

УДК 621.396.96

**МИНИМИЗАЦИЯ СЕКТОРА ОБЗОРА ПО РАЗНОСТИ ВРЕМЕН ЗАПАЗДЫВАНИЯ
В КОРРЕЛЯЦИОННО-БАЗОВЫХ СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С ПСЕВДООБЗОРОМ ПО АЗИМУТУ****А.А. ДМИТРЕНКО, канд. техн. наук, доц. С.Ю. СЕДЫШЕВ
(Военная академия Республики Беларусь, Минск)**

Исследуется вопрос уменьшения времени, затрачиваемого на обзор интервала возможных значений разности времен запаздывания при корреляционно-базовой обработке сигналов. Показано, что уменьшение интервала возможных значений разности времен запаздывания сигналов влечет за собой уменьшение вычислительных затрат при определении разности времени запаздывания за счет использования информации о псевдоугловом положении узконаправленной антенной системы одного из приемных пунктов многопозиционных комплексов пассивной локации. Сделан вывод о возможности использования результатов данной работы в приемных устройствах многопозиционных радиолокационных комплексов с корреляционно-базовой обработкой сигнала.

Введение. Пассивные многопозиционные радиолокационные комплексы позволяют решать весь перечень задач обеспечения безопасности воздушного пространства и управления воздушным движением. В то же время многопозиционные радиолокационные комплексы обладают рядом преимуществ по сравнению с активными однопозиционными радиолокационными системами [1–5]. По этой причине исследования в данном направлении являются актуальными. Существующие системы подобного рода используют различные способы определения пространственных координат: угломерный, разностно-дальномерный и различного рода их комбинации [6–8].

При *угломерном (триангуляционном)* методе пространственные координаты источника радиоизлучения определяются по измеренным в двух разнесенных приемных пунктах трем угловым координатам и известному расстоянию между приемными пунктами. Точность определения пространственных координат определяется точностью привязки приемных позиций и точностью измерения угловых координат источника радиоизлучения. Главное достоинство триангуляционного способа – возможность обнаруживать маломощные сигналы, так как для измерения угловых координат источников радиоизлучения используются высокопотенциальные радиотехнические пеленгаторы с узконаправленными диаграммами направленности антенн, обеспечивающие совместно с адаптивным приемным устройством высокую чувствительность. Однако достижимая точность определения местоположения данным способом в ряде случаев оказывается недостаточной.

При использовании *разностно-дальномерного* способа определения пространственных координат источника радиоизлучения определяют разности дальностей от источника радиоизлучения до нескольких пар приемных позиций. Разность времен запаздывания от источника радиоизлучения до любой пары приемных позиций определяется взаимно корреляционным методом. При этом не требуется знать форму и момент излучения принимаемых сигналов, что позволяет применять разностно-дальномерный способ для определения пространственных координат излучающих объектов с различными по форме и структуре сигналами. Измеренная разность расстояний от цели до приемных пунктов определяет координатную поверхность – гиперboloид вращения как геометрическое место точек, разность расстояний от которых до фокусов (в которых расположены приемные пункты) является постоянной величиной. При наличии трех пар приемных позиций измеряются три разности дальностей объекта до четырех опорных точек. Место расположения источника радиоизлучения определяется как точка пересечения трех соответствующих координатных поверхностей – гиперboloидов вращения. Потенциально комплексы пассивной локации, использующие разностно-дальномерный способ определения пространственных координат, позволяют с высокой точностью определять местоположение излучающих объектов. Однако дальность обнаружения сигналов с малой энергией у данных комплексов оказывается недостаточной для выполнения ряда задач. Это обусловливается низкой чувствительностью применяемых при использовании этого метода широкополосных приёмных устройств, составляющей минус 105–110 дБ/Вт. Кроме того, разностно-дальномерный способ определения местоположения требует применения ненаправленных антенн, которые имеют коэффициент усиления не более 5,0–7,0 дБ.

Возможные наилучшие характеристики достижимы при *комплексировании угломерного и разностно-дальномерного способов* [9]. Это позволяет использовать преимущества обоих способов при одновременной компенсации их недостатков, что позволяет повысить эффективность функционирования всей системы в целом.

Применение в составе корреляционно-базового разностно-дальномерного многопозиционного комплекса узконаправленной антенной системы позволяет значительно снизить временные и вычислительные затраты на обработку сигналов и получение необходимой радиолокационной информации [10]. Однако вве-

дение в состав многопозиционных радиолокационных комплексов направленной антенной системы с последовательным обзором по азимуту влечет значительное усложнение всей системы в целом. Также необходимо отметить, что стоимость данного элемента (направленной антенной системы с возможностью пространственного сканирования) в современных комплексах достигает 70 % от стоимости всего изделия. Реализация электронного псевдообзора по азимуту в корреляционно-базовом комплексе пассивной локации в совокупности с применением недорогостоящих ненаправленных антенных систем на всех приемных пунктах системы позволит сохранить относительно низкую себестоимость многопозиционных радиолокационных комплексов и одновременно предоставит возможность использования псевдообзора по азимуту для сокращения интервала возможных значений разности времен запаздывания относительно разнесенных в пространстве приемных пунктов.

Целью настоящего исследования явилось снижение временных и вычислительных затрат при определении разности времен запаздывания относительно разнесенных в пространстве приемных позиций корреляционно-базовой системы обнаружения и определения пространственного местоположения источников радиоизлучения за счет использования априорной информации о псевдоугловом положении узконаправленной антенной системы на одном из приемных пунктов при реально используемых ненаправленных антенных систем на всех приемных пунктах.

В разнесенных системах вычисление взаимно корреляционной функции производится для обнаружения сигналов и определения их относительного запаздывания, т.е. для нахождения положения максимума рассматриваемой функции на оси относительных временных задержек. В таком устройстве корреляционная обработка производится во временной области и по этой причине обладает низкой вычислительной эффективностью, так как для обработки выборки длиной n требует порядка ($O(n^3)$) операций умножения [11]. Одним из путей повышения вычислительной эффективности является вычисление взаимно корреляционной функции в частотной области с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье [12]. Однако несмотря на существенное снижение вычислительных затрат по сравнению с обработкой во временной области, количество требуемых арифметических операций для вычисления значения разности хода при корреляционной обработке в частотной области остается внушительным. Это связано с необходимостью обзора всего интервала возможных значений разности хода. Уменьшения интервала возможных значений разности времен запаздывания сигналов и, соответственно, уменьшения вычислительных затрат при определении разности времен запаздывания можно добиться, реализовав последовательный псевдообзор по азимуту путем применения имитатора вращения антенной системы (генератора азимутального кода).

Обоснование возможности уменьшения интервала обзора по разности времен запаздывания.

На рисунке 1 показана зависимость разности времен запаздывания от азимута и дальности местонахождения источников радиоизлучения для одной пары приемных позиций.

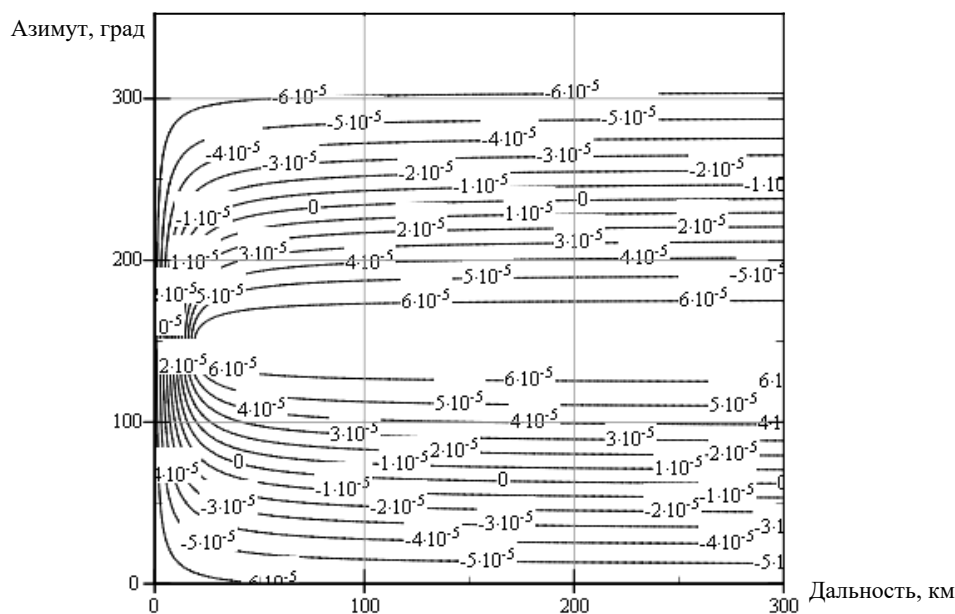


Рис. 1. Зависимость разности времен запаздывания от азимута и дальности местонахождения источников радиоизлучения для одной пары приемных позиций

При нахождении источников радиоизлучения на дальностях, превышающих значение базы системы, зависимость разности времени запаздывания от азимута является практически линейной, что позволяет использовать информацию об угловом положении антенной системы для уменьшения интервала обзора по разности хода.

Последовательное задание значения азимута (при известных значениях базы системы) позволяет оценить возможный интервал значений разности времен запаздывания:

$$\Delta\tau_k(r, \beta) = \frac{1}{c} \cdot \left[r - \sqrt{r^2 - 2r \cdot d_k \cos(\beta - \beta_{d_k}) + d_k^2} \right],$$

где $\Delta\tau_k(r, \beta)$ – разность времен запаздывания комплексных огибающих сигналов источников радиоизлучения между центральным и k -м приемным пунктом; r – текущая дальность; β – генерируемое текущее значение азимута; c – скорость света; d_k – расстояние от центрального до k -го приемного пункта; β_{d_k} – азимут k -го приемного пункта.

Получив данную оценку, можно значительно уменьшить интервал обзора по разности времен запаздывания на выходе устройства вычисления аргументов максимума взаимно корреляционной функции. Также использование данной зависимости позволяет получать оценки реальных угловых координат источников радиоизлучения без применения специальных средств пеленгации. Для реализации полученного алгоритма можно использовать устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 2.

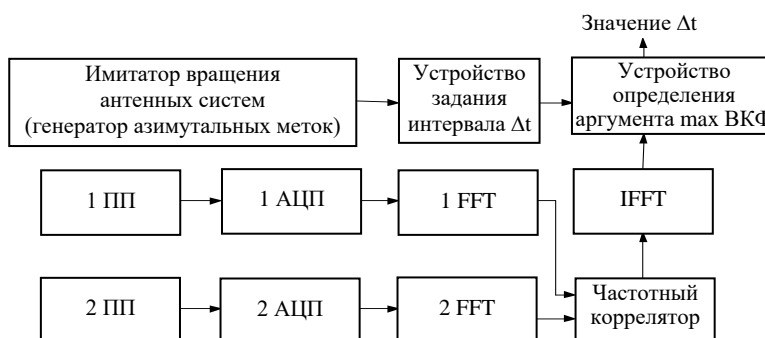


Рис. 2. Структурная схема устройства быстрого обзора по разности хода

Предлагаемое устройство работает следующим образом. На одной из двух разнесенных приемных позиций принимают сигнал первым средством приема сигналов (1 ПП), а на другой из двух разнесенных позиций принимают сигнал вторым средством приема сигналов (2 ПП). С выхода первого средства приема сигналов принятый сигнал подают на вход первого аналого-цифрового преобразователя (1 АЦП) и преобразуют сигнал, полученный от одной приемной позиции, в первый цифровой поток данных, который в цифровой форме представляет сигнал как ряд значений функции времени. С выхода второго средства приема сигналов принятый сигнал подают на вход второго аналого-цифрового преобразователя (2 АЦП) и преобразуют сигнал, полученный от другой приемной позиции, во второй цифровой поток данных, который в цифровой форме представляет сигнал как ряд значений функции времени. В первом процессоре быстрого преобразования Фурье (1 FFT) преобразуют первый цифровой поток данных, полученный с выхода первого аналого-цифрового преобразователя, в значения первого спектра, который представляет сигнал как ряд значений функции частоты. Во втором процессоре быстрого преобразования Фурье (2 FFT) преобразуют второй цифровой поток данных, полученный с выхода второго аналого-цифрового преобразователя, в значения второго спектра, который представляет сигнал как ряд значений функции частоты. В частотном корреляторе взаимно перемножают поступившие по двум входам от процессоров быстрого преобразования Фурье значения спектра первого сигнала с комплексно сопряженными значениями спектра другого сигнала для формирования взаимно корреляционной функции в частотной области. Устройство выдачи азимутального кода, которое имитирует физическое вращение направленной антенной системы, передает имитируемое значение угла в устройство задания интервала обзора по разности времен запаздывания, которое вычисляет и задает интервал возможных значений разности времен запаздывания сигналов на входах разнесенных приемных позиций. После этого устройство определения аргументов максимума взаимно корреляционной функции вычисляет и выдает оценку значения вышеназванного аргумента максимума взаимно корреляционной функции с использованием обратного быстрого преобразования Фурье в частотной области, поступившей на его вход с выхода частотного коррелятора только в заданном устройством задании интервала обзора по разности времен запаздывания интервале значений.

Выводы. Результаты представленной работы подтверждают возможность и целесообразность использования определенных свойств преобразования Фурье для реализации устройства быстрого обзора по разности хода в корреляционно-базовых комплексах пассивной локации. Использование спектрального коррелятора в этих целях позволит снизить аппаратные и временные затраты на осуществление операций обнаружения-измерения по сравнению с устройством взаимно корреляционной обработки во временной области.

Комплексы пассивной локации, использующие разностно-дальномерный способ определения пространственных координат, имеют в своем составе ненаправленные антенные системы с малым коэффи-

циентом усиления, что приводит к низкой эффективности их применения по радиосигналам с малой энергией. Применение в составе корреляционно-базового комплекса пассивной локации пеленгатора с узкой, вращающейся по азимуту диаграммой направленности позволит обнаруживать даже маломощные источники радиоизлучения. Вращающаяся диаграмма направленности позволяет реализовать только последовательный обзор по угловым элементам разрешения, что снижает время наблюдения сигналов и, соответственно, вероятность их обнаружения. Однако за счет большого коэффициента усиления антенной системы пеленгатора с узкой диаграммой направленности конечная энергетика сигналов на входе измерительного устройства угломерно-разностно-дальномерного комплекса пассивной локации оказывается значительно большей, чем у разностно-дальномерного. Наличие антенной системы с узкой диаграммой направленности позволяет получать информацию об азимуте излучающего объекта и, используя зависимость значения разности времен запаздывания от дальности и угловой координаты источника радиоизлучения, представленную в данной работе, минимизировать интервал обзора. Зная азимут излучающего объекта, можно не осуществлять поиск на всем интервале возможных значений, а ограничиться определенным промежутком. Реализация данного алгоритма позволит снизить временные и аппаратные затраты на реализацию обзора по разности хода в угломерно-разностно-дальномерных комплексах пассивной локации.

Введение в корреляционно-базовую систему определения разности времен запаздывания имитатора вращения антенной системы (генератора азимутального кода) и устройства вычисления интервала обзора по разности времен запаздывания позволит значительно уменьшить интервал обзора по разности времен запаздывания в корреляционно-базовых системах обзора воздушного пространства при отсутствии необходимости введения в состав комплекса сложных и дорогостоящих высоконаправленных антенных систем с последовательным обзором по угловым координатам [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Multi-Static Primary Surveillance Radar – An examination of Alternative Frequency Bands, Roke Manor Research Limited, Report No: 72/07/R/376/U, July 2008. – Issue 1.2. – 186 p.
2. Kaczur, M. Passive Coherent Location / M. Kaczur. – Univerzita Obrany. – 2010. – P. 233–236.
3. Bezousek, P. Bistatic and Multistatic Radar Systems / P. Bezousek, V. Schejbal // Radioengineering. – 2008. – Vol. 17, № 3. – P. 53–59.
4. Information Aspects of Multispectral Active-Passive Radio Monitoring System / A. Zubkov [et al.] // TCSET'2010, Lviv-Slavske, Ukraine, Febr. 23–27. – 2010. – P. 96–97.
5. Special Report: Iran tests passive radar in aerial drill [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: <http://English.news.cn>. – Date of access: 05.01.2012.
6. Охрименко, А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба: учебник для высш. училищ ПВО / А.Е. Охрименко. – М.: Воен. изд-во, 1983. – Ч. 1: Основы радиолокации. – 456 с.
7. Охрименко, А.Е. Основы обработки и передачи информации: учебник для высш. училищ ПВО / А.Е. Охрименко. – Минск: МВИЗРУ ПВО, 1990. – 181 с.
8. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: АО «МАКВИС», АО «РЕАМ-Билдинг», 1998. – 800 с.
9. Перетягин, И.В. Принципы построения комплексов пассивной локации ПВО / И.В. Перетягин, И.Ф. Полухин // Радиолокация, навигация, связь: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф.: в 3 ч. Ч. 2. – Воронеж, 2006.
10. Дмитренко, А.А. Сравнительный анализ способов построения комплексов пассивной локации: дис. ... магистра техн. наук / А.А. Дмитренко. – Минск: УО «ВА Респ. Беларусь», 2012. – 78 с.
11. Способ измерения разностей времени прихода и частоты приема сигналов и устройство для его реализации: пат. 2256192 Рос. Федерации, G 01 S 11/02 / Н.Е. Подчиненко, А.А. Скрипкин, В.А. Щербачев.
12. Frequency selective TDOA/FDOA cross-correlation: pat. 5874916 US / G.A. Des // Jardins, Febr. 23, 1999.
13. Устройство быстрого обзора по разности времен запаздывания в корреляционно-базовых комплексах пассивной локации: пат. 9543 Респ. Беларусь / А.А. Дмитренко, С.Ю. Седышев, С.А. Горшков.

Поступила 09.01.2014

VIRTUAL AZIMUTH TIME DELAY SECTOR MINIMIZATION IN CORRELATIVE-BASE RADIO FREQUENCY RADIATION SURVEILLANCE SYSTEMS

A. DMITRENKO, S. SEDUSHEV

The report describes the design principles of air control passive location system. Content of this report is in radiolocation area and can be used in correlative-based Multi-Static Primary Surveillance Radar receivers. The main purpose is decreasing of possible values time delay interval. This purpose can be reached by using virtual angle date of antenna main beam.