} \frac{l_2}{l_1} - \varphi_{2О} \right], \quad (5)$$

где разность фаз выражена в $rad/2\pi$, а квадратные скобки означают округление до ближайшего целого.

Из приведенных соотношений получаем

$$\alpha_{и} - \alpha_{о} = \arcsin \frac{\lambda}{l_2} \left\{ \varphi_{2и} + \left[\varphi_{1и} \frac{l_2}{l_1} - \varphi_{2и} \right] \right\} - \arcsin \frac{\lambda}{l_2} \left\{ \varphi_{2о} + \left[\varphi_{1о} \frac{l_2}{l_1} - \varphi_{2о} \right] \right\}. \quad (6)$$

Так как в экспериментальной установке разрешение неоднозначности производилось в малом угловом секторе ± 5.15 градуса, поэтому \arcsin можно заменить его аргументом. Получим

$$\alpha_{и} - \alpha_{о} = \frac{\lambda}{l_2} (\varphi_{2и} - \varphi_{2о} + k_{и}^* - k_{о}^*), \quad (7)$$

где $k_{и}^*$, $k_{о}^*$ - целые числа, которые в условиях экспериментального комплекса могут принимать значения -2, -1, 0, 1, 2.

Алгоритм раскрытия неоднозначности (4), (5) имеет следующий физический смысл: выбирается такое целое число периодов разности фаз на большой базе $k_{и}^*$, $k_{о}^*$ при котором пеленги на большой и малой базах различаются не более чем на половину интервала однозначности по большой базе, равного λ/l_2 . Такое число при использовании алгоритма (4), (5) всегда найдется, хотя оно может соответствовать и аномально большим ошибкам пеленгования [6,7].

Для исключения самых больших ошибок установим, что разность пеленгов на большой и малой базах не должна превышать некоторого порога Δ , меньшего $0,5(\lambda/l_2)$. Для реализации этой возможности необходимо проверить $k_{и}^*$ и $k_{о}^*$, полученные по формулам (4), (5) следующим образом:

$$\left| \varphi_{1и} \frac{l_2}{l_1} - \varphi_{2и} + k_{и}^* \right| < \Delta, \quad (8)$$

$$\left| \varphi_{1о} \frac{l_2}{l_1} - \varphi_{2о} + k_{о}^* \right| < \Delta, \quad (9)$$

где $\Delta < 0,5$.

Если условия (8), (9) не выполняются, то результаты измерений должны быть исключены из дальнейшей обработки.

Данный алгоритм проверен при работе по источнику излучения. Рациональным оказался порог $\Delta = 0,3$. При работе по отражателям порог должен быть подобран экспериментально.

Расширение сектора пеленгования

Из результатов проведенных экспериментов [8] следует, что действительные отражатели находятся в значительно более широком секторе однозначного пеленгования экспериментальной аппаратуры, который составляет $\pm 5,15$ градуса относительно нормали к антенной системе. Для решения проблемы пеленгования отраженных сигналов за сектором однозначного пеленгования рассмотрим вариант ее решения.

Если к сектору однозначного пеленгования по малой базе добавить по такому же сектору справа и слева, то, как следует из результатов эксперимента, практически все действительные отражатели попадут в образовавшийся сектор. Сказанное иллюстрируется рисунком 1.

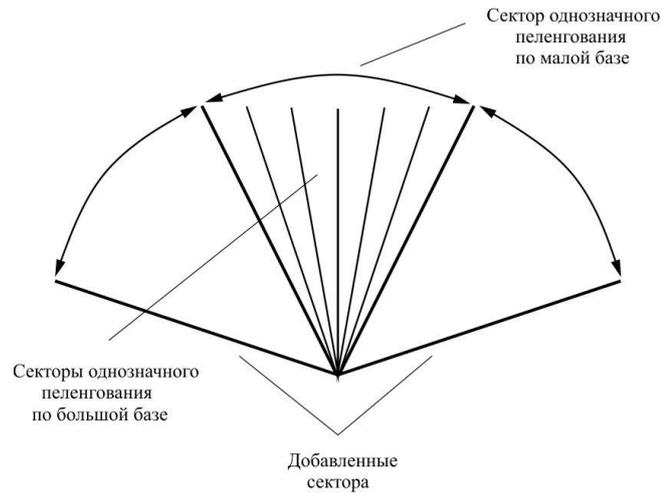


Рис. 1 - Расширение сектора однозначного пеленгования

Необходимо определить в какой из пятиградусных секторов попал отражатель. Если это центральный сектор, приведенные выше алгоритмы полностью соответствуют решению. Если это левый или правый добавленные секторы, величину k_0^* , определенную по формуле (4), следует изменить на $+5$ или -5 в зависимости от стороны, где находится отражатель. Цифра 5 соответствует полному сектору однозначного пеленгования по малой базе.

Используя положение главного луча антенны РЛС необходимо определить в какой из «грубых» секторов однозначности попадает отражающий объект.

Обратимся к рисунку 2.

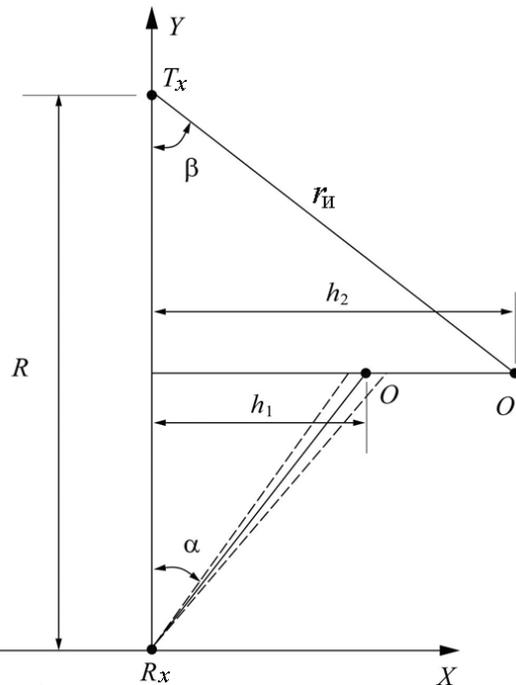


Рис. 2 - Отражающий объект со стороны приемника R_x и передатчика T_x

На рисунке 2 приемный пункт R_x расположен в начале координат. Получив в результате измерений α и величину $\delta = c\tau$ (где α определяется в секторе однозначности малой базы, а τ - разность времени прихода в точку приема прямого и отраженного сигналов), рассчитываем координаты отражателя x, y [1]

$$x = \frac{\delta(2R + \delta) \left(R + \frac{R + \delta}{\cos \alpha} \right)}{2(R^2 \sin^2 \alpha + 2R\delta + \delta^2)} \cos \alpha \sin \alpha, \quad (10)$$

$$y = \frac{\delta(2R + \delta) \left(R + \frac{R + \delta}{\cos \alpha} \right)}{2(R^2 \sin^2 \alpha + 2R\delta + \delta^2)} \cos^2 \alpha. \quad (11)$$

Очевидно, координата x отражающего объекта – его удаление от линии «передатчик - приемник» при условии, что угол α лежит в пределах сектора однозначности малой базы.

Расстояние $r_{и}$ от ИРИ до отражателя по координате y определяется как

$$r_{и} = R - y \sin \alpha. \quad (12)$$

По положению оси главного луча диаграммы направленности антенны РЛС β и расстоянию $r_{и}$ определяем дистанцию от кажущегося положения отражателя до линии «передатчик - приемник»

$$h_2 = r_{и} \operatorname{tg} \beta. \quad (13)$$

Угол β обозначен на рисунке 2.

Если расстояния от отражателя до линии «передатчик-приемник», измеренные со стороны приемника h_1 (10) и со стороны передатчика h_2 (13), совпадают с точностью, определяемой шириной сектора однозначности большой базы, считается, что источник излучения лежит в секторе однозначности малой базы (центральной). В противном случае считается, что он лежит в одном из добавленных секторов и для расчетов в целое число периодов разности фаз k_0^* (5) добавляется цифра 5 с тем или иным знаком.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект FEWM-2023-0014.

Заключение

В данной работе предложен один из способов расширения сектора однозначного пеленгования сигналов, отраженных от элементов рельефа местности по измерениям разности фаз на базах фазового пеленгатора и информации о местоположении отражающего объекта в «грубом» секторе однозначности, определяемого по положению главного луча антенны РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельцер А.А., Денисов В.П., Мещеряков А.А. Патент России RU 2 457 505 С2. Устройство для определения местоположения работающей радиолокационной станции. Оpubл. 27.07.12, бюллетень №21.
2. В.П. Денисов, Г.С. Шарыгин, М.В. Крутиков, В.Ю. Лебедев, А.А. Мещеряков, Д.В. Дубинин и др. Пространственно-временные искажения сантиметровых радиосигналов на наземных трассах распространения и их влияние на точность пассивных систем местоопределения. Монография. Под общей редакцией В.П. Денисова. Изд. ТУСУР, 2014, 502 с.
3. Радиотехнические системы: учебник для вузов/ [Ю.М. Казаринов и др.]; под ред. Ю.М. Казаринова. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 592
4. Полянских П.А., Денисов В.П., Мещеряков А.А. Точность измерения дальности до источника радиоизлучения пассивной однопозиционной системой // Пятая международная научная конференция ведущих научных школ в области радиолокации, радионавигации и радиоэлектронных систем передачи информации «Шарыгинские

чтения» 11–13 октября 2023 г., г. Томск : материалы конференции. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – с. 109-115.

5. Денисов В.П., Дубинин Д.В. Фазовые радиопеленгаторы. Изд. ТУСУР, Томск, 2002 г., 251 с.

6. Денисов В.П., Дубинин Д.В., Крутиков М.В., Мещеряков А.А. Алгоритм отбраковки anomalно больших ошибок пеленгования фазовым пеленгатором. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, №2 (26) часть 1, 2012. с.36-42.

7. Денисов В.П., Дубинин Д.В., Мещеряков А.А. Исключение anomalно больших ошибок пеленгования в процессе устранения неоднозначности измерений в фазовых пеленгаторах, реализующих метод максимального правдоподобия // Радиотехника и электроника. - 2016. -Т. 61, №10. С. 957-963.

8. Денисов В. П., Крутиков М. В., Мещеряков А. А., Полянских П. А. Модели сигналов импульсной РЛС, принимаемых однопозиционной станцией радиотехнической разведки на наземных трассах. // Ural Radio Engineering Journal. 2022;6(4):390–413.