

文章编号:1005-0523(2014)03-0006-06

考虑车辆特性的交通跟驰模型仿真与改进

赵承成¹, 张 乾²

(1.河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098; 2.江苏中瑞路桥建设有限公司,江苏 泰州 225300)

摘要:在研究车辆跟驰模型的基础上,加入了车辆特性这一元素,先利用 Simulink 建立跟驰模型,再结合 Carsim 软件进行联合仿真,得到理论车辆跟驰时车辆的某些特性数据以及驾驶员的舒适度,进而与实际跟驰的情况进行对比,在此基础上构建了一个新的交通跟驰模型。

关键词:车辆跟驰模型; Simulink; Carsim; 车辆特性

中图分类号:U49

文献标志码:A

交通流跟驰理论^[1]是研究在一条车道上车辆排队行驶时,后车跟随前车的一种跟驰状态,并用数学分析来加以阐明的一种理论。交通流跟驰理论是仅研究在有约束行驶状态下车队的行驶特性,此状态下的车流具有制约性、延迟性和传递性等特点。这些特点限制了交通信息沿车流向后传递时并不是平滑连续而是像脉冲一样间断连续的。

以往的跟驰模型如 Pipes 与 Forbes^[2]的跟驰模型,GM^[3]模型,Gipps 研究的交通流模拟跟驰模型以及后来的 Todosiev 所研究的驾驶员心理反应跟驰模型^[4],他们都是只研究了交通流的一些要素,如车速、车头时距、驾驶员反应时间、最小安全距离等,并没有考虑车辆跟驰的时候车辆自身的一些属性,如轮胎的力和力矩、弹簧及阻尼力、车辆稳定性、转向系统的角度、传动系的力矩、制动力矩及制动压力、驾驶员的舒适度与燃油经济性等等。

车辆跟驰时车辆本身的特性研究也是很重要的,它就像人的器官一样反应了整个跟驰状态的舒适度或者是健康度。Carsim 软件则是一款专门针对车辆动力学的仿真软件。它将车辆模型简化成刚体与自由度的关系,还有自己的数学求解方程,精确易懂。更重要的是它可以和其它软件相结合,如 Matlab 中的 Simulink 软件,这样便可以联合仿真,即利用 Simulink 建立简单的跟驰模型,再利用 Carsim 软件输出车辆特性数据。

1 车辆跟驰模型的研究现状

1.1 Pipes 与 Forbes 的跟驰模型

Pipes 是最早提出刺激—反应模型的人,即根据安全距离对于驾驶员的刺激来建立的跟驰模型的,在跟驰过程中安全距离一般以一个车身长度为最小值,并随车速每增加 $16.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,就增加一个车长。表示如下

$$d_{\min} = L_n [x_{n+1}(t)/4.47] + L_n \quad (1)$$

式中: $d_{\min}$ 为两车的最小车头间距, m; L_n 为车身长度; $x_{n+1}(t)$ 为后车速度。

收稿日期: 2014-02-26

作者简介: 赵承成(1987—),男,主要研究方向交通运输规划与管理。

导师简介: 吴中(1964—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为交通规划,流体力学。

Forbes 的模型则是更侧重于时间因素,它从车头时距进行分析,认为前车与后车通过同一点的时间间隔,应该大于或等于跟驰车驾驶员从判断前车行驶状态到有自己的大脑意识,再到感知需要减速的反应时间以及实施减速的操作时间之和。

1.2 GM 模型

GM 模型是刺激-反应方程的一种形式,即:反应($t + \Delta t$) = 灵敏度 $\times$ 刺激(t)。

在交通流跟驰中,后车驾驶员通过视觉感知判断自己与前车的距离以及前车尾部面积在自己的视野中的大小变化来判断与前车靠近或是远去,大脑经过接受这一刺激然后迅速作出判断,通过中枢神经实施手动操纵从而达到安全而又紧密跟随前车行驶的车流状态。GM 模型基于如下假设:在时间 $t + \Delta t$ 内后车的反应依赖于后车驾驶员对刺激的敏感度和前车所给的刺激强度,刺激强度在数学表达中以前车与后车之间的相对速度、相对距离的形式给出,后车的反应通过后车加速度测得,敏感特性曲线描绘出单位刺激的反应, Δt 为反应时间。GM 模型的一般形式如下式

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{q_m [x_{n+1}(t + \Delta t)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (2)$$

式中: l 为对距离 $x_n(t) - x_{n+1}(t)$ 的敏感性参数; m 为对速度 $\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)$ 的敏感性参数; q_m 为常量; $x_{n+1}(t + \Delta t)$ 为后车加速度; $\dot{x}_n(t)$ 为前车速度; $\dot{x}_{n+1}(t)$ 为后车速度。

在上世纪 80 年代后,跟驰模型的研究发展迅速,逐步稳定。根据各模型建模假设的特点,可以将大部分模型划分为基于安全车头间距、基于驾驶员心理反应和基于前后车速等 3 类。现有的跟驰模型并没有考虑现实中车辆自身特性因素,偏于理论化;如果在跟驰模型中加入车辆特性再进行仿真会更接近于实际车辆跟驰状态。

2 利用 Simulink 建立的车辆跟驰模型

Simulink 是 Matlab 软件中的最重要的组件之一^[5],它基于 Matlab 的框图设计环境,支持线性和非线性系统。它提供一个建立模型方块图的可视性图形用户接口,以及可以动态系统建模、仿真和综合分析的集成环境。在 Simulink 中,无需大量书写程序,只需要通过鼠标操作图形连接,便可以构造出复杂的系统。Simulink 具有应用面广、结构和流程一目了然及仿真精细、运行速度快、贴近实际、等优点,基于上述优点,利用 Simulink 建立车辆跟驰模型非常适用,既简便合理,得到的数据又清晰直观。同时有大量的各种领域的第三方软件可与 Simulink 结合使用,本文需要用的 Carsim 便是其中之一。

在 Simlink 模块搭建中,本文需要一个计时模块 clock(用来控制仿真的采样时间)、加减算法的 subtract 模块(用来计算前后车的速度差)、常数模块 constant(用来设置跟驰车辆的初始速度与初始安全距离)、加法模块 add(对跟驰车的速度进行计算)、饱和输出模块 saturation(即速度限制器,用来控制跟驰车的速度)、积分模块 integrator(用来求两车期望车头间距与跟驰车加速度)、程序编写的 s-function 模块以及输出 scope 模块。

Simulink 直接利用图标搭建模型,简单方便,如图 1 是一个车辆跟驰模型^[6]。

利用 LV(前导车速度)的速度函数作为输入,FV(跟驰车速度)根据前车加速度变化以及车辆安全距离作为运算条件,不断循环地对 FV 加速度进行微积分,从而计算出 FV 速度,最后输出 FV 与 LV 的速度变化图。

关于前后车速关系的数学公式为

$$\ddot{x}_{n+1}(t + T) = a \left[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t) \right] \quad (3)$$

其中: $\ddot{x}_{n+1}(t + T)$ 为后车加速度。

在 S-Function 中,设置仿真时间为 50 s,前导车 a_1 以 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的初始速度行进,其前进速度函数符合公

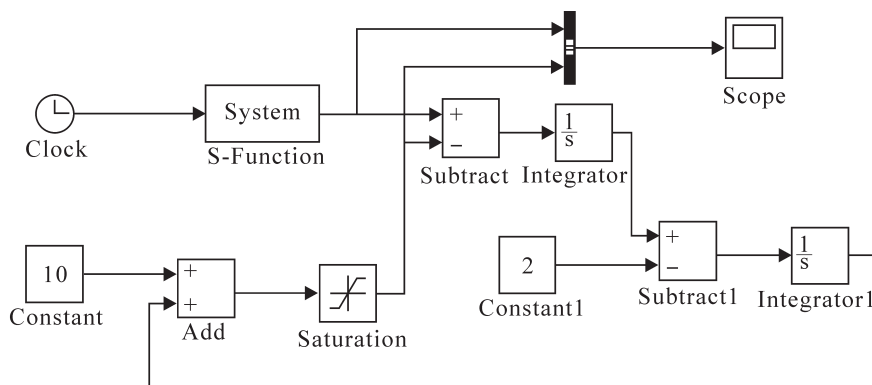


图1 Simulink 建立的车辆跟驰模型

Fig.1 The car following model established by Simulink

式(4)。

$$v = \begin{cases} \frac{2}{5}t + 10 & 0 \leq t < 25 \\ 30 - \frac{2}{5}t & 25 \leq t \leq 50 \end{cases} \quad (4)$$

即前导车在 50 s 的仿真时间内先在前 25 s 匀加速到 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 在后 25 s 匀减速到 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。跟驰车辆 a 以 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的初速度开始跟驰。另外设驾驶员最小安全距离为两米, 则可进行 Simulink 仿真。得到的两车速度曲线如图 2。

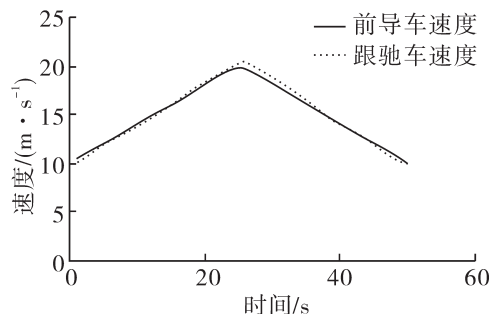


图2 两车速度曲线图

Fig.2 The speed curve of two cars

上述曲线只是单纯的利用简单的跟驰模型进行仿真的结果, 跟驰车速度完全依赖于前导车速度和两车间的安全距离, 太理论化, 并没有结合实际的车辆特性以及驾驶员的心理进行考虑。在实际的跟驰行为中, 驾驶员往往追求经济性和舒适性, 并不会完全按照现有的理论跟驰模型行驶。而如果能结合 Carsim 软件对这个跟驰模型进行拓展, 融入一些车辆特性数据, 这些数据可以从某种程度反映驾员心理状态及车辆的相关系数, 由于这些车辆特性数据的加入, 则这个仿真更接近实际跟驰状态。

3 Simulink 与 Carsim 的结合

Carsim 是专门针对车辆动力学的仿真软件, Carsim 模型在计算机上运行的速度比实时快 3~6 倍, 可以仿真车辆对驾驶员, 路面及空气动力学输入的响应, 主要用来预测和仿真汽车整车的操纵稳定性、制动性、平顺性、动力性和经济性。Carsim 可以方便灵活的定义试验环境和试验过程, 详细的定义整车各系统的特性参数和特性文件。

变量可以由 CarSim 导入 Simulink (导出变量), 导出变量可以应用于用户自定义的 Simulink 模型, CarSim 的导出变量多达 560 之多, 如车辆的位置、姿态、运动变量等。本文选用了汽车油门与引擎的使用参数以及车辆的轮缸制动压力。前者很好地体现了车辆跟驰时车辆的油耗以及发动机的使用功率; 后者体现了跟驰时驾驶员刹车情况和舒适度。

打开 Simulink 中建立好的跟驰模型, 将它保存在 Carsim 中的 Simulink 文件夹中; 再打开 Carsim 软件, 在 Carsim 中选择两辆车的模拟行驶, 输入 LV 初始速度以及速度函数, 基本参数选择标准大众 B 级车以及带 ABS 系统, 普通城市路面。然后用 Simulink 打开刚才保存在 Carsim 中建立的跟驰模型, 选择 Carsim 中出现的“Seng to Simulink”按钮, 这样 Carsim 和 Simulink 就顺利的联接了, 之后就可以选择 Carsim 的输出参数。

本文选择的参数是上述的汽车油门与引擎的使用参数以及车辆的轮缸制动压力。在模型的 output 中选择上述2项: Normalized throttle; P wheel L1、P wheel L2、P wheel R1、P wheel R2。仿真时间也设置为50 s。

在联接好 Simulink 后, Simulink 中会出现 Carsim S-Function 板块, 再将此板块添加到之前的跟驰模型中, 如图3所示。

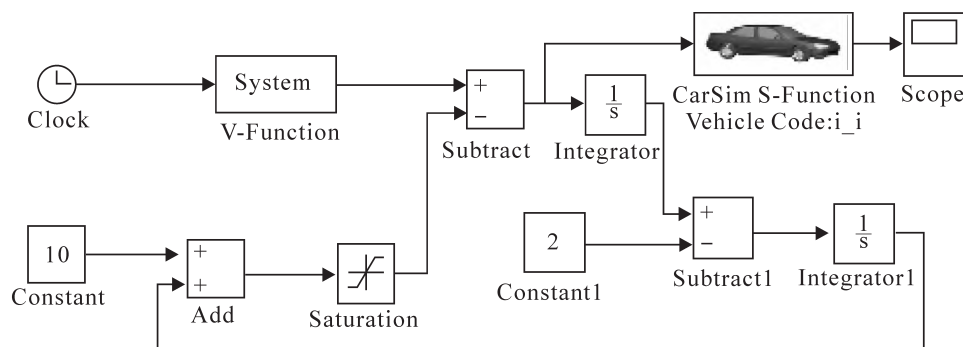


图3 结合 Carsim 的 Simulink 车辆跟驰模型

Fig.3 The car following model established by Simulink and Carsim

其中, Carsim S-Function 中的输出通过 Simulink 中的 Demux 来完成, 在 Carsim 中选择好输出对象后, 利用 Simulink 在 Carsim S-Function 中建立模型如图4所示。

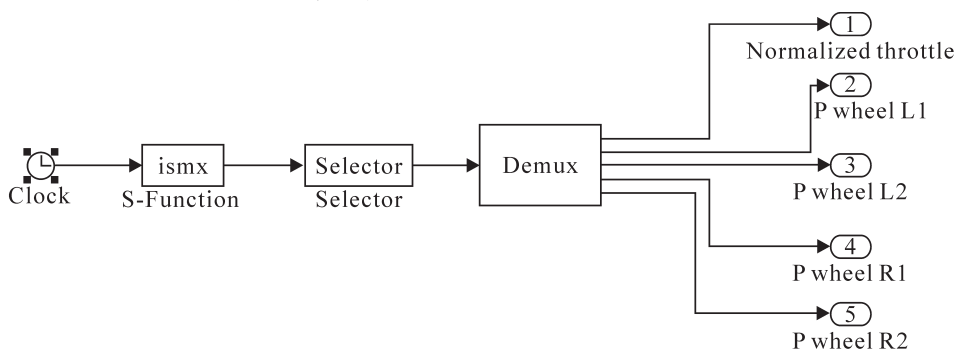


图4 Carsim S-Function 模型

Fig.4 The model of Carsim S-Function

建立好模型后要将其保存在 Carsim 中的 models 文件夹中的 Simulink 文件夹中。然后点击 Carsim 中的 Animate 运行该模型, 在仿真结束后点击 Plot 则会出现设置的两个参数的曲线图。

4 仿真得到的车辆特性曲线

通过 Carsim 与 Simulink 的结合仿真我们得到了一个简单跟驰模型的两个车辆特性^[7]的数据曲线, 第一种是前后车油门以及引擎的使用数据曲线图^[8], 该曲线图是 Carsim 特有的表示燃油经济性的曲线图, 它表示了油门与引擎的配合情况, 即汽油的内能转化为发动机动能的效率。由于跟驰车不断地加减速, 导致燃油效率起伏较大, 甚至有的时候效率为0, 浪费程度较大且对发动机造成一定的磨损。而这在实际的行驶中是极为少见的, 因为驾驶员一定为了提高燃油经济性、节省油耗、增加引擎使用效率而做出相应的驾驶判断, 尽量地减少浪费。这说明现有的没有考虑车辆特性的跟驰模型与实际的行驶情况是有一定差距的。

第二种则是跟驰中前后车四个车轮的轮缸制动力矩。这张曲线图则是跟驰中前后车四个车轮的轮缸制动力矩^[8], 在仿真的最后阶段, 由于车辆跟驰状态越来越稳定, 两车间的安全距离越来越小, 刹车越来越频繁, 车轮在滚动与滑动之间不断变换, 导致车轮的轮缸制动力矩变得很大。在这种情况下, 车内驾驶员会变得极不舒适, 心情会烦躁, 安全存在隐患。而实际驾驶中驾驶员会为了自身的舒适度, 尽量减少刹车

启动次数,保持合理的安全距离。

5 引入车辆特性的交通跟驰模型

通过上述Simulink与Carsim的联合仿真后可以结合驾驶员操作行为对原有跟驰公式增加一个修正参数 β ;由于加速度的变化与驾驶员操作行为成正比,所以与操作行为修正参数 β 成反比,跟驰公式变为

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \frac{a}{\beta} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (5)$$

所以在考虑车辆特性后可以用Simulink构建一个改进后的跟驰模型,如图5所示。

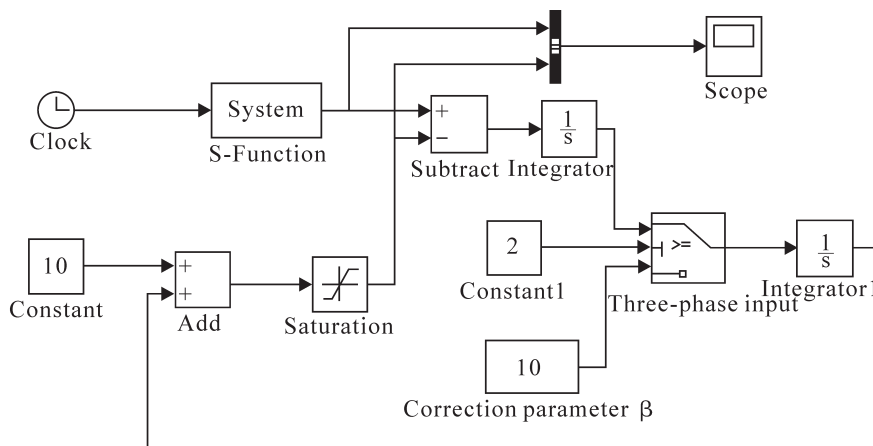


图5 引入车辆特性的交通跟驰模型

Fig.5 The new model with vehicle features

在上述改进后的模型中,增加了一个 $f()$ 函数模块和三相输入的信号控制器。 $f()$ 函数便是修正参数 β 的函数,由于驾驶员性格和操作的不同,在S-Function中设它的值为(1,1.5);三相输入的信号控制器表示当安全距离 $s \geq 2$ 时,信号允许第二种通过,即安全系数 s 起主导作用,当 $s \leq 2$ 时,信号允许第三种通过,即修正系数起主导作用。信号控制能有效地调节车辆特性即修正参数 β 在交通流跟驰模型中的作用。

6 结论与展望

通过结合车辆特性的仿真可以知道交通跟驰模型中车辆特性对驾驶员操作行为以及舒适度的影响,从而对车辆跟驰的数学公式以及仿真模型进行了一定的改进。由于车辆特性的数据有很多,所以对于跟驰模型中的车辆特性的更进一步研究必不可少,这对于完善现有的车辆跟驰的数学公式或者加入新的车辆特性这一元素使得跟驰模型更贴近实际情况有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 程琳. 城市交通网络流理论[M]. 南京:东南大学出版社, 2010:30-34.
- [2] MAY A D. Traffic flow fundamentals[M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K, 1990:15-16.
- [3] PEIRONG J, WENCHENG Z, XIANJU L. Unbiased GM (1, 1) model for grey prediction control[C]//China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies, 2007:1005-1012.
- [4] 何民,刘小明. 交通流跟驰模型研究进展[J]. 人类工效学. 2000, 6(2):46-50.
- [5] 颜秋,刘永明. 基于matlab/simulink的车辆建模与故障分析[J]. 华东交通大学, 2012,29(5):13-17.

- [6] 王晓原,隗志才,贾洪飞,等. 基于安全间距的车辆跟驰模型研究综述[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004, 24(6): 51-54.
- [7] 钟益萍,张存保,石永辉. 考虑驾驶员行为特性的模糊推理跟驰模型改进研究[J]. 交通信息与安全, 2010(3): 17-20.
- [8] 洪欣. 汽车设计研究者. 汽车系统动力学[M]. 上海:同济大学出版社, 1996:22-27.

Simulation and Improvement of the Car Following Model Concerning Vehicle Features

Zhao Chengcheng¹, Zhang Qian²

(1.College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jiangsu Zhongrui Road & Bridge Corporation, Taizhou 225300, China)

Abstract: This paper, based on the study of the car following model, combining the element of vehicle features, establishes a car following model with Simulink and uses Carsim to conduct the united simulation for obtaining data about the vehicle features and comfort level of drivers in the theoretical car following model. Through the comparison with the actual car following, the proposed car following model is improved accordingly.

Key words: car following model; Simulink; Carsim; the vehicle features



(上接第5页)

High-precision Positioning Deviation Correction of Rail Wear Measurement Based on Pattern Search Method

Xiang Wenming, Shen Gang

(Institute of Railway and Urban Rail Transit, Tongji University, Shanghai 201804,China)

Abstract: The rail needs to be modified regularly for the purpose of keeping good wheel-rail contact relationship, and the rail wear amount is an important index obtained before and after modifying the rail, which may be influenced by different positioning of the measuring instrument with some deviation. A method is presented in this paper to correct the positioning deviation. The verification tests show that this proposed method is feasible in high-precision positioning deviation correction of rail wear measurement.

Key words: rail wear measurement; pattern search method; positioning deviation; algorithm