

УДК 621.396

Г.В. ХУДОВ¹, И.Н. БУТКО²¹Харьковский университет Воздушных Сил, Украина²Национальная академия обороны Украины

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЫИГРЫША ПРИ СОВМЕСТНОМ ПОИСКЕ И ОБНАРУЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ В ПАССИВНЫХ СИСТЕМАХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В статье производится оценка величины энергетического выигрыша в пассивных оптико-электронных системах наблюдения с использованием результатов оптимизации совместного поиска и обнаружения объектов.

оптико-электронное наблюдение, энергетический выигрыш

Введение

В настоящее время целый класс информационных систем используется для решения задачи поиска и обнаружения объектов в условиях ограниченного поискового потенциала [1].

В статье производится расчет энергетического выигрыша (а, следовательно, и снижение требований к энергетическому потенциалу бортового обнаружителя пассивной системы оптико-электронного наблюдения) при совместном поиске и обнаружении объектов в пассивных системах оптико-электронного наблюдения.

В работах [2, 3] предложены алгоритмы совместного поиска и обнаружения объектов наблюдения, произведена оценка эффективности алгоритмов совместного поиска и обнаружения объектов наблюдения. Получены выражения для расчета и рассчитаны условные и безусловные вероятности правильного обнаружения объектов наблюдения, среднее время до обнаружения объектов наблюдения для различных условий функционирования информационных систем наблюдения.

Цель статьи – произвести оценку энергетического выигрыша при совместном поиске и обнаружении объектов в пассивных системах оптико-электронного наблюдения.

1. Постановка задачи

В качестве исходных данных примем следующие:

- априорный закон местоположения объекта наблюдения – нормальный;
- информационная система – бортовая пассивная система оптико-электронного наблюдения.

Оценку энергетического выигрыша будем производить применительно к равномерному распределению энергетического потенциала по зоне обзора [1].

Для космической системы оптико-электронного наблюдения дальность действия бортового обнаружителя рассчитывается по формуле [1]:

$$R^2 = \frac{B_\lambda S_{об} k_{об} \tau_{ом} \tau_{атм} z_A(t) \lambda dt}{\pi P_\phi q_I^2(x_1, x_2)}, \quad (1)$$

где B_λ – спектральная плотность излучения поверхности объекта вследствие освещения ее Солнцем; $S_{об}$ – площадь проекции объекта; $k_{об}$ – коэффициент отражения объекта; $\tau_{ом}$ – коэффициент пропускания оптического тракта; $\tau_{атм}$ – коэффициент пропускания атмосферы; $z_A(t)$ – эффективная площадь использования зрачка оптической головки; λ – длина волны; k – постоянная Больцма-

на; P_ϕ – мощность излучения фона; $q_t^2(x_1, x_2)$ – параметр обнаружения.

2. Изложение материалов исследований

Зависимость параметра обнаружения в (1) от времени обусловлена особенностями совместной оптимизации поиска и обнаружения объекта, а также особенностями распространения равномерно-оптимальной стратегии поиска [2 – 4]. Выразим из (1) параметр обнаружения. Имеем

$$q_t^2(x_1, x_2) = \frac{B_\lambda S_{об} k_{об} \tau_{ом} \tau_{амм} z_A(t) \lambda dt}{\pi P_\phi R^2}. \quad (2)$$

Обозначим

$$K^2 = \frac{B_\lambda S_{об} k_{об} \tau_{ом} \tau_{амм} \lambda}{\pi P_\phi R^2}. \quad (3)$$

С учетом (3) имеем

$$q_t^2(x_1, x_2) = K^2 z_A(t) dt. \quad (4)$$

Зависимость эффективной площади использования зрачка оптической головки от времени t обусловлена необходимостью согласования ширины и формы мгновенного поля зрения с размерами текущей зоны обзора $\Omega(t)$.

Заметим, что при этом зависимость $z_A(t)$ означает закономерную пространственно-временную модуляцию принимаемых колебаний. Для обеспечения такой модуляции при поиске и обнаружении объекта по двум координатам должно быть предусмотрено изменение габаритов входного зрачка оптической головки по закону

$$z_A(t) = \frac{\lambda^2}{z(t)} R^2. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) для случая совместного поиска и обнаружения объекта по двум координатам получим

$$q_t^2(x_1, x_2) = K_2 \int_0^t \frac{dt}{z(t)}, \quad (6)$$

где $K_2 = K^2 \lambda^2 R^2$ – константа, не влияющая на проведение совместного поиска и обнаружения объекта, определяемая тактико-техническими характеристиками бортовых обнаружителей, излучательными характеристиками объектов поиска и обнаружения, статистическими характеристиками сигналов на входе обнаружителя, дальностью действия и другими характеристиками.

Для пассивной системы оптико-электронного наблюдения можно записать обобщенное выражение для расчета параметра обнаружения. Для равномерного закона распределения имеем

$$q_1^2 = K^2 \int_0^T z_A(t) dt. \quad (7)$$

Подставляя (5) в (7), получим

$$q_1^2 = K_2 \int_0^T \frac{1}{z(t)} dt. \quad (8)$$

Для равномерного закона, выражение (8) преобразуем к виду

$$q_1^2 = K_2 \int_0^T \frac{1}{st} dt. \quad (9)$$

В случае, когда плотность распределения местоположения объекта наблюдения задается в виде нормального закона для пассивных систем оптико-электронного наблюдения, после проведения вычислений, аналогичных проведенным при получении выражений (7) – (9), получим

$$q_2^2 = K_2 \int_0^T \frac{1}{(2\pi\sigma^2 st)^{\frac{1}{2}}} dt. \quad (10)$$

Оценим величину выигрыша в энергетическом отношении сигнал/шум. Для этого найдем отношение выражений (10) и (9). Имеем

$$K_q = \frac{q_2^2}{q_1^2} = \frac{\int_0^T \frac{1}{(2\pi\sigma^2 st)^{\frac{1}{2}}} dt}{\int_0^T \frac{1}{st} dt}.$$

В результате интегрирования получаем

$$K_q = \frac{\frac{1}{(2\pi\sigma^2\dot{s})^{\frac{1}{2}}} t^{\frac{1}{2}} \Big|_0^T}{\frac{1}{\dot{s}} \ln(t) \Big|_0^T}. \quad (11)$$

Для раскрытия возникшей неопределенности воспользуемся правилом Лопиталя, после применения которого получим

$$K_q \Big|_{t \rightarrow 0} = \frac{\frac{1}{\dot{s}^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{2} t^{-\frac{3}{2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \frac{T^{\frac{1}{2}}}{2} - \frac{1}{2} t^{-\frac{3}{2}}} = \frac{(\dot{s}T)^{\frac{1}{2}}}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{1}{2}}}. \quad (12)$$

В выражении (12) $\dot{s}T$ – площадь исходной зоны обзора Ω :

$$\dot{s}T = m(\Omega),$$

а T – общее время, отведенное на поиск и обнаружение объекта.

Величина $2\pi\sigma^2$ эквивалентна априорному закону распределения площадь зоны поиска и обнаружения, т.е.

$$2\pi\sigma^2 = S_{экр}.$$

Окончательно найдем

$$K_q = \frac{q_2^2}{q_1^2} = \sqrt{\frac{m(\Omega)}{S_{экр}}}. \quad (13)$$

Из выражения (13) следует, что при совместной оптимизации поиска и обнаружения объектов наблюдения требования к энергетическому параметру обнаружения, а, следовательно, к энергетическому потенциалу бортового обнаружителя пассивной системы оптико-электронного наблюдения могут быть снижены в корень квадратный раз из числа, показывающего, во сколько сократится зона поиска и обнаружения за счет учета априорной информации о местоположении объекта наблюдения.

Выводы и направления дальнейших исследований

1. При совместной оптимизации поиска и обнаружения объектов наблюдения требования к энергетическому параметру обнаружения, а, следовательно, и к энергетическому потенциалу бортового обнаружителя пассивной системы оптико-электронного наблюдения, могут быть снижены в корень квадратный раз из числа, показывающего, во сколько сократится зона поиска и обнаружения за счет учета априорной информации о местоположении объекта наблюдения.

2. Полученные результаты необходимо распространить на случай поиска объектов в системах радиоэлектронного наблюдения, а также на видовых изображениях.

Литература

1. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності. Досвід, проблемні питання і тенденції / Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'яковський, В.Б. Толубко. – К.: НАО України, ЖВІРЕ, 2002. – 207 с.
2. Худов Г.В. Особенности оптимизации двухальтернативных решений при совместном поиске и обнаружении объектов // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 5. – С. 51 – 59.
3. Голкин Д.В., Худов Г.В. Совместная байесовская оптимизация поиска и обнаружения объектов в радиолокационных системах // Успехи современной радиоэлектроники. – 2003 – № 11. – С. 23 – 32.
4. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска. – М.: Наука, 1985. – 248 с.

Поступила в редакцию 26.11.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкин, Харьковский университет Воздушных Сил, Харьков.