

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106300

基于改进果蝇算法的煤矿井下机车调度优化*

张梅 张啸

(安徽理工大学 电气与信息工程学院 淮南 232001)

摘要: 煤矿井下机车运输在煤矿日常生产中起到运输物料和矸石的作用,机车作为运输的载体,其能否安全高效地完成调度中心指派的运输任务对煤矿生产至关重要。对机车进行合理的调度优化不仅可以提高运输效率,还可以极大地降低撞车等安全事故问题。利用一种结合交叉因子和模拟退火算法改进的果蝇优化算法来求解煤矿井下机车运输的调度优化问题,该算法引入交叉因子更新个体位置,根据模拟退火算法的适应度增量来选择进入下一次迭代的个体,既保留了果蝇优化算法参数易调节、信息共享程度高、自适应能力强等优点,又较好解决了果蝇算法易早熟且求解精度不高的弊端。通过对煤矿井下机车运输的模拟仿真,证明了该算法所规划的路径更合理,可使机车的运输效率更高。

关键词: 煤矿井下,机车调度;果蝇优化算法;模拟退火算法;交叉因子

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Optimization of underground locomotive scheduling based on improved Drosophila algorithm

Zhang Mei Zhang Xiao

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Coal mine locomotive transportation plays the role of transporting materials and gangue in the daily production of coal mine. As the carrier of transportation, whether the locomotive can safely and efficiently complete the transportation task assigned by the dispatching center is undoubtedly very important for coal mine production. Reasonable scheduling optimization of locomotives can not only improve the transportation efficiency, but also greatly reduce the collision and other safety accidents. An improved optimization algorithm combined with cross factor and simulated annealing algorithm is used to solve the scheduling optimization problem of underground locomotive transportation in coal mine. The improved algorithm introduces cross factor to update the individual position, and selects the individual to enter the next iteration according to the fitness increment of simulated annealing algorithm. In this way, the parameters of optimization algorithm are easy to adjust and the information sharing process is retained. It also solves the problem of premature and low precision of Drosophila algorithm. Through the simulation of underground locomotive transportation in coal mine, it is proved that the path planned by the algorithm is more reasonable and the efficiency of locomotive transportation is higher.

Keywords: underground coal mine; locomotive dispatching; fruit fly algorithm; simulated annealing; cross factor

0 引言

煤矿井下机车运输作为煤矿生产辅助运输方式具有低成本、高效、装载量大且可靠性高的特点,在煤矿日常生产运输中被广泛应用^[1]。随着矿山开采面的不断加深,机车的数量和运输任务也相应增加,合理的煤矿井下有轨机车运输调度对煤矿安全高效生产和节约成本具有重要

作用。

传统人工调度方式由于没有对煤矿井下机车运输调度策略进行合理的规划,往往出现多辆矿机车在同一卸载点和机车空载的现象,造成运输资源利用不合理。更有甚者,发生撞车等安全事故。合理的调度方案能够满足运输任务的同时更合理利用轨道资源,有效减少机车的使用量和轨道占用情况,进而提高矿车利用率,降低企业运输成本。

收稿日期:2021-04-06

* 基金项目:国家自然科学基金项目(51874010)、安徽高校自然科学基金项目(KJ2020A0309)资助

西安建筑大学段玉贤等^[2]建立求解矿山车辆调度的数学模型,通过免疫算法快速求解模型,证明免疫算法是求解车辆调度问题的一种有效算法;西安建筑大学刘浩洋等^[3]运用运筹学中目标规划的方法,建立车辆调度的优化模型,利用Lingol1软件进行计算;利用卡车编队运输、卡车转移运输的思想和贪心算法,得出一种最优的调度方案;宫春刚^[4]结合平朔东露天矿的实际生产情况,研究分析了露天矿车辆调度系统的传统两阶段算法,结合露天矿矿车规划和露天矿车辆调度算法模型,改进了两阶段算法,并设计验证了优化后的算法模型。

目前针对煤矿井下机车的调度问题,主要利用遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等智能搜索算法进行运输的智能调度^[5-8]。果蝇优化算法(fruit fly optimization algorithm, FOA)是模仿果蝇觅食的生物行为而演变来的一种全局寻优算法,该算法相较于上述传统算法具有参数易调节、信息共享程度高、自适应能力强等优点^[9-13]。目前该算法在煤矿井下机车调度方面的应用还处在初级阶段,传统的果蝇优化算法存在收敛速度慢,寻优精度不高等缺点。针对这一问题,本文提出一种结合交叉因子和模拟退火算法的改进的果蝇优化算法(fruit fly optimization algorithm based on cross factor and simulated annealing, CSA-FOA)来解决矿机车的调度优化问题,该算法将传统的果蝇优化算法同交叉因子和模拟退火算法相结合,以提高收敛速度和寻优精度。

1 煤矿井下机车运输的优化调度模型

1.1 问题描述与假设

煤矿井下机车运输的优化调度,可以简单的概括为:已知运输起点井底车场和一系列分散的采区,车场作为物料的输送中心拥有多辆运输机车,现根据采区的物料需求对各个采区进行物料的输送,若各个采区的物料需求量较小,单独安排机车进行运输效率不高且造成机车资源的浪费,此时在不超过机车承载量的情况下尽可能多的到达不同采区输送物料,并在完成运输任务后返回井底车场。

假设1 井底车场只有1个,且所有的机车只能从井底车场装载物料后出发到达各个卸货点并返回井底车场。

假设2 在安排机车运输时,已经获取了各采区的位置信息。

假设3 在安排运输之前,已经了解各机车的位置信息以及装载货物的情况。

假设4 每辆机车的载货容量相同^[14-16]。

1.2 模型构建

1) 定义符号

在整个模型中,用0表示井底车场; n 表示节点的数量; i 和 j 表示采区的序号; s 表示运输物料的机车序号; l 表示车辆总数; Q 表示每辆机车的最大承载量; d_{ij} 表示 i 到 j 的距离; m_i 表示节点 i 的物料需求量; h 表示矿车经过

的路段数; a_{ij} 表示机车是否从节点 i 到节点 j 的0-1变量; b_{is} 表示节点 i 的任务是否由矿机车 s 完成运输的0-1变量; a_{ijs} 表示第 s 辆机车从节点 i 到节点 j 的0-1变量;节点 i 的任务是否由矿机车完成的0-1变量。

2) 数学模型

本文选择车辆在完成运输任务的前提下最短路径为目标函数:

$$Z_{\min} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{s=1}^l d_{ij} a_{ijs} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^l b_{is} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^l m_i b_{is} \leq Q, s = 1, 2, \dots, l \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n a_{ijs} = b_{is} \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^n a_{ijs} = b_{is} \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} \leq h \quad (6)$$

$$h = n + 1 \quad (7)$$

$$a_{ij} \in \{0, 1\} \quad (8)$$

$$a_{ijs} \in \{0, 1\} \quad (9)$$

$$b_{is} \in \{0, 1\} \quad (9)$$

式(1)为目标函数,表示所有车辆行驶的总路程;式(2)表示运输过程中要求每个节点的物料仅由1辆矿机车来完成运输,不得出现多辆矿机车出现在同一节点的情况;式(3)表示每辆矿机车的运输货物不得超过其额定载货重量;式(4)表示到达和离开某一节点的车辆有且仅有1辆;式(5)和(6)表示煤矿井下机车整个运输过程起、止于井底车场;式(7)表示若机车由节点 i 到节点 j 则为1,反之为0;式(8)表示第 s 辆机车从节点 i 到节点 j 则为1,反之为0;式(9)表示节点 i 的任务由机车 s 完成运输则为1,反之为0。

2 基于CSA-FOA的煤矿井下机车路径规划

针对煤矿井下机车的智能调度问题,本文提出一种结合交叉因子和模拟退火算法的改进果蝇优化算法。

2.1 FOA算法

从果蝇觅食行为中,可以把FOA算法总结为如下几步。

1) 参数初始化:最大迭代次数 $\max gen$, 种群个体大小 $sizepop$, 给定初始随机分布果蝇群体位置 X_axis , Y_axis 。

2) 附与果蝇个体利用嗅觉搜寻食物的随机方向:

$$X(i) = X_axis + randvalue \quad (10)$$

$$Y(i) = Y_axis + randvalue$$

式中: $X(i), Y(i)$ 为果蝇个体位置坐标, $randvalue$ 为其调整步长。

3) 由于无法得知食物位置, 因此先估计与食物源最初设立点之间距离, 再计算味道浓度判定值, 此值为距离之倒数。距离和味道浓度为:

$$\begin{aligned} Dist &= \sqrt{X(i)^2 + Y(i)^2} \\ S_i &= 1/Dist \end{aligned} \quad (11)$$

4) 将计算出的味道浓度判定值 S_i 代入味道浓度的判定函数中去, 就可以计算出每个果蝇位置上的浓度值 $Smell(i)$:

$$Smell(i) = fit(S_i) \quad (12)$$

5) 找出浓度最优的果蝇:

$$[bestsmell, bestindex] = \min(Smell(i)) \quad (13)$$

6) 反复步骤 2)~5) 这时的果蝇位置坐标 (X_{best}, Y_{best}) 作为下一次迭代的初始位置, 并与上一次迭代的最佳浓度作比较, 若达到最优且当前迭代次数达到 $maxgen$ 则执行步骤 7)。

7) 把最优解浓度值 $bestsmell$ 并存储其对应的坐标 (X_{best}, Y_{best}):

$$\begin{aligned} X_{best} &= X(bestindex) \\ Y_{best} &= Y(bestindex) \end{aligned} \quad (14)$$

2.2 基于交叉因子的新个体产生

在标准 FOA 算法的基础上借鉴遗传算法中组合交叉的思想, 通过交叉因子产生新的更加适应环境的种群, 以达到全局寻优的目的。

在 FOA 算法中, 味道浓度高的果蝇群体将被选到下一代, 将取代后的果蝇两两交叉随机配对组合, 展开和遗传算法一样的交叉操作, 并依据 Metropolis 准则判定最终进入下一代迭代过程中的个体, 这样不仅能解决局部最优, 还能加快收敛速度^[13-15]。

交叉操作公式如下:

$$\begin{aligned} child_1(x) &= P \times parent_1(x) + (1.0 - P) \times parent_2(x) \\ child_1(y) &= P \times parent_1(y) + (1.0 - P) \times parent_2(y) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} child_2(x) &= P \times parent_2(x) + (1.0 - P) \times parent_1(x) \\ child_2(y) &= P \times parent_2(y) + (1.0 - P) \times parent_1(y) \end{aligned} \quad (16)$$

$$P \in [0, 1] \quad (17)$$

其中, x 和 y 表示 D 维上的位置向量, $child_k$ 和 $parent_k$ 分别表示子代个体和父母代个体, P 表示在 D 维均匀分布且在 $[0, 1]$ 中取值的任意数向量。

2.3 基于模拟退火算法的个体选择

本文提出的 CSA-FOA 算法按照 FOA 算法的搜索过程为基本流程, 在找寻最优个体过程中引入交叉变异操作来更新个体的位置, 对全局最优个体进行更新, 然后再进行迭代, 按照模拟退火算法流程来选取进入下一次迭代的个

体, 实现步骤如下。

1) 初始化: 取初始温度 T_0 足够大, 令 $T = T_0$, 确定每个 T 时的迭代次数, 即 Metropolis 链长 L 和终止温度 T_{end} 。

2) 对当前温度 T 和 $i = 1, 2, \dots, L$, 重复步骤 3)~4)。

3) 计算退火增量 ΔE , 判定解是否保留。

$$\Delta E = \min(smell(i)) - \min(smell(i+1)) \quad (18)$$

若 $\Delta E \geq 0$, 则接受 (X_{i-1}, Y_{i-1}) 位置为新的当前解; 若 $\Delta E < 0$, 则计算当前时刻可以作为接受条件的概率值 $P_a(\Delta E) = \exp(\Delta E/T)$, 在区间 $[0, 1]$ 随机产生一个任意值 Y , 如果 $P_a \leq Y$, 则把接受 (X_i, Y_i) 位置作为新的解进行降温, 反之保留解 (X_i, Y_i) 。

4) 若 $T_i < T_{end}$, 则算法结束, 输出最优解; 否则, 执行降温操作 $T_{i+1} = kT_i$, 重回步骤 2)。

2.4 改进算法的实现步骤

基于 CSA-FOA 的煤矿井下机车运输调度算法实现步骤如下。

1) 初始化: 根据煤矿井下实际工况设置井底车场作为初始位置原点, 设置各节点的坐标, 设置最大迭代次数 $maxgen$, 种群个体大小 $sizepop$, 基于 SA 的部分设置 T_0 、 T_{end} 、冷却系数 k , 根据式 (2)~(9) 设置浓度判定函数, 适应度函数和节点约束条件。

2) 执行 FOA 算法流程步骤 2)~6), 其中选择式 (1) 的目标函数作为浓度判定函数。

3) 执行交叉操作, 产生新个体。

4) 按照模拟退火算法的基本流程进行解的选择保留。

5) 将存储的新个体的位置信息代入步骤 2) 中并按照式 (14) 进行记录。

6) 迭代过程结束的判定: 迭代次数大于 $maxgen$ 或迭代次数等于 $maxgen$ 则迭代过程结束并且输出最优解, 否则判断路径中各节点的需求量之和是否超出该机车的载重量, 若超出则寻优过程结束, 反之则重复步骤改进果蝇优化算法的步骤 3)~6), 改进算法流程如图 1 所示。

3 实例分析

某煤矿拥有最大承载量均为 1 t 的 3 辆机车, 井底车场和各采区节点坐标以及各节点的需求量如表 1 所示, 其中井底车场设置为坐标原点。

表 1 节点坐标及物料需求量

结点编号	X 坐标/km	Y 坐标/km	需求量/t
0	0	0	0
1	0.4	0.6	0.89
2	4.0	1.5	0.14
3	5.3	1.7	0.28
4	6.5	-0.8	0.33
5	7.3	-1.6	0.21
6	0.6	-1.2	0.41
7	0	-1.4	0.57

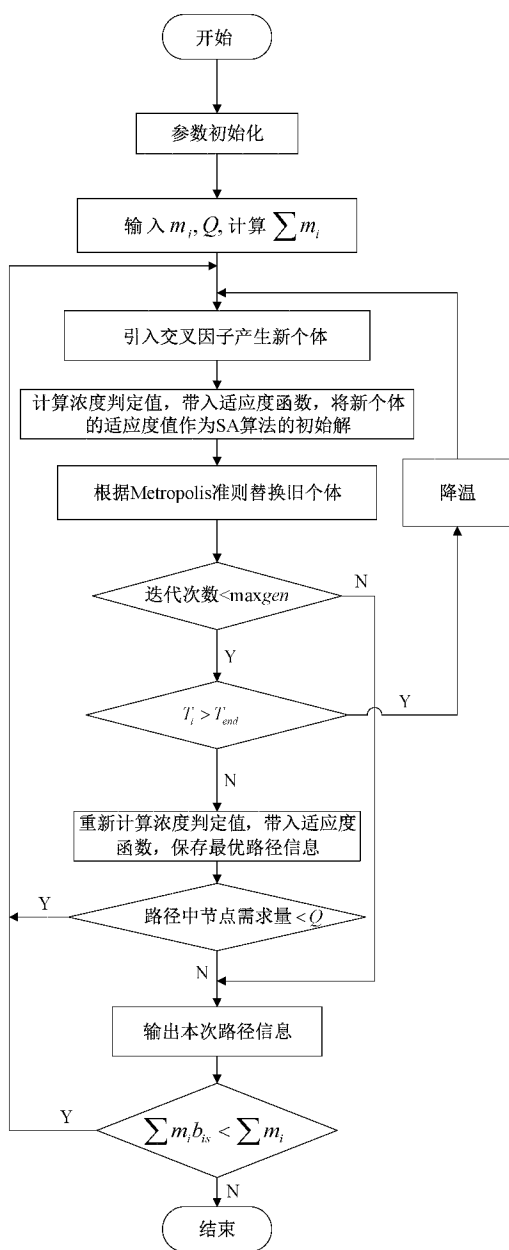


图1 CSA-FOA 算法流程

利用 MATLAB2016a 软件进行仿真, 设参数 $maxgen = 100$, $sizepop = 30$, $T_0 = 100$, $T_{end} = 0.01$, 冷却系数 $k = 0.9$, 经过 10 次仿真得到最优解, 对应的煤矿井下机车运输线路如图 2 所示。

根据仿真结果得到配送方案如下。

车辆 1: 0-2-3-4-5-0, 运输距离为 16.97 km, 运输量为 0.96 t。

车辆 2: 0-7-6-0, 运输距离为 3.37 km, 运输量为 0.98 t。

车辆 3: 0-1-0, 运输距离为 1.44 km, 运输量为 0.89 t。

其总行驶距离为 21.78 km。

为验证 CSA-FOA 算法相较于 FOA 算法的优越性, 分

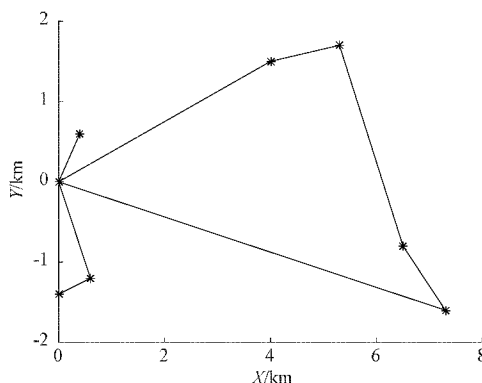


图2 运输调度线路图

别对这两种算法的收敛性进行比较, 仿真结果如图 3 所示。

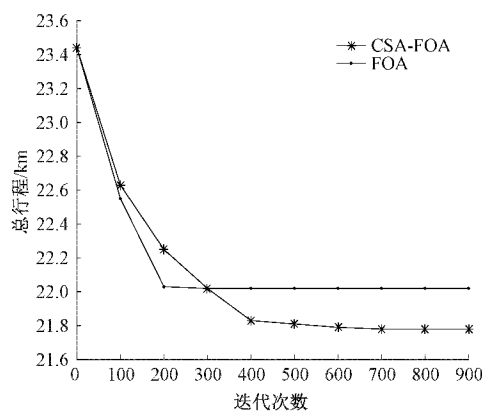


图3 收敛对比图

由图 3 可知, 在解决煤矿井下机车运输调度问题上, CSA-FOA 算法相较于 FOA 算法具有更快的收敛速度和更高的精度。

4 结 论

为提高煤矿井下机车的运输效率, 使其在满足运输任务的基础上更好的资源利用, 本文提出了一种新的机车运输调度算法。针对井下机车的实际情况, 建立了运输调度目标函数、约束条件等数学模型; 在果蝇算法的基础上, 引入了交叉因子和模拟退火算法, 在约束条件下, 求解出最优的调度方案。仿真结果表明, 本文所提出的改进算法相较于传统的果蝇优化算法, 收敛速度和求解精度都得到了一定程度的改善, 使得煤矿井下机车的运输成本更低、效率更高。

参考文献

[1] 王保德. 煤矿井下运输智能调度指挥系统[J]. 工矿自动化, 2014, 40(7): 87-89.
 [2] 段玉贤, 井石滚. 基于免疫算法的三道庄露天矿车辆调度优化[J]. 金属矿山, 2011(8): 131-133, 139.
 [3] 刘浩洋, 嵇启春, 许苗苗, 等. 露天矿生产车辆调度的优化选择[J]. 采矿技术, 2012, 12(6): 63-65.

- [4] 宫春刚. 基于改进两阶段法的平朔东露天矿配车算法[J]. 露天采矿技术, 2019, 34(5): 15-18.
- [5] 刘宏杰, 张慧, 张喜麟. 煤矿无轨胶轮车智能调度管理技术研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 81-86.
- [6] 周科平, 翟建波. 改进蚁群算法在地下矿山运输路径优化的应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(1): 256-264.
- [7] 罗鹏. 基于蚁群优化算法的铁路联运路径规划[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(7): 94-98.
- [8] 韦有炜. 浅谈煤矿轨道运输优化调度的模型构建[J]. 能源技术与管理, 2019, 44(5): 174-175.
- [9] 段艳明, 肖辉辉, 谭黔林. 基于模拟退火机制的果蝇优化算法[J]. 控制工程, 2017, 24(5): 938-946.
- [10] 李良光, 朱丽, 邢丽坤. 基于混合策略改进的果蝇优化算法[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(1): 139-144.
- [11] 张淑清, 要俊波, 张立国, 等. 基于改进深度稀疏自编码器及 FOA-ELM 的电力负荷预测[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(4): 49-57.
- [12] 王菲, 冯早, 朱雪峰. 基于 FOA 优化的 CSSVM 管道堵塞状态识别研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(7): 168-17.
- [13] 赵杰, 胡浩然, 孙启智, 等. 改进果蝇算法的运输车辆路径规划[J]. 黑龙江科技大学学报, 2020, 30(2): 187-192, 204.
- [14] 林美, 何竹峰. 基于云计算的物流车辆路径规划方法[J]. 电子测量技术, 2019, 42(13): 153-156.
- [15] 李文娟. 改进粒子群优化算法的云计算任务度策略[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(10): 55-59.
- [16] 黄翼虎, 郝国笑. 基于时间窗防冲突的最短路径规划研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(18): 47-51.

作者简介

张梅, 工学硕士, 副教授, 主要研究方向为物联网应用、智能控制。

E-mail: xwz098@163.com