

文章编号: 1000-6788(2008) 04-0172-05

周期边界下公交影响的双车道多速元胞自动机模型

孙有信, 汪海龙, 钱勇生, 王守宝
(兰州交通大学 交通运输学院, 兰州 730070)

摘要: 在对现有经典交通流元胞自动机模型进行总体分析的基础上, 结合我国城市交通现状, 重新标定了元胞长度和最大速度等参数, 制定了车道转换规则, 提出了公交车辆的减速进站和慢速启动机制, 并对各交通参数进行了分析, 发现该模型很好的再现了各参数之间的关系。
关键词: 元胞自动机; 公交车; 交通流
中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Mixed multi speed vehicles on two-lane cellular automaton model under public transit influence with period boundary condition

SUN Your xin, WANG Hai long, QIAN Yong sheng, WANG Shou bao
(School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the existing classical cellular automaton model of traffic flow, a new traffic CA model was proposed mixed with the situation of urban traffic in our country, which redemarcated the parameters, such as length of the cellular automaton, operation speed, and which not only improved vehicle changing lane regulation but also proposed public transit vehicles slow to stop regulation. Some simulations were carried out and the results show that this model reproduced the relationship among three parameters of traditional traffic flow.
Key words: cellular automata; public transit vehicle; traffic flow

1 引言

由于交通流在时间、空间上具有高度的随机性、动态性和复杂性, 交通系统表现出丰富的非线性特征, 传统的交通流模型如流体力学模型、气体动力学模型、跟驰模型对此难以解释^[1, 2], 元胞自动机(cellular automata, CA) 模型是一种时间、空间和变量均离散的数学模型, 同时其算法简单灵活, 易于在计算机上进行模拟, 因而在交通流研究等领域得到广泛应用和发展。

实际交通中, 道路一般由多条车道组成, 由不同性能或类型的车辆混合行驶, 而目前建立的 CA 模型, 大多只考虑了其中一个因素^[3~ 10]。公交车是城市交通中最重要的车型之一, 由于其具有固定运行线路、到发时间、固定停靠站、车型大、运行速度低等特点, 其对城市交通流的影响十分明显, 合理的组织公交车流是解决城市交通问题的核心, 本文在对城市交通流进行充分研究的基础上, 重新标定了元胞长度、运行车速、随机慢化机制和换道规则, 为了更加真实的反应实际交通状况, 制定了公交车辆的低速进站和慢启动机制, 在上述研究基础上提出了周期边界条件下公交车辆影响的双车道多速混合车辆交通流元胞自动机模型。

2 模型建立

将道路视为左右两条并列的、长度为 L 的一维离散格点链, 每一个格点在每一时刻或为空或被一辆车占据, 右侧车道定义为 1 车道(公交车道), 左侧车道定义为 2 车道(快车道)。假设道路上车辆只分为公

收稿日期: 2007-08-20
资助项目: 甘肃省自然科学基金(3ZX062-B-25-003)
作者简介: 孙有信(1951-), 男(汉), 甘肃张掖人, 副教授, 主要研究方向为城市交通规划; 汪海龙(1984-), 男(汉), 甘肃渭源人, 硕士研究生, 研究方向为交通规划、交通流仿真。
Copyright © 2008 John Wiley & Sons, Ltd. *J. Forecast.* 27, 172–178 (2008)
DOI: 10.1002/for

交车和小汽车, 为了更精确的反映城市道路交通状况, 将元胞长度定为平均车头间距的 $1/2$, 即元胞长度取 4m , 小轿车占用两个元胞, 公交车占用 4 个元胞. 非港湾式公交停靠站占有 4 个元胞. 1 车道由小轿车和公交车混合占用, 2 车道上只允许小轿车行驶, 小轿车可以变换车道, 公交车只在公交专用线行驶, 不能变换车道.

车辆 k 在 t 时刻的状态由其本身的速度 $V_k(t)$ 来表示, $V_k(t) \in [0, V_{\max}]$, V_{\max} 为车辆的最高限速, $V_{\max}(\text{bus}) = 3$, 对应实际速度 43.2km/h , $V_{\max}(\text{car}) = 5$, 对应速度 72km/h . 用 $X_k^1(t)$ 表示 1 车道上第 k 辆车在 t 时刻的位置, $V_k^1(t)$ 表示其速度; $X_k^2(t)$ 表示 2 车道上第 k 辆车在 t 时刻的位置, $V_k^2(t)$ 表示其速度; 则在 t 时刻 1 车道上第 k 辆车与前方紧邻车辆之间的距离 $D_k^{1-1}(t) = X_{k+1}^1(t) - X_k^1(t) - 1$, 2 车道上第 k 辆车与前方紧邻车辆之间的距离 $D_k^{2-2}(t) = X_{k+1}^2(t) - X_k^2(t) - 1$, 在 t 时刻 1 车道上第 k 辆车与相邻 2 车道前方紧邻车辆之间的距离为 $D_k^{1-2}(t)$, 与后方紧邻车辆之间的距离为 $B_k^{1-2}(t)$. 2 车道上第 k 辆车与相邻 1 车道前方紧邻车辆之间的距离为 $D_k^{2-1}(t)$, 与后方紧邻车辆之间的距离为 $B_k^{2-1}(t)$.

2.1 小汽车车道转换规则

本文以车辆减速次数最小、运行速度最快、旅行时间最短为最优目标, 模型采用贪婪换道机制, 即车辆一旦满足转道条件必须转换车道^[1].

1 车道换道条件为: $V_k^1(t) > D_k^{1-1}(t)$ and $B_k^{1-2}(t) + V_k^1(t) > V_{\max}$ and $D_k^{1-2}(t) > V_k^1(t)$

2 车道换道条件为: k 为小车 and $V_k^2(t) > D_k^{2-2}(t)$ and $B_k^{2-1}(t) + V_k^2(t) > V_{\max}$ and $D_k^{2-1}(t) > V_k^2(t)$

如果满足换道条件则进行换道.

1 车道换道规则: $V_{\text{换}}^2(t+1) = V_k^1(t)$, $X_{\text{换}}^2(t+1) = X_k^1(t) + V_k^1(t)$

2 车道换道规则: $V_{\text{换}}^1(t+1) = V_k^2(t)$, $X_{\text{换}}^1(t+1) = X_k^2(t) + V_k^2(t)$

2.2 公交车减速进站和慢启动

如图 1 所示, $d(t)$ 表示 t 时刻第 k 辆公交车与其前方第一个停靠站之间的距离, 如果 $d(t) < V_{\max}(\text{bus})$, 则 $V_k(t+1) = d(t)$, 当车头进入停靠站后, 车辆运行速度 $V_k(t) = 1$, 待车辆完全进入停靠站后才能停车. 等车辆达到规定停靠时间后以 $V_k(t) = 1$ 的速度离开停靠站.

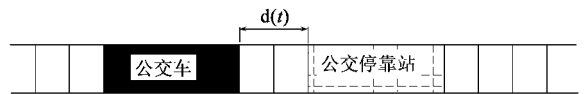


图 1 公交车站示意图

2.3 车辆状态演化的更新规则

1) 加速过程: $V(t+1) = \min(V_k(t) + 1, V_{\max})$;

2) 确定性减速过程: if $(V(t) > D_k(t))$, 则 $V(t+1) = D_k(t) - 1$;

3) 以概率 p 随机减速过程: $V(t+1) = \max(V_k(t) - 1, 0)$;

4) 位置更新: $X(t+1) = X(t) + V(t+1)$.

3 数值模拟与结果讨论

为具体分析交通流系统的动力学性质, 定义双车道上车辆的总密度 $\rho = \frac{N}{2L}$, 小车密度为 $\rho = \frac{N_c}{2L}$, 公交车的密度为 $\rho = \frac{N_b}{2L}$, t 时刻的平均速度 $\bar{V}(t) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{N_j} V_i^j(t)$, N 是 1、2 车道上车辆的总数; N_c 是小车的总数; N_b 是公交车的总数; 引入车道占有率 R , $R = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n l_i$, 式中 l_i 表示第 i 辆车的长度, n 表示该路段的车辆数. 公交车站间距为 s , 因为公交车站间距一般取 $[400\text{m}, 1000\text{m}]$, 对应 s 取 $[100, 250]$.

本文模拟时取车道由 1000 个格点组成, 对应的实际道路长度约为 4km , 采用周期性边界条件. 初始时刻, 两种车辆按一定的混合比例系数均匀分布在车道上, 模型每一次运行演化 2×10^4 时步. 记录最后 10^3 时步中每一时步内的所有速度 $V_k(t)$, 求得每一时步的平均速度 $\bar{V}(t)$, 然后将得到的 10^3 个速度值再作时间平均, 得到一次运行的平均速度.

图 2 为车辆随机减速 $p = 0.05$, 公交车道路占有率 $R_{bus} = 0.05$, 小汽车道路占有率 $R_{car} = 0.275$, 公交车站间距 $s = 200$, 公交车平均停靠时间 $t_{bs} = 10s$ 时在 t 从 2000s- 2800s, x 从 0- 1000 得到的时空演化斑图. 横轴 X 表示车辆位置, 车辆从左至右运动, 纵轴 t 表示时间, (a) 图为公交车道, (b) 图为快车道, 以黑点表示车辆的位置, 白点表示空格点, 由图可以看出公交车道在公交车站处有明显的交通堵塞现象, 在快速车道公交车站对应位置处车流密度明显比其他地方要高, 这是由于公交车的到站停靠使得其后方小车为了追求旅行时间最短, 转道快车道造成的结果.

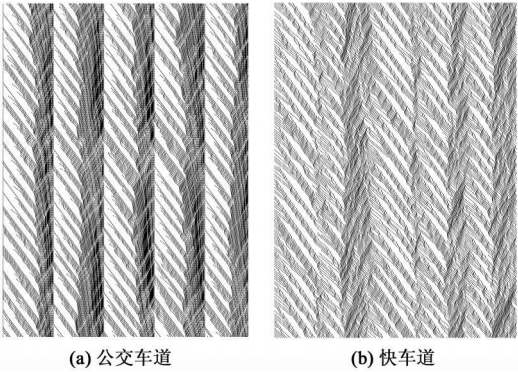


图 2 时空演化斑图

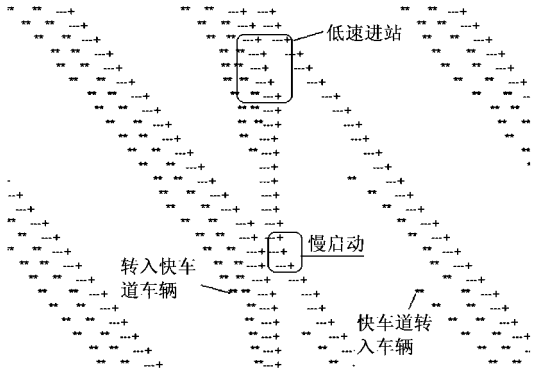


图 3 公交车站处车辆运行示意图

为了精确的描述公交车特性, 本文在公交车停靠站处对公交车采用了低速进站, 慢速启动的机制. 图 3 为 $p = 0.05$, $R_{bus} = 0.05$, $R_{car} = 0.07$, $s = 200$, $t_{bs} = 10s$ 时, t 从 2000s~ 2025s, x 从 330~ 460 之间的时空演化斑图, 图中* * 代表小汽车, - - - 代表公交车.

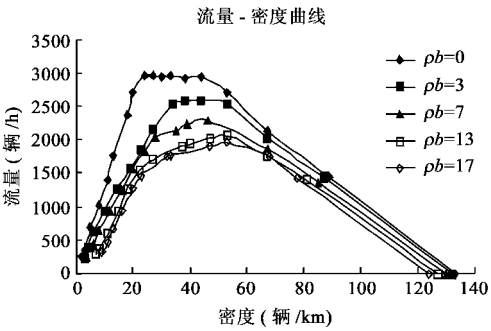


图 4 $p = 0.05$, $s = 200$, $t_{bs} = 10s$, ρ_b 取不同值时流量、密度随公车辆占有率的变化

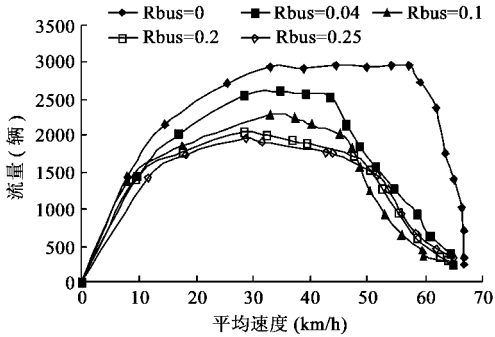


图 5 $p = 0.05$, $s = 200$, $t_{bs} = 10s$, R_{bus} 取不同值时流量、速度随公车辆占有率的变化

图 4 为 ρ_b 取不同值时流量、速度随公车辆占有率的变化关系, 由图可以看出所得曲线与交通工程经典理论求出的曲线基本吻合, 发现 1) 当 $\rho_b = 0$ 时, 车道上只有小轿车, 此时该模型变为最大速度为 5 的双车道 NS 模型, 车辆的最大流量约为 3000 辆/h. 2) ρ_b 越小, 相同密度对应的整体流量越大, 这是因为在同样密度条件下, ρ_b 越小, 双车道上的公车辆越少, 对应的小汽车数目越多, 因为小轿车速度比公交车快, 所以单位时间内通过道路某一横断面的车辆数越多.

由图 5 可以看出 R_{bus} 越高, 相同道路占有率对应的流量越低. 平均速度从 0 至 35km/h 之间变化时, 流量随之增加, 当平均速度从 35km/h 变化至 68km/h 时, 流量随之减小. $R_{bus} = 0$ 时, 得到的流量-速度曲线与 $R_{bus} \neq 0$ 时差异较大, 这是因为 $R_{bus} = 0$ 时, 道路上全为小汽车, 受公交车的干扰小, 流量从 0 变化到最大值时, 道路上的车流基本处于自由状态, 速度变化较小. 而 $R_{bus} \neq 0$ 时随着车辆密度的增加, 车道上车辆间的相互作用较大, 致使车道上的小轿车不能轻易转道超越公交车, 从而使小轿车相当于变成了公交车, 此时混合车辆的平均速度受公交车的平均速度影响较大.

转换车道车辆数是研究微观交通流的一大主要突破点, 现有研究方法由于无法精确的计算和测量出

转换车道车辆数, 转换车道车辆数与交通流特性之间的关系研究基本处于空白状态, 元胞自动机可以很好的模拟转换车道这一现象, 并计算出相应的转换车道车辆数. 由图 6 可以看出, 1) 当 $R_{bus} = 0$ 时, 转换车道数最小, 随着 R_{bus} 的增加, 转换车道数逐渐增加, 当 R_{bus} 增加到 0.1 左右时达到最大. 随着 R_{bus} 的继续增加转换车道车辆数逐渐减小. 这是因为当 $R_{bus} = 0$ 时道路上没有公交车辆, 转换车道数主要与随机减速概率有关, 而 R_{bus} 从 0 开始增加时, 道路上的公交车辆数量逐渐增加, 公交车紧后方行驶的车辆为了追求旅行时间最短, 需要转换到快车道进行超车, 而公交车前方又有大量的空闲道路, 吸引了部分快车道上的车辆转化到公交车道上行驶. 随着公交车数量的增加这种转换越频繁, 对应的转换车道车辆数越大, 直到 R_{bus} 增加到 0.1 左右时, 1 车道上公交车数量已经相对较多, 适合小车转换车道的条件越来越少, 对应转换车道车辆数逐渐减小. 2) 转换车道车辆数随着密度的增加先增加然后减小. 因为密度较小时, 道路上的车辆数较少, 相互之间的影响很小, 转换车道的需求也很小, 随着密度的逐渐增加, 道路上行驶的车辆数变多, 局部阻塞随即出现, 车道转换的需求也随之增加, 当密度达到一定值以后转换车道车辆数达到最大, 随着密度的继续增加, 道路上车辆之间的相互干扰增大, 粘着现象越明显, 满足车辆转换车道的条件也越少, 对应转换车道车辆数也相应减小.

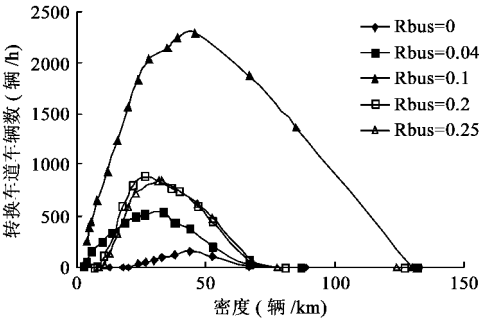


图 6 $p = 0.05, t_{bs} = 10s, R_{bus} = 200$, 取不同值时
转换车道车辆数与密度关系

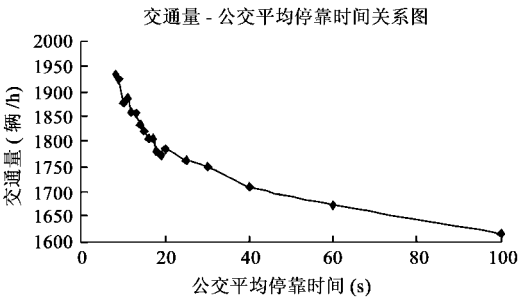


图 7 $p = 0.05, R_{bus} = 0.05, R_{air} = 0.275, s = 200$ 时
得到交通量与公交车站停靠时间关系

公交车平均停靠时间是影响交通流的一个重要因素, 而常规方法又很难求出其与交通量等参数之间的关系, 通过元胞自动机模拟发现交通量与公交车平均停靠时间之间呈反向曲线, 如图 7 由图可以看出, 当公交车停靠时间逐渐增加时, 其对交通量的影响逐渐减弱.

4 结论

本文提出了考虑公交车辆影响的交通流元胞自动机模型, 该模型与现有城市交通流元胞自动机模型相比更加接近实际交通流, 文中得到的交通流参数关系图很好的说明了这一点, 它解决了一些其他方法无法解决的问题, 如变换车道车辆数与交通流参数之间的关系等问题, 同时该模型又将公交车作为独立对象进行了研究, 得出了公交各参数与交通流参数之间的关系曲线, 为进行公交研究提供了新思路.

参考文献:

[1] Schadschneider A. Traffic flow: A statistical physics point of view[J]. Physica A, 2002, 313: 153– 187.

[2] 唐铁桥, 黄海军. 两车道交通流模型与数值计算[J]. 科学通报, 2004, 19(10): 1937– 1943.

Tang T Q, Huang H J. Two lanes of traffic flow models and number value calculate[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 19(10): 1937– 1943.

[3] Cremer M, Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1986, 28: 297– 303.

[4] Wolf D. Cellular Automata for Traffic Simulations[M]. Physica A, 1999, 263: 438– 451.

[5] Wolfram S. Theory and Application of Cellular Automata[M]. Singapore: World Scientific, 1986, 18– 59.

[6] Wagner P, Nagel K, Wolf D E. Realistic multi-lane traffic rules for cellular automata[J]. Physica A, 1997, 234: 687– 698.

[7] Schadschneider A, Schreckenberg M. Cellular automaton models and traffic flow[J]. Phys, 1993, 26.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

- [8] 邝华,孔令江,刘慕仁.多速混合车辆单车道元胞自动机交通流模型的研究[M].物理学报,2004,53(9):2894–2899.
Kuang H, Kong L J, Liu M R. The study of a cellular automaton traffic flow model with mixed different maximum speed vehicles on single lane[J]. Acta Physica Sinica, 2004, 53(9): 2894–2899.
- [9] 花伟,林柏梁.考虑行车状态的一维元胞自动机交通流模型[J].物理学报,2005,54(6):2595–2605.
Hua W, Lin B L. One dimensional traffic cellular automaton model with considering the vehicle moving status[J]. Acta Physica Sinica, 2005, 54(6): 2595–2600.
- [10] Nagel K, Wolf D E, Wagner P, et al. Two lane traffic rules for cellular automata: A systematic approach[J]. Physical Review E, 1998, 58: 1425–1437.
- [11] 钱勇生,汪海龙.考虑公交车辆影响的城市交通流元胞自动机模型[J].系统仿真学报,2007,19(14):3358–3360.
Qian Y S, Wang H L. New cellular automaton city traffic model considering public transport vehicles affect with mixed traffic flow [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(14): 3358–3360.

(上接第 171 页)

- [3] Lipshitz G, Raveh A. Applications of the Cor plot method in the study of socioeconomic differences among cities: A basis for a differential development policy[J]. Urban Studies, 1994, 31: 123–135.
- [4] Noam Shoval, Adi Raveh. Categorization of tourist attractions and the modeling of tourist cities: Based on the Cor plot method of multivariate analysis [J]. Tourism Management, 2004, 25: 741–750.
- [5] Orit Mindali, Adi Raveh, Ilan Salomon. Urban density and energy consumption: A new look at old statistics[J]. Transportation Research Part A, 2004, 38: 143–162.
- [6] Ran Giladi, Yishay Spector, Adi Raveh. Multidimensional scaling: An analysis of 1980–1990 computers[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 95: 439–450.
- [7] Turner, L&Reisinger Y. Importance and expectations of destination attribute for Japanese tourists to Hawaii and the Gold Coast compared[J]. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 1999, 4(2): 1–18.
- [8] Weber Y, Shenkar O, Raveh A. National versus corporate cultural fit in mergers and acquisitions: An exploratory study[J]. Management Science, 1996, 42: 1215–1227.
- [9] 马秋芳,杨新军,康俊香.传统旅游城市入境游客满意度评价及其期望感知特征差异分析[J].旅游学刊,2006,(2):30–35.
Ma Qiufang, Yang Xinjun, Kang Junxiang. On the expectation perceived performance and satisfaction of inbound tourists in tourist cities – a case study of Xi'an tourists from European and American continents[J]. Tourism Tribune, 2006, (2): 30–35.