

智能汽车自动驾驶的控制方法研究

廖爽¹, 许勇¹, 王善超²

(1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004;

2. 东风柳州汽车有限公司技术中心, 广西 柳州 545000)

摘要: 为了解决智能汽车在无人驾驶的情况下自动跟随前方车辆行驶的问题, 在预瞄跟随理论上提出一种自动驾驶的控制方法; 该方法适用于控制一列智能车队, 智能汽车通过接收前车发送的行驶状态来计算出前方路况, 通过模糊自适应 PID 控制器来控制车辆驾驶; 首先基于预瞄跟随理论设计一个汽车自动跟随模型, 并指明需要跟随的物理量; 然后, 设计了一个模糊 PID 控制器来实现对给定物理量的跟踪; 最后在 dSPACE 和飞思卡尔模型小车所搭建的实验环境下去验证控制方法的可行性; 仿真实验结果表明该方法能够保证智能汽车具有良好的路况计算和车辆跟踪的精度, 且具有较好的鲁棒性。

关键词: 智能汽车; 自动驾驶; 预瞄跟随理论; 自适应模糊 PID

A Study on Control Method for the Intelligent Vehicles Autonomous Driving

Liao Shuang¹, Xu Yong¹, Wang Shanchao²

(1. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. Technical Centre, Dongfeng Liuzhou Automobile Co., Liuzhou 545000, China)

Abstract: In order to solve the problem how an autonomous intelligent vehicle follow the front vehicle ahead on road, a control method is proposed based on preview follower theory. The preview of the road ahead is calculated by using the data sent by the front vehicle and an adaptive fuzzy PID tracking controller drive the follower. Firstly, the model based on preview follower theory for intelligent vehicle is established. Then an adaptive fuzzy PID tracking controller is designed to realize the physical quantity tracking in driving. Finally the control method test platform is established based on dSPACE platform (digital Signal processing and control engineering) and two Freescale Smart Cars. Simulation experimental results show that the control method can ensure the accuracy of calculating the road and tracking the vehicle, and the good robustness.

Keywords: intelligent vehicles; autonomous driving; preview follower theory; adaptive fuzzy PID

0 引言

电子科学技术与汽车机械工业的深度结合, 给汽车发展带来了无限可能。无人驾驶汽车正是集自动控制、体系结构和人工智能等多项技术于一体的产物, 是未来汽车发展的一个重要方向^[1]。近些年, 有关智能汽车自动驾驶的研究中都将智能汽车对复杂路段的适应性和驾驶系统的可靠性作为重点研究方向^[2-5]。其中大多数理论都是通过提高单一车辆的智能来实现的, 需要高额的成本和复杂的技术。而本文将控制对象选择一个车队, 而不再是单一车辆, 依靠车队的整体智能来解决问题。既降低无人自动驾驶技术对单一车辆对智能的依赖, 而又不影响该技术对智能的要求。目的是为了实现在一个低成本而有效的智能汽车无人驾驶的控制方法。本文考虑一个由多辆智能车组成的车队, 其中领头车辆由驾驶员正常操作, 其余车辆在不需人操控的状态下自动跟随领头车行驶。智能汽车通过接收队列中前方车辆的行驶信息推理出路径和任意车速的后车跟随模型, 采用自适应模糊 PID 算法, 完成跟随行驶, 以此实现自动行驶。本文最后在由 dSPACE 半实物仿真器和飞思卡尔智能小车组成的实验平台下, 模拟了真车上路的实际行驶情况, 验证了控制方法的可靠性。

1 智能汽车列队行驶的模式描述

将多辆汽车列成一个车队行驶, 其中除了领头车有司机正常驾驶外, 其余车辆都没有司机。这就要求后面跟随的智能汽车能够像司机一样能够对前方道路进行预瞄, 并根据前方道路曲率以及当前车速等因素决定方向盘转角; 根据与前车的间距和车速等决定油门踏板和制动踏板的开合度。在理想情况下, 车辆能够准确地行驶在经过预瞄所产生的期望路径上, 让智能汽车实现自动行驶^[6]。

本文将多样复杂的路况用“大地坐标系”上的一条曲线来模拟, 智能汽车用曲线上的点来表示。考虑到汽车在行驶过程中有车速和方向的要求, 因此用参数 v 和 θ 来具体描述行驶状态, 如图 1 所示。其中, v 表示汽车在行驶时的绝对速度, θ 表示汽车在行驶时转向的角度。

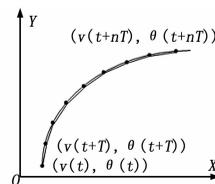


图 1 前方路况描述

在车队行驶过程中, 除领头车外, 每一辆车每隔固定的时间间隔 T , 主控制器就会收到前面一辆车发送来的行驶状态信息, 包括此时前车的速度和方向, 主控制器需要据此推算出前方道路情况。举例来说, 假设在 t 时刻车辆收到前车发送的行驶状态信息为速度大小 $v(t)$ 和转向角度 $\theta(t)$, 此时在大地坐

收稿日期: 2014-01-16; 修回日期: 2014-04-03。

作者简介: 廖爽(1987-), 男, 湖北人, 工学硕士, 主要从事汽车电子方向的研究。

标系上, 可以用点 $(v(t), \theta(t))$ 表示。一个固定的时间间隔 T 之后, 即在 $t+T$ 时刻, 接收到的为速度大小 $v(t+T)$ 和转向角度 $\theta(t+T)$, 可以用点表示 $(v(t+T), \theta(t+T))$ 。以此类推, 在 $t+nT$ 时刻 (n 表示自然数) 可以用点 $(v(t+nT), \theta(t+nT))$ 表示。将图 1 中每个点之间用线段连接, 当时间间隔 T 足够小时, 用这些线段可以近似的描述出表示前方路况的曲线。换句话说, 当 T 足够小时, 智能汽车在 T 时间内所做运动可近似为匀变速运动, 可以用匀变速运动的相关公式计算出前方路况。

根据以上分析, 建立智能汽车列队自动驾驶的模型, 如图 2 所示。由于领头车完全由人自主驾驶, 因而可以将领头车辆的行驶轨迹作为当前路况下的最优路径选择。前方车辆每隔固定的时间间隔 T , 把自身的行驶状态发送给后面车辆的主控制器。主控制器主要由道路推理系统和自动驾驶系统两部分组成。其中道路推理系统将前方车辆发送来的行驶状态信息通过计算得出前方行驶的期望路径; 而自动驾驶系统通过某种控制算法来控制智能汽车的执行器件, 使得智能汽车的行驶状态满足特定要求。并且加入了 2 个重要的反馈, 车辆姿态反馈和车辆速度反馈来让系统更好的实现控制目标。

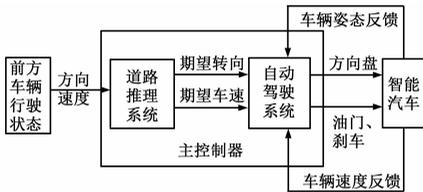


图 2 模型框图

综上所述, 可以把智能无人驾驶汽车跟随前一辆汽车行驶问题转化成汽车要在一个很短的时间间隔 T 内, 将自身的行驶状态由现在状态到达目标状态的控制问题。问题由一个跟随问题转化成了一个控制问题。在这样的情况下, 本文通过控制智能汽车达到所期望的转向角度和速度的方法来实现智能汽车跟踪前面车辆自动驾驶的目的。

2 道路推理系统

本文中的道路推理是以前车能准确地发送自身的行驶状态为前提。后面的智能汽车每隔固定的时间 T 就能收到前车发送的行驶状态, 并将此状态设定为目标状态, 而将车辆此时的行驶状态设定为当前状态。在图 1 中取两个相邻的点研究可得到图 3, 并假设一个点为 t 时刻时智能汽车的当前状态 $(v(t), \theta(t))$, 则另一个为目标状态 $(v(t+nT), \theta(t+nT))$ 。

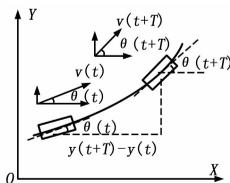


图 3 道路推理示意图

在研究智能车辆转向时, 假设汽车侧向速度为 $v(t)\cos\theta(t)$, 前车侧向车速 $v(t+T)\cos\theta(t+T)$ 。此时汽车正在以一个理想的侧向加速度 a_x 在侧向上做匀变速直线运动, 并在 T 时间后达到理想的侧向位移, 则

$$a_x = \frac{v(t+T)\cos\theta(t+T) - v(t)\cos\theta(t)}{T} \quad (1)$$

公式 (1) 中只有 a_x 是未知量, 其他都是已知量, 因此可以计算出侧向加速度的大小。而要想达到理想的侧向加速度, 则方向盘应该施加理想角度, 设方向盘转角 φ (如无特殊说明, 下文中所说的转向角都指的方向盘角度) 和汽车侧向加速度的比例系数为 K , 则

$$\varphi = ka_x \quad (2)$$

代入到式 (1) 之后, 得

$$\varphi = \frac{K}{T} [v(t+T)\cos\theta(t+T) - v(t)\cos\theta(t)] \quad (3)$$

综上所述, 通过接收前一辆车的行驶状态信息, 再结合自身车辆此时行驶时的状态信息, 通过公式 (3) 就可以计算, 在接下来的 T 时间内, 方向盘所需要转过的期望角度 φ 。这个期望转向角度可以保证智能汽车在时间 T 后, 汽车在侧向速度和方向上达到前车的行驶状态, 并接收新的前车行驶信息, 开始新一周期对前车侧向跟踪, 如此循环就实现了车辆在行驶时对前方车辆转向的跟踪。

在研究智能车辆速度时, 假设汽车纵向车速为 $v(t)\sin\theta(t)$, 前车纵向车速 $v(t+T)\sin\theta(t+T)$ 。

此时汽车正在以一个理想的纵向加速度 a_y 在纵向上做匀变速直线运动, 并在 T 时间后达到理想的纵向位移, 则

$$a_y = \frac{v(t+T)\sin\theta(t+T) - v(t)\sin\theta(t)}{T} \quad (4)$$

假设智能车辆上都装载有自动变速箱, 对速度的控制省略了对离合器的操作, 只需要控制油门踏板和制动踏板的开合度。而由公式 (4) 可知, a_y 可为正数也可为负数, 可以表示智能汽车在加速行驶或是在减速行驶。当智能汽车加速时, a_y 为正数, 油门踏板的开合度增大; 当智能汽车减速时, a_y 为负数, 制动踏板开合度增大。因此本文用一个统一的物理量 σ 来描述油门踏板和制动踏板开合的角度对智能汽车速度的影响, 当 σ 为正数时表示油门踏板被踩下, 智能汽车正在加速行驶中; 当 σ 为负数时表示制动踏板被踩下, 智能汽车正在减速行驶中。因此而要想得到理想的纵向加速度, 就是要得到理想的开合角度 σ 。设开合度 σ 与理想纵向加速度之间的比例系数为 G , 则

$$\sigma = Ga_y \quad (5)$$

代入到公式 (4) 之后, 得

$$\sigma = \frac{G}{T} [v(t+T)\sin\theta(t+T) - v(t)\sin\theta(t)] \quad (6)$$

综上所述, 道路推理系统可以根据前方车辆传来的行驶状态信息, 计算推理得出前方 T 时间内, 所期望的转向角 θ 和踏板的所期望开合度 σ 。由此可以完成对道路的预瞄准工作, 并且系统将推理得到的结果传递给自动驾驶系统。到此道路推理系统工作全部完成。

3 模糊自适应 PID 自动驾驶系统

自动驾驶系统从本质上说就是控制车辆的各个执行器, 在没有司机行驶的情况下, 完成驾驶行为的车辆控制器。而因为无人驾驶的智能车是一个高度非线性多刚体系统, 在汽车行驶的过程中, 参数容易发生变化, 而且有些参数还很难被测定出来, 难以建立精确的数学模型^[7]。因此车辆控制器所采用的控制算法就不能过于依赖精确的数学模型。本文在传统的 PID 控制器的基础上设计了一个模糊器, 在车辆行驶的过程时, 实时对 PID 控制器的

3 个参数做修正, 以满足对不同时刻目标值对 PID 参数的要求, 从而使得车辆控制器有一定的自适应能力。由于控制方向盘转角和控制踏板开合度的原理相同, 下面只对用模糊自适应 PID 控制器的控制转角进行介绍, 系统框图见图 4^[8-10]。

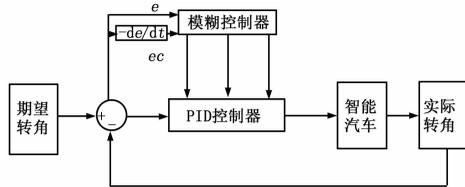


图 4 自动驾驶系统框图

图 4 中 e 和 ec 分别表示转角误差和转角误差变化率, k_p 表示比例系数、 k_i 表示积分系数和 k_d 表示微分系数。自适应模糊 PID 控制器在车辆行驶的过程中不断检测 e 和 ec , 并且根据模糊推理对 3 个参数进行在线整定, 以满足不同 e 和 ec 下对 PID 控制参数的需要。智能车控制器利用独立的线程采集转角, 计算转角误差和转角误差变化率, 进行模糊推理, 控制智能汽车方向盘进行转向。

4 实验验证

为了验证本文中提出的基于预瞄跟随理论提出的智能汽车车队自动跟随驾驶的控制方法, 而又避免实车测试时候的危险性, 本次实验采用飞思卡尔电动模型小车来模拟真实智能车运行, 使用 dSPACE 半实物仿真器作为智能车的主控制器, 接收前车信号, 计算出前方路况, 最后通过自适应模糊 PID 控制器来控制模型车的各个执行器件。该方法能简单直观地观察到车辆行驶的状态, 实时记录下实验数据, 方便研究系统的控制效果。同时还缩短了系统开发的周期, 节约了实验的成本。

实验准备了两辆模型车, 将其中一台小车用遥控器控制, 定为领头车; 另一台小车用 dSPACE 来控制, 定为跟随车。用光电编码器和单片机内部的捕捉器来测定模型小车的速度和转角。领头车的行驶数据由飞思卡尔 s12 开发板采集, 并设置定时器, 每隔固定的时间间隔 T 把信息通过 CAN 总线传给 dSPACE, 即传给跟随车。收到的数据通过 Matlab 建立的控制算法模型计算出智能汽车执行器的控制量, 并且实时修改 ControlDesk 中的相关参数, 得到具体的控制效果, 可以在 MotionDesk 中查看。

实验测试两辆车组成的车队, 从启动、加速、匀速行驶到停车等一系列驾驶行为, 在 MotionDesk 设置的直道加弯道的环境下进行。实验测试了模糊自适应 PID 和普通的增量 PID, 两种控制算法的效果, 结果如图 5 和图 6 所示。可以看出自适应模糊 PID 进入稳定状态所需要的时间更短, 只用了 0.4 s, 稳态误差更小。因此采用模糊自适应 PID 控制明显优于常规 PID 控制, 能更好地跟踪目标轨迹。

5 结论

本文研究了智能汽车自动驾驶的控制方法, 在预瞄跟随控制理论的基础上建立了一个车辆跟踪控制的自适应模糊 PID 控制模型。本次模型建立最大的不同之处在于, 无人自动驾驶不再依赖单一汽车智能, 而是把汽车队列作为一个整体去考虑, 进而将自动驾驶这个很复杂的问题分解成一些小的问题, 然后依靠各个车辆在车队的所扮演的不同角色分工完成。仿真

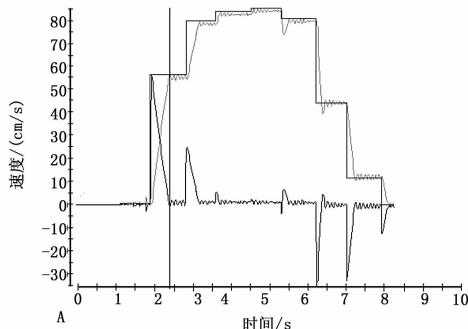


图 5 自适应模糊 PID 控制效果

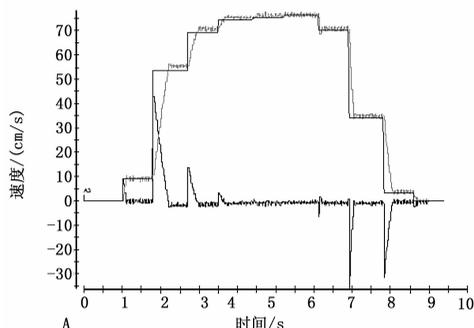


图 6 增量 PID 控制效果

结果表明采用汽车队列控制方法, 能够满足实时控制的要求, 实现了主控制器对给定目标值得跟踪, 实验结果验证了其有效性和精确性。总体上, 本次设计的控制方法具有一定的自适应能力, 能够满足车辆实时控制要求, 可以作为智能车无人驾驶的一种有效实现方法。

参考文献:

- [1] 乔维高, 徐学进. 无人驾驶汽车的发展现状及方向 [J]. 上海汽车, 2007, (07).
- [2] Bertozzi M, Broggi A, Fascioli A. Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2000.
- [3] VIAC: the VisLab intercontinental autonomous challenge [EB/OL]. <http://viac.vislab.it>. 2011.
- [4] 林焕新, 胡跃明, 陈安. 基于自适应模糊控制的智能车控制系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (1): 78-80.
- [5] Guizzo E. How Google's self-driving car works [EB/OL]. <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>. 2011.
- [6] 郭孔辉. 汽车操纵动力学 [M]. 吉林: 吉林科学技术出版社, 1991.
- [7] 喻凡, 林逸. 汽车系统动力学 [M]. 机械工业出版社, 2005.
- [8] Guzelkaya M, Eksin I, Yesil E. Self-tuning of PID-type fuzzy logic controller coefficients via relative rate observer [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2003.
- [9] Kiam H A, Gregory C. PID control system analysis, design, and technology [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2005.
- [10] Woo Z W, Chung H Y, Lin J J. A PID type fuzzy controller with self-tuning scaling factors [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000.