

# 基于回波探测的汽车防撞系统智能测距方法<sup>\*</sup>

陆兴华 彭意达

(广东工业大学华立学院 广州 511325)

**摘要:** 在智能汽车防撞系统设计中,采用回波探测方法进行智能测距是避免汽车碰撞,实现主动制动的关键技术。传统方法采用局部传感器节点量化跟踪方法进行汽车测距,随着车辆速度和停等频率的增大,测距准确性下降。提出一种基于二次谐波线性调频信号回波探测的汽车防撞系统智能测距方法。首先分析了汽车智能防撞系统的回波探测测距原理,汽车在行驶过程中受到电磁场等脉冲信号的干扰,设计 IIR 自适应滤波器,进行干扰抑制,提取回波信号的冲激响应特征实现智能测距。仿真结果表明,该方法进行汽车防撞测距,具有较好的距离估计精度,受到干扰影响较小,测距精度较高,能有效应用在智能汽车防撞系统中。

**关键词:** 回波探测;汽车防撞系统;智能测距;传感器

**中图分类号:** TP271 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

## Intelligent ranging method of vehicle anti collision system based on echo detection

Lu Xinghua Peng Yida

(Huali College Guangdong University of Technology, Guangzhou 511325, China)

**Abstract:** In the design of intelligent vehicle collision avoidance system, the intelligent distance measurement is the key technology to avoid the collision of the vehicle and avoid the collision of the vehicle. In the traditional method, the local sensor nodes are used to quantify the tracking method, and the accuracy of the measurement is decreased with the increase of vehicle speed and stop. An intelligent ranging method based on the two time harmonic linear frequency modulated signal detection is proposed. Firstly, the echo detecting and ranging principle is analyzed. And then, the IIR adaptive filter is designed, and the impulse response of the echo signal is realized. The simulation results show that the method has better accuracy and less influence on distance estimation, and can be used in intelligent vehicle collision avoidance system.

**Keywords:** echo detection; automotive anti collision system; intelligent ranging; sensor

## 1 引言

近年来,随着现代集成制造业和电子工业的进步发展,汽车工业得到了迅猛发展,汽车的智能化水平越来越高。在汽车智能化发展中,汽车的安全设计问题一直是广大汽车设计和制造商重点关注的问题。研究智能汽车防撞系统成为保证汽车安全的关键。智能汽车防撞系统是一种智能化的安全装置,通过汽车智能防撞系统对汽车制动系统进行控制和调节,采用优化的控制方法不断地调节车轮制动力,防止车轮抱死引起汽车的侧滑和转向失效,在汽车智能防撞系统的介入下,能够有效地避免汽车碰撞和制动失效

等带来的危险<sup>[1]</sup>。

智能汽车防撞系统设计中,采用回波探测方法进行智能测距是避免汽车碰撞,实现主动制动的关键技术。传统的智能汽车防撞系统的测距方法主要采用如雷达目标测距方法、传感器自适应感知测距方法和主频分离测距方法等,其中采用主动发射脉冲进行回波探测测距是未来智能汽车防撞系统测距模块设计发展趋势<sup>[2-5]</sup>。对此,相关文献进行了深入的研究,取得了一定的成果。其中,文献[6]提出一种基于线性调频分离和速度估计的汽车雷达测距方法,并应用到汽车防撞系统软件设计中,该测距方法采用稳压主频分离测距进行远程探测,提高了测距精度,但是随着汽车

收稿日期:2015-10

<sup>\*</sup> 基金项目:2012 广东省质量工程人才培养实验区项目(粤教高函[2012]204 号)、2014 年广东省大学生科技创新培育项目(pdjh2015b0941)、2015 年国家级大学生创新创业训练计划项目(201513656003)、2012 广东省质量工程项目“机电综合技能实训中心”(粤教高函[2012]204 号)资助项目

行驶速度的增大,导致测距精度不高;文献[7]提出一种基于目标回波尺度估计的测距方法,采用 CSMC0.6 mCMOS 技术,对稳压主频分离测距系统进行硬件模块设计,实现了智能防撞系统设计,但是该方法汽车探测回波的主频信息传递过程中容易导致信息丢失,虚警概率提高,应用性能不好。针对上述问题,本文提出一种基于二次谐波线性调频信号回波探测的汽车防撞系统智能测距方法。采用回波探测信号处理方法,首先对测距算法改进设计,通过仿真实验进行了性能测试和验证,展示了本方法在实现汽车智能测距中的优越性能,得出有效性结论。

## 2 智能汽车防撞系统的测距原理和回波探测模型

### 2.1 智能汽车防撞系统的测距原理

智能汽车防撞系统进行汽车前向测距的基本思想是主动发射电磁脉冲信号,遇到障碍区时进行回波探测,通过对多车道数据记录分析,结合信号处理方法实现声光报警和主动制动,智能汽车防撞系统设计示意图如图 1 所示。

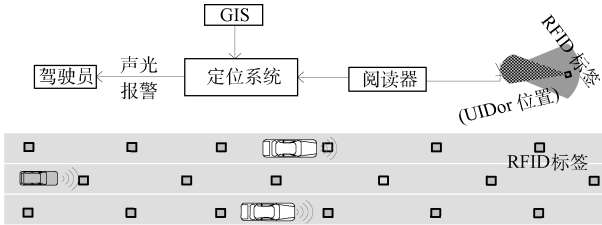


图 1 智能汽车防撞系统的构建示意

从图 1 可见,在进行智能汽车防撞系统设计中,最为关键的基础技术是实现智能测距。通过对汽车与前向和侧向障碍的距离感知和测量,实现汽车制动的智能介入和报警、在智能汽车防撞系统中,装有 RFID 阅读器的车辆读出汽车的速度和距离等参数,进行回波探测,当汽车进行刹车时,智能汽车防撞系统能够智能汽车防撞系统的作用下,汽车能有效规避风险<sup>[8]</sup>。

为了实现智能汽车防撞系统的测距,首先需要构建汽车前向探测回波信号模型汽车前向探测回波传输信道中,车辆密度取统计平均,采用电磁脉冲传感器进行主动脉冲发射<sup>[9]</sup>,发射的信号脉冲为:

$$y(t) = \sqrt{s}u[s(t - \tau_0)] \quad (1)$$

式中: $s$ 为采样幅值, $\tau_0$ 为时间延迟,对主动探测脉冲信号进行时延扩展,雷达波信号为 $u(t)$ ,接收的测距车辆的回波信号为 $y(t)$ ,信息码信号 $S_i(t)$ 。

$$S_i(t) = S(t)h(t) + n_i(t) \quad (2)$$

式中: $n_i(t)$ 为智能汽车防撞系统的电磁脉冲发射中的本地干扰噪声,通过获得的局部信息进行量化跟踪,得到汽车测距过程中的时延为最大传输的差值。对安装在汽车前向雷达探测上的测量噪声进行时频分析,得到噪声信号的之间的相关度为:

$$\begin{cases} E\{w(k)u_i^T(k)\} = \mathbf{B}_i(k), i = 1, 2, \dots, N \\ E\{u_i(k)u_j^T(k)\} = \mathbf{D}_{ij}(k), i, j = 1, 2, \dots, N, \text{且 } i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

式中:汽车前向障碍物的初始状态 $\mathbf{x}(0)$ 均值为 $x_0$ ,方差为 $P_0$ ,单个传感器的加权向量为 $w(k)$ 和 $u_i(k)$ , $i = 1, 2, \dots, N$ 。通过时间加窗处理,得到一个可分辨的延时信号与汽车发射的主动脉冲信号的时间差值:

$$\begin{aligned} r'(t) &= S_i(t)p_r(-t) \\ &= [S(t)h(t) + n_i(t)][p(-t)h(-t) + n_p(-t)] \\ &\approx S(t)p(-t)\delta(t) + n_1(t) \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $n_1(t)$ 为主动脉冲探测过程中的干扰项; $\Delta$ 是脉冲展宽的时间,车辆簇的时间间隔为 $T$ ,通过上述分析,采用脉冲探测方法进行汽车测距。

### 2.2 脉冲信号分析和滤波处理

在上述进行了智能汽车防撞系统的原理分析的基础上,采用信号处理方法进行测距算法构建,传统方法采用局部传感器节点量化跟踪方法进行汽车测距,随着车辆速度和停等频率的增大,测距准确性下降。为了克服传统方法的弊端,本文提出一种基于二次谐波线性调频信号回波探测的汽车防撞系统智能测距方法。根据上述构建的目标回波模型,提取汽车测距脉冲信号的幅值:

$$X_p(u) = F^p x(t) = F^p [x(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} K_p(t, u) x(t) dt \quad (5)$$

式中: $F^p$ 表示取分数阶傅里叶变换, $K_p(t, u)$ 表示脉冲信号的归一化尺度,在同一条道路上,不同车道的物联网车辆流场中,车辆的测距目标尺度可以忽略,将车里目标看作一个点目标。若计算获得簇内路面的干扰项,得到接收信号的宽度为 $T + \Delta h(t)h(-t)$ ,目标尺度可以忽略,得到汽车前方障碍物的回波信号为 $y(t)$ ,电磁干扰为均值为 0 且方差为 $Q(k)$ 的色噪声,假设汽车防撞系统给出的发射信号为 $f(t)$ ,收发端口得到的脉冲回波信号为 $r(t)$ ,汽车启停装置接收端的探测回波信号模型为:

$$r(t) = g(t) + n(t) \quad (6)$$

式中: $g(t)$ 为主频分离测距的误差; $n(t)$ 为模糊函数。假设汽车处于一个匀速运动,汽车同车道的前向车辆的运行速度为 $v$ (目标与系统平台逼近时为负),采用矩形包络二次谐波线性调频信号进行回波模拟,形式为:

$$y(t) = u[s(t - \tau_0)] \quad (7)$$

式中: $s = (c - v)/(c + v)$ 称为时间尺度,对信号进行低通滤波,得到邻居节点汽车相对移动的速度调制信息为:

$$l(t) = A_l \cos(2\pi f_0 t + \alpha_l) \quad (8)$$

由于汽车在行驶过程中受到电磁场等脉冲信号的干扰,本文设计 IIR 自适应滤波器<sup>[10]</sup>,进行干扰抑制,滤波器结构如图 2 所示。

通过图 2 给出的滤波器进行干扰滤波,得到汽车防撞系统接收到的窄带脉冲信号为:

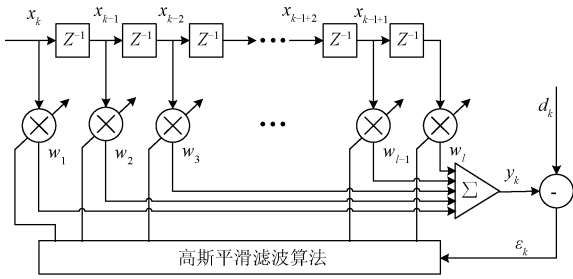


图 2 汽车回波探测信号滤波器结构

$$S_0(t) = a_0 \delta(t) \tag{9}$$

将目标看作一个点目标,以接收信号进行距离估计,由于过程噪声  $w(k)$  的离散型,通过峰脊陡变调制,对探测回波信号进行指向性约束聚焦<sup>[11]</sup>,得到输出响应为:

$$x(t) = \sum_{i=0}^p a(\theta_i) S_i(t) + n(t) \tag{10}$$

式中:  $a(\theta_i)$  表示高斯平滑系数,  $s_i(t)$  表示汽车测距的能量频谱。通过上述信号处理和滤波处理,可以提高汽车测距精度。

### 3 汽车防撞系统的智能测距算法改进实现

在上述进行了信号模型构建和滤波预处理的基础上,对回波探测信号进行特征提取,实现智能测距,本文提取的汽车回波探测信号为冲激响应特征。采用二次谐波线性调频信号进行汽车测距的回波模拟,输入的探测脉冲信号为二次谐波线性调频信号为单频信号  $\cos 2\pi f_0 t$ ,其中  $f_0$  为探测脉冲的采样时间频率,令  $s = (c - v)/(c + v)$  成为时间尺度,提取脉冲信号的二阶自相关量,为了使发射的脉冲信号能有效反应汽车距离,采用宽带自模糊度函数对信号进行线性调频处理,得到宽带自模糊度函数为:

$$\psi(s, \tau) = |\chi_{us}(s, \tau)|^2 \tag{11}$$

式中:  $\chi_{us}(s, \tau) = \sqrt{|s|} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) u^*[s(t - \tau)] dt$  为峰脊陡变因子,采用宽带二次谐波分解方法,得到探测脉冲信号。信号  $y(t)$  由  $y_1(t), y_2(t)$  构成,在交通拥堵的情况下,采用盲频谱检测进行二次谐波调制<sup>[12-15]</sup>,得到汽车测距输出的调幅结果为:

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) \tag{12}$$

式中:探测脉冲的基波信号形式为:

$$y_1(t) = A_1(t) \exp[j2\pi(f_{10}t + \frac{1}{2}K_1t^2)] \tag{13}$$

汽车防撞系统的回波反射谐波信号表示为:

$$y_2(t) = A_2(t) \exp[j2\pi(f_{20}t + \frac{1}{2}K_2t^2)] \tag{14}$$

式中:探测脉冲信号的量化噪声  $q_i(k)$  的方差满足:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_q^i(k) &= E[q_i(k)q_i^T(k)] \\ &\leq \text{diag}\{\Delta_1^2(k, 1)/4, \Delta_2^2(k, 2)/4, \dots, \Delta_p^2(k, p)/4\} = \bar{\mathbf{R}}_q^i(k) \end{aligned} \tag{15}$$

为了提高汽车测距中的距离估计精度,假设  $t + 1$  时刻

的障碍物节点  $o_i$  的回波反射强度为  $L (L \geq 3)$ ,随机选择 6 个障碍节点,得到障碍物节点的二维信息熵特征提取的迭代公式为:

$$z_k^i = h_k^i(x_k, u_k) + v_k^i, i = 1, 2, \dots, M \tag{16}$$

在汽车测距中,障碍物的方位角度分界值  $Th$  大于 0。采用 Patterson's Ear Model 模型得到汽车前向障碍物的方位状态向量:

$$Z_{i,k+1|k}^* = h_{k+1}(X_{i,k+1|k}, u_k) + r_k, i = 1, 2, \dots, m \tag{17}$$

采用信号幅度调制机理<sup>[16]</sup>,基于信息分配原则计算距离估计测预测值为:

$$\hat{z}_{k+1|k} = m^{-1} \sum_{i=1}^m Z_{i,k+1|k}^* + r_k \tag{18}$$

通过动态的跟踪信号的强度,实现汽车测距,得到最终的距离参量估计信息矩阵为:

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{y}}(k|k) = \hat{\mathbf{y}}(N, k|k) \\ \mathbf{Y}(k|k) = \mathbf{Y}(N, k|k) \end{cases} \tag{19}$$

通过提取脉冲信号的冲激响应特征,信道冲激响应函数的自相关函数具有盲高斯性,采用特征提取方法结合回波探测,得到本文设计的智能汽车防撞系统的测距全局估计  $\hat{x}_{k|k}^*$  是最优无偏的,性能优越。综上分析,得到本设计的智能汽车防撞系统的测距模型的结构模型如图 3 所示。

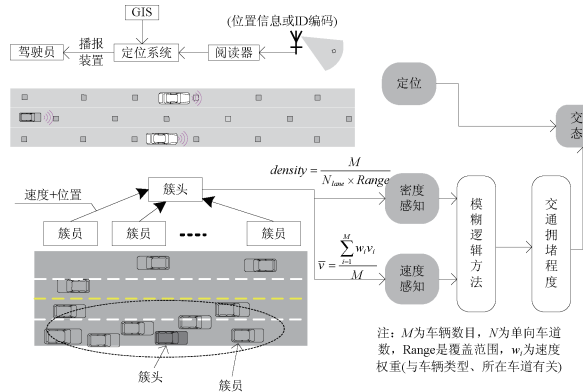


图 3 汽车智能防撞系统中测距模型系统模型

### 4 仿真实验与性能分析

为了验证本文算法在实现智能汽车防撞系统的测距中的性能,进行仿真实验,仿真软件建立在 Netlogo 仿真场景上,汽车行驶过程中道路宽度设置为 1 unit,路面长度为 15 patches 折合 10 km,汽车防撞系统发射的探测脉冲信号的基波截止频率为 25 kHz,通信范围为 5 个 patches,带宽 40 kHz,仿真中的道路上汽车数量设定为 40 辆。在测距信号采集中,系统采样率至少 200 kHz,系统第一级放大倍数的建立时间 23 ns(达到 0.01%),系统的功耗小(仅为 34 mW)。根据上述仿真环境和参数设定,进行智能汽车仿真系统的智能测距仿真软件设计,智能汽车防撞系统的传感器阵元发射二次谐波线性调频脉冲信号,得到接收到的

回波探测信号,并采用本文方法进行冲激响应特征提取,得到回波探测信号的冲激响应特征提取结果如图4所示。

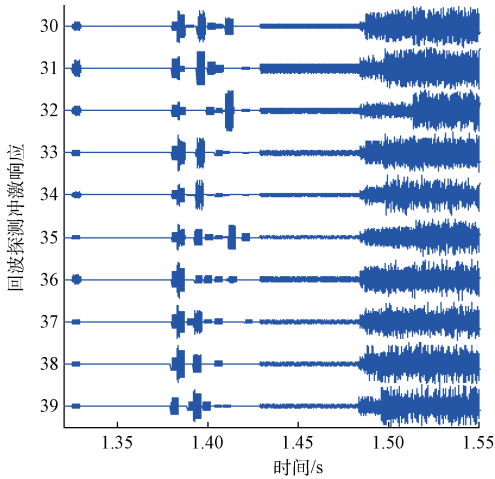


图4 回波探测冲激响应特征提取结果

根据上述冲击响应特征提取结果进行距离估计,实现汽车智能测距,为了对比算法性能,在不同的干扰强度SNR下,得到不同方法进行汽车测距的参量估计结果如图5所示。从图5可见,采用本算法,具有较好的距离估计精度,受到干扰影响较小,测距精度较高。

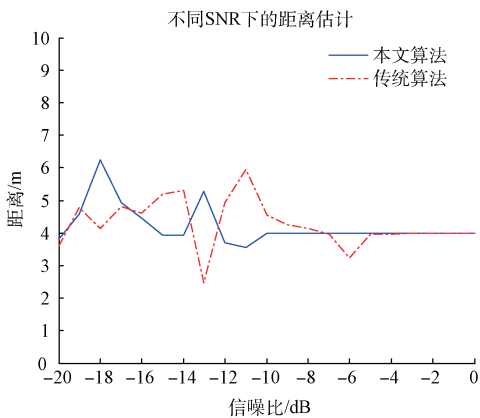


图5 测距性能对比

## 5 结 论

研究智能汽车防撞系统成为保证汽车安全的关键,智能汽车防撞系统设计中,采用回波探测方法进行智能测距是避免汽车碰撞,实现主动制动。本文提出一种基于二次谐波线性调频信号回波探测的汽车防撞系统智能测距方法。首先分析了汽车智能防撞系统的回波探测测距原理,采用二次谐波线性调频信号进行汽车测距的回波模拟,然后进行干扰滤波设计,最后提取回波信号的冲激响应特征实现智能测距。仿真结果表明,采用本文方法进行汽车智能测距,距离参数的估计精度较高,测距准确,应用在智能

汽车防撞系统中,具有较好的汽车安全防护能力。

## 参考文献

- [1] 李巍,齐巍,丁赤飏,等.基于分布式雷达的宽带脉冲三维测距机制及方法研究[J].电子与信息学报,2015,37(3):643-650.
- [2] 甄建军,张毅,胡光波.基于螺旋平面线圈的感应电能传输技术研究[J].电气自动化,2014,36(2):78-80.
- [3] 李永锋,张国良,王峰,等.基于快速视觉里程计和大回环局部优化模型的改进VSLAM算法[J].机器人,2015,37(5):557-565.
- [4] 谢俊好,李波.T/R-R高频地波雷达球面定位算法研究[J].电子学报,2012,40(3):435-440.
- [5] 柳超,李秀友,黄勇.优化的多模型粒子滤波机动微弱目标检测前跟踪方法[J].信号处理,2015,31(9):1131-1137.
- [6] XU S, LAM J, ZHANG B, et al. A new result on the delay-dependent stability of discrete systems with time-varying delays [J]. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2014, 24 (16): 2512-2521.
- [7] OH H, KIM S, SHIN H S, et al. Rendezvous and standoff target tracking guidance using differential geometry [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2013, 69(1-4): 389-405.
- [8] 胡荣娜,郭爱煌.车联网中基于功率控制的传输可靠性算法[J].计算机应用,2015,35(6):1523-1526.
- [9] 张大彪,于化龙.基于LabVIEW的汽车防撞报警系统的设计[J].计算机工程与应用,2008,44(21):54-56.
- [10] 黄文卿,张兴春,张幽彤.一种交流逆变器死区效应半周期补偿方法[J].电机与控制学报,2014,18(5):24-29.
- [11] 张冀,徐科军.自动生成转速参考曲线的电动执行器定位方法[J].电子测量与仪器学报,2014,28(11):1222-1234.
- [12] 安慰宁,张福民,吴翰钟,等.一种基于飞秒光频梳频域干涉的绝对测距方法[J].仪器仪表学报,2014,35(11):2458-2465.
- [13] 陈超波,沈辰,高嵩.公路超载车辆动态预检系统的研究[J].国外电子测量技术,2014,33(12):49-52.
- [14] 石鑫,周勇,胡光波.基于信号峰脊陡变调制的雷达测距算法[J].物联网技术,2015,5(4):12-14.
- [15] 赵石磊,郭红,刘宇鹏.基于轨迹跟踪的线性时滞系统容错控制[J].信息与控制,2015,44(4):469-473.
- [16] MAHMOUD E E. Complex complete synchronization of two nonidentical hyperchaotic complex nonlinear systems[J]. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 2014, 37(3): 321-328.

## 作者简介

陆兴华,1981年出生,硕士,讲师,主要研究方向为计算机控制算法、人工智能。

E-mail:lxhxjtul@126.com

彭意达,1994年出生,本科在读,主要研究方向为计算机控制技术。