

12-12-2019

Multi-objective Model of Distribution Route Problem for Fresh Electricity Commerce under Uncertain Demand

Zhang Qian

1. Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; ;

Xiong Ying

2. State Grid Beijing Logistic Supply Company, State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100054, China; ;

Mingke He

1. Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; ; 3. Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China;

Zhang Hao

1. Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-objective Model of Distribution Route Problem for Fresh Electricity Commerce under Uncertain Demand

Abstract

Abstract: Considering the distribution cost, freshness of fresh products, carbon emissions and customer demand uncertainty and other factors, a multi-objective optimization model of distribution path planning is established. Based on the robust optimization method for dealing with uncertain problems, the multi-objective model of distribution routing planning is optimized for the situation that the discrete demand belongs to the uncertainty set of ellipsoid. The model is solved by using the main target method and fruit fly algorithm. It is proved that the model and algorithm are robust and can effectively suppress the disturbance caused by the uncertainty of the demand. This paper provides an important theoretical basis and practical ideas for improving the distribution route planning model and distribution network optimization method.

Keywords

vehicle routing problem, uncertain demand, fresh electronic commerce, robust optimization, fruit fly optimization algorithm

Recommended Citation

Zhang Qian, Xiong Ying, He Mingke, Zhang Hao. Multi-objective Model of Distribution Route Problem for Fresh Electricity Commerce under Uncertain Demand[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(8): 1582-1590.

不确定需求生鲜电商配送路径规划多目标模型

张倩¹, 熊英², 何明珂^{1,3}, 张浩¹

(1. 北京工商大学商学院 北京 100048; 2. 国网北京市电力公司物资分公司 北京 100054; 3. 北京物资学院物流学院 北京 101149)

摘要: 综合考虑配送成本、生鲜产品新鲜度、碳排放和客户需求不确定等因素, 建立配送路径规划多目标优化模型。基于鲁棒优化处理不确定问题的方法, 针对离散需求隶属于椭圆不确定集情况, 优化配送路径规划多目标模型, 并应用主要目标法和果蝇算法对模型进行求解。算例验证所建模型及算法具有良好的鲁棒性, 能有效抑制需求为不确定情况下所带来的扰动。对于完善生鲜电商企业配送路径规划模型和配送网络优化方法提供了重要的理论支持和实践思路。

关键词: 路径规划; 不确定需求; 生鲜电商; 鲁棒优化; 果蝇算法

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 08-1582-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0376

Multi-objective Model of Distribution Route Problem for Fresh Electricity Commerce under Uncertain Demand

Zhang Qian¹, Xiong Ying², He Mingke^{1,3}, Zhang Hao¹

(1. Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. State Grid Beijing Logistic Supply Company, State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100054, China; 3. Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China)

Abstract: Considering the distribution cost, freshness of fresh products, carbon emissions and customer demand uncertainty and other factors, a multi-objective optimization model of distribution path planning is established. Based on the robust optimization method for dealing with uncertain problems, the multi-objective model of distribution routing planning is optimized for the situation that the discrete demand belongs to the uncertainty set of ellipsoid. The model is solved by using the main target method and fruit fly algorithm. It is proved that the model and algorithm are robust and can effectively suppress the disturbance caused by the uncertainty of the demand. This paper provides an important theoretical basis and practical ideas for improving the distribution route planning model and distribution network optimization method.

Keywords: vehicle routing problem; uncertain demand; fresh electronic commerce; robust optimization; fruit fly optimization algorithm

引言

国内生鲜电商快速发展, 主流生鲜电商企业都



收稿日期: 2017-08-03 修回日期: 2017-11-14;
基金项目: 2018 年首都流通业研究基地内设课题
(JD-ZD-2018-001), 北京市哲学社会科学项目
(17GLB013);
作者简介: 张倩(1988-), 女, 辽宁大连, 博士, 讲
师, 研究方向为物流与供应链, 交通运输规划管理。

在加密配送网络, 以提供更优质服务。与此同时, 生鲜电商遇到 3 个亟待解决的问题: 盈利低, 目前国内生鲜电商的亏损率达到了 95%, 主要是冷链费用高昂, 且能源消耗大; 损耗率大, 目前生鲜电商的损耗率大约高达 10% 以上, 有的甚至达到了 30%; 配送模式逐步转向多品种、小批量, 需求不确定性大幅增加。而冷链费用、生鲜损耗、能源消耗大和需求不确定性与生鲜产品配送路径规划息

<http://www.china-simulation.com>

• 1582 •

息相关。通过优化模型和智能算法合理地规划配送车辆路线,能有效降低生鲜产品配送过程中由于冷链运输和市场需求波动带来的成本和碳排放问题。

许多学者对于生鲜产品配路径送优化问题进行了深入研究,提出了各种优化配送路径模型及求解的算法。Vahdani 等^[1]针对车辆的不同运力来改进生鲜产品的配送模型,并用启发式算法进行求解。Belo-Filho 等^[2]考虑了包括时间窗口和运输车辆容量的限制,提出了易腐产品生产和配送的联合优化模型。Coelho 等^[3]同时考虑了易腐产品的库存控制和配送优化,建立了以销售收入最大化为目标的混合整数线性规划模型。Hiassat 等^[4]考虑易腐品特性,建立配送中心库存配送路径问题的优化模型,并用遗传算法和局部搜索启发法求解。Byung 等^[5]考虑冷链车和易腐品特点,建立了多车型多易腐品的非线性数学模型和启发式算法来规划车辆配送路线。Govindan 等^[6]提出了易腐食品供应链网络的两级多车型配送路径优化问题,同时兼顾了总成本和环境影响的双重目标。Zhang 等^[7]研究了城市配送系统的影响因素,并基于贝叶斯网络建设城市配送系统可靠性影响模型,使得模型更能反映配送系统的动态变化。马向国等^[8]基于客户服务时间要求与客户重要性之间的均衡,构建了混合时间窗冷链车辆的路径规划模型。李峰等^[9]以易腐货物的时变车辆路径问题为研究对象,并设计了遗传算法用于搜索问题的优化解。闫妍等^[10]提出了应对易腐品配送网络意外失效的节点扩容策略,通过网络正常运行和单一节点失效两种情况的对比,并用 CPLEX 软件进行求解。

目前有关易腐品路径规划研究的文献中,主要以成本或者利润为考虑目标,综合考虑客户对易腐品新鲜度的满意度和配送碳排放优化类的研究较少;而关于在冷链物流下路径规划研究的文献中,主要以客户需求是确定型为基础,针对需求不确定情况的研究较少。

综上所述,本文将综合考虑配送成本、客户满意度、碳排放和客户需求不确定等因素,建立配送

路径优化模型,利用鲁棒优化对不确定性问题处理的优势^[11-15],优化配送路径模型。随后使用 Matlab 软件为编码平台,采用主要目标法转换为单目标优化问题,并运用果蝇算法对模型进行求解并分析。

1 模型构建

1.1 问题描述

随着我国可持续发展战略的提出,企业逐渐把减排和客户满意度作为战略目标,所以构建生鲜电商配送路径优化模型必须同时考虑这两个因素。为便于研究,假定生鲜电商企业在一定时间一定区域将多个生鲜商品储存于配送中心,收到需求点的订单后,优化配送路线并快速向需求点进行配送。假设需求点数量是确定的,但需求点每个订单的具体需求量不确定;每个订单可订多个生鲜品种。逻辑图如图 1 所示。

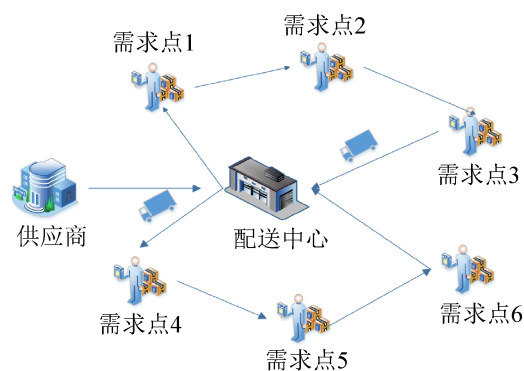


图 1 生鲜电商配送路径逻辑图
Fig. 1 Logic Diagram of Fresh Electricity Supplier Distribution Path

除上述基本假设外,本文还考虑生鲜电商企业在一段时间内运营的以下具体假设:

(1) 每个需求点的需求量不确定,配送中心最大库存量可以满足所有需求点的总需求;(2) 在总成本计算中,暂不考虑生鲜商品的库存成本、装卸损耗及其他货损成本;(3) 单位商品配送运费已知且恒定;(4) 不考虑配送过程中外界温度的变化,假设车辆行驶速度为匀速;(5) 生鲜商品离开配送中心时保持新鲜状态,在配送过程中的腐败率恒定

且新鲜度可时时感知；(6) 配送过程中，冷链车辆从配送中心出发，基于冷藏车容量去满足配送网络路线中各个客户节点的需求；(7) 冷链车辆从配送中心出发，有序地经过并服务各需求点，最后返回至配送中心；(8) 文中只考虑单纯送货情况，无取货任务；(9) 本模型仅作一定时间内的静态配送路径优化假设，不考虑未来成本与收益的变化。

1.2 模型参数及变量

根据构建模型的需要，设置如下参数与变量：

I : 配送中心 i 集合

J : 生鲜电商需求点 j 集合

K : 冷链车种类 k 集合

R : 生鲜产品种类 r 集合

IC_i : 配送中心 i 的最大库存能力

LC_k : 车辆 k 的最大运载能力

θ_r : 生鲜产品品种 r 的腐败系数，恒定

l_{ij} : 从配送中心 i 到需求点 j 的距离

V_k : 配送车辆 k 的平均行驶速率

f_{ijk} : 车辆 k 从配送中心 i 到需求点 j 的单位运费

F_{ijk} : 车辆 k 从配送中心 i 到需求点 j 的固定成本

CH_k : 车辆 k 配送时产生的碳排放

RC_l : 冷链车装卸货时单位时间的制冷成本

RC_t : 冷藏车运输时单位时间的制冷成本

t_{ijk} : 车辆 k 从配送中心 i 到需求点 j 的行驶时间

t_{ijl} : 车辆 k 在配送中心 i 的装卸货时间

t_{jil} : 车辆 k 在需求点 j 的装卸货时间

N_k : K 车型的数量

x_{ijk} : K 车型从 i 到 j 的运量

ρ_k^e : K 车型空载时的油耗

ρ_k^f : K 车型满载时的油耗

d_j : 需求点 j 的需求量

1.3 模型构建

生鲜电商配送路径规划模型的目标是，从配送中心将生鲜商品配送给需求点时要既达到客户满意度要求，同时保证总成本最低和碳排放最低。

(1) 总成本

包括运输时固定费用、运输时运费和冷链车制冷费用。冷链车制冷费用是冷藏车为保持冷藏车厢内冷鲜产品温度而产生的费用，分为运输过程中的制冷费用和卸货时车厢门开启时产生的制冷费用。

$$\delta_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} F_{ijk} l_{ij} x_{ijk} N_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_{ijk} l_{ij} x_{ijk} N_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_t t_{ijk} N_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_l (t_{ikl} + t_{jkl}) N_k \quad (1)$$

(2) 生鲜产品的新鲜度

新鲜度作为生鲜产品质量的外表特征，有可直观观测的特点，是消费者的重要决策依据。生鲜食品易腐烂变质和保质期短等特性，使得产品运输时间与配送里程对于新鲜度的影响非常大。因此本文在张建等^[16]建立的新鲜度模型基础上再考虑以运输时间、运输距离为变量，形成了新的新鲜度公式：

$$\phi_{jr} = (1 - \theta_r) \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} [\lambda_1 t_{ijk} + \lambda_2 l_{ij}] z_{ijk} \quad (2)$$

式中：运输时间权重为 λ_1 ，运输距离权重为 λ_2 ，权重依据具体的运输距离和运输时间决定， r 品种生鲜的腐败率 θ_r ，且 $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ 。为方便后续研究，在本文中 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.5$ 。满意度公式如下：

$$\delta_2 = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \phi_{jr} z_{ij}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} z_{ij}} \quad (3)$$

(3) 冷链车辆运输碳排放

车辆配送时产生的碳排放与车辆油耗线性相关，计算公式如下：

$$GH_k = \rho_k \omega_{CO_2} \quad (4)$$

式中： GH_k 是 k 车辆在单次从供应商-配送中心-顾客进行配送时产生的碳排放总量； ω_{CO_2} 是油耗量与碳排放量的转换系数； ρ_k 是油耗消耗量，由负载估计法计算而得。负载估计法^[17]认为油耗是由运输距离和负载共同决定的，并以此为基础对油耗消耗量进行估计。首先，油耗消耗率计算方法如下：

$$\rho_k^e + \frac{\rho_k^f - \rho_k^e}{LC_k} x \quad (5)$$

式中： ρ_k^e 是 K 车型空载时的油耗消耗率； ρ_k^f 是 K 车型满载时的油耗消耗率； x 是车辆的负载量。由式(5)可以看出，当车辆空载时，油耗消耗率为 ρ_k^e ；

当车辆满载时, 油耗消耗率为 ρ_k^f 。配送阶段油耗消耗量计算方法如下:

$$\rho_k = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (\rho_k^e + \frac{\rho_k^f - \rho_k^e}{LC_k} x_{ijk}) l_{ij} z_{ijk} \quad (6)$$

由此可得, 冷链车辆运输碳排放公式如下:

$$\delta_3 = \sum_{k \in K} GH_k N_k \quad (7)$$

通常情况下, 最低油耗路径与最短距离路径不一样, 虽然车辆配送的路径变长了, 但由于负载更为合理, 从而碳排放也降低了。

(4) 配送路径多目标优化模型

综合考虑上述的3个目标函数, 生鲜电商配送路径规划的多目标联合优化模型如式(8)~(17)所示:

$$\begin{aligned} \min \delta_1 = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} F_{ijk} l_{ij} x_{ijk} N_k + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_{ijk} l_{ij} x_{ijk} N_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_t t_{ijk} N_k + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_l (t_{ikl} + t_{jkl}) N_k \end{aligned} \quad (8)$$

$$\max \delta_2 = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} \phi_{jr}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij}} \quad (9)$$

$$\min \delta_3 = \sum_{k \in K} GH_k N_k \quad (10)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} d_{ij} \leq IC_i \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \leq LC_k \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ijk} = 1 \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K} z_{ijk} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \geq d_{ij} \quad (15)$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad (16)$$

$$z_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{由车辆 } k \text{ 从配送中心 } i \text{ 配送到需求点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (17)$$

式(11)为配送中心 i 的库存约束, 入库或出库的总生鲜产品不超过最大的库存容量; 式(12)为车辆载重约束, 车辆运送的货品总量不超过车辆最大的载重限制; 式(13)表示各需求点仅有一个候选配送中心进行配送; 式(14)表示各需求点仅有一个车

辆来进行配送; 式(15)表示由于可能存在货损情况, 配送至需求点的运量不能少于需求量; 式(16)~(17)为决策变量约束。

上述所建生鲜电商的配送路径规划模型中假设需求已知, 由多目标联合优化函数(8)~(17)可得出决策方法。但现实生活中, 生鲜电商需求有较大的不确定性, 故需要用鲁棒优化方法优化多目标模型, 提升模型的抗扰动能力。

2 鲁棒优化路径规划多目标模型

本文采用一系列离散情景来描述生鲜电商需求点的可能需求, 每一个需求场景的具体需求未知, 服从于某一不确定集合。客户需求不确定导致供应商向配送中心供货量的不确定性。假设需求情景为 s , 且 $s=1, 2, \dots, S$, 需求点 j 的需求情景 s 的需求量 g_s 满足椭圆不确定集, 即:

$$g_s \in \Omega = \left\{ \begin{aligned} &g_s^0 + Qu, e^T Qu = 0, \\ &g_s^0 + Qu \geq 0, \|u\| \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

式中: g^0 为需求椭球的中心, 是需求点最可能的分布情况; $Q \in R^{nm \times nm}$ 表示放缩范围; $\|u\|$ 表示欧几里德范数, 为扰动; 设定 $e^T Qu = 0, g_s^0 + Qu \geq 0$ 是为了保证需求情景的需求量 g_s 是一个分布。

假定需求点的需求量是相互独立的, 互不干扰。首先, 模型中配送成本的目标函数(8)的鲁棒对应函数:

$$\begin{aligned} \min \delta_1 = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} F_{ijk} l_{ij} (x_{kjs}^0 + Qu) N_k + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} f_{ijk} l_{ij} (x_{kjs}^0 + Qu) N_k + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_t t_{ijk} N_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_l (t_{ikl} + t_{jkl}) N_k \end{aligned} \quad (19)$$

式(19)化简为:

$$\begin{aligned} \min \delta_1 = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} F_{ijk} l_{ij} x_{kjs}^0 N_k + \eta_1 + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} f_{ijk} l_{ij} x_{kjs}^0 N_k + \eta_2 + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_t t_{ijk} N_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} RC_l (t_{ikl} + t_{jkl}) N_k \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} F_{ijk} l_{ij} N_k Qu \leq \eta_1 \quad (21)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_{ijk} l_{ij} N_k Qu \leq \eta_2 \quad (22)$$

同理, 目标函数(9), (10)的鲁棒对应为:

$$\max \delta_2 = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \phi_{jr}(d_{ijs}^0 + Qu)}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (d_{ijs}^0 + Qu)} \quad (23)$$

$\min \delta_3 =$

$$\omega_{co_2} \sum_{k \in K} N_k \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \left(\rho_k^e + \frac{\rho_k^f - \rho_k^e}{LC_k} x_{kij}^0 \right) l_{ij} z_{ijk} + \eta_3 \right] \quad (24)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{\rho_k^f - \rho_k^e}{LC_k} Qul_{ij} z_{ijk} \leq \eta_3 \quad (25)$$

综上所述, 不确定需求下生鲜电商配送路径的鲁棒优化模型是式(20), (23)和(24)约束条件由式(11)~(17)、(21)、(22)和(25)构成。通过鲁棒优化生鲜电商配送路径规划模型, 使得模型具有良好的鲁棒性, 既能满足需求点不确定的需求, 又保证配送路径规划方案的经济可行和低碳环保。

3 求解算法

3.1 主要目标法

多目标规划模型的求解通常是通过线性加权法、主要目标法等将多目标优化问题转换为单目标优化问题, 然后对其进行求解。对本模型而言, 采用主要目标法, 以配送总成本最小、生鲜产品新鲜度最大或车辆碳排放最小其中之一作为主要目标, 而另两个目标只要满足一定的要求即可。选取主要目标函数取决于生鲜电商企业战略规划, 如果企业追求配送总成本最小, 就可以将配送总成本最小作为主目标而将生鲜产品新鲜度和车辆碳排放作为一个约束条件来对模型求解, 具体转化方式如下:

$$\delta_2 \geq \alpha_{jr} \quad \delta_3 \leq \beta_j \quad (26)$$

式中: α_{jr} 是需求点对于品种的生鲜产品新鲜度的最低阈值, β_j 是企业对于碳排放量的最大阈值。确定 α_{jr} 和 β_j 的数值是根据企业自身战略规划进行确定, 只要满足企业对于生鲜产品新鲜度和车辆碳排放量的要求即可。

3.2 果蝇算法

需求不确定情况下的配送路径规划问题, 转化

为单目标后仍为 NP-hard 问题, 传统求解方法过程复杂, 计算量大不适宜求解, 故一般用启发式算法进行求解。果蝇算法 (Fruit Fly Optimization Algorithm, FOA) 是由台湾学者潘文超(2011)提出的一种群体智能启发式优化方法, 模拟果蝇觅食活动的整个智能过程^[18]。果蝇算法比其他启发式算法有着参数少、易调节、计算量小、寻优精度较高, 从而较容易被用于解决实际问题的优势^[19]。将果蝇算法归纳为以下步骤:

step 1: 初始化参数, 设定果蝇种群规模 sizepop, 迭代次数 maxgen, 初始化果蝇种群位置 X_axis, Y_axis;

step 2: 随机初始化果蝇个体的飞行方向和距离, 其中 Random Value 为搜索的距离;

$$X_i = X_axis + \text{Random Value}$$

$$Y_i = Y_axis + \text{Random Value}$$

step 3: 估计果蝇个体与原点的 $Dist_i$, 再计算味道浓度判定值 S_i ;

$$Dist_i = \sqrt{(x_i - 0)^2 + (y_i - 0)^2}$$

化简为:

$$Dist_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

$$S_i = 1 / Dist_i$$

step 4: 计算果蝇个体的味道浓度(适应度值)

$$\text{Smell}_i = \text{function}(S_i)$$

step 5: 寻找味道浓度最优的果蝇个体, 让果蝇群体均飞往最优位置。

$$[\text{bestSmell bestindex}] = \min(\text{Smell}_i)$$

$$\text{Smellbest} = \text{bestSmell}$$

$$x_axis = X(\text{bestindex})$$

$$y_axis = Y(\text{bestindex})$$

step 6: 迭代寻优, 重复步骤 2~5, 直到达到最大迭代次数。

3.3 果蝇算法应用

果蝇算法求解生鲜电商路径规划问题的步骤如下:

step 1: 设定 FOA 算法的种群大小 sizepop, 最大迭代次数 maxgen, 初始化果蝇种群位置。本

文路径规划问题设定果蝇种群规模 $\text{sizepop}=40$, 最大迭代次数 $\text{maxgen}=500$, 初始化果蝇种群位置为已知的配送中心位置坐标;

step 2: 根据适应度函数公式(20)计算果蝇个体的适应度函数值, 寻找果蝇个体和全局最优个体的位置和最优值;

step 3: 果蝇种群速度和位置的更新

step 4: 寻找味道浓度最优的果蝇个体, 让果蝇群体均飞往最优位置;

step 5: 若 $\text{gen} > \text{maxgen}$, 保存最优解; 反之 $\text{gen} = \text{gen} + 1$, 转到 step2;

Step 6: 根据最优位置选择对应的物流配送中心最佳选址和最优配送范围。

果蝇算法全局寻优能力强, 收敛精度高, 在工程领域有很大的研究价值^[20]。FOA 算法适宜求解具有复杂约束条件以及解的组成元素之间关联性较强的优化问题, 在路径规划领域得到了广泛应用^[21]。

4 数值计算与分析

某生鲜电商在 A 区域范围内有 1 个配送中

心, 需求点共有 13 个。配送中心库存容量和服务时间如表 1, 需求点需求量和 service 时间如表 2, 需求点间距离如表 3。A 地区配送车辆空载时耗油 0.2 L/km, 满载时每公里耗油 0.5 L/km, 最大载重量为 5t。从供应商到配送中心平均单位运费为 1.5 元/(t·km), 固定费用 0.8 元/(t·km), 从配送中心到需求点单位运费为 1.8 元/(t·km), 固定费用 0.8 元/(t·km)。为简化后续计算, 此次数值计算仅考虑配送两种生鲜产品, 腐败系数分别为 $\theta_1=0.15$ 与 $\theta_2=0.02$ 。

表 1 配送中心库存量及服务时间

Tab. 1 Inventory and Service Time of Distribution center

编号	库存量/t	服务时间/min
1	100	40

表 2 需求点需求量及服务时间

Tab. 2 Demand and service time of Demand Point

编号	2	3	4	5	6	7	8
需求量/t	1.3	0.6	0.9	0.8	1.5	0.4	0.2
服务时间/min	17	13	15	15	20	10	10
编号	9	10	11	12	13	14	
需求量/t	0.7	1.5	1	1.3	0.6	2.1	
服务时间/min	18	22	15	20	15	18	

表 3 需求点之间距离

Tab. 3 Distance between demand points

距离	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	108	60	80	19	67	99	50	49	44	113	70	22	92
2	108	0	58	28	125	170	61	81	156	73	130	73	121	134
3	61	59	0	31	80	115	41	23	103	50	86	22	80	80
4	80	29	31	0	98	142	50	54	127	50	111	49	95	110
5	20	125	80	98	0	62	120	70	41	56	131	90	10	107
6	67	170	115	142	62	0	143	94	20	112	121	112	71	91
7	100	62	41	50	120	143	0	51	136	90	70	32	121	81
8	51	81	23	54	70	94	51	0	85	59	72	20	73	61
9	50	156	103	127	41	20	136	85	0	94	124	104	51	95
10	45	73	50	50	56	112	90	59	94	0	131	71	50	118
11	114	130	86	111	131	121	70	72	124	131	0	64	136	30
12	70	73	22	49	90	112	32	20	104	71	64	0	92	61
13	23	121	80	95	10	71	121	73	51	50	136	92	0	114
14	92	134	80	110	107	91	81	61	95	118	30	61	114	0

在需求确定的情况下,分别以总成本最小、生鲜产品新鲜度最大以及碳排放最小为主要目标,其他目标转化为约束进行求解。本文采用 Matlab8.3 软件进行仿真,果蝇算法的参数为:最大迭代次数 $maxgen=500$,种群规模 $sizepop=40$,在 CPU 为 Inter i5-4210M,频率为 2.6G Hz 的 Windows 系统上运行。得到配送决策方案,及方案的总成本、生鲜产品新鲜度与车辆碳排放量,如表 4 所示。

表 4 不同主要目标下的结果比较
Tab. 4 Results under different main objectives

主要目标	总成本/元	生鲜产品 新鲜度%	碳排 放量/kg
总成本最小化	9 374.56	90.25	5 314.2
新鲜度最大化	9 518.75	91.43	5 415.8
碳排放最小化	9 726.64	88.57	5 248.7

这几组非劣解的结果表明配送成本、生鲜产品新鲜度和碳排放量存在悖反关系。例如,若满足其配送成本最小,则会减少配送车辆,配送时间和路程加长,生鲜产品新鲜度相对较低,碳排放量相对较高;若满足生鲜产品新鲜度最大化,则会增加配送车辆来减少配送时间和路程,总成本和碳排放量相对较高;若满足碳排放量最小,配送路径规划会先配送需求量大的需求点,造成总成本相对较高,生鲜产品新鲜度相对较低。上述数值计算表明,基于满意度和碳排放的多目标优化模型,可以让生鲜电商企业决策者根据自身

战略,选择主要目标进行优化,进而得出适合本生鲜电商企业的配送方案,还能让管理者在不同的目标之间更直观的进行权衡,因此该模型更具有优越性。

以总成本最小化为主要目标,针对需求量不确定性进行计算。确定性需求情况下各需求点需求量如表 2 所示。对于需求不确定的情形,假设各需求点的需求情景 $s=5$ 。需求椭球的中心 $\mathcal{G}^0$ 通过客户在需求确定情况下确定大概范围(表 2)。需求点 j 的需求量 $\mathcal{G}_{js}$ 满足需求不确定集式(18)。令式(18)中收缩矩阵 $Q=aI$, a 是一个非负参数, I 为单位矩阵,计算 $\mathcal{G}_{js}$ 。其中 a 是由 Matlab 在 $(0,1)$ 之间随机产生 10 个数,并进行归一化处理而得。重复 10 次,可以得到所有需求点的需求量 $\mathcal{G}_{js}$ 。需求不确定下以总成本最小化为主要目标的配送路径规划决策方案如表 5,配送路径图如图 2。

上述数值计算表明,生鲜电商配送路径规划在需求为不确定情况下的成本随着 a 的增加而增加,说明需求不确定性程度越高,对配送路径规划的影响越大,且总成本也随之增加。成本增加比例分别为 0.92%和 2.97%,增幅比例小于 5%。较于总成本而言,增加比例在可控范围之内,说明本文建立的不确定需求下生鲜电商配送路径规划多目标模型能有效抑制需求为不确定情况下的扰动。

表 5 需求不确定时路径规划方案
Tab. 5 Path planning scheme with uncertain demand

需求情况	配送方案	总成本
需求确定, $a=0$	车辆 1: 1→6→9→5→13→1	9374.56
	车辆 2: 1→10→4→2→7→3→1	
	车辆 3: 1→12→8→11→14→1	
需求不确定, $a=0.5$	车辆 1: 1→6→9→5→13→10→1	9460.81
	车辆 2: 1→2→4→3→1	
	车辆 3: 1→14→11→7→8→12→1	
需求不确定, $a=0.8$	车辆 1: 1→9→6→14→1	9652.98
	车辆 2: 1→5→13→10→2→4→1	
	车辆 3: 1→8→11→12→7→3→1	

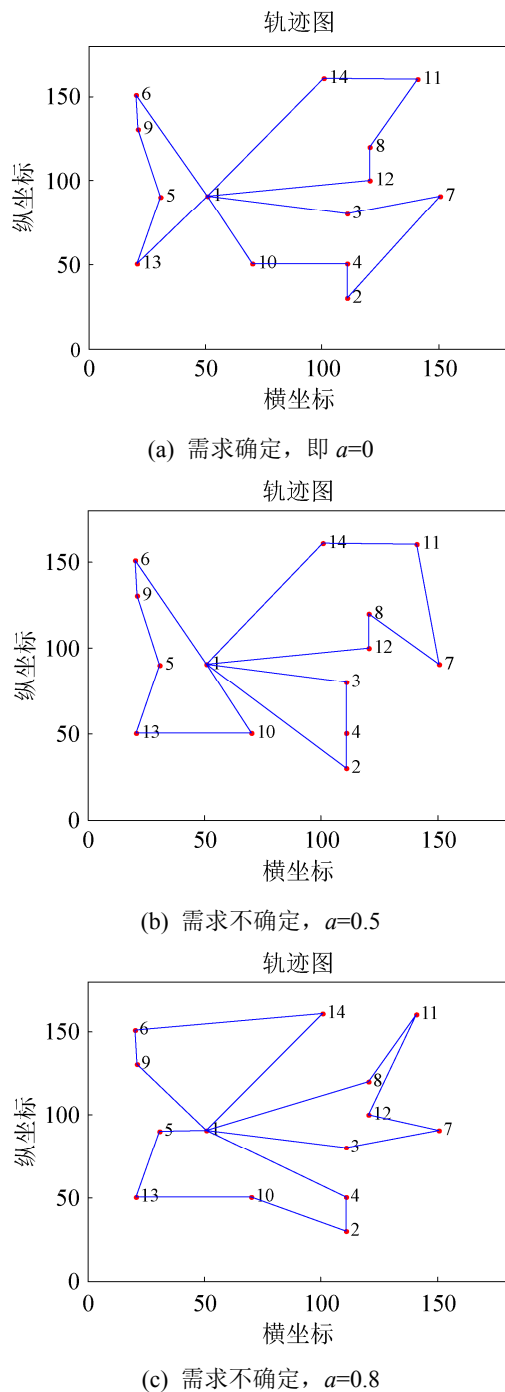


图2 需求不确定时配送路径图

Fig. 2 Delivery Path Map With Uncertain Demand

相比之下, 仅考虑确定性的需求, 在高需求量时, 会造成缺货或配送不及时, 从而不能满足客户的需求, 造成客户流失; 在低需求量时, 会造成库房积压严重, 库存成本升高, 生鲜产品新鲜度损失严重。而不确定需求的模型综合考虑了需求的不确

定性, 能很好地解决缺货或配送不及时和库房积压严重等现象

本文所建模型和求解方法, 能为使管理者在进行决策时得到更多的数据和分析上的支持, 使管理者能够更好的在不同目标之间做出更为合理的选择。

5 结论

本文结合生鲜电商对时效性要求高、生鲜产品易腐败等固有特性, 在度量生鲜产品的新鲜程度上, 考虑运输时间、运输距离双重因素, 对新鲜度公式进行改进。在此基础上, 综合考虑配送路径规划的总成本、客户满意度和冷链车辆碳排放等因素, 建立了不确定需求下的生鲜电商配送路径规划多目标模型。利用鲁棒优化思想来优化多目标模型, 使得该模型更具有稳健性, 运用果蝇算法对模型进行求解, 算例证明所建模型具有良好的鲁棒性。本文丰富了生鲜电商配送路径优化模型, 为路径规划体系提供了新的理论依据, 有较强的现实意义及应用价值。

参考文献:

- [1] Vahdani B, Niaki S T A, Aslanzade S. Production-Inventory-Routing Coordination with Capacity and Time Window Constraints for Perishable Products: Heuristic and Meta-heuristic Algorithms[J]. Journal of Cleaner Production (S0959-6526), 2017, 161: 598-618.
- [2] Belofilho M A F, Amorim P, Almada L B. An Adaptive Large Neighbourhood Search for The Operational Integrated Production and Distribution Problem of Perishable Products[J]. International Journal of Production Research (S00207543), 2015, 53(20): 1-19.
- [3] Coelho L C, Laporte G. Optimal Joint Replenishment, Delivery and Inventory Management Policies for Perishable Products[J]. Computers & Operations Research (S0305-0548), 2014, 47(7): 42-52.
- [4] Hiassat A, Diabat A, Rahwan I. A Genetic Algorithm Approach for Location-Inventory-Routing Problem with Perishable Products[J]. Journal of Manufacturing Systems (S0278-6125), 2017, 42: 93-103.
- [5] Song B D, Ko Y D. A Vehicle Routing Problem of Both

- Refrigerated- and General-type Vehicles for Perishable Food Products Delivery[J]. Journal of Food Engineering (S0260-8774), 2016, 169: 61-71.
- [6] Govindan K, Jafarian A, Khodaverdi R, et al. Two-Echelon Multiple-Vehicle Location-Routing Problem with Time Windows for Optimization of Sustainable Supply Chain Network of Perishable Food[J]. International Journal of Production Economics (S0925-5273), 2014, 152(2): 9-28.
- [7] Zhang H, Zhu L, Xu S. Modeling the City Distribution System Reliability with Bayesian Networks to Identify Influence Factors[J]. Scientific Programming (S1058-9244), 2016(23): 1-9.
- [8] 马向国, 刘同娟, 杨平哲, 等. 基于随机需求的冷链物流车辆路径优化模型[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(8): 1824-1832,1840.
Ma Xiangguo, Liu Tongjuan, Yang Pingzhe, et al. Vehicle Routing Optimization Model of Cold Chain Logistics Based on Stochastic Demand[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(8): 1824-1832,1840.
- [9] 李锋, 魏莹. 易腐货物配送中时变车辆路径问题的优化算法[J]. 系统工程学报, 2010(4): 492-498+519.
Li Feng, Wei Ying. Time-dependent Vehicle Routing Algorithm for Perishable Goods Delivery[J]. Journal of Systems Engineering, 2010 (4): 492-498+519.
- [10] 闫妍, 刘晓, 庄新田, 等. 基于弹性供应链的易腐品物流配送计划[J]. 系统管理学报, 2012(2): 258-263.
Yan Yan, Liu Xiao, Zhuang Xintian, et al. Distribution Plan of Perishable Products with Resilient Supply Chain[J]. Journal of Systems & Management, 2012 (2): 258-263.
- [11] Bental A, Hazan E, Koren T, et al. Oracle-Based Robust Optimization via Online Learning[J]. Operations Research (S1109-2858), 2014, 63: 628-638.
- [12] Melamed M, Ben-Tal A, Golany B. On the Average Performance of the Adjustable RO and Its Use as An Offline Tool for Multi-period Production Panning Under Uncertainty[J]. Computational Management Science (S1619-697X), 2016, 13(2): 1-23.
- [13] Zhang H, Xiong Y, He M K, et al. Location Model for Distribution Centers for Fulfilling Electronic Orders of Fresh Foods under Uncertain Demand [J]. Scientific Programming (S1058-9244), 2017: Article ID 3423562, 13 pages, 2017.
- [14] Ghodrathnama A, Tavakkoli-Moghaddam R, Azaron A. Robust and Fuzzy Goal Programming Optimization Approaches for a Novel Multi-Objective Hub Location-Allocation Problem: A Supply Chain Overview[J]. Applied Soft Computing (S1568-4946), 2015, 37(C): 255-276.
- [15] Boukani F H. Robust Optimization Approach to Capacitated Single and Multiple Allocation Hub Location Problems[J]. Computational and Applied Mathematics (S0101-8205), 2016, 35(1): 45-60.
- [16] 张建, 傅少川. 新鲜度影响需求的生鲜食品配送中心选址研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(10): 473-476.
Zhang Jian, Fu Shaochuan. Study on Location of Fresh Food Distribution Center with Demand Influenced by the Freshness[J]. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(10): 473-476.
- [17] 吴丽荣, 胡祥培, 饶卫振. 考虑燃料消耗率的车辆路径问题模型与求解[J]. 系统工程学报, 2013(6): 804-811.
Wu Lirong, Hu Xiangpei, Rao Weizhen. Vehicle Routing Problem Model Considering Fuel Consumption Rate and Solution[J]. Journal of Systems Engineering, 2013 (6): 804-811.
- [18] Wen-Tsao Pan. A New Fruit Fly Optimization Algorithm: Taking the Financial Distress Model as An Example[J]. Knowledge-Based Systems (S0950-7051), 2011, 26: 69-74.
- [19] 吴小文, 李擎. 果蝇算法和 5 种群智能算法的寻优性能研究[J]. 火力与指挥控制, 2013(4): 17-20,25.
Wu Xiaowen, Li Qing. Research of Optimizing Performance of Fruit Fly Optimization Algorithm and Five Kinds of Intelligent Algorithm[J]. Fire Control & Command Control, 2013 (4): 17-20,25.
- [20] 郑晓龙, 王凌. 随机资源约束项目调度问题基于序的果蝇算法[J]. 控制理论与应用, 2015(4): 540.
Zhen Xiaolong, Wang Ling. An Order-Based Fruit Fly Optimization Algorithm for Stochastic Resource-Constrained Project Scheduling[J]. Control Theory & Applications, 2015 (4): 540.
- [21] 毛正阳, 方群, 李克行, 等. 应用改进果蝇优化算法的月面巡视器路径规划[J]. 中国空间科学技术, 2014(5): 87-93.
Mao Zhengyang, Fang Qun, Li Kexing, et al. Path Panning for Lunar Rover Based on Modified Fruit Fly Optimization Algorithm[J]. Chinese Space Science and Technology, 2014 (5): 87-93.