



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 621.369.96

**ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ
РАДИОЛОКАЦИИ**
OBJECT DETECTION USING RADAR SYSTEMS

Вагенлейтнер Анастасия Олеговна, студентка 3 курса, Факультет информационных технологий и электроники, Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

Копнов Даниил Вячеславович, студент 3 курса, Факультет информационных технологий и электроники, Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

Сальникова Алена Игоревна, Студентка 4 курса, Факультет информационных технологий и электроники, Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

Ульянова Виктория Александровна, студентка 3 курса, Факультет информационных технологий и электроники, Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

Vagenleytner Anastasia Olegovna, 3rd year student, Faculty of Information Technology and Electronics, Penza State University, Russia, Penza

Kopnov Daniil Vyacheslavovich, 3rd year student, Faculty of Information Technology and Electronics, Penza State University, Russia, Penza

Salnikova Alena Igorevna, 4rd year student, Faculty of Information Technology and Electronics, Penza State University, Russia, Penza

Ulyanova Victoria Alexandrovna, 3rd year student, Faculty of Information Technology and Electronics, Penza State University, Russia, Penza

Аннотация

В статье рассматривается пример реализации возможного алгоритма по обнаружению целей и объектов с помощью радиолокационных систем (РЛС). Радиолокация – это совокупность радиотехнических методов обнаружения объектов с целью определения их координат и параметров движения путем использования отраженных или видоизмененных радиоволн. Она находит широкое применение как на военном поприще, так и в народном хозяйстве и науке страны. С течением времени радиолокационное оборудование совершенствуется, но его основные задачи остаются неизменными. Задача обнаружения объекта состоит в принятии решения о наличии или отсутствии цели в заданной области пространства. Задача распознавания - в установлении принадлежности объекта к какому-то роду.

Summary

The article considers an example of the implementation of a possible algorithm for detecting targets and objects using radar systems (RLS). Radar is a set of radio engineering methods for detecting objects in order to determine their coordinates and movement parameters by using reflected or modified radio waves. It is widely used both in the military field and in the national economy and science of the country. Over time, radar equipment has improved, but its main tasks remain unchanged. The task of detecting an object is to make a decision about the presence or absence of a target in a given region of space. The task of recognition is to establish whether an object belongs to a certain genus.

Ключевые слова: радиолокация, обнаружение, полезный сигнал, шумы, ложная тревога, пропуск сигнала, порог обнаружения, РЛС

Keywords: radar, detection, useful signal, noise, false alarm, signal skip, detection threshold, radar system

К видам излучения, используемым в радиолокационных системах относятся: вторичное излучение, переизлучение и собственное излучение радиоволн. В первом и втором случаях радиолокатор излучает в направлении на цель мощный зондирующий сигнал; в последнем случае облучение цели не требуется. Радиолокация с использованием вторичного излучения и переизлучения (ретрансляции) называется активной, а радиолокация с использованием собственного излучения – пассивной [6].

Явление вторичного излучения позволяет обнаружить цели, не являющиеся источниками собственных радиоизлучений. Принимаемый сигнал при этом называют отраженным. Активный ответ находит широкое применение при радиолокации и опознавании следующих объектов: самолетов, ракет, противоракет и искусственных спутников Земли [3].

Большинство современных радиолокаторов вырабатывает поток информации о целях в участке пространства, содержащего весьма большое число разрешаемых объемов. Информация о положении объекта в пространстве может быть получена за счет измерения времени запаздывания отраженного сигнала по отношению к первоначальному или зондирующему сигналу. Информация о скорости объекта – с помощью измерения доплеровского сдвига частоты между излученным и принятым сигналами [3]. Также можно получить информацию об угловых координатах цели и ее габаритных размерах. Первое достигается путем сопоставления характеристик отраженного сигнала и диаграммы направленности антенны, второе – сравнением форм отраженных и зондирующих сигналов. При этом могут использоваться принципы последовательного, параллельного и параллельно-последовательного обзора пространства и составления потоков информации [1]. Принцип последовательного обзора пространства радиолокатором с лучом игольчатого вида приведен на рисунке 1.

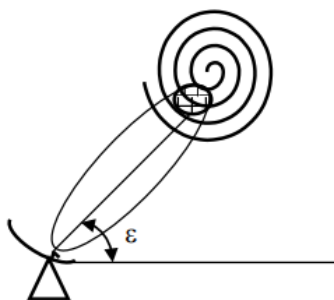


Рисунок 1 - Последовательный спиральный обзор с наведением игольчатого типа

В данной работе рассмотрена процедура обнаружения радиолокационной цели. Поскольку данная задача связана с обработкой сигнала, она является статистической. В ходе ее решения радиолокатором анализируется полученный с окружающей местности сигнал, состоящий из смеси фоновых шумов и сигнала возможных целей.

Тем самым, процесс обнаружения представляет собой установление факта присутствия полезного сигнала и реализует обработку функции случайных величин:

$$Y(t) = U_c + U_m(t),$$

Где U_c – это сигнал цели, $U_m(t)$ – сигнал помех [2].

Для оценки качества обнаружения зачастую пользуются такими характеристиками, как вероятности правильного обнаружения ($p_{по}$) и ложной тревоги ($p_{лт}$). Их взаимосвязь можно представить следующим образом:

$$p_{по} = p_{лт}^{\frac{1}{1+q}},$$

где q - мощностное отношение между сигналом и помехами.

$$p_{лт} = e^{-\frac{C_0^2}{2\sigma_m^2}},$$

Где C – порог обнаружения, σ_m^2 – среднеквадратическое значение фоновых шумов на выходе приемника.

Вероятность правильного обнаружения подразумевает, что анализируемая смесь фонового и полезного сигналов, полученная с одного и того же объема зоны действия, превысит порог обнаружения. Вероятность ложной тревоги – это вероятность того, что порог обнаружения будет превышен только фоновым сигналом (помехами).

Помимо этого, часто оперируют понятием «пропуск сигнала» – ситуация, при которой в разрешаемом объеме зоны действия будет находиться полезный сигнал, но порог обнаружения при этом превышен не будет [5].

Для решения задачи обнаружения в радиолокации широко применяется аппарат математической статистики. Соответственно, решения относительно наличия сигнала и его параметров, принимаемые РЛС, базируются на принятых алгоритмом реализациях и сопутствующих им выборках. Для оптимизации работы программы данные выборки должны подвергаться обработке, позволяющей получить некие усредненные характеристики. Достаточно простым в применении и, в большинстве случаев, оптимальным будет анализ выборки с применением функции правдоподобия и отношения правдоподобия [2].

Для выборки по каждому отсчету анализируемого сигнала, функция правдоподобия будет определять наиболее вероятное из 2-х событий (наличие и отсутствие полезного сигнала в смеси). Однако зачастую бывает удобнее сравнивать не сами функции правдоподобия, а их отношение:

$$l_{\text{отн в}} = l_{\text{в}}(u_{\text{с}})/l_{\text{в}}(0),$$

где $l_{\text{в}}(u_{\text{с}})$ - функция правдоподобия наличия полезного сигнала, $l_{\text{в}}(0)$ - функция правдоподобия отсутствия полезного сигнала [1].

Данное соответствие получило название отношения правдоподобия, с порогом h . На практике предпочитают оперировать не самим значением сигнала, а его натуральным логарифмом, т.е.

$$u_{\text{в}} = \ln l_{\text{отн в}} \leq C,$$

Так как логарифмическая функция является неубывающей, и $I_{отн\ в}$ всегда положительна, процедуры сравнения отношения правдоподобия с порогом h и логарифма отношения правдоподобия $u_{\text{в}}$ с порогом C будут равнозначны. При этом $C = \ln h$.

Таким образом, математический процесс обнаружения сводится к нахождению логарифма отношения правдоподобия и сопоставлению его с порогом C . При $u_{\text{в}} > C$ алгоритмом принимается решение о наличии полезного сигнала, а при $u_{\text{в}} < C$ - о его отсутствии.

Если порог обнаружения занижен, обеспечивается практически полное отсутствие пропусков сигнала, но при этом наблюдается большой процент ложных тревог. Напротив, высокий порог обнаружения дает низкую вероятность ложных тревог, но увеличивает процент пропусков сигнала.

Для оптимальной работы обнаружителя требуется подобрать такое значение порога, при котором будет наименьшая вероятность как ложных тревог, так и пропусков сигнала. Выбор данного значения зависит от целого ряда требований, в том числе и от критерия, на котором базируется обнаружитель [5]. Наиболее широко в радиолокации применяются:

- критерий идеального наблюдателя;
- критерий Неймана - Пирсона.

Исходя из существующего опыта применения, установлено, что критерий Неймана-Пирсона лучше показывает себя в оптимизации радиолокационных станций, а критерий идеального наблюдателя больше подходит для систем связи.

Поскольку в данной работе рассматриваются возможности обнаружения целей с помощью РЛС, большее внимание будет уделено критерию Неймана-Пирсона. При его применении задается определенный уровень ложных тревог, который остается постоянным на всем протяжении процедуры обнаружения. При этом создается такой алгоритм обработки сигнала, который позволяет достичь максимальной вероятности обнаружения, минимизируя число пропусков сигнала [4].

После выбора критерия и построения оптимальной схемы обнаружителя, на их основе устанавливается необходимое пороговое значение.

Из вышеизложенных условий вытекают формулы для определения вероятностных характеристик обнаружения:

- вероятность ложной тревоги выражается формулой

$$p_{лт} = \int_C^{\infty} \omega(v/0) dv,$$

- вероятность пропуска сигнала - формулой

$$p_{пс} = \int_{-\infty}^C \omega(v/u_c) dv.$$

В данных выражениях $\omega(v/0)$ и $\omega(v/u_c)$ - плотности распределения логарифма отношения правдоподобия при отсутствии и наличии сигнала соответственно. Графически эти зависимости можно представить следующими графиками (рисунок 2):

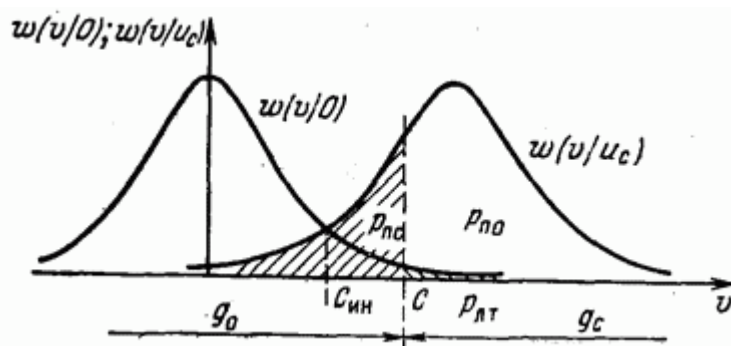


Рисунок 2 – Графическое отображение кривых плотности распределения функций правдоподобия сигнала

Вероятность ложной тревоги $p_{лт}$ представлена площадью под кривой $\omega(v/0)$ справа от порога обнаружения C (луч g_c), а вероятность пропуска сигнала $p_{пс}$ составляет площадь под кривой $\omega(v/u_c)$ слева от него (луч g_0). Отсюда следует, что вероятность правильного обнаружения будет

представлять собой площадь под кривой $\omega(v/u_c)$ справа от порога C и определяться следующим соотношением [2]:

$$p_{\text{по}} = 1 - p_{\text{пс}} = \int_C^{\infty} \omega(v/u_c) dv.$$

В ходе анализа рисунка еще раз подтверждается то, что с уменьшением значения порога C , увеличивается возможность правильного обнаружения, но в то же время растет и вероятность ложной тревоги. Очевидно, что оптимальное пороговое значение в данном случае будет находиться в точке пересечения кривых плотностей распределения. При этом вероятности ложных тревог и пропусков сигнала будут равны.

После всего вышесказанного можно перейти к рассмотрению алгоритма работы программы по обнаружению сигнала цели. Данный алгоритм, созданный в программном пакете MATLAB, может применяться в схемах построения радиолокационных обнаружителей [7].

Воспринимаемый сигнал разбивается на определенное число отсчетов в соответствии с областью поступления сигнала. Для удобства дальнейшей обработки, строится двумерная матрица сигнала, в строках которой представлены значения пространственных интервалов, а в столбцах - значения амплитуды сигнала в каждом интервале. После чего вводится цикл, в котором построчно происходит разделение на подинтервалы и вычисляется частота попадания амплитуды сигнала в каждый подинтервал. Далее плотность распределения частоты попадания сравнивается с заранее установленным пороговым значением. На основании этого программой принимается решение о наличии или отсутствия цели в анализируемой части пространства.

Чтобы наглядно представить процесс принятия решения, построены трехмерные графики разных участков пространства, на которых красным цветом показаны сигналы фоновых шумов, а синим цветом – сигналы, исходящие от цели (рисунки 3-4).

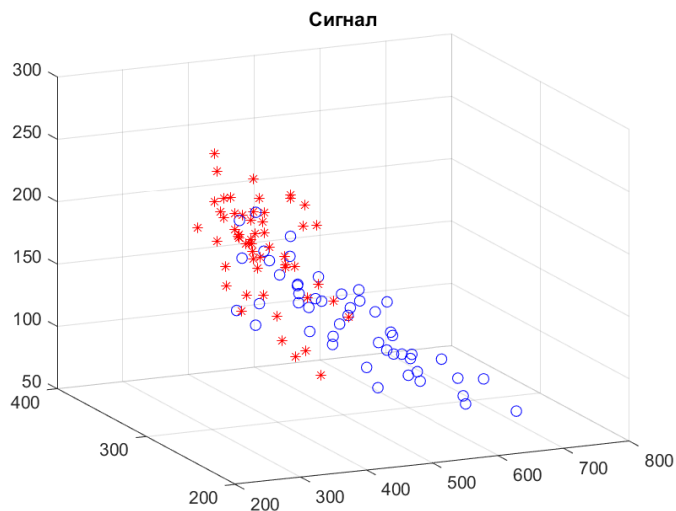


Рисунок 3 – Распределение частот попадания амплитуды на участке обнаружения с большим диапазоном зоны действия

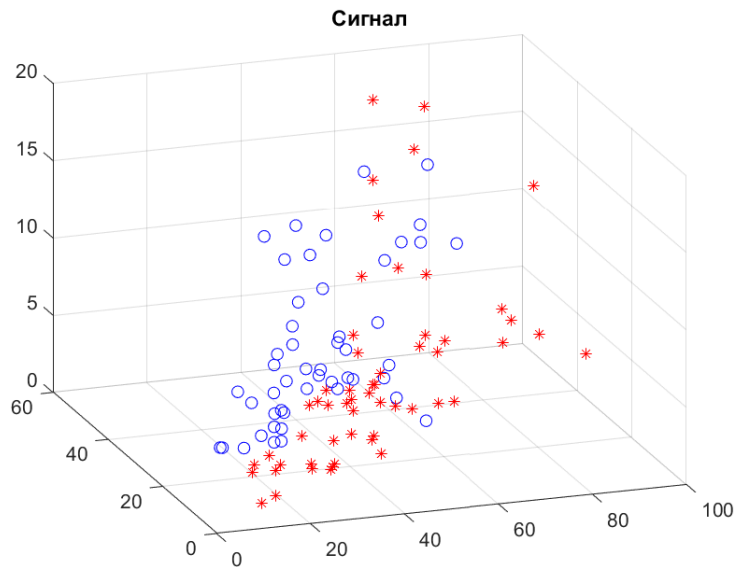


Рисунок 4 – Распределение частот попадания амплитуды на участке обнаружения с большим диапазоном зоны действия

В тех местах, где плотность распределения частот попадания амплитуды полезного сигнала превышает установленный порог, вероятность обнаружения цели будет наибольшей.

Из ряда исследований и теоретических сведений можно сделать вывод, что направление радиолокации на сегодняшний день успешно развивается. Тому подтверждением приведенный выше алгоритм, который может использоваться при создании программ принятия решения, являясь при этом одним из элементарных составляющих систем обнаружения. Хотя реализация

данного способа еще далека от теоретического прототипа, с его помощью можно добиться существенных результатов.

Литература

1. В. П. Бердышев Радиолокационные системы: учебник / Бердышев В. П., Гарин Е. Н., Фомин А. Н. и др.; разработ.: Центр обучающих систем ИнТК СФУ – Красноярск : СФУ, 2012. – 402 с.
2. М.В. Максимов Защита от радиопомех: моногр. / Максимов М. В., Бобнев М. П., Кривицкий Б. Х. и др.– Москва: «Сов. Радио», 1976. – 496 с.
3. В.З. Кацнельсон Основы радиолокации и импульсной техники: учебник / Вожененко И. А., Юрманов В. А. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. – 334 с.
4. Б.В. Илларионов, М.А. Караваев, Д.С. Малиев Сравнительный анализ процедур поиска сигналов в условиях априорной неопределенности их параметров по критериям Неймана-Пирсона и Вальда // ВКС. Теория и практика. №19. С 243-254.
5. П.А. Бакулев Радиолокационные системы: учебник для вузов / Бакулев П.А. - Москва.: Радиотехника. 2004. - 320 с.
6. А. Н. Соколов Основы построения радиолокационных средств: учеб. пособие / Соколов А.Н., Ермак С.Н., Романович А.Г., Вайдо В.П., Денисевич А.В. – Минск: БГУИР. 2017. – 100 с.
7. В.Г. Потемкин Система MATLAB. Справочное пособие / Потемкин В.Г. – Москва: Диалог МИФИ. 1997. – 367 с.

Literature

1. V. P. Berdyshev Radar systems: textbook / Berdyshev V. P., Garin E. N., Fomin A. N., et al.; developer: Center for Training Systems of InTK SibFU – Krasnoyarsk : SIBFU, 2012. – 402 p.
2. M.V. Maksimov Protection from radio interference: monogr. / Maksimov M. V., Bobnev M. P., Krivitsky B. X. et al. – Moscow: "Sov. Radio", 1976. – 496 p

3. V.Z. Katsnelson Fundamentals of radar and pulse technology: textbook / Vozherenko I. A., Yurmanov V. A. – Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1985. – 334 p.
4. B.V. Illarionov, M.A. Karavaev, D.S. Maliev Comparative analysis of signal search procedures under conditions of a priori uncertainty of their parameters according to the Neumann-Pearson and Wald criteria // VKS. Theory and practice. No.19. From 243-254.
5. P.A. Bakulev Radar systems: textbook for universities / Bakulev P.A. - Moscow.: Radio Engineering. 2004. - 320 p.
6. A. N. Sokolov Fundamentals of the construction of radar facilities: textbook. manual / Sokolov A.N., Ermak S.N., Romanovich A.G., Vaido V.P., Denisevich A.V. – Minsk: BGUIR. 2017. – 100 p.
7. V.G. Potemkin MATLAB system. Reference manual / Potemkin V.G. – Moscow: Dialog MEFhI. 1997. – 367 p.

© Вагенлейтнер А.О., Копнов Д.В., Сальникова А.И., Ульянова В.А., 2022
Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №5/2022

Для цитирования: Вагенлейтнер А.О., Копнов Д.В., Сальникова А.И., Ульянова В.А. ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИИ// Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №5/2022