



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117347945 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 05

(21) 申请号 202311641483.9

(22) 申请日 2023.12.04

(71) 申请人 中国航天科工集团八五一—研究所
地址 211103 江苏省南京市江宁区建衡路
99号

(72) 发明人 马琴 朱伟强 苏抗 陈曦
林新平 李莉 孙旭 王皓
吕方晖 于志良

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203
专利代理师 朱沉雁

(51) Int. Cl.
G01S 3/14 (2006.01)

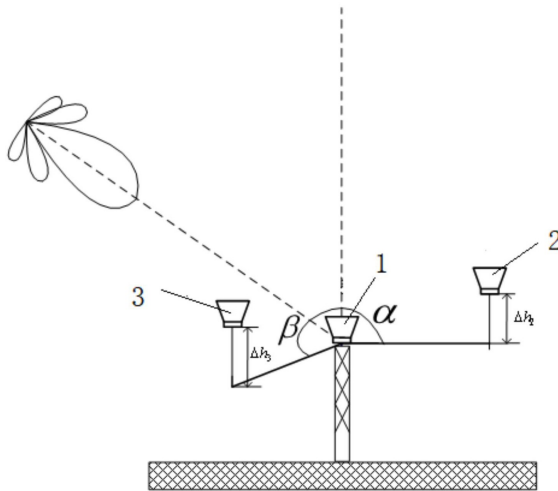
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,采用3通道三维空间布阵方式,通过测量辐射源信号到达干涉仪天线之间的相位差,实现辐射源到达方位角、俯仰角估计。首先利用基线长度和辐射源信号频率确定最大模糊数,根据最大模糊数确定干涉仪相位差取值范围,遍历每一个模糊数确定方向矢量初始值,然后进行最小二乘迭代,提高方向矢量估计精度;最后通过相关干涉仪方法解模糊,确定辐射源到达方位角、俯仰角,进一步实现辐射源位置估计。该方法实现天线阵元空间三维布局干涉仪系统测向,可以获得更高的解模糊概率和测向精度。



1. 一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,其特征在于,方法步骤如下:

步骤1、设置空间三维布局天线阵,利用干涉仪天线接收辐射源信号,获得相位差,转入步骤2;

步骤2、根据基线长度计算相位差的最大模糊数,转入步骤3;

步骤3、根据最大模糊数确定干涉仪相位差模糊数取值范围,转入步骤4;

步骤4、遍历每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,转入步骤5;

步骤5、进行最小二乘迭代,提高方向矢量估计精度,转入步骤6;

步骤6、通过方向矢量计算方位角、俯仰角。

2. 根据权利要求1所述的基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,其特征在于,步骤1中,设置天线阵,利用干涉仪天线接收辐射源信号,获得相位差,具体如下:

设置3个天线阵元,天线阵元安装高度存在差异,构成三维空间布局干涉仪;

第一天线阵元(1)、第二天线阵元(2)构成一组干涉仪,记作A干涉仪,测量得到第一相位差 $\Delta\phi_{12}$;第一天线阵元(1)、第三天线阵元(3)构成一组干涉仪,记作B干涉仪,测量得到第二相位差 $\Delta\phi_{13}$ 。

3. 根据权利要求2所述的基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,其特征在于,步骤2中,根据基线长度计算相位差的最大模糊数,具体如下:

根据基线长度计算相位差的最大模糊数, $k_A = \frac{d_{12}}{\lambda}$, $k_B = \frac{d_{13}}{\lambda}$, k_A 为第一相位差的最大模糊数; d_{12} 为A干涉仪的基线长度; k_B 为第二相位差的最大模糊数; d_{13} 为B干涉仪基线长度; λ 为辐射源信号波长。

4. 根据权利要求3所述的基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,其特征在于:步骤3中,根据最大模糊数确定干涉仪相位差模糊数取值范围,具体如下:

根据最大模糊数确定A干涉仪相位差模糊数取值范围,最小为 $-k_A$,最大为 k_A ,步进为1;B干涉仪相位差模糊数取值最小为 $-k_B$,最大为 k_B ,步进为1。

5. 根据权利要求4所述的基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,其特征在于,步骤4中,遍历每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,具体如下:

分别遍历A干涉仪、B干涉仪的每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,共计算 $(2k_A+1) \times (2k_B+1)$ 次;

A干涉仪相位差的模糊数为 i 时对应的第三相位差为 $\Delta\phi_{12}' = \Delta\phi_{12} + i \times 2\pi$, i 取值范围最小 $-k_A$,最大为 k_A ,步进为1;B干涉仪相位差的模糊数为 j 时对应的第四相位差为 $\Delta\phi_{13}' = \Delta\phi_{13} + j \times 2\pi$, j 取值范围最小 $-k_B$,最大为 k_B ,步进为1;

方向矢量 η 为:

$$\eta = \frac{\lambda}{2\pi} \times H^{-1} \times \begin{bmatrix} \Delta\phi_{12}' \\ \Delta\phi_{13}' \end{bmatrix},$$

$$H = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 \end{bmatrix},$$

其中, H 为基线矩阵, η 为方向矢量, λ 为信号波长, (x_1, y_1, z_1) 为第一天线阵元 (1) 的坐标, (x_2, y_2, z_2) 为第二天线阵元 (2) 的坐标, (x_3, y_3, z_3) 为第三天线阵元 (3) 的坐标。

6. 根据权利要求5所述的基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法, 其特征在于, 步骤5中, 进行最小二乘迭代, 提高方向矢量估计精度, 具体如下:

将方向矢量 η 设为最小二乘迭代初始值, 开始迭代计算:

$$\hat{\eta} = \eta,$$

$\hat{\eta}$ 表示方向矢量估计值, 将 $\hat{\eta}$ 带入式计算相位差预测值:

$$\begin{bmatrix} \Delta\phi_{12}^- \\ \Delta\phi_{13}^- \end{bmatrix} = \frac{2\pi}{\lambda} \times H \times \hat{\eta},$$

其中 $\Delta\phi_{12}^-$ 为A干涉仪预测值, $\Delta\phi_{13}^-$ 为B干涉仪预测值;

计算在 $\hat{\eta}$ 处雅可比矩阵J:

$$J = \frac{2\pi}{\lambda} \begin{bmatrix} H[1,:] \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{\hat{\eta}_{(1)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \\ H[1,:] \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & -\frac{\hat{\eta}_{(2)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \\ H[2,:] \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{\hat{\eta}_{(1)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \\ H[2,:] \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & -\frac{\hat{\eta}_{(2)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \end{bmatrix}^T \end{bmatrix}^T,$$

其中, $H[1,:]$ 表示基线矩阵第一行, $H[2,:]$ 表示基线矩阵第二行; $\hat{\eta}_{(1)}$ 表示 $\hat{\eta}$ 的第一个元素; $\hat{\eta}_{(2)}$ 表示 $\hat{\eta}$ 的第二个元素; $[\]^T$ 表示矩阵转秩运算;

更新估计值:

$$\hat{\eta} = \hat{\eta} + (J^T J)^{-1} J^T \left(\begin{bmatrix} \Delta\phi_{12}' \\ \Delta\phi_{13}' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta\phi_{12}^- \\ \Delta\phi_{13}^- \end{bmatrix} \right),$$

以最新估计值 $\hat{\eta}$ 作为迭代输入, 反复迭代3~5次, 最终的输出结果作为目标位置估计值。

7. 根据权利要求6所述的基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法, 其特征在于: 步骤6中, 通过方向矢量计算方位角、俯仰角, 具体如下:

$$\alpha = \cos^{-1}(\hat{\eta}_{(1)}),$$

$$\beta = \cos^{-1}(\hat{\eta}_{(2)}),$$

$\hat{\eta}_{(1)}$ 表示 $\hat{\eta}$ 的第一个元素, $\hat{\eta}_{(2)}$ 表示 $\hat{\eta}$ 的第二个元素, α 表示方位角, β 表示俯仰角。

一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法

技术领域

[0001] 本发明属于辐射源监测定位技术,具体涉及一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法。

背景技术

[0002] 对非合作辐射源的无源定位技术在电子监测、预警探测等领域具有重要应用价值。利用长基线干涉仪测向定位系统可以得到高精度的角度信息,且干涉仪测向适应信号类型广,因此在电子监测等领域广泛应用。

[0003] 在现有干涉仪测向系统和公开发表的学术论文中,干涉仪测向系统理论模型均是建立在天线阵元分布在二维平面内,研发的测向算法仅适应天线阵二维平面布局方式。为了获取更高的测向性能,干涉仪测向系统基线长度增加,天线阵元间距往往需要增加至数米甚至数十米,天线安装面难以保证平面度,此时天线阵元分布在三维空间内,采用现有的测向解算方法解模糊概率和测向精度急剧下降,难以满足系统使用要求。

[0004] 文献《干涉仪测向系统中的基线配置技术》(无线电工程 第44卷 第4期)介绍了二维平面内干涉仪基线设计方法,并给出逐级解模糊测向方法。

[0005] 文献《改进的相关干涉仪测向处理方法》(西安电子科技大学学报 第33卷 第3期)提出一种改进的相关干涉仪测向处理方法,解决了相位差在主值区间边界处跳变问题,该算法可以适应天线阵元三维空间布局的干涉仪系统,但算法需要对模糊区间逐一搜索,对于长基线干涉仪系统计算量大,难以工程实现。

[0006] 文献《一种多基线相位干涉仪设计方法》(电子信息对抗技术 第23卷 第4期)介绍了一种干涉仪天线阵基线设计方法,该方法假设天线阵元分布在二维平面内,呈线型分布,可以采用逐级解模糊测向算法。

[0007] 文献《基于旋转干涉仪模糊相位差的多假设NLS定位算法》(电子与信息学报第34卷 第4期)针对传统长基线定位系统提出旋转长基线定位体制,系统仅需要两个接收通道即可实现无模糊测向定位。该算法需要对所有模糊相位差逐一与实测相位差进行比较,计算量大,工程实现难度大,且需要多个脉冲才能实现测向,有一定的局限性。

发明内容

[0008] 本发明提出了一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,解决干涉仪天线阵元分布在三维空间内时,现有的测向算法解模糊概率低、测向误差大问题。

[0009] 实现本发明的技术解决方案为:一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,其特征在于,方法步骤如下:

[0010] 步骤1、设置空间三维布局天线阵,利用干涉仪天线接收辐射源信号,获得相位差,转入步骤2。

[0011] 步骤2、根据基线长度计算相位差的最大模糊数,转入步骤3。

[0012] 步骤3、根据最大模糊数确定干涉仪相位差模糊数取值范围,转入步骤4。

[0013] 步骤4、遍历每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,转入步骤5。

[0014] 步骤5、进行最小二乘迭代,提高方向矢量估计精度,转入步骤6。

[0015] 步骤6、通过方向矢量计算方位角、俯仰角。

[0016] 本发明与现有技术相比,其显著优点在于:本发明利用多阵元接收辐射源信号相位差,实现天线阵元空间三维布局干涉仪系统测向,与传统的多通道测向方法相比,可以获得更高的解模糊概率和测向精度,解决工程中干涉仪测向系统天线阵安装难题。

附图说明

[0017] 图1为本发明的天线阵元三维空间布局示意图。

具体实施方式

[0018] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0019] 需要说明,本发明实施例中所有方向性指示(诸如上、下、左、右、前、后……)仅用于解释在某一特定姿态(如附图所示)下各部件之间的相对位置关系、运动情况等,如果该特定姿态发生改变时,则该方向性指示也相应地随之改变。

[0020] 另外,在本发明中如涉及“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明地描述中,“多个”地含义是至少两个,例如两个、三个等,除非另有明确具体地限定。

[0021] 另外,本发明各个实施例之间的技术方案可以相互结合,但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础,当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在,也不在本发明要求的保护范围指内。

[0022] 下面将结合本设计实例对具体实施方式、以及本次发明的技术难点、发明点进行进一步介绍。

[0023] 实际工程应用中,为获取高精度测向结果,基线长度往往设计数米,天线安装面难以保证平面度,此时天线阵元间存在高度差,即天线阵形成三维空间布局,而以往的干涉仪测向算法仅适应于天线阵平面二维情况。本发明给出了一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,适应于干涉仪测向系统天线阵三维空间布局情况,如图1所示,设置3个天线阵元,天线阵元安装高度存在差异,构成三维空间布局干涉仪。以第一天线阵元1为基准,第二天线阵元2与第一天线阵元1之间存在高度差,记作 Δh_2 ,第三天线阵元3与第一天线阵元1之间存在高度差,记作 Δh_3 。天线接收到辐射源信号后,通过测量每两只天线阵元之间的相位差,完成解模糊测向。再根据基线长度和辐射源信号频率计算最大模糊数,针对每个模糊数计算方向矢量初始值,进行最小二乘迭代获取精确方向矢量;最后计算得到方位角、俯仰角。

[0024] 本发明提出的一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,包括以下步骤:

[0025] 步骤1、干涉仪测向系统设置3个天线阵元,天线阵元安装高度存在差异,如图1所

示。以第一天线阵元1为基准,第二天线阵元2与第一天线阵元1之间存在高度差,记作 Δh_2 ,第三天线阵元3与第一天线阵元1之间存在高度差,记作 Δh_3 。3个天线阵元构成三维空间布局干涉仪测向系统。

[0026] 第一天线阵元1、第二天线阵元2构成一组干涉仪,记作A干涉仪,测量得到第一相位差 $\Delta\phi_{12}$;第一天线阵元1、第三天线阵元3构成一组干涉仪,记作B干涉仪,测量得到第二相位差 $\Delta\phi_{13}$ 。

[0027] 步骤2、根据基线长度计算相位差的最大模糊数,具体如下:

[0028] 根据基线长度计算相位差的最大模糊数, $k_A = \frac{d_{12}}{\lambda}, k_B = \frac{d_{13}}{\lambda}$, k_A 为第一相位差的最大模糊数; d_{12} 为A干涉仪的基线长度; k_B 为第二相位差的最大模糊数; d_{13} 为B干涉仪基线长度; λ 为辐射源信号波长。

[0029] 步骤3、根据最大模糊数确定干涉仪相位差模糊数取值范围,具体如下:

[0030] 根据最大模糊数确定A干涉仪相位差模糊数取值范围,最小为 $-k_A$,最大为 k_A ,步进为1;B干涉仪相位差模糊数取值最小为 $-k_B$,最大为 k_B ,步进为1。

[0031] 步骤4、遍历每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,具体如下:

[0032] 分别遍历A干涉仪、B干涉仪的每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,共计算 $(2k_A + 1) \times (2k_B + 1)$ 次。

[0033] A干涉仪相位差的模糊数为 i 时对应的第三相位差为 $\Delta\phi_{12}' = \Delta\phi_{12} + i \times 2\pi$, i 取值范围最小为 $-k_A$,最大为 k_A ,步进为1;B干涉仪相位差的模糊数为 j 时对应的第四相位差为 $\Delta\phi_{13}' = \Delta\phi_{13} + j \times 2\pi$, j 取值范围最小 $-k_B$,最大为 k_B ,步进为1。

[0034] 方向矢量 $\boldsymbol{\eta}$ 为

$$[0035] \quad \boldsymbol{\eta} = \frac{\lambda}{2\pi} \times H^{-1} \times \begin{bmatrix} \Delta\phi_{12}' \\ \Delta\phi_{13}' \end{bmatrix},$$

$$[0036] \quad H = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 \end{bmatrix},$$

[0037] 其中, H 为基线矩阵, $\boldsymbol{\eta}$ 为方向矢量, λ 为信号波长, (x_1, y_1, z_1) 为第一天线阵元1坐标, (x_2, y_2, z_2) 为第二天线阵元2坐标, (x_3, y_3, z_3) 为第三天线阵元3坐标。

[0038] 步骤5、进行最小二乘迭代,提高方向矢量估计精度,具体如下:

[0039] 将方向矢量 $\boldsymbol{\eta}$ 设为最小二乘迭代初始值,开始迭代计算:

$$[0040] \quad \hat{\boldsymbol{\eta}} = \boldsymbol{\eta},$$

[0041] $\hat{\boldsymbol{\eta}}$ 表示方向矢量估计值,将 $\hat{\boldsymbol{\eta}}$ 带入式计算相位差预测值:

$$[0042] \quad \begin{bmatrix} \Delta\varphi_{12}^- \\ \Delta\varphi_{13}^- \end{bmatrix} = \frac{2\pi}{\lambda} \times H \times \hat{\eta},$$

[0043] 其中 $\Delta\varphi_{12}^-$ 为A干涉仪预测值, $\Delta\varphi_{13}^-$ 为B干涉仪预测值。

[0044] 计算在 $\hat{\eta}$ 处雅可比矩阵J:

$$[0045] \quad J = \frac{2\pi}{\lambda} \begin{bmatrix} H[1,:]\times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{\hat{\eta}_{(1)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \end{bmatrix}^T & H[1,:]\times \begin{bmatrix} 0 & 1 & -\frac{\hat{\eta}_{(2)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \end{bmatrix}^T \\ H[2,:]\times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{\hat{\eta}_{(1)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \end{bmatrix}^T & H[2,:]\times \begin{bmatrix} 0 & 1 & -\frac{\hat{\eta}_{(2)}}{\sqrt{1-\hat{\eta}_{(1)}^2-\hat{\eta}_{(2)}^2}} \end{bmatrix}^T \end{bmatrix},$$

[0046] 其中, $H[1,:]$ 表示基线矩阵第一行, $H[2,:]$ 表示基线矩阵第二行; $\hat{\eta}_{(1)}$ 表示 $\hat{\eta}$ 的第一个元素; $\hat{\eta}_{(2)}$ 表示 $\hat{\eta}$ 的第二个元素; $[\]^T$ 表示矩阵转秩运算。

[0047] 更新估计值 $\hat{\eta}$:

$$[0048] \quad \hat{\eta} = \hat{\eta} + (J^T J)^{-1} J^T \left(\begin{bmatrix} \Delta\varphi_{12}' \\ \Delta\varphi_{13}' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta\varphi_{12}^- \\ \Delta\varphi_{13}^- \end{bmatrix} \right),$$

[0049] 以最新估计值 $\hat{\eta}$ 作为迭代输入,反复迭代3~5次,最终的输出结果作为目标位置估计值。

[0050] 步骤6、通过方向矢量计算方位角、俯仰角,具体如下:

$$[0051] \quad \alpha = \cos^{-1}(\hat{\eta}_{(1)}),$$

$$[0052] \quad \beta = \cos^{-1}(\hat{\eta}_{(2)}),$$

[0053] $\hat{\eta}_{(1)}$ 表示方向矢量的第一个元素, $\hat{\eta}_{(2)}$ 表示方向矢量的第二个元素, α 表示方位角, β 表示俯仰角。

[0054] 下面结合实例对本发明做进一步详细的说明。

[0055] 结合图1,一种基于天线阵三维布局的干涉仪系统测向方法,方法步骤如下:

[0056] 步骤1、设置3个天线阵元,第一天线阵元1的坐标为 $[0.1323 \quad -0.0502 \quad 0.1323]^T$ 、第二天线阵元2的坐标为 $[-0.0862 \quad 0.1506 \quad -0.0862]^T$ 、第三天线阵元3坐标为 $[-0.1279 \quad -0.0694 \quad -0.1279]^T$;设置辐射源信号频率为9400MHz,方位角77.9755062211736°,俯仰角48.7343563010608°,A干涉仪测量得到的相位差 $\Delta\varphi_{12}$ 为-98.1424°;B干涉仪测量得到的相位差 $\Delta\varphi_{13}$ 为27.3366°。

[0057] 步骤2、根据基线长度计算最大模糊数, d_{12} 为A干涉仪基线长度,计算为0.3685m,频率9400MHz,信号波长为0.0319m,A干涉仪最大模糊数计算为 $k_A = \frac{d_{12}}{\lambda} = 11$; d_{13} 为B干涉仪基

线长度,计算为0.3685m,频率9400MHz,信号波长为0.0319m,干涉仪基线B最大模糊数为

$$k_B = \frac{d_{13}}{\lambda} = 11。$$

[0058] 步骤3、根据最大模糊数确定A干涉仪相位差模糊数取值范围,最小为-11,最大为11,步进为1;B干涉仪相位差模糊数取值最小为-11,最大为11,步进为1。

[0059] 步骤4、遍历A干涉仪、B干涉仪每一组模糊数取值,计算方向矢量初始值,共计算 $(2k_A+1) \times (2k_B+1)$ 次。当A干涉仪模糊数为 $i=-11$,其相位差 $\Delta\phi_{12}'$ 为4058.1°;B干涉仪模糊数为-11时,其相位差 $\Delta\phi_{13}'$ 为-3932.7°,此时方向矢量计算为:

$$[0060] \quad \eta = \begin{bmatrix} 0.6808 \\ -0.3085 \\ 0.6808 \end{bmatrix},$$

$$[0061] \quad H = \begin{bmatrix} -0.2185 & 0.2007 & -0.2185 \\ -0.2602 & -0.0193 & -0.2602 \end{bmatrix}, \eta \text{ 为方向矢量。}$$

[0062] 步骤5、进行最小二乘迭代,提高方向矢量估计精度。

[0063] 步骤4中得到的方向矢量 η 设为最小二乘迭代初始值,开始迭代计算:

$$[0064] \quad \hat{\eta} = \eta = \begin{bmatrix} 0.6808 \\ -0.3085 \\ 0.6808 \end{bmatrix},$$

[0065] $\hat{\eta}$ 表示方向矢量估计值,将 $\hat{\eta}$ 带入式计算相位差预测值:

$$[0066] \quad \begin{bmatrix} \Delta\phi_{12}^- \\ \Delta\phi_{13}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -70.1164 \\ -67.7906 \end{bmatrix},$$

[0067] 其中 $\Delta\phi_{12}^-$ 为A干涉仪预测值, $\Delta\phi_{13}^-$ 为B干涉仪预测值。

[0068] 计算在 $\hat{\eta}$ 处雅可比矩阵

$$[0069] \quad J = \begin{bmatrix} 1.0712 & 19.5479 \\ 1.2755 & -27.6082 \end{bmatrix},$$

[0070] 更新估计值

$$[0071] \quad \hat{\eta} = \begin{bmatrix} 0.0165 \\ -0.3085 \\ 0.9511 \end{bmatrix},$$

[0072] 以最新估计值 $\hat{\eta}$ 作为迭代输入,重复上述步骤反复迭代3~5次。遍历干涉仪基线所有模糊数后,选择代价函数最小的估计值作为最终结果输出。

$$[0073] \quad \hat{\eta} = \begin{bmatrix} 0.2073 \\ 0.6607 \\ 0.7214 \end{bmatrix}$$

[0074] 步骤6、通过方向矢量计算方位角、俯仰角。

[0075] $\alpha = \cos^{-1}(0.2073) = 78.0332^\circ$

[0076] $\beta = \cos^{-1}(0.6607) = 48.6466^\circ$,

[0077] α 表示方位角, β 表示俯仰角。与方位角 77.9755062211736° , 俯仰角 48.7343563010608° 真实值误差分别为 0.0577° 、 0.0878° , 测向结果符合设计要求。

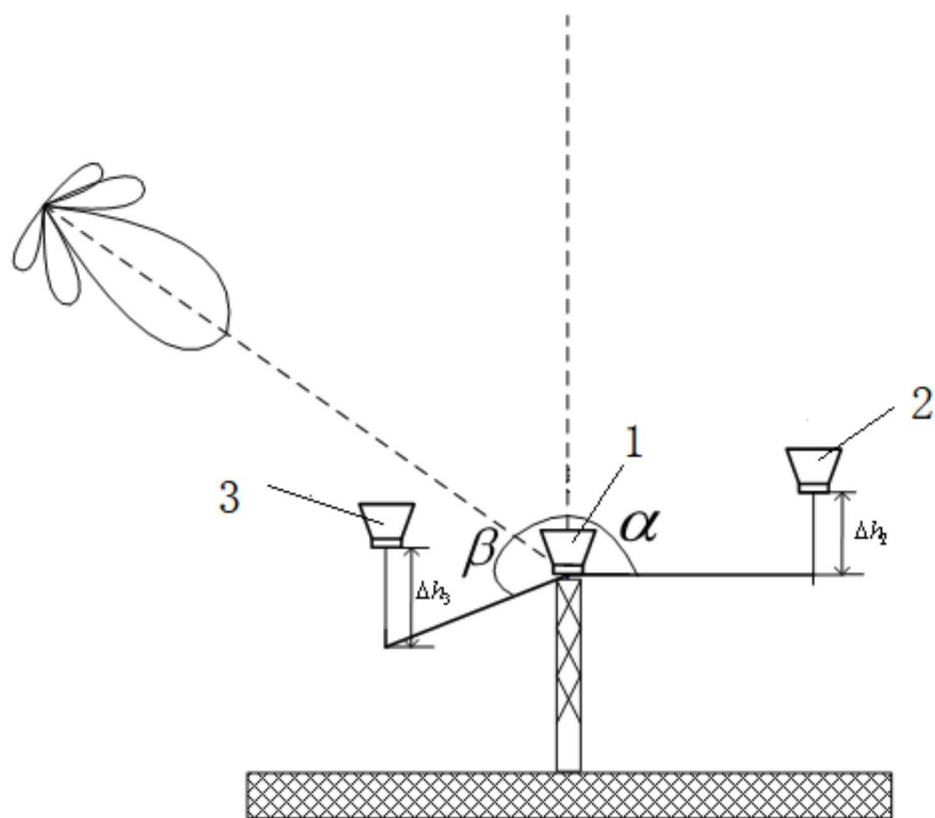


图1