

2-15-2019

Modeling and Simulation of Inter-City Passenger Travel Service Flow Based on Petri Net

Qipeng Sun

College of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

Guo Xin

College of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

Ma Fei

College of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Original Article is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation of Inter-City Passenger Travel Service Flow Based on Petri Net

Abstract

Abstract: On the basis of inter-city passenger travel chain, the inter-city passenger transport service process is studied; the Petri net language is used for establishing and *simulating the model of inter-city passenger transport service process based on the Visual Object Net++*; and the simulation results are used for verifying the reliability of the established model with the theory of petri net, while the model is transformed into a homogeneous Markov chain with the process. The detailed analysis on the city subway of the inter-city passenger transport service process was carried out. By modeling and simulating, the derived value of city subway's average service time is 18 minutes, while the quantitative analysis focused on the improvement of the links of process, so as to further optimize the inter-city passenger transport service process.

Keywords

inter-city travel chain, passenger service process, Petri net, visual object net++

Recommended Citation

Sun Qipeng, Guo Xin, Ma Fei. Modeling and Simulation of Inter-City Passenger Travel Service Flow Based on Petri Net[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(2): 189-198.

基于 petri 网的城际旅客出行服务流程建模与仿真

孙启鹏, 郭鑫, 马飞

(长安大学经济与管理学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 在对城际旅客出行链分析的基础上, 对城际旅客出行服务流程进行研究, 采用 Petri 网语言进行数学表示, 利用 Visual Object Net++ 仿真平台, 构建和仿真了城际旅客出行服务流程 Petri 网模型, 并结合 Petri 网理论验证所建 Petri 网模型的可靠性, 同时将模型转化为与马尔可夫链同构的过程。对城际旅客出行服务流程中的市内交通地铁出行子环节进行了详细的分析, 通过建模与仿真确定市内地铁出行子网的平均服务时间为 18 分钟, 定量分析出此流程中需重点改进的环节, 以便进一步优化城际旅客出行服务流程。

关键词: 城际出行链; 旅客服务流程; Petri 网; Visual Object Net++

中图分类号: U125

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 02-0189-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17WJP-005

Modeling and Simulation of Inter-City Passenger Travel Service Flow Based on Petri Net

Sun Qipeng, Guo Xin, Ma Fei

(College of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: On the basis of inter-city passenger travel chain, the inter-city passenger transport service process is studied; the Petri net language is used for establishing and *simulating the model of inter-city passenger transport service process based on the Visual Object Net++*; and the simulation results are used for *verifying the reliability of the established model with the theory of petri net*, while the model is transformed into a homogeneous Markov chain with the process. The detailed analysis on the city subway of the inter-city passenger transport service process was carried out. By modeling and simulating, the derived value of city subway's average service time is 18 minutes, while the quantitative analysis focused on the improvement of the links of process, so as to further optimize the inter-city passenger transport service process.

Keywords: inter-city travel chain; passenger service process; Petri net; visual object net++

引言

随着社会经济的发展和人们生活水平的提高, 人们的消费观念在逐渐改变, 从过去“走得了”的

温饱型需求向“走得好”的小康型需求转变, 在旅客出行过程中, 便捷性、舒适性等核心服务仍然是人们关注的重点。对于城际旅客出行而言, 出行过程相对复杂, 涉及到市内交通、城际交通方式间的换乘等环节, 为了满足旅客“顺畅性、无缝性、个性化、移动性”等需求, 对旅客出行服务流程的研究显得更为重要, 只有了解旅客在出行中哪些环节容易遇到瓶颈, 才能有重点的解决旅客的出行难题,



收稿日期: 2016-10-20 修回日期: 2017-01-20;
基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金
(310823160101, 0009-2014G6231003, 310823160646),
陕西省社科基金(2016R026);
作者简介: 孙启鹏(1976-), 男, 陕西安康, 博士, 硕
导, 研究方向为交通运输规划与管理。

<http://www.china-simulation.com>

优化旅客的出行流程。

在以往文献的研究中,大多数是将旅客出行分段式进行研究,需要旅客自己将不完整的出行服务拼接起来,而本文从出行链的角度勾画旅客出行服务的全过程,从旅客的角度,了解出行过程中接受服务遇到的瓶颈与障碍,以便进一步针对其出行服务流程中需要重点改进的环节提出相应的对策。

1 城际旅客出行链分析

本文主要从出行链的角度分析旅客的服务流程,首先对旅客出行链进行定义。陈馥利^[1]对城市群城际间居民出行定义为:为了实现某一生活或生产目的,从城市群中的一个城市出发到城市群中的

另一城市,采用某一种城际交通工具,经由城际交通运输线路,并沿单方向移动的全过程。

吕骥^[2]将城际出行链定义为:旅客为了实现某一出行目的,在不同城市之间通过枢纽点完成多种方式换乘的一次单方向全出行过程。在此考虑将旅客出行链定义为:旅客从产生出行意愿地到目的地的过程中,为完成出行位移形成的一系列运输服务消费活动所构成的链条。

出行链在拓扑结构上由节点(出发点、枢纽点、目的点)和链条(在乘链条、换乘链条)构成,本文在考虑旅客消费活动的先后次序基础上,构建了城际旅客出行服务流程示意图,见图1。

出行链可按照出行目的、出行方式、出行链复杂程度进行分类,根据城际旅客的不同出行目的可分为通勤出行链、商务出行链、旅游出行链等;按出行方式可分为公共交通出行链、小汽车出行链等;按出行链复杂程度可分为简单出行链和复杂出行链,本文将按旅客出行目的的不同总结典型旅客出行链模式。

在不考虑旅客活动行为的前提下,城际通勤出行链可有居住地公共交通+城轨+工作地公共交通、居住地小汽车+城轨+工作地公共交通、全程小汽车、居住地公共交通+城际大巴+工作地公共交通、居住地小汽车+城际大巴+工作地公共交通。城际旅游出行链可有全程小汽车、居住地公共交通/居住地小汽车+城轨+目的地公共交通、居住地公共交通/居住地小汽车+飞机+目的地公共交通、居住地公共交通/居住地小汽车+城际大巴+目的地公共交通。

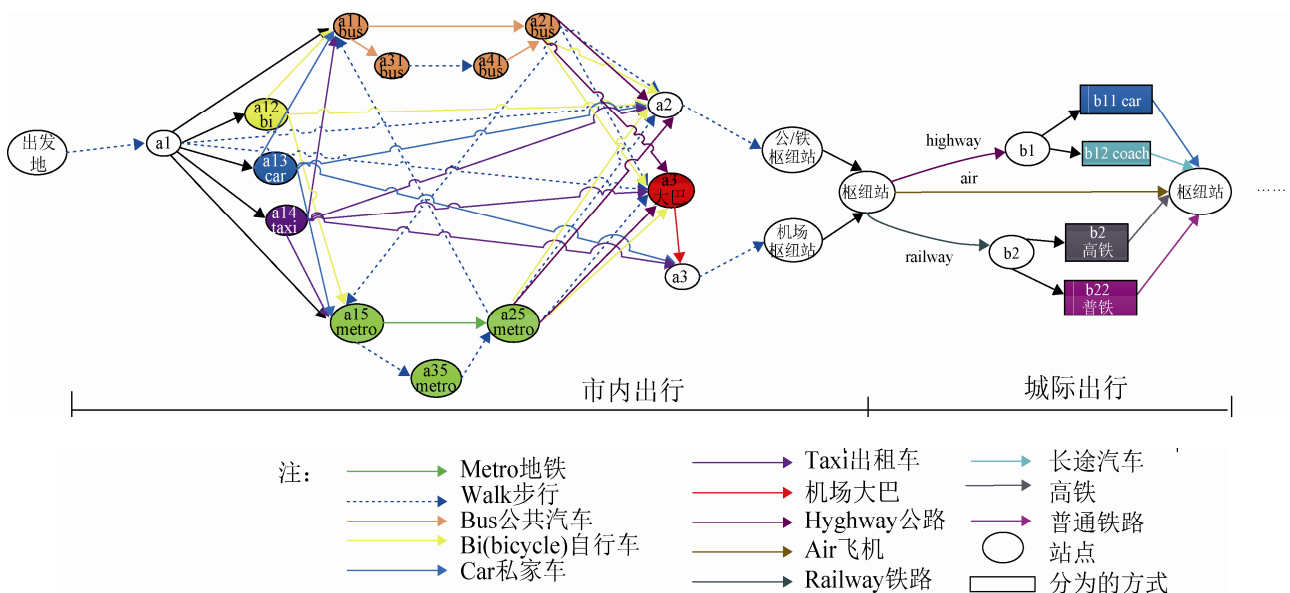


图1 城际旅客出行服务流程

Fig. 1 Inter-city passenger travel service process

2 基于 petri 网的旅客出行服务流程建模

2.1 建模的基本步骤

(1) 定义流程 对服务流程的描述来讲可以分为 3 个方面: 1) 流程中的要素, 明晰流程中有什么状态、过程等, 有哪些重要的行为、活动或者工作, 每个流程的子环节的主体和主要活动是什么, 执行的对象有哪些类别; 2) 结构关系, 明确各个活动之间存在的关系, 不仅是时间上的先后顺序, 还包括空间上的关系, 明确整个流程的结构; 3) 要素属性, 明晰活动资源的配置情况, 活动时长等。

(2) 建模初始化 在确定了建模对象后, 对各个活动进行模型化处理, 即用相应的模型元素表示。在建模过程中, 用变迁替换相应的活动, 用库所表示活动所处的状态, 用标识所处的位置表示实体的所处位置。按照变迁与库所交替连接的原则, 将前后发生的活动依次连接起来, 并给每一个活动和每一个变迁标上相应的符号, 同时在空白位置对各变迁、库所符合进行说明。

(3) 初始化模型检验 对步骤(2)中建立的初始化模型进行检验, 这里的检验只是直观上的初查, 根据研究流程的实际情况, 在输入库所中释放一个托肯, 试着让托肯按照运行规则移动, 以检验是否能够完成相应的功能。对于能够进行合并处理的, 应进行合并处理, 对于逻辑功能上不能满足的应该进行相应的修复。

在模型完成后, 如果需要通过模型对流程系统进行性能分析, 还要按照性能分析所需要的基本参数要求确定模型的属性值^[3]。

2.2 模型元素说明

(1) 变迁: 用□表示单一变迁, 即只代表一个流程环节。■表示复合变迁, 即代表多个流程环节的集合。

(2) 库所: 用○表示单一库所, ●表示复合库所。
(3) 有向弧: 用→表示, 用来连接库所和变迁^[4-5]。

2.3 旅客出行服务流程建模

本文是以 visual object net++ petri 网仿真软件对旅客出行服务流程进行建模, 图 2 是具体的建模过程和建模结果。

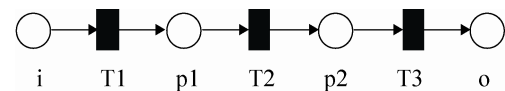


图 2 旅客出行服务流程顶层 petri 网模型

Fig. 2 Top-level Petri net model of passenger travel service process

T1: 复合变迁, 旅客出发地市内交通过程;

T2: 复合变迁, 旅客城际交通过程;

T3: 复合变迁, 旅客目的地市内交通过程;

然后, 再分别对旅客出发地市内交通过程复合变迁单独建模, 建立子 workflow 网模型, 见图 3。

T4: 旅客步行到车站; T5: 旅客上车; T6: 旅客下车;

T7: 旅客步行到地铁站; T8: 旅客准备安检; T9: 旅客随身物品安检; T10: 安检系统报警; T11: 对物品进行人工检查; T12: 安检系统未报警; T13: 旅客自身安检; T14: 安检设备未报警; T15: 安检设备报警; T16: 对旅客进行人工安检; T17: 旅客取走随身物品; T18: 旅客未购票; T19: 旅客购票; T20: 旅客已购票; T21: 旅客候车; T22: 旅客刷卡进站; T23: 旅客下车走行; T24: 旅客刷卡出站;

T25: 旅客步行到自行车停放; T26: 旅客刷卡取车; T27: 旅客刷卡还车;

T28: 旅客步行到车库; T29: 旅客取车; T30: 旅客寻找停车场停车; T31: 停车收费; T32: 寻找停车位; T33: 旅客下车;

T34: 采用扬召方式打车; T35: 旅客候车 T36: 旅客上车; T37: 旅客支付现金; T38: 旅客下车; T39: 旅客使用 app 提前预约车; T40: 旅客上车;

T41: 旅客网上支付; T42: 旅客支付现金; T43: 旅客下车;

然后, 再对旅客城际交通出行过程建立单独的 petri 网模型, 见图 4。

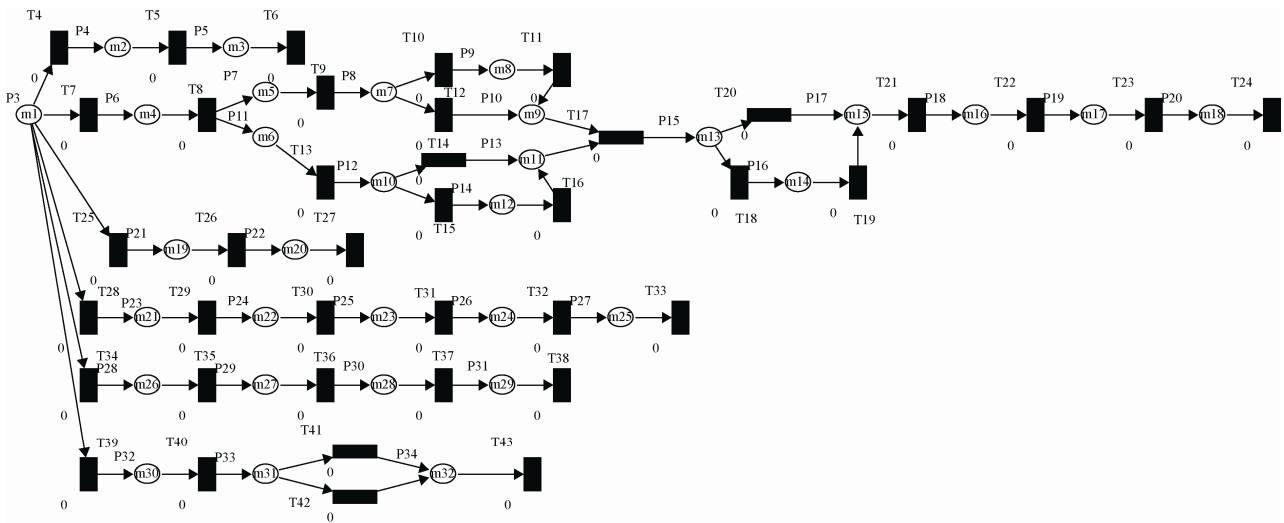


图 3 旅客出发地市内交通过程子网
Fig. 3 Subnet of passenger origin's urban traffic process

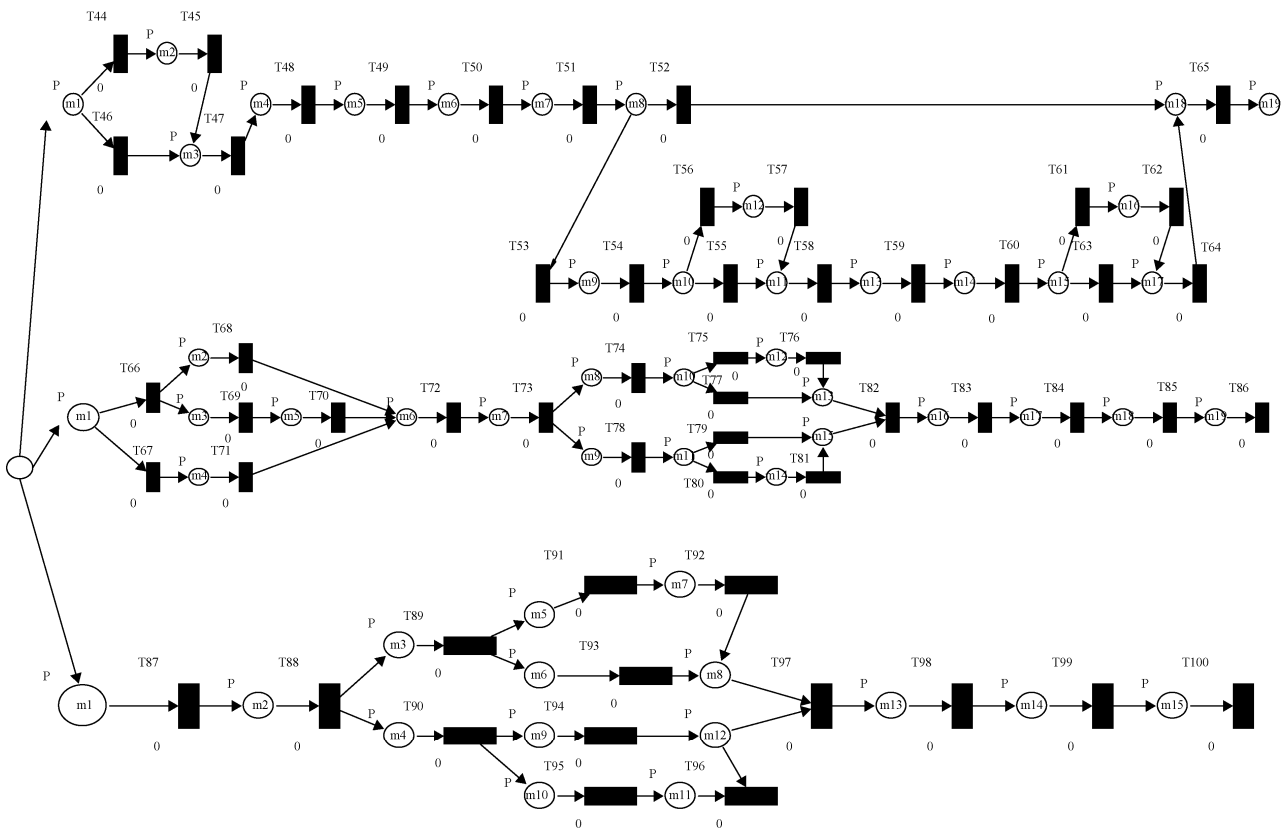


图 4 旅客城际交通过程子网
Fig. 4 Subnet of intercity passenger traffic process

T44: 旅客还未购买机票; T45: 旅客在机场 购票; T46: 旅客已购买机票; T47: 旅客等待接 受服务; T48: 旅客提交身份证; T49: 值机人员 核查旅客身份; T50: 值机人员打印登机牌; T51:

<http://www.china-simulation.com>

值机人员询问旅客是否托运行李; T52: 旅客不托运行李; T53: 旅客托运行李; T54: 旅客行李过重; T55: 行李未超重; T56: 行李超重; T57: 旅客缴纳超重费; T58: 打印行李的条码; T59: 将打印的条码贴在旅客的行李上 T60: 行李过安检; T61: 安检系统报警; T62: 对行李进行人工检查 T63: 安检系统未报警 T64: 旅客领取行李离开; T65: 旅客候机;

T66: 旅客已购买火车票; T67: 旅客未购买火车票; T68: 旅客已取票; T69: 旅客未取票; T70: 旅客排队取票; T71: 旅客排队购票 T72: 实名制验票; T73: 旅客等待安检; T74: 旅客随身物品安检; T75: 安检系统报警; T76: 对物品进行人工检查; T77: 系统未报警; T78: 旅客自身安检; T79: 安检系统未报警; T80: 安检系统报警; T81: 对旅客进行人工安检 T82: 旅客候车; T83: 旅客排队检票; T84: 旅客乘车; T85: 旅客下车; T86: 旅客查票出站;

T87: 旅客购票; T88: 旅客等待安检; T89: 旅客自身物品安检; T90: 旅客自身安检; T91: 安检系统报警; T92: 对物品进行人工安检; T93: 安检系统未报警 T94: 安检系统未报警 T95: 安检系统报警; T96: 人工安检; T97: 旅客候车; T98: 旅客检票; T99: 旅客上车; T100: 旅客下车。

由于目的地市内交通出行过程与出发地市内交通出行过程类似, 在此不做详细阐述。

3 旅客出行服务流程模型分析

3.1 旅客出行服务流程模型结构可靠性分析

在利用 petri 网仿真平台 visual object net++ 得到了旅客从出发地到目的地全过程的 petri 模型后, 还需要对 petri 网进行仿真分析。由于所建的 petri 网中存在选择性变迁, visual object net++ 仿真软件并无没有处理选择性变迁的功能, 因此在输入托肯后, 点击 start 按钮后会出现弹框提示此种变迁的存在, petri 网系统根据基础流程的不同允许有选择

性变迁的存在, 因而并不影响对模型的仿真, 只需要点击弹框中的 OK 按钮继续运行仿真软件即可。当 visual object net++ 运行时, 托肯流动到选择性变迁前置库所时会随机的选择其中一个变迁继续进行 petri 网的仿真。

通过采用 petri 网仿真软件 visual object net++ 对 petri 模型多次仿真后, 根据仿真的过程和结果可知, 初始托肯首先从输入库所出发, 依次经过变迁、流程弧和库所, 当流动到选择性变迁前置库所的时候会随机选择其中的一个变迁继续流动, 除此之外, 托肯在模型中的流动并没有停滞死锁和在某模型区域内始终循环的现象, 所建 petri 网模型也不存在非可达树的情况, 并且当有 1 个托肯从输入库所出发后, 其到达输出库所的过程中, 在其他库所中都不存在托肯, 并且仿真结束时输入库所中的托肯为 0, 输出库所中有且只有 1 个托肯, 当有 n 个托肯从输入库所出发到达输出库所时, 也是 n 个托肯且除输出库所外其他库所的托肯数为 0。

3.2 旅客出行服务流程 petri 网模型性能分析

3.2.1 随机 petri 网模型性能分析理论

将 SPN 理论应用于系统模型的性能分析大致分为 4 个步骤^[5]:

构造出待分析系统的基本 petri 网模型, 指出每个时间变迁 t_i 的引发速率值 λ_i , 即可确定出系统的 GSPN 模型。

根据 GSPN 模型, 求出待分析网系统模型的可达标识图, 用相应的平均速率 λ_i 替换时间变迁 t_i , 保留实存状态, 去掉消失状态, 构造出与 GSPN 同构的马尔科夫链。

求解同构 MC 的稳定状态概率, 设 GSPN 达到平衡状态时每一个 M_i 都有一个稳定的概率 $P[M_i]$, 那么它可以用下面方法求得:

假设同构马尔科夫链中 n 个状态的稳定概率是一个行向量 $\mathbf{X}=(x_0, x_1, \dots, x_{n-1})$, 则根据马尔科夫过程建立方程, 其中, $\mathbf{Q}=[q_{ij}]_{n \times n}$ 是一个转移速率矩

阵, 又被称为 Q 矩阵。当 $i=j$ 时, q_{ij} =(从状态 M_i 输出的各条弧上标注的速率之和), 当 $i \neq j$ 时, q_{ij} =(从状态 M_i 到状态 M_j 弧上标注的速率)。求解上式线性方程组, 则可得 $P[M_i]=x_i(0 \leq i \leq n-1)$ 。

在求得同构马尔科夫链的稳定状态概率的基础上, 然后在进一步求解模型的性能指标参数, 提出对模型的优化建议。

3.2.2 城际旅客出行服务流程 petri 网模型性能分析

旅客市内交通出行 petri 网模型见图 3, 但为了更加方便清晰的分析旅客出行服务流程, 现以市内交通出行子网中的地铁出行子网为例进行分析, 为了简化研究, 将 T10, T11, T12 用 TA 代替, T14, T15, T16 用 TB 代替, 简化结果如图 5 所示。

利用替代后的市内地铁出行 petri 网模型, 并为模型中变迁添加延迟时间, 其中时间变迁 $Tt=\{T7, T8, T9, TA, TB, T13, T17, T21, T22, T23, T24\}$, 瞬时变迁 $Ti=\{T18, T20\}$, 时间变迁引发速率 $\lambda_i=\{\lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_A, \lambda_B, \lambda_{13}, \lambda_{17}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}\}$, 并假设时间变迁的引发延时服从指数分布。当库所中有托肯时, T18, T20 是选择性引发的, 不妨设引发 T18 的概率是 a , 则引发 T20 的概率是 $1-a$, 这样就建立了一个关于市内地铁出行子网的 GSPN 模型。想要得到该模型的可达标识图, 需首先建立替代后的该模型的可达标识列表, 结果见表 1, 为便于查看库所中具有可达标识的用 1 标识, 没有可达标识的用“-”表示。

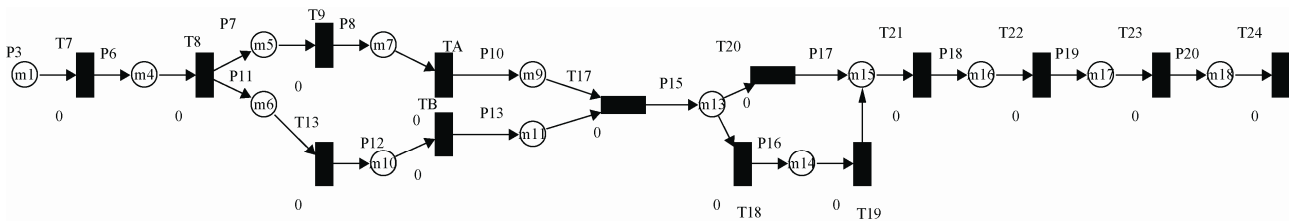


图 5 市内地铁出行子网
Fig. 5 Subnet of urban subway

表 1 市内地铁出行子网的可达标识列表
Tab. 1 Urban subway subnet's identification table

状态	P3	P6	P7	P8	P10	P11	P12	P13	P15	P16	P17	P18	P19	P20
M0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
M4	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
M5	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
M7	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
M8	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
M9	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
M10	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
M11	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
M12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
M13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
M14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
M15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
M16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

可达标识列表能够体现出托肯在 petri 网系统中的流动情况, 根据这种情况可建立如图所示的可达标识图。图中起始库所与终止库所之间添加一个时间变迁 T^* (引发速率为 λ^*) 是为保证模型需是一个活的、有界的、连续的回路^[6]。

利用标识的可达标识建立可达标识图见图 6。

构造与 GSPN 同构的马尔可夫链, 建立转移速率矩阵:

实存状态: M0, M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7,

M8, M9, M10, M12, M13, M14, M15, M16

消失状态: M11

对 GSPN 的状态空间进行相应的化简。根据广义随机 petri 网的性质可知, 当实践变迁与瞬时变迁都处于可实施状态时, 时间变迁是不会发生的, 因此化简时只需要考虑实存状态, 因为消失状态不会发生所以不予考虑, 由此即可建立出压缩的、与 GSPN 同构的马尔可夫链 MC^[3], 见图 7。

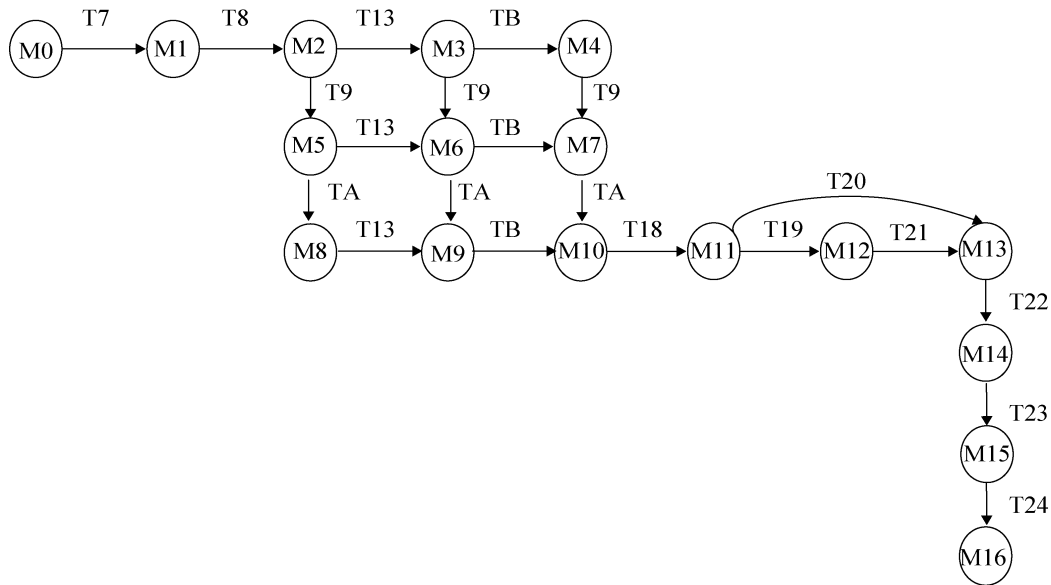


图 6 市内地铁出行模型的可达标识图

Fig. 6 Urban subway travel model's Identification figure

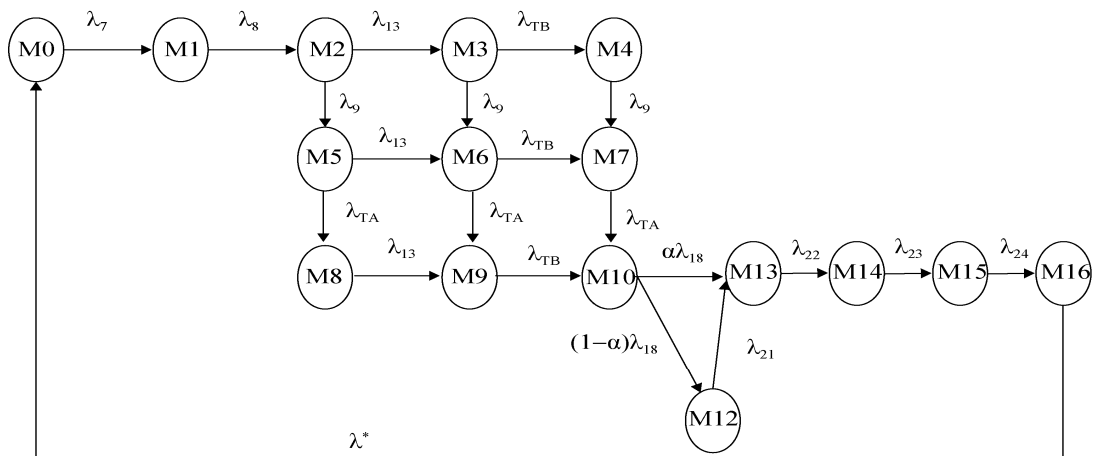


图 7 与图 6 同构的马尔可夫链

Fig. 7 Homogeneous Markov chain with fig.6

根据马尔可夫链的相关理论, 得出市内地铁出行子网的转移速率矩阵:

$$Q = \begin{bmatrix} -\lambda_7 & \lambda_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_8 & \lambda_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_9 - \lambda_{13} & \lambda_{13} & 0 & \lambda_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{1B} - \lambda_9 & \lambda_{1B} & 0 & \lambda_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_9 & 0 & 0 & \lambda_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{13} - \lambda_{1A} & \lambda_{13} & 0 & \lambda_{1A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{1B} - \lambda_{1A} & \lambda_{1B} & 0 & \lambda_{1A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{1A} & 0 & 0 & \lambda_{1A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{13} & \lambda_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{1B} & \lambda_{1B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{18} & (1-a)\lambda_{18} & a\lambda_{18} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{21} & \lambda_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{22} & \lambda_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{23} & \lambda_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{24} & \lambda_{24} \\ \lambda^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda^* \end{bmatrix}$$

由状态方程 $\sum_{i=0}^{n-1} Xi = 1$, 其中 $X = \{x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}\}$, 可推导出标识稳定概率表达式。

根据式 $P[Mi] = \lim_{\lambda^* \rightarrow \infty} Xi$ 即可求得模型的各项标识的稳定状态概率。通过稳定状态下的概率分布可确定出行过程中各个库所中的平均托肯数, 若库所中存在的托肯数目比较大时, 则表明这里容易出行瓶颈, 即旅客等待服务的时间过长。通过对此分析, 可进一步提高整个出行服务流程的效率, 为日后针对性的对出行服务环节中的每一部分进行优化, 在了解旅客出行需求的基础上, 简化旅客出行所接受服务的时间, 以便更好的实现旅客出行的服务融合。

4 算例分析

为了进一步验证模型的可靠性及正确性, 在结合多篇论文数据的基础上, 给出了表 2, 在此仅对

旅客出行服务流程中的市内地铁出行子网进行详细分析。虽然给出的数据与现实的结果之间是有一定的差距, 但并不影响 petri 网理论对旅客出行服务流程的建模和分析。

在已知模型中时间变迁的延迟时间后, 需要根据变迁的延迟时间 T_i 得出变迁的平均引发速率 λ_i , 由于平均引发速率 λ_i 表示变迁在发生情况下单位时间内平均引发次数, 因此可以假设单位时间为数值“1”。结合表 2 可得出模型中市内地铁出行各时间变迁的平均引发速率表, 如表 3 所示。

结合市内地铁出行子网稳定概率求出 R 值, 根据求得的 R 值求出市内地铁出行子网模型的平均服务时间:

$$T_m = 1/R - 1/\lambda^* = 1\ 090.61(s)$$

再根据公式 $P[Mi] = \lim_{\lambda^* \rightarrow \infty} Xi$ 及市内地铁子网各标识状态公式推导结果, 经 matlab 可求得市内地铁子网系统标识稳定状态概率 $P[Mi]$, 如表 4 所示。

市内地铁出行子网模型库所平均托肯数标识旅客的数量, 结合库所的平均托肯数, 根据公式 $u(p) = \sum_k k \times P[M(p) = k]$, 则可求得市内地铁出行 petri 网系统各库所的平均托肯数如表 5 所示。

表 2 市内地铁出行各环节服务时间和比例表
Tab. 2 Service time and proportion table for each link of urban subway travel

活动名称	服务时间/s	比例
旅客步行至地铁站	720	—
旅客准备安检	40	—
旅客随身物品安检	10	—
安检系统是否报警	—	是: 10% 否: 90%
对物品进行人工安检	100	—
旅客自身安检	2	—
安检系统是否报警	—	是: 20% 否: 80%
对旅客进行人身检查	80	—
旅客领取行李并离开	30	—
旅客是否持有地铁卡	—	是: 80% 否: 20%
旅客排队购票	52	—
旅客进站检票	3.16	—
旅客出站检票	3.38	—
旅客候车	180	—
旅客步行至枢纽点	720	—

表 3 市内地铁出行各时间变迁平均引发速率数值表
Tab. 3 Value table of urban subway travel each time's average rate

变迁	延时/s	引发速率 λ
T7	720	0.001 4
T8	40	0.025
T9	10	0.1
TA	100	0.01
T13	2	0.5
TB	80	0.012 5
T17	30	0.033 3
T19	52	0.019 2
T21	180	0.005 6
T22	3.16	0.316 5
T23	60	0.016 7
T24	3.38	0.295 8

表 4 市内地铁子网稳定概率分布

Tab. 4 Urban subway subnet's probability distribution

状态	概率数值	状态	概率数值
P[M0]	0.654 94	P[M8]	0.000 006
P[M1]	0.036 68	P[M9]	0.029 72
P[M2]	0.001 528	P[M10]	0.027 46
P[M3]	0.006 792	P[M12]	0.130 65
P[M4]	0.000 849	P[M13]	0.000 915
P[M5]	0.000 3	P[M14]	0.017 332
P[M6]	0.036 85	P[M15]	0.000 979
P[M7]	0.054 55		

表 5 市内地铁子网系统各库所的平均托肯数

Tab. 5 Urban subway subnet's average Tolkien numbers

库所	托肯数目	库所	托肯数目
P3	0.654 94	P13	0.082 859
P6	0.036 68	P15	0
P7	0.009 169	P16	0.130 65
P8	0.091 7	P17	0.000 915
P10	0.057 186	P18	0.017 332
P11	0.001 834	P19	0.000 979
P12	0.073 362		

市内地铁出行 petri 网模型某个变迁的使用率为使该变迁能发生的所有标识的稳定概率之和, 根据公式 $u(t) = \sum_{M \in E} P[M]$, 则可求得市内地铁出行 petri 网系统各变迁的利用率如表 6 所示。

表 6 市内地铁出行各变迁的使用率

Tab. 6 Urban subway utilization of each change %

变迁	利用率	变迁	利用率
T7	65.49	TB	7.33
T8	3.67	T17	14
T9	1	T21	0.1
TA	9.17	T22	1.733 2
T13	0.18	T23	0.1

通过上述分析, 可得出旅客从出发地步行至地铁站的时间是旅客市内地铁出行的首要问题; 其次, 旅客相比购票环节, 更容易在安检环节受到瓶颈, 这主要是由于“公交一卡通”的普及, 使得乘车的旅客当即买票的概率减少, 因此, 应进一步对旅客的安检环节进行优化, 减少旅客的排队安检时间。

5 结论

本文将 petri 网理论应用到城际旅客出行服务流程过程中, 以 petri 网仿真软件 Visual Object Net++ 为平台, 分别对市内旅客出行过程和城际旅客出行过程进行建模, 并应用相关理论证明了模型的可靠性。本文由于为了更加清晰的阐述 petri 网理论对旅客出行服务流程的应用, 仅仅详细分析了市内地铁出行子环节, 并且在考虑城际旅客出行服务流程中, 对市内交通的换乘还并未做考虑, 有待日后的进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈馥利. 城市群城际间居民出行行为特征研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
Chen Fuli. Study on travel behavior characteristics of inter-city residents in urban agglomerations[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [2] 吕骥, 董治, 吴兵. 基于出行链理论的城际旅客出行特征研究[J]. 交通科技, 2014(1): 102-105.
Lv Ji, Dong Zhi, Wu Bing. Research on Trip Characteristics of Intercity Travel Based on Trip Chain Theory[J]. Transportation Science & Technology, 2014(1): 102-105.
- [3] 吴忠君. 航站楼旅客离港服务流程建模与仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
Wu zhongjun. The Departing Service Processes in Terminal Modeling and Simulation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [4] 孙萍. 基于 Petri 网的工作流建模及性质分析[D]. 山东: 山东科技大学, 2004.
Sun Ping. The Modelling and Analysis of Workflow Based on Petri Net[D]. Shandong: Shandong University of Science and Technology, 2004.
- [5] W M P Van der Aalst. Verification of Workflow Nets[C]. Proc. of the 18th International Conference on Application and Theory of Petri Nets, 1997, 6: 407-426.
- [6] 张劲松. 基于 Petri 网的枢纽机场旅客离港流程建模与仿真研究[D]. 成都: 中国民用航空飞行学院, 2015.
Zhang Jinsong. The Departing Service Process in Hub Airport Terminal Modeling and Simulation Based on Petri Net[D]. Chengdu: Civil Aviation Flight University of China, 2015.