

文章编号: 1001 - 893X(2010)08 - 0103 - 04

# 恒虚警处理中基于噪声采样的检测门限设定<sup>\*</sup>

黄 坤, 刘 咏, 宋石玉

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

**摘 要:**恒虚警(CFAR)检测是雷达信号处理的重要组成部分。介绍了某型雷达的目标检测原理, 分析了噪声恒虚警处理中门限系数对目标检测的影响, 提出了一种基于噪声采样的门限系数确定方法, 最后在仿真计算的基础上验证了该方法的可行性。

**关键词:**雷达信号处理; 恒虚警检测; 目标检测; 门限系数

**中图分类号:** TN957      **文献标识码:** A      doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2010.08.021

## CFAR Detection Threshold Configuration Based on Noise Sampling

HUANG Kun, LIU Yong, SONG Shi - yu

(China Department of Satellite Marine Tracking and Control, Jiangyin 214413, China)

**Abstract:** The constant false alarm rate(CFAR) detection of radar signal plays an important role in radar signal processing. The principle of object detection of a certain radar is introduced, the influence of threshold coefficient on object detection is analysed, and a method to determin the threshold coefficient based on noise sampling is proposed. Finally, the feasibility of the method is verified through simulation.

**Key words:** radar signal processing; CFAR detection; object detection; threshold coefficient

### 1 引 言

雷达系统的信号检测是在各种噪声和杂波干扰的环境中进行的。视频的回波信号与噪声、杂波一起送到检测器, 并在检测器对视频信号进行分级, 即设置一个检测门限。如果信号超过该门限, 就判决目标存在。显然, 门限电平的选择是至关重要的。如果门限设置太高, 本来可以检测的弱小目标将被丢失; 如果门限设置太低, 则虚警太多。因此, 门限电平的设置将直接影响到雷达检测目标的能力。文献[1]对检测门限系数在不同恒虚警率(CFAR)检测器中的作用进行了仿真, 文献[2]对双通道雷达恒虚警检测进行了仿真分析, 文献[3 - 6]对雷达所处杂波环境进行建模仿真, 给出不同的恒虚警算法。

本文对某型单脉冲测量雷达的信号检测原理进行了研究, 给出了该型雷达的恒虚警检测数学模型,

提出一种基于噪声采样的检测门限设定方法, 并对不同检测门限下取得的虚警效果进行仿真分析, 最后通过实际比对验证仿真结论。

### 2 目标检测原理

以某型三通道单脉冲测量雷达为例, 其目标检测 - 跟踪采用二次门限二进制积累检测方法, 检测目标时, 先对视频回波信号进行一次门限检测, 并将一次检测结果信息进行积累, 然后再进行二次门限判定。

目标检测门限分为一次检测门限和二次检测门限, 在该型雷达中, 一次检测门限为固定检测门限, 即在距离量化单元(波门)内发现有任一处信号幅度大于检测门限时, 则产生“1”判定; 二次门限是在单个目标检测的基础上, 经视频滑窗积累统计, 对视频脉冲串进行检测判决的准则, 通常用  $M/N$  准则来进

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009 - 12 - 25; 修回日期: 2010 - 05 - 31

行处理,达到积累效果,即在连续  $N$  个重复周期内,在给定的距离检测单元中,回波信号超越一次门限的累积次数大于等于  $M$  ( $M \leq N$ ),即可判定为该距离检测单位内发现目标。该型雷达中  $M$  和  $N$  的取值为 8 和 32。双门限检测流程如图 1 所示。

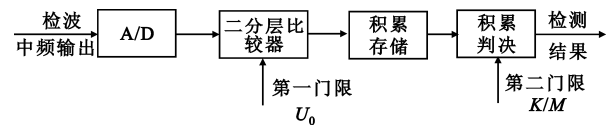


图 1 双门限检测流程  
Fig.1 Dual - threshold detection

由目标捕获检测过程可以看出,目标检测的关键是检测门限的设置。

### 3 噪声恒虚警处理

雷达信号的检测都是以接收机的输出与某个门限电平相比较为基础,因此,可能会出现虚警和漏警两类错误。由于噪声是随机的,接收电压  $v$  也是随机的,存在两种情况:一种是没有目标信号情况,即  $v = n$ ,  $n$  是噪声;另一种情况是有目标信号,即  $v = s + n$ ,  $s$  是目标信号。可以假设雷达接收信号总是落在一定的判决区域内,如图 2 所示。图中,信号电平落在  $Z_1$  中判决为有目标信号,落在  $Z_2$  中判决为无目标信号。

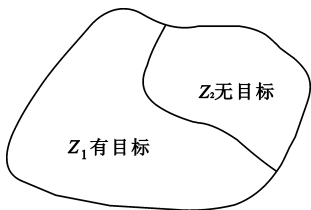


图 2 接收信号判决区域  
Fig.2 Receiving signal judgment zone

判决门限的确定与选择的最佳准则有关。在雷达信号检测中,因预先不知道目标出现的概率,也很难确定一次漏检所造成的损失,所以,通常选择的准则是保持某一规定的虚警概率下使漏警概率达到最小,或使正确检测概率达到最大。这就是纽曼 - 皮尔逊准则,其决策可以写为

$$\Lambda(v) = \frac{p(v/s)}{p(v/0)} \begin{cases} \geq \lambda, & \text{有目标信号} \\ < \lambda, & \text{无目标信号} \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\Lambda(v)$  为似然比,  $p(v/s)$  和  $p(v/0)$  分别为有、无目标信号存在时接收到电压为  $v$  的条件类

密度,统称为两种情况的似然函数,  $\lambda$  为检测门限。

#### (1) 单次扫描信号的恒虚警率

接收机在无目标信号输入时,其中频噪声输出是一窄带高斯过程,经线性滤波后其幅度服从瑞利分布,即:

$$P_n(v) = \frac{v}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right) = u \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \quad (2)$$

式中,  $u = v/\sigma$ ,  $P_n(v)$  是视频幅度电压的分布概率,  $\sigma$  为中频噪声功率的均方值,  $v$  为检波后的电压幅度。当给定门限电平之后,检测单个目标的虚警率为

$$P_f = \int_{U_0}^{\infty} u \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = e^{-\frac{U_0^2}{2}} \quad (3)$$

从式(3)中可以看出,对于给定的门限系数  $U_0$ , 单次检测的恒虚警率是确定不变的,即虚警率只与噪声功率均方值和门限电平之间的比值相关。

#### (2) 单次扫描信号的检测概率

单个扫描信号的检测概率指的是有目标回波信号存在时,信号超过第一门限电平的概率。当存在目标回波时,雷达窄带中频放大器的输出经包络检波后,其幅度分布密度为

$$P_A(v) = \frac{v}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{(v^2 + A^2)}{2\sigma^2}\right] I_0\left(\frac{Av}{\sigma^2}\right) = u \exp\left[-\frac{(u^2 + a^2)}{2}\right] I_0(au) \quad (4)$$

式中,  $a = A/\sigma$  为峰值信噪比,它与功率信噪比的关系  $S/N = a^2/2$ ,  $I_0$  为变形贝塞尔函数,则检测概率为

$$P_d = \int_{U_0}^{\infty} u \exp\left[-\frac{(u^2 + a^2)}{2}\right] I_0(au) du \quad (5)$$

式(5)不能以有理函数表达积分结果,只能求得近似解。

#### (3) 总检测概率和总虚警概率

单个扫描信号的检测概率和虚警概率分别为  $P_d$  和  $P_f$ , 则符合 M/N 准则的总检测概率  $P_D$  和总虚警概率  $P_F$  为

$$P_D = \sum_{j=M}^N \frac{N!}{j!(N-j)!} P_d^j (1 - P_d)^{N-j} \quad (6)$$

$$P_F = \sum_{j=M}^N \frac{N!}{j!(N-j)!} P_f^j (1 - P_f)^{N-j} \quad (7)$$

#### (4) 杂波干扰

在雷达可分辨范围内,当散射体的数目很多时,根据散射体反射信号振幅和相位的随机特性,一般可认为它们合成的回波包络振幅是服从瑞利分布的。对于该型雷达,其跟踪是在高仰角和平稳环境下进行,瑞利分布的杂波密性可以得到较为精确的结果<sup>[7]</sup>。

4 仿真计算与分析

确定噪声恒虚警门限系数的关键是获取接收通道噪声功率的均方值。噪声功率均方值计算过程如下：

首先采用该型雷达接收机中频 A/D 采样模块的 I、Q 支路采样数据计算噪声幅度，通过以太网采集 I、Q 支路采样数据，计算出单次采样的噪声幅度，具体公式如下：

$$A = \sqrt{A_I + A_Q}$$
 (8)

式中， $A_I$ 、 $A_Q$  为中频正交采样出的 I、Q 支路采样值， $A$  为噪声幅度。

取 10 000 次采样数据计算噪声功率均方值  $\sigma$ ，得出  $\sigma$  为 97.5。

采用计算出的噪声功率均方值确定检测门限，利用 Matlab 软件对虚警率和检测概率进行仿真计算。图 3 和图 4 分别为门限值为 150 ~ 300 时，在中频信噪比为 12 dB 情况下，仿真计算出的单次扫描虚警概率和总虚警概率、单次扫描虚检测概率和总检测概率。

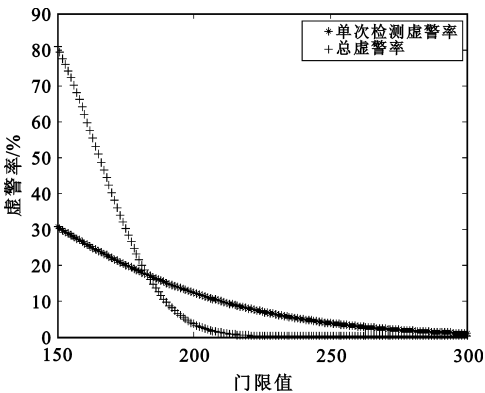


图 3 单次扫描恒虚警率和总虚警率  
Fig.3 Single and total CFAR

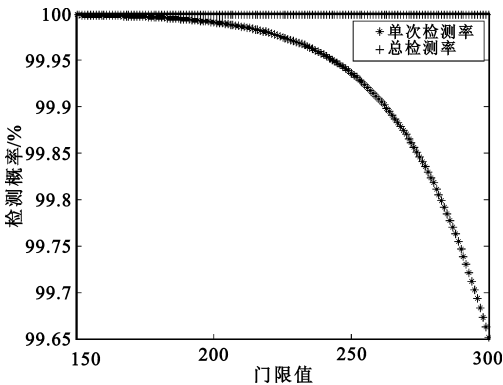


图 4 单次扫描检测概率和总检测概率  
Fig.4 Single and total detection probability

从图中可以看出，目标回波信号经过视频滑窗积累后，总检测概率对比单次扫描的检测概率没有明显变化，而总虚警概率与单次扫描的虚警概率随着检测门限值的升高呈现不同的下降趋势。检测门限值为 211 时，总虚警概率为 1% 左右；当检测门限值为 296 时，对应的虚警率和检测概率为 1% 和 99.69%，总虚警和检测概率为  $8.4919 \times 10^{-10}$  和 99.999 999 9%，均可满足系统在实际跟踪需要。考虑到满足杂波分布满足瑞利分布，中频输出杂波叠加噪声后的  $\sigma$  逐步增加到 150 的情况下，检测门限设置为 300，总检测概率对比单次扫描的检测概率未有明显下降，总虚警概率与单次扫描的虚警概率变化如图 5 所示，在  $\sigma$  增加到 140 情况下，总虚警率为 1.12%，仿真结果说明检测门限设置为 300，系统还具备一定的抗杂波检测目标能力。

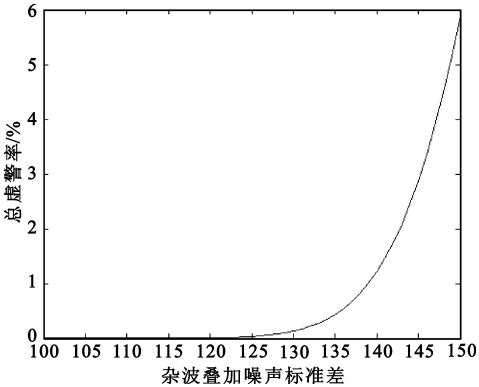


图 5 杂波情况下总虚警率变化曲线  
Fig.5 Changing curve of CFAR in clutters

5 结 论

该型雷达原检测门限采用经验值设置为 550，在实际跟踪过程中，当目标动态起伏较大时，出现记忆跟踪情况较为频繁的情况，不能保证跟踪的连续性，且对弱信号目标跟踪能力有限。在中频 AGC 归一化幅度为 1 000 的条件下，根据仿真计算结果，将检测门限由原来的 550 降至 300。通过分析实际跟踪效果得出如下结论：本文采用的基于噪声采样统计的恒虚警门限系数设置方法是可行的，实际跟踪性能表明通过适当降低检测门限，在虚警率无明显提高的情况下，能有效检测到弱信号目标，改善对动态起伏目标的跟踪性能。

参考文献：

[1] 胡航. CFAR 处理中检测门限系数的研究[J]. 火控雷达

- 技术,2005,34(6):1-3.
- HU Hang. Study on Detection Threshold Coefficient in CFAR Processing[J]. Fire Control Radar Technology,2005,34(6):1-3. (in Chinese)
- [2] 沈堤. 一种双通道雷达恒虚警处理方法[J]. 电讯技术, 2008,48(12):63-66.
- SHEN Ti. A Dual-channel Radar CFAR Detection Method [J]. Telecommunication Engineering, 2008, 48(12): 63-66. (in Chinese)
- [3] 张慧燕. 自适应门限下杂波恒虚警算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2000, 27(2): 105-109.
- ZHANG Hui-yan. Theoretic Study of the CFAR Algorithm for Clutters with a Self-adaptive Threshold[J]. Journal of Xidian University (Natural Science), 2000, 27(2): 105-109. (in Chinese)
- [4] Wensink H E. On Parametric Detection of Small Targets in Sea Clutter[C]//Proceedings of the Third International Conference on Information Fusion. [S.l.]:IEEE,2000:17-24.
- [5] Anastassopoulos V, Lampropoulos G. A New and Robust CFAR Detection Algorithm[J]. IEEE Transactions on AES, 1992,28(2):420-427.
- [6] Levanon N, Shor M. Order Statistics CFAR for Weibull Background[J]. IEEE Proceedings of Radar & Signal Processing, 1990,137(3):157-162.
- [7] 马晓岩,向家浜. 雷达信号处理[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1998.
- MA Xiao-yan, XIANG Jia-bin. Radar Signal Processing [M]. Changsha: Hunan Science Technology Publishing Company, 1998. (in Chinese)
- [8] 王德纯. 精密跟踪单脉冲测量雷达技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- WANG De-chun. Technology of Precision Monopulse Tracking and Measuring Radar[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2004. (in Chinese)

## 作者简介:

黄 坤(1982-),男,福建南平人,硕士,主要研究方向为雷达信号处理;

HUANG Kun was born in Nanping, Fujian Province, in 1982. He is with the M. S. degree. His research direction is radar signal processing.

Email: huangkun66@hotmail.com

刘 咏(1973-),男,江苏盐城人,硕士,高级工程师,主要从事雷达系统总体的研究;

LIU Yong was born in Yancheng, Jiangsu Province, in 1973. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns radar system.

宋石玉(1981-),男,江苏涟水人,学士,主要研究方向为雷达系统总体。

SONG Shi-yu was born in Lianshui, Jiangsu Province, in 1981. His research direction is radar system.