第 30 卷 第 11 期
2007 年 11 月

合肥工业大学学报(自然科学版)
JOURNAL OF HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Vol. 30 No. 11
Nov. 2007

基于相位测距原理的汽车防撞雷达

张长会， 牛忠荣
(合肥工业大学 土木建筑工程学院,安徽 合肥 230009)

摘 要:文章将相位测距法用于解决汽车安全领域里的物体距离测量,对基于相位测距原理的雷达进行了理论分析。在样机研制过程中,较好地解决了雷达波单边带连续波双频发射和接收问题。基于雷达数据处理的实时性,对雷达信号采用DSP进行采集并作FFT运算,由FFT结果获得信号的相位差和物体的运动速度。实验证明,该雷达理论是可行的,具有一定的实用性。

关键词:信号采集;数字信号处理;模数转换;汽车防撞雷达;快速傅里叶变换
中图分类号:TP273.23;TN953.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-5060(2007)11-1509-03

Collision avoidance radar for the vehicles based on the theory of phase measurement

ZHANG Chang-hui, NIU Zhong-rong
(School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The theory of phase measurement is applied to determining the object distance in order to guarantee traffic safety. The collision avoidance radar for the vehicles which is based on the theory of phase measurement is analyzed theoretically, and the prototype radar is developed in which the continuous wave transmitter and receiver with two frequencies in a single band are designed. The advanced DSP technology and the FFT algorithm are adopted for radar signal sampling and processing in order to meet the need of real-time processing of radar data. The phase difference between two signals and the object speed are obtained based on the FFT data. The experiment results show that the presented method is feasible in both theory and practice.

Key words: signal sampling; DSP; A/D; collision avoidance radar for vehicles; FFT

0 引 言

提高公路交通的安全性,尤其在气象恶劣的环境下防止屡屡发生的汽车碰撞事故,一直是未得到解决的难题。提高交通安全无非要从交通管理和技术措施两方面着手解决,在技术措施上,当能见度差时,首先要帮助司机探测好本车前方的路况,为此,人们曾经用超声、激光[1]、红外等手段进行过尝试。在受到挫折后,把目光投向了全天候性的微波雷达。

自 20 世纪 70 年代开始研制汽车防撞(微波)雷达以来,美、德、日等国曾试验过各种不同工作原理和工作频段的雷达方案:工作频段从 20～70 GHz,工作原理大致可分为测时、测频和测相位 3 种。具体为:① 脉冲或脉冲压缩体制(包括编码和调频等方式),测定电磁波从雷达到目标的往返时间就测定了两者之间的距离。由于汽车防撞雷达所要观察的都是近距离的目标,通常都在 100 m以内,所以往返时间很短,以 100 m 为例,电磁波往返时间仅为 0.67 μs,要精确测量这么短的时间难度较大,另外的缺点是这种体制的雷达无法直接测定目标的速度;② 线性调频体制[2-4](FMCW 体制),距离信息不是直接从测定电磁波的往返时间来获得,而是将往返时间转换成对应

收稿日期:2006-11-20
作者简介:张长会(1963—),男,安徽萧县人,合肥工业大学讲师;
牛忠荣(1957—),男,安徽合肥人,博士,合肥工业大学教授,博士生导师.

万方数据

的频率,通过测定频率来获取距离信息,而时间和频率的转化是依靠线性调频来完成的。为了测定目标的距离和速度,应采用三角波调制方式,这样就使雷达的工作环境受到限制,单目标环境下雷达可以很好地工作,当目标数在2个以上时,容易产生模糊;③ 测相位体制[5,6],该体制将雷达至目标的往返时间 τ 转化成相位差 $\Delta\varphi$,通过测定 $\Delta\varphi$ 来测定目标的距离。

本文给出的是适用于汽车防撞装置的测相位体制雷达方案,采用了DSP和FFT分析技术,并研制了样机。样机实验证明本文理论和设计方案是可行的。

1 汽车防撞雷达方案

雷达系统原理图如图1所示。

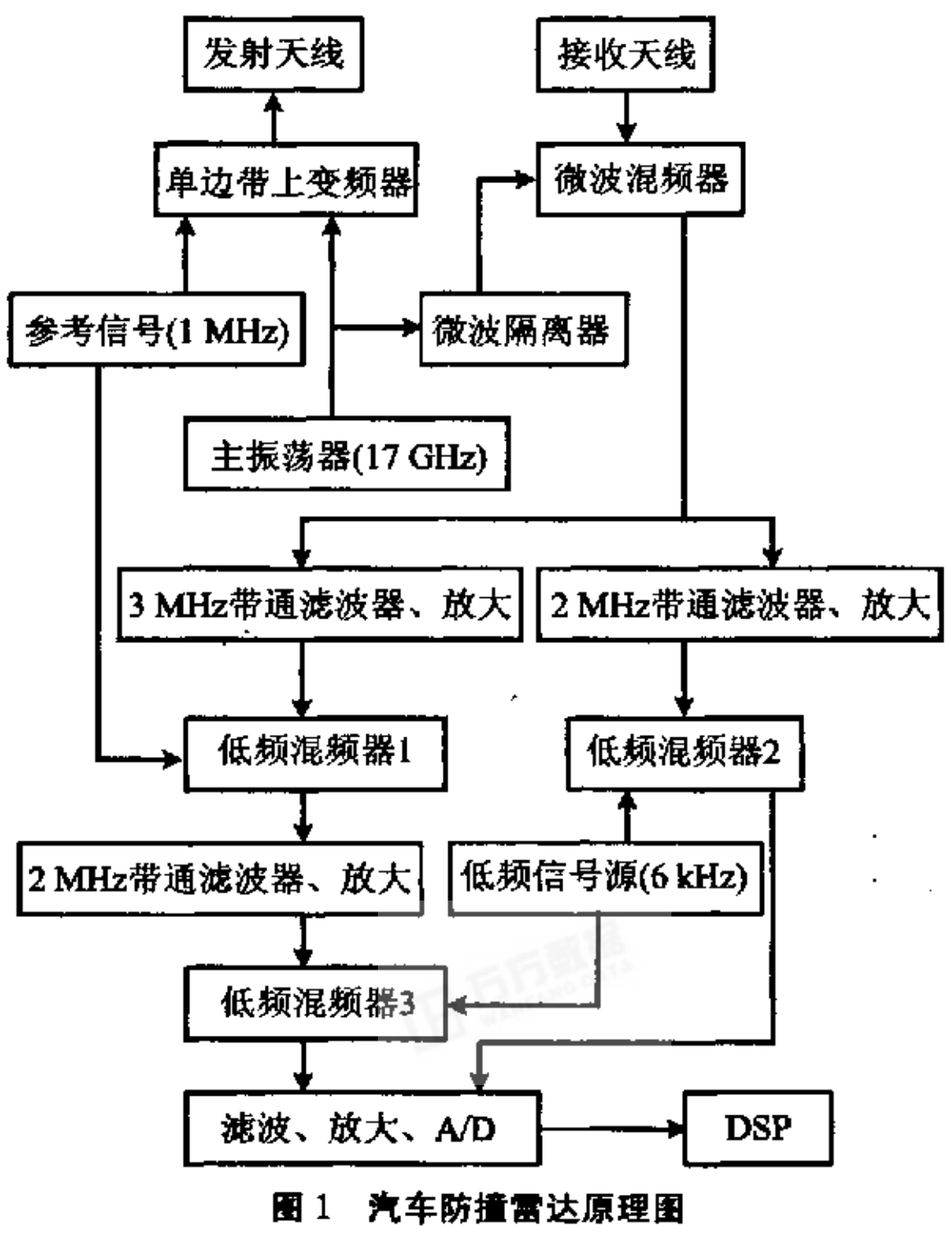

图1 汽车防撞雷达原理图

图1中雷达主振荡器信号为

$$v_m = V_m\cos(2\pi f_0 t - \varphi_0) \tag{1}$$

其中,V_m 为主振荡器电压信号幅值;f_0 为主振荡器信号频率;φ_0 为主振荡器信号初始相位。

参考信号为

$$v_b = V_b\cos(2\pi\Delta F t) \tag{2}$$

其中,$\Delta F=1$ MHz,为参考信号源的频率;V_b 为参考信号源的电压幅值。

由发射天线发射的信号为

$$v_1 = V_1\cos[2\pi(f_0+3\Delta F)t-\varphi_0)] \tag{3}$$

$$v_2 = V_2\cos[2\pi(f_0+2\Delta F)t-\varphi_0)] \tag{4}$$

其中,V_1、V_2 为两信号的电压幅值。

由接收天线接收的信号为

$$v_3 = V_3\cos[2\pi(f_0+3\Delta F\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+3\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0] \tag{5}$$

$$v_4 = V_4\cos[2\pi(f_0+2\Delta F\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+2\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0] \tag{6}$$

其中,V_3、V_4 为两信号的电压幅值;f_d 为物体运动产生的多谱勒频率;R 为物体到雷达的距离;C 为光速。

v_3、v_4 与来自微波隔离器的信号在微波混频器混频后得

$$v_5 = V_5\cos[2\pi(3\Delta F\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+3\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0] \tag{7}$$

$$v_6 = V_6\cos[2\pi(2\Delta F\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+2\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0] \tag{8}$$

其中,V_5、V_6 为两信号的电压幅值。

v_5 由3 MHz带通滤波器滤波,再经过放大线路放大,与参考信号在低频混频器1中混频得

$$v'_5 = V'_5\cos[2\pi(2\Delta F\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+3\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0] \tag{9}$$

其中,V'_5 为信号的电压幅值;v'_5、v_6 分别在低频混频器3、低频混频器2中与低频信号源 v_l 混频。设

$$v_l = V_l\cos(2\pi f_l-\varphi_l) \tag{10}$$

其中,$f_l=1.994$ MHz 为低频信号源的信号频率;V_l 为低频信号源的电压幅值;φ_l 为低频信号源的初始相位。

混频后得

$$v_7 = V_7\cos[2\pi(6\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+3\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0+\varphi_l] \tag{11}$$

$$v_8 = V_8\cos[2\pi(6\pm f_d)t-\frac{2\pi(f_0+2\Delta F)}{C}\times 2R-\varphi_0+\varphi_l] \tag{12}$$

令 v_7、v_8 的相位差为 $\Delta\varphi$,则

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta F}{C}\times 2R \tag{13}$$

由(13)式样物体至雷达的距离

$$R = \frac{C\Delta\varphi}{4\pi\Delta F} \tag{14}$$

因为 $\Delta\varphi$ 的最大值为 2π,故本文雷达无模糊测距

万方数据

距离为 150 m。

2　实验数据处理

汽车防撞雷达必须能及时发现危险目标，与此类雷达相适应的数据处理系统必须是实时的，单片机系统无法胜任这一工作，因此雷达的数据处理器采用 DSP[7]，数据采集、FFT 运算、物体运动速度和距离的计算、显示与报警和雷达相对地面的运动速度等均由 DSP 完成。

图 1 中的信号 $v_7(t)$，$v_8(t)$ 由 2 路 A/D 芯片同步采集后送入 DSP 进行 FFT 计算，以获得 2 个信号的相位差（目标的距离）和频率（目标的速度）。基于 2 算法的 FFT 计算公式为[8]

$$X(n)=\sum_{k=0}^{N-1}x(k)\mathrm{e}^{-j2\pi kn/N}$$

$$(n=0,1,2,\cdots,N-1) \qquad (15)$$

其中，$x(k)$ 为时域数据；N 为总的采样点数。

频谱图上第 n 根谱线对应的信号相位角为

$$\tan\theta=\frac{I_{\mathrm{m}}(X(n))}{R_{\mathrm{m}}(X(n))} \qquad (16)$$

$I_{\mathrm{m}}(X(n))$ 为 $X(n)$ 的虚部，$R_{\mathrm{m}}(X(n))$ 为 $X(n)$ 的实部。

3　实验结果

采用本文方案研制了雷达样机，雷达主振荡器信号频率为 $f=17$ GHz，并用汽车为目标进行了实验，实验时雷达平置于距离地面高度为 80 cm的平台上，测量不同车速下目标车相对雷达的速度和距离，部分实验结果如表 1 所列。

其中，标称距离为雷达到测量点的实际距离，目标车标称速度是从汽车速度表盘上读出的速度参考值。

表 1　雷达实验测量结果

距离/m		速度/(km·h^{-1})	
标称	实测	标　称	实　测
40	42	20	18.7
60	58.3	20	21.0
80	80.4	20	20.0
100	102	20	21.0
60	62.0	40	39.0
80	82.0	40	44.0
100	101	40	43.0
120	122	40	38.0

实验表明，微波相位测距法应用于汽车安全领域是可行的，本文的雷达体系是合理的，数据处理方案是正确的，雷达作用距离可达 100 m 以外，但测距偏差稍大，绝对误差范围为−2～2 m。

实验中发现的另外一个问题是，本文雷达根据物体运动的速度识别目标，对于运动的物体，目标的识别很容易，但当雷达波束中有多个速度相同的物体时，比如路面、护栏、路牌及天桥等静止物体，则不能把这多个目标区分开，这是有待解决的问题。

4　结束语

本文给出了基于相位测距原理的汽车防撞雷达的理论公式和数据处理方案，并制造了样机。样机实验证明雷达方案是可行的，雷达的作用距离可达 100 m 以外，具有一定的实用性，但也存在许多要进一步研究的理论与技术难题。影响测距精度的因素和解决措施，以相同速度运动的多个目标的识别和距离测量，雷达波束内危险目标与非危险目标的识别等。

参　考　文　献

[1] 张处武，胡学同. 精密相位激光测距仪的设计[J]. 激光杂志，1998，19(6)：39−42.

[2] 张建辉，刘国岁，顾 红，等. 编码步进调频连续波信号在汽车防撞雷达中的应用[J]. 电子学报，2001，29(7)：943−946.

[3] 徐 涛，金昶明，孙晓伟，等. 一种采用变周期调频连续波雷达的多目标识别方法[J]. 电子学报，2002，30(6)：861−863.

[4] Yamada Y, Tokoro S, Fujita Y. Development of a 60 GHz radar for rear-end collision avoidance[C]//Intelligent Vehicles ′94 Symposium, Proceedings of the IEE, 1994：207−212.

[5] Skolnik M I. 雷达系统导论[M]. 林茂庸译. 北京：国防工业出版社，1992：79−82.

[6] 袁俊泉，龚享铱，皇甫堪. 基于二次差频的多频率连续波测距方法研究[J]. 电子学报，2004，32(12)：2056−2058.

[7] 徐科军，黄云志. 定点 DSP 的原理、开发与应用[M]. 北京：清华大学出版社，2002：31−46.

[8] 布赖姆 E O. 快速傅里叶变换[M]. 柳 群译. 上海：上海科学技术出版社，1979：165−183.

（责任编辑　闫杏丽）

万方数据