

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОЛУПАССИВНЫМ СПОСОБОМ

В. И. Павлов, С. Н. Калашников, В. Н. Коломейцев

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. Н. Шамкин

Ключевые слова: дальность; подвижный объект; полупассивная радиолокация; энергетические закономерности.

Аннотация: Изложена основная идея нового радиолокационного полупассивного способа определения координат подвижных объектов. В качестве одной из наиболее важных характеристик способа указана потенциальная дальность до объекта, на которой сохраняется возможность измерений координат с требуемой точностью. Приведены энергетические закономерности при дистанционном радиолокационном определении координат подвижных объектов активным, полуактивным и полупассивным способами. Обоснован вывод о бóльшей дальности полупассивной радиолокации при прочих равных условиях по сравнению с другими способами локации.

Для дистанционного определения координат подвижных объектов применяют радиолокационные станции (РЛС), измеряющие направление (азимут и угол места), дальность и/или скорость объектов бесконтактным способом. Принципиально выделяют два вида локации пассивную и активную, основанные на приемах собственного излучения объекта и отраженного от объекта излученного РЛС зондирующего сигнала соответственно. В зависимости от расположения источника зондирующего сигнала и приемника сигналов различают активную, полуактивную и пассивную радиолокацию [1, 2]. В приведенной общепринятой классификации видов

Павлов Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: crems@crems.jesby.tstu.ru; Калашников Сергей Николаевич – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; Коломейцев Владимир Николаевич – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

локации не учитывают так называемую полупассивную локацию, сущность которой заключается в вынужденном собственном излучении сигналов объектом в ответ на зондирующий сигнал. Данная ситуация достаточно распространена в Живой природе как при поиске партнеров для продолжения рода, так и в процессе охоты. В технике подобная ситуация с вынужденным излучением собственных сигналов сложилась в связи с необходимостью защиты важных объектов от разведывательных действий посредством РЛС противоборствующей стороны.

При дистанционном определении координат объектов посредством РЛС важными техническими характеристиками являются помехоустойчивость РЛС, точность выполняемых измерений и потенциальная дальность до объекта, на которой сохраняется возможность измерений с требуемой точностью. В статье на примере полупассивного способа радиолокации проанализированы энергетические закономерности при дистанционном определении координат подвижных объектов, непосредственно влияющие на дальность полупассивной РЛС.

Рассматриваются подвижные объекты: летательные аппараты (ЛА); корабли и др., имеющие важное значение и, как следствие, оборудованные бортовым комплексом обороны (БКО). Типовой БКО состоит из станций радиотехнической разведки (РТР) и станций постановки помех, предназначенных, соответственно, для предупреждения об облучении, то есть угрозе, и для постановки помех РЛС [3]. Ввиду сложности и быстротечности изменения сигнально-помеховой обстановки при применении ЛА, кораблей и др. функционирование их БКО осуществляется, как правило, в автоматическом режиме в соответствии с законами и правилами радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [4].

Известен способ полупассивного самонаведения (ППС) управляемых ракет класса «воздух-воздух» с радиолокационной головкой самонаведения [5], в основе которого лежит принцип полупассивной радиолокации. Сущность способа ППС состоит в формировании зондирующего сигнала в направлении подвижного объекта (цели), оборудованного БКО, для провокации его помеховых станций на излучения помехового сигнала, по которому осуществляется самонаведение ракеты.

Определим основные факторы, влияющие на дальность полупассивного способа радиолокации, выявить энергетические закономерности при дистанционном радиолокационном определении координат подвижных объектов, оценить потенциальную дальность полупассивной радиолокации по сравнению с активной, полуактивной и пассивной радиолокацией.

Энергетические закономерности при дистанционном радиолокационном определении координат подвижных объектов. Одной из основных задач при разработке РЛС является расчет максимальной дальности обнаружения объектов, которая также является одним из важнейших тактических показателей системы. Решению данной задачи для известных видов локации посвящено большое число работ, получены теоретические результаты, воплощенные в конкретные образцы техники [6, 7].

Дальность обнаружения объектов и измерения их координат при активной и полуактивной радиолокации зависит от мощности отраженного от объекта сигнала, а при пассивной локации – от мощности излучений со стороны объекта. Кроме того, на дальность обнаружения во всех случаях

существенное влияние оказывает среда распространения сигналов РЛС, а также технические характеристики передающих и приемных трактов РЛС.

Мощность принимаемого отклика радиосигнала для активных систем определяется в соответствии с уравнением [2]

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{и}} G A_{\text{п}} \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4}, \quad (1)$$

где $P_{\text{п}}$, $P_{\text{и}}$ – мощности принимаемого и излучаемого сигналов соответственно; G , $A_{\text{п}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; σ – эффективная площадь рассеяния объекта локации в данном ракурсе; F – коэффициент потерь при распространении сигналов; R – расстояние до объекта локации.

Мощность принимаемого отклика радиосигнала для полуактивных систем определяется по уравнению

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{и}} G A_{\text{п}} \sigma F^4}{(4\pi)^2 R_{\text{и}}^2 R_{\text{п}}^2}, \quad (2)$$

где $R_{\text{и}}$ – расстояние от передающей антенны до объекта локации; $R_{\text{п}}$ – расстояние от объекта локации до приемной антенны.

В отличие от активных и полуактивных систем мощность принимаемого радиосигнала для полупассивной РЛС найдем с помощью уравнения противорадиолокации [8]

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{и}} G A_{\text{п}} \sigma F^4}{(4\pi)^2 R_{\text{п}}^2}. \quad (3)$$

Дальность действия полупассивной РЛС будет зависеть от мощности сигналов, излучаемых станциями помех БКО лоцируемых подвижных объектов. Мощность в соответствии с правилами РЭБ рассчитаем таким образом, чтобы мощность помех на 10...20 % превосходила мощность сигналов, принимаемых активными или полуактивными системами. Тогда, расчет дальности для полупассивной РЛС целесообразно производить по следующим формулам [8]:

– для канала «запроса», то есть для канала провоцирующего зондирующего сигнала

$$D_{\text{и}} = \sqrt{\frac{P_{\text{и}} G A_{\text{п}}}{4\pi P_{\text{п min}}}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{п min}}$ – минимальная мощность сигнала, воспринимаемого станцией РТР лоцируемого объекта,

– для канала «ответа», то есть для канала распространения помех

$$D_{\text{и}} = \sqrt{\frac{P_{\text{отв}} G_{\text{отв}} A_{\text{п}}}{4\pi P_{\text{п min}}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{отв}}$, $G_{\text{отв}}$ – мощность и коэффициент усиления излучающей аппаратуры станций постановки помех лоцируемого объекта.

Энергетические соотношения и соответственно дальность пассивной радиолокации в данной статье не анализируем, так как по объективным причинам они существенно ниже, чем при других видах локации.

Из анализа уравнений (1) и (2) следует, что мощность принимаемого отклика для активных и полуактивных систем обратно пропорциональна четвертой степени расстояния, в то время как для предлагаемого способа полупассивной радиолокации в соответствии с уравнением (3) – второй степени. Данное обстоятельство предопределяет значительно бóльшую дальность полупассивной радиолокации по сравнению с активной и полуактивной. Учитывая закономерности конфликтной радиолокации, например, правило при организации РЭБ о желаемом энергетическом превосходстве помех над полезными сигналами на приемной стороне, а также отсутствие зависимости мощности принимаемого сигнала при полупассивной радиолокации от эффективной площади рассеяния объекта в соответствии с формулами (4) и (5), данное преимущество оказывается еще более существенным. Таким образом, дальность полупассивной радиолокации будет при прочих равных условиях значительно больше, чем при активной или полуактивной локации.

Подготовлено при поддержке РФФИ, гранты № 15-08-01617, № 16-08-00464.

Список литературы

1. Ботов, М. И. Основы теории радиолокационных систем и комплексов : учебник / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 530 с.
2. Бакулев, П. А. Радиолокационные системы : учеб. для вузов / П. А. Бакулев. – М. : Радиотехника, 2004. – 320 с.
3. Перунов, Ю. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю. М. Перунов, К. И. Фомичев, Л. М. Юдин. – М. : Радиотехника, 2003. – 416 с.
4. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин [и др.]. – М. : Вузовская книга, 2007. – 468 с.
5. Пат. 2181869 Российская Федерация, МПК 7F41G7/22, F42B15/01. Способ полупассивного самонаведения управляемых ракет класса «воздух–воздух» с радиолокационной головкой самонаведения / В. И. Павлов, А. А. Маштак, Д. В. Зайцев, Тамбовский военный авиационный инженерный институт. – № 2000100556/02 ; заявл. 10.01.2000 ; опубл. 27.04.2002, Бюл. № 12.
6. Муромцев, Д. Ю. Анализ и синтез радиосистем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, Ю. Л. Муромцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 241 – 251.
7. РЛС 59Н6-Е «Противник-ГЕ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pvo.guns.ru/rtv/protivnik.htm> (дата обращения: 13.02.2017).
8. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск : учеб. / В. Н. Тяпкин [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т., 2011. – 536 с.

References

1. Botov M.I., Vyakhirev V.A. *Osnovy teorii radiolokatsionnykh sistem i kompleksov : ucheb.* [Basic theory of radar systems and complexes : the textbook], Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2013, 530 p. (In Russ.)

2. Bakulev P.A. *Radiolokatsionnye sistemy : uchebnik dlya vuzov* [Radar systems: a textbook for high schools], Moscow: Radiotekhnika, 2004, 320 p. (In Russ.)
3. Perunov Yu.M., Fomichev K.I., Yudin L.M. *Radioelektronnoe podavlenie informatsionnykh kanalov sistem upravleniya oruzhiem* [Jamming information channels weapon control systems], Moscow: Radiotekhnika, 2003, 416 p. (In Russ.)
4. Dobykin V.D., Kupriyanov A.I., Ponomarev V.G., Shustov L.N. *Radioelektronnaya bor'ba. Silovoe porazhenie radioelektronnykh sistem* [Electronic Warfare. Power failure of electronic systems], Moscow: Vuzovskaya kniga, 2007, 468 p. (In Russ.)
5. Pavlov V.I., Mashtak A.A., Zaitsev D.V. Tambovskii voennyi aviatsionnyi inzhenernyi institute; *Sposob polupassivnogo samonavedeniya upravlyaemykh raket klassa "vozdukh-vozdukh" s radiolokatsionnoi golovkoi samonavedeniya* [A method of a semi-homing guided missiles "air-to-air" with radar homing], Russian Federation, 2002, Pat. 2181869. (In Russ.)
6. Muromtsev D.Yu., Muromtsev Yu.L. [Analysis and Synthesis of Radio Systems on a Set of Functioning States], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 2, pp. 241-251. (In Russ., abstract in Eng.)
7. <http://pvo.guns.ru/rtv/protivnik.htm> (accessed: 13 February 2017). (In Russ.)
8. Tyapkin V.N., Fomin A.N., Garin E.N., Fateev Yu.L., Berdyshev V.P., Nagovitsyn A.A., Temerov A.V., Somov V.G., Lyutikov I.V. *Osnovy postroeniya radiolokatsionnykh stantsii radiotekhnicheskikh voisk : uchebnik* [Fundamentals of radar radar troops: a textbook], Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t., 2011, 536 p. (In Russ.)

Energy Regularities for Mobile Objects Position Identification by a Semi-Passive Method

V. I. Pavlov, S. N. Kalashnikov, V. N. Kolomeitsev

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Keywords: energy regularities; mobile object; range; semi-passive radiolocation.

Abstract: Active, semi-active or passive radiolocation systems are used for distant identification of mobile objects position. The authors describe briefly the essence of the new method of semi-passive radiolocation and conditions for its realization. As one of the most important characteristics of the method is the potential range to the object to take possible measurements with the required accuracy. The authors give energy regularities for distant identification of mobile objects position, using active, semi-active and semi-passive methods. Compared with other methods of location, the semi-passive radiolocation method, other conditions being equal, proves to have the longer range of identification.

© В. И. Павлов, С. Н. Калашников, В. Н. Коломейцев, 2017