

考虑时延的智能网联汽车混合交通流稳定性分析

孟 创

四川省成都市西华大学 610039

摘 要: 当前,智能网联汽车已经逐渐走进城市交通当中,为人们生活提供了便利条件。而在实际交通领域中,智能网联汽车会在人工驾驶汽车的基础上进一步强化混合交通流的稳定性。但是对于智能网联汽车而言,时延会对其造成直接影响。因此,深入探究考虑时延的智能网联汽车混合交通流稳定性,是维护交通安全、强化城市建设的重要内容。基于此,本文对考虑时延的智能网联汽车混合交通流稳定性进行了分析,首先对智能网联汽车混合交通流稳定性进行了概述,随后从车流构成、跟驰模型及车辆时延、算力分析三个方面对考虑车辆时延与车辆功能退化的稳定性进行了分析,最后进行了系统性总结,以供参考。

关键词: 时延;智能网联汽车;混合交通流;稳定性

Stability Analysis of Intelligent Connected Vehicle Hybrid Traffic Flow Considering Time Delay

Meng Chuang,

Xihua University, Chengdu city, Sichuan Province, 610039

Abstract: Currently, intelligent connected vehicles have gradually entered urban transportation, providing convenient conditions for people's lives. In the actual transportation field, intelligent connected vehicles will further enhance the stability of mixed traffic flow on the basis of manually driving vehicles. However, for intelligent connected vehicles, time delay can have a direct impact on them. Therefore, in-depth exploration of the stability of intelligent connected vehicle hybrid traffic flow considering time delay is an important content for maintaining traffic safety and strengthening urban construction. Based on this, this article analyzes the stability of intelligent connected vehicle mixed traffic flow considering time delay. Firstly, an overview of the stability of intelligent connected vehicle mixed traffic flow is provided. Then, the stability considering vehicle time delay and vehicle functional degradation is analyzed from three aspects: vehicle flow composition, car following model, vehicle time delay, and computational power analysis. Finally, a systematic summary is provided for reference.

Keywords: latency; Intelligent connected vehicle; Mixed traffic flow; stability

前言:

随着科学技术发展进步,道路上交通流会逐渐从人工驾驶车辆交通流逐渐转变为人工驾驶车辆及智能网联车辆共同构成的混合交通流。由于人工驾驶车辆和智能网联车辆的驾驶行为存在较大不同,因此如何维护混合交通流稳定性成为当前重点研究内容之一。对于混合交通流而言,时延会分别对人工驾驶车辆和智能网联车辆造成直接影响,需要对考虑时延的智能网联汽车混合交通流稳定性进行系统研究,从而为维护城市交通打下良好基础,最终实现智能管控。

一、关于智能网联汽车混合交通流稳定性的概述

第一,关于车辆时延。车辆时延主要指在车辆驾驶员生理感知全过程的时间,或者车车通讯、信息传输、车载感应系统识别的时间。如果是人工驾驶车,则主要指驾驶人员反应时间,包括驾驶人员进行识别、感知、判断的过程所需时间。如果是智能网联车辆,则车辆时延指车车通讯中信息传输的延误,或者车子啊系统感应及传输信息的延误。

第二,关于车辆功能退化及混合交通流。站在车辆功能角度上,智能网联汽车可以利用车载设备对前车的速度或位置信息进行获取,同时也可以利用车车通信技术对前车状态信息进行获取,并在信息的基础上对自身的加速度进行优化。如果前后车辆都属于智能网联汽车,则获取信息的车辆主要为后方车辆。如果智能网联汽车跟驰的前车属于人工驾驶车,则会导致车车通信功能无法发挥自身作用及作用。人工驾驶车本身不具备车车通信功能,导致无法与后方智能网联车建立通讯。智能网联车辆功能退化主要指将基于车载设备获取前车状态信息并进行加速度的自动优化更新的现象。在退化后,智能网联车辆自身具备通讯功能,如果后车也为智能网联

车辆,则二者可以实现车车通信^[1]。因此,可以发现智能网联车辆是否出现退化现象主要取决于当前跟驰情况。对比协同自适应巡航驾驶车辆和自适应巡航驾驶车辆,智能网联车辆自身的功能和应用协同自适应巡航驾驶控制系统车辆等同,如果前后车无法进行车车通讯,则与自适应巡航驾驶控制系统车辆等同。

第三,关于稳定性。稳定性本身能够反映出当前交通流的抗干扰能力。如果交通流处于平衡态,则可以尝试对头车进行干扰,如果干扰在交通流中逐渐消失,则交通流的稳定性较强^[2]。如果干扰在交通流的情况下逐渐传播,且波动幅度逐渐放大,则交通流稳定性较差。其中,平衡态的交通流主要指交通流中所有车辆在同速或车头间距相同的情况下行驶,且加速度为0的交通流。对稳定性的定义中,如果按照头车驾驶行为突变程度进行划分,则可以划分为线性稳定性和非线性稳定性。即头车扰动程度较大,则稳定性为非线性稳定性,反之,若车头扰动幅度较小,则稳定性为线性稳定性^[3]。在对线性稳定性进行研究时,如果仅对下游某车辆在扰动情况下的运动情况进行研究,则可以称为局部稳定性研究。如果对所有下游车辆在扰动情况下的运动情况进行研究,则可以称为弦稳定性研究。

二、考虑车辆时延与车辆功能退化的稳定性分析

(一) 车流构成

首先,前后车都为智能网联车辆。如图1所示,情形(1)中前后车辆都属于智能网联车辆,后车可以通过车载感应系统及车车通讯两种方式对前车的速度信息、位置情况等内容进行获取。一方面,在车载感应系统的帮助下,道路设备会充当前后车的传输媒介,后车在此时能够捕捉前车的具体状态信息。另一方面,车车通讯本身能够实现信息共享及信息交流,是当前智能网联车辆获取前车状

态信息的主要方式之一^[4]。但是在此过程中，后车对前后两车车间距和速度差的时延为车车通信过程中存在的传输延迟，由于车车通讯可以实现前后车辆交流和同步行驶，因此车辆延迟可以取 0 进行处理。

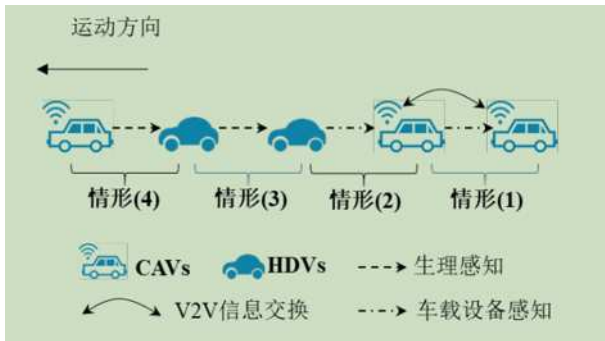


图 1 异质交通流中跟驰情形列表

其次，后车为智能网联车辆，前车为人工驾驶车辆。在图 1 中的情形 (2) 中，可以看到人工驾驶车辆在前，智能网联车辆在后。由于前车为人工驾驶车辆，而人工驾驶车辆不具备车车通讯功能，因此二者不能展开车车通讯，也无法对信息进行实时共享。此时智能网联车辆获取前车信息的主要方式为利用车载感应系统。在此情况下，智能网联车辆的功能会出现一定降级退化，对两车车间距和速度差的时延为车载感应系统获取和传输信息的时间。对比车车通讯功能，车载感应系统在获取信息和传输信息方面存在及时性不足的情况，因此对比情形 (1)，情形 (2) 的时延更大，并导致跟驰行为也出现了变化。

再次，前后车都为人工驾驶车辆。在情形 (3) 中，由于前后都属于人工驾驶车辆，此时后车中的驾驶人员需要根据自身的生理感知对前车的状态进行感知。此时时延为驾驶员自身的反应时间，需要驾驶人员通过感知、判断、识别等流程后再进行决策。对比其他情形，情形 (3) 的时延更长，跟驰行为也与其他情形存在较大不同。

最后，后车为人工驾驶车辆，前车为智能网联车辆。在情形 (4) 中，后车同样为人工驾驶车辆，站在后车角度上情形 (4) 与情形 (3) 没有差异，因此将两种情况统一描述为人工驾驶车作为后车跟驰的情况。

表 1 不同跟驰情形与车辆比例

车辆跟驰情形	比例	车辆	比例
情形 (1)	$p_1 * p_1 * p_1^2$	智能网联车辆	$p_1 * p_1 * p_1^2$
情形 (2)	$p_1 (1-p_1)$	功能降级退化的智能网联车辆	$p_1 (1-p_1)$
情形 (3)	$(1-p_1)$ $(1-p_1)$	人工驾驶车辆	$1-p_1$
情形 (4)	$(1-p_1) p_1$		

在上述四种情形当中，可以发现情形 (1) 中前后两车可以充分发挥智能网联车辆的作用，并在车车通讯的帮助下获取车辆信息。在情形 (2) 中，由于人工驾驶车辆无法建立车车通讯，导致智能网联车辆只能依靠车载感应系统获取信息，功能方面出现了降级退化^[5]。而在情形 (3) 及情形 (4) 当中，后车都属于人工驾驶车辆，功能没有区别。因此咱在车辆时延及跟驰行为的角度上划分，可以划分为三种车辆，即功能完全的智能网联车辆、功能降级退化的智能网联车辆、人工驾驶车辆。

驾驶当前混合交通流中智能网联车辆占比为 p_1 ，则不同跟驰情形与车辆比例可见表 1。

(二) 跟驰模型及车辆时延

车辆跟驰模型函数形式为：

$$dv_n(t)/dt = f_n[v_n(t - \tau_n^v), s_n(t - \tau_n^v), \Delta v_n(t - \tau_n^{\Delta v})]$$

其中 t 为时刻，单位是秒； n 表示车辆编号，随着车辆下游方向逐渐增加； $dv_n(t)/dt$ 为车辆 n 在当前时刻 t 的加速度。 x_n 则表示车辆 n 的位置。车辆之间的位置差用 $s_n = x_{n-1} - x_n - l$ ，其中 l 为车身长度，单位是米。速度差用 $\Delta v_n = v_n - v_{n-1}$ 进行计算，因此 $ds_n(t)/dt$ 计算式为 $ds_n(t)/dt = -\Delta v_n$ ， τ_n^v ， $\tau_n^{\Delta v}$ ， τ_n^s 分别指车辆 n 自身速度时延、前后车速度差时延、车头间距变化时延，单位为秒。

对线性稳定性进行分析，需要由车辆跟驰模型的一般表达式进行推导。如果混合交通流处于较为稳定的状态下，则车辆车队行驶时每一辆车的形式状态都保持一致。如果车队在当前稳定状态下出现扰动，则车队中某辆车的形式状态会出现变化，并带动两车车间距和速度差出现变化。

对不同车辆时延进行探究时，需要分别考虑智能网联车辆、功能降级退化的智能网联车辆、人工驾驶车辆三种情况。首先，关于智能网联车辆。由于智能网联车辆同时具备 V2V 功能及感知功能，能够和前车实现同步操作，因此两车的车间距时延和速度差时延为两车之间的通讯延迟，可以看作是 0。其次，关于人工驾驶车辆。如果后车本身为人工驾驶车辆，则驾驶员会对自身驾驶速度进行了解，因此 τ_n^v 取 $0^{[6]}$ 。但是对前后车辆而言，速度差变化及车间距变化需要时间识别反应，随后才能针对性采取措施。最后，关于功能降级退化的智能网联车辆。功能降级退化的智能网联车辆前后车辆之间的车间距及速度差时延同样需要充足的时间，才能在车载感应系统的帮助下对信息进行捕捉和传输。而对比人工驾驶车辆，功能降级退化的智能网联车辆的反应时间应当偏小，因此取 $\tau_n^{\Delta v} = \tau_n^s = \tau_a = 0.2s$ 。并且由于在退化后，自身速度的获取方式没有发生变化，因此延同样取 0。

三、结论

由于不同车辆的时延值不同，因此会对混合交通流的稳定性造成不同影响。对考虑时延的智能网联汽车混合交通流稳定性进行分析时，可以发现如果 AV 和 HDV 的时延取定值，则混合交通流不稳定范围会随渗透率增加而缩小，最终使混合交通流区域稳定。因此 CAV 车辆可以有效提升交通流的稳定性。深入分析时，发现如果 CAV 车辆车队系统中，车辆较多，此时要想保证车队系统受到的扰动缩小，就必须维持车队整体的速度，进而对干扰传递进行有效控制。此外，在混合交通流稳定性受到的影响当中，HDV 车辆造成的影响超过 AV 车辆，AV 车辆能够对自身系统平衡态干扰进行有效控制。

参考文献：

[1] 蒋阳升, 郝慧君, 姚志洪. 智能网联汽车混合交通流稳定性与路段基本图分析[J]. 工业工程, 2022, 25 (06): 92-100.
[2] 赵辉. 基于跟驰模型的智能网联汽车混合交通流分析[J]. 现代信息科技, 2022, 6 (10): 134-137.
[3] 蒋阳升, 顾秋凡, 姚志洪. 智能网联混合交通流稳定性解析方法综述[J]. 西南交通大学学报, 2022, 57 (05): 927-940.