

УДК 519.2

## ИГРОВАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ КОНФЛИКТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РГС–СТАНЦИЯ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

В.А. МАЛКИН, П.В. ПРИМАК

*Военная академия Республики Беларусь**ВА РБ, Минск, 220057, Беларусь**Поступила в редакцию 23 сентября 2003*

В статье рассматривается методика синтеза алгоритмов управления структурой сложной системы РГС–станция активных помех. Решение задачи получено в предположении, что имитирующие помехи, создаваемые станцией, не могут быть обнаружены при первичной обработке информации в РГС. Предлагаемая методика основана на использовании игрового подхода, позволяющего обеспечить максимальную эффективность каждой из конфликтующих сторон в наиболее неблагоприятных условиях функционирования.

*Ключевые слова:* подавление мешающих излучений, коррекция частотных характеристик, эффективность компенсации мешающих излучений, имитационное моделирование.

### Введение

Современные станции активных помех (САП), входящие в системы радиотехнической защиты летательных аппаратов (ЛА), создают различные комплексы помех, предназначенные для срыва устойчивой работы систем наведения высокоточного оружия (ВТО) или максимального увеличения ошибки измерения этими системами радиолокационных координат цели. Для летательных аппаратов ВВС наиболее опасными являются авиационные управляемые ракеты (АУР) с радиолокационными головками самонаведения (РГС), которые лишены недостатков ВТО с оптикоэлектронными системами наведения (малая дальность, зависимость от метеословий).

Принятые на вооружение в настоящее время и вновь разрабатываемые АУР с радиолокационными системами наведения оснащены полуактивными и активными РГС, обеспечивающими высокую точность наведения (вплоть до прямого попадания УР) на постановщики шумовых помех, находящиеся в зоне поражения ракеты. Поэтому для подавления таких систем наведения в состав комплекса помех должны входить имитирующие помехи, максимально согласованные с полезным сигналом по энергетике и спектру. Комплексы помех должны исказить полезную информацию измерителей координат цели, но эти искажения не должны иметь скачкообразный характер, так как в этом случае облегчается вскрытие системой помехозащиты РГС факта подавления. Такие помехи будем называть скрытыми.

Применение скрытых помех в системах радиотехнической защиты летательных аппаратов приводит к необходимости обоснования новых подходов к управлению как комплексами помех, так и измерительными каналами подавляемой РГС. В данной статье рассматривается решение задачи синтеза оптимального управления структурой комплекса помех и комбинированного измерителя, включающего каналы измерения угловых координат и скорости сближения ракеты с целью. Рассматриваемая система относится к классу сложных конфликтующих систем [1].

## Постановка и решение задачи

Известно, что РГС ракет, наводящихся по методу пропорциональной навигации, имеют в своей структуре два канала сопровождения: по угловым координатам цели и по скорости сближения ракеты с целью. Структурная схема одного канала сопровождения по радиолокационным координатам цели представлена на рис. 1. На вход канала воздействует полезный сигнал  $u_c$ , характеризующий измеряемую координату цели и сигнал помехи  $u_n$ , приводящий к появлению систематической ошибки измерения. Моменты включения (выключения) помехи определяются положением ключа  $K_1$ . Канал сопровождения имеет два режима работы:

слежение (ключи  $K_2$  и  $K_3$  в положении 1), когда значение ошибки измерения  $Y$  находится в пределах апертюры характеристики измерителя и ее измеренное значение  $\hat{Y}$  поступает на вход исполнительного устройства;

экстраполяция (ключи  $K_2$  и  $K_3$  в положении 2), когда на вход исполнительного устройства поступает сигнал от экстраполятора.

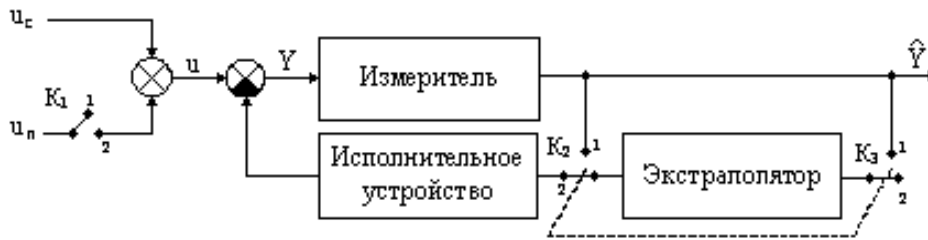


Рис. 1. Структурная схема канала сопровождения

Таким образом, ставится задача синтеза оптимального управления структурой динамической системы, в состав которой входят две конфликтующие подсистемы, каждая из которых стремится достичь противоположных результатов (САП — максимизировать среднеквадратическую ошибку измерения координат цели, РГС — минимизировать эту ошибку). При этом предполагается, что каждая из сторон конфликта не имеет информации о состоянии противоположной стороны.

Задачи подобного типа, когда каждый участник конфликта обладает некоторым набором стратегий, могут быть решены с помощью теории игр [2, 3]. В этом случае процесс выбора структуры каждой из подсистем может трактоваться как выбор соответствующей стратегии в конечной антагонистической игре двух игроков  $\Gamma = \{I, J, A\}$ , где  $I$  и  $J$  — множество чистых стратегий игроков;  $A$  — платежная матрица игры  $\Gamma$ .

Стратегии первого игрока (САП) заключаются в формировании помеховых сигналов (последовательно или одновременно) каналам сопровождения РГС. Поставим в соответствие каждому из состояний САП (табл. 1) соответствующий номер стратегии  $i$ .

Под стратегиями второго игрока будем понимать режимы работы РГС. Имея в своем составе два канала, РГС может находиться в трех состояниях (табл. 2), так как при потере полезного сигнала каналом сопровождения по скорости сближения ракеты с целью канал сопровождения по угловым координатам цели автоматически переходит в режим экстраполяции. Поставим в соответствие каждому из состояний соответствующий номер стратегии  $j$ .

Таблица 1. Данные соответствия состояниям САП номера стратегии  $i$

Состояние САП		Номер стратегии $i$
помеха по скорости	помеха по углу	
воздействует	воздействует	1
воздействует	не воздействует	2
не воздействует	воздействует	3

Таблица 2. Данные соответствия режимам работы каналов слежения номера стратегии  $j$

Режим работы канала слежения		Номер стратегии $j$
по скорости	по углу	
слежение	слежение	1
слежение	экстраполяция	2
экстраполяция	экстраполяция	3

Закон распределения ошибки измерения  $Y$  будем считать гауссовым. В этом случае достаточно определить математическое ожидание и дисперсию случайного процесса  $Y$ , которые могут быть получены методами анализа стохастических систем с управляемой сменой структуры [4]. Полученные в результате решения задачи анализа среднеквадратические ошибки сопровождения для каждой из структур рассматриваются как элементы платежной матрицы

$$\dot{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}.$$

В общем случае игра, определяемая матрицей  $A$ , может не содержать седловой точки. В этом случае решение игры находится в классе смешанных стратегий [2,3]. Пусть  $p_i^1, p_j^2$  – вероятности выбора первым и вторым игроками чистых стратегий  $X_i^1$  и  $X_j^2$ :

$$p_i^1 = P[X_i^1] \geq 0, \quad i = \overline{1,3}, \quad \sum_{i=1}^3 p_i^1 = 1; \quad (1)$$

$$p_j^2 = P[X_j^2] \geq 0, \quad j = \overline{1,3}, \quad \sum_{j=1}^3 p_j^2 = 1. \quad (2)$$

Тогда смешанные стратегии — это 3-мерный вектор:

$$s_{X^1} = (p_1^1 \quad p_2^1 \quad p_3^1)^T,$$

$$s_{X^2} = (p_1^2 \quad p_2^2 \quad p_3^2)^T.$$

При использовании смешанных стратегий выигрыш первого игрока (проигрыш второго игрока) есть случайная величина, множество возможных значений которой определяются матрицей  $A$ . Игроки выбирают свои стратегии независимо друг от друга. Поэтому ожидаемый выигрыш первого игрока (проигрыш второго игрока) равен

$$\dot{A}(s_{X^1}, s_{X^2}) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_i^1 p_j^2 a_{ij}.$$

Поскольку каждый из игроков обладает только тремя стратегиями, поиск оптимальных смешанных стратегий можно осуществить графоаналитическим способом [3]. Для первого игрока, если стратегия второго игрока фиксирована, функция  $\dot{A}(s_{X^1}, s_{X^2})$  имеет вид плоскости

$$E(s_{X^1}, X_j^2) = p_1^1 a_{1j} + p_2^1 a_{2j} + p_3^1 a_{3j}, \quad j = \overline{1,3}.$$

Учитывая (1), функцию  $\dot{A}(s_{X^1}, X_j^2)$  можно представить как зависимость от вероятностей  $p_1^1, p_2^1$  выбора первым игроком своих чистых стратегий  $X_1^1$  и  $X_2^1$ :

$$\hat{A}(s_{X^1}, X_j^2) = \delta_1^j(a_{1j} - a_{3j}) + \delta_2^j(a_{2j} - a_{3j}) + a_{3j}.$$

При этом области определения аргументов  $p_1^1$  и  $p_2^1$  ограничены отрезками  $[0,1]$  и плоскость  $E(s_{X^1}, s_{X^2})$  принимает вид треугольника, положение которого в пространстве определяется коэффициентами  $a_{1j}, a_{2j}, a_{3j}$  (рис. 2).

В этом случае определение оптимальной стратегии первого игрока сводится к поиску максимума нижней границы фигуры (точка  $M$ ), образованной пересечением плоскостей (рис. 3). Координаты проекции этой точки (точка  $M'$ ) и определяют оптимальную стратегию первого игрока:

$$s_{X^1} = (p_1^1 \quad p_2^1 \quad 1 - p_1^1 - p_2^1)^T.$$

Аналогичные рассуждения можно привести для второго игрока. Условие (2) налагает на области определения аргументов  $p_j^2$  те же ограничения, что и (1) на области определения аргументов  $p_i^1$ . Определение оптимальной стратегии второго игрока сводится к поиску минимума верхней границы фигуры, образованной пересечением плоскостей  $\hat{A}(X^i, s_{X^2})$ .

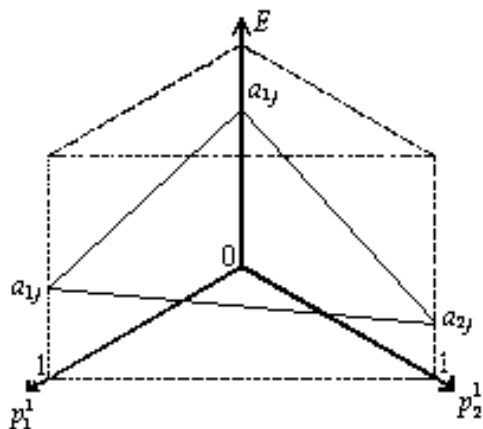


Рис. 2. Представление  $j$ -й стратегии второго игрока графическим способом

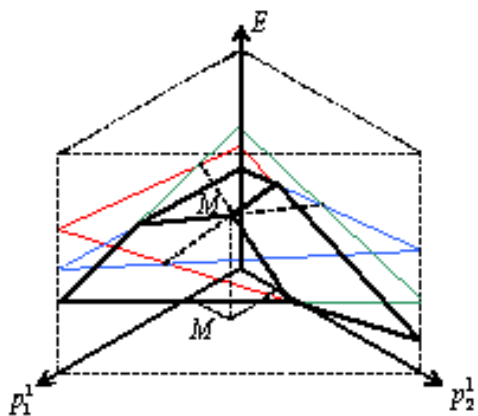


Рис. 3. Определение оптимальной стратегии первого игрока

Таким образом, предлагаемый графоаналитический способ решения матричной игры позволяет находить оптимальную смешанную стратегию каждого из игроков. Смешанные стратегии могут рассматриваться как распределение апостериорных вероятностей на множестве чистых стратегий. Тогда в качестве критерия выбора оптимальной структуры в каждый момент времени принимается критерий максимума апостериорной вероятности  $i = \arg(\max_i p_i^1)$ .

# THE GAME TASK OF STRUCTURE CONTROL OF CONFLICTING SYSTEM THE RADAR-TRACKING HEAD - STATION OF ACTIVE HINDRANCES

V.A. MALKIN, P.V. PRIMAK

## Abstract

The technique of synthesis of algorithms of structure control of complex system the radar-tracking head — station of active hindrances is considered. The solution of a task received in supposition that the simulating hindrances created by station cannot be found out at primary processing of the information in radar-tracking head. The offered technique is based on use of the game approach allowing ensuring peak efficiency of each of the conflicting parties in the most adverse conditions of functioning.

## Література

1. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. М., 1989.
2. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций. М., 2002.
3. Крапивин В.Ф. Теоретико-игровые методы синтеза сложных систем в конфликтных ситуациях. М., 1972.
4. Малкин В.А. // Весті НАН Беларусі, Сер. фіз.-тэхн. навук. 2002. № 2. С. 74–78.