

基于优先级的公共交通枢纽换乘可靠度

周雪梅, 于晓斐, 杨晓光

(同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 立足于可靠度理论, 明确了公共交通枢纽和枢纽换乘可靠度的涵义。在已有公共交通枢纽换乘可靠度模型的基础上, 建立了基于优先级的公共交通枢纽多种方式及多条线路间换乘的可靠度模型。模型以各种交通方式客运量判定其优先级, 并以此为依据, 研究了枢纽内多条线路间换乘可靠度的权重计算方法, 结合具体案例, 通过与以往常用可靠度模型计算结果的对比分析, 验证了模型的适用性, 最后提出了改善公共交通枢纽换乘可靠度建议。

关键词: 交通运输工程; 公共交通枢纽; 换乘; 可靠度

中图分类号: U491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2009)Sup. 2-0103-04

Transfer reliability of public transportation terminal based on priority

ZHOU Xue-mei, YU Xiao-fei, YANG Xiao-guang

(College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: On the basis of reliability theory, how to delimit the public transportation terminal and the transfer reliability was discussed. Based on analysis of quondam transfer reliability models of the public transportation terminal, the transfer reliability model of public transportation terminal which include transportation multi-modes and multi-line transfer was established. The priority of the transit lines was determined by passenger numbers, and the weight percentage of transit lines in the public transportation terminal was calculated by the proposed method. Combined with the specific case, the calculation results was compared with the quondam model, proving the model applicability. Finally, some advice was put forward to improve the transfer reliability of public transportation terminal in line with analyzing the reliability model.

Key words: engineering of communication and transportation; public transportation; transfer; reliability

目前, 国内外对公共交通网络可靠度的研究比较多, 但是对公共交通枢纽可靠度的研究成果少见发表。P Rietveld 等^[1]和 Malachy Carey^[2]研究了公共交通网络中运行时间的可靠度, 前者通过分析公交车到达站点的时间延误, 研究其对公共交通运行可靠度的影响, 后者则给出了公共交通服务时刻表的可靠度和准时性的计算方

法。毛林繁^[3]建立了城市公交网络可靠度的双层规划模型, 赵航等^[4]从公共交通运营时间和乘客服务两方面进行了可靠度分析, 张宇石^[5]对城市公共交通的网络可靠度进行了研究。以往研究均集中于城市公共交通网络可靠度及两种交通工具的换乘可靠度, 较少涉及多种交通方式之间衔接和考虑多种交通方式优先级的换乘可靠度研究。

收稿日期: 2009-05-12.

基金项目: “973”国家重点基础研究发展规划项目(2006CB705505).

作者简介: 周雪梅(1968-), 女, 副教授. 研究方向: 交通运输规划与管理. E-mail: zhouxm@tongji.edu.cn

为此,作者研究了基于优先级的公共交通枢纽换乘可靠度,并提出了改进的建议。

1 基本概念

1.1 公共交通枢纽

城市中各种交通模式的有效整合是城市可持续发展的一个核心问题,而出行换乘则是整合的关键,城市公共交通枢纽是为出行者实现换乘而配备各种设施和控制系统的多功能综合性场所,是不同交通方式、不同方向客流的转换点。其基本功能是汇集以各种方式到达的乘客,然后快速、有效地疏散到各自期望的公共交通线路上。

1.2 公共交通枢纽换乘可靠度

公共交通枢纽换乘可靠度可定义为:在一定的营运条件下,在规定的时间内,完成规定任务的概率。这里规定的时间是指出行者在枢纽内的期望换乘时间,而规定的任务则是指每位乘客在枢纽内到达目的地。公共交通枢纽换乘可靠度包括空间可靠度和时间可靠度两个方面。枢纽换乘空间可靠度主要由枢纽内部空间设计决定,本文的公共交通枢纽换乘可靠度专指枢纽换乘时间可靠度。同时公共交通枢纽发生故障定义为乘客不能在规定的时间内乘坐换乘车辆。通常情况下,城市公共交通枢纽主要交通方式包括轨道交通和常规公交,因此枢纽换乘时间可靠度主要由轨道交通和常规公交的准点率决定。

2 公交枢纽换乘可靠度模型的建立

2.1 常用公交枢纽换乘可靠度模型

以往模型研究的多是一条轨道线路和一条常规公交线路的换乘可靠度。其中使用较多的公共交通枢纽换乘可靠度计算模型有以下三种。

(1)加权和法^[6]

$$A_1 = \alpha \frac{n_1}{N_1} + \beta \frac{n_2}{N_2} \quad (1)$$

式中: A_1 为加权和法公共交通枢纽换乘可靠度; n_1 为枢纽范围内调查时段轨道车辆准点运行的次数; n_2 为枢纽范围内调查时段常规公交车辆准点运行的次数; N_1 为枢纽范围内调查时段轨道车辆全部行车的次数; N_2 为枢纽范围内调查时段公交车辆全部行车的次数; α, β 为待定系数,其中 $\alpha, \beta \geq 0$, 且 $\alpha + \beta = 1$ 。

(2)加权平均法^[6]

$$A_2 = \frac{\varphi n_1 + \gamma n_2}{\varphi N_1 + \gamma N_2} \quad (2)$$

式中: A_2 为加权平均法公共交通枢纽换乘可靠度; φ, γ 为待定系数,其中 $\varphi, \gamma \geq 0$ 。

(3)指数法^[7]

$$A_3 = \left[\frac{n_1}{N_1} \right]^\mu + \left[\frac{n_2}{N_2} \right]^\nu \quad (3)$$

式中: A_3 为指数法公共交通枢纽换乘可靠度; μ, ν 为待定系数,其中 $\mu \geq 1, 0 \leq \nu \leq 1$ 。

以上可靠度模型多单独使用,较少综合运用,并且较少考虑公共交通枢纽内多条轨道线路和多条常规公交线路之间同时换乘的情况,以及优先级别的问题,为此,建立以下基于优先级的多种方式、多条线路间换乘可靠度模型。

2.2 公交枢纽多条线路间换乘可靠度模型

为便于分析和讨论,对公共交通枢纽换乘可靠度计算模型和其研究对象作如下界定和假设: ①公共交通枢纽有 m 条轨道交通和 n 条常规公交线路; ②模型中根据轨道交通和常规公交的客运量判定各线路的优先级,在此基础上确定各换乘线路在枢纽所有换乘组合中的权重。

基于上述假设,提出了如下公共交通枢纽多条线路间换乘可靠度计算模型:

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \left[\left(\frac{x_i}{X_i} \right)^{\mu_i} \times \left(\frac{y_j}{Y_j} \right)^{\nu_j} \right] + \sum_{i=1}^n \varphi_{i'} \frac{\beta_i x_i + \beta_{i'} x_{i'}}{\beta_i X_i + \beta_{i'} X_{i'}} + \sum_{j=1}^m \varphi_{j'} \frac{\alpha_j y_j + \alpha_{j'} y_{j'}}{\alpha_j Y_j + \alpha_{j'} Y_{j'}} \quad (4)$$

式中: A 为公共交通枢纽换乘可靠度; $x_i/x_{i'}$ 为枢纽范围内调查时段第 i/i' 条常规公交线路准点运行车次; $X_i/X_{i'}$ 为枢纽范围内调查时段第 i/i' 条常规公交线路全部行车的次数; $y_j/y_{j'}$ 为枢纽范围内调查时段第 j/j' 条轨道线路准点运行车次; $Y_j/Y_{j'}$ 为枢纽范围内调查时段第 j/j' 条轨道线路全部行车的次数; μ_i 为第 i 条常规公交线路的指数待定系数, $\mu_i \geq 1$; ν_j 为第 j 条轨道线路的指数待定系数, $0 \leq \nu_j \leq 1$; $\alpha_j, \alpha_{j'}/\beta_i, \beta_{i'}$ 为第 j, j' 条轨道线路/ i, i' 常规公交线路的加权平均法的待定系数, $\alpha_j, \alpha_{j'}, \beta_i, \beta_{i'} \geq 0$; $\varphi_{ij}/\varphi_{i'}/\varphi_{j'}$ 为表示第 i 条常规公交线路和第 j 条轨道线路之间换乘/第 i 条常规公交线路和第 i' 条常规公交线路之间换乘/第 j 条轨道线路和第 j' 条轨道线路之间换乘在枢纽所有换乘组合中的权重,其中:

$$\varphi_{ij} = \frac{Q_i + Q_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_i + Q_j)} \quad (5)$$

式中: Q_i/Q_j 为第 i 条常规公交线路/第 j 条轨道线路单位时间内运送的客运量;同理 $\varphi_{i'}/\varphi_{j'}$ 计算

方法如上,且 $\varphi_{ij}、\varphi_{ii'}、\varphi_{jj'} \geq 0$, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varphi_{ij} + \sum_{i=1}^n \varphi_{ii'} + \sum_{j=1}^m \varphi_{jj'} = 1$ 。

轨道交通客运量大,车辆晚点造成的损失较大,优先级较高。而常规公交的客运量相对较小,晚点造成的损失相对较小,其优先级比轨道交通低,但要高于其他方式,如出租车等。并且常规公交晚点的影响因素较多,晚点概率比较大,因此在确定权重时考虑了各种方式的优先级别。

因指数法考虑到了轨道交通的“扩大效应”和常规公交的“缩小效应”,模型中常规公交线路和轨道线路间的换乘可靠度用指数法计算,再乘以其在枢纽内的优先级,即权重。模型中枢纽内轨道线路之间或常规公交线路之间的换乘可靠度计算,采用加权平均法,再乘以其换乘线路在枢纽内的优先级,即权重。权重通过换乘线路单位时间内客运量与枢纽内同种方式所有线路单位时间内总客运量之比计算得到。最后应用加权和法计算存在多条线路换乘的枢纽总可靠度。

3 算例分析

假设某公共交通枢纽有两条常规公交线路和两条轨道线路。根据已有的调查数据所得,出行者对轨道交通晚点超过 5 min 的不接受率达到 99.78%,而对常规公交仅为 19.43%^[7]。并且轨道交通运量要远远大于常规公交,因此枢纽内轨道交通具有较高的优先级,其可靠度的权重高于常规公交的权重。

假定枢纽内各换乘线路单位时间客运量如表 1 所示,每条换乘线路在枢纽内所占权重如表 2 所示。

表 1 某公交枢纽各公交线路单位时间内客运量

Table 1 Delivery passenger traffic per unit time of some public transport line in a public transportation terminal

线路	常规公交线路 1	常规公交线路 1	轨道线路 1	轨道线路 2
客运量 / (人 · h ⁻¹)	250	250	1250	1250

其他参数标定如下: $\mu_i = 0.25$, $v_i = 4$, $\alpha_j = \alpha_{j'} = \beta_i = \beta_{i'} = 0.5$ 。

本文模型计算式为

表 2 某公交枢纽各换乘线路在枢纽内所占权重
Table 2 Weight percentage of deliver passenger traffic of some transit line in a public transportation terminal

	常规公交线路 1	常规公交线路 2	轨道线路 1	轨道线路 2
常规公交线路 1	—	0.055	0.167	0.167
常规公交线路 2	0.055	—	0.167	0.167
轨道线路 1	0.167	0.167	—	0.277
轨道线路 2	0.167	0.167	0.277	—

$$A = 0.167 \times \left[\left(\frac{x_1}{X_1} \right)^{0.25} + \left(\frac{x_2}{X_2} \right)^{0.25} \right] \times \left[\left(\frac{y_1}{Y_1} \right)^4 + \left(\frac{y_2}{Y_2} \right)^4 \right] + 0.055 \times \frac{x_1 + x_2}{X_1 + X_2} + 0.277 \times \frac{y_1 + y_2}{Y_1 + Y_2} \quad (6)$$

加权平均法计算式为

$$A' = 0.167 \times \left(\frac{x_1 + y_1}{X_1 + Y_1} + \frac{x_2 + y_1}{X_2 + Y_1} + \frac{x_1 + y_2}{X_1 + Y_2} + \frac{x_2 + y_2}{X_2 + Y_2} \right) + 0.277 \times \frac{y_1 + y_2}{Y_1 + Y_2} + 0.055 \times \frac{x_1 + x_2}{X_1 + X_2} \quad (7)$$

为便于分析研究,第一种情况先假定两条常规公交线路准点率不变,为 100%,两条轨道线路准点率从 0 开始以 10% 的速度递增,一直增加到 100%,利用本文模型和加权平均法算得枢纽准点率如图 1 所示;第二种情况假定两条轨道线路准点率不变,为 100%,两条常规公交线路从 0 开始以 10% 的速度递增,直到 100%,利用本文模型和加权平均法算得枢纽准点率如图 2 所示。

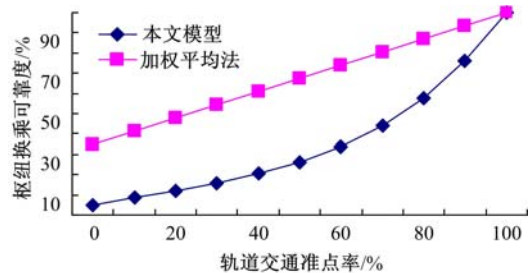


图 1 轨道交通准点率变化时枢纽换乘可靠度
Fig. 1 Transfer reliability of terminal when track punctuality rate changing

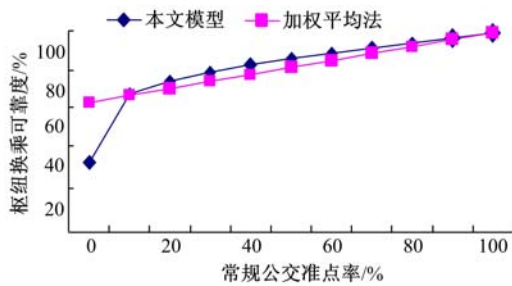


图 2 常规公交准点率变化时枢纽换乘可靠度
Fig. 2 Transfer reliability of terminal when bus punctuality rate changing

根据以上结果进行分析,可知:

(1)当轨道交通准点率不变时,常规公交准点率对枢纽换乘可靠度影响相对较小。

(2)运用加权平均法得到的枢纽换乘可靠度基本按线性比例增加,是不符合实际情况的,而且没有考虑到轨道交通和常规公交的准点率对枢纽换乘可靠度影响程度的不同,夸大了常规公交准点率对枢纽换乘可靠性的影响。

(3)运用本文模型,当轨道线路准点率为 0 时,整个枢纽换乘可靠度很低,从 0 开始增加时,虽然一开始枢纽换乘可靠度变化不大,但是增加速度是一直上升的,当达到一定水平时,整个枢纽的换乘可靠度急剧提高;当常规公交准点率为 0 时,整个枢纽换乘可靠度还是比较高的,虽然在准点率开始增加时,枢纽换乘可靠度增加幅度较大,但是其增加速度是不断降低的。这种趋势符合出行者对轨道交通和常规公交晚点的接受程度,同时也反应出轨道交通的准点率对枢纽换乘可靠度影响较大,验证了具有较高优先级的交通方式可靠度对枢纽整体可靠度影响较大。

根据分析结果可以看出,对于不同类型和规模的枢纽,以及不同换乘交通方式和不同换乘线路,枢纽换乘可靠度的计算及对枢纽换乘衔接效率的影响是有显著差异的。公共交通枢纽内换乘线路,尤其是客运量大的线路准点率的提高,能够有效改善枢纽换乘效率,从而提高公共交通整体服务水平,提高公共交通出行方式所占的比例。

4 结束语

公共交通是城市交通发展的主要方向之一,在城市交通中占有举足轻重的地位,公共交通枢

纽换乘可靠度是衡量公共交通服务水平的重要指标之一。本文在以往研究的基础上,建立了基于优先级的公共交通枢纽换乘可靠度模型,并结合实例,比较分析了多种方法的计算结果,对模型进行了验证,并进一步给出了枢纽换乘可靠度的改善建议。本文研究只考虑了车辆准点率即枢纽时间衔接可靠度指标,进一步研究中还应考虑枢纽内部设计、出行者自身特点等枢纽空间衔接可靠度指标。另外,待定系数 μ 、 v 的取值需进一步细化。

参考文献:

[1] Rietveld P, Bruinsma F R, van Vuuren D J. Coping with unreliability in public transport chains: a case study for Netherlands[J]. Transportation Research Part A, 2001, 35: 539-559.

[2] Carey Malachy. Ex ante heuristic measures of schedule reliability[J]. Transportation Research Part B, 1999, 33: 473-494.

[3] 毛林繁. 城市公交网络可靠度的双层规划模型[J]. 中国公路学报, 2002, 15(3): 88-91.
Mao Lin-fan. Bilevel programming model for the reliability of public transportation system[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(3): 88-91.

[4] 赵航,宋瑞. 公共交通系统营运可靠度研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 132-135.
Zhao Hang, Song Rui. Study on reliability of transit operation[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(10): 132-135.

[5] 张宇石. 大城市常规公共交通运行可靠度的研究与实例评价[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
Zhang Yu-shi. Research and evaluation of public transportation operation reliability in metropolis [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.

[6] 陈艳艳. 可靠度在交通规划与管理中的应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.

[7] 徐竞琪,滕靖,刘好德. 城市交通枢纽运行可靠度模型研究[C]//第三届中国智能交通年会, 2007: 243-246.
Xu Jing-qi, Teng Jing, Liu Hao-de. Urban transportation hub model of operation reliability[C]// The 3rd China Annual Conference on ITS, 2007: 243-246.