

基于节点重要度法的高速公路与 城市道路衔接线位置研究

任传祥, 刘法胜, 周 丽

(山东科技大学 交通学院, 山东 青岛 266590)

摘要:研究了高速公路与城市道路衔接规划中衔接线与城市道路衔接位置的选取问题;分析了基于互通式立交数量确定衔接线数量的方法,设计了节点重要度法用以优化衔接线位置,包括节点及其评价指标的选择、聚类计算及分析等;最后,将节点重要度法应用于潍坊市与济青高速公路衔接线布局规划,通过计算得到了可行结果。

关键词:衔接线位置;布局规划;高速公路;城市道路;节点重要度法

中图分类号:U412.1

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)02-0100-07

The Position of Connected-way for Highway and Urban Road Based on Node Importance Analysis Method

Ren Chuanxiang, Liu Fasheng, Zhou Li

(College of Transportation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: The optimizing for location of connected-way for urban road was studied on the problem of layout planning for connected-way of highway and urban road. The method for connected-way number based on the interchange number was analyzed, and then the node importance analysis method was designed for the optimizing of location for connected-way, which includes the selection of node and its indexes, cluster calculation and analysis and so on. Finally, the method proposed was applied to the layout planning for connected-way of Jinan-Qingdao highway and Weifang urban road. The result approves the feasibility of the method.

Key words: connected-way location; layout planning; highway; urban road; node importance analysis method

高速公路交通与城市交通通过衔接线进行连接,相对独立而又相互依存。随着我国高速公路的快速建设及大交通策略的实施,高速公路与城市道路的衔接问题日益突出,衔接线的布局规划成为研究的热点问题。高速公路与城市道路衔接线的布局规划包括衔接线的数量、城市出入口的节点类型、城市对外出入口的位置、衔接线的走向。

美国在高速公路建设实践中,非常重视高速公路的规划、建设,及其与城镇的有机衔接。文献[1]通过构建城市工人工作旅程时间区域,指出城市工业区、居住区布局与道路布局之间存在联系并相互影响。文献[2]探讨了城市用地与道路建设相互影响并不断发展的关系,给出高速公路与城市主干道规划的过程、影响因素、规划原理等。文献[3]将城市土地使用和城市交通作为整体进行研究,分析了空间交互模型、熵最大模型、随机效用理论及决策链理论等,建立了土地使用和交通一体模型,并对其进行了分析和应用。

国内关于城市出入口位置选择的研究基本可以归结为两类:一类是针对中小城市,使用的方法是优势指数法^[4-6];另一类针对大城市和特大城市,使用的方法是模糊聚类法^[4,7]。而始于图论中的最关键节点问题和

收稿日期:2013-01-03

基金项目:国家自然科学基金项目(61273197,60804034);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(BS2012DX031)

作者简介:任传祥(1973—),男,山东苍山人,副教授,博士,主要从事交通信息采集、处理与控制 and 交通运输规划方面的研究。

E-mail:ren_chx@sina.com

最关键边问题研究的节点重要度法逐渐被应用于交通规划领域,如郑强^[8]应用节点重要度法对公路网布局进行了优化研究;徐乃强等^[9]将节点重要度法应用于高速公路网络布局规划;周伟等^[10]将其应用于公路运输站场建设序列研究;李伴儒^[4]应用节点重要度方法研究了外部城市对主节点城市的重要性问题;周丽等^[11]将节点重要度法应用于对高速公路与城市道路衔接线的位置选取,取得了一定的结果。本文对节点重要度方法进行详细分析,并应用于高速公路与城市道路衔接线位置的优化。

1 衔接线数量的确定

与衔接线连接的城市出入口位置的选择需要先确定衔接线的数量,然后便可根据城市已有主干道、快速路干道优化选择衔接线连接的城市出入口。

衔接线数量选择过多会造成土地、人力资源及资金的浪费,选择过少可能使得城市交通与高速公路交通不协调,进而影响区域交通。在实际应用中,衔接线的数量可以通过高速公路在城市设置的服务性互通立交的数量来确定,而互通式立交的数量则与其间距相关。对于互通式立交的间距,不同国家都有适合自己国情的规定。日本高速公路出入口间距的设置标准如表1所示^[12],而德国关于高速公路出入口间距的设置标准如表2所示^[13],我国关于互通式立交间距的规定如表3所示^[14]。互通式立交数量的确定可在遵循国家规范的前提下,通过分析城市经济发展水平,并结合城市布局、自然条件等确定立交的间距,进而确定互通立交的数量得到衔接线的数量。

表1 日本关于出入口间距的设置标准表

Tab.1 Standards on interval of highway entrance and exit in Japan km

地区	出入口的设置标准间距
大城市周围、主要工业区	5~10
小城市零星分布的平原区	15~20
地方市镇、山岭区	20~30

表2 德国关于出入口间距的设置标准表

Tab.2 Standards on interval of highway entrance and exit in Germany

交叉口类型	标准间距/m	
	高交通量路段	低交通量路段
高速公路	$2\ 700+L_1+L_2$	$2\ 700+L_1+L_2$
其他公路	$2\ 200+L_1+L_2$	$1\ 700+L_1+L_2$

注: L_1 为加速车道长度(包括三角段); L_2 为减速车道长度(包括三角段)

2 节点重要度法

将所研究的交通区域分成若干个子区域,每个区域抽象为一个节点,本研究中的节点即城市对外出入口。重要度是定量描述区域内各节点间相对重要程度的指标,也是各节点功能强弱的综合度量。节点重要度法就是根据选取的评价指标对节点进行重要度分析,计算出区域内各节点的相对重要程度。

节点重要度的分析需采用聚类方法,常用的聚类方法有系统聚类法、动态聚类法、有序样本聚类、有重叠聚类和模糊聚类等,其中系统聚类法^[15]因鲁棒性好、可靠性高而得到广泛应用,而系统聚类法根据类与类之间距离的定义不同可以分为最短距离法、最长距离法、重心法、类平均法等。经过实验,本研究选用系统聚类中的类平均法对节点进行分析。

节点重要度法的优化过程包括确定节点、选择节点重要度分析的评价指标、聚类分析并得到聚类结果。

1) 确定待选节点

待选节点过多会使得计算复杂,干扰重要节点;而待选节点过少可能会造成精度降低、不合实际等。通常依据城市的规模、布局、路网结构,并依据衔接线数量从城市现有的出入口及规划的出入口确定待选节点。

表3 我国关于互通式立交间距的规定

Tab.3 Standards on interval of highway interchanges in China km

地区	平均间距	最大间距 最小间距	
		大城市及重要工业区附近	5~10
一般地区	15~25	—	—

2) 确定评价指标

选择路网等级指数、通行能力、负荷度、路网连接度、在对外交通中的地位、社会及环境影响为节点重要度的评价指标^[11]。

① 路网等级指数 j 反映节点道路等级结构和等级水平:

$$j = \left(\sum_{i=1}^n j_i l_i \right) / \sum_{i=1}^n l_i \quad (1)$$

其中: j_i 一衔接线路网中路段 i 的等级, 快速路为 1, 主干路为 2, 次干路为 3; l_i 一路段 i 的长度。

② 通行能力 C 反映节点道路的集散能力, 其值为节点下游路段的通行能力之和:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

其中: C_i 一节点下游路段 i 的通行能力; n 一节点下游路段总数。

③ 负荷度 n_x 为衔接线实际负荷交通量与设计交通量之比, 计算公式为

$$n_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{c_i} \quad (3)$$

其中: v_i 一路段 i 的实际负荷交通量; c_i 一路段 i 的设计交通量。

④ 路网连接度 K 反映节点道路系统的成熟度, 计算公式为

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

其中: p_i 一第 i 个交叉口所邻接的路段数; n 一交叉口总数。

⑤ 在对外交通中的地位、社会及环境影响: 这两项指标可根据专家经验进行确定。

3) 聚类分析

① 样本间距离

样本间距离采用欧氏距离, 设有两个 p 维的样本 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$, $\mathbf{X}_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp})$, 则这两个样本间的欧氏距离为

$$d_{ij} = [(\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)^T (\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)]^{1/2} \quad (5)$$

② 类间距离

经过对不同类间距离法的实验, 采用更能充分利用各样本信息的类平均法计算类间距离, 两类之间的距离平方为这两类元素两两之间距离平方的平均, 即

$$D_{pq}^2 = \frac{1}{n_p n_q} \sum_{X_i \in G_p} \sum_{X_j \in G_q} d_{ij}^2 \quad (6)$$

其中: D_{pq} 表示类 G_p 和 G_q 间的距离; G_p 和 G_q 表示类; n_p , n_q 表示类 G_p 和 G_q 的样本个数。

设聚类到某一步将 G_p 和 G_q 合并为 G_r , 则任一类 G_k 与 G_r 的距离为

$$D_{kr}^2 = \frac{1}{n_k n_r} \sum_{X_i \in G_k} \sum_{X_j \in G_r} d_{ij}^2 = \frac{1}{n_k n_r} \left(\sum_{X_i \in G_k} \sum_{X_j \in G_p} d_{ij}^2 + \sum_{X_i \in G_k} \sum_{X_j \in G_q} d_{ij}^2 \right) = \frac{n_p}{n_r} D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{kq}^2 \quad (7)$$

③ 聚类过程

(a) 设待选节点为 n 个, 即 n 个样本, 根据确定的 6 个评价指标, 在数学上可表示为一个 $n \times 6$ 的矩阵;

(b) 把 n 个样本各自看成一类, 即整个样本分成 n 类;

(c) 计算 n 类样本间的两两距离, 得距离阵, 记为 $\mathbf{D}_{(0)}$, 由于每个样本自成一类, 此时矩阵 $\mathbf{D}_{(0)}$ 中的元素为 d_{ij} ;

(d) 找出 $\mathbf{D}_{(0)}$ 的非对角线最小元素, 设为 D_{pq} , 将 G_p 和 G_q 合并成一个新的类, 记为 G_r , 即 $G_r = \{G_p, G_q\}$;

(e) 根据类与类之间的计算公式(7)计算新类与其他类的距离, 将 $\mathbf{D}_{(0)}$ 中第 p, q 行及 p, q 列并成一个新行新列, 新行新列对应 G_r , 所得到的矩阵记为 $\mathbf{D}_{(1)}$;

(f) 对 $\mathbf{D}_{(1)}$ 重复上述对 $\mathbf{D}_{(0)}$ 的(d), (e)两步得 $\mathbf{D}_{(2)}$, 如此下去, 直到所有的元素并成一类为止。

④ 聚类结果分析

聚类后得到聚类图,并可以得到所要求的类,然后计算各类的重心向量,其值代表该类评价指标的值,即该类的重要度。在衔接线节点重要度分析中,通常将节点分成重要度最大、重要度较大和重要度一般三类。在对节点分类后,可以选择第一、第二类作为衔接线与城市的接口,优先选择第一类。一旦选定了节点,即确定了高速公路与城市道路衔接线的位置。

3 实例分析

以济青高速公路与潍坊市道路衔接为例,根据所述的方法研究其衔接线的位置。潍坊市位于山东半岛中部,是承接东部沿海和内陆腹地的交通枢纽。潍坊城区路网呈“棋盘状”分布,贯穿东西的有健康街、胜利街、东风街、福寿街、北宫街等主要街道,贯穿南北的有向阳路、和平路、潍州路、鸢飞路、新华路、北海路等主要道路,构成中心城区的主要路网框架。

根据互通式立交的规划标准,济青高速公路与潍坊市通过 3 个互通式立交进行衔接,即有 3 条衔接线。如图 1 所示济青高速公路与潍坊市道路衔接规划图,为了得到合理衔接位置,选择 10 个出入口作为备选节点。对图 1 中的 10 个节点进行重要度分析,根据所选取的重要度评价指标得到各样本指标值,如表 4 所示。

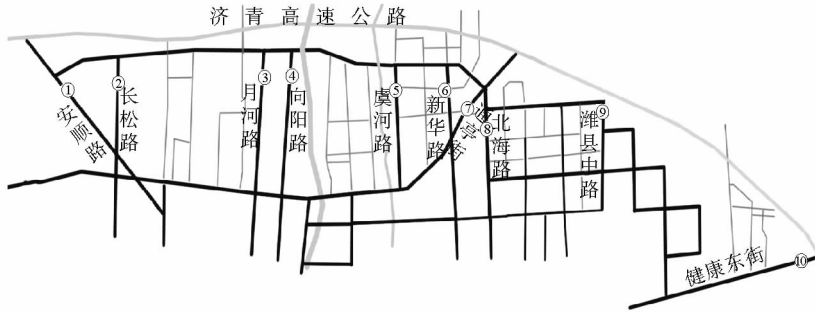


图 1 济青高速公路与潍坊市道路衔接规划图

Fig. 1 The connected-way planning diagram for Jinian-Qingdao highway and Weifang urban road

对表 4 所选的 10 个出入口样本采用聚类分析的方法进行节点重要度分析,样本间距离采用欧式距离,表 5 为采用不同类间距离计算方法对应的分类后相干系数,从表中可以看出采用平均距离法分类相干系数最大,因此类与类之间的距离采用类平均法进行计算。

首先对原始数据进行标准化处理,采用离差标准化方法,将原始数据变成区间[0,1]上的数据,若序列为 x_1, x_2, \dots, x_n , 则标准化计算公式为

$$y_i = \frac{x_i - \min_{1 \leq j \leq n} \{x_j\}}{\max_{1 \leq j \leq n} \{x_j\} - \min_{1 \leq j \leq n} \{x_j\}} \quad (8)$$

根据式(8)得到标准化后的序列 y_1, y_2, \dots, y_n 。据此对表 1 的 10 个样本的指标进行标准化,得到标准化后的值如表 6 所示。

对标准化后的样本进行聚类得到聚类图,如图 2 所示。样本分为 3 类时为 $\{1, 7, 10\}, \{3, 4, 5, 6, 9\}, \{2, 8\}$, 可以计算得到该 3 类的重心向量如表 7 所示。通过对表 7 中的数据分析可以看出:第一类的 6 项指标值最优,重要度最大;第二类的 6 项指标值较优,重要度较大;第三类的 6 项指标

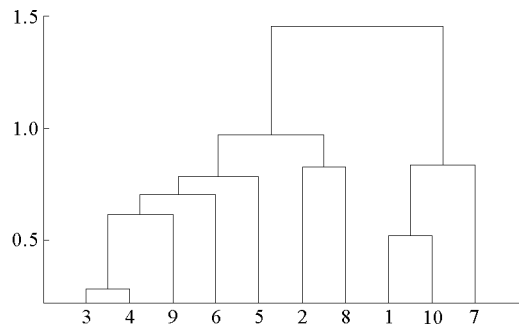


图 2 样本聚类图

Fig. 2 The cluster tree of samples

值较差,重要度一般。据此聚类结果,第一类出入口的重要度高,应优先选择,而且根据该例需要 3 个出入口,因此选择第一类作为与高速公路的衔接点,即如图 1 所示,衔接线通过节点 1,7 和 10 与高速公路相连接。图 3 为当前的潍坊市道路网地图,比较图 3 和图 1 可以看出,当前道路网布局与运用节点重要度法分析得到的布局方案一致,表明了节点重要度法的可行性。



图 3 潍坊市部分道路网地图

Fig. 3 the part of Weifang urban road network form Google map

表 4 样本指标值表

Tab. 4 Sample index value

编号	等级指数	通行能力/(pcu/h)	负荷度	路网连接度	对外交通地位	社会及环境影响
1	2.5	8 500	0.5	1.81	0.9	0.6
2	1.6	4 200	0.4	1.71	0.6	0.6
3	1.6	4 900	0.5	1.72	0.6	0.4
4	1.6	5 400	0.6	1.71	0.6	0.4
5	1.7	5 200	0.6	1.82	0.5	0.5
6	1.7	5 000	0.7	1.72	0.4	0.3
7	1.9	7 400	0.4	1.82	0.7	0.5
8	1.4	4 800	0.4	1.64	0.7	0.4
9	1.7	5 200	0.5	1.80	0.6	0.3
10	2.6	8 900	0.3	1.82	0.9	0.6

表 5 不同类间距离法对应的分类后相干系数表

Tab. 5 Correlation coefficients of methods calculating the distance between classes

类间距离计算方法	平均距离法	最大距离法	重心距离法	最短距离法
相干系数	0.797 3	0.791 4	0.790 7	0.697 7

表 6 样本指标标准化值表
Tab. 6 Sample index value normalized

编号	等级指数	通行能力	负荷度	路网连接度	对外交通地位	社会及环境影响
1	0.916 7	0.914 9	0.500	0.944 4	1.000	1.000 0
2	0.166 7	0	0.250	0.388 9	0.400	1.000 0
3	0.166 7	0.148 9	0.500	0.444 4	0.400	0.333 3
4	0.166 7	0.255 3	0.750	0.388 9	0.400	0.333 3
5	0.250 0	0.212 8	0.750	1.000 0	0.200	0.666 7
6	0.250 0	0.170 2	1.000	0.444 4	0	0
7	0.416 7	0.702 1	0.250	1.000 0	0.600	0.666 7
8	0	0.127 7	0.250	0	0.600	0.333 3
9	0.250 0	0.191 5	0.500	0.888 9	0.400	0
10	1.000 0	1.000 0	0	1.000 0	1.000	1.000 0

4 结束语

将节点重要度法应用于高速公路与城市道路衔接线位置规划,给出衔接线布局规划的过程,特别是对衔接线数量的确定方法进行详细分析;将节点重要度法应用于衔接线位置的优化,给出计算过程,对于节点指标的选取及聚类分析的方法和过程进行详细的研究;最后,以潍坊市与济青高速公路衔接线的位置布局规划为例,将节点重要度方法应用于衔接线位置的规划,通过计算结果与实际规划的比较证明了该方法的可行性。

参考文献:

[1] American Society of Planning Officials. The journey to work: Relation between employment and residence[R]. Planning Advisory Service Report No. 26. Chicago, American Society of Planning Officials, 1951: 1-28.

[2] Institute of Transportation Engineers. Planning urban arterial and freeway systems[R]. ITE Committee, Washington D C, 1985: 24-29.

[3] Barra T. Integrated land use and transport modeling: Decision chains and hierarchies[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989: 48-167.

[4] 李伴儒. 高速公路与城市的衔接研究[D]. 南京: 东南大学, 2003: 33-37.

[5] 肖平. 中小城市道路与高速公路的衔接布局[J]. 中华建设, 2007(9): 47-48.
Xiao Ping. Connected-way layout of medium and small city road and express way[J]. China Construction, 2007(9): 47-48.

[6] 聂文涛. 高速公路与城市道路衔接问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2010: 26-29.

[7] 刘进民. 高速公路与城市道路衔接道路布局规划研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007: 23-27.

[8] 郑强. 公路网布局优化中重要度布局法的有关计算[J]. 山西交通科技, 2002(2): 25-26.
Zheng Qiang. The computation of important distribution method of highway net distribution optimization[J]. Shanxi Science & Technology of Communications, 2002(2): 25-26.

[9] 徐乃强, 徐家兵. 节点重要度分析方法在高速公路网布局规划中的应用: 以安徽省为例[M]//中国公路学会公路规划分会文集. 北京: 人民交通出版社, 2003: 176-180.

[10] 周伟, 姚志刚, 王元庆, 等. 基于节点重要度的公路运输站场建设序列[J]. 长安大学学报: 自然科学, 2006, 26(2): 69-72.
Zhou Wei, Yao Zhigang, Wang Yuanqing, et al. Optimizing items order of highway transport terminals based on analyzing importance of nodes[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(2): 69-72.

表 7 各类的重心向量表

Tab. 7 the center vector of every class

类别	类重心向量
第一类	2.333 3, 8 300, 0.400 0, 1.816 7, 0.833 33, 0.566 67
第二类	1.660 0, 5 120, 0.580 0, 1.754 0, 0.540 00, 0.380 00
第三类	1.500 0, 4 500, 0.400 0, 1.675 0, 0.650 00, 0.500 00

[11]周丽,刘法胜,任传祥,等.高速公路与城市道路衔接线位置的研究[J].山东交通科技,2010(3):5-8.
Zhou Li,Liu Fasheng,Ren Chuanxiang,Yin S L. Study on connected-way location of expressway and urban road[J]. Shandong Traffic Science and Technology,2010(3):5-8.

[12]日本道路公团.日本高速公路设计要领[M].交通部工程管理局,译.西安:陕西旅游出版社,1991:10.

[13]周丽.高速公路与城市道路衔接线的布局研究[D].青岛:山东科技大学,2011:27-30.

[14]中交第一公路勘察设计研究院.公路路线设计规范[M].北京:人民交通出版社,2006:131.

[15]方开泰.实用多元统计分析[M].上海:华东师范大学出版社,1989:228-340.

(责任编辑:吕文红)

“多机器人系统分布式协同控制” 专栏征稿

机器人在民用及工业生产中得到广泛的应用,是一类典型的非线性系统。过去 20 年,单个机器人控制及应用取得了极大成功。随着应用领域的拓展,医疗服务、军事和制造业等领域中多个机器人协同情况逐渐增多。多机器人协同不仅能够增强机器人系统的灵活性,而且能够完成单个机器人无法完成的任务。分布式协同控制能够通过网络,充分利用子系统信息,是解决多机器人系统协同的有效方法。近年来,复杂网络和多智能体的研究成为控制界的热点问题,取得了丰硕的研究成果,给多机器人系统分布式协同控制带来很多有益的启迪。本专栏正是在这种背景下,探索多机器人分布式协同控制的新方法和新思想,围绕以下内容,但不限于这些内容:

- ◇多机器人同步控制
- ◇有限时间多机器人协同控制
- ◇基于复杂网络的多机器人一致控制
- ◇基于状态观测器的多机器人协同控制
- ◇多 Euler-Lagrangian 系统一致性研究
- ◇多机器人力同步控制
- ◇存在运动学不确定性的多机器人协同控制
- ◇多机器人分布式协同控制新方法与新应用

专栏稿件无需任何出版费用,欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿。作者请于 2014 年 12 月 30 日前将稿件通过 <http://xuebao.sdust.edu.cn/>提交至学报稿件处理系统,并在备注中注明“多机器人系统分布式协同控制”专栏投稿。

专栏特约编辑:赵东亚

联系电话:13698651078

电子邮箱:dongyazhao@gmail.com;dyzhao@upc.edu.cn

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部