

【文章编号】1672-5328(2005)03-0023-04

公交网络多路径选择启发式算法研究

闫小勇 牛学勤

(石家庄铁道学院交通工程分院, 石家庄 050043)

【摘要】 公交乘客出行路径选择算法是公交乘客信息系统的核心技术。建立了公交网络出行路径选择的数学模型, 在Dijkstra算法和迭代惩罚法的基础上, 设计了公交网络多路径选择的启发式算法, 并结合实际公交网络进行了算法的验证。算法合理考虑了换乘因素和距离因素对公交出行者路径选择行为的共同影响, 能够生成多条备选路径供出行者选择。对于公交乘客信息系统相关技术的研究开发具有参考价值。

【关键词】 公交网络; 多路径; 迭代惩罚; 启发式算法

【中图分类号】 U491.1⁺7

【文献标识码】 A

Study on Heuristic Algorithm for Public Transport Network Multi-Path Selection

YAN Xiaoyong, NIU Xueqin

(Department of Transportation Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Optimal path algorithm of public transport networks is a key technique in public transport passenger information system. This paper describes the path choice model of the public transport networks, designs a heuristic algorithm for the public transport network multi-path selection based on the Dijkstra's algorithm and the Iterative Penalty Method, and tests the algorithm with a real public transport network. It is found that the proposed algorithm can efficiently consider both the transfer factor and the distance factor of the path choice of public transport passengers, and can select multiple paths for public transport passengers. The conclusion can be the reference for research and development of public transport passenger information system.

Keywords: public transport networks; multi-path; iterative penalty; heuristic algorithm

0 引言

公交乘客信息系统是智能公共交通系统的重要组成部分, 其基本功能是为公交出行者计划出行路线方案和提供在线信息^[1]。目前, 大多数的公交乘客信息系统都能根据一定的目标与约束条件(出行距离、换乘次数等), 在出行者指定的起讫点寻找一条最优乘车路径。但由于公交乘客出行路径选择心理的复杂性, 往往单一的乘车路径并不能满足所有乘客的需要。例如, 一些乘客希望选择换乘次数最少的乘车路

径, 而另外一些乘客则倾向于选择出行距离更短的乘车路径。即使是出行者选中的路径方案, 在实际中也可能由于公交车辆满载或道路交通拥挤而被放弃。因此, 一个先进、有效的公交乘客信息系统不能只为用户提供单一的路线优化方案, 还应提供一定数量的合理备选路径供出行者根据实际情况进行选择。

对于城市公交网络中多条备选路径的选择算法, 目前国内外已有一定研究。张国伍等^[2]结合公交网络的特点, 在推广Floyd算法的基础上提出了一种公交网络多条最短路径算法, 该算法一次可以搜索出所有

收稿日期: 2005-03-25

作者简介: 闫小勇(1980—), 男, 石家庄铁道学院交通工程分院助教。E-mail: kaiseryxy@163.com

站点间的多条最短路径，但在只需选择两点间路径的情况下应用效率较低；Koncz等^[3]提出了一种以换乘次数少为首要目标，以出行距离短为次要目标的公交网络静态多路径选择算法，但该算法不能处理2次以上换乘的情况；在公交客流多路径分配中使用较多的是Nguyen等^[4]提出的基于Dial算法的有效超级路径方法，但当两点距离较远时，该方法产生的“有效”路径过多，而其中很大部分是基本不被乘客考虑的路径；Qiujin Wu等^[5]利用图论中的K最短路径算法求解公交网络中的多路径优化问题，但该算法产生的多条路径往往过于相似，很难称为真正意义上的备选方案。

通过上述文献分析可以看出，现有的公交网络多路径选择算法在路径选择合理性及执行效率等方面还存在不足。针对这些问题，本文首先结合公交乘客出行路径选择行为的特点建立了公交网络路径优化模型，在此基础上设计了公交网络多路径选择的启发式算法，最后结合一个实际的公交网络进行了算法的验证。

1 公交网络出行路径选择优化模型

公交网络可以抽象为有向赋权图的形式：

$$G = (V, E, R_c, W), \quad (1)$$

其中 G 为公交网络的有向赋权图； V 为公交网络中所有站点的集合； E 为连接相邻两个公交站点之间路段(边)的集合； R_c 为经过路段 e 的公交线路集合； W 为边的非负权值(距离)。为了保证公交网络的连通性，可以根据一定原则将相邻公交站点抽象为图中的同一节点^[6]。

如果不考虑票价因素，公交网络中乘客出行路径选择的问题，可以归结为在有向赋权图 G 中寻找一条路径 $r-s$ ，使其满足^[7]：

$$\min \sum_{(i,j) \in E} (w_{ij} + \delta \cdot \varphi \cdot v \cdot t) \cdot x_{ij}, \quad (2-1)$$

$$s.t. \quad \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji} = \begin{cases} 1, & i=r, \\ -1, & i=s, \\ 0, & i \neq r,s, \end{cases} \quad (2-2)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad (2-3)$$

$$\delta \in \{0,1\}, \quad (2-4)$$

其中 w_{ij} 表示路段 $i-j$ 的权值(路段长度)； x_{ij} 是路段开关变量，当路段 $i-j$ 位于路径 $r-s$ 上时， $x_{ij} = 1$ ，否则取 x_{ij}

$= 0$ ； δ 为换乘开关变量，当乘客在路径 $r-s$ 中的 i 点上进行了线路换乘时， $\delta = 1$ ，否则取 $\delta = 0$ ； v 为城市公交车平均运营速度； t 为乘客出行平均换乘时间(包括步行与候车时间)； φ 为换乘影响因子，它反映了换乘对整个出行期望时间的贡献程度。

上式中换乘影响因子 φ 的取值对整个出行路径选择的合理性有很大影响。相关的公交乘客出行时间链分析表明^[8]，乘客换乘时间花费1 min约相当于车内时间3 min。因此，在本文模型中可取 $\varphi = 3$ ，能够较合理地反映换乘因素和距离因素对公交乘客出行路径选择的共同影响。

求解上述模型得到的单一最优路径，并不一定满足所有公交乘客的需要。因此，还需设计合理的多路径选择算法，能够生成最优、次优、…、K优等一系列备选路径方案供乘客根据实际情况进行选择。

2 公交网络多路径选择算法设计

2.1 单条最优路径选择算法设计

单条最优路径选择算法是多路径选择的子算法。对于式(2)中的路径选择优化模型，可以用Dijkstra算法进行求解。由于换乘所带来的时间损失是产生在公交网络中两条线路相交的站点上的，而Dijkstra算法不能直接用于节点带权图的路径搜索^[7]。因此，需要结合Dijkstra算法的路径搜索过程，将发生在节点上的时间损失转移到相应的路段阻抗上。以下是公交网络单路径算法的具体描述：

step 0: 初始化，定义拟搜索路径的起点为 r ，终点为 s ； $d(i)$ 为起点 r 到节点 i 的权值， $w(i,j)$ 为连接 $i、j$ 路段的权值；定义已标记节点的集合为 P ，未标记节点的集合为 T ； $R(i,j)$ 为连接 $i、j$ 的路段上的公交线路集合， R_c 为当前使用的公交线路集合；

step 1: 对所有的节点 i ，如果 $i \neq r$ ，则 $d(i) = \infty$ ，将 i 加入未标记节点集合 T ；否则， $d(i) = 0$ ，将 i 加入已标记节点集合 P ；

step 2: 检验从所有已标记的点 i 到与其直接连接的未标记的点 j 的权重，令

$$d(j) = \min[d(j), d(i) + w(i, j)], \quad (3)$$

其中， $w(i, j) = l(i, j) + \delta \cdot \varphi \cdot v \cdot t$ ， $l(i, j)$ 为路段距离， φ 为换乘影响因子， δ 为换乘开关变量， v 为公交车平均运营速度， t 为平均换乘时间；如果 $i=r$ ，令 $R_c=R(i,j)$ ， $\delta = 0$ ；否则如果 $R(i, j) \cap R_c = \emptyset$ ，

令 $R_c = R(i, j)$, $\delta = 1$; 否则令 $R_c = R(i, j) \cap R_c$, $\delta = 0$;

step 3: 选取下一个点, 从集合 T 中选取 $d(j)$ 中最小的一个 i 值, 对应点 i 就被选为最短路径中的一点, 将 i 加入集合 P ;

step 4: 如果所有节点均已被标记, 则转入 step 5; 否则, 转入 step 2。

step 5: 算法结束, 通过最优路径上路段的反向查找统计出最优路径距离值 D_{rs} 、所使用公交线路组

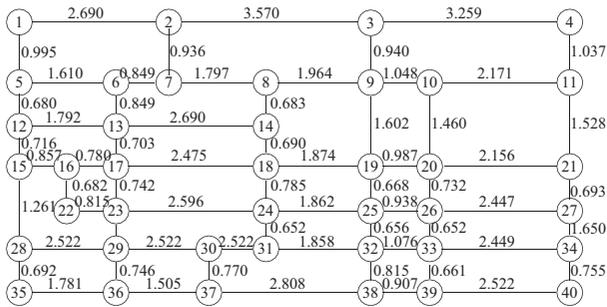


图1 公交网络示意图

Fig.1 Sketch map of public transport transit networks

表1 公交线路与站点对应关系

Tab.1 Relationship between public transport routes and stops

线路编号	所经站点	线路编号	所经站点
1	15-12-5-6-7-2-3-4-11-21-27-34-40	8	35-36-37-38-39-40
2	5-6-7-8-9-10-11	9	28-29-30-31-32-33-39
3	12-13-14-8-9-10-11	10	1-5-12-15-28-35
4	6-13-17-18-19-20-21	11	1-2-7-8-14-18-19-20-26-33-34
5	15-16-17-18-24-31-32-38	12	3-9-19-25-32-38
6	15-16-22-23-24-25-26-27-34	13	3-9-10-20-26-33-34
7	15-16-17-23-29-36-37-30-31-32-33-34		

表2 算法执行结果

Tab.2 Result of the Heuristic Algorithm

备选路径编号	路径所经过站点序列	距离/km	换乘次数
1	15-16-22-23-24-25-26-27-34	10.847	0
2	15-16-17-23-29-36-37-30-31-32-33-34	12.301	0
3	15-16-17-18-19-20-26-33-34	10.806	1
4	15-16-17-18-24-31-32-33-34	10.932	1
5	15-12-5-6-7-2-3-4-11-21-27-34	15.528	0

合、换乘站点位置、换乘次数等信息。

2.2 多路径选择算法设计

关于有向赋权图中多条路径的选择问题, 在图论中常使用K最短路径算法进行求解^[5]。但K最短路径算法在公交网络多路径选择中的应用存在两个缺陷: 一是算法求解的多路径中可能包含环路; 二是多条路径相互间重叠使用的路段太多, 即太过相似^[9]。因此, 本文中使用的启发式多路径搜索算法——迭代惩罚法(Iterative Penalty Method, IPM)^[10], 来求解公交网络中多条可行合理路径的选择问题。

IPM算法的基本思路是: 首先用某种单路径算法找到两点间的最优路径, 再利用事先设定的惩罚机制对此路径上的路段进行惩罚, 抑制重复选择同样路段的行为, 迭代此过程直到期望数量的相异路径已生成为止。实现该算法的关键是选择合理的惩罚机制, 在本文算法中使用如下的重复路段惩罚函数^[9]:

$$w_{ij}^k = w_{ij} \left(1 + \frac{\alpha}{D_{rs}}\right)^n, \quad (4)$$

其中: w_{ij}^k 为第 k 次迭代时路段 $i-j$ 的权值, 路段 $i-j$ 在第 k 次搜索到的合理路径 $r-s$ 上; α 为传播系数; D_{rs} 为节点 r 、 s 间的最短距离; n 为路段 $i-j$ 已被重复使用的次数, $0 \leq n \leq k$;

惩罚函数的意义是: 当一条路段出现在合理路径中的次数越多, 该路段再次被使用的可能性就越小。传播系数 α 的大小决定了对重复路段的惩罚强度, 其取值一般需根据具体问题采用计算机仿真方法进行标定^[10]。最短距离 D_{rs} 则决定了重复惩罚强度具有随起讫点间距离增大而逐渐减弱的趋势。

在IPM算法的基础上, 结合单路径搜索算法, 进行了公交网络多路径选择算法的设计, 算法的具体步骤如下:

step 0: 初始化, 定义所需多路径最大条数为 K , 定义迭代次数 $n = 1$;

step 1: 调用单路径算法, 产生第 n 条最优路径, 如果 $n = K$, 转入 step 3; 否则令 $n = n + 1$;

step 2: 令第 $n - 1$ 条最优路径上各路段的权值 $w_{ij} = w_{ij} \left(1 + \frac{\alpha}{D_{rs}}\right)$, 符号意义同式(4), 转入 step 1;

step 3: 算法结束, 输出 K 条备选路径方案的公交线路组合、出行距离、换乘次数等信息。

3 算例分析

在前述算法设计的基础上,用Visual C++编制了城市公交网络多路径搜索程序,并选取石家庄市某区域的实际公交线网进行算法的验证。

本算例中使用的公交网络示意图如图1所示。其中,圆形代表公交站点,圆形内的数字为站点编号,线段代表公交路段,线段旁的数字为路段距离(单位:km)。为了便于问题的表达,图中忽略了一些中间站点。公交线路与站点间的对应关系见表1。

结合石家庄市的实际交通情况,在本算例中,乘客平均换乘时间 t 取6 min,城市公交车辆平均运营速度 v 按15 km/h计算,传播系数取 $\alpha = 5$ 。在所需备选路径数量 $K = 5$ 时,选择从站点15到站点34之间的多条路径,算法执行结果如表2所示。

通过分析表2中的计算结果可以看出,本文算法能够一次生成多条备选优化路径供乘客根据实际情况进行选择,路径选择结果与公交乘客实际出行路线选择行为较为符合。

4 结语

与现有的公交网络乘客出行路径选择算法^[1-5]相比,本文提出的公交网络多路径选择的启发式算法具有以下特点:

1) 可同时生成多条备选路径供乘客进行选择,不局限于只提供单一的路径方案;

2) 较好地反映了换乘因素和距离因素对乘客出行路径选择行为的共同影响,符合公交乘客出行路线选择的心理特征;

3) 不受最大换乘次数的限制,能够在任意两站点间生成可行的路径方案。

值得注意的是,由于本文算法是一种启发式的算法,算法中关键参数(换乘影响因子 φ 和传播系数 α)的取值对路径选择结果的合理性具有很大影响。在实际应用中,应在城市公交乘客出行心理调查的基础上,结合计算机仿真等手段进行参数的标定,才能获得更好的算法执行效果。

参考文献

1 王炜,杨新苗,陈学武.城市公共交通系统规划方法

- 与管理技术[M].北京:科学出版社,2002.257~268
- 2 张国伍,钱大琳.公共交通线路网多条最短路径算法[J].系统工程理论与实践,1992,12(4):22~26
- 3 Koncz N, Greenfeld J, Mouskos K. A Strategy for Solving Static Multiple Optimal Path Transit Network Problems [J]. Journal of Transportation Engineering, 1996, 122(3): 218~225
- 4 Nguyen S, Pallottino S, Gendreau M. Implicit Enumeration of Hyperpaths in a Logit Model for Transit Networks [J]. Transportation Science, 1998, 32(1): 54~64
- 5 Qiujin Wu, Hartley J. Using K-Shortest Paths Algorithms to Accommodate User Preferences in the Optimization of Public Transport Travel [A]. ASCE. The 8th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering [C]. U. S: ASCE, 2004. 181~186
- 6 陆忠,钱翔东.基于最短路径查询的城市公交网络拓扑建模研究[J].遥感信息,2002,(1):11~14,46
- 7 谢金星,邢文训.网络优化[M].北京:清华大学出版社,2000.119~140
- 8 杨明,等.基于GIS的城市公交出行时间链研究[J].公路交通科技,2004,21(5):117~120
- 9 杨群,关伟,张国伍.基于合理多路径的路径选择方法的研究[J].管理工程学报,2002,16(4):42~45
- 10 朱志军,王刊良,马佰铭.相异路径选择问题的模型与仿真结果研究[J].运筹与管理,2001,10(4):7~34

《城市道路——路缘石》05MR404

《城市道路——路缘石》05MR404是根据《混凝土路缘石》、《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)、《道路工程制图标准》(GB 50162—92)等编制的,对城市道路路缘石的分类、路缘石命名方式、路缘石结构组合及选用、路缘石的垫层材料、垫层选用命名和安装组合的命名、施工注意事项都作了相关规定。图集还给出了常用典型的路缘石规格和路缘石安装图。

本图集适用于我国城市各类新建、改建和扩建的快速路、主干路、次干路、支路的路缘石选用及施工,居住区道路可参照使用。

中国建筑标准设计研究院