

# 变道辅助系统弯道目标车辆位置识别方法\*

曾俊延<sup>1</sup>, 彭金栓<sup>1</sup>, 韩东鑫<sup>2</sup>, 闫晓雷<sup>1</sup>

(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.重庆交通大学 机电与车辆工程学院, 重庆 400074)

**摘要:** 识别弯道上行驶的后方目标车辆相对自车所在的车道是变道辅助系统的难点。文中提出一种基于雷达传感器识别弯道上行驶的后方目标车辆所在车道的方法, 根据自车的转向角及车身结构参数计算自车的转弯半径, 再根据雷达探测的目标车辆的方位角和相对自车的距离计算后方目标车辆的转弯半径, 通过比较两者的大小, 判别后方目标车相对自车的位置关系。

**关键词:** 汽车; 变道辅助系统; 转弯半径; 车道识别; 主动安全

中图分类号: U463.99

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0001-04

近些年来, 汽车主动安全技术发展迅速, 特别是在变道辅助系统应用方面, 越来越多的车型开始配备变道辅助系统。变道辅助系统通过安装在汽车尾部的雷达传感器实时监测车辆尾部两侧宽 3 m、长 50 m 的目标区域, 若此时驾驶人无变道意图, 监测区域内存在潜在冲突目标, 系统将进行信息级提示; 若此时驾驶人操作转向灯准备变道, 监测区域有冲突目标存在, 系统将进行警告级预警。从而减少车辆变道时侧碰、追尾等交通事故的发生。

车辆在交通流量较大的环境中行驶时, 不规范的变道行为经常会引发交通事故。根据交警部门的统计资料, 2016 年因随意变道和加塞引发的交通事故约占事故总数的 40%。目前很多车型配备了变道辅助系统, 该系统能在一定程度上提高行驶安全性, 但其抗干扰能力和灵敏性有待提高; 该系统能监测目标车与自车的速度差和距离, 但无法准确识别目标车所在车道; 该系统一般只适用于直道(转弯半径大于 100 m), 在狭窄弯道上难以判断目标车所在车道位置。

在该领域目前主要在以下几方面作了一些研究: 彭金栓、倪捷等开展了驾驶人换道意图识别及换道决策机制研究; 李守晓、吴鹏飞、童睿等开展了雷达传感器技术应用方面的研究; J. Nilsson 等开展了自动驾驶汽车变道策略研究; 钟霞等提出了一种针对前方目标车辆的车道识别方法, 该方法主要用于车辆前方防碰撞预警的行驶环境识别。该文提出一种基于雷达传感器的识别弯道上后方目标车辆所在车道的方法。

## 1 Ackerman 转向原理及车辆稳态转向特性

### 1.1 Ackerman 转向原理

在无侧滑的转向运动中, 汽车的运动遵循 Ackerman 转向几何原理。Ackerman 原理是解决交通工具转弯时内外转向轮路径指向的圆心不同问题的几何学。在车辆转向机构设计中, 都要求转向时符合 Ackerman 转向原理, 即要求前后各车轮的旋转中心的延长线交于一点, 实现无侧滑转向, 以减少行驶阻力和轮胎磨损。

### 1.2 车辆稳态转向特性

普通前轮转向车辆的稳态转向特性分为不足转向、中性转向及过多转向 3 种。设车辆在速度极低、侧向加速度可忽略不计的情况下以固定转角行驶时的转向半径为  $R_0$ , 当车速增加时, 具有不足转向特性车辆的转弯半径总大于  $R_0$ , 具有中性转向特性车辆的转弯半径不随车速发生变化, 而具有过多转向特性车辆的转弯半径总小于  $R_0$ 。

## 2 车辆位置关系识别模型

汽车以一定的转向角转向行驶时, 其行驶轨迹为一段圆弧或一个圆, 根据自车的前轮转角和车身结构相关参数可计算出自车行驶轨迹的弯道半径, 通过安装在车辆后部的雷达传感器测出后方目标车辆相对自车的方位角和距离, 再利用这两个数据结合其他易读取的行驶参数计算出目标车辆行驶轨迹的弯道半径, 比较自车与目标车的弯道半径便可判断目标车相对自车的位置关系。

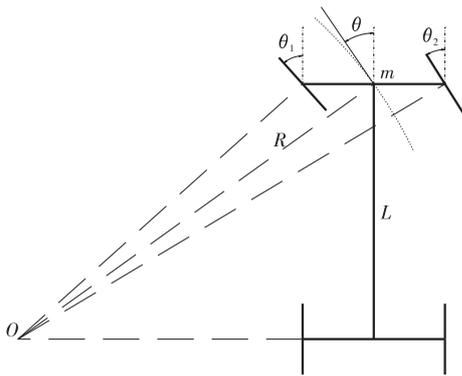
\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(61503049); 重庆市重点产业共性关键技术创新专项(cstc2015zdcy-ztzx60005)

在建立行驶轨迹弯道半径模型之前,作如下假设:车辆所通过的弯道为圆或一段圆弧,即弯道的曲率不变;考虑到前文提及的车辆转弯时稳态响应特性的影响,车辆以一定的速度稳定通过弯道。

自车与后方目标车辆所处弯道区域的位置关系分为以下3种状态:1)自车和目标车均在弯道;2)自车在弯道,目标车在直道;3)自车在直道,目标车在弯道。根据3种不同车辆位置关系分别建立行驶轨迹弯道半径数学模型。

### 2.1 自车与目标车均在弯道

自车在弯道上行驶时,根据Ackerman转向原理,车辆4个车轮的旋转中心的延长线交于一点,即4个车轮的行驶轨迹为同心圆弧(见图1)。



$L$  为车辆的轴距; $m$  为2个前轮的轮距; $\theta_1$  为左前轮的转角; $\theta_2$  为右前轮的转角; $\theta$  为自车行驶方向与车身中心线的夹角; $R$  为车辆行驶轨迹的弯道半径。

图1 自车弯道行驶示意图

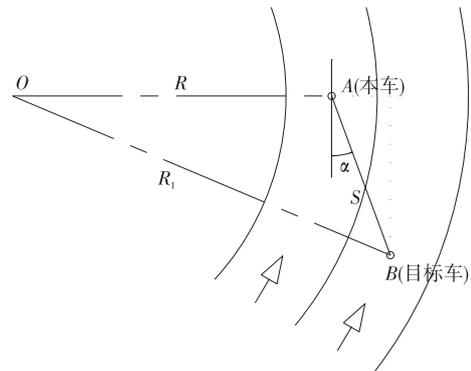
取前轴中点的轨迹作为自车的行驶轨迹,其速度沿着中点行驶轨迹的切线方向。由图1可知:

$$R^2 = \left(\frac{L}{\sin\theta}\right)^2 = \left(\frac{L}{\sin\theta_1}\right)^2 + \left(\frac{m}{2}\right)^2 + \frac{Lm \cos\theta_1}{\sin\theta_1} = \left(\frac{L}{\sin\theta_2}\right)^2 + \left(\frac{m}{2}\right)^2 + \frac{Lm \cos\theta_2}{\sin\theta_2} \quad (1)$$

式(1)中, $L$  与  $m$  为已知的车身结构参数; $\theta_1$  和  $\theta_2$  可通过在前轮转向机构上加装转角传感器来测量; $\theta$  可通过在方向盘上安装转角传感器,在已知车辆转动传动比的条件下得出。

在汽车运动学中,当研究对象相对参考系较小时,可将研究对象看作质点,故在后续讨论中将自车与后方目标车作为2个质点来处理。自车和目标车均在弯道时两车的相对位置关系见图2。

图2中, $S$ 、 $\alpha$  可通过雷达传感器测得。根据几何关系,得:



$O$  为弯道的圆心; $R$  为自车行驶圆周半径; $R_1$  为目标车行驶圆周半径; $S$  为目标车相对自车的直线距离; $\alpha$  为目标车相对自车的方位角。

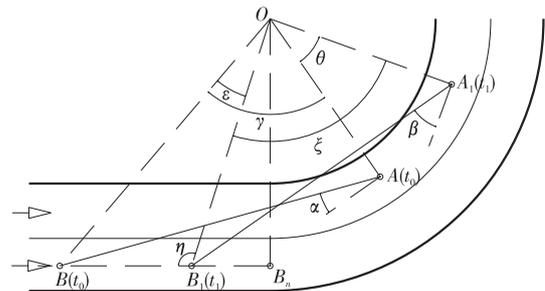
图2 自车与目标车的相对位置关系  
(自车和目标车均在弯道)

$$R_1^2 = R^2 + S^2 + 2RS \sin\alpha \quad (2)$$

根据式(1)、式(2)即可得到自车与目标车均在弯道时自车与目标车的行驶轨迹弯道半径。

### 2.2 自车在弯道,目标车在直道

自车在弯道、目标车在直道时两车的相对位置关系见图3。



$A$ 、 $A_1$  分别为自车在  $t_0$ 、 $t_1$  时刻的位置; $B$ 、 $B_1$  分别为后方目标车在  $t_0$ 、 $t_1$  时刻的位置; $B_n$  为目标车刚进入弯道时的位置; $\alpha$ 、 $\beta$  分别为  $t_0$ 、 $t_1$  时刻目标车相对自车的方位角,由自车上的雷达传感器测得; $AB$ 、 $A_1B_1$  分别为  $t_0$ 、 $t_1$  时刻目标车相对自车的直线距离,通过自车的雷达传感器测得; $O$  为弯道的圆心;箭头表示车道的行驶方向。

图3 自车与目标车相对位置关系  
(自车在弯道、目标车在直道)

图3中, $OA_1$ 、 $OA$ 、 $OB_n$  分别垂直于点  $A_1$ 、 $A$ 、 $B_n$  的切线方向。由Ackerman转向原理,根据式(2)可得到自车的行驶轨迹弯道半径  $R$ ,则自车的行驶角速度  $\omega$  为:

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (3)$$

式中: $v$  为自车的行驶速度,可从自车的CAN总线获取。

进而得:

$$\theta = \frac{\omega}{t_1 - t_2} \quad (4)$$

根据几何关系,有:

$$OA = OA_1 = R \quad (5)$$

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 - 2OA \cdot AB \cos(\pi/2 - \alpha) \quad (6)$$

$$OB_1^2 = OA_1^2 + A_1B_1^2 - 2OA_1 \cdot A_1B_1 \cos(\pi/2 - \beta) \quad (7)$$

$$\frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{OB}{\sin(\pi/2 - \alpha)} \quad (8)$$

$$\frac{A_1B_1}{\sin \xi} = \frac{OB_1}{\sin(\pi/2 - \beta)} \quad (9)$$

由图3可知:

$$\varepsilon = \gamma + \theta - \xi \quad (10)$$

$$BB_1^2 = OB^2 + OB_1^2 - 2OB \cdot OB_1 \cos \varepsilon \quad (11)$$

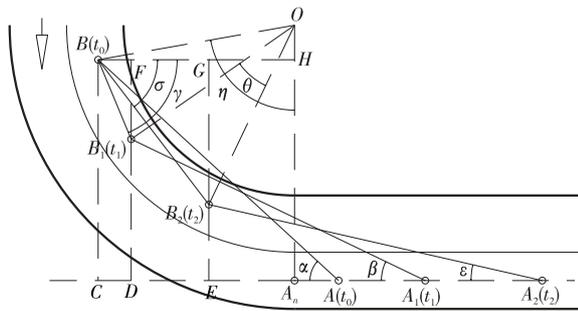
$$\frac{BB_1}{\sin \varepsilon} = \frac{OB}{\sin \eta} \quad (12)$$

根据式(3)~(12)可得到 $\eta$ 。后方目标车辆的行驶轨迹弯道半径为:

$$R_1 = OB_n = OB_1 \sin(\pi - \eta) \quad (13)$$

### 2.3 自在在直道,目标车在弯道

自在在直道、目标车在弯道时两车的相对位置关系见图4。



$A, A_1, A_2$ 分别为自在在 $t_0, t_1, t_2$ 时刻的位置; $A_n$ 为自在刚行驶出弯道时的位置; $B, B_1, B_2$ 分别为后方目标车在 $t_0, t_1, t_2$ 时刻的位置; $\alpha, \beta, \varepsilon$ 分别为 $t_0, t_1, t_2$ 时刻后方目标车辆相对自在的方位角,由自在上的雷达传感器测得; $AB, A_1B_1, A_2B_2$ 分别为 $t_0, t_1, t_2$ 时刻后方目标车相对自在的直线距离,通过自在上的雷达传感器获取; $AA_1, AA_2$ 分别为自在在 $t_0 \sim t_1, t_0 \sim t_2$ 时段内的行驶距离,从自在的里程记录中获取; $O$ 为弯道的圆心;箭头表示车道的行驶方向。

图4 自在与目标车的相对位置关系  
(自在在直道、目标车在弯道)

图4中, $OB, OB_1, OB_2, OA_n$ 分别垂直于点 $B, B_1, B_2, A_n$ 的切线方向。通过 $B$ 点作 $BC$ 垂直于

$AA_1$ 延长线、 $BH$ 垂直于 $OA_n$ ;过 $B_1$ 作垂线,交 $AA_1$ 延长线于 $D$ ,交 $BH$ 于 $F$ ;过 $B_2$ 作垂线,交 $AA_1$ 延长线于 $E$ ,交 $BH$ 于 $G$ 。可得:

$$BF = CD = AC + AA_1 - A_1D = AB \cos \alpha + AA_1 - A_1B_1 \cos \beta \quad (14)$$

$$B_1F = BC - B_1D = AB \sin \alpha - A_1B_1 \sin \beta \quad (15)$$

$$\tan \gamma = \frac{B_1F}{BF} \quad (16)$$

$$BG = CE = AC + AA_2 - A_2E = AB \cos \alpha + AA_2 - A_2B_2 \cos \varepsilon \quad (17)$$

$$B_2G = BC - B_2E = AB \sin \alpha - A_2B_2 \sin \varepsilon \quad (18)$$

$$\tan \delta = \frac{B_2G}{BG} \quad (19)$$

根据圆内接三角形的一个角等于它所对应的边与圆心相连所形成的圆心角的一半这一性质,有:

$$\theta = 2(\gamma - \delta) \quad (20)$$

后方目标车的行驶角速度 $\omega$ 为:

$$\omega = \frac{\theta}{t_2 - t_1} \quad (21)$$

由于 $t_1 \sim t_0$ 时间极短,弯道圆周曲率一般又很大,可近似认为后方目标车的行驶路径为 $BB_1$ ,则 $OB \perp BB_1$ 。可得目标车的线速度 $v$ 为:

$$v = \frac{BB_1}{t_1 - t_0} = \frac{\sqrt{BF^2 + B_1F^2}}{t_1 - t_0} \quad (22)$$

由式(14)~(22),根据匀速圆周运动的性质,后方目标车行驶轨迹圆周半径为:

$$R_1 = \frac{v}{\omega} \quad (23)$$

根据前面的假设 $OB \perp BB_1$ ,有 $\eta = \gamma$ ,则自在的行驶路径在弯道部分的半径为:

$$R = OA_n = OH + BC = OB \cos \eta + AB \sin \alpha \quad (24)$$

### 2.4 后方目标车辆车道识别

通过比较自在与后方目标车的行驶轨迹弯道半径 $R$ 和 $R_1$ 的大小,可判断后方目标车相对自在的位置关系。判别方法如下:1)若 $R - R_1 \geq \Delta$ ( $\Delta$ 为车道宽度),则后方目标车位于自在所在车道的内侧车道;2)若 $|R - R_1| < \Delta$ ,则后方目标车位于自在所在的车道;3)若 $R - R_1 \leq -\Delta$ ,则后方目标车位于自在所在车道的外侧车道。根据《公路工程技术标准》,双向四车道的宽度为 $2 \times 7.5$  m,双向六车道的宽度为 $2 \times 11.25$  m,双向八车道的宽度为 $2 \times 15$  m,即每条机动车道宽度为3.75 m。

### 3 结语

车辆主动安全技术是汽车安全性的重要组成部分。变道辅助系统作为一种主动安全技术,能在车辆变道或超车时了解自车后方或侧后方的交通情况,检查是否具备变道条件,防止盲目变道,减少事故的发生并减少交通拥堵。该文研究了车辆在等速通过固定半径弯道条件下自车识别后方目标车所在车道的算法。但还存在一些不足之处:1)只考虑了曲率不发生变化的理想弯道情况,而真实的弯道复杂得多,故实际应用中还要考虑弯道曲率变化的影响;2)后方目标车辆所在车道的识别方法较简单、理想,真实的交通情况更复杂,如当 $|R-R_1| < \Delta$ 时,自车与目标车也有可能位于不同车道,目标车车道识别准则需根据实际交通情况更详细地讨论。

#### 参考文献:

- [1] 彭金栓,付锐,郭应时,等.基于驾驶人视觉特性的换道意图识别方法[J].武汉理工大学学报,2013,35(3).
- [2] 倪捷,刘志强.基于驾驶人决策机制的换道意图识别模型[J].交通运输系统工程与信息,2016,16(1).
- [3] 李守晓,毕欣,曹云侠.毫米波雷达的汽车盲点检测系统研究与设计[J].机械设计与制造,2013,31(9).
- [4] 吴鹏飞,夏伟杰,杨康.汽车变道辅助雷达的一种多目标处理方法[J].数字技术与应用,2013,119(11).
- [5] 童睿.毫米波汽车防撞雷达的多目标识别算法研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.
- [6] Nilsson J, Brännström M, Coelingh E, et al. Lane change maneuvers for automated vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18.
- [7] 钟霞,于灏.汽车防撞雷达对弯道行驶目标的车道识别[J].工业仪表与自动化装置,2011(3).
- [8] JTG B01-2003.公路工程技术标准[S].
- [9] 张亚平,牟秋,程绍武.交叉口左转机动车强制变道行为研究[J].公路与汽运,2015(4).
- [10] 高岩,舒强,郑楚清.基于小波分解的车道偏离预警算法研究[J].公路与汽运,2012(5).
- [11] 朱参世,安利.运动目标识别方法与仿真研究[J].计算机与现代化,2010(5).
- [12] 贺乐厅,孙利生,翟羽健.汽车防撞雷达的目标识别[J].传感器技术,2003(1).
- [13] 安洪亮.汽车变道辅助雷达系统设计与实现[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [14] 刘志强,宋世亮,汪澎,等.基于视觉的车辆侧后方道路图像检测技术[J].计算机工程与设计,2010(12).
- [15] 高超.天基预警雷达机动目标检测方法的研究[D].南京:南京航空航天大学,2011.

收稿日期:2017-10-22

## 《公路与汽运》杂志 2018 年征订启事

《公路与汽运》杂志由长沙理工大学主办,是一份介绍汽车、道路、桥梁等公路交通领域科技信息的面向国内外公开发行的技术类科技期刊。国际标准刊号:ISSN1671-2668,国内统一刊号:CN43-1362/U。发行代号:国内42-95,国外DK43002。本刊为首届(2006年)中国高校特色科技期刊、湖南省一级期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,被中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录、万方数据—数字化期刊群全文上网,并荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖。

本刊立足公路交通系统,报道国内外汽车与公路交通领域的最新研究成果,荟萃汽车运用与维修技术,传播公路交通安全知识,介绍公路运输行业的新技术与管理经验,刊登公路交通工程的新工艺、新技术和新材料。2018年拟设主要栏目:汽车工程;交通规划与管理;运输与物流;道路工程;桥隧工程;工程经济与管理等。

本刊为双月刊,逢单月25日出版。每期定价15元,全年90元。热烈欢迎订阅。读者可在当地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部索取订单订阅。订阅款请汇至本刊或银行账号。

通信地址:长沙理工大学云塘校区8号信箱

邮政编码:410004

联系电话:0731-85258189(含传真)

联系人:王文

开户行:长沙市农行高云支行

户名:长沙理工大学

账号:18-051401040000158