

车辆纵向安全距离算法及其防撞预警系统研究

王登贵, 张敬东, 张健, 于 朕

(攀枝花学院, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 为了降低交通碰撞事故, 在分析车辆制动历程基础上提出了一种新的车辆纵向安全距离算法, 并将安全距离分为提醒安全距离与警戒安全距离; 以 LPC2214 单片机为核心设计了基于激光测距的防撞预警系统, 采用 TDC-GP2 芯片作为激光飞行计时单元, 给出了激光发射及回波接收放大电路, 最后介绍了系统软件设计流程; 在自己车速为 100km/h, 前方车速为 0km/h 与 80km/h 时, 采用 Matlab 软件分别对制动历程进行仿真验证, 结果符合停车要求, 其算法准确、可靠, 具有较强的实际应用价值; 通过实验测试, 系统能很好测出前方车辆距离及运行状态, 及时发出报警。

关键词: 纵向安全距离; 激光测距; 单片机; 预警系统

Research on Vehicle Vertical Safety Distance Algorithm and Anti-collision Alarm System

Wang Denggui, Zhang Jingdong, Zhang Jian, Yu Bin

(Panzhuhua University, Panzhuhua 617000, China)

Abstract: In order to reduce collisions, based on the analysis of vehicle braking process, a new vertical safety distance algorithm is put forward in this paper, the safety distance distinguished warning distance and dangerous distance. The hardware system of anti-collision alarm system based on laser rangefinder with the LPC2214 as the core was designed, TDC-GP2 for timing laser flight. The software flow of system and amplifiers of laser transmitter and the receiver are introduced. Through Matlab test when car at 100km/h and preceding vehicle at 0km/h and 80km/h, the algorithm is precise and reliable, it has strong practical application value. The distance between the two cars can be range finding best by system through experiments.

Keywords: vertical safety distance; laser range finding; single-chip; alarm system

0 引言

近年来, 我国汽车工业发展飞速, 汽车已经成为人们生活中必不可少的交通工具, 但是车辆增多引起的交通事故已成为日益严重的问题之一^[1]。尤其在雨雪等恶劣天气条件下, 汽车在高速行驶时, 很难及时发现前面的障碍物并采取相应的紧急措施。因此, 为了能更加有效地降低交通安全事故, 保护驾驶人员生命财产的安全, 本文提出一种车辆纵向安全距离算法及预警系统, 能准确测出前方车辆距离, 结合安全距离根据自车运行速度及前方车辆的状态及时向驾驶员发出安全提醒与警戒信息, 使驾驶员能够及时采取制动措施, 降低碰撞事故。

1 安全距离算法

车辆行进中, 若驾驶员采取紧急制动措施, 其制动过程中车辆减速度、行驶速度和行驶距离的时间历程如图 1 所示。a) 图为经过简化后的制动减速度曲线。对其减速度求时间积分, 即可得到速度时间历程 b) 图, 再积分即可得到制动过程车辆的位移 c) 图。

制动位移是由相应时间间隔 t_0 、 t_1 及 t_2 的三段位移 s_0 、 s_1 及 s_2 组成。 t_0 为驾驶员反应时间, 是从驾驶员意识到需要紧急制

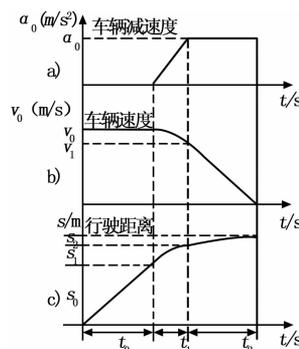


图 1 制动时间历程

动, 并将脚离开加速踏板到制动踏板, 以及消除制动装置中的间隙摩擦和弹性所需的结合时间, 一般为 0.55~1.55 s, t_1 为制动减速度增长时间, 一般为 0.2~0.25 s^[2], v_0 为自车制动前速度, v_1 为减速度增至 a_0 时的速度, a_0 为制动减速度。

1.1 自车制动过程分析

在 t_0 ($t = 0 \sim t_0$) 时段, 车辆以速度 v_0 匀速行驶, 则这段时间内:

$$\text{速度: } v = v_0 \quad (1)$$

$$\text{位移: } S_0 = v_0 \cdot t \quad (2)$$

在 t_1 ($t = t_0 \sim t_0 + t_1$) 时段, 车辆加 (实际为减) 速度由 0 增大至 a_0 , 则这段时间内:

$$\text{加速度: } a(t) = a_0 \cdot (t - t_0) / t_1 \quad (3)$$

$$\text{速度: } v_1(t) = v_0 - \int_{t_0}^{t_0+t_1} a(t) dt =$$

收稿日期: 2014-01-24; 修回日期: 2014-02-25。

基金项目: 2013 年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目 (201311360008); 攀枝花学院 2013 年度科研项目 (2013YB47)。

作者简介: 王登贵 (1981-), 男, 宁夏吴忠人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事交通设备控制方向的研究。

$$v_0 - \frac{a_0}{2t_1}t^2 + \frac{a_0 \cdot t_0}{t_1}t - \frac{a_0 \cdot t_0^2}{2t_1} \quad (4)$$

$$\text{位移: } S_1(t) = \int_{t_0}^{t_0+t_1} v_1(t) dt = v_0(t-t_0) - \frac{a_0}{6t_1}t^3 + \frac{a_0 \cdot t_0}{2t_1}t^2 - \frac{a_0 \cdot t_0^2}{2t_1}t + \frac{a_0 \cdot t_0^3}{6t_1} \quad (5)$$

在 t_2 时段 ($t = t_0 + t_1 \sim t_0 + t_1 + t_2$), 车辆以减速度 a_0 做匀减速运动, 则这段时间内:

$$\text{速度: } v_2(t) = v_1 - a_0(t - t_1 - t_0) = v_0 + \frac{a_0 \cdot t_1}{2} + a_0 \cdot t_0 - a_0 \cdot t \quad (6)$$

$$\text{位移: } S_2(t) = (v_0 + \frac{a_0 \cdot t_1}{2})(t - t_1 - t_0) - \frac{a_0(t - t_1 - t_0)^2}{2} \quad (7)$$

则车辆在整个制动过程中位移:

$$S = S_0 + S_1 + S_2 \quad (8)$$

1.2 前方车辆运动分析

前方车辆运动状态是根据自车速度和两者之间的距离 S 计算出来的, 受自车速度 v_0 和前方车辆速度 v_a 影响, S 是时刻在变化的。设在极短的时间 Δt 内, $\overline{v_0}$ 、 $\overline{v_a}$ 为两车的平均速度, 之间的距离变化为 ΔS [3]:

$$\Delta S = \Delta t(\overline{v_a} - \overline{v_0}) \quad (9)$$

$$\text{则 } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\overline{v_a} - \overline{v_0}) = dS/dt = v_a - v_0 \quad (10)$$

当 $dS/dt > 0$ 时, 即 $v_0 < v_a$, 此时两车间距离在增大, 报警抑制;

当 $dS/dt < 0$ 时, 则 $v_0 > v_a$, 此时两车间距离在减少; 同时可求出前方车辆:

$$\text{速度: } v_a = dS/dt + v_0 \quad (11)$$

$$\text{加速度: } a_a = dv_a/dt \quad (12)$$

1.3 提醒安全距离与警戒安全距离计算

为了避免追尾或碰撞事故, 在两车相对静止时应保持一段间距, 称为安全间距 dl , 一般 dl 取 $2.0 \sim 5.0 \text{ m}$ [3]。系统根据自车速度 v_0 、前车速度 v_a 、自车制动加速度 a_0 及前车加速度 a_a 可计算出安全距离, 并将其分为提醒安全距离与警戒安全距离。

取 $v_a = 0$ (视前车静止) 时的安全距离最小值为提醒危险距离 S_w , 则

$$S_w = S + dl \quad (13)$$

考虑前方车辆在运行中采取制动时间及制动加速度大小的随机性, 取 $a_a = a_0$ (即前车最大紧急制动, 视与自车相等) 时的安全距离最小值为警戒安全距离 S_u 。则:

$$S_u = S + dl - v_0^2 / (2a_0) \quad (14)$$

车辆在运行中检测到前方车辆, 不断地发射、接收激光, 根据激光测距原理公式:

$$S = c \cdot t / 2 (C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}) \quad (15)$$

通过测得激光的飞行时间来测得前方车辆距离 s , 极短时间的几次测量后, 根据公式: (11) 计算出其前方车辆的速度 v_a , 由 (13)、(14) 式求出 S_w 、 S_u , 将 s 与 S_w 、 S_u 不断进行比较, 当 s 等于提醒安全距离 S_w 或警戒安全距离 S_u 时, 则预警系统向驾驶员发出声光报警信号。

2 车辆防撞预警系统硬件设计

系统硬件部分主要包括控制器单元 (以 LPC2214 单片机为核心)、激光飞行计时单元、激光发射及回波检测单元、路面选择单元、自车车速检测单元、液晶显示电路及声光报警电路等, 如图 2 所示 [4]。

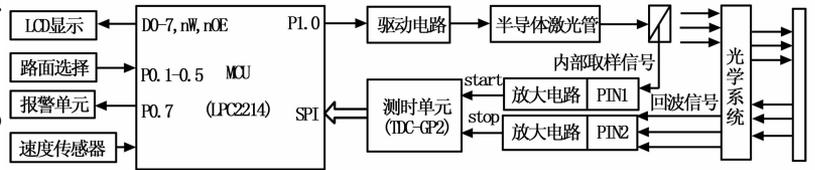


图 2 系统总体结构

系统工作原理为单片机控制半导体激光管发出脉冲激光, 同时内部取样信号经放大整形后触发测时单元 TDC-GP2 开始 (start) 计时, 出射激光遇到障碍物后发生漫反射被检测单元接收, 经放大电路滤波、去噪、放大后触发测时单元停止 (stop) 计时。LPC2214 单片机读取计时结果值, 计算障碍物距离, 结合速度传感器测得的自车速度判断障碍物运行状况并计算车辆纵向安全距离, 与当前两车距离比较后由报警单元发出不同的报警信息, 显示模块输出显示距离、速度及提示信息。

2.1 激光波长选择与发射

激光传感器有很多种, 各有优缺点, 用于测量车距的传感器应具有成本低、体积小、精度高等特点, 本系统选用半导体激光器。考虑激光对人体的安全因素, 选用波长为 905 nm 的安全半导体激光, 测量范围可达 $0.1 \sim 150 \text{ m}$ 。

系统射出的激光遇到障碍物后发生漫反射, 接收到的反射光强度会大大的削弱。提高激光器的驱动电流, 就会增大输出功率, 增强出射光在目标表面产生的漫反射, 使系统的有效测距范围得到保证。图 3 为系统激光发射器驱动电路图, 单片机引脚 PL.1 输出脉冲信号经反相器反相后控制闭合电子开关 MAX4516 闭合与断开, 从而来控制半导体场效应晶体管 MOSFET 导通与关闭。当 MOSFET 关闭时, 直流电压通过 R_5 、 R_6 和 D_2 对 C_4 充电; 当 MOSFET 导通时, C_4 经 Q_1 、 L_D 、 R_6 迅速放电, 从而使 L_D 发出功率较大的激光脉冲 [5]。

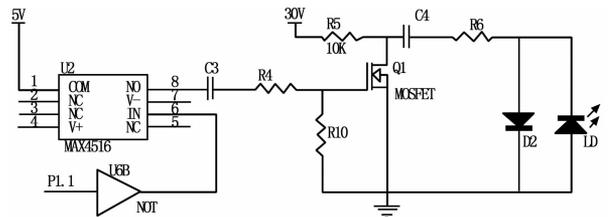


图 3 激光驱动电路

2.2 光电转换放大电路

用于测距的出射采样信号和回波信号是通过半导体光电二极管来接收的, 接收电路首先将接收的光信号转变成一个大小随光强度变化的电流信号, 经前置放大电路把电流信号转换成电压信号, 后续电路处理电压信号得到需要的测距信号。由于接收到的回波信号比较弱, 仅由前置放大电路将电流信号转换成电压信号是远远不够的, 因此还需要主放大电路对前置放大电路输出的微弱电压信号进行放大。本设计中选用了具有高增益带宽为 1.6 GHz 的放大器 OPA657 作为电路运放构成两级

放大电路, 其光电转换及放大电路如图 4 所示^[6]。

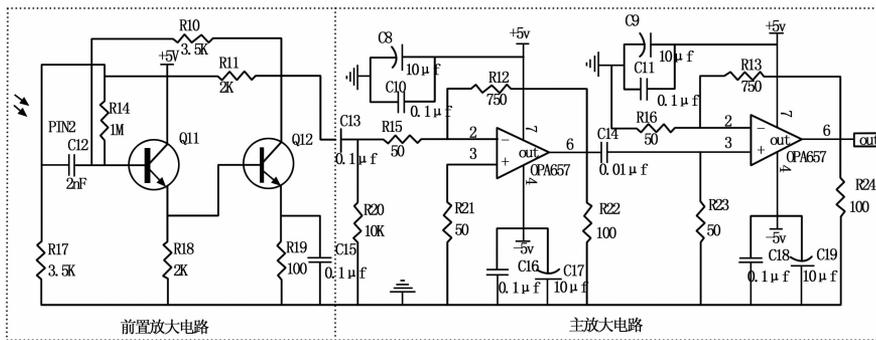


图 4 光电转换及放大电路

2.3 测时单元

激光测距中, 测量精度除了受脉冲上升沿、接收通道带宽、信噪比的影响外, 脉冲激光飞行的时间间隔测量精度对其起着决定性的作用。本设计采用时间数字转换 TDC 技术^[7], 通过单片机控制时间数字转换芯片 TDC-GP2 进行测距激光飞行时间间隔测量, TDC-GP2 直接将测得的时间转换成数字量被单片机读出。TDC-GP2 综合了脉冲计数法和延迟线插入法来完成时间间隔测量的, 具有测时精度高和测量范围大的优点。

在图 2 所示的系统结构图中, 光电二极管 PIN1 接脉冲激光的采样信号后, 经放大电路滤波及减小噪声影响后输出信号给 GP2 的 start 引脚, GP2 开始计数, PIN2 接收到回波信号后同样经放大电路滤波及减小噪声影响后输出信号给 GP2 的 stop 引脚, GP2 停止计数, 通过内部算术逻辑单元 ALU 计算出时间间隔并以数字形式存入结构寄存器供单片机读取处理。

3 系统控制软件设计

系统的软件开发平台采用 Keil RealView MDK 集成开发环境, 采用模块化结构思想编程, 主要由主程序、激

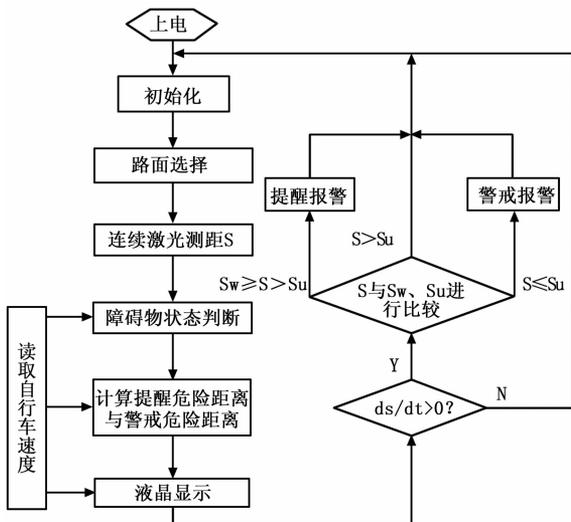


图 5 程序流程图

光测距子程序、安全距离计算子程序、报警子程序、显示子程序等模块组成, 程序流程图如图 5 所示。

系统上电后对单片机、显示模块及 TDC-GP2 初始化, 根据实际选择路面状况, 实时测量前方障碍物距离 S , 并结合自车速度判断极短时间间隔 ΔS 情况, 当 $dS/dt > 0$ 时, 判断为两车距离在增大, 不发生报警信息, 继续测距, 同时将信息通过 LCD 进行显示; 当 $dS/dt < 0$ 时, 两车距离减小, 算出安全距离并与当前 S 进行比较, 根据比较结果调用对应的声光报警程序, 报警同时继续检测。

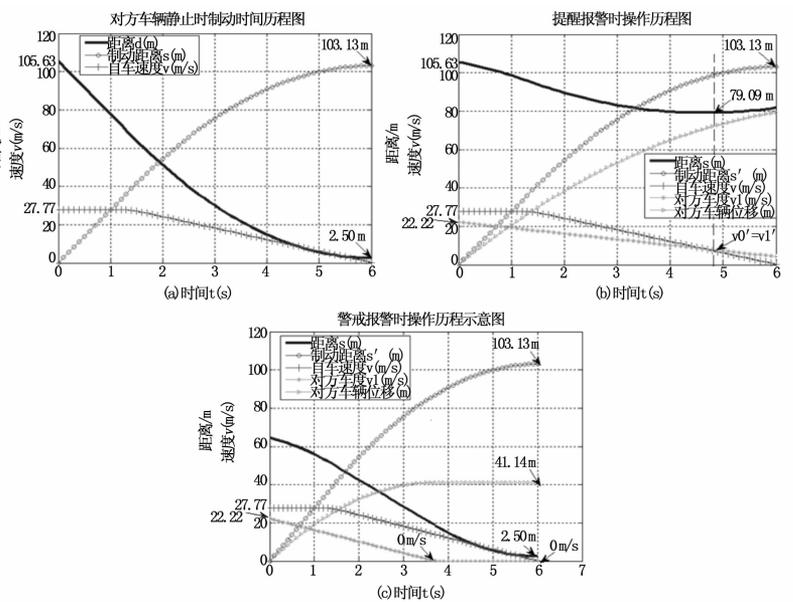


图 6 报警时制动车辆行驶历程图

4 实验结果与分析

实验时, 为了驾驶员能够有充分的制动反应时间, 取 $t_0 = 1.3$ s, $t_1 = 0.2$ s, 安全间距 $dl = 2.5$ m。对于制动加速度 a_0 , 主要取决于路面各种状况^[8], 取水泥路面: 干燥时 $a_0 = 6.5$ m/s², 潮湿时 $a_0 = 5.0$ m/s²; 沥青路面: 干燥时 $a_0 = 6.0$ m/s², 潮湿时 $a_0 = 4.0$ m/s²; 冰雪路面 $a_0 = 2.5$ m/s²。测试中, 车速来源于车辆本身的车速采样信息, 系统能很好显示数据信息。

用 Matlab 对其进行验证, 路面选择干燥的沥青路面, 取自车车速 $v_0 = 100$ km/h = 27.77 m/s, 在各种情况下自车制动后车辆的速度、位移及之间的距离时间历程如图 6 所示, 其中 (a) 图为前方车辆为静止时, 其自车在提醒报警和警戒报警时采取制动的的时间历程图; (b) 图为当前方车辆车速 $v_a = 80$ km/h = 22.22 m/s (减速度 a_a 为 3 m/s²) 时, 自车在提醒报警时就采取制动的的时间历程图; (c) 图为 $v_a = 80$ km/h = 22.22 m/s 情况下警戒报警 (视 $a_a = 6$ m/s²) 时采取制动的的时间历程图。

从图 6 中看出, 当提醒报警时采取制动措施 (当 $a_0 =$ (下转第 2222 页))

如图 4 给出了网络的收敛时间变化趋势。可以看出, 3 种算法的收敛时间都随着网络规模的增加而增加, 其中 RBS 算法的收敛时间远远高于 TPSN 和 DDCSS, DDCSS 总是能够在短时间内就能使节点收敛, 且随着节点数量的增加逐渐优于 RBS 和 TPSN。

图 5 是 3 种算法分别在不同网络规模下仿真的同步开销情况。可以看出 DDCSS 同步开销较小, 主要是因为同步消耗的能量分散到网络的各个节点中, 从而降低了开销。

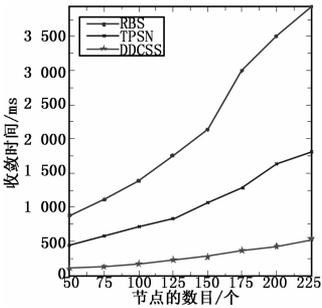


图 4 各算法收敛时间

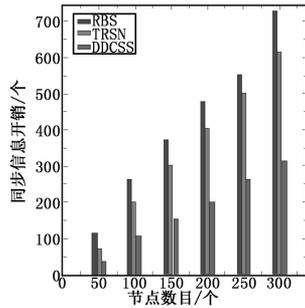


图 5 信息开销比较

图 6 给出了算法的同步误差与节点跳数的变化关系。可以看出 RBS 和 TPSN 的同步误差较高, 随着节点跳数的增加其误差更加明显。而 DDCSS 算法则由于采取了平均时钟扩散, 消除了误差累加, 同步误差较低, 因此 DDCSS 算法非常好的适应了网络规模的变化。

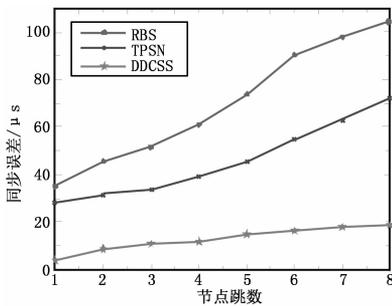


图 6 各算法同步误差

(上接第 2205 页)

6 m), 在 t 时两车的相对速度变为 0 了, 之后之间的距离开始变大, 安全报警会自动解除; 警戒报警时 (视 a_a 突变为 a_0), 则警戒安全距离为 62.27 m, 及时制动至停止后两车间距也正好为 2.5 m。通过 Matlab 验证, 此算法准确可靠。

5 结论

为了减少车辆高速行驶时纵向碰撞事故, 本文提出了新的安全距离算法, 根据自车车速与两车之间距离的变化可准确算出提醒安全距离与警戒安全距离, 经 Matlab 验证, 算法符合实际, 能准确算出提醒安全距离与警戒安全距离。在防撞预警系统设计上, 以单片机 LPC2214 为核心, 以高精度计数芯片 TDC-GP2 为计时单元, 在 Keil RealView MDK 集成开发环境编程实现控制功能, 能准确地测出车间实时距离, 及时发出提醒报警与警戒报警信息。综上所述, 本研究安全距离算法在车辆交通运行中值得推广, 预警系统在减少车辆纵向碰撞事故方面值得进一步研究与应用。

3 结论

基于分布式扩散的传感器网络自同步协议 DDCSS 采用局部化、分布式的方法, 同步不依赖于特定的节点, 自组织实现网络的同步, 把同步消耗的能量分散到网络的各个节点中, 因此协议具有很好的适应环境的能力、高的可靠性, 并且算法简单, 可以根据网络应用的需要调整同步的参数, 从仿真实验结果即可看出 DDCSS 同步收敛速率更快, 同步误差性能更好, 特别适合于大规模传感器网络的同步。

参考文献:

- [1] 陶志勇, 胡明, 王颖慧. WSN 中簇组结构上的时间同步算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (9): 2597 - 2599.
- [2] Dong D Z, Liao X K, Liu Y H. Edge self-monitoring for wireless sensor networks [J]. IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems, 2012, 23 (3): 514 - 527.
- [3] Scaglione A, Hong Y. Opportunistic large arrays: Cooperative transmission in wireless multihop ad hoc networks to reach far distances [J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2003, 51 (8): 2082 - 2092.
- [4] Hu A S, Servetto S. D. A scalable protocol for cooperative time synchronization using spatial averaging [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006, (10).
- [5] Hohg Y, Scaglione A. A scalable synchronization protocol for large scale sensor networks and its applications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 2005, 23 (5): 1085 - 1099.
- [6] Wu Y C, Chauhari Q, Serpedin E. Clock synchronization of wireless sensor networks [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28 (1): 124 - 138.
- [7] Wu J S, Jiao L C, Ding R R. Average time synchronization in wireless sensor networks by pairwise messages [J]. Computer Communications, 2012, 35 (2): 221 - 233.
- [8] Yang J Y, Kim D Y. Precise time synchronization based on ripple flooding in wireless sensor networks [J]. IEICE Electronics Express, 2012, 9 (7): 691 - 697.
- [9] Xiao Y, Wang, Rajeev K, Dokania, Alyssa Apsel. PCO-based synchronization for cognitive duty-cycled impulse radio sensor networks [J]. IEEE Sensors Journal, 2011.

参考文献:

- [1] 陈文鹤, 毕欣, 曹云侠. 毫米波汽车防撞雷达波形设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (11): 2714 - 2716.
- [2] 何锋. 汽车动力学 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003.
- [3] 孙斌. 基于汽车追尾事故形态分析的避撞算法研究 [J]. 公路交通科技, 2013, 30 (8): 140 - 146.
- [4] 任全会, 马蕾. 以 SOPC 为基的激光测距系统的设计与实现 [J]. 现代制造工程, 2012, (10): 125 - 128.
- [5] 赖志平, 蔡涛, 彭志红. 基于雪崩晶体管的多电流 1550nm 激光驱动电路 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36 (s): 349 - 352.
- [6] 赵忠伟, 张玉钧, 沈超. 脉冲激光引信光电转换系统的设计 [J]. 激光技术, 2012, 36 (3): 326 - 329.
- [7] 张黎明, 张毅, 赵欣. 基于 TDC 的激光测距传感器飞行时间测量研究 [J]. 传感器与微系统, 2011, 30 (12): 71 - 74.
- [8] 段斌. 汽车自动防撞系统的研究 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2012.