

# 重心转移曲线在时空演化模式表达中的应用

李光强<sup>1</sup> 曾绍琴<sup>1</sup> 邓 敏<sup>1</sup> 肖邱勇<sup>1</sup>

(1 中南大学地球科学与信息物理学院,长沙市麓山南路 932 号,410083)

**摘 要:**探讨了一种利用重心模型进行时空演化模式量化表达的方法,并以湖南省 1983~1992 年疟疾发病空间分布数据为例,通过计算每年度疟疾重心坐标,生成疟疾重心转移曲线,定量地表达湖南省疟疾的时空演化过程。将此方法结果与空间自相关分析结果进行比较,发现两者基本一致。多尺度的重心转移曲线实验结果表明,此方法的尺度效应不明显。

**关键词:**时空演化模式;重心转移曲线;空间自相关;多尺度

**中图法分类号:**P208

时空演化模式主要用于研究地理事件在时间和空间上的分布变化过程,探讨地理事件的时空格局和演化过程。目前,时空演化模式的研究主要使用空间自相关分析方法。陈翼等运用空间自相关分析方法对湖南省 1983~1992 年疟疾发病的空间格局进行分析,探测和识别了时空演化规律,发现湖南省各市县疟疾发病地域差异明显,呈现“南高北低”→“南低北高”→“南高北低”的时空演化过程<sup>[1]</sup>;Indartna K 等通过对 1992~1997 年泰国疟疾和登革热的发病状况进行空间自相关分析,发现蚊虫传播的两种疾病的分布特征存在差异,登革热病呈明显的季节性,每年的高发区也不尽相同,而疟疾的季节分布特征则不如登革热明显,高发区与低发区相对比较稳定<sup>[2]</sup>;陈江平等采用空间自相关方法对中国大陆内地 2009 年爆发的甲型 H1N1 流感疫情进行了分析,发现甲型 H1N1 疫情经历了从早期的随机分布到中期不断扩散,最后到后期的集中控制 3 个阶段<sup>[3]</sup>。这种利用空间自相关分析方法得到的时空分布模式主要利用一系列图形进行表达,需要分析人员的主观判断,不仅会引入一定的主观性,也很难直观、可视化地表达时空演化过程。

为了描述区域上事物分布的时空特性,近年来一些学者发展了基于重心模型的事物分布格局表达方法,如李仪俊对中国 1912~1978 年期间人

口重心及其轨迹进行分析,发现在此期间我国人口分布变化不大,重心均位于东南偏东范围内<sup>[4]</sup>;何艳芬等通过构建空间分布质心模型,计算 1986~2000 年期间耕地分布质心和粮食生产分布质心偏移,结果发现,耕地分布质心向西北方向移动,而粮食生产分布质心向东北方向偏移<sup>[5]</sup>;徐映雪等利用区域重心的概念及模型,计算出陕西省 1953~2005 年主要年份的耕地重心及人口重心坐标,得到两者动态演变轨迹,对其变化趋势进行对比分析,结果发现人口重心的移动是导致耕地重心移动的主要原因之一<sup>[6]</sup>;张德利等研究了 1996~2006 年江苏省沿海地区的经济差异,从而发现 10 a 间江苏沿海地区总体上经济空间差异较大<sup>[7]</sup>。综观这些研究成果发现,重心模型的时空格局表达方法主要应用于人口分布<sup>[4,8-9]</sup>、区域经济差异<sup>[10-12]</sup>和土地利用变化<sup>[5,13-14]</sup>等领域。但是,这些成果大都相对简单地描述各时期重心所在的位置,既没有给出重心与均匀质心的相对偏移位置,也没有从整体上把握重心变化、转移过程,亦不能定量描述区域上事物变化、演化模式与过程。因此,本文在引入重心模型表达方法的同时,提出了一种基于重心转移曲线的时空演化模型表达方法(centroid transferring curve based spatio-temporal pattern expression,CTCSTP)来挖掘事件的演化模式。

收稿日期:2013-05-13。

项目来源:湖南省自然科学基金资助项目(09JJ6061);国家高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110162110056)。

# 1 CTCSTP 算法原理及描述

## 1.1 区域属性重心

物理学上,重心是指物体各部分所受重力的合力的作用点;在地理学中,地理重心是描述地理属性或事物分布的矢量合力点,可以分为几何重心和加权重心。几何重心在地理学中一般称为均质重心,即为区域边界多边形界址点的横坐标与纵坐标数值的算术平均值,通常可以表达为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

式中,  $n$  是区域边界多边形界址点的数目;  $x_i$  和  $y_i$  分别表示区域边界多边形第  $i$  个界址点的横坐标值和纵坐标值;  $\bar{x}$  即为均质重心的横坐标值;  $\bar{y}$  为均质重心的纵坐标值。几何重心在地理学中可以理解为地理属性或事物均匀分布时的中心位置,通常作为于比较分析的背景值。为了叙述方便,本文使用  $G$  表示区域的几何重心。

加权重心通常以区域地理属性或事物分布量为权重,并将其赋给空间对象几何坐标,然后利用重心计算公式进行计算。为了叙述方便,本文将加权重心称为区域地理属性重心,简称为区域属性重心,用  $C$  表示。若存在一研究区域  $R$ ,  $R$  又由若干个小区域组成,即  $R=R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n$ , 其中,第  $i$  个区域的几何重心坐标为  $(X_i, Y_i)$ ,  $W_i$  表示第  $i$  个区域的地理属性值,则区域属性重心的计算公式为:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n W_i X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \\ \bar{Y} &= \frac{\sum_{i=1}^n W_i Y_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \end{aligned} \quad (2)$$

为了有效发现地理事件热区的方向,可以计算重心偏移向量。

定义 1 重心偏移向量:是指区域几何重心与区域属性重心连接而成的向量。

在诸多文献中,许多学者以经济、人口的分布作为地理属性计算经济重心、人口重心等。区域属性重心在地理学和空间分析方法中有其重要意义:① 可以表达地理属性分布的位置;② 与区域几何重心对比,能够发现地理属性发生的热区;③ 通过计算多时相的区域属性重心,能够分析地理属性发展演化的规律、格局,这亦是本文研究的重要依据和目标。

## 1.2 区域属性重心转移曲线

假设,为了研究区域  $R(R=R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup$

$R_n)$ 上某项地理属性  $A$  在一定时期  $T(T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\})$ 内的演化规律,通过统计已得出各时相、各子区域的属性  $A$  的数值,从而可以计算每个时相的区域  $R$  的属性  $A$  重心  $C_i$ ,进而这些重心组成重心集合  $C$ ,即  $C=\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ 。然后,可以通过比较重心转换的过程,得到属性  $A$  的演化过程。为了叙述和计算方便,不妨引入重心移动向量和重心转移曲线等几个相关概念。

定义 2 重心转移向量:区域  $R$  上相邻时相重心连接形成的有向线,称为重心转移向量。可以表示为:

$$\Gamma_i = C_i \rightarrow C_{i+1} \quad (3)$$

式(3)表示第  $i$  时相的重心转移向量等  $C_i$  指向  $C_{i+1}$  的几何向量,即表示第  $i$  时相后续发展的趋势。

定义 3 重心转移距离:是指重心转移向量的长度,用  $\|\Gamma_i\|$  表示。计算公式为:

$$\|\Gamma_i\| = \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2 + (x_{i+1} - x_i)^2} \quad (4)$$

式中,  $(x_i, y_i)$ 、 $(x_{i+1}, y_{i+1})$  分别表示第  $i$  年和第  $i+1$  年区域重心所在空间的地理坐标。重心转移距离是表示区域属性演化进度快慢的重要标志。重心转移距离越大,地理属性变化越快;反之,则越慢。

定义 4 重心转移方向:是指两相邻时刻重心转移向量的指向,可以表示为:

$$\begin{aligned} \theta_i &= n \frac{\pi}{2} + \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) \\ (n &= 0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $\theta_i$  表示向量  $\Gamma_i$  的指向。

重心年际移动的角度  $(-180^\circ < \theta < 180^\circ)$ , 正东方向为  $0^\circ$ , 逆时针旋转为正, 顺时针旋转为负。当  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  时, 表示重心向东北方向转移; 当  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  时, 表示重心向西北方向转移; 当  $-90^\circ < \theta < 0^\circ$  时, 表示重心向东南方向转移; 当  $-180^\circ < \theta < -90^\circ$  时, 表示重心向西南方向转移; 当  $\theta = 0^\circ$  或  $\pm 180^\circ$  时, 表示重心向正东或正西方向转移; 当  $\theta = \pm 90^\circ$  时, 表示重心向正北或正南方向转移。属性重心偏离几何重心时, 偏移的方向指示了空间现象的“高密度”部位, 多时相属性重心偏移方向指示了区域范围内属性的演化方向。

定义 5 重心转移曲线:是指观测时间  $T$  上每个测量点重心连接而成的曲线,可以表示为:

$$P = \{C_1, C_2, \dots, C_m\} \quad (6)$$

式(6)将重心转移曲线表示为多个测量时刻的区域属性重心的集合,既方便存储,又便于在 GIS 上显示。

区域属性的重心的转移曲线表明观测时期内该地理事物分布格局变化的历史过程,借助 GIS 的可视化功能,可以直观、明了地表达整个研究区域地理属性或地理事物的演化过程。

### 1.3 CTCSTP 计算步骤

① 计算研究区域的几何重心;② 计算每个时相的区域事件属性重心坐标,组成属性重心点集;③ 计算每个时相的属性重心坐标与研究区几何重心的偏移向量,利用偏移向量定量指示该时相事件高发区域在研究区中所处的位置,并根据偏移向量长度大小,判断研究区地理事物分布的均衡度;④ 计算相邻时相的重心转移向量,定量地表达各时间段内地理事物的演化模式;⑤ 利用属性重心点集生成重心转移曲线,定量地表达地理事物在时空上的转移变化格局,并借助 GIS 可视化工具,将转移曲线绘制在相应地图上,以实现时空演化模型的可视化表达。

## 2 实验与分析

本文 3 个实验均采用湖南省 1983~1992 年疟疾发病数据。实验 1 以市级行政区为统计计算单元,用 CTCSTP 方法分析实验数据,并给出疟疾特征;实验 2 利用空间自相关分析方法分析实验数据,并将结果与本文方法结果进行比较;实验 3 以县级行政区为统计计算单元,计算疾病重心转移轨迹,并将结果与实验 1 的计算结果进行比较,分析 CTCSTP 方法的尺度效应。

### 2.1 实验 1

1983~1992 年期间湖南省疟疾重心转移曲线如图 1 所示。图中五星图标点为湖南省几何中心 G 所在位置。



图 1 湖南省 1983~1992 年疟疾重心空间位移  
Fig. 1 Centroid Transferring Curve of Malaria in Hunan Province from 1983 to 1992

表 1 给出了疟疾重心偏离几何中心的距离和

精确偏离方向,以及年际疟疾重心转移方向和距离。

表 1 湖南省 1983~1992 年疟疾重心移动轨迹  
Tab. 1 Centroid Transferring Curve of Malaria in Hunan Province from 1983 to 1992

时 间 (年份)	疟疾重心偏 移几何中心 距离/km	疟疾重心偏 移几何中 心方向/(°)	年际疟疾重 心转移距 离/km	年际疟疾 重心转移 方向/(°)
1983	159	西北 59.873	6	东南 89.038
1984	165	西北 60.964	15	西南 5.500
1985	159	西北 65.936	6	西南 65.833
1986	155	西北 64.295	36	东南 66.119 5
1987	120	西北 63.744	117	东南 76.261
1988	26	西南 13.318	32	西南 81.991
1989	48	西南 51.776	32	东南 33.002
1990	55	西南 87.115	19	西南 79.756
1991	74	西南 85.208	14	西南 76.433
1992	88	西南 83.843		

从图 1 和表 1 中可以发现 1983~1992 年期间湖南省疟疾重心的变动存在两个特点:① 分布重心都不同程度地偏离湖南省区域的几何中心,说明在此期间该省疟疾是非均衡分布的,存在地域差异性;② 时空格局总体上表现出明显地由北向南移动的特征,即 1983~1986 年疟疾重心处于湖南省北部,传播演化幅度很小;1987~1989 年疟疾重心由北向南偏移,移动幅度增大,说明疾病传播演化较剧烈;1990~1992 年疟疾重心继续向南移动,移动幅度变缓,疾病传播演化得到控制。

### 2.2 实验 2

图 2 为利用空间自相关分析方法得到的疾病分布 LISA 聚集图<sup>[15]</sup>。

分析图 2 也可以发现,疟疾发病存在明显的地域性,高发区经历了一个由北向南移动的过程,可划分为 3 个阶段:1983~1986 年南低北高;1987~1989 年逐渐向南;1990~1992 年南高北低。将该结果与实验 1 结果进行比较,二者基本一致,说明重心转移轨迹方法在研究时空演化模式时是可行的,分析结果可靠。进一步对比可以看出,空间自相关分析方法只能得到一系列图形结果,需要使用者进行主观的判断和分析;而重心模型可以比较好地定量计算出每一时间点的重心坐标,可以更客观、精确地表达时空演化模式。

### 2.3 实验 3

实验 3 以县级行政区为统计单元,计算并绘制疟疾重心坐标及重心移动曲线。为了方便比较,将实验 3 计算的重心移动曲线与实验 1 计算的曲线一并绘在地图上,如图 3 所示。

图 3 中实线为市级行政区划尺度上的重心转

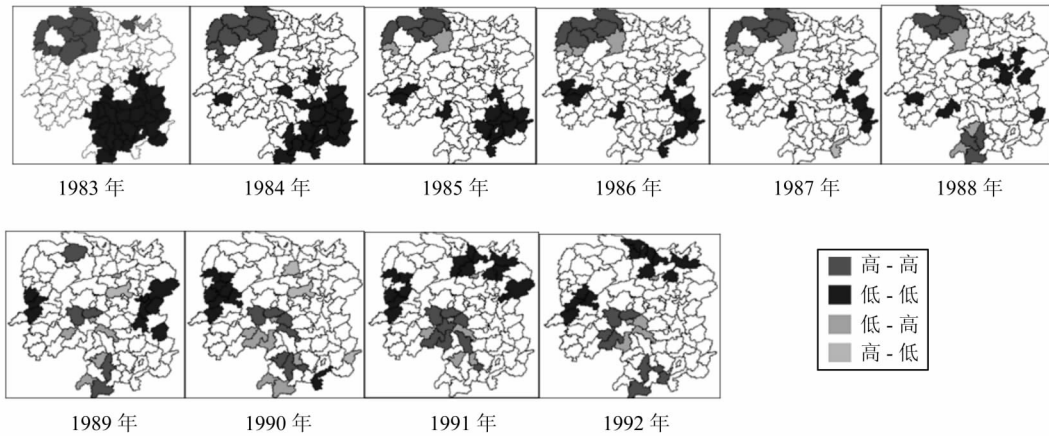


图 2 湖南省 1983~1992 年疟疾分布 LISA 聚集图

Fig. 2 LISA Cluster Map of Distribution of Malaria in Hunan Province from 1983 to 1992

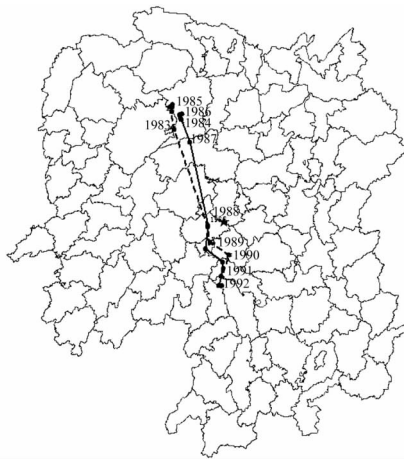


图 3 两种尺度上计算的重心转移曲线  
Fig. 3 Two-scale Centroid Transferring Curve of Malaria

移曲线,虚线为县级行政区划尺度上的重心转移曲线。从图 3 中可以发现,在地市和县两个计算尺度上,重心轨迹基本相同,说明 CTCSTP 空间尺度效应不明显。

### 3 结 语

针对地理现象时空演化模式传统方法存在的主观、非可视化等缺点,本文引入重心模型表达方法,提出了一种 CTCSTP 方法。该方法通过计算研究区域上每个时相的地理事件属性重心坐标,得到多时相重心转移曲线,进而较为准确、直观地描述事件的演化过程。然而,CTCSTP 方法仅是从全局角度反映地理现象的时空分布演化过程,并不能反映局部空间上的时空演化过程;另一方面,地理属性重心位置并不一定是地理现象高密度分布的地区,CTCSTP 方法不能很好地探测地

理现象的热点,这亦是后续需要研究的内容。

### 参 考 文 献

[1] 陈翼,李光强,邓敏,等. 疟疾发病的空间格局和时空演化分析[J]. 地理信息世界, 2010, 8(5): 42-47

[2] Indartna K, Hutubeddy R, Chupraphawan S, et al. Application of Geographic Information System to Co-analysis of Disease and Economic Research: Dengue and Malaria in Thailand[J]. Southeast Asia J Trop Med Public Health, 2000, 29(3): 669-676

[3] 陈江平,张兰兰,余远剑,等. 利用空间自相关的中国内陆甲型 H1N1 流感疫情分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(11): 1 363-1 366

[4] 李仪俊. 我国人口重心及其移动轨迹[J]. 人口研究, 1983, 32(1): 28-32

[5] 何艳芬,张柏,马超群. 吉林省耕地动态变化及其对粮食生产的影响[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 121-125

[6] 徐映雪,任志远,张文梅. 基于 GIS 的陕西省耕地与人口空间变化分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 216-221

[7] 张德利,杨森. 基于重心模型的江苏沿海地区经济空间演变研究[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2009, 18(2): 77-80

[8] Wang F H, Jean M G. Simulating Urban Population Density with Gravity-based Model[J]. Socio-Economic Planning Science, 1996, 30(4): 245-256

[9] Qin X H, Duan X J, Li H, et al. The Spatial Structure of the Population's Education Quality and Its Evolution and Affect on Economic Development in China[J]. Economic Geography, 2008, 28(5): 779-783

[10] Zhao X, Tong S P. Unequal Economic Development in China: Spatial Disparities and Regional Polity Re-consideration, 1985-1995 [J]. Regional Studies,

- 2000, 34(6): 549-561
- [11] 樊杰, 陶普曼. 中国农村工业化的经济分析及省际发展水平差异[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 398-407
- [12] Williamson J G. Regional Inequality and the Process of National Development: A Description of the Patterns [J]. Economic Development and Cultural Change, 1965, 13(4):3-45
- [13] Gao X W, Feng Z J, Ge J F. Analysis of Landscape Security Pattern in Western Mountains of Shijiazhuang[C]. Joint Conference on GIS and Built Environment, China, 2008
- [14] 包玉海, 乌兰图雅, 香宝, 等. 内蒙古耕地重心移动及其驱动因子分析[J]. 地理科学进展, 1998, 17(4): 47-54
- [15] Anselin L. Local Indicators of Spatial Association [J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93-115

第一作者简介: 李光强, 博士生, 讲师, 主要研究领域为空间数据挖掘和时空数据异常探测。  
E-mail: ligq168@163.com

## Employing a Centroid Transferring Curve to Spatio-temporal Evolution Patterns

LI Guangqiang<sup>1</sup> ZENG Shaoqin<sup>1</sup> DENG Min<sup>1</sup> XIAO Qiuyong<sup>1</sup>

(1 School of Geosciences and Info-physics, Central South University, 932 South Lushan Road, Changsha 410083, China)

**Abstract:** To express the geographical phenomenon spatio-temporal evolution patterns, many methods via graphs as the result of spatial autocorrelation analysis have been proposed. However, these methods do not effectively express spatio-temporal evolution. Thus, a centroid-based method was employed to express quantitatively the spatio-temporal evolution patterns. Malaria spatial distributions data, for Hunan Province centroid coordinates are computed of every year from 1983 to 1992, as an example. Next, the spatio-temporal malaria evolution process in Hunan Province is expressed via the malaria barycenter curve, composed of these centroid coordinates. In order to verify the results, we compared the centroid-based results and the results from a common spatial autocorrelation analysis technique. The comparison showed two results are in agreement. Finally, two-scale malaria barycenter curve are computed. This experiments showed that the multi-scale effect is not so obvious.

**Key words:** spatio-temporal pattern; centroid transferring curve; spatial autocorrelation; multi-scale

**About the first author:** LI Guangqiang, Ph. D candidate, lecturer, majors in spatial data mining and spatio-temporal outliers detection.  
E-mail: ligq168@163.com