

# 换乘枢纽站换乘能力评价

王宇<sup>1,2</sup>, 李季涛<sup>2</sup>, 帅斌<sup>1</sup>

(1. 西南交通大学 交通运输学院, 成都 610031; 2. 大连交通大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116028)

**摘要:**为了准确评价换乘枢纽站的换乘能力,在建立换乘枢纽站功能模块的基础上,分别对换乘仿真评价中的概率输入量,可控输入量及输出指标进行了仿真建模。并基于 Simio 软件从列车行为逻辑及旅客行为逻辑两方面开发换乘枢纽站换乘结构模型。为了验证模型的正确性,以大连站为例,对其既有换乘能力进行评价并进行换乘方案改造。结果表明:该评价仿真模型适用于大型换乘枢纽站的换乘能力评价,可以为换乘枢纽站的辅助设计和运营管理提供决策依据。

**关键词:**交通运输系统工程;换乘枢纽站;换乘能力评价

**中图分类号:**U491 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5497(2012)Sup.1-0184-05

## Research on evaluation of transfer capacity for interchange terminal

WANG Yu<sup>1,2</sup>, LI Ji-tao<sup>2</sup>, SHUAI Bin<sup>1</sup>

(1. College of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. College of Traffic and Transportation, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

**Abstract:** To accurately evaluate the transfer capacity of interchange terminal, an effective simulation model of transfer simulation evaluation was developed by probability input, controlled input and output indexes based on the interchange terminal functional modules were built. A transfer structure model was proposed by train action logic and passenger action logic based on Simio simulation software. The accuracy of the model was evaluated with Dalian railway station's present transfer capacity evaluation and transfer retrofit scheme. The results show that the evaluation of transfer capacity can be accomplished by the simulation model and its decision basis is thereby provided for the operation management and assistant design for large interchange terminal.

**Key words:** engineering of communication and transportation system; interchange terminal; transfer capacity evaluation

换乘枢纽站系统是复杂的多级排队系统,传统的评价方法通常采用定性分析,定量分析考虑较少,对于定量分析通常采用数学公式推算,不但计算难度大,而且结果不甚理想<sup>[1]</sup>。计算机仿真综合考虑各种因素相互之间的交叉影响,并且利

用仿真手段可以对不同方案进行仿真,这是现实中无法或很难办到的。Daamen<sup>[2]</sup>等利用仿真工具 Simped 对 Rotterdam 中心车站进行了服务水平分析;李得伟等<sup>[3]</sup>分析大型铁路客运站旅客集散特点,提出旅客集散仿真的基本流程,构建基于

收稿日期:2011-11-28.

基金项目:国家自然科学基金项目(71173177).

作者简介:王宇(1979-),男,讲师.研究方向:交通运输规划与管理. E-mail:wangyudjtu@163.com

个体活动的旅客集散微观仿真模型;张建勋等<sup>[4]</sup>提出了通过动态模拟地铁枢纽站内乘客疏散的方法来评估枢纽的集散效率。

本文在已有研究<sup>[5-6]</sup>的基础上,通过计算机仿真,对换乘枢纽站换乘过程建立了仿真模型。开发了换乘枢纽站换乘结构模型,求得换乘枢纽站换乘能力等级,从而提出了针对性建议和改进措施,以取得更好的换乘等级。为换乘枢纽站的可持续发展提供更好的借鉴。

### 1 概念模型的建立

#### 1.1 模型元素分析

仿真系统的组成部分可称之为元素,元素即现实系统中的各个组成部分,同时也是仿真模型的组成部分。旅客、换乘信息服务传播设施、通道、楼梯、检票口、出站口、换乘站点等均是换乘系统仿真模型的元素。元素之间有着密切的关系,而正是这种关系为之后的建模提供了理论依据。

#### 1.2 功能模块建立

换乘系统仿真研究建立的模型中共包含了 4 个功能模块,分别为旅客到达模块、通道走行模块、检票模块以及换乘模块。这 4 个模块按流程进行组合,形成整体化的模型,如图 1 所示。

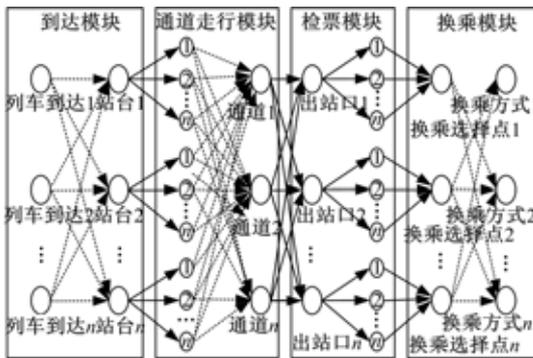


图 1 基于模块的流程图

Fig. 1 Flow chart based on modules

各个模块中的元素,相互交叉形成了一个网状结构,到达模块中的站台选择、走行模块中的走行通道选择、检票模块中的检票口选择、以及最后的换乘模块中换乘的交通方式选择。一个旅客生成之后当进入每一个模块都会有 N 种选择方式,因此需要特定的随机变量来控制其唯一的路径。

### 2 仿真数量建模

#### 2.1 概率输入量

在换乘枢纽站换乘仿真评价中,把若干个概

率性的变量随机变量化,考虑到旅客通过站台、地下通道、出站口、各交通方式换乘点的整个走行过程,其中有许多量是不受人为控制的随机变量,要选择适当的分布函数来仿真建模。

#### (1)旅客走行时间分布函数

旅客下车至站台、由各站台通道走行至检票口、出站后至各换乘方式速度等根据其特性分析,满足均匀分布, x 的分布函数为

$$F(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a < x < b \\ 1 & , x \geq b \end{cases} \quad (1)$$

x 的概率密度函数为

$$f(x) = F'(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a < x < B \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

如果连续型随机变量 x 具有形如式(2)的概率密度函数,则称 x 在区间 (a,b) 上服从均匀分布。在实际问题中,当无法区分在区间 (a,b) 内取值的随机变量 x 取不同值的可能性有何不同时,就可以假定 x 服从 (a,b) 上的均匀分布。

#### (2)旅客检票时间分布函数

对于旅客到达检票口检票时间,经分析其函数分布的特点,定义为三角分布,其特点是密度数是由最大值、最可能值和最小值构成的对称的或不对称的三角型,适用于描述不对称分布的输入变量。若已知:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & , a \leq x \leq b \\ \frac{2(c-x)}{(c-b)(c-a)} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

则

$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{(c-x)^2}{(c-a)(c-b)}, & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (4)$$

如果连续型随机变量 x 具有形如上式的概率密度函数,则称 x 在区间 (a,b) 上服从三角分布。

在检票口排队过程中涉及到一些指标的计算,如平均排队时间 d, 实体平均滞留时间 ω, 平均队长 Q 以及平均实体数 L, 上述四个性能指标存在的条件是服务台的利用率 ρ < 1。利用率越高则临时实体排队等待时间越长<sup>[7]</sup>。

### 2.2 可控输入量

可控输入量一般是指那些可以人为控制的量,在本模型中是为了优化换乘枢纽站换乘水平而可以调整和改进的量,如检票口的数量、换乘信息服务传播设施、诱导标志等。增加检票口的数量则会增强检票口的通过能力,进而提高旅客的换乘水平;增加换乘信息服务传播设施及诱导标志,可有效的缩短旅客在站内停留的时间,增强通过能力,最终实现快速换乘。

### 2.3 输出指标

本文模型中,所要输出的指标是应用于换乘枢纽站换乘评价指标体系的一些量,即最大换乘时间和平均换乘时间、检票口最大排队长度及平均排队长度等。通过仿真,将这 4 个输出指标仿真数值及其区间半长列出,并计算出其置信区间的长度,以验证模型仿真的正确性。

## 3 基于 Simio 的结构模型

### 3.1 列车行为逻辑

当列车按列车时刻表所列的时刻到达车站后,加入 Delay 模块延迟至旅客下车,列车也需要停留一段时间(停留时间服从均匀分布),这段时间称为列车停留时间,仍加入 Delay 延迟,后或进入整备或离开。列车进站停留离开逻辑模型,如图 2 所示。

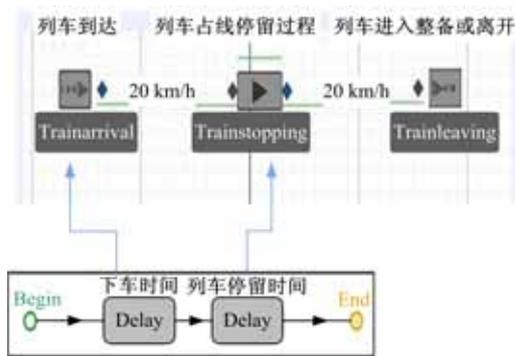


图 2 列车进站停留离开逻辑模型

Fig. 2 Logic model of train come, stay and leave

### 3.2 旅客行为逻辑

相对于列车逻辑模型,旅客行为逻辑要复杂的多。首先是旅客的生成,当列车发车频率较低时,旅客的到达时间受列车时刻表的影响很大。根据对某站全日客流的波动调查,发现某一车次的旅客到达符合对数正态分布,即

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{[\ln(x) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (5)$$

式中:  $f(x)$  为旅客到达概率分布函数;  $x$  为旅客提前到达时间;  $\mu, \sigma$  为待估参数,分别表示均值和方差。

旅客在生成之后,根据实际调查结果取一列车旅客平均上下车时间为 8 min<sup>[7]</sup>,可将旅客下车的过程设为均值为 8 min 的均匀分布;旅客下车后会有不同的行走路线,首先通过列车时刻表及所接列车的指定站台,通过 Simio 中的 Time Offset 对时间的设定来解决,按列车时刻表固定了列车的到达时间及站台;通过地下通道。旅客到达检票口排队检票。

在实际模型仿真过程,这些计算完全可以在模型运行过程中完成。检票过程中  $N$  个检票口均服从三角分布,在结束检票后旅客根据个人需要,选择不同的交通方式离开,在逻辑模型中加入一个 Decide 模块,对不同交通方式的选择进行调查,以得到选择交通换乘方式的大致百分比。旅客出站换乘方式选择逻辑模型如图 3 所示。

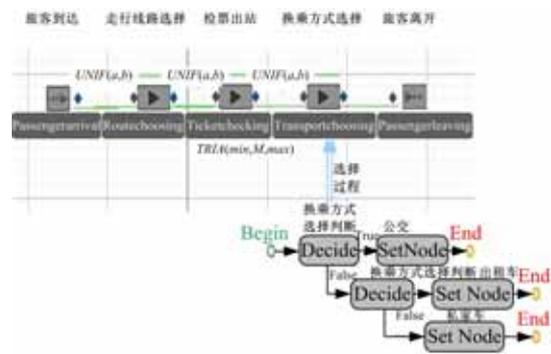


图 3 旅客出站换乘方式选择逻辑模型

Fig. 3 Logic model of passengers leaving transfer mode choice

## 4 大连站换乘能力适应性评价

大连站站场内共 9 条站线、5 个站台,旅客和行包各有一个地下通道,旅客经由地下通道可以从南北两个出站口出站。地下通道在每个站台处左右各开一入口,一侧是缓坡、一侧是楼梯,地下通道通过楼梯直通检票口,检票后出站到达各指定换乘点换乘其他交通方式。

### 4.1 仿真参数定义

通过对城市铁路客运站换乘评价指标体系的研究<sup>[1]</sup>,对大连站相应的设施进行考察和分析。并得到相关数据,数据依据有以下几个方面:

(1)大连站客流特点属于双向峰型。模型建立取大连站其中一个旅客出站高峰时间段:

6:00a. m. ~10:00a. m.。

(2)到达列车利用率情况

将 15 天中每天 6:00a. m~10:00a. m. 到达列车的利用率情况做以统计,得到仿真中每列车载员的三角分布函数,如表 1 所示。

表 1 到达旅客人数分布函数

Table 1 Distribution function of reach passenger number

单位:人

车次	分布函数
2220	TRIA(708,834,992)
T262	TRIA(383,613,846)
Z82	TRIA(73,149,448)
K7334	TRIA(653,471,365)
K550	TRIA(230,375,401)
T130	TRIA(449,541,601)
K684	TRIA(458,796,1003)
K7386	TRIA(622,836,1387)
K930	TRIA(396,576,744)

(3)通过数据的收集整理,模型中需要的各种概率输入量如表 2 所示。

(4)大连站旅客出站流线人均占有面积控制为 1 m<sup>2</sup>~5 m<sup>2</sup>的区间内。

(5)利用模型进行仿真,为了得到更为准确的数据,共运行仿真 100 次,每次仿真时间为 4 h。

表 2 概率输入量分布函数

Table 2 Distribution function of probability input

单位:min

变量名称	分布函数	分布函数数值
旅客生成至下车	均匀分布	UNIF(2,3)
1 站台至检票口	均匀分布	UNIF(0.67,3.18)
2 站台至检票口	均匀分布	UNIF(1.57,4.35)
3 站台至检票口	均匀分布	UNIF(1.97,4.78)
4 站台至检票口	均匀分布	UNIF(2.37,5.22)
5 站台至检票口	均匀分布	UNIF(2.77,5.65)
3 个检票口的检票过程	三角分布	TRIA(0.017,0.047,0.083)
出站口至公交站点	均匀分布	UNIF(3.77,4.15)
出站口至停车场	均匀分布	UNIF(1.97,2.09)
出站口至出租车乘降点	均匀分布	UNIF(2.92,3.28)

4.2 仿真结果分析

根据以上数据参数,运行仿真模型,得到数据如表 3 所示。

根据文献[1]所列的指标及其计算公式计算得到综合评价指数为 0.354,等级结果为 D。换乘的便捷性、通畅性和舒适性等级都相对较低,系统的主要瓶颈在于检票口及自动扶梯数量不足。

表 3 换乘能力仿真运行结果

Table 3 Simulation operation result of transfer capacity

运行结果	平均值	区间半长	置信区间		最小值	最大值	实际值	
			最小值	最大值				
换乘时间 /min	10.7	0.3	10.4	11.0	3.0	22.0	-	
排队长度 /人	1 检票口	32.3	3.7	28.5	36.0	-	-	-
	2 检票口	31.5	3.1	28.3	34.6	-	-	-
	3 检票口	30.9	3.1	34.0	27.8	-	-	-
平均排队长度/人	31.5	-	-	-	-	-	-	
总计旅客数/人	5367	192	5175	5559			5246	

4.3 改造方案及建议

通过增加换乘诱导标志,增加检票口检票人数,增加自动扶梯数量等改造方案对旅客离站换乘流程重新建立仿真模型,将改造方案的输入参数输入至仿真模型并运行,所得结果如表 4 所示。

通过同样的计算方法,得到改造后的换乘水平仿真评价表,方案改造后,大连站的评价等级为 B。客观的来讲客运站的整体通畅性得到了明显的提高,排队人数明显减少,其他方面包括旅客站内逗留时间都相对减少,换乘水平得到了明显的提高,说明该改造方案有助于换乘效率的提升。

表 4 改造方案后的运行结果

Table 4 Operation results after reform scheme

运行结果	平均值	区间半长	置信区间		最小值	最大值	实际值	
			最小值	最大值				
换乘时间 /min	8.0	0.2	7.8	8.3	1.0	19.6	-	
排队长度 /人	1 检票口	16.2	2.1	14.2	18.3	-	-	-
	2 检票口	16.6	2.1	28.3	34.5	-	-	-
	3 检票口	16.8	1.8	15.0	18.6	-	-	-
平均排队长度/人	16.6	-	-	-	-	-	-	
总计旅客数/人	5388	218	5170	5606			5246	

## 5 结束语

从对换乘枢纽站的换乘能力评价的角度出发,在建立换乘枢纽站功能模块的基础上,分别对换乘仿真评价中指标进行了仿真建模,并基于 Simio 软件从列车行为逻辑及旅客行为逻辑两方面开发换乘枢纽站换乘结构模型。通过实例评价结果表明,该评价仿真模型适用于大型换乘枢纽站的换乘能力评价,为换乘枢纽站的辅助设计和运营管理提供了决策依据。

### 参考文献:

- [ 1 ] 徐良杰,张灿. 城市铁路客运站换乘评价仿真研究[J]. 交通信息与安全,2009,27(2):67-69.  
Xu Liang-jie,Zhang Can. Transfer evaluation simulation of urban railway passenger station[J]. Journal of Transfer Information and Safety,2009,27(2):67-69.
- [ 2 ] Daamen W. Modelling passenger flows in public transport facilities[DB/OL]. [2010-10-06]. Delft University Press. Available on line at: <http://www.pedestrians.tudelft.nl/>,2004.
- [ 3 ] 李得伟,韩宝明,李海鹰. 大型铁路客运站旅客集散微观仿真[J]. 中国铁道科学,2009,30(3):119-124.  
Li De-wei,Han Bao-ming,Li Hai-ying. Microscopic simulation on large scale railway station of passenger mustering and evacuation[J]. China Railway Science,2009,30(3)119-124.
- [ 4 ] 张建勋,韩宝明,李得伟. VISSIM 在地铁枢纽客流微观仿真中的应用[J]. 计算机仿真,2007,24(6):239-242.  
Zhang Jian-xun,Han Bao-ming,Li De-wei. Application of VISSIM in pedestrian simulation of MTR stations[J]. Computer Simulation,2007,24(6):239-242.
- [ 5 ] 李季涛,付佳,王宇. 大型铁路客运站到达旅客疏散微观仿真[J]. 交通运输系统工程与信息,2011,11(4):110-116.  
Li Ji-tao,Fu Jia,Wang Yu. Microscopic simulation of arrival passenger evacuation in large scale railway station[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2011,11(4):110-116.
- [ 6 ] 李季涛,付佳. 大型铁路客运站候车区微观仿真建模与分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2011,11(1):44-49.  
Li Ji-tao,Fu Jia. Microscopic simulation model and analysis on waiting area of large scale railway passenger station[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2011,11(1):44-49.
- [ 7 ] 周明,胡斌. 计算机仿真原理及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.