

文章编号:1671-8860(2010)01-0037-05

文献标志码:A

# 城市道路网络的中介中心性分析

李清泉<sup>1,2</sup> 曾 茷<sup>1,2</sup> 杨必胜<sup>1,2</sup> 李必军<sup>1,2</sup>

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路129号,430079)

(2 武汉大学交通研究中心,武汉市珞喻路129号,430079)

**摘要:**将几个典型城市道路网络作为有向图来分析,这些城市道路网络弧段的BC(betweenness centrality)值的分布呈现一致的规律分布,具有层级性。从总体上来看城市道路网络中大部分等级高的道路具有较高的BC值,大部分等级低的道路具有较低的BC值。

**关键词:**道路网路;中介中心性;空间分析

**中图法分类号:**P208

在对复杂网络分析时,中心性(centrality)是一种度量网络中节点重要性的方法,是反映节点在网络中的地位的一种手段。中介中心性是其中一种中心性度量方法,它给出了在网络中一个节点处通过的最短路径。该方法最初是在社会关系网中衡量一个点的连通潜力,并由此而得到关系网络中这种节点连通能力的聚集度<sup>[1]</sup>。

近几年,国外有些研究已经将中介中心性的概念引入道路网络中来对道路网络所具有的一些网络结构特征作分析。文献[2]分析了道路网络的一种以道路名称为单位的关系网络的中介中心性,反映了街道的层级性。文献[3,4]利用在道路网络中加上某些约束条件(以道路名称或者连续直线关联)后形成一种道路之间的关系网络,来分析道路网络的中介中心性。文献[5,6]则将几个城市的原始道路网络看成无向图,求出节点的几个中心性(包括BC值),这些中心性的统计分布规律与非标度网络节点的度的分布近似。

## 1 中介中心性定义及其计算

假设有向图 $G=(V,E)$ , $V$ 为顶点集, $E$ 为边集,权重 $l:E\rightarrow R^+$ 为边的权重函数,一条路径 $P=\{s,(s,v_1),v_1,(v_1,v_2)\dots(v_n,t),t\}$ 为源顶点 $s\in V$ 到目标节点 $t\in V$ 之间的路径,它是由一系列顶

点和边组成的序列集。路径的长度 $dist(P)$ 为路径 $P$ 所包含的边的权重 $l$ 之和。如果 $s,t$ 之间存在最短路径, $dist(s,t)$ 则为从 $s$ 到 $t$ 之间的最短路径。 $SP(s,t)$ 为 $s,t$ 之间的最短路径。

**定义1** 假设 $\sigma(s,t)$ 为 $s,t$ 之间最短路径 $SP(s,t)$ 的数目, $\sigma(s,t|v)$ 为以 $s,t$ 为起点和终点通过顶点 $v$ 的最短路径数目,当 $v\in\{s,t\}$ 时,则 $\sigma(s,t|v)=0$ ;当 $s=t$ 时,则 $\sigma(s,t)=1$ 。那么, $G$ 中顶点 $v\in V$ 的中介中心性为 $B(v)=\frac{\sigma(s,t|v)}{\sigma(s,t)}$ 。

**定义2** 假设 $\sigma(s,t)$ 为 $s,t$ 之间最短路径 $SP(s,t)$ 的数目, $\sigma(s,t|e)$ 为以 $s,t$ 为起点和终点的通过边 $e$ 的最短路径数目。那么, $G$ 中边 $e\in E$ 的中介中心性为 $B(e)=\frac{\sigma(s,t|e)}{\sigma(s,t)}$ 。

以上两个顶点和边的中介中心性定义是针对所有网络的中介中心性定义的<sup>[7]</sup>,而在道路网络中的相同两点间很少有两条以上的最短路径。为了简化处理,如果出现这种情况,在道路网络形成的不同两点之间只选取一条最短路径。由于道路网络的这种特殊性,针对道路网络中边的惟中介中心性(canonical betweenness centrality)<sup>[8]</sup>有如下定义。

**定义3** 选择 $\bar{P}(s,t)$ 为顶点对 $(s,t)$ 之间的惟

收稿日期:2009-10-23。

项目来源:国家教育部博士点专项基金资助项目(20070486001);国家自然科学基金重点资助项目(40830530);国家自然科学基金资助项目(60872132,40871185);国家教育部重点资助项目(108085);国家863计划资助项目(2007AA12Z241)。

## Betweenness Centrality Analysis for Urban Road Networks

LI Qingquan<sup>1, 2</sup> ZENG Zhe<sup>1, 2</sup> YANG Bisheng<sup>1, 2</sup> LIBijun<sup>1, 2</sup>

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,  
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Transportation Research Center, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The spatial distribution of road networks is a fundamental issue in spatial analysis of GIS for Transportation. Betweenness Centrality is extensively used to evaluate the importance of nodes for the analysis of complicated networks. In this paper, six typical urban road networks were selected and transformed to direct graphs for the analysis of betweenness centrality. The results show that the distribution of betweenness centrality shows consistency and has a hierarchical property. The statistical results of betweenness centrality illustrates that the majority of road segments in high administrative levels characterize high value while the majority of road segments in low administrative levels have low value in urban road networks. The experimental results show that there is a correlation between the Betweenness Centrality hierarchy in mathematical measure and the administrative levels.

**Key words:** urban road network; betweenness centrality; spatial analysis

**About the first author:** LI Qingquan , professor, Ph. D supervisor. His main research fields are focused on GIS-T and ITS.

E-mail: qqli@whu.edu.cn

(上接第 32 页)

[11] 祝永刚,徐正扬. 惯性测量系统的理论与应用[M].  
北京:测绘出版社,1989

[12] 边少锋,许江宁. 计算机代数系统与大地测量数学  
分析[M]. 北京:国防工业出版社,2004

**第一作者简介:**金际航,博士生,主要从事惯性导航、重力场匹配  
辅助导航等方面的研究。

E-mail:jihjin@126.com

## Analysis of Inertial Navigation System Positioning Error Caused by Gravity Disturbance

JIN Jihang<sup>1, 2</sup> BIAN Shaofeng<sup>1</sup>

(1 College of Electrical and Information Engineering, Naval Univ. of Engineering, 717 Jiefang Road, Wuhan 430033, China)

(2 Institute of Hydrographic Surveying and Charting, 40 Youyi Road, Tianjin 300061, China)

**Abstract:** The error of high-accuracy inertial navigation system(INS) caused by the gravity disturbance can't be neglected. Starting from the physical geodesy and Newton's second law, an error dynamics equation of INS, including the influence of gravity disturbance, is firstly presented in this paper. Then, taking single-axis INS as an example, the position error caused by the deflection of vertical and corresponding characteristics of error propagation in three situation were analyzed. Finally, simulation was done on  $1' \times 1'$  deflection of vertical database, and from the simulation result we can see that the horizontal error of INS caused by deflections of the vertical on the sailing course can reach as large as 3 km.

**Key words:** deflections of the vertical; Laplace; inertial navigation system

**About the first author:** JIN Jihang,Ph. D candidate. Majors in inertial navigation and gravity aided inertial navigation.

E-mail: jihjin@126.com