

文章编号: 1671-1637(2002)02-0063-04

预瞄跟随理论和驾驶员模型在汽车智能 驾驶研究中的应用

高振海^{1,2}, 管欣², 郭孔辉²

(1. 西安交通大学 人工智能与机器人研究所, 陕西 西安 710049
2. 吉林大学 汽车动态模拟国家重点实验室, 吉林 长春 130025)

摘 要: 根据预瞄跟随理论及驾驶员的开车行为特性, 指出汽车智能驾驶与驾驶员操纵行为的内在一致性——汽车智能驾驶系统的控制特性与熟练驾驶员的驾驶行为特性基本一致。结合驾驶员操纵行为模式将汽车智能驾驶系统划分为信息感知、轨迹决策和操纵控制三个部分, 并一一加以具体分析, 利用系统模糊决策理论对几种汽车行驶的典型工况进行了智能车辆方向控制仿真计算。理论分析和仿真结果表明预瞄跟随理论为智能车辆的研究提供了一个可行的研究途径, 按照该理论建立的驾驶员方向控制模型可以直接应用于智能车辆控制算法的研究开发。

关键词: 预瞄跟随; 驾驶员; 智能车辆; 方向; 仿真

中图分类号: U491.255; U495 **文献标识码:** A

Application of preview follower theory and driver model in the research of vehicle intelligent handling

GAO Zhen-hai^{1,2}, GUAN xin², GUO Kong-hui²

(1. Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. National Key Lab of Automobile Dynamics Simulation, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract Based on the preview follower theory and driver behavior characteristics, the internal coherence between vehicle intelligent handling system and driver handling behavior is indicated that the control characteristic of vehicle intelligent handling system is basically identical with skill driver handling behavior. With the pattern of driver handling behavior, vehicle intelligent handling system is divided into three modules including information identification, course decision making and performance control, the modules are analyzed in detail, and the simulations of intelligent vehicle direction control are made under some typical road circumstances with system fuzzy decision making theory. Theoretical analysis and the simulation results show preview follower theory can provide a applicable way to the research of intelligent vehicle, and the driver direction control model based on this theory can be directly used in the research of intelligent vehicle. 5 figs, 6 refs.

Key words preview follower; driver; intelligent vehicle; direction; simulation

Author resume GAO Zhen-hai (1973-), male, Ph. D., lecturer of Jilin University, a post doctor of Xi'an Jiaotong University, engaged in study of intelligent vehicle.

随着智能交通系统和汽车电子控制系统研究的
逐步深入, 车辆智能驾驶的研究在西方各发达国家

得到了研究人员越来越多的重视。在目前的汽车智
能驾驶系统研究中人们大多直接从控制理论的角度

来研究汽车智能驾驶系统的结构和控制逻辑。但由于汽车是由驾驶员操纵在道路上行驶的交通工具,汽车的行驶是由驾驶员、汽车和道路组成的闭环系统而产生的响应。要全面彻底地研究汽车行驶,就必须把驾驶员、汽车及外界道路环境统一地作为一个闭环系统来考虑。

由于汽车智能驾驶系统研究的最终目的是部分或全部地代替真实驾驶员来控制汽车的运动,因此对一个工作良好的汽车智能驾驶系统来说,它的控制特性应该与熟练并具有高超驾驶技术的驾驶员操作行为基本一致。如智能车辆研究的一个最基本问题就是道路跟踪问题。道路跟踪需要进行驾驶信息(如前方道路曲率等)及汽车在道路上位置的辨识,并以此进行合适的汽车方向控制。从人工智能的角度讲,智能车辆的道路跟踪问题就集中体现了熟练驾驶员对驾驶信息的感知活动和利用感知到的驾驶信息进行方向控制指令的思维判断活动。而在汽车操纵稳定性研究中提出的驾驶员行为建模理论正是通过深入研究驾驶员的思维判断活动来对驾驶员操纵行为进行数字模拟。这就为汽车智能驾驶系统研究提供了一条新的研究思路——从驾驶员操纵行为特性角度出发来研究汽车智能驾驶系统,利用驾驶员模型进行智能车辆控制算法的研究。

郭孔辉院士提出的预瞄跟随理论全面且合理地描述了驾驶员开车行为特性,并已成功地应用于驾驶员方向控制模型及汽车操纵稳定性的研究中。本文结合预瞄跟随理论和驾驶员操纵行为特性,分析了汽车智能驾驶系统的组成,并进行了一些典型行驶工况下的汽车转向控制的数字仿真计算。

1 预瞄跟随理论简介

预瞄跟随理论描述了一个根据未来输入信息进

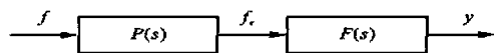


图 1 预测跟随器结构

Fig. 1 Frame of preview follower

行跟随控制的系统的特性。该系统可以看成是由一个预测器和一个跟随器相串联而组成的系统。图 1 为预瞄跟随器结构示意图。其中预测器的传递函数为 $P(s)$, 跟随器的传递函数为 $F(s)$ 。理想的预测-跟随系统应在低频域中满足: $P(s) \cdot F(s) \approx 1$, 即跟随器传递函数的倒数尽可能地接近预测器传递函数^[1]。

合格驾驶员的开车行为特性都是符合“预瞄跟

随理论”的。根据预瞄跟随理论,在驾驶员的理想预瞄跟随器中,预瞄器主要反映了驾驶员对汽车预期行驶轨迹的决策,即驾驶员的轨迹决策环节,而跟随器则反应了驾驶员对其自身特性和汽车动力学特性的了解,可等效为驾驶员的操作校正和汽车动力学环节。为此根据文献[2]和[3],驾驶员操纵汽车可以认为是一个不断反复进行的“信息感知—轨迹决策—操作校正”的过程。其驾驶操作行为流程图如图 2 所示。

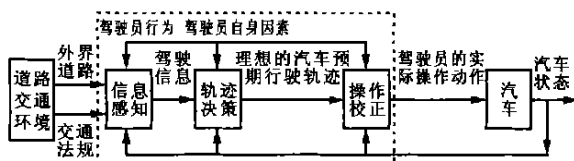


图 2 在驾驶员-汽车-道路闭环系统中的驾驶员操作行为

Fig. 2 Driver behavior in driver-vehicle-road closed-loop system

2 基于预瞄跟随理论和驾驶员开车行为特性的智能车辆结构分析

如文献[4]中所述,预瞄跟随理论是可以应用于自动驾驶汽车系统的研究。结合前面的论述,未来的汽车智能驾驶系统实质上就是可以替代驾驶员来控制汽车的一个智能控制系统。下图 3 为汽车智能驾驶系统的结构示意图。将图 3 和图 2 所示的驾驶员开车行为相对比,可知:汽车智能驾驶系统的控制策略和功能将可以使汽车“感知”到外界道路交通环境,并“决策”出理想行驶轨迹从而最终“操作”汽车沿着这条轨迹行驶。因此本文将汽车智能驾驶系统分为信息感知、轨迹决策和操纵控制三个部分。下面就结合文献[5]对汽车智能驾驶系统的介绍,根据预瞄跟随理论分析其组成。

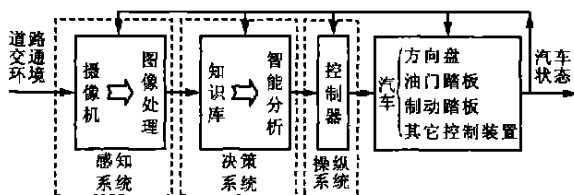


图 3 汽车智能驾驶系统的结构

Fig. 3 Frame of intelligent vehicle

感知系统相当于向预瞄器提供未来输入信息,它的功能主要是感知在汽车行驶过程中有用的驾驶信息。一般可以用安置在汽车上的 CCD 摄像机、雷达或超声波传感器等来采集道路环境的几何特征参数,如道路的宽窄、前方障碍物的位置等信息;采用各种车载传感器来得到驾驶员开车所必须的汽车状

态参数等。

从目前的汽车智能驾驶系统研究发展看,决策系统是汽车智能驾驶系统进一步研究并最终实用化的关键。从功能上讲决策系统的功能就相等于预瞄器的功能,即反映驾驶员的轨迹决策策略。轨迹决策部分是时刻根据信息感知部分所感知到的前方道路环境信息和汽车的状态,并根据驾驶员在长期驾驶实践中积累的驾驶经验和知识,来具体决策出汽车所要行驶的轨迹和将对汽车采取的操作指令,如是否需要进行加速、制动和转弯等操作而使汽车很好地通过当前驾驶员前方的道路段。汽车最终到达目的地可以认为是驾驶员操纵汽车通过前面一段段预期轨迹的累积效果。

操纵系统相当于跟随器。它根据前面决策出的理想预期轨迹信息产生实际的操作动作。一般是在汽车上安装一系列的电控装置(如电子转向机构等)来控制汽车的方向盘、油门踏板、制动踏板或转向指示灯等装置。

综上所述,汽车智能驾驶系统的各个子环节都一一对应着驾驶员相应的具体行为,并体现了驾驶员的控制行为特性。因此从驾驶员行为特性的角度出发来研究汽车智能驾驶在理论上讲是完全可行的。

3 基于驾驶员模型的汽车智能驾驶系统的转向控制建模及数字仿真

如前所述,如何根据感知到的驾驶信息进行智能车辆控制指令的决策,是智能车辆研究的一个关键问题。为了解决这一问题,本文采用了文献[3]中提出的驾驶员预期轨迹决策模型。

从决策理论角度讲,驾驶员的轨迹决策思维活动是一个多目标决策问题。为此文献[3]和文献[4]在预瞄跟随理论的基础上,提出了驾驶安全性和驾驶轻便性轨迹决策评价指标,并利用文献[5]提出的系统模糊决策方法建立了驾驶员根据道路车道线的几何特征来动态决策汽车行驶方向(即决策出汽车预期行驶轨迹)的模糊决策模型。

真实驾驶员在进行轨迹决策时主要考虑如下两个影响因素:一是前方道路的可行行车区域(车道的宽窄及曲率变化),本文将其定义为驾驶安全性评价指标;二是对自身体力负担的考虑,将其定义为对驾驶轻便性评价指标。根据对驾驶员实际驾驶经验的分析,建立了八个描述驾驶安全性的评价指标和一个驾驶轻便性的评价指标,并根据实际情况采用了S形函数来定义驾驶安全性和轻便性评价指标隶属

度函数。需要注明的是:这里的道路可行行车区域实际上是给出了一个有待于驾驶员进行预期轨迹决策的可行预期决策点的集合。

安全性评价指标 $IDS_1, IDS_2, IDS_5, IDS_6$ 为驾驶员根据可行预期轨迹决策点对应的道路左右两侧边界及其前方道路左右两侧边界与该点的相对距离而获得的安全性指标; $IDS_3, IDS_4, IDS_7, IDS_8$ 为驾驶员根据可行预期轨迹点所对应的道路左右两侧边界及前方道路左右两侧边界的曲率变化与该点对应的汽车航向角之间的关系而获得的安全性指标。驾驶轻便性指标 IDH 表示驾驶员驾驶负担,并用对应可行预期轨迹点的方向盘转角或汽车可行的侧向加速度来描述。

根据实际驾驶经验和文献[4],安全性评价指标 $IDS_1, IDS_2, IDS_5, IDS_6$ 是属于越大越好的评价指标,而评价指标 $IDS_3, IDS_4, IDS_7, IDS_8, IDH$ 则属于越小越好的评价指标,因此可定义 IDS_1 的隶属度计算公式如式(1), IDS_2, IDS_5, IDS_6 的计算公式与之类似。

$$r_{1j} = \begin{cases} 0 & x_{1j} < a_1 \\ \left(\frac{x_{1j} - a_1}{b_1 - a_1} \right)^2 & a_1 \leq x_{1j} \leq b_1 \\ 1 & x_{1j} > b_1 \end{cases} \quad (1)$$

定义 IDS_3 的隶属度计算公式如式(2), IDS_4, IDS_7, IDS_8, IDH 的计算公式与之类似。

$$r_{3j} = 1 - \left(\frac{x_{3j} - a_3}{b_3 - a_3} \right)^2 \quad (2)$$

式中: x_{1j}, x_{3j} 表示评价指标的特征值; r_{1j}, r_{3j} 是评价指标的相对隶属度; a_1, b_1, a_3, b_3 表示特征值的上下界限。

在仿真计算中汽车模型采用了传统两自由度汽车模型,行驶路况选取了双移线形道路(模拟汽车超车的工况)和直角转弯道路(模拟汽车在街角转弯的工况),参照我国道路交通法规和公路工程技术标准,汽车行驶速度分别采用了 80 km/h 和 20 km/h,公路路宽为 3 m 和 5 m。仿真计算结果(汽车重心的

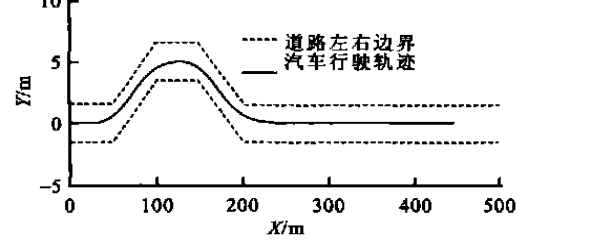


图 4 双移线工况仿真曲线(车速为 80 km/h)

Fig. 4 Double lane-change simulation (velocity is 80 km/h)

位移)如图 4和图 5所示。从图中可见,基于预瞄跟随理论所建立的驾驶员方向控制模型可以有效地控制汽车的转向运动,保证了汽车按照道路的基本趋势安全地行驶。

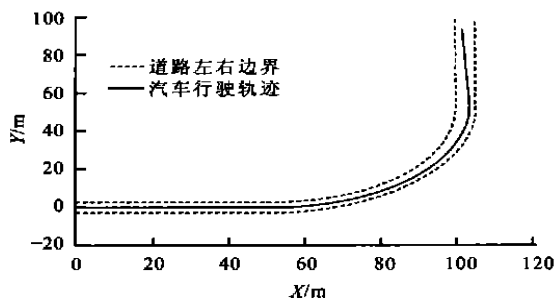


图 5 直角转弯工况仿真曲线(车速为 20 km/h)

Fig. 5 Right angle turn simulation(velocity is 20 km/h)

4 结 语

通过前面的理论论述和仿真计算的结果,表明预瞄跟随理论及驾驶员行为模型是完全适用于汽车智能驾驶系统研究的。上面的仿真算例所模拟的过程实际上就相当于文献[6]中介绍的汽车智能辅助驾驶研究中的车道保持及跟踪装置的控制过程。因

此,从人工智能的角度出发,利用预瞄跟随理论详细地研究驾驶员操纵行为特性,并以驾驶员开车行为特性建模的角度来建立智能车辆的控制策略,进行汽车智能驾驶系统的理论研究不失为一条现实可行的研究途径。

参 考 文 献:

References:

- [1] 郭孔辉. 汽车操纵动力学 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.
- [2] 管 欣. 驾驶员方向控制模型及闭环驾驶安全性预测方法的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 1992.
- [3] 高振海. 驾驶员最优预瞄加速度模型的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2000.
- [4] GAO Zhen-hai, GU AN Hsin, GUO Kong-hui. Driver directional control model and the application in the research of intelligent vehicle [J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(3).
- [5] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [6] 庄继德. 汽车电子控制系统工程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.

(上接第 26 页)

的温度变化方向回归的 PI 值差异可能极大,使相同的沥青得到不同的高温等级。

4 结 语

通过上面的分析,有以下结论:

- (1)为了减小标准针形状对针入度值的影响,在回归针入度指数时尽量避免采用三个针入度值均小于 54 或均大于 54 的情况。
- (2)预冷条件可以消除环境温度到目标温度的温度变化方向不同带来的影响,从而提高试验结果的准确度。
- (3)试验中四种沥青的环球软化点和当量软化点排序一致,用软化点表征沥青的高温性质更方便。
- (4)按照“八五”攻关建议的沥青标准,试验中的

四种沥青,在常规的非预冷试验条件下,采用规范推荐的三个温度和五个温度得到高温等级只有 $N2$ 相同;在预冷条件下,四种沥青用三个温度和五个温度得到高温等级完全相同,从而建议采用预冷条件下的针入度值进行针入度指数 PI 和当量软化点 T_{800} 的回归。

PI 值的稳定性较差,建议采用或寻找另一种指标来评价沥青的高温等级。

参 考 文 献:

References:

- [1] 沈金安. 用国外最新标准对道路沥青技术指标的验证报告 [R]. 北京: 交通部公路科学研究所, 1995.
- [2] (JTJ 052-2000)公路工程沥青及沥青混合料试验规程 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.