

基于时间和空间融合的车道偏离预警模型

屈 贤, 谢 军

(重庆工程职业技术学院 智能制造与交通学院, 重庆 402260)

摘要:针对车辆偏离时间和车辆横向位置决策模型精确度不足的问题,基于车辆动力学原理,建立车辆运行模型,分析车辆从当前位置到接触车道边缘为止所需要的最小时间和车辆中心距离车道中心线的距离,建立基于时间和空间融合的车道偏离预警模型;运用 Carsim 软件对所建模型进行仿真验证,并将所建模型与 TLC、DLC 两种典型的预警模型的预警结果进行对比,结果表明,本文提出的预警模型可有效针对车道偏离进行预警,误差率在 4% 之内,精度较高。

关键词:车道偏离;预警模型;时空融合;TLC

中图分类号:U46 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2020)02-0074-05

近年来,随着交通事故数量的不断增长,车道行驶安全问题越来越引起人们的重视。有研究表明,约 1/3 的交通事故是因车道偏离而引起的,而车道偏离预警系统至少可以降低 1/4 的车道偏离事故^[1]。因此,研究车道偏离预警系统对减少道路交通事故发生率具有重要意义。

预警算法是影响车道偏离预警准确性的关键因素。目前常见的车道偏离预警算法主要分为两类:一类是道路模型和图像信息处理方法^[2];另一类是基于机器视觉的图像信息处理方法。道路模型方法主要有基于路边振动带的决策模型、基于车辆当前位置的决策模型、基于车辆偏离时间的决策模型^[3]、基于车辆横向位置的决策模型和基于未来偏离距离的决策模型^[4]等。

基于路边振动带的决策模型通常在正常车道边界外,安装具有振动作用的凹槽;当车辆行驶在车道线上时,凹槽发出振动以提示驾驶员。这种决策模型对于激进型驾驶员和大型车辆来说,出现虚警的概率较大。基于车辆当前位置的决策模型主要利用图像处理技术和车道检测技术,判断车辆是否发生偏离。基于车辆偏离时间的决策模型是指车轮在当前位置行驶至与车道边界线接触

时的时间小于设定值时,系统发出报警。该方法一般假设车辆行驶状态在预测的时间内保持不变,且预警阈值一般选择固定阈值,其计算精度不足。基于车辆横向位置的决策模型设定的判断条件较多,可是算法中的阈值参数一般采用实验方法得到,过程比较复杂。基于未来偏离距离的决策模型考虑实际道路状态较少。而基于机器视觉的车道偏离预警精度高,但系统复杂,实现成本较高。

以上各种预警算法各有优缺点,本文在综合车辆偏离时间和车辆横向位置决策预警模型优缺点的基础上,提出一种时间和空间融合的车道偏离预警模型,以提高车道偏离预警的准确性。

1 基于时间和空间的车道偏离预警

1.1 基于时间的车道偏离决策

基于时间的车道偏离决策模型需要计算车辆前轮跨越车道线边界需要的时间(Time to lane crossing, TLC),即计算车辆保持现有的驾驶状态,从车辆前轮当前位置开始到接触车道边缘为止所需要的最小时间 T_{TLC} ^[5]。当 T_{TLC} 值小于设定的阈值时,说明车辆存在偏离当前车道的风险,可能会

收稿日期:2019-12-17

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN201803408);重庆工程职业技术学院院级科研项目(KJA201903)。

作者简介:屈贤(1988—),女,山东济宁人,讲师,硕士,主要研究方向为车辆主动安全系统。

发生交通事故,此时系统应发出预警信号以提醒驾驶员;当 T_{TLC} 值大于设定的阈值时,说明车辆暂时安全,无须报警^[6]。该算法既考虑了车辆的当前位置,又兼顾了车辆的运动状态和运动趋势,精度较高。

假设车辆行驶在直线道路,其前轮转角为零,且在一段时间内车辆运行状态保持不变,近似为一条直线^[7]。由于我国的交通规则为靠右行驶,故在一般情况下我国车辆在行驶过程中,向右偏离道路的情况较为常见。因此,本文主要以车辆向右偏离为例来研究不同情况下车辆的偏离时间的计算模型,如图1所示。

图1中点 O 为车辆质心,点 A 为车辆右前轮位置,点 B 为预设的车辆跨越车道线的位置, D 为车道线之间的宽度, L 为车辆质心到车道中心线的距离, θ 为车辆相对航向角, v_y 为车辆行驶速度。

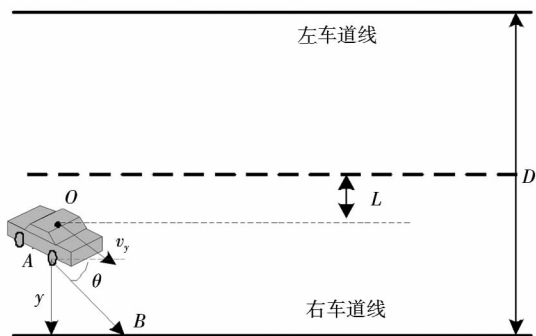


图1 基于时间的车道偏离模型

Fig 1 Lane departure model based on time

假设车辆在偏离过程中航向角 θ 始终保持不变,车辆右前轮距道路右边界的垂直距离为 y ,根据三角形几何关系可得车辆偏离到右车道线行驶的距离 l_{AB} 为

$$l_{AB} = \frac{y}{\sin \theta} \quad (1)$$

由图1几何关系,可得车辆右前轮距道路右边界的垂直距离 y 为

$$y = \frac{D}{2} - L - a \sin \theta - \frac{d}{2} \cos \theta \quad (2)$$

式中: a 为车辆质心到前轮的距离,m; d 为车辆轮距,m。

联合式(1)和式(2),得车辆右偏离时跨道时

间 T_{TLC}

$$T_{TLC} = \frac{\frac{D}{2} - L - a \sin \theta - \frac{d}{2} \cos \theta}{v_y \cdot \sin \theta} \quad (3)$$

显然,当车辆右偏离时的跨道时间 T_{TLC} 小于设定的偏离预警开启阈值时,表明车辆即将发生车道偏离,系统会根据车辆行驶状态识别驾驶员的驾驶意图。若驾驶行为为无意识偏离,系统才会发出预警。由式(3)可得基于时间的偏离预警算法为

$$T_{TLC} \leq T \quad (4)$$

式中, T 为设定的车道偏离预警开启阈值,取值 0.5 s ^[8]。

1.2 基于空间的车道偏离决策

空间决策模型的根本思想是在驾驶员无意识驾驶时,通过车辆中心距车道中心线的距离(Distance to Lane Center, DLC)或车辆左右前轮距车道边缘的横向距离(Current Car Position, CCP),来判断车辆是否发生偏离。

基于 CCP 的空间偏离决策模型,原理简单,但在估算车辆宽度时,需要摄像机标定和图像重构,且在汽车行驶方向与车道线不平行时,该算法检测效果不及时。而基于 DLC 的车辆偏离决策算法,计算简单、精度较高,因此,本文采用 DLC 算法,从空间角度对车辆偏离进行判别。

由图1可知,基于 DLC 的车道偏离决策模型为

$$L \leq |D_{DLC}| \quad (5)$$

式中, D_{DLC} 为设定的空间预警触发值,取值 0.9 m 。

显然,当车辆中心与车道中心线的距离小于给定预警触发阈值时,表明车辆即将偏离行驶轨迹,系统应立即启动车道偏离预警。

1.3 时间和空间融合的车道偏离预警

车道偏离主要分为驾驶员无意识偏离和受外力影响产生方向盘转角突变,致使车辆以较大偏离速度行驶出车道两大类。驾驶员无意识偏离一般在车辆与车道边界线间距较小时发生,适合从空间的角度进行预警;受外力作用的偏离由于车辆偏离速度较大,适用于从时间角度预警。因此,为使车道偏离预警及时响应,本文提出基于时间和空间融合的车道偏离预警模型,如式(6)所示。

$$f(T_{TLC} \leq T, L \leq D_{DLC}) \text{ then(warn)} \quad (6)$$

图2为基于时间和空间融合的车道偏离预警决策策略。图2中,根据车辆行驶状态、驾驶员类

型、偏离方向等参数,确定车道偏离预警开启阈值 T 与空间预警触发值 D_{DLC} 。将阈值 T 与基于时间的偏离决策算法得到的 T_{TLC} 对比,若 $T_{TLC} \leq T$,则系统开启预警;将触发值 D_{DLC} 与基于空间的偏离决策算法得到的车辆中心到车道中心线的距离 L 对比,若 $L \leq D_{DLC}$,则系统开启预警。否则,系统关闭。即当时间和空间的决策指标满足任一条件时,系统即认为车辆有偏离车道的风险,预警系统将启动预警^[9]。

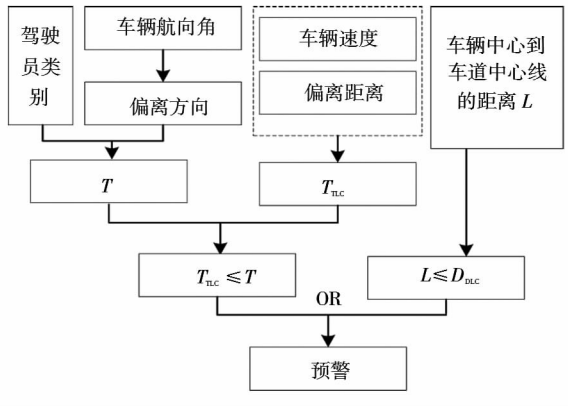


图 2 基于时间和空间融合的车道偏离预警策略
Fig 2 Early warning strategy for lane departure based on time and space fusion

2 仿真结果分析

为验证基于时间和空间的车道偏离预警算法的合理性,基于 Carsim 软件对车辆横向运动模型进行仿真。仿真条件如下:道路为两车道的沥青路面,路面附着系数为 0.85;仿真对象为轿车,初始车速为 30 km/h,车辆的航向角为 5°,车辆质心距离前轮的距离 $a = 1.11$ m,轮距 $d = 0.68$ m。图 3~图 5 分别为车辆行驶趋势图、车辆行驶轨迹与车道边界线位置图、车辆到车道线的横向距离图。

从图 3 可以看出,车辆在行驶过程中,有往右偏离的趋势,且随着时间的推移,车道偏离愈发严重,而驾驶员并没有要转动方向盘或进行制动的意图。

由式(3)知,当 $L = 1.7$ m 时, $T_{TLC} = 0.4808$ s,小于设定的预警阈值 0.5 s,预警系统报警。

通过整理大量的仿真数据,拟合得到车辆质心到车道中心线的距离 L 与车道跨道时间 T_{TLC} 的关系,如图 6 所示。

拟合公式为



图 3 车辆行驶趋势图
Fig 3 Vehicle driving trend

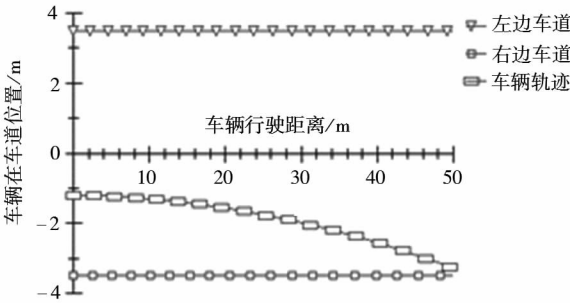


图 4 车辆行驶轨迹与车道边界线位置图
Fig 4 The location of vehicle trajectory and lane boundary line

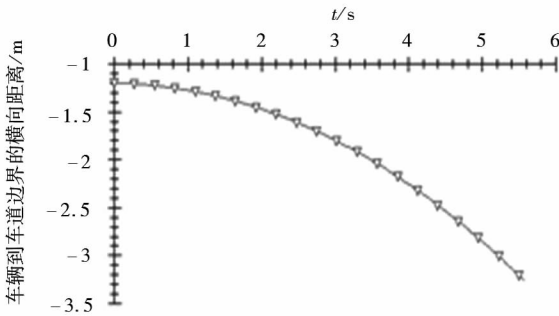


图 5 车辆到车道中心线的横向距离
Fig 5 Transverse distance from vehicle to Lane centerline

$$L = -2.5418 \times T_{TLC} + 2.9502 \quad (7)$$

结合式(7)和图 6 可知,当 $L = 1.7$ m 时, T_{TLC} 为 0.4919 s。可见,模型计算时间和仿真得出的时间相近,说明本文提出的模型比较合理。

为验证基于时间和空间融合的车道偏离预警决策的准确性,将该模型(下称本文模型)的预警时间与 TLC、DLC 算法偏离的预警时间进行对比,结果如表 1 所示,几种模型的误差率如图 7 所示。

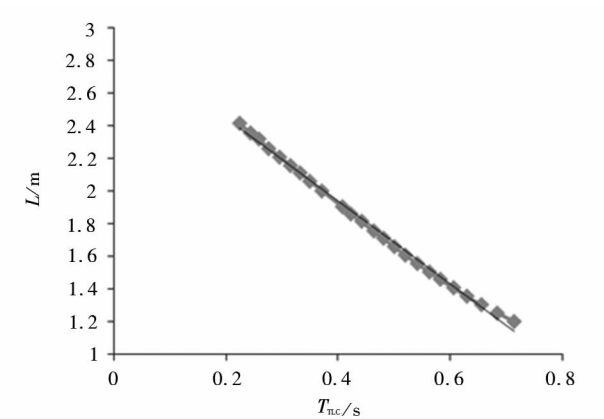


图 6 L 与 T_{TLC} 的关系图

Fig 6 The relationship diagram between L_0 and T_{TLC}

表 1 预警模型对比				
Table 1	Early warning models comparison			s
实际预警 时间	本文模型 预警时间	TLC 模型 预警时间	DLC 模型 预警时间	
1.6	1.56	1.71	1.69	
1.9	1.86	1.95	1.97	
2.3	2.27	2.49	2.52	
2.7	2.64	2.85	2.89	
3.0	2.95	3.19	3.16	
3.5	3.42	3.70	3.79	

从表 1 可以看出:本文提出的预警模型计算的预警时间比真实预警时间要小,可为驾驶员提前预警;而 TLC 和 DLC 两种预警算法的预警时间普遍大于实际预警时间,可能导致危险已经发生,但是系统还未及时预警的状况。从图 7 可以看

出,本文提出的预警模型计算的预警时间与真实值最接近,误差率在 4% 之内;虽然 TLC 和 DLC 这两种预警算法的误差率也较低,但是普遍高于本文提出的预警模型,即本文提出的车道偏离预警模型具有较高的精确度。

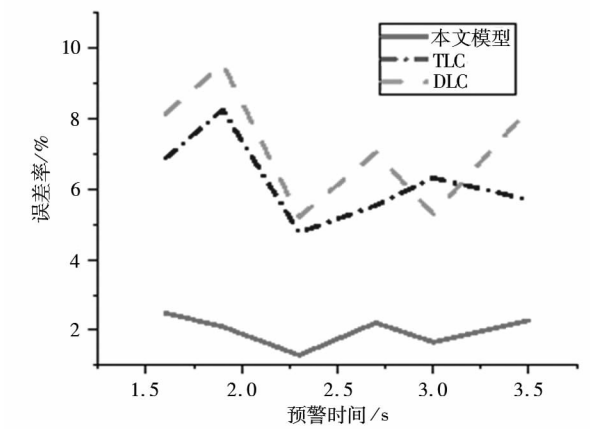


图 7 几种模型的误差率

Fig 7 The error rates of models

3 结论

结合常用预警算法 TLC 和 DLC 的优缺点,提出了一种基于时间和空间融合的车道偏离预警模型;运用 Carsim 软件对模型进行仿真,同时与典型 TLC、DLC 车道预警模型进行对比,结果表明,本文提出的车道偏离预警模型能较好地识别车辆偏离状况,准确率较高。

参考文献:

[1] 王硕,郑立斌. 车道偏离预警系统及决策算法设计[J]. 景德镇学院学报,2019,34(3):133-136.

[2] 罗强. 面向高速公路行车安全预警的车道偏离及换道模型研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.

[3] 戎辉,张明路,张小俊. 基于跨道时间的车道偏离报警方法[J]. 机械设计与制造,2016(5):175-177.

[4] 胡满江,边有钢,许庆,等. 自适应驾驶员行为特征的车道偏离防范系统[J]. 汽车工程,2017,39(10):1152-1157.

[5] LIN N, ZONG C F, TOMIZUKA M, et al. An overview on study of identification of driver behavior characteristics for automotive control[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014,2014(10):1-15.

[6] 化雅静. 智能车辆辅助驾驶系统中车道偏离预警算法的研究[D]. 长沙:湖南大学,2015.

[7] 许伦辉,罗强,夏新海,等. 车道偏离预警系统中偏离时间的估算方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2014,42(3):59-65.

[8] 吕敏煜. 智能汽车车道偏离辅助系统设计及试验研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2019.

[9] 胡三根. 面向驾驶辅助系统的车辆行驶安全预警模型研究[D]. 广州:华南理工大学,2016.

Lane Departure Warning Model Based on Time and Space Fusion

QU Xian, XIE Jun

(School of Intelligent Manufacturing and Transportation, Chongqing Vocational Institute of Engineering,
Chongqing 402260, China)

Abstract: Aiming at the problem that the accuracy of vehicle departure time and vehicle lateral position decision model is insufficient, based on the principle of vehicle dynamics, the vehicle operation model is established. The minimum time required for the vehicle from the current position to the edge of the lane and the distance between the vehicle center and the lane centerline are analyzed. And the lane departure early warning model based on time and space fusion is established. Carsim software was used to simulate and verify the built model, and the early warning results of the built model were compared with the two typical early warning models of TLC and DLC. The results showed that the early warning model proposed in this paper can effectively warn of lane departures, and the error rate within 4%, the accuracy is higher.

Keywords: lane departure; early warning model; time and space fusion; TLC

(责任编辑:李华云)

盐城工学院新能源学院获批 省级重点产业学院建设点

2020年6月9日,江苏省教育厅公布2020年省级重点产业学院建设点遴选结果,盐城工学院新能源学院成为江苏省首批15个省级重点产业学院之一。推进重点产业学院建设是江苏省促进人才培养供给侧和产业发展需求侧结构要素全方位深度融合、推动江苏高质量发展走在前列、建设“强富美高”新江苏的重要举措。

新能源学院是盐城工学院根据盐城地方新能源产业发展需求,与盐城市人民政府、大丰区人民政府、江苏金风科技有限公司、华能江苏能源开发有限公司、国家电投集团江苏电力有限公司等单位联合共建的产业学院,也是“盐城市政府支持驻盐高校发展项目”重点支持建设的产业学院。