



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104678371 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 03

(21) 申请号 201510071278. 2

(22) 申请日 2015. 02. 11

(71) 申请人 北京航空航天大学  
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 杨东凯 郝清玉 沈海鸿 王峰

(74) 专利代理机构 北京慧泉知识产权代理有限公司 11232

代理人 王顺荣 唐爱华

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

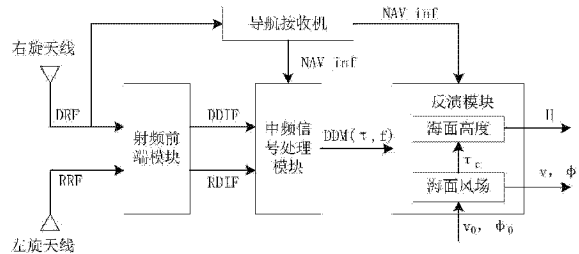
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于时延修正的海面高度测量装置

(57) 摘要

一种基于时延修正的海面高度测量装置, 由导航接收机、右旋天线、左旋天线、射频前端模块、中频信号处理模块和反演模块组成; 导航接收机与右旋天线、中频信号处理模块和反演模块相连, 右旋天线和左旋天线彼此独立并一起与射频前端模块、中频信号处理模块和反演模块依次相连; 右旋天线输出的直射射频电压信号和左旋天线输出的反射射频电压信号作为射频前端模块的输入, 射频前端模块输出的直射数字中频信号和反射数字中频信号作为中频信号处理模块的输入, 中频信号处理模块输出的时延多普勒二维相关功率作为反演模块的输入, 右旋天线输出的直射射频电压信号作为导航接收机的输入, 导航接收机输出的导航信息作为中频信号处理模块和反演模块的输入。



1. 一种基于时延修正的海面高度测量装置,其特征在于:它是由一个导航接收机、一个右旋天线、一个左旋天线、一个射频前端模块、一个中频信号处理模块和一个反演模块组成;导航接收机分别与右旋天线、中频信号处理模块和反演模块相连接,右旋天线和左旋天线彼此独立,并一起与射频前端模块、中频信号处理模块和反演模块依次相连;右旋天线输出的直射射频电压信号 DRF 和左旋天线输出的反射射频电压信号 RRF 作为射频前端模块的输入,射频前端模块输出的直射数字中频信号 DDRF 和反射数字中频信号 RDIF 作为中频信号处理模块的输入,中频信号处理模块输出的时延多普勒二维相关功率  $DDM(\tau, f)$  作为反演模块的输入,右旋天线输出的直射射频电压信号 DRF 作为导航接收机的输入,导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 作为中频信号处理模块和反演模块的输入;

所述导航接收机用于输出包含该接收机的高度和速度、卫星高度角、方位角信息的导航信息 NAV\_inf,作为中频信号处理模块和反演模块的输入;

所述右旋天线采用 GNSS 右旋天线用于接收导航卫星的直射电磁信号,并将该信号转化成直射射频电压信号 DRF 作为射频前端处理的输入;

所述左旋天线采用多阵元阵列式左旋天线用于接收导航卫星的反射电磁信号,并将该信号转化成反射射频电压信号 RRF 作为射频前端处理的输入;

所述射频前端模块将接收到的直射射频电压信号 DRF 和反射射频电压信号 RRF 下变频为中频信号,并将中频信号转化为直射数字中频信号 DDRF 和反射数字中频信号 RDIF,作为中频信号处理模块的输入;

所述中频信号处理模块由直射通道和反射通道组成,两者之间彼此相连;中频信号处理模块作为反演模块的输入;

该直射通道由可见星预判、捕获和跟踪三部分组成,可见星预判、捕获和跟踪依次相连;可见星预判对左旋天线视野范围内的卫星进行预测,减小直射通道卫星搜索范围,输出左旋天线视野范围内的卫星 PRN 号,记为  $(PRN_1, \dots, PRN_n)$ ,作为捕获的输入;捕获对  $(PRN_1, \dots, PRN_n)$  内的卫星进行搜索,判断卫星是否真实可见,若真实可见,则对直射信号码相位和多普勒频率进行粗略估计,作为跟踪的输入;跟踪对捕获成功的直射信号进行精确的码相位和多普勒估计,记为  $(\tau_{di}, f_{di})$ ,作为反射通道的输入;

该反射通道由选星、补偿量计算、载波发生、伪码发生和相关处理五部分组成,选星与补偿量计算相连,补偿量计算分别与载波发生和伪码发生相连,载波发生和伪码发生彼此独立,载波发生和伪码发生都与相关处理相连;选星对跟踪到的卫星按照卫星高度角进行选星,选择卫星高度角最大的卫星,其直射信号对应码相位和多普勒估值记为  $(\tau_d, f_d)$ ,作为补偿量计算的输入;补偿量计算根据导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 计算得到补偿量  $\Delta \tau$  和  $\Delta f$ ,由直射信号对应码相位和多普勒估值  $(\tau_d, f_d)$  得到反射通道的本地伪码相位  $\tau_d + \Delta \tau$  和本地载波频率  $f_d + \Delta f$ ,作为伪码发生和载波发生的输入;伪码发生产生本地伪码用于反射信号伪码剥离;载波发生产生本地载波用于反射信号载波剥离;相关处理将本地载波和本地伪码与反射信号 RDIF 进行相关运算,输出时延多普勒二维相关功率  $DDM(\tau, f)$ ;

所述反演模块由海面风场反演模块和海面高度反演模块组成,两者之间彼此相连;

该海面风场反演模块由理论模型库生成、降噪处理、归一化、波形匹配和残差平方和计算五部分组成,理论模型库生成、降噪处理、归一化、波形匹配和残差平方和计算依次相连;

理论模型库生成是从  $DDM(\tau, f)$  和导航接收机输出的导航信息  $NAV\_inf$  中提取接收机的高度、速度、卫星高度角和方位角信息,将提取信息输入到海面散射信号相关功率模型中,输入初始风速  $v_0$ ,计算不同风速条件下的海面散射信号相关功率,生成理论相关功率波形库;降噪处理是对实测相关功率曲线  $DDM(\tau, f)$  进行降噪处理,消除噪声影响;归一化是对降噪处理后的实测相关功率和生成的理论相关功率波形库分别进行归一化处理;波形匹配是将归一化后的实测相关功率曲线和理论相关功率曲线采用最小二乘法进行波形匹配,输出与实测相关功率曲线匹配成功的理论相关功率曲线所对应的风速  $v$ ;残差平方和计算是由给定的初始风向  $\phi_0$  计算多颗导航卫星的理论和实测相关功率波形的残差平方和,调整风向,输出残差平方和局部最小值对应的风向  $\phi$ ;

该海面高度反演模块由降噪处理、归一化、时延计算,时延修正和高度计算五部分组成,降噪处理、归一化、时延计算、时延修正和高度计算依次相连;降噪处理是对实测相关功率曲线  $DDM(\tau, f)$  进行降噪处理,消除噪声影响;归一化是对降噪处理后的实测相关功率进行归一化处理;时延计算是由直射信号相关功率峰值点处码相位和反射信号相关功率峰值点处码相位计算反射信号相对于直射信号的时延值  $\tau_{E1}$ ;时延修正是由匹配成功的理论相关功率曲线估计海面粗糙度引起的时延误差  $\tau_c$ ,由此时延值来修正海面测高中的时延差,由修正后的时延值  $\tau_E$  求出直射信号与反射信号的路径延迟;高度计算是从导航信息  $NAV\_inf$  中提取导航接收机的位置和卫星高度角信息,由导航接收机位置求得导航接收机到地心的距离,从而计算海面高度  $H$ 。

## 一种基于时延修正的海面高度测量装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于时延修正的海面高度测量装置。具体地说,是利用 GNSS-R(Global Navigation Satellites System-Reflectometry) 海面风场反演结果中由于海面粗糙度引起的时延误差,来修正测高过程中由于海面粗糙度引起的时延误差,从而提高测高精度。

### 背景技术

[0002] GNSS-R 作为一种新的遥感手段,受到国内外学者的广泛关注。目前,GNSS-R 在理论、技术和数据反演等方面逐步完善。基于 GNSS-R 的海洋遥感是 GNSS-R 遥感领域的一个主要部分,其主要发展方向是海面风场和海面高度。迄今为止,国际上相继开展多次探测海面风场和海面高度的实验,GNSS-R 反演海面风场的理论和算法已经基本成形。

[0003] 在反演海面风场中,理论相关功率模型较为成熟,将理论相关功率曲线的后沿与实测相关功率曲线的后沿采用最小二乘法进行匹配,可以估计出海面风速。以反演出的风速作为辅助,通过计算残差平方和可以估计出海面风向。在反演海面高度中,测高精度的关键在于精确计算直射信号和经镜面反射的反射信号相关功率峰值的时间差。但是,由于海面粗糙度的影响,在镜面反射点周围存在漫反射点,造成了反射信号相关功率的峰值点位置向后偏移。这时若使用传统的跟踪峰值点或波形的半功率点方法测量信号延迟,则会带来较大的偏差。

[0004] 在海面高度测量中,针对解决海面粗糙度引起的测量误差缺乏一种简单直接的解决办法。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于时延修正的海面高度测量装置。该装置不但可以精确反演海面风速、风向,还可以精确反演海面高度。反演海面风场时,可以得到与实测相关功率曲线相匹配的理论相关功率曲线。此理论相关功率曲线是关于时间延迟的函数,可从中估计出反射信号峰值点相对于镜面反射点处的时间延迟,即时延误差。本发明利用此时延误差对海面测高中的时延进行修正,由海面测高的实际时间延迟减去此时延误差得到时间差,将时间差乘以光速,得到路径差,然后再根据 GNSS 卫星、接收机和镜面反射点构成的几何关系来完成高度测量。

[0006] 本发明采取以下技术方案:

[0007] 本发明一种基于时延修正的海面高度测量装置,它是由一个导航接收机、一个右旋天线、一个左旋天线、一个射频前端模块、一个中频信号处理模块和一个反演模块组成。它们之间的位置连接关系是:导航接收机分别与右旋天线、中频信号处理模块和反演模块相连接,右旋天线和左旋天线彼此独立,并一起与射频前端模块、中频信号处理模块和反演模块依次相连。它们之间的信号走向是:右旋天线输出的直射射频电压信号 DRF 和左旋天线输出的反射射频电压信号 RRF 作为射频前端模块的输入,射频前端模块输出的直射数字

中频信号 DDRF 和反射数字中频信号 RDIF 作为中频信号处理模块的输入,中频信号处理模块输出的时延多普勒二维相关功率  $DDM(\tau, f)$  作为反演模块的输入,右旋天线输出的直射射频电压信号 DRF 作为导航接收机的输入,导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 作为中频信号处理模块和反演模块的输入。

[0008] 所述导航接收机用于输出包含接收机的高度和速度、卫星高度角、方位角等信息的导航信息 NAV\_inf,作为中频信号处理模块和反演模块的输入。

[0009] 所述右旋天线采用商用 GNSS 右旋天线用于接收导航卫星的直射电磁信号,并将该信号转化成直射射频电压信号 DRF 作为射频前端处理的输入。

[0010] 所述左旋天线采用多阵元阵列式左旋天线用于接收导航卫星的反射电磁信号,并将该信号转化成反射射频电压信号 RRF 作为射频前端处理的输入。

[0011] 所述射频前端模块将接收到的直射射频电压信号 DRF 和反射射频电压信号 RRF 下变频为中频信号,并将中频信号转化为直射数字中频信号 DDRF 和反射数字中频信号 RDIF,作为中频信号处理模块的输入。

[0012] 所述中频信号处理模块由直射通道和反射通道组成。两者之间的关系是:彼此相连。中频信号处理模块作为反演模块的输入。

[0013] 该直射通道由可见星预判、捕获和跟踪三部分组成。三者之间的关系是:可见星预判、捕获和跟踪依次相连。可见星预判对左旋天线视野范围内的卫星进行预测,减小直射通道卫星搜索范围,输出左旋天线视野范围内的卫星 PRN 号,记为  $(PRN_1, \dots, PRN_n)$ ,作为捕获的输入;捕获对  $(PRN_1, \dots, PRN_n)$  内的卫星进行搜索,判断卫星是否真实可见,若真实可见,则对直射信号码相位和多普勒频率进行粗略估计,作为跟踪的输入;跟踪对捕获成功的直射信号进行精确的码相位和多普勒估计,记为  $(\tau_{di}, f_{di})$ ,作为反射通道的输入。

[0014] 该反射通道由选星、补偿量计算、载波发生、伪码发生和相关处理五部分组成。五者之间的关系是:选星与补偿量计算相连,补偿量计算分别与载波发生和伪码发生相连,载波发生和伪码发生彼此独立,载波发生和伪码发生都与相关处理相连。选星对跟踪到的卫星按照卫星高度角进行选星,选择卫星高度角最大的卫星,其直射信号对应码相位和多普勒估值记为  $(\tau_d, f_d)$ ,作为补偿量计算的输入;补偿量计算根据导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 计算得到补偿量  $\Delta \tau$  和  $\Delta f$ ,由直射信号对应码相位和多普勒估值  $(\tau_d, f_d)$  得到反射通道的本地伪码相位  $\tau_d + \Delta \tau$  和本地载波频率  $f_d + \Delta f$ ,作为伪码发生和载波发生的输入;伪码发生产生本地伪码用于反射信号伪码剥离;载波发生产生本地载波用于反射信号载波剥离;相关处理将本地载波和本地伪码与反射信号 RDIF 进行相关运算,输出时延多普勒二维相关功率  $DDM(\tau, f)$ 。

[0015] 所述反演模块由海面风场反演模块和海面高度反演模块组成。两者之间的关系是:彼此相连。

[0016] 该海面风场反演模块由理论模型库生成、降噪处理、归一化、波形匹配和残差平方和计算五部分组成。五者之间的关系是:理论模型库生成、降噪处理、归一化、波形匹配和残差平方和计算依次相连。理论模型库生成是从  $DDM(\tau, f)$  和导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 中提取接收机的高度、速度、卫星高度角和方位角等信息,将提取信息输入到海面散射信号相关功率模型中,输入初始风速  $v_0$ ,计算不同风速条件下的海面散射信号相关功率,生成理论相关功率波形库;降噪处理是对实测相关功率曲线  $DDM(\tau, f)$  进行降噪处理,

消除噪声影响;归一化是对降噪处理后的实测相关功率和生成的理论相关功率波形库分别进行归一化处理;波形匹配是将归一化后的实测相关功率曲线和理论相关功率曲线采用最小二乘法进行波形匹配,输出与实测相关功率曲线匹配成功的理论相关功率曲线所对应的风速  $v$ ;残差平方和计算是由给定的初始风向  $\phi_0$  计算多颗导航卫星的理论和实测相关功率波形的残差平方和,调整风向,输出残差平方和局部最小值对应的风向  $\phi$ 。

[0017] 该海面高度反演模块由降噪处理、归一化、时延计算、时延修正和高度计算五部分组成。五者之间的关系是:降噪处理、归一化、时延计算、时延修正和高度计算依次相连。降噪处理是对实测相关功率曲线  $DDM(\tau, f)$  进行降噪处理,消除噪声影响;归一化是对降噪处理后的实测相关功率进行归一化处理;时延计算是由直射信号相关功率峰值点处码相位和反射信号相关功率峰值点处码相位计算反射信号相对于直射信号的时延值  $\tau_{\text{el}}$ ;时延修正由匹配成功的理论相关功率曲线估计海面粗糙度引起的时延误差  $\tau_c$ ,由此时延值来修正海面测高中的时延差,由修正后的时延值  $\tau_e$  求出直射信号与反射信号的路径延迟;高度计算是从导航信息 NAV\_inf 中提取导航接收机的位置和卫星高度角等信息,由导航接收机位置可求得导航接收机到地心的距离,从而可计算海面高度 H。

[0018] 本发明的原理及工况简介如下:

[0019] 在利用 GNSS-R 反演海面风场时,从匹配得到的理论相关功率曲线中得到反射信号峰值点相对于镜面反射点的时间延迟,用此延迟值来修正反演海面高度中由于海面粗糙度引起的时延误差,从而提高测高精度。右旋天线和左旋天线分别接收直射信号和反射信号并将其转化成射频电压信号,再经射频前端模块和中频信号处理模块输出二维相关功率曲线,由二维相关功率曲线和导航接收机输出的导航信息在反演模块中对海面风场和海面高度进行反演。

[0020] 本发明的优点在于:

[0021] 一. 该装置仅需接收装置,降低了装置的复杂性和成本。

[0022] 二. 该装置可完成海面风场和海面高度的反演,加强了对海洋的监测能力。

[0023] 三. 该装置用海面风场反演得到的时延误差值直接来修正海面高度测量中的时延误差,减小了海面高度测量中的运算量。

[0024] 四. 该装置可减小由于海面粗糙度引起的误差,提高了海面高度测量精度。

## 附图说明

[0025] 图 1 是本发明测量装置的总体框架图。

[0026] 图 2 是本发明测量装置的中频信号处理模块信号处理框图。

[0027] 图 3 是本发明测量装置的海面风场和海面高度反演框图。

[0028] 图中符号说明如下:NAV\_inf 为导航接收机输出的包含接收机的高度和速度、卫星高度角、方位角等信息的导航信息,DRF 为直射射频电压信号,RRF 为反射射频电压信号,DDRF 为直射数字中频信号,RDIF 为反射数字中频信号,DDM( $\tau, f$ ) 为实测时延多普勒二维相关功率曲线,H 为需要输出的海面高度, $v_0$  为输入的初始海面风速, $\phi_0$  为输入的初始海面风向, $v$  为需要输出的海面风速, $\phi$  为需要输出的海面风向, $(PRN_1, \dots, PRN_n)$  为左旋天线视野范围内的卫星 PRN 号, $(\tau_{\text{di}}, f_{\text{di}})$  为跟踪到的卫星的直射信号的码相位和多普勒估计值, $(\tau_{\text{d}}, f_{\text{d}})$  为卫星高度角最大的卫星的直射信号的码相位和多普勒估计值, $\tau_{\text{d}} + \Delta \tau$  为反

射通道的本地伪码相位,  $f_d + \Delta f$  为反射通道的本地载波频率,  $\tau_c$  为海面粗糙度引起的时延误差,  $\tau_{e1}$  为修正前反射信号相对于直射信号的时延值,  $\tau_e$  为修正后反射信号相对于直射信号的时延值。

### 具体实施方式

[0029] 下面将结合附图对本发明做进一步的详细说明。

[0030] 如图 1 为本装置的总体结构图。

[0031] 本发明装置由一个导航接收机、一个商用 GNSS 右旋天线、一个多阵元阵列式左旋天线、一个射频前端模块、一个中频信号处理模块和一个反演模块组成。它们之间的位置连接关系是：导航接收机分别与右旋天线、中频信号处理模块和反演模块相连接，右旋天线和左旋天线彼此独立，并一起与射频前端模块、中频信号处理模块和反演模块依次相连。它们之间的信号走向是：右旋天线输出的直射射频电压信号 DRF 和左旋天线输出的反射射频电压信号 RRF 作为射频前端模块的输入，射频前端模块输出的直射数字中频信号 DDRF 和反射数字中频信号 RDIF 作为中频信号处理模块的输入，中频信号处理模块输出的时延多普勒二维相关功率  $DDM(\tau, f)$  作为反演模块的输入，右旋天线输出的直射射频电压信号 DRF 作为导航接收机的输入，导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 作为中频信号处理模块和反演模块的输入。所述导航接收机用于输出包含该接收机的高度和速度、卫星高度角、方位角等信息的导航信息 NAV\_inf，作为中频信号处理模块和反演模块的输入。该导航接收机输出包含接收机的高度和速度、卫星高度角、方位角等信息的导航信息 NAV\_inf。

[0032] 该右旋天线用于接收导航卫星的直射电磁信号，并将该信号转化成直射射频电压信号 DRF 作为射频前端处理的输入。

[0033] 该左旋天线用于接收导航卫星的反射电磁信号，并将该信号转化成反射射频电压信号 RRF 作为射频前端处理的输入。

[0034] 该射频前端模块包括直射信号射频前端和反射信号射频前端。射频前端模块将接收到的直射射频电压信号 DRF 和反射射频电压信号 RRF 下变频为中频信号，并将中频信号转化为直射数字中频信号 DDRF 和反射数字中频信号 RDIF，作为中频信号处理模块的输入。

[0035] 如图 2 为本装置的中频信号处理模块的信号处理框图。

[0036] 中频信号处理模块包括直射通道和反射通道。直射通道主要完成直射信号的捕获和跟踪，并将跟踪得到的时延、多普勒估计值输出作为反射信号处理的参考信息；反射通道主要完成反射信号的相关处理，得到时延多普勒二维相关功率。

[0037] 直射通道由可见星预判、捕获和跟踪三部分组成。

[0038] 可见星预判部分接收导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 对左旋天线视野范围内的卫星进行预测，减小直射通道卫星搜索范围，输出左旋天线视野范围内的卫星 PRN 号，记为  $(PRN_1, \dots, PRN_n)$ ；

[0039] 捕获部分对  $(PRN_1, \dots, PRN_n)$  内的卫星进行搜索，判断卫星是否真实可见，若真实可见，则对直射信号码相位和多普勒频率进行粗略估计；

[0040] 跟踪部分对捕获成功的直射信号进行精确的码相位和多普勒估计，记为  $(\tau_{di}, f_{di})$ 。

[0041] 反射通道由选星、补偿量计算、载波发生、伪码发生和相关处理五部分组成。

[0042] 选星是对跟踪到的卫星按照卫星高度角进行选星,选择卫星高度角最大的卫星,其直射信号对应码相位和多普勒估值为  $(\tau_d, f_d)$ ,作为反射信号处理的参考信息。

[0043] 补偿量计算根据导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 计算得到补偿量  $\Delta \tau$  和  $\Delta f$ ,由直射信号对应码相位和多普勒估值为  $(\tau_d, f_d)$  求得反射通道的本地伪码相位  $\tau_d + \Delta \tau$  和本地载波频率  $f_d + \Delta f$ 。

[0044] 载波发生产生本地载波用于反射信号载波剥离。

[0045] 伪码发生产生本地伪码用于反射信号伪码剥离。

[0046] 相关处理将本地载波和本地伪码与反射信号 RDIF 进行相关运算,输出时延多普勒二维相关功率 DDM( $\tau, f$ )。

[0047] 如图 3 为本装置的海面风场和海面高度反演框图。

[0048] 海面风场反演由理论模型库生成、降噪处理、归一化、波形匹配和残差平方和计算五部分组成。该模块主要对海面风速、风向进行估计,风场反演过程中由波形匹配可得到理论二维相关功率,从此理论二维相关功率中可得到由于海面粗糙度引起的反射延迟时间。

[0049] 理论模型库生成是从 DDM( $\tau, f$ ) 和导航接收机输出的导航信息 NAV\_inf 中提取接收机的高度、速度、卫星高度角和方位角等信息,将提取信息输入到海面散射信号相关功率模型:

$$[0050] \quad \langle |Y(\tau, f)|^2 \rangle = \frac{1}{T_i} \int \frac{G^2(r) \Lambda^2 [\delta\tau(r)]}{4\pi R_t^2(r) R_r^2(r)} \times |S[\delta f(r)]|^2 \sigma_0(r) dr$$

[0051] 中,输入初始风速  $v_0$ ,计算不同风速条件下的海面散射信号相关功率,生成理论相关功率波形库;

[0052] 降噪处理是对实测相关功率曲线 DDM( $\tau, f$ ) 进行降噪处理,消除噪声影响;

[0053] 归一化是对降噪处理后的实测相关功率和生成的理论相关功率波形库分别进行归一化处理;

[0054] 波形匹配是将归一化后的实测相关功率曲线和理论相关功率曲线采用最小二乘法进行波形匹配,输出与实测相关功率曲线匹配成功的理论相关功率曲线所对应的风速  $v$ ;

[0055] 残差平方和计算是由给定的初始风向  $\phi_0$  计算多颗导航卫星的理论和实测相关功率波形的残差平方和,调整风向,输出残差平方和局部最小值对应的风向  $\phi$ 。

[0056] 海面高度反演由降噪处理、归一化、时延计算,时延修正和高度计算五部分组成。该模块主要对海面高度进行测量,由反演风场中得到的延迟时间用于修正海面高度测量中的延迟时间,从而精确测量海面高度。

[0057] 降噪处理是对实测相关功率曲线 DDM( $\tau, f$ ) 进行降噪处理,消除噪声影响,反演风场时已完成;

[0058] 归一化是对降噪处理后的实测相关功率进行归一化处理,反演风场时已完成;

[0059] 时延计算是由直射信号相关功率峰值点处码相位和反射信号相关功率峰值点处码相位计算反射信号相对于直射信号的时延值  $\tau_{E1}$ ;

[0060] 时延修正是由匹配成功的理论相关功率曲线估计海面粗糙度引起的时延误差  $\tau_c$ ,由此时延值来修正海面测高中的时延差,则修正后的时延值为:  $\tau_E = \tau_{E1} - \tau_c$ 。由时延



值  $\tau_E$  求得直射信号与反射信号的路径延迟为  $\rho_E = \tau_E \times c$ ;

[0061] 高度计算是从导航信息 NAV\_inf 中提取导航接收机的位置和卫星高度角等信息,

由导航接收机位置求得接收机到地心的距离为  $h$ , 则海面高度  $H$  可由公式  $H = h - \frac{\rho_E}{2 \sin \theta}$

求得。

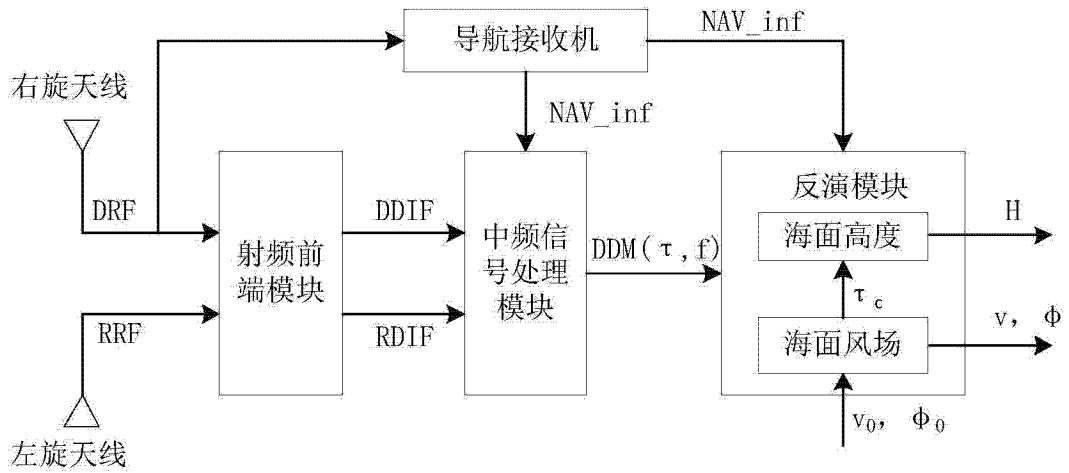


图 1

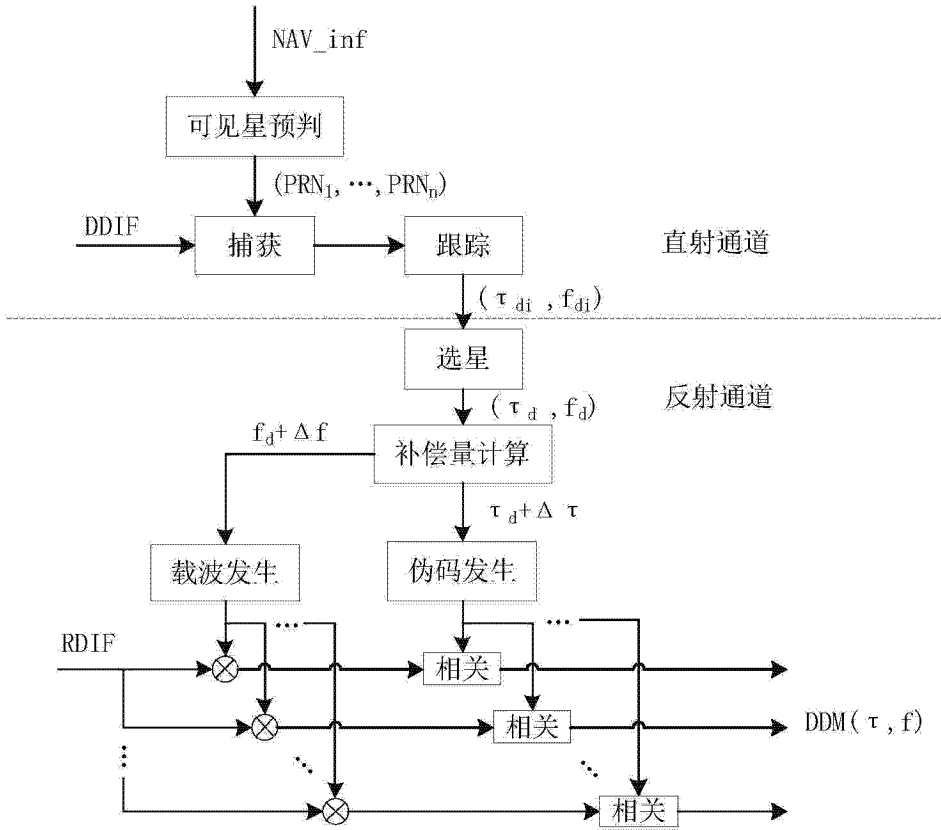


图 2

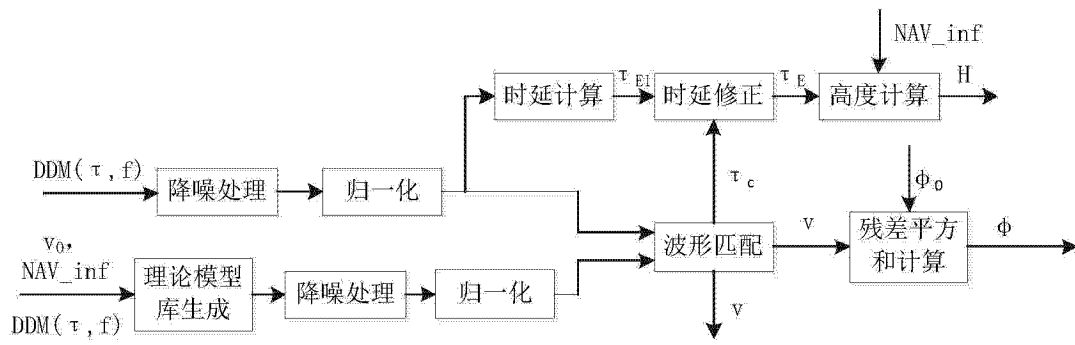


图 3