

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.04.007

基于改进蚁群算法的炮兵火力优化分配模型

赵磊, 陈庆龙, 巩珏

(解放军炮兵学院 5 系, 合肥 230031)

摘要: 根据炮兵作战实际问题, 建立基于改进蚁群算法的火力分配决策模型。描述解决火力分配问题的一般步骤, 对算法流程进行设计, 并利用匈牙利法进行实验结果比对。实验结果表明, 该方法合理有效, 求解效率和质量较其它算法有明显提高。

关键词: 蚁群算法; 火力分配; 优化模型

中图分类号: O159; N945.12 **文献标志码:** A

Optimal Weapon-Target Assignment Model of Artillery Firepower Based on Improved Ant Colony Algorithm

Zhao Lei, Chen Qinglong, Gong Jue

(No. 5 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: According to the practical problem of artillery battle operation, establish the optimal weapon-target assignment model based on improved ant colony algorithm. The common steps about solving the problem of fire distribution are described, the algorithm process is designed, and the simulation result of an example is compared with Hungary method. The test result shows that the method has good rationality and validity, which is better than other algorithms on solving effectiveness and quality.

Keywords: ant colony algorithm; fire distribution; optimization model

0 引言

炮兵火力优化分配问题是炮兵指挥员在兵力、火力资源有限的情况下, 及时有效地运用有限的武器充分发挥其最大效能来打击火力目标, 使火力毁伤效果达到最大, 是射击指挥时的核心问题。

火力优化分配本质上属于数学规划中非线性整数规划问题, 解决此问题的经典算法有匈牙利法、遗传算法等, 但这些算法都会产生指数级的时间复杂度, 而蚁群算法不仅能够智能搜索、全局优化, 而且具有稳健性、正反馈、易与其他算法结合等特点。因此, 根据炮兵作战实际问题, 建立炮兵火力分配数学模型, 利用改进后的蚁群算法研究火力优化分配。

1 问题描述与模型建立

问题描述: 假设有 m 个火力单元要对敌 n 批目标进行火力打击, 每个火力单元只能打击一批目标, 每批目标可以分配多个火力单元。笔者以“最大程度毁伤目标”角度出发建立优化模型如下:

1) 目标分配矩阵 $\mathbf{X}=(x_{ij})_{m \times n}$, 元素 x_{ij} 表示第 i 个火力单元对第 j 批目标的分配, 1 为分配, 0 为不分配。

2) 目标价值变量 v_j : $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 元素

v_j 表示目标的重要程度。

3) 射击毁伤概率矩阵 $\mathbf{F}=(f_{ij})_{m \times n}$, 其中, f_{ij} 为第 i 个火力单元对第 j 个目标射击的毁伤概率。

4) 火力优化分配决策模型: 其中, M 表示分配火力单元打击全部目标的杀伤概率和, E 表示分配火力单元打击全部目标的失败概率和。

$$\max M = \sum_{j=1}^n v_j \sum_{i=1}^m f_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\min E = \sum_{j=1}^n v_j \sum_{i=1}^m (1 - f_{ij} x_{ij}) \quad (2)$$

其中, 约束条件 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq m$ 表示某一时刻, 所有参

加射击的火力单元不大于 m , 约束条件 $\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1$ 表

示某一时刻第 i 个火力单元最多只能向一个目标射击。

2 基本蚁群算法原理

蚁群算法基本原理可以理解为: 蚂蚁通过对外释放信息素, 进行交流与合作, 蚂蚁在运动过程中根据所获取信息素的浓度来选择路径, 同时释放自己的信息素。也就是说, 路径上信息素的浓度越大, 蚂蚁选择该路径的机会越大。于是, 蚂蚁经常运动

收稿日期: 2010-12-09; 修回日期: 2011-02-25

作者简介: 赵磊 (1983—), 男, 山东人, 硕士研究生, 助理工程师, 从事作战指挥决策理论与方法研究。

的路径上信息素浓度也就越大; 而信息素的浓度随时间的推移不断减小, 蚂蚁很少选择的路径上信息素浓度就越来越小。当蚂蚁数量很大时, 就会出现信息素正反馈现象, 直到蚂蚁找到一条从蚁穴到食物源的最佳路径。

为了能将蚁群算法应用到火力分配问题中, 更好地体现蚂蚁在火力优化过程中的搜索特点和禁忌规则, 笔者将炮兵火力单元和目标之间的关系用二分图来表示。二分图是图论中的一种特殊模型。设 $G=(V,E)$ 是一个无向图, 如果顶点 V 可分割为 2 个互不相交的子集 (A,B) , 并且图中的每条边 (i,j) 所关联的 2 个 i 和 j 分别属于这 2 个不同的顶点集 $(i \text{ in } A, j \text{ in } B)$, 则称图 G 为一个二分图。

3 算法基本规则设计

利用蚁群算法对炮兵火力进行优化分配的基本规则为:

1) 初始化, M 只蚂蚁随机置于武器集的 m 个节点上, 任一蚂蚁 k 按式 (3) 计算状态转移概率。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[t_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ik}(t)]^\beta}{\sum_{s \in \text{tabu}_k} [t_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta} & j \in \text{tabu}_k \\ 0 & j \notin \text{tabu}_k \end{cases} \quad (3)$$

其中, $t_{ij}(t)$ 是 t 时刻第 i 个火力单元和第 j 个目标之间的迹。 $\eta_{ik}(t)$ 由最优火力方案决定, 其数值上等于第 i 个火力单元对第 j 个目标的毁伤概率 f_{ij} 与第 j 个目标的价值 v_j 的乘积:

$$\eta_{ij} = f_{ij} \times v_j \quad (4)$$

用禁忌表 tabu_k 来记录蚂蚁当前已经走过的路径, 并随时动态更新, 计算出状态转移概率后, 用轮盘法选择下一目标 j 。

2) 当蚂蚁 k 从未被分配的火力单元点移向目标点时, 可以移向尚未分配火力单元的目标点, 也可以移向已经分配了火力单元的目标点, 但不允许移向已达到“最大可分配武器数”限制的目标点。当蚂蚁 k 移向目标点时, 该目标点的已分配武器数增加一, 建立一条从火力单元指向目标点的有向路径, 且不能再次回到移出的火力单元。之后, 若该目标点达到“最大可分配武器数”, 则蚂蚁 k 不能再次到达该目标点, 反之则蚂蚁 k 可继续移到该目标点。

3) 当蚂蚁 k 从目标点向火力单元点移动时, 若该目标点已被分配火力单元但尚未达到“最大可分配武器数”限制, 允许蚂蚁移向火力单元点, 建立一条从目标点指向火力单元的有向路径。否则该节

点不再参与搜索, 蚂蚁 k 不得再次移动至该目标点。

4) M 只蚂蚁按各自的路径遍历所有的火力单元点和目标点, 当所有的目标点都达到“最大可分配武器数”或可分配武器数为零时, 搜索结束, 得到 M 条搜索路径, 即 M 个解。将这 M 个解代入目标函数计算得到局部最优解, 记录这个局部最优解。

5) 利用式 (5) 全局更新所有路径上的信息素。

$$\tau(i,j) = \begin{cases} (1-\varphi) \cdot \tau(i,j) + \varphi \cdot 1/L_k \\ 0 \end{cases} \quad (5)$$

6) 循环 1~5 步 N 次后, 得到 N 个局部最优解, 比较这 N 个解即可得到一个最优解。

图 1 为蚂蚁 k 在一次搜索中建立的一条可行的路径: $A6 \rightarrow T5 \rightarrow A4 \rightarrow T2 \rightarrow A3 \rightarrow T3 \rightarrow A5 \rightarrow T5 \rightarrow A2 \rightarrow T1 \rightarrow A1 \rightarrow T4 \rightarrow A7 \rightarrow T6$; $T_n (n=1 \sim 6)$ 表示目标节点, 括号中的数字为该节点的最大可分配武器数。 $A_m (m=1 \sim 7)$ 表示火力单元节点。

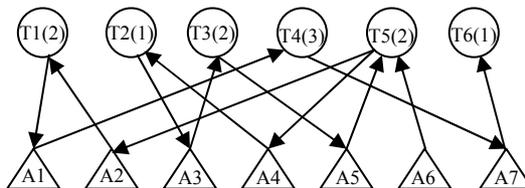


图 1 火力分配蚁群算法流程图

4 算法流程设计

基于火力分配问题的特点, 将分配条件的各要素映射到二部图 $G=(V,U,E)$ 。 V 是 n 个点的集合, 分别表示 n 个目标, 对应于二分图一侧的 n 个节点。 U 是 m 个点的集合, 表示 m 个火力单元, 对应于二分图的另一侧 m 个节点。 E 是连接目标节点和火力单元节点的边 $E=\{e_{ij}|i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m\}$ 。若某个目标 i 被分配给火力单元 j , 则目标 i 和火力单元 j 之间有边 e_{ij} 相连, 否则无边。 τ_{ij} 是边 e_{ij} 上的迹, 如果目标 i 和火力单元 j 之间无边, 则 $\tau_{ij}=0$, 二分图的多个边组成的一条可行路径, 对应于火力分配问题中的目标集和火力单元集的一种分配方案, 求火力分配问题的最优解就是寻求在完全二分图上的一条最优路径。

1) 初始化。目标集和火力单元集之间的信息素浓度由式 (6) 决定:

$$\tau_{ij}(t) = \tau_0 + \Delta\tau \quad (6)$$

其中 τ_0 表示在初始时刻 ($t_0=0$) 边 e_{ij} 上的迹, τ_0 是一个较小的正实数, 表示信息素常量。 $\Delta\tau$ 由式 (7) 给定:

(下转第 26 页)

[3] Xu Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators[J]. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, 2007(15): 1179-1187.
 [4] 黎华, 王周敬. 基于直觉模糊集的多属性决策问题[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2008, 33(6): 109-112.
 [5] Chen S M, Tan J M. Handling multi-criteria fuzzy decision making problems based on vague set theory[J]. Fuzzy sets and Systems, 1994, 67(2): 163-172.
 [6] 周晓光, 张强, 胡望斌. 基于 Vague 集的 TOPSIS 方法及其应用[J]. 系统工程理论方法与应用, 2005, 14(6): 537-541.
 [7] 雷英杰, 王宝树. 基于直觉模糊推理的威胁评估方法[J].

电子与信息学报, 2010, 29(9): 2077-2081.
 [8] 李鹏, 魏翠萍. 直觉模多属性决策新方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(1): 59-60.
 [9] 方亮, 席泽敏, 肖治平. 灰色模糊综合评判法在组网雷达作战效能评估中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(12): 130-133.
 [10] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making and applications[M]. New York: Springer-verlag, 1981.
 [11] 杨萍, 刘卫东. 基于证据理论的群决策层次评价方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(2): 42-44.

(上接第 19 页)

$$\Delta\tau = \sum_{k=1}^r \Delta\tau_{ij}^k \quad (7)$$

$\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 条路径中边 e_{ij} 上的迹, r 为路径的总数。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q & \text{武器 } i \text{ 和 } j \text{ 之间有边} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

Q 为调整系数。

2) 选择路径。任一蚂蚁 k 按式 (3) 计算状态转移概率。

3) 信息素局部更新。当每只蚂蚁都选择好目标节点之后, 运用式 (5) 更新边 e_{ij} 上的迹。

4) 局部循环。所有蚂蚁都选择好各自目标节点并局部更新信息迹之后, 设置蚂蚁的禁忌表 (若目标点已被分配的火力单元数达到最大, 可分配火力单元限制, 则将该节点置于蚂蚁的禁忌表)。蚂蚁随机移动至下一个未分配的火力单元节点, 转向第 2 步; 若所有火力单元节点都已遍历完, 则进入第 5 步。

5) 信息素全局更新。所有蚂蚁都遍历完所有火力节点后, 就建立了 M 个解, 将这 M 个解代入目标函数计算, 并将最优的一个解保留, 应用式 (5) 更新所有边上的迹。

文献[4]中给出了对 α 、 β 、 ρ 设置的研究结果, 在文中经过多次试验, 当 $\alpha=1$, $\beta=5$, $\rho=0.5$, $50 \leq Q \leq 500$ 时, 运算效果较好。

5 算例分析

假设敌纵深区域有 5 个目标 T1、T2、T3、T4、T5 需要打击, 打击武器分布于 5 个火力单元 A1、A2、A3、A4、A5, 每个火力单元最多可使用 1 个武器, 对每个目标最多可使用 1 个武器, 目标价值系数 v_j 如表 1, 各火力单元的毁伤概率 f_{ij} 如表 2。

分别利用匈牙利法和改进蚁群算法在 Matlab

中做算法仿真, 设置参数迹的初值 $\tau_0=60$, 迹的更新参数 $\rho=0.5$, 蚂蚁数目 $m=4$, 信息素强度 $Q=100$, 信息式启发因子 $\alpha=1$, 期望启发式因子 $\beta=5$, 迭代次数 $t_{\max}=100$, 都可得到相同最优解, 如表 3。

表 1 目标价值系数 v_j

目标编号	T1	T2	T3	T4	T5
v_j	0.37	0.39	0.93	0.91	0.58

表 2 火力单元的毁伤概率 f_{ij}

火力单元	目标编号				
	T1	T2	T3	T4	T5
A1	0.14	0.27	0.72	0.77	0.75
A2	0.17	0.31	0.76	0.74	0.78
A3	0.73	0.82	0.39	0.21	0.18
A4	0.23	0.35	0.79	0.61	0.74
A5	0.83	0.76	0.32	0.13	0.12

表 3 火力优化分配结果

目标编号	T1	T2	T3	T4	T5
火力单元	A5	A3	A4	A2	A1

由此说明此蚁群算法是合理的, 对于 $m=n$ 较小时, 用匈牙利法解比较方便, 当 $m=n$ 较大时用蚁群算法效率较高。

6 结束语

实验结果证明, 基于改进蚁群算法的炮兵火力优化分配模型具有较好的收敛性和全局搜索能力, 求解效率、求解质量较其它算法有明显提高, 具有一定的应用价值。

参考文献:

[1] 段海滨. 蚁群算法的原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [2] Chou-Yuan Lee, Shun-Feng Su. An immunity based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem[J]. Applied Soft Computing, 2002(2): 39-47.
 [3] 任富兴, 王雪琴. 现代炮兵计算理论与方法[M]. 北京: 解放军出版社, 2002.
 [4] 叶志伟, 郑肇葆. 蚁群算法中参数 α 、 β 、 ρ 设置的研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004(7): 597-601.