

一种新的雷达恒虚警(CFAR)处理器

吉书龙 皇甫堪 周良柱 孙仲康

(电子技术系)

摘 要 如何维持雷达检测系统恒定的虚警率是现代雷达技术和信号处理技术中重要的问题之一。为使雷达检测系统在复杂的杂波环境中获得恒定的虚警率,就需要有高性能的恒虚警(CFAR)处理器。本文提出的新型CFAR处理器选择一个与被检测距离单元的值相接近的均值来作为CFAR的门限,从而使这种处理器具有能够及时反映外部杂波环境变化的自适应性;它硬件实现简单,具有很好的抗多目标效应、抗杂波边缘效应、抗大目标“吃”小目标效应以及降低(CFAR)损失的性能。

关键词 雷达信号, 信号处理, 虚警率

分类号 TN951

常用的单元平均恒虚警方法是采用滑动参考窗口技术,凡是进入参考窗口的数据都参与形成门限值的计算。这也将是本文所述新方法的一个基本出发点。常见CFAR处理器的结构图如图1所示。第一步是估计出杂波的均值 z ,第二步是与一个系数因子 T 相乘,这个系数因子 T 由虚警率 P_{fa} 所决定,然后把乘积结果 $T * Z$ 用做CFAR的门限。事实上,如何选择能够代表杂波强弱变化情况的均值 Z 是CFAR技术的一个关键,这个值的好坏直接影响CFAR处理器的性能。本文提出的一种新型CFAR处理器在形成被估计的 Z 值上与以往技术有所不同,采用所谓的选接近值办法来实现。由此CFAR处理器性能得到提高。其余的信号处理过程基本上与图1保持不变。

1 自适应CFAR门限的形成

已有的CFAR处理方法,诸如选大CFAR方法(GO-CFAR)和排序CFAR方法(OS-CFAR),其门限都具有自适应特性。由于它们形成自适应门限的方法不同,所以CFAR

1990年7月2日收稿

this method is of good performance of autoregressive parameter estimation and transient signal detection.

Key words detection, estimate, signals/transient signals, AR model, SVD technique

处理器的优点也不一样。正如前面所述：如何来形成CFAR的门限是恒虚警技术的一个关键。为了使CFAR处理器具有更高的性能，本文给出的新方法是从小侧的均值 Z_1, Z_2 中选出一个与被检测单元值 $x(0)$ 更相近的值 z ，并与系数因子 T 相乘，由此形成CFAR处理器的检测门限。我们定义这种方法为逼近CFAR方法 (approach cell—CFAR，简称 AC—CFAR)。其结构如图2所示。

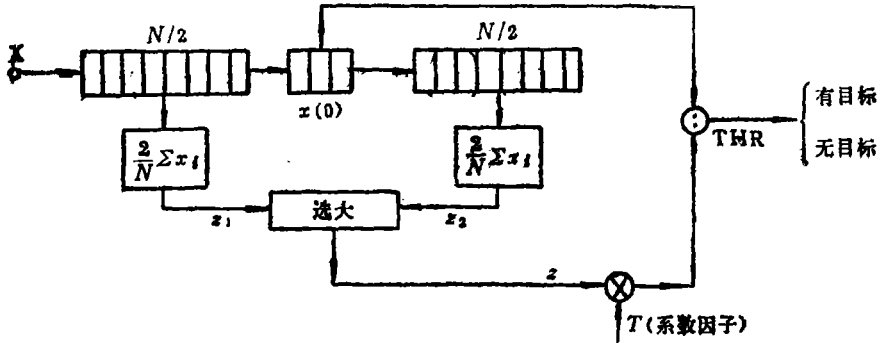


图1 常见的GO—CFAR 处理器结构图

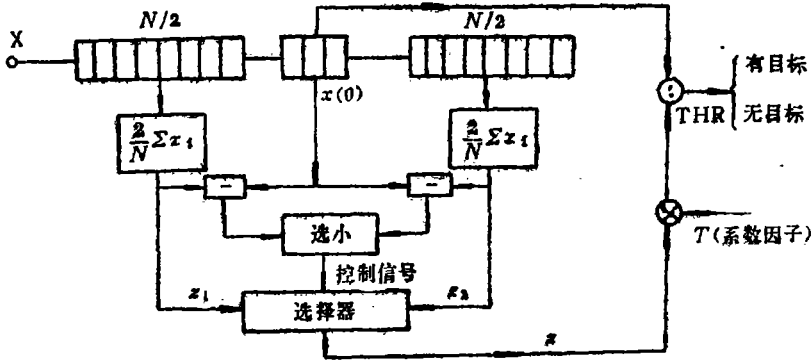


图2 AC—CFAR 处理器的结构图

显然，这种门限电平是受杂波强弱所控制的，因此它同样也是自适应的门限。这种逼近选择的合理性在于：它根据被检测单元值的大小而有目的地对两个值 Z_1, Z_2 进行筛选，使被估计出的 Z 值更有效地反映出了实际环境的情况；同时因为引入被检测单元参与估计 Z 值，因此为系统决策加大了信息量，使得检测结果可信程度更高。由下面的分析可见：这种形成门限的新方法，给本文所讨论的AC—CFAR处理器带来了性能上的提高。

2 分析与比较

为了下面分析方便，首先定义两个基本算子：“approach”和“order”。

第一个算子的表达式为： $d = (a, b) \text{approach}(c)$ ，其含义为：从 a 和 b 中选一个更接近 c 值的数据，称之为 d 。

第二个算子的表达式为： $\bar{x}_k = \text{order}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ， $k = 1, 2, \dots, M$ 。其含义为：先

对数列 x_1, x_2, \dots, x_m 进行由小到大的排列, 得到新数列 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$, 其中: $\bar{x}_1 < \bar{x}_2 < \dots < \bar{x}_m$; 然后再从排列好的数列 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ 中选出第 k 个数据 \bar{x}_k .

根据前面三种 CFAR 处理器 (排序 OS—CFAR, 选大 GO—CFAR 和逼近 AC—CFAR) 选择门限的方法以及三个算子 (order, Max (选大), approach) 的基本含义, 并参见图 2, 我们很容易给出它们各自门限 THR 的描述公式:

OS—CFAR:

$$\text{THR}_{OS} = T * \bar{x}(k) = T * \text{order} \left[x \left(\frac{N}{2} \right), \dots, x(1), x(0), x(-1), \dots, x \left(-\frac{N}{2} \right) \right]$$

$$K = \frac{3}{4} N, \quad N \text{ 是参考窗口长度 (见文献 [1])}$$

GO—CFAR:

$$\text{THR}_{GO} = T * \text{Max}(z_1, z_2)$$

AC—CFAR:

$$\text{THR}_{AC} = T * (z_1, z_2) \text{approach}(x(0))$$

其中上面三式中的因子 T 是由恒虚警率 P_{fa} 来决定。

由这三个门限公式可知: 三种 CFAR 处理器有各自的门限选择法。正是这些选择门限不同的方法决定了它们不同的 CFAR 性能。我们就从这三个 THR 公式出发, 分析在不同的信号和杂波条件下, AC—CFAR 处理器的性能, 并把它与 OS—CFAR 与 GO—CFAR 处理器进行比较。需要说明的是: 图 3 至图 5 中的瑞利杂波及目标信号的数据是由计算机产生的, 而图中的各 THR 门限曲线 则是由上面的三个门限公式计算得到的。同时注意到: 杂波和目标情况不同, 由门限公式计算出的门限曲线也不同。

2.1 恒虚警损失的比较

我们知道, 在检测门限提高的条件下, 如果还要保持原来的信号发现概率 P_D , 就必须提高信杂比 (S/c)。而这个所需提高的信杂比的倍数就是所谓恒虚警处理中的信杂比损失, 简称恒虚警损失, 通常记为 L_{CFAR} 。若设定检测概率 P_D 为固定值, 为了达到该检测概率 P_D , 表 1 中所列的三种 CFAR 处理器就分别要有一定的信杂比 (S/c)。这些信杂比的值反映出了检测系统在使用不同的 CFAR 处理器时, 为实现同一检测概率所需信杂比的情况。从而由 L_{CFAR} 的定义可知, 它们从侧面也反映出了三种 CFAR 处理器恒虚警损失的情况。表 1 中的数据是计算机模拟的结果, 三种 CFAR 处理器模拟的条件是相同的, 其条件在表 1 中作了说明。由表 1 中的数据说明: 对于表 1 中所列的三种 CFAR 处理器, 要属 OS—CFAR 损失最大, GO—CFAR 的损失次之, AC—CFAR 损失最小。因此损失较小的 AC—CFAR 方法在 L_{CFAR} 方面比其它两种常见的 CFAR 方法更具有优越性。

2.2 抗杂波边缘效应方面的性能

假设杂波和目标信号的形式如图 3 所示。由图 3 上的各 THR 曲线可以看出: 由于杂波边缘的作用, GO—CFAR 处理器是检测不到这类目标的; OS—CFAR 处理器在参考单元数 $N (=16)$ 较小时, 尚可检测到目标, 但随着 N 值的增大 ($=24, 32$), 它对这类目标信号的反映越来越不灵敏, 从而丢失目标; 在这种情况下, 只有 AC—CFAR 处理器

表1 P_D 为一定时，各CFAR处理器的 S/c (dB)

| Processor | S/c(dB) | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | $P_D=0.5$ | $P_D=0.8$ | $P_D=0.9$ | $P_D=0.99$ |
| OS-CFAR | 18.2 | 20.4 | 21.1 | 22.5 |
| GO-CFAR | 18.4 | 18.7 | 19.4 | 20.2 |
| AC-CFAR | 14.8 | 17.0 | 17.7 | 19.1 |

表1中，虚警率 $P_{fa}=10^{-6}$ ，参考单元数 $N=16$ ，瑞利杂波。

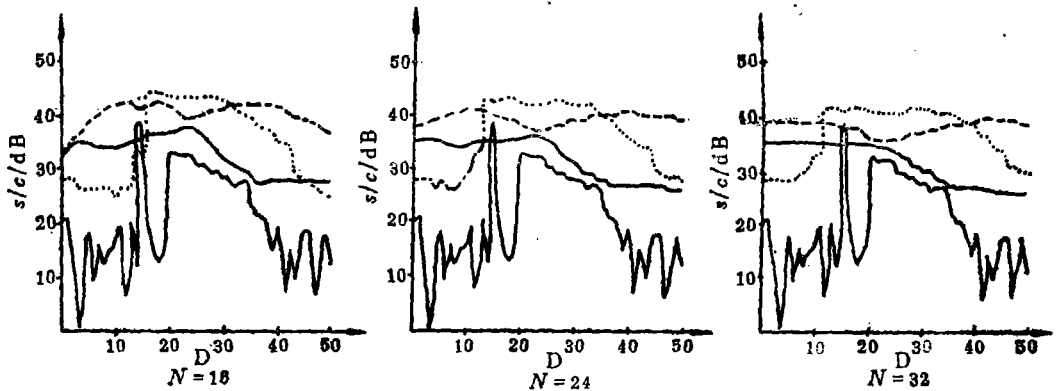


图3 杂波边缘效应(瑞利杂波)

—THRAC

----THRGO

...THROs

(N为参考窗口的长度)

可以有效地工作。因此，AC-CFAR处理器抗杂波边缘效应的性能较其它两种CFAR处理器优越。

2.3 大小目标情况

在雷达接收过程中，由于各目标雷达反射面积的不同，常常出现两个目标回波幅度相差很大的现象。正如图4所分析和比较的那样，如果使用GO-CFAR处理器，那么

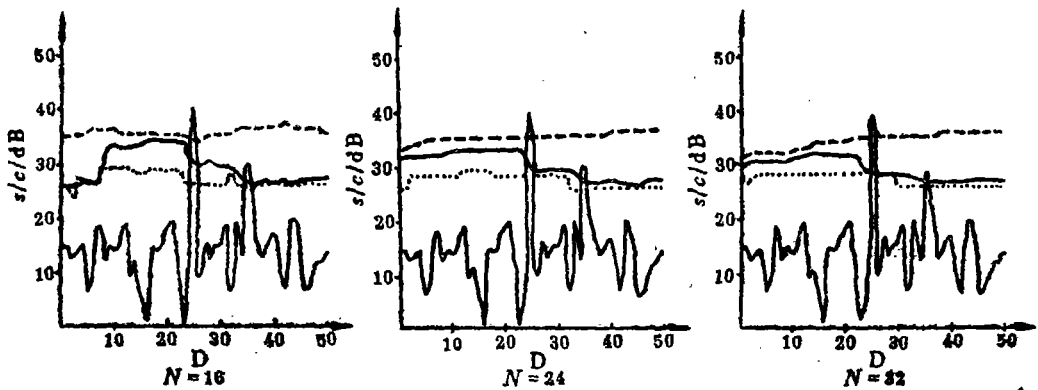


图4 大小目标情况(瑞利杂波)

—THRAC, ----THRGO, ...THROs

(N为参考窗口的长度; O距离单元)

大回波信号将把小回波信号“吃掉”，即检测不到信号幅度较小的目标。若使用 AC—CFAR 处理器或 OS—CFAR 处理器，就不会出现丢失小目标的情况。AC—CFAR 处理器的性能与 OS—CFAR 处理器都有很好的低制大目标“吃”小目标的功能。

2.4 多目标情况

AC—CFAR 处理器抗多目标效应的性能如图 5 所示。假设在 N 个参考单元中同时有三个目标信号。由图 5 中各 THR 曲线可以看出：GO—CFAR 处理器在抗多目标方面的性能是很弱的，在 $N=16, 24, 32$ 时均未能检测到目标信号；OS—CFAR 与 AC—CFAR 处理器检测到了所有的目标信号。AC—CFAR 和 OS—CFAR 都具有很好的抗多目标效应的功能。

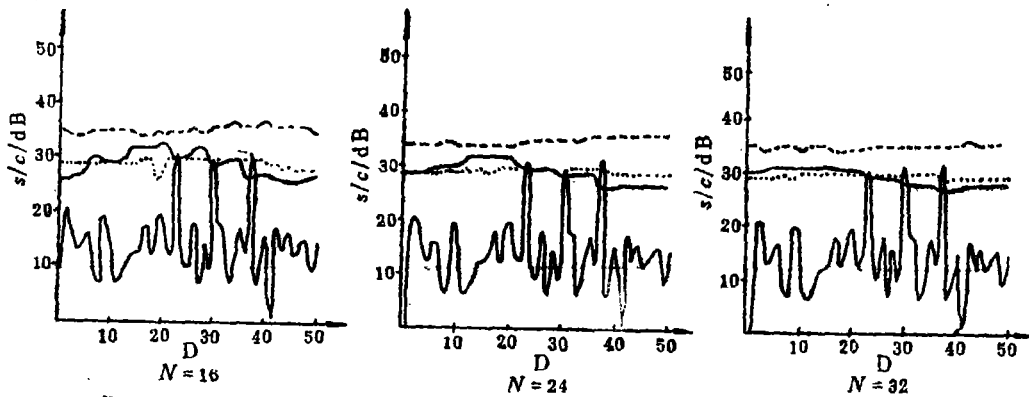


图 5 多目标情况 (瑞利杂波)

—THR_{AC}, - - - - - THR_{GO}, ···· THR_{OS}
(N 为参考窗口的长度, O 为距离单元)

3 结 论

AC—CFAR 处理器四方面的性能大大优于 GO—CFAR 处理器；与 OS—CFAR 处理器相比，其硬件实现更为简单，CFAR 损失小，抗杂波边缘效应强。可见，虽然 AC—CFAR 处理器在抗多目标效应和抗大目标“吃”小目标性能方面与 OS—CFAR 处理器相同，但总体上比 OS—CFAR 处理器性能更好。

参 考 文 献

- [1] Herman Rohling, New CFAR—Processor Based on an Ordered Statistic, IEEE INTERNATIONAL RADAR CONFERENCE, 1985, 271~275
- [2] Peter Weber, Simon haykin, Ordered Statistic CFAR Processing for Two—Parameter Distributions with Variable skewness, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, 1985, AES-21(6)
- [3] HAMSEN V GREGERS, Detectability Loss Due to Greatest of Selection in a Cell—Averaging CFAR, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, 1980, AES-16

- [4] GOLDSTEIN G B, False-Alarm Regulation in Log-Normal and Weibull clutter. IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, 1973, AES-9 (1)
- [5] NITZBERG R, Constant-False-Alarm-Rate Processors for locally Nonstationary Clutter. IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, 1973, AES-9(3)

A New Radar Constant-False-Alarm-Rate (CFAR) Processor

Ji Shulong Huangfu Kan

Zhou Liangzhu Sun Zhongkang

(Department of Electronic Technology)

Abstract

How to maintain the false-alarm-rate constant of radar detecting system is one of the important problems in modern radar technology and signal processing technology. In order to obtain constant-false-alarm-rate in the complex clutter surrounding, radar detecting system must have a constant-false-alarm-rate processor (CFAR Processor). The AC-CFAR processor discussed in this paper is a new processor. Its CFAR threshold is implemented by selecting a mean value which approaches the detected distance-cell value. On the basis of simple hardware-implement, the AC-CFAR processor has an adaptive performance which can timely reflect the changes of external clutter, and a very good performance of anti-multitarget effect and anticlutter edge effect as well. It can also resist the effect of "big target eat small target" and reduce CFAR loss.

Key words radar signal, signal processing, false-alarm-rate