

УДК 004

ВЫБОР СРЕДСТВ РЭБ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Ю. Громов

Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392000, Тамбов, Советская, ул., 106/5
E-mail: gromovtambov@yandex.ru

Ю.А. Губсков

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебный и испытательный)
Россия, 392006, Тамбов, Комиссара Московского ул., 1
E-mail: gubskov-ua@yandex.ru

С.М. Каданцев

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебный и испытательный)
Россия, 392006, Тамбов, Комиссара Московского ул., 1
E-mail: sergey220@list.ru

А.А. Ракитин

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебный и испытательный)
Россия, 392006, Тамбов, Комиссара Московского ул., 1
E-mail: raki-anton@yandex.ru

Ключевые слова: радиоэлектронная борьба, РСЗО, радиоуправляемые минно-взрывные устройства, нелинейная одноиндексная функция мультипликативного вида, оптимизация функции распределения средств, анализ монотонности функции.

Аннотация: Рассмотрены РСЗО. Описаны их назначения и возможности применения на театре военных действий. Поставлена математическая задача распределения имеющихся станций помех по всем радиоуправляемым минно-взрывным устройствам для достижения максимальной защищенности значимого объекта. Проведен анализ заданной функции.

1. Введение

В настоящее время все большую популярность приобрели РСЗО американского производства M142 HIMARS.

M142 HIMARS имеет измененное шасси 5 тонного грузовика Stewart & Stevenson с 6 колесным приводом. На пусковой установке может быть установлено либо шесть управляемых реактивных снарядов (до 90 км) GMLRS с GPS-наведением, либо одна управляемая ракета малой дальности ATACMS класса «земля-земля» с дальностью до 300 километров.

В 1992 году для нужд армии США началась разработка альтернативы обычным артиллерийским снарядам большой дальности действия, снаряда с GPS наведением для повышения точности M982 «Экскалибур».

Точность попадания достигается использованием приемника сигналов GPS. Для сравнения, стандартные американские 155-мм снаряды имеют круговое вероятное отклонение порядка 200-300 метров при стрельбе на средние дальности.

При подготовке к стрельбе в бортовой компьютер снаряда вводятся координаты цели. После выстрела он летит по навесной траектории, которая на конечном этапе приобретает крутой отвесный угол, что гарантирует высокую избирательную точность попадания.

В работе предлагается рассмотреть математическую постановку задачи распределения станций помех для достижения максимальной защищенности определенного объекта.

2. Постановка задачи

Имеется значимый объект, подвергающийся нападению с помощью РУМВУ. Количество РУМВУ известно и равно n . Вероятность повреждения объекта с помощью j -го РУМВУ описывается коэффициентом ω_j .

Также имеется m станций помех. Эффективность радиоэлектронного поражения j -го РУМВУ станцией помех описывается коэффициентом q_j и равноэффективно для каждой станции.

Задача состоит в распределении имеющихся станций помех по всем РУМВУ для достижения максимальной защищенности значимого объекта. Нелинейная одноиндексная функция мультипликативного вида, с накладываемыми ограничениями ω_j и q_j , представлена формулой (1)

$$(1) \quad f(Y) = \prod_{j=1}^n (1 - \omega_j q_j^{y_j})$$

3. Алгоритм решения задачи распределения средств РЭБ

В результате проведенных преобразований опишем алгоритм решения задачи. Алгоритм имеет следующие шаги [3]:

1. Вычислить элементы матрицы Δ_{klmn} .

Начальные значения ω_j^0 и b_j^0 равны

$$(2) \quad \omega_j^0 = \omega_j, \quad b_j^0 = \prod_{r=1}^m q_{rj}, \quad j = 1, \dots, n$$

2. Выбрать пару индексов k_t, l_t согласно условию:

$$(3) \quad \Delta_{k_t l_t} = \max_{k,l} \Delta_{kl}, \quad k \in m^{(t)}, \quad l = 1, \dots, n.$$

3. Пересчитать величины $\omega_j^{(t)}$ и $b_j^{(t)}$

$$(4) \quad \omega_j^{(t)} = \begin{cases} \omega_j^{(t-1)}, & \text{если } j \neq l_t, \\ \omega_j^{(t-1)} q_{k_t j}, & \text{если } j = l_t, \end{cases}$$

$$b_j^{(t)} = \frac{b_j^{(t-1)}}{q_{k_t j}}, \quad j = 1, \dots, n.$$

$$t = t + 1.$$

4. Проверить условие $t \leq m$:

да – перейти к п. 1,

нет – перейти к п. 5.

5. Вычислить $f(\gamma_0)$.

6. Представить результаты γ_{rj}^0 и $f(\gamma_0)$, завершить вычисления.

Проверку алгоритма проведем на конкретном примере – задаче распределения имеющихся станций помех с возможностью квази-одновременной работы в нескольких

поддиапазонах по заданному количеству РУМВУ, нацеленных на поражение ценного объекта.

4. Апробация алгоритма

Рассмотрим следующую задачу. Имеется ценный объект, оказавшийся целью атаки РУМВУ. Известно расположение $n=8$ РУМВУ и приведена оценка поражения объекта каждым из них, которая количественно выражается матрицей ω_{jn} , представленной в таблице 1 [2]. Имеется $m_i=3$ (где $i = 1, \dots, k$) станций помех, с возможностью квази-одновременной работы в $k=4$ поддиапазонах. Вероятность подавления j -го РУМВУ r_i -ой станцией помех при работе в i -ом поддиапазоне описывается матрицей p_{rjmn} , представленной в таблице 2 [1].

Таблица 1. Входные данные: Матрица ω_{jn} .

j	1	2	3	4	5	6	7	8
ω_j	.02	.33	.32	.14	.22	.40	.07	.29

Таблица 2. Входные данные: Матрица p_{rjmn} .

i	r \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1(1)	0.09	0.88	0.11	0.14	0.79	0.70	0.52	0.67
	2(2)	0.01	0.71	0.19	0.88	0.81	0.77	0.31	0.18
	3(3)	0.22	0.17	0.05	0.49	0.24	0.77	0.98	0.87
2	4(1)	0.64	0.91	0.46	0.60	0.47	0.82	0.54	0.77
	5(2)	0.57	0.77	0.94	0.51	0.13	0.60	0.50	0.47
	6(3)	0.56	0.34	0.53	0.32	0.01	0.08	0.07	0.42
3	7(1)	0.03	0.89	0.03	0.64	0.41	0.51	0.44	0.91
	8(2)	0.63	0.84	0.63	0.03	0.21	0.53	0.17	0.30
	9(3)	0.64	0.20	0.65	0.06	0.79	0.54	0.04	0.47
4	10(1)	0.55	0.77	0.60	0.89	0.01	0.38	0.19	0.84
	11(2)	0.85	0.54	0.51	0.39	0.85	0.79	0.40	0.18
	12(3)	0.80	0.39	0.07	0.13	0.82	0.35	0.16	0.38

Требуется определить распределение станций помех по РУМВУ с учетом их квази-одновременной работы по k поддиапазонам с целью максимально снизить ущерб защищаемого объекта.

Результат расчета приведен в таблице 3.

Таблица 3. Результат расчета.

r_i \ i	1	2	3	4
1	7	6	2	4
2	6	3	2	5
3	8	1	8	5

Представленный алгоритм был реализован в ПО *Matlab*. Для решения представленной задачи с помощью данного алгоритма потребовалось 9 миллисекунд, в тоже время для прямого перебора вариантов распределений потребовалось 28 секунд.

Для анализа эффективности алгоритма была проведена серия вычислений при различной размерности входных данных. На рис. 1 представлена зависимость времени расчета от размерности входных данных при решении с помощью описанного алгоритма.



Рис. 1. Графики временной зависимости $t = f(n)$ при $m = \text{const}$ для алгоритмического решения.

Отметим, что время вычислений при алгоритмическом решении растет по линейному закону при изменении количества станций помех и РУМВУ. А при решении прямым перебором – растет экспоненциально для всех размерностей входных данных. Кроме того, для алгоритмического решения требуется более чем в 2000 раз меньшее количество временных ресурсов при одинаковых вычислительных мощностях.

Также, заметим, что на сложность расчета в большей степени влияет увеличение количества используемых средств m (станций помех и их поддиапазонов), и в меньшей степени увеличение числа объектов n (РУМВУ).

Для последующего анализа введем понятие скважности D_i ($D_i \in [0; 1]$) активности поддиапазонов. Ранее предполагалось, что активность поддиапазонов происходит с одинаковой длительностью, вводя понятие скважности D_i мы определяем относительную длительность активности каждого поддиапазона. При этом считаем, что вероятность подавления j -го РУМВУ r -ой станцией помех при работе в i -ом поддиапазоне p'_{rij} прямо пропорциональна скважности D_i и описывается следующим образом:

$$(51) \quad p'_{rij} = p_{rij} \cdot D_i,$$

где p_{rij} – вероятность подавления j -го РУМВУ r -ой станцией помех при работе в i -ом поддиапазоне при максимальной скважности ($D_i = 1$). Значения данных вероятностей определяем матрицей p_{rjnm} .

На рис. 2 представлен график зависимости значения целевой функции от скважности активности первого и второго поддиапазонов $\psi = f(D_1, D_2)$.

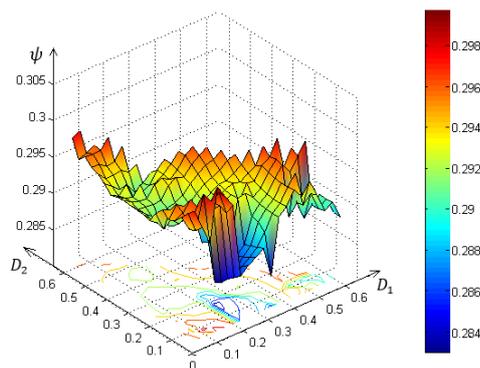


Рис. 2. График зависимости $\psi = f(D_1, D_2)$ при исходных вероятностях p_{rj} .

Анализ графика позволяет сделать вывод, что функция неравномерна и имеет большое количество локальных минимумов и максимумов. Отметим, что наибольшее значение функция принимает при максимальной относительной длительности работы второго поддиапазона, а наименьшее значение – при совокупности значений скважности близкой к равномерной.

5. Заключение

В данной статье была рассмотрена реактивная система залпового огня (РСЗО) и возможности ее применения на театре военных действий.

Представлена математическая постановка задачи оптимизации нелинейной одноиндексной функции мультипликативного вида при наличии связей между элементами системы. Разработанный алгоритм имеет линейную зависимость времени выполнения от размерностей входных данных при этом требует меньшее количество временных ресурсов по сравнению с методом прямого перебора вариантов при одинаковых вычислительных мощностях, что позволяет снизить время на распределение станций помех по РУМВУ.

Математическая постановка задачи предполагает вычисление нелинейной одноиндексной функции мультипликативного вида при наличии связей между элементами системы. При квази-одновременной равномерной работе поддиапазонов частот функция приобретает глобальный максимум, это говорит о том, что равномерное распределение нагрузки между станциями связи будет приводить к наибольшей помехозащищенности системы, так как вероятность потери эффективной работы любой станции высока. При уменьшении этих вероятностей монотонность функции будет зависеть непосредственно от входных данных, то есть от параметров системы.

Список литературы

1. Боманс В.В., Судаков В.А., Афонин К.А. Поддержка принятия многокритериальных решений по предпочтениям пользователя. СППР *DSS/UTES* / Под общей редакцией В.В. Бомаса. М.: Изд-во МАИ, 2006. 172 с.
2. Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. С.Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 244 с.
3. Москвин Б.В. Теория принятия решений. С.Пб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2005. 383 с.