

两种具有自动筛选技术的广义有序统计恒虚警检测器及其在多目标环境下的性能

何友

Hermann Rohling

(海军航空工程学院电子工程系 烟台 264001)

(西德布伦瑞克工业大学)

摘要 本文提出两种广义修正的有序统计恒虚警(OS-CFAR)检测器和一种自动筛选技术。对这两种新的 OS-CFAR 检测器,在 Swerling 2型目标假设下我们推出了虚警和检测概率及度量平均判决门限的解析表达式。在均匀背景和强干扰目标情况下,文中分析了它们的检测性能,并把它们与几个以前提出的恒虚警处理器进行了比较。

关键词 雷达,检测,恒虚警率,干扰

1 引言

在统计上不稳定的背景噪声(热噪声加杂波)下检测目标时,如采用固定门限检测,虚警率将明显增加。实际上,总噪声功率少量增加都会引起虚警率对应地增加几个数量级。因此,需要采用自适应技术来保持恒虚警率(CFAR)。文献[1,2]提出了单元平均(CA)、最大选择(GO)和最小选择(SO)单元平均方法。它们是经典恒虚警方法。由于实际的背景噪声功率强度不仅随空间和时间变化,而且噪声还经常掺杂着各种有意和无意干扰,且检测有时还需在多目标情况下进行。这时,经典方法常出现覆盖现象^[3,4],也就是说位于强回波中的弱目标不能被检测到。为此,Rohling^[5,6]提出有序统计恒虚警(OS-CFAR)方法。这种方法可以看作是对 CA-和 GO-CFAR 的替代和扩展。它在纯噪声和多目标情况下均具有较好的检测性能。OS-CFAR 的缺点是,当参考滑窗数较大时,样本排序的处理时间较长。为了克服这一不足,最近文献[7,8]又研究出两种修正的 OS-CFAR,它们是有序统计最大选择(OSGO)和最小选择(OSSO)方法。本文则提出两种广义修正的 OS-CFAR 处理器——广义有序统计最大选择(GOSGO)和最小选择(GOSSO)及一种新的自动筛选技术。在均匀干扰背景下推出虚警概率和平均判决门限(ADT)的确切表达式,并给出 Swerling 2 型目标假设下的检测概率。另外还讨论了 GOSGO、GOSSO、OSGO 和 OSSO 在多目标情况下的性能,并把它们与 OS 检测器进行了比较。

1993-04-12收到,1993-12-03定稿

何友 男,1956年生,副教授,主要研究方向有:雷达自适应检测方法,多目标跟踪,多传感器信息综合,火炮射表编制及其数据处理等。

H. Rohling 男,1946年生,教授,研究领域是:信号理论,数字雷达信号处理,检测、估计和传输。

2 模型描述

具有自动筛选技术的广义有序统计 (GOS-CFAR) 检测器的方框图表示在图 1。参考图 1, 系统搜集数量 $R = M + N$ 个参考样本并实现自适应门限测试:

$$V \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} TZ, \quad (1)$$

这里 Z 是最终的背景噪声估计, T 是门限参数, V 是测试单元变量。在参量恒虚警方法中, 所有不同 CFAR 检测器的差别就在于形成估计量 Z 的方法不同。

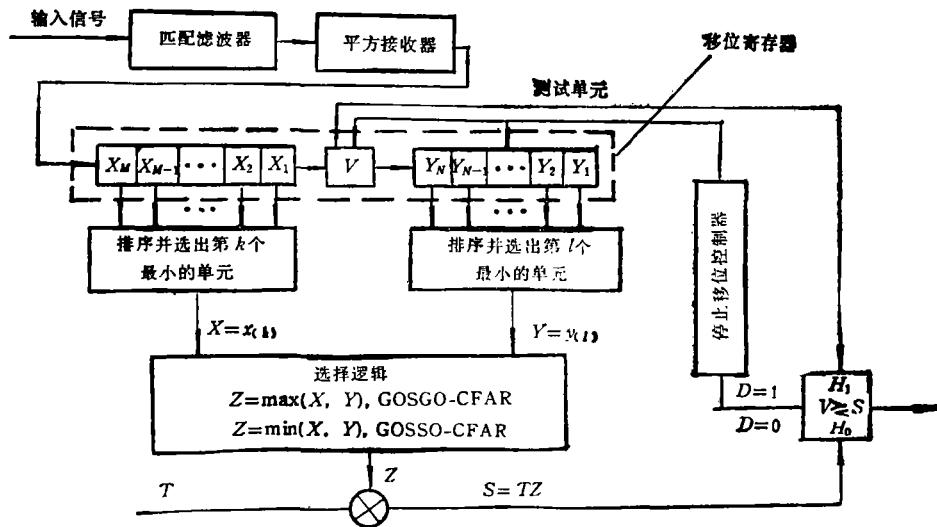


图 1 具有自动筛选技术的 GOS-CFAR 检测器方框图

图 1 设置了停止移位控制逻辑, 把它与参考单元移位寄存器有机结合, 就形成了一种自动筛选结构。其核心是把已经被测试为目标回波的单元变量从滑窗中剔除。具体方法是: 如果在测试单元根据(1)式已判决有目标 (H_1 成立), 则右边滑窗停止移位, 并从滑窗中剔除测试单元变量 V 。在 CFAR 处理中, 这是一种新的自动筛选技术。这种新技术不需要附加的处理时间, 它可应用到所有参数 CFAR 方案中。通过它可明显降低干扰目标影响, 进而提高检测性能。

假设接收机噪声是变化的、白色高斯噪声, 在纯噪声情况下检测包络是瑞利分布的。本文仅考虑单脉冲平方检测。这样, 对 Swerling 2 型目标, 可得二元假设检验对为

$$V \sim \begin{cases} f_0(v) = \frac{1}{\mu} \exp(-v/\mu), & H_0; \\ f_1(v) = \frac{1}{a\mu} \exp\left(-\frac{v}{a\mu}\right), & H_1, v > 0. \end{cases} \quad (2)$$

其中 $a = 1 + \lambda$, λ 是信噪比(SNR)。在纯噪声情况下, 变量 $x_i, i \in \bar{M}; y_j, j \in \bar{N}$ 总是被假定为统计独立和同分布的。它们共同的概率密度和分布函数为

$$f_X(x) = f_Y(x) = \frac{1}{\mu} \exp(-x/\mu), \quad x > 0, \quad (3)$$

$$F_X(x) = F_Y(x) = 1 - \exp(-x/\mu), \quad x > 0. \quad (4)$$

GOS-CFAR 检测器使用如下的局部估计器:

$$X = x_{(k)}, \quad Y = y_{(l)}. \quad (5)$$

由文献[5,6]可得前沿滑窗的第 k 个和后沿滑窗的第 l 个排序样本的概率密度函数(pdf)为

$$f_k(x) = \frac{1}{\mu} k \binom{M}{k} \left[\exp\left(-\frac{x}{\mu}\right) \right]^{M-k+1} \left[1 - \exp\left(-\frac{x}{\mu}\right) \right]^{k-1}, \quad (6)$$

$$f_l(y) = \frac{1}{\mu} l \binom{N}{l} \left[\exp\left(-\frac{y}{\mu}\right) \right]^{N-l+1} \left[1 - \exp\left(-\frac{y}{\mu}\right) \right]^{l-1}. \quad (7)$$

而它们的分布函数为^[9]

$$F_k(x) = \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \left[1 - \exp\left(-\frac{x}{\mu}\right) \right]^i \left[\exp\left(-\frac{x}{\mu}\right) \right]^{M-i}, \quad (8)$$

$$F_l(y) = \sum_{j=l}^N \binom{N}{j} \left[1 - \exp\left(-\frac{y}{\mu}\right) \right]^j \left[\exp\left(-\frac{y}{\mu}\right) \right]^{N-j}. \quad (9)$$

对应用(1)式的任意恒虚警检测器,随机变量 V 和 Z 是独立的。由文献[10]的结果得

$$P_d = g(T/a_1), \quad P_{fa} = g(T/\mu), \quad (10)$$

这里 $g(u) = E(e^{-u^*})$ 是 Z 的矩产生函数, $a_1 = \mu(1 + \lambda)$ 。

3 GOSGO-CFAR 检测器性能

GOSGO-CFAR 检测器除了用在干扰边缘降低虚警率外,也可用于多目标情况。其总的干扰功率估计为

$$Z = \max(X, Y), \quad (11)$$

通常定义(11)式中 Z 的 pdf 取为^[11]

$$f_z(z) = f_k(z)F_l(z) + f_l(z)F_k(z). \quad (12)$$

Z 的矩产生函数 $g_1(u)$ 为

$$g_1(u) = \int_0^\infty f_k(z)F_l(z)e^{-uz}dz + \int_0^\infty f_l(z)F_k(z)e^{-uz}dz = M_1(u) + M_2(u), \quad (13)$$

其中

$$\begin{aligned} M_1(u) &= \frac{1}{\mu} k \binom{M}{k} \sum_{i=l}^N \binom{N}{i} \int_0^\infty \exp[-z(M-k+1+N-j \\ &\quad + \mu u)/\mu] [1 - \exp(-z/\mu)]^{k-1+i} dz \\ &= k \binom{M}{k} \sum_{i=l}^N \binom{N}{i} \frac{\Gamma(M-k+1+N-j+\mu u) \Gamma(k+i)}{\Gamma(M+N+1+\mu u)}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$M_2(u) = \frac{1}{\mu} l \binom{N}{l} \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \int_0^{\infty} \exp[-z(N-l+1+M-i + \mu u)/\mu] [1 - \exp(-z/\mu)]^{l-1+i} \\ - l \binom{N}{l} \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \frac{\Gamma(N-l+1+M-i+\mu u)\Gamma(l+i)}{\Gamma(N+M+1+\mu u)}. \quad (15)$$

由(10)式,可得 GOSGO-CFAR 的检测和虚警概率为

$$P_d^{\text{GOSGO}} = k \binom{M}{k} \sum_{j=l}^N \binom{N}{j} \frac{\Gamma[M-k+1+N-j+T/(1+\lambda)]\Gamma(k+j)}{\Gamma[M+N+1+T/(1+\lambda)]} \\ + l \binom{N}{l} \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \frac{\Gamma[N-l+1+M-i+T/(1+\lambda)]\Gamma(l+i)}{\Gamma[N+M+1+T/(1+\lambda)]}, \quad (16)$$

$$P_{fa}^{\text{GOSGO}} = k \binom{M}{k} \sum_{j=l}^N \binom{N}{j} \frac{\Gamma(M-k+1+N-j+T)\Gamma(k+j)}{\Gamma(M+N+1+T)} \\ + l \binom{N}{l} \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \frac{\Gamma(N-l+1+M-i+T)\Gamma(l+i)}{\Gamma(N+M+1+T)}. \quad (17)$$

对于任意给定的 P_{fa} ,解(17)式可得 GOSGO-CFAR 的门限参数 T ,它是 k 和 l 的函数。 M 和 N 分别代表前后沿参考单元数。对于 $P_{fa} = 10^{-6}$, $M = 22$, $N = 10$,表 1 给出了 GOSGO 的部分因子 T 。当 $M=N$ 时,有 $T[k,l] = T[l,k]$, $P_d[k,l] = P_d[l,k]$ 。这个结论对 GOSSO-CFAR 也成立。

表 1 GOSGO-CFAR 检测器的部分参数 T 和部分 ADT 值

$N = 10, l$ $M = 22, k$		4	5	6	7	8	9
14	T	22.58	21.17	19.49	17.59	15.50	13.17
	ADT	22.33	21.62	21.33	21.77	23.16	25.70
15	T	19.90	18.89	17.62	16.11	14.48	12.39
	ADT	22.04	21.34	20.87	20.99	22.04	24.38
16	T	17.52	16.81	15.86	14.68	13.27	11.60
	ADT	21.83	21.19	20.62	20.45	21.12	23.14
17	T	15.38	14.90	14.22	13.31	12.18	10.79
	ADT	21.69	21.14	20.54	20.15	20.42	22.01
18	T	13.43	13.13	12.65	11.98	11.10	9.958
	ADT	21.61	21.11	20.61	20.08	19.99	21.05
19	T	11.64	11.46	11.15	10.67	10.00	9.096
	ADT	21.63	21.13	20.84	20.25	19.86	20.35

由于

$$E(Z) = -\left. \frac{d(g(u))}{du} \right|_{u=0}, \quad (18)$$

根据文献[5,6]对度量 ADT 的定义,可得 GOSGO 检测器的 ADT 为

$$\begin{aligned}
 \text{ADT}_{\text{GOSGO}} &= T \left[k \binom{M}{k} \sum_{j=l}^N \binom{N}{j} \int_0^{\infty} z \exp[-z(M-k+1+N-j)] \right. \\
 &\quad \times [1 - \exp(-z)]^{k-1+j} dz + l \binom{N}{l} \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \\
 &\quad \times \int_0^{\infty} z \exp[-z(N-l+1+M-i)] [1 - \exp(-z)]^{l-1+i} dz \Big] \\
 &= T \left[\sum_{j=l}^N \frac{k \binom{M}{k} \binom{N}{j}}{(k+j) \binom{M+N}{k+j}} \sum_{b=1}^{k+j} \frac{1}{M+N-k-j+b} \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=k}^M \frac{l \binom{N}{l} \binom{M}{i}}{(l+i) \binom{N+M}{l+i}} \sum_{q=1}^{l+i} \frac{1}{N+M-l-i+q} \right]. \quad (19)
 \end{aligned}$$

当 $M=N$, 显然 $\text{ADT}_{\text{GOSGO}}[k, l] = \text{ADT}_{\text{GOSGO}}[l, k]$, 对 GOSSO 也成立。表 1 也给出了 $\text{ADT}_{\text{GOSGO}}$ 的对应值。由 ADT 的定义可知, ADT 越小, 则 P_d 越大。当 R 固定, 则较大的 $M-N$ (差值) 总是使 GOSGO 具有较好的检测性能。当 $N=0$ 时, GOSGO 退化成 OS。为了在干扰边缘保持好的性能并抑制过大的虚警率, 在 GOSGO 中, M, N 的选择应采取折衷方案。如果取 $M=N, k=l$, 则 GOSGO 便退化成 OSGO。对 M, N, k, l 的选择来说, GOSGO 较 OSGO 具有更大的稳健性。

4 GOSSO-CFAR 检测器分析

在 GOSSO-CFAR 方案中, 噪声功率估计取

$$Z = \min(X, Y), \quad (20)$$

这时 Z 的 pdf 为^[11]

$$f_z(x) = f_k(x) + f_l(x) - (f_k(x)F_l(x) + f_l(x)F_k(x)). \quad (21)$$

根据矩产生函数的定义和(14),(15)两式, 有

$$\begin{aligned}
 g_z(u) &= k \binom{M}{k} \left[\frac{\Gamma(M-k+1+\mu u) \Gamma(k)}{\Gamma(M+\mu u+1)} \right. \\
 &\quad \left. - \sum_{j=l}^N \binom{N}{j} \frac{\Gamma(M-k+1+N-j+\mu u) \Gamma(k+j)}{\Gamma(M+N+1+\mu u)} \right] \\
 &\quad + l \binom{N}{l} \left[\frac{\Gamma(N-l+1+\mu u) \Gamma(l)}{\Gamma(N+\mu u+1)} \right. \\
 &\quad \left. - \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \frac{\Gamma(N-l+1+M-i+\mu u) \Gamma(l+i)}{\Gamma(N+M+1+\mu u)} \right]. \quad (22)
 \end{aligned}$$

由(10)式, 得 GOSSO-CFAR 的检测和虚警概率为

$$P_d^{\text{GOSSO}} = k \binom{M}{k} \left[\frac{\Gamma[M-k+1+T/(1+\lambda)] \Gamma(k)}{\Gamma(M+1+T/(1+\lambda))} \right]$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{j=1}^N \binom{N}{j} \frac{\Gamma[M-k+1+N-j+T/(1+\lambda)]\Gamma(k+j)}{\Gamma[M+N+1+T/(1+\lambda)]} \\
& + l \binom{N}{l} \left[\frac{\Gamma[N-l+1+T/(1+\lambda)]\Gamma(l)}{\Gamma[N+1+T/(1+\lambda)]} \right. \\
& \left. - \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \frac{\Gamma[N-l+1+M-i+T/(1+\lambda)]\Gamma(l+i)}{\Gamma[N+M+1+T/(1+\lambda)]} \right] \quad (23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{fa}^{GOSSO} &= k \binom{M}{k} \left[\frac{\Gamma(M-k+1+T)\Gamma(k)}{\Gamma(M+1+T)} \right. \\
& - \sum_{j=1}^N \binom{N}{j} \frac{\Gamma(M-k+1+N-j+T)\Gamma(k+j)}{\Gamma(M+N+1+T)} \\
& + l \binom{N}{l} \left[\frac{\Gamma(N-l+1+T)\Gamma(l)}{\Gamma(N+1+T)} \right. \\
& \left. - \sum_{i=k}^M \binom{M}{i} \frac{\Gamma(N-l+1+M-i+T)\Gamma(l+i)}{\Gamma(N+M+1+T)} \right]. \quad (24)
\end{aligned}$$

在 $P_{fa} = 10^{-4}$, $M = 19$, $N = 13$ 的条件下表 2 给出了 GOSSO-CFAR 门限参数 T 的一些代表值。

表 2 GOSSO-CFAR 检测器的部分参数 T 和部分 ADT 值

$M = 19, k$ $N = 13, l$		11	12	13	14	15	16	17	18
9	T	35.90	32.50	31.35	31.09	31.04	31.03	31.03	31.03
	ADT	27.12	27.02	28.25	29.90	31.40	32.56	33.34	33.79
10	T	34.19	28.69	25.37	23.90	23.47	23.38	23.37	23.37
	ADT	27.15	25.53	24.98	25.71	27.19	28.73	29.99	30.85
11	T	33.98	27.96	23.48	20.37	18.63	17.98	17.83	17.81
	ADT	27.72	25.92	24.52	23.75	24.01	25.28	26.95	28.43
12	T	33.96	27.88	23.19	19.51	16.68	14.75	13.81	13.54
	ADT	28.05	26.38	25.03	23.92	23.12	23.00	24.03	25.98
13	T	33.96	27.87	23.16	19.41	16.34	13.80	11.76	10.41
	ADT	28.16	26.57	25.34	24.38	23.60	23.01	22.77	23.56

另外,由(18)式,可推出 GOSSO 的 ADT 为

$$\begin{aligned}
ADT_{GOSSO} &= T \left\{ \left[\sum_{i=1}^k \frac{1}{M-k+i} - \sum_{i=1}^N \frac{k \binom{M}{k} \binom{N}{j}}{(k+i) \binom{M+N}{k+j}} \right. \right. \\
& \left. \left. \times \sum_{b=1}^{k+j} \frac{1}{[M+N-k-j+b]} \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left[\sum_{j=1}^l \frac{1}{N-l+j} - \sum_{i=k}^M \frac{l \binom{N}{l} \binom{M}{i}}{(l+i) \binom{N+M}{l+i}} \right. \\
 & \left. \times \sum_{q=1}^{l+i} \frac{1}{(N+M-l-i+q)} \right] \}. \quad (25)
 \end{aligned}$$

表2也给出了 ADT_{GOSSO} 的一些典型值。从对 ADT_{GOSSO} 的分析发现,当 R 固定时, GOSSO-CFAR 的 M 和 N 间存在一个最优组合。例如,取 $R = 32$, 则 $M = 22 (k = 17)$, $N = 10 (l = 10)$ 时, ADT_{GOSSO} 的值最小。取 $M = N, k = l$, 则 GOSSO 便退化成 OSSO 。

当 $M = N = 16$ 时,在 OSGO 中最优的 ADT 值位于 $k = 14$,在 OSSO 中最小的 ADT 值位于 $k = 15$, 这些与文献[7]的结果是不一致的。从表1,表2的 ADT 看,在均匀背景下, GOSGO 的性能与 OS 相近, GOSSO 要比 OS 差些,但也能被接受。

5 GOSGO-和 GOSSO-CFAR 在多目标情况下的性能

这里仅分析强干扰目标的影响,即假定干扰与噪声功率比 (INR) 基本上是无限制的,因此干扰目标回波总是占居最高的有序统计。这在某种意义上是一种最糟的情况分析,对有限的 INR , 检测损失将变小。这样,可通过用 $M-\text{IL}$, $N-\text{IR}$ 分别在(16)或(23)式中代替 M 和 N 来评价 (IL 和 IR 分别代表前、后沿滑窗中的干扰目标数)。表3给出了在 Swerling 2 型目标条件下几种检测器的 CFAR 损失。

表3 几种检测器在多目标环境下的 CFAR 损失 (dB)

CFAR 类型 \ 干扰目标数	IL=0 IR=0	1	1	2	2	3	3	4	4
	0	0	1	0	1	0	1	0	1
GOSGO	1.685	1.961	2.293	2.308	2.577	2.760	2.950	3.345	3.470
OSGO	1.870	2.128	2.347	2.481	2.651	2.951	3.068	3.597	3.669
GOSSO	2.570	2.842	3.093	3.101	3.427	3.348	3.758	3.567	4.067
OSSO	2.947	3.182	3.438	3.377	3.677	3.544	3.887	3.674	4.069
OS	1.488	1.771	2.073	2.073	2.409	2.409	2.784	2.784	3.198
CFAR 类型 \ 干扰目标数	IL=4 IR=2	5	5	5	6	6	6	6	6
	0	0	1	2	0	1	2	3	3
GOSGO	3.781	4.165	4.226	4.421	5.527	5.546	5.620	5.991	6.116
OSGO	3.787	4.522	4.555	4.614	6.058	6.066	6.082	6.116	6.116
GOSSO	4.562	3.738	4.341	4.995	3.849	4.551	5.387	6.405	6.405
OSSO	4.471	3.764	4.187	4.659	3.811	4.263	4.779	5.355	5.355
OS	3.695	3.198	3.695	4.284	3.695	4.284	5.069	6.323	6.323

GOSGO: $M = 22, N = 10, k = 16, l = 7$; GOSSO: $M = 19, N = 13, k = 13, l = 10$; OSGO, OSSO: $M = N = 16, k = l = 10$; OS: $R = 32, k = 23$

为了便于比较,在这里也给出了 OS-CFAR 在多目标情况下的性能。对 GOSGO 取 $M=22, N=10, k=16, l=7$; 对 OS 选择 $R=32, k=23$ 。为了使其它三个 CFAR 检测与上述两个具有相同的抗干扰目标能力: 对 GOSSO 取 $M=19, N=13, k=13, l=10$; 对 OSGO 和 OSSO 取 $M=N=16, k=l=10$ 。在这些条件下,允许它们最多可处理 9 个干扰目标。由于在自适应检测中采用了自动筛选技术,这使得干扰目标一般不能等数量地分布在前、后沿滑窗中。

由表 3 的结果可知: GOSGO 的损失比 OSGO 小;而 GOSSO 和 OSSO 的性能相近,当 $IL+IR \leq 5$ 时, GOSSO 优于 OSSO,但当 $IL+IR \geq 6$ 时, OSSO 的损失小于 GOSSO,这说明 GOSSO 较 OSSO 更适合于均匀背景和干扰目标不太多的情况。一般地说,在这五种 CFAR 方案中, OS 的性能更好一些。但当 $IL+IR=9$ (对 OS 干扰目标数为 $IL+IR$) 时, GOSGO 和 OSGO 的损失都小于 OS,这是因为它们具有双边抗干扰能力;当 $IL=6, IR \geq 1$ 时, OSSO 的损失也小于 OS,那是因为 OSSO 抗击单边密集干扰的优势发挥了作用,同时也与较小的 k, l 值有关;对于 $IL=6, IR \leq 2$, GOSSO 优于 GOSGO 也是这个原因。对于其它的 M, N 和 k, l 取值,上述结果还会有些局部变化。这说明各种 CFAR 技术对不同环境各有其适应性,因而在实际应用中要根据可能遇到的背景环境来选择 CFAR 方案,并且往往需要进行折衷选择,因为到目前为止还很难找到任意环境都完全适应的 CFAR 检测器。

6 结 论

我们已经提出了两种广义有序统计恒虚警算法和一种新的自动筛选技术。在干扰目标不存在的情况下, GOSGO 是一种容易实现的 CFAR 方案,并且它与 OS 具有相近的检测性能。另外,它还应该提供好的干扰边缘保护。由于本文提出了一种在多目标环境下的自动筛选技术,这使得 GOSGO 和 GOSSO 通常较 OSGO 与 OSSO 更有效。在均匀背景和多目标情况下, GOSGO 均优于 OSGO。而 GOSSO 在均匀背景和干扰目标数不太多的情况下也好于 OSSO。这说明, GOSGO 和 GOSSO-CFAR 是两种较好的可供选择的 CFAR 检测器。当单边干扰目标数超过最大可被允许值时, GOSSO 或 OSSO 将提供最好的检测性能。

参 考 文 献

- [1] Finn H M, Johnson R S. RCA Rev., 1968, 29(3): 414—463.
- [2] Trunk G V. IEEE Trans. on AES, 1979, AES-14(5): 750—755.
- [3] Al-Hussaini E K, Ibrahim B M. IEE Proc.-F, Commun., Radar and Signal Process, 1986, 133(3): 217—223.
- [4] Rickard J T, Dillard G H. IEEE Trans. on AES, 1977, AES-13(14): 338—343.
- [5] Rohling H. IEEE Trans. on AES, 1983, AES-19(3): 608—621.
- [6] Rohling H. NTZ, 1983, 5(4): 101—111.
- [7] Elias-Fuste A R, Mercado M G, Davo E R. IEEE Trans. on AES, 1990, AES-26(1): 197—202.
- [8] Ritecy J A, Hines J L. IEEE Trans. on AES, 1991, AES-27(1): 48—57.
- [9] David H A. Order Statistics, New York: John Wiley and Sons., 1981. Chapter 1.
- [10] 何友, Rohling H. 一种新的有序统计恒虚警处理器. 第六届全国雷达年会, 北京: 1993, 399—402.

- [11] Papoulis A. Probability, random variables, and stochastic processes, New York: McGraw-Hill, 1984, Chapter 5.

**PERFORMANCE OF TWO GENERALIZED ORDER
STATISTICS CFAR DETECTORS WITH
AUTOMATIC CENSORING
TECHNIQUE IN MULTIPLE
TARGET SITUATIONS**

He You

(Technical University of Yantai, Yantai 264001)

Hermann Rohling

(Technical University of Braunschweig, Germany, 38092 Braunschweig)

Abstract This paper presents two generalized modified OS-CFAR detectors and an automatic censoring technique. For these two new OS-CFAR detectors, analytic expressions of the false alarm rate, the detection probabilities and the measure of ADT under the Swerling 2 assumption are obtained. Their detection performances are analyzed in homogeneous background and in the presence of strong interfering targets, and they are compared with several previously proposed CFARs.

Key words Radar, Detection, CFAR, Clutter