УДК 621.396

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСОВОГО МНОЖИТЕЛЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ДВУХАЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СОВМЕСТНОГО ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

к.т.н. Г.В. Худов
(представил д.т.н., проф. Д.В. Голкин)

Уточняется весовой критерий оптимальности обнаружения объекта при совместной оптимизации поиска и обнаружения в текущей зоне обзора с учетом дифференциальных характеристик среднего риска. Получено выражение для отношения правдоподобия в текущей зоне обзора. Приведен пример вычисления весового множителя при принятии двухальтернативных решений.

Постановка проблемы в общем виде. В настоящее время целый класс информационных систем используется для решения задачи поиска и обнаружения объектов в условиях ограниченного поискового потенциала [1 – 3]. В статье приводится пример вычисления весового множителя при оптимизации двухальтернативных решений в задачах совместного поиска и обнаружения объектов.

Анализ последних достижений и публикаций. Известные результаты решения оптимизационных задач обнаружения объектов сводятся к классической процедуре сравнения условного отношения правдоподобия с порогом [4, 5]. При этом достижения теории поиска не учитываются, а априорная информация о местоположении объекта в зоне поиска характеризуется интегральным показателем – вероятностью наличия или отсутствия объекта во всей зоне поиска в целом. Приведенные в работе [6] методы оптимизации рассматривают поиск и обнаружение как единую задачу только в постановочном плане, решения получены для отдельных составляющих поставленной задачи.

Рассмотрим особенности оптимизации двухальтернативных решений при совместном поиске и обнаружении объектов с учетом специфики функционирования информационных систем.

Постановка задачи и изложение материалов исследований. Характерной особенностью решения задач поиска и обнаружения объектов для целого класса информационных систем является учет вероятности наличия объекта в зоне поиска. С учетом этой особенности можно записать следующие условия:

$$\int\limits_{\Omega(t)} u(x)\,dx + \int\limits_{\Omega(t)} \tilde{u}(x)\,dx = 1; \qquad (1)$$

$$\int\limits_{\Omega(t)} u(x)\,dx \to P_1, \text{ при } t \to T; \qquad (2)$$

$$\int\limits_{\Omega(t)} \tilde{u}(x)\,dx \to 1 - P_1, \text{ при } t \to T, \qquad (3)$$

где $u(x)$ – априорная плотность вероятности местоположения объекта в заданной зоне поиска Ω по пространственным координатам x; $\tilde{u}(x)$ – априорная плотность вероятности отсутствия объекта в заданной зоне поиска Ω по пространственным координатам x; $\Omega(t)$ – текущая зона обзора, удовлетворяющая условиям $\Omega(t) \to \Omega$ при $t \to T$, где T – время обзора заданной зоны Ω [7], рис. 1; t – текущее время; P_1 – априорная вероятность наличия объекта в текущей зоне обзора $\Omega(t)$.

Поставим задачу нахождения оптимального байесовского критерия совместного поиска и обнаружения объектов в текущей зоне обзора $\Omega(t)$ с учетом условий (1) – (3). В качестве критерия эффективности принятия решения выберем байесовский критерий минимума среднего риска [4, 5]. Среднее значение риска может быть найдено как [7]:

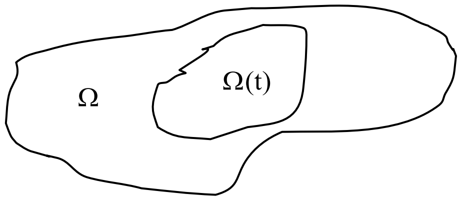

Рис. 1. Соотношение текущей зоны обзора $\Omega(t)$ и зоны поиска Ω

$$R(t) = \Pi_{01} \int\limits_{\Omega(t)} P(\gamma_1 / H_0, x)\,\tilde{u}(x)\,dx + \Pi_{10} \int\limits_{\Omega(t)} P(\gamma_0 / H_1, x)\,u(x\,dx. \qquad (4)$$

Выполняя вычисления, аналогичные [4, 5, 7], с учетом (1) – (3), получим следующее условие нахождения оптимального решающего правила $\hat{A}(y)$, обеспечивающего минимум среднего риска при принятии решения об обнаружении объекта в текущей зоне обзора $\Omega(t)$ зоны поиска Ω:

$$\int\limits_{Y} \int\limits_{\Omega(t)} \hat{A}(y) W(y / H_0) \tilde{u}(x) (l(y,t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0)\,dx\,dy \Rightarrow \max, \qquad (5)$$

где $l(y,t) = \dfrac{W(y/H_1)}{W(y/H_0)}$ – условное отношение правдоподобия, характеризующее правдоподобность гипотез о наличии и отсутствии сигнала от объекта на момент времени t при приеме реализации $\mathbf{Y}$; $l_0 = \dfrac{\Pi_{01}}{\Pi_{10}}$ – некоторый весовой множитель; Π_{01}, Π_{10} – элементы матрицы потерь за неправильно принятые решения.

Проанализируем выражение (5). Поскольку плотность вероятности $W(y/H_0)$ и плотность вероятности отсутствия объекта в области $\Omega(t)$ зоны поиска Ω $\tilde{u}(x)$ – неотрицательные величины, наибольшее значение взвешенной разности достигается при наибольших значениях произведения $\hat{A}(y)\left(l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0\right)$ для каждого возможного значения $y(t)$. Значения произведений для возможных значений $\hat{A} = 1$ и $\hat{A} = 0$ равны соответственно $l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0 > 0$ и 0. Если $l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} > l_0$, то большим является значение $l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0$, достигаемое при решении $\hat{A}(y) = 1$, предпочтительном в данном случае. Если $l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} < l_0$, то большим является значение 0, достигаемое при решении $\hat{A}(y) = 0$. Если $l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} = l_0$, то выбор решения $\hat{A}(y)$ несущественен. Условие оптимизации при двухальтернативной проверке гипотез в текущей зоне $\Omega(t)$ зоны поиска Ω принимает вид:

$$\hat{A}(y) = \begin{cases} 1, \text{ если } & l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} > l_0; \\ 0, \text{ если } & l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)} < l_0. \end{cases} \qquad (6)$$

Таким образом, для выработки оптимального решения в текущей зоне обзора $\Omega(t)$ на момент времени t после приема многомерной реализации $\mathbf{Y}$ вычисляется условное отношение правдоподобия $l(y,t)$ и весовой множитель $\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$. Взвешенное условное отношение правдоподобия $l(y,t)\dfrac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$ сравнивается с пороговым уровнем l_0. Если оно ниже порога, принимается гипотеза H_0, в противном случае – гипотеза H_1. Такое решение обеспечивает на момент времени t минимум среднего риска (4) и максимум разностного весового критерия (5).

Рассмотрим более подробно весовой множитель $\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$. Введем обозначение $P(\Omega(t)) = \int\limits_{\Omega(t)} u(x)\,dx$ – вероятность нахождения объекта в текущей зоне обзора $\Omega(t)$ на момент времени t.

Из условия (1) с учетом условий (2), (3) получим следующее выражение для весового множителя:

$$\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} = \frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))}. \tag{7}$$

С учетом (7) выражение условия оптимизации при двухальтернативной проверке гипотез в текущей зоне обзора $\Omega(t)$ зоны поиска Ω (6) принимает вид:

$$\hat{A}(y) = \begin{cases} 1, \text{ если } l(y,t)\dfrac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))} > l_0; \\ 0, \text{ если } l(y,t)\dfrac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))} < l_0. \end{cases}$$

Таким образом, для выработки оптимального решения в текущей зоне обзора $\Omega(t)$ на момент времени t после приема многомерной реализации $\mathbf{Y}$ должно быть вычислено условное отношение правдоподобия $l(y,t)$ и весовой множитель $\frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))}$. Взвешенное условное отношение правдоподобия $l(y,t)\frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))}$ сравнивается с пороговым уровнем l_0. Если оно ниже порога, принимается гипотеза H_0, в противном случае – гипотеза H_1. Такое решение обеспечивает на момент времени t минимум среднего риска (4) и максимум разностного весового критерия (5).

Для примера рассмотрим зависимость весового множителя (7) от вероятности $P(\Omega(t))$, график которой показан на рис. 2.

Выводы и направления дальнейших исследований. 1. Весовой критерий оптимальности обнаружения объекта в текущей зоне обзора: при проверке простой гипотезы против простой альтернативы при совместном поиске и обнаружении объекта необходимо осуществлять классическую процедуру сравнения с порогом условного отношения правдоподобия $l(y,t)$, взвешенного с весовым множителем $\frac{P(\Omega(t))}{1-P(\Omega(t))}$, который учитывает особенности стратегии поиска.

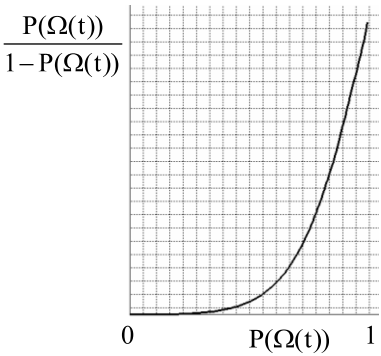

Рис. 2. Зависимость весового множителя от вероятности нахождения объекта в текущей зоне поиска

2. В дальнейших исследованиях необходимо получить выражения для стратегии поиска объекта, определить класс стратегий поиска, разработать практические рекомендации по вычислению весового коэффициента в зависимости от характера решаемых задач и особенностей информационных систем различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності. Досвід, проблемні питання і тенденції / Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'ясковський, В.Б. Толубко. – К.: НАОУ, ЖВІРЕ, 2002. – 207 с.*
2. *Радиолокация поверхности Земли из космоса / Под ред. Л.М. Митника, С.В. Викторова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 200 с.*
3. *Сазонов Н.А., Щербинин В.Н., Ярушкин М.М. Алгоритм формирования радиолокационного изображения в авиационно-космической двухпозиционной РСА // Радиотехника. – 2000. – № 4. – С. 71 – 77.*
4. *Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 654 с.*
5. *Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.*
6. *Васильев О.В., Меркулов В.И., Карев В.В. Управляемый радиолокационный поиск воздушных целей // Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 1. – С. 49 – 61.*
7. *Голкин Д.В., Худов Г.В. Постановка задачи совместной байесовской оптимизации поиска и обнаружения объектов в радиолокационных системах // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 6(22). – С. 383 – 389.*

Поступила 7.07.2003

ХУДОВ Геннадий Владимирович, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, докторант ХВУ. В 1991 году окончил ЖВУРЭ ПВО. Область научных интересов – поиск и обнаружение объектов в сложных информационных системах.*