

基于 ADS 的噪声恒虚警检测仿真*

张 利, 韦 高, 赵会芳

(西北工业大学电子信息学院, 西安 710072)

摘 要: 雷达信号的恒虚警检测是雷达信号处理的重要组成部分。首先阐述了两种基本检测器的原理与性能, 以及针对实际情况所采用的恒虚警处理技术。在此基础上, 利用 ADS(advanced design system) 仿真技术建立某星载雷达接收机模型, 模拟回波信号经过接收机的工作情况, 通过蒙特卡罗仿真法对输出信号进行噪声恒虚警检测, 获得了更接近真实环境的检测曲线并对其进行分析, 为进一步研究雷达系统性能提供了参考。

关键词: 雷达; 信号检测; 噪声恒虚警率; 蒙特卡罗仿真

中图分类号: TN957.51 文献标志码: A

Simulation of Noise-constant False Alarm Rate Detection Based on ADS

ZHANG Li, WEI Gao, ZHAO Huifang

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The constant false alarm rate (CFAR) detection of radar's signals plays an important role in radar signal processing. Firstly, this paper describes the theories and properties of two kinds of basic detectors, as well as the technology of CFAR related to real noise condition. Based on this, a spaceborne radar receiver model was built using ADS to simulate the working condition of radar echo when passing, and through Monte-Carlo simulation, its output signal was detected with CFAR technology. Finally, the more accurate detection figures, which can be references for further study on radar system, were given and analyzed.

Keywords: radar; signal detection; noise-constant false alarm rate; Monte-Carlo simulation

0 引言

雷达信号检测对接收机输出进行处理, 以在规定的检测概率下输出所希望的目标信号, 而噪声和其他杂波信号则以低概率产生随机虚警。在雷达信号检测中应用最广泛的是奈曼-皮尔逊准则^[1]; 该准则要求在给定的信噪比条件下, 满足一定虚警概率时的检测概率最大。当噪声或杂波背景的统计模型确知时, 设置固定检测门限可以保证虚警率为恒值; 然而, 由于实际噪声或杂波干扰具有不确定性, 必须采用自适应门限进行恒虚警控制。

检测器的工作环境中只有噪声时的恒虚警检测称为噪声恒虚警检测。星载雷达在自由空间扫描时, 没有杂波, 只有噪声, 其噪声具有和热

噪声相同的频谱和概率特性, 可以合在一起看作是热噪声^[2]。文中基于此种环境, 利用 ADS 系统仿真技术结合蒙特卡罗方法对雷达输出信号的噪声恒虚警检测进行了研究。

1 固定门限时的虚警和检测性能^[3]

假设检测器工作在确知恒定的噪声环境中, 通常加到接收机中频滤波器上的噪声是高斯热噪声, 经包络检波后, 它服从瑞利分布, 即:

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp(-x^2/2\sigma^2) \quad (1)$$

其中: σ 是检波前高斯噪声的均方值, x 为检波器输出端噪声包络的幅值。在对单个脉冲进行检测的过程中, 设门限电平为 U_T , 则噪声包络电压值超过门限电平的概率即虚警概率 P_{fa} 为:

* 收稿日期: 2008-07-03
基金项目: 国家 863 计划资助
作者简介: 张利(1984—), 女, 陕西榆林人, 硕士研究生, 研究方向: 微波通信, 雷达信号检测。

$$P_{fa} = \int_{U_T}^{\infty} \frac{x}{\sigma^2} \exp(x^2/(2\sigma^2)) dx = \exp(U_T^2/(2\sigma^2)) \quad (2)$$

由式(2)可以看出,当噪声分布一定时,虚警概率大小完全取决于门限电平 U_T ,因此,设置固定门限电平即可保证虚警率恒定。

通过研究信号加噪声经过接收机的情况,可以计算雷达信号的检测概率 P_d 。这里讨论振幅为 A 的正弦信号同高斯噪声一起输入到系统中的情况,经检波后,它服从广义瑞利分布:

$$p_s(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{x A}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

式中: I_0 为零阶修正贝塞尔函数, x 为信号加噪声的包络。信号的检测概率即其超过门限 U_T 的概率 P_d 为:

$$P_d = \int_{U_T}^{\infty} p_s(x) dx = \int_{U_T}^{\infty} \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{x A}{\sigma^2}\right) dx \quad (4)$$

对式(4)进行求解,可获得恒定白色高斯噪声环境中对恒幅非起伏(斯威林 0 型)单脉冲信号进行检测的典型 (P_d, P_{fa}, SNR) 关系曲线,如图 1 所示。

为提高检测性能,实际雷达多采用脉冲积累方法。其中,应用最广泛的是二进制检测。它在每个辨识单元上对信号进行两极检

验。第一级检验与单脉冲检测相同,第二级检验将第一级检验获得的超过第一级阈值的数目与第二级阈值(一个整数 m) 进行比较。研究表明,第二级阈值近似为 $1.5 \sqrt{n}^{[4]}$ (n 为二进制检测的积累脉冲数)。

二进制检测的性能分析基于二项式分布,其输出虚警概率为:

$$P_{fa} = \sum_{j=m}^n \frac{n!}{j!(n-j)!} p_{fa}^j (1-p_{fa})^{n-j} \quad (5)$$

检测概率为:

$$P_d = \sum_{j=m}^n \frac{n!}{j!(n-j)!} p_d^j (1-p_d)^{n-j} \quad (6)$$

式中: p_d 为超过第一门限的检测概率, p_{fa} 为超过第一门限的虚警概率。图 2 给出系统虚警概率在 10^{-6} 的条件下,单脉冲检测与二进制

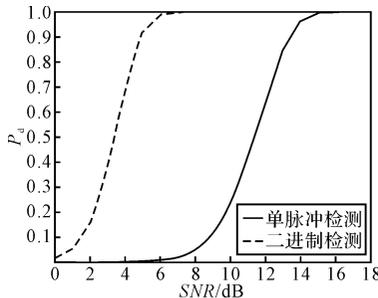


图 2 单脉冲检测与二进制检测的斯威林 0 型对比曲线 ($n = 20, m = 7$) 的非起伏目标对照曲线。

2 自适应门限与恒虚警控制

在噪声环境不确定的情况下,如果仍采用固定门限,会产生大量的检测数,致使数据处理机因虚警太多而超载。因此,必须进行恒虚警处理,它根据噪声强度自动调节检测门限,使虚警率保持恒定。

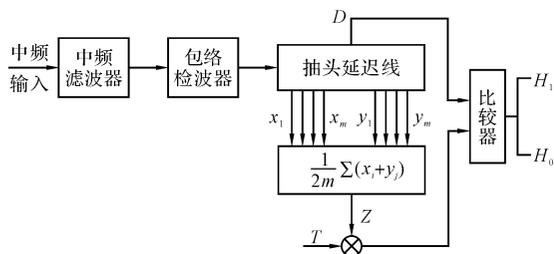


图 3 单元平均 CFAR

最基本的自适应检测模型为单元平均恒虚警(constant false alarm rate, CFAR) 检测器,其检测框图如图 3 所示。从抽头延迟线可同时获得 $2m$ 个相邻距离单元的包络检测输出,抽头延迟线上的中心抽头代表检测单元。对这 $2m$ 个参考抽头进行平均来获得目标附近噪声干扰的估计值 Z ,并将其与门限因子 T 的乘积作为比较器的一个输入,与检测单元 D 进行比较,验证有无目标存在。

CFAR 处理中的门限因子可由理论分析得到,也可通过计算机仿真确定。对于检波后服从瑞利分布的噪声参考单元,由式(2)得到其检测门限为:

$$U_T = \sigma \sqrt{2 \ln P_{fa}^{-1}} \quad (7)$$

由概率知识可知,瑞利分布随机变量的数学期望 $\mu = \sqrt{\pi/2} \sigma$,将式(7)中的 σ 用包含 μ 的式子

率大于 0.9 时较单脉冲检测节约了近 7dB 输出信噪比,极大的提高了雷达检测性能。

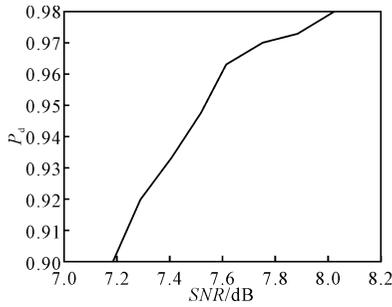


图 7 ADS 仿真雷达信号的二进制检测曲线

再将图 6 和图 7 分别与图 2 中的单脉

冲,以及二进制检测曲线进行比较可知。当检测概率达到 0.9 时,固定门限的两种检测器模型所需的信噪比分别为 13.2dB 和 5dB;而由 ADS 仿真雷达信号得到的检测曲线中,对应检测概率为 0.9 时的信噪比分别为 13.9dB 和 7.2dB,较图 2 增加了 0.7dB 和 2.2dB。这一增加的信噪比实为 CFAR 损耗,是实际检测过程中引入恒虚警技术,对噪声功率水平估计不够精确造成的。可以通过适当的增加参考单元数目将 CFAR 损耗控制在一定范围内。此外,比较可知,二进制检测的 CFAR 损耗较单脉冲检测要高。

4 结束语

对于噪声背景下雷达目标检测的研究,为在复杂干扰环境中进行目标检测奠定了基础。采用单脉冲或二进制检测结合噪声恒虚警控制,可以有效地控制系统虚警,提高检测性能。利用 ADS 仿真雷达接收机模型产生雷达信号并对其进行检测,充分证实了这一方案的可行性。并且通过将检测技术应用到仿真模型,得到了更接近真实环境的检测曲线,便于对雷达系统进行进一步的性能分析。

参考文献:

- [1] 丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [2] Merrill I Skolnik. Radar handbook[M]. Second Edition, 王军, 林强, 米慈中, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [3] 郭爱芳, 侯民胜, 郭廷铠, 等. 噪声恒虚警处理电路的计算机仿真[J]. 电子工程师, 2007, 33(7): 4-5.
- [4] David K Barton. Radar system analysis and modeling[M]. 南京电子技术研究所, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 何友, 关键, 鼓应宁, 等. 雷达自动检测与恒虚警处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

(上接第 284 页)

文中提出的姿态测量系统包含两路磁通门信号处理电路,而模拟开关 4053 的 3 个通道可以独立控制,因此相敏检波能够在一个芯片上完成,有利于简化电路。

在图 2 的电路组成中,选频放大电路和积分滤波电路的设计和应用已经比较成熟,此处不再给出具体电路图。

3 实验结果和结论

根据以上分析和设计,对基于三端式磁通门传感器的姿态角测量系统进行了电路实现和调试,并开展了初步的模拟实验。图 6 所示为某次实验结果,两条曲线表示两个磁通门传感器同时随载体滚转时的电路输出,上面的曲线对应于较小的传感器倾角(λ_2),下面的曲线对应于较大的传感器倾角(λ_1)。从实验结果可以看出,两个不同倾角的传感器所产生的输出信号之间具有一定的内在联系,这种联系所反映的规律性为弹丸的姿态角测量提供了基础。

理论分析和实验结果表明,文中所提出的姿态角测量系统及其电路设计是完全可行的,并且易于实现,能够

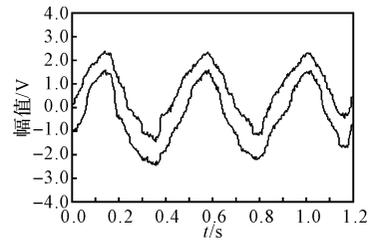


图 6 模拟实验结果

满足抗干扰和小型化的使用要求,具有较好的军事应用前景。

参考文献:

- [1] Thomas E H. MAGSONDE; A device for making angular measurements on spinning projectiles with magnetic sensors[R]. ADA386941, 2000.
- [2] LI Shizhong, LI Yun. On-board measurement technique of flight attitude with magnetic sensor [C]// The 7th International Symposium on Test and Measurement, 2007; 940-942.
- [3] 张学孚, 陆怡良. 磁通门技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.