

文章编号:1005-0523(2009)04-0049-04

基于通行能力的公路网连通度研究

邸振^{1,2}, 查伟雄¹, 宋晖颖¹

(1. 华东交通大学 交通运输与经济研究所, 江西 南昌 330013; 2. 南昌工程学院, 理学系, 江西 南昌 330099)

摘要:公路网的连通度评价指标反映了网络中各节点的连通状况,体现了网络的结构特征。在分析现有的公路网连通性评价指标的基础上,考虑到道路通行能力对公路网连通度的重要影响,提出公路网连通性评价指标的新定义。最后给出计算示例,说明该方法的有效性。

关键词:公路网;连通度;通行能力;评价指标

中图分类号:U491.1+2

文献标识码:A

公路是现代交通的重要组成部分,多条公路的连接构成了公路网。把站点和道路抽象为图论中的节点和边,就构成了图。在本文中,公路网记作 $G(V, E)$, 其中 V 为 G 的节点集, E 为 G 的边集。关于刻画图的连通性方面的研究还在不断深入,而目前所使用的最主要指标是图的连通度^[1]。连通度指标反映了图中各节点的连通状况,体现了图的结构特征。

国内众多学者对公路网评价指标问题进行了较为广泛和深入的研究,提出了多种评价指标体系。如文献[2]提出的包括公路网密度、连通度、铺面率、可达性、中位点吻合性等的评价指标体系;文献[3]提出的包括公路网密度、布局均衡度、连通度、等级水平、铺装情况等的评价指标体系;文献[4]提出的包括公路网容量、等级、路面铺装率、连通度、综合密度、节点通达性等的评价指标体系;文献[5]提出的包括目标长度、连通度、中位点吻合性等的评价指标体系。随着时代、社会经济的变迁,人们在关心图连通性的同时把目光转向了图的连接可靠性,但对图连接可靠性研究的基础仍然是图的连通性^[6]。值得注意的是,以上都考察了连通度这一指标,可见,连通度研究对于区域公路网研究具有重要的意义。问题是,能否直接把图论中连通度的概念和计算办法直接应用到公路网络中?应该如何合理地定义公路网的连通度?笔者在研究过程中,借鉴了传统图论中关于连通度的概念和计算方法,同时考虑到道路的通行能力,提出公路网连通度的一个新的概念和计算方法。

1 现有公路网连通度的定义及算法

在文献[2][3][5]以及规划实践中,所使用的公路网连通度的定义大致相同,可以归纳为定义1。

定义1 规划区域内各节点依靠公路相互连通的强度,称为公路网 $G(V, E)$ 的连通度,记为 F 。其计算式为

$$F = \frac{L/\zeta}{nH} = \frac{L/\zeta}{\sqrt{nA}} \quad (1)$$

式中, L 为规划区域内公路的总里程, km; A 为规划区域面积, km^2 ; n 为规划区域内应连通的节点数; H 为相邻两节点的平均空间直线距离, km; ζ 为规划区域内公路网的变形系数, 定义为各节点间实际线路总里程与直线总里程之比, 其值与道路的歪曲情况及节点分布的几何形状有关。

理想状态时, 道路是直线形的, $\zeta = 1$, 所以 $F = \frac{e}{n}$ (式中: e 为公路网的边数)。因此, 一般地说, 定义1所定义的公路网连通度的计算公式可以近似地用公路网中的边数与节点数之比来表示, 即

收稿日期:2009-06-03

作者简介:邸振(1979-),男,安徽涡阳人,硕士研究生,研究方向为交通运输规划与管理。

$$F \approx \frac{e}{n} \quad (2)$$

定义2 有一定的合理性,但也存在很大的局限性,文献[7]对此进行了分析,并采用了图论中关于网络连通度概念定义公路网的联通度,见定义2。

定义3 在网络 $G(V, E)$ 中,使得节点 $v_i, v_j \in V (i \neq j)$ 不连通所要移去的最少边数,称为点对 v_i, v_j 在网络 G 中的连通度,记为 e_{ij} ;网络 G 中所有点对在网络中的连通度的平均值,称为此网络的连通度,记为 F ,即

$$F = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{v_i, v_j \in V} e_{ij} \quad (i \neq j) \quad (3)$$

式中, n 为网络 G 的节点数。

文献[7]对 F 的计算采用了新的算法。算法如下:在网络 $G(V, E)$ 中默认每条边上的容量权为1,运用最大流算法,可计算出点对 $v_i, v_j \in V (i \neq j)$ 之间的最大流量,根据最大流最小截定理,此值即为定义2中的 e_{ij} ,进而可得 F 。

考虑到交通路网的实际问题,比如文献[8]在讨论中等城市常规公交线网连通度计算方法时,采用节点处的用地类型来表征节点的重要度,通过节点的重要度来确定点对重要度。使用了公交线网加权连通度的概念,作为公交线网结构的评价指标,从另一个侧面描述公交线网的连通情况。其定义如下。

定义4 在网络 $G(V, E)$ 中,记 w_{ij} 为点对 $v_i, v_j \in V (i \neq j)$ 的权重, w_i 为点 v_i 的权重,令 $w_{ij} = \frac{1}{2}(w_i + w_j)$,将网络中所有点对连通度的加权平均值定义为该公交线网的连通度,记为 F ,即

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} e_{ij} \quad (4)$$

式中, n 为网络 G 的节点数, e_{ij} 同定义2。

文献[9][10]在考虑区域公路网布局规划的节点重要度、规划线路拥挤程度等因素的基础上,提出了路网加权模糊连通度的计算方法。

定义5 记 f_{ij} 为在网络 $G(V, E)$ 中的节点 $v_i, v_j \in V (i \neq j)$ 的模糊连通度, w_i 为节点 v_i 的重要度,称 $\sum_{j=1}^n w f_{ij} (i \neq j)$ 为节点 v_i 的加权模糊连通度。定义路网 G 加权模糊连通度为网络 G 中所有节点的加权模糊连通度的平均值,记为 F ,即

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w f_{ij} \quad (i \neq j) \quad (5)$$

式中, n 为网络 G 的节点数; w_i 的计算涉及到定性和定量两个因素; f_{ij} 的计算较为复杂,主要依据饱和度,并且在 w_i 一定时,随饱和度的增加而下降。详见文献[9][10]。

上述定义都从不同的侧面反映了公路网的连通性。定义1主要考虑了公路的长度和规划区域的面积,定义2仅仅挪用了运筹学关于图论中对联通度的定义,但显然实际的公路网和抽象的图是有区别的;定义3和定义4考虑到这种区别,于是对公路网中的点和边进行了加权处理,使得连通度更能反映实际路网的特征。它们最大的缺陷就是都没能从道路的实际功能出发,考虑道路的通行能力对连通度的影响。

连通度是公路网的一个客观的评价指标,与道路上有没有车流以及车流的大小并没有关系。而路段的通行能力是一个客观指标,并对公路网连通度有直接影响,当通行能力为零时相当于这个路段没有连通,反过来也成立。另外,还考虑到两点之间有没有直接相连对整个网络结构的重要影响,于是,一个基于道路通行能力的公路网连通度计算方法更加合理。

2 基于道路通行能力的公路网连通度

定义6 在网络 $G(V, E)$ 中,点对 $v_i, v_j \in V (i \neq j)$ 之间的通行能力为 $c_{ij}(\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1})$,可以用网络最大流计算办法求出, $f_{ij}(c_{ij})$ 是 v_i, v_j 的连通度,它是通行能力的函数,网络 G 中所有点对之间连通度的加权平均

值称为路网的连通度,记为 F ,即

$$F = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{v_i, v_j \in V} w_{ij} f_{ij}(c_{ij}) \quad (i \neq j)$$

(6)

式中, n 为网络 G 的节点数; $w_{ij} = \frac{2e}{n(n-1)}$ 为平均两点之间有向弧的数目; e 为总弧数。

由于公路上单车道就可以通行,所以取

$$f_{ij}(c_{ij}) = \frac{c_{ij}}{c^0}$$

(7)

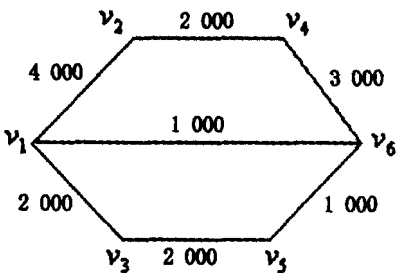
式中, c^0 为标准单车道通行能力。从而

$$F = \frac{2e}{n^2(n-1)^2 c^0} \sum_{v_i, v_j \in V} c_{ij} \quad (i \neq j)$$

(8)

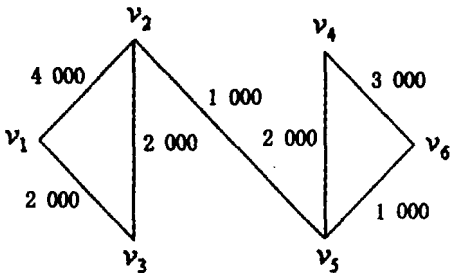
3 算例及连通灵敏度分析

如图 1、图 2 是两个公路网,都是 6 个节点,7 条边,假设双向是对称的(不对称的情形可类似讨论),标准单车道通行能力为 1 000($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$)。按照上述定义,它们的连通度分别为 3.42 和 2.05。



图中数据代表单方向通行能力/ $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$

图 1 公路网 I



图中数据代表单方向通行能力/ $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$

图 2 公路网 II

关键路段连通灵敏度分析:

把图 1 中 v_1 到 v_6 路段和图 2 中 v_2 到 v_5 路段的通行能力分别从 1 000($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$)分别提高到 2 000, 3 000 和 4 000($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$),其连通度见表 1。

表 1 两公路网在不同通行能力下的连通度比较

关键路段 通行能力/ $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$	公路网 I 连通度	公路网 II 连通度	两公路网 连通度之比
1 000	3.42	2.05	1.67
2 000	3.61	2.61	1.38
3 000	3.73	3.17	1.18
4 000	3.80	3.36	1.13

从表 1 的计算结果看,可得以下结论:(1) 上述不同情况下的计算都表明路网 1 结构优于路网 2;(2) 从两个公路网的连通度之比可以看出,随着关键路段通行能力增加所引起的两个路网连通度差异变小,这说明图 2 中 v_2 到 v_5 这条路径对于整个网络的连通性至关重要,对通行能力的变化更加灵敏;(3) 通过增加图 2 中 v_2 到 v_5 这条路径的通行能力,可以达到和图 1 第一种情况相接近的连通效果。此算例表明,即承认了两个公路网的差异,又可以说明在改善某些路段通行能力后差异可以变小。这为多中心城市的发展和区域公路网的建设提供了重要依据。

4 结束语

分析了现有公路网连通度研究成果以及存在的不足之处,考虑到道路通行能力对公路网连通度的重

要影响,提出基于通行能力的公路网连通度的定义和计算方法,并以算例进行验证,所得结果说明该方法具有良好的适用性。从而,从连通性的角度对现代公路网以及现代城市的规划和建设提供了参考。

参考文献:

- [1] 王志平,任 光,赵连昌.离散度与其它参数在连通性方面的比较[J].大连海事大学学报,2001,27(2):82-84.
- [2] 杨 涛.公路网规划[M].北京:人民交通出版社,1998.127.
- [3] 施耀忠,陈学武,刘小明.公路网规划的技术评价指标与评价标准研究[J].中国公路学报,1995,8(增1):120-124.
- [4] 周 伟,张生瑞,高行山.基于模糊理论和神经网络技术的公路网综合评价方法研究[J].中国公路学报,1997,10(4):76-83.
- [5] 杨兆升,季常煦,杨 楠.公路网规划方案技术水平评价方法的研究[J].公路交通科技,2001,14(4):12-17.
- [6] 熊志华,邵春福.路网可靠性研究的回顾与展望[J].交通运输系统工程与信息,2003,3(2):77-80.
- [7] 徐 军,罗嵩龄.公路网连通性研究[J].中国公路学报,2000,13(1):95-97.
- [8] 陈 燕.中等城市常规公交线网连通度计算方法[J].交通科技与经济,2007,9(5):82-83.
- [9] 顾政华,李旭宏,于世军.区域高速公路网布局结构的连通度研究[J].公路交通科技,2005,22(2):86-89.
- [10] 秦 霞,顾政华,李旭宏.区域公路网布局规划方案的连通度评价指标研究[J].土木工程学报,2006,39(1):112-116.

Research on the Connectivity of Road Network Based on Capacity

DI Zhen^{1,2}, ZHA Wei-xiong¹, SONG Hui-ying¹

(1. Institute of Transportation and Economics, East China Jiaotong University, Nanchang 330013; 2. Department of Sciences, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330039, China)

Abstract: The evaluating index of highway network connectivity reflects connecting status of each nodes in the network, and shows the structural characteristics of the network. Based on the analysis of the existing evaluating index of highway network connectivity, taking into account the important impact of the road capacity on the connectivity of road network, a new definition is given in this paper. Finally, a calculation example is presented to explain effectiveness of the method.

Key words: road network; connectivity; capacity; evaluating index

(责任编辑:王建华)