

К вопросу селекции радиолокационных эхо-сигналов на неоднородной подстилающей поверхности

Янакова Е. С.

Электронные вычислительно-информационные системы «ЭЛВИС», Москва, а/я 197, 124460

Россия

e-mail: Helen@elvees.com

Аннотация

В статье рассматривается решение задачи селекции "полезных" сигналов на фоне неоднородной подстилающей поверхности, адаптации системы под особенности поверхности охраняемой территории. Решение основано на применении радиолокационной станции (РЛС) с программируемым формированием сигналов и перестраиваемой временной диаграммой.

Ключевые слова: радиолокация, неоднородная подстилающая поверхность, цифровая обработка сигнала

Введение

Радиолокационные станции становятся неотъемлемой частью охранных систем как стратегически важных объектов, так и частных территорий. Селекция полезных сигналов на фоне коррелированных и некоррелированных помех является основной и важной задачей обработки радиолокационного сигнала охранной РЛС ближнего действия. Под полезным сигналом понимается сигнал, отраженный от физического тела (подвижного объекта), полученный методами активной радиолокации на отведенном пространстве (охраняемой территории) на фоне помех (подстилающей поверхности). Для контроля «сложных» по своему составу и неоднородных по типу земной поверхности объектов выдвигаются повышенные требования к качеству и надежности охранной системы: высокой вероятности правильного обнаружения объекта и низкой вероятности ложного срабатывания.

При использовании РЛС в охранной целях в условиях ограниченной пиковой мощности передатчика и неоднородной подстилающей поверхности становится актуальной задача адаптации системы под особенности охраняемого объекта.

Целью данной работы является решение задачи высокочастотной обработки сигнала и фильтрации "полезных" сигналов на фоне неоднородной подстилающей поверхности, адаптации системы под особенности отражающей поверхности охраняемой территории. Решение задачи основано на использовании программируемого приемно-передающего тракта и многоскоростной обработки эхо-сигнала. Предлагаемое решение поставленной задачи позволило сократить объемы аппаратного обеспечения РЛС, тем самым уменьшив габариты и массу оборудования.

Принципы селекции «полезного» радиолокационного эхо-сигнала

Основной принцип радиолокации заключается в излучении импульсов энергии и измерении времени распространения этих импульсов от передатчика до объекта и обратно для определения дальности и свойств объекта. Способность радиолокационной системы обнаруживать объекты определяется чувствительностью приемного тракта, то есть минимальной мощностью сигнала на входе приемной антенны, при котором на выходе системы обработки достигается требуемое отношение сигнал/шум. Сигнал/шум SNR_0 применительно к одному отраженному сигналу для РЛС в случае максимальной дальности задается равенством [1]:

$$SNR_0 = \frac{P_t S_{эф}^2 \sigma}{4\pi R_{\max}^4 \lambda^2 k T_{эф} \Delta F L G_{ДНА}}, \quad (1)$$

где P_t - мощность передатчика; $G_{ДНА}$ - ослабление, вносимое угломестной ДНА; $S_{эф}$ - эффективная площадь приемной антенны; λ - длина волны; σ - эффективная площадь рассеяния (ЭПР) цели в данном ракурсе; R_{\max} - максимальное расстояние до объекта; k - постоянная Больцмана, $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$; $T_{эф}$ - эффективная шумовая температура приемного тракта; ΔF - шумовая полоса приемника; L - потери при распространении.

Основной определяющей составляющей чувствительности системы обработки является база сигнала, аналитически представляемая следующей формулой:

$$B = T_u \Delta F_s, \quad (2)$$

где T_u - длительность зондирующего импульса, ΔF_s - полоса сигнала. База сигнала прямо пропорциональна способности сигнальной обработки повышать отношение сигнал/шум путем согласованной фильтрации и других дополнительных фильтров

сигнальной обработки. На выходе системы обработки отношение сигнал/шум SNR рассчитывается согласно следующему уравнению:

$$SNR = SNR_0 K_{сжс} = SNR_0 B = SNR_0 \Delta F_s T_u, \quad (3)$$

где $K_{сжс}$ - коэффициент сжатия.

Определяющим фактором для увеличения чувствительности радиолокационной системы является изменение длительности и частотной полосы сигнала с учетом аппаратных и программных ограничений (прежде всего, пропускной способности каналов связи и производительности системы обработки). Найдя компромисс между параметрами сигнала и программно-аппаратными ограничениями, можно адаптировать систему под разные задачи.

Временная диаграмма работы РЛС и ее параметры

Временная диаграмма импульсного радиолокатора состоит из набора параметров, определяющих свойства излучаемого сигнала и взаимное положение временных стробов передатчика и приемника. К свойствам сигнала относятся длительность зондирующего импульса, тип и параметры модуляции. Для линейно-частотно модулированного сигнала – девиация частоты. Длительность импульса и девиация частоты определяют импульсную характеристику согласованного фильтра.

К параметрам взаимного положения временных стробов передатчика и приемника относятся, помимо длительности импульса, защитный интервал (расстояние между спадом зондирующего импульса и началом строба приема), длительность строба приема и период повторения (рис. 1).

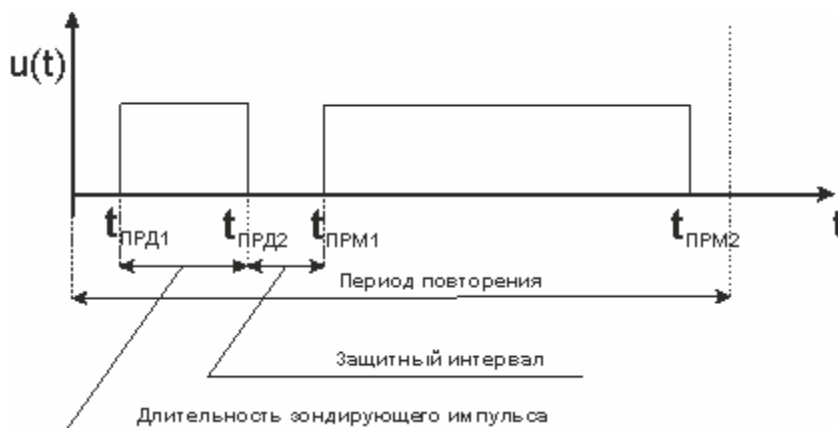


Рис. 1. Временная диаграмма работы РЛС с параметрами.

Длительность импульса и защитный интервал определяют слепую зону, длительность строба приема – это диапазон дальностей, лоцируемых за один период временной диаграммы. Период временной диаграммы (период повторения) также определяет диапазон однозначно измеряемых дальностей.

Как сказано выше, охранные РЛС при работе в населенных пунктах должны соответствовать санитарным правилам и нормам на величину плотности потока энергии, что накладывает ограничения на допустимую мощность передатчика. В таких условиях становится актуальной настройка параметров временной диаграммы в зависимости от особенностей охраняемого объекта, так, чтобы обеспечить максимальную дальность обнаружения объектов при отсутствии неоднозначности по дальности. Так, для объектов с ограниченной дальностью прямой видимости следует использовать как можно меньший период повторения для увеличения средней излучаемой мощности. Если дальность прямой видимости велика, то для избежания неоднозначности по дальности приходится увеличивать период повторения, что отрицательно сказывается на энергетике системы.

С другой стороны, для повышения дальности обнаружения можно увеличивать длительность зондирующего импульса, увеличивая базу зондирующего сигнала, но это, в свою очередь, приводит к увеличению мертвой зоны.

Разделение диапазона дальностей лоцируемого объекта на дальний (длинный импульс, большая слепая зона, большой период повторения) и ближний (короткий импульс, малая мертвая зона, маленький период повторения) диапазон позволяет достичь максимальных параметров РЛС по обнаружению объектов при минимальной мертвой зоне и отсутствии неоднозначности по дальности.

Подобная схема нередко используется в тактических РЛС, когда одна пачка импульсов предназначена для локации дальнего поддиапазона дальностей, а следующая – ближнего. Этим достигается максимальный энергетический потенциал системы при минимальной слепой зоне и отсутствии неоднозначности по дальности.

Недостатком таких систем является жестко заданная временная диаграмма, что затрудняет оптимизацию параметров РЛС для нужд охраны конкретного объекта. Использование программируемого цифрового синтезатора с возможностью задания произвольного (в рамках ограничений, накладываемых полосой радиочастотного тракта) набора сигналов и их варьирование в циклах излучения открывает широкие возможности для оптимизации параметров РЛС при ограниченной пиковой мощности передатчика.

Таким образом, временная диаграмма работы РЛС с программируемым прямым цифровым синтезатором сигнала определяется следующим набором параметров: начальная частота сигнала f ; длительность зондирующего импульса t ; приращение частоты Δf за интервал времени Δt ; защитный интервал $t_{\text{защ}}$; длительность строка приема $t_{\text{прм}}$. Варьируя этими параметрами в допустимом диапазоне, можно в реальном времени определять характеристики сигнальной обработки по обнаружению подвижных объектов. Настройка

параметров сигнала под особенности охраняемого объекта позволяет эффективно решать поставленные задачи, улучшая те или иные информационные характеристики радиолокационной системы.

Состав и ограничения приемно-передающего тракта программируемой РЛС

Работа приемно-передающего тракта программируемой РЛС задается временной диаграммой (ВД) с постоянным или изменяемым периодом. Параметры ВД устанавливаются посредством канала управления как в реальном времени, так и во время настройки РЛС. Обобщенная схема управления временной диаграммой РЛС показана на рис. 2., Здесь на основе установленных параметров ВД блоком формирования ВД формируются сигналы управления цифровым синтезатором сигнала, блоком предобработки сигнала и стробом передатчика.

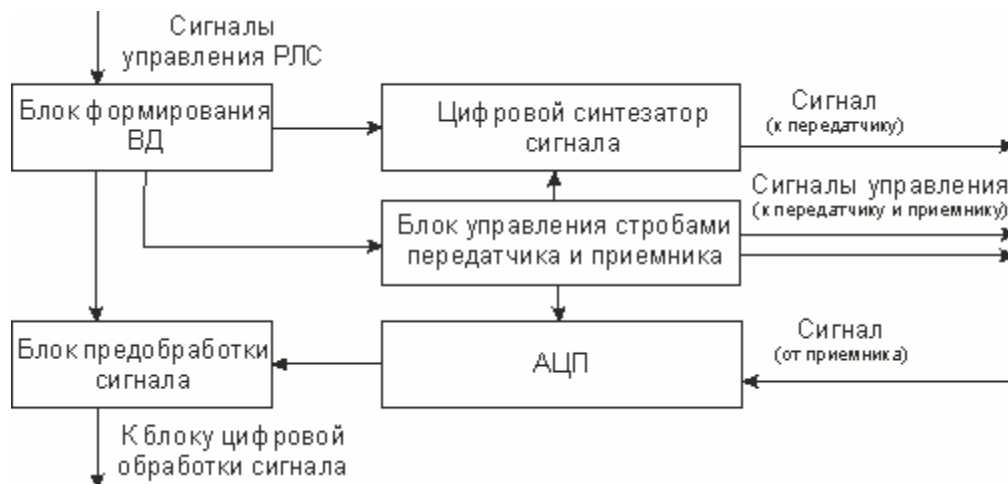


Рис. 2. Обобщенная схема управления временной диаграммой РЛС.

Стробы формирования сигнала в цифровом синтезаторе задаются начальной t_{DDS1} и конечной t_{DDS2} временной отметкой (рис. 3а, рис. 3г). Учитывая временные задержки каналов связи между DDS и передающим устройством, устанавливаются начальный $t_{ПРД1}$ и конечный $t_{ПРД2}$ временной строб передатчика (рис. 3б, рис. 3д), настраиваются стробы приемника $t_{ПРМ1}$ и $t_{ПРМ2}$ (рис. 3в, рис. 3е). На рис. 3 представлены эпюры сигналов программируемой РЛС для ближней (рис.3 а),б),в)) и дальней (рис. 3 г), д),е) зон дальности.

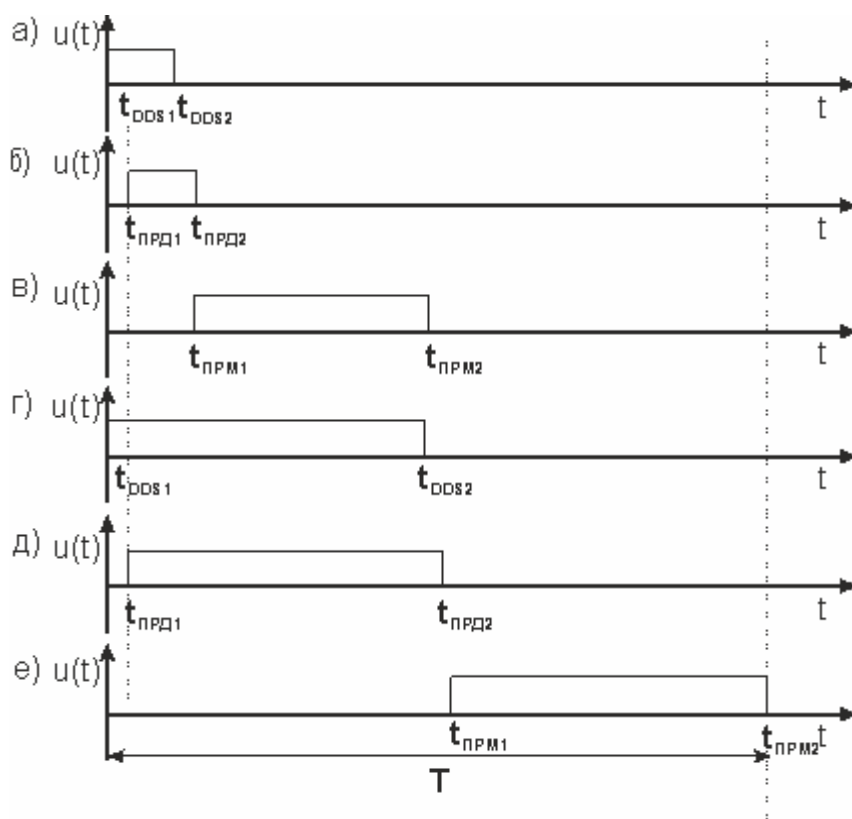


Рис. 3. Эпюры сигналов ВД многофункциональной РЛС с переменным сигналом.

Основным ограничением набора сигналов многофункциональной РЛС является ширина полосы пропускания приемно-передающего тракта и частота аналого-цифрового преобразования, которая должна не противоречить теореме дискретизации Котельникова. В случае если ширина спектра сигнала устанавливается меньшей, чем полоса пропускания приемно-передающего тракта (например, при необходимости уменьшить информационный поток на входе системы обработки), в блоке предварительной обработки может быть применена децимация отсчетов аналого-цифрового преобразователя (вторичная дискретизация).

РЛС "Orwell-R" с перестраиваемой временной диаграммой

На базе схемы приемно-передающего тракта с перестраиваемой временной диаграммой разработана программируемая охранная РЛС "Orwell-R" [2]. Программно-аппаратная реализация на программируемых логических элементах поддерживает шестнадцать параллельных каналов с одноступенчатой структурой узкополосного низкочастотного фильтра вторичной дискретизации. Однако, на практике использование трехканальной структуры позволило решить задачу обнаружения объектов в ближней зоне на дальности до 40м, обнаружения малоразмерных объектов с ЭПР порядка $0,5 \text{ м}^2$ на дальностях до 2–3 километров, обнаружения движущихся объектов с ЭПР выше 1 м^2 на дальностях до 4-5 километров.

Сигнальная обработка выполнена с использованием библиотеки примитивов Intel® Integrated Performance Primitives. Несмотря на значительное сокращение объема памяти и информационного потока данных благодаря применению вторичной дискретизации, поддержка перестраиваемой временной диаграммы работы РЛС требует значительных аппаратных ресурсов, объем которых прямо пропорционален количеству используемых полосовых каналов.

Поддержка перестраиваемых временных диаграмм в РЛС "Orwell-R" обеспечила решение ряда новых задач, таких, как увеличение дальности действия РЛС при ограниченной пиковой мощности передатчика, обнаружения малоразмерных объектов на фоне неоднородной подстилающей поверхности за счет улучшения селекции по доплеровской частоте с использованием сложных сигналов, уменьшение мертвой зоны для обнаружения близкорасположенных объектов.

Таким образом, в работе предложено решение задачи селекции "полезных" сигналов на фоне неоднородной подстилающей поверхности, адаптации системы под особенности поверхности охраняемой территории. Решение основано на применении радиолокационной станции (РЛС) с программируемым формированием сигналов и перестраиваемой временной диаграммой.

Библиографический список

1. Ширман Я.Д., Лосев Ю.И., Минервин Н.Н., Москвитин С.В., Горшков С.А., Леховицкий Д.И., Левченко Л.С. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Ширман Я.Д., Лосев Ю.И., Минервин Н.Н., Москвитин С.В., Горшков С.А., Леховицкий Д.И., Левченко Л.С. /Под ред. Я.Д. Ширмана. - М.: ЗАО "МАКВИС", 1998. 828с.
2. Александров Ю.Н., Зинченко О.Н., Колобанова Е.С. Цифровой охранный радиолокатор Ку-диапазона. //Вопросы радиоэлектроники, 2006, №2, с. 115-126.