

# 基于理想点法的区域防空部署优化方法

阳 林<sup>1,2</sup>, 刘付显<sup>1</sup>, 张 搏<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051; 2. 95037 部队, 湖北武汉, 430070)

**摘要** 空情的不确定性给区域防空部署优化方案的生成带来很大的挑战,每一种空情下对应一个最优部署方案,为了综合各空情下的最优部署方案得到适应各种不同空情的最优方案,将各空情下的最优部署方案集作为问题的理想点,通过定义部署方案之间的贴近度,构造出评价函数,最终将问题转化为一单目标规划问题,并得到了一种基于理想点的区域防空部署优化方法,案例分析表明,该方法是可行的。

**关键词** 理想点法;区域防空;部署优化

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.02.012

**中图分类号** TJ765.43 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)02-0049-04

## A Study of Optimization on Area Air-defense Operation Disposition Based on Ideal Point Method

YANG Lin<sup>1,2</sup>, LIU Fu-xian<sup>1</sup>, ZHANG Bo<sup>1</sup>

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;  
2. PAL 95037, Wuhan, 430070)

**Abstract:** The uncertainty in air attack is a challenge to the generation of the optimization scheme in area air-defense operation disposition, and each situation of air attack corresponds with one optimum disposition scheme. In order to synthesize the optimum schemes under conditions of every air attack to obtain the optimum seeking methods suitable for various different situations of air attack, optimal disposition schemes under each and every type of air attack are regarded as the ideal point, and by defining the concept of similarity degree between disposition schemes, the evaluated function is established. At last, the problem is transferred into one single object programming problem, and a disposition optimization method for area air-defense operation is proposed based on ideal point. The instance analysis indicates that this method is feasible and effective.

**Key words:** ideal point method; area air-defense; disposition optimization

区域防空部署的评价、优化与空情有着密切的关系,最优的部署方案一定是最适合于给定空情的

部署方案,换句话说,若空情发生变化,则与之对应的最优部署方案必定发生变化,因此,空情分析判断

收稿日期:2013-04-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272011)

作者简介:阳 林(1981-),男,湖南新化人,博士生,主要从事防空作战决策、建模与仿真研究. E-mail:dreamland-0628@163.com

**引用格式:** 阳林,刘付显,张搏. 基于理想点法的区域防空部署优化方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(2):49-52. YANG Lin, LIU Fuxian, ZHANG Bo. A study of optimization on area air-defense operation disposition based on ideal point method[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(2): 49-52.

的准确与否,直接关系到部署的成败<sup>[1-3]</sup>。然而,空情是未知的,在实施防空部署时,永远都无法确切地知道对方究竟会采取什么样的方式实施空袭,那么在这种空情不确定的情况下应该如何对部署方案进行调整或者优化呢?实际上,决策者虽然不能确切地知道对方会采取什么样的空袭方式,但通过对对方空袭力量的部署情况和对方空袭作战指导思想的分析,能给出几种可能的空袭方式,则不确定空情下的区域防空部署优化问题转化为如何在这几种空情下找到一个最优的部署方案。

现有的防空部署优化研究<sup>[4-5]</sup>多是将部署方案生成问题抽象成非线性优化问题,然后通过优化算法进行求解。但是在解决综合不同空情下最优部署方案以生成适应各空情的满意方案的问题时,这种依靠优化算法求解问题的思路就不太适用了。本文将各空情下的最优部署方案集作为问题的理想点,通过定义部署方案之间的贴近度,构造出评价函数,最终将问题转化为一单目标规划问题,得到了一种基于理想点的区域防空部署优化方法。

## 1 问题的提出

设在实施区域防空部署时,决策者给出了  $m$  种可能的空情,分别用  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$  表示。用于该区域防空的可用空地导弹火力单元数量为  $n$  个,分别用  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  表示,在平面直角坐标系  $OXZ$  中,用  $P = \{(X_1, Z_1), (X_2, Z_2), \dots, (X_n, Z_n)\}$  表示某一部署方案,部署方案  $P$  在各种空情下的收益用  $f_1(P), f_2(P), \dots, f_m(P)$  进行描述。则问题转化为寻找到一个最优部署方案,使其在每种空情下的收益值都最大,即如下所示的多目标优化问题:

$$\max\{f_1(P), f_2(P), \dots, f_m(P)\} \quad (1)$$

实际上,直接对上述多目标优化问题进行求解是很复杂的,而每一种空情下的最优部署方案相对容易求得,设空情  $\theta_i$  下的最优部署方案为  $P_k^* = \{(X_{k1}^*, Z_{k1}^*), (X_{k2}^*, Z_{k2}^*), \dots, (X_{kn}^*, Z_{kn}^*)\}$ ,则问题转化为如何将  $m$  种空情下最优部署方案综合成一个部署方案,使该方案在  $m$  种空情下都是非劣的。

## 2 基于理想点法的区域防空部署优化方法

理想点是使每个目标值均达到各自最优解的点,理想点法的中心思想是定义一个模,在这个模的意义下找一个点尽量接近理想点。对于不同的模,

可以找到不同意义下的最优点,实际上这个模可认为是一个评价函数。可以证明,理想点法求出的解一定是非劣解。

可将不同空情下的最优部署方案集  $\{P_k^*\}$  作为问题的理想点,通过定义一个评价函数,将问题转化为规划问题:

$$\min \sum_{k=1}^m \|P - P_k^*\| \quad (2)$$

式中  $\|P - P_k^*\|$  为方案  $P$  与  $P_k^*$  差异度的度量。下面给出 2 个部署方案相似度的定量计算方法。

见图 1,将部署方案各配置点依火力单元编号顺序(同类型火力单元之间编号可任意调换)连接,那么空情  $k$  下的最优部署方案对应于虚折线,一般部署方案对应于实折线。显然 2 条折线之间的贴近程度需要从角度、长度和位置 3 个方面进行考量<sup>[6]</sup>。同时,由于各火力单元在混编群中承担的任务不同,发挥的作用有大有小,因而在计算相似度时应该区别对待,可用不同的权重值来表示各火力单元的重要性<sup>[7-10]</sup>。

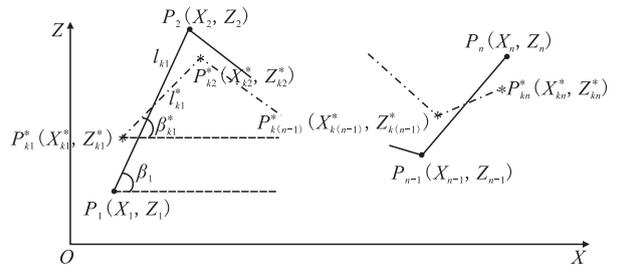


图1 综合部署方案与空情下最优部署方案关系示意图

Fig.1 The relation between composite disposition scheme and optimal disposition scheme under situation  $\theta_k$  of air attack

### 2.1 角度贴近度

角度贴近度  $\epsilon_D$  是各空情下,部署方案  $P$  与最优方案  $P_k^*$  的期望收益序列在形状上的相似程度,线段  $(P_{k(i+1)}^*, P_{ki}^*)$ 、 $(P_{i+1}, P_i)$  分别与  $OX$  轴顺时针夹角  $\beta_{ki}^*, \beta_i$  之间的贴近度  $\epsilon_{Di}^{(k)}$  可描述为:

$$\epsilon_{Di}^{(k)} = \max\{\omega_i, \omega_{i+1}\} \left(1 - \frac{|\beta_{ki}^* - \beta_i|}{2\pi}\right) \quad (3)$$

式中  $\beta_i = \arcsin \left[ \frac{Z_{i+1} - Z_i}{\sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2}} \right]$ 。

则空情  $k$  下,部署方案  $P$  的角度贴近度为:

$$\epsilon_D^{(k)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \epsilon_{Di}^{(k)} \quad (4)$$

### 2.2 长度贴近度

长度贴近度  $\delta_D^{(k)}$  指线段  $(P_{k(i+1)}^*, P_{ki}^*)$ 、 $(P_{i+1}, P_i)$  的长度  $l_{ki}^*, l_i$  之间的贴近度,可描述为:

$$\delta_D^{(k)} = \max\{\omega_i, \omega_{i+1}\} \cdot$$

$$(1 - \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2} - \sqrt{(X_{k(i+1)}^* - X_{ki}^*)^2 + (Z_{k(i+1)}^* - Z_{ki}^*)^2}) / l_{i \max}^{(k)}) \quad (5)$$

式中:

$$l_{i \max}^{(k)} = \max \{ \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2}, \sqrt{(X_{k(i+1)}^* - X_{ki}^*)^2 + (Z_{k(i+1)}^* - Z_{ki}^*)^2} \}. \text{ 则空情 } k \text{ 下, 部署方案 } P \text{ 的角度贴近度 } \delta_D^{(k)} \text{ 可表示为:}$$

$$\delta_D^{(k)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \epsilon_{Di}^{(k)} \quad (6)$$

### 2.3 位置贴近度

角度和长度贴近度描述了 2 条折线在形状上的相对贴近程度, 除此之外, 必须考虑火力单元部署位置之间的差异。位置贴近度  $\eta_D^{(k)}$  指火力单元  $i$  的部署方案  $(X_i, Z_i)$  与空情  $k$  下的最优部署方案  $(X_{ki}^*, Z_{ki}^*)$  之间在空间上的贴近程度, 可表达为:

$$\eta_{Di}^{(k)} = \omega_i (1 - \sqrt{(X_i - X_{ki}^*)^2 + (Z_i - Z_{ki}^*)^2} / \{d_{\max}^{(k)}\}) \quad (7)$$

式中  $d_{\max}^{(k)} = \max \{ \sqrt{(X_i - X_{ki}^*)^2 + (Z_i - Z_{ki}^*)^2}, i = 1, 2, \dots, n \}$ 。则空情  $k$  下, 部署方案  $P$  的位置贴近度可表示为:

$$\eta_D^{(k)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{Di}^{(k)} \quad (8)$$

那么部署方案  $P$  与最优部署方案  $P_k^*$  之间的差异度为:

$$\| P - P_k^* \| = -\epsilon_D^{(k)} \delta_D^{(k)} \eta_D^{(k)} \quad (9)$$

综合  $m$  种空情, 则部署方案  $P$  与最优部署方案集  $\{P_k^*\}$  之间的差异度可表示为:

$$\sum_{k=1}^m \| P - P_k^* \| = -\sum_{k=1}^m \pi(\theta_k) \epsilon_D^{(k)} \delta_D^{(k)} \eta_D^{(k)} \quad (10)$$

综上所述, 该多目标问题转换为如下单目标优化问题:

$$\min f(P) = -\sum_{k=1}^m \pi(\theta_k) \epsilon_D^{(k)} \delta_D^{(k)} \eta_D^{(k)} \quad (11)$$

## 3 案例分析

设某区域防空中可用的火力单元共有 A、C 2 种类型, 每种类型的火力单元数量分别为 2 个、3 个, 有 2 种可能的空情, 2 种空情下的最优部署方案分别见图 2~图 3, 其部署坐标位置见表 1。

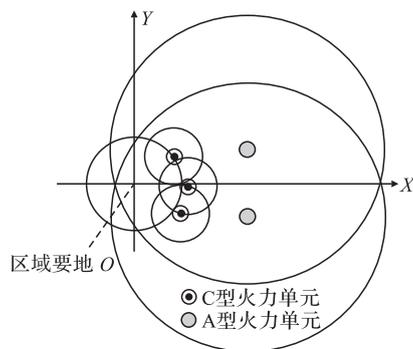


图 2 空情  $\theta_1$  下的最优部署方案

Fig.2 Optimal disposition scheme under situation  $\theta_1$  of air attack

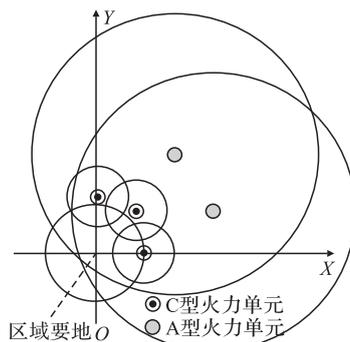


图 3 空情  $\theta_2$  下的最优部署方案

Fig.3 Optimal disposition scheme under situation  $\theta_2$  of air attack

表 1 2 种方案下的最优部署位置

Tab.1 Optimal disposition position under two schemes

序号	火力单元		空情 $\theta_1$ 的 最优部署方案	空情 $\theta_2$ 的 最优部署方案	最优综合 部署方案
	类型	重要性系数			
1	A	0.35	(30,10)	(24.2,20.3)	(24.2,20.2)
2	A	0.35	(30,-10)	(31.5,2.7)	(29.2,-11.98)
3	C	0.10	(12,9)	(0,15)	(11.9,9.9)
4	C	0.10	(15,0)	(12,9)	(11.9,0.5)
5	C	0.10	(12,-9)	(15,0)	(12,-8.99)

将相关参数代入式(11),得到一个求 10 元函数的极值问题,用 matlab7.0 对该多元函数极值进行求解,得最优综合部署方案见图 4。

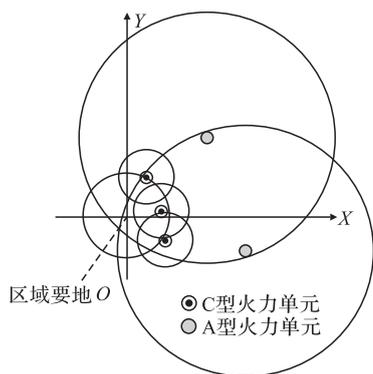


图 4 最优部署方案图

Fig.4 The optimal disposition scheme

从图 2~图 4 可看出,部署方案 1 侧重于正东方向的防御,部署方案 2 侧重于东北方向的防御,而综合部署方案基本覆盖了部署方案 1 和部署方案 2 的掩护区域,兼顾东北和正东方向,由此可以看出,本文所提出的方法是可行的。

## 4 结语

多种空情下的区域防空部署优化问题实际上是一个多目标优化问题,对其求解非常复杂,通过分析,将多种空情下的区域防空部署优化问题转化为一个单目标的多元函数极值问题,给出了一种基于理想点法的区域防空部署优化方法,该方法具有模型简单,计算方便的特点,实例分析表明,该方法是可行的。另外,从理论上可以证明,基于理想点法所求得的解是多目标优化问题的非劣解。

## 参考文献(References):

[1] 邢清华,刘付显.区域防空部署优化系统建模[J].系统工程与电子技术,2006,28(5):712-715.  
XING Qinghua, LIU Fuxian. Modeling on area air defense optimization deployment system[J]. Systems engineering and electronics, 2006,28(5):712-715.(in Chinese)

[2] 刘健.地空导弹兵作战部署定量分析方法研究[D].西安:空军工程大学,2002.  
LIU Jian. Study on quantitative analysis method of disposition for ground-to-air defense operation[D]. Xi'an: Air force engineering university, 2002. (in Chinese)

[3] 邢清华.防空作战智能辅助决策研究[D].西安:空军工程大学,2003.  
XING Qinghua. Study on intelligent decision support

of air defense operation[D]. Xi'an: Air force engineering university, 2003.(in Chinese)

- [4] 吴家明,乔士东,黄金才.基于 NSGA-II 的防空部署优化研究[J].火力与指挥控制,2011,36(3):57-61.  
WU Jiaming, QIAO Shidong, HUANG Jincai. Optimization of air defense disposition based on NSGA-II [J]. Fire control and command control, 2011, 36(3): 57-61.(in Chinese)
- [5] 陈杰,陈晨,张娟,等.基于 Memetic 算法的要地防空优化部署方法[J].自动化学报,2010,36(2):242-248.  
CHEN Jie, CHEN Chen, ZHANG Juan, et al. Deployment optimization for point air defense based on memetic algorithm [J]. ACTA automatica sinica, 2010, 36(2):242-248.(in Chinese)
- [6] 刘健.地面防空作战部署方案优选与改进方法[J].火力与指挥控制,2005,30(2):97-99.  
LIU Jian. Optimum selection and improvement of disposition schemes for ground air-defense operation [J]. Fire control and command control, 2005, 30(2): 97-99.(in Chinese)
- [7] 阳林,刘付显,张搏.基于风险决策的区域防空部署方案优先方法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2013,14(6):34-37.  
YANG Lin, LIU Fuxian, ZHANG Bo. Optimum of disposition schemes for area air-defense operation based on risk decision[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2013, 14(6):34-37.(in Chinese)
- [8] 刘旭,李为民,宋文静.考虑发射区部分重叠的防空作战目标分配[J].空军工程大学学报:自然科学版,2013,14(6):34-37.  
LIU Xu, LI Weimin, SONG Wenjing. Target assignment of air defense combat in overlapping shooting-area[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2013, 14(6): 34-37. (in Chinese)
- [9] Zhao K, Vouvakis M N, Lee J F. The adaptive cross approximation algorithm for accelerated method of moments computations of EMC problems[J]. IEEE trans EMC, 2005, 47(4):763-773.
- [10] Coello C A C, Palido G T, Lechuga M S. Handling multiple abjectiones with particle swarm optimization [J]. IEEE transactions on evolutionary computation, 2004, 8(3):256-279.

(编辑:田新华)