

基于节点重要度的城市群城际道路公交线路规划

赵诗诗, 卢毅, 郝利烨

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要:为解决城市群公交一体化推进中道路客运公交化和公交线路优化规划问题,通过构建城市群区域路网节点重要度评价模型对路网节点进行评价确定公交线路必经节点,以最优路径为目标,建立城市群各路段权重计算模型,通过蚁群算法求解,确定道路公交线路布局;以湖南长株潭城市群进行实例论证,求解结果表明该规划方法具有一定的可行性和实用性。

关键词:城市交通;城际道路;公交线路;节点重要度;城市群

中图分类号:U491.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)05-0024-03

城市群道路公交一体化既包括道路客运公交化改造,也包括各城市既有公交按城市群一体化要求进行的完善,需对城市群公交线网统一规划和建设实施,其中公交线路规划是关键。城市群一体化道路公交线路规划是指按公交线路规划设计要求,对城市群中心城区到城际间县城、重点乡镇、村和其他重要客流集散处(点)的公交线路作统一安排,不能采用传统的城际道路客运班车线路和城市内常规公交线路规划方法。城市群一体化道路公交线路规划范围包括城区、城乡结合部及为数众多的乡镇、村、重要客流集散处(点)等,可将这些地点视为公交线路设置的节点。该文根据城市群道路公交一体化线网布局特点和要求,以节点重要度确定城市群区域的必经节点,进而确定城际道路公交具体线路。

1 必经节点确定

城市群是若干个城市聚集而成的大系统,其区域优势非常明显。城市群不仅在区域层次上,而且在互相关联的空间上均以区域网络化组织为纽带,具有网络的基本特性。精准地对各节点进行重要度评价,是城市群区域道路公交线路布局规划中的重要环节。为方便图上作业和线路计算,将实际路网进行抽象化,即将规划区域划分为若干个子区域(一般按照行政区进行划分),把每个子区域都抽象为一个点,即节点。节点重要度表示各节点在路网中地位、功能的大小程度。城市群道路客流是从一个城区到另一个城区或从村镇进入城区,其起讫点大部分为居民居住地所属城镇,可通过收集各城镇的人口、经济等因素计算得到各子区域的重要度,明确重要区域。节点重要度计算公式如下:

$$I_i = (\alpha_1 \frac{T_i}{T_0} + \alpha_2 \frac{P_i}{P_0} + \alpha_3 \frac{G_i}{G_0} + \alpha_4 \frac{L_i}{L_0} + \alpha_5 \frac{D_0}{D_i}) \times 100\% \quad (1)$$

式中: I_i 为*i*区域的重要度; α_j ($j=1,2,3,4,5$)分别表示所辖村落数、人口数、工业产值、公路总里程、与城市群区域形心的直线距离的影响权重; T_i 为*i*区域所辖村落数(个); T_0 为各区域平均所辖村落数(个); P_i 为*i*区域人口数(万人); P_0 为各区域平均人口数(万人); G_i 为*i*区域工业产值(万元); G_0 为各区域平均工业产值(万元); L_i 为*i*区域公路总里程(km); L_0 为各区域公路平均总里程(km); D_i 为*i*区域与城市群区域形心的直线距离(km); D_0 为各区域与城市群区域形心的平均直线距离(km)。

通过节点重要度计算,可得出城市群区域内的必经节点,为后续道路网规划作准备。

2 城际道路公交最优路径确定方法

2.1 城际道路公交线路问题定义

城市群道路网具有道路路线、交叉路口等物理属性,也具有路线长度、通行时间等逻辑属性。分别用节点、道路路线表示城市道路网中交叉路口和两节点间连接的边,并将路线长度、通行时间等属性表示为该边的权值,即将道路网抽象为带权有向图。

定义有向图 $G=(V,E)$,其中 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为顶点集, $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 为边集, $W=\{w_{ij}; i, j \in V\}$ 为顶点*i*到顶点*j*的权重。对于给定的起讫点*O*、*D*及*V*的子集*V'*(必经节点),寻找从起点到终点的不重复最短无环路径*P*,使*P*经过*V'*中所有顶点,且从起点到终点的路径代价最小。

2.2 基于最短路思想的路段权重计算

在城市群区域路网中,各路段随道路等级不同所表现的运输功能及对区域路网的影响程度不相同,随其所处地理位置影响在路网中的地位和作用大小也不一样,这种特点以路段周边村镇个数来体现。鉴于经过计算各路段的时间得到路段权重的方法较烦琐,而在速度相等的条件下公交车通过道路的时长与道路长度成正比,采用等效道路长度替代时长。路段权重计算公式如下:

$$W_{ij}^r = \frac{x_{ij}^r y_{ij}^r}{\sum_{i,j=1}^n (x_{ij}^r y_{ij}^r)} \quad (2)$$

$$x_{ij}^r = \beta_1 \sum_{q=1}^m D_q^r \cdot L_q^r \quad (3)$$

$$y_{ij}^r = \beta_2 \frac{V}{V_{ij}^r} \quad (4)$$

式中: W_{ij}^r 为路段 r_{ij} 在路网中的权重; x_{ij}^r 为 r_{ij} 路段的等效道路长度(km),按式(3)计算,将 r_{ij} 路段按照不同道路等级划分成 m 部分,每部分计为第 q 部分; β_1 、 β_2 分别表示 r_{ij} 路段的等效道路长度和1 km范围内覆盖的村镇数对 r_{ij} 路段重要度的权重,根据《城乡公共客运规划与组织》,居民可忍受的步行距离在1 km内, β_2 选用1 km作为 r_{ij} 路段吸引城际客流的范围; D_q^r 为 r_{ij} 路段第 q 部分的道路等级折算值,其取值见表1; L_q^r 为 r_{ij} 路段第 q 部分的实际道路长度(km); y_{ij}^r 为 r_{ij} 路段1 km范围内覆盖的村镇数与城市群规划范围内村镇数的比值; V 为城市群规划范围所覆盖的村镇数(个); V_{ij}^r 为 r_{ij} 路段1 km范围内覆盖的村镇数(个)。

效仿公路等效里程的原理,按相应权重与不同等级道路实际长度之积获得各路段等效道路长度。当道路实际长度一定时,道路等级越高,则设计车速越大,意味着通过该路段的时间越短,相当于道路长度变短。根据各级公路设计车速的最高值设计折算值(见表1)。

表1 各级道路长度的等效折算值

道路等级	设计车速/(km·h ⁻¹)	等效折算值
一级	100	0.1
二级	80	0.2
三级	40	0.4
四级	20	0.5

根据式(2)计算的路段权重,选择权重较小的线路即等效道路长度越短、1 km范围内覆盖的村落数

越多的路段作为城际道路公交线路。

3 约束条件

(1) 线路长度。城际道路公交线路的长度必须适宜,线路过长会使客流不均匀分布、单次运行时间过长等,影响线路的总体运输效率,不能很好地为城市群居民跨市出行提供服务,还会浪费资源;线路过短则会使公交车调度转向的总时间变长、公交车辆利用率降低,导致公交车运行速度下降、居民换乘次数增加等。根据《城市道路交通设计规范》,市区公共汽车与电车的主要线路长度最好为8~12 km。由于城际道路公交需横跨2座以上城市,线路一般比城市公交线路长,同时农村道路较崎岖,适当将条件放宽,根据中国城市群空间布局现状,城际道路公交线路长度取15~40 km。

(2) 线路非直线系数。线路非直线系数 F 为公交线路实际长度 L 与公交线路起讫点间空间直线距离 D 之比。当公交线路呈环形分布时,其线路非直线系数用公交线路上主要枢纽点或最远的两个节点来衡量。根据《城市道路交通设计规范》,公共交通线路非直线系数不大于1.4。城际道路公交也应符合这个规定,若计算得到的线路不符合该要求,应重新选择起讫点或必经节点。

4 模型求解

目前对最短路径问题的研究众多,大多只对起点和终点进行研究,未考虑有节点约束的网络。对最短路径模型进行计算的经典算法为Dijkstra,通过该算法能得到使全局最优的最短路径。但城市群区域网络节点数量较大、网络边数较多,Dijkstra算法存在内存占用大、时间复杂度高不足,无法便利地解决含必经点约束的最优路径确定问题。

对城市群道路公交进行线路规划,需根据评价节点重要度拣选必经区域。因为必经节点数已确定,且一般数目不多,可采用较复杂的启发式算法。启发式算法的计算量很大,适用于节点较多的模型,常能发现较正确的解。其中蚁群算法已普遍应用于求解各种优化问题,如旅行商问题、网络路由等复杂组合优化问题。为了使蚁群算法能解决带有必经点约束的最短路径问题,对基本蚁群算法进行优化,使必经节点的初始信息素大于其他节点,然后通过计算机编程实现最短路径模型计算。

基于蚁群算法的城市群道路公交最优路径计算

步骤(见图1)如下:

(1) 初始化蚁群。确定合适的蚁群数量 m 和信息素 Q , 最大迭代次数 N_c , 启发式信息参数 α, β , 初始化每条路径上的信息素 $T_{ij}(0) = C$ 及信息素增量 $\Delta_{ij}(0) = 0$, 初始化包含必经点的路径上的信息素为 $T_{xy}(0) = D(x, y \in K)$, K 为必经点集, 且 $D > C$ 。

(2) 在起点位置放置蚂蚁, 初始化 m 只蚂蚁的禁忌表及信息素表, 并将起点添加到当前禁忌表中, 同时更新信息素表。

(3) 路径构建。每只蚂蚁按照一定的概率搜寻下一个节点, 并将搜寻到的新节点存入蚂蚁禁忌表中, 重复进行迭代。

(4) 局部更新信息素。局部更新每只蚂蚁选择的路径 (i, j) 的信息素, 若禁忌表依旧未满足, 则继续执行步骤3, 直至禁忌表为满。重复 $n-1$ 次 (n 为有向赋权图中的总节点数), 形成一个解的结构。

(5) 全局动态更新信息素。当所有蚂蚁结束一次寻路后, 在 m 只蚂蚁中找出到达终点且包含所有必经点的蚂蚁, 并对信息素进行全局动态更新。

(6) 判断是否符合结束条件, 若符合则输出结果, 否则重新选择起讫点或必经节点进行搜索。

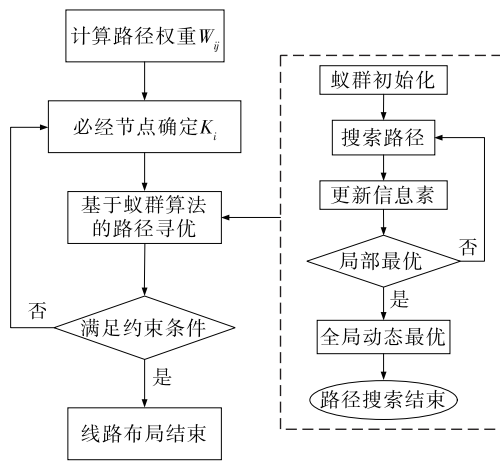


图1 基于蚁群算法的城市群道路公交最优路径计算流程

5 实证求解

湖南省长株潭城市群核心区面积为 $8\,448.14\text{ km}^2$, 共包括 17 个市(县), 其中重点城镇 48 个、一般建制镇 85 个。现拟从湘潭县到长沙市开福区开设一条公交线路, 节点主要依靠村镇的行政区域进行划分。为方便描述、观察、验证上述方法的可行性, 将城市群规模简化为图2所示网络节点规模较

小的 20 个点, 且只考虑快速路、主干路、次干路的道路网拓扑图。由于各节点间的通路较多, 路径长度指节点间最短等效路径。



图2 长株潭各县、镇分布

网络中起讫点之间有多条有向边, 但每条边的权重不同。该网络中起始节点为 1, 讫点为 20, 通过节点重要度计算得到的必经城镇为湘潭市中心、和平街道、坪塘镇和天心区, 即节点 4、12、13 和 14。由于篇幅受限, 只列出部分路径信息(见表2)。

表2 路径信息和路网节点

起点	讫点	等效线路 长度/km	1 km 范围内 村落数/个	权重
1	3	2.43	14	0.023 59
	4	1.72	10	0.011 93
	5	2.89	14	0.028 05
2	6	1.62	5	0.005 62
	14	2.21	3	0.004 60
	8	5.12	17	0.060 35
3	8	5.83	21	0.084 89
	2	4.85	5	0.016 81
	8	5.17	7	0.025 09
4	5	1.52	8	0.008 43
	2	4.52	9	0.028 21

(下转第 30 页)

需考虑进入收费车道前的换道距离,需进一步优化标志标线等交通设置,诱导有出口需求的车辆在驶入隧道前调整至右侧两车道,减小出口所需距离,增大收费站入口交织段长度。

4 结语

该文从驾驶员明适应、出口位置识别、换道行为、减速驶出四方面分析了车辆从城市框架隧道驶出后的行驶特征,建立了城市框架隧道段出口与主路出口的最小间距计算模型;假定设计速度为运行速度,仅考虑等待可插入间隙的换道行为,提出了城市主干路框架隧道段出口与主路出口的最小间距建议值,为规划、设计主干路出入口位置提供参考。但计算模型假定车辆以设计速度匀速运行,并未考虑不同车道及不同驾驶员的运行速度差,速度差对间距的影响还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵一飞,陈敏,潘兵宏.隧道与互通式立交出口最小间距需求分析[J].长安大学学报:自然科学版,2011,31(3).

- [2] 王方杰.隧道与互通立交小间距路段的交通安全设计[J].山东交通科技,2017(4).
- [3] 曹荣青.城市道路出入口间距确定的理论方法研究[D].西安:长安大学,2007.
- [4] 王宁.城市主干路出入口合理间距的仿真研究[D].西安:长安大学,2008.
- [5] 秦臻.城市主干路路段横断面与分车带开口设计的研究[D].西安:长安大学,2017.
- [6] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范[S].
- [7] 杨少伟,张弛,潘兵宏,等.城市道路非信号控制交叉与隧道净距的研究[J].中外公路,2016,36(5).
- [8] 谢陈峰.高速公路隧道出口与收费站最小间距研究[J].公路与汽运,2016(3).
- [9] CJJ 152—2010,城市交叉口设计规程[S].
- [10] 李英帅,杜子学,王少飞.高速公路隧道与互通连接段的安保对策研究[J].公路与汽运,2012(2).
- [11] 魏澜.城市道路平面交叉口与隧道出口最小安全间距探讨[J].福建建筑,2012(6).
- [12] 姚晶.主线分合流与隧道及主线出入口最小间距研究[D].西安:长安大学,2017.

收稿日期:2018—06—20

(上接第26页)

蚁群算法参数如下: $N_c=2\ 000$, $m=50$, $\alpha=6$, $\beta=1$, $\rho=0.8$ 。计算得经过上述必经点的最短路径(用节点编号表示)为 $1\rightarrow4\rightarrow2\rightarrow14\rightarrow17\rightarrow15\rightarrow12\rightarrow16\rightarrow13\rightarrow20$,该路径等效线路长度为24.09 km,1 km范围内村落为72个,总道路权重为0.235 9。

需指出的是,计算得到的最短路径是较理想化的,并未考虑实际中绝大多数高速公路两侧不能设置公交站点,也未考虑支路。在实际线路规划中,应将这些因素列入考虑范畴。

6 结语

该文在分析城市群区域节点重要度的基础上,选出城市群区域中的必经节点,基于最短路径思想,确定了城市群道路公交线路布局,为城市群公交一体化推进中道路客运公交化和公交线路优化规划问题提供了一种方法。需指出的是,影响城市群道路公交线路布局的因素很多,该文重点考虑了线路长度和重要度,未来还需考虑换乘系数、经济效益等因素。同时文中只分析了一条线路的布局问题,在实际城市群道路公交线路规划中,应先选出起讫点,再

根据计算出的必经节点,通过“逐条布设,优化成网”的思想形成城市群城际道路公交线网。

参考文献:

- [1] 湖南省道路运输协会,长沙友联技术工程咨询有限公司.长株潭城际公交改善和客运班线公交化改造研究[Z].长沙:湖南省道路运输协会,2017.
- [2] 胡列格,程立勤.基于节点重要度交通区位布局法的城市群公路网布局研究[J].铁道科学与工程学报,2008,5(1).
- [3] 王发曾,郭志富,刘晓丽,等.基于城市群整合发展的中原地区城市体系结构优化[J].地理研究,2007,26(4).
- [4] 郝伟.蚁群最短路径算法优化及其在GIS中的应用研究[D].西安:西北大学,2009.
- [5] 过秀成,姜晓红.城乡公共客运规划与组织[M].北京:清华大学出版社,2011.
- [6] 谭国真.时变、随机网络最优路径算法及其应用研究[D].大连:大连理工大学,2002.
- [7] 葛延峰,陈涛,孔祥勇,等.改进蚁群算法在城市汽车导航中的应用[J].控制工程,2016,23(1).

收稿日期:2018—03—02