

基于道路网络的商业网点市场域分析

王新生^{1, 2}, 余瑞林², 姜友华³

(1 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062;

2 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062; 3 武汉大学土木建筑工程学院, 武汉 430079)

摘要: 社会经济活动中人们的空间行为往往是基于道路网络来实现的。但是, 目前多数研究都假设地理空间是一个均质空间, 采用基于平面欧氏距离的空间分析方法, 这是有局限的。本文阐述了基于网络距离的网络 Voronoi 图基本概念和实现方法, 以武汉市商业零售连锁企业为例, 分别采用基于欧氏距离的普通 Voronoi 图方法和基于网络距离的网络 Voronoi 图方法来确定商业零售网点的市场域, 结果表明武汉市主城区商业网点市场域较小、主城区外围市场域较大。市场域大小与城市路网密度呈现一定相关关系, 路网密度高、市场域小, 路网密度低、市场域大。两种方法的计算结果存在一定差异, 差异大小与路网密度有关, 路网密度大、差异小, 路网密度小、差异大。这表明在路网密度大的情况下, 可以采用普通 Voronoi 图粗略地模拟商业网点的市场域。

关键词: 商业网点; 市场域; Voronoi 图; 网络距离; 欧氏距离

文章编号: 1000-0585(2008)01-0085-08

1 引言

商业网点的市场域分析在商业企业的经营战略中占有重要地位, 它是新网点选址的前提、物流配送配置的依据, 可以使企业了解所存在的市场机会、制定有效的竞争经营策略、挖掘企业的销售潜力。目前, 存在许多针对现实的市场功能区域进行空间分析和模拟的模型, 如 Reilly 的零售重力模型、Batty 的裂点方程、Tobler 的价格场和作用风以及众多的修正式, 但是这些理论模型在应用中存在一个问题, 即在分析有多个中心地的市场功能区域时由于缺乏可视性和连续性, 其分析结果的成图十分困难^[1]。由于 Voronoi 图具有势力范围的重要性质, 这为地理学中复杂条件下多地理实体空间影响范围划分问题的解决提供了一种新途径。地理实体空间影响范围划分问题, 实质上是一个对平面空间的剖分问题, 这适合采用 Voronoi 图方法来处理。

目前, 国内外许多学者尝试采用 Voronoi 图来确定地理实体的空间影响范围, 例如采用普通 Voronoi 图、加权 Voronoi 图来模拟地理实体的空间影响范围^[2~12], 国外研究则开始采用有序 k 阶加权 Voronoi 图来模拟地理实体的空间影响范围^[13, 14]。但是, 除了少数研究考虑到网络距离外^[15~17], 多数研究都是基于平面空间是一个均质空间的理想假设, 认为平面空间上任意两地之间可以直线到达, 即采用直线欧氏距离来度量两地之间的距离。显然, 这并不合理。我们知道, 人类的日常社会经济活动是有一定的空间行为准则

收稿日期: 2007-02-12; 修订日期: 2007-10-20

基金项目: 地理信息科学教育部重点实验室开放研究基金资助项目

作者简介: 王新生 (1965-), 男, 安徽太湖人, 博士, 教授。主要从事地理信息系统应用、城市与区域规划和土地利用变化研究。E-mail: wxs818@tom.com, angxsh@reis.ac.cn

的, 多数情况下是根据最近距离原则来选择空间行为目的地^[2]。但是, 在现实中, 地理空间是一个非均质空间, 各种地理要素的空间流动是沿实际道路网进行的, 也就是需要采用基于道路网络距离的网络 Voronoi 图来模拟商业网点的市场域。

2 确定商业零售网点市场域的 Voronoi 图方法

2.1 基于欧氏距离的普通 Voronoi 图方法

设平面上的一个离散发生点集 $S = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, 则任意点 p_i 的 Voronoi 图定义为:

$$V_i = \{x: d(x, p_i) < d(x, p_j) \mid p_i, p_j \in S, p_i \neq p_j\} \quad (1)$$

式 (1) 中, d 为欧氏距离。Voronoi 图是对平面空间的一种剖分, 在任意一个凸 Voronoi 多边形中, 任意一个内点到该凸多边形的发生点 p_i 的距离都小于该点到其他任何发生点 p_j 的距离。

Voronoi 图的这种特性使其在地理学领域内得到了广泛的应用^[2~14], 然而采用普通 Voronoi 图模拟地理实体空间影响范围的应用中均认为平面空间为一个均质空间, 显然这种假设有些苛刻, 网络 Voronoi 图则是松弛这个假设的方法之一。

2.2 基于网络距离的网络 Voronoi 图方法

2.2.1 网络 Voronoi 图 (The Network Voronoi Diagram) 概念

网络 Voronoi 图又可以根据空间分割对象的不同分为三种^[10]: 1) 对网络上的点状目标进行空间分割, 称为网络 Voronoi 点图 (The Network Voronoi Node Diagram), 某个发生点的 Voronoi “区域” (dominance region) 是指在网络空间上离该发生点最近网络距离的节点集合 (图 1), 图 1 中 P_1 、 P_2 、 P_3 为发生点, “○”、“□”和“△”三种符号表示的节点分别属于这三个发生点的 Voronoi “区域”; 2) 对网络上的线状目标进行空间分割, 称为网络 Voronoi 线图 (The Network Voronoi Link Diagram), 某个发生点的 Voronoi “区域” 是指在网络空间上离该发生点最近网络距离的线段集合 (图 2), 图 2 中 P_1 、 P_2 、 P_3 为发生点, “○”、“□”和“△”所表示的节点分别属于这三个发生点的 Voronoi “区域”, 网络线段上 (细线) 的两点为等距点 (与两个发生点距离相等的点, 实际上是一个点); 3) 对网络所在的空间进行分割, 称为网络 Voronoi 面图 (The Network Voronoi Area Diagram), 某个发生点的 Voronoi “区域” 是指在网络空间上离该发生点最近距离 (平面空间的欧氏距离与网络空间的网络距离之和) 的区域 (图 3), 图 3 中 P_1 、 P_2 、 P_3 为发生点 (发生点也可以位于网络所在的平面空间上任意位置), “○”、“□”和“△”所表示的节点分别属于这三个发生点的 Voronoi “区域”, 网络线段上 (细线) 的两点为等距点, 虚线表示 Voronoi “区域” 的边, 发生点 P_1 与平面空间上任意点 P 的距离定义为 P_1

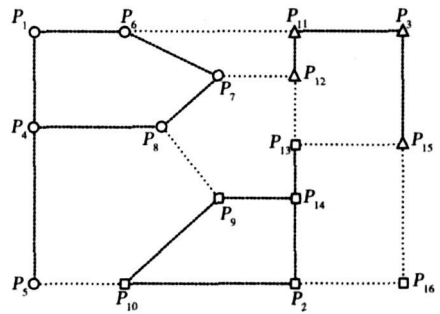


图 1 网络 Voronoi 点图

Fig. 1 The network Voronoi node diagram

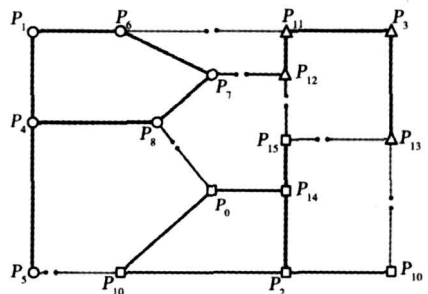


图 2 网络 Voronoi 线图

Fig. 2 The network Voronoi link diagram

与 a_P 的网络距离加上 a_P 到 P 的平面欧氏距离 (a_P 是 P 到网络的最近点)。

2.2.2 基于网络距离的网络 Voronoi 图的实现方法 Okabe 等提出了基于网络距离的一系列空间分析模型^[10, 16, 17]，如赫夫模型、K 函数模型，其基本步骤为：

- ①将网络 N 分割成单一的线链 l_i 和节点 p_i ；
- ②分析节点之间的邻接程度，生成节点图层，并得到反映节点邻接程度的数据表；
- ③将网络上离发生点 p_j 欧氏距离最近的点 p_j^+ 定义为新的发生点 ($p_j \in N, p_j^+ \in N$)；
- ④在 N 上构建最短路径树，寻找距 p_j^+ 最近的节点 p_i ，形成网络 Voronoi 点图；
- ⑤在 ④的基础上，生成“碰撞点”，即与发生点距离相等的“等距点”；
- ⑥将“碰撞点”嵌入 N 中，得到一个重新定义的网络 N^+ ，并得到网络 Voronoi 线图；
- ⑦根据文献 [18] 提出的方法，构建网络 Voronoi 面图。

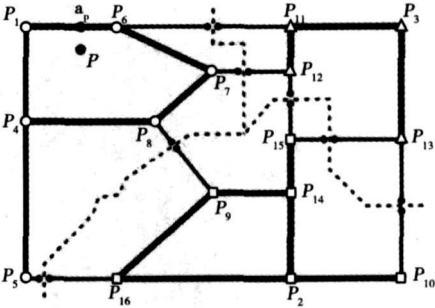


图 3 网络 Voronoi 面图

Fig 3 The network Voronoi area diagram

3 应用研究

3.1 研究区域及数据来源

武汉市是华中地区最大的商业物流中心，拥有武汉商场集团股份有限公司、中商集团股份有限公司、中百集团股份有限公司、汉商集团股份有限公司等大型商业零售连锁企业，此外，沃尔玛、家乐福、麦德龙、易初莲花等众多外资零售业巨头也纷纷登陆武汉。2005 年武汉市共有大中型综合零售商业网点 70 家，商业零售业十分发达，但也存在一些问题，主要表现为商业零售网点总体布局不够合理、局部地段商业零售网点疏密不均等。

武汉市中百仓储连锁超市有限公司是武汉市连锁规模最大、最具特色的仓储式购物场所。本文选取其下属的 17 家位于武汉市主城区内的仓储式购物广场为研究对象。城市路网数据来源于湖北省测绘局与武汉市旅游局合作编制的 2006 年新版武汉旅游地图。

普通 Voronoi 图和网络 Voronoi 图分别是基于直线欧氏距离、道路网络距离来确定商业网点的市场域的，下面分别采用这两种方法来模拟武汉市 17 家商业网点的市场域。

3.2 武汉市商业零售网点市场域分析

武汉市这 17 家商业网点的市场域可以理解为空间垄断型类型^[11]，即每一个网点独占一个市场域，市场域相互独立，适合采用 Voronoi 图方法来处理。

为了简化问题起见，我们选取的这 17 家购物广场遍布于武汉市各城区、规模等级相当，所以不需要考虑权重问题。图 4 是普通 Voronoi 图方法和网络 Voronoi 图方法产生的武汉市 17 家购物广场的市场域，图中两种线型的分界线清晰地标明了两种 Voronoi 图方法下 17 家购物广场的市场域。

两种 Voronoi 图方法得到的武汉市 17 个零售网点市场域的大小在空间上存在一定差异(图 4、表 1)，位于中心城区的零售网点市场域较小，而位于城市外围地区的零售网点市场域较大。前者包括北湖购物广场、友谊路购物广场、宝丰购物广场、首义路购物广场和大成路购物中心等，它们都处于武汉市主城区的繁华区；后者包括珞狮路购物广场、古田路购物广场和金凯购物广场等，这些零售商业网点相对而言都处于主城区的外围地区。

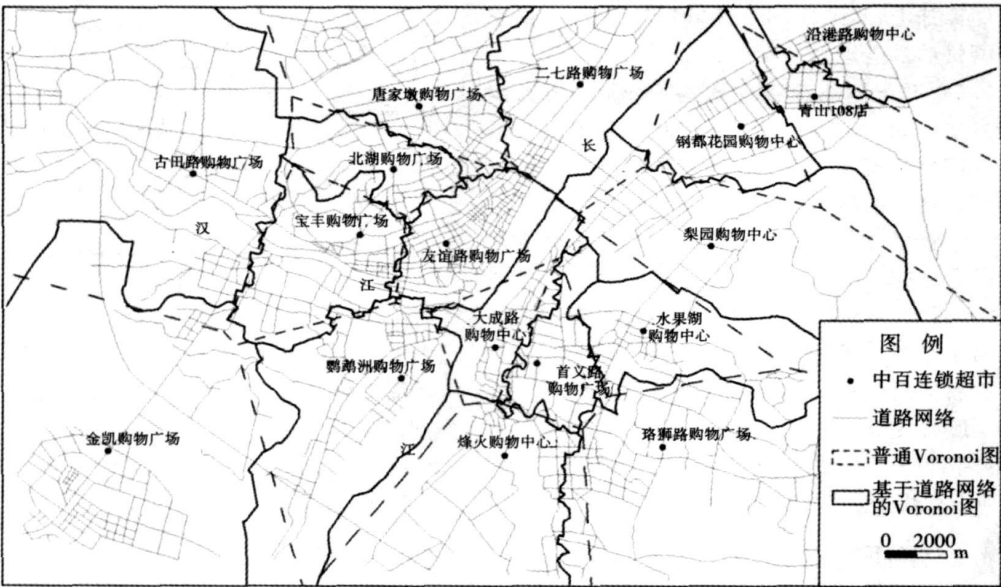


图 4 两种 Voronoi 图方法确定的武汉市零售网点市场域

Fig 4 The market fields of seventeen stores in Wuhan defined by two Voronoi diagram methods

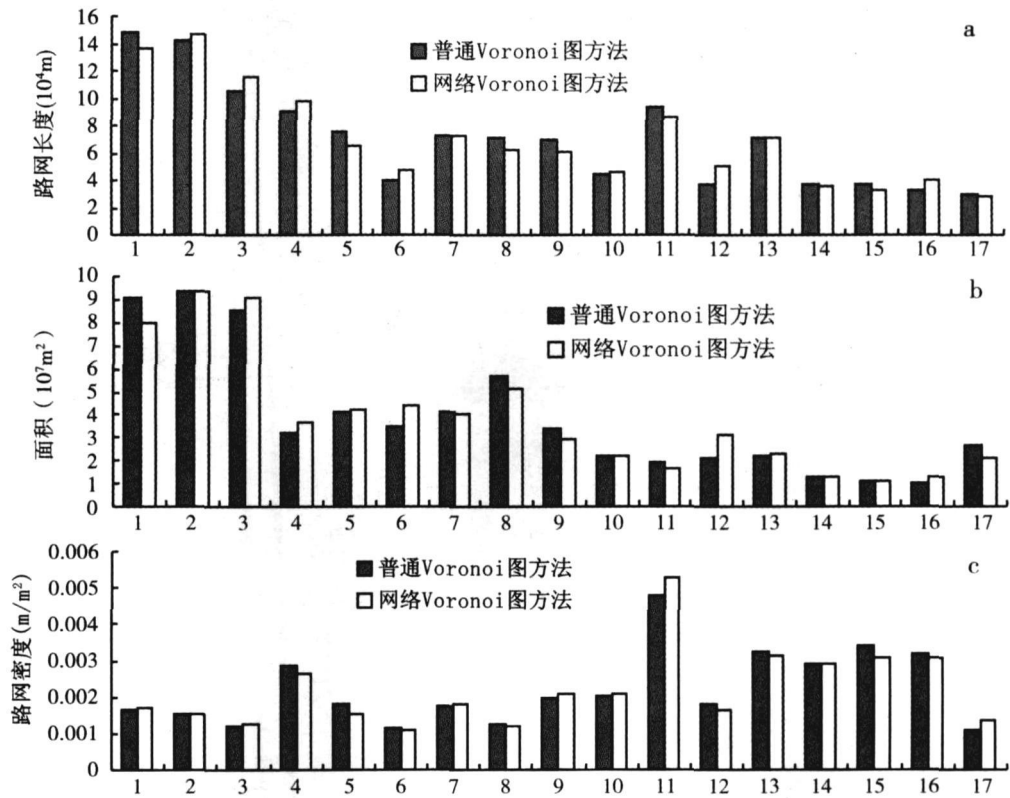
表 1 两种 Voronoi 图方法下各零售网点市场域

Tab 1 The market fields of seventeen stores in Wuhan defined by two Voronoi diagram methods

商业网点	基于普通 Voronoi 图方法的市场域		基于网络 Voronoi 图方法的市场域	
	路网长度 (m)	面积 (m ²)	路网长度 (m)	面积 (m ²)
古田路购物广场	148412	91235461	136891	80064757
珞狮路购物广场	142791	93881691	146468	93558190
金凯购物广场	104657	85046084	114994	90878582
唐家墩购物广场	90525	31805907	97970	36941427
烽火购物中心	75085	41622643	64624	41805361
青山 108 店	39932	35126722	46882	43625259
鹦鹉洲购物广场	72577	41665376	71985	40150202
梨园购物中心	70785	56937063	61781	51145057
二七路购物广场	68936	34401549	60554	29066348
钢都花园购物中心	44643	21974824	45568	21922437
友谊路购物广场	92881	19476512	86393	16315007
水果湖购物中心	37611	20952200	51021	31010039
宝丰购物广场	71384	22153070	71605	22724541
北湖购物广场	36895	12639613	36050	12402383
首义路购物广场	36363	10727272	33114	10776645
大成路购物中心	32329	10076196	40457	13189371
沿港路购物中心	29326	26604710	28788	20751287

比较图 5a、5b、5c，不难发现武汉市零售网点市场域大小与城市道路网密度有很大关系。位于武汉市主城区的几个零售网点市场域都不大，但具有很高的路网密度，如北湖、宝丰、友谊路、首义路、大成路等商业网点；位于武汉市主城区外围地区的几个零售

网点市场域都很大，但具有较低的路网密度，如珞狮路、古田路和金凯等商业网点。这说明在武汉市主城区的繁华地带，地块开发程度高，实际上这些地带人口密度也很大，集聚了很多零售商业网点，虽然分得的市场域不大，但由于人口密度大，同样可以获得较好的商业利润；而在城市外围地区则具有较低的路网密度、人口密度也较小，这些零售商业网点只有通过扩大市场域才能获得应有商业利润。值得注意的是，主城区外围商业网点的市场域与 Voronoi 图边界矩形有一定关系，矩形边界范围越大、市场域越大，否则市场域要小些。消除 Voronoi 图边界矩形的影响有一些方法^[10]。



注：1. 古田路购物广场 2. 珞狮路购物广场 3. 金凯购物广场 4. 唐家墩购物广场 5. 烽火购物中心
6. 青山108店 7. 鹦鹉洲购物广场 8. 梨园购物中心 9. 二七路购物广场 10. 钢都花园购物中心
11. 友谊路购物广场 12. 水果湖购物中心 13. 宝丰购物广场 14. 北湖购物广场
15. 首义路购物广场 16. 大成路购物中心 17. 沿港路购物中心

图5 两种方法下的武汉市商业网点市场域内路网长度、面积和路网密度

Fig 5 The total length of road network (a), the areas (b), and the road density in each store market fields defined by two methods

4 确定商业网点市场域的两 种 Voronoi 图方法分析

确定商业网点市场域的普通 Voronoi 图方法和网络 Voronoi 图方法的本质区别在于量度距离的不同，前者是直线欧氏距离，后者是实际道路网络距离，可以想象，如果某地道路网密度很大，平面上任意两点之间都有接近直线的道路到达，那么这两种方法计算结果是相同的。但是，实际中路网分布的不均匀必然导致计算结果的差异，本应用的结果表明在主城区差异小、城区外围差异大，并且这种差异与路网密度有很大关系（图 6、图 7），

路网密度越大，两种方法得出的结果差异性越小；路网密度越小，两种方法得出的结果差异性越大。例如，金凯、水果湖、青山和古田等商业网点所在区域的道路网密度较低，两种方法计算结果差异较大；友谊、首义、宝丰和北湖等商业网点所在区域的道路网密度较高，两种方法计算结果差异较小。这说明在实际应用中，如果路网密度很高，我们可以采用普通 Voronoi 图粗略地模拟城市商业网点的市场域，但是如果路网密度较低，则需要采用网络 Voronoi 图来模拟。为了消除量纲的影响，图 6、图 7 是经过极差标准化处理的数据，路网密度一是指基于普通 Voronoi 图方法得出商业网点市场域内的路网密度，路网密度二是指基于网络 Voronoi 图方法得出商业网点市场域内的路网密度，路网长度差值是指分别基于两种方法得出的路网长度差值，面积差值是指市场域面积的差值。

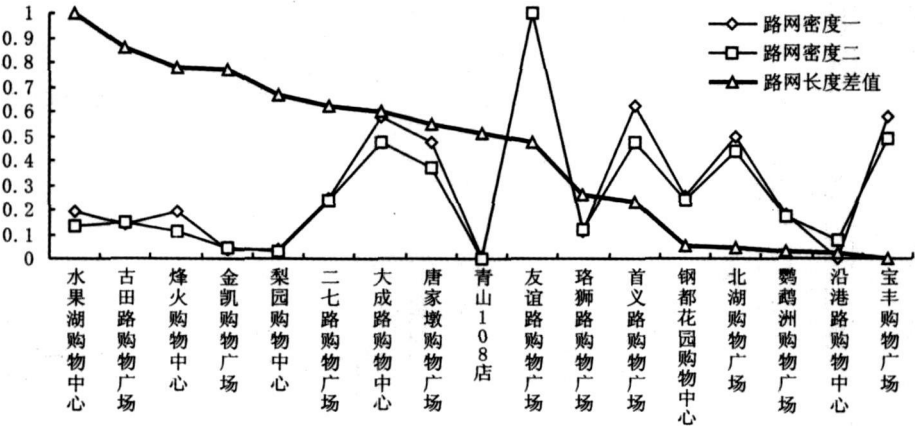


图 6 两种方法下路网长度差值与路网密度的关系

Fig 6 The relationship between the density and the length difference of road network of market fields defined by two methods

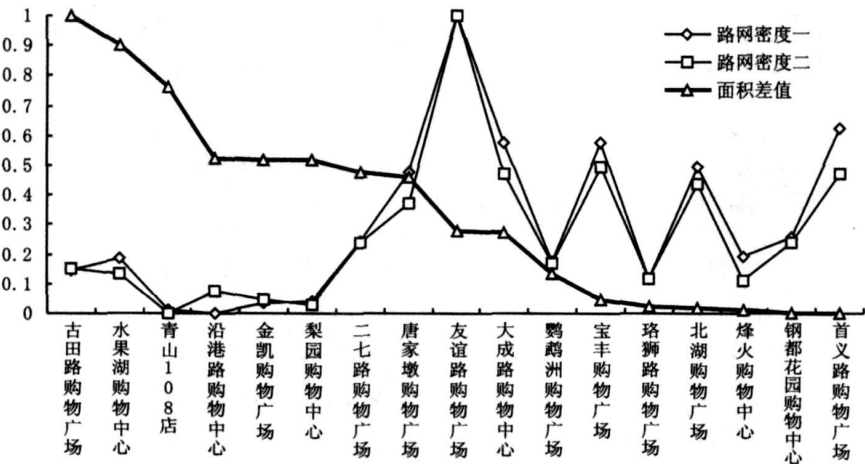


图 7 两种方法下市场域面积差值与路网密度的关系

Fig 7 The relationship between the road density and the area difference of market fields defined by two methods

5 结论与讨论

如果商业网点的市场域属于空间垄断型, 每个商业网点在平面空间上存在一个独立的市场域, 确定商业网点的市场域问题就是一个对平面空间的剖分问题, 可以采用 Voronoi 图方法来处理。由于人们的消费行为是基于城市道路网络的, 市场域的划分需要采用网络 Voronoi 图方法。本文分别采用普通 Voronoi 图和网络 Voronoi 图两种方法划定武汉市 17 家连锁超市的市场域, 应用结果表明:

(1) 武汉市中心城区商业网点的市场域较小, 城市主城区外围商业网点的市场域较大。商业网点的市场域与城市路网密度存在负相关关系, 即城市路网密度越大、商业网点市场域越小; 城市路网密度越小、商业网点市场域越大。

(2) 两种方法在计算结果上存在一定差异, 表现为道路网密度高时, 两种方法得出结果差异小; 道路网密度低时, 两种方法得出结果差异大。

商业网点的市场域划分问题是一个十分复杂的问题, 需要考虑的因素很多, 例如消费距离可能是费用距离、心理距离、时间距离或者是它们的综合, 商业网点也存在规模大小的权重问题等。但是, 不管问题多么复杂, 这个问题仍然适合采用 Voronoi 图来模拟, 只不过需要根据实际情况对普通 Voronoi 图进行各种扩展。当普通 Voronoi 图考虑了多种因素以后, 其优越性明显体现出来, 既考虑了地理实体的非空间属性 (如等级、综合实力等), 同时又充分考虑了地理实体的空间属性 (如空间位置关系、空间竞争关系等)。这显然克服了人文地理学领域的许多问题研究中通常只能考虑地理实体的属性特征、较少考虑空间属性的现象。

本研究主要讨论了武汉市商业网点的市场域划分问题, 如果将商业网点的市场域内人口分布数量、购买能力、购买心理等综合考虑, 可以进一步分析商业网点布局的合理与否, 并为其物流、销售等方面决策提供建议, 这将有更重要的现实意义。

致谢: 本文得到了日本东京大学空间信息科学中心 Okabe 教授等的帮助和指导, 以及湖北大学商学院刘承良老师的宝贵意见, 谨表谢意!

参考文献:

- [1] 陈述彭. 城市化与城市地理信息系统. 北京: 科学出版社, 1999
- [2] 王新生, 郭庆胜, 姜友华. 一种用于界定经济客体空间影响范围的方法——Voronoi 图. 地理研究, 2000, 19(3): 311~ 315
- [3] 王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. Voronoi 图用于确定城市经济影响区域的空间组织. 华中师范大学学报(自然科学版), 2003, 37(2): 256~ 260
- [4] 闫卫阳, 郭庆胜, 李圣权. Delaunay 三角网与 Voronoi 图在划分城市影响空间中的应用研究. 测绘信息与工程, 2004, 39(3), 1~ 3
- [5] 赵书茂, 周海燕, 朱刘娟. Voronoi 图在河南省城市网络研究中的应用. 测绘学院学报, 2003, 20(3): 206~ 209
- [6] 张龙, 周海燕. GIS 中基于 Voronoi 图的公共设施选址研究. 计算机工程与应用, 2004, (9): 223~ 227
- [7] 王新生, 李全, 郭庆胜, 等. Voronoi 图的扩展、生成及其应用于界定城市空间影响范围. 华中师范大学学报(自然科学版), 2002, 36(1): 107~ 111
- [8] 李圣权, 胡鹏, 闫卫阳. 基于加权 Voronoi 图的城市影响范围划分. 武汉大学学报(工学版), 2004, 37(1): 94~ 97
- [9] 朱渭宁, 马劲松, 黄杏元, 等. 基于投影加权 Voronoi 图的 GIS 空间竞争分析模型研究. 测绘学报, 2004, 33(5): 146~ 150

- [10] Okabe A, Boots B, Sugihara K, *et al*. Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams (2nd Edition). New York: John Wiley and Sons, 2000
- [11] 丁鹏飞, 王远飞. 基于 Rely 法则与加权 Voronoi 图的连锁超市商圈分析. 上海商学院学报, 2005, 6(4): 12~ 16
- [12] 王远飞, 张超. GIS 和引力多边形方法在公共设施服务域研究中的应用. 经济地理, 2005, 25(6): 800~ 809
- [13] Boots B, South R. Modeling retail market fields using higher-order, multiplicatively weighted Voronoi diagrams. Journal of Retailing, 1997, 73(4): 519~ 536
- [14] South R, Boots B. Relaxing the nearest centre assumption in central place theory. Regional Science, 1999, 78: 157~ 177
- [15] 刘继生, 陈彦光. 城镇体系空间结构的分形维数及其测算方法. 地理研究, 1999, 18(2): 171~ 178
- [16] Okabe A, Okunuki K. A computational method for estimating the demand of retail stores on a street network and its implementation in GIS. Transactions in GIS, 2001, 5(3): 209~ 220
- [17] Okabe A, Okunuki K, Shiode S. SANET: A toolbox for spatial analysis on a network. Geographical Analysis, 2006, 38(1): 57~ 66
- [18] 王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 基于 GIS 的任意发生元 Voronoi 图逼近方法. 地理科学进展, 2004, 23(4): 97~ 102

Delimitating the store market field based on the metric of the city-block distance

WANG Xin-sheng^{1,2}, YU Ru+lin², JIANG You+hua³

(1 Key Lab of Geographic Information Science, Ministry of Education, ECNU, Shanghai 200062, China;

2 School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China;

3 School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: In social and economic activities, people usually actualize their spatial activities on road networks. However, most research results were on the ideal condition that geographical space was a homogeneous one, and almost all spatial analysis methods are according to the metric of planar Euclidean distance, its drawback is quite obvious. This paper presents the principle and the constructing method of network Voronoi diagrams, and the application of ordinary Voronoi diagram and network Voronoi diagram to the delimitation of the market fields of 17 stores in Wuhan, Hubei Province, China. The main results are as follows: (1) The market fields in the inner city are quite small while the ones in the outer city are a little large. If the road density in a store trade region was low, its area would be small; conversely, provided the road density in a store trade region was high, its area would be quite large. (2) There is a more or less difference between the application results of the methods based on ordinary Voronoi diagram and network Voronoi diagram. If the road density of a region was high, the difference would be small; and vice versa, there was a great difference in a region with a low road density. This shows that the method of ordinary Voronoi diagram can be chosen as a substitute of network Voronoi diagram to define the market fields of a store system in case of a region with a high road density.

Key words: chain stores; market field; Voronoi diagrams; network distance; planar Euclidean distance