

文章编号: 2095-2163(2021)01-0020-05

中图分类号: U461.91

文献标志码: A

基于 LQR 算法的车道保持控制策略

施卫¹, 张晨²

(1 江苏理工学院 汽车与交通工程学院, 江苏 常州 213001; 2 江苏理工学院 机械工程学院, 江苏 常州 213001)

摘要: 介绍一种基于 LQR 算法的车道保持控制方法。采用 TLC 与 DLC 联合预警模型结合驾驶员意图识别对车辆当前的行驶状态进行判断并在偏离时做出报警, 当驾驶员未做出反应时车道保持系统对转向系统的输出转角值进行转向控制, 帮助驾驶员纠正车辆偏离动作, 在 Carsim/Simulink 环境下进行仿真, 对比不同车速下横/航向偏差量与输出方向盘转角关系, 结合车辆偏离预警算法实车测试, 对该控制策略的可行性进行验证。结果表明, 该控制策略的实时性和鲁棒性较好, 具有实用价值。

关键词: 车道保持; 车道偏离预警; 驾驶员意图

Lane keeping control strategy based on LQR

SHI Wei¹, ZHANG Chen²

(1 School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu 213001, China;

2 School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu 213001, China)

[Abstract] This paper introduces a lane keeping control method based on LQR algorithm. This paper uses TLC and DLC joint early warning model combined with driver's intention recognition to judge the current driving state of the vehicle and give an alarm when the driver deviates. When the driver does not respond, the lane keeping system controls the output angle value of the steering system to help the driver correct the vehicle deviation. The simulation is carried out in the CarSim / Simulink environment, and the transverse / heading at different speeds is compared. The relationship between the deviation and the output steering wheel angle, combined with the actual vehicle test of vehicle deviation warning algorithm, the feasibility of the control strategy is verified. The results show that the control strategy has good real-time performance and robustness, and has practical value.

[Key words] lane keeping; lane departure warning; driver's intention

0 引言

随着全球化的日益推进, 车辆智能辅助驾驶技术也在不断地发展, 从最初的车身传感器对车辆行驶时路面动静态特征的监测捕捉, 到后来的基于机器视觉和路面特征对车道线的检测识别^[1], 都充分说明了车辆智能控制技术的适应性与研究的必要性。

为了适应社会发展与市场需求, 对车道偏离预警技术^[2]和车道保持控制技术^[3-4]的研发已然引起了越来越多研究人员和学者的兴趣与关注。本文在车道偏离预警及车道保持方面提出一种新的策略, 通过建立基于路面附着系数 TLC 与 DLC 的联合预警模型, 结合 LQR 算法的车道保持控制策略。相较传统预警及车道保持策略, 该模型适用性较强且准确性较好。

1 车道偏离预警策略分析

本文所搭建的车道偏离预警模型为基于路面附着系数的 TLC 与 DLC 联合预警模型。TLC 模型的主要原理是通过计算车辆发生偏离时车辆到两侧车道线间的最短时间与所设定的阈值作比较, 对车辆是否会触碰到车道边界做出判断。建立 TLC 模型主要就是为了判断车辆接下来的行为是否存在偏离动作。即对车辆在接下来的一定时间内建立车辆动力学模型, 根据车辆动力学模型和对前方道路的识别, 对车辆所需最短跨道时间进行计算, 当车辆跨道时间小于设定的阈值时, 表明此时车辆偏离程度大, 系统予以报警, 提醒驾驶员及时纠正偏离动作; 当跨道时间大于设定阈值时, 系统不予以报警。

假设车辆在进行往左车道线偏离的运动, 模型原理解析如图 1 所示。图 1 中, d_2 表示车辆前轮之

基金项目: 江苏省社科“公共利益导向的产教联合培养职教师资的路径与策略研究”(19JYB012)。

作者简介: 施卫(1974-), 男, 高级实验师、硕士生导师, 汽车与交通工程学院副院长、主要研究方向: 汽车控制技术、汽车智能网联、汽车故障诊断技术等; 张晨(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 新能源汽车控制与运用。

通讯作者: 张晨 Email: 2503729355@qq.com

收稿时间: 2020-11-03

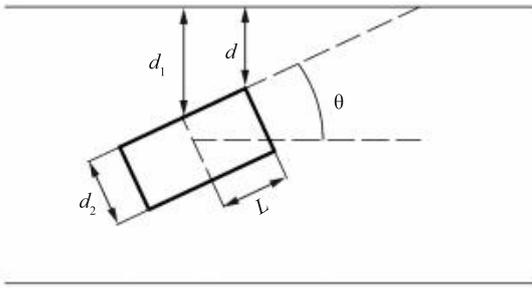


图 1 横向 TLC 模型

Fig. 1 Horizontal TLC model

间的轮距, d_1 表示车辆质心与左侧车道线间的垂直距离, l 表示车辆质心与前轴之间的距离, θ 表示车辆发生偏离时的横摆角。则车辆此时到左侧车道线的最短距离为左前轮与左车道线之间的垂直距离, 记作 d , d 的计算公式如下:

$$d = d_1 - l \sin\theta - \frac{d_2}{2} \cos\theta. \quad (1)$$

现将车道偏离的判断条件分为 2 部分: 对横向 TLC 模型的阈值判断和对 DLC 的距离计算。以路面附着系数 m 作为判定条件, 建立 TLC 与 DLC 的联合预警模型, 具体如图 2 所示。

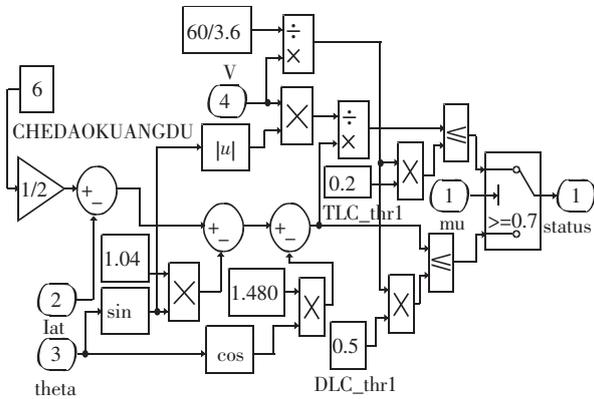


图 2 基于路面附着系数的 TLC 与 DLC 计算模型

Fig. 2 TLC and DLC calculation models based on road adhesion coefficient

由式(1)可知, 假设车辆向左侧车道线偏离, 则此时车辆距左车道线的最短距离为左前轮与左车道线间的垂直距离 d 。而 d 的计算需要求得车辆质心与左车道线间的垂直距离 d_1 , 由图 2 可知, d_1 可通过输入的车道宽度 (端口 6) 和车辆横向偏差 (端口 2) 求得。而质心到前轴的距离 l 与两前轮间的轮距 d_2 可在 Carsim 中设置, 详见图 2, 车辆横摆角为 θ (端口 3), 由此可求得车身与车道线间的最短距离 d 。模型中以 60 km/h 作为基准车速, 此时所设定的 TLC 和 DLC 的阈值分别为 0.2 s 与 0.6 m。端口 4 为实际输入车速 v , 将实际车速与基准车速作比

值, 当实际车速大于或小于设定的基准车速时, 根据其于基准车速的比值关系, 所设定的阈值也会跟着调整。当车速过快时, 设立的 TLC 与 DLC 阈值也会相应增大, 从而保证预警的及时性, 给驾驶员预留更多的反应时间。在 TLC 模块, 根据上述求得的 d 与横向车速的比值来计算车辆碰到车道线的时间 t 。当 t 值小于所设定的阈值时, 则触发系统的报警提示; 在 DLC 模块, 将求得的 d 值与设定的阈值作比较, 当车辆与车道线之间的距离小于设定阈值时, 此时系统予以报警。将路面附着系数 m 作为判定条件, 来决定 2 种模型的具体触发情况。当输入的路面附着系数值 m (端口 1) 大于设定值时, 采用 TLC 模型; 反之, 则采用 DLC 模型。

在驾驶员意图识别方面, 考虑其主要是为了判断车辆的行驶过程是否在按照驾驶员意图运动及驾驶员的注意力是否集中等。本文依据转向灯信号、油门制动踏板的位置信号及方向盘转角信号来判断驾驶员对车辆的操纵状态, 该识别判定过程如图 3 所示。

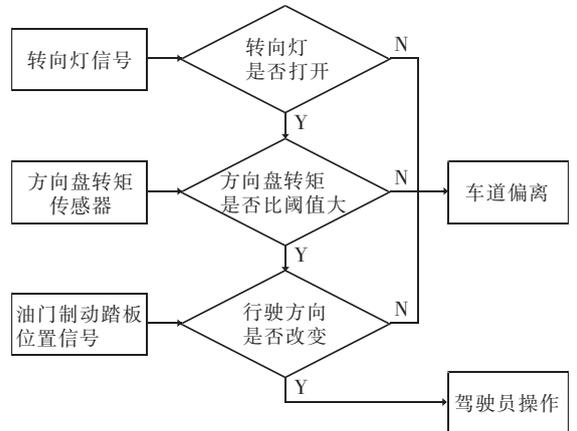


图 3 驾驶员意图识别过程示意图

Fig. 3 Schematic diagram of driver intention recognition process

2 车道保持控制策略设计

2.1 车辆动力学模型

研究可得, 单车动力学模型的原理解析如图 4 所示。本文所搭建的车辆动力学模型为线性二自由度的模型, 考虑到车辆在实际行进过程中左右车轮在做横向方向的运动时转过的角度是相等的, 即可以近似地认为车辆在做关于路面平行的平面运动, 类似于单车模型 (在车辆的前后轴, 2 车轮可合并看作一个车轮), 此时只需要考虑车辆的侧向运动和横摆运动。

假设忽略纵向空气动力学的作用, 在不考虑载

K 可表示为:

$$K = (R + B^T P B)^{-1} B^T P A, \quad (14)$$

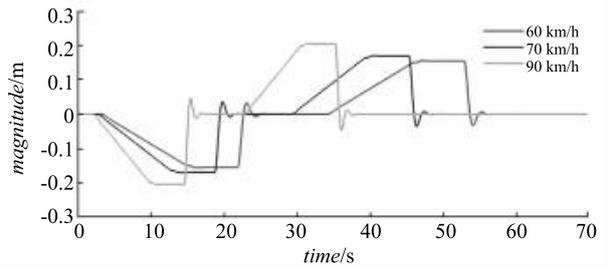
此外,选取的矩阵 P 必须是里卡提方程的正定解,即:

$$P = A^T P A - A^T P B (R + B^T P B)^{-1} B^T P A + Q. \quad (15)$$

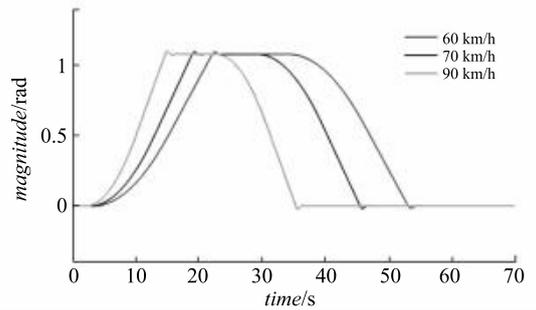
将常量矩阵 P 代入上述各公式,经过迭代计算后求得 K 的解即为所求最优解。

3 仿真与实车测验分析

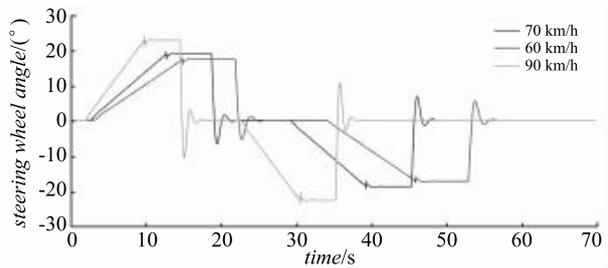
本文选择联合偏离预警模型来建立基于 LQR 算法的车道保持控制策略并对其进行仿真实验以验证算法模型的有效性。下面基于 Carsim/Simulink 对该算法模型进行联合仿真,文中设计的车道保持系统模型如图 5 所示。所设置仿真道路模型为一段 S 型曲线,为对比不同车速下的具体仿真效果,设定了 3 种车速模型,分别为 60 km/h、70 km/h 和 90 km/h。在不同车速下算法模型的横向偏差、航向偏差以及车道保持系统控制下转向系统输出转角值随时间变化的仿真效果如图 6 所示,并在实际道路中对车道偏离预警算法进行实车测验,效果如图 7 所示。



(a) 横向偏差
(a) Lateral deviation



(b) 航向偏差
(b) Course deviation



(c) 方向盘转角
(c) Steering wheel angle

图 6 横向和航向偏差及转向系统输出转角仿真效果图

Fig. 6 Simulation renderings of lateral and course deviation and steering wheel angle

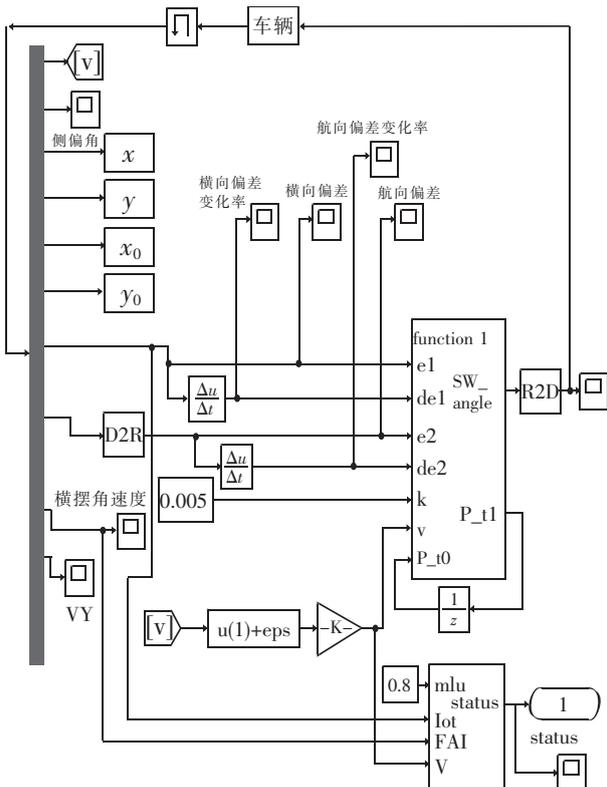


图 5 本文设计的车道保持系统模型

Fig. 5 Lane keeping system model designed in this paper



图 7 车道偏离预警实车测验效果图

Fig. 7 Renderings of lane departure warning real car test

分析图 6 可知,在该算法对车辆模型的控制过程中,最大横向偏差约为 0.2 m,持续时间较短,道 (下转第 27 页)