

# 基于模糊理论及蚁群算法打击任务量化\*

高桂清,王汉坤,武建,赵建波

(第二炮兵工程学院 研二队,西安 710025)

**摘要:**分析了巡航导弹的火力运用流程,并建立了巡航导弹火力运用的优化模型.用模糊综合评判对优化指标进行了量化,并根据蚁群算法进行了优化求解.

**关键词:**巡航导弹;火力运用;模糊综合评判;蚁群算法  
**中图分类号:**Π765 **文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2009)10-0001-03

巡航导弹火力运用分析的起点是接受下达的作战意图(根据任务性质,又分为战略意图,战役意图,一次作战行动作战意图),终点是提供可行方案.中间内容为信息准备,建模,效果指标计算,综合评估.上级下达作战意图时,作战意图一般描述为一段文字.因此,为更好的实现作战意图,应该首先对其作战意图进行分析和量化.在量化时,通常应把握住3个要素<sup>[1]</sup>,意图的基本目的是什么?打击的对象和打击的目标是什么?指标值要求是什么?本研究中将这个作业过程描述如图1所示.

分析;二是分析方案应遵循的准则;三是分析研究问题的界限;四是分析约束条件.在此基础上实现优化打击.优化打击的实现可用下式来描述:

$$\min f = \sum_{i=1}^n A_i x_i \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m b_i \sum_{j=1}^n (1 - p_{ij}) x_j \leq P$$

$$x_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

式中: $A_i$ 为第*i*枚导弹的价值; $b_i$ 为第*i*个目标的相对价值; $\sum_{i=1}^m b_i = 1$ ; $p_{ij}$ 为第*j*枚弹对目标*i*的杀伤概率; $P$ 为量化的作战意图.则可确立导弹对目标进行打击时的价值矩阵,即:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: $d_{ij}$ 为第*j*枚弹对目标*i*的杀伤价值, $d_{ij} = b_i \cdot p_{ij}$ .

## 2 模型的分析求解

### 2.1 作战意图量化

在了解上级的作战意图后,就要找出影响该作战意图的子系统,并对这些子系统进行具体的量化<sup>[2]</sup>.由于军事系统一般为复杂的,难以量化的模糊系统,因此在确定子系统价值时,可考虑用模糊综合评判方法.

模糊综合评判就是应用模糊合成运算法则和最大隶属度原则,考虑与评价事物相关的各个因素,对其所作的综合评价.在评价某个事物时,可以将评价结果分成一定

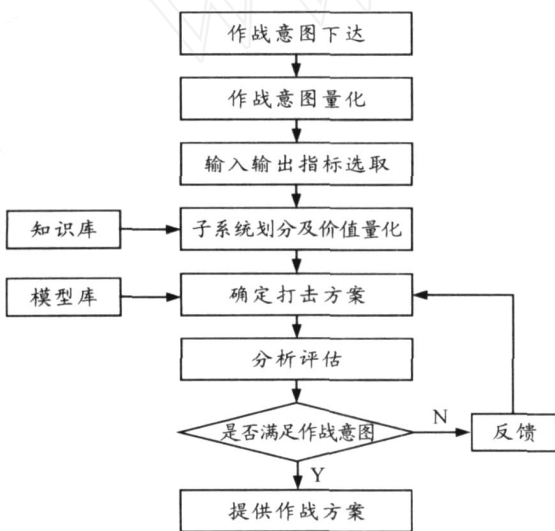


图1 系统分析过程

## 1 数学模型的建立

在提供方案前分4个问题进行分析:一是方案的目的

\* 收稿日期:2009-07-14

作者简介:高桂清(1969—),男,湖南常德人,教授,主要从事联合作战指挥研究;王汉坤(1982—),男,河南固始人,硕士研究生,主要从事联合作战指挥研究.

的等级(根据具体问题,以规定的标准分等级).

设评判因素的集合为:

$$U = \{ u_1, u_2, \dots, u_m \} \quad (3)$$

抉择评语集合为:

$$V = \{ v_1, v_2, \dots, v_n \} \quad (4)$$

首先对评价因素  $U$  中的单因素  $u_i (i=1, 2, \dots, m)$  作单因素评价,从因素  $u_i$  着眼确定该事物对抉择等级  $v_j (j=1, 2, \dots, n)$  的隶属度(可能性程度  $r_{ij}$ ),这样  $m$  个评判因素的评价集就构成一个总的评价矩阵  $R$ .

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$R$ 即是评判因素论域  $V$  的一个模糊关系,  $\mu_R(u_i, v_j) = r_{ij}$  表示因素  $u_i$  对决策等级  $v_j$  的隶属度.

评价的着眼点可看成评价因素论域  $U$  的模糊子集  $A$ , 记作

$$A = \frac{a_1}{u_1} + \frac{a_2}{u_2} + \dots + \frac{a_m}{u_m} \quad (6)$$

或者

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (7)$$

其中:  $a_i (0 \leq a_i \leq 1)$  为  $u_i$  对  $A$  的隶属度,它是单因素  $u_i$  在总评价的影响程度大小的度量;  $A$  称为  $U$  的因素重要程度模糊子集;  $a_i$  称为因素  $u_i$  的重要程度系数. 于是当模糊矢量  $A$  和模糊关系矩阵  $R$  已知时,作模糊评判变换来进行综合评价:

$$B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (8)$$

2.2 蚁群算法计算指标值

当作战任务和各个子系统的价值得到量化后,可以看出该问题在本质上属于数学规划中的非线性整数规划问题,是一种 NP 难题. 到目前为止,已经提出了很多经典的方法用于解决这一类问题,但时间复杂度一直是这些算法的瓶颈. 本文中采用蚁群算法对该问题进行求解.

Macro Dorigo 等在基本蚁群算法的基础上提出 Ant-Q System 的蚁群算法,该算法仅让每次循环中最短路径上的信息量作更新,且仅让信息量最大的路径以较大的概率被选中,以充分利用学习机制,强化最有信息的反馈<sup>[3]</sup>.

为了能将蚁群优化算法应用到该问题中,本文中把该问题表示为 1 个二部图  $G = \{ V, U, E \}$ .  $V$  是  $n$  个点的集合,分别表示  $n$  个目标,对应于二部图一侧的  $n$  个节点.  $U$  是  $m$  个点的集合表示  $m$  枚导弹,对应于二部图的另一侧  $m$  个节点.  $E$  是连接目标节点和导弹节点的边  $E = \{ e_{ij} | i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m \}$ . 若某个目标  $i$  被分配给导弹  $j$ ,则目标  $i$  和导弹  $j$  之间有边  $e_{ij}$  相连,否则无边.  $\tau_{ij}$  是边  $e_{ij}$  上的迹,如果目标  $i$  和导弹  $j$  之间无边,则  $\tau_{ij} = 0$ . 二部图的多个边组成一条路径,并对其进行可行性检验. 求解该问题是寻找的一条最优路径.

由于原问题是求解在满足作战意图的前提下,实现耗弹量最小,因此在进行迭代求解时,首先将巡航导弹数量固定,然后进行优化求解,若满足作战意图,得到最优打击方案,若不满足,增加巡航导弹数量继续优化求解,直至得到满足作战意图的最佳作战方案<sup>[4-5]</sup>.

当在一次计算过程中,巡航导弹数量确定后,问题变成

$$\max s = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} p_{ij} x_{ij} \quad (9)$$

约束条件:

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq g_j \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n$$

约束(10)表示某一时刻第  $i$  枚弹只能向一个目标射击,约束(11)表示某一时刻对第  $j$  个目标的导弹数不得超过  $g_j$ .

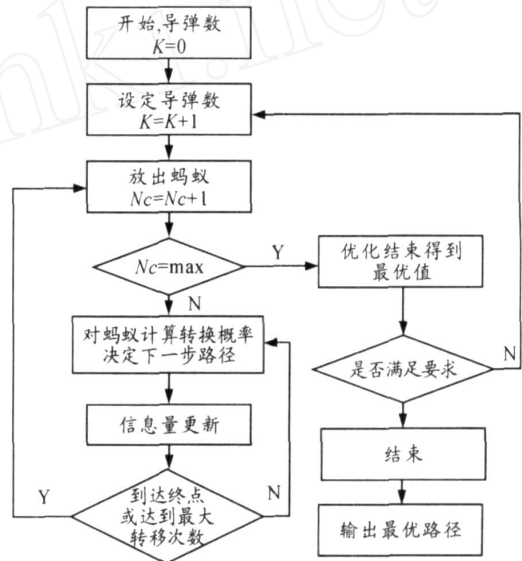


图2 算法流程图

在蚁群算法中,路径选择机制和信息素更新为核心问题<sup>[6]</sup>. 设蚁群中的蚂蚁数为  $m$ , 蚂蚁  $k$  随机选择一个目标并把它分配给导弹,然后随机选择第 2 个目标,在当前允许的导弹中分配给目标. 依次进行分配,直到满足  $1 - \prod_{i=1}^m b_{ij} = P$ . 在此过程中,蚂蚁  $k$  依据以下规则选择目标  $j$  分配给导弹  $i$ <sup>[7]</sup>:

$$S = \begin{cases} \arg \max_{u \in allowed_k} \{ [\tau_{ij}(t)] [\eta_{ij}] \} & \text{若 } q \leq q_0 \\ J & \text{否则} \end{cases} \quad (12)$$

$$J = \begin{cases} \frac{[\tau_{is}(t)] [\eta_{is}]}{[\tau_{is}(t)] [\eta_{is}]} & \text{若 } s \in allowed_k(t) \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $q_0$  是预先设定的阈值,  $q$  是区间  $[0, 1]$  内的一个随机数;  $i_j$  表示启发式信息量. 在该问题中,  $i_j = d_{ij}$ , 是参数, 代表启发信息的重要程度.

信息素局部更新  $i_j$  按照如下规则进行更新:

$$i_j(t+1) = (1 - \rho) \cdot i_j + \rho \cdot \tau \cdot \eta_j \quad (14)$$

式中  $\rho$  是一常数,  $0 < \rho < 1$ .

信息素全局更新按以下规则:

$$i_j(t+1) = (1 - \rho) \cdot i_j(t) + \rho \cdot \tau \cdot \eta_j \quad (15)$$

$0 < \rho < 1$  表示信息素的挥发, 是参数控制信息素的衰减过程. 式中  $i_j(t) = \frac{1}{F^{elitist}}$ ,  $F^{elitist}$  表示当前最优解.

### 3 算例验证

设我方有 2 种不同战斗部型号的巡航导弹, 作战意图下达为使敌方在该区域防空作战能力下降 80%, 敌方在该区域有 3 个子系统, 3 个子系统分别为: 防空导弹系统, 高炮系统和地面组网雷达系统. 3 个子系统的综合价值指标经模糊综合评价计算的结果为:  $b_1 = 0.3$ ,  $b_2 = 0.2$ ,  $b_3 = 0.5$ ; 约束条件为: 第 1 种战斗部的巡航导弹总量为  $m_1 = 6$ ; 第 2 种战斗部的巡航导弹总量为  $m_2 = 5$ . 2 种战斗部的价值  $A_1 = A_2$ . 战斗部对其毁伤的概率见表 1.

表 1 战斗部对敌子系统的毁伤概率

目标编战斗部编号	$d_{ij}$		
	1	2	3
1	0.4	0.1	0.5
2	0.2	0.4	0.2

将计算, 得到符合要求的最优方案为:

$$X = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 3 \\ 0 & 3 & 0 \end{pmatrix}$$

该区域的作战能力的下降过程如图 3 所示.

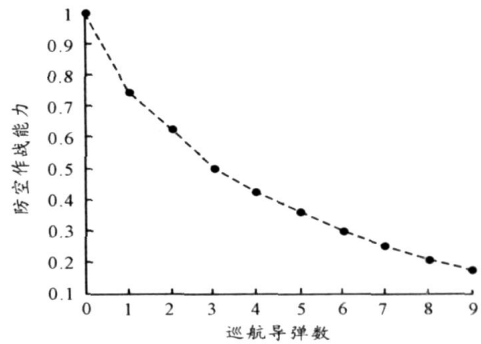


图 3 防空作战能力下降曲线

### 4 结束语

巡航导弹火力运用作为巡航导弹作战过程中的重要组成部分, 具有非常重要的意义. 本研究在对巡航导弹作战流程进行分析的基础上, 用模糊综合评判对指标进行了量化, 并用蚁群算法对巡航导弹的火力分配进行了优化, 如对论文中的模型进行更细致的改进, 则可得到更为准确的结果.

### 参考文献:

- [1] 邱成龙. 地地导弹火力运用原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [2] 邢文训, 谢金星. 现代优化计算方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 巩敦卫, 张勇, 张建华, 等. 新型粒子群优化算法[J]. 控制理论与应用, 2008, 25(1): 111 - 114.
- [4] 隋树元, 王树山. 终点效应学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] 王儒策, 赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993: 45 - 218/
- [6] 徐达军, 唐硕. 基于改进遗传算法的飞行航迹规划[J]. 宇航学报, 2008, 29(5): 1541 - 1543.
- [7] Nones L. Cooperative teaming Using Advice Exchange[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2003.