



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114488031 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 13

(21) 申请号 202210083162.0

(22) 申请日 2022.01.25

(71) 申请人 中国船舶重工集团公司第七二四研究所

地址 210003 江苏省南京市中山北路346号

(72) 发明人 王志刚 李颖 邹成晓 耿利祥 杨志昆

(51) Int.Cl.

G01S 7/36 (2006.01)

权利要求书1页 说明书3页 附图2页

## (54) 发明名称

一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法

## (57) 摘要

本发明涉及一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法。针对传统雷达干扰类型确认以及抗干扰措施选择上更多依赖人工判断和设定而存在模糊性和主观性的缺点,提出一种准确分类窄脉冲干扰、压制式干扰、欺骗式干扰和卷积类干扰这四类典型窄带干扰的方法,具体步骤包括:回波幅度包络构建,等幅直方图分布统计,临近窗精细化补偿以及自适应分类识别等过程。本发明有效增强抗干扰措施的自动化选择能力,提高雷达在复杂电磁环境中的作战效能。



1. 一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法,其特征在于:

S1:回波幅度包络构建;

S2:等幅直方图分布统计;以回波幅度包络对数化结果最大值和最小值为边界、设定等幅阈值为步长,将对数化结果映射至直方图格子;

S3:临近窗精细化补偿;对每个直方图格子进行后向补偿,得到补偿结果:

$$Z(i) = S(i) + S(i+1), i \in [1, N_{\text{unit}} - 1] \quad (1)$$

其中, $Z(i)$ 表示直方图临近窗精细化补偿结果;

S4:自适应分类识别;设定直方图检测门限 $T_{\text{jam}}$ :

$$T_{\text{jam}} = \text{mean}(y_{\text{norm}}) + 3 \times \text{std}(y_{\text{norm}}) \quad (2)$$

其中, $y_{\text{norm}}$ 表示雷达未受干扰时回波求模对数化结果, $\text{mean}(\cdot)$ 表示求均值, $\text{std}(\cdot)$ 表示求方差;与检测门限 $T_{\text{jam}}$ 对应的直方图格子索引 $N_{Tj}$ :

$$N_{Tj} = \text{floor}((T_{\text{jam}} - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1 \quad (3)$$

对直方图索引 $i \in [N_{Tj} + 1, N_{\text{unit}} - 1]$ 的补偿后数据 $Z(i)$ 进行分类识别:

S41:遍历所有格子,如果存在 $Z(i) > M/2$ ,则为假目标干扰;否则跳转S42;

S42:统计格子中 $Z(i) < 2$ 的格子个数 $N_{\text{min}2}$ 、所有格子中元素的和 $N_{\text{sum}} = \text{sum}(Z(i))$ ,其中, $\text{sum}(\cdot)$ 表示求和;如果 $N_{\text{min}2} > (N_{\text{unit}} - N_{Tj}) / 2$ 且 $N_{\text{sum}} < M/2$ ,则为窄脉冲干扰;否则跳转S43;

S43:计算补偿后数据 $Z(i)$ 的峭度 $K_z$ ,如果 $K_z$ 小于设定阈值 $T_z$ ,则为噪声类干扰;否则为卷积类干扰。

2. 根据权利要求1所述的一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法,其特征在于:所述步骤S1中的回波幅度包络构建包括:雷达原始零中频回波数据 $x$ 取模后再进行对数化处理:

$$y = A \times \log_B(|x|) \quad (4)$$

其中, $y$ 表示回波幅度包络对数化结果, $A$ 表示幅度系数, $\log_B(\cdot)$ 表示以 $B$ 为底数求对数, $|\cdot|$ 表示取向量元素的模值。

3. 根据权利要求1所述的一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法,其特征在于:所述步骤S2的等幅直方图分布统计,求解回波幅度包络对数化结果 $y$ 的最大值 $y_{\text{max}}$ 和最小值 $y_{\text{min}}$ ;设定等幅直方图的等幅步长为 $T_{\text{unit}}$ ,将直方图划分为 $N_{\text{unit}}$ 个格子:

$$N_{\text{unit}} = \text{floor}((y_{\text{max}} - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1 \quad (5)$$

其中, $\text{floor}(\cdot)$ 表示向负无穷大方向取整;

以 $y_{\text{min}}$ 为直方图格子起始、 $T_{\text{unit}}$ 为直方图格子步长,遍历回波幅度包络对数化结果 $y$ 中每个元素,并映射至直方图格子中:

$$n = \text{floor}((y_m - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1, m \in [1, M] \quad (6)$$

$$S(n) = S(n) + 1, n \in [1, N_{\text{unit}}] \quad (7)$$

其中, $M$ 表示回波幅度包络对数化结果 $y$ 中元素总个数, $n$ 表示等幅直方图格子索引, $S(n)$ 表示第 $n$ 个直方图格子中元素个数。

## 一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种干扰识别方法,主要应用于雷达干扰信号分类识别领域。

### 背景技术

[0002] 在复杂电磁环境中实现对空间干扰态势的精准实时感知是雷达在与电子战设备博弈过程中对抗策略优化选取和精细化、层次化干扰抑制的重要前提。而随着电子战装备的不断发展,窄脉冲干扰、压制式干扰、欺骗式干扰和卷积类等典型干扰样式相继被提出,给现代雷达对战场干扰环境的感知能力提出了新的挑战。

[0003] 文献《雷达有源干扰信号识别方法研究与实现》(北京理工大学)针对常见雷达有源干扰信号采用数字信道化技术得到干扰信号的时频域特征参数、脉冲描述字参数,据此设计基于DSP的雷达常见有源干扰信号识别软件;文献《雷达干扰信号特征识别技术研究与实现》(国防科学技术大学)开展了雷达干扰信号特征识别技术研究,包括对雷达干扰信号调制类型识别算法的研究,以及宽带雷达干扰信号数字接收机工程实现技术;专利《一种自适应层次直方图的彩色图像分割方法》(CN201811517182.4)提供一种自适应层次直方图的彩色图像分割方法,具有更优的分割效率并且能获得较优的分割质量;专利《基于积分直方图的图像处理方法及系统》(CN200810167131.3)提供一种基于积分直方图的图像处理方法。

### 发明内容

[0004] 为克服传统雷达在干扰识别以及抗干扰措施的选择上更多依赖人工判断和设定,具有很强的模糊性和主观性的缺点,通过构建等幅直方图和分析补偿后直方图分布特征,本发明提出了一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法。

[0005] 为了实现本发明的目的,一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法,包括以下步骤,实施过程如下:

[0006] S1:回波幅度包络构建。雷达原始零中频回波数据 $x$ 取模后再进行对数化处理:

$$[0007] \quad y = A \times \log_B(|x|) \quad (8)$$

[0008] 其中, $y$ 表示回波幅度包络对数化结果, $A$ 表示幅度系数, $\log_B(\cdot)$ 表示以 $B$ 为底数求对数, $|\cdot|$ 表示取向量元素的模值。

[0009] S2:等幅直方图分布统计。求解回波幅度包络对数化结果 $y$ 的最大值 $y_{\max}$ 和最小值 $y_{\min}$ 。设定等幅直方图的等幅步长为 $T_{\text{unit}}$ ,将直方图划分为 $N_{\text{unit}}$ 个格子:

$$[0010] \quad N_{\text{unit}} = \text{floor}((y_{\max} - y_{\min}) / T_{\text{unit}}) + 1 \quad (9)$$

[0011] 其中, $\text{floor}(\cdot)$ 表示向负无穷大方向取整。

[0012] 以 $y_{\min}$ 为直方图格子起始、 $T_{\text{unit}}$ 为直方图格子步长,遍历回波幅度包络对数化结果 $y$ 中每个元素,并映射至直方图格子中:

$$[0013] \quad n = \text{floor}((y_m - y_{\min}) / T_{\text{unit}}) + 1, m \in [1, M] \quad (10)$$

$$[0014] \quad S(n) = S(n) + 1, n \in [1, N_{\text{unit}}] \quad (11)$$

[0015] 其中, $M$ 表示回波幅度包络对数化结果 $y$ 中元素总个数, $n$ 表示等幅直方图格子索引, $S(n)$ 表示第 $n$ 个直方图格子中元素个数。

[0016] S3:临近窗精细化补偿。对每个直方图格子进行后向补偿,得到补偿结果:

$$[0017] \quad Z(i) = S(i) + S(i+1), i \in [1, N_{\text{unit}} - 1] \quad (12)$$

[0018] 其中, $Z(i)$ 表示直方图临近窗精细化补偿结果。

[0019] S4:自适应分类识别。设定直方图检测门限 $T_{\text{jam}}$ :

$$[0020] \quad T_{\text{jam}} = \text{mean}(y_{\text{norm}}) + 3 \times \text{std}(y_{\text{norm}}) \quad (13)$$

[0021] 其中, $y_{\text{norm}}$ 表示雷达未受干扰时回波求模对数化结果, $\text{mean}(\cdot)$ 表示求均值, $\text{std}(\cdot)$ 表示求方差。与检测门限 $T_{\text{jam}}$ 对应的直方图格子索引 $N_{T_j}$ :

$$[0022] \quad N_{T_j} = \text{floor}((T_{\text{jam}} - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1 \quad (14)$$

[0023] 对直方图索引 $i \in [N_{T_j} + 1, N_{\text{unit}} - 1]$ 的补偿后数据 $Z(i)$ 进行分类识别:

[0024] S41:遍历所有格子,如果存在 $Z(i) > M/2$ ,则为假目标干扰;否则跳转S42;

[0025] S42:统计格子中 $Z(i) < 2$ 的格子个数 $N_{\text{min}2}$ 、所有格子中元素的和 $N_{\text{sum}} = \text{sum}(Z(i))$ ,其中, $\text{sum}(\cdot)$ 表示求和。如果 $N_{\text{min}2} > (N_{\text{unit}} - N_{T_j}) / 2$ 且 $N_{\text{sum}} < M/2$ ,则为窄脉冲干扰;否则跳转S43;

[0026] S43:计算补偿后数据 $Z(i)$ 的峭度 $K_z$ ,如果 $K_z$ 小于设定阈值 $T_z$ ,则为噪声类干扰;否则为卷积类干扰。

[0027] 本发明的有益效果:通过采用基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法,准确分类窄脉冲干扰、压制式干扰、欺骗式干扰和卷积类干扰这四类典型窄带干扰,有效增强抗干扰措施的自动化选择能力,提高雷达在复杂电磁环境中的作战效能,具有计算量小、识别速度快、正确率高、流程简单以及工程实现方便等优点。

## 附图说明

[0028] 图1为一种基于包络直方图分布的雷达窄带干扰识别方法的流程图。其中,图中S1-S4分别与发明内容中表述的S1-S4过程对应。

[0029] 图2为图1中各步骤的具体实现方法。其中, $y$ 表示回波幅度包络对数化结果, $S(n)$ 表示第 $n$ 个直方图格子中元素个数, $Z(i)$ 表示直方图临近窗精细化补偿结果。

## 具体实施方式

[0030] 本发明实现过程如图1所示,具体描述为以下过程:

[0031] S1:回波幅度包络构建。雷达回波包络表征雷达接收回波信号的能量分布特征,为获取雷达回波包络,同时缩减回波的动态范围,将雷达原始零中频回波数据 $x$ 取模后再进行对数化处理:

$$[0032] \quad y = A \times \log_B(|x|) \quad (15)$$

[0033] 其中, $y$ 表示回波幅度包络对数化结果, $A$ 表示幅度系数, $\log_B(\cdot)$ 表示以 $B$ 为底数求对数, $|\cdot|$ 表示取向量元素的模值。

[0034] S2:等幅直方图分布统计。包络直方图分布是有源干扰的一个典型特征,能够反映不同类型干扰信号之间幅度分布的差别。基于此,求解回波幅度包络对数化结果 $y$ 的最大值 $y_{\text{max}}$ 和最小值 $y_{\text{min}}$ ,以最大值、最小值和设定等幅直方图的等幅步长 $T_{\text{unit}}$ 进行数据的映射。首

先,将直方图划分为 $N_{\text{unit}}$ 个格子:

$$[0035] \quad N_{\text{unit}} = \text{floor}((y_{\text{max}} - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1 \quad (16)$$

[0036] 其中,  $\text{floor}(\cdot)$  表示向负无穷大方向取整。

[0037] 以 $y_{\text{min}}$ 为直方图格子起始、 $T_{\text{unit}}$ 为直方图格子步长,遍历回波幅度包络对数化结果 $y$ 中每个元素,并映射至直方图格子中:

$$[0038] \quad n = \text{floor}((y_m - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1, m \in [1, M] \quad (17)$$

$$[0039] \quad S(n) = S(n) + 1, n \in [1, N_{\text{unit}}] \quad (18)$$

[0040] 其中, $M$ 表示回波幅度包络对数化结果 $y$ 中元素总个数, $n$ 表示等幅直方图格子索引, $S(n)$ 表示第 $n$ 个直方图格子中元素个数。

[0041] S3:临近窗精细化补偿。为避免微弱抖动的幅度被误划分至两个临近的直方图格子里,造成单个格子内同一幅度区间内元素数量不足,使得分类识别的不稳定性,对每个直方图格子进行后向补偿,得到补偿结果:

$$[0042] \quad Z(i) = S(i) + S(i+1), i \in [1, N_{\text{unit}} - 1] \quad (19)$$

[0043] 其中, $Z(i)$ 表示直方图临近窗精细化补偿结果。

[0044] S4:自适应分类识别。有源干扰为单程传播,同时电子战设备为实现抑制雷达探测真实目标的目的,通常干扰能量较强,为避免直方图分类识别参数受雷达基底噪声是影响,设定直方图检测门限 $T_{\text{jam}}$ :

$$[0045] \quad T_{\text{jam}} = \text{mean}(y_{\text{norm}}) + 3 \times \text{std}(y_{\text{norm}}) \quad (20)$$

[0046] 其中, $y_{\text{norm}}$ 表示雷达未受干扰时回波求模对数化结果, $\text{mean}(\cdot)$ 表示求均值, $\text{std}(\cdot)$ 表示求方差。与检测门限 $T_{\text{jam}}$ 对应的直方图格子索引 $N_{Tj}$ :

$$[0047] \quad N_{Tj} = \text{floor}((T_{\text{jam}} - y_{\text{min}}) / T_{\text{unit}}) + 1 \quad (21)$$

[0048] 对直方图索引 $i \in [N_{Tj} + 1, N_{\text{unit}} - 1]$ 的补偿后数据 $Z(i)$ 进行分类识别:

[0049] S41:假目标干扰的基本特征为“求模后为连续矩形包络”,遍历所有格子,如果存在 $Z(i) > M/2$ ,则为假目标干扰;否则跳转S42;

[0050] S42:窄脉冲干扰的基本特征为“求模后为强而短的脉冲包络”,统计格子中 $Z(i) < 2$ 的格子个数 $N_{\text{min}2}$ 、所有格子中元素的和 $N_{\text{sum}} = \text{sum}(Z(i))$ ,其中, $\text{sum}(\cdot)$ 表示求和。如果 $N_{\text{min}2} > (N_{\text{unit}} - N_{Tj}) / 2$ 且 $N_{\text{sum}} < M/2$ ,则为窄脉冲干扰;否则跳转S43;

[0051] S43:噪声类干扰的直方图为正态分布包络,卷积类干扰的直方图为随机分布。计算补偿后数据 $Z(i)$ 的峭度 $K_z$ ,如果 $K_z$ 小于设定阈值 $T_z$ ,则为噪声类干扰;否则为卷积类干扰。

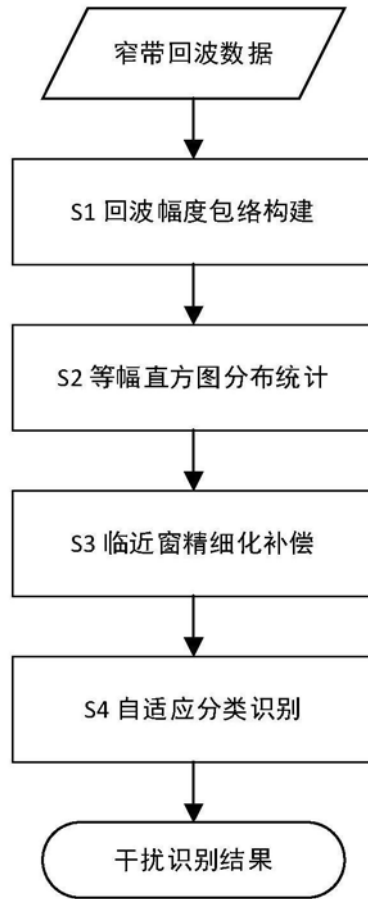


图1

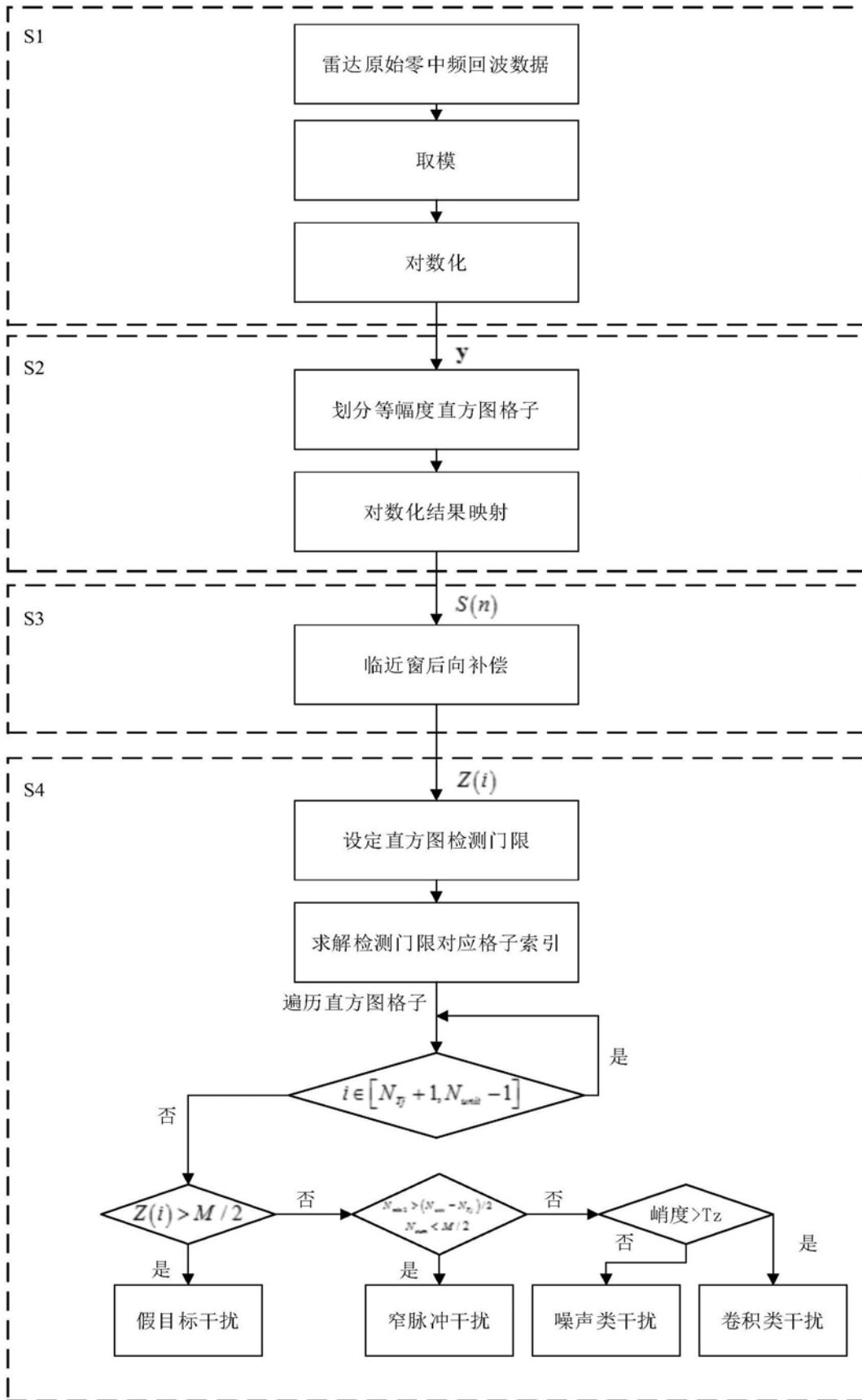


图2