

基于 IPSO 算法的多目标车辆配送路径规划研究

陈智勇

青海师范大学, 青海 西宁 810000

摘要: 针对汽车零部件车辆配送路径规划问题, 提出一种基于 IPSO 的多目标车辆路径规划算法。以平均行驶成本、等待时间成本和惩罚时间成本为目标函数, 建立多目标车辆路径规划模型。研究表明, 选择搜索成功率、平均行驶成本和搜索时间为评价指标, IPSO 算法在搜索成功率和搜索时间以及平均行驶成本方面, 均优于 GA 和 PSO 算法, 同时避免局部最优, 对降低配送成本和提升企业竞争力具有重要意义。

关键词: 粒子群算法; 路径规划; 多目标函数; 数学模型

中图分类号: TQ018

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2017)02-0255-04

Research on Multi-objective Vehicle Route Program Based on IPSO Algorithm

CHEN Zhi-yong

Qinghai Normal University, Xining 810000, China

Abstract: In this paper, a multi-objective vehicle route program based on IPSO was proposed to solve the vehicle route problem. The multi-objective vehicle route model was established based on the objective cost, waiting time cost and penalty cost to select the search success rate, average travel cost and search time as the evaluation index. The results showed that the IPSO algorithm in the search success rate and search time and average travel cost was better than GA and PSO algorithm. It is important for avoiding the local optimum, reducing the delivery cost and enhancing the competitiveness of enterprises.

Keywords: Particle swarm optimization; route program; multi-objective function; mathematical model

随着经济和工业技术水平的快速发展, 我国汽车工业持续高速发展, 汽车零部件制造运输行业发展繁荣, 竞争异常激烈, 其零部件物流成本的高低直接影响其企业竞争力, 车辆配送路径直接影响企业成本和客户服务水平, 因此研究汽车零部件运输车辆的路径规划对降低企业成本和提高零部件供应及时率具有重要的实际意义, 对提升企业竞争力具有重要意义^[1]。大量研究表明, 智能启发式算法对求解车辆配送路径规划具有很大优势, 本文针对 PSO 算法存在局部最优和早熟的问题, 提出一种改进的粒子群算法 IPSO, 并将其应用于车辆配送路径规划。

1 改进的粒子群算法

粒子群算法 (Particle Swarm Optimization Algorithm, PSO) 是受鸟群觅食行为启发提出的智能搜索算法, 通过群体间的协作和竞争, 实现粒子位置和速度的更新, 更新公式如下^[2]:

$$v_{id}(t+1) = v_{id}(t) + c_1 \text{rand}_1' (p_{pid} - x_{id}(t)) + c_2 \text{rand}_2' (p_{gd} - x_{id}(t)) \quad (1)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (2)$$

其中, $v_{id}(t)$ 和 $x_{id}(t)$ 分别表示在 t 时刻时第 i 粒子的速度和位置; rand_1 和 rand_2 表示随机数, 处于 $[0, 1]$ 之间; c_1 、 c_2 表示学习因子。

由于 PSO 算法存在局部最优问题, 将随机搜索因子引入 PSO 算法, 提出一种改进的 PSO 算法, 改进模型如下:

$$x_{id}(t+1) = Q_d + a' g(m \text{best}_{id} - x_{id}(t)) \quad (3)$$

$$Q_d = \text{rand}' p_{pid} + (1 - \text{rand})' p_{gd} \quad (4)$$

$$m \text{best} = \underset{i=1}{\overset{S}{\text{a}}} \frac{P_{di}}{S} \quad (5)$$

其中, 公式 (4) 表示粒子搜索的方向, 保证 IPSO 在约束边界内搜索。公式 (5) 作用提高 IPSO

收稿日期: 2016-10-11

修回日期: 2016-11-25

作者简介: 陈智勇(1981-),男,硕士,讲师,主要研究方向为统计自动化及其应用. E-mail:chenzhiyong@qhnu.edu.cn

算法初期和后期粒子的全局搜索和局部搜索能力。 α 为控制参数，决定粒子分布。

2 汽车零部件车辆配送路径规划

2.1 问题描述

汽车零部件车辆路径规划问题可表述为^[3,4]：假设一汽车零部件中心仓库，其中心配备有 K 辆，车辆载重容量为 $q_k(k=1,2,3\dots,K)$ ，配送需求点有 L 个，第 i 个需求点的需求量为 C_i ，其中， $\max(g_i) \leq \max(q_k)$ ，完成需求点任务 i 零部件装载或卸货的时间为 T_i ，其中任务 i 必须在时间段 $[ET_i, LT_i]$ 内完成， ET_i, LT_i 分别表示任务 i 的最早开始时间和最迟开始时间。若配送车辆早于 ET_i 到达，则等待；反之，任务将被延迟。汽车零部件车辆配送示意图和需求点空间分布图如图 1 和图 2 所示。

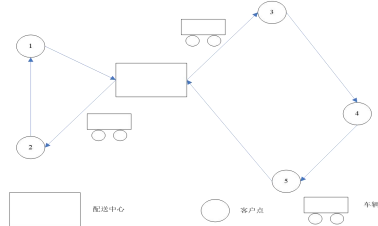


图 1 配送示意图

Fig.1 The schematic distribution routes

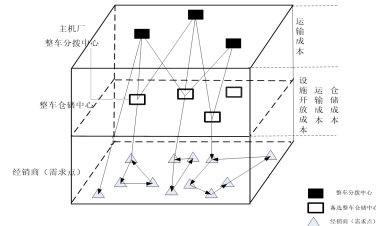


图 2 空间分布图

Fig.2 The spatial distribution

2.2 数学模型

针对汽车零部件车辆路径规划问题的描述，汽车零部件中心仓库编号为 0，需求点编号为 1, 2, 3, ..., L，任务和中心仓库均被编号为 $i = (0, 1, 2, 3, \dots, L)$ ，决策变量定义如下^[5]：

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{车 } k \text{ 从点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

$$y_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{发货点 } i \text{ 任务由 } k \text{ 车完成} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

汽车零部件配送车辆路径规划数学模型如下：

$$\min f1 = \sum_{i,j,k} c_{ij} x_{ijk} \quad (8)$$

$$\min f2 = p_E \sum_{i=1}^L \max(ET_i - S_i, 0) \quad (9)$$

$$\min f3 = p_L \sum_{i=1}^L \max(S_i - LT_i, 0) \quad (10)$$

$$S.t \begin{cases} \sum_i g_i y_{ki} \leq q_k, \forall k \\ \sum_k y_{ki} = 1, i = 1, 2, \dots, L \\ \sum_i x_{ijk} = y_{kj}, j = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \\ \sum_j x_{ijk} = y_{ki}, i = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \\ X = (x_{ijk}) \in S \\ x_{ijk} = 0 \text{ or } 1, i, j = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \\ y_{ki} = 0 \text{ or } 1, i = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \end{cases} \quad (11)$$

其中， c_{ij} 表示由点 i 到点 j 的运输成本； S_i 表示配送车辆到达需求点 i 的时间； p_E, p_L 分别表示车辆提前达到需求点 i 的单位时间内的等待成本和滞后到达需求点 i 的单位时间内的惩罚成本。

该数学模型要求需求点都有车辆进行配送服务，并且每个需求点只能由一辆配送车辆负责完成，此外，同一条配送路径上的需求点的需求量之和不能超过配送车辆的最大载重。

3 基于 IPSO 算法的车辆路径规划

3.1 构造粒子表达

实现路径的最优规划,构造合适的粒子表达方式是解决该问题的关键。文中参考文献[6],构造一个 2L 维空间对应 L 个需求点任务的车辆路径规划问题,使得需求点任务对应为 2 维。完成车辆被编号为 k,此任务在车辆 k 的行驶路径中的顺序为 r,为了便于计算和表达,PSO 每个粒子对应的 2L 维向量 X 被划分为两个长度为 L 的向量 X_v 和 X_r ,二者分别表示任务对应的车辆编号和对应车辆的行驶路径中的顺序。

若需求点任务为 7,配送车辆为 3,此时若粒子位置向量 X 为:

需求点任务编号为: 1234567

X_v : 1 2 2 2 2 3 3

X_r : 1 4 3 1 2 2 1

那么,该粒子对应的车辆配送路径为:

车辆 1: 0 1 0

车辆 2: 0 4 5 3 2 0

车辆 3: 0 7 6 0

3.2 算法步骤

Step1:种群初始化;(1)将粒子群划分为若干个两两互相重叠的相邻子群;(2)位置向量 X_v 每一维随机取整数, $X_v \in [1, K]$,表示配送车辆的数量, X_r 取实数, $X_r \in [1, L]$;速度向量 V_v 每一维随机取整数, $V_v \in [-(K-1), K-1]$, V_r 取实数, $V_r \in [-(L-1), L-1]$;(3)根据适应度函数公式(12),计算粒子适应度;(4)将适应度初始值作为粒子个体的历史最优值 P_i ,以此为参照对象,寻找总粒子群体内最优解 P_g 和各粒子群体内最优解 P_i 。

$$\min fitness = z = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} X_{ik} + p_E \sum_{i=1}^I \max(ET_i - s_i, 0) + p_L \sum_{i=1}^I \max(s_i - LT_i, 0) \quad (12)$$

Step 2:根据公式(1)更新 X_v 、 X_r 和 V_v 、 V_r ,其中 X_v 向上取整,若 V 、 X 超过约束边界,则按边界值取值;

Step 3:计算所有粒子适应度函数值;

Step 4:若当前粒子适应度 $f_{now} > P_i$,则令 $P_i = f_{now}$,并将其位置标记为最佳历史位置;

Step 5:将总粒子群体内最优解 P_g 和各粒子群体内最优解 P_i 与历史最优解进行比较,若优于历史最优解,则更新 P_g 和 P_i ;

Step 6:若满足算法停止条件,则输出最优解;反之,返回 Step 2。

4 实验分析

为验证本文算法的有效性和可靠性,将本文算法 IPSO 和 PSO、GA 算法进行对比,选择参考文献[7~8]中实例为研究对象,其用户需求如表 1 所示,其中心仓库和各需求点的距离矩阵如表 2 所示。

表 1 用户需求

Table 1 User's demand

任务序号 No. task	1	2	3	4	5	6	7	8
需求量	2	1.5	4.5	3	1.5	4	2.5	3
T_i	1	2	1	3	2	2.5	3	0.8
$[ET_i \quad LT_i]$	[1 4]	[4 6]	[1 2]	[4 7]	[3 5.5]	[2 5]	[5 8]	[1.5 4]

表 2 距离矩阵

Table 2 Distance matrix

距离 Distance	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	40	60	75	90	200	100	160	80
1	40	0	65	40	100	50	75	110	100
2	60	60	0	75	100	100	75	75	75
3	75	40	75	0	100	50	90	90	150
4	90	100	100	100	0	100	75	75	100
5	200	50	100	50	100	0	70	90	75
6	100	75	75	90	75	70	0	70	100
7	160	110	75	90	75	90	70	0	100
8	80	100	75	150	100	75	100	100	0

IPSO 参数设置：最大迭代次数 1200，种群规模 20，学习因子 $c_1=c_2=0.5$ ，寻优结果（图 3~7）。

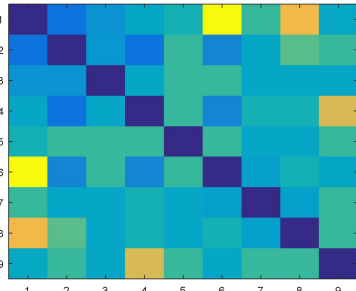


图 3 距离矩阵图

Fig.3 Distance matrix

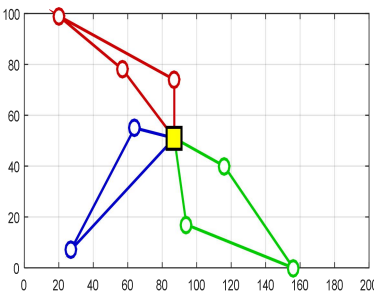


图 4 IPSO 配送路径

Fig.4 IPSO distribution path

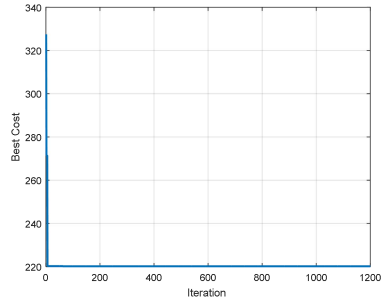


图 5 IPSO 寻优收敛图

Fig.5 Chart of IPSO optimal convergence

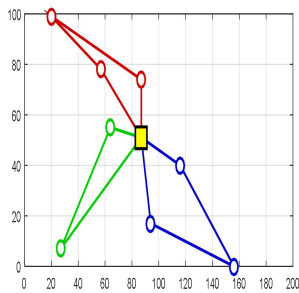


图 6 PSO 配送路径

Fig.6 PSO distribution path

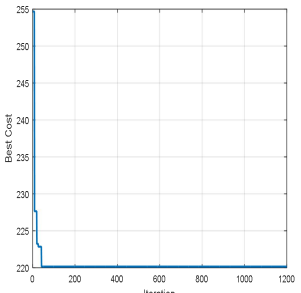


图 7 PSO 寻优收敛图

Fig.7 Chart of PSO optimal convergence

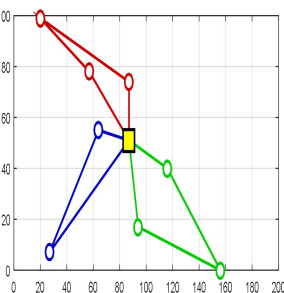


图 8 GA 配送路径

Fig.8 GA distribution path

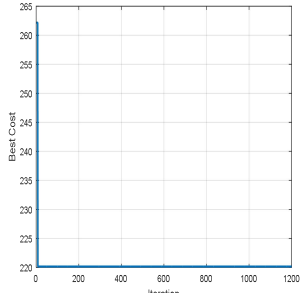


图 9 GA 寻优收敛图

Fig.9 Chart of GA optimal convergence

表 3 IPSO、PSO^[8]和 GA^[9,10]对比结果

Table 3 Comparison results of IPSO、PSO and GA

方法	搜索成功率	平均行驶成本	搜索时间
Method	Searching succession	Average cost	Searching time
GA	25%	221.4697	18.52s
PSO	46%	220.9675	8.53s
IPSO	67%	220.1634	4.12s

由图 4~9 和表 3 可知，IPSO 算法的搜索成功率为 67%，远高于 PSO 和 GA 的 46%和 25%，同时在搜索时间和平均行驶成本方面，IPSO 算法也优于 PSO 和 GA，从而验证 IPSO 算法。

5 结论

车辆配送路径直接影响企业成本和客户服务水平，因此研究汽车零部件运输车辆的路径规划对降低企业成本和提高零部件供应及时率具有重要的实际意义，本文针对 PSO 算法存在局部最优和早熟的问题，提出一种改进的粒子群算法 IPSO，并将其应用于车辆配送路径规划。研究表明，IPSO 算法在搜索成功率和搜索时间以及平均行驶成本方面，优于 GA 和 PSO 算法，效果较好。

参考文献

[1] 胡丽丽,王战备,赵 峰.考虑驾驶员满意度的高斯和声搜索物流配送路径优化算法[J].计算机应用研究,2015,32(12):3622-3625

[2] 张元标,吕广庆.基于混合粒子群算法的物流配送路径优化问题研究[J].包装工程,2007,28(5):10-12

[3] 王华东,李 巍.粒子群算法的物流配送路径优化研究[J].计算机仿真,2012,29(5):243-246

[4] 潘国强,胡俊逸,洪 敏.考虑 GIS 的物流配送区域划分与路径规划算法[J].大连海事大学学报,2015,41(1):83-90

[5] 孙妮娜,卢才武,卢 娜,等.应用群智能混合算法优化救灾物资配送路径[J].消防科学与技术,2015(2):263-266

[6] 王 华.一种物流配送最短路径混合算法[J].测绘科学,2014,39(9):135-137

[7] 叶 勇,张惠珍.多配送中心车辆路径问题的狼群算法[J/OL].计算机应用研究,[2016-09-18].http://www.aocmag.com/article/o2-2017-09-032.html

[8] 马祥丽,张惠珍,马 良.带时间窗物流配送车辆路径问题的蝙蝠算法[J].计算机工程与应用,2016,52(11):254-258

[9] 石 兆,符 卓.配送选址-多车型运输路径优化问题及求解算法[J].计算机科学,2015,42(5):245-250

[10] 韩李涛,牟乃夏,戴洪磊,等.一种基于分层结构的最优路径算法[J].山东科技大学学报:自然科学版,2013,32(3):77-82