

文章编号: 1674-1730(2021)05-0006-05

# 基于改进的鲸鱼优化算法的物流车辆 配送路径规划

唐彦, 张进军

(安徽警官职业学院 安徽 合肥 230001)

**摘要:** 为了实现物流配送车辆路径的合理规划,减少配送车辆行驶距离和降低物流配送成本,提出一种改进的鲸鱼优化算法求解物流配送车辆路径规划数学模型。选择物流配送成本最低和路径最短为目标函数,将鲸鱼位置编码为车辆编号和车辆路径顺序,通过改进的鲸鱼优化算法实现多目标物流配送车辆路径的最优规划。研究结果表明,与WOA、PSO和GA相比,改进鲸鱼优化算法可以有效降低物流配送成本和减少配送距离,为车辆路径规划提供了新的方法。

**关键词:** 鲸鱼优化算法; 车辆路径; 需求量; 多目标优化; 行驶距离

**中图分类号:** TP301

**文献标识码:** A

## Logistics Vehicle Distribution Path Planning Based on Improved Whale Optimization Algorithm

TANG Yan, ZHANG Jin-jun

(Anhui Police Officer Vocational College, Hefei 230001, Anhui)

**Abstract:** To realize the reasonable planning of vehicle routing problem, reduce the traveling distance of vehicle and the cost of distribution, an improved whale optimization algorithm is proposed to solve the mathematical model of vehicle routing problem. This paper chooses the lowest cost and shortest path as the objective function, encodes the whale position as the vehicle number and the vehicle path order, and realizes the optimal planning of multi-objective logistics distribution vehicle path through the improved whale optimization algorithm. The results show that compared with WOA, PSO and GA, the improved whale optimization algorithm can reduce the distribution cost and distance, and provide a new method for vehicle route planning.

**Key words:** Whale Optimization Algorithm; vehicle routing; demand; multi-objective optimization; driving distance

带容量约束的车辆路径问题(Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)的主要特征是车辆有最大容量限制、各客户需求点有货物配送需求,该问题是一种典型的NP-Hard组合优化问题<sup>[1]</sup>。传统算法很难求解 CVRP 问题,近年来很多研究人员将群智能算法应用于 CVRP 问题求解。文献2将混合变邻域生物共栖搜索算法应用于 CVRP 问题求解<sup>[2]</sup>。文献3将多种群人工蜂群算法用来求解带重新路由策略的 CVRP 问题<sup>[3]</sup>。文献4提出了一种基于改进的粒子群优化算法的车辆路径优化方法<sup>[4]</sup>。

鲸鱼优化算法<sup>[5]</sup>(Whale Optimization Algorithm, WOA)具有控制参数少、收敛速度快和计算简单等优点,是一种模仿座头鲸捕食行为而衍生出的新型群体智能搜索算法。该算法已在机器学习、函数寻优、数据挖掘、电力调度、控制器设计调优等方面得到广泛应用<sup>[6-7]</sup>。目前应用鲸鱼优化算法求解 CVRP 的文献较少,因此本文提出一种基于改进的鲸鱼优化算法的物流配送车辆路径优化方法。研究结果表明,与WOA、PSO和GA相比,改进鲸鱼优化算法可以有效降低物流配送成本和减少配送距离,为车辆

收稿日期: 2020-09-18

基金项目: 2017年安徽省高校省级质量工程重大教学改革项目(2017jyxm0733)

作者简介: 唐彦(1980—),女,安徽合肥人,讲师,主要从事国际物流研究。

路径规划提供了新的方法。

## 1 改进的 WOA 算法

在标准的 WOA 算法中,座头鲸包括包围猎物、狩猎行为和随机搜索猎物等 3 种行为,每一只座头鲸的位置为一个可行解。

### 1.1 包围猎物

座头鲸发现猎物后能够快速包围式(1)所示的所发现的猎物并更新位置:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)|, \vec{X}(t+1) = \vec{X}(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (1)$$

式(1)中,  $|\cdot|$  为绝对值;  $\vec{X}(t)$  为当前鲸鱼个体的位置向量;  $\vec{X}^*$  为当前鲸鱼个体的最佳位置;  $t$  为当前迭代次数;  $\vec{A}$ 、 $\vec{C}$  可表示为:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a}, \vec{C} = 2\vec{r}, \vec{a} = 2 - 2j/M \quad (2)$$

式(2)中,  $M$  为最大迭代次数;  $a$  和  $r$  为随机数,  $a \in [2, 0]$ ,  $r \in [0, 1]$ 。

### 1.2 狩猎行为

座头鲸狩猎采用如式(3)所示的螺旋运动方式:

$$\vec{D}' = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)|, \vec{X}(t+1) = \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot (\cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t)) \quad (3)$$

式(3)中,  $l \in [-1, 1]$  的随机数;  $b$  为螺旋形状的常数。

在座头鲸的狩猎行为中,鲸鱼位置更新的过程中将以 50% 的概率包围如式(4)所示的猎物或进行螺旋式狩猎:

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} & (p < 0.5) \\ \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & (p \geq 0.5) \end{cases} \quad (4)$$

### 1.3 随机搜索猎物

当  $A > 1$  或  $A < -1$  时,鲸鱼群体离猎物远去,随机搜索更为合适的猎物,数学模型为式(5)所示:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand}(t) - \vec{X}(t)|, \vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (5)$$

式(5)中,  $\vec{X}_{rand}$  为随机选择的鲸鱼位置。

针对鲸鱼算法容易陷入局部最优和“早熟”问题,将非线性收敛因子引入标准 WOA 算法,提出一种改进的鲸鱼优化算法(Improved Whale Optimization Algorithm, IWOA),其改进策略为:

收敛因子  $a$  数值大小直接影响 WOA 算法的搜索能力和寻优能力。在基本 WOA 算法中,收敛因子  $a$  搜索前期较大,后期较小,导致其后期容易陷入局部最优,本文为解决该问题,提出一种随迭代次数非线性变化的收敛因子,其更新公式为式(6):

$$a = (a_{start} - a_{end}) \cdot \frac{1 - t/M}{1 - \mu \cdot t/M} \quad (6)$$

式(6)中,  $a_{start}$  和  $a_{end}$  分别为  $a$  的初始值和终止值;  $\mu$  为调节系数,文中取  $\mu = 25$ 。

## 2 物流车辆配送路径规划

车辆配送路径规划问题可表述为<sup>[8-9]</sup>: 假设配送中心配备有  $K$  辆物流运输车,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  $g_i$  ( $\max(g_i) \leq \max(q_k)$ ), 完成需求点任务  $i$  货物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。  $ET_i$ 、 $LT_i$  分别为任务  $i$  的最早开始时间和最迟开始时间。若配送车辆早于  $ET_i$  到达需求点,则配送车辆等待;否则,任务将被延迟。车辆物流配送示意图如图 1 所示。

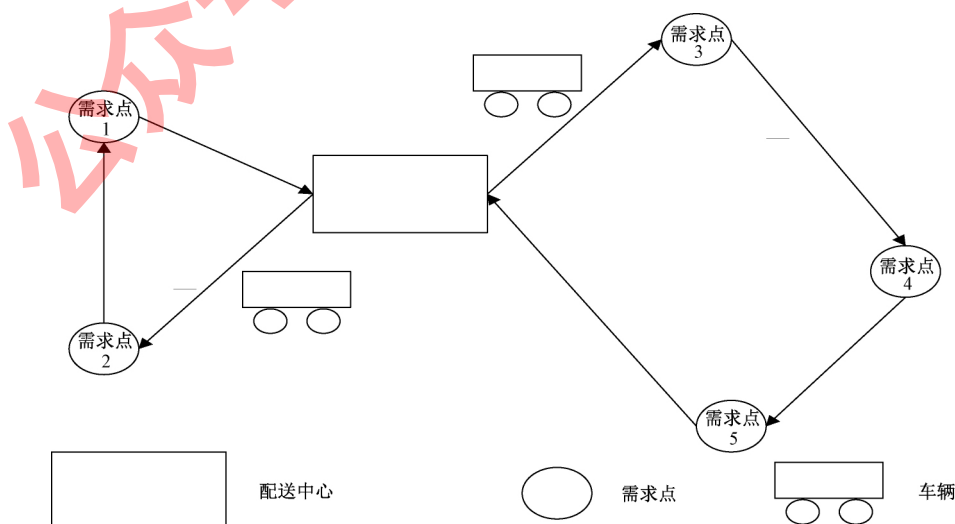


图 1 车辆物流配送示意图

根据问题描述将货物需求点编号为  $1, 2, 3, \dots, L$ , 物流配送中心编号为 0, 任务和配送中心编号为  $i = (0, 1, 2, 3, \dots, L)$ , 则决策变量为<sup>[10]</sup>:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{车 } k \text{ 从点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

$$y_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{发货点 } i \text{ 任务由 } k \text{ 车完成} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

综合所述, 物流车辆配送路径数学规划模型为:

$$\min f_1 = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ijk} \quad (9)$$

$$\min f_2 = p_E \sum_{i=1}^l \max(ET_i - s_i, 0) \quad (10)$$

$$\min f_3 = p_L \sum_{i=1}^l \max(s_i - LT_i, 0) \quad (11)$$

$$S. t. \begin{cases} \sum_i g_i y_{ki} \leq q_k, \forall k \\ \sum_k y_{ki} = 1, i = 1, 2, \dots, L \\ \sum_i x_{ijk} = y_{kj}, j = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \\ \sum_j x_{ijk} = y_{ki}, i = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \\ X = (x_{ijk}) \in S \\ x_{ijk} = 0 \text{ or } 1, i, j = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \\ y_{ki} = 0 \text{ or } 1, i = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k \end{cases} \quad (12)$$

车辆编号							路径编号							
最佳鲸鱼位置	1	2	2	2	2	3	3	1	4	3	1	2	2	1

图 2 车辆和路径编号

式(9) ~ (12) 中  $s_i$  为配送车辆到达需求点  $i$  的时间;  $c_{ij}$  为需求点  $i$  到需求点  $j$  的运输成本;  $p_E, p_L$  分别为配送车辆提前到达需求点  $i$  的或者滞后到达需求点  $i$  的单位时间内的等待成本以及惩罚成本。该数学模型中每个需求点均有车辆配送, 且每个需求点只能由一辆物流配送车辆配送; 与此同时, 同一配送路径上的需求点的需求量之和应小于等于物流配送车辆的最大载重。

为实现物流配送车辆路径的最优规划, 解决该问题的关键是构造合适的最佳鲸鱼位置表达方式。参考文献 11 - 12 构造一个  $2L$  维空间对应  $L$  个需求点任务的物流配送车辆路径规划问题, 保证需求点任务为 2 维<sup>[11-12]</sup>。若需求点任务为 7, 配送车辆为 3, 需求点任务编号为  $[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]$ 。此时最佳鲸鱼位置向量  $X$  如图 2 所示, 其中最佳鲸鱼位置对应物流配送车辆的编号和行驶路径。

由图 2 车辆和路径编号可知, 最佳鲸鱼位置对应的物流车辆配送路径为: (1) 车辆 1:  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ ; (2) 车辆 2:  $0 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 0$ ; (3) 车辆 3:  $0 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 0$ 。

基于 IWOA 的车辆配送物流路径优化算法步骤具体描述如下:

Step1: 设定 IWOA 算法参数: 种群规模  $N$ 、最大迭代次数  $Maxgen$ 、当前迭代次数  $t$  以及螺旋形状常数  $b$ , 并且随机初始化鲸鱼群体初始位置  $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ;

Step2: 按式(13) 计算每个鲸鱼个体的适应度, 并对适应度进行排序, 找到适应度最小时所对应的鲸鱼个体即最佳鲸鱼个体  $X^*$  并保存;

$$\min fitness = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ijk} + p_E \sum_{i=1}^l \max(ET_i - s_i, 0) + p_L \sum_{i=1}^l \max(s_i - LT_i, 0) \quad (13)$$

表 1 配送中心和需求点坐标

类型	坐标 x	坐标 y
配送中心	18.70	15.29
需求点 1	16.47	8.45
需求点 2	20.07	10.14
需求点 3	19.39	13.37
需求点 4	25.27	14.24
需求点 5	22.00	10.04
需求点 6	25.47	17.02
需求点 7	15.79	15.10
需求点 8	16.60	12.38
需求点 9	14.05	18.12
需求点 10	17.53	17.38
需求点 11	23.52	13.45
需求点 12	19.41	18.13
需求点 13	22.11	12.51
需求点 14	11.25	11.04
需求点 15	14.17	9.76
需求点 16	24.00	19.89
需求点 17	12.21	14.50

Step3: 如果  $t \leq Maxgen$ , 则更新参数  $a, A, C, l$

和  $p$ ;

Step4: 当  $p < 0.5$  时, 如果  $|A| < 1$ , 按式(1)更新当前鲸鱼个体的空间位置; 当  $|A| \geq 1$  时, 则随机选择鲸鱼个体位置  $X_{rand}$ , 并且按式(5)更新当前鲸鱼个体的空间位置;

Step5: 当  $p \geq 0.5$  时, 按式(4)更新当前鲸鱼个体的空间位置;

Step6: 限制和修正鲸鱼个体搜索空间;

Step7: 按式(13)计算每个鲸鱼个体的适应度, 并对适应度进行排序, 找到适应度最小时所对应的鲸

鱼个体即最佳鲸鱼个体  $X^*$  并保存;

Step8: 判断算法终止条件: 如果  $t \geq Maxgen$ , 则转到步骤 Step9; 反之, 重复步骤 Step3 ~ Step7;

Step9: 输出最优鲸鱼个体的空间位置  $X^*$  及其适应度, 即输出车辆物流配送路径。

### 3 仿真试验与结果分析

为了验证 IWOA 进行物流配送车辆路径规划的有效性和可靠性, 选择参考文献 13 中实例为研究对象<sup>[13]</sup>, 各需求点的坐标位置以及用户需求和中心仓库数据信息如表 1 和表 2 所示。

表 2 配送中心和用户需求

任务序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8
需求量	0	3.0	2.5	5.5	3.0	1.5	4.0	2.5	3.0
$T_i$	0	1.8	1.0	2.3	1.8	1.2	2.4	1.5	1.8
$[ET_i, LT_i]$	[0, 1000]	[5, 019.5]	[4, 114.9]	[1, 510.9]	[6, 019.6]	[6, 514.8]	[9, 919.8]	[10, 124.2]	[15, 527.1]
任务序号	9	10	11	12	13	14	15	16	17
需求量	2.0	2.5	3.5	3.0	5.0	4.5	2.0	3.5	4.0
$T_i$	1.2	1.5	2.1	1.8	2.0	2.7	1.3	1.2	1.5
$[ET_i, LT_i]$	[2, 519.9]	[3, 215.6]	[2, 020.3]	[2, 315.5]	[15, 224.5]	[11, 128.8]	[12, 624.0]	[8, 418.5]	[10, 123.2]

将 IWOA 和 WOA、PSO、GA 进行对比, 不同算法参数设置如下: (1) WOA 参数: 种群规模  $N = 50$ 、最大迭代次数  $Maxgen = 500$ 。(2) 粒子群算法 (particle swarm optimization algorithm, PSO): 种群规模  $N = 50$ 、最大迭代次数  $Maxgen = 500$ 、学习因子  $c_1 = c_2 = 2$ 、惯性权重  $w = 0.2$ 。(3) 遗传算法 (genetic algorithm, GA): 种群大小  $N = 50$ 、最大迭代次数  $Maxgen = 500$  交叉概率  $P_c = 0.7$  和变异概率  $P_m = 0.1$ , 对比结果如图 3 ~ 图 7 所示。

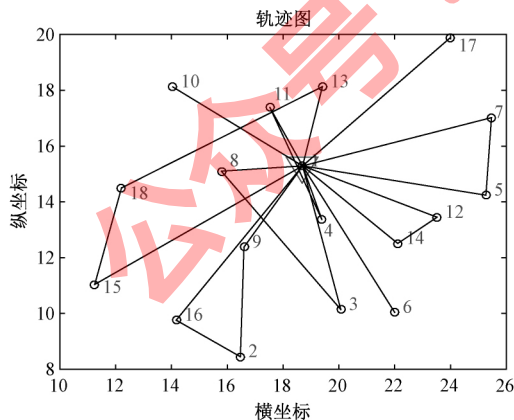


图 3 IWOA 配送路径图

表 3 IWOA、WOA、PSO 和 GA 对比结果

方法	平均行驶成本/元	行驶里程/km
GA	603.0031	139.5906
PSO	565.8001	138.9368
WOA	359.3838	130.2608
IWOA	337.6755	129.1333

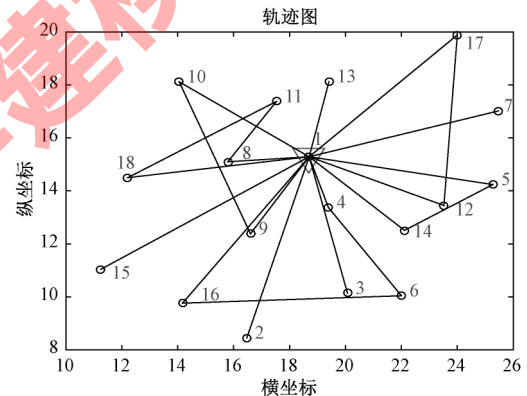


图 4 WOA 配送路径图

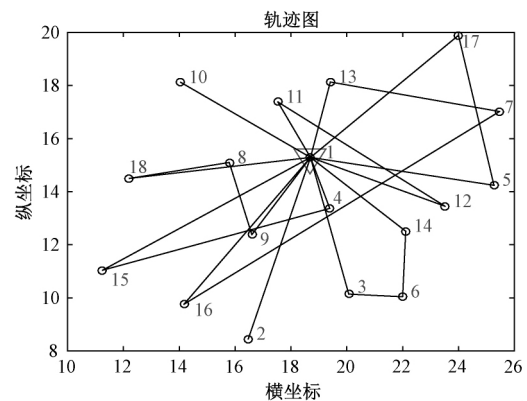


图 5 PSO 配送路径图

由表 3 可知, GA、PSO 和 GA 进行物流车辆配送路径规划时, GA 的平均行驶成本和行驶里程分别为 603.0031 元和 139.5906km, PSO 的平均行驶成本和行驶里程分别为 565.8001 元和 138.9368km, WOA



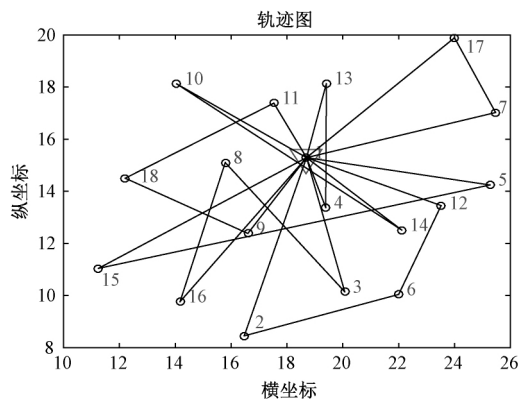


图 6 GA 配送路径图

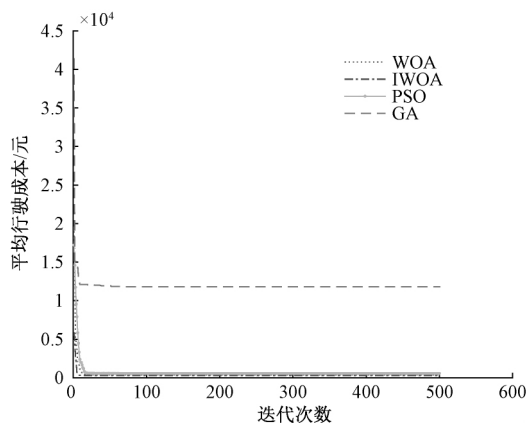


图 7 寻优对比曲线

的平均行驶成本和行驶里程分别为 359.3838 元和 130.2608km,而改进的 IWOA 的平均行驶成本和行驶里程分别为 337.6755 元和 129.1333km。与 WOA、PSO 和 GA 相比,在行驶里程和平均行驶成本方面,IWOA 进行车辆路径规划的成本最低且行驶里程最短。由图 7 寻优对比曲线可知,IWOA 进行车辆路径规划寻优具有更快的收敛速度和更低的平均行驶成本。通过综合对比验证了 IWOA 进行物流车辆配送路径优化的有效性和可靠性。

#### 4 结论

本文运用改进的鲸鱼优化算法求解物流配送路径规划问题。研究表明,与 WOA、PSO 和 GA 相比,在搜索时间和平均行驶成本方面,IWOA 进行车辆路径规划的配送成本最低且行驶里程最少,为物

流配送车辆路径优化提供了新的方法。

#### 参考文献:

- [1] 李阳, 范厚明. 求解带容量约束车辆路径问题的混合变邻域生物共栖搜索算法[J]. 控制与决策, 2018, 33(7): 41-49.
- [2] A K K H N, A C K M L, A S Z Z, et al. A multiple colonies artificial bee colony algorithm for a capacitated vehicle routing problem and re-routing strategies under time-dependent traffic congestion[J]. Computers & Industrial Engineering, 2017(109): 151-168.
- [3] M. A. Jannat Z, Murase K. Capacitated Vehicle Routing Problem Solving using Adaptive Sweep and Velocity Tentative PSO[J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2017, 8(12): 288-295.
- [4] S. Mirjalili, A. Lewis. The whale optimization algorithm[J]. Advances in Engineering Software, 2016, 95: 51-67.
- [5] 左剑, 谢平平, 李银红, 等. 基于智能优化算法的互联电网负荷频率控制器设计及其控制性能分析[J]. 电工技术学报, 2018, 33(3): 478-489.
- [6] 李星, 杨秀媛, 王丽婕. 灰狼算法在风电水电协同运行中的应用[J]. 发电技术, 2018, 39(1): 43-48.
- [7] 蒋海青, 赵燕伟, 冷龙龙. 基于化学反应优化算法的车辆路径问题[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(8): 2012-2022.
- [8] 张晓楠, 范厚明. 带时间窗偏好的多行程模糊需求车辆路径优化[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(10): 89-105.
- [9] 孙启, 金燕, 何琨, 等. 用于求解混合车辆路径问题的混合进化算法[J]. 计算机科学, 2018, 45(4): 76-82.
- [10] 何妍. 电子商务环境下鲜活农产品物流配送路径的优化策略探究[J]. 中国市场, 2017(17): 201.
- [11] 邱荣祖, 钟聪儿, 修晓虎. 基于 GIS 和禁忌搜索集成技术的农产品物流配送路径优化[J]. 数学的实践与认识, 2011(10): 147-154.
- [12] 黄蕾. 大型连锁超市生鲜农产品物流配送系统路径选择[J]. 商业时代, 2013(36): 53-54.
- [13] 曹倩, 邵举平, 孙延安. 基于改进遗传算法的生鲜农产品多目标配送路径优化[J]. 工业工程, 2015(1): 71-76.

【责任编辑 赵建萍】