

城市物流基础设施选址的算法研究

高歌¹, 张慧², 李国旗³

¹中国铁路广州局集团有限公司广州房建公寓段, 广东 广州

²中科(湖南)先进轨道交通研究院有限公司, 湖南 株洲

³西南交通大学交通运输与物流学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年2月14日; 录用日期: 2023年3月7日; 发布日期: 2023年3月15日

摘要

针对城市物流需求分布具有产业集群与规模经济特点, 通过引入物流需求层、物流相似程度概念来进行物流需求区的划分, 综合运用聚类分析、重心法, 相似度判定的计算方法, 提出了一种适用于城市用地集中分布的城市物流基础设施选址启发式算法, 得出物流基础设施的合理的服务半径范围, 并尽可能小的圈定选址范围。最后结合实例分析, 验证了算法的有效性, 为城市物流规划工作提供了方法支撑。

关键词

城市物流基础设施, 服务半径, 选址, 相似程度, 物流需求层

A Location Algorithm of Urban Logistics Infrastructure

Ge Gao¹, Hui Zhang², Guoqi Li³

¹Guangzhou Housing Construction Apartment Section of China Railway Guangzhou Bureau Group Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²China Science (Hunan) Advanced Rail Transit Research Institute Co., Ltd., Zhuzhou Hunan

³School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 14th, 2023; accepted: Mar. 7th, 2023; published: Mar. 15th, 2023

Abstract

As the distribution of urban logistics demand is characterized by industrial cluster and scale economy, logistics demand zones are divided by introducing the logistics demand layer and the

concept of logistics similarity. Based on the method of clustering analysis, center of gravity method and similarity determination, a heuristic algorithm for infrastructure location of urban logistics that is suitable for urban land distribution is proposed, through which the service radius of the facilities can be determined, and the solution process of the algorithm is given. Taking the logistics demand distribution in a certain city as a case study, it is verified that the algorithm is more effective in cities where the distribution of demand shows industrial clustering and the macroscopic urban form is centralized. With its scientificity and practicality, the algorithm is in a position to provide method support for urban logistics planning.

Keywords

Urban Logistics Infrastructure, Service Radius, Location, Similar Level of Logistics, Logistics Demand Layer

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

物流基础设施选址的关键在于实现物流需求点的最大覆盖，同时降低物流基础设施的建设与运营成本。其次，服务半径的确定问题是选址中需要考虑的重要因素，许多传统的选址问题都是从最初的考虑距离(半径)问题发展而来的[1]。1909年，当时 Alfred Weber 为解决如何为单个仓库选址使得仓库到多个顾客间的总距离最小的问题，他在欧氏空间里建立了一个 1-中位问题模型，就是著名的 Weber 问题。选址研究中的其他典型问题，例如中值问题、覆盖问题、中心问题、多目标选址、竞争选址以及选址—分配、选址—路线等联合选址问题，他们数学求解模型基本都是 NP-Hard 问题，求解难度大，精确度难以保证[2]。

物流基础设施选址问题已有研究成果，为了取得精确解，往往舍弃很多约束条件。因此，本文探讨在满足算法求解精度的基础上，尽量使假设条件接近实际许多选址问题追求的目标，探索一种使设施的服务半径与选址范围更精准，能够供决策者实际使用的启发式算法[3]。

2. 带服务半径的城市物流基础设施选址模型

2.1. 问题描述

在城市物流需求量及其分布已知的情况下，构建一个充分考虑基础设施的服务对象数量与总量，带服务半径的城市物流基础设施选址方案，为物流基础设施的规划方等提供参考依据[4]。模型需要解决的在具有能够完全覆盖一个城市的若干个待选区域内选择合理的服务半径范围，并尽可能小的圈定选址范围[5]，具体问题可以简化为图 1 所示。

2.2. 符号说明

1) 上下标

m 为最初的物流需求区的数量， $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ ； m' 为在已有的 m 个物流需求区划分的基础上，按不同物流需求点对物流设施的要求程度进行划分确定的物流需求区数量； α 表示强物流需求层次中需求总量最大， β 强物流需求层次中需求点数量最多。

2) 参数

d_m 为第 m 个物流需求区的编号； r_o^m 为第 d_m 个物流需求区的服务半径； R 为覆盖所有物流需求的服务半径； n 为物流需求区的分层数； n_m^α 为每个 D_m 中最大物流需求总量的强物流需求层； n_m^β 为每个 D_m 中最多物流需求点数量的强物流需求层； $\xi(i, j)$ 为两个物流需求点之间的相似程度； D_m 为经过相似程度划分后的物流需求区的编号； r_1^m 为第 D_m 个物流需求区的服务半径。

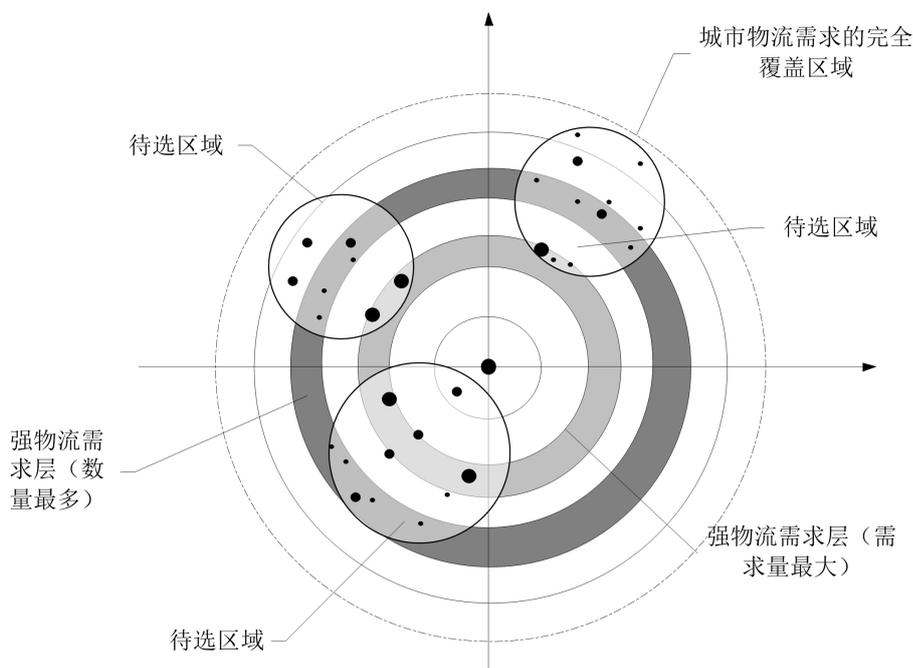


Figure 1. Distribution of urban logistics demand
图 1. 城市物流需求分布图

2.3. 算法步骤及求解过程

首先，引入强物流需求层、物流相似度的概念，给出物流相似度的评判计算公式。其次，综合运用聚类分析、重心法进行关键参数的确定，具体求解过程如下：

Step 1: 运用 SPSS 统计软件，对给定城市的物流需求点按距离进行聚类分析，并圈定若干个区域，即 d_m 。

Step 2: 针对各个 d_m ，建立坐标系，测量每个需求点的坐标，计算每个需求点之间的距离。即： $L_{ij} = \sqrt{(i_x - j_x)^2 + (i_y - j_y)^2}$ ，取 $\text{Max } L_{ij}$ 作为区域的服务直径，其 1/2 为： r_o^m 。

Step 3: 城市物流基础设施的选址范围与服务半径受服务对象的影响。例如，大型的物流园区、中心一般具备面向多个行业和区域提供服务，服务对象多、覆盖面大[6]。而配送中心则主要专注于某一特定行业和区域，服务对象较明确，服务范围半径相对较小。因此，在此引入物流处理对象的相似程度这一概念，对同一城市的物流需求点进行相似程度分析，能够有效确定城市物流基础设施的选址范围和服务半径[7] [8] [9]。

物流相似程度是指具有物流需求的物资在运输、仓储、装卸搬运、流通加工、信息处理等作业环节过程中的吻合程度，主要表现在对相关设施和设备的具体要求。相似程度高的物流需求集中处理，有利于提高设施的作业效率、减少设施设备投入，提高专业化水平。物流相似程度主要由物资类型、重量、

体积、规格、理化性质等决定的。例如：烟草、农副产品、汽车、机电产品的物流相似程度各有差异，很难利用统一的运输、仓储设施设备来处理，但是相对而言，汽车与机电产品的相似程度比烟草、农副产品要高。

为了更好的判定相似程度，必须建立合理的评判指标体系，并给出相似度的量度标准。

用 $\xi(x, y)$ 表示两者之间的相似程度， $\xi(x, y)=1$ 表示两者之间相同，是同种物资，具有相同的规格、重量及体积。 $\xi(x, y)=0$ 表示两者之间不相容，不能存放、装运在一起。衡量两者相似程度的指标有很多，一级评判标准主要有运输设施设备、存储设施设备、拣选设施设备、装卸搬运设施设备、流通加工设施设备、信息系统及理化性质等。

关于物流需求点的相似程度的各个评判指标的评价方法多可以采用常见的评价方法，如层次分析法、问卷调查法、德尔菲法等，在此不一一列举。此处提出一种在各一级评判指标取得赋值的情况下，如何评判两点之间的相似程度的方法。

假定：以物流需求点 1 为基准，将其他的 4 个物流需求点与其进行比较，得出各个一级指标与其相似程度值，并形成物流需求点相似程度的雷达图。

通过雷达图，可以求出各个需求点所形成的面积。推广到一般意义，一级指标有 τ 个，需求点有 λ 个，则通过雷达图能够得到 λ 个 τ 边形。取中间点的坐标为 $(0, 0)$ ，各个 τ 边形的计算公式为：

将 τ 边形拆分 τ 以 $(0, 0)$ 为顶点的三角形，根据海伦定律，在已知各边边长的情况下，多边形的面积为各三角形的面积之和。

$$s = \sum_{i=1}^{\tau} \sqrt{p_i(p_i - a_i)(p_i - b_i)(p_i - c_i)} \tag{1}$$

其中： $p_i = \frac{(a_i + b_i + c_i)}{2}$ ； a_i, b_i, c_i 为三角形的三边， $i = (1, 2, \dots, \tau)$ 。

同理，所有物流需求点的面积都可以通过公式(1)计算得到，设定基准需求点构成的面积为 s° ，将 $s^\circ - s$ 得到的面积与 s° 比较。当 $s=0$ ，表示两点之间不相容；当 $s \in \left(0, \frac{s^\circ}{4}\right]$ ，表示两者之间不相似；当 $s \in \left(\frac{s^\circ}{4}, \frac{s^\circ}{2}\right]$ ，表示两者之间一般相似；当 $s \in \left(\frac{s^\circ}{2}, \frac{3s^\circ}{4}\right]$ ，表示两者之间相似；当 $s \in \left(\frac{3s^\circ}{4}, s^\circ\right)$ ，表示两者之间十分相似；当 $s = s^\circ$ ，表示两者之间相同。

通过以上处理后，可以形成一张相似度表，并能够区分出相互之间的相似程度，将 $s \in \left(\frac{3s^\circ}{4}, s^\circ\right]$ 情况下的需求点与基准需求点归为一类。

Step 4: 在步骤四的基础上，重新形成的物流需求区 D_m ，并利用步骤二的方法计算出 $r_1^{m'}$ 。

Step 5: 城市物流需求分层的主要目的是找出需求总量大、需求点数量集中的区域，为进一步的服务半径和选址范围确定提供依据。文中以物流需求区中 $\text{Min } r_1^{m'}$ 为最小半径画圆，并依次为倍数画同心圆，同心圆的个数为 $\frac{R}{\text{Min } r_1^{m'}}$ 。并计算各个 D_m 中的 n_m^α 和 n_m^β 。

Step 6: 在 D_m 形成的各个圆中，利用选址模型中的重心法计算每个圆覆盖到的 n_0^α ， n_0^β 部分中需求点的重心，分别定义为 $\alpha^{m'}$ ， $\beta^{m'}$ ，并以各自重心为圆心画圆，将该区域的所用物流需求点覆盖，其半径分别为将 $r_\alpha^{m'}$ ， $r_\beta^{m'}$ D_m 形成的各个圆的圆心定位为 $\phi^{m'}$ ，其半径为 $r_1^{m'}$ 。存在以下三种情况，如下图 2 所示。

第一种情况为 $\phi^{m'}$ 位于 $r_\alpha^{m'}$ 和 $r_\beta^{m'}$ 为直径所构成的圆之内，该情况既实现了全部覆盖，也满足的经济半径的确定，算法可以终止，选址范围可以在如图 2 第一种情况所示意的阴影部分。

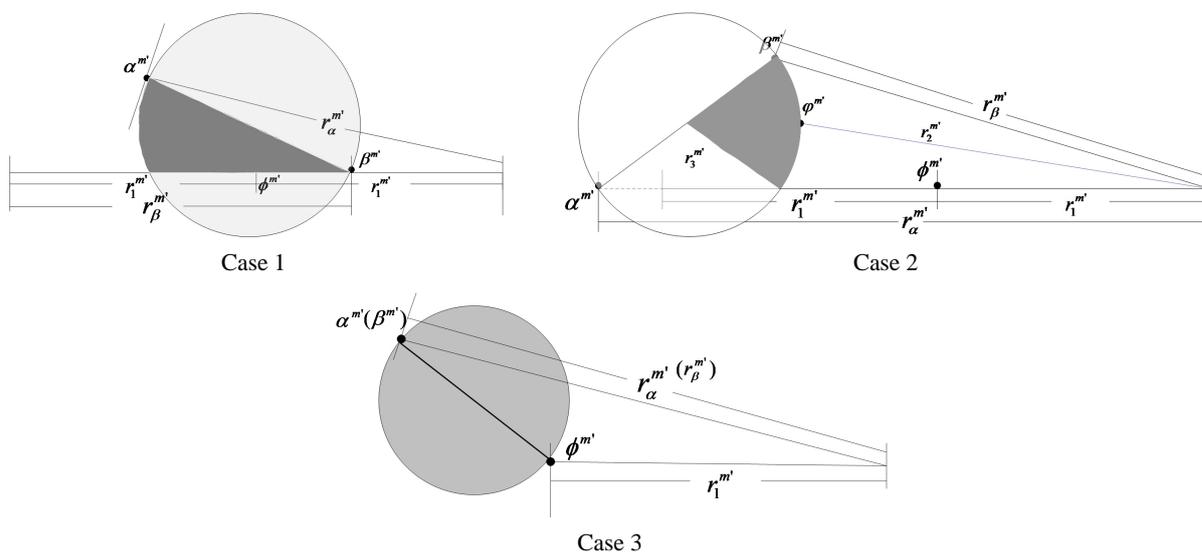


Figure 2. And the three relationships

图 2. α^m , β^m 和 ϕ^m 三者关系图

第二种情况为 ϕ^m 位于 r_α^m 和 r_β^m 为直径所构成的圆之外, 该情况实现了全部覆盖, 且服务半径也是最小的, 但偏离两个强物流需求层, 也就是无法及时有效的满足最重要顾客和大多数顾客的需要, 需调整 ϕ^m 至 $\phi^{m'}$, 选址范围可以在如图 2 第二种情况所示意的阴影部分。

第三种情况为 ϕ^m 所构成的圆仅覆盖可强物流需求层中的一个, 选址可以在由 ϕ^m 和 α^m (β^m) 为直径构成的圆内进行, 推荐选址点为 ϕ^m 、由 ϕ^m 和 α^m (β^m) 为直径构成的圆的圆心、 α^m (β^m), 具体情况可根据具体分析。

3. 实例分析

以某市汽配行业、农副产品批发市场抽样的 32 个物流需求点为例, 对模型及方法进行验证分析。

Step 1, 运用 SPSS 统计软件, 对 32 个物流需求点按照距离进行聚类分析, 将某市的物流需求分为 A、B、C 三个区域, 如图 3 所示。

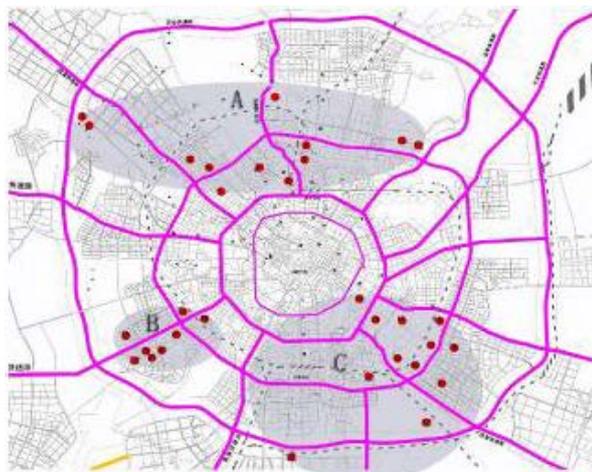


Figure 3. Clustering partition diagram of logistics demand in a city

图 3. 某市物流需求聚类分区图

Step 2, 通过利用坐标法, 建立能够覆盖, A、B、C 三个物流需求区的圆, 并计算其各自的半径, 需求区 A、B、C 的半径分别为 9090 m、2377 m、5732 m。

Step 3, 运用专家评分法, 从运输、仓储、装卸搬运、流通加工、信息处理等设施设备方面对 32 个物流需求点的物流相似程度进行综合评分。在此, 以物流需求点 1 为基准, 将其他的 31 个物流需求点与其进行比较, 得出各个一级指标与其相似程度值, 并形成图 4, 可以求出各个需求点所形成的面积。

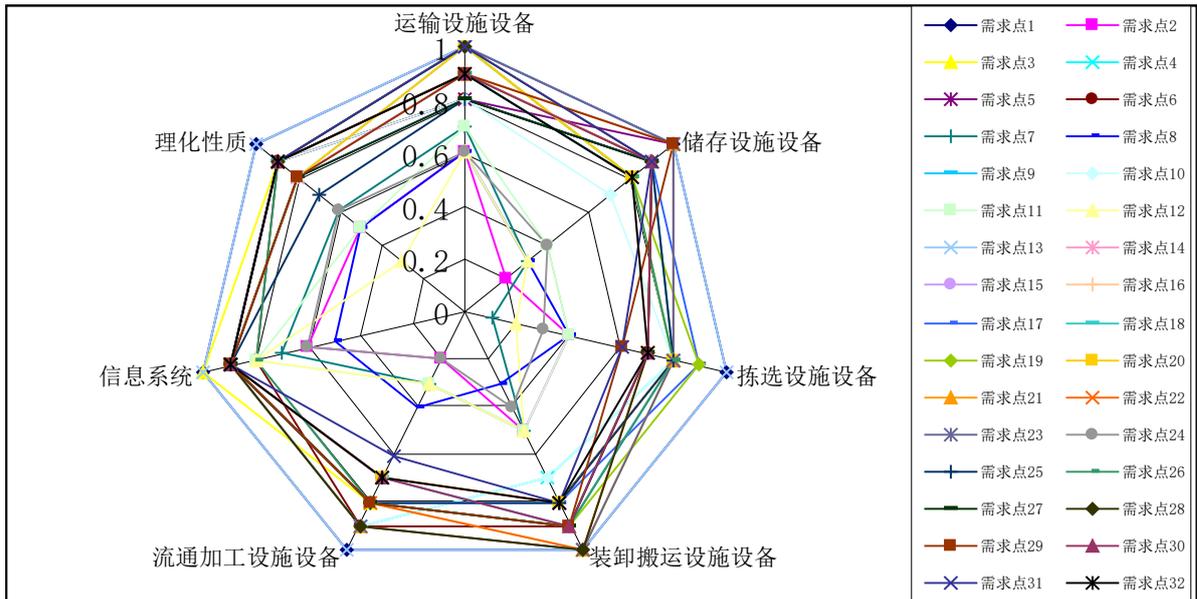


Figure 4. Logistics demand point radar
图 4. 物流需求点雷达图

利用多边形面积计算公式, 并以 $s \in \left[\frac{3s^\circ}{4}, s^\circ \right]$ 作为判定条件, 得出与需求点 1 归为一类的点为: 1、3、4、5、6、9、10、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、25、26、27、28、29、30、31、32。

利用同样的原理, 可以计算出物流需求区 A 的同类点为 1、3、4、5、6、9、10, 其它点为 2、7、8、11、12; 需求区 B 的同类点为 25、26、27、28、29、30、31、32, 其它点无; 需求区 C 的同类点为 13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23, 其它点为 24。

对于剩余的其它物流需求点, 同样利用上述方法进行相似程度衡量, 重新形成的物流需求区 D_m , 并利用步骤二的方法计算出 $r_1^{m'}$, 如表 1 所示。

Table 1. Radius of logistics demand area after secondary zoning
表 1. 二次分区后的物流需求区半径

物流需求区	物流需求区编号	Max L'_{ij}	$r_1^{m'}$
A	1、3、4、5、6、9、10	12,348 m	6174 m
	2、7、8、11、12	17,737 m	8869 m
B	25、26、27、28、29、30、31	4574 m	2377 m
C	13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23	7904 m	3952 m
	24	-	-

定义半径为 6174 m 的圆为 E、半径为 8869 m 的圆为 F、半径为 2377 m 的圆为 G、半径为 3952 m 的圆为 H。最大的 R 为 14,200 m，依据 $R/\text{Min } r_1^m$ 公式计算同心圆的个数为 5.97 个，即 6 个，如图 5 所示。



Figure 5. Logistics demand stratification after secondary zoning
图 5. 二次分区后的物流需求分层

圆 E 的 n_m^α 为第三层、 n_m^β 为第三层，符合步骤六的第三种情况；圆 F 的 n_m^α 为第六层、 n_m^β 为第四层，符合步骤六的第一种情况；圆 G 的 n_m^α 为第四层、 n_m^β 为第五层，符合步骤六的第一种情况；圆 H 的 n_m^α 为第五层、 n_m^β 为第四层，符合步骤六的第二种情况；利用步骤六的方法，可以确定 E、F、G、H 的半径及选址范围，其中，圆 E 的半径可以在 [6174, 8673] 间波动；圆 F、G 的半径及选址范围保持不变；圆 H 的半径可以在 [1826, 3952] 间波动。

4. 结论

城市物流基础设施的选址决策问题一直是物流领域的研究热点与难点，研究更加高效的算法具有重要实际意义。本文设计了一种适用于城市用地集中分布的城市物流基础设施选址启发式算法，求解满足尽量使设施的服务半径与选址范围缩小的满意解。通过 32 个物流需求点算例验证，该算法能够有效确定城市物流基础设施合理的服务半径范围和缩小选址范围。通过研究发现，算法对需求分布呈现产业集聚性、城市宏观形态为集中性的城市比较有效。

参考文献

- [1] 严冬梅. 城市物流中心选址问题研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2004.
- [2] 秦进. 多商品物流网络设计相关优化模型及算法研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [3] 张锦. L-OD 预测理论与现代物流规划方法研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2004: 30-45.
- [4] 姜大远. 基于多节点的物流选址规划研究[J]. 铁道运输与经济, 2005, 27(8): 24-26.
- [5] 后锐, 张毕西. 基于城市空间演化的物流设施布局与规划[J]. 城市问题, 2006(4): 32-35.
- [6] 李国旗. 具有多属性特征的城市物流设施布局优化研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [7] 余娟. 模糊视角下生鲜农产品供应网络优化设计[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2016.

- [8] 郭毓婷. 考虑时间惩罚成本的线状需求物流节点选址研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [9] 郭咏梅, 胡大伟, 珠兰, 段澄莹. 考虑可靠性要素的应急物流设施选址分配问题的建模研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(2): 85-89.