



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107121675 B

(45) 授权公告日 2020.12.29

(21) 申请号 201710307730.X

G01S 7/02 (2006.01)

(22) 申请日 2017.05.04

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107121675 A

CN 102197536 A, 2011.09.21

CN 102306266 A, 2012.01.04

CN 101158572 A, 2008.04.09

(43) 申请公布日 2017.09.01

CN 106023532 A, 2016.10.12

(73) 专利权人 成都零点科技有限公司

CN 104237877 A, 2014.12.24

地址 610000 四川省成都市中国(四川)自  
由贸易试验区成都高新区府城大道西  
段399号8栋17层1号

CN 104459683 A, 2015.03.25

CN 103644850 A, 2014.03.19

审查员 白璇

(72) 发明人 陈祝明

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所  
(普通合伙) 51220

代理人 郭受刚

(51) Int. Cl.

G01S 13/87 (2006.01)

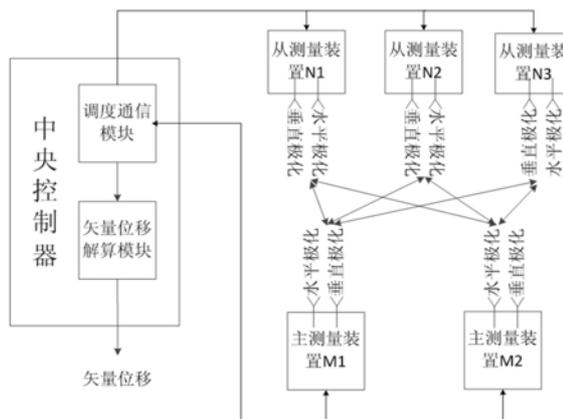
权利要求书4页 说明书14页 附图3页

(54) 发明名称

具有杂波抑制功能的远程位移测量装置、系  
统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种具有杂波抑制功能的远  
程位移测量装置、系统及方法,系统包括中央控  
制器、至少1个主测量装置和至少1个从测量装  
置;主测量装置用于向从测量装置发送发射信号  
和接收从测量装置发射的转发信号,并根据接收  
的转发信号计算相对位移;从测量装置用于接收  
主测量装置的发射信号并发射转发信号;主测量  
装置和从测量装置均具有两副极化正交的天线。  
主测量装置发射信号时,自然地地形散射的强杂波  
信号与发射天线的极化方向一致,而接收天线的  
极化特性与发射天线极化正交,故接收天线对背  
景杂波有很强的抑制作用,从而提高系统精度;  
在同频收发时还能获得比单天线和同极化双天  
线更大的收发隔离度,从而通过增大发射功率来  
获得更大的测量距离。



1. 具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征就在于,包括至少2个主测量装置、至少1个从测量装置和中央控制器,其中:

主测量装置,用于向从测量装置发送发射信号和接收从测量装置发射的转发信号,并根据接收的转发信号计算与其配对的从测量装置的相对位移,并将该相对位移发送给中央控制器;

从测量装置,用于接收主测量装置的发射信号,并发射转发信号;

中央控制器,用于调度主测量装置和从测量装置的配对以进行配对测量、控制各主测量装置和从测量装置的状态以及接收配对测量所得的相对位移,并结合所述相对位移与各主测量装置和从测量装置的安装位置,解算出各从测量装置所处的被测点的矢量位移;

所述主测量装置包括发射单元和接收单元,所述发射单元包括用于发射信号的第一天线,所述接收单元包括用于接收信号的第二天线,所述第一天线与第二天线的极化相互正交;

所述从测量装置包括极化正交的第三天线、第四天线和程控开关;所述第三天线的极化与第一天线相同,用于接收主测量装置发射的发射信号;所述第四天线的极化与第二天线相同,用于向主测量装置转发信号;所述程控开关用于控制从测量装置所处的状态;

所述中央控制器包括调度通信模块和矢量位移解算模块,所述调度通信模块用于调度主测量装置和从测量装置的配对、控制各主测量装置和从测量装置的状态以及接收配对测量所得的相对位移,所述矢量位移解算模块用于解算各从测量装置所处的被测点的矢量位移。

2. 根据权利要求1所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征就在于,所述主测量装置还包括频率综合器、本振信号处理单元、参考信号处理单元、第一控制器、数字信号处理器和第一通信模块,其中:

频率综合器,用于产生发射信号和本振信号;

发射单元,用于将频率综合器产生的发射信号进行放大后分为A、B两路,A路信号通过第一天线发射,B路信号发送至参考信号处理单元;

本振信号处理单元,用于将频率综合器产生的本振信号放大后分为C、D两路,D路信号发送至参考信号处理单元,C路信号发送至接收单元;

接收单元,用于通过第二天线接收与所述远程位移测量装置配合的从测量装置发射的转发信号,并将转发信号与C路信号混频后处理成数字中频转发信号,该数字中频转发信号发送给数字信号处理器;

参考信号处理单元,用于将D路信号与B路信号混频后处理成数字中频信号作为参考信号,该参考信号发送给数字信号处理器;

数字信号处理器,用于根据接收单元发送至的数字中频转发信号和参考信号处理单元提供的参考信号计算从测量装置的相对位移;

第一控制器,用于对第一通信模块、频率综合器、接收单元、参考信号处理单元和数字信号处理器进行控制;

第一通信模块,与第一控制器相连,用于通信。

3. 根据权利要求2所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征就在于,所述发射单元还包括第一放大器和第一信号分配器件,其中:

第一放大器,耦接至所述频率综合器,用于放大频率综合器输出的发射信号;

第一信号分配器件,耦接至第一放大器,用于将第一放大器输出的发射信号分配为A、B两路信号;

第一天线,耦接至第一信号分配器件,接收并发射A路信号;

所述本振信号处理单元包括:

第二放大器,耦接至频率综合器,用于放大频率综合器输出的本振信号;

第二信号分配器件,耦接至第二放大器,将第二放大器输出的本振信号分配为C、D两路信号。

4. 根据权利要求2所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征在于,所述参考信号处理单元包括衰减器、第一混频器、第一滤波器、第三放大器和第一模数转换器,其中:

衰减器,耦接至第一信号分配器件,用于衰减B路信号;

第一混频器,耦接至衰减器和第二信号分配器件,用于对D路信号和衰减后的B路信号混频,得到中频参考信号;

第一滤波器,耦接至第一混频器,用于从第一混频器的输出信号中滤出中频参考信号;

第三放大器,耦接至第一滤波器,用于放大第一滤波器滤出的中频参考信号;

第一模数转换器,耦接至第三放大器,用于将第三放大器输出的模拟的中频参考信号转换为数字的中频参考信号输出给数字信号处理器;

所述接收单元还包括第五放大器、第二混频器、第二滤波器、第四放大器和第二模数转换器,其中:

第二天线,用于接收从测量装置发送的转发信号;

第五放大器,耦接至第二天线,用于放大第二天线接收的转发信号;

第二混频器,耦接至第二信号分配器件和第五放大器,将C路信号和第五放大器放大输出的转发信号混频得到中频转发信号;

第二滤波器,耦接至第二混频器,用于从第二混频器输出的信号中滤出中频转发信号;

第四放大器,耦接至第二滤波器,用于放大第二滤波器输出的中频转发信号;

第二模数转换器,耦接至第四放大器,用于将第四放大器输出的模拟的中频转发信号转化为数字中频转发信号后输出给数字信号处理器。

5. 根据权利要求2至4任一所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征在于,所述接收单元包括第二滤波器,转发信号与C路信号混频后的信号通过第二滤波器进行滤波;

所述参考信号处理单元包括第一滤波器,D路信号与B路信号混频后通过第一滤波器进行滤波;所述本振信号与发射信号是相参单频信号,其频率差等于第一滤波器和第二滤波器的中心频率。

6. 根据权利要求1所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征在于,所述从测量装置还包括第二通信模块、第六放大器和第二控制器,其中:

第二通信模块,用于与中央控制器进行通信,从中央控制器获得控制信令;

程控开关,耦接至第三天线,用于控制从测量装置所处的状态,所述状态包括转发状态和断路状态;

第六放大器,耦接至程控开关,用于放大第三天线接收的信号,输出转发信号;

第四天线,耦接至第六放大器,用于接收第六放大器输出的转发信号,并发射转发信号;

第二控制器,耦接至第二通信模块和程控开关,用于根据第二通信模块所接收的信令控制程控开关。

7.根据权利要求1所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,其特征在于,所述第一天线和第二天线为宽波束的定向天线;第三天线和第四天线为宽波束的定向天线,且第三天线和第四天线的波束范围与第一天线和第二天线的波束范围相互覆盖。

8.具有杂波抑制功能的远程位移测量方法,其特征在于,采用权利要求1-6中任一项所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统进行测量,所述方法包括以下步骤:

S0、中央控制器选定一对主测量装置和从测量装置,通过调度通信模块控制选定的从测量装置进入转发状态,控制选定的主测量装置进入测量状态;

S1、选定的主测量装置通过第一天线发送发射信号,并产生参考信号;

S2、选定的从测量装置通过第三天线接收发射信号,并通过第四天线发射转发信号;

S3、选定的主测量装置通过第二天线接收从测量装置发射的转发信号;

S4、选定的主测量装置根据接收的转发信号计算选定的从测量装置的相对位移,并将该相对位移发送给中央控制器;

S5、中央控制器接收步骤S4中的主测量装置发送至的相对位移,并控制选定的主测量装置进入等待状态,控制选定的从测量装置进入断路状态;

S6、中央控制器判断是否完成各主测量装置和各从测量装置的所有组合方式的配对测量,是则跳转到步骤S7,否则选定另一对新的主测量装置和从测量装置组合,通过调度通信模块控制选定的从测量装置进入转发状态,控制选定的主测量装置进入测量状态,然后跳转到步骤S1;

S7、中央控制器计算所有从测量装置的矢量位移,对每一个从测量装置进行单独计算:对每一个从测量装置,根据安装时其与所有主测量装置间的相对位置关系以及其与所有主测量装置间测得的相对位移,解算出该从测量装置所处的被测点的矢量位移。

9.根据权利要求8所述的具有杂波抑制功能的远程位移测量方法,其特征在于,

步骤S1中,主测量装置还将参考信号处理成数字中频参考信号 $X_R(n)$ ;

步骤S3中,主测量装置将接收的转发信号处理成数字中频转发信号 $X_S(n)$ ;

步骤S4具体包括:

S41:对 $X_R(n)$ 进行数字下变频,得到基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 和 $Z_{RQ}(n)$ ;对 $X_S(n)$ 进行数字下变频,得到基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 和 $Z_{SQ}(n)$ ;

S42:根据基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 、 $Z_{RQ}(n)$ 和基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 、 $Z_{SQ}(n)$ 分别求得参考相位 $\theta_R(n) = \text{ATAN}[Z_{RQ}(n)/Z_{RI}(n)]$ 和转发相位 $\theta_S(n) = \text{ATAN}[Z_{SQ}(n)/Z_{SI}(n)]$ ,其中ATAN为四象限反正切函数;

S43:对参考相位 $\theta_R(n)$ 和转发相位 $\theta_S(n)$ 进行去折叠处理,得到去折叠后的参考相位 $\theta_{RL}(n)$ 和转发相位 $\theta_{SL}(n)$ ;

S44:求解转发相位相对于参考相位的差值 $\Delta\theta(n) = \theta_{SL}(n) - \theta_{RL}(n)$ ;

S45:求解从测量装置相对于其安装完毕后的起始时刻的相位变化值 $\Delta\theta_S(n) = \Delta\theta(n) -$

$\Delta \theta(0)$ ,  $\Delta \theta(0)$  为从测量装置安装完毕后的起始时刻的相位;

S46: 求解从测量装置相对于起始时刻的相对位移  $\Delta S(n) = \Delta \theta_S(n) * c / (4\pi f_{RF})$ , 其中  $c$  为光速,  $f_{RF}$  为发射信号的频率;

S47: 选定的主测量装置将步骤S46中的相对位移发送给中央控制器。

## 具有杂波抑制功能的远程位移测量装置、系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及远程位移测量技术,具体涉及具有杂波抑制功能的远程位移测量装置、系统及方法。

### 背景技术

[0002] 目前,对于大型水库、山区公路等存在滑坡地质灾害的场合,位移监测是最有效的预警方法之一,而远程高精度位移测量则是这类位移监测的技术基础(郑大青等,基于相位测量的微波位移测量方法,《传感器与微系统》,2014年第6期:55-57,68)。

[0003] 中国专利《一种微位移测量技术》(授权公告号:CN1271419C)中采用将角反射器放置在被测点,通过角反射器的反射特性获得强的目标回波,实现位移监测。但是该技术方案只能应用于一定范围的距离内,在测量点与被测点距离增大时,接收信号很快就降低到测量系统灵敏度以下,不能测量了。

[0004] 为了进一步增大位移监测的距离范围,中国专利《远距离微位移测量系统》(授权公告号:CN103245315B)采用了由顺序连接的天线、环行器、放大器等组成的相干有源反射器,对被测点的接收信号进行相干同频或相干异频放大并转发,提高被测点的回波信号功率,从而实现在远距离下的位移测量。然而,该专利在远程高精度位移测量的实际工程应用中存在两个方面的问题:一是对于相干同频转发,其测量点处的收发信道和信号处理设备所接收的信号与来自接收天线主瓣和旁瓣的强背景杂波间会形成干涉,从而影响到其装置的测量精度;二是对于相干异频转发,因所采用的锁相环的稳态相差会受到器件一致性和使用环境因素的影响而产生不确定性,从而影响到其装置的测量精度。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,解决现有技术中在远程高精度位移测量中的强背景杂波会影响系统精度的问题,本发明的系统中的主测量装置和从测量装置采用极化正交的双天线结构,有效消除杂波对系统测量精度的影响。本发明还提供了具有杂波抑制功能的远程位移测量装置和方法。

[0006] 本发明通过下述技术方案实现:

[0007] 具有杂波抑制功能的远程位移测量装置包括发射单元和接收单元,所述发射单元包括用于发射信号的第一天线,所述接收单元包括用于接收信号的第二天线,第一天线与第二天线的极化相互正交。本方案中,本装置的第一天线与第二天线的极化相互正交,分别作为发射天线和接收天线,作为主测量装置需要与具有正交极化双天线的从测量装置配合使用,从测量装置的接收天线与主测量装置的发射天线具有相同的极化特性,可以有效地接收主测量装置的发射信号,并通过其发射天线转发,从测量装置的发射天线与其接收天线极化特性方向相反也即与主测量装置的接收天线极化特性相同,从而从测量装置的发射天线发射的转发信号能够被主测量装置有效地接收。主测量装置在进行信号发射时,自然地地形散射的强杂波信号与发射天线的极化方向一致,而接收天线具有与发射天线极化特性

正交的极化特性,故接收天线对背景杂波有很强的抑制作用,从而提高系统精度。此外,主测量装置和从测量装置中均采用了极化正交的双天线结构,这种结构在同频收发时能够获得比单天线和同极化双天线更大的收发隔离度,从而使得主测量装置和从测量装置都能够通过增大发射功率来获得更大的测量距离。

[0008] 作为本发明的进一步改进,上述具有杂波抑制功能的远程位移测量装置还包括频率综合器、本振信号处理单元、参考信号处理单元、第一控制器、数字信号处理器和第一通信模块,其中:频率综合器,用于产生发射信号和本振信号;发射单元,用于将频率综合器产生的发射信号进行放大后分为A、B两路,A路信号通过第一天线发射,B路信号发送至参考信号处理单元;本振信号处理单元,用于将频率综合器产生的本振信号放大后分为C、D两路,D路信号发送至参考信号处理单元,C路信号发送至接收单元;接收单元,用于通过第二天线接收与所述远程位移测量装置配合的从测量装置发射的转发信号,并将转发信号与C路信号混频后处理成数字中频转发信号,该数字中频转发信号发送给数字信号处理器;参考信号处理单元,用于将D路信号与B路信号混频后处理成数字中频信号作为参考信号,该参考信号发送给数字信号处理器;数字信号处理器,用于根据接收单元发送至的数字中频转发信号和参考信号处理单元提供的参考信号计算从测量装置的相对位移;第一控制器,用于对第一通信模块、频率综合器、接收单元、参考信号处理单元和数字信号处理器进行控制;第一通信模块,与第一控制器相连,用于进行通信。本方案中,主测量装置的系统结构采用了双通道超外差中频结构,参考信号与转发信号的通道一致性好,消除了接收通道低频噪声和直流漂移的影响,从而使得系统的测量精度进一步提高。

[0009] 进一步,所述发射单元还包括第一放大器和第一信号分配器件,其中:第一放大器,耦接至所述频率综合器,用于放大频率综合器输出的发射信号;第一信号分配器件,耦接至第一放大器,用于将第一放大器输出的发射信号分配为A、B两路信号;第一天线,耦接至第一信号分配器件,接收并发射A路信号。

[0010] 进一步,所述本振信号处理单元包括:第二放大器,耦接至频率综合器,用于放大频率综合器输出的本振信号;第二信号分配器件,耦接至第二放大器,将第二放大器输出的本振信号分配为C、D两路信号。

[0011] 进一步,所述参考信号处理单元包括衰减器、第一混频器、第一滤波器、第三放大器和第一模数转换器,其中:衰减器,耦接至第一信号分配器件,用于衰减B路信号;第一混频器,耦接至衰减器和第二信号分配器件,用于对D路信号和衰减后的B路信号混频,得到中频参考信号;第一滤波器,耦接至第一混频器,用于从第一混频器的输出信号中滤出中频参考信号;第三放大器,耦接至第一滤波器,用于放大第一滤波器滤出的中频参考信号;第一模数转换器,耦接至第三放大器,用于将第三放大器输出的模拟的中频参考信号转换为数字的中频参考信号输出给数字信号处理器。

[0012] 进一步,所述接收单元还包括第五放大器、第二混频器、第二滤波器、第四放大器和第二模数转换器,其中:第二天线,用于接收从测量装置发送的转发信号;第五放大器,耦接至第二天线,用于放大第二天线接收的转发信号;第二混频器,耦接至第二信号分配器件和第五放大器,将C路信号和第五放大器放大输出的转发信号混频得到中频转发信号;第二滤波器,耦接至第二混频器,用于从第二混频器输出的信号中滤出中频转发信号;第四放大器,耦接至第二滤波器,用于放大第二滤波器输出的中频转发信号;第二模数转换器,耦接

至第四放大器,用于将第四放大器输出的模拟的中频转发信号转化为数字中频转发信号后输出给数字信号处理器。

[0013] 进一步,所述接收单元包括第二滤波器,转发信号与C路信号混频后的信号通过第二滤波器进行滤波;所述参考信号处理单元包括第一滤波器,D路信号与B路信号混频后通过第一滤波器进行滤波;所述本振信号与发射信号是相参单频信号,其频率差等于第一滤波器和第二滤波器的中心频率。所述本振信号与发射信号是相参单频信号是指本振信号与发射信号均为单频信号且本振信号与发射信号为相参信号。两路信号间设置的频率差使得接收单元能够采用超外差结构,通过其中频滤波器有效地消除直流漂移和低频噪声的影响,从而获得高的接收灵敏度;两路信号相参是为了保证其中频输出信号中形成的初始相位差是固定的。

[0014] 具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,包括具有调度通信模块和矢量位移解算模块的中央控制器、至少1个主测量装置和至少1个从测量装置,其中:所述调度通信模块用于调度主测量装置和从测量装置的配对以进行配对测量、控制各主测量装置和从测量装置的状态以及接收配对测量所得的相对位移;所述矢量位移解算模块用于根据各配对测量所得的相对位移、各个主测量装置的安装位置和从测量装置的安装位置解算出各个从测量装置所处的被测点的矢量位移;主测量装置,用于向从测量装置发送发射信号和接收从测量装置发射的转发信号,并根据接收的转发信号计算与其配对的从测量装置的相对位移,并将该相对位移发送给中央控制器,该主测量装置采用上述任一技术方案中的具有杂波抑制功能的远程位移测量装置;从测量装置,用于接收主测量装置的发射信号,并发射转发信号;所述从测量装置包括极化正交的第三天线和第四天线。本方案中,主测量装置的第一天线和第二天线这两副极化正交的天线分别作为发射天线和接收天线,从测量装置也如此。主测量装置的发射天线与接收天线正交极化,从测量装置的接收天线与主测量装置的发射天线具有相同的极化特性,可以有效地接收主测量装置的发射信号,并通过其发射天线转发,从测量装置的发射天线与其接收天线极化特性方向相反也即与主测量装置的接收天线极化特性相同,从而从测量装置的发射天线发射的转发信号能够被主测量装置有效地接收。主测量装置在进行信号发射时,自然地地形散射的强杂波信号与发射天线的极化方向一致,而接收天线具有与发射天线极化特性正交的极化特性,故接收天线对背景杂波有很强的抑制作用,从而提高系统精度。此外,主测量装置和从测量装置中均采用了极化正交的双天线结构,这种结构在同频收发时能够获得比单天线和同极化双天线更大的收发隔离度,从而使得主测量装置和从测量装置都能够通过增大发射功率来获得更大的测量距离。

[0015] 优选的,所述第一天线和第二天线为宽波束的定向天线,以覆盖多个从测量装置;第三天线和第四天线也为宽波束的定向天线,其波束范围与第一天线和第二天线的波束范围相互覆盖。

[0016] 作为本发明的又一改进,所述从测量装置包括:

[0017] 第二通信模块,用于与中央控制器进行通信,从系统的中央控制器获得控制信令;

[0018] 第三天线,用于接收主测量装置发射的发射信号;

[0019] 程控开关,耦接至第三天线,用于控制从测量装置所处的状态,所述状态包括转发状态和断路状态;

[0020] 第六放大器,耦接至程控开关,用于放大第三天线接收的信号,输出转发信号;

[0021] 第四天线,耦接至第六放大器,用于接收第六放大器输出的转发信号,并发射转发信号;

[0022] 第二控制器,耦接至第二通信模块和程控开关,用于根据第二通信模块所接收的信令控制程控开关。

[0023] 本技术方案中,转发信号为从测量装置接收主测量装置的发射信号并对该发射信号放大形成。中央控制器用于调度主测量装置和从测量装置的配对工作以及根据各配对测量所得的相对位移,结合各个主测量装置和从测量装置的安装位置,解算出各个从测量装置所处的被测点的矢量位移;中央控制器可以通过控制多个主测量装置切换测量状态和等待状态以及控制多个从测量装置切换断路状态和转发状态,实现时分复用,从而实现了多个从测量装置相对于多个主测量装置的相对位移测量。位于上下左右不同位置上的多个主测量装置测量某个被测点的从测量装置的在不同方向上相对位移,就可以解算出具有大小和方向的矢量位移;通过测量位于不同位置的从测量装置的矢量位移,就可以实现对一个大范围表面的位移监测,如滑坡监测。

[0024] 具有杂波抑制功能的远程位移测量方法,采用上述的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统进行测量,所述方法包括以下步骤:

[0025] S0、中央控制器选定一对主测量装置和从测量装置,通过调度通信模块控制选定的从测量装置进入转发状态,控制选定的主测量装置进入测量状态;

[0026] S1、选定的主测量装置通过第一天线发送发射信号,并产生参考信号;

[0027] S2、选定的从测量装置通过第三天线接收发射信号,并通过第四天线发射转发信号;

[0028] S3、选定的主测量装置通过第二天线接收从测量装置发射的转发信号;

[0029] S4、选定的主测量装置根据接收的转发信号计算选定的从测量装置的相对位移;并将该相对位移发送给中央控制器;

[0030] S5、中央控制器接收步骤S4中的主测量装置发送至的相对位移,并控制选定的主测量装置进入等待状态,控制选定的从测量装置进入断路状态;

[0031] S6、中央控制器判断是否完成各主测量装置和各从测量装置的所有组合方式的配对测量,是则跳转到步骤S7,否则选定另一对新的主测量装置和从测量装置组合,通过调度通信模块控制选定的从测量装置进入转发状态,控制选定的主测量装置进入测量状态,然后跳转到步骤S1;

[0032] S7、中央控制器计算所有从测量装置的矢量位移,对每一个从测量装置进行单独计算:对每一个从测量装置,根据安装时其与所有主测量装置间的相对位置关系以及其与所有主测量装置间测得的相对位移,解算出该从测量装置所处的被测点的矢量位移;

[0033] 其中,步骤S0-S6顺序执行。

[0034] 本方案中,中央控制器首先选定一对主测量装置和从测量装置,先测量出二者的相对位移,再选定另一对主测量装置和从测量装置,测量出两者间的相对位移,直至完成最后一种配对组合的测量;然后中央控制器选定一个被测点的从测量装置,根据安装时其与所有主测量装置间的相对位置关系以及其与所有主测量装置间测得的相对位移,解算出该从测量装置所处的被测点的矢量位移;再选定另一个被测点的从测量装置,重复前述步骤,直至完成最后一个从测量装置的测量。

- [0035] 进一步,步骤S1中,主测量装置还将参考信号处理成数字中频参考信号 $X_R(n)$ ;
- [0036] 步骤S3中,主测量装置将接收的转发信号处理成数字中频转发信号 $X_S(n)$ ;
- [0037] 步骤S4具体包括:
- [0038] S41:对 $X_R(n)$ 进行数字下变频,得到基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 和 $Z_{RQ}(n)$ ;对 $X_S(n)$ 进行数字下变频,得到基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 和 $Z_{SQ}(n)$ ;
- [0039] S42:根据基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 、 $Z_{RQ}(n)$ 和基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 、 $Z_{SQ}(n)$ 分别求得参考相位 $\theta_R(n) = \text{ATAN}[Z_{RQ}(n)/Z_{RI}(n)]$ 和转发相位 $\theta_S(n) = \text{ATAN}[Z_{SQ}(n)/Z_{SI}(n)]$ ,其中ATAN为四象限反正切函数;
- [0040] S43:对参考相位 $\theta_R(n)$ 和转发相位 $\theta_S(n)$ 进行去折叠处理,得到去折叠后的参考相位 $\theta_{RL}(n)$ 和转发相位 $\theta_{SL}(n)$ ;
- [0041] S44:求解转发相位相对于参考相位的差值 $\Delta\theta(n) = \theta_{SL}(n) - \theta_{RL}(n)$ ;
- [0042] S45:求解从测量装置相对于其安装完毕后的起始时刻的相位变化值 $\Delta\theta_S(n) = \Delta\theta(n) - \Delta\theta(0)$ , $\Delta\theta(0)$ 为从测量装置安装完毕后的起始时刻的相位;
- [0043] S46:求解从测量装置相对于起始时刻的相对位移 $\Delta S(n) = \Delta\theta_S(n) * c / (4\pi f_{RF})$ ,其中 $c$ 为光速, $f_{RF}$ 为主测量装置发送的发射信号的频率;
- [0044] S47:选定的主测量装置将步骤S46中的相对位移发送给中央控制器。
- [0045] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:
- [0046] 1、本发明中,主测量装置和从测量装置均采用两副极化正交的天线分别作为发射天线和接收天线,从测量装置的接收天线与主测量装置的发射天线具有相同的极化特性,可以有效地接收主测量装置的发射信号,并通过其发射天线转发,从测量装置的发射天线与主测量装置的接收天线极化特性相同,从而从测量装置的发射天线发射的转发信号能够被主测量装置有效地接收。主测量装置在进行信号发射时,自然地形散射的强杂波信号与发射天线的极化方向一致,而接收天线具有与发射天线极化特性正交的极化特性,故接收天线对背景杂波有很强的抑制作用,从而提高系统精度。
- [0047] 2、本发明的主测量装置和从测量装置中均采用了极化正交的双天线结构,这种结构在同频收发时能够获得比单天线和同极化双天线更大的收发隔离度,从而使得主测量装置和从测量装置都能够通过增大发射功率来获得更大的测量距离。
- [0048] 3、本发明的主测量装置采用了双通道超外差中频结构,参考信号与转发信号的通道一致性好,消除了接收通道低频噪声和直流漂移的影响,从而使得系统的测量精度进一步提高。
- [0049] 4、本发明采用数字下变频来解算中频信号相位,可以消除转发信号在传播过程中因气象等因素造成的幅度变化对相位测量的影响,从而提高了系统对应用场景的适应性。
- [0050] 5、本发明的中央控制器、主测量装置和从测量装置中都含有通信模块,中央控制器通过调度通信模拟控制多个主测量装置和多个从测量装置分时配对工作,能够获得每个被测点的从测量装置相对于不同位置的主测量装置的相对位移,通过中央控制器的解算,就能够获得每个被测量点的包括了大小和方向的矢量位移。

## 附图说明

- [0051] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部

分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

[0052] 图1为本发明的具有杂波抑制功能的远程位移测量系统的一种典型应用场景;

[0053] 图2为实施例1中主测量装置和从测量装置的安装的位置关系图;

[0054] 图3为主测量装置的内部结构示意图;

[0055] 图4为从测量装置的内部结构示意图;

[0056] 图5为系统收发信号示意图;

[0057] 图6为相位去折叠处理示意图。

### 具体实施方式

[0058] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

#### [0059] 【实施例1】

[0060] 如图1和图3所示,具有杂波抑制功能的远程位移测量系统,包括中央控制器、2个主测量装置M1、M2和3个从测量装置N1、N2、N3。所有的主测量装置和从测量装置在中央控制器的调度下配对完成测量工作。

[0061] 中央控制器,包括调度通信模块和矢量位移解算模块;所述调度通信模块用于:(1)调度主测量装置和从测量装置的配对以使主测量装置和从测量装置进行配对测量;(2)控制各主测量装置和从测量装置的状态,以及(3)接收主测量装置和从测量装置配对测量所得的从测量装置的相对位移;所述矢量位移解算模块用于根据各配对测量所得的相对位移、各个主测量装置的安装位置和从测量装置的安装位置解算出各个从测量装置所处的被测点的矢量位移。前述的相对位移是指:从初始时刻到测量时刻,从测量装置相对于主测量装置的距离变化值。

[0062] 主测量装置用于向从测量装置发送发射信号和接收从测量装置发射的转发信号,并根据接收的转发信号计算与其配对的从测量装置的相对位移,并将该相对位移发送给中央控制器;具体包括发射单元和接收单元,所述发射单元包括用于发射信号的第一天线,所述接收单元包括用于接收信号的第二天线,所述第一天线与第二天线的极化相互正交。

[0063] 从测量装置,用于接收主测量装置的发射信号,并发射转发信号;从测量装置包括极化正交的第三天线和第四天线。

[0064] 主测量装置具有第一天线和第二天线两副极化正交的天线,分别作为主测量装置的发射天线和接收天线;从测量装置具有第三天线和第四天线两副极化正交的天线,分别作为从测量装置的接收天线和发射天线。从测量装置的接收天线与主测量装置的发射天线具有相同的极化特性,可以接收主测量装置的发射信号,并通过其发射天线转发,从测量装置的发射天线与主测量装置的接收天线极化特性相同,从而从测量装置的发射天线发射的转发信号能够有效地被主测量装置有效地接收。

[0065] 本实施例中,第一天线和第三天线为X极化天线,第二天线和第四天线为Y极化天线,X极化与Y极化为相互正交的极化方式,如X为水平极化,Y为垂直极化。第一天线和第二天线为宽波束的定向天线,以覆盖多个测量从测量装置;第三天线和第四天线也为宽波束天线,其波束范围与各个主测量装置的第一天线和第二天线的波束范围相互覆盖。

[0066] 本实施例的主测量装置和从测量装置中均采用了极化正交的双天线结构,这种结构在同频收发时能够获得比单天线和同极化双天线更大的收发隔离度,从而使得主测量装置和从测量装置都能够通过增大发射功率来获得更大的测量距离,实现远距离测量;由于主测量装置采用了极化正交的双天线结构,其接收天线的极化与来自发射天线主瓣和旁瓣的强背景杂波信号的极化相互正交,因此整个系统具有很强的背景杂波抑制能力,可以有效地消除强杂波形成的干涉对系统测量精度的影响,从而提高系统精度。本实施例中,假定安装时所有的主测量装置和从测量装置在一个水平面上,相互间的安装的位置关系如图2所示。以从测量装置N3所在的被测点为例,其与主测量装置M1配对测得相对位移L1为0.012米,与主测量装置M2测得的相对位移L2为0.025米,这两个数值通过主测量装置的第一通信模块传输至中央控制器的调度通信模块后,其矢量位移解算模块结合主测量装置和从测量装置安装时的位置关系,解算出该被测点的矢量位移L3的大小为0.0363米,方向为南偏西12.41°。

[0067] 本实施例中,中央控制器可以采用具有控制和通信功能的计算机、嵌入式设备等实现,本实施例中不再赘述。

#### [0068] 【实施例2】

[0069] 在实施例1的基础上,本实施例中对主测量装置进行进一步改进:

[0070] 如图3所示,所述主测量装置包括频率综合器、本振信号处理单元、发射单元、接收单元、参考信号处理单元、第一控制器、数字信号处理器和第一通信模块,其中:

[0071] 频率综合器,用于产生频率为 $f_{RF}$ 的发射信号和频率为 $f_L$ 的本振信号;

[0072] 发射单元,用于将频率综合器产生的发射信号进行放大后分为A、B两路,A路信号通过第一天线发射,B路信号发送至参考信号处理单元;

[0073] 本振信号处理单元,用于将频率综合器产生的本振信号放大后分为C、D两路,D路信号发送至参考信号处理单元,C路信号发送至接收单元;

[0074] 接收单元,用于通过第二天线接收从测量装置的转发信号,并将转发信号与C路信号混频,还将混频后的信号处理成数字中频转发信号后发送给数字信号处理器;

[0075] 参考信号处理单元,用于将D路信号与B路信号混频后处理成数字中频信号作为参考信号(即数字中频参考信号),该参考信号发送给数字信号处理器;

[0076] 发射单元包括第一放大器、第一信号分配器件和第一天线,其中:第一放大器耦接至频率综合器,用于放大频率综合器输出的发射信号;第一信号分配器件耦接至第一放大器,用于将第一放大器输出的发射信号分配为A、B两路信号;第一天线的极化方式为X极化,第一天线耦接至第一信号分配器件,接收A路信号并发射X极化的A路信号。

[0077] 本振信号处理单元包括第二放大器和第二信号分配器件:第二放大器耦接至频率综合器,用于放大频率综合器输出的本振信号;第二信号分配器件耦接至第二放大器,将第二放大器输出的本振信号分配为C、D两路信号。

[0078] 本实施例中,第一信号分配器件和第二信号分配器件均采用功率分配器,第一信号分配器件即为第一功分器,第二信号分配器件即为第二功分器。

[0079] 所述参考信号处理单元包括衰减器、第一混频器、第一滤波器、第三放大器和第一模数转换器,其中:衰减器耦接至第一功分器,用于衰减B路信号;第一混频器耦接至衰减器和第二功分器,用于接收D路信号和衰减后的B路信号,并对D路信号和衰减后的B路信号混

频,两路信号经第一混频器混频得到频率为 $f_{IF}=|f_{RF}-f_L|$ 的中频参考信号;第一滤波器耦接至第一混频器,其中心频率为 $f_{IF}$ ,用于从第一混频器的输出信号中滤出中频参考信号;第三放大器耦接至第一滤波器,用于放大第一滤波器滤出的中频参考信号;第一模数转换器(图3中的ADC1)耦接至第三放大器,用于变换模拟的中频参考信号,即,将第三放大器输出的模拟的中频参考信号转换为数字的中频参考信号即数字中频参考信号 $X_R(n)$ 并输出给数字处理器。

[0080] 所述接收单元包括第二天线、第五放大器、第二混频器、第二滤波器、第四放大器和第二模数转换器,其中:第二天线的极化方式为Y极化,用于接收从测量装置发送的转发信号(Y极化信号);第五放大器耦接至第二天线,用于放大第二天线接收的转发信号;第二混频器耦接至第二功分器和第五放大器,接收C路信号和第五放大器输出的转发信号,将这两路信号混频得到频率为 $f_{IF}$ 的中频转发信号输出;第二滤波器耦接至第二混频器,用于从第二混频器输出的信号中滤出中频转发信号;第四放大器耦接至第二滤波器,其中心频率为 $f_{IF}$ ,用于放大第二滤波器输出的中频转发信号;第二模数转换器(图3中的ADC2)耦接至第四放大器,用于变换模拟的中频转发信号,即,将第四放大器输出的模拟的中频转发信号转换为数字中频转发信号 $X_S(n)$ 后输出给数字信号处理器。第五放大器采用低噪声放大器。

[0081] 数字信号处理器用于根据接收单元发送至的数字中频转发信号和参考信号处理单元提供的参考信号计算相对位移;具体的,数字信号处理器耦接至ADC1,ADC2,以接收数字中频参考信号 $X_R(n)$ 和数字中频转发信号 $X_S(n)$ ,并进行数字信号处理以获得参考信号相位和转发信号相位,通过两者的差测量出从测量装置相对于主测量装置的相对位移。

[0082] 第一控制器,耦接至数字信号处理器、第一通信模块和频率综合器,用于对第一通信模块、频率综合器、接收单元、参考信号处理单元和数字信号处理器进行控制;实现主测量装置的参数配置、工作控制和提供时钟;

[0083] 第一通信模块,用于与中央控制器进行通信,以控制主测量装置处于测量状态还是等待状态,数字信号处理器计算出的相对位移还通过第一通信模块发送给中央控制器。

[0084] 本实施例中,频率综合器采用现有技术常用的直接数字综合器(DDS),本实施例中不再赘述其结构,其产生的本振信号与发射信号是相参单频信号,其频率差等于第一滤波器和第二滤波器的中心频率。两路信号间设置的频率差使得接收单元能够采用超外差结构,通过其中频滤波器(即第二滤波器)有效地消除直流漂移和低频噪声的影响,从而获得高的接收灵敏度。发射单元发射的波形为单频正弦波,从而保证接收的和转发的中频输出信号均为单频正弦信号,经采样和数字信号处理后得到的信号相位均为线性相位,以便于通过两者的相位差精确地测量出被测点的相对位移。

[0085] 本实施例中,主测量装置在发射部分包含(发射单元和本振信号处理单元)采用不同的发射频率和本振频率,在接收部分(接收单元和参考信号处理单元)采用双通道超外差中频结构,使得系统参考信号和转发信号的通道一致性好,消除了接收通道低频噪声和直流漂移的影响,从而保证了系统测量的高精度。3个从测量装置接收2个主测量装置的第一通信模块的信令进行时分复用控制,使得每个从测量装置所处的被测点都可以获得相对于各个主测量装置的相对位移。

[0086] 在其他实施方式中,第一信号分配器件和第二信号分配器件还可以采用耦合器。

[0087] **【实施例3】**

[0088] 在实施例2的基础上,本实施例中对从测量装置进行进一步改进。从测量装置使用时放置于被测点,用作有源转发信标。如图4所示,所述从测量装置包括:

[0089] 第二通信模块,用于与中央控制器进行通信,从中央控制器获得控制信令;

[0090] 第三天线,用于接收主测量装置的第一天线发射的X极化发射信号;

[0091] 程控开关,耦接至第三天线,用于控制从测量装置处于转发状态还是断路状态;

[0092] 第六放大器,耦接至程控开关,用于放大第三天线接收的X极化信号,输出转发信号;在程控开关控制从测量装置处于转发状态时,第三天线接收的X极化信号通过程控开关进入第六放大器进行放大,经第四天线进行发射;程控开关控制从测量装置处于短路状态时,第三天线接收的X极化信号无法进入第六放大器,从测量装置不转发信号;

[0093] 第四天线,耦接至第六放大器,用于接收第六放大器输出的转发信号,并发射具有Y极化的转发信号;

[0094] 第二控制器,耦接至第二通信模块和程控开关,用于根据第二通信模块所接收的信令控制程控开关。

[0095] 本实施例中,所述第三天线为宽波束的定向天线,其极化方式为X极化;第四天为宽波束的定向天线,其极化方式为Y极化;第三天线、第四天线主瓣指向相同,且指向第一天线和第二天线的波束覆盖范围。第三天线和第四天线的波束范围与第一天线和第二天线的波束范围相互覆盖。

[0096] 第二通信模块和第一通信模块、调度通信模块均采用Zigbee通信模块。中央控制器通过第一通信模块控制多个主测量装置切换测量状态和等待状态,通过第二通信模块控制多个从测量模块切换断路状态和转发状态,以完成多个主测量装置和多个从测量装置间所有配对间的相对位移测量。各个配对的主测量装置和从测量装置之间采用均分时隙,循环工作的方式中,每个时隙的长度为一次相对位移测量的时间。假定主测量装置为P个,从测量装置为Q个,则主、从测量装置间配对的数目为P\*Q个。本实施例中P=2,Q=3,的主、从测量装置间配对的方式就有6种。

[0097] 本实施例中,主测量装置的发射信号具有X极化特性,对于自然地形,其散射的强杂波信号主要为X极化信号,而主测量装置的第二天线,即该装置的接收天线,具有与X极化特性正交的Y极化特性,故主测量装置的第二天线对背景杂波有很强的抑制作用;而对于从测量装置的第三天线,具有X极化特性,可以有效地接收主测量装置的发射信号,并进行放大,并通过具有Y极化特性的第四天线转发,而主测量装置的第二天线为Y极化特性,因此转发信号能够有效地被主测量装置有效地接收。

[0098] 本发明的图5为主测量装置与从测量装置之间的收发信号示意图。主测量装置向空间辐射 $S_t(t,H)$ 的电磁波信号,其极化方式为水平极化(X极化), $S_t(t,H)$ 经强杂波背景散射后的主要成分为水平极化的电磁波信号 $S_c(t,H)$ ;从测量装置接收到 $S_t(t,H)$ 并经第六放大器放大转发的信号为 $S_{tr}(t)$ ,经第四天线辐射的垂直极化电磁波信号为 $S_{tr}(t,V)$ 。 $S_{tr}(t,V)$ 与 $S_c(t,H)$ 到达主测量装置的第二天线进行接收,由于第二天线极化方式为垂直极化(Y极化),故 $S_c(t,H)$ 即杂波信号被抑制, $S_{tr}(t,V)$ 即转发信号被有效接收并进入主测量装置。

[0099] 从图4可以看出:从测量装置的信号链路中有一个程控开关,其开关控制信号由第二通信模块接收中央控制器调度通信模块的信令后经第二控制器产生,控制从测量装置工作于转发状态或断路状态。第三天线的极化特性为水平极化,在转发状态下能有效地接收

主测量装置的发射信号 $S_t(t, H)$ , 输出信号 $S_t(t)$ 至放大器, 经放大后得到 $S_{tr}(t)$ , 输出到第四天线。第四天线的极化特性为垂直极化, 其输出为具有垂直极化特性的转发信号 $S_{tr}(t, V)$ 。

[0100] 下面给出具体的参数说明本实施例中的系统的工作方式和原理。

[0101] 如图3-图5所示, 频率综合器产生的发射信号 $S_t(t)$  频率为 $f_{RF}=10\text{GHz}$ , 初相为 $\theta_1$ , 本振信号的频率为 $f_L=10.0107\text{GHz}$ , 初相为 $\theta_2$ , 发射信号与本振信号是相参的。第一天线的极化特性为水平极化, 其输入的信号波形为单频正弦波 $S_t(t)$ , 其向外辐射的是水平极化的电磁波 $S_t(t, H)$ , 其中H代表信号的极化方式为水平极化。第二天线为接收天线, 其极化特性为垂直极化, 第二天线可以有效地接收垂直极化的电磁波信号, 即能有效地接收从测量装置的转发信号 $S_{tr}(t, V)$ , 其中V代表信号的极化方式为垂直极化, 并能够有效抑制具有水平极化的强杂波 $S_c(t, H)$ 。假定发射信号经第一放大器、第一功分器、衰减器到第一混频器的电路延迟带来的相位为 $\theta_R$ , 本振信号经第二放大器、第二功分器到第二混频器的电路延迟带来的相位为 $\theta_L$ , 经第一混频器后得到的中频参考信号的频率为 $f_{IF}=10.7\text{MHz}$ , 相位为 $\theta_1-\theta_2-\theta_R+\theta_L$ ; 发射信号经第一放大器、第一功分器、第一天线、从测量装置、第二天线、第五放大器到第二混频器的电路延迟带来的相位为 $\theta_S$ , 主测量装置到从测量装置距离 $R_S$ 的传播延迟 $\tau_S$ 为 $\tau_S=2R_S/c$ , 带来的相位为 $4\pi f_{RF}R_S/c$ , 其中c为光速, 经第二混频器后得到的中频转发信号的频率为 $f_{IF}=10.7\text{MHz}$ , 相位为 $\theta_1-\theta_S-\theta_2-4\pi f_{RF}R_S/c+\theta_L$ 。

[0102] 中频参考信号经第一滤波器和第三放大器的延迟带来的相位为 $\theta_3$ , 中频转发信号经第二滤波器和第四放大器带来的相位为 $\theta_4$ 。当两个通道具有良好的一致性时, 有 $\theta_3=\theta_4$ 。经ADC1和ADC2经 $42.8\text{MHz}$ 的采样率变换后, 数字中频参考信号 $X_R(n)$ 的相位为 $\theta_1-\theta_2-\theta_R+\theta_L-\theta_3$ , 数字中频转发信号 $X_R(n)$ 的相位为 $\theta_1-\theta_S-\theta_2-4\pi f_{RF}R_S/c+\theta_L-\theta_4$ 。两路数字信号进入数字信号处理器, 经数字下变频、相位解算和去折叠, 如图6, 然后得到两路信号的相位差 $\Delta\theta=4\pi f_{RF}R_S/c+\theta_S-\theta_R$ , 并算出从测量装置相对于主测量装置的当前距离 $R_S=(\Delta\theta+\theta_R-\theta_S)c/(4\pi f_{RF})$ 。假设主测量装置和从测量装置安装完毕后的初始时刻为0时刻, 此时的距离为 $R_S(0)=0$ , 系统测得的起始相位值为 $\Delta\theta(0)=4\pi f_{RF}R_S(0)/c+\theta_S-\theta_R=\theta_S-\theta_R$ 。设n时刻的距离为 $R_S(n)$ , 则此时测得的相位 $\Delta\theta(n)=4\pi f_{RF}R_S(n)/c+\theta_S-\theta_R$ 相对于起始时刻的相位变化值为 $\Delta\theta_S(n)=\Delta\theta(n)-\Delta\theta(0)=4\pi f_{RF}[R_S(n)-R_S(0)]/c$ , 从测量装置相对于起始时刻的相对位移为 $\Delta S(n)=R_S(n)-R_S(0)=\Delta\theta_S(n)c/(4\pi f_{RF})$ 。

[0103] 由上述分析可得, 主测量装置能够抑制强背景杂波, 并有效地接收从测量装置的转发信号, 从而实现主测量装置与从测量装置间的相对位移变化测量, 采用时分复用的方式, 实现了多个主测量装置和多个从测量装置间配对测量相对位移。

#### [0104] 【实施例4】

[0105] 本实施例中提供一种具有杂波抑制功能的远程位移测量方法, 该方法采用实施例1-实施例3中任一种具有杂波抑制功能的远程位移测量系统进行测量, 所述方法包括以下步骤:

[0106] S0、中央控制器选定一对测量相对位移的主测量装置和从测量装置, 先通过调度通信模块控制选定的从测量装置进入转发状态, 控制选定的主测量装置进入测量状态;

[0107] S1、选定的主测量装置通过第一天线发送发射信号, 并产生参考信号, 将参考信号处理成数字中频参考信号 $X_R(n)$ ;

[0108] S2、选定的从测量装置通过第三天线接收发射信号,并通过第四天线发射转发信号;

[0109] S3、选定的主测量装置通过第二天线接收从测量装置发射的转发信号;将接收的转发信号处理成数字中频转发信号 $X_S(n)$ ;

[0110] S4、选定的主测量装置根据接收的转发信号计算选定的从测量装置的相对位移,该步骤由数字信号处理器完成;计算出的相对位移还发送给中央控制器;

[0111] S5、中央控制器接收步骤S4中的主测量装置发送至的相对位移,并控制选定的主测量装置进入等待状态,控制选定的从测量装置进入断路状态;

[0112] S6、中央控制器判断是否完成各主测量装置和各从测量装置的所有组合方式的配对测量,是则跳转到步骤S7,否则选定另一对新的主测量装置和从测量装置组合,通过调度通信模块控制选定的从测量装置进入转发状态,控制选定的主测量装置进入测量状态,然后跳转到步骤S1;本步骤中,新的主测量装置和从测量装置组合是指:在本轮测量中,在主测量装置和从测量装置的所有组合中未使用过的组合;

[0113] S7、中央控制器计算所有从测量装置的矢量位移,对每一个从测量装置进行单独计算:对每一个从测量装置,根据安装时其与所有主测量装置间的相对位置关系以及其与所有主测量装置间测得的相对位移,解算出该从测量装置所处的被测点的矢量位移。

[0114] 步骤S7对每一个从测量装置进行单独计算时的步骤:

[0115] S71、根据安装时从测量装置与所有主测量装置间的相对位置关系建立坐标关系;

[0116] S72、根据从测量装置与所有主测量装置间测得的相对位移结合步骤S71中的坐标关系解算从测量装置的矢量位移。

[0117] 图2给出了一种中央控制器计算某个从测量装置的矢量位移的具体方法,其他从测量装置可采用类似方法:

[0118] 假设系统装载时所有的主测量装置和从测量装置都位于一个水平面上,其中主测量装置M1和M2相距1000米,M1位于正西方向,M2位于正东方向,从测量装置N3位于主测量装置M2偏北1800米,偏东100米的位置,以M1和M2的连线为X轴,以其中分线为Y轴,则所有主测量装置和从测量装置的坐标关系如图2所示。对于从测量装置N3,当系统测得其相对于主测量装置M1的相对位移为0.012米,相对于主测量装置M2的相对位移为0.025米时,经中央控制器解算得到的矢量位移为:大小0.0363米,方向南偏西 $12.41^\circ$ 。

[0119] 步骤S4具体包括:

[0120] S41:主测量装置将接收的转发信号处理成数字中频转发信号 $X_S(n)$ ,将参考信号处理成数字中频参考信号 $X_R(n)$ ;对 $X_R(n)$ 进行数字下变频(DDC)处理,得到基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 和 $Z_{RQ}(n)$ ;对 $X_S(n)$ 进行数字下变频(DDC)处理,得到基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 和 $Z_{SQ}(n)$ ;

[0121] S42:根据基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 、 $Z_{RQ}(n)$ 和基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 、 $Z_{SQ}(n)$ 分别求得参考相位 $\theta_R(n) = \text{ATAN}[Z_{RQ}(n)/Z_{RI}(n)]$ 和转发相位 $\theta_S(n) = \text{ATAN}[Z_{SQ}(n)/Z_{SI}(n)]$ ,其中ATAN为四象限反正切函数;

[0122] S43:对参考相位 $\theta_R(n)$ 和转发相位 $\theta_S(n)$ 进行去折叠处理,得到去折叠后的参考相位 $\theta_{RL}(n)$ 和转发相位 $\theta_{SL}(n)$ ;对相位进行去折叠处理为本领域技术人员熟知的方法,本实施例中不再进行赘述,如图6,该图中,横坐标为时间序列号,纵坐标为相位,由于接收的中频信号和参考的中频信号均为单频正弦信号,经采样处理后得到的相位 $\theta_S(n)$ 和 $\theta_R(n)$ 均呈现

为以 $2\pi$ 为周期的线性变化,去折叠的目的就是消除其变化的周期性,从而得到单调线性变化的相位 $\theta_{SL}(n)$ 和 $\theta_{RL}(n)$ ;

[0123] S44:求解转发相位相对于参考相位的差值 $\Delta\theta(n) = \theta_{SL}(n) - \theta_{RL}(n)$ ;

[0124] S45:求解从测量装置相对于其安装完毕后的起始时刻的相位变化值 $\Delta\theta_S(n) = \Delta\theta(n) - \Delta\theta(0)$ , $\Delta\theta(0)$ 为从测量装置安装完毕后的起始时刻的相位;

[0125] S46:求解从测量装置相对于起始时刻的相对位移 $\Delta S(n) = \Delta\theta_S(n) * c / (4\pi f_{RF})$ , $c$ 为光速;

[0126] S47:选定的主测量装置将步骤S46中的相对位移发送给中央控制器。

[0127] **【实施例5】**

[0128] 本实施例中提供一种具有杂波抑制功能的远程位移测量装置,该装置即主测量装置,与设置在测量点的从测量装置配合。从测量装置,用于接收主测量装置的发射信号,并发射转发信号;从测量装置具有第三天线和第四天线两副极化正交的天线。第三天线为X极化天线,第四天线为Y极化天线。

[0129] 具有杂波抑制功能的远程位移测量装置包括频率综合器、本振信号处理单元、发射单元、接收单元、参考信号处理单元、第一控制器、数字信号处理器和第一通信模块,所述发射单元包括用于发射信号的第一天线,所述接收单元包括用于接收信号的第二天线,所述第一天线与第二天线构成两副极化正交双天线,第一天线为X极化天线,第二天线为Y极化天线,其中:

[0130] 频率综合器,用于产生发射信号和本振信号;

[0131] 发射单元,用于将频率综合器产生的发射信号进行放大后分为A、B两路,A路信号通过第一天线发射,B路信号发送至参考信号处理单元;

[0132] 本振信号处理单元,用于将频率综合器产生的本振信号放大后分为C、D两路,D路信号发送至参考信号处理单元,C路信号发送至接收单元;

[0133] 接收单元,用于通过第二天线接收与所述远程位移测量装置配合的从测量装置发射的转发信号,并将转发信号与C路信号混频后处理成数字中频转发信号,该数字中频转发信号发送给数字信号处理器;

[0134] 参考信号处理单元,用于将D路信号与B路信号混频后处理成数字中频信号作为参考信号,该参考信号发送给数字信号处理器;

[0135] 数字信号处理器,用于根据接收单元发送至的数字中频转发信号和参考信号处理单元提供的参考信号计算从测量装置的相对位移;

[0136] 第一控制器,用于对第一通信模块、频率综合器、接收单元、参考信号处理单元和数字信号处理器进行控制;

[0137] 第一通信模块,用于与中央控制器的调度通信模块进行通信。

[0138] 本振信号处理单元、发射单元、接收单元、参考信号处理单元的具体结构同实施例2,本实施例中不再赘述,其中数字信号处理器的处理包括以下步骤S41-S46:

[0139] S41:对 $X_R(n)$ 进行数字下变频(DDC)处理,得到基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 和 $Z_{RQ}(n)$ ;对 $X_S(n)$ 进行数字下变频(DDC)处理,得到基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 和 $Z_{SQ}(n)$ ;

[0140] S42:根据基带参考信号 $Z_{RI}(n)$ 、 $Z_{RQ}(n)$ 和基带转发信号 $Z_{SI}(n)$ 、 $Z_{SQ}(n)$ 分别求得参考相位 $\theta_R(n) = \text{ATAN}[Z_{RQ}(n) / Z_{RI}(n)]$ 和转发相位 $\theta_S(n) = \text{ATAN}[Z_{SQ}(n) / Z_{SI}(n)]$ ,其中ATAN为四

象限反正切函数；

[0141] S43:对参考相位 $\theta_R(n)$ 和转发相位 $\theta_S(n)$ 进行去折叠处理,得到去折叠后的参考相位 $\theta_{RL}(n)$ 和转发相位 $\theta_{SL}(n)$ ,如图6所示,相位 $\theta_S(n)$ 和 $\theta_R(n)$ 均呈现为以 $2\pi$ 为周期的线性变化,去折叠后得到单调线性变化的相位 $\theta_{SL}(n)$ 和 $\theta_{RL}(n)$ ;

[0142] S44:求解转发相位相对于参考相位的差值 $\Delta\theta(n) = \theta_{SL}(n) - \theta_{RL}(n)$ ;

[0143] S45:求解从测量装置相对于其安装完毕后的起始时刻的相位变化值 $\Delta\theta_S(n) = \Delta\theta(n) - \Delta\theta(0)$ , $\Delta\theta(0)$ 为从测量装置安装完毕后的起始时刻的相位;

[0144] S46:求解从测量装置相对于起始时刻的相对位移 $\Delta S(n) = \Delta\theta_S(n) * c / (4\pi f_{RF})$ ,其中 $c$ 为光速。

[0145] 本实施例的主测量装置采用了极化正交的双天线结构,这种结构在同频收发时能够获得比单天线和同极化双天线更大的收发隔离度,从而使得主测量装置能够通过增大发射功率来获得更大的测量距离,实现远距离测量;由于主测量装置采用了极化正交的双天线结构,其接收天线的极化与来自发射天线主瓣和旁瓣的强背景杂波信号的极化相互正交,使得主测量装置具有很强的背景杂波抑制能力,可以有效地消除强杂波形成的干涉对系统测量精度的影响,从而提高测量精度。

[0146] **【实施例6】**

[0147] 本实施例中公开一种用于远程位移测量的从测量装置,该从测量装置与具有双极化天线的主测量装置(例如实施例5中的具有杂波抑制功能的远程位移测量装置)配套使用。

[0148] 所述从测量装置包括:

[0149] 第二通信模块,用于与中央控制器的调度通信模块进行通信,从中央控制器获得控制信令;

[0150] 第三天线,用于接收主测量装置发射的发射信号;

[0151] 程控开关,耦接至第三天线,用于控制从测量装置所处的状态,所述状态包括转发状态和断路状态;

[0152] 第六放大器,采用低噪声放大器,耦接至程控开关,用于放大第三天线接收的信号,输出转发信号;

[0153] 第四天线,耦接至第六放大器,用于接收第六放大器输出的转发信号,并发射转发信号;

[0154] 第二控制器,耦接至第二通信模块和程控开关,用于根据第二通信模块所接收的信令控制程控开关。

[0155] 第三天线为宽波束的定向天线,其极化方式为X极化,第四天为宽波束的定向天线,其极化方式为Y极化,第三天线,第四天线主瓣指向相同,且指向主测量装置的波束覆盖范围,以实现所有主测量装置和所有从测量装置间进行配对测量相互间的相对位移变化。

[0156] 本实施例中,从测量装置的信号链路中设置程控开关,其开关控制信号由第二通信模块接收中央控制器的信令后经第二控制器产生,控制从测量装置工作于转发状态或断路状态。第三天线在转发状态下能有效地接收主测量装置的发射信号,该发射信号经第六放大器放大后通过第四天线转发,即从测量装置发射转发信号。

[0157] 本发明中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行

的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0158] 前文所述的为本发明的各个优选实施例,各个优选实施例中的优选实施方式如果不是明显自相矛盾或以某一优选实施方式为前提,各个优选实施方式都可以任意叠加组合使用,所述实施例以及实施例中的具体参数仅是为了清楚表述发明人的发明验证过程,并非用以限制本发明的专利保护范围,本发明的专利保护范围仍然以其权利要求书为准,凡是运用本发明的说明书及附图内容所作的等同结构变化,均应包含在本发明的保护范围内。

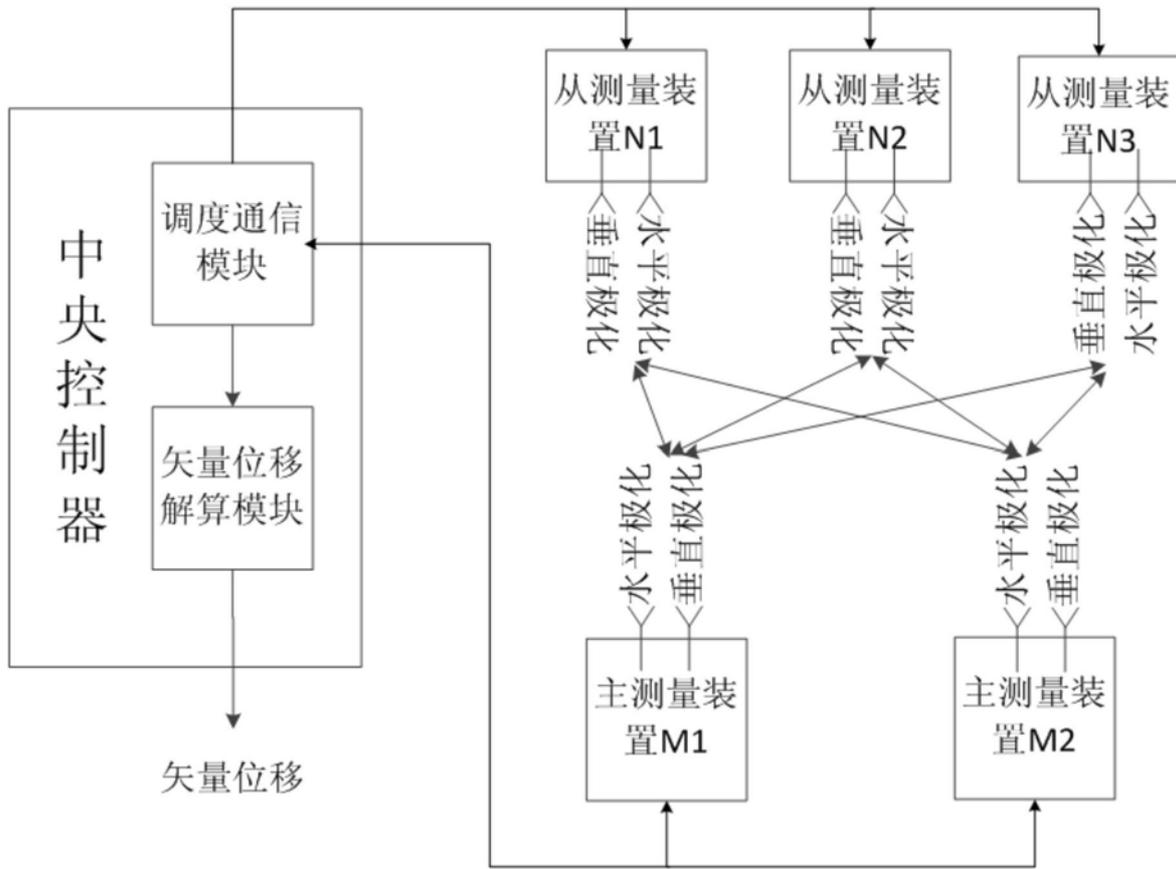


图1

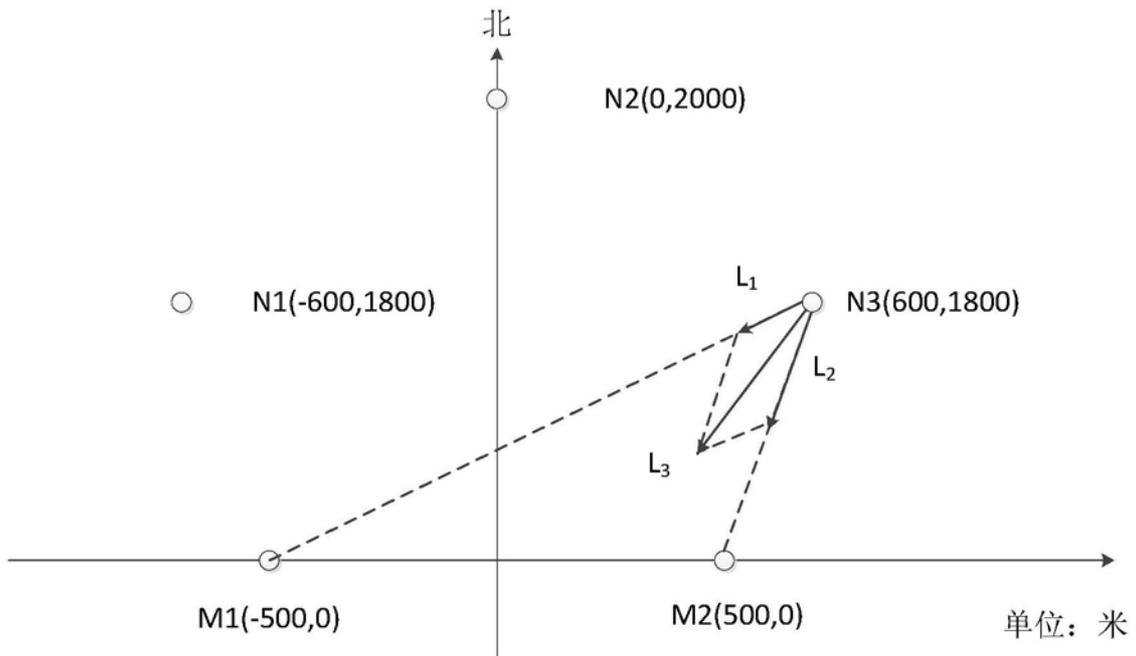


图2

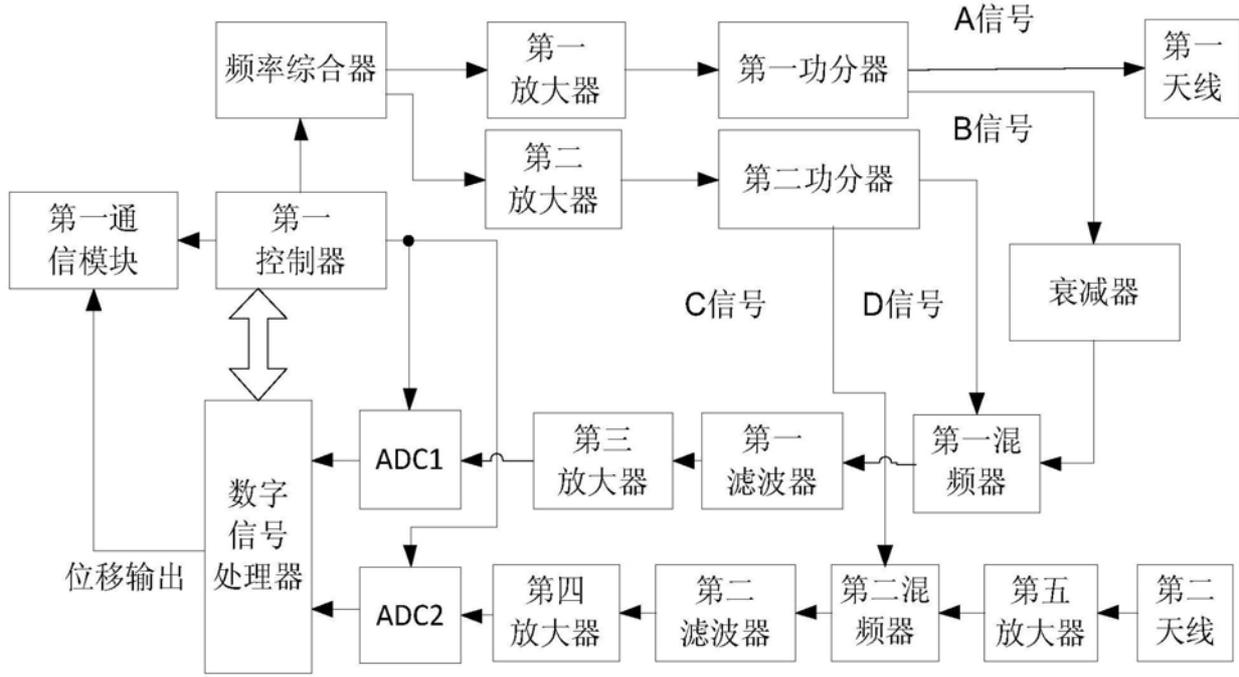


图3

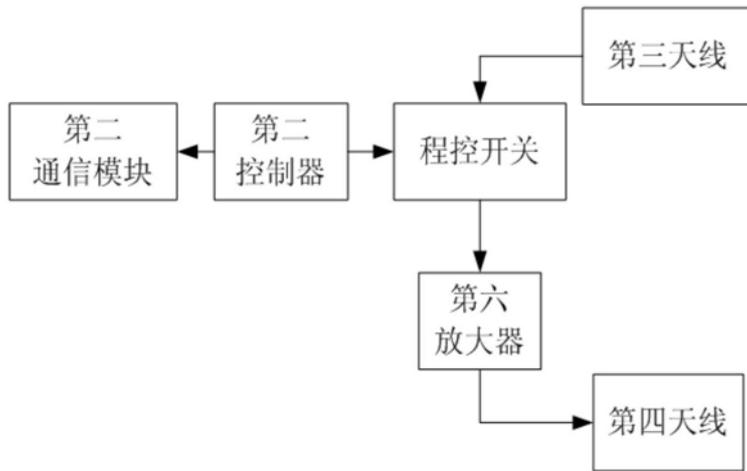


图4

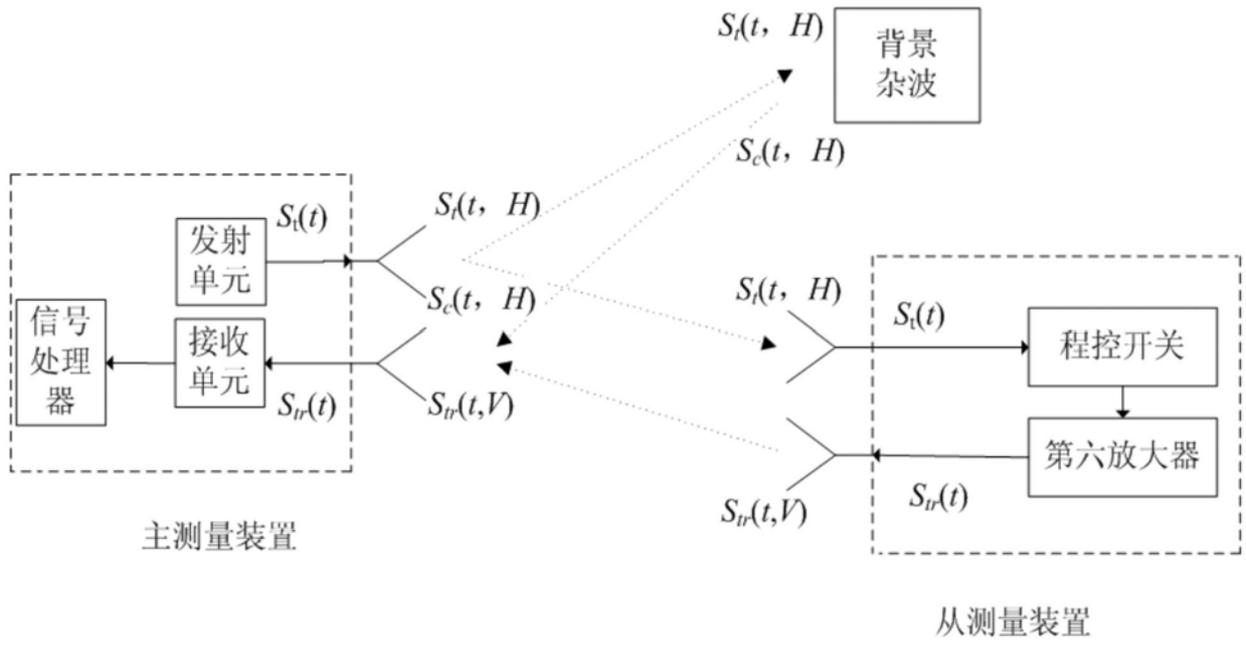


图5

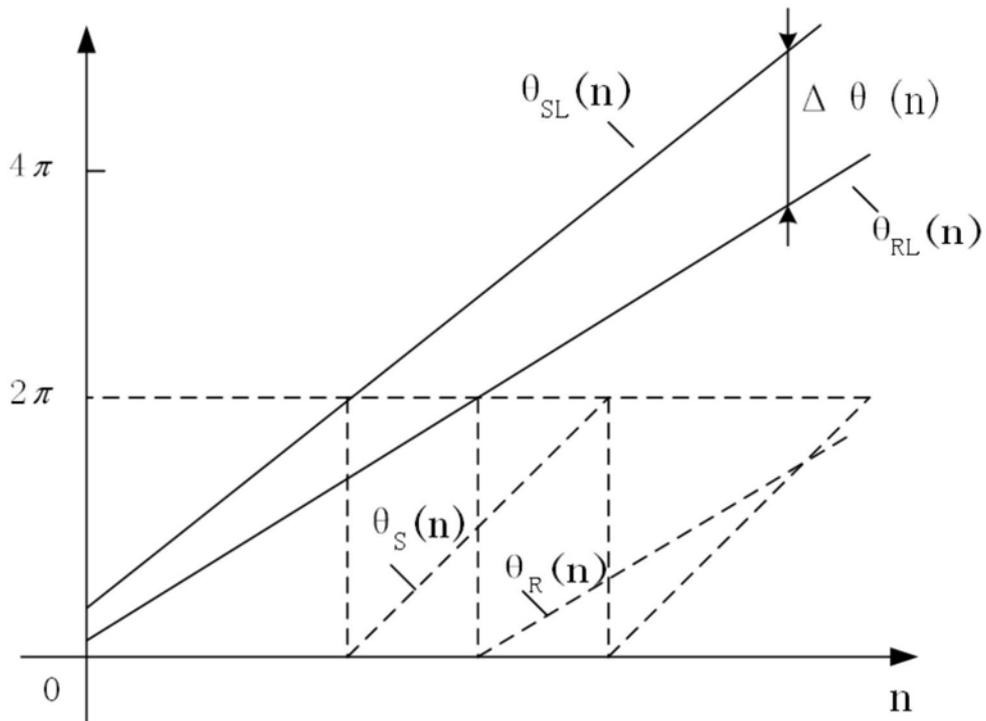


图6