

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2020.0004.013

基于蚁群算法的物流配送路径优化研究*

罗梓瑄, 刘学文**

(重庆师范大学 数学科学学院, 重庆 401331)

摘要:在实际生活中,如何选择最优的物流配送路线是物流车辆调度系统中最重要的问题之一。首先,针对物流配送路径优化问题,充分考虑了车辆路径的约束条件,以成本最小化和最大限度减少碳排放量构建了一种路径规划多目标优化模型;然后利用蚁群算法对其进行了解,该算法在问题空间的多点同时开始独立的解搜索,保证了算法具有较强的全局搜索能力,并且具有较强的鲁棒性;将该算法应用到实际问题运用 MATLAB 软件进行实验仿真,计算出最优的车辆配送路径方案;仿真结果表明:该模型和算法能较好地解决相关物流配送路径问题,从而提高物流服务质量。

关键词:物流配送;蚁群算法;路径规划;多目标优化

中图分类号: O224

文献标志码: A

文章编号: 1672-058X(2020)04-0089-06

0 引言

近年来,随着经济的快速发展,物流运输行业迅速崛起,配送车辆路径的选择密切关系到企业的配送成本,因此如何优化配送路线提高企业竞争力成为国内外学者关注、研究的热点问题之一。物流配送是指在一定的区域范围内,根据用户的需求,对物资进行拣选、加工、包装、分割、组配等作业,并按时送达用户指定地点的物流活动^[1]。

姜大立等^[2]提出了染色体编码和可行化过程,建立了遗传算法,得到了问题的优化解或近似优化解;蒋忠中等^[3]考虑了车辆行驶时间和顾客服务时间的不确定性,建立了模糊规划模型,引入 FLOYD 算法,把模型简化成多设施 VRP 模型,并采用捕食搜索算法对其进行求解,通过 Java 语言进行仿真,结果证明该算法优于遗传算法;李松等^[4]将禁忌搜

索算法与遗传算法相结合,提出了一种混合禁忌搜索算法,该算法可以有效减少计算时间,并且具有良好的寻优性能;侯玉梅等^[5]考虑了时间窗约束,构建了总成本最小化的数学模型,采用自适应遗传算法,并与扫描法进行了比较;陈婵丽等^[6]将遗传算法和 K-means 聚类算法进行结合与改进,并采用 Tensorflow 软件进行仿真实验;张元标等^[7]提出了一种将方向加速法融入粒子群算法中并与模拟退火算法相结合的混合粒子群算法,从而提高最优解的搜索概率,通过计算结果进行比较,得出改进后的算法在求解质量和速度上得到了提高;蒋国清等^[8]根据组合优化理论,提出了一种两阶段式的优化方法,将全局搜索能力很强的遗传算法和鲁棒性很强的蚁群算法相结合得出最优方案;张利娟等^[9]考虑了粒子群算法迭代计算的特点,提出一种在 Spark 集群上并行运行粒子群算法的解决方案,该算法大幅度降低了计算时间;齐少安等^[10]提出了车

收稿日期:2019-09-25;修回日期:2019-11-14.

* 基金项目:国家自然科学基金项目资助(11301574;11271391).

作者简介:罗梓瑄(1995—),女,四川广元人,硕士研究生,从事向量优化研究.

** 通讯作者:刘学文(1967—),男,重庆石柱人,教授,从事向量优化研究. Email:xuwenliu@cqnu.edu.cn.

辆调度和运输路线优化的相对简化数学模型,采用 Perhaps 算法得出具体方案。虽然大多数研究只关注了一个目标,但本文以总成本最小和碳排放量最少为目标,充分考虑了车辆路径的约束条件,建立了双目标优化模型。在模型求解时,通过引入蚁群算法对模型求解,并分析了参数对计算结果的影响,得到更适合的配送优化路线。

1 物流配送的优化模型

1.1 问题描述与假设

已知在一定区域内存在一定数量的客户点,并给出每个客户点对货物的需求量以及客户点的位置坐标,配送中心仓库向客户点提供所需求的货物,由车辆向客户点配送货物。每辆车从配送中心出发后,到达相应的客户点并完成配送任务,最终返回配送中心,在一定的约束条件下,达到总运输成本最小、耗费时间最少、客户满意度最高等目的。因此设立3个假设条件如下:

假设1 配送中心仓库点只有一个,即所有的车辆都只能从配送中心仓库出发。

假设2 所有配送车辆容量相同,并且车辆匀速行驶。

假设3 在安排配送车辆前,已经获取到所有客户点的位置坐标。

1.2 多目标模型的建立

1.2.1 定义符号

在整个模型中,用0表示配送中心仓库; $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 表示客户的节点集合; i 与 j 分别表示配送中心仓库或客户点的序号; s 表示配送车辆的序号; l 表示车辆总数; q 表示每辆配送车的载重量; a_0 表示车辆的固定成本; a_{ij} 表示车辆从 i 到 j 的运输成本; p 为配送车辆在运输过程中产生的碳排放量; d_{ij} 表示 i 到 j 的距离; m_i 表示客户点 i 的货运量; h 表示配送车辆经过的路段数; c_{i0} 表示客户点 i 和配送中心仓库之间的产品总量; x_{ij} 表示配送车辆是否由客户点 i 到 j 的0-1变量,即配送车辆由客户 i 到达客户点 j 时, $x_{ij} = 1$,否则 $x_{ij} = 0$; x_{ijs} 表示配送车辆 s 是否由客户点 i 到达客户点 j 的0-1变量,即配送车辆 s 是从 i 驶向 j 时, $x_{ijs} = 1$,否则 $x_{ijs} = 0$; y_{is} 表示客户点 i 的任务

是否由配送车辆 s 完成的0-1变量,即客户点 i 的任务是由配送车辆 s 完成时, $y_{is} = 1$,否则 $y_{is} = 0$;并设总成本为 Z_1 ,总的碳排放水平为 Z_2 。

1.2.2 数学模型

由问题描述和分析可知,物流车辆配送时应当先考虑总的成本费用,其中包括车辆运输成本和车辆固定成本。当总成本最小时又需考虑运输过程中碳的排放量最低,从而可以得到双目标函数:

$$\min Z_1 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{s=1}^l a_{ij} x_{ijs} + a_0 \cdot s$$

$$\min Z_2 = p \cdot \sum_{(i,j) \in \{0\} \cup N} d_{ij} \cdot x_{ij}$$

然而,车辆运输过程中的路线仅仅通过目标函数的刻画是不够的,配送最佳路线还需要通过多个约束控制。配送过程中要求每个客户点只能接受一辆配送车的服务,并且所有的运输任务由 l 辆车一起完成,即

$$\sum_{s=1}^l y_{is} = \begin{cases} 1, & i = 1, 2, \dots, n \\ l, & i = 0 \end{cases}$$

每辆配送货物的车辆不能超过其额定重量,即

$\sum_{i=0}^n m_i y_{is} \leq q, s = 1, 2, \dots, l$ 。到达和离开某一客户点的车辆有且仅有一辆,即

$$\sum_{i=0}^n x_{ijs} = y_{js}, j = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, l$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijs} = y_{is}, i = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, l$$

需要保证配送车辆起、止于配送中心仓库,即

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ij} \leq h, h = n + 1。$$

因此根据以上分析,得到物流配送路径的多目标优化模型如下:

$$\min Z_1 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{s=1}^l a_{ij} x_{ijs} + a_0 \cdot s \quad (1)$$

$$\min Z_2 = p \cdot \sum_{(i,j) \in \{0\} \cup N} d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \sum_{s=1}^l y_{is} = \begin{cases} 1, & i = 1, 2, \dots, n \\ l, & i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n m_i y_{is} \leq q \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijs} = y_{js} \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijs} = y_{is} \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ij} \leq h \quad (7)$$

$$h = n + 1 \quad (8)$$

$$c_{i0} = 0, \forall i \in N \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

$$x_{ijs} \in \{0, 1\} \quad (11)$$

$$y_{is} \in \{0, 1\} \quad (12)$$

其中,式(1)要求合理安排物流配送车辆路径,使得总成本最小;式(2)保证最大限度地降低碳排放量,即降低车辆产生的污染水平;式(3)保证了配送过程中每个客户点只能接受一辆配送车的服务,并且所有的运输任务由 l 辆车一起完成;式(4)为车辆的载重约束,保证单车配送货物不能超过其额定载重;式(5)式(6)保证有且仅有一辆汽车到达和离开某一客户点;式(7)式(8)保证配送车辆起、止于配送中心仓库;式(9)确保车辆返回配送中心仓库,返回是空车;式(10)一式(12)表示 $0 \sim 1$ 变量。

2 蚁群算法

显然,物流配送路径优化问题是一个 NP 问题,因此结合模型的特点及实际应用,将采用鲁棒性很强且具有很快求解速度的正反馈算法——蚁群算法。蚁群算法是由意大利学者 M. Dorigo 等人受到真实的蚂蚁集体寻径行为启发而提出来的,是一种基于种群的启发式随机搜索算法。

假设有 n 个客户点,相应的蚁群中具有 m 个蚂蚁,设 $b_i(t)$ 为 t 时刻时,在 i 处蚂蚁数量的表达式为

$m = \sum_{i=1}^n b_i(t)$ 。 t 时刻蚂蚁从 i 到 j 的转移路径的概率为

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in J_k(i)} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta}, & \text{if } j \in J_k(i) \\ 0, & \text{if } j \notin J_k(i) \end{cases}$$

其中: $J_k(i)$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的客户点集合; $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻路径 (i, j) 上的信息素浓度; η_{ij} 是一个启发式因子,表示蚂蚁从客户点 i 转移到客户点 j 的期望程度; α 为信息素因子,本文 α 取值为 1; β 为期望启发式因子,本文 β 取值为 3。

蚂蚁在整个行进过程中会留下信息素,当所有蚂蚁完成一轮运动后,蚂蚁会依据自己构建的路径

长度在本次行进路线周围释放信息素。因此,在每一轮运动完成后,需要将蚂蚁带来的相关信息进行更新,各路径的信息素更新规则为

$$\begin{cases} \tau_{ij}(t+n) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \\ \Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \end{cases}$$

其中: $0 < \rho < 1$ 表示信息素挥发系数, $1-\rho$ 表示信息素残留系数,本文中 ρ 取值为 0.4; $\Delta\tau_{ij}$ 表示本次迭代过程中路径 (i, j) 上的信息素增量; $\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次迭代中留在 (i, j) 上的信息素量。考虑到算法收敛速度和全局搜索能力,本文选择的蚁群算法模型:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁经过路径 } (i, j) \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

其中: Q 为常数,表示信息素强度; L_k 表示第 k 只蚂蚁在本次运动中走过路径的长度。

算法的具体流程如下:

1) 初始化各参数。设开始时间 $t=0, N_c=0$ (N_c 表示迭代次数),并设置最大迭代次数为 G ,每条路径上的信息素浓度 $\tau_{ij}(t)=c$,其中 c 为常数,设置 α 、 β 、 ρ 、 Q 的初值,将 m 只蚂蚁置于配送中心节点,且初始时刻 $\Delta\tau_{ij}(0)=0$ 。

2) 更新循环次数 N_c 增长 1,把蚂蚁的禁忌表索引号设置为 1,蚂蚁数目 $k=k+1$ 。

3) 对于每一个人工蚂蚁,需要从列表中查出其没有达到过的节点,同时根据上下文中提到的转移概率公式,选择合理的下一个客户点。

4) 更改禁忌表中的索引号,把之前选择好的蚂蚁移动到下一个新的客户点处,并将这个客户点列入禁忌表里面,直到蚂蚁访问完所有的客户点结束蚂蚁的循环活动。

5) 计算出本次迭代的最佳路径长度,当前迭代次数中的最优解即是所求的物流配送车辆的最佳路径,并根据信息素浓度更新 $\Delta\tau_{ij}^k$ 。

6) 判断是否已达到最大的循环次数,若达到,则完成配送;若未达到,则清空全部的禁忌表,并且跳转到 1)。

7) 结果输出,并绘制出物流配送最优路线。

3 实例仿真

某配送中心有载重 6 000 kg 的配送车辆 6 辆,需将货物派送至 30 个客户点,从 1~31 依次对配送中心仓库和 30 个客户点进行编号,其中仓库的编号为 1,各个客户点之间的横纵坐标和需求量表 1 所示。

表 1 客户坐标及货物需求量

Table 1 Customer coordinates and cargo demand

客户点编号	X 坐标/km	Y 坐标/km	每日需求量/kg
1	143	225	0
2	147	258	1 300
3	159	261	630
4	136	229	679
5	128	252	1 360
6	162	237	2 306
7	136	245	623
8	151	252	752
9	142	242	326
10	168	237	658
11	142	241	752
12	138	256	1 056
13	128	207	1 369
14	129	192	1 254
15	136	186	452
16	162	152	892
17	149	157	2 210
18	132	181	993
19	160	170	896
20	116	182	2 420
21	146	186	1 923
22	137	156	175
23	190	192	552
24	172	133	442
25	187	123	510
26	173	142	672
27	180	176	326
28	165	158	917
29	131	190	612
30	143	145	430
31	121	137	512

利用 MATLAB2016a 软件进行仿真计算,设备参数 $m=40, N_c=100, \alpha=1, \beta=3, Q=100, \rho=0.4$, 经过 10 次仿真计算,得到 880.867 km 为最优路径距离,全部统计结果见表 2。

表 2 10 次路径距离计算结果

Table 2 10 path distance calculation results

计算次序	路径距离/km	计算次序	路径距离/km
1	944.764	6	902.344
2	916.997	7	928.159
3	910.595	8	884.847
4	880.867	9	888.927
5	943.630	10	890.733

因此,最优配送方案如下:

路径 1 1-4-9-11-7-5-12-3-23-1, 运输的距离为 206.651 km, 运输量为 5 978 kg。

路径 2 1-27-19-28-16-26-24-25-31-30-22-1, 运输的距离为 316.606 km, 运输量为 5 772 kg。

路径 3 1-17-21-15-18-1, 运输的距离为 159.176 km, 运输量为 5 578 kg。

路径 4 1-14-29-20-13-1, 运输的距离为 106.837 km, 运输量为 5 655 kg。

路径 5 1-6-10-8-2-1, 运输的距离为 91.597 km, 运输量为 5 016 kg。生成的配送车辆最优路径仿真图如图 1 所示。

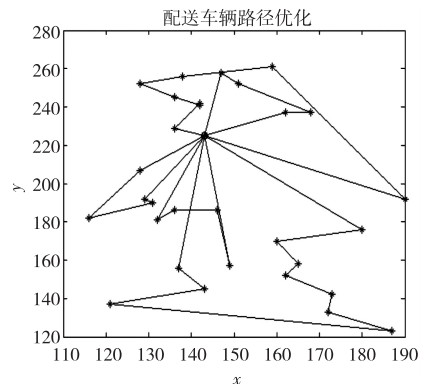


图 1 最优配送路径图

Fig. 1 Optimal distribution path diagram

由于在蚁群算法中,参数的选取对计算结果有着重要的影响,表3及表4为 m, α, β, ρ 对仿真结果的影响。

表3 蚂蚁数量 m 对仿真结果的影响

Table 3 Effect of the number of ants m on the simulation results

m	最优解
20	911.176
30	899.939
40	880.867

表4 α, β 和 ρ 对仿真结果的影响

Table 4 Effects of α, β and ρ on simulation results

α	β	ρ	最优解
1	3	0.4	880.867
1	3	0.6	884.848
2	2	0.4	956.255
2	2	0.6	958.819
3	1	0.4	990.624
3	1	0.6	999.531

通过表3可以看出在其他参数不变的情况下, m 的取值越大,得到的结果越来越优化,一般 m 取10~50之间。通过对表4进行分析,适当的选取参数取值的组合有利于得出最优解。因此,在实际问题中,针对不同的问题要根据实际情况选择合适的参数。

综上所述,当 $\alpha=1, \beta=3, \rho=0.4$ 时,寻优效果最好,求解得到的最优路径距离为880.867 km,需使用5辆车。

4 结论

在物流运输业迅速崛起的今天,合理规划路线降低配送成本是提高物流企业经济效益的关键,本文建立了成本最小化和碳排放量最少化的多目标优化模型,并将蚁群算法应用到物流配送问题中。此外通过仿真模拟给出了一定区域内配送车辆的最优路径或近似最优路径,对实际物流配送路径优化有一定的实用性和参考价值。

参考文献(References):

- [1] 王宗喜. 军事物流学[M]. 北京:清华大学出版社, 2007:274—275
WANG Z X. Military Logistics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007:274—275 (in Chinese)
- [2] 姜大立,杨西龙,杜文,等. 车辆路径问题的遗传算法研究[J]. 系统工程理论与实践,1999,19(6):40—45
JIANG D L, YANG X L, DUW, et al. A Study on the Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem [J]. System Engineering Theory and Practice, 1999, 19(6): 40—45 (in Chinese)
- [3] 蒋忠中,汪定伟. 物流配送车辆路径优化的模糊规划模型与算法[J]. 系统仿真学报,2006,18(11):3301—3304,3312
JIANG Z Z, WANG D W. Fuzzy Programming Model and Algorithm of Logistics Distribution Vehicle Routing Problem [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(11):3301—3304,3312 (in Chinese)
- [4] 李松,刘兴,李瑞彩. 基于混合禁忌搜索算法的物流配送路径优化问题研究[J]. 铁道运输与经济,2007,29(3):66—69
LI S, LIU X, LI R C. Study on Optimization of Logistics Distribution Route Based on Mixed Tabu Search Algorithm [J]. Railway Transport and Economy, 2007, 29(3):66—69 (in Chinese)
- [5] 侯玉梅,贾震环,田歆,等. 带软时间窗整车物流配送路径优化研究[J]. 系统工程学报,2015,30(2):240—250
HOU Y M, JIA Z H, TIANX, et al. Research on the Optimization on the Vehicle Logistics Distribution with Soft Time Windows [J]. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(2):240—250 (in Chinese)
- [6] 陈婵丽,钟映竝. 基于改进K-means聚类方法的新零售物流配送路径优化[J]. 物流技术,2019,38(5):73—78,126
CHEN C L, ZHONG Y H. Optimization of Logistics Distribution Route in Context of New Retail Based on Improved K-means Clustering Method [J]. Logistics Technology, 2019, 38(5):73—78, 126 (in Chinese)
- [7] 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
- ZHANG Y B, LU G Q. Study of Physical Distribution Routing Optimization Problem Based on Hybrid PSO Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(5): 10—12 (in Chinese)
- [8] 蒋国清, 潘勇, 胡飞跃. 两阶段式的物流配送路径优化方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(2): 255—258, 264
- JIANG G Q, PAN Y, HU FY. Research on Logistics Distribution Route Based on Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(2): 255—258, 264 (in Chinese)
- [9] 张利娟, 仇建伟, 杜登崇, 等. 基于 Spark 和 PSO 算法的军事物流配送路径优化问题研究[J]. 计算机与现代化, 2018(11): 65—68, 76
- ZHANG L J, QIU J W, DU DC, et al. Research on Military Logistics Distribution Routing Optimization Problem Based on Spark and PSO Algorithm [J]. Computer and Modernization, 2018(11): 65—68, 76 (in Chinese)
- [10] 齐少安, 宋齐军. 基于 TSP 模型的物流配送中心车辆路径优化[J]. 邮电设计技术, 2006(6): 62—64
- QI S A, SONG QJ. Logistic Center Vehicle Routing Optimization Based on TSP Model [J]. Post and Telecommunications Design Technology, 2006(6): 62—64 (in Chinese)

Research on Logistics Distribution Path Optimization Based on Ant Swarm Algorithm

LUO Zi-xuan, LIU Xue-wen

(School of Mathematical Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: In real life, how to choose the optimal logistics distribution route is one of the most important issues in vehicle dispatch system of logistics. In view of logistics distribution path optimization, firstly, the restriction conditions of vehicle path are fully considered, a multi-objective optimization model of path planning is constructed with cost minimization and with minimum carbon emission, then, it is solved by using ant swarm algorithm simultaneously starting independent solution search in the multipoint of problem space, which guarantees that this algorithm has stronger global search capacity and has stronger robustness. In practice, experimental simulation is conducted by using MATLAB for this algorithm, and the optimal vehicle distribution path scheme is calculated. Simulation results show that this model and this algorithm can solve the related logistics distribution path problem so as to improve logistics service quality.

Key words: logistics distribution; ant swarm algorithm; path planning; multi-objective optimization

责任编辑: 李翠薇

引用本文/Cite this paper:

罗梓瑄, 刘学文. 基于蚁群算法的物流配送路径优化研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020, 37(4): 89—94

LUO Z X, LIU X W. Research on Logistics Distribution Path Optimization Based on Ant Swarm Algorithm[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(4): 89—94