



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102967854 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 13

(21) 申请号 201210519740. 7

(22) 申请日 2012. 12. 07

(71) 申请人 中国人民解放军海军航空工程学院  
地址 264001 山东省烟台市芝罘区二马路  
188 号

(72) 发明人 关键 刘宁波 王国庆 包中华  
宋杰 黄勇 何友

(51) Int. Cl.  
G01S 7/41 (2006. 01)

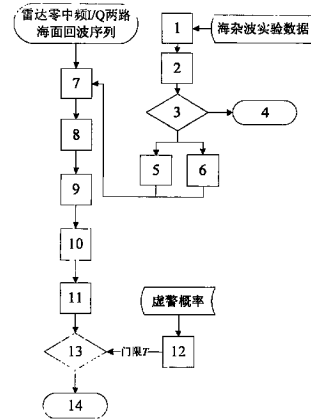
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种 FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法, 该技术属于雷达信号处理领域。现有的海杂波中目标的多重分形检测方法均为直接针对雷达时域回波序列进行处理, 对强海杂波背景下的微弱运动目标检测性能差。本发明将分数阶傅里叶变换和多重分形处理方法有机结合, 综合利用分数阶傅里叶变换可以有效提升海面运动目标信杂比的优点和多重分形特征可以在一定程度上摆脱信杂比束缚的特点, 提取海杂波分数阶傅里叶变换谱的广义 Hurst 指数形成检测统计量。该检测方法结合利用了相参积累和多重分形理论的优点, 对海杂波中的微弱运动目标具有良好的区分能力, 同时该方法也适用于在非均匀分形杂波跟踪目标信号, 具有推广应用价值。



1. FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法,其特征在于包括以下技术措施:

- (1) 判定在一个确定变换阶数下海杂波分数阶傅里叶变换谱的多重自相似特性;
- (2) 设定分数阶傅里叶变换的统一变换阶数和所采用的时间序列长度;

(3) 计算分数阶傅里叶变换域广义 Hurst 指数,并对其求积分形成检测统计量,然后将检测统计量与给定虚警概率条件下的检测门限进行比较,若低于检测门限,判决为目标单元,否则判决为杂波单元。

2. 权利要求 1 所述的 FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法,其中步骤“(1) 判定在一个确定变换阶数下海杂波分数阶傅里叶变换谱的多重自相似特性”具有如下技术特征:单个距离单元的海杂波时间序列可以采用单一自相似过程建模,由此前提可得,在一个确定变换阶数下得到的海杂波分数阶傅里叶变换谱在不同尺度下表现出不同的不规则程度,具有多重自相似的特点,这一判断基于如下公式

$$\left| F_{\nu}^{(p_{\alpha})}(u) \right|^{s_{1a}} = \frac{1}{|\kappa|^H} \cdot \sqrt{\frac{1 + \cot^2 \alpha}{\kappa^4 + \cot^2 \alpha}} \cdot \left| F_{\nu}^{(p_{\beta})} \left( \frac{u \sin \beta}{\kappa \sin \alpha} \right) \right|$$

其中,  $\alpha$  和  $\beta$  为分数阶傅里叶变换过程中所采用的旋转角;  $p_{\alpha}$  和  $p_{\beta}$  为与旋转角  $\alpha$  和  $\beta$  相对应的变换阶数,且满足  $\alpha = p_{\alpha} \pi / 2$ ,  $\beta = p_{\beta} \pi / 2$ ;  $\kappa$  表示尺度;  $u$  表示分数频率;  $H$  表示单一 Hurst 指数;  $F_{\nu}^{(p_{\alpha})}(\cdot)$  和  $F_{\nu}^{(p_{\beta})}(\cdot)$  分别表示海杂波在变换阶数  $p_{\alpha}$  和  $p_{\beta}$  下的分数阶傅里叶变换谱;  $|\cdot|$  表示求模值,即求海杂波分数阶傅里叶变换谱的幅度值;  $\stackrel{s_{1a}}{=}$  表示在统计意义下相等。

3. 权利要求 1 所述的 FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法,其中步骤“(2) 设定分数阶傅里叶变换的统一变换阶数和所采用的时间序列长度”具有如下技术特征:在进行分数阶傅里叶变换时,根据预先获取的雷达海杂波实验数据,分别搜索各个距离单元海杂波序列的最佳变换阶数,然后计算不同变换阶数与各个最佳变换阶数的差值的平方和,将最小平方和值所对应的变换阶数作为分数阶傅里叶变换的统一变换阶数;分数阶傅里叶变换所采用的时间序列长度取值范围为  $[2^{10}, 2^{12}]$ 。

4. 权利要求 1 所述的 FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法,其中步骤“(3) 计算分数阶傅里叶变换域广义 Hurst 指数,并对其求积分形成检测统计量,然后将检测统计量与给定虚警概率条件下的检测门限进行比较,若低于检测门限,判决为目标单元,否则判决为杂波单元”具有如下技术特征:计算海杂波分数阶傅里叶变换谱幅度增量序列的广义 Hurst 指数  $h(q)$ ,其中指数  $q$  为实数且  $0 < q < 30$ ,则检测统计量  $\Lambda$  可采用公式  $\Lambda = \int_0^1 h(q) dq$  计算;检测门限  $T$  采用给定虚警概率条件下的双参数恒虚警算法生成。

## FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法

### 一、技术领域

[0001] 本发明涉及雷达信号处理领域中的利用海杂波分数阶傅里叶变换域多重分形特征进行目标检测的方法,即 FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法,适用于各种对海成像侦察和警戒的相参雷达信号处理系统。

### 二、背景技术

[0002] 20 世纪 80 年代以来,分形理论在雷达信号处理领域取得了长足发展,其从研究对象结构的角度研究其不规则性,因此,分形模型可对海杂波进行机理性解释,并可以较好地刻画海杂波内部所包含的非线性动态特性。2002 年, Gao 等人将海杂波依出现概率划分成一系列概率子集并研究各子集内海杂波的自相似性,建立了测度依概率随机串级乘性分配的海杂波多重分形模型,并采用 X 波段雷达实测数据进行验证,发现在 0.01 秒到几秒的范围内多重分形模型与海杂波具有较好的吻合性,同时发现多重分形模型的结构函数对海杂波与目标具有良好的区分能力,可用于海杂波中的目标检测。此外,还有研究人员针对极化对海杂波多重分形谱的影响、多重分形测度的空间关联性问题做了相应的研究工作,给出了相应的结论或提出了目标检测方法,将多重分形理论在时域海杂波中的应用不断推进。

[0003] 利用时域多重分形特征的海杂波中目标检测方法可以在一定程度上摆脱信杂比的束缚,但是在信杂比很低时其性能依然较差,难以区分海杂波与目标,这也从侧面反映了在雷达目标检测中,特别是在雷达微弱目标检测中,信杂比发挥着至关重要的作用。相参积累作为一种有效的提升信杂比的手段,在实际雷达系统中是一种非常常见的雷达信号处理手段,然而,在目前已有的海杂波多重分形特性研究中,研究对象均为雷达时域直接回波,并不涉及相参积累。作为经典傅里叶变换的一种推广和一种相参积累的有效手段,分数阶傅里叶变换(分数阶傅里叶变换的英文简称为 FRFT)可以对海面运动目标的速度和加速度信息同时进行补偿,从而对非匀速运动目标的回波也可以产生很好的能量聚集性,类似于单频信号进行傅里叶变换后在频域可以得到一个完美尖峰,有效提升信杂比。分数阶傅里叶变换和多重分形理论在雷达信号微弱目标检测中均具有各自的优点,但一直以来二者均分别单独地在雷达信号微处理中得以应用,二者的优点没有很好地结合起来。

### 三、发明内容

[0004] 1. 要解决的技术问题

[0005] 本发明的目的在于提供一种可以在强海杂波背景下检测微弱目标的基于海杂波分数阶傅里叶变换域多重分形特征的检测方法。该检测方法将多重分形特征与分数阶傅里叶变换相结合,首先解决在一个确定变换阶数下海杂波分数阶傅里叶变换谱的多重自相似特性判定问题,然后在此基础上确定分数阶傅里叶变换的统一变换阶数和所采用的时间序列长度,以避免重复搜索最佳变换阶数,降低运算量,最后根据设定的参数计算海杂波的分数阶傅里叶变换域广义 Hurst 指数,并对该 Hurst 指数求积分形成检测统计量,以用于与给

定虚警概率条件下的检测门限进行比较,判决海杂波中是否存在目标信号。该检测方法能充分结合运用分数阶傅里叶变换可以有效提升信杂比和多重分形特征在较低信杂比下仍可较好地地区分海杂波与目标的优点,因而本发明专利可以有效提升雷达对海杂波中微弱目标的检测性能。

#### [0006] 2. 技术方案

[0007] 本发明所述的 FRFT 域海杂波中目标的多重分形检测方法,包括以下技术措施:首先基于雷达海杂波实验数据在一个确定变化阶数下判定得到的海杂波分数阶傅里叶变换谱具有多重自相似特性,在此基础上设定分数阶傅里叶变换的统一变换阶数和所采用的时间序列长度,以计算海杂波的分数阶傅里叶变换谱,然后,计算分数阶傅里叶变换域广义 Hurst 指数,并对其求积分形成检测统计量,最后,将检测统计量与给定虚警概率条件下的检测门限进行比较,若低于检测门限,则判决为存在目标信号,否则判决为无目标信号。

#### [0008] 3. 有益效果

[0009] 本发明相比背景技术具有如下的优点:

[0010] (1) 该检测方法降低了雷达海杂波中目标检测对信杂比的需求;

[0011] (2) 该检测方法采用统一的分数阶傅里叶变换阶数,降低了计算量,提高了实时性;

[0012] (3) 该检测方法检测统计量的形成方式提高了海杂波与目标的区分能力;

[0013] (4) 该检测方法具有在强海杂波背景中检测微弱目标的能力。

#### 四、附图说明

[0014] 说明书附图是本发明的实施原理流程图。

#### 五、具体实施方式

[0015] 以下结合说明书附图对本发明作进一步详细描述。参照说明书附图,本发明的具体实施方式分以下几个步骤:

[0016] (1) 将预先获取的雷达海杂波实验数据输入计算装置 1 进行分数阶傅里叶变换处理,得到海杂波的分数阶傅里叶变换谱,此步骤中雷达实验数据的获取可采用如下方式:雷达开机应用本发明之前预先扫描海面一段时间,接受并存储雷达零中频 I/Q 两路海面回波数据作为雷达实验数据;在装置 1 中进行分数阶傅里叶变换所采用的变换阶数为经验的变换阶数,取值范围为  $[0.8, 1)$  或  $(1, 1.3]$ 。

[0017] (2) 计算装置 2 接受计算装置 1 得到的海杂波分数阶傅里叶变换谱,分别搜索各个距离单元海杂波序列的最佳变换阶数,进而得到最佳变换阶数下的海杂波分数阶傅里叶变换谱,即得到在一个确定变换阶数下的海杂波分数阶傅里叶变换谱。

[0018] (3) 判断装置 3 接受计算装置 2 得到的在一个确定变换阶数下的海杂波分数阶傅里叶变换谱,判断其是否具有多重自相似特性,即判定在一个确定变换阶数下海杂波分数阶傅里叶变换谱的多重自相似特性,此技术措施基于如下原理与公式:

[0019] 单个距离单元的海杂波时间序列可以采用单一自相似过程建模,在此前提下可得,在一个确定变换阶数下得到的海杂波分数阶傅里叶变换谱在不同尺度下表现出不同的不规则程度,具有多重自相似的特点,这一判断基于如下公式

$$[0020] \quad \left| F_{\kappa}^{(p_{\alpha})}(u) \right|^{\text{sta}} = \frac{1}{|\kappa|^H} \cdot \sqrt{\frac{1 + \cot^2 \alpha}{\kappa^4 + \cot^2 \alpha}} \cdot \left| F_{\kappa}^{(p_{\beta})} \left( \frac{u \sin \beta}{\kappa \sin \alpha} \right) \right|^{\text{sta}}$$

[0021] 其中,  $\alpha$  和  $\beta$  为分数阶傅里叶变换过程中所采用的旋转角;  $p_{\alpha}$  和  $p_{\beta}$  为与旋转角  $\alpha$  和  $\beta$  相对应的变换阶数, 且满足  $\alpha = p_{\alpha} \pi / 2$ ,  $\beta = p_{\beta} \pi / 2$ ;  $\kappa$  表示尺度;  $u$  表示分数频率;  $H$  表示单一 Hurst 指数;  $F_{\kappa}^{(p_{\alpha})}(\cdot)$  和  $F_{\kappa}^{(p_{\beta})}(\cdot)$  分别表示海杂波在变换阶数  $p_{\alpha}$  和  $p_{\beta}$  下的分数阶傅里叶变换谱;  $|\cdot|$  表示求模值, 即求海杂波分数阶傅里叶变换谱的幅度值;  $\stackrel{\text{sta}}{=}$  表示在统计意义上相等。

[0022] (4) 若判断装置 3 的判断结果为“不具有多重自相似特性”, 则流程向装置 4 执行, 装置 4 完成终止流程继续执行的功能, 并提示用户在当前条件下本发明无法有效运行; 若判断装置 3 的判断结果为“具有多重自相似特性”, 则流程向装置 5 和装置 6 执行, 且装置 3 将装置 2 的计算结果分别传递给装置 5 和装置 6, 计算装置 5 完成求取分数阶傅里叶变换统一变换阶数的功能, 即根据装置 2 得到的每个距离单元的最佳变换阶数, 分别计算不同变换阶数与各个最佳变换阶数的差值的平方和, 然后将最小平方和值所对应的变换阶数作为分数阶傅里叶变换的统一变换阶数; 计算装置 6 完成确定分数阶傅里叶变换所采用时间序列长度的功能, 分数阶傅里叶变换所采用的时间序列长度取值范围为  $[2^{10}, 2^{12}]$ , 若判断装置 3 得到的海杂波多重自相似特性十分明显, 则可适当降低分数阶傅里叶变换所采用的时间序列长度, 以利于降低运算量; 若判断装置 3 得到的海杂波多重自相似特性不明显, 则可适当增加分数阶傅里叶变换所采用的时间序列长度, 以保持海杂波多重自相似特性的稳定性。

[0023] (5) 对于雷达天线实时接收到的零中频 I/Q 两路海面回波序列, 计算装置 7 根据计算装置 5 和计算装置 6 分别设定的分数阶傅里叶变换的统一变换阶数和所采用的时间序列长度计算其分数阶傅里叶变换谱。

[0024] (6) 计算装置 8 接受计算装置 7 的结果, 计算海杂波分数阶傅里叶变换谱的幅度。

[0025] (7) 计算装置 9 接受计算装置 8 的结果, 计算海杂波分数阶傅里叶变换谱的幅度增量, 得到海杂波分数阶傅里叶变换谱幅度增量序列。

[0026] (8) 对于计算装置 9 得到的增量序列, 计算装置 10 根据多重分形去趋势起伏分析方法计算该增量序列的分数阶傅里叶变换域广义 Hurst 指数  $h(q)$ , 其中, 指数  $q$  的取值范围为:  $q$  为实数且  $0 < q < 30$ 。

[0027] (9) 计算装置 11 接受计算装置 10 得到的一系列分数阶傅里叶变换域广义 Hurst 指数  $h(q)$ , 并对其求积分形成检测统计量  $\Lambda$ , 即

$$[0028] \quad \Lambda = \int_0^u h(q) dq$$

[0029] (10) 计算装置 12 根据预先设定的虚警概率计算检测门限  $T$ , 其中装置 12 中所使用的恒虚警算法是双参数恒虚警算法, 即计算装置 12 完成采用给定虚警概率条件下的双参数恒虚警算法生成检测门限  $T$  的功能。

[0030] (11) 比较器 13 将计算装置 11 得到的检测统计量  $\Lambda$  与检测门限  $T$  相比较以进行有无目标的判决。

[0031] (12) 装置 14 接受比较器的输出结果, 若比较器 13 中的检测统计量  $\Lambda$  低于检测门限  $T$ , 则装置 14 显示判决结果为目标单元; 若比较器 13 中的检测统计量  $\Lambda$  高于检测门限

---

T, 则装置 14 显示判决结果为杂波单元。

