

文章编号:1671-1637(2012)06-0069-07

## 高强度快递需求区域移动仓库选址算法

戢晓峰<sup>1</sup>, 覃文文<sup>1</sup>, 焦新龙<sup>2</sup>, 梁斐雯<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 宁波工程学院 交通与物流学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:**研究了高强度快递需求区域移动仓库选址问题的特点,以移动仓库总建设规模最小为目标函数,以区域需求量和仓库服务能力为约束条件,提出了基于多粒度集合覆盖问题的相遇蚁群算法。将需求点虚拟成粒子,利用K-means算法对粒子聚类,在划分好的粒子群里得到移动仓库备选点,分别应用传统的蚁群算法和相遇蚁群算法进行实例验证。计算结果表明:运用传统的蚁群算法,运算时间为12.714 4 s,最优解个数为13,最差解个数为15,平均解个数为13,解的正确率为79%;运用相遇蚁群算法,运算时间为3.806 4 s,最优解个数为12,最差解个数为13,平均解个数为12,解的正确率为98%,移动仓库选址方案的建设数量为12,有10个备选移动仓库是多余的。

**关键词:**物流工程;快递需求区域;移动仓库;集合覆盖问题;相遇蚁群算法

中图分类号:U491.12

文献标志码:A

## Location algorithm of mobile warehouse in express demand region with high strength

Ji Xiao-feng<sup>1</sup>, Qin Wen-wen<sup>1</sup>, Jiao Xin-long<sup>2</sup>, Liang Fei-wen<sup>1</sup>

(1. School of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, Yunnan, China; 2. School of Transportation and Logistics, Ningbo University of Technology, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

**Abstract:** The characteristic of location problem for mobile warehouse in express demand region with high strength was studied. The minimum total construction scale of mobile warehouse was taken as objective function, the region demand and service ability of mobile warehouse were taken as constraint conditions, and the meeting ant colony optimization (MACO) based on the set-covering problem of multiple granularities was put out. The demand points were regard as virtual particles, and K-means algorithm was used to cluster the particles. The preparation points of mobile warehouse were got from the divided particles, and the example verification was carried out by using traditional ACO and MACO respectively. Calculation result indicates that while traditional ACO is used, the computing time is 12.714 4 s, the optimal solution number is 13, the most poor solution number is 15, the average solution number is 13, and the correct rate of solution is 79%. While the proposed MACO is used, the computing time is 3.806 4 s, the optimal solution number is 12, the most poor solution number is 13, the average solution number is 12, the correct rate of solution is 98%, the construction number of location scheme for mobile warehouse is 12, and 10 preparation mobile warehouses are unnecessary. 4 tabs, 9 figs, 24 refs.

**Key words:** logistics engineering; express demand region; mobile warehouse; set-covering problem; meeting ant colony optimization

收稿日期:2012-07-17

基金项目:国家自然科学基金项目(61263025);云南省教育厅科学研究基金项目(2011Y370);宁波市自然科学基金项目(2012A610153)

作者简介:戢晓峰(1982-),男,湖北随州人,昆明理工大学副教授,工学博士,从事交通与物流系统优化研究。

**Author resume:** JI Xiao-feng(1982-), male, associate professor, PhD, +86-871-5920115, yiluxinshi@sina.com

## 0 引 言

在高强度快递需求区域内,快递物流竞争异常激烈,如城市 CBD 区域、高校密集区等。为改善快递服务网点密度与服务水平,快递企业开始运营移动仓库以覆盖大量的潜在客户群。移动仓库是在高强度快递需求区域租赁一个或多个场地,建立前沿交接中转站,为服务范围内所有客户提供上门取派件服务,节省收派员往返于客户与服务网点之间的时间,最大限度地覆盖全部客户,确保在最短时间内响应客户需求,降低了运营成本,并提高快递网络服务水平。近年来,学者们应用多种研究方法对物流配送中心选址进行了较深入的研究,关于快递服务网点的研究比较少,谷淑娟等在地理区域离散化问题上,建立了基于增长尺度网格选址的区域模型<sup>[1]</sup>;周爱莲等借鉴稳健设计的基本思想,运用随机机会约束规划方法建立了物流中心的稳健性选址模型<sup>[2]</sup>;秦进等针对选址本身的 NP 性质,提出了适合求解一般选址问题的通用型双层模拟退火算法<sup>[3]</sup>;秦固建立了基于蚁群优化的多物流配送中心选址模型<sup>[4]</sup>;Kuo 结合决策试验与评价试验法,在模糊环境中应用模糊多准则决策方法求解物流中心选址问题<sup>[5]</sup>;Batanovic 等以最大覆盖选址问题为背景,设计了基于对比离散的模糊逻辑算法<sup>[6]</sup>;Sun 等在考虑物流规划部门与客户双方利益的基础上,采用双层规划模型描述物流配送中心选址问题<sup>[7]</sup>;Yang 等在总相关成本最低的基础上,研究了模糊配送中心选址问题<sup>[8]</sup>。总体来说,目前开展的研究绝大多数是针对小规模选址问题进行建模分析,这样便于数学处理,求解相对容易。然而,在高强度快递需求区域内,快递服务对象主要是个人与企业,特别是在电子商务环境下进行网络交易的个人与企业<sup>[9]</sup>,快递企业需要建立多个移动仓库来提高快递服务水平与运营效率。当选址规模达到数百后,快递企业将会面临一个大规模设施选址问题,现有的选址研究存在难以满足实际应用需求的不足。

为此,本文从问题的描述出发,提出了一种新的基于多粒度集合覆盖问题描述模型,考虑在高强度快递需求区域如中关村范围内,将需求区域粒度化,实现问题规模简约化,在粒度划分的区域内寻找覆盖全部粒子的最优移动仓库集合,力求从本质上解

决启发式算法在求解大规模设施选址问题时运行时间过长且得不到最优解的问题<sup>[10-14]</sup>。

## 1 多粒度 SCP 描述

在一个快件需求强度大、有若干粒子(需求点)的高强度快递区域中,集合覆盖问题(Set-covering Problem, SCP)可以描述为<sup>[15]</sup>: $(X, W)$ 由有限粒子群  $X$  与移动仓库组成的集合  $W$  构成。集合  $W$  提供的服务能力覆盖了  $X$ ,即  $X$  中每一个粒子至少属于  $W$  中的一个移动仓库,且构成  $X$  的全部覆盖。本文的集合覆盖问题就是在高强度快递需求区域中找出  $W$  中覆盖  $X$  的最少移动仓库数量。

由于 SCP 是一个复杂问题,求解的过程通常不是一步到位地追求精确的最优解,而是逐步尝试达到符合一定精度要求的满意解<sup>[16]</sup>。在高强度快递需求区域提出多粒度 SCP 描述模型,用最少的移动仓库覆盖所有的需求点。

在一个快件需求强度大、有若干粒子(需求点)的高强度快递区域中,可以按地理位置分布分为不同的地区(根据相互间的距离),移动仓库覆盖的范围局限于离当前粒子较近的某一领域(地区)的部分粒子。

基于上述假设,本文使用粒状图描述 SCP 的可行解,定义以下几个概念。

如果粒子的地理位置分布呈现较明显的分簇现象,那么这些簇内具有较高相似度的粒子组成的集合称为超粒子或地区。一个超粒子包含若干彼此距离相近的粒子。

在一个给定的距离(半径)内,与任意粒子都不相邻的粒子称为边缘粒子。边缘粒子是指在高强度快递需求区域内远离其他粒子的粒子,也可看作是仅含一个粒子的超粒子。

以某个粒子为中心,包含常数个粒子的半径称为该粒子的粒密度。粒密度越大,说明粒子所处地区的粒密度越低。反之,粒密度越小,说明粒子所处地区的粒密度越高。

基于上述定义,在高强度快递需求区域中的 SCP 可行解可以表示为一个粒状图。图 1 为 SCP 可行解的多粒度结构描述模型,由 SCP 可行解、超粒子、粒子以及移动仓库构成。

令  $w_t$  为区域中第  $t$  个移动仓库,  $w_t \in W$ ,  $w_t$  为

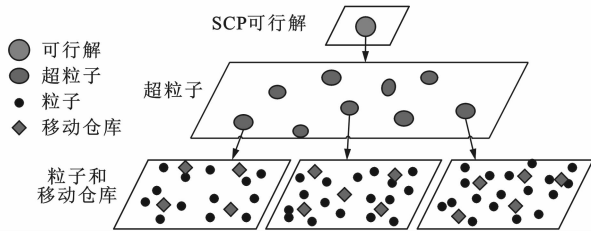


图 1 可行解的结构描述

Fig. 1 Structure description of feasible solution

0-1 决策变量, 当在  $t$  点建设移动仓库时,  $w_t$  为 1, 否则为 0;  $e$  为区域中粒子,  $e \in X$ ;  $f_e$  为第  $e$  个粒子的需求量; 若第  $t$  个移动仓库候选点被选中时,  $F_t$  为移动仓库  $t$  的服务能力;  $S_t, S_l$  分别为移动仓库  $t, l$  在  $X$  中覆盖的粒子数量。以总建设规模  $z$  最小为目标, 建立模型为

$$\min z = \sum_{w_t \in W} w_t \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{e \in S_t} f_e \leq F_t w_t \quad (2)$$

$$S_t \cap S_l = \emptyset \quad (3)$$

$$w_t \in \{0, 1\} \quad (4)$$

式(2)可保证每个提供服务的移动仓库的服务能力; 式(3)可确保任意两个移动仓库没有重复服务的粒子。

## 2 多粒度 SCP 求解的蚁群算法

基于多粒度 SCP 的描述模型, 本文给出求解此模型的相遇蚁群算法(Meeting Ant Colony Optimization, MACO)。图 2~4 为多粒度 SCP 求解的过程图解, 为求得一个满意解, 需要经过粗粒度聚类、细粒度的蚁群优化、细粒度可行解的合成 3 个关键步骤。

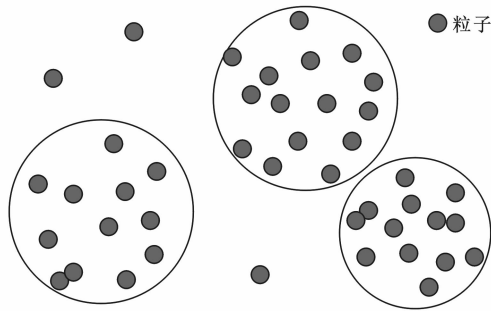


图 2 粒度划分

Fig. 2 Granularity partition

### 2.1 基于 K-means 算法的粗粒度聚类

本文针对传统的 K-means 算法对噪声与孤立点数据较为敏感的特性<sup>[17-20]</sup>, 设计了基于 K-means

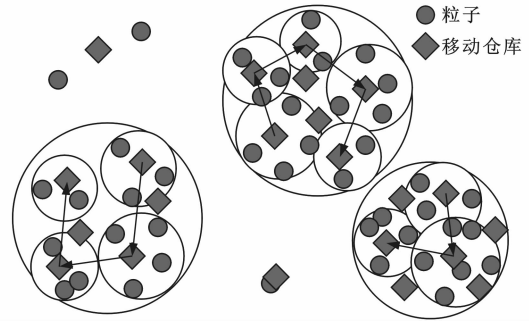


图 3 粒度优化

Fig. 3 Granularity optimization

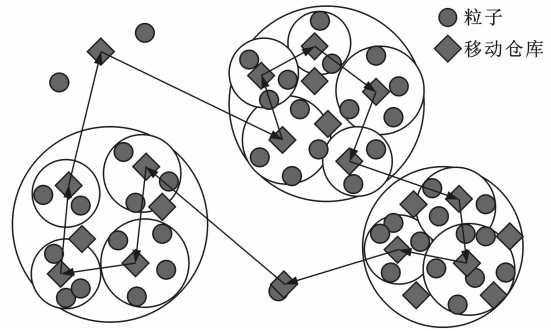


图 4 可行解的合成

Fig. 4 Synthesis of feasible solutions

聚类的粒度划分算法, 提出在具有足够高密度的地区选出初始聚类中心点, 优化聚类结果。具体步骤描述如下。

Step 1: 计算任意两个粒子间的距离。

Step 2: 计算每个粒子的粒密度, 删除处于低密度地区的粒子, 得到处于高密度地区的粒子群。

Step 3: 取处于最高密度区域的粒子作为第 1 个聚类中心  $Z_1$ , 取距离  $Z_1$  最远的一个高密度点作第 2 个聚类中心  $Z_2$ , 计算其他粒子到  $Z_1, Z_2$  的距离, 从中选择距离最大的粒子作为第 3 个聚类中心, 以此得到  $L$  个初始聚类中心。

Step 4: 以这  $L$  个初始聚类中心为基础, 应用标准的 K-means 聚类算法, 得到最终的聚类结果。

### 2.2 细粒度的优化

为了合成问题的可行解, 首先进行细粒度的优化。在基本蚁群算法的基础上, 引入 MACO 求解 SCP 模型。同时, 不同地区内的蚁群优化可并行地进行。

#### 2.2.1 目标仓库选择策略

以  $m$  个移动仓库为出发点, 根据该移动仓库与其他  $m-1$  个移动仓库的距离, 建立  $m-1$  个距离由长到短的排序表, 选择其中  $h$  个建立该移动仓库的候选访问列表, 蚂蚁对下一个移动仓库的选择只在

候选访问列表中产生。

### 2.2.2 状态转换策略

设蚂蚁  $k(k=1,2,\dots,a)$  在访问移动仓库过程中采用自适应伪随机比率的规则选择下一个访问对象,即在移动仓库  $i$  的蚂蚁  $k$  选择下一个移动仓库  $j$  的规则为<sup>[18-24]</sup>

$$J = \begin{cases} \arg \{ \max_{j \in L_k} [(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta] \} & q \leq q_0 \\ p_{kij} & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$\eta_{ij} = \frac{\text{arv}(C_i \cup S_j)}{P} \quad (6)$$

式中: $J$  为蚂蚁  $k$  要选择的下一个移动仓库  $j$  的概率; $\arg(\cdot)$  为使得“ $(\cdot)$ ”值最大时选择移动仓库  $j$  的转移概率; $\text{arv}(\cdot)$  为蚂蚁  $k$  寻找到的子集数量; $\tau_{ij}$  为信息素浓度; $\eta_{ij}$  为启发式因子; $C_i$  为蚂蚁  $k$  在移动仓库  $i$  得到的当前解集; $S_j$  为下一个备选移动仓库  $j$  中包含的粒子数量; $P$  为当前地区粒子总数量; $q$  为伪随机数, $q \in (0,1)$ ;  $q_0$  为随机参数, $q_0 \in (0,1)$ ;  $p_{kij}$  为蚂蚁  $k$  从当前移动仓库  $i$  转移到另一个移动仓库  $j$  的概率; $\alpha$  为各移动仓库上残留信息的相对重要程度; $\beta$  为启发信息的相对重要程度; $L_k$  为蚂蚁  $k$  所有可能访问的移动仓库。

当  $q > q_0$  时,位于移动仓库  $i$  的蚂蚁  $k$  选择下一个要访问的移动仓库  $j$  的概率为

$$p_{kij} = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{j \in L_k} (\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta} & j \in L_k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

### 2.2.3 信息素更新策略

如果在本次循环中相遇蚂蚁的总数超过了阈值  $v$ ,那么本次搜索过程将结束,只更新相遇蚂蚁搜索到的移动仓库;如果本次循环中相遇蚂蚁的数目没有超过阈值  $v$ ,那么蚁群的搜索过程将继续直到所有的蚂蚁都完成自己的搜索解为止,这时信息素的更新机制和基本蚁群算法一致。信息素更新方式为

$$\tau_{ij2} \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij1} + \rho\tau_0 \quad (8)$$

式中: $\tau_{ij2}$  与  $\tau_{ij1}$  分别为当前时刻与上一时刻的信息素浓度; $\rho$  为信息素的挥发系数, $\rho \in (0,1]$ ;  $\tau_0$  为初始信息素浓度。

为了使搜索空间更大,搜索的结果更具有多样性,本文用 MMAS 方法对信息素进行控制。

### 2.2.4 算法步骤

基于上述策略,利用相遇蚁群算法求解 SCP 模型,其具体实现过程如下。

Step 1:初始化阶段。在每次循环之前,所有的

参数将被初始化。

Step 2:分配蚂蚁。根据随机选择规则,所有  $a$  只蚂蚁都被初始化到  $m$  个移动仓库上。

Step 3:建立搜索解。以蚂蚁  $k$  所在当前移动仓库为中心,按最远粒子选择策略选取离蚂蚁  $k$  最远的  $h$  个移动仓库(为未访问过的移动仓库)作为下一个访问目标的选择范围, $h \in [\frac{m}{4}, \frac{m}{2}]$ 。按式(5)~(8)选择一个要访问的移动仓库,从  $X$  中删除蚂蚁  $k$  所在移动仓库  $j$  覆盖的粒子数  $S_j$ ,将  $j$  加入当前解集,从集合  $W$  中删除  $j$ 。

Step 4:判断相遇。如果蚂蚁已访问的移动仓库覆盖的粒子超过  $X$  中的粒子,那么这两只蚂蚁就被标记为相遇蚂蚁,已访问移动仓库将被合并以形成一个新的搜索解。

Step 5:判断终止条件与更新信息素。如果在本次循环中相遇蚂蚁的总数目超过了阈值  $v$ ,那么本次搜索过程将结束,记录相遇蚂蚁合成的可行解,按式(5)~(8)对移动仓库上的信息素进行全局更新。

### 2.3 可行解的合成

按上述步骤依次完成粗粒度划分、粗粒度内细粒度的蚁群优化后,就可以通过将各个地区的搜索解合成 SCP 的一个可行解。该可行解表示本次搜索移动仓库备选点后,得到一个覆盖全部粒子的最优移动仓库集合。

## 3 计算结果分析

为了验证算法的正确性,假设有一高强度快递需求正方形区域  $D$ ,坐标范围从坐标原点  $(0,0)$  到  $(120,120)$ ,单位为  $m$ ,本区域散布着 61 个粒子与 22 个移动仓库备选点,本文给出了 18 个粒子的坐标与需求量,见表 1,移动仓库坐标、服务能力与服务粒子状况(统称为服务状况)见表 2。图 5 给出粒子与移动仓库的分布情况。

本文首先对  $D$  区域进行粗粒度划分,聚类划分结果见图 6, $D$  区域划分为  $D_1$  与  $D_2$ 。应用 MACO 时,参数  $\alpha$  为 1, $\beta$  为 2, $\rho$  为 0.9, $v$  为 1,最大迭代次数为 200。应用 ACO 时,参数  $\alpha$  为 1, $\beta$  为 2, $\rho$  为 0.9,最大迭代次数为 200。

在上述参数配置下,经过多次试验,得到本文算法(MACO)与 ACO 的求解结果,见表 3。图 7、8 分别为应用本文算法对  $D_1$  与  $D_2$  区域的寻优进化得到的最优解,图 9 为应用 ACO 对整个  $D$  区域的寻优进化得到的最优解。最优解与最差解个数为 2 种

表 1 粒子坐标与需求量  
Tab. 1 Coordinates and demands of particles

粒子	1	2	3	4	5	6	7	8	9
坐标/m	(22,15)	(34,10)	(46,18)	(46,20)	(28,25)	(42,30)	(46,35)	(50,40)	(44,43)
需求量/(万单·月 <sup>-1</sup> )	0.5	0.7	1.0	0.3	0.6	1.2	0.5	0.4	0.8

粒子	10	11	12	13	14	15	16	17	18
坐标/m	(30,37)	(32,50)	(38,57)	(18,53)	(14,60)	(26,65)	(45,68)	(30,73)	(23,76)
需求量/(万单·月 <sup>-1</sup> )	1.2	2.0	0.7	0.4	1.5	0.8	0.3	2.5	0.5

表 2 移动仓库服务状况

Tab. 2 Service status of mobile warehouses			
移动仓库	坐标/m	服务能力/(万单·月 <sup>-1</sup> )	服务粒子
1	(36,20)	3.2	1,2,3,4,5
2	(38,37)	4.5	6,7,8,9,10
3	(20,65)	3.0	13,14,15,18,19
4	(23,53)	5.0	11,13,14,15
5	(33,61)	7.2	11,12,15,16,17,18
6	(39,71)	4.0	12,16,17,20
7	(51,80)	5.5	12,20,21,22,24
8	(41,90)	4.6	20,22,23,25,26
9	(26,98)	8.0	23,25,26,27,28,29,30
10	(15,105)	3.4	28,29,30
11	(68,16)	6.0	31,32,33,34,35
12	(76,21)	7.1	32,33,34,36,38,39
13	(82,29)	9.3	33,34,36,37,38,39,40,41
14	(88,50)	6.9	40,41,42,44,45,47
15	(80,45)	6.5	38,39,41,42,44,48
16	(95,55)	3.4	43,45,46
17	(91,62)	7.4	42,43,44,45,46,47,54
18	(94,90)	4.1	55,56,57
19	(87,78)	5.5	47,53,54,56,58
20	(80,90)	6.0	52,53,57,58,59,60
21	(79,65)	7.8	44,47,48,49,50,52,53
22	(73,80)	8.0	48,49,50,51,52,59,61

表 3 两种算法比较

Tab. 3 Comparison of two algorithms		
算法	ACO	MACO
最优解	13	12
最差解	15	13
平均解	13	12
正确率/%	79	98
运算时间/s	12.714 4	3.806 4

算法各运行 100 次后从中选取的值,平均解个数为各代解个数与运行次数之间的比值,运行时间为得

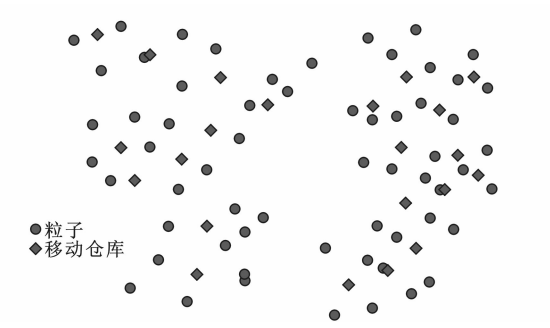


图 5 粒子与移动仓库分布

Fig. 5 Distribution of particles and mobile warehouses

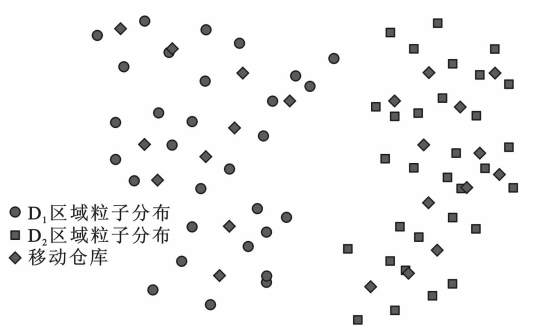


图 6 聚类划分结果

Fig. 6 Clustering division result

到各自最优解所需时间的平均值,正确率为最优解个数与运行次数之间的比值。从图 7~9 可以发现,应用 MACO,在较短时间内就能得到正确率更高的解,这说明通过 SCP 描述模型,降低了原问题规模数量,大大缩短了蚁群寻优时间,提高了搜索效率,并获得了更好的最优解。

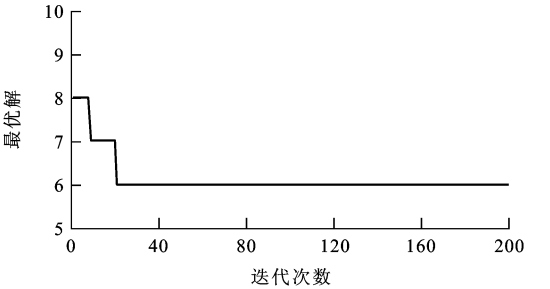


图 7 D<sub>1</sub> 区域最优解

Fig. 7 Optimal solution in area D<sub>1</sub>

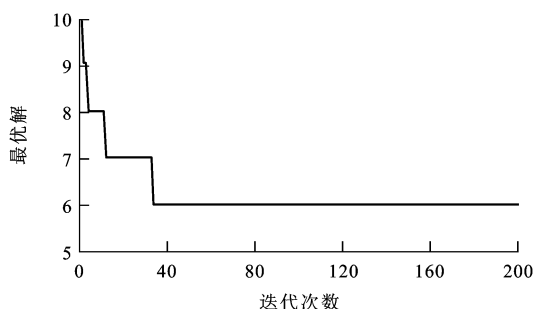
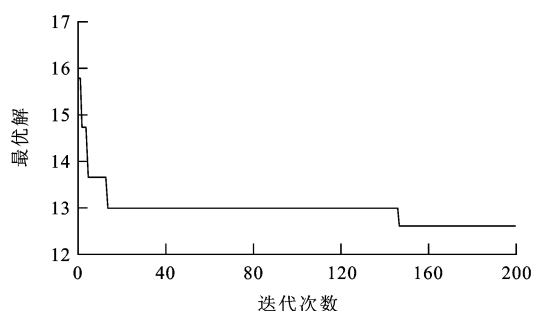
图 8  $D_2$  区域最优解Fig. 8 Optimal solution in area  $D_2$ 

图 9 D 区域最优解

Fig. 9 Optimal solution in area D

应用 MACO,得到的移动仓库选址方案见表 4,从中可见,在 D 区域,候选移动仓库有 10 个是多余的,实际应建的移动仓库数量为 12 个,分别对应表中所示的粒子,MACO 在寻优速度上不仅比 ACO 有显著的提高,而且具有更强地求解大规模设施选址问题的能力。

## 4 结 语

移动仓库选址是快递企业在高强度快递需求区域运营的关键环节,本文结合高强度快递需求区域的特殊性,建立多粒度 SCP 描述模型,针对蚁群算法在进行大规模优化时,正反馈机制不充分、收敛时间过长的缺陷,提出了一种相遇蚁群算法,利用 SCP 多粒度描述将大规模的设施选址问题规约为容易求解的小规模的设施选址问题来求解,避免了计算复杂度高的困难,有效提高了算法的收敛速度,为解决大规模的组合优化问题提供了一种可行的思路。随着规模的急剧增大,本文算法在求解质量上具有一定的局限性,如何克服这个局限,在保证解质量的前提下提高求解速度将是下一步研究的重点。

表 4 移动仓库选址方案

Tab. 4 Location schemes of mobile warehouses

移动仓库	1	2	3	5	7	9
坐标/m	(36,20)	(38,37)	(20,65)	(33,61)	(51,80)	(26,98)
服务能力/(万单·月 <sup>-1</sup> )	3.2	4.5	3.0	7.2	5.5	8.0
服务粒子	1,2,3,4,5	6,7,8,9,10	13,14,15, 18,19	11,12,15, 16,17,18	12,20,21, 22,24	23,25,26,27, 28,29,30
移动仓库	11	13	17	18	20	22
坐标/m	(68,16)	(82,29)	(91,62)	(94,90)	(80,90)	(73,80)
服务能力/(万单·月 <sup>-1</sup> )	6.0	9.3	7.4	4.1	6.0	8.0
服务粒子	31,32,33, 34,35	33,34,36,37,38, 39,40,41	42,43,44,45, 46,47,54	55,56,57	52,53,57,58, 59,60	48,49,50,51, 52,59,61

## 参考文献:

## References:

- [1] 谷淑娟,高学东,刘燕驰,等.基于多尺度网格模型的物流配送中心选址候选集构建方法[J].控制与决策,2011,26(8): 1141-1146.  
GU Shu-juan, GAO Xue-dong, LIU Yan-chi, et al. Candidate set construction method in distribution center location based on multi-scale gridding model[J]. Control and Decision, 2011, 26(8): 1141-1146. (in Chinese)
- [2] 周爱莲,李旭宏,毛海军.企业物流中心稳健性选址模型[J].交通运输工程学报,2010,10(1):60-65.  
ZHOU Ai-lian, LI Xu-hong, MAO Hai-jun. Robust location model of enterprise logistics center[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(1): 60-65. (in Chinese)
- [3] 秦进,史峰.物流设施选址问题的双层模拟退火算法[J].系统工程,2007,25(2):36-40.  
QIN Jin, SHI Feng. Bi-level simulated annealing algorithm for facility location[J]. Systems Engineering, 2007, 25(2): 36-40. (in Chinese)
- [4] 秦固.基于蚁群优化的多物流配送中心选址算法[J].系统工程理论与实践,2006,26(4):120-124.  
QIN Gu. Logistics distribution center allocation based on ant colony optimization[J]. Systems Engineering—Theory and Practice, 2006, 26(4): 120-124. (in Chinese)
- [5] KUO M.S. Optimal location selection for an international distribution center by using a new hybrid method[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(6): 7208-7221.
- [6] BATANOVIC V, PETROVIC D, PETROVIC R. Fuzzy logic based algorithms for maximum covering location problems[J].

- Information Sciences, 2009, 179(1/2): 120-129.
- [7] SUN Hui-jun, GAO Zi-you, WU Jian-juan. A bi-level programming model and solution algorithm for the location of logistics distribution centers[J]. Applied Mathematical Modelling, 2008, 32(4): 610-616.
- [8] YANG Li-xing, JI Xiao-yu, GAO Zi-you, et al. Logistics distribution centers location problem and algorithm under fuzzy environment[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2007, 208(2): 303-315.
- [9] 黄宇. 快递配送中心配送模型及应用研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2010.
- HUANG Yu. Research on express distribution center distribution model and its application[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [10] DORIGO M, GAMBARDELLA L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53-66.
- [11] MULLEN R J, MONEKOSSO D, BARMAN S, et al. A review of ant algorithms[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(6): 9608-9617.
- [12] CHEN C H, TING C J. Combining Lagrangian heuristic and ant colony system to solve the single source capacitated facility location problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2008, 44(6): 1099-1122.
- [13] 王非, 孙浩杰, 罗卫华, 等. 指定备选点的配送中心选址-库存模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2012, 32(2): 91-95.
- WANG Fei, SUN Hao-jie, LUO Wei-hua, et al. Location-inventory model of distribution center with appointed alternative location[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(2): 91-95. (in Chinese)
- [14] 李卫江, 郭晓汾, 张毅, 等. 基于 MATLAB 优化算法的物流中心选址[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(3): 76-79.
- LI Wei-jiang, GUO Xiao-fen, ZHANG Yi, et al. Logistics center location based on MATLAB optimization algorithm[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(3): 76-79. (in Chinese)
- [15] 冯富宝. 集合覆盖问题研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.
- FENG Fu-bao. Research on set cover problem[D]. Jinan: Shandong University, 2006. (in Chinese)
- [16] 张燕平, 张铃, 吴涛. 不同粒度世界的描述法——商空间法[J]. 计算机学报, 2004, 27(3): 328-333.
- ZHANG Yan-ping, ZHANG Ling, WU Tao. The representation of different granular worlds: a quotient space[J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(3): 328-333. (in Chinese)
- [17] 覃文文, 戢晓峰. 基于 K-means 聚类的快递企业客户细分方法[J]. 世界科技研究与发展, 2011, 33(6): 955-958.
- QIN Wen-wen, JI Xiao-feng. Researches on customer segmentation of express enterprise based on K-means clustering[J]. World Sci-tech R and D, 2011, 33(6): 955-958. (in Chinese)
- [18] 寿涌毅, 赖昌涛, 吕如福. 班轮船舶调度多目标优化模型与蚁群算法[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(4): 84-88.
- SHOU Yong-yi, LAI Chang-tao, LU Ru-fu. Multi-objective optimization model and colony optimization of liner ship scheduling[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(4): 84-88. (in Chinese)
- [19] STUTZLE T, HOOS H. Max-min ant system[J]. Future Generation Computer System, 2000, 16(8): 889-914.
- [20] 孙启鹏, 吴群琪. 运输需求生成机理及其规律[J]. 长安大学学报: 社会科学版, 2008, 10(2): 7-11, 15.
- SUN Qi-peng, WU Qun-qi. Transport demand generating mechanism in corridor and its typical law[J]. Journal of Chang'an University: Social Science Edition, 2008, 10(2): 7-11, 15. (in Chinese)
- [21] RANDALL M. Solution approaches for the capacitated single allocation hub location problem using ant colony optimization[J]. Computational Optimization Applications, 2008, 39(2): 239-261.
- [22] CHEN J F. A heuristics for the capacitated single allocation hub location problem[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2008(5): 185-196.
- [23] 胡郁葱, 商慧丽, 李敏. 容量限制条件下改进的地下快速路集散点选择模型[J]. 中国公路学报, 2012, 25(3): 135-140.
- HU Yu-cong, SHANG Hui-li, LI Min. Improved depot choice model of underground expressway in the condition of capacity restraint[J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(3): 135-140. (in Chinese)
- [24] 徐红梅, 杨兆升, 闫长文, 等. 基于蚁群算法求解物流订单派送问题[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(6): 84-86.
- XU Hong-mei, YANG Zhao-sheng, YAN Chang-wen, et al. Solving appoint order form job problem based on ant colony system[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(6): 84-86. (in Chinese)