

doi: 10.7690/bgzd.2013.06.008

一种求解军事指派问题的改进蚁群算法

王书勤, 黄茜

(武警警官学院数理系, 成都 610213)

摘要: 指派问题在军事领域非常常见, 军事指派问题一般是用匈牙利法来进行求解, 匈牙利法复杂且难于编程实现, 根据指派问题的特点将其与旅行商问题联系起来, 提出了一种改进的蚁群算法。仿真证明了该算法解决军事领域指派问题的可行性和先进性。

关键词: 蚁群算法; 旅行商问题; 信息素; 军事指派问题

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

An Improved Ant Colony Algorithm for Military Assignment Problem

Wang Shuqin, Huang Qian

(Department of Mathematics & Physics, Officers College of CAPF, Chengdu 610213, China)

Abstract: Assignment problem is a common problem in military field, and Hungarian algorithm is a common algorithm for this problem, but Hungarian algorithm is complicated and difficult to be programmed. So, base on the relation between the traveling salesman problem and the military assignment problem, an improved ant colony algorithm for the assignment problem is proposed in this article, simulations show that the algorithm is effective and advanced.

Key words: ant colony algorithm; traveling salesman problem; pheromone; military assignment problem

0 引言

指派问题 (assignment problem) 又称任务分配问题, 是一类典型的组合优化问题, 同时又是一类常见的 NP-Complete 问题, 军事指派问题是指发生在军事领域内的指派问题, 如兵力的分配问题、火力优化问题、保障任务的最优安排问题、作战目标的分配等问题。

指派问题一般是用匈牙利法进行计算, 但该方法很难在计算机上实现^[1], 近年来出现了如模拟退火算法、遗传算法、粒子群算法、神经网络算法等启发式算法为求解任务指派问题提供了新的途径。文献[2]给出了指派问题的遗传算法; 文献[3]给出了指派问题的改进粒子群优化算法; 文献[4]给出了指派问题的变异蚁群算法求解。笔者从另外一个角度, 通过对蚁群算法的改进, 很好地将蚁群算法应用到了军事指派问题的求解上。

1 军事指派问题介绍

军事指派问题为军事领域中 n 个单位, n 项任务, 一个单位只能受领完成其中的一项任务, 一项任务只能交给一个单位, 每个单位完成每项任务的效率已知, 求使总效率最高的分配方案, 军事指派问题也叫军事分派问题, 其数学模型为:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 & (i = 1, 2, \dots, n) \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 & (j = 1, 2, \dots, n) \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \end{cases}$$

$$\text{若 } x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{指派单位 } i \text{ 完成任务 } j \\ 0 & \text{不指派单位 } i \text{ 完成任务 } j \end{cases}$$

则决策变量矩阵可表示为:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{pmatrix}$$

用 c_{ij} 表示单位 i 完成任务 j 所需的资源数, 则

效率系数矩阵可表示为:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}$$

指派问题既是一个整数规划模型, 也是一个线

收稿日期: 2012-12-08; 修回日期: 2013-01-07

作者简介: 王书勤(1976—), 男, 湖南人, 硕士, 讲师, 从事人工智能算法研究。

性规划模型^[5]。

2 基本蚁群算法介绍

蚁群算法 (ant colony algorithm, ACA) 是意大利学者 Marco Dorigo 等提出的一种仿生寻优算法, 该算法原理是对真实蚁群协作过程的模拟^[6-7], 算法主要由选择策略、信息素更新和搜索算法组成。算法是根据真实蚂蚁寻找最短路径的方法提出来的, 由于蚂蚁会选择信息素浓度大的路径, 并在经过的路径上留下信息素, 随着时间的推移和信息素的挥发, 最短路径上的信息素就会越来越浓, 最终使得所有蚂蚁选择该路径, 从而找到最短路径。下面以旅行商问题 (traveling salesman problem, TSP) 为例说明算法的基本框架。设有 n 个城市, m 只蚂蚁, $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ (可见度), d_{ij} 为城市 i 到城市 j 的距离; $\tau_{ij}(t)$ 为 t 时刻 i 和 j 间的信息量; $\Delta\tau_{ij}^k$ 为蚂蚁 k 访问 (i,j) 释放的信息量; $p_{ij}^k(t)$ 为蚂蚁 k 由 i 向 j 的转移概率。初始时刻 $\tau_{ij}(0) = c$ (c 为常数), 蚂蚁 k 按式 (1) 由 i 选择 j , 当所有蚂蚁完成周游, 环路上的信息素按式 (2) 或 (3) 进行全局更新, 最后计算每只蚂蚁走过的路径长度, 保存最短路径。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{r \in \text{tabu}_k} [\tau_{ir}]^\alpha [\eta_{ir}]^\beta} & j \notin \text{tabu}_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中: tabu_k 为蚂蚁 k 已访问的城市集合; α 和 β 为信息量和自启发量的权重。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (2)$$

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij}(t) \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (4)$$

在 ant-cycle system 模型中,

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L^k & \text{经过}(i,j) \\ 0 & \end{cases} \quad (5)$$

其中: ρ 为挥发系数; Q 为常数; L^k 为蚂蚁 k 所走路程的长度。

M.Dorigo 给出了 3 种算法模型, 分别为 ant-cycle system, ant-quantity system, ant-density system, 其区别就在于公式 (5) 的不同^[8]。

3 军事指派问题的求解算法设计

3.1 将指派问题转化为 TSP

指派问题的解是得到一最优指派方案, 也就是

将单位和任务进行配对, 若首先让单位 (任务) 的次序固定, 指派问题就变成了找任务 (单位) 的最优次序问题, 这时可将任务 (单位) 的序号看成 TSP 中的城市的序号, 将效率 c_{ij} 看成是 TSP 中蚂蚁所在城市 i 到城市 j 间的距离, 这样就将指派问题转化成了 TSP。

3.2 算法的改进

1) 算法是按从小到大的自然顺序固定列标 (任务的次序), 根据效率矩阵让蚂蚁逐列搜索按行标 (单位的次序) 找解, 先随机给定蚂蚁第 1 列的一个行标作为初始解, 并将此行标纳入禁忌表, 再搜索第 2 列得到下一个行标, 直到搜索完所有列, 得到所有行标的一个序列, 也就找到问题的一个解。

2) 蚁群算法中, 最大化问题, 选择概率中的自启发因子 η_{ij} , 定义为 $1/c_{ij}$ (为单位 i 完成任务 j 的效率) 最小化问题, 则 $\eta_{ij} = c_{ij}$, 其他不变。

3) 最大化问题, 利用所有效率总和最大的原则进行解的最优性检验, 最小化问题相反。

3.3 算法的实现

根据以上算法的思路, 算法流程如图 1。

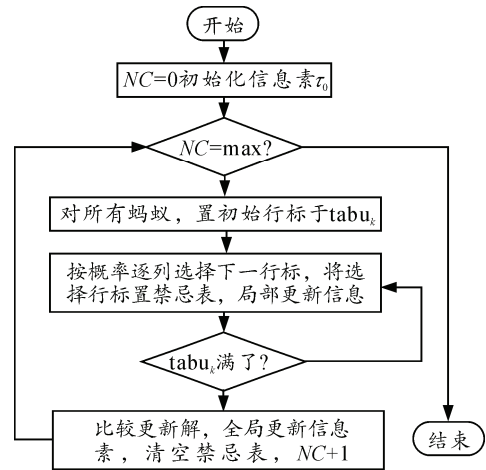


图 1 算法流程

4 实验结果与分析

用 Matlab 语言实现了算法, 并就军事领域里的任务指派问题进行了检验。

4.1 算例检验

4.1.1 算例 1: 设卡中队的最优指派问题

某支队接到上级命令, 某一犯罪团伙最近潜逃至该市, 要求该支队在该市的 5 个重点路段设卡检查, 该支队派 5 个中队去执行这项任务, 已知各中

队离各号卡的路程 c_{ij} (单位: km) 如表 1, 问支队应如何分配这项任务。

表 1 算例 1 效率矩阵 km

单位	任务				
	1 号卡	2 号卡	3 号卡	4 号卡	5 号卡
一中队	4	8	7	15	12
二中队	7	9	17	14	10
三中队	6	9	12	8	7
四中队	6	7	14	6	10
五中队	6	9	12	10	6

将蚂蚁数为 10, 迭代 200 次, 得最优航标序列为

3 2 1 4 5
算法最优值进化曲线图如图 2。

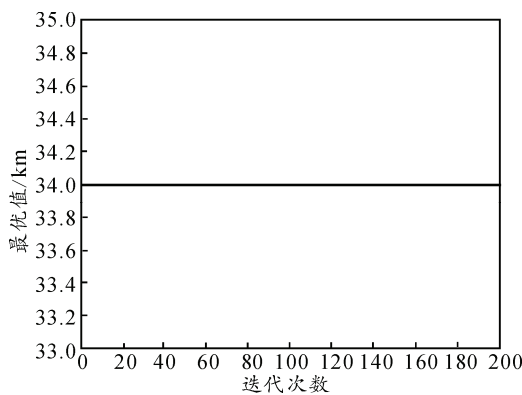


图 2 算法最优值收敛曲线

由图 2 可以看出, 最优值为 34 km, 与用匈牙利法求解结果完全一致, 且第 1 次迭代便得到问题最优解, 即最优指派方案为: 三中队去 1 号卡, 二中队去 2 号卡, 一中队去 3 号卡, 四中队去 4 号卡, 五中队去 5 号卡。

4.1.2 算例 2: 火力最优分配问题

射手 A_1 、 A_2 、 A_3 命中并击毁敌坦克 B_1 、 B_2 、 B_3 的效率如表 2。

表 2 算例 2 效率矩阵

射手	敌坦克		
	B_1	B_2	B_3
A_1	0.5	0.7	0.9
A_2	0.6	0.9	0.7
A_3	0.8	0.8	0.9

如何分配, 才能使敌坦克被击毁率最高?

将蚂蚁数为 10, 迭代 200 次, 得最优行标序列为

3 2 1
算法最优值进化曲线如图 3。

由图 3 可以看出, 最优值为 2.6, 与用匈牙利法求解结果完全一致, 且第 1 次迭代便得到问题最优

解, 即最优指派方案为: A_3 分配 B_1 , A_2 分配 B_2 , A_1 分配 B_3 。

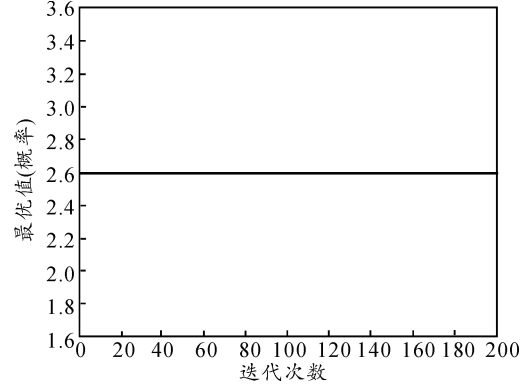


图 3 最优值收敛曲线

4.1.3 算例 3: 保障任务的最优安排问题

某战斗保障任务有 4 项工作, 需 4 个单位完成, 因时间限制, 每个单位只能完成其中一项。单位 B_j 完成项目 A_i 的时间(单位: h) 如表 3, 求使总完成时间最少的分配方案。

表 3 算例 3 效率矩阵 h

项目	单位			
	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	35	45	39	43
A_2	31	40	41	41
A_3	33	41	39	41
A_4	32	43	35	39

将蚂蚁数置为 10, 迭代 200 次, 得最优行标序列为

2 4 3 1
算法最优值进化曲线图如图 4。

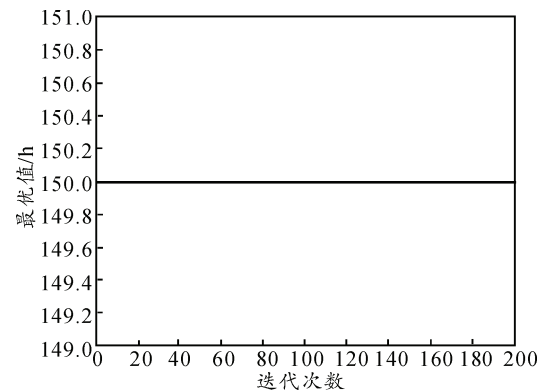


图 4 算法 1 最优值收敛曲线

由图 4 可以看出, 最优值为 150 h, 与用匈牙利法求解结果完全一致, 且第 1 次迭代便得到问题最优解, 即最优指派方案为: B_1 分配 A_2 , B_2 分配 A_4 , B_3 分配 A_3 , B_4 分配 A_1 。

5 结束语

笔者主要利用改进蚁群算法求解了军事领域的

平衡指派问题，对于非平衡指派问题，可先转化成平衡指派问题，一样可以用该算法求解。实例仿真结果证明：改进蚁群算法简单、快速、有效，是一种求解军事指派问题的新的较好的算法。

参考文献：

[1] Sukkarieh S, Nebot E M, Durrant-Whyte H F. A High Integrity IMU GPS Navigation Loop for Autonomous Land Vehicles Applications[J]. IEEE, 1999, 15(3): 572-578.
 [2] 李言, 陈祖安, 徐跃飞, 等. 指派问题的遗传算法研究与实现[J]. 西安理工大学学报, 1996(4): 271-276.
 [3] 谈文芳, 赵强, 余胜阳, 等. 改进粒子群优化算法求解任务指派问题[J]. 计算机应用, 2007(6): 50-52.
 [4] 梁耀, 覃征, 杨利英, 等. 指派问题的变异蚁群算法求解[J]. 微电子学与计算机, 2006(6): 80-83.

[5] 董树军, 张庆捷. 军事运筹学[M]. 蓝天出版社, 2006.
 [6] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [7] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Trans on Evolutional Computation, 1997, 1(1): 53-66.
 [8] 秦玲. 蚁群算法的改进与应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2004.
 [9] 杨冬, 王正欧. 改进的蚂蚁算法求解任务分配问题[J]. 天津大学学报, 2004(4): 373-376.
 [10] 王书勤, 黄茜. 蚁群算法参数优化设置研究[J]. 信阳师范学院学报, 2012(2): 262-265.
 [11] 王书勤, 黄茜. 一种基于 CVRP 的改进蚁群算法[J]. 甘肃科技, 2011(3): 198-210.
 [12] 叶仲泉, 王书勤, 黄茜. 基于带时间窗的车辆路径问题的蚁群算法[J]. 重庆工学院学报, 2007(6): 50-52.

(上接第 6 页)

攻角机构的中部支架上设置 γ 机构， γ 机构带动尾支杆、天平和模型转动 γ 角，同时，攻角机构也在铅垂面内转动角度 α_m ，这时模型轴线在纵向平面与风洞轴线之间的夹角就是模型的攻角 α ，在水平面与风洞轴线之间的夹角即为模型的偏航角 β ，如图 9^[5]所示。

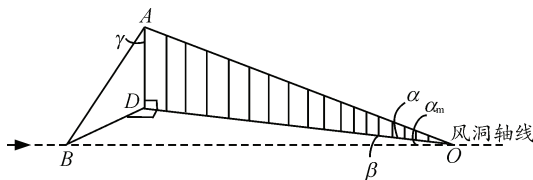


图 9 α - γ 机构关系式推导几何图形

根据图 9 几何图形推导出拟合公式：

$$\sin\alpha = \cos\gamma \cdot \tan\alpha_m; \quad \sin\beta = \sin\gamma \cdot \sin\alpha_m;$$

理论上说，模型的任何 α 、 β 角都可以通过攻角机构 α_m 和滚转角机构 γ 组合来实现。

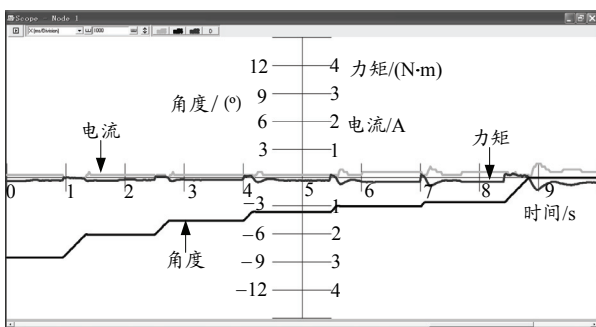


图 10 试验曲线

根据实际测算与验证，滚转控制装置在 $\phi 0.5$ m 高超声速风洞中能够模拟出的 β 角范围为 $-50^\circ \sim$

$+50^\circ$ 。该装置的应用可以拓展模型支撑机构的应用范围，满足大侧滑角的风洞试验需求，提升试验能力和效率。

在某型号风洞试验中，自动变滚转角位移曲线平稳光滑(见图 10)，表明滚转控制装置运行稳定，定位准确。通过精密角度测量仪进行检测，机构精度达到 $3'$ 。

6 结论

- 1) 新型滚转控制装置能满足气动载荷要求，且响应速度快，定位精度较高 ($\Delta\gamma = \pm 3'$)，运行平稳可靠，可进行滚转角、大侧滑角试验，拓展了试验能力；
- 2) 该装置结构紧凑，尺寸小，能够满足大多数试验条件下对堵塞度的要求；
- 3) 该装置对天平信号造成的干扰小，实际试验中天平信号传输稳定；
- 4) 相比使用人工手动调整滚转角，该装置在一次吹风过程中可以完成多个滚转角度的试验，较大地提高了试验效率。

参考文献：

[1] 范洁川. 风洞实验手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002: 281-283.
 [2] 恽起麟. 风洞试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 236-237.
 [3] Feng Ming, Qu Liang. Torque Performance Analysis of HDD Spindle Motors Based on Geometrical Interpretation. IEEE Trans. on Magnetics[J]. 2011(47): 1906-1910.
 [4] 刘晔, 杨新伟, 张璐, 等. 基于 VC++ 的飞机电源控制器试验台软件设计[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(2): 111.
 [5] 刘政崇. 风洞结构设计[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2005: 109-110.