

基于元胞自动机的公交停靠对交通流影响研究

于越

西南交通大学希望学院交通运输系, 中国·四川 成都 610400

摘要: 针对公交车在进站时减速停靠会影响相邻车道及尾随车辆的运行, 影响了公共交通流正常的运作情况, 甚至产生拥堵、碰撞, 引发交通事故等问题。研究基于元胞自动机建立了三车道交通流换道模型进行仿真实验的方法, 根据实际的交通情况, 对模型中的参数进行重新标定, 优化换道规则, 通过时空图与交通流关系图这一指标分析公交车占比对交通流的影响, 以探究建模环境下的最优公交占比, 以期为交通管理部门优化公交车运营、提高道路通行能力提供决策依据, 为改善公交运行安全提供重要参考, 避免和减少交通事故的发生。

关键词: 公交停靠; 交通流; 元胞自动机; 公交占比

Research on the Impact of Bus Stopping on Traffic Flow Based on Cellular Automata

Yue Yu

Department of Transportation, Hope College, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, 610400, China

Abstract: Slowing down and stopping buses at the station can affect the operation of adjacent lanes and following vehicles, disrupt the normal flow of public transportation, and even cause congestion, collisions, and traffic safety accidents. A method based on cellular automata was developed to establish a three lane traffic flow lane changing model for simulation experiments. According to the actual traffic situation, the parameters in the model were recalibrated, the lane changing rules were optimized, and the impact of bus ratio on traffic flow was analyzed through the indicators of spatiotemporal graph and traffic flow relationship graph to explore the optimal bus ratio in the modeling environment. The aim is to provide decision-making basis for traffic management departments to optimize bus operation and improve road traffic capacity, and to provide important reference for improving bus operation safety, avoiding and reducing the occurrence of traffic safety accidents.

Keywords: bus stop; traffic flow; cellular automaton; proportion of public transportation

0 前言

近年来, 中国经济高速发展, 城市扩容提速; 同时, 随着不断出台的人才引进政策, 城市吸引力持续增大, 大量的农村人口涌入城市。相比于地铁、出租车、轻轨等其他公共交通运输方式, 公交凭借其高密度的交通运输网络, 便捷的交通服务, 使之成为缓解城市交通拥堵状况的有效措施之一。

公交给居民出行带来便利、快捷的同时, 也存在诸多交通安全问题, 不仅对公交行业发展带来不利影响。也对城市居民的生命财产安全构成一定的威胁, 阻碍了经济和社会的稳定和发展。现实中, 公交车停靠站行为会使邻道与本车道跟随车辆产生冲突, 短时间内车辆大量汇聚, 形成堵塞, 容易产生交通安全问题, 影响了该路段交通流量的正常运行。形成明显的瓶颈效应, 每年在公交站台发生交通事故的数量不在少数。因此, 研究公交车占比对交通流的影响, 对于缓解交通拥堵, 提高道路交通安全水平具有重要的现实意义。

1 研究准备

1.1. 公交运行系统

公交运行系统包括专用车道、停靠站台、交通设施和

标志线以及快速公交车辆。这些部分保障了快速公交系统的高效运行以及提高市民的出行质量。公交停靠站台是公交运行系统的一个主要组成部分, 根据公交站点不同的功能可以分为: 首站、末站以及中途站。公交首、末站是指公交线路的起点和终点, 与中途站点不同, 首末站除了上下乘客以外, 还具有停放、管理、调度等功能, 因此需要配备停车场和汽车修理厂等相关建筑设施。所以, 公交首末站一般设置在城市道路之外的用地上。公交的中途站点是公交运行线路上除公交首末站以外的其他站点, 提供乘客上、下车的服务。中途站点通常设置在城市道路用地之内。

1.2 间歇性公交专用车道

为了有效推动公共交通的发展, 旨在提升道路通行能力并缓解城市交通拥堵等难题, 公交专用车道作为一种创新策略应运而生。公交专用车道是在道路条件允许的特定路段上, 通过物理隔离设施或明确的标志、标线进行划分, 确保在特定时段内仅供公交车行驶, 从而限制其他社会车辆的通行。这一举措不仅显著提升了公交车的行驶速度, 还有效保障了公共交通的舒适度和准时性, 为乘客提供了更为可靠的服务体验。公交专用车道的设置也伴随着一定的挑战, 即它占用了宝贵的道路空间资源, 这在一定程度上导致了其他常

规社会车辆的行驶延误。为了平衡公交车的优先权与社会车辆的通行需求,间歇性公交专用车道作为一种更为灵活的解决方案被提出。这种车道允许快速公交与常规社会车辆在一定条件下混合行驶,在设置公交专用车道的路段,为了最大化道路的通行能力,通常选择车道数不少于 3 条的道路进行布局。车道数的不同,对交通流的影响也呈现出差异性。当公交车减速进站停靠时,会对紧随其后的车辆产生直接影响,这些车辆可能需要减速甚至变换到相邻车道以继续行驶。因此,随着公交车停靠行为的增加,车辆换道的频率也会相应上升,进而对整体交通流产生更为显著的影响。

2 研究方法

2.1 NS 模型

本研究在经典的 NS 模型基础上,把道路划为离散的元胞,每一个元胞在每一个时刻的状态或为空或被一辆车占据。小汽车和未进站的公交车都按 NS 模型中的规则向前行驶,在每个时间间隔 $t \rightarrow t+1$, NS 交通流模型的基本演化过程分别为加速过程、减速过程、随机慢化过程和位置更新。

①加速: $V_n(t+1) = \min\{V_n(t)+1, V_{\max}\}$; 即实际交通中,驾驶员倾向选择以最大速度前行。

②减速: $V_n(t+1) = \min\{V_n(t)+1, d_n(t)\}$; 驾驶员采取减

速行为防止与前车相撞。

③以概率 P 随机慢化: $P \rightarrow V_n = \max\{V_n(t)-1, 0\}$; 驾驶员由于不确定因素造成的减速,这个概率是用来模拟车辆在缓慢移动的交通中停停走走的行为。即从最前面的元胞开始,向后依次查看每个元胞状态,每辆车以概率 P 决定前进其相邻的一个元胞。

④位置更新: $x_n(t+1) = x_n(t) + V_n(t+1)$; 车辆以调整之后的速度继续向前行驶。其中:

$V_n(t)$: 第 n 辆车在第 t 个时间步的速度; $V_i \in [0, V_{\max}]$, V_{\max} 为最大速度,其中小汽车的最大速度定义为 $V_{\max}^c = 5$; 公交车的最大速度定义为 $V_{\max}^b = 3$ 。

$x_n(t)$: 第 n 辆车在第 t 个时间步的位置;

$d_n(t) = x_{n+1}(t) - x_n(t) - 1$: 第 n 辆车在 t 时刻的车头间距,即与前 $n+1$ 辆车的空元胞数。

2.2 模型初始化

结合实际情况,将元胞大小设置为 4m, 仿真路段长 $L=1000$ 个元胞 (4km), 其中包括 3 个公交车站点, 每个站点长度为 4 个元胞 (16m), 站点间隔为 200 个元胞 (800m), 模拟时间取 1000s, 每一个时间步长停顿 0.01s。假设每个公交站停靠时间相等, 为 20s。采用周期边界条件, 参数 P 是车辆的随机减速概率, 其他参数设置见表 1。

表 1 模型参数

参数	小汽车	公交车
大小 (cell)	1 (4m)	2 (8m)
最大速度 (cell/s)	5 (72km/h)	3 (43.2km/h)
最大加速度 (cell/s ²)	2	1
P: 外侧车道→中间车道	0.5	—
P: 中间车道→外侧车道	0.7	—
P: 中间车道→公交专用道	0.3	—
P: 公交专用道→中间车道	0.9	—
随机慢化概率	0.3	0.3

3 研究结果

首先向道路中随机投放车辆, 道路中小汽车的数量为:

$$num_{car} = (1 - pb(ii)) * sumV$$

公交车的数量为:

$$num_{bus} = (pb(ii)) * sumV$$

其中, $pb(ii)$ 为公交车所占比例, 不同公交比例下的速度—密度—流量关系图及换道数—密度关系图见图 1。

图 1 (a) 在公交占比不同的情况下, 速度随密度变化的情况, 可以看出密度小于 300 时, 对速度几乎没有影响; 当密度大于 300 时, 速度随密度的增加而降低, 且道路中公交占比越大, 速度越低。但是当道路上车辆密度较高的时候, 对速度影响程度的差别不大。图 1 (b) 是不同公交占比时,

流量随密度变化的对比图像。该曲线与交通流的关系曲线基本吻合, 由图 1 (b) 可以看出 rb 越小, 同样密度条件下的所对应的整体流量越大, 这是因为密度相同时, 由于公交占比小, 对应的小汽车数目随之增多, 而小汽车的行驶速度高于公交车, 所以在单位时间内通过道路中的某一横断面的车辆数随之增多。图 1 (c) 为当公交车在道路车辆中不同占比的时候, 换道数对密度变化的对比图。道路中的车辆换道数是微观交通流研究中的一个难点, 因为目前的研究方法很难测算出车辆的换道数, 因此这方面的研究非常欠缺。元胞自动机可以从微观角度很好的模拟换道行为并计算换道次数, 由图 1 (c) 整体来看车辆换道数随着密度的增加先增加后趋于稳定, 这是由于密度较小时, 车辆不需频繁换道就可以满足自身的驾驶需求, 而随着车密度的增加, 道路上的车辆间相互影响加大, 小汽车通过换道来追求达到满意的车

速。当密度继续增加，道路条件无法满足频繁的换道需求，从而达到平稳状态。考虑公交占比影响，由图可知，道路上车辆密度相对较小时，换道数随 rb 增加而增加。而随着密度逐渐增大，换道数随 rb 增加而减少。这是因为道路上车辆密度越小，公交占比越高，车辆换道需求越大，由于道路条件宽松，可满足车辆的换道条件增多，驾驶员倾向于通过换道来满足速度需求，当道路上车辆密度增加时，如果公交

车辆也在增加，公交车道不能满足小汽车的换道需求，因此换道总次数随之减少。

通过对模型进行的仿真，结果显示随着公交占比的变化，对于道路的交通流量、平均速度和换道次数产生了不同程度的影响，当公交占比为 0.05 左右时，在保证道路资源利用率的同时，可以使行驶速度最大，换道次数最少，从而提高交通安全。

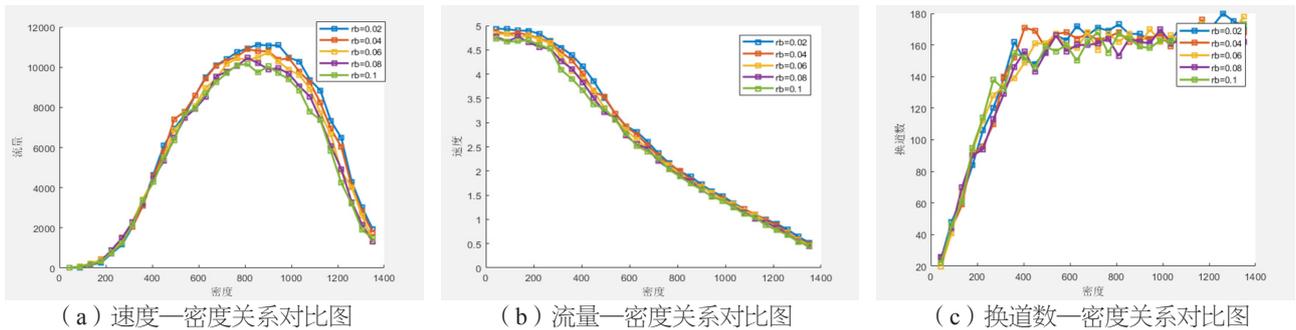


图 4 不同公交比例下的速度—密度—流量关系图及换道数—密度关系图

4 研究结论

本研究针对公交车在进站减速并停靠过程中，对站台周边其他车辆运行造成的干扰，以及这种干扰如何影响路段交通流的正常运作，甚至引发拥堵和交通安全事故的问题。为解决这一问题，基于元胞自动机原理构建了三车道交通流换道模型，并进行了仿真实验。在建模过程中，根据实际的交通状况，对模型参数进行了重新标定，并对换道规则进行了优化。通过时空图和交通流关系图等关键指标，分析了公交车占比对交通流的具体影响。研究结果显示，在建模环境下，当公交车占比为 0.05 时，其对交通流产生的负面影响最小，即达到了最优的公交占比。

参考文献:

- [1] 巩建国,戴帅,刘金广,等.城市道路交通安全管理规划编制与实施策略研究[J].交通信息与安全,2014,32(3):78-82.
- [2] 李连杰.城市常规公交运行系统安全性评价研究[D].长春:吉林大学,2020.
- [3] 孙有信,汪海龙,钱勇生,等.周期边界下公交影响的双车道多速元胞自动机模型[J].系统工程理论与实践,2008(4):174-178.
- [4] 张卫华.城市公共交通优先通行技术及评价方法研究[D].南京:东南大学,2003.
- [5] 马鑫俊.驾驶人换道行为对交通安全的影响研究[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会:中国城市规划设计研究院城市交通专业研究院,2019:3047-3053.