

文章编号: 2095-2163(2019)06-0283-04

中图分类号: TP277

文献标志码: A

基于激光雷达汽车防撞预警系统的设计与实现

王心越, 董锋威, 谢璐阳, 苏珊珊, 王宇歌, 赵奉奎

(南京林业大学 汽车与交通工程学院, 南京 210037)

摘要: 为了增强汽车在行驶过程中的主动安全性, 本文设计了一种基于激光雷达的汽车防撞预警系统。单片机通过 CAN 总线采集自车车速, 同时采用 360° 的激光雷达探测汽车周围环境。通过密度聚类算法对点云数据进行分析, 并根据激光点云计算自车与前车的相对速度, 进而计算当前车速下的安全距离, 再将其与实时车距相比较, 决定是否报警。实验表明该系统能够准确检测汽车周围车辆, 并在车距过近时及时进行声光报警。本系统通过实时探测汽车周围环境并提醒驾驶员及时减速或制动, 增强了汽车主动安全性, 能够减少交通事故的发生。

关键词: 激光雷达; 汽车防撞; 主动安全; 安全距离; 聚类算法

Design and implementation of automotive anti-collision avoidance warning system using on LiDAR

WANG Xinyue, DONG Fengwei, XIE Luyang, SU Shanshan, WANG Yuge, ZHAO Fengkui

(Nanjing Forestry University, School of Automotive and Transports Engineering, Njing, 210037, China)

[Abstract] In order to improve the active safety of automobile, an automotive anti-collision warning system using LiDAR was designed. The proposed system uses CAN bus which is controlled by MCU to acquire the speed of the driving car. 360° LiDAR mounted on the car transforms environment information into digital point cloud data, which is clustered with DBSCAN to obtain the profiles of the other cars. The proposed system calculates the allowed distance by detecting the speed of the front cars, and then compares the detected distance with the allowed distance to decide whether to activate the light-and-sound warning system. Results demonstrated that the proposed system could detect the distance with other cars and activate the warning system if necessary. This system could detect the environment and reminds the driver to take necessary measures, thus enhancing the active safety of the cars and reduces frequency of car accidents.

[Key words] laser radar; car automotive anti-collision; active safety; safe distance; clustering algorithm

0 引言

随着经济的发展, 汽车保有量越来越高, 交通事故也随之增多。有统计数据表明, 80% 以上的车祸是由于驾驶员反应不及时造成的。如果能够及时检测汽车之间的相对距离和相对速度, 可极大地减少交通事故的发生概率^[1]。为了提高驾驶安全性, 汽车设置了被动安全系统和主动安全系统。被动防护的作用时间是在发生事故后, 仍然会造成比较严重的伤害和经济损失; 主动安全系统能及时判断车辆行驶状况, 自动或提醒驾驶员及时采取措施, 减少交通事故的发生。

目前汽车主动安全主要采用红外、超声波雷达、视觉、毫米波雷达和激光雷达等进行障碍物检测。

红外雷达和超声波雷达常用于倒车防撞, 但在遇到恶劣天气以及在长距离测距方面, 仍然不能满足汽车在高速运动状态下的防撞要求^[2]。视觉技术采用单目或双目摄像头进行目标识别和距离检测^[3]。视觉测距方法需要经过严格的标定和复杂的几何关系推导, 而且基于目标检测的机器视觉还面临过拟合等问题^[4]。毫米波雷达常用于自适应巡航、防撞和盲区检测^[5], 毫米波的分辨率略低, 探测角度较小, 获取视野有限, 对于近距离小障碍物的测量效果欠佳。

激光雷达和毫米波雷达测距和测速原理相同, 但是激光雷达的波长更短, 波束更窄, 分辨率高, 测量距离远, 且抗干扰能力强。吉林大学将 SICK 公司的 2D 单线雷达用于防撞预警, 并进行了实车测

基金项目: 国家自然科学基金(51605228); 江苏省高等学校自然科学研究面上项目(17KJB150024); 东南大学远程测控技术江苏省重点实验室开放基金(2242018K30005)。

作者简介: 王心越(1999-), 女, 本科生, 主要研究方向: 车辆电子; 董锋威(1998-), 男, 本科生, 主要研究方向: 车辆电子; 谢璐阳(1998-), 女, 本科生, 主要研究方向: 车辆电子; 苏珊珊(1998-), 女, 本科生, 主要研究方向: 车辆电子; 王宇歌(1999-), 女, 本科生, 主要研究方向: 车辆电子; 赵奉奎(1986-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 智能汽车环境感知及决策。

通讯作者: 赵奉奎 Email: zfkseu@gmail.com

收稿日期: 2019-10-10

试^[6]。激光雷达还常应用在汽车自适应巡航系统中,检测自车和前车距离和相对速度^[7],以及利用激光雷达测距防止汽车追尾^[8]。

本文采用激光雷达作为传感器,设计了一种基于360°激光雷达的汽车防撞预警系统。对激光雷达采集到的信息进行前后及侧方的分区处理,当两车距离小于安全距离后,该预警系统能够通过声光对驾驶员做出预警。

1 系统设计及数据预处理

激光雷达防撞预警系统包括激光雷达、数据传输、数据预处理、车辆识别、防撞模型、安全阈值判断和声光预警模块,系统结构如图1所示,各模块功能如下:

(1)360°激光雷达采集车辆周围环境数据。

(2)数据传输模块采用ARM单片机作为控制器,设计了CAN总线、RS232和RS485通信接口,实现对激光雷达的配置和激光雷达数据的读取。

(3)采集到点云数据后,需要进行预处理。首先,将极坐标数据转换为笛卡尔坐标。由于项目研究过程中设定汽车以较低速度行驶,采用激光雷达SICK LMS151,其距离测量范围是0.5~50 m。由于障碍物距离雷达50m附近时,信号比较弱,本课题只取45 m以内的数据。最后,根据激光雷达的数据报文,提取激光雷达的点云数据。一帧点云数据包含信头、扫描开始角度、数据接受时间、版本号、设备状态、报文计数、扫描频率、步进精度和数据量等信息,系统根据字节顺序从点云数据中提取距离信息。

(4)将点云数据进行聚类分析,识别障碍物和车辆。

(5)通过CAN总线采集自车速度,与预处理的数据一并输入防撞模型,计算安全距离阈值。

(6)系统根据所计算的安全距离阈值,决定是否报警。若需要报警,则启动声光报警模块,该模块包括LED报警和语音报警,在存储卡内预存语音信息,根据测得的距离值选择不同的语音进行播放。



图1 汽车防撞预警系统组成

Fig. 1 Construction of automotive anti-collision warning system

2 防撞模型

防撞模型作用范围是以自车为原点,半径为

45m的圆,并按图2所示进行分区。将与车辆行驶方向平行且处于自车正前方的区域设为前分区;将与车辆行驶方向平行且处于自车正后方的区域设为后分区;对于研究范围内其余方向设为侧分区。本文将对不同分区的车辆建立不同的数学模型。

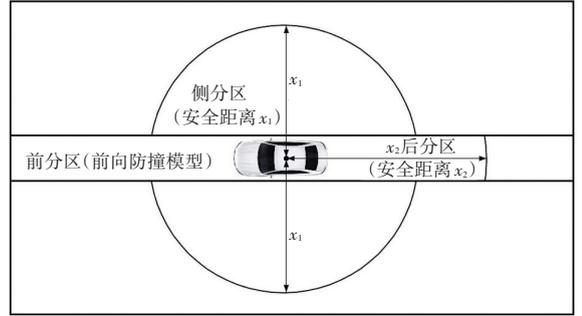


图2 探测范围分区示意图

Fig. 2 Schematic diagram of detection range partition

2.1 前分区防撞模型

对于前分区范围内的汽车,建立前向防撞模型,如图3所示。为使问题简化,做如下假设:

(1)两车同向匀速行驶,自车速度大于前车速度,且两车不断接近。

(2)两车均可视为质点。

其中, t_1 为反应延迟时间,即开始警报时,行驶者有效刹车前的延迟时间; t_2 为制动时间,即后车开始刹车至速度与前车相同所需的时间; a 为刹车加速度(负值),为从开始报警到 $v_1 = v_2$ 后车的行驶距离; S_2 是从报警开始到 $v_1 = v_2$ 时前车行驶的距离。

假设某时刻自车车速为 v_1 ,前车车速 v_2 , Δt 时间后,两车距离变化了 Δs ,则两车相对速度如式(1)所示:

$$v = v_1 - v_2 = \Delta s / \Delta t, \quad (1)$$

可得前车速度 v_2 :

$$v_2 = v_1 - (s_1 - s_2) / \Delta t, \quad (2)$$

后车减速过程中,在延时时间 t_1 内,两车匀速行驶,在制动时间 t_2 中,前车仍然匀速行驶,后车匀减速运动,故自车从系统开始报警到车辆停止前进的距离 S 如式(3)所示,从报警开始到 $v_1 = v_2$ 时前车行驶的距离如式(4)所示,

$$S = v_1 t_1 + v_1 t_2 + 1/2 a t_2^2, \quad (3)$$

$$S_2 = v_2 t_1 + v_2 t_2, \quad (4)$$

两车的相对速度为 $v = v_1 - v_2$,后车有效减速时间为:

$$t_2 = \frac{v_2 - v_1}{a} = -\frac{v}{a}. \quad (5)$$

则安全距离 S_1 为:

$$S_1 = S - S_2 = (v_1 - v_2) * (t_1 + t_2) + 1/2at_2^2 = v(t_1 - v/a) + v^2/(2a). \tag{6}$$

上式中, 延迟反应时间 t_1 一般为 0.1 s, 加速度 a 取决于路面附着系数, 对于同一车型同一路面, 也可粗略认为是常数, 则经过计算, 可得到实时的安全距离 S_1 。

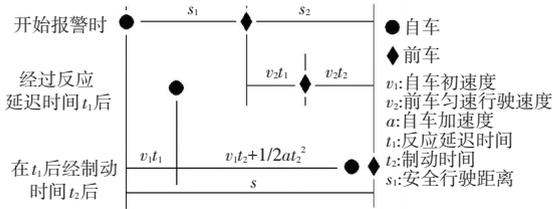


图 3 前向防撞模型示意图

Fig. 3 Forward anti-collision avoidance model

2.2 其它分区防撞模型

对于侧分区和后分区, 本系统分别设定两个安全距离 X_1 和 X_2 。在侧分区, 当其它车辆进入以自车为圆心, X_1 为半径的探测范围时, 系统进行声光报警; 在后分区, 当其它车辆与自车距离小于安全距离 X_2 时, 系统进行声光报警。

两车车距小于安全距离时, 声光报警模块点亮红色 LED 灯, 选择对应的语音通过 MP3 模块播放, 当实际车距大于安全距离时, 解除警报, 点亮绿色 LED 灯。

3 车辆点云信号识别

雷达输出的信号为离散的点, 为了识别车辆, 需要对点云信号进行数据分析。激光雷达输出数据为极坐标形式, 角度和距离存储在每一帧数据的前 4 个字节中, 提取出算角度和距离后, 将其转换成笛卡尔坐标形式, 即可进行点云聚类分析。

密度聚类算法根据样本密度检测样本之间的可连续性, 并根据可连续样本扩展聚类簇, 实现点云的聚类分析。DBSCAN (Density - Based Spatial Clustering of Application with Noise) 是一种典型的密度聚类算法, 该算法将密度足够高的区域划分为簇, 可以在带有“噪声”的数据中发现任意形状的聚类。DBSCAN 聚类簇内每个点都应满足在 Eps 的邻域内至少有 $MinPts$ 个点。任意一点 ‘p’ 的 ϵ 邻域定义为:

$$N_{Eps} = \{q \in D \mid dist(p, q) < Eps\}. \tag{7}$$

其中, D 为点云数据集; q 为点云数据集内的任一点; $dist(p, q)$ 为两点之间的距离; Eps 为用户指定的邻域半径。如果点 p 的 ϵ 邻域内包涵至少 $MinPts$

个点; 则点 p 被称为核心点, 核心点满足条件:

$$N_{Eps}(p) > MinPts. \tag{8}$$

DBSCAN 通过检测每个点的 ϵ 邻域内点云数量, 搜索点云簇。若任一点 p 的 ϵ 邻域内点云数量多于 $MinPts$, 则创建一个以点 p 为核心点的新点云簇, 之后继续搜索由核心点密度直达的点云, 在这个过程中会合并密度可达的点云簇。重复上述过程, 直到所有的点云都被访问到。

4 实验测试

本系统进行了若干次的昼夜不同环境路况的测试, 雷达点云聚类结果如图 4 所示。图 4a 和图 4c 为实测场景, 图 4b 和图 4d 分别为这两个场景的点云聚类结果。由图可知, 系统能够准确发现障碍物, 能够满足汽车正常行驶过程中的主动防撞需求, 提高了汽车的主动安全性。

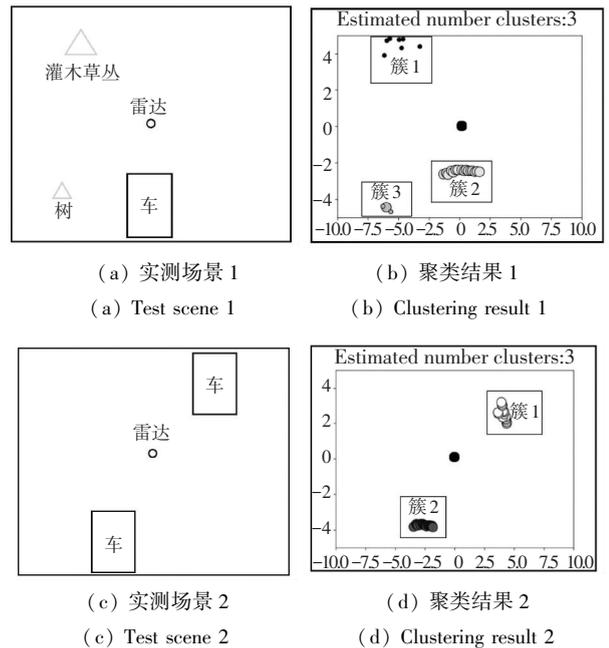


图 4 测试场景及点云聚类结果

Fig. 4 Test scenario and point cloud clustering results

5 结束语

本文设计了一种基于 360° 激光雷达的汽车防撞预警系统, 对汽车周围环境分区建立了防撞模型。利用 DBSCAN 算法实现了点云聚类, 并设计了基于 ARM 单片机的声光报警系统。通过实验测试验证本系统不仅能够及时检测到前后方车辆信息进行提醒, 同时可以检测到侧面的车辆信息, 进一步提升了汽车的主动安全性, 是一种全新有效的汽车主动防撞系统。

(下转第 291 页)