



(21) 申请号 202211517073.9

(22) 申请日 2022.11.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115792995 A

(43) 申请公布日 2023.03.14

(73) 专利权人 北京卫星信息工程研究所

地址 100086 北京市海淀区知春路61号

(72) 发明人 高文宇 夏正欢 岳富占 金世超

卢铮 吕争 王海涛 国辉

赵志龙 张闯 张涛 刘新 张瑶

刘宗强

(74) 专利代理机构 北京谨诚君睿知识产权代理

事务所(特殊普通合伙)

11538

专利代理师 延慧 李红

(51) Int.Cl.

G01S 19/42 (2010.01)

G01S 19/25 (2010.01)

G01S 19/29 (2010.01)

G01S 13/86 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 114488132 A, 2022.05.13

CN 114545394 A, 2022.05.27

CN 114545448 A, 2022.05.27

CN 114637004 A, 2022.06.17

FR 2972806 A1, 2012.09.21

审查员 喻新

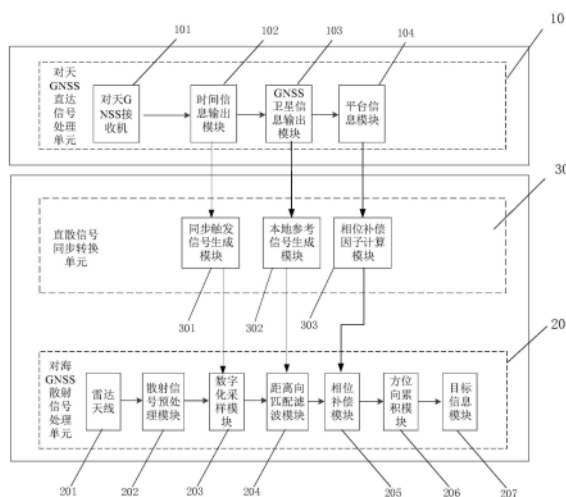
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

基于星载GNSS-S的目标探测系统及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于星载GNSS-S的目标探测系统及方法,包括:对天GNSS直达信号处理单元,用于接收导航卫星的直达信号,并输出自身平台参数信息以及根据直达信号输出相应的导航卫星信息,导航卫星信息包括电文比特信息;对海GNSS散射信号处理单元,用于接收直达信号经海面目标区域的散射信号,及确定目标区域的信息;直散信号同步转换单元,用于根据导航卫星信息及平台参数信息,确定直达信号和散射信号之间时间同步所需的时间同步信息、距离向压缩所需的参考信号以及方位相参累积所需的相位补偿因子并输出至对海GNSS散射信号处理单元;其中,对海GNSS散射信号处理单元根据直散信号同步转换单元的输出信息确定目标区域的信息。可有效提高目标回波信号信噪比。



1. 一种基于星载GNSS-S的目标探测系统,其特征在于,所述系统包括:

对天GNSS直达信号处理单元(10),用于接收导航卫星的直达信号,并输出自身平台参数信息以及根据所述直达信号输出相应的导航卫星信息,所述导航卫星信息包括电文比特信息;

对海GNSS散射信号处理单元(20),用于接收所述直达信号经海面目标区域的散射信号以及确定目标区域的信息;

直散信号同步转换单元(30),用于根据所述导航卫星信息以及所述平台参数信息,确定所述直达信号和所述散射信号之间时间同步所需的时间同步信息、距离向压缩所需的参考信号以及方位相参累积所需的相位补偿因子并输出至所述对海GNSS散射信号处理单元(20);

其中,所述对海GNSS散射信号处理单元(20)根据所述直散信号同步转换单元的输出信息确定目标区域的信息;

所述对海GNSS散射信号处理单元(20)包括:

雷达天线(201),用于接收所述散射信号;

散射信号预处理模块(202),用于对所述散射信号进行放大、滤波及下变频处理,并将所述散射信号转换为模拟中频信号;

数字化采样模块(203),用于对所述模拟中频信号进行数字化采样;

距离向匹配滤波模块(204),用于对所述数字化采样模块(203)输出的采样信号进行匹配滤波及压缩处理;

相位补偿模块(205),用于对所述距离向匹配滤波模块(204)的输出信号进行相位校正;

方位向累积模块(206),用于对所述相位补偿模块(205)的输出信号进行方位向的累积;

目标信息模块(207),用于根据所述方位向累积模块(206)输出的累积结果确定所述海面目标区域的信息;

其中,所述对天GNSS直达信号处理单元(10)包括对天GNSS接收机(101),由所述对天GNSS接收机(101)提供PPS同步信号,对散射信号进行同步采样,由所述对天GNSS接收机(101)提供的导航电文比特信息,对散射信号的电文翻转进行预测。

2. 根据权利要求1所述的基于星载GNSS-S的目标探测系统,其特征在于,所述对天GNSS直达信号处理单元(10)还包括:

时间信息输出模块(102),用于输出时间同步信息至所述直散信号同步转换单元(30);

GNSS卫星信息输出模块(103),用于根据所述直达信号,输出所述导航卫星信息;

平台信息模块(104),用于输出所述平台参数信息。

3. 根据权利要求2所述的基于星载GNSS-S的目标探测系统,其特征在于,所述直散信号同步转换单元(30)包括:

同步信号生成模块(301),用于接收所述时间信息输出模块(102)的时间同步信息,转换成所述数字化采样模块(203)的控制信息并输出至所述数字化采样模块(203);

参考信号生成模块(302),用于接收所述GNSS卫星信息输出模块(103)的输出信息,生成与所述散射信号匹配滤波的参考信号并输出至所述距离向匹配滤波模块(204);

相位补偿因子计算模块(303),用于接收所述GNSS卫星信息输出模块(103)和所述卫星平台信息模块(104)的输出信息,计算方位向累积时的相位补偿因子并输出至所述相位补偿模块(205)。

4.根据权利要求1-3中任一项所述的基于星载GNSS-S的目标探测系统,其特征在于,所述平台参数信息包括所述对天GNSS直达信号处理单元(10)所处的平台的位置坐标及速度信息,所述平台为低轨卫星平台,所述系统共用所述低轨卫星平台上的GNSS接收单元作为所述对天GNSS直达信号处理单元(10);

所述导航卫星信息还包括伪码、多普勒频移和码相位信息。

5.一种基于星载GNSS-S的目标探测方法,应用如权利要求1-4中任一项所述的基于星载GNSS-S的目标探测系统,其特征在于,所述方法包括:

根据所述参考信号,对所述散射信号进行距离向压缩;

根据所述时间同步信息,对所述散射信号进行同步采样;

根据所述相位补偿因子,对距离向压缩和同步采样后的所述散射信号进行方位向相参处理;

根据距离向压缩、同步采样和方位向相参处理后的所述散射信号,确定海面目标区域的信息。

6.根据权利要求5所述的基于星载GNSS-S的目标探测方法,其特征在于,对所述散射信号进行距离向压缩,包括:

从所述直散信号同步转换单元(30)单元获取所述参考信号,对所述散射信号进行载波频率混频和伪码运算,得到所述散射信号的一维累计值,根据所述一维累计值对所述散射信号进行距离向压缩。

7.根据权利要求5所述的基于星载GNSS-S的目标探测方法,其特征在于,对所述散射信号进行同步采样,包括:

以所述直达信号的秒脉冲信号作为所述散射信号的数字采样的触发信号,选取1ms时间长度采集数据包,并将导航卫星的时间信息附加到采集的数据包上加盖时间戳,对所述散射信号进行同步采样。

8.根据权利要求5所述的基于星载GNSS-S的目标探测方法,其特征在于,对距离向压缩和同步采样后的所述散射信号进行方位向相参处理,包括:

对目标区域计算所述散射信号与所述直达信号的时间延迟 Δt_i ,根据 Δt_i 计算路径引起的相位差 $\Delta \xi_i$,所述直达信号的电文比特信息为b,则目标区域的相位校正因子 $\Delta \theta_i$ 为:

$$\Delta \theta_i = \Delta \xi_i + b\pi;$$

方位向相参处理的公式为:

$$Q_{mn} = \sum_i^M q_i \exp(j \Delta \theta_i)$$

其中, q_i 为第i个方位点上得到的海面目标区域的回波能量信息。

9.根据权利要求8所述的基于星载GNSS-S的目标探测方法,其特征在于,根据所述直达信号中的电文比特信息,在电文比特翻转时刻对电文比特信息进行相位校正,得到相应时刻的相位补偿因子。

基于星载GNSS-S的目标探测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及雷达技术领域,具体涉及一种基于星载GNSS-S的目标探测系统及方法。

背景技术

[0002] GNSS-S目标探测系统利用海面散射的GNSS导航卫星的信号对海面目标进行探测,具有信号源丰富,全天时、全天候探测,可对抗无线电静默和雷达隐身,载荷功耗低、易于低轨卫星搭载等优势。该技术可与电子侦察、雷达和光学侦察等手段形成互补,提高我军战场感知能力,是海洋侦察与监视的重要手段。近年来基于GNSS-S信号开展海面目标探测成为科学研究的热点。

[0003] 然而,GNSS导航卫星离地面高度较高,信号发射功率小,到达地面的信号功率通常在-130dBm左右,经过散射后的卫星信号将会更加微弱,这使得星载GNSS-S目标探测系统实现海面目标探测的难度很高。为实现极弱GNSS-S信号的检测,需要对信号进行长时间累积,然而导航电文比特的随机翻转与信号频移会限制积分时间的长度,导致方位向相参处理过程中累积时间无法超电文比特长度。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明实施例旨在提出一种基于星载GNSS-S的目标探测系统及方法,在目标回波信号处理时突破电文比特随机翻转的限制,可以实现长时间的相参累积处理。

[0005] 第一方面,本发明第一实施例提供一种基于星载GNSS-S的目标探测系统,所述系统包括:对天GNSS直达信号处理单元,用于接收导航卫星的直达信号,并输出自身平台参数信息以及根据所述直达信号输出相应的导航卫星信息,所述导航卫星信息包括电文比特信息;对海GNSS散射信号处理单元,用于接收所述直达信号经海面目标区域的散射信号,以及确定目标区域的信息;直散信号同步转换单元,用于根据所述导航卫星信息以及所述平台参数信息,确定所述直达信号和所述散射信号之间时间同步所需的时间同步信息、距离向压缩所需的参考信号以及方位相参累积所需的相位补偿因子并输出至所述对海GNSS散射信号处理单元;其中,所述对海GNSS散射信号处理单元根据所述直散信号同步转换单元的输出信息确定目标区域的信息。

[0006] 进一步地,所述对天GNSS接收单元包括:对天GNSS接收机,用于接收所述直达信号;时间信息输出模块,用于输出时间同步信息至所述直散信号同步转换单元;GNSS卫星信息输出模块,用于根据所述直达信号,输出所述导航卫星信息;平台信息模块,用于输出所述平台参数信息。

[0007] 进一步地,所述对海GNSS散射接收单元包括:雷达天线,用于接收所述散射信号;散射信号预处理模块,用于对所述散射信号进行放大、滤波及下变频处理,并将所述散射信号转换为模拟中频信号;数字化采样模块,用于对所述模拟中频信号进行数字化采样;距离向匹配滤波模块,用于对所述数字化采样模块输出的采样信号进行匹配滤波及压缩处理;

相位补偿模块,用于对所述距离向匹配滤波模块的输出信号进行相位校正;方位向累积模块,用于对所述相位补偿模块的输出信号进行方位向的累积;目标信息模块,用于根据所述方位向累积模块输出的累积结果确定所述海面目标区域的信息。

[0008] 进一步地,所述直散信号同步转换单元包括:同步信号生成模块,用于接收所述时间信息输出模块的时间同步信息,转换成所述数字化采样模块的控制信息并输出至所述数字化采样模块;参考信号生成模块,用于接收所述GNSS卫星信息输出模块的输出信息,生成与所述散射信号匹配滤波的参考信号并输出至所述距离向匹配滤波模块;相位补偿因子计算模块,用于接收所述GNSS卫星信息输出模块和所述卫星平台信息模块的输出信息,计算方位向累积时的相位补偿因子并输出至所述相位补偿模块。

[0009] 进一步地,所述平台参数信息包括所述对天GNSS直达信号处理单元所处的平台的位置坐标及速度信息,所述平台为低轨卫星平台,所述系统共用所述低轨卫星平台上的GNSS接收单元作为所述对天GNSS直达信号处理单元;所述导航卫星信息还包括伪码、多普勒频移和码相位信息。

[0010] 第二方面,本发明第二实施例提供一种基于星载GNSS-S的目标探测方法,应用如第一方面任一项所述的基于星载GNSS-S的目标探测系统,所述方法包括:根据所述参考信号,对所述散射信号进行距离向压缩;根据所述时间同步信息,对所述散射信号进行同步采样;根据所述相位补偿因子,对距离向压缩和同步采样后的所述散射信号进行方位向相参处理;根据距离向压缩、同步采样和方位向相参处理后的所述散射信号,确定所述海面目标区域的信息。

[0011] 进一步地,对所述散射信号进行距离向压缩,包括:从所述直散信号同步转换单元获取所述参考信号,对所述散射信号进行载波频率混频和伪码运算,得到所述散射信号的一维累计值,根据所述一维累计值对所述散射信号进行距离向压缩。

[0012] 进一步地,对所述散射信号进行同步采样,包括:以所述直达信号的秒脉冲信号作为所述散射信号的数字采样的触发信号,选取1ms时间长度采集数据包,并将导航卫星的时间信息附加到采集的数据包上加盖时间戳,对所述散射信号进行同步采样。

[0013] 进一步地,对距离向压缩和同步采样后的所述散射信号进行方位向相参处理,包括:对目标区域计算所述散射信号与所述直达信号的时间延迟 Δt_i ,根据 Δt_i 计算路径引起的相位差 $\Delta \xi_i$,所述直达信号的电文比特信息为b,则目标区域的相位校正因子 $\Delta \theta_i$ 为:

[0014] $\Delta \theta_i = \Delta \xi_i + b\pi$;

[0015] 方位向相参处理的公式为:

[0016]
$$Q_{mn} = \sum_i^M q_i \exp(j \Delta \theta_i) ;$$

[0017] 其中, q_i 为第*i*个方位点上得到的海面目标区域的回波能量信息。

[0018] 进一步地,根据所述直达信号中的电文比特信息,在电文比特翻转时刻对电文比特信息进行相位校正,得到相应时刻的相位补偿因子。

[0019] 本发明实施例的基于星载GNSS-S的目标探测系统及方法,将低轨卫星平台的GNSS接收机与GNSS-S目标探测所需的直达信号接收机进行共用,卫星平台的GNSS接收机除给卫星提供定位信息外,还输出直达卫星信号的多普勒、码相位与电文比特等信号特征信息,不需要额外的发射设备,系统简单,且GNSS-S载荷与卫星平台进行深度融合,减小系统冗余,

降低结构复杂度,减少系统成本。本发明实施例还提出了直散信号同步转换单元,根据低轨卫星平台GNSS接收机输出的直达导航卫星信号的特征信息,转换为进行雷达探测所需的本地参考信号,并采用秒脉冲信号与GNSS目标散射信号进行同步。本实施例还提出一种消除GNSS电文比特随机翻转影响的回波信号长时间相参累积方法,解决了方位向相参处理过程中累积时间无法超电文比特长度的技术难题,实现了秒级的相参处理时长,提高了信噪比。

附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0021] 图1为本发明实施例的基于星载GNSS-S的目标探测系统的结构示意图;

[0022] 图2为本发明实施例的同步信号生成模块的原理示意图;

[0023] 图3为本发明实施例的参考信号生成模块的原理示意图;

[0024] 图4为本发明实施例的相位补偿因子计算模块的原理示意图;

[0025] 图5为本发明实施例的距离向信号压缩的原理示意图;

[0026] 图6为本发明实施例的散射信号同步采样时序图;

[0027] 图7为本发明实施例的直散信号几何关系图;

[0028] 图8为本发明实施例的方位向相参累积的原理示意图;

[0029] 图9为本发明实施例的相位校正因子计算的原理示意图;

[0030] 图10为本发明实施例的目标区域探测矩阵图。

具体实施方式

[0031] 此说明书实施方式的描述应与相应的附图相结合,附图应作为完整的说明书的一部分。在附图中,实施例的形状或是厚度可扩大,并以简化或是方便标示。再者,附图中各结构的部分将以分别描述进行说明,值得注意的是,图中未示出或未通过文字进行说明的元件,为所属技术领域中的普通技术人员所知的形式。

[0032] 此处实施例的描述,有关方向和方位的任何参考,均仅是为了便于描述,而不能理解为对本发明保护范围的任何限制。以下对于优选实施方式的说明会涉及到特征的组合,这些特征可能独立存在或者组合存在,本发明并不特别地限定于优选的实施方式。本发明的范围由权利要求书所界定。

[0033] 如图1所示,是本发明第一实施例的基于星载GNSS-S的目标探测系统的结构示意图,所述系统包括:对天GNSS直达信号处理单元10,用于接收导航卫星的直达信号,并输出自身平台参数信息以及根据直达信号输出相应的导航卫星信息,导航卫星信息包括电文比特信息。对海GNSS散射信号处理单元20,用于接收直达信号经海面目标区域的散射信号以及确定目标区域的信息。直散信号同步转换单元30,用于根据导航卫星信息以及平台参数信息,确定直达信号和散射信号之间时间同步所需的时间同步信息、距离向压缩所需的参考信号以及方位相参累积所需的相位补偿因子并输出至对海GNSS散射信号处理单元20。其中,对海GNSS散射信号处理单元20根据直散信号同步转换单元的输出信息确定目标区域的

信息。

[0034] 其中,平台参数信息包括对天GNSS直达信号处理单元10所处的平台的位置坐标及速度信息,所述平台为低轨卫星平台,所述系统共用低轨卫星平台上的GNSS接收单元作为对天GNSS直达信号处理单元10。导航卫星信息还包括伪码、多普勒频移和码相位信息。

[0035] 如图1所示,在本实施例中,对天GNSS接收单元包括:对天GNSS接收机101,用于接收直达信号;时间信息输出模块102,用于输出时间同步信息至直散信号同步转换单元30,时间同步信息包括导航卫星直达信号的秒脉冲信号和绝对时间信息;GNSS卫星信息输出模块103,用于根据直达信号,输出导航卫星信息;平台信息模块104,用于输出平台参数信息,例如所在卫星平台的位置(X,Y,Z)坐标与速度(V_x, V_y, V_z)。

[0036] 如图1所示,在本实施例中,对海GNSS散射信号处理单元20包括:雷达天线201,用于接收散射信号,雷达天线201优选为大口径高增益天线;散射信号预处理模块202,用于对散射信号进行放大、滤波及下变频处理,并将散射信号转换为模拟中频信号;数字化采样模块203,用于在同步信号生成模块301的控制下对模拟中频信号进行数字化采样;距离向匹配滤波模块204,用于在参考信号生成模块302的控制下对数字化采样模块203输出的采样信号进行匹配滤波及压缩处理;相位补偿模块205,用于在相位补偿因子计算模块303的控制下对距离向匹配滤波模块204的输出信号进行相位校正;方位向累积模块206,用于对相位补偿模块205的输出信号进行方位向的累积;目标信息模块207,用于根据方位向累积模块206输出的累积结果确定海面目标区域的信息。

[0037] 如图1所示,在本实施例中,直散信号同步转换单元30包括:同步信号生成模块301,用于接收时间信息输出模块102的时间同步信息,转换成数字化采样模块203的控制信息并输出至数字化采样模块203;参考信号生成模块302,用于接收GNSS卫星信息输出模块103的输出信息,生成与散射信号匹配滤波的参考信号并输出至距离向匹配滤波模块204;相位补偿因子计算模块303,用于接收GNSS卫星信息输出模块103和卫星平台信息模块104的输出信息,计算方位向累积时的相位补偿因子并输出至相位补偿模块205。

[0038] 如图2所示,在本实施例中,同步信号生成模块301输入直达导航信号的PPS(秒脉冲)信号与GNSS时间(例如GPS周、周内秒),转换为AD(数字化)采样的触发信号输出,同时将GNSS时间转换为时间戳信息,附加到AD采样的数据上。

[0039] 如图3所示,在本实施例中,参考信号生成模块302的输入信号包括:卫星系统信息(例如GPS、北斗)、当前可见卫星的PRN号、卫星多普勒、卫星码相位、载体位置信息。计算目标区域的延迟时间,生成进行匹配滤波所需的各个可见卫星的本地参考信号。

[0040] 如图4所示,在本实施例中,相位补偿因子计算模块303的输入信号包括:当前可见卫星的PRN号、导航卫星位置、卫星平台位置、目标区域坐标及导航电文比特信息。计算目标区域的延迟时间与导航电文信息,输出各坐标点的相位补偿因子。

[0041] 本发明实施例的基于星载GNSS-S的目标探测系统,共用卫星平台的GNSS接收机实现对天信号的接收,采用大增益天线实现海面目标散射GNSS信号的接收,天线工作频段为导航卫星频段(如1.575GHz、1.268GHz),对海天接收海面散射的GNSS信号,进行放大、滤波后进行下变频混频处理,转换为中频信号输出。采用DSC单元实现直达信号与散射信号的同步与信息的转换处理。由DSC单元生成进行散射GNSS信号脉冲压缩的匹配滤波器以及方位向相参的相位校正信息。在低轨卫星平台实现极弱GNSS散射信号的距离向压缩与方位向

相参,提高信号信噪比,得到大范围海面目标的散射能量矩阵图,实现海面目标的探测。相比传统星载雷达系统,无需发射信号,利用泛在GNSS信号实现海面目标探测,同时复用卫星平台现有的GNSS接收机,系统架构简单,成本低,便于实现低轨小卫星组网应用,实现全球范围的海面目标无源探测。

[0042] 如图5-图10所示,本发明第二实施例还提供一种基于星载GNSS-S的目标探测方法,应用如第一实施例的基于星载GNSS-S的目标探测系统,实现海面目标探测,通过对海面极弱GNSS-S散射信号采用距离向压缩与方位向相参,提高目标散射GNSS信号的信噪比。本实施例包括利用对天GNSS接收机101得到的卫星多普勒、码相位等信息生成本地参考信号,对散射信号进行距离向压缩;同时,由对天GNSS接收机提供PPS同步信号,对散射信号进行同步采样,由对天GNSS接收机提供的导航电文比特信息,对散射信号的电文翻转进行预测,解决极弱散射信号进行方位向相参时电文随机翻转的问题,实现跨比特长度的方位向相参累积处理,提升海面目标散射信号的信噪比。

[0043] 如图5所示,在本实施例中,GNSS-S目标散射信号距离向压缩的流程为:

[0044] a1,选取可见导航卫星;

[0045] a2,从DSC单元(直散信号同步转换单元)获取本地参考信号;

[0046] a3,对a2中获得信号进行载波频率混频;

[0047] a4,对a3中获得信号进行伪码相关运算;

[0048] a5,根据a4的计算结果得到信号的一维累计值。

[0049] 如图6所示,在本实施例中,散射信号同步采样时序流程为:接收DSC单元的导航卫星PPS信号作为散射信号ADC(数字化)采样的触发信号,选取1ms采集一包数据,并将导航卫星的时间附加到数据包上加盖时间戳,作为后续信号处理的原始数据。以直达卫星信号的PPS作为同步信号,每个脉冲启动数据采集,并对采集数据按照GNSS时间添加时间戳信息;对海散射接收系统接收海面散射的GNSS信号与DSC单元生成的本地参考信号进行距离向脉冲压缩;DSC单元接收直达导航卫星的电文比特信息,进行方位向相参累加处理时,在电文比特翻转时刻对信号相位进行校正,增加累积增益。

[0050] 如图7所示,在本实施例中,由以下方法计算直达信号与散射信号的传输时间延迟:接收DSC单元的导航卫星PRN号、多普勒频移 f_{d_i} 、码相位 c_i 及导航卫星的坐标为 (X_s, Y_s, Z_s) ,卫星平台所在的位置坐标 (X_u, Y_u, Z_u) ,目标搜索区域的坐标为 (X_d, Y_d, Z_d) ,根据几何关系计算直达信号传播距离 d 为:

$$[0051] \quad d = \sqrt{(X_s - X_u)^2 + (Y_s - Y_u)^2 + (Z_s - Z_u)^2} ;$$

[0052] 散射信号传播距离 D 为:

$$[0053] \quad \begin{aligned} D &= d_1 + d_2 \\ &= \sqrt{(X_s - X_d)^2 + (Y_s - Y_d)^2 + (Z_s - Z_d)^2} \\ &\quad + \sqrt{(X_d - X_u)^2 + (Y_d - Y_u)^2 + (Z_d - Z_u)^2} ; \end{aligned}$$

[0054] 散射信号与直达信号的传输延迟时间 Δt 如下式所示:

$$[0055] \quad \Delta t = \frac{D - d}{c} ;$$

[0056] 其中, c 为光速 $3 \times 10^8 \text{m/s}$;

[0057] 并由上式得到散射信号的匹配滤波器公式如下:

[0058] $s(t) = A D(t + \Delta t) C(t + \Delta t) \cos[2\pi(f + f_d)(t + \Delta t)]$;

[0059] 其中, A 为信号幅度, $D(\cdot)$ 为电文数据, $C(\cdot)$ 为导航伪码序列, f 为信号载波频率。

[0060] 如图8所示,在本实施例中,由以下方法计算相位校正因子:对目标探测区域计算散射信号与直达信号的时间延迟 Δt_i ,由该延迟时间计算路径引起的相位差 $\Delta \xi_i$,则探测区域的相位校正因子 $\Delta \theta_i$ 为:

[0061] $\Delta \theta_i = \Delta \xi_i + b\pi$;

[0062] 其中, b 为DSC单元接收得到的导航卫星直达信号的电文比特信息(b 的值为0或1),根据电文比特对相位进行校正。

[0063] DSC单元采用串口输出数字式电文比特信息;电文比特信息与PPS秒脉冲时刻同步,1个PPS脉冲间隔输出一组电文比特信息;方位向相参处理时间取 t 毫秒, t 远大于电文比特时间(例如GPS比特时长为20ms)。

[0064] 如图9所示,在本实施例中,通过以下方法累积方位向相参:在距离向压缩和时间同步采样后,在每一个方位点得到一组目标区域的回波能量信息 q_i ,随着低轨卫星的飞行,在方位向得到一系列的目标点回波,由于GNSS-S回波能量非常微弱,为实现目标探测,需要对方位向的回波能量进一步进行累加,为剔除电文比特与距离徙动的影响,对方位向相参信号进行相位校正,校正后的累积公式为:

[0065]
$$Q_{mn} = \sum_i^M q_i \exp(j \Delta \theta_i) ;$$

[0066] 其中, $\Delta \theta_i$ 为相位校正因子。

[0067] DSC单元根据低轨卫星位置、导航卫星位置与目标区域位置计算对地面回波区域的时延 t_d ,进行本地信号生成;根据回波时延 t_d 与直达卫星信号的码相位与多普勒信息,计算本地载波与码相位,根据导航卫星的伪码,生成匹配滤波的本地参考信号。

[0068] 如图10所示,在本实施例中,对目标区域进行逐点扫描,得到目标区域的回波能量矩阵图,当有目标时该处回波能量大于背景噪声,可通过该图谱实现目标探测。

[0069] 本发明的基于星载GNSS-S的目标探测方法,利用卫星平台接收到的导航信息生成本地参考信号,与对海散射接收天线接收到的散射导航信号进行距离向压缩处理,再结合导航电文比特信息生成方位向相参处理的相位信息,实现超电文比特长度的长时间方位向相参处理。本发明提出将低轨卫星平台的GNSS接收机与GNSS-S目标探测所需的直达信号接收机进行共用,卫星平台的GNSS接收机除给卫星提供定位信息外,还输出直达卫星信号的多普勒、码相位与电文比特等信号特征信息。本发明提出一种DSC单元,根据低轨卫星平台GNSS接收机输出的直达导航卫星信号的特征信息,转换为进行雷达探测所需的本地信号,并采用PPS脉冲信号与GNSS目标散射信号进行同步。本发明提出一种消除GNSS电文比特随机翻转影响的回波信号长时间相参累积方法。解决了方位向相参处理过程中累积时间无法超电文比特长度的技术难题,实现了秒级的相参处理时长,提高了信噪比。本发明与现有技术相比具有如下优点:采用导航卫星发射的信号对目标进行探测,导航卫星信号全球覆盖,不需要额外的发射设备,系统简单;星载GNSS-S目标探测系统将低轨卫星平台的GNSS接收机与直达处理接收机进行共用,GNSS-S载荷与卫星平台进行深度融合,减小系统冗余,降低

结构复杂度,减少系统成本;对目标回波信号处理突破了电文比特随机翻转的限制,可以实现长时间的相参累积处理,信噪比高。

[0070] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

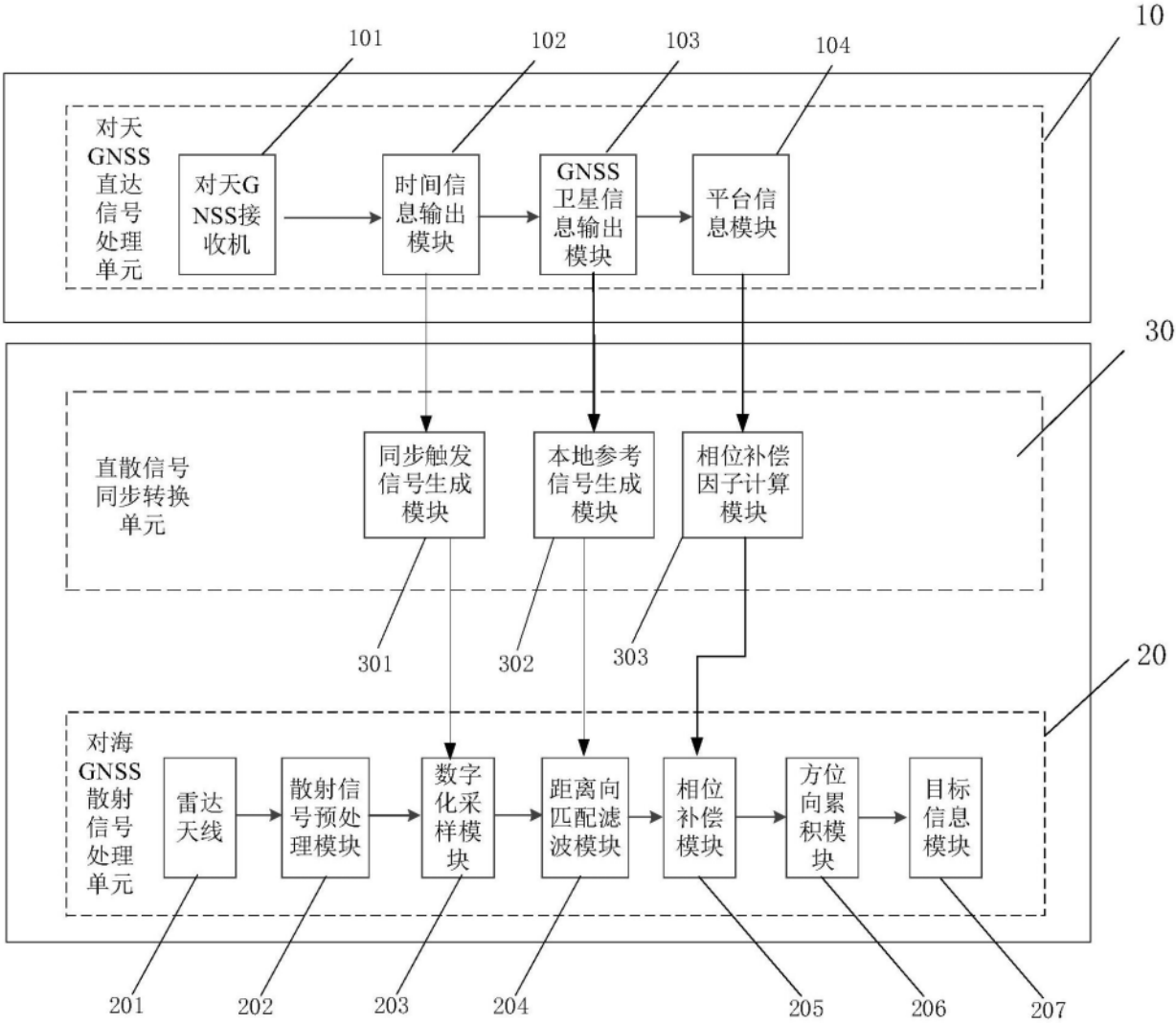


图1

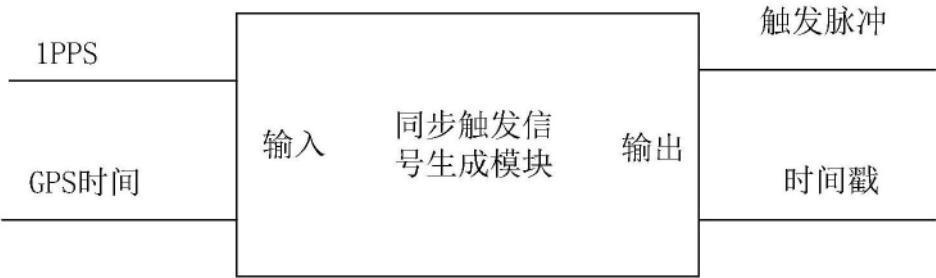


图2

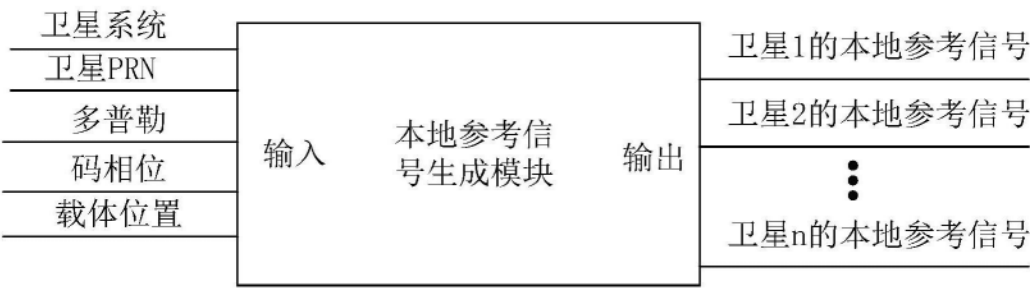


图3



图4

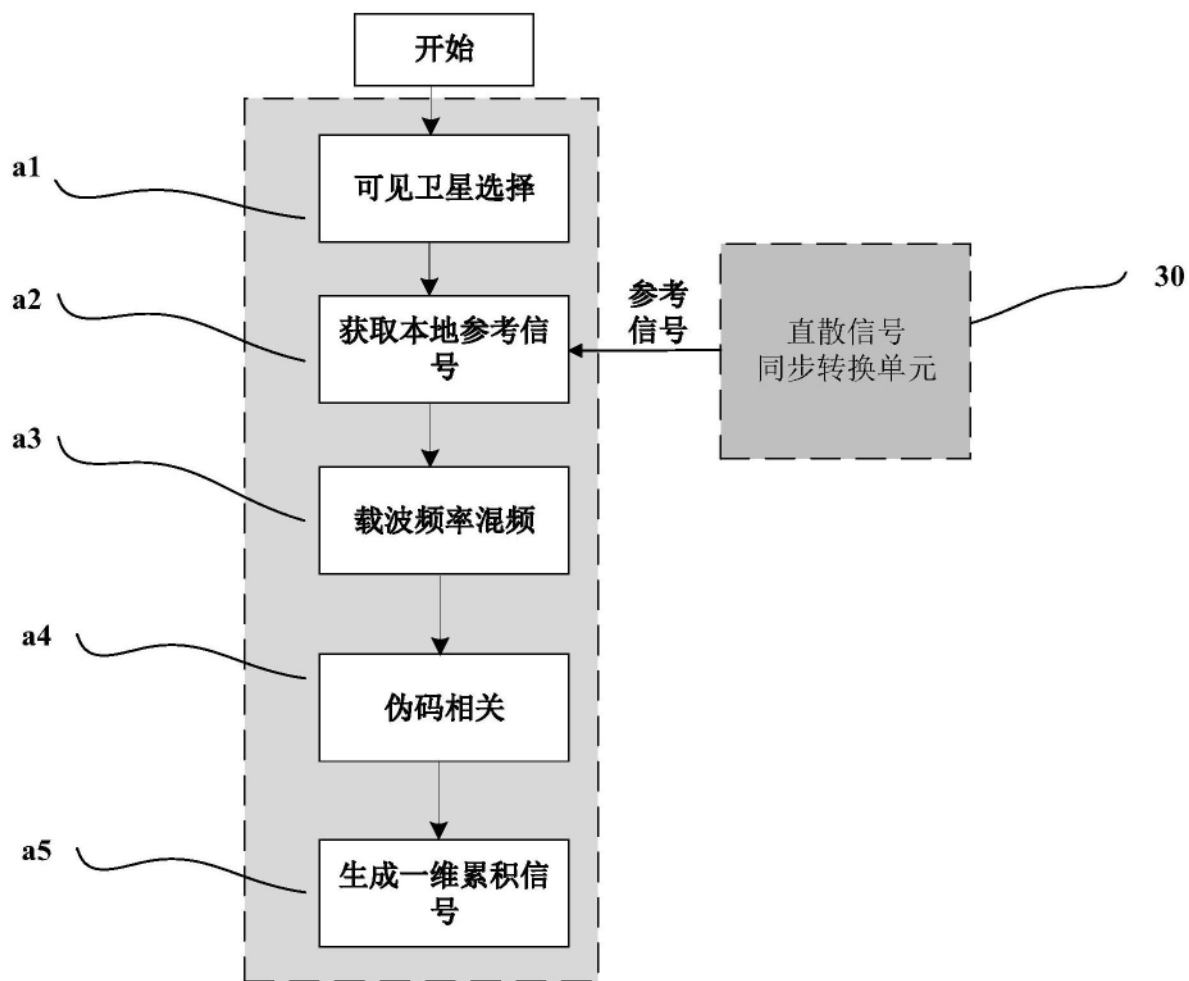


图5

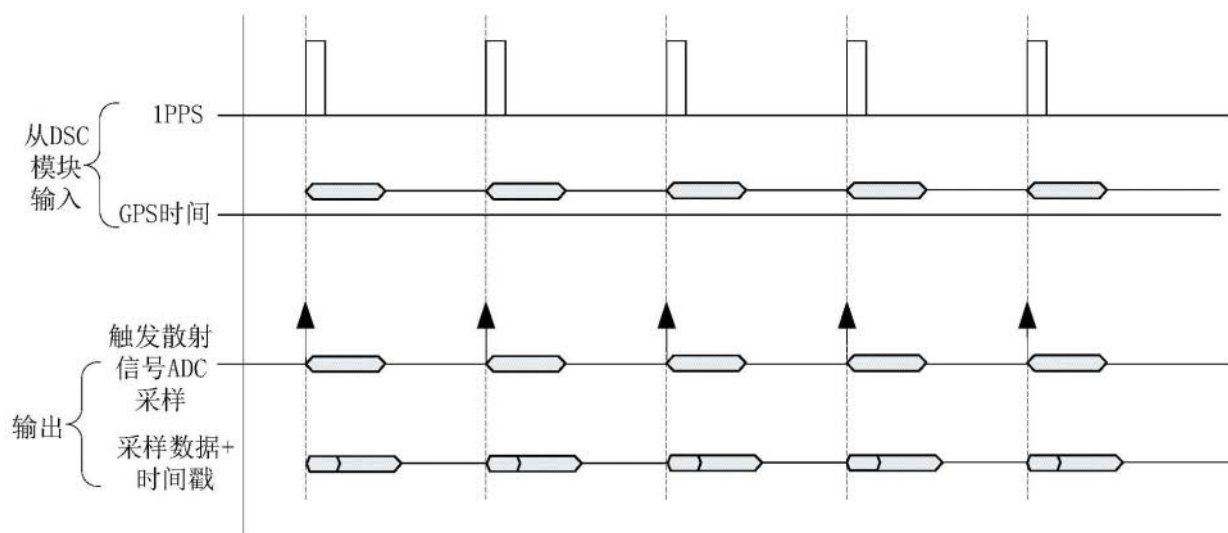


图6

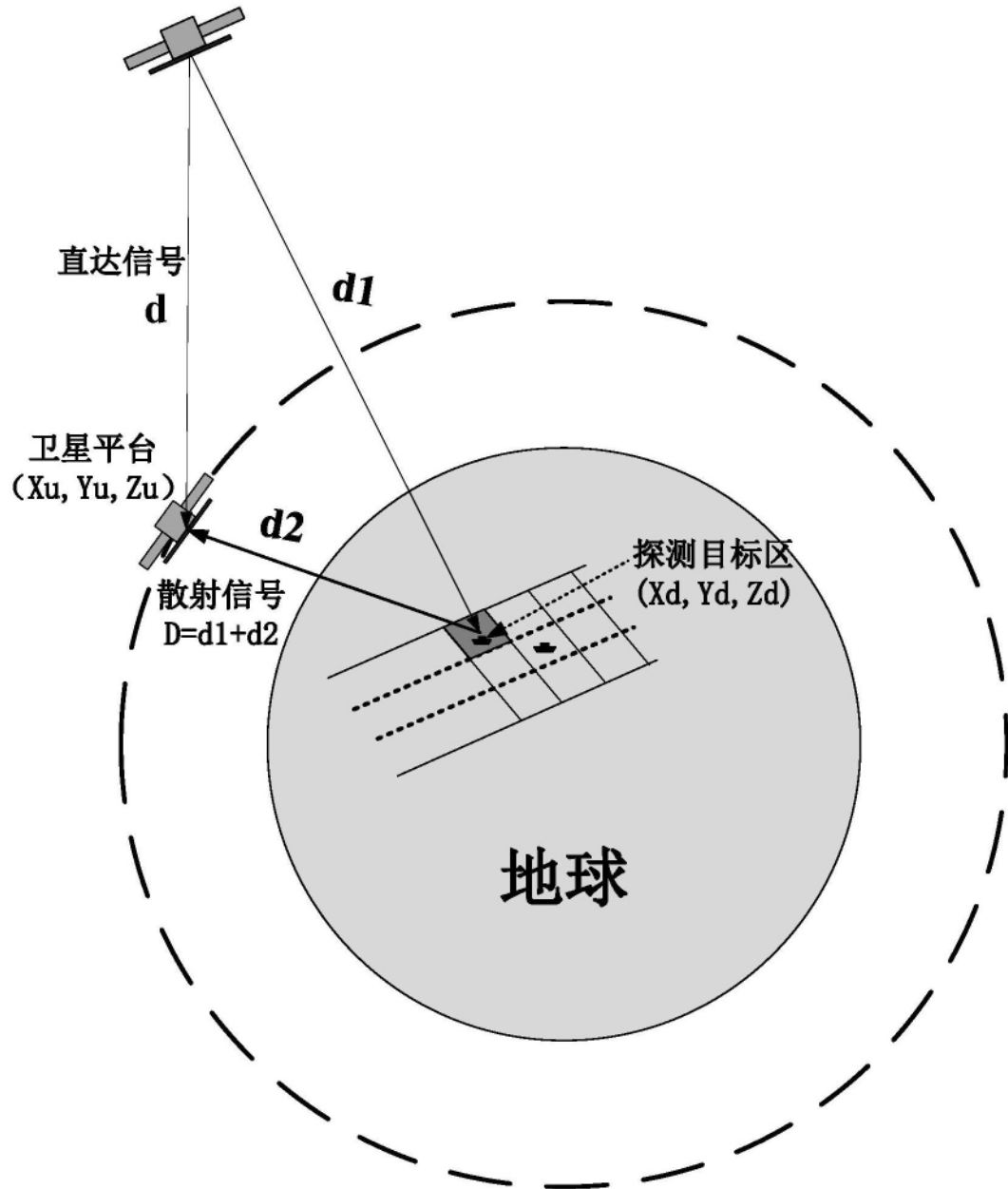
导航卫星 (X_s, Y_s, Z_s)

图7

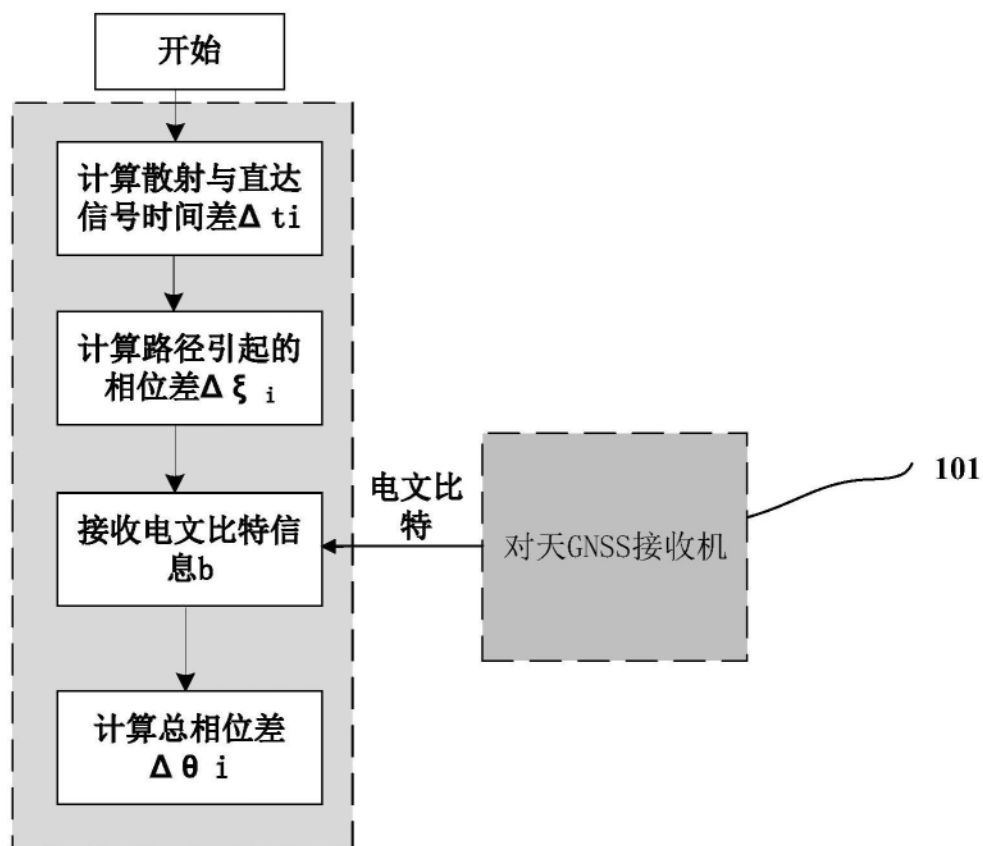


图8

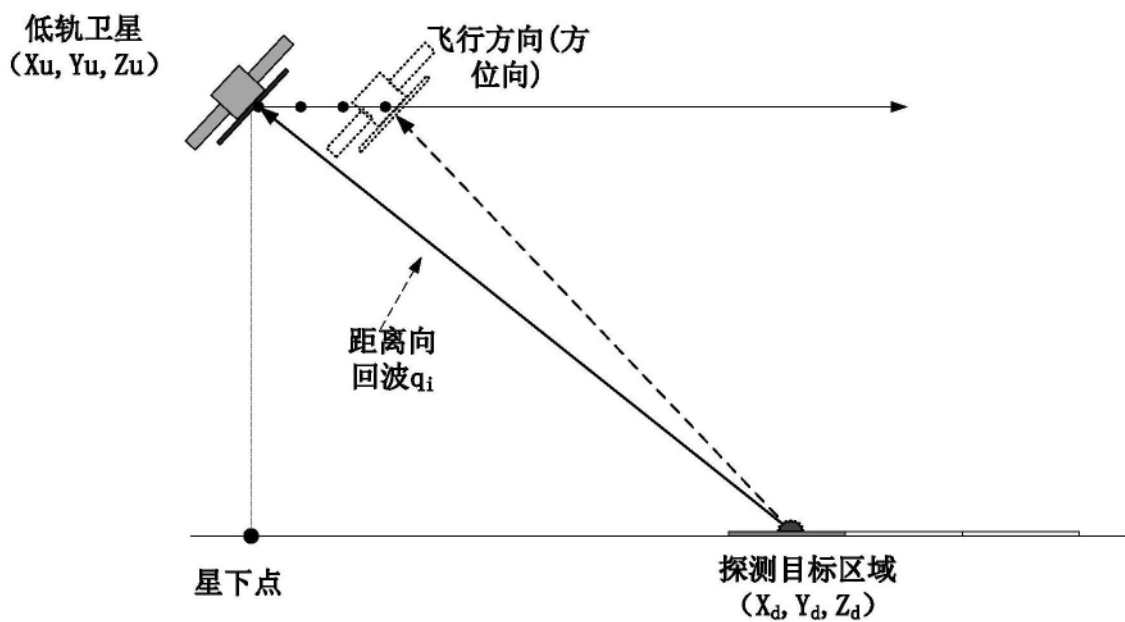


图9

Q_{11}	Q_{12}	• • •		Q_{1n}
Q_{21}		• • •		
		• • •		
		• • •		
		• • •		
Q_{n1}		• • •		Q_{nn}

图10