

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ОТСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ В ИМПУЛЬСНЫХ РЛС

Кострова Т.Г., Бернюков А.К.*

Муромский техникум радиоэлектронного приборостроения
*Владимирский государственный университет

Введение. От качества обнаружения сигналов существенно зависит качество решения радиолокационных задач в целом. В современных импульсных радиолокационных станциях (РЛС) обзорного типа возникает дополнительная проблема устранения неоднозначности измерения дальности. Эхо-сигналы от целей, находящихся за пределами максимальной дальности однозначного отсчета, являются помехами. Они аналогичны сигналам от целей с однозначным измерением, поэтому бороться с такого рода помехами затруднительно [1]. Вместе с тем эти помехи существенно загружают процессор вторичной обработки информации, затрудняют работу оператора, создают ложную информацию. Неоднозначность отсчета дальности наблюдается при работе РЛС с повышенной частотой зондирования, при наличии за пределами максимальной дальности целей с большой эффективной отражающей поверхностью, а также в условиях аномального распространения радиоволн.

Все известные способы снижения уровня ложных эхо-сигналов можно разделить на две группы. Одну группу составляют методы, заключающиеся в специальном кодировании зондирующих сигналов от импульса к импульсу. Эти методы требуют, как правило, обеспечения истинной когерентности в РЛС. К ним относятся системы со случайным изменением фазы зондирующего сигнала от импульса к импульсу, с использованием последовательности кодированных импульсов по поляризации, с изменением закона модуляции сложных зондирующих сигналов от импульса к импульсу [2]. Другая группа методов основана на устранении неоднозначности измерения дальности. К ним относятся методы с использованием амплитудной и фазовой модуляции зондирующих импульсов, с использованием малой вобуляции межимпульсного интервала и применения кратных частот повторения зондирующих сигналов [3,4].

Наиболее мощными помехами этого вида являются помехи с 1-го интервала неоднозначного измерения дальности, поэтому их подавлению необходимо уделять наибольшее внимание. Методы, разработанные для борьбы с подобными помехами, оказываются работоспособными и для более общего случая [4].

Структура блока цифровой обработки сигналов. В данном докладе рассматривается метод с использованием вобуляции межимпульсного интервала для устранения эхо-сигналов, соответствующих неоднозначному измерению дальности. Вобуляции межимпульсного интервала (изменение периода повторения) позволяет нарушить детерминированный характер постоянной ошибки измерения дальности. Известно [4], что при вобуляции зондирующих импульсов требуется дополнительная обработка сигналов по определенным критериям. Один из вариантов подключения дополнительного канала критерийной обработки приведен на рис. 1.

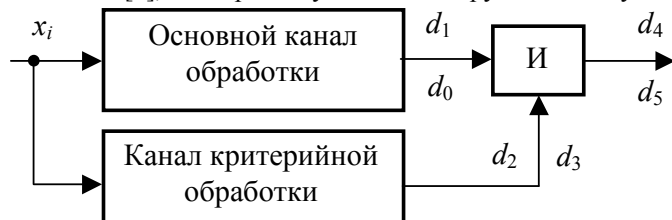


Рис. 1

Входными данными для процессора радиолокационных сигналов является последовательность $x_i, i = 1, 2, \dots, n$, импульсов пачки. Предполагается, что эта последовательность прошла нормирующие устройства, а внутренний шум приемного устройства стабилизирован с помощью, например, системы шумовой автоматической регулировки. Также полагается, что обработка радиолокационных сигналов реализуется в цифровом виде. Основной канал обработки представляет собой типичный обнаружитель некогерентных сигналов. Он производит некогерентно-весовое накопление по алгоритму $z_n = \sum_1^n g_i x_i$, где g_i – весовые коэффициенты, и сравнение накопленной суммы с порогом обнаружения h . На выходе основного канала обработки формируются решения: $d_0 = 0$, если $z_n < h$, и $d_1 = 1$, если $z_n \geq h$. Канал критерийной обработки на основании поступивших данных выносит два решения: $d_2 = 0$, если принято решение о том, что полученная выборка сигнала принадлежит помехе с 1-го интервала неоднозначного измерения дальности, и $d_3 = 1$, если пачка принадлежит цели, находящейся в рабочей зоне РЛС. Объединение каналов осуществляется с помощью схемы "И": принимается решение $d_4 = 0$, если приняты решения d_0 и d_2 (d_3) или d_2 и d_1 (d_0); решение $d_5 = 1$ выносится только в том случае, если приняты решения d_1 и d_3 . Такое построение схемы позволяет снизить вероятность появления отметок от целей, находящихся за пределами рабочей зоны РЛС.

Алгоритмы критерийной обработки. Для построения канала критерийной обработки необходимо учитывать структурные отличия сигналов: пачка эхо-сигналов от целей, находящихся в зонах неоднозначного измерения дальности, отличается от пачки полезных эхо-сигналов пропусками импульсов [4]. Это позволяет использовать различные алгоритмы.

Критерий " k подряд из n ". Один из простейших способов критерийной обработки при использовании вобуляции заключается в сравнении эхо-сигналов соседних периодов и выделении совпадающих импульсов. Реализация этой идеи возможна за счет применения схемы совпадений. Одним из вариантов классификации сигналов в подобных условиях является использование обнаружителя по критерию " k подряд из n " [5]. Первый порог бинарного квантования h_0 выбирается из условия обеспечения минимума вероятности ошибочного различения импульсов сигнала и шума. Вторым порогом цифрового обнаружения k целесообразно выбрать не менее числа используемых для вобуляции периодов повторения зондирующих сигналов. Результаты обработки пачки (решения d_2, d_3) запоминаются и подаются на схему "И" объединения с основным каналом обработки.

Критерий " k из n ". Более "мягким" для критерийной обработки является применение критерия " k из n " [5]. При его использовании канал критерийной обработки состоит из порогового устройства бинарного квантования с порогом h_0 , цифрового накопителя в пределах пачки и второго порогового устройства с порогом $h_1 \cong 1,5 \cdot \sqrt{n}$. Данный критерий критичен к установке порогов. Особая точность нужна при установке первого порога, поскольку его незначительные изменения приводят к росту вероятности обнаружения целей, находящихся вне рабочей зоны РЛС, или к увеличению потерь в пороговой мощности.

Алгоритм бинарной классификации. Для пачки эхо-сигналов от целей, находящихся в зонах неоднозначного измерения дальности, можно записать статистику обнаружения $z_n^* = \sum_1^n g_i^* x_i - 0,5 S_0 \sum_1^n g_i^{*2}$, где g_i^* – весовые коэффициенты, соответствующие пачке импульсов с неоднозначным измерением дальности; S_0 – амплитуда центрального импульса пачки. Для пачки эхо-сигналов от целей, находящихся в рабочей зоне РЛС, аналогичная статистика обнаружения имеет вид $z_n^{**} = z_n - 0,5 S_0 \sum_1^n g_i^{*2}$. Значения сумм типа $0,5 \sum_1^n g_i^{*2}$ могут быть вычислены заранее и хранятся в памяти, величина z_n передается из основного канала обработки. Неопределенной в данных соотношениях является амплитуда S_0 . Для ее определения использовался метод максимального правдоподобия, согласно которому оценка равна $S_0^* = \sum_1^n g_i^* x_i / \sum_1^n g_i^{*2}$. Классификацию сигналов производят по правилу: выносится решение d_2 , если $z_n^{**} < z_n^*$, принимается решение d_3 при условии $z_n^{**} \geq z_n^*$.

Анализ качества обнаружения. Теоретический анализ устройств обнаружения вызывает серьезные математические трудности, связанные с расчётом характеристик обнаружения сигналов. Кроме того, в основном канале и канале критерийной обработки сигналы и шумы оказываются зависимыми, что также усложняет статистический анализ обнаружителя. Поэтому для сравнения качества работы различных алгоритмов критерийной обработки был проведен статистический эксперимент. Моделирование осуществлялось при следующих параметрах: вероятность ложной тревоги $F = 10^{-5}$, число импульсов в пачке $n = 16$, форма диаграммы направленности по мощности $\cos^2 \theta$, разрядность данных на входе блока ЦОС – 12, число используемых при вобуляции периодов зондирования сигналов – 2. Для определения порога обнаружения h использовался метод экстремальных статистик.

На рис. 2 представлены характеристики обнаружения сигнала со случайной начальной фазой при некогерентном накоплении в пределах пачки. На рис. 2 приняты обозначения: D – вероятность правильного обнаружения, q – отношение сигнал-шум по мощности в децибелах. Кривые 1, 2 получены при выключенном канале критерийной обработки. График 1 соответствует обнаружению целей в пределах рабочей зоны РЛС и характеризует потенциальные возможности обнаружителя при некогерентной обработке пачки импульсов; график 2 получен для эхо-сигналов от целей, расположенных за пределами однозначного измерения дальности. Сравнение данных графиков показывает, что пороговое отношение сигнал-шум для ложных целей увеличивается на 2...3 дБ, а вероятность ее обнаружения снижается. Это свидетельствует о том, что вобуляция периода повторения позволяет раздробить энергию сигнала. Различия в качестве обнаружения, как показывают графики 1 и 2, наблюдается только в области пороговых сигналов. При увеличении мощности сигнала ложной цели ($q > 12$ дБ) вероятность правильного обнаружения $D \rightarrow 1$, поэтому такие цели будут восприниматься как цели, находящиеся в пределах рабочей дистанции.

Таким образом, путем только вобуляции полностью устранить проблему неоднозначных измерений не удастся.

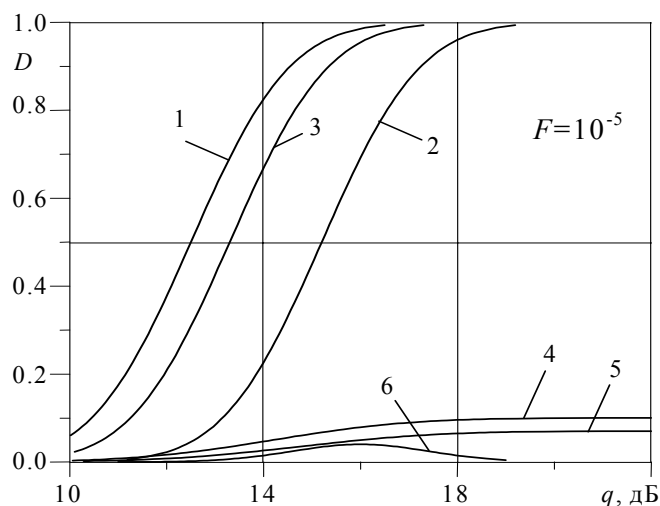


Рис. 2

Далее эксперименты проводились при включенном канале критерийной обработки. Следует заметить, что в этом режиме при неизменных параметрах основного канала обработки вероятность правильного обнаружения снижается (кривая 3, критерий " k из n ", потери пороговой мощности сигнала около 1 дБ). Кривые 4,5,6 представляют характеристики обнаружения сигналов от целей, находящихся в зонах неоднозначного измерения дальности. Они соответствуют алгоритмам работы канала критерийной обработки: 4 – метод " k подряд из n ", 5 – метод " k из n ", 6 – метод, основанный на алгоритме классификации сигналов. Как показывают графики, использование критериев " k подряд из n " и " k из n " при построении канала критерийной

обработки не позволяет полностью раскрыть неопределенность относительно измерения дальности. При увеличении отношения сигнал-шум вероятность обнаружения целей, расположенных за пределами максимальной однозначно измеряемой дальности, остается постоянной конечной величиной ($D = \text{const}$ при $q \rightarrow \infty$). Алгоритм классификации сигналов имеет конечную вероятность обнаружения ложных целей только в области пороговых сигналов. При $q \rightarrow \infty$ вероятность $D \rightarrow 0$. Потери в пороговой мощности полезных сигналов (от целей в пределах рабочей зоны) составляют 0,02...0,1 дБ (в пределах точности проведения эксперимента).

Заключение. Результаты моделирования на ЭВМ показали, что среди приведенных алгоритмов работы канала критерийной обработки наиболее предпочтительным является алгоритм, основанный на бинарной классификации сигналов. Он удовлетворяет требованиям практики, как по потерям в пороговой мощности сигнала, так и по вероятности устранения неоднозначности отсчета дальности.

Литература

1. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
2. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Л: Гидрометеоздат, 1988. – 588 с.
3. Радиолокационные измерители дальности и скорости. Т.1. В.И.Меркулов, А.И.Перов, В.Н.Саблин и др. Под ред. В.Н.Саблина. – М.: Радио и связь, 1999. – 420 с.
4. Sosulin Yu.G., Kostrova T.G., Kostrov V.V. Suppression of Second Scan Stroke Echo Signals in Pulsed Surveillance Radar // Proc. German Radar Symp., Bonn, Germany. September 3-5, 2002. – Pp.449-453.
5. Клюев Н.Ф. Обнаружение импульсных сигналов с помощью накопителей дискретного действия. – М.: Сов. радио, 1963. – 112 с.

