

К. т. н. И. Ю. ГРИШИН

Украина, г. Ялта, Крымский государственный гуманитарный ун-т
E-mail: igrishin@ukr.netДата поступления в редакцию
23.02 — 16.07 2009 г.Оппонент д. т. н. С. М. СМОЛЬСКИЙ
(ИРЭ МЭИ, г. Москва)ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОИСКА
НЕИЗВЕСТНОГО КОЛИЧЕСТВА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Предлагается метод оптимального управления РЛС в режиме обнаружения движущихся объектов в условиях стохастической неопределенности, позволяющий существенно сократить среднее время их поиска.

Современные радиолокационные системы, оснащенные фазированными антенными решетками (ФАР), обладают повышенным энергетическим и информационным потенциалом по сравнению с радиолокаторами предыдущих поколений, производящими круговой или секторный обзор вращающимися антеннами. Обслуживание объектов, находящихся в зоне обзора, начинается с обнаружения этих объектов. Чем раньше будет обнаружен объект, тем больше времени может быть выделено на его эффективное обслуживание в других режимах (сопровождение, наведение). Поэтому разработка методов оптимального управления современными радиолокационными системами (РЛС) в режиме обнаружения объектов является актуальной проблемой.

Теория поиска движущихся объектов берет начало в работах Купмана [1]. Позже появился ряд работ [2—4], посвященных различным аспектам этой теории, однако особенности современных радиолокационных систем в них не могли быть учтены. Представляет интерес применение данной теории к современным радиолокационным средствам, оснащенным ФАР и позволяющим реализовывать более гибкие стратегии поиска движущихся объектов.

Статья посвящена разработке метода оптимального управления современной радиолокационной системой с ФАР, который позволит минимизировать время поиска движущихся объектов в зоне обзора.

В настоящей работе предлагается подход, связанный с дискретизацией процесса обнаружения движущихся объектов как по времени, так и по состоянию. Он заключается в том, что на конечном множестве состояний задается закон преобразования функции распределения состояния в виде рекуррентного алгоритма формирования апостериорных плотностей [5]. Для оптимизации процесса поиска используется дискретный аналог принципа максимума. Предположим, что область, в которой движутся объекты, разделена на ячейки, каждую из которых будем отождествлять с некоторым состоянием. Объекты могут на-

ходиться в каждой из ячеек в течение случайного по продолжительности промежутка времени и затем скачкообразно передвигаться в другие ячейки. Таким образом, получим динамический процесс с конечным числом состояний и промежутков времени.

Используя подход, предложенный Добби [6], выражение для экстраполированной вероятности наличия объекта в ячейке может быть записано в следующем виде:

$$P_{\pi i}(t+1) = \hat{P}_i(t) + \left[\hat{P}_1(t)P(i/1) + \dots + \hat{P}_{i-1}(t)P(i/(i-1)) + \right. \\ \left. + \hat{P}_{i+1}(t)P(i/(i+1)) + \dots + \hat{P}_N(t)P(i/N) \right] + P_{\pi i}, \quad (1)$$

где $\hat{P}_i(t)$ — апостериорная вероятность наличия объекта в i -й ячейке в момент времени t ;

$P(i/j)$ — вероятность того, что за промежуток времени $(t, t+1)$ объект переместится из j -й ячейки в i -ю;

$P_{\pi i}$ — вероятность появления в i -й ячейке нового объекта;
 $i = 1, \dots, N$;

N — количество ячеек в зоне обзора.

Обозначим через P_{ij} вероятность перемещения объектов из других ячеек зоны в ячейку с номером i :

$$P_{ij} = \hat{P}_1P(i/1) + \dots + \hat{P}_{i-1}(t)P(i/(i-1)) + \\ + \hat{P}_{i+1}(t)P(i/(i+1)) + \dots + \hat{P}_N(t)P(i/N).$$

С учетом введенного обозначения, представим (1) в виде

$$P_{\pi i}(t+1) = \hat{P}_i(t)P(i/j) + P_{ij} + P_{\pi i}. \quad (2)$$

В дальнейшем будем считать, что $P_{\pi i} = 0$. Это обстоятельство не влияет на общность решения задачи и, в случае необходимости, ненулевое значение всегда можно учесть.

После очередного осмотра i -й ячейки апостериорная вероятность наличия объекта в ячейке определяется по формуле [6]

$$\hat{P}_i(t) = \frac{P_{\pi i}(t-1)[1 + z_i(x/u, t-1)]}{1 + P_{\pi i}(t-1)z_i(x/u, t-1)}, \quad (3)$$

где $z_i(x/u, t) = \frac{P_{1i}(x/u, t) - P_{0i}(x/u, t)}{P_{0i}(x/u, t)}$, причем

$$P_{\lambda i}(x/u, t) = \begin{cases} P_{1i}(x/u, t); \\ P_{0i}(x/u, t); \end{cases} \quad \text{— плотность вероятности,}$$

которую имеет случайная величина $x(t)=x$ на выходе поискового устройства, если в соответствующей области пространства объект есть ($\lambda=1$) или объекта нет ($\lambda=0$).

В качестве критерия оптимальности обзора выберем среднее время поиска объекта [7] и потребуем, чтобы оно было минимальным.

С учетом изложенного выше, задачу управления поиском неизвестного количества движущихся объектов можно сформулировать следующим образом. На заданном временном интервале $[0, L]$ поиск следует организовать так, чтобы в конце этого интервала среднее время поиска объекта было минимальным. Таким образом, необходимо найти набор управляющих параметров $u^0 = \{u_i(t)\}$, которые удовлетворяют критерию

$$\bar{T} \Rightarrow \min(u) \quad (4)$$

при ограничениях

$$u_i(t) = \begin{cases} 1; \\ 0, i = 1, \dots, N; \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N u_i(t) = 1. \quad (6)$$

Метод оптимизации процесса поиска

Рассмотренная задача сводится к известной в теории автоматического управления задаче оптимального управления со свободным правым концом [8], в которой элементами фазового пространства являются экстраполированные вероятности наличия объекта в ячейке зоны обзора.

Такую оптимизационную задачу удобнее решать с помощью дискретного аналога принципа максимума, применение которого в соответствии с [8, 9] дает не только необходимые, но и достаточные условия оптимальности.

Для рассматриваемой задачи (4) уравнение состояния фазовых переменных запишем в виде следующего соотношения:

$$P_i(t+1) = \left[P_i(t) \frac{1 + u_i(t)z_i(t)}{1 + P_i(t)u_i(t)z_i(t)} + P_{ij} \right] \times \\ \times [U_+(P_i(t)) - U_+(P_i(t) - P^*)], \quad (7)$$

где P^* — пороговое значение апостериорной вероятности наличия объекта, при котором считается, что объект обнаружен;

U_+ — ступенчатая функция [10].

С учетом введенных обозначений, гамильтониан задачи может быть представлен в виде

$$H[P(t), u(t), \gamma(t+1)] = \sum_{i=1}^N \gamma_i(t+1) P_i(t+1), \quad (8)$$

где $\gamma_i(t)$ — сопряженные переменные.

В соответствии с требованиями принципа максимума, каноническое уравнение для сопряженных переменных имеет вид

$$\gamma_i(t) = -\gamma_i(t+1) \frac{1 + u_i(t)z_i(t)}{[1 + P_i(t)u_i(t)z_i(t)]^2} \times \\ \times [U_+(P_i(t)) - U_+(P_i(t) - P^*)] \quad (9)$$

при условии трансверсальности

$$\gamma_i[L] = -1, \quad i = 1, \dots, N. \quad (10)$$

Оптимальную функцию управления найдем из условия

$$H[P^{\text{opt}}(t), u^{\text{opt}}(t), \gamma(t+1)] = \\ = \max H[P(t), u(t), \gamma(t+1)]. \quad (11)$$

В результате решения задачи (4) в соответствии с условием (11), был получен параметр управления для каждого момента времени

$$u_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i \frac{1 - P_i(t)}{1 + P_i(t)z_i(t)} = \min_{j=1, \dots, N} \left\{ a_j \frac{1 - P_j(t)}{1 + P_j(t)z_j(t)} \right\}; \\ 0, & \text{для всех остальных } j \neq i, \end{cases} \quad (12)$$

где $a_{ij} = \gamma_{ij}(t+1)P_{ij}z_{ij}(t)$;
 $i \neq j$;
 $i, j = 1, \dots, N$.

Однако при ограничениях (5, 6) решить задачу (4) аналитически не удастся, т. к. существует взаимосвязь между H , γ и u . Поэтому решается она численно, с использованием метода последовательных приближений.

На основе разработанного метода был синтезирован алгоритм оптимизации поиска неизвестного количества движущихся объектов.

Результаты моделирования

С помощью ПЭВМ было проведено математическое моделирование процесса работы обзорной РЛС с фазированной антенной решеткой, реализующей разработанный алгоритм поиска неизвестного количества движущихся объектов. В качестве базового для сравнения использовался наиболее популярный алгоритм с равномерным распределением поисковых усилий по ячейкам зоны обзора и их последовательным осмотром. Результаты моделирования показывают, что при использовании алгоритма оптимального управления РЛС с фазированными антенными решетками среднее время поиска объектов, в зависимости от условий информативности, может быть существенно сокращено (в 1,5—3,5 раза).

Таким образом, разработанный метод управления поиском движущихся объектов в зоне обзора РЛС позволяет минимизировать время обнаружения объектов, сокращая время поиска в несколько раз, что, в свою очередь, позволит более эффективно реализовывать другие режимы работы радиолокационной системы.

В дальнейшем предложенный метод необходимо усовершенствовать с целью учета особенностей фун-

кционирования многопозиционных радиолокационных систем.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Koopman B. O. The theory of search. 1—3 // Operation Research.— 1956.— N 4.— P. 324—346, p. 503—531; 1957.— N 5.— P. 613—626.
2. Абчук В. А., Суздаль В. Г. Поиск объектов.— М.: Сов. радио, 1977.
3. Альсведе-Вегенер И. Задачи поиска.— М.: Мир, 1982.
4. Чикрий А. А., Клименко Е. В. Дискретная задача поиска при априорной информированности // Кибернетика и вычислительная техника.— 1988.— Вып. 79.— С. 60—70.
5. Бакут П. А., Жулина Ю. В., Иванчук Н. А. Обнаружение движущихся объектов.— М.: Сов. радио, 1980.
6. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска.— М.: Наука, 1985.
7. Дулевич В. Е. Теоретические основы радиолокации.— М.: Сов. радио, 1978.
8. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г. Математическая теория оптимальных процессов.— М.: Физматгиз, 1961.
9. Атанс М., Фалб П. Л. Оптимальное управление.— М.: Машиностроение, 1968.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике.— М.: Наука, 1984.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Радиоволновые датчики дымовых газов ТЭС. (Украина, г. Харьков)
- Модели сопротивления электродов тонкопленочного резистора. (Россия, г. Арзамас)
- Эффект усиления тока в обратно-включенной двухпереходной арсенидгаллиевой $n-p-m$ -структуре. (Республика Узбекистан, г. Ташкент)
- Плазмохимический реактор для травления торцов фотоэлектрических преобразователей и его технологические испытания. (Украина, г. Киев)
- Адсорбционно-кинетическая модель осаждения пленок поликристаллического кремния, легированного фосфором в процессе роста. (Республика Беларусь, г. Минск)
- Оценка структурной избыточности БИС с помощью помехоустойчивой кластеризации. (Украина, г. Одесса)
- Закономерности формирования пучка ионов низкой энергии при помощи односеточной ионно-оптической системы. (Украина, г. Харьков)



- Математические модели формирования химической связи твердых растворов CdSb–ZnSb. (Украина, г. Черновцы)
- Повышение зонной избирательности электромагнитных кристаллов. (Украина, г. Киев)
- Влияние термического окисления на анизотропию электропроводности и фотопроводимости наноструктурированного кремния (Россия, г. Москва)
- Дифференциальный термометр с высокой разрешающей способностью. (Украина, г. Львов, г. Винница)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Андреев В. А., Портнов Э. Л., Кочановский Л. Н. Направляющие системы электросвязи. Т. 1. Теория передачи и влияния.— М.: Горячая линия — Телеком.— 2009, 424 с.

Рассматриваются состояние, принципы построения и перспективы развития сетей электросвязи Российской Федерации. Излагается теория передачи по различным типам направляющих систем электросвязи (коаксиальным, симметричным, волоконно-оптическим, сверхпроводящим, волноводным), приводятся их конструкции и характеристики. Рассматриваются также электрические влияния между проводными цепями, влияние внешних электромагнитных полей, коррозии и методы их уменьшения. По сравнению с предыдущим изданием существенно обновлены и расширены разделы, посвященные теории и развитию волоконно-оптических систем передачи и кабелей.

