

文章编号: 1001-0920(2011)08-1141-06

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

谷淑娟, 高学东, 刘燕驰, 武 森

(北京科技大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘 要: 针对物流配送中心选址候选集构建中的地理区域离散化问题, 提出一种基于 k -增长多尺度网格模型的选址区域离散化方法, 根据区域选址敏感度不同, 进行尺度差异化网格划分. 在此基础上, 提出了多尺度网格投影及膨胀算法, 识别并剔除“限制性区域”及距其指定范围内的多尺度网格. 数值实验表明了所提出的模型及算法的有效性.

关键词: 物流配送中心选址; 候选集构建; 多尺度网格

中图分类号: TP3

文献标识码: A

Candidate set construction method in distribution center location based on multi-scale gridding model

GU Shu-juan, GAO Xue-dong, LIU Yan-chi, WU Sen

(School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.

Correspondent: GU Shu-juan, E-mail: gushujuan@gmail.com)

Abstract: To the discrete candidate set construction method (division of the continuous geographic district) for distribution center location problem, k -growth multi-scale gridding model is proposed to discrete the continuous geographic district, in which gridding scale varies according to location sensitivity. Furthermore, projection and dilation algorithm for multi-scale grid is given to identify the restriction regions and adjacent grid set within user-defined distance parameter. Finally, numerical experiments on real dataset show the effectiveness of the proposed method.

Key words: logistic distribution center location; candidate set construction; multi-scale gridding model

1 引 言

目前物流配送中心选址模型可分为连续型和离散型两类^[1-3]. 连续选址模型中, 选址候选区域为连续的地理平面, 代表性方法有重心法和交叉中值法等. 这类方法不受事先指定候选区域的限制, 灵活性较大, 但得到的最优选址地点可能位于河流、绿地、居民区或其他无法建立配送中心的区域(限制性区域).

离散选址模型中, 选址候选区域为数量有限的指定可行区域, 代表性方法有混合整数规划法和启发式规划法. 其中, 混合整数规划法包括简单无容量约束设施选址模型(UFLP)^[4], 简单有容量约束设施选址模型(CFLP)^[5], 考虑中转站的多阶段模型^[4]以及考虑供需变化的动态选址模型^[4]等. 这类方法能够精确描述选址问题的各种约束条件, 但模型求解过程较为复杂. 启发式规划法力求找到选址模型的满意解, 典型方法包括 Kuehn-Hamburger 模型^[6], Baumol-Wolfe 模型^[7],

基于蚁群算法的选址模型^[8], 覆盖模型和 p -中值模型等.

研究构造能有效处理“限制性区域”约束的选址区域候选集, 可保障选址优化模型给出更为合理的选址决策. 地理网格是一种对地理空间进行位置划分的方法, 能将连续的地理区域离散化, 同时以区域(网格)作为优化模型的候选集单元, 符合人们日常思维且处理灵活, 使“限制性区域”网格化描述成为可能.

地理网格按形状可分为规则网格和不规则网格. 规则网格是空间数据处理常用的建模方式, 其划分方法包括: 基于多面体的划分方法和基于地理坐标系的划分方法. 基于地理坐标系划分方法中的经纬网划分法^[9]最为常用, 但没有统一的划分编码标准, 大多划分为等尺度正方形网格. 直接应用于配送中心选址候选区域离散化时, 往往难以设定网格尺度, 且不能对具有不同选址可能性的区域区别对待.

收稿日期: 2010-05-07; 修回日期: 2010-07-17.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70771007); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-05-0097).

作者简介: 谷淑娟(1984—), 女, 博士生, 从事数据挖掘的研究; 高学东(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 从事管理过程优化等研究.

2 k-增长多尺度网格模型

2.1 k-增长多尺度网格模型的提出

物流配送中心选址优化问题的目标是“选址相关成本最低”，因此客户重心点附近区域出现最优解的概率较大，且这些区域往往位于市中心附近。选址成本对于地价、道路交通等因素较为敏感，距离较远的两个选址候选区域所对应的选址成本可能相差很大，因此在划分网格以得到选址候选区域时，需要较小的划分粒度。反之，远离客户重心点的选址区域，出现选址最优解的概率较小，且多处于城市郊区，地价变动幅度较小，道路分布不集中，距离较远的两个选址候选区域所对应的选址成本相差不大，因此网格划分时可采用较大的粒度。

基于上述分析，本文针对物流配送中心选址问题，提出k-增长多尺度网格模型，即网格尺度以k倍速度递增且由中心向外扩展，见图1。

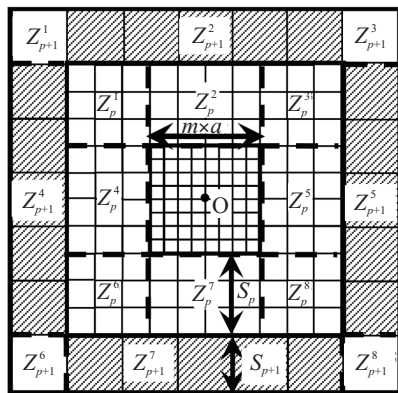


图1 k-增长多尺度网格模型 (k = 2, p = 1)

设选址区域Z的边界为L，中心点为O，其经纬度坐标为(x₀, y₀)；初始网格边长为a，初始网格为m × m个；第p次网格扩展划分向外扩展的距离为S_p (S_p是a的整数倍)，Z_pⁱ = {Z_pⁱ | i = 1, 2, …, 8}为第p次向外扩展区域的一个划分；A_pⁱ和B_pⁱ为长方形区域Z_pⁱ = [A_pⁱ, B_pⁱ]的左上、右下顶点，其坐标分别为A_pⁱ = (x_a, y_a)，B_pⁱ = (x_b, y_b)。

该模型考虑到各选址区域对选址成本的敏感度不同，采用不同粒度对其进行网格划分：靠近中心点区域的网格粒度较小；反之，则网格粒度较大。

2.2 k-增长多尺度网格模型构建方法

建立k-增长多尺度网格模型时，需首先确定网格的中心点，并以此作为基点进行初始网格划分。即先进行最小粒度网格的划分；然后增加网格划分粒度，进行扩展网格划分；最终建立k-增长多尺度网格模型。

2.2.1 中心点确定

设在一个选址区域内配送中心的位置为(x₀, y₀)，存在n个烟草客户r_i (i = 1, 2, …, n)，坐标分别为(x_i, y_i)，各客户的需求量为W_i，配送中心到客户r_i的运输费率为C_i。根据重心法计算客户重心点坐标，即中心点O(x₀, y₀)为

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n C_i W_i x_i}{\sum_{i=1}^n C_i W_i}, y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n C_i W_i y_i}{\sum_{i=1}^n C_i W_i} \quad (1)$$

2.2.2 初始网格划分

初始网格划分的目的是确定中心点O(x₀, y₀)周围的m × m个初始网格，其中m = k^l (k, l为正整数)，称为第p = 0步划分。

输入：中心点坐标O(x₀, y₀)，网格个数m × m。

输出：初始网格坐标GRID_{ij}(a_{ij}, b_{ij}) (i, j = 1, 2, …, m)。

Step 1: 根据中心点O(x₀, y₀)和初始扩展距离S₀ = m × a/2，计算初始网格划分的总体区域范围Z₀[A₀(x₀ - S₀, y₀ + S₀), B₀(x₀ + S₀, y₀ - S₀)]。

Step 2: 在初始网格划分总体区域范围内，按从左到右、从上至下的顺序计算各网格顶点坐标为GRID_{ij}[a_{ij}(x₀ - S₀ + (j - 1)a, y₀ + S₀ - (i - 1)a), b_{ij}(x₀ - S₀ + ja, y₀ + S₀ - ia)] (i, j = 1, 2, …, m)，保存初始划分网格坐标信息并设置网格标识。

2.2.3 网格扩展划分

在第p - 1 (p = 1, 2, …, P_{max})步网格扩展划分结果的基础上(其中P_{max}为网格扩展最大次数)，可进行第p步网格扩展划分。

输入：中心点坐标O(x₀, y₀)，第p - 1 (p = 1, 2, …, P_{max})步网格扩展划分结果，第p步扩展距离S_p。

输出：第p步网格扩展划分结果PGRID(a, b)。

Step 1: 根据第p - 1步划分区域Z_{p-1}坐标Z_{p-1}[A_{p-1}(x_a, y_a), B_{p-1}(x_b, y_b)]和第p步扩展距离S_p，计算第p步网格需扩展的区域顶点坐标，即

$$Z_p[A_p(A_{p-1}.x_a - S_p, A_{p-1}.y_a + S_p), B_p(B_{p-1}.x_b + S_p, B_{p-1}.y_b - S_p)].$$

Step 2: 将Z_p分为8部分，即Z_pⁱ (i = 1, 2, …, 8)，见图1。分别求出Z_pⁱ的顶点坐标，即

$$\begin{aligned} Z_p^1[A_p^1(A_{p-1}.x_a, A_{p-1}.y_a), B_p^1(A_{p-1}.x_a, A_{p-1}.y_a)], \\ Z_p^2[A_p^2(A_{p-1}.x_a, A_{p-1}.y_a), B_p^2(B_{p-1}.x_b, A_{p-1}.y_a)], \\ Z_p^3[A_p^3(B_{p-1}.x_b, A_{p-1}.y_a), B_p^3(B_{p-1}.x_b, A_{p-1}.y_a)], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & Z_p^4[A_p^4(A_p.x_a, A_{p-1}.y_a), B_p^4(A_{p-1}.x_a, B_{p-1}.y_b)], \\
 & Z_p^5[A_p^5(B_{p-1}.x_b, A_{p-1}.y_a), B_p^5(B_p.x_b, B_{p-1}.y_b)], \\
 & Z_p^6[A_p^6(A_p.x_a, B_{p-1}.y_b), B_p^6(A_{p-1}.x_a, B_p.y_b)], \\
 & Z_p^7[A_p^7(A_{p-1}.x_a, B_p.y_b), B_p^7(A_{p-1}.x_a, B_p.y_b)], \\
 & Z_p^8[A_p^8(A_p.x_a, A_p.y_a), B_p^8(A_p.x_a, B_p.y_b)].
 \end{aligned}$$

Step 3: 根据网格边长 ak^p 分别确定 $Z_p^i (i = 1, 2, \dots, 8)$ 需划分的网格数, 并按照初始网格划分中的方法对 Z_p^i 进行网格划分、标识并存储于各网格 (处于边界 L 内).

Step 4: 令 $p = p + 1$, 返回 Step 1, 直到新增的网格均位于边界 L 之外.

3 多尺度网格投影及膨胀算法

按照多尺度网格模型对选址区域进行网格划分后, 便实现了对选址区域的离散化, 初步形成了选址优化模型的候选集.

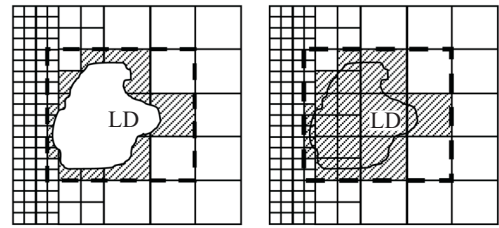
在现实地理环境中, 存在一些区域无法建立物流配送中心, 如河流、绿地、居民区等限制性区域, 此时, 有必要在已形成的网格模型中对限制性区域进行投影操作, 以识别并删除这些区域所对应的网格. 此外, 考虑到建立物流配送中心对于土壤结构、地形、空气湿度等方面的要求, 以及其对周边环境的环保性要求, 通常规定在限制性区域方圆 L km 内不得建立物流配送中心, 其中 L 可根据配送区域实际地理环境和相关政策法规确定. 因此有必要对限制性区域的投影网格进行膨胀操作, 以识别并删除限制性区域的周边区域所对应的网格.

在第 2 节所述的多尺度网格模型基础上, 首先对限制性区域进行投影操作, 得到限制性区域的投影网格集; 然后按照实际选址需求的膨胀距离要求对投影网格集进行膨胀操作; 最后将得到的限制性区域网格从多尺度网格模型中删除, 剩余的多尺度网格集即为最终的选址区域候选集.

3.1 多尺度网格投影算法

多尺度网格投影操作的目的是, 在多尺度网格模型中, 将限制性区域的任意多边形区域映射为网格区域. 首先需确定投影操作所涉及的网格范围, 以减少数据量; 然后对限制性区域的边界进行投影, 形成边界网格; 最后识别该边界内部的网格, 以完成限制性区域全部投影网格的识别.

限制性区域 LD 通常表现为一个封闭的任意多边形区域 (见图 2(a)), 表示为边界上一系列点的序列集合, 即 $LD = \{ldpoint_1, ldpoint_2, \dots, ldpoint_{max}, ldpoint_1\}$. 其中: 点 $ldpoint_i$ 的经纬度坐标为 $(Lat_i, Long_i)$, max 为 LD 边界上点的数量.



(a) 限制性区域边界网格 (b) 限制性区域投影网格

图 2 k -增长多尺度网格投影操作 ($k = 2$)

3.1.1 确定投影操作网格范围

对地理区域进行网格划分, 其网格数量巨大, 因此针对某一限制性区域 LD , 有必要确定对其进行投影操作相关的网格集合, 以减小计算量. 确定投影操作网格范围, 即是确定限制性区域对应网格的最小矩形覆盖 (见图 2(a) 中虚线框). 具体方法为: 针对 LD 所有边界点, 计算经度和纬度的最大值和最小值, 根据 4 个极值对应边界点所在的网格, 即可确定 LD 对应网格最小矩形覆盖区域 REC 的 4 条边.

根据 LD 对应网格区域最小矩形覆盖区域 REC 的边界, 确定该范围内的多级网格集合 $RECGRID$, 即为 LD 区域投影操作相关的网格集合.

3.1.2 确定限制性区域的边界网格

在 LD 区域投影操作相关的网格集合 $RECGRID$ 范围内, 确定 LD 所有边界点所在的网格, 即为 LD 的边界所对应的网格, 记为 $LDBOUND = \{boundgrid_j | ldpoint_i \text{ 在 } boundgrid_j \text{ 内}, ldpoint_i \in LD; boundgrid_j \in RECGRID\}$, 见图 2(a) 中阴影网格.

3.1.3 识别限制性区域边界内部网格

识别 $RECGRID$ 范围内的网格是否落在 $LDBOUND$ 所围成的封闭空间内. 射线法可用于判断某一点是否在某任意多边形内部, 即从该点向某一固定方向作射线, 并计算射线与多边形的交点数量. 若交点数量为奇数, 则该点在多边形内; 否则, 反之.

在此过 $RECGRID$ 内某网格沿经线作射线, 其与多边形的交点均为多边形顶点, 是射线法的特殊情况, 需判断各交点的相邻顶点 (经度不同) 是否在射线的两侧, 若不在, 则该交点不算数. 得到 LD 边界内部的网格集合 $INGRID$, 对 LD 进行投影操作, 最终得到结果为 $PROJGRID = INGRID \cup LDBOUND$, 见图 2(b) 中阴影网格.

3.2 多尺度网格膨胀算法

多尺度网格膨胀操作的目的是, 对限制性区域 LD 投影网格进行指定距离的四周式扩展, 识别 LD 指定距离范围内的“周边网格”.

网格膨胀是“数学形态学”^[10]中的基本操作. “数

学形态学”是分析几何形状和结构的数学方法,广泛应用于数字图像处理和识别.膨胀运算用于“增大”图像中特征形状的尺寸.设处理对象 A 为 p 个网格的集合,即 $A = \{\text{agrid}_i | i = 1, 2, \dots, p\}$; 特征形状 B 为 q 个向量的集合,即 $B = \{b_j | j = 1, 2, \dots, q\}$. 令对象 A 分别沿着 $b_j (j = 1, 2, \dots, q)$ 的尺度和方向平移,平移过程中所覆盖的网格的并集即为对 A 按照特征形状 B 进行膨胀操作的结果,记为 $A \oplus B$.

根据“数学形态学”中膨胀操作的定义,易得到一个简单的网格膨胀方法,即将限制性区域投影网格 PROJGRID 相邻网格全部归入膨胀网格集 EXPGRID 中,若未达到指定膨胀距离 L ,则将 EXPGRID 并入投影网格集 PROJGRID 中;重复上述操作,直到满足膨胀距离要求.然而,在多尺度网格模型中,PROJGRID 相邻区域中可能存在不同尺度的网格,使得膨胀过程中可能出现小尺度网格膨胀距离仍小于 L ,而同层次的大尺度网格已经超出 L .

下面将提出一种多尺度网格膨胀操作算法,即在膨胀过程中针对不同尺度的网格变换网格膨胀尺度,其中关键问题是判定任意网格是否应归入膨胀网格集 EXPGRID.

3.2.1 网格膨胀判定函数

以限制性区域 LD 的投影网格集 PROJGRID 为中心,向四周进行多层膨胀操作,第 l 层膨胀操作结果的相邻网格集作为第 $l+1$ 层膨胀操作的输入对象.以此类推,直至满足膨胀距离要求.

设在第 l 层膨胀操作中,当前网格为 $G_l^i (G_l^i \in \text{PGRID})$,其边长为 slength_l^i , G_l^i 到限制性区域 LD 边界网格的最小距离为 L_l^i ,则网格膨胀判定函数定义为

$$\text{WetherExp}(G_l^i) = \begin{cases} 1, & \frac{L - L_l^i}{\text{slength}_l^i} \geq d_{\text{thresh}}; \\ 0, & \frac{L - L_l^i}{\text{slength}_l^i} < d_{\text{thresh}}. \end{cases} \quad (2)$$

其中: $L - L_l^i$ 表示当前网格的“需膨胀距离”,记为 NL_l^i ,由 G_l^i 在上一层膨胀操作中相邻网格 G_{l-1}^j 的“需膨胀距离”减去 G_{l-1}^j 边长求得;第 $l = 1$ 层膨胀操作中所有待判定网格的“需膨胀距离”均为 L ; d_{thresh} 为膨胀阈值(缺省值为 0.5).

针对网格 G_l^i ,当需膨胀距离 L_l^i 与边长 slength_l^i 的比值小于膨胀阈值时,不将该网格归入膨胀网格集合中,判定函数值为“0”;反之,若判定函数值为“1”,则表示需将当前网格归入膨胀网格集 EXPGRID,以便从多尺度网格模型中删除,从而形成最终的网格候选集.

3.2.2 多尺度网格膨胀算法步骤

输入: 多尺度网格 PGRID 及网格边长 slength ,

LD 投影网格 PROJGRID, 膨胀距离 L .

输出: 膨胀网格集 EXPGRID.

Step 1: 进行初始层网格膨胀操作,即 $l = 1$. 对 PROJGRID 内各网格 projgrid_i 进行如下操作:

Step 1.1: 确定网格 projgrid_i 的邻居网格集 $\text{NEIGHBERGRID}(\text{projgrid}_i) = \{n_{\text{grid}_j} | j = 1, 2, \dots, n_{\text{max}}\}$ (且不存在于 PROJGRID 中);

Step 1.2: 针对 $\text{NEIGHBERGRID}(\text{projgrid}_i)$ 中的各元素 $n_{\text{grid}_j} (j = 1, 2, \dots, n_{\text{max}})$, 计算需膨胀距离 $\text{NL}_1^j = L - L_1^j$, 利用式(2) $\text{WetherExp}(n_{\text{grid}_j})$ 确定第 $l = 1$ 层膨胀操作的结果,并写入膨胀网格集 $\text{EXPGRID} = \{G_1^i | G_1^i \in \text{NEIGHBERGRID}(\text{projgrid}_i) \& \text{WetherExp}(G_1^i) = 1\}$.

Step 2: 进行第 $l = 2, 3, \dots, l_{\text{max}}$ 层膨胀操作,直至没有新网格加入 EXPGRID 中.第 l 层膨胀操作时,以 EXPGRID 的子集 $\{G_{l-1}^i\}$ 作为中心,对其中各网格 G_{l-1}^i 进行如下操作:

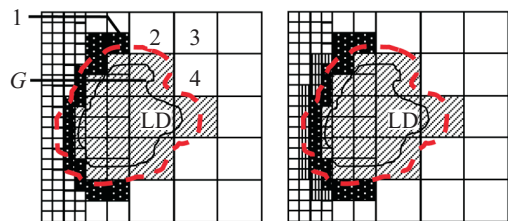
Step 2.1: 确定网格 G_{l-1}^i 的邻居网格集 $\text{NEIGHBERGRID}(G_{l-1}^i) = \{n_{\text{grid}_j} | j = 1, 2, \dots, n_{\text{max}}\}$;

Step 2.2: 针对 $\text{NEIGHBERGRID}(G_{l-1}^i)$ 中的各元素 $n_{\text{grid}_j} (j = 1, 2, \dots, n_{\text{max}})$, 计算需膨胀距离 $\text{NL}_l^j = \text{NL}_{l-1}^i - \text{slength}_{l-1}^i$, 利用式(2)确定第 l 层膨胀操作的结果,并写入膨胀网格集 $\text{EXPGRID} = \text{EXPGRID} \cup \{G_l^i | G_l^i \in \text{NEIGHBERGRID}(G_{l-1}^i) \& \text{WetherExp}(G_l^i) = 1\}$;

Step 2.3: $l = l + 1$, 返回 Step 2.

Step 3: 输出最终膨胀网格集 EXPGRID.

图 3 给出了 3 种尺度网格边长分别为 1 km, 2 km 和 4 km; $L = 1.8$ km, $d_{\text{thresh}} = 0.5$, 对限制性区域 LD 投影集 PROJGRID (同图 2(b)) 进行第 $l = 1$ 层膨胀操作的结果 (图 3(a) “■” 部分).



(a) 第 $l=1$ 层膨胀操作 (b) 第 $l=2$ 层膨胀操作

图 3 k -增长多尺度网格投影操作 ($k = 2$)

以网格 G 为例,其相邻网格分别为网格 1, 2, 3 和 4. 其中: 网格 1 对应的膨胀判定函数值为 $1((L - L_1^1)/2a = (1.8 - 0)/(2 \times 1) = 0.9 > d_{\text{thresh}} = 0.5)$, 因此可将其归入膨胀网格集 EXPGRID; 而网格 2 不能归入 EXPGRID, $(L - L_1^2)/4a = (1.8 - 0)/(4 \times 1) =$

$0.45 < d_{\text{thresh}} = 0.5$; 网格3和网格4同理操作. 在此基础上, 进行第 $l = 2$ 层膨胀操作(见图3(b)“▣”部分). 图3(b)中虚线为限制性区域LD的1.8 km等距线, 可见膨胀操作后的结果已覆盖了该等距线所包围的大部分区域.

4 实验及结果分析

本文采用内蒙古自治区通辽市烟草物流配送中心选址应用的相关数据, 对文中所提出相关方法的有效性和效率进行验证和对比分析.

4.1 实验背景与数据

通辽市位于内蒙古自治区东部, 总面积为 $59\,535\text{ km}^2$, 境内流域面积 100 km^2 以上的河流共47条, 自然湖泊600余个, 境内草原面积 $2\,182\text{ km}^2$.

本实验利用MapInfo 7.0将河流、湖泊、绿地、居民区等限制性区域标注在通辽市电子地图中, 共获得封闭任意多边形1119个. 其中: 河流313个, 湖泊、水库778个, 绿地23个, 居民区5个. 拟建烟草物流配送中心面积 $66\,700\text{ m}^2$. 此外, 拥有通辽市烟草客户5537个, 客户单次配送烟草需求总量为273749条.

4.2 实验结果分析

1) 多尺度网格划分结果. 据第2节多尺度网格模型的构建方法, 对通辽市地理区域进行多尺度网格划分, 如图4所示, 其中网格中心点坐标为 $(43.805\,629\,33^\circ, 121.662\,9604^\circ)$. 3种尺度网格边长分别为1050 m, 2100 m, 4200 m, 网格总数为16056, 此即为初步形成的选址候选集.

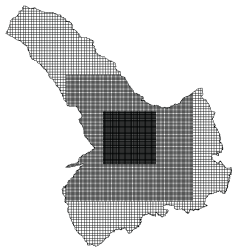


图4 内蒙通辽地理区域多尺度网格划分结果($k = 2$)

2) 多尺度网格投影及膨胀操作结果. 针对各类限制性区域, 对多尺度网格集进行投影和膨胀操作, 将两步操作所对应的网格从初始选址候选集中删除, 得到最终的选址候选集, 见图5. 其中投影操作

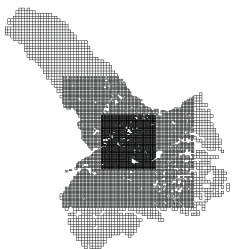


图5 内蒙通辽多尺度网格投影、膨胀操作后结果

删除网格2460个, 膨胀操作删除网格829个(膨胀距离 $L = 1\text{ km}$), 最终形成的选址候选集中网格数量为1767个.

3) 多尺度网格模型选址结果及其与等尺度网格模型选址结果对比分析. 将上述配送中心选址候选集输入选址优化模型, 即可得到最终的选址结果. 这里, 选址优化模型的目标函数为“选址相关成本最低”. 选址相关成本包括“一次配送成本”和“配送中心建设成本”. 其中: “一次配送成本”指拟建配送中心向各客户配送一次所对应的运输费用. 计算方法为: 先将通辽市烟草客户进行聚类分析(以单车配送容量作为类约束条件), 形成69个客户类; 再计算拟建配送中心到各客户类的实际配送路程, 并折算成耗油成本. “配送中心建设成本”指建设配送中心的购地成本(折算至1周, 折旧期限20年).

利用贪婪搜索方法对选址优化模型进行求解, 得到该次实验的局部最优解网格, 从中选取成本最小的5个网格作为优化模型满意解集.

将基于多尺度网格模型的选址候选集与基于等尺度网格划分的选址候选集所对应的优化模型求解结果进行对比, 其中等尺度网格边长分别选取1050 m和4200 m. 针对各尺度网格模型分别进行5次实验, 每次实验随机抽取500个不同的起始网格进行搜索.

边长为1050 m的等尺度网格划分粒度较小, 其满意解平均成本为12997.51元(见表1), 比边长为4200 m的等尺度网格候选集相应成本低66.49元. 然而小尺度网格候选集的运行效率低下, 平均运行时间约为大尺度网格候选集相应运行时间的20倍.

表1 多尺度网格模型与等尺度网格模型选址结果的有效性及效率对比

满意解次序(按成本 降序排列)	小尺度网格 边长1050 m		大尺度网格 边长4200 m		多尺度网格	
	成本/元	时间/ms	成本/元	时间/ms	成本/元	时间/ms
1	12 979.43	3 297.00	12 982.85	163.00	12 979.43	872.00
2	12 980.20	3 214.00	12 986.14	145.00	12 980.20	726.00
3	12 981.00	3 331.00	13 033.11	165.00	12 981.00	567.00
4	13 020.20	3 208.00	13 148.37	185.00	13 026.72	654.00
5	13 026.72	2 851.00	13 169.54	110.00	13 029.44	544.00
平均值	12 997.51	3 180.20	13 064.00	153.60	12 999.36	672.60

注: 其中运行时间为随机抽取500个不同的起始网格进行贪婪搜索时, 满意解成本所对应搜索次数的平均时间.

多尺度网格候选集所对应的满意解平均成本为12999.36元, 与小尺度网格满意解成本基本相同, 见图6; 但多尺度网格候选集上进行搜索的效率得到很大提高, 平均运行时间仅为672.60 ms, 约为小尺度网格候选集求解平均运行时间的20%, 见表1和图7.

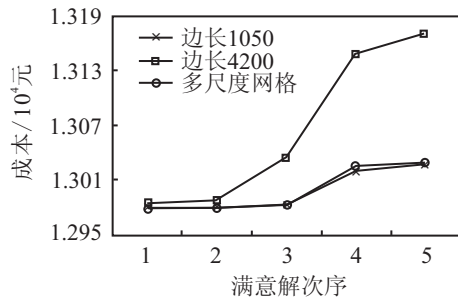


图6 多尺度与等尺度网格模型选址有效性对比

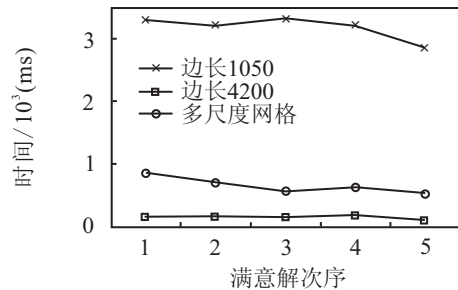


图7 多尺度与等尺度网格模型选址效率对比

实验中随机抽取500个不同的起始网格进行贪婪搜索,小尺度网格所对应的优化模型求解运行总时间约为26 min,而多尺度网格模型运行时间仅约为6 min.由此可见,与等尺度网格候选集相比,多尺度网格候选集能够平衡效率与效果之间的矛盾,以较高的效率得到较为有效的满意解.

5 结论

在物流配送中心选址研究中,需要能够有效处理“限制性区域”约束的选址区域候选集构造方法.对此,本文提出一种基于多尺度网格模型的选址区域候选集构建方法,能够对选址敏感度不同的区域进行尺度差异化处理.在此基础上,针对“限制性区域”,提出了多尺度网格投影及膨胀算法,能够有效识别并剔除“限制性区域”及其周围指定范围内的多尺度网格.通过对内蒙古通辽市烟草配送中心选址相关数据进行数值实验表明,基于多尺度网格的选址候选集构建

方法灵活有效,与等尺度网格划分方法相比,能以较高的效率得到较为有效的满意解.

参考文献(References)

- [1] Aikens C H. Facility location models for distribution planning[J]. *European J of Operational Research*, 1985, 22(3): 263-279.
- [2] 日通综合研究所. 物流手册[M]. 北京: 中国物资出版社, 1986.
(Nittsu Research Institute and Consulting: Logistics manual[M]. Beijing: China Material Publishing House, 1986.)
- [3] Mirchandani P, Francis R. Discrete location theory[M]. New York: Wiley, 1990.
- [4] Andreas K, Andreas D. Facility location models for distribution system design[J]. *European J of Operational Research*, 2005, 162(1): 4-29.
- [5] Sridharan R. The capacitated plant location problem[J]. *European J of Operational Research*, 1995, 87(2): 203-213.
- [6] Kuehn A A, Hamburger M J. A heuristic program for locating warehouses[J]. *Management Science*, 1963, 9(4): 643-666.
- [7] William J B, Philip W. A warehouse location problem[J]. *Operational Research*, 1958, 6(2): 252-263.
- [8] 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 G. Logistics distribution center allocation based on ant colony optimization[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2006, 26(4): 120-124.)
- [9] 李德仁. 论广义空间信息网格和狭义空间信息网格[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 513-520.
(Li D R. On generalized and specialized spatial information grid[J]. *J of Remote Sensing*, 2005, 9(5): 513-520.)
- [10] Serra J. Image analysis and mathematical morphology[M]. New York: Academic Press, 1982.

(上接第1140页)

- [8] 朱国发, 陈学允. 非线性跟踪-微分器[J]. *控制理论与应用*, 1999, 16(6): 898-902.
(Zhu G F, Chen X Y. Nonlinear tracking-differentiator[J]. *Control Theory & Applications*, 1999, 16(6): 898-902.)
- [9] 王新华, 陈增强, 袁著祉. 全程快速非线性跟踪-微分器[J]. *控制理论与应用*, 2003, 20(6): 875-878.

(Wang X H, Chen Z Q, Yuan Z Z. Nonlinear tracking-differentiator with high speed in whole course[J]. *Control Theory & Applications*, 2003, 20(6): 875-878.)

- [10] Rosier L. Homogeneous Lyapunov function for homogeneous continuous vector field[J]. *Systems and Control Letters*, 1992, 19: 467-473.