

面向对象技术在车辆动力学仿真中的应用

唐国元, 宾鸿赞

(华中科技大学 机械学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析了车辆动力学仿真的主要问题, 建立了基于面向对象方法的车辆动力学仿真系统的体系结构, 分析了系统的类并建立了类图, 给出了在车辆动力学仿真中建立 use case 和交互图的方法。根据所建立的软件模型, 开发了相应的仿真软件。应用本文所开发的软件分别对车辆的直线制动和转弯制动安全性和稳定性这两种工况进行了仿真计算, 计算结果符合车辆运行的实际情况。面向对象方法所具有的封装、继承等特点使系统具有结构清晰、扩展和维护方便等特点, 为车辆控制系统的开发奠定了基础。

关键词: 车辆动力学; 面向对象方法; 仿真

中图分类号: U461.1 文献标识码: A

Application of object-oriented technology in vehicle dynamics simulation

TANG Guo2yuan, BIN Hong2zan

(College of Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: By analysing the crucial issues of vehicle dynamic simulation, a vehicle dynamic simulation system has been built using the object-oriented technology. The class of the system is analyzed with a class scheme worked out, and the way to establish a use case and an interaction diagram for used vehicle dynamic simulation are given. The corresponding simulation software is developed from the software model established. The straightline braking and turning braking safety and stability of a vehicle is an important part of vehicle dynamics, and simulation computation is made using the software developed for these two operating conditions, and the computation results are in good agreement with the actual operating conditions of the vehicle. Such special features as seal and package, and inheritance of the object-oriented technology have made the system structure well-defined, and the expansion and maintenance of system easy, thereby providing a basis for the development of vehicle steering system.

Key words: vehicle dynamics; object-oriented method; simulation

1 引言

在车辆操纵动力学的研究中, 人-车辆-计算机控制构成了一个具有复杂耦合作用的系统, 正确描述每个子系统的作用以及它们之间的相互关系至关重要。传统的结构化方法所存在的问题在

于: 数据结构复杂, 仿真模型难以理解, 需要高额的模式维护和扩充费用, 造成这种缺陷的原因在于在结构化方法中把系统模型的结构和行为隐含在程序的结构中, 从而使事物本身的特性和行为变得不清晰, 不利于程序的理解, 也不便于维护和扩充。文献[1]详细论述了面向对象的系统分

析法。20 世纪 90 年代以来, 面向对象技术日渐成熟, 在软件工程中得到越来越多的应用^[23]。本文运用面向对象的方法, 将车辆看作由若干对象组成的系统, 按整体部分结构^[1]建立了车辆模型, 并将硬件部分作为对象处理来构建整个车辆动力学仿真系统。面向对象方法所具有的封装、继承、消息连接等特点使系统结构清晰、直观、易理解, 维护扩展方便。

2 车辆动力学仿真中的问题

车辆模型如图 1 所示。其中, 绝对坐标系 OXYZ 固定在地面上, 相对坐标系固定在车辆非悬挂质量上, 其坐标原点为整车质心与车身侧倾轴的交点 O, 过 O 点的水平面与车辆纵向对称面的交线为 x 轴, 前进方向为正, y 轴位于同一水平面且与 x 轴垂直, 左向为正, z 轴由右手定则确定。

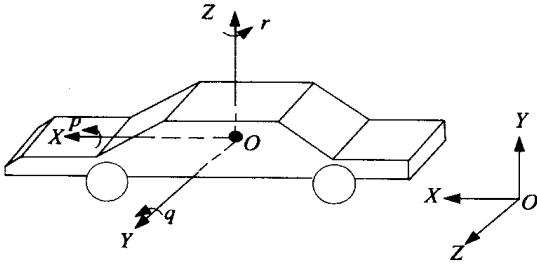


图 1 车辆模型
Fig. 1 Vehicle model

假设簧下质量的运动为 x、y 方向的平动, 其旋转运动只有绕 z 轴的横摆运动。簧上质量的运动为 x、y、z 方向的平动和分别绕这三轴的侧倾、俯仰、横摆运动。车辆是在一个复杂的环境中行驶的, 由

于受到道路和交通状况的影响, 车辆有时直线行驶, 有时曲线行驶。出现意外情况时驾驶员还要作出紧急转向、制动等操作以避免事故。此外, 车辆的行驶过程中还受地面不平、坡道和风力等外界因素的影响和干扰。驾驶员要不断观察和感知车辆的运动状态及环境, 并按自己的意愿进行适当的操纵, 由此, 车辆运动得以控制并可按要求运动。驾驶员、车辆、环境所组成的系统关系可由图 2 来表示。对于人的操纵动作, 不可能用统一的方式进行理论描述, 但可以对人的机械控制按一定的规则进行抽象。因此, 关注这些规则性的东西, 考虑用等效模型来模拟人的规则性, 以代替对人的研究, 这是问题的基本处理方法。

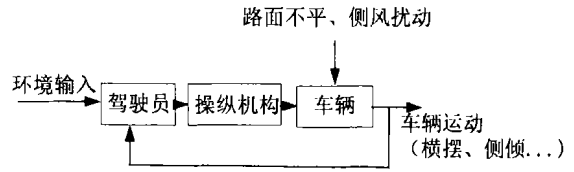


图 2 车辆系统关系图
Fig. 2 Scheme of vehicle system

3 面向对象的车辆动力学仿真建模方法

3.1 系统的体系结构

建立系统体系结构的目的在于弄清系统功能组成情况^[4], 系统的体系结构如图 3 所示。整个系统可以分为 3 个大的功能模块, 其中车辆系统模块是核心模块, 完成仿真系统的主要计算功能, 得出车辆运动过程中的受力状况分析结果以及车辆的各种运动参数, 包括速度、加速度、航向角、位置和位移等。根据车辆系统的组成及各组成成

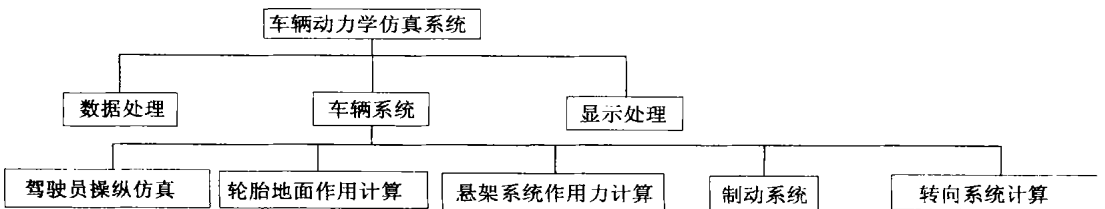


图 3 仿真系统的体系结构
Fig. 3 Structure of simulation system

分的功能, 车辆系统模块又分为 5 个子模块, 分别完成驾驶员动作的仿真, 以及轮胎与地面的相互作用力、悬架作用力、制动系统作用、转向系统作用的计算, 其计算模型在文献 [5] 中有详细描述。这些子模块可以进一步细化。以制动系统为例, 它可以由制动执行机构、轮速传感器、ABS 控制器以及气压调节器的功能组成, 在此不再赘述。

3.2 建立类图

在运动过程中车辆的各个部件之间相互作用相互影响, 是一个具有复杂耦合作用的系统, 其关系难以在编程过程中清晰表达。面向对象方法所具有的封装特点使车辆的各部分作为相对独立的类对象在系统中得到实现, 建立系统的对象类图可以清晰地表示系统的类以及它们之间的联系。所建立的系统类图如图 4 所示, 限于篇幅, 未表示出每个类的属性和服务。建立类图的详细方法在文献 [1] 中有详细说明。整个系统共有 16 个类, 带有 @ 的类对象为主动对象, 驾驶员和 ABS 控制器由于其行为的主动性而设置

为主动对象, 它们是系统行为的发起者。车辆类对象按照整体-部分关系由车轮、转向系统、制动系统以及悬架系统构成, 车轮类中定义了前后左右 4 个车轮的一些公共的属性和服务, 如车轮半径、轮胎气压、车轮速度等。由于车辆的 4 个车轮的受力情况以及它们的其他服务不一样 (譬如前面的两个车轮具有转向功能), 因而从车轮类对象中派生出前后左右 4 个车轮类对象, 它们与车轮类对象之间为派生 (继承) 关系。制动系统同样由 ABS (防抱制动系统) 控制器, 气压调节器和执行机构按整体-部分结构构成。系统的消息连接关系如图 4 所示, 驾驶员是行为的主动发起者, 其消息发送到转向系统和制动系统, 后者将消息发送到车轮, 传感器测出车轮的速度, 并向 ABS 控制器以及车辆对象发送消息, ABS 控制器经过分析比较发送消息到气压调节器调节制动执行机构的压力, 并将这一压力作用于车轮上, 同时驾驶员判断车辆状态并作出相应的调整, 如此反复。

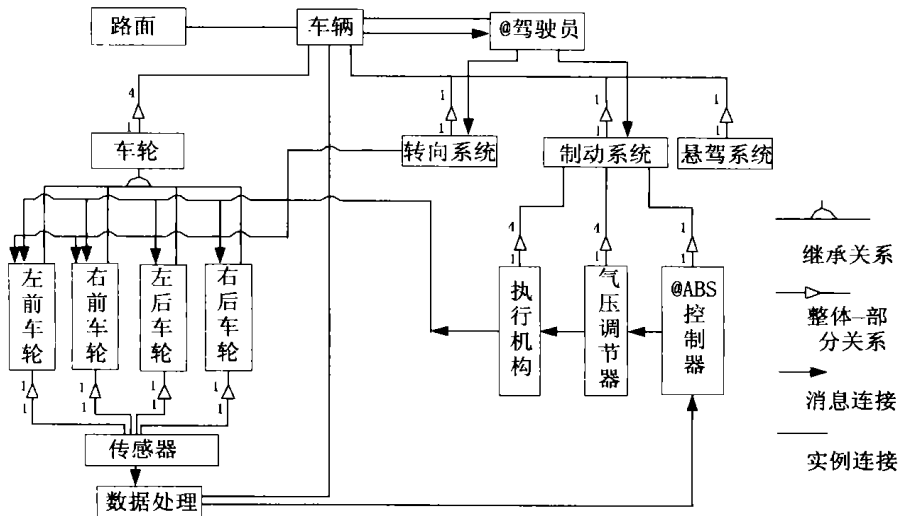


图 4 系统类图

Fig. 4 Class scheme

3.3 Use case 与交互图

Use case 的概念是 Jacobson 在 1992 年首先提出的^[6], 其中对 use case 的定义是: 对一个系统或应用的一种单一使用方式所进行的描述。其实质是对一个活动者使用系统的一项功能时所进行的交互过程的一个文字描述序列^[1]。

Use case 在 OOA (Object Oriented Analysis) 软件开发中对于确切描述系统需求中的功能需求, 帮助发现和核实系统中应设立哪些对象, 并核实每种功能是否有相应的对象予以满足, 可以起到很好的作用。其基本思路是, 找出系统边界以外的活动者, 然后从这些活动者如何与系统进行对

话的角度, 用 use case 来描述活动者怎样使用系统以及系统向活动者提供什么功能^[1]。所谓系统指被开发的计算机软硬件系统, 而不是泛指问题域的全部事物所构成的现实系统; 所谓系统边界是指一个系统所包含的所有系统成分与系统以外各种事物的分界线; 而活动者则指在系统之外透过系统边界与系统进行交互的任何事物。

在车辆动力学仿真系统中, 驾驶员对象本身是现实世界中的活动者, 但在系统中又有相应的对象类作为其抽象描述, 鉴于此点, 不妨将仿真系统的使用者当作为现实世界的车辆驾驶员看待, 其意志行为将同时在仿真系统中通过驾驶员

类对象得到体现。

交互图是一种详细表示对象之间以及对象与系统外部的活动者之间动态联系的图形文档, 它作为一种补充模型可以帮助检查系统功能是否得到满足。针对每个 use case 可以画一个交互图, 其中包括与当前的 use case 有关的对象, 即为了完成这个 use case 所描述的用户需求而直接或间接地参与运行的那些对象。这样交互图的总和将构成对整个系统的对象行为关系及其与外部活动者交互关系的全面描述。建立交互图的方法在文献 [1] 中有详细描述。下面以车辆的制动为例写出 use case 以及对应的交互图。

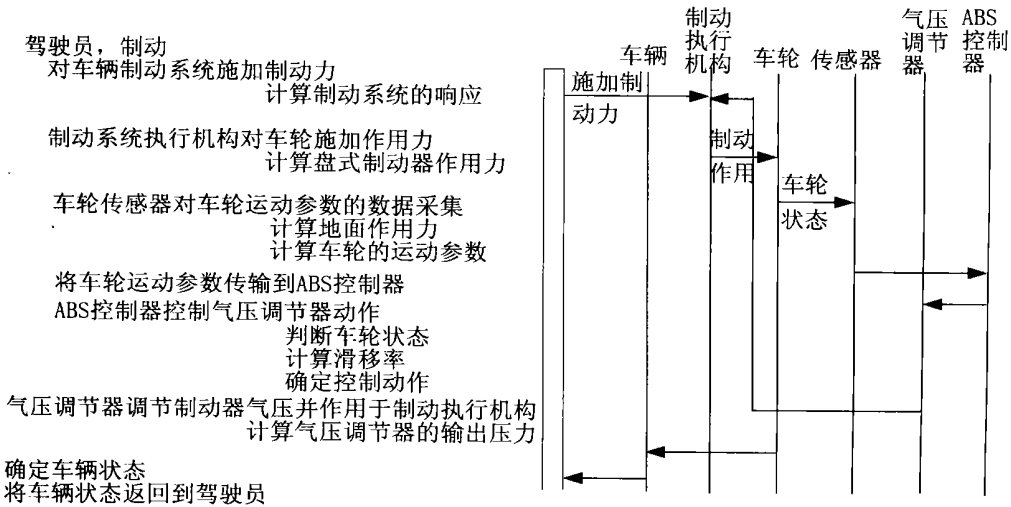


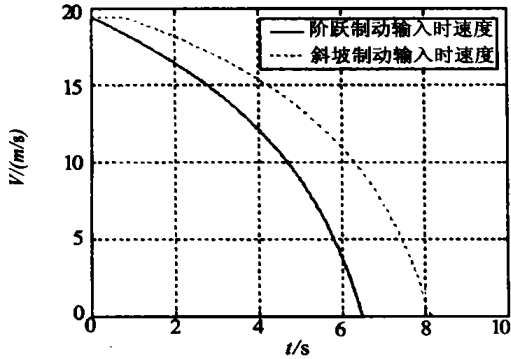
图 5 Use case 与交互图
Fig. 5 Use case and interactive scheme

4 仿真实例

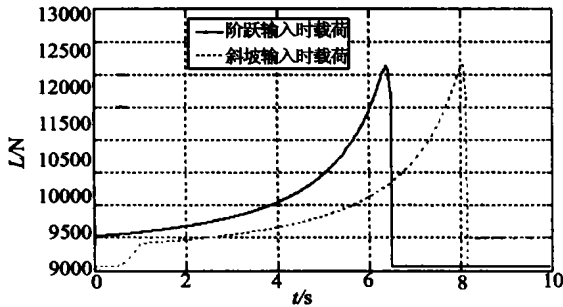
应用本文所述原理与方法编制了车辆动力学的仿真软件, 开发工具为 VC++ 6.0。以 CA15 型货车为模型对不同的制动输入工况进行了仿真计算, 车辆参数见文献 [7]。车辆模型体系结构如图 3 所示。车辆初速度为 19.44 m/s (70 km/h), 首先设定的工况为直线制动工况: 情况 1, 车轮制动输入为阶跃输入, 直到车辆速度为零, 前轮制动力矩输入为 8 400 N#m, 后轮制动力矩为 7 000 N#m, 在此工况下计算出的车辆的速度曲线和前轮垂直载荷曲线如图 6 (a)、(b) 中实

线所示。情况 2, 车辆的制动输入为斜坡输入, 但当制动力矩达到一定值后则保持该值直到车辆停止, 前轮制动力矩的增加速率为 7 200 N#m/s, 后轮的制动力矩的增加速率为 8 200 N#m/s。在此情况下速度曲线和前轮垂直载荷曲线如图 6 (a)、(b) 中虚线所示。由图 6 可见, 车辆在制动时, 前轮的垂直载荷呈上升趋势, 相应的后轮垂直载荷呈下降趋势。这是由于制动时车辆的惯性力作用使车辆前后轴发生了载荷转移使前轴载荷增大, 而且前轴载荷的增大使地面制动力增大, 从而使车辆减速度增大, 并进一步促进地面制动力增大, 这样造成了前轴载荷总体的上升趋势。在车辆停止瞬间的载荷情况比较复杂, 在本

文中不作考虑, 因而在图中的载荷曲线上该点载荷为垂直下降。对于斜坡制动输入, 在制动的开始阶段, 车轮制动力矩增长较快, 但其绝对值较小, 因而速度下降的速率比较慢, 在这种情况下车辆的制动时间比第 1 种情况更长, 这与实际情况是相符的。与前面的情况一样, 前轮载荷呈上升趋势, 在开始阶段增长趋势平缓, 在 1 s 中时制动力矩达到最大值, 由于制动力矩曲线在此处的过度不圆滑, 因而前轮载荷曲线在此处也不圆滑。后轮的垂直载荷可以根据前轮载荷的情况推定, 在此不再赘述。



(a) 速度曲线
(a) Velocity diagram



(b) 前轮载荷曲线
(b) Vertical load diagram of front wheel

图 6 车辆的直线制动

Fig. 6 Vehicle straight line braking

车辆转弯制动的安全性是车辆动力学研究的重要内容。应用所开发的软件对车辆转弯制动工况进行了仿真。给定车辆的初速度为 19.44 m/s, 车辆的转弯半径为 100 m。程序首先使车辆处于稳态转向工况并用迭代方法^[8]计算车辆的初始状态参数。计算出的车辆初始状态参数

如表 1 所示。根据仿真计算结果作出的车辆运动轨迹见图 7。

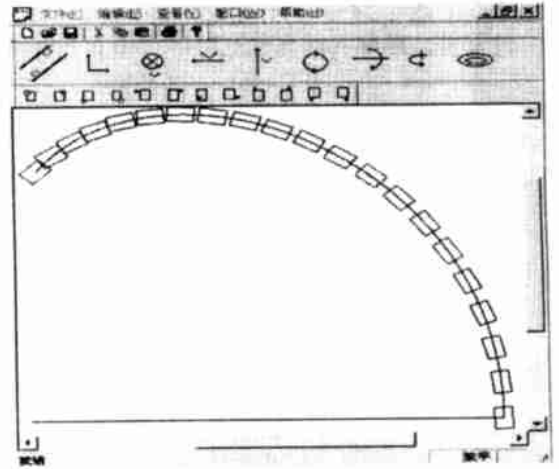


图 7 转弯制动时车辆轨迹

Fig. 7 Vehicle trajectory

表 1 转弯制动车辆的初始状态参数

Tab. 1 Original state parameters

初速度	19.44 (m/s)
转弯半径	100 (m)
初始航向角	0.040 095 19 (rad)
初始转向角	0.039 672 85 (rad)
左前轮侧偏角	0.056 817 426 (rad)
右前轮侧偏角	0.056 561 86 (rad)
左后轮侧偏角	0.060 264 80 (rad)
右后轮侧偏角	0.059 201 889 (rad)

由于进行该项仿真时所给定的制动力矩较小(前轮 500 N#m, 后轮 1 000 N#m), 因此车辆的制动响应并不剧烈。由图 7 可以直观看到, 车辆没有出现明显的甩尾现象, 而且车辆速度减小的

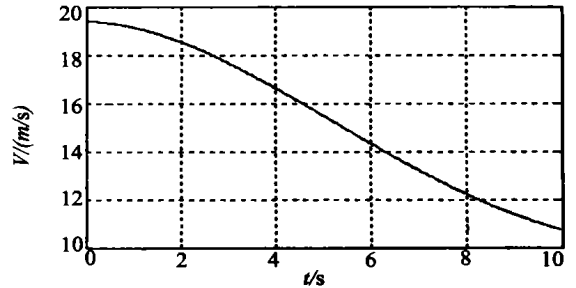


图 8 转弯制动车辆速度曲线

Fig. 8 Velocity diagram of combined steering

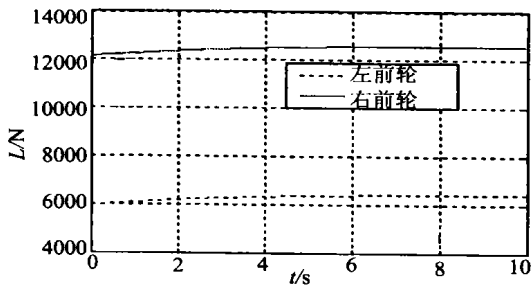


图 9 转弯制动车辆的前轮载荷

Fig. 9 Vertical load diagram of braking vehicle front wheels

速率较慢, 如图 8 所示, 在 10 s 时车辆速度为 10.8 m/s, 而车辆两前轮的垂直载荷在整个过程中也比较平缓, 如图 9 所示, 这符合车辆工况的实际情况。

综上所述, 本文运用面向对象方法建立了车辆动力学仿真系统模型, 并在此基础上研制了车辆动力学仿真软件系统。面向对象方法所具有的封装、继承等特点使软件系统结构清晰、扩展方便, 为研究车辆控制系统奠定了基础。

参考文献:

- [1] 邵维忠, 杨芙清. 面向对象的系统分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 广西科学技术出版社, 1998.
SHAO W ZH, YANG F Q. Object oriented system analysis [M]. Beijing: Press of Qinghua University, Science and Technology Press of Guangxi Province, 1998. (in Chinese)
- [2] 徐瑞鑫, 朱成禹. 软件工程新途径) 面向对象方法学 [J]. 光学 精密工程, 2000, 8 (6): 570-573.
XU R X, ZHU CH Y. New way of software engineering) object oriented method [J]. Optics and Precision Engineering, 2000, 8 (6): 570-573. (in Chinese)
- [3] 张殿文, 卢振武. 面向对象分析、设计与编程 [J]. 光学 精密工程, 2000, 8 (6): 566-569.
ZHANG D W, LU ZH W. Object oriented analysis, design and programming [J]. Optics and Precision Engineering, 2000, 8 (6): 566-569. (in Chinese)
- [4] 苏颖, 康凤举, 李皓, 等. 水下航行器面向对象的分布交互仿真软件系统 [J]. 计算机仿真, 2002, 7: 20-24.
SU Y, KANG F J, LI H, et al. Object oriented distributed interactive simulation software for underwater vehicle system [J]. Computer Simulation, 2002, 7: 20-24. (in Chinese)
- [5] 郭孔辉. 汽车操纵动力学 [M]. 长春: 吉林科学出版社, 1991.
GUO K H. Vehicle steering dynamics [M]. Changchun: Science Press of Jilin Province, 1991. (in Chinese)
- [6] JACOBSON I. Object oriented software engineering) a use case driven approach [M]. New York: Addison Wesley Publishing Company, 1992.
- [7] 人民交通出版社编. 国产汽车技术性能手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1975.
People's Transportation Press. Technique and performance manual for indigenous vehicle [M]. People's Transportation Press, 1975. (in Chinese)
- [8] 韩宗奇, 余志生. 汽车转弯制动性能的模拟计算 [J]. 汽车工程, 1991, 13 (1): 20-23.
HAN Z Q, YU ZH SH. Modeling and computation of vehicle performance on combined steering and braking maneuvers [J]. Automotive Engineering, 1991, 13 (1): 20-23. (in Chinese)

作者简介: 唐国元 (1972), 男, 湖北利川人, 博士研究生, 主要研究方向为车辆工程;

宾鸿赞 (1940), 男, 湖南衡山人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为 CAD/CAM 一体化, 车辆工程。