

文章编号: 1001- 2486(2010) 05- 0092- 06

一种基于最大选择的 Switching-CFAR 检测器*

郭裕兰, 欧建平, 张 军, 万建伟

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对传统 CFAR (Constant False Alarm Rate) 检测器不能同时适应于均匀和非均匀杂波背景的问题, 提出了一种改进的 CFAR 检测器, 即 IEGOS (Iterative Excision Greatest of Switching)-CFAR 检测器。在迭代删除的基础上, 采用 Switching 方法, 利用检测单元幅度自适应选择参考单元, 得到前后滑窗的局部杂波功率估计, 然后取二者中的最大值作为总的杂波功率估计, 实现恒虚警检测。在 Swerling II 型目标和瑞利包络杂波分布的假设下, 推导证明了 IEGOS 的恒虚警性, 与 CA、GO、SO、OS 和 EXS 算法的对比分析表明 IEGOS 在均匀杂波、多目标干扰和杂波边缘中均拥有较好的性能, 且该算法无需排序, 便于工程实现。

关键词: 恒虚警检测; 最大选择; 迭代删除; 自适应检测器

中图分类号: TN957. 71 文献标识码: A

A Switching-CFAR Detector Based on Greatest Selection

GUO Yu-lan, OU Jian-ping, ZHANG Jun, WAN Jian-wei

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: For traditional CFAR detection, the detectors cannot adapt to homogenous and non-homogenous environment simultaneously, so a modified CAFR detector (IEGOS CFAR) is proposed based on greatest selection in this paper. Using the switching method, the local clutter power estimates in leading window and trailing window were obtained by choosing the reference cells adaptively, then the greatest of them was taken as the total clutter power estimate to realize the CFAR detection. Under the assumption of Swerling II target and Rayleigh distribution clutter, the CFAR property was proved. Comparisons between CA, GO, SO, OS and EXS detectors show that IEGOS owns better performance both in homogenous and non-homogenous environment caused by interference and clutter edge. The detector is suitable for application since no sample ordering is needed.

Key words: CFAR (Constant False Alarm Rate) detector; greatest selection; iterative excision; adaptive detector

恒虚警 (CFAR) 检测的基本原理是根据检测单元附近的参考单元来估计背景杂波的平均功率, 从而得到自适应的检测门限, 使检测时的虚警概率 (P_{fa}) 保持不变。传统的 CFAR 检测算法主要包括均值 (ML) 类和有序统计 (OS) 类 CFAR 算法。ML 类 CFAR 主要有单元平均^[1] (CA)、最大选择^[2] (GO) 和最小选择^[3] (SO) CFAR。CA 是出现最早的 ML 类检测算法, 当参考单元较大时, 它在均匀杂波背景中的检测性能接近于最优检测^[4], 但在非均匀背景中的检测性能却急剧下降。GO 和 SO 则分别是为了克服 CA 在杂波边缘虚警率上升和在多目标干扰下检测性能下降的问题而产生的, 但二者都带来一定的检测损失^[4]。OS 类 CFAR 主要包括有序统计^[5,8] (OS)、删除均值^[6] (CMLD) 和削减平均^[7] (TM) 等, OS 虽然抗多目标干扰优势明显, 但在均匀杂波下相对于 CA-CFAR 有一定的检测损失, 而 TM 在均匀杂波下的检测性能相对于 OS 虽有一定的提升, 但其抗杂波边缘性能却要差于 OS。OS 类算法都存在容许的最大干扰目标数^[4], 当目标数超过容许数时, 其检测性能会严重下降。

上述算法所涉及的逻辑选择和参数都是固定的, 无法同时适用于不同的背景杂波环境。最重要的是, 这些算法在杂波功率估计时都仅仅利用了参考单元的信息, 而忽略了检测单元。基于此, Cao 提出了一种基于检测单元统计量的新的 CFAR 算法: Switching CFAR (S-CFAR)^[9-11], 该算法同时利用检测单

* 收稿日期: 2010- 04- 20

基金项目: 国防科技大学优秀研究生创新基金资助项目 (S090401)

作者简介: 郭裕兰 (1985-), 男, 博士生。

元和参考单元的信息来选择参考单元用于杂波估计,其在均匀杂波背景中的检测性能接近于 CA,在多目标干扰背景中拥有较好的检测性能,但其虚警控制能力不如 GO 和 CA。Erfanian 等对 S-CFAR 进行了改进,即在进行 S-CFAR 检测之前先对滑窗中超过预设删除门限的参考单元进行一次删除,于是得到了删除 S-CFAR(EXS-CFAR)^[12],但该算法并没有从本质上解决 S-CFAR 存在的问题。本文在上述算法的基础上,得到了一种迭代删除后选大的 S-CFAR(IEGOS-CFAR),该算法先分别对前后滑窗中的参考单元做迭代删除,直到没有干扰目标过门限为止,然后对剩余的参考单元用 Switching 方法得到前后滑窗局部杂波统计量,再选择其中的大者作为总的杂波功率估计。本算法克服了 EXS-CFAR 可能出现的干扰目标删除不完全的缺陷,同时,选大逻辑提高了 S-CFAR 算法在杂波边缘的虚警控制能力。

1 IEGOS-CFAR 检测器原理

假设 $x_1, x_2, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_N$ 为参考窗中的 $2N$ 个采样值,检测单元为 x_d 。IEGOS-CFAR 算法描述如下:

(1) 对前后滑窗中的参考单元进行迭代删除处理

分别求前后滑窗中参考单元 x_1, x_2, \dots, x_N 及 y_1, y_2, \dots, y_N 的均值 m_{x0} 和 m_{y0} 。然后分别将前后滑窗中每个参考单元与删除门限 $\gamma_{m_{x0}}$ 和 $\gamma_{m_{y0}}$ 进行比较,将超过这一门限的参考单元删除,得到新的参考单元序列。重新计算新的参考单元的均值并进行删除运算,直到没有参考单元过门限为止,得到迭代删除后参考单元序列 x_1, x_2, \dots, x_{n_x} 和 y_1, y_2, \dots, y_{n_y} , 分别记为 s_x 和 s_y 。其中 n_x 和 n_y 分别为迭代删除后前沿滑窗 s_x 和后沿滑窗 s_y 中的参考单元数。

(2) 用 Switching 方法估计前后滑窗杂波功率

由于前后滑窗的处理方法一致,文中以前沿滑窗为例说明算法过程。

①将 s_x 中的每个采样点 x_i 分别与 α_d 进行比较,从而将 s_x 分成两类 s_{x0} 和 s_{x1} , 即

$$x_i \begin{cases} \geq \\ < \end{cases} \alpha_d, \quad i = 1, 2, \dots, n_x \quad (1)$$

其中, α 为一标称化系数。

②统计 s_{x0} 中的参考单元数 n_{x0} , 若 n_{x0} 大于 N_{Tx} , 选择 s_{x0} 中的采样估计杂波功率, 否则, 选择 s_x 中的全部单元估计杂波功率。即

$$X = \begin{cases} \frac{1}{n_{x0}} \sum_{x_i \in s_{x0}} x_i, & \text{if } n_{x0} > N_{Tx} \\ \frac{1}{n_x} \sum_{x_i \in s_x} x_i, & \text{if } n_{x0} \leq N_{Tx} \end{cases} \quad (2)$$

其中, N_{Tx} 为一设定的整数门限,常取为 n_{x0} 的一半, X 为前沿滑窗中的杂波功率估计。

(3) 用 GO 选大得到总体杂波功率估计并做检测判决

依上述(1)式和(2)式分别得到前后参考窗中的杂波功率估计 X 和 Y , 选择二者中的最大值作为总的杂波功率估计, 即

$$Z = \max(X, Y) \quad (3)$$

判决表达式为

$$\begin{matrix} H_1 \\ x_d > TZ \\ H_0 \end{matrix} \quad (4)$$

其中, T 为检测门限因子, H_0 为检测单元不存在目标的假设, H_1 为检测单元存在目标的假设。

综上,得到 IEGOS-CFAR 检测器的原理框图如图 1 所示。

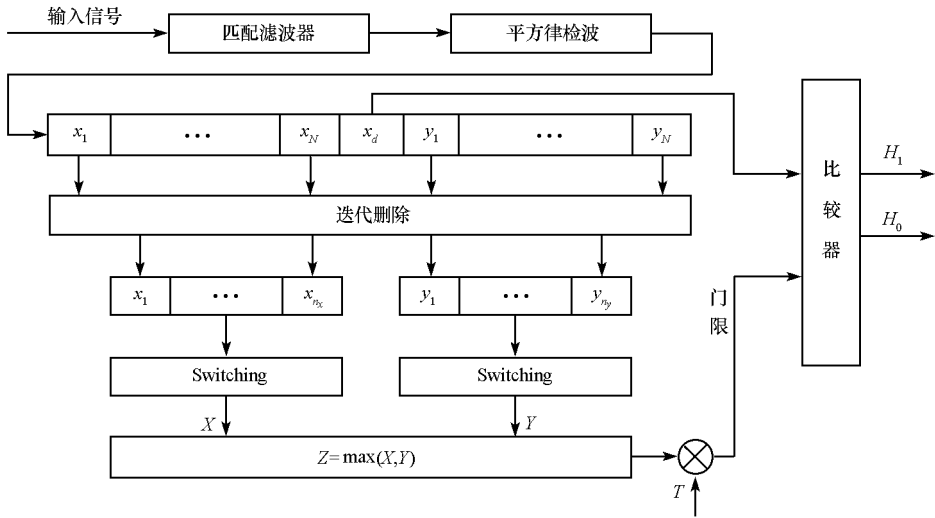


图 1 IEGOS-CFAR 检测器原理框图

Fig. 1 Illustration of IEGOS-CFAR detector

2 均匀杂波背景下的恒虚警性证明

假设目标为 Swerling II 型, 杂波包络服从瑞利分布, 各参考单元独立同分布。则经过平方律检波后, 每个参考单元采样均服从指数分布^[4], 其概率密度函数(PDF)为

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}, \quad x > 0 \quad (5)$$

无目标时 μ 等于 μ_0 , 有目标时 μ 等于 $\mu_0(1 + \lambda)$ 。其中 μ_0 为杂波功率, λ 为目标信杂比。

由于 IEGOS-CFAR 只能取前沿或者后沿滑窗中的局部杂波估计作为总的杂波估计, 在此先分析取前沿滑窗局部杂波估计 X 作为整体杂波估计时的恒虚警性。

在算法第(1)步中, 信号经过了迭代删除, 若删除门限因子为 γ , 则参考单元 x_i ($i = 1, 2, \dots, N$) 不被删除的概率为

$$P_s = \int_0^{\mu_0} f(x) dx = \int_0^{\mu_0} \frac{1}{\mu_0} e^{-x/\mu_0} dx = 1 - e^{-\gamma} \quad (6)$$

经过迭代删除后, 参考单元 x_i ($i = 1, 2, \dots, n_x$) 的概率密度函数 $f'(x)$ 为

$$f'(x) = \frac{\frac{1}{\mu_0} e^{-x/\mu_0}}{1 - e^{-\gamma}}, \quad x > 0 \quad (7)$$

因而, 只包含噪声的参考单元被划分到 s_{x0} 的概率为

$$P_0 = p(x_i < \alpha x_d) = \int_0^{\alpha} f_{x_d}(x_d) \int_0^{\alpha x_d} f'(x) dx dx_d \quad (8)$$

将式(5)和式(7)代入式(8), 得到

$$P_0 = \frac{1}{1 - e^{-\gamma}} \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (9)$$

取前沿滑窗局部估计 X 作为杂波估计时的虚警概率为

$$P_{fa_x} = P(n_{x0} \leq N_{Tx}) \times P(x_d > \frac{T}{n_x} \sum_{i=1}^{n_x} x_i | H_0) + P(n_{x0} > N_{Tx}) \times P(x_d > \frac{T}{n_{x0}} \sum_{i=1}^{n_{x0}} x_i | H_0) \quad (10)$$

其中

$$P(n_{x0} \leq N_{Tx}) = \sum_{n_x=1}^N \binom{N}{n_x} P_s^{n_x} (1 - P_s)^{N-n_x} \sum_{n_{x0}=0}^{N_{Tx}} \binom{N_{Tx}}{n_{x0}} P_0^{n_{x0}} (1 - P_0)^{N_{Tx}-n_{x0}} \quad (11)$$

$$P(n_{x0} > N_{Tx}) = \sum_{n_x=1}^N \binom{N}{n_x} P_s^{n_x} (1-P_s)^{N-n_x} \sum_{n_{x0}=N_{Tx}+1}^{n_x} \binom{n_x}{n_{x0}} P_0^{n_{x0}} (1-P_0)^{n_x-n_{x0}} \quad (12)$$

同时,由文献[4]可得

$$P(x_d > \frac{T}{n_x} \sum_{i=1}^{n_x} x_i | H_0) = (1+T)^{-n_x} \quad (13)$$

$$P(x_d > \frac{T}{n_{x0}} \sum_{i=1}^{n_{x0}} x_i | H_0) = (1+T)^{-n_{x0}} \quad (14)$$

得到此时的虚警概率为

$$P_{fa_x}(\alpha, \gamma, T) = \sum_{n_x=1}^N \binom{N}{n_x} P_s^{n_x} (1-P_s)^{N-n_x} \sum_{n_{x0}=0}^{N_{Tx}} \binom{n_x}{n_{x0}} P_0^{n_{x0}} (1-P_0)^{n_x-n_{x0}} (1+T)^{-n_x} + \sum_{n_x=1}^N \binom{N}{n_x} P_s^{n_x} (1-P_s)^{N-n_x} \sum_{n_{x0}=N_{Tx}+1}^{n_x} \binom{n_x}{n_{x0}} P_0^{n_{x0}} (1-P_0)^{n_x-n_{x0}} (1+T)^{-n_{x0}} \quad (15)$$

同理可以得到取后沿滑窗局部估计 Y 作为杂波估计时的虚警概率为

$$P_{fa_y}(\alpha, \gamma, T) = \sum_{n_y=1}^N \binom{N}{n_y} P_s^{n_y} (1-P_s)^{N-n_y} \sum_{n_{y0}=0}^{N_{Ty}} \binom{n_y}{n_{y0}} P_0^{n_{y0}} (1-P_0)^{n_y-n_{y0}} (1+T)^{-n_y} + \sum_{n_y=1}^N \binom{N}{n_y} P_s^{n_y} (1-P_s)^{N-n_y} \sum_{n_{y0}=N_{Ty}+1}^{n_y} \binom{n_y}{n_{y0}} P_0^{n_{y0}} (1-P_0)^{n_y-n_{y0}} (1+T)^{-n_{y0}} \quad (16)$$

可知,在均匀杂波中,无论取前沿还是后沿滑窗的局部杂波估计作为总的杂波估计,其虚警概率 P_{fa_x} 和 P_{fa_y} 都只与检测器参数 α 、 γ 和 T 有关,而与杂波功率 μ_0 无关,因而总的虚警概率 P_{fa} 也与杂波功率 μ_0 无关,即虚警概率不随杂波功率变化而变化,因而 IEGOS-CFAR 检测器具有恒虚警性能。

3 仿真与结果分析

本节将通过 Monte-Carlo 仿真试验,对比分析 IEGOS 与 CA、GO、SO、OS 及 EXS 等检测器在均匀杂波、多目标干扰及杂波边缘等场景下的检测性能和虚警控制能力。

3.1 仿真参数选取

参考单元数 N 的选择对准确估计杂波强度十分重要,太小则估计出的杂波强度起伏较大,太大则参考单元内的杂波平稳性变坏,根据工程经验,在此 N 取为 16。根据文献[12]的分析, α 增加,虚警概率会降低,但同时检测性能也会下降,为在二者中取得折中,选取 α 为 0.5。为了在最大限度删除干扰单元和保护正常杂波单元之间取得平衡,经仿真试验,选取 γ 为 11.4。经 Monte-Carlo 仿真,得到 N 、 γ 、 α 分别取 16、11.4、0.5 时的虚警概率曲线如图 2 所示。依据所设定的虚警概率,通过图 2 即可得到检测门限因子 T 。为计算方便,以下分析均设定虚警概率为 $P_{fa} = 10^{-3}$ 。

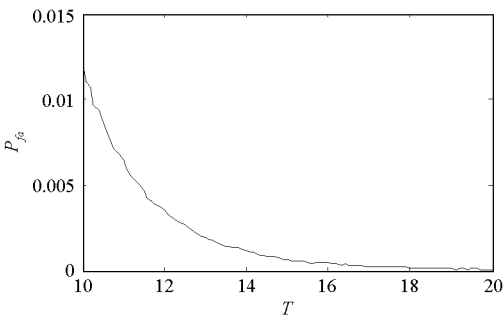


图 2 均匀杂波下 IEGOS 的虚警概率
Fig. 2 P_{fa} of IEGOS in homogeneous clutter

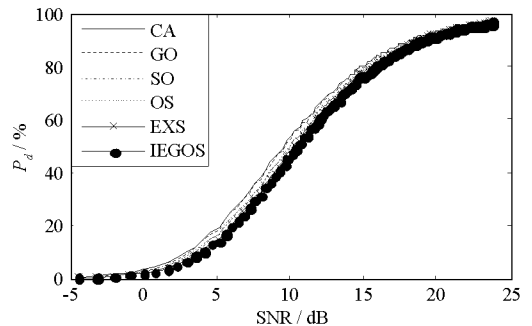


图 3 均匀杂波下不同检测器的检测性能
Fig. 3 P_d of different detectors in homogeneous clutter

3.2 均匀杂波场景

假设目标为 Swerling II 型起伏目标, 杂波为均匀杂波, 其包络服从瑞利分布。采用 Monte-Carlo 方法, 在每一个 SNR 下计算 10^6 次, 分别统计 CA、GO、SO、OS、EXS 和 IEGOS 六种 CFAR 算法在不同信噪比下的检测概率 (P_d), 得到不同检测器对 Swerling II 型目标的检测概率曲线如图 3 所示。

由图 3 可知, 在均匀杂波背景下, 由于 CA 采用全部参考单元进行杂波功率估计, 其估计值是背景杂波功率的最大似然估计, 因而具有准最优的检测性能。IEGOS 等其它五种检测器相对于 CA 的检测损失均不大, 在 0.2~ 1.0dB。

3.3 多目标干扰场景

为了比较不同检测器在各种干扰情况下的检测性能, 分别在前后滑窗中设置不同数量的干扰目标, 得到六种干扰场景如表 1 所示。

表 1 多目标干扰场景设置
Tab. 1 Setup of multiple targets interfering scenario

| 场景 | A | B | C | D | E | F |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| 前沿干扰目标数 | 1 | 3 | 6 | 3 | 6 | 6 |
| 后沿干扰目标数 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 6 |

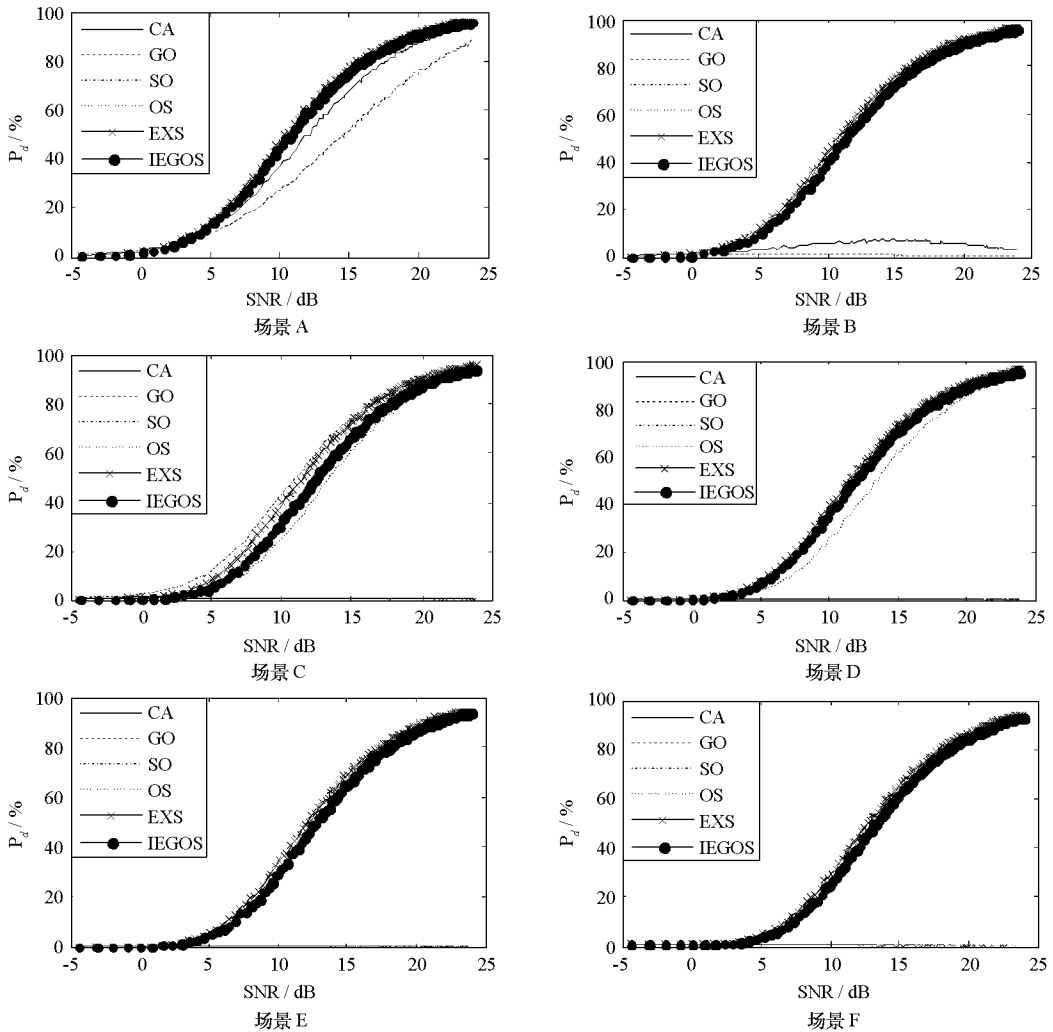


图 4 六种干扰场景下不同检测器的检测性能
Fig. 4 P_d of different detectors with interference

设置干扰噪声比 INR 与检测目标信噪比 SNR 相等, 检测目标和干扰目标均为 Swerling II 型起伏目

标, OS 的 K 值取 24。借助 Monte-Carlo 方法, 在每一个 SNR 下计算 10^6 次, 统计检测概率, 得到 CA、GO、SO、OS、EXS 和 IEGOS 算法在六种干扰场景下的检测性能曲线如图 4 所示。

对比六种场景下各个 CFAR 检测器的检测性能, 可得到以下结论:

(1) 在参考窗中只有一个干扰目标(场景 A)时, CA 和 GO 的检测性能开始下降, 但还有一定的检测能力; 当窗中存在 3 个干扰目标(场景 B)时, CA 和 GO 已无法检测到目标。而 IEGOS 等其它四种检测器性能相当, 基本不受干扰目标影响。

(2) 当只有一个窗中存在干扰目标, 且干扰目标数较少(场景 A 和 B)时, SO、OS、EXS 和 IEGOS 的检测性能相当。当干扰目标数较多(场景 C)时, SO 拥有最好的检测性能, EXS 和 IEGOS 次之, OS 最差, IEGOS 相对 SO 的检测损失为 1dB 左右。

(3) 当前后滑窗中均存在干扰目标(场景 D)时, SO 失去检测能力, IEGOS 的检测性能和 EXS 相当, 优于 OS。

(4) 当干扰目标总数超过 $2N-K$ (场景 E 和 F)时, OS 失去检测能力, 而 IEGOS 和 EXS 即使在干扰目标数达到 12 个时, 依然拥有较好的检测性能。

综上可知, CA 和 GO 抗多目标干扰的能力最弱, SO 仅在只有一个滑窗中存在干扰目标时拥有较好的检测性能, 而 IEGOS 和 EXS 在各种干扰场景下均拥有较好的检测性能, 特别是在干扰目标较多且同时分布在前后滑窗中时, 其优势更加明显, 大大优于 OS 和 SO 等检测器。

3.4 杂波边缘场景

杂波边缘是指杂波从一种强度过渡到另一种强度的情况, 它对恒虚警性能会带来较大的影响, 使得 CFAR 检测器的虚警控制能力下降。当强杂波从前沿滑窗进入, 检测单元也处于强杂波区, 而后沿滑窗仍处于弱杂波区时, 虚警概率上升最为严重, 称为虚警尖峰。虚警尖峰常用来衡量一个 CFAR 检测器在杂波边缘的虚警控制能力。

设置强杂波区与弱杂波区的杂波强度之比(杂波强度比) $\eta = 10\text{dB}$, 参考窗依次滑动, 逐渐由弱杂波区进入强杂波区。采用 Monte-Carlo 方法, 在每个位置上均计算 10^7 次, 统计虚警概率, 得到不同检测器抗边缘杂波干扰性能如图 5 所示。图中横坐标是被强杂波占据的参考单元数, 纵坐标为虚警概率的对数值。由于 CA 和 SO 在杂波边缘基本无虚警控制能力, 在此不作对比分析。

由图 5 可知, 当前沿滑窗进入强杂波区, 而检测单元和后沿滑窗仍处于弱杂波区时, IEGOS 的虚警概率与 OS 算法相当, 且都低于设定的虚警概率。当后沿滑窗也进入强杂波区时, 检测单元此时处于强杂波区, 所有算法的虚警概率均开始上升, 在 n 为 16 时达到虚警概率最大值, 即虚警尖峰。IEGOS 此时的虚警控制能力与 GO 相当, 其虚警尖峰比 OS 和 EXS 小 1 个多数量级。总体而言, IEGOS 的杂波边缘虚警控制能力明显优于 EXS, 与 GO 算法相当。

4 结束语

本文基于迭代删除和最大选择逻辑, 在 S-CFAR 的基础上得到了一种新的恒虚警检测器(IEGOS-CFAR)。它的前沿和后沿滑窗均在迭代删除的基础上通过 Switching 方法得到杂波局部估计, 再在二者中做选大处理得到背景杂波功率水平估计。仿真结果表明, 该算法在均匀背景中的 CFAR 损失不大, 在多目标干扰背景下拥有比 OS 和 SO 更优的性能, 特别是当干扰目标数较多且干扰目标同时处于前后滑窗时, 其优势更加明显。同时, 该算法在杂波边缘的虚警尖峰比 EXS 和 OS 小 1 个多数量级, 其虚警控制能力与 GO 相当。因而该算法能自适应于均匀杂波、多目标干扰和杂波边缘等不同场景, 具有较好的总体性能。且该算法不需要排序, 运算时间较短, 便于工程实现, 具有较高的应用价值。

(下转第 117 页)

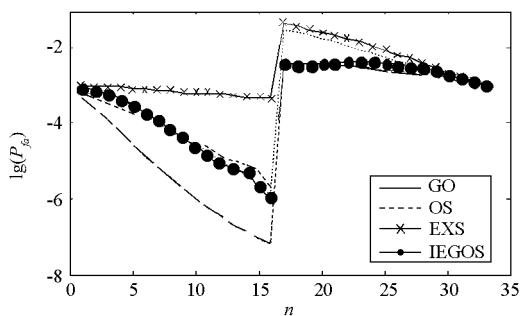


图 5 不同检测器抗边缘杂波性能
Fig. 5 Performance of different detectors in clutter edge

5 结论

本文讨论了 C2 组织信息交互结构的鲁棒性设计问题,通过扩展已有的 C2 组织信息交互结构设计方法,提出了鲁棒性组织结构的设计方法。一个设计良好的鲁棒的组织信息交互结构可以很好地执行一定范围内的使命的信息交互任务,而不是对某一特定使命有效。虽然对每一个特定的使命,可能会带来轻微的性能降低,但却可以最小化组织信息交互结构的脆性。实验结果证明结果的鲁棒性结果有很大提高。

参考文献:

- [1] Alberts D S, Garstka J J, Stein F P. Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority[C]//Washington D C: DoD Command and Control Research Program, 1999.
- [2] Levchuk G M, et al. From Hierarchies to Heterarchies: Application of Network Optimization to Design of Organizational Structures[C]//Proceedings of the 7th Command & Control Research & Technology Symposium, Monterey, CA, June 2002: 11- 14.
- [3] Taguchi G. Introduction to Quality Engineering[R]. White Plains, New York: UNIPUB/Krauss International, 1986.
- [4] Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo J, et al. Normative Design of Organizations Part I : Mission Planning [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A 2002, 32(3): 346- 359.
- [5] Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo J, et al. Normative Design of Organizations Part II : Organizational Structure [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2002, 32(3): 360- 375.
- [6] Levchuk G M, Levchuk Y N, Meirina C, et al. Normative Design of Organizations-Part III: Modeling Congruent, Robust, and Adaptive Organizations [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2004, 34(3): 337- 350.
- [7] 修保新, 张维明, 刘忠, 等. 基于粒度计算的鲁棒性组织设计方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4221- 4225.
- [8] Mu L, Xiu B X, Huang J C, et al. The Optimization Design of C2 Organization Communication Network based on Nested Genetic Algorithm[C]//IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, China, July 2009: 1877- 1884.

(上接第 97 页)

参考文献:

- [1] Finn H M, Johnson R S. Adaptive Detection Mode with Threshold Control as a Spatially Sampled Clutter-level Estimates[J]. RCA Review. 1968 (29): 414- 464.
- [2] Hansen V G. Constant False Alarm Rate Processing in Search Radar[C]//London, UK, 1973: 325- 332.
- [3] Trunk G V. Range Resolution of Targets Using Automatic Detectors[J]. IEEE Trans. on AES. 1978, 14(5): 750- 755.
- [4] 何友, 关键, 彭应宁, 等. 雷达自动检测与恒虚警处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [5] Rohling H. Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations[J]. IEEE Trans. on AES. 1983, 19(4): 608- 621.
- [6] Richard J T, Dillard G M. Adaptive Detection Algorithms for Multiple-target Situations[J]. IEEE Trans. on AES. 1977, 13(4): 338- 343.
- [7] Gandhi P P, Kassam S A. Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background[J]. IEEE Trans on AES. 1988, 24(4): 427- 445.
- [8] Elias A R, De Mercad M G, Davo E R. Analysis of Some Modified Order Statistic CFAR: OSO and OSSO CFAR[J]. IEEE Trans. on AES. 1990, 27(1): 197- 202.
- [9] Cao T T V. A CFAR Thresholding Approach Based on Test Cell Statistics[C]//IEEE Radar Conference, Philadelphia, USA: 2004:291- 297.
- [10] Cao T T V. A CFAR Algorithm for Radar Detection Under Severe Interference[C]//IEEE Conference on Intelligence Sensors, Sensor Networks and Information, Melbourne, Australia: 2004: 167- 172.
- [11] Cao T T V. Constant False-alarm Rate Algorithm Based on Test Cell Information[J]. IET Radar Sonar and Navigation. 2008, 2(3): 200- 213.
- [12] Erfanian S, Vakili V T. Introducing Excision Switching-CFAR in K Distributed Sea Clutter[J]. Signal Processing. 2009: 1023- 1031.