



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109581366 B

(45) 授权公告日 2021.02.09

(21) 申请号 201811557571.X

G01S 7/36 (2006.01)

(22) 申请日 2018.12.19

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109581366 A

US 5499030 A, 1996.03.12
US 8897571 B1, 2014.11.25
CN 101710175 A, 2010.05.19
CN 101556328 A, 2009.10.14
CN 104931935 A, 2015.09.23

(43) 申请公布日 2019.04.05

(73) 专利权人 西安空间无线电技术研究所
地址 710100 陕西省西安市西街150号

Yuze Sun等.“Robust sparse Bayesian learning STAP method for discrete interference suppression in nonhomogeneous clutter”.《2017 IEEE Radar Conference》.2017,

(72) 发明人 段崇棣 王伟伟 杨晓超 李渝
朱江 黎薇萍 范一飞 李奇

袁涛等.“失配滤波器在数字脉压旁瓣抑制技术中的应用”.《火控雷达技术》.2003,

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009

代理人 陈鹏

审查员 梁策

(51) Int.Cl.

G01S 13/88 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

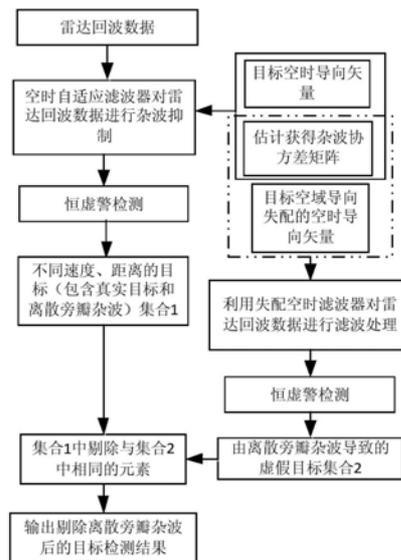
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法

(57) 摘要

一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,属于雷达滤波技术领域。本发明通过分析离散旁瓣杂波和真实目标的特点,采用与目标空域导向矢量失配的导向矢量进行杂波抑制,易知此时会造成目标信号的丢失,而对离散旁瓣杂波影响不大,以此为依据识别并剔除离散旁瓣杂波,该方法具有良好的有效性和实用性。本发明方法建立在前期STAP杂波抑制基础上,通过改变目标导向约束,比较不同权系数对应的杂波抑制结果,从而有效剔除离散旁瓣杂波点。算法实现简单,计算复杂度低;本发明方法对于从旁瓣进入的任何类型的离散旁瓣杂波均可有效识别剔除,因此适用范围广,稳健性高。



1. 一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于,包括如下步骤:
接收雷达天线阵的回波数据,并由目标未失配时的空时导向矢量对所述回波数据进行第一次杂波抑制;所述天线阵包括N个天线子阵;

对第一次杂波抑制后的回波数据进行恒虚警检测,将检测到的目标的距离和速度的集合作为第一集合;

由目标失配时的空域导向矢量计算目标失配时的空时导向矢量,并由所述目标失配时的空时导向矢量对原始接收的回波数据进行第二次杂波抑制;

对第二次杂波抑制后的回波数据进行恒虚警检测,将检测到的目标的距离和速度的集合作为第二集合;

逐一比对所述第一集合和第二集合中的目标的距离和速度,判定两个集合中距离和速度均相同的目标为离散旁瓣杂波。

2. 根据权利要求1所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述目标失配时的空时导向矢量为 $\mathbf{S}' = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}'_s$; 其中, \mathbf{S}_t 为经过降维处理后的时域导向矢量, \mathbf{S}'_s 为目标失配时的空域导向矢量。

3. 根据权利要求2所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述第二次杂波抑制的方法为采用第二滤波器对原始接收的回波数据进行滤波;所述第二滤波器的权系数为 $\mathbf{w}' = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}'$; 其中, $\hat{\mathbf{R}}_{MN \times MN}$ 为估计的杂波协方差矩阵, M 为降维后的时域导向矢量维数。

4. 根据权利要求2所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述目标失配时的空域导向矢量为 $\mathbf{S}'_s = [1, \exp(j\Delta\varphi), \dots, \exp(j(N-1)\Delta\varphi)]^T$; 其中, $|\Delta\varphi| > \frac{2\pi d}{\lambda} \sin(k \times \theta)$, $2 \leq k < N$, k 为整数, N 为天线子阵的个数, d 为每个天线子阵的长度, θ 为天线阵 3dB 主瓣波束宽度, λ 为雷达天线阵发射信号的波长。

5. 根据权利要求4所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述 $\theta = \frac{0.886 \times \lambda}{L}$; 其中, L 为所述天线阵的总长度。

6. 根据权利要求4所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述 $d = L/N$; 其中, L 为所述天线阵的总长度。

7. 根据权利要求1所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述第一次杂波抑制的方法为采用第一滤波器对原始接收的回波数据进行滤波;所述第一滤波器的权系数为 $\mathbf{w} = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}$; 其中, $\hat{\mathbf{R}}_{MN \times MN}$ 为估计的杂波协方差矩阵, S 为目标的空时导向矢量, M 为降维后的时域导向矢量维数。

8. 根据权利要求7所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述目标未失配时的空时导向矢量为 $\mathbf{S} = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}_s$; 其中, \mathbf{S}_t 为经过降维处理后的时域导向矢量, \mathbf{S}_s 为目标空域导向矢量。

9. 根据权利要求8所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,其特征在于:所述目标空域导向矢量 $\mathbf{S}_s = [1, 1, \dots, 1]^T$ 。

10. 根据权利要求2或8所述的一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法, 其特征在于: 所述经过降维处理后的时域导向矢量为 $S_t(f_{d_j}) = [g_1, g_2, \dots, g_M]^T$; 其中, f_{d_j} 为第 j 个多普勒通道, $1 \leq j \leq 200$, g_n 为时域导向矢量系数, $1 \leq n \leq M$, M 为降维后的时域导向矢量维数。

一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,属于雷达滤波技术领域。

背景技术

[0002] 目前尚无在轨运行的天基预警雷达,公开文献资料中的天基预警雷达相关资料主要集中在天基预警雷达概念体制研究、杂波分析及抑制等几个方面,根据调研尚无天基预警雷达离散旁瓣杂波识别剔除的相关文献资料。对于机载雷达系统,目前的离散杂波剔除方法主要包括两种:保护通道法和检波后时间灵敏度控制法。

[0003] 保护通道的工作原理是通过比较两个并行接收通道的输出,一个与主天线相连接,另外一个与保护天线连接。其中要求保护天线的主瓣波束为宽波束,要求其主瓣方向图高于主天线的旁瓣。分别对两幅天线接收到的回波进行恒虚警检测,对二者中检测到的目标进行比对,如果保护通道的回波强则为离散杂波,反之为真实目标。该方法在机载预警中具有较好的实用价值,但是对于天基雷达并不适用,主要原因在于天基雷达波束完全指向地球,并且距离环也远大于机载雷达,因此其杂波能量远高于机载雷达,在进行杂波抑制前难以进行离散旁瓣杂波是否剔除的判断,甚至会经常造成目标信号被误认杂波而被剔除的情况(保护通道内的发射旁瓣杂波会高于杂波抑制后的目标信号)。

[0004] 检波后STC处理的工作过程为:首先对所有检测到的目标进行距离解模糊处理,然后补偿距离引起的回波强度变化,再次设计检测门限,小于门限的为离散旁瓣杂波,反之为目标。该方法主要适用于特殊的机载雷达应用背景,其认为相同距离下,雷达的低旁瓣设计足以抵消目标RCS比离散旁瓣杂波弱的劣势,因此只要将距离引起的回波幅度变化补偿掉即可,该方法在机载预警雷达具有有效性。但是对于天基雷达并不适用,主要原因在于天基雷达的距离变化与机载雷达相比并不大(以轨道高度1000公里卫星为例,其星下点距离为1000公里,入射角为80度时,斜距不到3000公里,相差只有三倍;而机载雷达从十几公里至几百公里不等,相差数十倍)

[0005] 总之,目前针对空中高速目标探测的天基预警雷达离散旁瓣杂波识别方法尚无相关公开文献。

发明内容

[0006] 本发明解决的技术问题是:克服现有技术的不足,提供了一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,通过分析离散旁瓣杂波和真实目标的特点,利用导向矢量约束对来自旁瓣的强杂波点进行抑制。

[0007] 本发明的技术解决方案是:一种基于目标导向矢量失配的离散旁瓣杂波识别方法,包括如下步骤:

[0008] 接收雷达天线阵的回波数据,并由目标未失配时的空时导向矢量对所述回波数据进行第一次杂波抑制;所述天线阵包括N个天线子阵;

[0009] 对第一次杂波抑制后的回波数据进行恒虚警检测,将检测到的目标的距离和速度的集合作为第一集合;

[0010] 由目标失配时的空域导向矢量计算目标失配时的空时导向矢量,并由所述目标失配时的空时导向矢量对原始接收的回波数据进行第二次杂波抑制;

[0011] 对第二次杂波抑制后的回波数据进行恒虚警检测,将检测到的目标的距离和速度的集合作为第二集合;

[0012] 逐一比对所述第一集合和第二集合中的目标的距离和速度,判定两个集合中距离和速度均相同的目标为离散旁瓣杂波。

[0013] 进一步地,所述目标失配时的空时导向矢量为 $\mathbf{S}' = \mathbf{S}'_t \otimes \mathbf{S}'_s$; 其中, \mathbf{S}'_t 为经过降维处理后的时域导向矢量, \mathbf{S}'_s 为目标失配的空域导向矢量。

[0014] 进一步地,所述第二次杂波抑制的方法为采用第二滤波器对原始接收的回波数据进行滤波;所述第二滤波器的权系数为 $\mathbf{w}' = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}'$; 其中, $\hat{\mathbf{R}}_{MN \times MN}$ 为估计的杂波协方差矩阵。

[0015] 进一步地,所述目标失配时的空域导向矢量为 $\mathbf{S}'_s = [1, \exp(j\Delta\varphi), \dots, \exp(j(N-1)\Delta\varphi)]^T$;

其中, $|\Delta\varphi| > \frac{2\pi d}{\lambda} \sin(k \times \theta)$, $2 \leq k < N$, k 为整数, N 为天线子阵的个数, d 为每个天线子阵的长度, θ 为天线阵 3dB 主瓣波束宽度, λ 为雷达天线阵发射信号的波长。

[0016] 进一步地,所述 $\theta = \frac{0.886 \times \lambda}{L}$; 其中, L 为所述天线阵的总长度。

[0017] 进一步地,所述 $d = L/N$; 其中, L 为所述天线阵的总长度。

[0018] 进一步地,所述第一次杂波抑制的方法为采用第一滤波器对原始接收的回波数据进行滤波;所述第一滤波器的权系数为 $\mathbf{w} = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}$; 其中, $\hat{\mathbf{R}}_{MN \times MN}$ 为估计的杂波协方差矩阵, \mathbf{S} 为目标空域导向矢量。

[0019] 进一步地,所述目标未失配时的空时导向矢量为 $\mathbf{S} = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}_s$; 其中, \mathbf{S}_t 为经过降维处理后的时域导向矢量, \mathbf{S}_s 为目标空域导向矢量。

[0020] 进一步地,所述目标空域导向矢量 $\mathbf{S}_s = [1, 1, \dots, 1]^T$ 。

[0021] 进一步地,所述经过降维处理后的时域导向矢量为 $\mathbf{S}_t(f_{d,j}) = [g_1, g_2, \dots, g_M]^T$; 其中, $f_{d,j}$ 为第 j 个多普勒通道, $1 \leq j \leq 200$, g_n 为时域导向矢量系数, $1 \leq n \leq M$, M 为降维后的时域导向矢量维数。

[0022] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0023] (1) 本发明方法建立在前期 STAP 杂波抑制基础上,通过改变目标导向约束,比较不同权系数对应的杂波抑制结果,从而有效剔除离散旁瓣杂波点。算法实现简单,计算复杂度低;

[0024] (2) 本发明方法对于从旁瓣进入的任何类型的离散旁瓣杂波均可有效识别剔除,因此适用范围广,稳健性高。

附图说明

[0025] 图1为本发明方法实施流程图;

[0026] 图2为第一次杂波抑制后检测到的4个目标；

[0027] 图3为目标导向失配后检测到的3个目标。

具体实施方式

[0028] 本发明包括如下步骤：

[0029] 步骤1假设雷达整个天线方位阵面总长度为L米，对应天线3分贝主瓣波束宽度 $\theta = \frac{0.886 \times \lambda}{L}$ ，其中， λ 为雷达发射信号的波长，天线方位阵面安装方向与卫星平台速度方向相同；方位阵面共分为N个天线子阵，因此每个天线子阵长度为 $d = L/N$ 米；雷达采用全天线发射，N个子阵接收；脉冲重复频率表示为PRF。

[0030] 步骤2系统采用空时自适应处理技术对雷达接收N个子阵的回波数据进行杂波抑制，假设目标的空时导向矢量为： $\mathbf{S} = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}_s$ ，其中 \mathbf{S}_s 为 $N \times 1$ 维的目标空域导向矢量，其与发射波束指向对应的导向矢量相同，在接收数据端 $\mathbf{S}_s = [1, 1, \dots, 1]^T$ ； \mathbf{S}_t 假设为经过降维处理后的时域导向矢量，表示为 $\mathbf{S}_t(f_{d0}) = [g_1, g_2, \dots, g_M]^T$ （降维处理相关内容参见L.E.Brennan, D.J.Piwinski, and F.M.Staudaher. Comparison of space-time adaptive processing approaches using experimental airborne radar data[C]. The Record of National Radar Conference, IEEE, 1993:176-181），M为降维后的时域导向矢量维数； $\hat{\mathbf{R}}_{MN \times MN}$ 为估计的杂波协方差矩阵，协方差矩阵估计方法属于STAP处理的一项基本原理。因此对应的空时自适应滤波器权系数为 $\mathbf{w} = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}$ ，以此对雷达回波数据进行杂波抑制处理。

[0031] 步骤3对杂波抑制后的雷达数据进行恒虚警检测，假设检测到P个候选目标，第i个目标对应的距离和速度为 (R_i, V_i) ， $i = 1, 2, \dots, P$ ，其中检测到的候选目标中既包含真实目标，也包含离散旁瓣杂波。

[0032] 步骤4计算目标失配的空域导向矢量 $\mathbf{S}'_i = [1, \exp(j\Delta\phi), \dots, \exp(j(N-1)\Delta\phi)]^T$ ，其中 $|\Delta\phi| > \frac{2\pi d}{\lambda} \sin(k \times \theta)$ ，k满足 $2 \leq k < N$ ；从而得到新的失配空时导向矢量 $\mathbf{S}' = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}'_i$ ，进一步计算目标空时导向失配的滤波器权系数 $\mathbf{w}' = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}'$ 。目标失配是指目标空域导向约束偏差与真实的雷达发射波束指向失配。

[0033] 步骤5采用步骤4中的 $\mathbf{w}' = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}'$ 对雷达回波数据重新进行杂波抑制处理，然后进行恒虚警检测，由于此时目标空域导向约束偏差与真实的雷达发射波束指向完全失配，因此真实目标信号被抑制，剩余的一定为离散旁瓣杂波。假设检测到Q个离散旁瓣杂波（Q必定小于等于P），第i（ $i = 1, 2, \dots, Q$ ）个离散旁瓣杂波对应的距离和速度为 (R_i, V_i) 。

[0034] 步骤6根据距离速度信息，将步骤3中目标与步骤5中检测的虚假目标逐一比对，如果存在距离速度相同的情况则予以剔除，剩余的即为真实目标。

[0035] 下面对本发明实施例及效果作进一步的详细描述，具体实施流程图如图1所示。

[0036] 本发明的使用场景为：假设雷达整个天线方位阵面总长度为40米，雷达发射信号的波长 λ 为0.2m，方位阵面共分为10个天线子阵，子阵长度 $d = 4$ m，天线方位阵面安装方向与卫星平台速度方向相同，单个相参处理时间间隔（CPI）内脉冲数为200，雷达回波中包含3个离散旁瓣杂波和1个目标信号

[0037] 离散旁瓣杂波识别具体实现步骤如下：

[0038] 步骤1根据天基雷达系统参数，天线3分贝主瓣波束宽度 θ 为 0.28° 。

[0039] 步骤2系统采用空时自适应处理技术对雷达接收N个子阵的回波数据进行杂波抑制，假设目标的空时导向矢量为： $\mathbf{S} = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}_s$ ，其中 \mathbf{S}_s 为 10×1 维的目标空域导向矢量，其与发射波束指向对应的导向矢量相同，在接收数据端 $\mathbf{S}_s = [1, 1, \dots, 1]^T$ ；降维处理后的时域导向矢量表示为 $\mathbf{S}_t(f_{a_j})$ ， f_{a_j} 为第j ($1 \leq j \leq 200$) 个多普勒通道。因此可以获得空时自适应滤波器权系数为 $\mathbf{w} = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}$ ，以此对雷达回波数据进行杂波抑制处理。

[0040] 步骤3对杂波抑制后的雷达数据进行恒虚警检测，假设对于检测到的某个候选目标，记录其对应的距离和速度为 (R_i, V_i) ，如图2所示此时检测到4个可能目标，4个目标距离速度分别为 $(1200\text{km}, 70\text{m/s})$ ， $(1210\text{km}, 50\text{m/s})$ ， $(1230\text{km}, 70\text{m/s})$ ， $(1235\text{km}, -80\text{m/s})$ 。

[0041] 步骤4令目标失配的空域导向矢量为 $\mathbf{S}'_s = [1, \exp(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin(4 \times \theta)), \dots, \exp(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin((N-1)4 \times \theta))]^T$ ，

从而得到新的失配空时导向矢量 $\mathbf{S}' = \mathbf{S}_t \otimes \mathbf{S}'_s$ ，进一步计算目标空时导向失配的滤波器权系数 $\mathbf{w}' = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}'$ 。

[0042] 步骤5采用步骤4中的 $\mathbf{w}' = \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{S}'$ 对雷达回波数据重新进行杂波抑制处理，然后进行恒虚警检测，由于此时目标空域导向约束偏差与真实的雷达发射波束指向完全失配，因此真实目标信号被抑制，剩余的一定为离散旁瓣杂波，如图3所示此时检测到3个目标，对应的距离和速度分别为： $(1200\text{km}, 70\text{m/s})$ ， $(1230\text{km}, 70\text{m/s})$ ， $(1235\text{km}, -80\text{m/s})$ 。

[0043] 步骤6根据距离速度信息，将步骤3中目标与步骤5中检测的虚假目标逐一比对，如果存在距离速度相同的情况则予以剔除，剩余的即为真实目标，通过对比可知 $(1210\text{km}, 50\text{m/s})$ 为真实目标，离散旁瓣杂波被剔除掉。

[0044] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

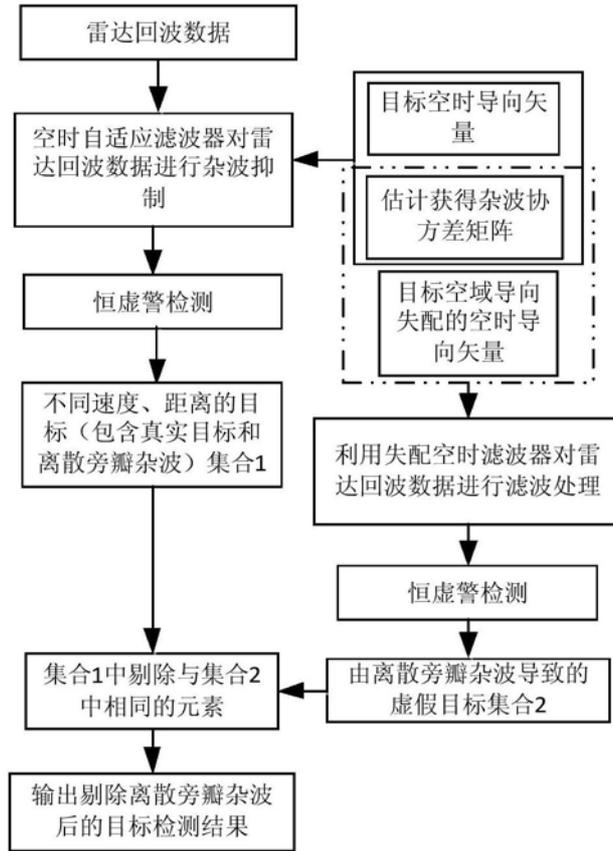


图1

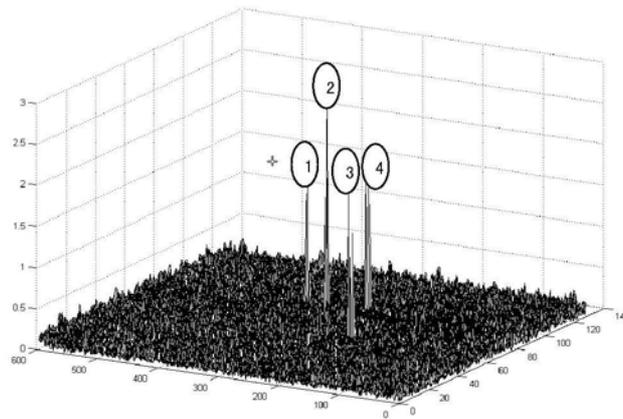


图2

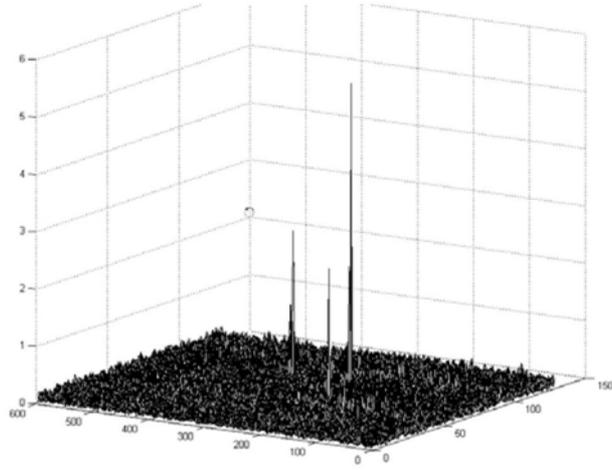


图3