

毫米波汽车防撞雷达恒虚警率门限设定方法

蒋铁珍, 武虎, 吴凯, 孙晓玮

(中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

摘要:首先通过时频方法分析了毫米波汽车防撞雷达的实测数据,根据实际分析得到的杂波分布规律提出一种毫米波汽车防撞雷达的门限设计方法,它能够根据背景杂波功率的变化进行自动的改变门限使毫米波汽车防撞雷达的虚警率保持恒定,并且给出了利用该方法进行门限设定时实际的测试结果.同时给出了该自适应恒虚警器的性能分析,结果表明这种方法在实际工程中完全可行.

关键词:门限;毫米波汽车防撞雷达;时频方法;恒虚警率

中图分类号:TN957.51 **文献标识码:**A

THRESHOLD DESIGN METHOD OF CFAR FOR MILLIMETER-WAVE COLLISION WARNING RADAR

JIANG Tie-Zhen, WU Hu, WU Kai, SUN Xiao-Wei

(Shang Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract:The testing data of millimeter-wave collision-warning radar were firstly analyzed by time-frequency method. Then a constant false alarm rate (CFAR) scheme for millimeter wave collision-avoidance radar was designed on the basis of the clutter statistics distribution rule. This proposed method can change the threshold with the clutter to make the false alarm rate constant. The testing result and the performance of this CFAR processor were presented. It is shown that this method is practical in the project.

Key words:threshold; millimeter-wave collision warning radar; time-frequency method; CFAR

引言

随着现代化水平的高度发展,交通问题已经成为各国亟需解决的问题,毫米波汽车防撞雷达就是解决这类问题最好的途径.毫米波汽车防撞雷达最大优点就是可以全天候工作,它广泛应用于汽车和智能交通领域.毫米波汽车防撞雷达工作于杂波环境时,检测器的门限设置必须自适应于杂波功率水平的变化,使杂波引起的目标检测即虚警保持在一个较低的可接受水平上^[1],从而解决传统雷达门限是一个常数存在的缺点.

1 恒虚警器设计原理

恒虚警率(CFAR)技术是一种在雷达自动检测系统中提供检测阈值的手段^[2].在雷达自动检测系统中,自适应确定门限有两种方法.第一种方法是空

间方法,门限的确定根据同一扫描时间被检测距离单元附近的连续距离单元的杂波;第二种方法是时间方法,根据同一距离元在被检测时刻以前的一系列扫描时间杂波强度来确定门限.两种方法都是将估值单元间相关的部分除掉,而留下不相关的部分,压低到噪声电平.门限的定义可以用式(1)表示:

$$T_n(k) = Y_n(k) + \mu, \quad (1)$$

$T_n(k)$ 是某一时刻某距离元的门限值, $Y_n(k)$ 是某时刻某距离元背景噪声干扰功率水平的估计, μ 为门限调整参数,主要是根据杂波的分布模型进行确定.因此CFAR算法最根本的就是分析杂波背景的分布规律.

2 毫米波汽车防撞雷达杂波分布分析

本课题组研制的汽车防撞雷达采用的是线性调频连续波体制(FMCW),工作在24GHz.对FMCW

收稿日期:2004-05-29,修回日期:2004-12-31

Received date: 2004-05-29, revised date: 2004-12-31

基金项目:国家863计划(2002AA135270),上海市科技发展基金(015115049)

作者简介:蒋铁珍(1977-),女,江苏南通人,中科院上海微系统所博士研究生,主要从事雷达信号处理.

系统^[3],其距离可用我们熟知的式(2)计算:

$$R = \frac{cT_m f_{b+} + f_{b-}}{4\Delta f} \quad (2)$$

式中: R : 距离(m), v : 速度(m/s), T_m : 三角波周期(s), Δf : 发射频率的最大频偏(Hz), f_b : 发射和接收信号间的差拍频率(Hz), λ : 高频发射波的波长(m), c : 光速(m/s)脚标“+”与“-”分别代表正负调频.

由上述可知,目标距离对应回波信号的频域信息,为了获得目标回波的距离信息,需将时域信号转化频域信号.由于干扰信号成因的复杂性,单纯地从时域或频域对其进行分析显然是不合适的.因此,我们采用时频分析的方法对其时域和频域的二维分布进行分析.考虑到系统要求,这里采用算法比较简单的短时傅立叶变换^[4].

对于系统接收到的信号 $s(t)$, 给定一个时间一定的窗函数 $g(t)$, 令窗滑动, 则信号 $s(t)$ 的短时傅立叶变换(STFT)定义为:

$$STFT_s(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} [s(t')g^*(t' - t)]e^{-j2\pi ft'} dt' \quad (3)$$

窗函数 $g(t)$ 的时间移位和频率移位使短时傅立叶变换具有了局域特性,它既是时间的函数,又是频率的函数.对于一定时刻 t , $STFT(t, f)$ 可以视为该时刻的“局部频谱”.

图1和图2是雷达在70m,60m距离处存在目标的回波短时付氏分析的能量分布图.

从图中可以看出同一扫描时间的一系列距离元杂波具有不均匀性及非相关性,而在同一个频率所有时间的信号具有均匀分布,因此本汽车防撞雷达采用时间分析的方法.

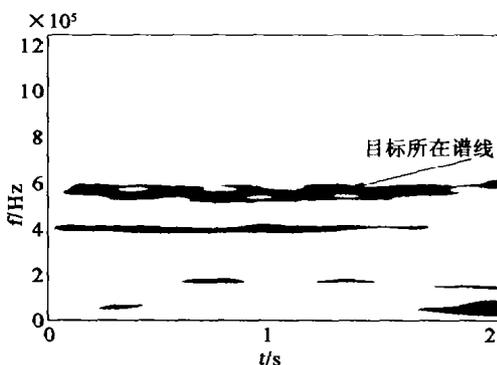


图1 目标在70m处的能量分布
Fig.1 Energy distribution of target at 70m

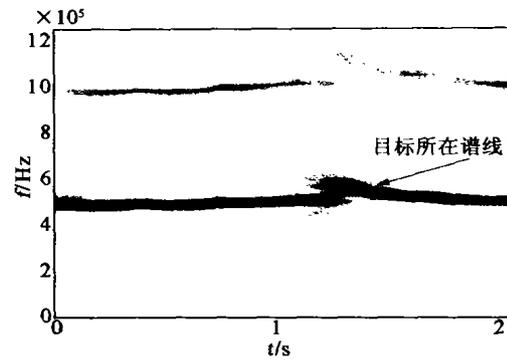


图2 目标在60m处的能量分布
Fig.2 Energy distribution of target at 60m

3 毫米波防撞雷达恒虚警门限设计

在实际的工程项目中,本防撞雷达信号处理器采用的是TI公司^[5]的TMS320VC5402,如果利用时频方法对同一距离元的多个扫描周期采用单元平均恒虚警设计方法将会使数据量大大增加,因此我们利用一种自回归模型,来获取背景噪声干扰功率水平的估计,如式(4)所示.

$$Y_n(k) = bX_n(k) + (1 - b)Y_n(k - 1) \quad (4)$$

式中 b 为增益参数,这种方法对先接收到的值乘以 $(1 - b)$, 然后该距离元的原存储值乘以 b 相加,一路作为新的存储值存入存储器为下次作准备,一路作为背景噪声功率水平的估计.

由于FMCW系统的回波是所有距离元的回波和,要想获得同一距离元的不同时刻回波可以利用时频方法来进行分析,为了分析的简单化及在DSP中的可实现性,本雷达采用连续两次采样分析.本系统的采样频率为2MHz,一次付氏变换是1024点,采样1024点的数据只需不到1ms,图3是一个2048点的短时付氏变换,可以看出在两次采样时间内同一距离元杂波基本符合均匀分布,而且一辆速度高

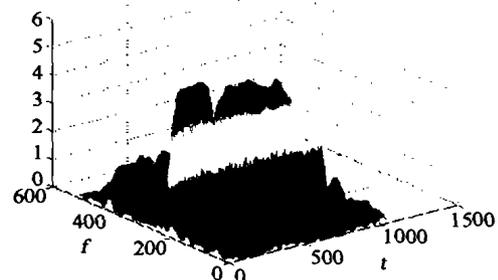


图3 60m处目标时频分布图
Fig.3 Time-frequency distribution of target at 60m

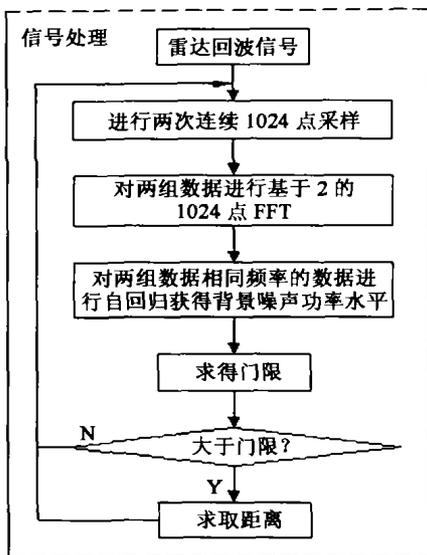


图 4 信号处理流程
Fig.4 Signal processing flow diagram

达 100km/h 的车移动 1m 就需要 36ms,可见两次连续采样方法完全可行,因此实际的信号处理流程如图 4 所示.

4 毫米波汽车防撞雷达的实测结果

利用本课题组研制的毫米波汽车防撞雷达进行室内室外现场测试,它的门限设计采用上述方法.图 5 是测试场景图.在进行门限设计的时候,选择恒定的虚警概率为 $p_{fa} = 10^{-6}$,该恒虚警器所测的检测概率与距离的关系如图 6 所示.图 7 是检测出目标所求取的距离测试结果,图中细圆点标记为目标的实际距离,粗花星点标记为雷达探测得到的数据.在室内采取了实测的方法,测量间距为 1m,测试结果如图(a)所示;在户外,先用固定物体对系统进行了标定.标定完成之后,在马路出口处主要是对行进中的汽车进行了测量,图(b)为测量所得到的数据.经过



图 5 测试场景图
Fig.5 Testing scene chart

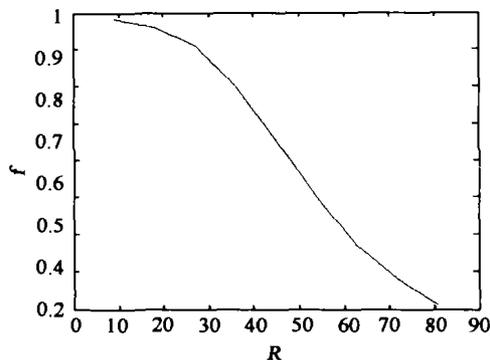


图 6 检测概率与距离的关系
Fig.6 Detection probability versus range

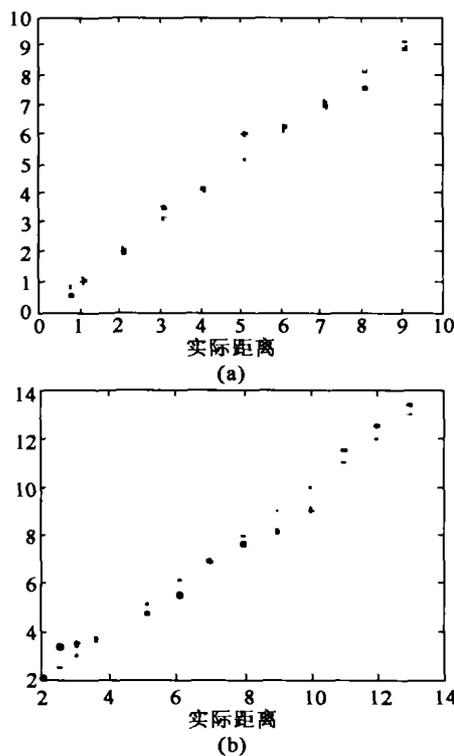


图 7 毫米波防撞雷达测试结果(a)室内测试结果(b)室外测试结果
Fig.7 Testing result of millimeter wave collision warning radar (a) indoor testing result (b) outdoor testing result

分析测量值实际值的方差为 0.4,可以看出测得的误差很小,主要是因为雷达前端的 VCO 非线性及调制波形三角波的对称性引起的^[6].

5 结语

本文根据汽车防撞雷达工作环境的杂波分布特性给出了适合在汽车防撞雷达 DSP 中进行门限设定的方法,经过实测证明在毫米波汽车防撞雷达中采用这种自回归时间恒虚警率方法性能达到预期的指标.

REFERENCES

- [1] Ferri M, Galati M, Laldi M, *et al.* CFAR techniques for millimeter-wave mini radar [C]. CIE International Conference of Radar. Beijing, October, 1996, 8-10:262—265.
- [2] SHAN Tao, TAO Ran, WANG Yue, *et al.* Performance of order statistics clutter map clutter [C]. *IEEE ICSP'02 Proceedings*, 2002; 1572—1575.
- [3] DING Lufei, GENG Fulu. *Radar Principle* [M]. Xian: XiDian University Press (丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理. 西安:西安电子科技大学出版社), 2003.
- [4] ZHANG Xian-Da, BAO Zheng. *Analysis and Processing of nonstationary signals* [M]. Beijing: National Defence Industry Press (张贤达, 保铮. 非平稳信号分析与处理. 北京:国防工业出版社), 1998.
- [5] Zhao Hong-Yi. *DSP Technology and Application Examples* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry (赵红怡. DSP 技术与应用实例. 北京:电子工业出版社), 2003.
- [6] REN Cheng-Ming, JING Chang-Ming, SHEN Xiu-Ying, *et al.* Novel nonlinear PLL model and ITS application in 8 mm integrateal auto mobile cunti-collision on radar [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (任成明, 金昶明, 沈秀英, 等. 一种新型非线性 PLL 模型及其在毫米波集成防撞雷达中的应用. 红外与毫米波学报), 2004, 23(1):16—20.

《半导体科学与技术丛书》征稿说明

科学出版社作为全国最大的综合性科技出版机构,是一个历史悠久、力量雄厚,以出版学术著作为主的中央级出版社。科学出版社向来都是学者的朋友,并长期在我国学术界有很大影响。比如,由科学出版社组织出版的、我国物理界众多老前辈把关的《凝聚态物理学丛书》曾产生了良好的社会影响,至今仍为许多科研人员所称颂。

为促进半导体学科的发展和人才培养,科学出版社将继续秉承“高水平、高质量、高层次”的“三高”特色和“严肃、严密、严格”的“三严”作风,与我国半导体学者一起,共同组织和出版一套学术水平高、权威性强、学科内容新、具备一定规模、有良好社会影响的《半导体科学与技术丛书》。丛书已经聘请黄昆院士等任名誉顾问,王占国院士等任顾问,夏建白院士任主编,褚君浩研究员等任副主编。

众所周知,半导体科学与技术在上世纪的突破性发展带动了新材料、新技术、新效应和新的边缘学科的发展创新,并在许多技术领域内引起了革命性变革和进步,从而产生了现代的计算机产业和 IT 技术。而目前发展迅速的半导体微/纳电子器件、光电子器件和量子信息又将推动今后的产业革命。半导体科学与技术已成为国家经济发展、社会进步和国防安全密切相关的重要的科学技术。为了发展我国的半导体事业,发扬过去艰苦奋斗的优良传统,学习国际的先进经验,科技工作者有必要总结半导体科学与技术领域的先进成果,使我国成为世界上半导体科学技术的强国。

编辑出版这套《半导体科学与技术丛书》,是想请从事探索性研究的半导体工作者总结和介绍国际和中国科学家在半导体前沿领域,包括:半导体物理、材料、器件、电路等方面的进展和所开展的工作。目的是帮助大学生、研究生、博士后、青年教师和研究人员拓宽半导体的基础,迅速进入到半导体研究前沿,同时也为大学的半导体专业提供有关的教材。丛书中的每一册将努力讲清一个专题,而不求面面俱到。在写作风格上,希望作者门能够做到以大学高年级学生的水平为出发点,深入浅出,图文并茂,文献丰富,突出物理内容,避免冗长公式。建议稿件字数为 30~50 万字左右。

本说明长期有效,欢迎广大从事半导体科学技术的工作者加入到丛书的编写中来。

联系人:田士勇

电话:010-64030228;13520430552 电子邮箱:sy_tian@yahoo.com.cn

通讯地址:北京东黄城根北街 16 号科学出版社科学出版分社 100717