

文章编号: 1009-6744 (2005) 04-0023-03

系统工程理论与方法

一种改进的超车模型

唐铁桥¹, 黄海军¹, 梅超群^{1,2}

(1.北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083; 2.首都经济贸易大学基础部, 北京 100070)

摘要: 超车是高速公路上非常普遍的现象,传统的模型都不能很好地刻画超车的一些定性和定量的性质.基于薛国新和顾怀中的超车模型的基础上,在分析超车过程时考虑了车辆超车过程中时一些反应延滞时间、车辆跟驰时的安全距离和超车过程中两车所行驶的路程之间的关系,从而建立了一种新的超车模型.最后,给出一个算例表明此模型能够很好地模拟超车现象,并准确地反映出超车过程中的一些重要的定性性质和定量结果.

关键词: 超车; 有效行驶时间; 安全距离; 交通流

中图分类号: U491

An Improved Overtaking Model

TANG Tie-qiao¹, HUANG Hai-jun¹, MEI Chao-qun^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083; China;

2. Basic Department, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract Overtaking is one of universal phenomena on highway, however, all the traditional overtaking models can not describe its qualitative and quantitative characters very well. Based on the overtaking model proposed by Xue Xinguo and Gu Huaizhong, we in this paper present a new overtaking model in which we take into account some reactive delay time during the overtaking process, the safe distance for car-following and the relation between the distances of the two vehicles during the overtaking process. Finally, an example is presented to show that this new model can very well simulate overtaking phenomenon and accurately reflect some important qualitative characters and quantitative results during the overtaking process.

Key words overtaking; valid running time; safe distance; traffic flow

CLC number U491

0 引言

超车是高速公路上一种非常普遍的现象,研究这一现象的主要方法有基于元胞自动机的方法^[1]和建立的微分方程的方法^[2],但这些方法都不简捷,而且不能给出跟车和超车过程中速度与时间的具体表达式.后来,薛国新等人采用固支梁挠度曲线模拟了高速公路的超车过程^[3,4],他们的模型可

以得到各车的实时速度和位置的解析式,然而,采用他们的模型来模拟超车时会出现当两车的速度(超车的速度和被超车的速度)差越大时,快车在超车过程中所浪费的时间越多,即慢车的速度越慢时,快车在整个超车过程中所浪费的时间越长,这与现实的超车现象不相符.此外,他们的模型中假定整个超车过程所持续的时间 T 为常数,而现实

收稿日期: 2005-03-10

资助项目: 国家自然科学基金(70425006).

唐铁桥(1977-),男,博士生,湖南邵东人,研究方向为交通流模拟与分析. E-mail: tangtieqiao@sina.com.

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的超车过程所持续的时间 T 是被超车 B 的速度 $v^{(B)}$ 的函数,并且作为速度 $v^{(B)}$ 的函数是递增的.

本文基于薛国新等人的超车思想,在计算超车过程所持续的时间时将车辆超车过程中的一些反应延滞时间^[5]、车辆跟驰的安全距离以及整个超车过程中 A 车与被超的 B 车所行驶的路程之间的关系考虑进去,建立一个新的超车模型,并将这个新

$$\Delta v^{(A)} = \begin{cases} - \left(v_{\max}^{(A)} - v_{\min}^{(A)} \right) \left[3 \left(\frac{t}{T} \right)^2 - 2 \left(\frac{t}{T} \right)^3 \right] & 0 \leq t < T_T \\ - \left(v_{\max}^{(A)} - v_{\min}^{(A)} \right) \left[3 \left(\frac{T-t}{(1-T_T)T} \right)^2 - 2 \left(\frac{T-t}{(1-T_T)T} \right)^3 \right] & T \geq t \geq T_T \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\Delta v^{(A)} = v^{(A)} - v_{\max}^{(A)}$ 表示 A 车速度相对于其最快速度 $v_{\max}^{(A)}$ 的偏移量, $v_{\min}^{(A)}$ 表示 A 车的最慢速度(即为被超的车 B 的速度 $v^{(B)}$).在超车过程中, $\Delta v^{(A)} \leq 0$,积分 (1) 可得 A 车由于超车少行驶的距离为

$$\Delta s^{(A)} = \int_0^T (-\Delta v^{(A)}) dt = 0.5 v_{\max}^{(A)} \left(1 - v_{\min}^{(A)} / v_{\max}^{(A)} \right) T \quad (2)$$

设 $\Delta t^{(A)}$ 为 A 车在超车导致所浪费的时间,则

$$\Delta s^{(A)} = v_{\max}^{(A)} \Delta t^{(A)} \quad (3)$$

因此

$$T = 2 \Delta t^{(A)} \left(1 - v_{\min}^{(A)} / v_{\max}^{(A)} \right) \quad (4)$$

即

$$\Delta t^{(A)} = 0.5 T \left(1 - v_{\min}^{(A)} / v_{\max}^{(A)} \right) = 0.5 T \left(1 - v_{\min}^{(B)} / v_{\max}^{(A)} \right) \quad (5)$$

$v^{(B)}$ 是被超的车 B 的速度.由 (1) 式可以得到, A 车在超车时间过程 T 内的总的行驶距离为 $0.5 \left(v_{\max}^{(A)} + v_{\min}^{(A)} \right) T$ (这个距离为理想距离).其中 T 是整个超车过程所持续的时间,在薛国新等人的模型中它为一个常数.由 (5) 式我们可以得到 A 车在超车过程中所浪费的时间 $\Delta t^{(A)}$ 作为被超车 B 的速度 $v^{(B)}$ 的函数是一个递减函数,这意味着被超车 B 的速度越大时超车过程中所浪费的时间 $\Delta t^{(A)}$ 越短,这显然与现实的超车现象不相符.其根本原因有两点:其一,整个超车过程所持续的时间 T 为一个常数,而现实的超车过程所持续的时间 T 应该是两车的速度差(超车的速度与被超车的速度差)的递减函数,换句话说,这个时间 T 应该是被超的 B 车的速度 $v^{(B)}$ 的递增函数;其二,整个超车过程

的超车模型用于实际的车辆行驶时间的计算,计算所得到的结果以及超车过程中的一些定性结果与实测的结果基本一致.

1 模型的建立

薛国新等人的超车模型可以归结为如下形式^[3]:

$$\begin{cases} 0 \leq t < T_T \\ T \geq t \geq T_T \end{cases} \quad (1)$$

中上述模型没有考虑两车行驶的路程关系,车辆跟驰时的安全距离以及车辆在超车过程中的一些反应延滞时间等因素.

A 车在超车前后与被超的车 B 的位置如图 1 所示.

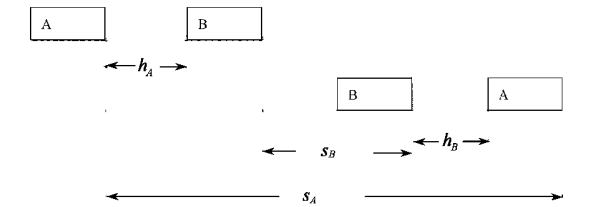


图 1 超车前后的两车的位置示意图

由 (1) 式可得 A 车在超车过程中的平均速度为 $\frac{v_{\max}^{(A)} + v_{\min}^{(A)}}{2}$,有效行驶时间为 $T - 2t_0$,其中 t_0 为 A 车在超车过程中两个的反应延滞时间^①,本文取 $t_0 = 3s$ ^[5],所以 A 车在整个超车过程中所行驶的实际距离为

$$s_A = \frac{v_{\max}^{(A)} + v_{\min}^{(A)}}{2} (T - 2t_0) \quad (6)$$

本文假定被超的 B 车在超车过程中的速度不受影响,即 B 车为匀速行驶,所以 B 车在整个超车过程中所行驶的距离为

$$s_B = v^{(B)} T \quad (7)$$

由图 1 可得

$$\frac{v_{\max}^{(A)} + v_{\min}^{(A)}}{2} (T - 2t_0) = v^{(B)} T + h_A + h_B \quad (8)$$

即

① 假定 A 车的平均速度近似为 $\frac{v_{\max}^{(A)} + v_{\min}^{(A)}}{2}$,时间 t_0 包括 A 车司机在加速或减速时的反应延滞时间 t_{1A} 和改道时的反应延滞时间 t_{2A}

$$T = \frac{2h_A + 2h_B + 2\left(\frac{v_{\max}^{(A)}}{v_{\max}^{(A)} - v_{\min}^{(A)}} + v^{(B)}\right)t_0}{v_{\max}^{(A)} - v_{\min}^{(A)}} \quad (9)$$

结合 (5) 式可得

$$\Delta t^{(A)} = \frac{h_A + h_B + \left(\frac{v_{\max}^{(A)}}{v_{\max}^{(A)}} + v^{(B)}\right)t_0}{v_{\max}^{(A)}} \quad (10)$$

其中 h_A 、 h_B 分别为 A 车和 B 车在跟驰行驶时的安全距离,且 $h_A = 2v_{\max}^{(A)}$, $h_B = 2v_{\max}^{(B)}$ [5].

2 算例

有一轿车,自由行驶的速度为 120km/h,穿越长度为 15km 的高速路段,其间共超越了 6 辆卡车,他们的速度分别为 75km/h, 81km/h, 85km/h, 90km/h, 92km/h, 96km/h. 在此我们假定卡车之间的距离分得足够开,即轿车在超过一辆卡车后可以加速到最大速度 $v_{\max}^{(A)}$ 才能进入对下辆卡车的超车过程,并假定轿车在超车过程中卡车的速度不变. 用 (9) 和 (10) 式分别可以计算出轿车在整个超车过程中所持续的时间 T 和所浪费的时间 $\Delta t^{(A)}$ (见表 1). 我们根据表 1 的数据可以得到 A 车在超车过程中所浪费的时间 $\Delta t^{(A)}$ 和所持续的时间 T 与被超车 B 的速度 $v^{(B)}$ 的曲线 (图 2 和 3). 轿车按 120km/h 的速度匀速驶过长度为 15km 的路段所需的时间为 $15/120=450s$, 因此, 计入超车因素之后, 轿车实际行驶上述路段所需的时间为 501.625s, 实际观察轿车驶过上述路段所需的时间为 502s, 与薛国新等人的超车模型相比较, 与实测的数据更加接近. 从表 1 图 2 和 3 我们可以得到如下结论:

表 1 A 车各次超车过程所浪费的时间 $\Delta t^{(A)}$ 和所持续 T 的计算值

$v^{(B)}$ (km/h)	75	81	85	90	92	96	$\sum \Delta t^{(A)}$
$\Delta t^{(A)}$ (s)	8.125	8.375	8.542	8.75	8.833	9	51.625
T (s)	43.333	51.538	58.573	70	75.714	90	

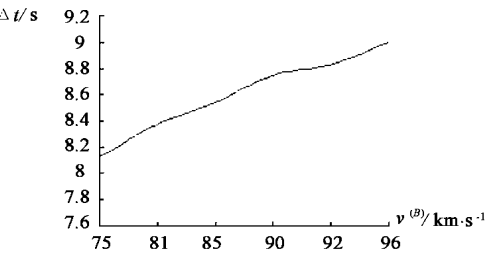


图 2 A 车在超车过程中所浪费的时间 $\Delta t^{(A)}$ 与被超车 B 的速度 $v^{(B)}$ 的曲线

(1) 超车过程中所浪费的时间作为两车的速

度差的函数是递减的,即当慢车的速度越小时,快车超过它时所浪费的时间越短,这与现实的超车现象相符.

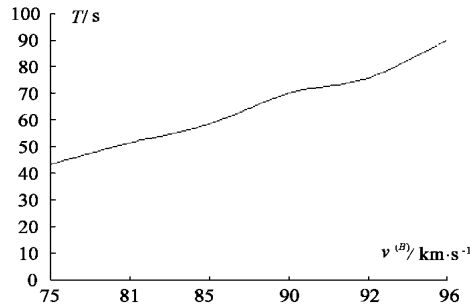


图 3 A 车在超车过程中所持续时间 T 与被超车 B 的速度 $v^{(B)}$ 的曲线

(2) 整个超车过程所持续的时间 T 随着被超车 B 的速度 $v^{(B)}$ 的增加而增长,即被超车 B 的速度越大时,超车过程持续得越久,这完全符合现实的超车现象.

3 结论

采用上述改进的超车模型来模拟高速公路上的超车现象时可以克服传统的超车模型的缺陷,模拟所得的结果与实测的数据以及超车的一些定性结果基本相符. 然而,上述改进的模型仅能刻画离散的交通流中的超车问题,对于连续交通流是否可以采用上述模型或用上述模型的思想来刻画超车问题,还有待于进一步研究.

参考文献

[1] 薛郁,董力耘,戴世强.一种改进的一维元胞自动机交通流模型及减速概率的影响[J].物理学报,2001,50(3): 445- 449.

[2] 邹智军,杨东援.交通仿真系统中的纯微观跟车模型[J].同济大学学报,2001,29(8): 899- 902

[3] 薛国新,薛国新,顾怀中.用固支梁挠度曲线模拟高速路基本超车过程[J].力学与实践,2003,25(6): 31- 32.

[4] 薛国新,顾怀中.高速公路交通流问题的分段固支梁计算机仿真模型[J].系统仿真学报,2003,15(12): 1796- 1798.

[5] Shingo Kurata, Takashi Nagatani. Spatio-temporal dynamics of jams in two-lane traffic flow with a blockage[J]. Physica A, 2003, 318 537- 550.

[6] 黄海军.交通行为建模——问题与机会[J].交通系统工程与信息,2002,2(1): 24- 29.