

基于非等覆盖半径的生鲜农产品配送中心选址

肖建华¹, 王飞^{1,2}, 白焕新³, 李永开¹

(1. 南开大学现代物流研究中心, 天津 300071;

2. 南开大学经济学院, 天津 300071;

3. 中国石油钻井研究院北京石油机械厂, 北京 100083)

摘要: 研究非等覆盖半径思想下的生鲜农产品配送中心选址问题. 结合生鲜农产品的时效性、响应性等特性, 提出了一个基于非等覆盖半径的生鲜农产品配送中心选址优化模型. 该模型能定量确定候选配送中心的可建区域、选址位置及配送方案. 针对该模型是NP难问题, 提出了一种基于自适应遗传算法的动态膜进化算法. 最后, 通过算例验证了模型和算法的有效性.

关键词: 生鲜农产品; 配送中心选址; 非等覆盖半径; 自适应遗传算法; 动态膜进化算法

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5781(2015)03-0406-11

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2015.03.011

Location of distribution centers for fresh agricultural products based on non-equal coverage radius

Xiao Jianhua¹, Wang Fei^{1,2}, Bai Huanxin³, Li Yongkai¹

(1. Research Center of Logistics, Nankai University, Tianjin 300071, China;

2. The School of Economics, Nankai University, Tianjin 300071, China;

3. Beijing Petroleum Machinery Factory, CNPC Drilling Reserch Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: The location problem of distribution center (DC) for fresh agricultural products is considered under the thought of “non-equal coverage radius” in this paper. By integrating timeliness and responsiveness of the fresh agricultural products, a location model of DC based on the non-equal coverage radius is developed. The model can quantitatively determine the candidate region of DC, the site of opening DC and the quantity of product shipped from DC to customer. Since the model is a NP-hard problem, a dynamic membrane evolutionary algorithm (DMEA) based on adaptive genetic algorithm (AGA) is proposed to solve the model. Finally, the results of an example demonstrate the validity of the model and algorithm.

Key words: fresh agricultural products; distribution centers location; non-equal coverage radius; adaptive genetic algorithm; dynamic membrane evolutionary algorithm

1 引言

生鲜农产品是目前世界上增长最快的产业之一, 正逐步成为 21 世纪国际食品市场主角. 生鲜农产品网

收稿日期: 2014-08-15; 修订日期: 2015-01-06.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61373066); 中央高校基本科研业务费资助项目(NKZXB1110); 天津市科技发展战略研究计划资助项目(13ZLZLZF05900).

络节点的设计是否科学、网络布局是否合理, 不仅直接关系到整个生鲜农产品供应链的物流成本, 也直接关系到生鲜农产品能否快速、安全的送到消费者手中. 因此, 探讨和研究生鲜农产品配送中心的选址问题具有重要的理论意义及应用价值.

近年来, 国内外许多学者在选址问题上进行了深入探讨, 提出了各种选址模型及其求解算法. 马云峰等^[1]将时间满意度引入选址模型中, 建立了基于时间满意度的最大覆盖选址模型, 提出了基于拉格朗日松弛的启发式求解算法. Xu等^[2]考虑物流系统中的随机模糊因素, 构建了多目标随机选址规划模型, 并利用生成树遗传算法对其进行求解. 蒋建林等^[3]利用单亲遗传模拟退火算法求解顶点 p -中心选址问题. Drezner等^[4]构建了易腐产品的配送中心选址优化模型, 并利用大小三角全局优化技术和 Weiszfeld 算法进行求解. 李彤^[5]等利用斯坦纳最小树理论, 构建了大型城市地下物流系统网络优化布局模型, 并应用模拟植物生长算法求解模型. 郑斌等^[6]针对震后初期应急物资配送的特征, 构建了基于双层规划的选址-联运模型, 并利用分阶段解码混合遗传算法进行求解. 总的说来, 目前选址模型的研究多集中在覆盖选址模型和规划选址模型两大类. 其中, 覆盖选址模型多从满足顾客需求的角度展开探讨, 但存在覆盖半径大小确定的困难. 同时, 在传统的覆盖选址模型中, 所有需求点的覆盖半径均相同, 较少考虑需求量大小对覆盖半径的影响. 而规划选址模型则多从成本最小化的角度展开探讨, 但往往需要依赖专家经验提前确定候选配送中心的位置, 定量分析不足.

目前, 农产品的选址研究多仅考虑生鲜产品的时效性, 而较少考虑服务的及时响应性等特征. 邱荣祖等^[7]针对生鲜农产品保质期短的特点, 构建了基于时间约束的多配送中心选址模型, 并利用改进的蚁群算法求解模型. 狄卫民等^[8]考虑农产品的易腐特征, 构建了有配送能力限制的易腐农产品配送中心规划选址模型, 提出了混合遗传算法求解模型. 杨华龙等^[9]针对生鲜农产品的时间敏感特征, 以物流成本最小为目标, 构建了生鲜农产品物流网络布局非线性规划模型. 基于此, 本文引入非等覆盖半径的思想, 结合生鲜农产品的响应性、时效性等特征, 构建基于非等覆盖半径的生鲜农产品配送中心选址模型, 提出了基于自适应遗传算法的动态膜算法求解模型, 并通过算例验证模型及算法的有效性和可行性.

2 基于非等覆盖半径的配送中心选址-配送模型

该模型包括计算各需求点的最大配送选址半径、确定可建候选配送中心的区域和优化候选配送中心点三部分, 可由以下四步完成.

2.1 根据顾客满意度计算各需求点最大配送选址半径

生鲜农产品具有保质期短、顾客需求弹性低等特征, 其产品的时效性和配送服务的及时响应性直接影响生鲜农产品配送中心的顾客满意度.

1) 时效性满意度

与一般工业品相比, 生鲜农产品具有保鲜期短、易腐等特征, 对时间极其敏感, 因而在其物流配送过程中有较强的时效性要求. 考虑时效性直接与运输时间有关, 时效性满意度可定义为^[10]

$$\alpha_i = \left(\frac{t_{i\alpha}}{T} \right)^r, \quad (1)$$

其中 T 为农产品保质期; $t_{i\alpha}$ 为运输时间, 且 $t_{i\alpha} < T$; $r \in (0, 1)$ 为时间敏感因子, r 值越小, 表示农产品生鲜度对时间越敏感, 反之则越不敏感.

2) 响应性满意度

响应性是指企业从顾客提出服务需求到满足需求的服务及时能力. 一个顾客能否成为企业的目标顾客,

关键在于企业所提供的产品或服务的顾客满意度. 因此, 响应性满意度是指需求点对配送中心服务响应时间的满意程度, 可通过响应时间满意度函数来刻画, 其形式为^[10]

$$\beta_i = \left(\frac{T_{\max} - t_{i\beta}}{T_{\max} - T_{\min}} \right)^k, \quad (2)$$

其中 T_{\max} 和 T_{\min} 分别为需求点所能接受的最大和最小响应时间, $t_{i\beta}$ 为响应时间, 且 $T_{\min} < t_{i\beta} \leq T_{\max}$, k 为时间敏感因子.

3) 需求点最大配送选址半径

在实际配送过程中, 需求点的最大配送选址半径与配送运输速度相关, 而配送运输速度又与路况系数有关. 路况系数越好, 各需求点的配送选址半径越大, 反之则越小. 其中, 路况系数跟交通基础设施、路网结构等多个因素有关, 可通过实际调查和专家打分法得到. 同样, 需求点的需求量也影响配送服务半径, 需求量大的需求点对配送中心有较强的吸引作用, 希望配送中心离需求点更近. 因此, 本文也将引入需求量影响因子. 需求点最大配送选址半径可表示为

$$\rho_i = d_i(w_\alpha t_{i\alpha} + w_\beta t_{i\beta})r_i v_i, \quad (3)$$

其中 r_i 表示路况系数, 取值在 $[0, 1]$, 路况越好, 运输服务半径越大; w_α 、 w_β 分别为取值在 $[0, 1]$ 的时效性满意度因子和响应性满意度因子, 且 $w_\alpha + w_\beta = 1$; v_i 为需求点 i 的平均运输速度, d_i 为需求量影响因子. 在本文中, $w_\alpha = w_\beta = 0.5$.

2.2 利用非等覆盖模型求解可建候选配送中心的区域

利用 2.1 节求解出的最大配送服务半径和平面圆交集覆盖理论, 计算可建候选配送中心的区域.

1) 符号说明

ρ_i 为需求点 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 的最大配送选址半径;

C_i 表示以需求点 i 为圆心, 以 ρ_i 为半径的圆;

(x_i, y_i) 为需求点 i 的直角坐标位置;

d_{ij} 为需求点 i 到需求点 j 的距离.

2) 问题分析

为满足每个需求点的配送服务, 每个需求点所对应服务的配送中心须位于各需求点的最大配送服务半径以内, 才能满足需求点的需求. 对于两个需求点, 基于非等覆盖半径思想的可建候选配送中心的区域可分为三种情况: (a) 包含情况: 当 $d_{ij} + \rho_i \leq \rho_j$, 且 $\rho_i < \rho_j$ 时, 即在区域 C_i 内建立配送中心即可同时满足需求点 i 和需求点 j 的需求; (b) 无交集情况: 当 $d_{ij} + \rho_i \geq \rho_j$ 时, 需在区域 C_i 和区域 C_j 分别建立各自的配送中心来满足需求点 i 和需求点 j 的需求; (c) 相交情况: 当 $d_{ij} + \rho_i < \rho_j$ 时, 只需在区域 C_i 和区域 C_j 的交集区域建立共用配送中心, 即可满足需求点 i 和需求点 j 的需求. 因此, 对于多需求点, 最佳的可建候选配送中心区域应位于各需求点最大服务半径覆盖交集区域里面, 以便能同时满足多个需求点的需求.

3) 多需求点配送中心候选区域交集判断

假设已知有 n 个需求点, 每个需求点的最大配送选址半径和位置坐标已知, 则多需求点的配送中心候选区域交集判断问题可以转化为求解多项不等式组是否有解, 其表达式为

$$\begin{aligned} C_1 : (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 &\leq \rho_1, \\ C_2 : (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 &\leq \rho_2, \\ &\vdots \\ C_n : (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 &\leq \rho_n, \end{aligned} \quad (4)$$

其中 (x, y) 为拟建候选配送中心的位置坐标. 若不等式组联立有解, 则可在交集区域建立一个配送中心来

可满足多个需求点的需求, 如图1所示. 反之, 则需建立多个配送中心以满足各需求点的需求.

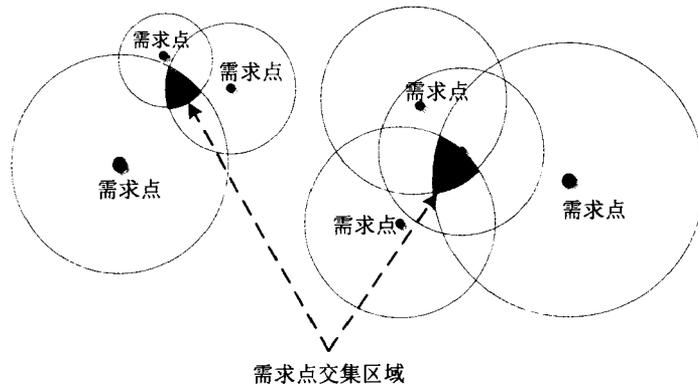


图1 配送中心候选区域

Fig. 1 The candidate region of DC

2.3 确定各可建配送中心区域中的候选配送中心数量.

在确定出的可建候选配送中心区域上, 首先利用专家的经验知识对各区域中的候选配送中心位置进行粗选, 然后再利用数据包络分析(DEA)、层次分析法(AHP)等定量方法进行细选, 以降低模型规模及求解难度. 在实际应用中, 每个可建候选配送中心区域通常选取1~2个即可.

2.4 构建生鲜农产品配送中心选址优化模型, 确定配送中心选址具体位置及配送方案.

1) 模型假设

- (a) 仅在可建候选配送中心区域内进行选址;
- (b) 每个需求点的需求量已知, 且只由一个候选配送中心为其提供配送服务;
- (c) 配送单位运费已知, 且在一定范围内不变;
- (d) 各候选配送中心的建设费用及运营管理费用已知.

2) 符号说明

I 为生鲜农产品需求点集合;

J 为候选配送中心集合;

K 为生鲜农产品生产基地集合;

I_j 为候选配送中心 j 所能覆盖的需求点集合;

\bar{I}_j 为候选配送中心 j 不能覆盖的需求点集合;

X_{2ji} 为 0, 1 变量. $X_{2ji} = 1$ 表示候选配送中心 j 为需求点 i 配送; 反之, 则表示候选配送中心 j 不为需求点 i 提供配送服务;

Y_j 为 0, 1 变量. $Y_j = 1$ 表示候选配送中心 j 被选中建立; 否则表示候选配送中心 j 未被选中建立;

q_i 为需求点 i 的年需求量;

A_j 为候选生鲜农产品配送中心 j 的固定费用, 可包括基础设施建设、物流设备购置等费用;

B_j 为候选生鲜农产品配送中心 j 的单位运营管理费用, 可包括员工薪资、能耗等费用;

λ_{1kj} 为从生产基地 k 到候选配送中心 j 的单位运费;

λ_{2ji} 为从候选配送中心 j 到需求点 i 的单位运费;

l_{1kj} 为候选生鲜农产品选配送中心 j 与生产基地 k 的运输距离;

l_{2ji} 为需求点 i 与候选生鲜农产品配送中心 j 的运输距离;

w_{1kj} 为生产基地 k 与候选配送中心 j 之间的配送量;

w_{2ji} 为候选配送中心 j 与需求点 i 之间的配送量;

p 为生鲜农产品的市场价格;

α_{1kj} 为生产基地 k 到候选配送中心 j 的生鲜度损耗系数, 且 $\alpha_{1kj} \in [0, 1]$;

α_{2ji} 为候选配送中心 j 到需求点 i 的生鲜度损耗系数, 且 $\alpha_{2ji} \in [0, 1]$;

M 为一充分大的正常数.

3) 模型建立

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \lambda_{2ji} w_{2ji} l_{2ji} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \lambda_{1kj} w_{1kj} l_{1kj} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} B_j w_{1kj} + \\ & \sum_{j \in J} A_j Y_j + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} p w_{1kj} \alpha_{1kj} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} p w_{2ji} \alpha_{2ji}, \end{aligned} \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_{j \in J} X_{2ji} = 1, \forall i \in I, \quad (6)$$

$$x_{2ji} \leq Y_j, \forall i \in I, \forall j \in J, \quad (7)$$

$$M x_{2ji} < Y_j, \forall i \in I, \forall j \in J, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} w_{2ji} \leq M Y_j, \forall j \in J, \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} w_{1kj} \leq M Y_j, \forall j \in J, \quad (10)$$

$$w_{2ji} \leq M X_{2ji} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K} w_{1kj} = \sum_{i=1}^I w_{2ji}, \forall j \in J, \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} w_{2ji} = q_i, \forall i \in I, \quad (13)$$

$$X_{2ji}, Y_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J, \forall i \in I, \quad (14)$$

$$w_{1kj}, w_{2ji} \geq 0, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \quad (15)$$

其中式(5)表示模型的成本优化目标, 目标函数由固定建设成本、运营管理成本、生鲜损耗成本和运输成本组成; 式(6)保证各需求点只能由一个候选配送中心配送; 式(7)表示只有当候选配送中心被选中才能为需求点提供配送服务; 式(8)~式(11)表示如果候选配送中心未被选中, 则不能为任何需求点提供配送服务, 且生产基地也不能向该配送中心供货; 式(12)和式(13)表示供求约束; 式(14)和式(15)表示决策变量约束.

3 模型求解算法

在上述模型中, 确定可建候选配送中心的区域是一个 NP 难问题, 当需求点数量较多时, 传统的优化方法难以对其快速求解, 多应用启发式算法对其进行求解. 近年来, 生物计算中的膜计算快速发展, 已逐渐成为非传统计算中的研究热点和前沿. 膜计算是 Paun^[11]从生物活细胞或器官的结构、功能抽象出来的一种分布式、并行性计算模型. 由于具有在多项式时间内生成指数计算空间及信息处理的极大并行性等特性, 膜计算在计算速度方面往往表现出比经典计算更大的优势, 已被证明具有与图灵机同等的计算能力, 在解决计

算困难问题方面也显示出很强的潜力。

受膜计算启发, Nishida^[12]将膜系统框架与优化算法结合, 首次提出了膜优化算法, 并成功应用于求解 TSP 问题^[13]. Leporati 等提出了求解最小存储问题的多项式时间膜进化算法^[14]. Huang 等^[15]人借鉴生物膜的嵌套结构, 提出了基于遗传算法的多目标膜进化算法, 并将其应用于求解控制器设计等优化问题^[16]. Zhang 等^[17]提出了求解背包问题的膜进化算法. 该算法采用单层膜结构, 与传统的嵌套结构膜算法相比, 其计算结果更好. 随后, Zhang 等^[18]又提出了各种改进的膜进化算法, 并成功应用于求解雷达辐射源信号处理、旅行商优化^[19]、图像处理^[20]、制造参数优化^[21] 等问题, 取得很好的结果. Zhao 等^[22]针对单目标无约束和有约束优化问题, 提出了一种可用于处理约束问题的仿生膜优化算法, 并将其应用求解汽油调合短期调度工程应用问题. Yang 等^[23]提出了基于自适应变异规则和量子进化规则的膜进化算法, 并应用于催化裂化装置反应-发生模型的参数估计. Zhang 等^[24]对量子进化膜算法的动态行为进行了实验分析, 结果表明其在算法的探测性和搜索性上具有良好的平衡能力, 并以背包问题进行了例证. 此外, 膜进化算法在 DNA 序列编码^[25,26]、函数优化^[27,28]、背包问题^[29,30] 等其它领域也得到了广泛应用. 本文提出了基于自适应遗传算法的动态膜算法, 以应用于求解非等覆盖半径生鲜农产品选址模型。

3.1 膜计算

膜计算又称P系统, 主要由膜结构、对象多重集和进化规则三部分组成. 通常, 一个P系统能被定义为

$$\Pi = (O, H, u, w_1, \dots, w_m, R_i), \tag{16}$$

其中 O 为对象字母表, 其元素被称为字符对象; H 为膜标号的有限集合; u 表示膜系统的结构, 由 m 个膜组成, 分别用 $1, 2, \dots, m$ 来标记; m 称为系统 Π 的度; $w_i (1 \leq i \leq m)$ 表示膜结构 u 中第 i 个区域中包含的对象多重集; R_i 表示膜 i 拥有的有限规则集, 包括结构进化规则 and 多重对象集规则。

膜结构是由一个表层膜和一系列按层次排列的膜组成. 其中外层膜是膜结构最外层的膜, 它将环境与膜内部分开; 膜内部则包括非基本膜和基本膜, 非基本膜可以嵌套其它非基本膜或基本膜, 而基本膜内则不再包含任何膜, 如图 2 所示^[11].

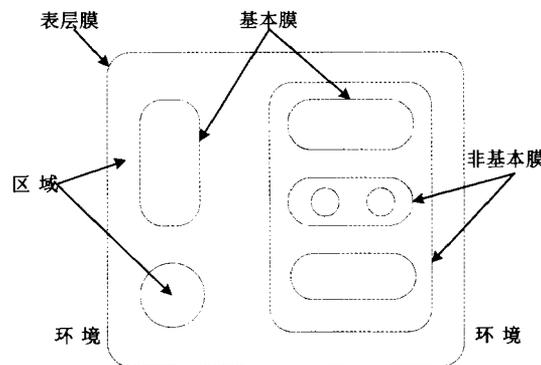


图2 膜计算结构图

Fig. 2 The structure of membrane computing

每一个膜都有其自身的规则, 能影响膜中的对象和改变膜结构. 本文采用了演化规则, 入通信规则, 出通信规则, 溶解规则和分类规则. 其中

$$1) [{}_i w_1 \rightarrow w_2]_i, i \in H, w_1 \in O, w_2 \in O^*$$

演化规则: 即表示膜 i 中的对象 w_1 进化为对象 w_2 .

$$2) w_1 [{}_i]_i \rightarrow [{}_i w_2]_i, i \in H, w_1, w_2 \in O$$

入通信规则: 表示膜 i 外的对象 w_1 进入到膜 i 中, 对象 w_1 变成对象 w_2 .

$$3) [{}_i w_1]_i \rightarrow [{}_i]_i w_2, i \in H, w_1, w_2 \in O$$

出通信规则: 表示膜 i 中的对象 w_1 输送到其外层区域中, 其对象 w_1 变成对象 w_2 .

$$4) [i w_1]_i [j w_2]_j \rightarrow [i w_1 w_2]_1, i, j \in H, w_1, w_2 \in O$$

溶解规则: 表示膜 i 和膜 j 被溶解成一个膜.

$$5) [i w_1 w_2]_1 \rightarrow [i w_1]_i [j w_2]_j, i, j \in H, w_1, w_2 \in O$$

分裂规则: 表示膜被分裂成膜 i 和膜 j , 其原来膜中的对象分别相应送入到各分裂生成的新膜中.

3.2 自适应遗传算法

遗传算法本质是一种高效、并行、全局搜索的方法, 已被广泛应用于求解非线性、多目标和多参数等复杂系统的全局优化. 但在传统的遗传算法中, 其控制参数多为常数, 在求解复杂优化问题中存在早熟现象和收敛速度慢等不足, 本文将引入自适应遗传算法到动态膜进化算法中, 以提高求解效率.

1) 遗传基因编码

二进制编码是遗传算法中最主要的编码方法, 具有编解码简单、算子操作便于实现等优点. 本文将使用固定长度的二进制编码方法, 对于有 n 个需求点的非等覆盖半径问题, 染色体可分为 n 段, 其中每一段为对应需求点的 0 或 1 编码. 例如有 10 个需求点的非等覆盖问题, 若可行解的染色体编码为 1001101010, 则表示第 1, 4, 5, 7, 9 需求点的最大配送选址有公共候选区域.

2) 选择算子

遗传算法模拟生物进化中的优胜劣汰自然规律, 利用选择算子来提高计算效率及全局收敛性. 本文将采用随机竞争选择, 即利用轮盘赌方法选取一对个体, 然后通过竞争选其适应度好的个体.

3) 交叉算子

交叉算子是产生新个体的主要方法, 以提高算法全局搜索能力. 本文将采用点单交叉, 即在个体染色体中随机产生一个交叉点后, 在交叉点处相互交换一对染色体的后半段染色体. 其中, 自适应交叉概率为^[31]

$$p_c = p_c^0 \left(1 + \alpha \frac{(f_{avg})^{n_c}}{(f_{max} - f_{min})^{n_c} + (f_{avg})^{n_c}} \right), \quad (17)$$

其中 p_c^0 和 p_c 分别为初始交叉概率和自适应交叉概率. f_{min} , f_{avg} 和 f_{max} 分别为每次迭代过程中的最小适应度值, 平均适应度值和最大适应度值. α 和 n_c 是变异系数. 本文中, $\alpha = 0.3, n_c = 2$.

4) 变异算子

变异操作改善遗传算法的局部搜索能力, 维持种群的多样性. 变异算子包括非均匀变异, 均匀变异以及基本位变异等. 本文将采用均匀变异算子, 其自适应变异概率为^[31]

$$p_m = p_m^0 \left(1 + \beta \frac{(f_{avg})^{n_m}}{(f_{max} - f_{min})^{n_m} + (f_{avg})^{n_m}} \right), \quad (18)$$

其中 p_m^0 和 p_m 分别为初始变异概率和自适应变异概率. β 和 n_m 是变异系数. 本文中, $\beta = 0.2, n_m = 2$.

3.3 基于自适应遗传算法的动态膜进化算法

基于自适应遗传算法的动态膜进化算法(DMEA-AGA)的基本思想是, 首先, 在各基本膜内同时利用自适应遗传算法进行局部寻优; 然后, 利用膜计算的溶解规则, 将其各基本膜合并成一个膜, 并利用膜计算的通信规则, 将其最优解送至表层膜中, 随后再应用膜计算的分裂规则将其分裂成多个基本膜, 最后进行下一轮迭代进化, 直至算法结束. DMEA-AGA 算法流程如下:

步骤 1 初始化膜结构 $[0 [1]_1, [2]_2, \dots, [m]_m]_0$, 由一个表层膜 0 和 m 个基本膜组成;

步骤 2 初始化种群 P 及算法参数, 并将种群中的所有染色体随机平均分配到 m 个基本膜内, 即每个基本膜中有 $N_s = N/m$ 条染色体, 且表层膜中个体为空, 其中 N 表示总的染色体数目;

步骤 3 在基本膜 1 至 m 中, 同时并行运行自适应遗传算法;

步骤 4 执行溶解规则, 将 m 个基本膜融合成一个基本膜 m_{one} ;

步骤5 运用适应函数计算每个染色体的适应度值;

步骤6 执行通信规则, 将合并膜 m_{one} 中当前最优解送至表层膜, 更新最优解和最优目标值;

步骤7 终止条件判断. 若为真, 则算法停止, 输出最优解和最优目标值; 反之, 则转步骤8;

步骤8 执行分裂规则, 将膜 m_{one} 分裂成 m 个基本膜, 并通过通信规则, 将当前最优染色体和 $N_s - 1$ 个最劣染色体送入基本膜1中; 随后, 将当前剩余中的最优染色体和 $N_s - 1$ 个最劣染色体送入基本膜2中, 依次类推, 直至每个基本膜中均有 N_s 个染色体; 最后, 转入步骤3.

4 算例

现有一生鲜农产品生产基地, 需为区域内的10家大型卖场供应某生鲜农产品, 现拟建立配送中心以降低物流配送成本. 市场调研显示, 生鲜农产品的市场均价为4元/kg, 该地区的平均运输速度为60 km/h. 生鲜农产品保质期为1.5 d, 时间敏感因子均为0.3, 时效性满意度和响应性满意度为[0.5,1]之间的随机数. 各需求点年需求量、路况系数及需求量影响因子如表1所示.

表1 各需求点的年需求量、路况系数及需求量影响因子
Table 1 The demand, road condition and demand coefficient of customers

需求点	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
年需求量	200	400	350	250	150	350	300	100	450	300
路况系数	0.80	0.7	0.83	0.95	0.88	0.80	0.90	0.75	0.90	0.85
需求量影响因子	0.90	0.8	0.82	0.88	0.95	0.82	0.85	1.00	0.75	0.85

各需求点的地理位置如表2所示.

表2 各需求点地理坐标
Table 2 The geographical coordinates of customers

需求点	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
地理坐标(km)	[234, 165]	[210, 170]	[223, 194]	[300, 216]	[294, 170]
需求点	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
地理坐标(km)	[223, 294]	[510, 270]	[334, 295]	[323, 214]	[433, 294]

首先, 利用非等覆盖半径区域选址模型, 计算得到各需求点的最大配送选址半径, 如表3所示.

表3 各需求的最大配送选址半径
Table 3 The maximum distribution radius of customers

需求点	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
最大配送选址半径(km)	177	85	179	218	90	136	85	178	136	190

然后, 利用动态膜进化算法, 使用MATLAB对算法进行编程, 并在Intel Pentium 双核2.2GH和2G内存的硬件环境下运行, 得到两个可建候选配送中心区域, 如图3所示. 其中, 算法参数分别为初始交叉概率 p_c^0 和初始变异概率 p_m^0 分别为0.7和0.01, 基本膜数量 m 为10, 基本膜种群规模为20, 最大迭代次数为100.

根据专家打分法或AHP方法综合评价影响选址的各种因素, 在每个可建候选配送中心区域内选出2个候选配送中心点, 即在可建候选配送中心区域1中选择 J_1 与 J_2 两个候选配送中心点, 在可建候选配送中心区域2中选择 J_3 与 J_4 两个候选配送中心点, 其位置坐标如表4所示.

表4 候选配送中心位置坐标
Table 4 The geographical coordinates of DC

名称	生产基地	候选区域1		候选区域2	
		J_1	J_2	J_3	J_4
位置坐标(km)	[580, 80]	[266, 213]	[284, 208]	[454, 229]	[432, 273]

其中, 候选配送中心与生产基地及各需求点的相关数据如表5~表8所示.

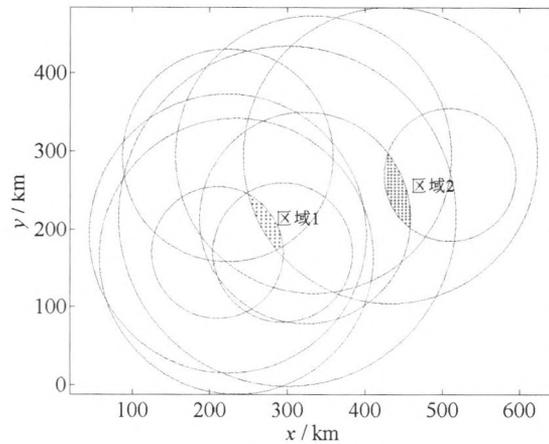


图3 配送中心候选区域

Fig. 3 The candidate region of DC

注: x 和 y 分别是需求点的横坐标和纵坐标.

表5 候选配送中心与需求点之间单位运费(元/ km·t)

Table 5 Unit transportation cost from DC to customers

候选配送中心	需求点									
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
J_1	0.71	0.63	0.67	0.59	0.72	0.64	0.63	0.72	0.74	0.63
J_2	0.75	0.62	0.65	0.63	0.68	0.61	0.66	0.75	0.61	0.67
J_3	0.65	0.60	0.70	0.73	0.75	0.72	0.65	0.63	0.71	0.64
J_4	0.66	0.63	0.64	0.67	0.70	0.65	0.69	0.65	0.65	0.67

表6 生产基地与候选配送中心之间的单位运费及生鲜损耗系数

Table 6 Unit transportation cost and the fresh loss coefficient from producer to DC

候选配送中心	J_1	J_2	J_3	J_4
单位运费(元/ km·t)	0.51	0.54	0.47	0.49
生鲜度损耗系数	0.20	0.19	0.16	0.18

表7 候选配送中心与需求点之间的生鲜度损耗系数

Table 7 The fresh loss coefficient from DC to customer

候选配送中心	需求点									
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
J_1	0.19	0.19	0.17	0.13	0.13	0.07	0.04	0.11	0.04	0.10
J_2	0.20	0.19	0.17	0.11	0.14	0.08	0.05	0.09	0.03	0.10
J_3	0.10	0.06	0.05	0.14	0.06	0.20	0.18	0.23	0.15	0.09
J_4	0.08	0.05	0.08	0.15	0.06	0.19	0.17	0.23	0.15	0.10

表8 候选配送中心建设及运营费用

Table 8 The fixed cost to set up DC and operating cost of DC

候选配送中心	J_1	J_2	J_3	J_4
建设费用(万元)	112	147	126	150
单位产品运营费用(元/ t)	95	124	105	116

最后, 利用 Lingo 软件求解该混合整数规划模型, 其配送中心的选址为 J_1 和 J_3 . 其中配送中心 J_1 为需求点 $I_1, I_2, I_3, I_5, I_6, I_8$ 和 I_9 提供配送服务, 其配送任务量分别为 200t, 400t, 350t, 150t, 350t, 100t 和 450t; 配送中心 J_3 为需求点 I_4, I_7 和 I_{10} 配送服务, 其配送任务量分别为 250t, 300t 和 300t, 总成本为 662.9 万元.

5 结束语

配送中心选址是否科学, 物流网络布局是否合理, 关系到整个供应链的运作成本及效率. 如何准确、简

单独建立生鲜农产品配送中心选址优化模型, 以及设计快速的求解算法, 对丰富选址理论模型及指导企业运营实践均具有重要意义. 本文针对传统规划选址模型中其候选配送中心位置多依赖经验确定的不足, 首次引入非等覆盖半径的思想, 结合生鲜农产品的时效性、响应性等特性, 构建了基于非等覆盖半径的生鲜农产品配送中心选址优化数学模型. 同时, 针对模型中的候选区域确定是 NP 难问题, 传统的优化算法很难对其求解, 本文引入动态膜概念, 融入自适应遗传算法求解该模型. 最后通过算例, 验证了模型和算法的有效性.

参考文献:

- [1] 马云峰, 杨超, 张敏, 等. 基于时间满意的覆盖选址问题[J]. 中国管理科学, 2006, 14(2): 45-51.
Ma Yunfeng, Yang Chao, Zhang Min, et al. Time-satisfaction-based maximal covering location problem[J]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14(2): 45-51. (in Chinese)
- [2] Xu J P, Yao L M, Zhao X D. A multi-objective chance-constrained network optimal model with random fuzzy coefficients and its application to logistics distribution center location problem[J]. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2011, 10(3): 255-285.
- [3] 蒋建林, 徐进澎, 文杰. 基于单亲遗传模拟退火算法的顶点p-中心问题[J]. 系统工程学报, 2011, 26(3): 414-420.
Jiang Jianlin, Xu jinpeng, Wen Jie. Solving the vertex p-center problem with a partheno-genetic simulated annealing algorithm[J]. Journal of Systems Engineering, 2011, 26(3): 414-420. (in Chinese)
- [4] Drezner Z, Scott C H. Location of a distribution center for a perishable product[J]. Mathematical Methods of Operations Research, 2013, 78(3): 301-314.
- [5] 李彤, 王众托. 大型城市地下物流网络优化布局的模拟植物生长算法[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(4): 971-980.
Li Tong, Wang Zongtuo. Optimization layout of underground logistics network in big cities with plant growth simulation algorithm [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2013, 33(4): 971-980. (in Chinese)
- [6] 郑斌, 马祖军, 李双琳. 基于双层规划的震后初期应急物流系统优化[J]. 系统工程学报, 2014, 29(1): 113-125.
Zheng Bin, Ma Zujun, Li Shuanglin. Integrated optimization of emergency logistics systems for post-earthquake initial stage based on bi-level programming[J]. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(1): 113-125. (in Chinese)
- [7] 邱荣祖, 钟晓燕, 钟聪儿, 等. 基于蚁群算法的生鲜农产品配送中心选址优化[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2010, 9(2): 156-161.
Qiu Rongzu, Zhong Xiaoyan, Zhong, Conger, et al. Study on optimization of fresh agricultural product distribution center location based on ant colony algorithm[J]. Journal of Jiangnan University: Natural Science Edition, 2010, 19(2): 156-161. (in Chinese)
- [8] 狄卫民, 岳耀雪, 陈国民. 有配送能力限制的易腐农产品配送中心选址方法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(1): 202-205.
Di Weimin, Yue Yaoxue, Chen Guomin. Capacitated distribution center location approach for perishable agricultural product[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(1): 202-205. (in Chinese)
- [9] 杨华龙, 计莹峰, 刘菲菲. 生鲜农产品物流网络节点布局优化[J]. 大连海事大学学报, 2010, 36(3): 47-49.
Yang Hualong, Ji Yingfeng, Liu Feifei. Layout optimizati on of logistics network nods for fresh agricultur alproducts[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2010, 36(3): 47-49. (in Chinese)
- [10] 肖建华, 熊欢. 基于时效性和响应性的生鲜农产品选址模型研究[J]. 物流技术, 2011, 30(1): 32-35.
Xiao Jianhua, Xiong Huan. Fresh farm produce distribution center location model based on timeliness and responsiveness[J]. Logistics Technology, 2011, 30(1): 32-35. (in Chinese)
- [11] Paun G. Computing with membranes[J]. Journal of Computer and System Sciences, 2000, 61(1): 108-143.
- [12] Nishida T Y. An application of P-systems: a new algorithm for NP-complete optimization problems[C] // Proceedings of the 8th World Multi-Conference on Systems, Cybernetics and Informatics. Orlando: 2004, 109-112.
- [13] Nishida T Y. Membrane algorithm with brownian subalgorithm and genetic subalgorithm[J]. International Journal of Foundations of Computer Science, 2007, 18(6): 1353-1360.
- [14] Leporati A, Pagani D. A membrane algorithm for the min storage problem[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 4361(1): 397-416.
- [15] Huang L, Sun L, Wang N, et al. Multiobjective optimization of simulated moving bed by tissue P system[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2007, 15(5): 683-690.
- [16] Huang L, Suh I H. Controller design for a marine diesel engine using membrane computing[J]. International Journal of Innovative Computing Information and Control, 2009, 5(4): 899-912.

- [17] Zhang G X, Gheorghe M, Wu C Z. A quantum-inspired evolutionary algorithm based on P systems for knapsack problem[J]. *Fundamenta Informaticae*, 2008, 87(1): 93–116.
- [18] Zhang G X, Liu C X, Rong H N. Analyzing radar emitter signals with membrane algorithms[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2010, 52(11–12): 1997–2010.
- [19] Zhang G X, Cheng J X, Gheorghe M. A membrane-inspired approximate algorithm for traveling salesman problems[J]. *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 2011, 14(1): 3–19.
- [20] Zhang G X, Gheorghe M, Li Y Q. A membrane algorithm with quantum-inspired subalgorithms and its application to image processing[J]. *Natural Computing: An International Journal*, 2012, 11(4): 701–717.
- [21] Zhang, G X, Cheng J X, Gheorghe M, et al. A hybrid approach based on differential evolution and tissue membrane systems for solving constrained manufacturing parameter optimization problems[J]. *Applied Soft Computing*, 2013, 13(3): 1528 – 1542.
- [22] Zhao J H, Wang N. A bio-inspired algorithm based on membrane computing and its application to gasoline blending scheduling[J]. *Computers and Chemical Engineering*, 2011, 35(2): 272–283.
- [23] Yang S P, Wang N. A P systems based hybrid optimization algorithm for parameter estimation of FCCU reactor regenerator model[J]. *Journal of Chemical Engineering*, 2012, 211(11): 508–518.
- [24] Zhang G X, Cheng J X, Gheorghe M. Dynamic behavior analysis of membrane-inspired evolutionary algorithms[J]. *International Journal of Computers, Communications & Control*, 2014, 9(2): 235–250.
- [25] Xiao J H, Zhang X Y, Xu J. A membrane evolutionary algorithm for DNA sequences design in DNA computing[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(6): 698–706.
- [26] Xiao J H, Jiang Y, He J J, et al. A dynamic membrane evolutionary algorithm for solving DNA sequences design with minimum free energy[J]. *MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry*, 2013, 70(3): 971–986.
- [27] Cheng J X, Zhang G X, Zeng X X. A novel membrane algorithm based on differential evolution for numerical optimization[J]. *International Journal of Unconventional Computing*, 2011, 7(3): 159–183.
- [28] Xiao J H, Huang Y F, Cheng Z, et al. A hybrid membrane evolutionary algorithm for solving constrained optimization problems[J]. *Optik*, 2014, 125(2): 897–902.
- [29] Zhang G X, Gheorghe M, Wu C Z. A quantum-inspired evolutionary algorithm based on P systems for knapsack problem[J]. *Fundamenta Informaticae*, 2008, 87(1): 93–116.
- [30] He J J, Xiao J H, Shi X L, et al. A membrane-inspired algorithm with a memory mechanism for knapsack problems[J]. *Journal of Zhejiang University: Science C*, 2013, 14(8): 612–622.
- [31] Wang L, Tang D B. An improved adaptive genetic algorithm based on hormone modulation mechanism for job-shop scheduling problem[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(6): 7243–7250.

作者简介:

肖建华(1979—), 男, 重庆人, 博士, 副教授, 研究方向: 物流系统优化与智能计算, Email: jhxiao@nankai.edu.cn;

王 飞(1987—), 女, 山东滨州人, 博士生, 研究方向: 供应链与物流网络规划, Email: lucyli999@163.com;

白焕新(1976—), 女, 河北秦皇岛人, 硕士, 经济师, 研究方向: 市场营销与物流管理, Email: baihxdr@cnpc.com.cn;

李永开(1986—), 男, 山东滨州人, 硕士生, 研究方向: 物流系统优化, Email: nkykli@163.com.