

В.В. ЖИРНОВ, канд. техн. наук, В.С. КОМИСАРУК, Л.З. САХНОВСКАЯ

ВЫБОР АДАПТИВНОГО ПОРОГА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ МНОГООБЗОРНОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ В ОБЗОРНЫХ РЛС

При принятии решения о наличии цели на фоне нестационарных мешающих отражений, как правило, возникают ситуации, когда гипотеза об отсутствии сигнала сложная, т.е. имеет место непараметрическая неопределенность относительно помехи. При этом одной из основных проблем становится стабилизация уровня вероятности ложных тревог. Если вероятность ложной тревоги нестабильна, то с ее ростом возможна перегрузка устройств вторичной обработки, что приводит к появлению ложных целей. Снижение вероятности ложных тревог сопровождается снижением вероятности правильного обнаружения и может привести к потере полезных целей. Вероятность ложной тревоги зависит от вида и параметров распределения помех, которые в рассматриваемом случае переменны. Такой ситуации соответствует помеховая обстановка при наличии сосредоточенных в пространстве дискретных мешающих отражений (ДМО) от неоднородностей атмосферы типа «ангел-эхо». Для этой группы помех характерны как временная нестационарность, исчисляемая обычно несколькими периодами обзоров, так и пространственная неоднородность, определяемая долями элемента разрешения обзорной РЛС.

В данной ситуации ищут правило или метод, при использовании которых вероятность ложной тревоги становится не зависящей ни от математического ожидания m , ни от дисперсии σ^2 распределения выборки помехи, т.е.

$$\int_{x_1} P_n(x/m, \sigma^2) dx = F_{\text{зад}}, \quad (1)$$

где x_1 — критическая область, соответствующая принятию решения о наличии полезного сигнала; $P_n(x/m, \sigma^2)$ — плотность распределения выборки помехи; $F_{\text{зад}}$ — заданный уровень вероятности ложной тревоги.

необходимо обеспечить оценки среднего значения и дисперсии межобзорных флуктуаций помехи и на их основе отслеживать порог принятия решения, удовлетворяющий (1).

Известны частные решения этой проблемы для наземных РЛС обзора пространства путем формирования усредненной карты мешающих отражений от земной поверхности в оперативном запоминающем устройстве. Информация о средних уровнях мешающих отражений для каждого элемента разрешения хранится в памяти, по мере поступления новых данных в последующих обзорах организуется коррекция карты мешающих отражений. Порог принятия решения устанавливается для каждого элемента обработки на основе среднего уровня мешающих отражений. Этот метод эффективен при подавлении отражений от земной поверхности, имеющих низкий коэффициент черезобзорных флуктуаций.

Наличие участков земной поверхности с высоким коэффициентом черезобзорных флуктуаций отражений и сильно флуктуирующих ДМО типа «ангел-эхо» вынуждает для достижения требуемой вероятности ложных тревог повышать порог принятия относительно среднего значения. Это приводит к снижению вероятности обнаружения малозаметных целей на фоне слабофлуктуирующих мешающих отражений.

Для повышения эффективности методов многообзорной обработки предлагается производить статистическую оценку среднего значения и дисперсии черезобзорных выборок сигналов от мешающих отражений и на их основе устанавливать адаптивный порог принятия решения для каждого элемента обработки. В качестве состоятельных, несмещенных оценок \hat{m} и $\hat{\sigma}^2$ используем выборочное среднее и исправленную выборочную дисперсию:

$$\hat{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i ; \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{m})^2, \quad (3)$$

где n — количество анализируемых обзоров; i — номер обзора; V_i — значения амплитуды отраженного сигнала в i -м обзоре.

Структура устройства многообзорной обработки, реализующего данное предложение, показана на рис. 1. Информация обрабатывается

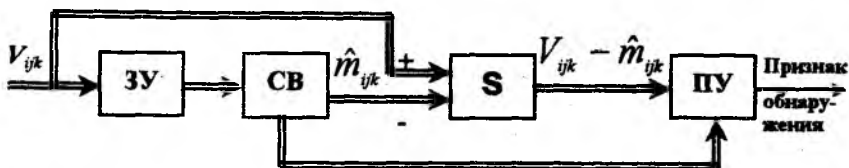


Рис. 1

в цифровом виде, для чего в качестве входного используется сигнал с выхода цифрового селектора движущихся целей (СДЦ) или сигнал амплитудного канала после аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Запоминающее устройство (ЗУ) необходимо для хранения карт эхо-сигналов за n последовательных обзоров.

В спецвычислителе (СВ) на основе этих карт по алгоритмам реализации соотношений (2) и (3) рассчитываются оценки \hat{m}_{ijk} и $\hat{\sigma}_{ijk}^2$ для каждого элемента обработки (i, j — номера элементов обработки по дальности и азимуту). Оценка среднего значения и входной сигнал подаются на сумматор. Сигнал разности $V_{ijk} - \hat{m}_{ijk}$ с выхода сумматора поступает на вход порогового устройства (ПУ). Уровень порога обнаружения в данном устройстве устанавливается для каждого элемента обработки на основе текущей оценки дисперсии межобзорных флуктуаций мешающих отражений $\hat{\sigma}_{ijk}^2$. Признак обнаружения для каждого элемента обработки появляется на выходе ПУ при выполнении неравенства

$$V_{ijk} - \hat{m}_{ijk} > C \hat{\sigma}_{ijk}^2, \quad (4)$$

где C — коэффициент, устанавливаемый исходя из требуемого уровня вероятности ложных тревог для различных вариантов обработки радиолокационной информации.

Реализация устройства в соответствии со структурной схемой, изображенной на рис. 1, в настоящее время затруднена, так как требуется ЗУ большого объема и быстродействующий СВ. Поэтому для упрощения реализации устройства предлагается формировать усредненную карту помех и

■ дисперсий с помощью рекурсивных фильтров в соответствии с рекуррентными соотношениями*

$$\hat{m}_{ijk} = \hat{m}_{i-1,jk} + K_1(V_{ijk} - \hat{m}_{i-1,jk}); \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_{ijk}^2 = \hat{\sigma}_{i-1,jk}^2 + K_2[(V_{ijk} - \hat{m}_{i-1,jk})^2 - \hat{\sigma}_{i-1,jk}^2]; \quad (6)$$

Структурная схема устройства многообзорной обработки реализующего алгоритм представлена на рис. 2. Формирование усредненной карты помех в соответствии с выражением (5) реализуется с помощью сумматоров 1 и 4, умножителя 2 и верхней половины ЗУ 7. Для формирования карты дисперсий в соответствии с выражением (6) используются сумматоры 5 и 11, умножитель 8, нижняя часть ЗУ 7 и устройство 3 возведения в квадрат разности $V_{ijk} - \hat{m}_{ijk}$.

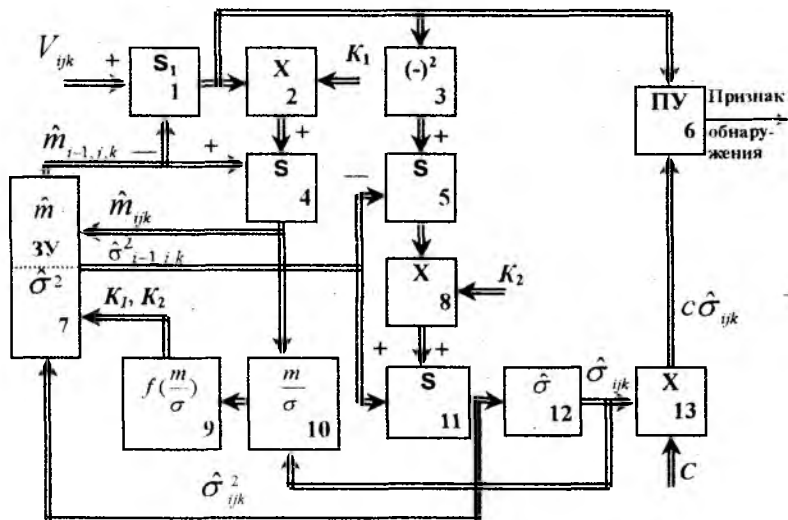


Рис. 2

* Лесин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. 320 с.

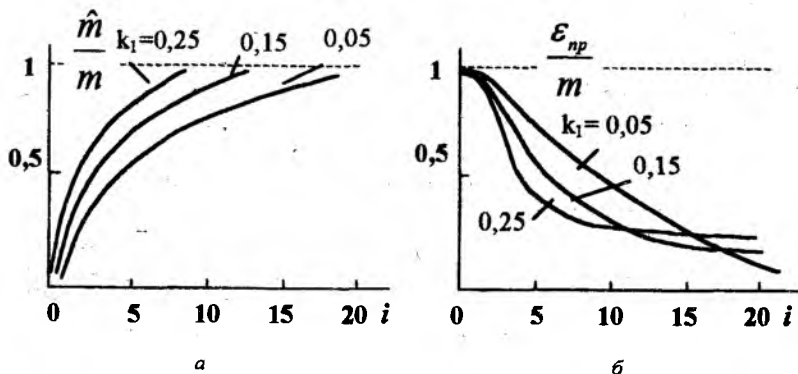


Рис. 3

Сигнал разности $V_{ijk} - \hat{m}_{ijk}$ с выхода сумматора 1 подается на пороговое устройство 6, где в качестве порога выступает величина, пропорциональная среднеквадратическому отклонению амплитуд для каждого элемента обработки $C_{\sigma_{ijk}}$ (получена с помощью преобразователя 12 и умножителя 13).

Коэффициенты K_1 и K_2 устанавливаются с помощью делителя 9 и преобразователя 10, в пределах от 0,05 до 0,25, исходя из требуемых значений быстродействия и точности отслеживания отношения m/σ^2 . Эти коэффициенты определяют постоянные времена рекурсивных фильтров τ_p и предельные значения ошибок ϵ_{np} при оценке m и σ^2 , например

$$\tau_{pm} \approx iT_{\text{обз}} = \frac{1}{K_1} T_{\text{обз}}.$$

Переходные характеристики формирования усредненной карты помех при различных значениях коэффициентов K_1 показаны на рис. 3, а. На рис. 3, б представлены зависимости предельных значений ошибок m от количества анализируемых обзоров i при различных значениях коэффициента K_1 . Требования к быстродействию и точности отслеживания m и σ^2 определяются частотами медленных флуктуаций мешающих отражений, которые, в свою очередь, зависят от условий распространения радиоволн, типа и режима работы РЛС. С повышением частоты

ты медленных флуктуаций необходимо увеличивать коэффициенты сглаживания K_1 и K_2 .

Для сравнительной оценки устройств многообзорной обработки с адаптивным и фиксированным порогами принятия решений проведен анализ результатов исследования черезобзорных флуктуаций отражений от земной поверхности. При этом для случая, когда среднеквадратическое отклонение значений черезобзорных выборок относительно среднего значения для разных элементов обработки лежит в пределах $0,8 \dots 2,4$ дискрет, для обеспечения заданной вероятности ложных тревог необходимо установить порог принятия решения на уровне $2,4 \dots 7,2$ (3σ) дискрет. Тогда для обеспечения заданной вероятности ложных тревог в устройстве с фиксированным порогом значение порога близко к максимальному уровню (около 60). Так как отражения от большей части участков подстилающей поверхности имеют небольшие дисперсии, использование адаптивного порога позволит установить для этих участков порог принятия решения на $8 \dots 13$ дБ ниже по сравнению со случаем использования фиксированного порога.

Таким образом, применение в устройствах многообзорной обработки адаптивного порога принятия решения позволит повысить вероятность обнаружения и проводки малоразмерных целей на фоне нестационарных мешающих отражений.

*Харьковский государственный технический
университет радиозлектроники*

Поступила в редколлегию 29.01.99.