

基于 Voronoi 图的市场域分析研究

——以南京苏果超市为例

卢 敏 ,苑振宇 ,王结臣 ,芮一康 ,倪建华

(南京大学 地理信息科学系 ,南京 210023)

摘 要: 市场域的合理划分对社会经济活动中的资源优化配置有着重要的意义。本文以南京主城区范围内的大型超市卖场以及苏果各类门店超市为主要研究对象,结合空间统计分析与 Voronoi 图的相关理论算法,考虑了沿着道路的网络距离以及传统自然地理的欧式距离两种因素,分别采用平面和网络的 Voronoi 图方法对研究区内大型连锁超市的市场域进行划分,对市场域内的苏果超市分布特征进行分析研究。研究结果表明,从大型超市市场域内部的 C_v 值计算结果来看,南京主城区边缘地带的 C_v 值较高,尚未形成稳定的市场格局,这会是未来苏果超市布局的战略重点;相比之下南京中心城区附近的 C_v 值均较低,说明其市场域内已形成较稳定的市场格局。此外还可以看到,基于平面 Voronoi 图的市场域划分结果基本正确,但在地形起伏较大地方与实际情况误差较大;而基于道路网络的市场域划分结果比较符合人类活动规律,是一种较为科学的空间划分方法。

关键词: 网络 Voronoi 图; 市场域划分; 空间优化分析

中图分类号: P285. 2⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1001-7119(2018) 07-0064-06

DOI: 10. 13774/j.cnki.kjtb.2018. 07. 012

Analysis of Market Field Partition Based on Voronoi Diagram

——A Case Study of Suguo Supermarkets in Nanjing

Lu Min , Yuan Zhenyu , Wang Jiechen , Rui Yikang , Ni Jianhua

(Department of Geographic Information Science , Nanjing University , Nanjing 210023 , China)

Abstract: Reasonable division of market area has important value on the optimizing allocation of resources in social economic activity. In this research , spatial statistical analysis and Voronoi diagram theory are combined to analyze the hypermarkets and Suguo supermarkets in the main urban area of Nanjing. Taking consideration of both network distance along roads and Euclidean distance , Voronoi diagram methods are applied to divide the market area of chain hypermarkets in research area , and to analyze the distribution pattern of Suguo in market areas. According to the C_v values of hypermarkets' market areas , the C_v values are comparatively high in Nanjing margin area , where lacks stable pattern and will be a strategic focus for Suguo in future. The C_v values in central area , by contrast , are comparatively lower , which reveals that stable patterns have been built inside the area markets. Besides , the market areas divided based on plane Voronoi diagram are generally practical except that in region of larger relief. Instead , the market areas divided based on road network better accord with human activities , which is a comparatively scientific method for spatial division.

Keywords: network voronoi diagram; market field partition; spatial optimization analysis

收稿日期: 2017-08-10

近年来,相关学者在研究 Voronoi 图相关理论与方法的基础上,将其用于城市空间的划分优化与分析中,并进行了许多有意义的研究。王新生、余瑞林等人^[1]以武汉市商业零售连锁企业为例,分别采用基于欧式距离的普通 Voronoi 图方法和基于网络距离的 Voronoi 图方法确定了商业零售连锁网点的市场域,并进行了对比分析,结果显示市场域的大小与道路网络的密度呈现一定的相关性。谢顺平、冯学智等人^[2]构建了基于道路网络分析的 Voronoi 图和加权的 Voronoi 图,以此模拟了不同条件下南京市商业中心辐射域空间格局及其需求覆盖变化,通过对各种 Voronoi 图的对比分析,认为基于网络路径时间的加权 Voronoi 面域图最为有效。邹亚锋、刘耀林等人^[3]引入城市地理学空间分割方法,利用加权 Voronoi 图对各个中心村的综合影响力范围进行划分,从而确定各搬迁居民点的安置去向。危小建、梁俊红等人^[4]以湖北省大冶市为例,分别采用基于道路网络路径距离的 Voronoi 图与基于道路网络路径时间成本距离的 Voronoi 图进行城镇影响域的划分,并与普通 Voronoi 图的结果进行比较,研究结果表明基于道路网络路径时间成本距离的 Voronoi 图的划分方法是较为科学的空间剖分方法。

本文着重探讨基于 Voronoi 图的空间点模式及其在道路网络约束条件下的分析方法,旨在进一步研究商业网点数据的空间分布模式,揭示商业网点的空间分布规律,为商业网点的优化布局提供更好的决策支持。作为对比,本文分别采用平面 Voronoi 图和网络 Voronoi 图的方法,对华润苏果大型卖场的市场域进行划分,并分析苏果超市门店类型在空间上的分布等级结构。

1 平面 Voronoi 图与网络 Voronoi 图

1.1 平面 Voronoi 图

平面 Voronoi 图可以看作是在欧式几何距离下,将点集 $S = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 中的每个点看作生长核,向外以相同的速率扩张,直到彼此相遇为止而在平面上形成的图形,如图 1 中的 (a) 图所示。 S 中任意点 p_i 的 Voronoi 图定义为:

$$T_i = \{x: d(x, p_i) < d(x, p_j) \mid p_i, p_j \in S, p_i \neq p_j\}。$$

式中 d 表示两点之间的欧式距离。 T_i 内任意一点到 p_i 的距离都小于该点到其他任何发生点 p_j 的距离,这是 Voronoi 图的一个重要的性质。 p_i 被称

作 Voronoi 图的质心或发生元。除了最外围的点会形成开放区域外,其余每个点都形成一个凸多边形。由于位于某 Voronoi 多边形中的每一个点到该多边形中心的距离都小于到其它多边形中心的距离,因此我们可以近似认为位于 Voronoi 多边形中的每一个点都具有与其中心点相同的性质,从而进行空间剖分。关于 Voronoi 图的生成算法,前人的研究已经非常成熟,比如早期的凸包插入法^[5]等,以及随后十几年中产生的新算法^[6-9],具体不再一一赘述。

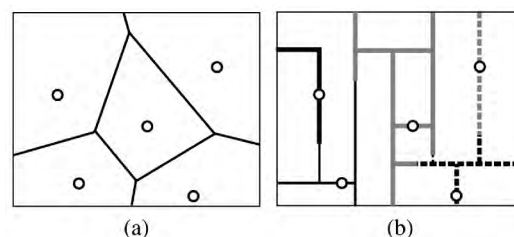


图 1 平面 Voronoi 图 (a) 与网络 Voronoi 图 (b)

Fig.1 Plane Voronoi Diagram (a) & Network Voronoi Diagram (b)

1.2 网络 Voronoi 图

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,因此通常情况下诸如商业中心的事件点会呈现沿道路网络聚集的特征,而传统的平面空间点模式方法,如平面 Voronoi 空间剖分,在应用到具有明显沿道路网发生趋势的事件时,则会生成错误的聚集模式^[6]。为了更加精确划分市场域范围,克服平面 Voronoi 图基于欧式距离而忽略了中心影响和辐射传导方式的缺陷,进行路网约束下的 Voronoi 分析方法也是非常必要的。网络 Voronoi 图的思想与平面 Voronoi 图的相同,只不过距离不再是简单的欧式距离,而是以最短路径为基础的网络距离^[7]。采用网络 Voronoi 图方法对商业网点市场域的划分一般包括网络划分和空间划分两步过程。网络划分通过最短路径分析(一般采用单元最短路径 Dijkstra 算法)对道路结点及弧段进行空间分割,确定各路段最近邻的点发生元,得到的是以线要素为基础的“网络 Voronoi 线图”,此时对于某个点发生元而言,其 Voronoi 区域则是指在网络空间上离该发生点最近网络距离的线段集合。根据邻近道路准则进一步地进行 Voronoi 空间剖分,可以得到以面要素为基础的网络 Voronoi 面域图。不过,在研究一些沿着道路网络分布的事件时,网络 Voronoi 图面域的构建并不是必须的,只需要得到事件沿着网络扩张的结果即可。如图 1 (b) 图所示,该

图将不同的道路进行线要素空间划分的网络 Voronoi 线图,即将每条道路弧段按照网络距离的最短路径长度,将道路分段分配给离它最近的点发生元,图中不同的线段类型表示网络空间下的道路弧段分配结果。

而对于网络 Voronoi 图的构建,目前已有许多成熟的算法可以进行网络 Voronoi 图的生产^[8,9],其中 Okabe 提出了一种通过扩展的最短路径树进行构建的算法^[10,11]。

2 应用与分析

2.1 研究区及数据来源

本次研究中,南京市主城区范围数据主要是采用南京测绘工程院出版的“南京市影像图(2012版)”扫描后通过坐标配准校正,以绕城公路和长江为参照手动绘制完成,如图2浅色区域所示;中心城区范围是以“南京市影像图”为基础,参照南京城墙相关资料手动绘制完成,如图2颜色较深区域所示。道路网络数据主要是对“南京市影像图”上所标注的主要道路矢量化的结果,之后经过拓扑编辑和网络构建,得到南京市主城区的简单道路网络模型(不考虑道路等级、通行状况等的限制)。苏果超市、其他大型超市的网点数据主要来自于网络电子地图(Google、百度地图)的搜索标注,经过除重、筛选后以“南京市影像图”为参照确定其位置信息,同时对所有大型超市网点数据进行了真实性验证,

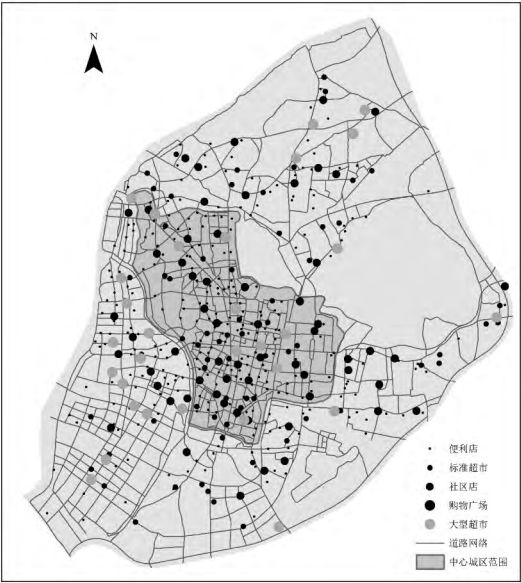


图2 苏果超市在南京市区的分布

Fig.2 Distributions of Suguo Supermarket in Nanjing

最后得到南京市主城区各类苏果门店450家,其他大型超市16家。具体如图2所示。

而在苏果超市多种门店类型中,华润苏果是其着力打造的“一站式”大型卖场,规模最大,门店数量较少;苏果社区店是位于社区的店铺,面积5000m²左右,规模较大;苏果生活超市是苏果超市最早的经营业态,面积在500m²左右,是其所谓的“标准超市”;苏果便利、“好的”便利店以及苏果平价超市的规模较小,数量最多,为了便于分析,将这几种类型统一归为苏果便利店,苏果超市各类型门店数量如表1所示。其他大型超市主要选择的是华润苏果大型卖场同种类型的超市,如家乐福、沃尔玛等共计16家,具体门店数量见表1。

表1 研究区内苏果超市、大型超市数量统计

苏果超市(450)		大型超市(16)	
购物广场	14	家乐福	4
社区店	62	沃尔玛	4
标准超市	69	大润发	3
便利店	305	麦德龙	2
		欧尚	2
		乐天玛特	1

普通 Voronoi 图与网络 Voronoi 图分别是基于欧式距离与最短路径长度的网络距离来确定商业网点市场域的,下面分别采用这两种方法来模拟南京市16家超市的市场域。

2.2 基于平面 Voronoi 图的超市市场域分析

在苏果超市的门店类型中,华润苏果作为大型卖场,其服务范围最广,功能最全,因此其对选址的要求也就更高。同时考虑到其他大型超市与华润苏果大型卖场的竞争关系,在进行市场域划分时,必须加入其它大型超市的影响。本次研究中,选择南京市主城区14家华润苏果大型卖场以及其他国内外知名连锁零售业品牌的16家门店为发生元,采用平面 Voronoi 图的方法对其市场域范围进行划分。这里没有直接以这30家大型卖场为发生元生成 Voronoi 图,而是首先以所有的苏果超市和16家大型卖场为发生元生成 Voronoi 图,然后再根据苏果其他类型门店到30家大型卖场的距离远近,将其所属的 Voronoi 多边形分配给最近的大型卖场,以此来确定每个大型卖场的市场域范围。这样做的目的是为了兼顾苏果超市其他门店类型市场域划分的完整性,防止在直接以大型卖场为发生元生成的 Voronoi 多边形边界将苏果超市其他类型门店的市场域割裂到不同的 Voronoi 多边形中。最后,南京市主城区30家大型卖场的市场域范围划分结果如图3所示。

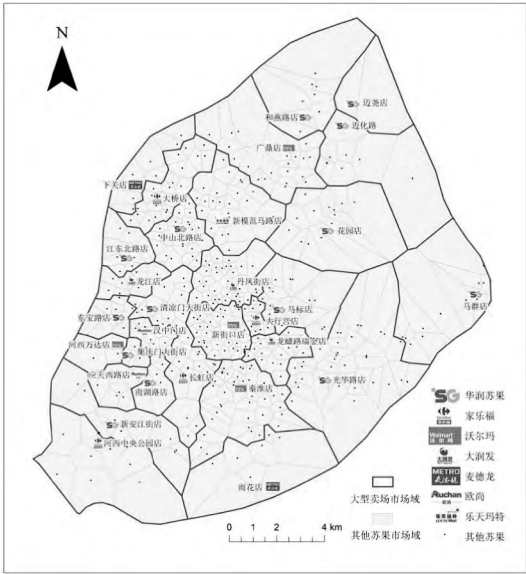


图 3 大型卖场平面 Voronoi 图市场域划分结果

Fig.3 Trade area of supermarkets using Voronoi diagram

为了进一步分析大型卖场市场域范围内苏果超市其他门店类型的分布特征,这里采用 Voronoi 多边形面积的变异系数(C_V 值) 来衡量苏果超市在空间上的变化程度^[12]。所谓的 C_V 值是 Voronoi 多边形面积的标准差与平均值的比值,即:

$$C_V \text{ 值} = \text{标准差} / \text{平均值} \times 100\%$$

当苏果超市在空间上的分布表现为均匀分布时,其 Voronoi 多边形面积变化较小, C_V 值较低;当苏果超市空间上分布表现为聚集分布时,多边形面积的变化较大, C_V 值高。对于不同分布模式所表现 C_V 值通常采用如下建议值:当苏果超市为随机分布时, C_V 值的区间为 33% ~ 64%;当苏果超市为集群分布时, C_V 值的区间为大于 64%;当苏果超市为均匀分布时, C_V 值区间为小于 33%。

整个南京主城范围内及各大型超市市场域内部的 C_V 值计算结果如表 2 所示,从整体上看,以

表 2 南京市主城区大型超市市场域内 C_V 值计算

Table 2 C_V value for supermarkets in the main urban area of Nanjing

品牌	名称	多边形数	面积标准差	平均面积 /m ²	C_V
华润苏果	迈化路	8	2944398.62	2048763.74	1.44
	和燕路店	8	2188454.37	1804052.63	1.21
	光华路店	35	802029.61	731309.03	1.10
	马群店	12	1491403.69	1402393.82	1.06
	马标店	21	485281.38	461800.54	1.05
	花园店	14	1189716.64	1176762.61	1.01
	迈尧店	2	2764095.81	3863849.58	0.72
	南湖路店	7	272505.24	431457.92	0.63
	新安江街店	10	634871.13	1023718.82	0.62
	江东北路店	10	230044.90	400459.15	0.57
	东宝路店	9	193765.52	337520.33	0.57
	清凉门大街店	13	171859.28	346780.08	0.50
	中山北路店	24	93740.50	224417.12	0.42
	集庆门大街店	4	91839.41	261238.64	0.35
家乐福	长虹店	22	288882.22	281465.19	0.97
	河西中央公园店	9	1894826.08	1521757.68	0.80
	大桥店	22	297824.26	136769.91	0.46
	大行宫店	10	143455.28	46392.48	0.32
沃尔玛	广鼎店	22	650900.61	710091.72	1.09
	河西万达店	3	1024334.72	879069.17	0.86
	秦淮店	41	294159.94	175178.25	0.60
	新街口店	38	134081.62	47056.89	0.35
大润发	丹凤街店	36	187886.09	209104.17	1.11
	龙江店	9	341677.31	190924.67	0.56
	瑞金店	18	225941.96	99997.81	0.44
麦德龙	雨花店	8	1882590.20	1139740.81	0.61
	下关店	8	716250.56	255094.94	0.36
欧尚	应天西路店	8	1882590.20	1139740.81	0.61
	汉中门店	8	716250.56	255094.94	0.36
乐天玛特	新模范马路店	23	449253.44	335373.34	0.75
总体		465	872359.97	548090.82	1.59

南京市主城区的苏果超市及其他大型连锁超市为发生元共构建了 465 个 Voronoi 多边形,总体的 C_V 值为 1.59,大于 0.64,也就是总体上表现出较强的聚集趋势。从大型卖场市场域的角度看, C_V 值较高的区域一般出现在南京主城区的边缘地带,也就是近郊区,如华润苏果迈化路店、和燕路店,沃尔玛光鼎店、河西万达店等,这些市场域内的超市门店数量较少,Voronoi 多边形的面积变化较大,整个市场域内尚未形成稳定的市场格局,在未来有可能成为苏果普通超市布局的重点;而 C_V 值较低的区域则主要集中在中心城区和发展比较成熟的商圈内,如华润苏果集庆门大街店、中山北路店、家乐福大行宫店、沃尔玛新街口店、秦淮店等,这些市场域内的 Voronoi 多边形的面积变化不大,呈现出随机甚至均匀分布的模式,这在一定程度上说明其市场域内商业条件相对均衡,已形成较为成熟稳定的市场格局。

平面 Voronoi 图方法对市场域的划分以及 C_V 值在一定程度上反应大型卖场势力范围的划分以及市场域内部苏果普通超市的分布模式,但是平面 Voronoi 图方法的基础是建立在一个均值的平面上,这与实际情况有很多的差距,因为在大多数时候,人们更看重的是沿着道路网络的距离,而不仅仅是两点之间的欧式距离,这在很大程度上会影响市场域划分的精度,进而进一步影响 C_V 值分析的结果,如本文中位于钟山风景区和玄武湖风景区周边的市场域划分就会明显受到影响,很显然这些自然因素对商业网点的市场域划分会产生很大的偏差。因此,我们进行了更深入的分析,研究在道路网络约束条件下的 Voronoi 市场域划分情况。

2.3 网络 Voronoi 图市场域分析

我们采用 SANET 中“Voronoi diagram”工具,以南京市主城区 14 家华润苏果大型卖场和 16 家其他大型超市为发生元,构建基于道路网络的 Voronoi 线图,其结果如图 3 所示,不同颜色的道路代表了对应华润苏果大型卖场和其他大型超市的 Voronoi 空间剖分结果。

接下来,在已有的已划定的华润苏果和其他大型超市市场域范围内,对苏果超市的其他类型门店进行统计分析。由于 SANET 中“Voronoi diagram”所生成的网络 Voronoi 图为线状要素,需要根据相邻的网络分界点手动连接构成面要素,然后对面要素中的苏果超市其他门店类型进行统计,其结果如表 3 所示。

表 3 南京市主城区大型超市市场域内苏果超市门店统计
Table 3 The summary of Suguo stores within the market area

品牌	名称	便利店	标准超市	社区店	合计
华润苏果	光华路店	23	3	8	34
	中山北路店	15	3	4	22
	马标店	15	3	3	21
	花园店	11	4	1	16
	清凉门大街店	10	1	2	13
	马群店	6	6	1	13
	江东北路店	9	1	0	10
	和燕路店	5	2	2	9
	新安江街店	6	1	1	8
	南湖路店	5	1	1	7
	东宝路店	5	0	1	6
	迈化路店	3	1	2	6
	集庆门大街店	3	0	0	3
	尧迈路店	0	0	1	1
家乐福	均值				12
	长虹店	16	3	4	23
	大桥店	11	2	1	14
	大行宫店	7	1	3	11
	河西中央公园店	5	3	0	8
沃尔玛	均值				14
	秦淮店	22	9	5	36
	新街口店	24	9	3	36
	广鼎店	12	3	2	17
	河西万达店	2	0	0	2
大润发	均值				23
	丹凤街店	28	2	5	35
	瑞金店	12	0	2	14
	龙江店	8	0	1	9
	均值				19
麦德龙	下关店	8	3	2	13
	雨花店	5	3	3	11
	均值				12
欧尚	汉中门店	8	1	1	10
	应天西路店	4	1	1	6
	均值				8
乐天玛特	新模范马路店	17	3	4	24
总体平均值					15

大型超市市场域范围内其他苏果门店数量在一定程度上反映了该地区零售业市场的繁荣程度,也从另一个侧面说明了市场域中心的大型超市选址策略的成功。从整体上看,30 家大型超市的市场域内苏果其他门店数量的平均值为 15,门店数量较多的市场域范围主要集中在中心城区,如沃尔玛新街口店和秦淮店以及大润发的丹凤街店;门店数量超过 30 且位于中心城区外的只有华润苏果光华路店,而且其附近没有大型超市的竞争,市场域范围较大,从而导致其内的门店数量较多。从各大连锁超市品牌的角度考虑,除去只有位于中心城区的乐天玛特单一门店外,其他连锁品牌门店数量平均值最高是沃

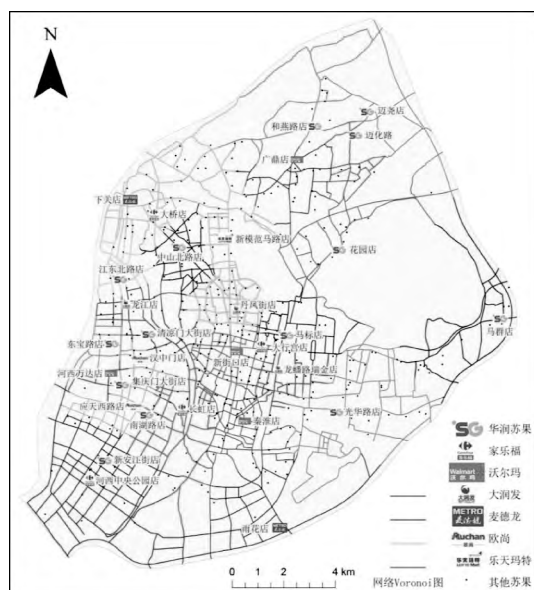


图 4 南京主城区大型超市的网络 Voronoi 图

Fig.4 The network Voronoi diagram for supermarkets

尔玛,如果除去河西万达店,其平均值则会更高,这也从侧面反应了沃尔玛作为全球最大的连锁零售商,在门店选址上具有独特优势;而苏果超市依托强大的本地品牌效应,加上密集式的市场扩张策略,即使在偏离了城市中心的地带,也依旧保持着一定数量的便利店,显示出苏果超市全方位、由点及面、错位竞争的战略计划。另外可以预见,河西地区作为南京最新规划的城市副中心,沃尔玛、家乐福、华润苏果等大型卖场的市场域范围内将会有更多的苏果门店出现。

3 结 语

商业网点的市场域划分问题涉及到很多因素,本文重点考虑了欧式距离与道路的网络距离这两个不同的因素,从而对问题模型进行了精简。而实际上在人们的认知当中,道路距离更多的是与通行时间联系在一起,还有费用距离等,而不单单指道路的网络距离。此外,影响市场域剖分的因素还有人口密度分布、购买群体差异等,可以考虑结合这些因素对商业网点的布局情况作进一步的评价分析,从而

为相关设施的决策提供建设性的意见。

参考文献:

- [1] 王新生,余瑞林,姜友华. 基于道路网络的商业网点市场域分析[J]. 地理研究,2008,27(1): 85-92.
- [2] 谢顺平,冯学智,王结臣,等. 基于网络加权 Voronoi 图分析的南京市商业中心辐射域研究[J]. 地理学报,2009,64(12): 1467-1476.
- [3] 邹亚锋,刘耀林,孔雪松,等. 加权 Voronoi 图在农村居民点布局优化中的应用研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2012,37(5).
- [4] 危小建,梁俊红,侯贺平,等. 基于网络 Voronoi 图的城镇影响域划分——以大冶市为例[J]. 地理与地理信息科学,2014,30(5): 66-70.
- [5] Tsai V J D. Fast topological construction of Delaunay triangulations and Voronoi diagrams [J]. Computers & Geosciences, 1993, 19(10): 1463-1474.
- [6] 余冰,朱欣焰,吴维,等. 道路网约束下的城市事件空间点模式分析[J]. 计算机应用研究,2013,30(8): 2327-2329.
- [7] Okabe A, Sugihara K. Spatial analysis along networks: statistical and computational methods [M]. John Wiley & Sons, 2012.
- [7] 张辉,胡玮,蒲英霞,等. 一种构建任意发生元 Voronoi 图的实用算法[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(4): 41-44.
- [9] 谢顺平,冯学智,鲁伟. 基于道路网络分析的 Voronoi 面域图构建算法[J]. 测绘学报,2010,39(1): 0-82.
- [10] Okabe A, Satoh T, Furuta T, et al. Generalized network Voronoi diagrams: Concepts, computational methods, and applications [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2008, 22(9): 965-994.
- [11] Okabe A, Okunuki K I, Shiode S. The SANET toolbox: new methods for network spatial analysis [J]. Transactions in GIS, 2006, 10(4): 535-550.
- [12] 张红,王新生,余瑞林. 基于 Voronoi 图的测度点状目标空间分布特征的方法[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2005,39(3): 422-426.