

基于元胞自动机模型的高速公路可变速度限制 交通流特性分析*

张晶晶 庞明宝[†] 任沙沙

(河北工业大学土木工程学院, 天津 300401)

(2012年2月24日收到; 2012年7月16日收到修改稿)

在 STNS 模型的基础上, 建立了可利用智能交通系统实时信息的高速公路可变速度限制区段元胞自动机模型, 对动态速度控制区段的交通流特性进行模拟, 分析了不同有效限速值、区段长度与交通状况下的限速对交通流和道路通行能力的影响, 以及限速有效性条件. 模拟结果表明可变速度限制作为交通管理控制的辅助手段, 具有一定的使用条件, 针对不同交通状况采用不同的最优限速值和区段长度的动态速度控制方法, 可在保证交通安全的前提下达到抑制交通拥堵、减少车辆总通行时间从而提高道路实际通行能力的目的.

关键词: 元胞自动机模型, 智能交通系统, 连续交通流, 可变速度限制

PACS: 45.70.Vn, 89.40.-a

1 引言

速度限制作为道路交通管理控制的重要策略^[1], 一般是针对道路几何线形、网络结构从交通安全角度设置的, 是固定不变的. 随着智能交通系统 (intelligent transportation system, ITS)、物联网技术的快速发展, 信息采集、发布技术的自动化与经济化^[2], 针对不确定性可能发生的天气变化、道路突发瓶颈、交通拥堵等所采取的可变速度限制 (动态速度控制) 策略^[3-6], 将成为如高速公路、城市快速路等具有连续交通流特征道路主线交通管理控制的重要发展方向之一. 虽然已有的部分研究已证实了该方法的有效性, 但这些研究是从一般交通管理控制角度, 不涉及交通流的非线性, 且以交通安全为主要目的^[1,3-5], 仅有少量文献如主线速度限制和匝道控制相结合的协调控制研究^[6,7], 涉及到提高道路通行能力.

随着跟驰模型、元胞自动机 (CA) 模型等为主要数学模型和仿真实验手段对交通流机理研究成

果的大量出现^[2,8-15], 交通流的非线性动力学行为如无序现象、混沌等得到了深入理解与分析. 特别是时间、空间和变量均离散的 CA 模型, 在保留交通流复杂系统的非线性行为和其他物理特征的同时, 易于在计算机上操作, 并能灵活修改演化规则使之更符合实际交通情况. 其中在 1992 年 Nagel 和 Schreckenberg 提出的描述高速公路交通流 CA 模型 (NaSch 模型) 基础上^[8], 人们研究了道路突发瓶颈、公交站、收费站等对交通流的影响^[16-21]. 在速度限制研究方面, 付印平等研究了铁路系统限速区段的交通流特性^[22], 研究对象不是道路交通系统; Li、李盛春等研究了匝道系统设置减速车道对交通流的影响^[23,24], 但研究对象针对匝道汇入区, 不针对连续交通流道路的主线区段.

针对道路交通主线区段的速度限制方面, 杨先清等研究了单车道设立限速区对交通流的影响^[25]; Zhang 等模拟在各种开口边界条件下双车道高速公路速度限制的影响^[26]. 这些成果表明: 合理的限速值在改善交通状况、提高道路通行能力等方面发挥作用, 但缺乏可变速度限制最优值、区段长

* 国家自然科学基金 (批准号: 50478088) 和河北省自然科学基金 (批准号: E2011202073) 资助的课题.

[†] E-mail: pmbpgy@sohu.com

度及其施加条件的深入研究. 基于此, 本文在 STNS 模型的基础上建立高速公路可变速度限制区段元胞自动机模型, 对动态速度控制区段的交通流特性进行模拟, 分析不同有效限速值、区段长度与交通状况的限速对交通流和道路通行能力的影响程度, 以及限速有效性条件. 为可变速度限制使用的条件、具体优化的可变速度值、区段长度提供参考.

2 CA 模型

考虑到双车道连续交通流特点的高速公路, 每条车道均被划分为连续的 L 个元胞, 元胞 i 或为空或被速度为 v 的车辆占据 (v 只能取 $0, 1, 2, \dots, v_{\max}$ 等整数值, 其中 v_{\max} 是车辆所允许的最大速度). 用 $x(i, t)$ 与 $v(i, t)$ 分别表示第 i 辆车在 t 时刻的位置和速度, $d(i, t)$ 为第 i 辆车在 t 时刻与前车 $i+1$ 间空的元胞数, l 为每辆车占据的元胞数, 则有 $d(i, t) = x(i+1, t) - x(i, t) - l$.

在每个时间步长内, 元胞中所有车辆同时进行下面 4 个规则的更新演化:

1) 加速: $v(i, t+1/3) = \min[v(i, t) + 1, v_{\max}]$, 对应于现实中司机期望以最大速度行驶的特性. 而当车辆进入限速区后, $v(i, t+1/3) = \min[v(i, t) + 1, V_{\max}]$. 其中 V_{\max} 为限速区路段上的最大速度, 有 $V_{\max} \leq v_{\max}$.

2) 减速: $v(i, t+2/3) = \min[v(i, t+1/3), d(i, t)]$; 为避免和前车发生碰撞而采取减速的措施.

3) 随机慢化 (以概率 p): $v(i, t+1) = \max[v(i, t+2/3) - 1, 0]$; 由各种不确定因素造成的车辆减速, 有随机性.

4) 运动: $x(i, t+1) = x(i, t) + v(i, t+1)$; 车辆按照调整后的速度向前行驶.

对车辆的换道规则, 为使模拟更加接近道路交通实际, 本文根据不同的交通状况及区段, 在 STNS 的换道基础上制定了不对称的双车道换道规则. 当其中一条车道上由于某种原因出现拥堵时, 对拥堵车道上的车辆, 如果满足:

- ① $d(i, t) < \min(v(i, t) + 1, v_{\max})$;
- ② $d_{\text{other}}(i, t) > d(i, t)$;
- ③ $d_{\text{back}}(i, t) > 1 + \min(v_{\text{back}}(i, t) + 1, v_{\max}) - \min(v(i, t) + 1, v_{\max})$;
- ④ $\text{rand}() < \text{pchange1}$. 则车辆将换至畅行车

道. 其中 $v_{\text{back}}(i, t)$ 表示 t 时刻相邻车道上后车的速度, $d_{\text{other}}(i, t)$, $d_{\text{back}}(i, t)$ 分别表示第 i 辆车在 t 时刻与相邻车道上前车与后车间的空元胞数, pchange1 , pchange2 为换道概率.

同理, 若畅行车道上车辆满足:

- ① $d(i, t) = 0$;
- ② $d_{\text{other}}(i, t) > d(i, t)$;
- ③ $d_{\text{back}}(i, t) > v_{\max}$;
- ④ $\text{rand}() < \text{pchange2}$; 则车辆进行换道. 其中 $\text{pchange1} \gg \text{pchange2}$.

另外, 采用开口边界条件, 每次更新结束后, 监测该路段头车靠近道路出口的位置 x_{lead} 和尾车靠近道路入口的位置 x_{last} . 在出口处, 如果 $x_{\text{lead}} > L$, 那么车辆将驶出道路, 紧随其后的第二辆车为新的头车; 在入口处, 如果 $x_{\text{last}} > l_x$, 那么车辆以一定的速度驶入道路, l_x 表示尾车与拟进车 (本研究区段更上游来车) 间的元胞数, 该式表示若尾车与道路入口的距离大于尾车与拟进车的距离, 将拟进车放在入口, 进车; 否则由于拟进车没有抵达入口处, 不放入消除. l_x 取值为 $[v_{\max} + l_f, l_{x\max}]$ 间的一个随机数, 若进车量大, $l_{x\max}$ 取值小; 否则 $l_{x\max}$ 取值大.

3 数值模拟与结果分析

本模拟取 4500 m 长度的双车道高速公路, 每个元胞长度为 1.5 m, 每条车道由 3000 个元胞组成, 每标准车占据 4 个元胞即 $l_f = 4$, 仿真步长为 1s. $v_{\max} = 24$ 即静态速度上限值 (即不施行可变速度限制) 为 24, 对应车辆的速度为 130 km/h, 实行速度控制时的速度上限值为 22, 20, 18, 17, 15, 13, 对应的实际速度分别为 120, 110, 100, 90, 80, 70 km/h, 采用开口边界条件, 分别进行不同交通状况下有效限速最优值、不同限速区段长度以及限速有效性的模拟分析.

3.1 不同有效限速值分析

若 2100 处道路突发瓶颈, 迅速对其右车道封闭, 并在其上游 950 至 2100 处施行速度限制, 时间为 15 min, 同时在限速区内采用不对称换道规则. 为消除实验中非稳态的影响, 连续运行 5×10^3 步, 取后 1.5×10^3 步的数据. 图 1(a)—(d) 为在相同实验条件下 V_{\max} 分别为 24, 20, 15, 13 时右车道演化过程的时空斑图.

从图 1(a) 中可以看出此过程经历了 4 个阶段. 阶段 1: 车辆在初始时刻运行一段时间后达到自由流状态; 阶段 2: 当右车道的拥堵处被封闭后, 形成交通拥堵, 且向上游传播; 阶段 3: 右车道的封闭处开放后, 后方车辆开始陆续驶离, 但拥堵继续向上游传播, 拥堵区逐渐变窄, 形成密度较大、平均速度较低的交通流; 阶段 4: 拥堵逐渐消散道路恢复自由流状态.

通过对图 1 的比较可以发现: 1) 不限速时, 拥堵区的边缘向上游延伸几乎呈直线状, 在限速情况下, 拥堵开始形成并延伸出现空白段, 尤其在图 1(c), (d) 中表现的较明显, 这是由于限速在一定程度上推迟了车辆的到达时间, 减缓了拥堵向上游传播; 2) 封闭处开放后, 拥堵继续向上游传播, 拥堵区逐渐变窄, 且随着限速上限值的减小, 拥堵传播形成的区和消散所用的的时间也越短; 3) 随着限速上限值的减小, 拥堵上游的限速区内的车辆越来越密集. 即通过速度控制可以减缓拥堵的传播, 使拥堵消散的时间变短, 但随着上限值的减小, 限速区内跟车变得越来越多, 形成了密度越来越大的交通流.

为具体分析交通流的特性, 定义 t 时刻限速

区段双车道的流量: $J(t) = \rho(t) \times \bar{V}(t)$, 其中, $\rho(t) = M(t)/2L'$, L' 和 $M(t)$ 分别为 t 时刻限速区段双车道上元胞总数和车辆所占的元胞数,

$$\bar{V}(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} v(i, t),$$

$N(t)$ 为 t 时刻限速区段双车道上的车辆总数.

该实验双车道的流量-密度图见图 2. 其中图 2(a) 为不施行可变速度限制即 $V_{\max} = v_{\max} = 24$ 与施行可变速度限制 V_{\max} 分别取 20, 15, 10 时流量 - 密度的比较图 (其他类同). 从不施行可变速度限制即 $V_{\max} = 24$ 的曲线中可以看到: 道路交通开始处于自由流状态, 随着密度的增加, 交通流量线性增加; 当出现拥堵且不施行可变速度限制时, 流量开始下降. 图 2(b) 为施行可变速度限制 $V_{\max} = 15$ 时的流量 - 密度图, 在 OA 段, 处于自由流状态; 当道路出现拥堵时, 由于受到限速及拥堵的影响, 使得平均速度下降, 造成流量的下降 (AB 段); 随着限速区被速度为 V_{\max} 的车辆占据 (BC 段), 限速的效果已经开始显现, 密度缓慢增加、流量迅速达到饱和值; 随着密度的进一步增加 (CD 段), 流量随着密度的增加而下降.

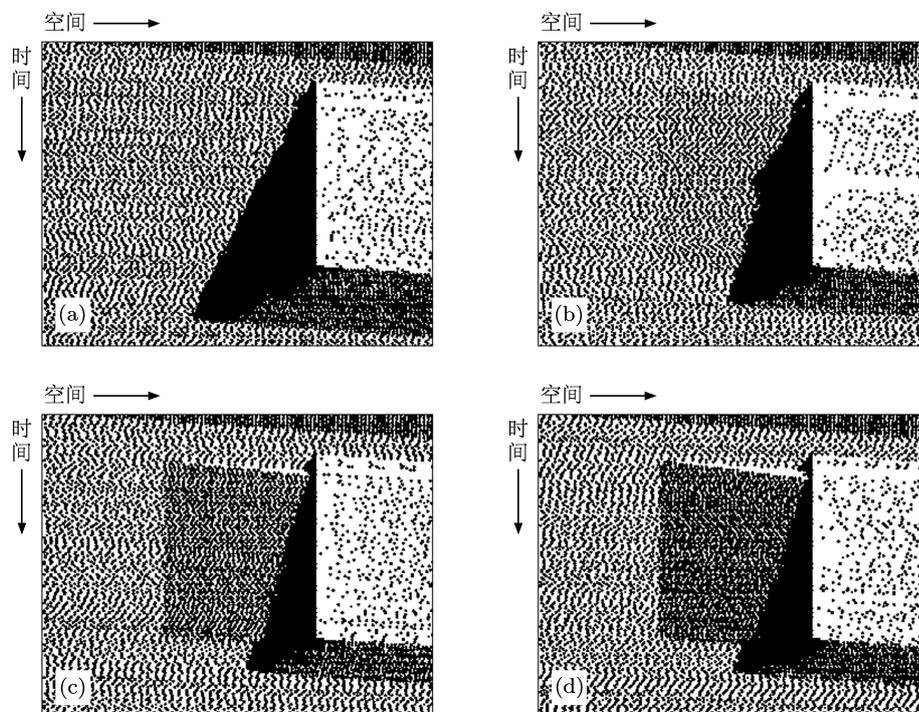


图 1 右车道演化过程的时空斑图

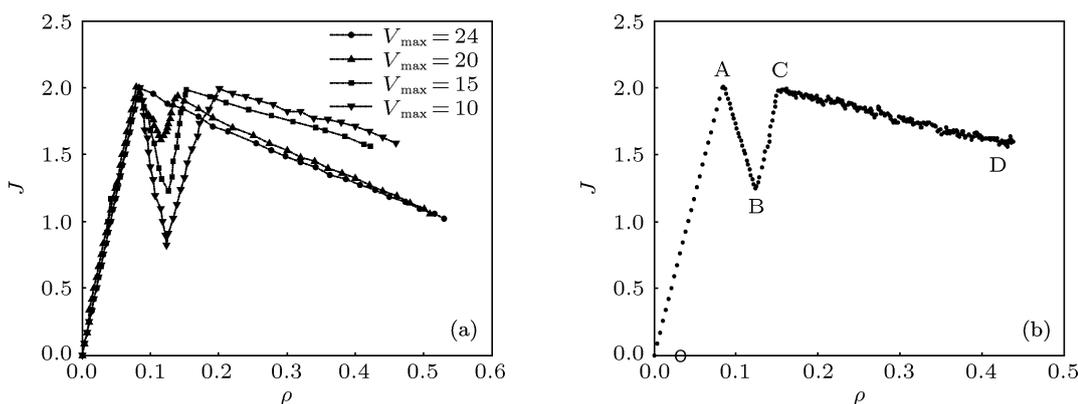


图2 双车道流量-密度图

从图 2(a) 中可以看出不同的速度限制值具有不同的流量-密度曲线即控制效果. 在限速开始 (类似于图 2(b) AB 段, 以下同), 设置的限速值 V_{max} 从 24, 20, 15 到 10, 车辆平均速度的波动、流量下降的幅度越来越大; 在限速区被速度为 V_{max} 的车辆占据 (BC) 段, 流量上升, V_{max} 从 24, 20, 15 到 10, 流量达到饱和值的临界密度越来越大; 在 CD 段, 随着密度逐渐增加流量也在逐步下降, 但 V_{max} 从 24, 20, 15 到 10, 虽然在同一密度值时 $V_{max} = 10$ 的流量最大, 但其极限 (最大) 密度较小, 且达到极限密度时流量为较大, 而 V_{max} 取 24 时, 其极限密度最大, 且达到极限密度时流量为最小, 而 V_{max} 取 15 时, 其极限密度最小, 且达到极限密度时流量较大. 这说明: 在交通拥堵状态下施行可变速度限制, 可使 CD 段的极限密度下降, 从而达到降低密度、提高道路通行能力的目的; 而不同的限速值, 由于 CD 段长度、位置的不同, 使得极限密度不同, 道路实际通行能力会出现不同的结果.

为进一步说明不同限速值对道路实际通行能力的定量影响, 采用两个指标即该限速区段单位时间通过的车辆数 (指标 1) 和一定数量的车辆通过该区段所用的时间 (指标 2) 进行评判, 表 1 为三个不同交通条件下实施不同限速值两个指标的比较, 其中 l_{xmax} 分别取 68, 68, 76. 为了减小初始分布对结果的影响, 每个数据的取值为 30 次运行结果的平均, 其中 1 为本实验案例, 显然在 V_{max} 为 15 即 80 km/h 时比不进行可变速度限制道路实际通行能力提高 10.5%, 在保证交通安全的条件下取得最大值; 2 同 1, 但对右车道进行封闭的时间为 30 min, 显然在 V_{max} 为 17 即 90 km/h 时比不进行可变速度限制时道路实际通行能力提高 6.8%; 3 为在 2100 处发生拥堵, 但车道均不封闭, 两车道均只能以较低的速度通过, 在其上游 950 至 2100 处施行速度限制后的指标比较, 在 V_{max} 为 20 即 110 km/h 时比不进行可变速度限制道路实际通行能力提高 6.2%, 在保证交通安全的条件下取得最大值. 2 和 3 的时空图与流量 - 密度图类似于图 1 和 2.

表1 不同限速值下道路通行能力比较

V_{max}		24	22	20	18	17	15	13
1	指标 1 (veh/h)	1980	2006	2028	2092	2140	2188	2120
	指标 2 (s/2000veh)	3772	3744	3752	3648	3576	3588	3644
2	指标 1 (veh/h)	2128	2150	2164	2200	2272	2202	2152
	指标 2 (s/2000veh)	3614	3537	3574	3457	3374	3471	3548
3	指标 1 (veh/h)	2210	2224	2346	2180	2144	2108	2094
	指标 2 (s/2000veh)	3991	4015	3895	4032	4000	3976	4048

可以看出: 不同交通条件下施行不同的速度限制值即进行可变速度限制, 在保证交通安全的条件下能够实现道路通行能力最大化. 这是由于上游的速度限制使得车辆到达并通过道路突发瓶颈或拥堵路段时的时间加大, 从而在一定程度上缓解了拥堵的扩散, 使道路通行能力提高; 如果速度上限值过大, 达不到减少车辆到达并通过拥堵区段时间的目的, 道路实际通行能力下降; 而如果速度上限值过小, 虽然能达到保证交通安全、抑制交通拥堵的目的, 但车辆到达并通过限速区段的时间增加太多, 道路实际通行能力依然下降, 且可能造成限速区段上游的部分拥堵. 因此, 针对不同交通状况采用不同的速度限制值即动态速度控制具有科学性.

3.2 不同限速区段长度模拟与分析

同限速值一样, 限速区段的长度也影响到上游

车辆到达突发瓶颈或拥堵路段时的时间, 一般来讲, 当限速上限值加大时, 需要适当增加限速区段长度, 以延缓上游车辆到达拥堵区段的时间; 当限速上限值降低时, 可适当减少限速区段长度, 以延缓上游车辆到达拥堵区段时间, 从而实现缓解拥堵、达到提高道路实际通行能力的目的. 表 2 为 2100 处发生拥堵, 在其上游施行速度限制时不同限速区段长度、限速值对道路通行能力影响的比较, $l_{x\max}$ 取 68, 其中限速区段长度分别为 500, 1000, 1500, 2000, 3000 m, 限速时间为 15 min. 可以看出: 不同限速值、限速区段长度下的道路实际通行能力不同, 在该交通问题中, V_{\max} 为 15 即 80 km/h、限速区段长度为 1500 m 时道路通行能力最大. 这是由于限速区段若过长, 车辆到达并通过拥堵点的时间也过长, 道路设施不能充分利用, 使得单位时间内通过该区段的车流量即实际道路通行能力下降.

表 2 不同限速值、限速区段道路通行能力的比较 (veh/h)

V_{\max}		24	22	20	18	17	15	13
限速区段长度/m	500	1980	2008	1980	2016	2030	1994	1991
	1000	2001	1987	2030	2001	1994	2059	2008
	1500	1994	1972	2012	2073	2124	2174	2095
	2000	1983	1994	2009	2023	2132	2102	2060
	3000	2001	1980	2002	1994	2059	2008	2020

为进一步说明不同限速区段的效果, 图 3 为 V_{\max} 为 15 时两个车道车辆平均速度随时间的变化曲线, 平均速度的统计方法同 3.1. 可以看出在第 1200 步以前, 道路处于自由流状态, 若前方发生拥堵, 车辆开始减速驶入限速区, 平均速度急剧下降, 限速区长度越短, 速度下降的越快. 在限速区段行驶 900 步后, 拥堵开始逐渐消失, 平均速度开始上升, 并逐渐达到最大值, 道路重新恢复自由流. 另外, 图中还可以明显看出, 随着限速长度的增加, 平均速度达到的最小值在逐渐增大, 其随时间变化的曲线也变得较为平缓. 这是因为道路上出现拥堵后, 势必在上游出现高密度区. 出于安全方面的考虑, 增加限速区的长度使车辆保持较好的稳定性, 并减缓了从上游流入拥堵后方高密度区的车辆数, 从而降低拥堵区的密度.

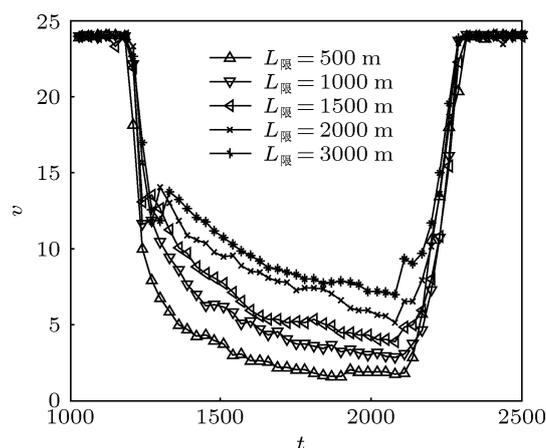


图 3 不同限速区段速度变化比较

以上分析表明, 限速区段长度对交通流有一定影响, 在保证安全的前提下, 选择合适的限速区段长度来提高道路的通行能力.

3.3 限速有效性条件模拟与分析

可变速度限制的有效性虽得以证明,但对其有效和无效的条件需要进行分析.表3为2100处发

生拥堵、双车道上游来车量(Q)取不同值时限速模拟结果比较,对应 $l_{x\max}$ 取146,130,112,90,76,64,60,52,45.其中 Q 取2100—2700间时,限速有效,且具有不同的最优限速值.

表3 不同 Q 值下的限速有效性比较

Q /(veh/h)	1800	2000	2100	2300	2500	2700	2800	3000	3300
限速是否有效	无	无	有	有	有	有	无	无	无
最优限速值	24	24	17	18	20	18	—	—	—

当 Q 取2000及以下时,不用限速即可达到避免堵塞、道路通行能力最大化的目的.图4为 Q 取2000时右车道时空斑图(其他同),图4(a),(b)分别为 $V_{\max} = 24$ 即不采用可变速度限制和 $V_{\max} = 15$ 条件下的效果图,可以看出虽然拥堵区前后方的密度都有所变化,但拥堵区都没有向上游扩散,且限速后使道路实际通行能力下降.这是由于交通流虽然是复杂的非线性系统,但具有一定的自适应性,在一定的状态下当上游来车量较小时,若不施行限速,系统受自适应能力会自动调整其行为使拥堵区不会向上游延伸,车辆依然能较快的通过拥堵处;若进行速度限制,限速区的平均车速下降,延缓车辆到达拥堵处的时间,反而使道路设施不能充分利用.

区域,瓶颈路段上游很快出现排队,导致大面积堵塞.因此,可变速度限制使用时必须考虑道路上游来车量:当 Q 在道路设计通行能力的一定范围内波动(在本模拟交通状态下为2100—2700)时,是有效地;当 Q 小于这个波动范围下限时(小于2100),没有必要施行可变速度限制;当 Q 大于这个波动范围上限时(大于2700),必须通过减少上游匝道来车等方式才能解决交通拥堵这一问题.这是由于可变速度限制只是交通管控的辅助形式,在很多情况下必须和匝道控制相结合进行协调控制.

当 Q 取2800及以上时,取任何限速值依然无法避免拥堵向上游扩散最终大面积堵塞的现象.图5为 Q 取2800时右车道时空斑图(其他同),图5(a),(b)分别为 $V_{\max} = 24$ 即不采用可变速度限制和 $V_{\max} = 15$ 条件下的效果图.显然当上游来车量较大时,速度限制能够在一定程度上缓解拥堵向上游延伸,但由于拥堵严重,车辆无法驶离拥堵

表4为在2100处发生轻微拥堵时, Q 分别取2700,3300(对应 $l_{x\max}$ 取64,45)的情况比较(其他情况同).可以看出在该问题中,上游来车量取不同值,其最优限速值均为24,即不实行可变速度限制或限速均无效.结合前面研究可以得出可变速度限制的有效性条件:结合具体交通拥堵状况、上游来车量进行确定,对于轻微拥堵的,不需要进行可变速度限制;对于严重拥堵的,施行可变速度限制依然无效,需要结合上游匝道控制等进行协调管理;处于二者之间的,需要再结合上游来车量进行量化确定.

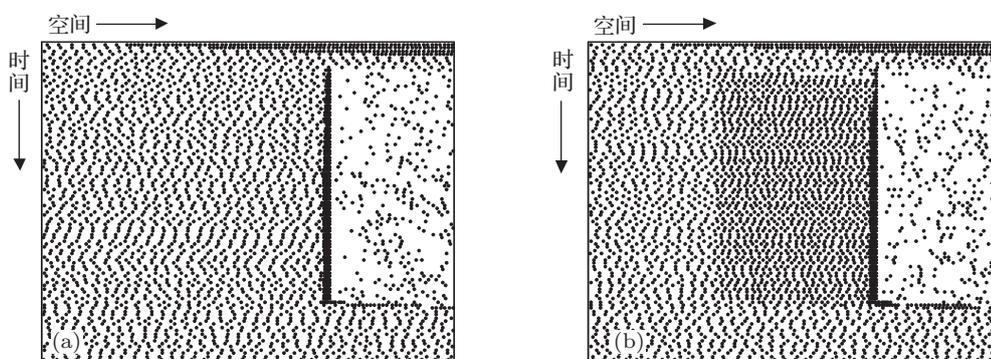


图4 Q 为2000时右车道时空斑图

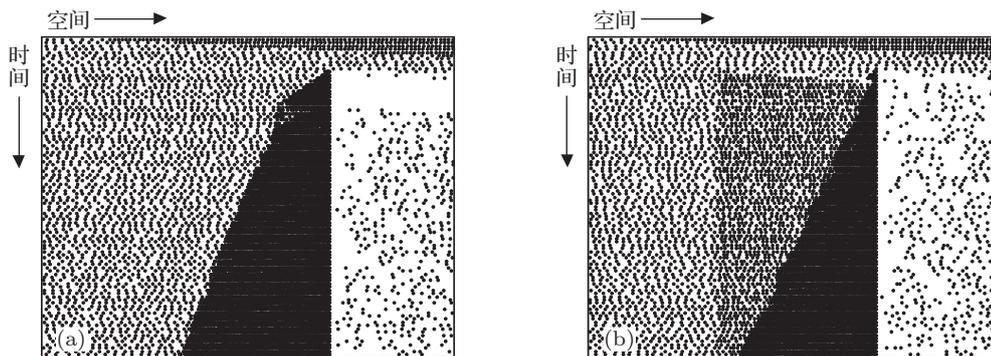


图5 Q为2800时右车道时空斑图

表4 不同限速值道路通行能力比较

$Q/(veh/h)$ \ V_{max} / veh/h	24	22	20	18	17	15	13
2700	2695	2681	2662	2618	2598	2565	2498
3300	2985	2967	2921	2924	2894	2824	2751

4 结论

在 STNS 模型的基础上通过建立高速公路可变速度限制区段元胞自动机模型,对动态速度控制区段的交通流特性进行模拟,分析了不同有效限速上限值、区段长度与不同交通状况下的限速对交

通流和道路通行能力的影响程度,对限速有效性条件进行了初步讨论.本研究仅是可变速度限制下的交通流特性的初步研究,需要依据交通流状态、上游来车量对可变速度限制的有效性条件进行量化的深入研究.

- [1] Fred Mannering 2009 *Transportation Research F* **12** 99
- [2] Han X L, Jiang C Y, Ge H X, Dai S Q 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4383 (in Chinese) [韩祥临, 姜长元, 葛红霞, 戴世强 2007 物理学报 **56** 4383]
- [3] Mohamed Abdel-Aty, Jeremy Dilmore, Albinder Dhindsa 2006 *Accident Analysis and Prevention* **38** 335
- [4] Nicole van Nesa, Stefan Brandenburg, Divera Twiska 2010 *Accident Analysis and Prevention* **42** 944
- [5] Heydecker B G, Addison J D 2011 *Transportation Research C* **19** 206
- [6] Andreas Hegyi, Bart De Schutter, Hans Hellendoorn 2005 *Transportation Research C* **13** 185
- [7] Carlson R C, Papamichail I, Papageorgiou M, Messmer A 2010 *Transportation Science* **44** 238
- [8] Nagel K, Schreckenberg M 1992 *J. Phys. I (France)* **2** 2221
- [9] Wu K F, Kong L J, Liu M R 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 6275 (in Chinese) [吴可非, 孔令江, 刘慕仁 2006 物理学报 **55** 6275]
- [10] Mei C Q, Huang H J, Tang T Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3014 (in Chinese) [梅超群, 黄海军, 唐铁桥 2009 物理学报 **58** 3014]
- [11] Takashi Nagatani 2009 *Physica A* **388** 1673
- [12] Zheng L, Ma S F, Jia N 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 4490 (in Chinese) [郑亮, 马寿峰, 贾宁 2010 物理学报 **59** 4490]
- [13] Xue Y, Dong L Y, Lei L, Dai S Q 2005 *Phys. Rev. E* **71** 026123
- [14] Gao K, Jiang R, Hu S X, Wang B H, Wu Q S 2007 *Phys. Rev. E* **76** 0260105
- [15] Takashi Nagatani 2010 *Phys. Lett. A* **374** 1686
- [16] Sheng P, Zhao S L, Wang J F, Zuo H 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 3831 (in Chinese) [盛鹏, 赵树龙, 王俊峰, 左航 2010 物理学报 **59** 3831]
- [17] Qian Y S, Wang H L, Wang C L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2115 (in Chinese) [钱勇生, 汪海龙, 王春雷 2008 物理学报 **57** 2115]
- [18] Zhu L H, Chen S D, Kong L J, Liu M R 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 5674 (in Chinese) [朱留华, 陈时东, 孔令江, 刘慕仁 2007 物理学报 **56** 5674]

- [19] Jia B, Jiang R, Wu Q S 2003 *Int. J. Mod. Phys. C* **14** 1295
[20] Mei C Q, Huang H J, Tang T Q 2009 *Int. J. Mod. Phys. C* **20** 711
[21] Nassab K, Schreckenberg M, Boulmakoul A, Ouaskit S 2006 *Physica A* **369** 841
[22] Fu Y P, Gao Z Y, Li K P 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 5165 (in Chinese) [付印平, 高自友, 李克平 2007 物理学报 **56** 5165]
[23] Li F, Zhang X Y, Gao Z Y 2007 *Physica A* **374** 827
[24] Li S C, Kong L J, Liu M R, Zheng R S 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2276 (in Chinese) [李盛春, 孔令江, 刘慕仁, 郑容森 2009 物理学报 **58** 2276]
[25] Yang X Q, Zhang W, Qiu K, Sun D P, Zhao Y M 2007 *Chinese Journal of Computational Physics* **24** 499 (in Chinese) [杨先清, 张伟, 仇康, 孙大鹏, 赵跃民 2007 计算物理 **24** 499]
[26] Zhang P J, Li Y L 2009 *Proceedings of the Second International Conference on Modelling and Simulation* Manchester, England, May 21–22, 2009 p21

Characteristic analysis of traffic flow in variable speed limit section of freeway based on cellular automaton model*

Zhang Jing-Jing Pang Ming-Bao[†] Ren Sha-Sha

(School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

(Received 24 February 2012; revised manuscript received 16 July 2012)

Abstract

Based on symmetric two-lane Nagel-Schreckenberg (STNS) model, a cellular automaton model of variable speed limit section in freeway is established with access to real-time traffic information of intelligent transportation system (ITS). The effects are discussed about how the different speed limit values, the lengths of speed limit section, and the different traffic states affect the traffic flow and the traffic volume via the simulation experiment of dynamic speed control. The effectual condition of speed limit is analyzed. The results of the examples show that speed limit can be used solely under some traffic states as an assistant traffic management strategy. The traffic jam phenomena can be suppressed and the goal of achieving a largest traffic flow and reducing the passing time of vehicles can be realized by using the dynamic speed control method with the different speed limit values and lengths under some traffic states.

Keywords: cellular automaton model (CAM), intelligent transportation system (ITS), continuous traffic flow, variable speed limit

PACS: 45.70.Vn, 89.40.–a

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50478088), and the Natural Science Foundation of Hebei Province, China (Grant No. E2011202073).

[†] E-mail: pmbpgy@sohu.com