

## **ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В СИНХРОННОЙ СЕТИ СИСТЕМ ПЕРВИЧНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ С ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ПОДСВЕТОМ**

А.Д. Флоров, И.И. Обод, О.В. Гаврентюк, И.В. Коваль  
(Харьковский университет Воздушных Сил)

*Приводится сравнительный анализ потенциальных показателей качества обнаружения воздушных целей при двух подходах к построению автоматических обнаружителей воздушных целей в синхронной сети с телевизионным подсветом.*

*потенциальные показатели качества, воздушные цели, синхронная сеть*

**Постановка проблемы.** Информационное обеспечение, базирующееся на системах первичной и вторичной радиолокации, в значительной степени определяет решение задач, стоящих перед Воздушными Силами. Однако последние военные конфликты показали, что первичный совмещенный радиолокатор превратился из информационного средства в источник опасности. Действительно, радиоразведка местоположения радиолокатора, как источника излучения зондирующих сигналов, из-за пределов его зоны видимости и нанесение огневого удара не оставляет шансов для радиолокатора. Основными методами защиты от огневого воздействия являются: снижение импульсной мощности излучаемых сигналов, путем перехода к сигналам с большой временной базой; использование методов разнесенной радиолокации.

Первый из методов не всегда применим в обзорных радиолокаторах, из-за требования значительного увеличения временной базы излучаемых сигналов. Во втором методе в качестве излучающего пункта можно использовать как отдельный передающий пункта, а также использовать сигналы внешнего подсвета, в качестве которых можно использовать излучения телевизионных передатчиков, передатчиков навигационных систем наземного и космического базирования и т.д.

Объединение ведомственных информационных средств в единую информационную сеть (ЕИС), как показано в [1], позволяет разрешить некоторые проблемы раздельного существования информационного обеспечения. Создание ЕИС немыслимо без рассмотрения вопросов автоматического обнаружения воздушных целей. Это касается и синхронных сетей систем первичной радиолокации с телевизионным подсветом.

**Цель статьи** – сравнительный анализ показателей качества обнаружения воздушных целей в синхронной сети систем первичной радиолокации с телевизионным подсветом при различной реализации автоматических обнаружителей-измерителей координат воздушных целей.

**Основная часть.** Рассмотрим синхронную сеть систем первичной радиолокации с телевизионным подсветом, состоящую из  $N$  телевизионных передатчиков, каждый из которых излучает  $m$  сигналов. На приемном пункте синхронной сети систем первичной радиолокации осуществляется синхронный прием возможных эхо-сигналов, вызванных каждым из  $z = mN$  сигналов подсвета. Структура обнаружителя воздушных целей может быть двоякой. Первая: в каждом из каналов обработки осуществляется обнаружение воздушных целей, и затем межканальное объединение (первый вариант). Вторая: объединение сигналов каждого из каналов обработки и затем обнаружение воздушной цели по результатам межканального объединения сигналов (второй вариант).

В каждом из каналов приема принимаемые сигналы после линейной обработки и детектирования сравниваются в пороговом устройстве (ПУ) с порогом. После ПУ на дальнейшую обработку поступает реализация  $x_{ij} = 1$ , если в элементе временного разрешения  $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, N})$ , соответствующем анализируемому пространственному разрешению, произошло превышение порога; если же не произошло, то  $x_{ij} = 0$ . Для принятия решения о наличии или отсутствии сигнала при совместной межканальной обработке обрабатывается совокупность нулей и единиц  $x_{ij}$ . Очевидно, что  $x_{ij}$  – случайная величина, подчиняющаяся распределению Бернулли

$$P(x_{ij}) = P_{ij}^{x_{ij}} (1 - P_{ij})^{1-x_{ij}}, \quad (1)$$

где  $P_{ij}$  – вероятность превышения порога в  $i$ -м канале обработки. В отсутствие сигнала  $P_{ij} = F_{ij}$  – вероятность ложной тревоги, а при воздействии сигнала  $P_{ij} = D_{ij}$  – вероятность обнаружения.

Задачу обработки сигналов можно рассматривать в различных постановках. Действительно в рассматриваемом обнаружителе возможно управление напряжением порога срабатывания выходного ПУ, а также напряжением порога канальных ПУ. Рассмотрим характеристики обнаружителя при управлении величиной порога только на выходном ПУ.

Предположим, что на вход устройства совместной обработки принимаемых сигналов поступает совокупность случайных величин  $x_{ij}$ . Совместные распределения вероятностей всех возможных комбинаций  $x_{ij}$  как в отсутствие, так и при наличии сигнала (гипотезы  $H_0$  и  $H_1$ ), т.е.

$P(x_{ij}|H_0)$  и  $P(x_{ij}|H_1)$  произвольны, но известны. Для каждой конкретной совокупности  $x_{ij}$  сформируем отношение правдоподобия

$$\Lambda = P(x_{ij}|H_1)/P(x_{ij}|H_0). \quad (1)$$

Сравнение  $\Lambda$  с порогом, определенным по допустимой вероятности ложной тревоги, обеспечивает оптимальное по критерию Неймана-Пирсона решение о наличии или отсутствии сигнала.

Из-за независимости шумов в каналах обработки можно записать

$$P(x_{11}, \dots, x_{mN}|H_0) = \prod_{i=1, j=1}^{m, N} P(x_{ij}|H_0) = \prod_{i=1, j=1}^{m, N} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (2)$$

При воздействии сигнала превышение порогов в каналах обработки – независимые события. Тогда можно записать, что

$$P(x_{11}, \dots, x_{mN}|H_1) = \prod_{i=1, j=1}^{m, N} P(x_{ij}|H_1) = \prod_{i=1, j=1}^{m, N} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) выражение (1) можно записать как

$$\Lambda = \prod_{i=1, j=1}^{m, N} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}} / \prod_{i=1, j=1}^{m, N} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (4)$$

Прологарифмировав (4), получаем

$$L = \ln \Lambda = \sum_{i=1, j=1}^{m, N} x_{ij} (\ln D_{ij} - \ln F_{ij}) + (1 - x_{ij}) [\ln(1 - D_{ij}) - \ln(1 - F_{ij})]. \quad (5)$$

Если обозначить множители при  $x_{ij}$

$$Q_{ij} = \ln D_{ij} - \ln F_{ij} - \ln(1 - D_{ij}) + \ln(1 - F_{ij}) = \ln(D_{ij}(1 - F_{ij}) / (1 - D_{ij})F_{ij}) \quad (6)$$

и отбросить слагаемые, не зависящие от  $x_{ij}$ , получаем оптимальный по критерию Неймана-Пирсона алгоритм обнаружения при объединении предварительных решений всех каналов обработки посадочного радиолокатора

$$L = \sum_{i=1, j=1}^{m, N} Q_{ij} x_{ij} \stackrel{>}{<} z_0, \quad (7)$$

где  $z_0$  – порог, определяемый вероятностью  $F$ .

Следовательно, совместная обработка сигналов сводится к весовому суммированию единиц и нулей  $x_{ij}$ , отражающих принятые в пассивном и активном каналах обработки предварительные решения. Весовые коэффициенты (6) повышают роль того канала обработки, где выше вероятность  $D_{ij}$  и ниже вероятность  $F$ . Вышеизложенное позволяет изобразить структуру обнаружителя в виде, представленном на рис. 1.

Поскольку  $x_{ij}$  равны 0 или 1, то левая часть (7) представляет собой сумму  $n < mN$  весовых коэффициентов  $Q_{ij}$ , а значит, может принимать лишь определенные дискретные значения. Значение порога  $z_0$  в этом случае может лежать в пределах  $0 < z_0 < \sum_{i=1, j=1}^{m, N} Q_{ij}$ , чтобы, с одной стороны, не принималось всегда тривиальное решение об обнаружении, а с другой – тривиальное решение о необнаружении. Если все  $Q_{ij}$  различны и сумма любой группы  $Q_{ij}$  не совпадает с суммой любой другой их группы, то при различных комбинациях значений  $x_{ij}$  для рассматриваемого случая возможны три различных правила обнаружения.

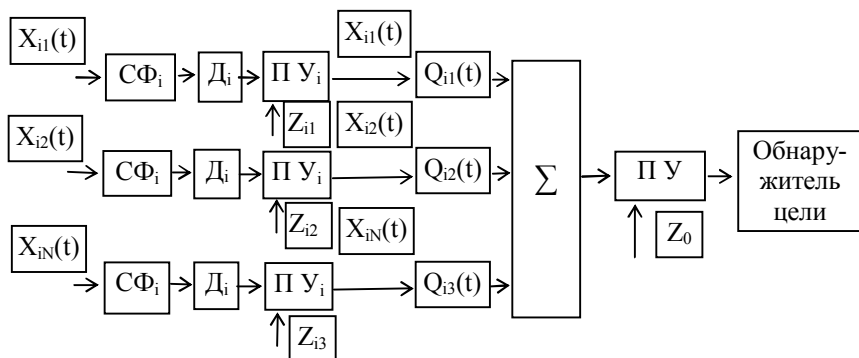


Рис. 1. Структура обнаружителя

При фиксированных вероятностях предварительных решений в каналах обработки  $F_i$  и  $D_i$ , разные решающие правила дают разные значения вероятностей  $F$  и  $D$ . Чтобы выбрать оптимальное правило, т.е. порог  $z_0$  в (7), получим выражения для вероятностей ложной тревоги  $F$  и обнаружения  $D$ . Так как  $x_{ij}$  подчиняются распределению Бернулли (1) с плотностью  $W(x_{ij}) = P_{ij}\delta(x_{ij} - 1) + (1 - P_{ij})\delta(x_{ij})$ , то для случайной величины  $z_{ij} = Q_{ij}x_{ij}$  получим плотность вероятности и характеристическую функцию в виде  $W(z_{ij}) = P_{ij}\delta(z_{ij} - Q_{ij}) + (1 - P_{ij})\delta(z_{ij})$ ;  $\Theta(u) = P_{ij} \exp(juQ_{ij}) + (1 - P_{ij})$ .

Характеристическая функция  $L$  – суммы независимых величин (7)

$$\Theta_L(u) = \prod_{i,j=1}^{m,N} \Theta_{ij}(u) = \prod_{i,j=1}^{m,N} [P_{ij} \exp(juQ_{ij}) + (1 - P_{ij})]. \quad (8)$$

Обратное преобразование Фурье дает плотность вероятности  $L$

$$W_L(u) = \prod_{i,j=1}^{m,N} (1 - P_{ij}) \delta(z) + \sum_{k=1}^z \sum_{i_1=1}^{z-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^z P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \delta(z - \sum_{r=1}^k Q_{i_r}) \prod_{j=1}^z (1 - P_j). \quad (9)$$

При изменении  $k$  от 1 до  $z$  кратность суммы в (9), в общем случае, также меняется от 1 до  $z$ . Подставив в (9)  $F_i$  или  $D_i$ , и проинтегрировав его от  $z_0$  до  $\infty$  получаем вероятность ложной тревоги или обнаружения. Если большее ближайшее  $z_0$  значение суммы весовых коэффициентов содержит  $n$  слагаемых и равно  $\sum_{r=1}^k Q_{i_r}$ , то вероятность превышения порога  $z_0$  можно записать в виде

$$P = \sum_{k=n}^z \sum_{i_1=1}^{z-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^z P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \prod_{j=1}^z (1 - P_j). \quad (10)$$

Если  $F_1 = \dots F_z = F_0$  и  $D_1 = \dots D_z = D_0$ , то  $Q_1 = \dots Q_z$  и для алгоритма (10) можно записать

$$P = \sum_{n=k}^z C_m^n \tilde{P}^n (1 - \tilde{P})^{z-n}. \quad (11)$$

По выражениям (10) и (11) при заданных значениях  $F_i$ ,  $D_i$  можно вычислить выходные вероятности  $F$  и  $D$  для любого значения порога  $z_0$  и соответствующего ему решающего правила. Чем больше  $z_0$  (т.е. чем жестче решающее правило), тем меньше  $F$  и  $D$ . Алгоритм (11), оптимальный при  $Q_1 = \dots Q_z$ , несколько проще, чем (10), так как не требует анализа в каждом канале вероятностей  $F_i$  и  $D_i$  и вычисления  $Q_i$ .

Таким образом, оптимизация совместного обнаружения сигналов в ЕИС сводится к выбору для совместной обработки одного из решающих правил, удовлетворяющих алгоритму (7) и к установке одинаковых относительных порогов во всех каналах приема эхо-сигналов, обеспечивающих такие значения  $F_i$ , которые при выбранном решающем правиле дают требуемое значение результирующей вероятности  $F$ .

С выхода обнаружителя совместных сигналов последовательность нулей и единиц поступает на входы обнаружителя цели (рис. 1). Обнаружение воздушной цели осуществляется путем анализа пачки бинарно-квантованных импульсов в соответствии с алгоритмом

$$P_{ц} = \sum_{i=k}^M C_M^i P^i (1 - P)^{M-i}, \quad (12)$$

где  $k$  – порог обнаружения воздушной цели, выбираемый, как правило, равным половине числа импульсов в пачке  $M$ .

Результаты расчета условной вероятности правильного обнаружения воздушной цели при  $N = 2$ ,  $m = 2$ ,  $M = 12$  и  $F_{ц} = 10^{-6}$  представлены на рис. 2.

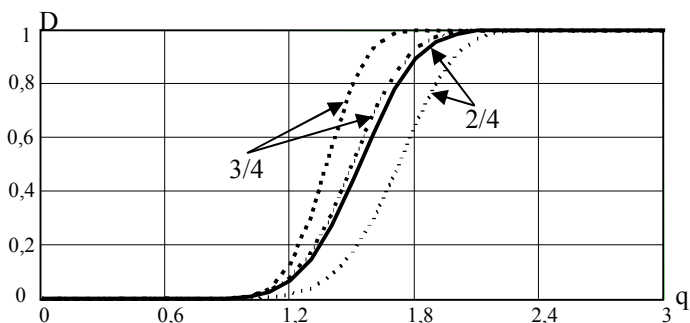


Рис. 2. Кривые вероятностей правильного обнаружения

На этом же рисунке представлены и кривые обнаружения при реализации автоматического обнаружителя воздушных целей в соответствии с первым вариантом. Сравнительный анализ представленных зависимостей показывает, что выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум предложенного обнаружителя воздушных целей (второй вариант) достигает  $\approx 0,8$  дБ по сравнению с обнаружителем, выполненным в соответствии с первым вариантом.

**Выводы.** Сравнительный анализ показателей качества обнаружения воздушных целей позволяет сделать вывод, что при построении автоматических обнаружителей воздушных целей в многопозиционных радиолокационных системах с внешним подсветом (в том числе и телевизионным), включенных в единую информационную сеть, более предпочтительно всеобщее объединение результатов обнаружения на сигнальном уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А., Обод І.І., Романенко І.О. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору. – К.: МО України, 2004. – 271 с.

Поступила 4.03.2005

**Рецензент:** доктор технических наук профессор Ю.Г. Даник,  
Национальная академия обороны Украины, Киев.