

改进型雷达二维恒虚警检测参考窗^{*}

汪 洋, 李光平

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 自适应雷达目标检测器是雷达接收机中非常重要的装置, 目标检测的目的是在恒定的虚警概率的约束下, 最大化提升目标的检测效率。针对传统的二维恒虚警矩形参考窗参考单元较多、计算量大, 在多目标环境下检测效率低的问题, 在二维矩形窗的基础上, 设计了一种新的田字型二维参考窗, 剔除了矩形窗中部分与目标检测判决无关的参考单元, 实验结果证明: 检测效率高于传统二维矩形窗。

关键词: 目标检测; 恒虚警率; 二维参考窗

中图分类号: TN951; TP39

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2019)07-0128-03

Improved two-dimensional radar constant false alarm detection reference window^{*}

WANG Yang, LI Guangping

(School of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Adaptive radar target detector is a very important device in radar receiver. The objective of target detection is to maximize the target detection efficiency under the constraints of constant false alarm rate (CFAR). Aiming at the problem that traditional two-dimension CFAR rectangular reference window has many reference units, large calculation amount and low detection efficiency in multi-targets environments, a new 2D “田” type reference window based on two-dimension rectangular reference window is designed, which eliminates some reference units of rectangular window that are not related to target detection decision. Experimental result proves that the detection efficiency is higher than the traditional 2D rectangular window.

Keywords: target detection; constant false-alarm rate (CFAR); two-dimension reference window

0 引 言

在雷达系统中, 对统计检测的性能估计通常需要对目标和背景进行建模, 雷达检测器中包含将接收到的回波信号幅值与固定门限值作比较, 当幅度值高于固定门限值, 则判定为目标存在, 但在实际的雷达应用中, 总会有许多不同类型的噪声和杂波出现的复杂环境背景, 而且这些杂波将随着时间和空间的不同时刻改变^[1], 所以, 一旦当这些不同种类的噪声和杂波高于固定门限值就会产生虚警。雷达目标恒虚警检测主要包括均值类和有序统计类。最早由 Finn H M 等人提出的单元平均恒虚警处理 (cell-averaging CFAR, CA-CFAR)^[2], 在均匀的噪声和杂波背景环境下, CA-CFAR 表现出了优异的检测性能, 但在非均匀的杂波背景环境下, CA-CFAR 的检测性能大大降低。Rohling H 提出的基于有序统计的恒虚警处理 (ordered statistics CFAR, OS-CFAR) 技术^[3] 在非均匀杂波背景环境下表现出优异的检测

性能, 同时, 在多目标环境下也能表现出良好的检测效率。

本文提出了一种将 CA-CFAR 和 OS-CFAR 相结合的二维田字型恒虚警检测窗, 并与传统的二维矩形窗通过实验进行了比较与分析。

1 经典的二维恒虚警处理模型和算法

1.1 自适应恒虚警检测模型

目标检测的主要任务是在距离-多普勒维数据所组成的距离-多普勒矩阵 (range Doppler matrix, RDM) 中的每个检测单元做出判决^[4,5], 目标检测的信号处理过程如图 1 所示。



图 1 目标检测的信号处理过程

根据奈曼-皮尔逊检测准则^[6], 假设检验的判决结果由

收稿日期: 2019-05-06

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目 (61601130); 广州市珠江科技新星专项项目 (201506010033); 广州市产学研协同创新重大专项对外科技合作项目 (201704030093)

2种假设组成,即

$$\begin{aligned} H_1 \\ y_0 \geq TZ \\ H_0 \end{aligned} \quad (1)$$

判决门限 $S_T = \alpha \cdot \sigma_e^2$, 其中, α 为标称化门限因子, σ_e^2 为背景噪声和杂波的平均功率, 则虚警概率 p_{fa} 可表示为

$$p_{fa} = p(y_0 \geq \alpha \cdot \sigma_e^2) = \int_{S_T}^{\infty} f_{y_0}(y) dy \quad (2)$$

1.2 二维 CA-CFAR 和 OS-CFAR 矩形参考窗

二维的恒虚警检测^[7,8]首先需要准确地估计系统噪声水平以及确定好参考窗, 常见的二维窗如图 2(a) 所示, 是由 $M \times N$ 个参考单元组成的矩形参考窗, 其中, M, N 分别为距离维和多普勒维索引。

基于二维距离-多普勒参考窗的每个参考单元样本独立且都服从高斯分布, 则在二维 CA-CFAR 处理下的每个参考单元平均干扰功率^[9]

$$Z = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{m,n} \quad (3)$$

在图 2(a) 中, 为了使平均干扰功率估计值更精确, 通常在待检单元周围设置保护单元, 这些保护单元在进行平均干扰功率估计时不代入运算。则二维 CA-CFAR 的虚警概率为

$$p_{CAfa} = p(Y_0 \geq \alpha_{CA} \cdot \sigma_e^2) \quad (4)$$

当利用 OS-CFAR 方法时, 二维检测窗中不需要引入参考单元, 需要对所有参考单元的杂波和噪声功率水平进行升序排列形成一个新的序列, 并选取该序列中第 K 个功率值 $X_{(k)}$ 作为平均干扰功率的估计值, 这样可以降低计算的复杂度^[10]。则二维 OS-CFAR 的虚警概率为

$$p_{OSfa} = p(Y_0 \geq \alpha_{OS} \cdot X_{(k)}) \quad (5)$$

2 改进的二维恒虚警检测参考窗方法

基于文献[11]提出的改进型二维矩形参考窗, 其主要步骤是在距离-多普勒维上分别作 OS-CFAR 和 CA-CFAR 算法处理, 将距离-多普勒维 2 个维度得到的结果相乘, 然后估计杂波功率得到检测报告。如图 2(b) 所示, 在二维矩形窗的基础上作出改进形成一种新的检测窗。

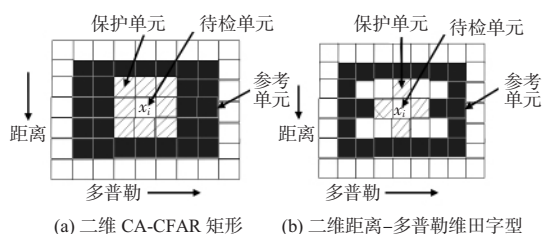


图2 二维 CA-CFAR 矩形和改进型参考窗

由于二维距离-多普勒矩形窗的参考窗数目过多且部分参考单元包含与判决无关的信息, 在矩形窗中减少部分参考单元形成田字窗, 可以使计算量减小也使得杂波功率

能够更准确地估计。具体步骤如下:

1) 在距离维和多普勒维分别作 OS-CFAR 和 CA-CFAR 处理, 在对参考单元中杂波功率水平进行估计时剔除待检单元左上、左下、右上和右下的 4 个保护单元。

2) 首先将距离维参考单元的功率水平进行升序排列, 选出该序列中第 K 个值 $x_{(k)}$ 作为距离维背景杂波功率, 将标称化门限因子 α_{CA} 与第(1)步得到的多普勒维杂波功率水平估计值相乘得到检测门限值 S_T , 将低于门限值的数据归零并筛选出待检单元的真实目标。

3 外场试验

为了测试二维矩形参考窗和二维田字形参考窗的外场实际目标检测性能, 将二维 CA-CFAR 和 OS-CFAR 检测方法运用到以上两种参考窗中。实验所使用的仪器为德州仪器的 AWR1642 雷达开发板, 雷达发射波形为锯齿波, 外部连接一个单片机作为控制模块, U 盘存储雷达回波信号数据。雷达基本参数如下: 载波频率 f_0 : 77 GHz; 扫频周期: 57.14 μ s; 扫频带宽: 4 GHz。

实验场景如图 3(a) 所示, 选择在空旷的室外, 并选取 2 个测试人员作为检测目标。将 AWR1642 雷达模块放置在汽车引擎盖中间, 该雷达的所能检测到目标的方位角为 $\pm 60^\circ$ 。如图 3(b) 所示, 2 个测试人员站在车辆正前方。在图 3(b) 中, 周围的树木以及铁栏杆均在雷达检测区域内, 雷达所接收到回波信号将包含实际所检测到的目标和一些杂波加噪声。

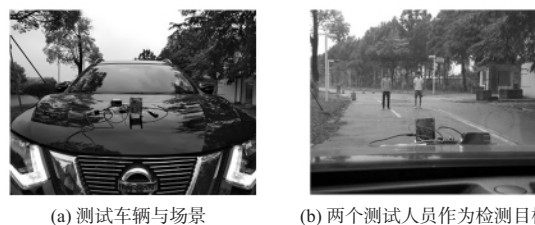


图3 实际场景

如图 4(a) 所示, 取图 3(b) 中的场景的一帧原始数据经过 MATLAB 进行处理可以发现 2 个尖峰值正好与车辆前方的 2 个测试人员相对应, 在尖峰周围为检测区域内的部分杂波或噪声。下面利用二维矩形窗和二维田字窗处理方法分别对图 3(b) 中的实测数据进行处理, 二维田字窗的仿真结果如图 4(b) 所示。结合图 3(b) 和图 4(a) 可得, 在图 4(a) 中 2 个尖峰分别对应 2 个测试人员, 这 2 个检测到的目标相对雷达的距离分别为 6.497 m 和 7.587 m, 相对雷达的径向速度为 0.250 2 m/s。如图 4(c) 所示为二维矩形窗检测结果。

从图 4(b) 和(c) 可以看到, 利用二维矩形滑窗检测方法虽然能检测到实际场景中的 2 个真实目标, 但图 4(c) 中却检测到 5 个目标, 产生了 3 个虚假目标, 对检测效率有一

定的影响,通过在二维矩形窗的基础上剔除一些与检测判决无关的参考单元形成田字窗可以提高检测效率,对降低虚警概率起到一定的作用。

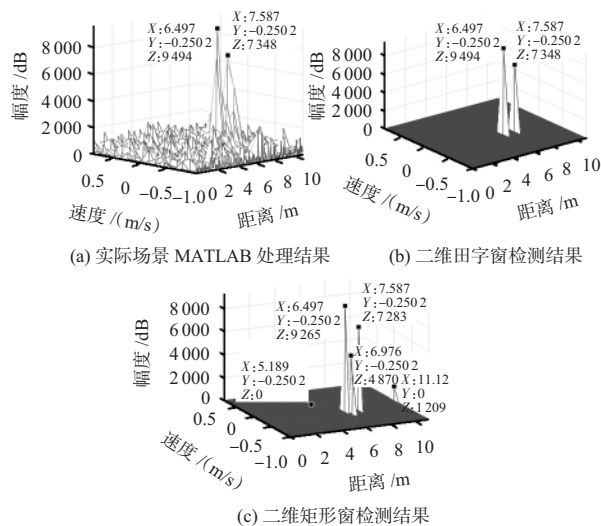


图4 实验结果

4 结束语

仿真结果表明:虽然两种参考窗均可以检测到测试车辆前方的目标,但由于二维矩形窗中部分参考单元与目标检测判决无关,则会产生虚警,而田字窗剔除掉这些与判决无关的参考单元后可以更精确地估计平均杂波功率水平,降低虚警概率。所以2种参考窗在进行恒虚警检测时,二维田字窗的检测效率更高。

参考文献:

- [1] ROHLING H. Ordered statistic CFAR technique—An overview [C]// 2011 the 12th International Radar Symposium (IRS), IEEE, 2011: 631–638.
- [2] FINN H M. Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter-level estimates [J]. RCA Rev, 1968, 29: 414–465.
- [3] ROHLING H. Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1983(4): 608–621.
- [4] HE Y, JIAN T, SU F, et al. Adaptive detection application of covariance matrix estimator for correlated non-Gaussian clutter [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2010, 46(4): 2108–2117.
- [5] HE Y, JIAN T, SU F, et al. Novel range-spread target detectors in non-Gaussian clutter [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2010, 46(3): 1312–1328.
- [6] 邢孟道, 王彤, 李真芳. 雷达信号处理基础 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [7] 董伟, 王红亮, 黄洋文. 基于多重特征提取的战场车辆声目标识别 [J]. 传感器与微系统, 2010, 29(7): 30–32.
- [8] 孟庆宝, 许志猛. FMCW 无线电波反射室内人员跟踪系统回波检测方法 [J]. 传感器与微系统, 2019, 38(4): 40–43.
- [9] 周忠锦. 二维恒虚警算法研究及实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
- [10] YAN J, LI X, SHAO Z. Intelligent and fast two-dimensional CFAR procedure [C]// 2015 IEEE International Conference on Communication Problem-Solving (ICCP), IEEE, 2015: 461–463.
- [1] ROHLING H. Ordered statistic CFAR technique—An overview [C]// 2011 the 12th International Radar Symposium (IRS), IEEE, 2011: 631–638.
- [2] RUBLEE E, RABAU D V, KONOLIGE K, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF [C]// 2011 IEEE International Conference on Computer Vision, ICCV 2011, Barcelona, Spain, IEEE, 2011.
- [3] 宋佳乾, 汪西原. 改进 SIFT 算法和 NSCT 相结合的遥感图像匹配算法 [J]. 测绘通报, 2018, 498(9): 38–42.
- [4] 肖满生, 肖哲, 万烂军. 多特征融合的图像格贴度匹配方法 [J]. 西安交通大学学报, 2019, 53(4): 115–121.
- [5] 赵鹏图, 达飞鹏. 基于局部特征的大视角图像匹配 [J]. 光学学报, 2019, 39(5): 1–15.
- [6] 张晓宇, 何文思, 段红燕, 等. 改进的 SURF 特征提取与匹配算法 [J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(11): 58–62.
- [7] 胡旻涛, 彭勇, 徐赞. 基于改进 SURF 的快速图像配准算法 [J]. 传感器与微系统, 2017, 36(11): 151–153.
- [8] 王瑜, 禹秋民. 基于曲率特征与改进的 RANSAC 策略的图像匹配算法 [J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(12): 3791–3796.
- [9] 杨晶东, 单体展. 基于网络的运动统计特征配准算法在医疗服务机器人中的应用 [J]. 第二军医大学学报, 2018, 39(8): 892–896.
- [10] BIAN J, LIN W Y, MATSUSHITA Y, et al. GMS: Grid-based motion statistics for fast, ultra-robust feature correspondence [C]// 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2017.
- [11] 白廷柱, 侯喜报. 基于 SIFT 算子的图像匹配算法研究 [J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(6): 622–627.

作者简介:

罗守品(1994–), 男, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、移动机器人定位方法研究, E-mail: 1349460111@qq.com。
 杨涛(1972–), 男, 通讯作者, 博士, 教授, 研究领域为机电系统建模、仿真与控制, E-mail: yangtao@swust.edu.cn。
 梅艳莹(1989–), 女, 硕士, 助教, 研究方向为阵列信号处理, E-mail: 963310231@qq.com。