

不确定环境下的战场物资供应任务规划

童声¹, 郭建胜¹, 郑明发², 张磊¹

(1.空军工程大学装备管理与安全工程学院,陕西西安,710051;2.空军工程大学理学院,陕西西安,710051)

摘要 针对执行战场物资供应任务之前,不确定环境下的战场物资供应任务规划问题进行研究,并建立相应的不确定规划模型,引入一种新的启发式算法——蜂群算法,对其进行改进,构建适于解决战场物资供应任务规划问题的算法,并通过与现有算法进行性能比较,验证其有效性。最后,通过一个存在13个供应任务点的应用实例,验证提出的模型及算法的有效性。结果表明,不确定环境下得到的最佳方案更符合实际。

关键词 物资供应;任务规划;不确定理论;蜂群算法

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.05.020

中图分类号 O221.6 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)05-0088-04

Battlefield Material Provision Mission Planning under Uncertain Environment

TONG Sheng¹, GUO Jian-sheng¹, ZHENG Ming-fa², ZHANG Lei¹

(1.Equipment Management and Safety Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2.Science College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: This paper mainly studies the battlefield material provision mission planning problem under the condition of uncertain environments, and builds up a corresponding uncertain programming model. In consideration of the NP-hard nature of the battlefield material provision mission planning problem, the paper introduces an elicitation algorithm, i.e. a new artificial bee colony algorithm, which is modified and is constructed to be suitable for solving the battlefield material provision mission planning problem. And through the performance comparison of this algorithm with other algorithms, the algorithm is effective. Finally, an application study of 13 mission targets is presented and the model is verified. The results show that the optimal plan under the uncertain environments is more practical.

Key words: Materials Provision; Mission Planning; Uncertain Theory; Artificial Bee Colony Algorithm

现代战争对战场运输路线的可靠性和高效性的要求越来越高^[1]。以往制定战场运输路线和运输计划,参谋人员主要依据保障对象(作战部队等)和供

应单位(各个仓库、油库等)的分布,结合军用交通运输规则和工作经验,在纸质地图上手工完成。这种制定方式往往耗时长、效率低、可靠性不高。如何在

收稿日期: 2014-01-17

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2013JM1003)

作者简介: 童声(1990-),男,陕西西安人,硕士生,主要从事系统分析设计与优化、不确定规划理论研究, brianmeyer@sina.com

引用格式: 童声,郭建胜,郑明发,等. 不确定环境下的战场物资供应任务规划研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(5):88-91. TONG Sheng, GUO JianshengZ, HENG Mingfa, et al. Battlefield material provision mission planning under uncertain environment [J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(5): 88-91.

瞬息万变的战场环境下迅速做出高效、可靠的物资供应任务规划,是当前研究的热点。国内目前关于物资供应的研究主要集中于确定环境下的物资供应任务规划问题研究^[2-3]。然而,在战时规划物资供应任务,除了要考虑载具的油量、数量、装载量等确定性因素,战场环境往往还充满着很多非确定性因素,诸如任务环境的天气、地形以及复杂战场空间带来的潜在威胁,由于经济或技术上的原因,往往无法获取战场态势的足够数据,因此很难得到在多个供应任务点之间确切的运输时间,需要依靠领域专家估计运输时间的可能性分布。这类非决定性现象称为不确定性。Liu 认为,使用概率论和模糊集理论都无法正确处理不确定性,因此,Liu 在 2007 年建立了不确定理论,并在 2010 年精炼了不确定理论^[4],使它成为一个基于规范性公理、对偶性公理、次可加公理和乘积公理的数学系统。

对战场物资供应任务规划问题在不确定环境下的研究并不多见。基于此,本文主要研究不确定环境下存在多个供应任务点的战场物资供应任务规划问题,将各个任务点之间的运输时间看作不确定变量,而不是常量或随机变量,通过模型的构建与求解,制定有效的任务方案,使得在最短的时间里遍历所有的任务点,完成供应任务。蜂群算法(Artificial Bee Colony Algorithm, ABC)作为一种新的启发式算法,适于解决复杂优化问题。因此,本文构造了基于 ABC 的不确定战场物资供应任务规划问题(Uncertain Battlefield Material Provision Mission Planning, UBMPMP)求解算法。

1 不确定理论

定义 1.1:(Liu^[4])设 Γ 是一个非空集合, L 是 Γ 上的一个 σ -代数, L 中的元素 Λ 称为事件。从 L 到 $[0,1]$ 的一个集函数 M 如果满足以下的公理:

公理 1 (规范性公理)对全集 Γ ,有 $M\{\Gamma\} = 1$ 。

公理 2 (对偶性公理)对于任意事件 Λ ,有 $M\{\Lambda\} + M\{\Lambda^c\} = 1$ 。

公理 3 (次可加性公理)对于可数的事件列 $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_n$,有: $M\{\bigcup_{i=1}^{\infty} \Lambda_i\} \leq \sum_{i=1}^{\infty} M\{\Lambda_i\}$, 则称 M 为不确定测度。此时,三元组 (Γ, L, M) 称为一个不确定空间。

公理 4 (乘积公理)对一系列不确定空间 $(\Gamma_i, L_i, M_i), i = 1, 2, \dots, n$, 记 $\Gamma = \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n, L = L_1, L_2, \dots, L_n$, 对于 L_i 中任意选取的 Λ_i , 乘积 σ -代数 L 上的乘积不确定测度 M 满足:

$$M\{\prod_{i=1}^{\infty} \Lambda_i\} = \prod_{i=1}^{\infty} M_i\{\Lambda_i\}$$

定义 1.2: 设 ξ 是从不确定空间 (Γ, L, M) 到实数集 R 的一个函数,如果对于任意的 Borel 集 B , 集合 $\{\xi \in B\} = \{\gamma \in \Gamma \mid \xi(\gamma) \in B\}$ 是一个事件, 则称 ξ 是一个不确定变量。

定义 1.3:(Liu^[5]) 设 ξ 是一个不确定变量, 则函数 $\Phi(x) = M\{\xi \leq x\}$ 称为 ξ 的不确定分布。

定理 1.1:(Liu^[4]) 令 ξ 是一个不确定变量, 且具有正则不确定分布 Φ 。如果期望值存在, 则:

$$E[\xi] = \int_0^1 \Phi^{-1}(\alpha) d\alpha$$

定理 1.2:(Liu^[4]) 假设 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ 是独立的不确定变量且分别具有不确定分布 $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ 。如果 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 对 x_i 严格单增, 则不确定变量 $\xi = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ 有期望值:

$$E[\xi] = \int_0^1 f(\Phi_1^{-1}(\alpha), \Phi_2^{-1}(\alpha), \dots, \Phi_n^{-1}(\alpha)) d\alpha$$

2 UBMPMP 数学描述

战场物资供应问题的目标是规划出一条最有效的路径, 能够从配送中心出发后在最短的时间里遍历所有供应任务点, 并顺利回到配送中心, 见图 1。

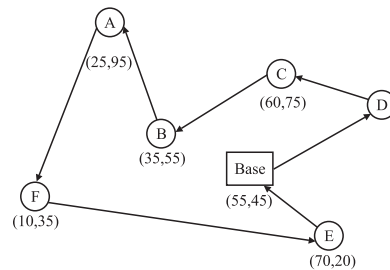


图 1 不确定战场物资供应问题示例

Fig.1 The example of UBMPMP

图 1 中包含了 6 个供应任务点, 以及一个配送中心, 不确定战场物资供应问题可以表述为:

$$\min_{\pi(X)} T = \sum_{i=1}^{n-1} \xi(K_i, K_{i+1}) + \xi(K_n, K_1) \quad (1)$$

式中: T 为执行物资供应任务的总时间; n 为供应任务点和配送中心的个数总和; $\xi(i, j)$ 为从供应任务点 i 到 j 运输的时间, 服从不确定分布 $\Phi_{(i,j)}(\alpha)$; $\pi(X)$ 是运输过程需要经过的地点(包括配送中心)编号 $X = \{1, 2, \dots, n\}$ 的排列, $\pi(X) = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$; 由于物资运输需要从配送中心出发, 因此 K_1 必须是配送中心的编号; 同时, 模型中假设所有不确定变量都是相互独立的, 定义在不确定空间 (Γ, L, M) , 且 $\xi(i, j) = \xi(j, i)$ 。

显然, 模型(1)中优化目标 T 也是一个不确定

变量,由于不确定变量之间无法直接比较大小,因此,需要建立等价的确定模型进行求解。因为不确定变量的期望值在现实问题中得到广泛使用,本文建立与式(1)等价的期望值模型,根据第 1 节不确定理论,可得对应的期望值模型为:

$$\min_{\pi(X)} E[T] = \int_0^1 \sum_{i=1}^{n-1} \Phi_{(K_i, K_{i+1})}(\alpha) + \Phi_{(K_n, K_1)}(\alpha) d\alpha \quad (2)$$

3 基于 ABC 的 UBMPMP 求解算法

3.1 算法程序

3.1.1 种群初始化

采用整数排列方法表示战场物资供应问题中的解,以一个存在 13 个供应任务点的 UBMPMP 问题为例,配送中心编号设为 1, {1, 4, 14, 2, 9, 3, 12, 8, 11, 13, 6, 5, 10, 7} 就是问题的一个解,其代表的运输路径见图 2。基于这种解的表示方法,可以随机产生 SN 个可行解,进行种群初始化。

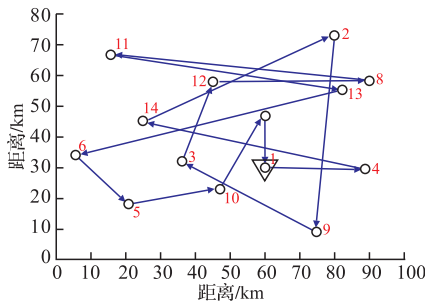


图 2 可行解编码示例(单位:km)

Fig.2 The example of feasible solution coding

3.1.2 逆转算子

为了表示蜂群算法中雇佣蜂的领域搜索和跟随蜂的“开采”行为,引入逆转算子,以提高算法搜索新解的能力。逆转算子通过产生 2 个随机整数 r_1 和 r_2 ,在可行解中确定其位置,将 r_1 到 r_2 中的编码逆转,以达到产生新解的目的,见图 3。

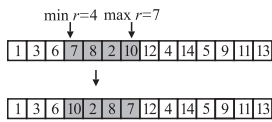


图 3 逆转操作示例

Fig.3 The example of reversing operation

3.1.3 雇佣蜂阶段

这个阶段,雇佣蜂通过逆转算子,在初始解的附近产生新解,之后通过贪婪原则选取更优的解。贪婪准则主要根据解的适应度值进行选择,解的适应度值计算如下:

$$F_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i), & f_i \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(f_i), & f_i < 0 \end{cases}$$

式中: f_i 为确定模型(2)中的目标值; $\text{abs}(\cdot)$ 为逆转算子。

3.1.4 跟随蜂阶段

这个阶段,跟随蜂根据转移概率 p_i 选择雇佣蜂进行跟随,之后通过逆转算子进行进一步开采,产生新解,并通过贪婪准则选取更优的解。其中,转移概率 p_i 计算如下:

$$p_i = F_i / \sum_{i=1}^{SN} F_i$$

3.1.5 侦察蜂阶段

当在规定的循环周期内最优解没有变化,此时,放弃一个解,角色转变成侦查蜂,通过变异算子进行探索,产生一个新解。变异算子通过产生 2 个随机整数 r_1 和 r_2 ,在可行解中确定其位置,将其对换位置,以达到产生新解的目的,见图 4。

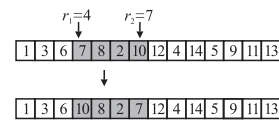


图 4 变异算子示例

Fig.4 The example of mutation operator

3.1.6 算法框架

根据上述算法程序,可以看出,算法不仅使用逆转算子进行领域搜索、产生新解,还通过变异算子防止算法陷入局部最优解。

3.2 算法性能测试

为了测试算法解决 NP-难问题的性能,本文选取 TSPLIB^[6] 中的 ulysses16.tsp, att48.tsp 和 berlin52.tsp 作为基准测试问题,将其与文献[5]中的算法进行比较,结果见表 1。设算法循环次数为 2 500,蜂群数量为 40,参数 limit 为 100,雇佣蜂和跟随蜂数量为 20,侦察蜂数量为 1。

表 1 算法性能比较

Tab.1 The comparison of algorithms

问题	SA	ACO	STA	ABC	已知最佳结果
ulysses16.tsp	73.999 8	74.628 7	73.987 6	73.987 6	73.987 6
att48.tsp	3.526 6 e4	3.701 5 e4	3.372 4 e4	3.352 4 e4	3.352 4 e4
berlin52.tsp	8.186 4 e3	8.240 4 e3	7.754 44 e3	7.544 4 e3	7.544 2 e3

从表 1 可见,本文算法在解决 NP-难问题上的

性能优于其他 3 种算法,因此,本文提出的算法解决

UBMPMP 问题是完全可行的。

4 实例研究

为了验证本文提出的 UBMPMP 模型以及相关求解算法,构建了一个存在 13 个物资供应任务点的实例,见图 5,其中配送中心编号为 1。各个位置的坐标见表 2。

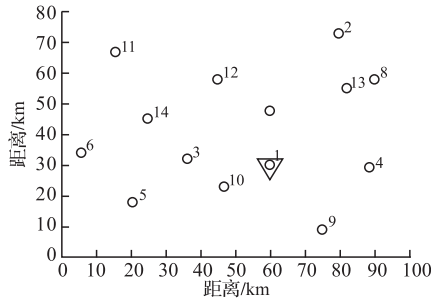


图 5 物资供应任务点及配送中心空间分布(单位:km)

Fig.5 The distribution of mission targets and DCs

根据表 2 中的坐标,可以得到一个距离矩阵 $D = (d_{ij})_{14 \times 14}$,其中 d_{ij} 是位置 i 到位置 j 的距离, $d_{ij} = d_{ji}$ 。假定各个位置之间的运输时间是不确定变量 ξ_{ij} , $\xi_{ij} = \xi_{ji}$,服从“之”字形不确定分布 $\Phi_{ij}(x) = Z(d_{ij}^1/36, d_{ij}^1/25, d_{ij}^1/12)$,其中 $d_{ij}^1 = d(14 - j + 1, 14 - i + 1)$, $i, j = 1, 2, 3, \dots, 14$ 。

表 2 各位置空间坐标

Tab.2 Space Coordinates

编号	X/km	Y/km
1	60.00	30.00
2	79.79	72.91
3	36.22	32.16
4	88.82	29.39
5	20.68	18.10
6	5.74	34.11
7	59.75	47.57
8	90.31	57.99
9	74.51	8.92
10	46.82	23.00
11	15.75	66.80
12	45.00	58.00
13	82.00	55.00
14	25.00	45.00

根据模型(2)以及本文提出的求解算法,最终得到物资供应任务运输路径为(1→3→8→13→7→2→11→6→14→5→12→10→9→4→1),执行任务期望时间为 15.156 5 h。若考虑确定环境下的物资供应任务规划,最优路径应当是(1→10→3→5→6→14→11→12→7→2→8→13→4→9→1),而此时在不确定环境下其对应的任务时间为 22.644 5 h,可见,当战

场物资供应环境存在不确定性时,不宜继续使用确定模型。

5 结语

战场物资供应效率的高低,代表着后勤保障的总体水平,对战争的走向影响很大。本文研究了不确定环境下的战场物资供应任务规划问题,建立了相应的不确定规划模型。同时,引入蜂群算法,构建了相应的问题求解算法,为战场物资供应任务规划提供有效的方法手段。本文只进行了初步的研究,模型也是理想化的模型,今后将进一步细化模型,考虑存在约束条件及多种保障任务情况下的战场物资供应任务规划问题。

参考文献(References):

[1] 高虹霓,杨建军,曹泽阳.军用物资供应道路选择最优算法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(3): 61-63.
GAO Hongni, YANG Jianjun, CAO Zeyang. Optimal algorithm for selecting military material provision path [J]. System engineering and electronics, 2002, 24(3): 61-63. (in Chinese)

[2] 宋少忠,孔繁森,王利芳.多品种多供应点的物资调配和线路选择[J]. 吉林大学学报, 2011, 9(2): 144-148.
SONG Shaozhong, KONG Fansen, WANG Lifang. More varieties of material allocation and supply point route choice[J]. Journal of jilin university; engineering and technology edition, 2011, 9(2): 144-148. (in Chinese)

[3] 李玉兰,李波,刘永军.军地一体化应急物资储备设施选址研究[J]. 北京理工大学学报, 2012, 14(4): 89-93.
LI Yulan, LI Bo, LIU Yongjun. Study on emergency logistics storage facility location of military-civilian integration[J]. Journal of beijing institute of technology: social sciences edition, 2012, 14(4): 89-93. (in Chinese)

[4] Liu B. Uncertainty theory: a branch of mathematics for modeling human uncertainty [J]. Berlin: Springer verlag, 2010.

[5] ZHOU Xiaojun, YANG Chunhua, TANG Xiaolin, et al. State transition algorithm for traveling salesman problem[C]//The 31st Chinese control conference, Hefei: USTC press, 2012: 1-5.

[6] TSPLIB. [R/OL]. [2014-01-16] <http://comopt.ifl.uni-heidelberg.de/software/tsplib95>.

(编辑:徐敏)