

基于改进蚁群算法的配送中心多目标选址问题研究

■ 吴 隽 任凤华 王文杰 哈尔滨工业大学管理学院

[摘 要] 本文以配送中心多目标选址为研究对象,提出了解决多目标问题的新方法—改进蚁群算法,该算法通过蚁群对目标的单独优化和蚁群之间信息互递相结合,多个蚁群并行优化各目标分量,使各目标分量在彼此约束的条件下朝最优解逐渐接近,该算法具有很强的灵活性和收敛性,对于解决大规模、复杂的物流配送网络规划问题具有很大的实用价值。

[关键词] 配送中心选址 约束理论 蚁群算法

一、引言

蚁群算法是由意大利科学家M.Dorigo于1991年提出,是一种基于群体、用于求解复杂组合优化问题的通用搜索技术,首先被成功应用于TSP问题,随后在一系列诸如二次分配、Job-Shop、图着色问题、车辆调度问题、集成电路设计以及通信网络负载等离散优化问题中取得了广泛应用。该算法非常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多目标优化问题。但从目前有关基于蚁群算法的配送中心选址问题来看,多数以成本为中心的单一目标选址,而有关多目标选址方面的研究极少[4-5]。

本文结合蚁群聚类算法与约束法,将配送中心选址看成一个聚类过程,通过构建多个蚁群对各目标进行独立优化,同时通过在蚁群之间异步交换信息,形成对各目标的既彼此独立,又相互制约的优化机制,在最终达到多目标优化意义下,确定配送中心的位置、规模和配送中心的数量。该算法克服了传统的选址优化技术的缺点,具有很好的收敛性和运行效率。

二、配送中心多目标选址模型

1. 问题描述及模型假设。本文以提高配送网络的整体物流能力为宗旨,以物流成本最低和服务水平最优为原则构建基于“成本—服务型”战略的配送中心选址模型。模型中的物流成本主要由配送中心的建设与管理成本,运营成本以及与配送点之间的运输成本组成;而因物流服务水平则通过配送中心的相对位置即与货源地点和目标地点的距离来体现。本文的研究对象为,在给定某一经济区域所有备选点(m)的地址集合中选出一定数目(n)的地址建立配送中心,使得整个配送网络在满足一定的需求服务水平下,实现总的配送成本最低。为了便于建立数学模型,使该模型不至于太复杂而又能接近实际情况,作如下假设:(1)计划期内,各供应点的供应量和需求点的需求量已知;(2)模型中只涉及单一商品的配送;(3)每个需求点仅受一个配送中心配送;所配送物品一次运输就可以完成;(4)由供货点到配送中心、由配送中心到用户的费率均为线性函数;(5)配送产品运输费用与运输量成正比;(6)建立和经营该中心的固定费用已知。

2. 模型的数学表达式

模型的目标函数为: $\min f = \sum_{j=1}^n [\max\{e_j - t_{ij}, 0\}] + \max\{t_{ij} - l_j, 0\}$

模型的约束条件为: $\min f = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n z_j b_j + \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n a_{kj} x_{kj} + \sum_{k=1}^m z_k R_k$

模型中参数的涵义:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq R_i, i=1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq z_j M_j, j=1,2,\dots,m$$

$$\sum_{i=1}^m z_i \leq p$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{k=1}^m x_{ki}, i=1,2,\dots,m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ki} \leq B_k$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,l$$

$$z_i \text{ 为 } 0-1 \text{ 变量}$$

$$e_i \leq t_{ij} \leq l_j, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,l$$

模型中参数的涵义:

x_{ij} 为从配送中心*i*到需求点*j*的运输量; x_{ki} 为从货源点*k*到配送中心*i*的运输量; c_{ij} 为从配送中心*i*到目的地*j*的运输单价; c_{ki} 为从货源点*k*到配送中心*i*的运输单价; p_i 为配送中心*i*的货物流转单价; q_i 为配送中心*i*的货物流销量; g_i 为配送中心*i*运营的固定费用; t_{ki} 为从客户*k*到配送中心*i*的运输时间; t_{ij} 为配送中心*i*到目的地*j*的运输时间; R_j 为目的地*j*的需求量; u_i 为配送中心*i*容量; e_j 为到达目的地*j*的最早时间; l_j 为到达目的地*j*的最迟的时间; B_k 为客户*k*的供货量; z_i 为配送中心备选点*i*选中时 $z_i=1$,否则 $z_i=0$; m 为备选的配送中心的个数; n 为目的地地的个数; p 为可选用的配送中心最大个数; l 为客户的个数。

模型的说明:(1)式表示车辆在客户要求的时间段内准时到达目的地目标函数;(2)式表示物流成本的目标函数(3)式表示配送中心能满足客户的需求;(4)式表示配送中心的进货量应小于配送中心的容量;(5)式表示选用配送中心的个数不大于最大个数*P*;(6)式表示配送中心*i*的货物进出量相等;(7)式表示客户*k*发运到物流配送中心*i*的货物量应小于它的生产能力;(8)式表示从客户所在地到目的地的时间要求。

三、改进蚁群算法

1. 蚁群聚类算法运作原理。蚁群聚类算法的灵感源于蚂蚁堆积他们的尸体和分类他们的幼体。该算法从原理上可分为两种:一种是基于蚁堆形成原理来实现数据聚类,另一种是运用蚂蚁觅食的原理,利用信息来实现聚类分析。基主要思想为:一个单独的对象或者被拾起,或者在其他的有更多同类的对象的地方被放下。蚂蚁随机移动时拾起或放下一个对象的概率可分别用式(1)和式(2)表示:

$$\text{拾起概率: } P_p = \left[\frac{k_1}{(k_1 + 1)} \right]^f \quad (1)$$

$$\text{放下概率: } P_d = \left[\frac{f}{(k_2 + f)} \right]^2 \quad (2)$$

其中, f 是对象在蚂蚁的邻域内的接受分数, k_1 和 k_2 是阈值。如果 $f < k_1$, P_p 趋近于1,如果 $f > k_1$, P_p 趋近于0。如果 $f < k_2$, P_d 趋近于0,如果 $f > k_2$, P_d 趋近于1。

可见该模型通过对蚂蚁拾起、放下物体的行为模式进行建模,保证了不破坏大堆的物体,且能收集小堆的物体,完成了物体的聚类。在该模型中,蚂蚁依据聚堆的形状与所聚集的物体来决定选择放下背负的物体或者拾起零散的物体的概率,从而完成物体的聚类。

2. 约束法原理。在研究多目标问题时,找到非劣解,可以从众多的目标分量中取出一个目标分量*Z*,使其余的目标分量分别

约束在某个相应值以上,而使 Z^* 达到最优。不断地改变各分量的约束值,就可以求出相应的非劣解,从而找到所有的非劣解。

四、基于改进蚁群算法多目标配送中心选址模型求解

依据物流成本最低和服务水平最优的目标分量,构建出两个蚁群(拥有独立的信息素), Ant_1 (配送服务水平目标分量蚁群)和 Ant_2 (物流成本目标分量蚁群),蚁群之间在循环的初始时刻进行信息交换,得到对方目标分量的当前最优解,在该值作为目标约束值的基础上,依照聚类蚁群算法的原理对本目标进行优化,优化过程主要分为以下几部分:

初始化部分:设两组蚁群中均有 K 只蚂蚁,初始化蚁群算法中的几个关键参数、 ρ 和 τ ,并初始化能见度函数,依照蚁群优化算法的原理构建初始解,并将其保存在当前最好解集 U 中。能

$$\text{能见度函数表达式如下: } \eta_k = \begin{cases} \frac{1}{d_{kj}}, & \text{if } d_{kj} \neq 0 \\ 1, & \text{if } d_{kj} = 0 \end{cases}$$

其中 d_{kj} 表示供货点 k 和配送中心 j 的距离, η_k 表示了供货点 k 和配送中心 j 聚为一类的期望程度;

主循环部分:循环直至满足条件(指定的迭代次数或前后两次优化结果相差很小)后停止。此部分的主要步骤为:

STEP1: Ant_1 与 Ant_2 在初始时刻进行信息交换,得到 Ant_2 目标分量的最优解 Z_2 ,将 Z_2 作为服务水平目标分量的约束之,而后,依据蚁群聚类算法原理,对服务水平目标分量进行独立优化,其优化过程为:将多个候选配送中心当成聚类中心;将各个需求点或供应点看作待分类量,以服务水平为寻址原则,将各需求点或供应点分配到配送中心从而形成多个胞腔,若以配送中心为聚类中心的胞腔中不为空,则保留该配送中心;否则取出该备选地点,得出目前服务水平较优的选址方案,并保持现状;

STEP2: 与 Ant_1 进行信息交换,获得通过步骤一求得的 Ant_1 目标分量的当前最优解 Z_1 ,把 Z_1 看作物流成本目标分量的约束条件,在此基础上,依据蚁群聚类算法原理,对总的选址目标进行优化,从而得到较优解,如果不能再继续优化,则保持现状。

STEP3: 若 Ant_1 或 Ant_2 优化得到的解,比当前最好解 U 更优,则替换 U ,否则,循环继续,直至满足循环停止的条件。

下面以服务水平目标分量 Ant_1 为例,阐述其具体的优化过程:

(1)与 Ant_2 进行信息交换,得到 Ant_2 的当前最优目标分量值 Z_2 ,将 Z_2 看成自身目标分量的约束条件。

(2)针对蚁群中的 K 只蚂蚁,设置禁忌搜索表 $\text{tabu}_k(t)$,用以记录在 $[t, t+1]$ 时间内蚂蚁 k 已经拾起过的供货点列表,并清空禁忌搜索表;

(3)以候选配送中心为蚂蚁的蚁巢中心 z_j $j=1, 2, \dots, p$;

(4)各蚂蚁以蚁巢中心为中心,在允许的供货点中随机选择一供货点,将该供货点以概率 $P_{ij}^k(t)$ 放入蚁巢中心 z_j 中,并将该供货点放入禁忌表内。若禁忌表满,则转步骤(5)否则重复步骤(4)。

$$\text{其中概率为: } P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{j \in \text{tabu}_k} \tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}, & j \notin \text{tabu}_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$(5) \text{记录第 } k \text{ 只蚂蚁的信息增量 } \Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{\sum_{j=1}^n f_j + \sum_{j=1}^m g_j}, & \text{if } j \in \text{tabu}_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

蚂蚁完成一次循环后记录分类结果;

(6)若 r 只蚂蚁都完成了一次循环则转步骤(7),否则转步骤(2);

$$(7) \text{更新信息量: } \tau_{ij}(t+h) = \rho \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

同时,记录此次循环得出的最优解;

(8)把得到的最优解的目标分量值,传递给 Ant_2 , Ant_2 的目标分量优化步骤和 Ant_1 的相同。

(9)如果 Ant_1 和 Ant_2 交替循环优化得到的解,比当前最优解 U 更优,则替换 U ,否则,两蚁群继续传递目标分量的信息,进行优化。直至满足迭代次数或前后两次所得的较优解差别甚微时循环结束。

五、算例分析

某矩形经济区域范围为(0,0)到(100,100)内,有10个配送需求点、4个候选配送中心和1个工厂,工厂的位置为(57,48),设单位运费 $c=2$,蚁群数 $m=2$ (物流成本目标分量蚁群、服务水平目标分量蚁群),每组蚁群的蚂蚁个数为20, $\rho=0.9$, $\alpha=1$, $\beta=2$ 为动态设置,迭代次数100次,其他相关参数如下表所示。计算结果是选择了2、3、4三个备选配送中心,最低的物流成本是73.25万元,最低的提前期和延迟时间为80小时。通过此算法得出的选址方案,与通过传统的物流配送中心选址算法得到的结果是一致的,证明本算法的设计步骤是合理的。从得出的最优选址方案中,我们不仅能确定配送中心的位置、数量,同时也能确定各个配送中心的规模和整个配送体系的最低延迟时间。

表1 配送中心到各需求点的费用参数

配送中心	各需求点									
1	12	15	13	16	17	20	15	17	18	22
2	10	14	12	17	15	17	24	10	15	13
3	11	12	14	16	13	18	20	21	16	9
4	12	20	21	18	14	19	20	18	17	18

表2 配送中心坐标和运营的费用

配送中心 i	1	2	3	4
坐标 (x_i, y_i)	(72,90)	(45,16)	(23,74)	(88,46)
地价 l_i	1.2	1.8	1.6	1.5
运营的固定费用 g_i	13	15	9	14

表3 需求点的坐标和需求量

需求点 j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
坐标 (x_j, y_j)	(28,78)	(33,21)	(45,62)	(95,49)	(73,58)	(90,45)	(31,69)	(42,5)	(58,18)	(17,54)
需求量 w_j	2.0	0.6	0.7	2.0	0.5	1.4	1.5	1.0	3.0	1.0

表4 配送中心到各需求点的时间参数/h

配送中心	各需求点									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	10	7	6	7	8	5	7	8	6
2	8	14	10	7	5	7	15	10	5	13
3	5	12	4	6	10	12	12	11	10	9
4	4	11	8	8	4	9	10	8	7	10

表5 到达需求点的最早和最迟时间/h

目的地	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最早时间	12	19	20	15	19	20	21	19	21	22
最迟时间	16	23	22	17	21	23	24	22	23	25

表6 配送中心最终选址方案

配送中心	1	2	3	4
所供需求点	()	(4,5,6)	(1,3,7,10)	(2,8,9)
配送规模	0.0	3.9	5.2	4.6

六、结论

本文综合考虑了建立配送中心的定性和定量因素,构建了基于“成本—服务型”战略的配送中心选址模型,同时,提出了基于蚁群算法和约束算法思想的改进蚁群算法对选址模型进行求解,通过具体的算例证明了改进蚁群算法在求解多目标配送中心选址问题时有很强的收敛性和运行效率。