

# Pearson 杂波背景下基于模糊积累的 距离扩展目标检测\*

司昌龙,徐 达,李晓敏

(中国科学院声学研究所,北京 100190)

**摘要:**研究 Pearson 分布杂波背景下基于模糊积累的距离扩展目标检测方法性能。推导出将观测值映射到虚警空间的隶属函数,分析了模糊代数积、模糊代数和两种积累方法的性能,并与二进制积累方法进行了比较。仿真结果表明  $P_d=0.5$  时模糊代数和积累、模糊代数积积累较二进制积累方法可分别获得广义信杂比约 10dB 和 6dB 的性能改善。

**关键词:**高分辨雷达; 距离扩展目标; 恒虚警; Pearson 分布; 隶属函数

**中图分类号:** TN953.2    **文献标志码:** A

## Range-extended Target Detection Based on Fuzzy Integration Against Pearson Distributed Clutter

SI Changlong, XU Da, LI Xiaomin

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** The performance of the detection scheme of range-extended target was studied based on fuzzy integration under Pearson distribution clutter. The membership function which maps the observation set to a false alarm space corresponding to the false alarm rate was deduced, the performances of the fuzzy algebraic sum integrator and the fuzzy algebraic product integrator were analyzed and compared with the binary integrator. The simulation results show that the fuzzy algebraic sum integrator and the fuzzy algebraic product integrator render about 10dB and 6dB improvement of GSNR over the binary integrator respectively when the probability of detection is equal to 0.5.

**Keywords:** range-extended target; constant false alarm rate(CFAR); Pearson distribution; membership function

### 0 引言

常规的恒虚警检测方法均是针对低分辨雷达的,也就是说雷达的分辨率远大于目标的尺寸,目标的回波与点目标情形十分接近。随着雷达理论和技术的发展,宽带高分辨率雷达的距离分辨率已小于目标的尺寸,目标回波已不具有点目标回波的特征,目标回波为目标冲激响应与发射信号的卷积,它在径向方向上将连续占据多个距离分辨单元,称为距离扩展目标。在高分辨雷达目标检测中如果仍采用低分辨雷达的处理方案,目标回波的全部能量得不到充分利用,影响雷达的检测性能。实际上距离扩展目标的检测问题可以等效为低分辨雷达的多脉冲检测问题,文献[1]研究了基于二进制积累的距离扩展目标检测方法在瑞利杂波背景下的检测性能,随后文献[2]又探

讨了该方法在 Weibull 杂波背景下的性能。为了提高高分辨雷达的检测性能,文献[3]将模糊检测方法应用于高分辨雷达,提出了基于模糊积累的距离扩展目标检测方法。结果表明高斯杂波背景下模糊积累方法较双门限二进制积累可带来明显的性能改善。

近年来的研究表明, Pearson 分布能更为有效的描述现代高分辨雷达杂波分布,尤其是当杂波背景为地杂波时。有关 Pearson 分布背景下的恒虚警(CFAR)技术研究正逐步受到重视,例如,文献[4]证明单元平均(CA)和有序统计(OS)CFAR 检测器在 Pearson 杂波背景下仍具有恒虚警(CFAR)性能。但是以上方法都是针对单亮点目标,对于 Pearson 杂波背景下的距离扩展目标,目前还未见到相关检测方法的报道。为此,文中力图弥补这一空白,研究基于模

\* 收稿日期:2010-07-24

基金项目:国家自然科学基金(60802072)资助

作者简介:司昌龙(1978-),男,助理研究员,硕士,研究方向:信息融合。

糊积累的距离扩展目标检测方法在 Pearson 杂波背景下的性能。推导出杂波功率未知情况下将观测值映射到虚警空间的隶属函数,研究了模糊代数积、模糊代数和两种积累方法,最后与二进制积累进行比较分析。

## 1 Pearson 分布杂波背景下的模糊 CA-CFAR 检测器

### 1.1 Pearson 分布

如果随机变量  $y$  服从 Pearson 分布,其概率密度函数 (PDF)[4]:

$$p_Y(y) = \frac{\gamma}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{y^{3/2}} e^{-\gamma^2/2y} \quad (1)$$

其概率分布函数(CDF):

$$P_Y(y) = \Pr\{Y \leq y\} = 2\left(1 - \Phi\left(\frac{\gamma}{\sqrt{y}}\right)\right), y \geq 0 \quad (2)$$

其中: $\gamma$  为尺度参数,决定杂波的平均功率水平; $\Phi(x)$  为标准高斯分布的 CDF,其表达式为:

$$\Phi(y) = \int_{-\infty}^y \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx \quad (3)$$

可以借鉴瑞利分布参数的估计方法来估计尺度参数  $\gamma$ ,实现 Pearson 分布杂波背景下的 CFAR 检测。若采用 CA-CFAR,其虚警概率的解析表达式为<sup>[4-5]</sup>:

$$P_{fa}^{CA} = \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{1}{\sqrt{TN}}\right) \quad (4)$$

### 1.2 模糊 CA-CFAR 检测

设接收向量:

$$\mathbf{Q} = [q_1, q_2, \dots, q_{N/2}, q_{CUT}, q_{N/2+1}, \dots, q_N]$$

其中  $q_{CUT}$  为检测单元,其余为参考单元,则模糊 CA-CFAR 隶属函数定义为<sup>[3]</sup>:

$$\omega(u) = \Pr(U > u | H_0) \quad (5)$$

其中  $u = q_{CUT} / \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N q_j$ , 随机变量  $U$  定义为  $U =$

$Q_{CUT} / \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Q_j$ ,  $Q_{CUT}$  和  $Q_j$  分别为  $q_{CUT}$  和  $q_j$  对应的随机变量。将式(4)中的  $T$  换成  $u$ ,就会得到 Pearson 分布背景下模糊 CA-CFAR 的隶属函数:

$$\omega(u) = \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{1}{\sqrt{uN}}\right) = 1 - F_U(u) \quad (6)$$

其中  $F_U(u)$  为  $U$  的 CDF。显然  $\omega(u)$  是一个单调递减函数,与尺度参数  $\gamma$  无关。若  $\omega(u)$  小于门限值则声明目标存在。由于任意连续随机变量应用累积分布函数形成的随机变量均匀分布于  $[0,1]$ ,因此隶属函数

$\omega(u)$  均匀分布于  $[0,1]$ 。图 1 给出了 Pearson 分布背景下模糊 CA-CFAR 检测器的原理框图。

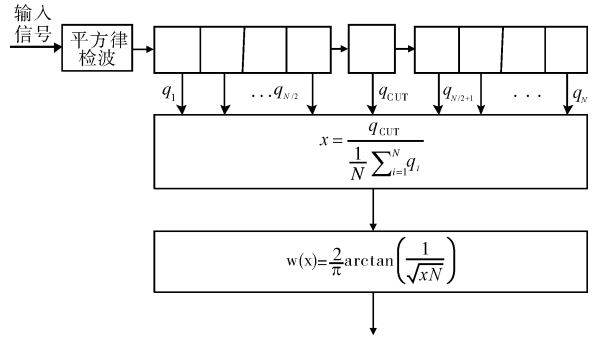


图 1 Pearson 杂波背景下模糊 CA-CFAR 检测器原理框图

## 2 距离扩展目标的模糊检测方法

基于模糊积累的距离扩展目标检测方法是采用模糊 CFAR 检测器(如模糊 CA-CFAR)代替传统的二进制 CFAR 检测器进行第一门限检测,将距离单元值转换成映射到虚警空间的模糊隶属函数值  $\omega(x_i)$ , ( $i = 1, \dots, S$ ),然后采用模糊积累方法对这些隶属函数值进行累积,得到检测统计量。其中  $S$  为目标所占据的单元数。采用不同的积累方法,就会得到不同的检测方法,文中考虑两种高效的模糊积累方法,分别是模糊代数积积累和模糊代数和积累。为了便于分析,文中给出这两种积累方法虚警概率  $P_{fa}^{sum}$  和  $P_{fa}^{prd}$  的数学解析式:

$$P_{fa}^{sum} = \Pr\left(\sum_{i=1}^S \omega(x_i) \leq T\right) = \sum_{i=0}^T (-1)^i C_n^i \frac{(T-i)^n}{n!} \quad (7)$$

$$P_{fa}^{prd} = \Pr\left(\prod_{i=1}^S \omega(x_i) \leq T\right) = (-1)^{S-1} \sum_{j=0}^{S-1} (-1)^j \frac{1}{(S-1-j)!} T (\ln T)^{S-1-j} \quad (8)$$

其中  $T$  为检测门限。由式(7)和式(8)可知,模糊积累方法的虚警概率只由  $T$  决定,易于调节,且与杂波分布模型无关。

## 3 性能分析

由于很难得到检测概率的解析表达式,通过仿真试验来分析基于模糊积累的距离扩展目标检测方法的性能,同时与二进制积累进行比较分析。具体参数设置为:第一门限检测采用模糊 CA-CFAR,参考滑窗长度  $N = 32$ ,虚警概率  $P_{fa} = 10^{-6}$ ,目标所占据的单元数  $S = 12$ ,模糊积累方法采用模糊代数积积累和模

糊代数和积累,二进制积累采用 4/12 积累准则。仿真结果如图 2 所示,它给出了不同广义信杂比(GSCR)时不同积累方法的检测性能。GSCR 的定义为<sup>[4]</sup>:

$$GSCR = 20 \log \frac{\sigma_s}{\gamma} \quad (9)$$

其中: $\sigma_s$  为目标的功率参数, $\gamma$  为 Pearson 分布杂波的尺度参数。为了便于比较,同时给出了低分辨雷达的检测性能曲线。从图 2 可以看出,模糊代数和积累具有最好的检测性能,如  $P_d = 0.5$  时,模糊代数和积累所需的 GSCR 为 17.563dB,而模糊代数积累、二进制积累和低分辨雷达所需的 GSCR 分别为 21.648dB、27.596dB 和 82.30dB。可见,在相同的检测条件下,模糊代数和积累方法、模糊代数积累方法较双门限二进制积累方法分别获得约 10dB 和 6dB 的性能改善,同时模糊代数和积累方法比低分辨雷达可获得近 65dB 的性能改善,充分证明模糊检测方法在 Pearson 背景下的高效性。

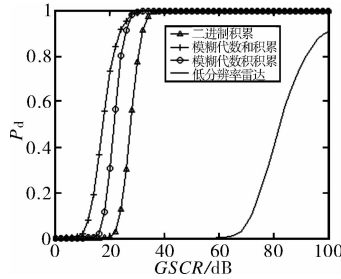


图 2 不同检测方法的性能比较

### 4 结论

文中研究了基于模糊积累的距离扩展目标检测方法在 Pearson 分布杂波背景下的性能。分析了第

一门限检测采用模糊 CA-CFAR,后积累采用模糊代数积累、模糊代数和积累时该方法的检测性能。结果表明模糊代数和积累、糊代数积累较二进制积累方法可分别获得广义信噪比约 10dB 和 6dB 的性能改善,同时较常规低分辨雷达检测可获得 60dB 以上的性能改善。该方法在其它非高斯杂波背景中的性能有待于进一步研究。

### 参考文献:

[1] 孟祥伟,曲东才,何友. 高斯背景下距离扩展目标的恒虚警检测[J]. 系统工程与电子技术,2005, 27(6): 1012—1015.

[2] 蔡春,杨军,秦江敏. Weibull 杂波背景下扩展目标的恒虚警率检测[J]. 空军雷达学院学报,2006, 20(2): 111—113.

[3] 郝程鹏,蔡龙,陈模江. 高斯杂波中距离扩展目标的模糊 CFAR 检测[J]. 系统工程与电子技术,2010, 32(4): 678—681.

[4] Tsakalides P, Trinci F, Nikias C L. Performance assessment of CFAR processors in Pearson distributed clutter[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2000, 36(4): 1377—1386.

[5] 郝程鹏,蔡龙. Pearson 分布杂波背景下均值类恒虚警检测器的性能分析[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(2): 227—230.

[6] Leung S W, Minett J W. A fuzzy approach to signal integration[J]. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 2002, 38(1): 346—351.

(上接第 203 页)

[2] 朱红,赵亦工. 基于背景自适应预测的红外弱小运动目标检测[J]. 红外与毫米波学报,1999,18(4):305—310.

[3] 赵小明,袁胜春,马晓丽,等. 基于移动式管道滤波的红外小目标检测方法研究[J]. 红外技术,2009,31(5):295—297.

[4] 徐军. 红外图像中弱小目标检测技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2001.

[5] 郑成勇,李红. 基于局部灰度特性分析的红外目标检测

方法[J]. 红外与激光工程,2004,33(4): 362—365

[6] Adams R, Bischof L. Seeded region growing[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(6): 641—649.

[7] Chan D S K, Langan D A, Staver D A. Spatial processing techniques for detection of small targets in IR clutter [C]//SPIE, 1990, vol. 1305:53—62.

[8] 宗思光,王江安,陈启水. 海空复杂背景下红外弱点目标检测新算法[J]. 光电工程,2005,32(4): 9—12.