



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104678387 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 03

(21) 申请号 201510072281. 6

(22) 申请日 2015. 02. 11

(71) 申请人 中国地质大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路 29 号

(72) 发明人 沈海鸿 裘雪敬 高超群 杨东凯

(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 13/06(2006. 01)

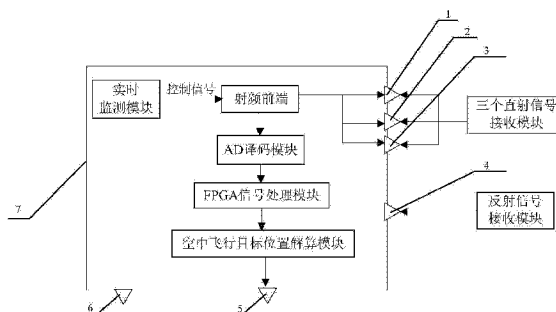
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置及探测方法

(57) 摘要

一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置,包括机箱,机箱内顺次连接的是实时监测模块、射频前端、AD 译码模块、FPGA 信号处理模块和空中飞行目标位置解算模块;机箱外置三个反射信号接收模块和一个直射信号接收模块,分别架设在地面上相应的位置,每个反射信号接收模块设置 1 根左旋天线,直射信号接收模块设置 1 根右旋天线,通过数据线连接到机箱外壳专门设置的四个开口处,这些开口另一侧与射频前端相连;机箱外壳另设有两个开口,一个为电源接口,用以给该装置供电,另一个为数据输出接口,与用户终端相连,用以实时显示空中飞行目标位置;其探测方法有七大步骤。本发明在空中飞行目标探测技术领域里具有广阔地应用前景。



1. 一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置,其特征在于:包括机箱,机箱内顺次连接的是实时监测模块、射频前端、AD 译码模块、FPGA 信号处理模块和空中飞行目标位置解算模块;机箱外置三个反射信号接收模块和一个直射信号接收模块,分别架设在地面上相应的位置,其中,每个反射信号接收模块设置 1 根左旋天线,直射信号接收模块设置 1 根右旋天线,通过数据线连接到机箱外壳专门设置的四个开口处,这些开口另一侧与射频前端相连;机箱外壳另设有两个开口,一个为电源接口,用以给该装置供电,另一个为数据输出接口,与用户终端相连,用以实时显示空中飞行目标位置;三个反射信号接收模块和直射信号接收模块分别架设在地面上相应的位置,其余各模块集成到一个长方体形状的机箱内,整个装置能实现信号实时监测、信号接收处理、空中飞行目标位置解算和位置数据传输一体化;

该直射信号接收模块接收单颗 GNSS 卫星发射的直射信号,并存储到左旋天线临时存储单元,三个反射信号接收模块分别接收该卫星经目标反射后的反射信号,并存储到右旋天线临时存储单元;实时监测模块对空中飞行目标的位置进行判别,当空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内时,启动射频前端,对接收的直射信号和反射信号进行数据处理,否则,射频前端不进行任何操作,同时释放左旋天线临时存储单元和右旋天线临时存储单元中的数据,实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别;若空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内,启动射频前端,对接收到的三路反射信号和直射信号分别处理成模拟中频信号,并输入到 AD 译码模块;AD 译码模块将接收到的模拟中频信号进行采样和量化,将其转化为数字中频信号,并输入到 FPGA 信号处理模块;FPGA 信号处理模块对反射信号和直射信号所对应的数字中频信号进行协同处理,分别计算出三路反射信号相对于直射信号的时间延迟 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ,并输入到空中飞行目标位置解算模块;空中飞行目标位置解算模块对空中飞行目标的位置进行解算,得出该目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ,并通过数据线将结果传送至用户终端,实现实时探测。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置,其特征在于:机箱外部的三个反射信号接收模块和直射信号接收模块均为集成装置,其内部所含天线位置固定,不会出现零散掉落的情况。

3. 根据权利要求 1 所述的一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置,其特征在于:所述机箱为长方体形状,易于放置与搬运,外壳防水且不会对信号造成很大衰减;机箱外置模块与机箱放置在同一外箱内,方便装置不使用时的存放。

4. 根据权利要求 1 所述的一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置,其特征在于:所述反射信号接收模块内的左旋天线与直射信号接收模块内的右旋天线的安置方式均为水平放置,天线方向图的轴线垂直于水平面,主瓣最大增益方向朝向天顶。

5. 一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置的探测方法,其特征在于:它包括以下步骤:

步骤一,直射信号接收模块接收单颗 GNSS 卫星发射的直射信号,并存储到左旋天线临时存储单元,三个反射信号接收模块分别接收该卫星经目标反射后的反射信号,并存储到右旋天线临时存储单元;

步骤二,实时监测模块对空中飞行目标的位置进行判别,当空中飞行目标均处于三个

反射信号接收模块的探测区域内时,启动射频前端,对接收的直射信号和反射信号进行数据处理,否则,射频前端不进行任何操作,同时释放左旋天线临时存储单元和右旋天线临时存储单元中的数据,实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别;

步骤三,若空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内,启动射频前端,对接收到的三路反射信号和直射信号分别处理成模拟中频信号;

步骤四,AD译码模块将接收到的模拟中频信号进行采样和量化,将其转化为数字中频信号;

步骤五,FPGA信号处理模块对反射信号和直射信号所对应的数字中频信号进行协同处理,分别计算出三路反射信号相对于直射信号的时间延迟 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ;

步骤六,空中飞行目标位置解算模块对空中飞行目标的位置进行解算,得出该目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ;

步骤七,通过数据线将求得的空中飞行目标的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 传送至用户终端。

6. 根据权利要求5所述的一种基于GNSS-R空中飞行目标实时探测装置的探测方法,其特征在于:步骤二中所述的“实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别”包括以下步骤:

第一步,启动外围设备,从而可获取 t 时刻空中飞行目标的经纬度坐标 $P(\text{Lat}P, \text{Lon}P)$ 和高度 H ;

第二步,由经纬度坐标 $P(\text{Lat}P, \text{Lon}P)$ 和高度 H ,求得此时目标到探测区域平面中心的距离 d 和探测圆区域平面的半径 r ;

第三步,若 $d > r$,则可知飞行目标处于该左旋天线的探测区域外,反之,则飞行目标处于该左旋天线的探测区域内。

7. 根据权利要求5所述的一种基于GNSS-R空中飞行目标实时探测装置的探测方法,其特征在于:对于每个反射信号接收模块,能设置 $1 \sim 4$ 根左旋天线,从而增加有效信号的接收率,对于每个反射信号接收模块只需满足目标处于任一左旋天线的探测区域即认为目标处于该模块的探测区域,将所有反射信号接收模块接收到有效信号与直射信号进行后续数据处理,获得复数个目标位置坐标,再对所有结果进行拟合,获得的最佳值作为最终空中飞行目标的位置坐标。

8. 根据权利要求5所述的一种基于GNSS-R空中飞行目标实时探测装置的探测方法,其特征在于:通过FPGA多通道专用相关器的多条直射通道完成对不同卫星直射信号的捕获与跟踪,再对直射通道与反射通道的信号进行协同处理,最终分别计算对应的目标位置坐标,再对所有结果进行拟合,获得的最佳值作为最终空中飞行目标的位置坐标。

一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置及探测方法

技术领域

[0001] 本发明属于空中飞行目标探测技术领域,具体涉及一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置及探测方法。

背景技术

[0002] 无源雷达是指本身不发送电磁波信号,利用目标辐射的电磁波信号对目标进行探测和跟踪的雷达。目标辐射的电磁波信号可能是目标自身发射的信号,也可能是经目标反射后的第三方电磁信号。与传统雷达技术相比,无源雷达具有反隐身、反低空袭击、抗侦察、抗干扰等优势,成为雷达研究的一个重要领域。

[0003] GNSS(Global Navigation Satellite System) 全球卫星导航系统发射的信号属于第三方电磁信号,具有高精度、全天时、全天候的优势,对军事部门、民用部门以及科研部门有着重要应用。然而,利用 GNSS 反射信号对空中飞行目标进行探测和识别,在国际上仍然处于探索阶段。

[0004] 利用 GNSS 反射信号对目标进行空中飞行目标的探测,需要接收机对 GNSS 直射信号和反射信号进行接收和处理。由于信号传播环境的复杂性,使得接收机在接收飞行目标反射信号的期间,接收到许多无用的干扰反射信号,这些无效信号的接收无疑加大了精确探测飞行目标的难度。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于:基于上述缺陷,本发明提出一种基于 GNSS-R(Global Navigation Satellite System-Reflection) 空中飞行目标实时探测装置及探测方法。三个反射信号接收模块和直射信号接收模块分别架设在地面上相应的位置,其余各模块集成到一个长方体形状的机箱内。整个装置可实现信号实时监测、信号接收处理、空中飞行目标位置解算和位置数据传输一体化,提供一种信号实时监测方法,控制射频前端信号处理的开始和结束,大大减少了非目标反射信号的干扰,增加了有效反射信号的接收,使得空中飞行目标的探测效率更高,准确度更佳。

[0006] 本发明的技术方案是:

[0007] 1) 本发明是一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置,包括机箱,机箱内顺次连接的是实时监测模块、射频前端、AD 译码模块、FPGA 信号处理模块和空中飞行目标位置解算模块。机箱外置三个反射信号接收模块和一个直射信号接收模块,分别架设在地面上相应的位置,其中,每个反射信号接收模块设置 1 根左旋天线,直射信号接收模块设置 1 根右旋天线,通过数据线连接到机箱外壳专门设置的四个开口处,这些开口另一侧与射频前端相连。机箱外壳另设有两个开口,一个为电源接口,用以给该装置供电,另一个为数据输出接口,与用户终端相连,用以实时显示空中飞行目标位置。

[0008] 本发明的核心技术为 GNSS-R 遥感技术,三个反射信号接收模块和直射信号接收模块分别架设在地面上相应的位置,其余各模块集成到一个长方体形状的机箱内。整个装

置可实现信号实时监测、信号接收处理、空中飞行目标位置解算和位置数据传输一体化。

[0009] 该直射信号接收模块接收单颗 GNSS 卫星发射的直射信号,并存储到左旋天线临时存储单元,三个反射信号接收模块分别接收该卫星经目标反射后的反射信号,并存储到右旋天线临时存储单元;实时监测模块对空中飞行目标的位置进行判别,当空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内时,启动射频前端,对接收的直射信号和反射信号进行数据处理,否则,射频前端不进行任何操作,同时释放左旋天线临时存储单元和右旋天线临时存储单元中的数据,实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别;若空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内,启动射频前端,对接收到的三路反射信号和直射信号分别处理成模拟中频信号,并输入到 AD 译码模块;AD 译码模块将接收到的模拟中频信号进行采样和量化,将其转化为数字中频信号,并输入到 FPGA 信号处理模块;FPGA 信号处理模块对反射信号和直射信号所对应的数字中频信号进行协同处理,分别计算出三路反射信号相对于直射信号的时间延迟 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ,并输入到空中飞行目标位置解算模块;空中飞行目标位置解算模块对空中飞行目标的位置进行解算,得出该目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ,并通过数据线将结果传送至用户终端,实现实时探测。

[0010] 其中,优选方案为:

[0011] 所述机箱外部的三个反射信号接收模块和直射信号接收模块均为集成装置,其内部所含天线位置固定,不会出现零散掉落的情况。

[0012] 所述机箱为长方体形状,易于放置与搬运,外壳防水且不会对信号造成很大衰减。

[0013] 所述机箱外置模块与机箱可放置在同一外箱内,方便装置不使用时的存放。

[0014] 所述反射信号接收模块内的左旋天线与直射信号接收模块内的右旋天线的安置方式均为水平放置,天线方向图的轴线垂直于水平面,主瓣最大增益方向朝向天顶。

[0015] 2) 本发明一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置的探测方法,包括以下步骤:

[0016] 步骤一,直射信号接收模块接收单颗 GNSS 卫星发射的直射信号,并存储到左旋天线临时存储单元,三个反射信号接收模块分别接收该卫星经目标反射后的反射信号,并存储到右旋天线临时存储单元;

[0017] 步骤二,实时监测模块对空中飞行目标的位置进行判别,当空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内时,启动射频前端,对接收的直射信号和反射信号进行数据处理,否则,射频前端不进行任何操作,同时释放左旋天线临时存储单元和右旋天线临时存储单元中的数据,实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别;

[0018] 步骤三,若空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内,启动射频前端,对接收到的三路反射信号和直射信号分别处理成模拟中频信号;

[0019] 步骤四,AD 译码模块将接收到的模拟中频信号进行采样和量化,将其转化为数字中频信号;

[0020] 步骤五,FPGA 信号处理模块对反射信号和直射信号所对应的数字中频信号进行协同处理,分别计算出三路反射信号相对于直射信号的时间延迟 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ;

[0021] 步骤六,空中飞行目标位置解算模块对空中飞行目标的位置进行解算,得出该目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ;

[0022] 步骤七,通过数据线将求得的空中飞行目标的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 传送至用户终端。

[0023] 其中,步骤二中所述的“实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别”包括以下步骤:

[0024] 第一步,启动外围设备(该外围设备可以为软件,如“百度天眼”软件,也可以为硬件,市场中已有专门用于获取当前飞行目标信息的硬件设备),从而可获取 t 时刻空中飞行目标的经纬度坐标 $P(\text{Lat}P, \text{Lon}P)$ 和高度 H ;

[0025] 第二步,由经纬度坐标 $P(\text{Lat}P, \text{Lon}P)$ 和高度 H ,可求得此时目标到探测区域平面中心的距离 d 和探测圆区域平面的半径 r ;

[0026] 第三步,若 $d > r$,则可知飞行目标处于该左旋天线的探测区域外,反之,则飞行目标处于该左旋天线的探测区域内。

[0027] 需要注意的是,上述步骤仅是判别空中飞行目标是否处于某一根左旋天线探测范围内。由于本装置中架设有三个反射信号接收模块,故实时监测模块需要同时对此三个反射信号接收模块进行判别,若飞行目标均处于此三个反射信号接收模块的探测区域内,则可认为经目标反射的 GNSS 信号能够被三个反射信号接收模块接收,从而保证输入装置中的信号有效,以便后续数据处理后的输出结果真实有效。

[0028] 其中,对于每个反射信号接收模块,可设置 1~4 根左旋天线,从而增加有效信号的接收率。对于每个反射信号接收模块只需满足目标处于任一左旋天线的探测区域即可认为目标处于该模块的探测区域。将所有反射信号接收模块接收到有效信号与直射信号进行后续数据处理,获得若干个目标位置坐标,再对所有结果进行拟合,获得的最佳值作为最终空中飞行目标的位置坐标。

[0029] 其中,还可通过 FPGA 多通道专用相关器的多条直射通道完成对不同卫星直射信号的捕获与跟踪,再对直射通道与反射通道的信号进行协同处理,最终分别计算对应的目标位置坐标,再对所有结果进行拟合,获得的最佳值作为最终空中飞行目标的位置坐标。

[0030] 以上所述的两种优选方案,均能优化空中飞行目标的位置坐标,从而使得输出结果更准确,更真实有效。

[0031] 需要说明的是,本发明目的中所述的射频前端、AD 译码模块、FPGA 信号处理模块的硬件结构在现有技术中均已公开,属于本领域技术人员公知技术,在此不再赘述。

[0032] 本发明的优点在于:

[0033] (1) 该探测装置只需搜索单颗 GNSS 可见星,对其进行信号接收,易于实现,降低了发现空中飞行目标的难度。

[0034] (2) 该探测装置引入实时探测模块,能够实时对飞行目标是否处于探测范围进行判别。当目标同时处于三个反射信号接收模块的探测区域时,才会启动射频前端及后续的数据处理,当目标不满足此条件,则终止射频前端的数据接收。这样大大增加了对飞行目标探测的准确度,提高了硬件接收机的使用效率,具有很强的实用性。

[0035] (3) 在飞行目标位置解算模块,该探测装置通过不同反射路径的时间延迟计算飞行目标位置,过程直观,计算简便。

[0036] (4) 该探测装置的探测属于无源雷达探测,隐蔽性较强,实用性较佳。

附图说明

[0037] 图 1 空中飞行目标实时探测系统示意图

[0038] 图 2 空中飞行目标实时探测装置结构图

[0039] 图 3 探测装置工作流程图

[0040] 图 4 实时监测模块工作流程图

[0041] 图 5(a) 飞行目标处于探测区域

[0042] 图 5(b) 飞行目标处于探测区域外

[0043] 图中符号说明如下：

[0044] 图 1 中： S_t 代表 GNSS 发射卫星； T_0 代表空中飞行目标； L_1 代表第一个反射信号接收模块； L_2 代表第二个反射信号接收模块； L_3 代表第三个反射信号接收模块； R_1 直射信号接收模块； P_{t0} 代表 S_t 到 T_0 的路径； P_{01} 代表 T_0 到 L_1 的路径； P_{02} 代表 T_0 到 L_2 的路径； P_{03} 代表 T_0 到 L_3 的路径； P_{t1} 代表 S_t 到 R_1 的路径。

[0045] 图 2 中：1～3、反射信号接收模块数据输入接口；4、直射信号接收模块数据输入接口；5、数据输出接口；6、电源输入接口；7、机箱。

[0046] 图 5(a) 中： O 为地球地心； M' 为左旋接收天线在地面上的位置； α 为 M' 的波束角； P 为空中飞行目标， h 为 P 距离地面高度； AB 为平行于水平面的 M' 探测区域的直径，且 AB 经过 P ； M 为 AB 的中点，则 M 、 M' 和 O 三点共线，且垂直于地面； r 为直径 AB 所对应的半径长； N 为 P 、 O 连线与地面的交点； H 为 P 的飞行高度； N' 为 A 、 O 连线与地面的交点； R 为地球半径； g 代表地面。

[0047] 图 5(b) 中符号的定义和图 5(a) 中定义一致，图 5(a) 和图 5(b) 的区别在于：图 5(a) 飞机处于左旋天线探测范围内，图 5(b) 飞机处于左旋天线探测范围外。

[0048] 具体实施

[0049] 下面结合附图对本发明实施例做进一步描述：

[0050] 实施例 1：

[0051] 图 1 所示为空中飞行目标实时探测系统示意图，该探测系统包括单颗 GNSS 卫星、空中飞行目标和此探测装置。单颗 GNSS 卫星发射的信号，有两种形式到达接收机。一种是直接到达，称为直接信号，由右旋天线接收；一种是经由目标反射后到达，称为反射信号，由左旋天线接收。

[0052] 如图 2 所示，本发明所述为一种基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置，包括机箱 7，机箱 7 内顺次连接的是实时监测模块、射频前端、AD 译码模块、FPGA 信号处理模块和空中飞行目标位置解算模块。机箱外置三个反射信号接收模块和一个直射信号接收模块，分别架设在地面上相应的位置，其中，每个反射信号接收模块设计 1 根左旋天线，直射信号接收模块设计 1 根右旋天线，通过数据线连接到机箱 7 外壳专门设置的四个开口 1-4 处，这些开口另一侧与射频前端相连。机箱 7 外壳另设有两个开口 5、6，一个为电源接口 6，用以给该装置供电，另一个为数据输出接口 5，与用户终端相连，用以实时显示空中飞行目标位置。

[0053] 其中，所述机箱 7 外部的三个反射信号接收模块和直射信号接收模块均为集成装置，其内部所含天线位置固定，不会出现零散掉落的情况；机箱 7 为长方体形状，易于放置与搬运，外壳防水且不会对信号造成很大衰减；机箱 7 外置模块与机箱 7 可放置在同一外箱

内,方便装置不使用时的存放;反射信号接收模块内的左旋天线与直射信号接收模块内的右旋天线的安置方式均为水平放置,天线方向图的轴线垂直于水平面,主瓣最大增益方向朝向天顶。

[0054] 本发明的核心技术为 GNSS-R 遥感技术,三个反射信号接收模块和直射信号接收模块分别架设在地面上相应的位置,其余各模块集成到一个长方体形状的机箱 7 内。整个装置可实现信号实时监测、信号接收处理、空中飞行目标位置解算和位置数据传输一体化。

[0055] 直射信号接收模块接收单颗 GNSS 卫星发射的直射信号,并存储到左旋天线临时存储单元,三个反射信号接收模块分别接收该卫星经目标反射后的反射信号,并存储到右旋天线临时存储单元;实时监测模块对空中飞行目标的位置进行判别,当空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内时,启动射频前端,对接收的直射信号和反射信号进行数据处理,否则,射频前端不进行任何操作,同时释放左旋天线临时存储单元和右旋天线临时存储单元中的数据,实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别;若空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内,启动射频前端,对接收到的三路反射信号和直射信号分别处理成模拟中频信号,并输入到 AD 译码模块;AD 译码模块将接收到的模拟中频信号进行采样和量化,将其转化为数字中频信号,并输入到 FPGA 信号处理模块;FPGA 信号处理模块对反射信号和直射信号所对应的数字中频信号进行协同处理,分别计算出三路反射信号相对于直射信号的时间延迟 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ,并输入到空中飞行目标位置解算模块;空中飞行目标位置解算模块对空中飞行目标的位置进行解算,得出该目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ,并通过数据线将结果传送至用户终端,实现实时探测。

[0056] 实施例 2:

[0057] 如图 3 所示,本实施例为实施例 1 所述基于 GNSS-R 空中飞行目标实时探测装置的探测方法,包括以下步骤:

[0058] 步骤一,直射信号接收模块接收单颗 GNSS 卫星发射的直射信号,并存储到左旋天线临时存储单元,三个反射信号接收模块分别接收该卫星经目标反射后的反射信号,并存储到右旋天线临时存储单元;

[0059] 步骤二,实时监测模块对空中飞行目标的位置进行判别,当空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内时,启动射频前端,对接收的直射信号和反射信号进行数据处理,否则,射频前端不进行任何操作,同时释放左旋天线临时存储单元和右旋天线临时存储单元中的数据,实时监测模块进行下一单位时刻的空中飞行目标的位置判别;

[0060] 步骤三,若空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块的探测区域内,启动射频前端,对接收到的三路反射信号和直射信号分别处理成模拟中频信号;

[0061] 步骤四,AD 译码模块将接收到的模拟中频信号进行采样和量化,将其转化为数字中频信号;

[0062] 步骤五,FPGA 信号处理模块对反射信号和直射信号所对应的数字中频信号进行协同处理,分别计算出三路反射信号相对于直射信号的时间延迟 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ;

[0063] 步骤六,空中飞行目标位置解算模块对空中飞行目标的位置进行解算,得出该目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ;

[0064] 步骤七,通过数据线将求得的空中飞行目标的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 传送至用户终

端。

[0065] 如图 4 所示,上述实时监测模块进行空中飞行目标位置判别的算法包括以下步骤:

[0066] 第一步,启动外围设备(该外围设备可以为软件,如“百度天眼”软件,也可以为硬件,市场中已有专门用于获取当前飞行目标信息的硬件设备),从而可获取 t 时刻空中飞行目标的经纬度坐标 P(LatP, LonP) 和高度 H;

[0067] 第二步,由经纬度坐标 P(LatP, LonP) 和高度 H,可求得此时目标到探测区域平面中心的距离 d 和探测圆区域平面的半径 r;

[0068] 第三步,若 $d > r$,则可知飞行目标处于该左旋天线的探测区域外,反之,则飞行目标处于该左旋天线的探测区域内。

[0069] 需要注意的是,上述步骤仅是判别空中飞行目标是否处于某一根左旋天线探测范围内。由于本装置中架设有三个反射信号接收模块,故实时监测模块需要同时对此三个反射信号接收模块进行判别,若飞行目标均处于此三个反射信号接收模块的探测区域内,则可认为经目标反射的 GNSS 信号能够被三个反射信号接收模块接收,从而保证输入装置中的信号有效,以便后续数据处理后的输出结果真实有效。

[0070] 上述 d 和 r 的计算方法为:

[0071] 如图 5(a)、(b) 所示,每根左旋天线的安置方式为水平放置,天线方向图的轴线垂直于水平面,其主瓣最大增益方向朝向天顶,其探测区域为一个圆锥区域,图 5(a) 为飞行目标处于探测区域内的情况,图 5(b) 为飞行目标处于探测区域外的情况。

[0072] 对图 5(a) 来说,图中 M' 代表左旋天线,其经纬度坐标在架设时已知为 (LatRec, LonRec); α 代表该左旋天线的波束角;M 为距地面高度为 h 的探测圆平面的圆心,由数学知识可知 M 的经纬度坐标与 M' 相同,为 (LatRec, LonRec);P 代表飞行目标,其高度 H 及经纬度坐标 (LatP, LonP) 均可由图 4 中的外围辅助设备可得;P 与地心 O 的,连线与地面交于 N,由图可知 N 的经纬度与 P 相同,为 (LatP, LonP),P、O、M 三点的夹角为 θ ;r 为该圆平面的半径;AB 为该圆平面经过 P 点的直径,A 与地心 O 的连线与地面交于 N';R 为地球半径。

[0073] 图 5(a) 与图 5(b) 分析方法一致,下面以图 5(a) 为例进行数据计算说明。

[0074] 在图 5(a) 中,由于 N、M' 经纬度已知,则根据两点坐标公式可求得 N、M' 之间的球面距离为:

$$D = \arccos(\cos(\text{LatP}) \cos(\text{LatRec}) \cos(\text{LonRec} - \text{LonP}) + \sin(\text{LatP}) \sin(\text{LatRec})) * R \quad (1)$$

[0077] 则其所对应的圆心角 θ 为:

$$\theta = \arccos(\cos(\text{LatP}) \cos(\text{LatRec}) \cos(\text{LonRec} - \text{LonP}) + \sin(\text{LatP}) \sin(\text{LatRec})) \quad (2)$$

[0080] 在 Rt ΔOMP 中,空中飞行目标 P 到探测区域平面中心 M 的距离 d 可求为:

$$d = PM = OP \cdot \sin \theta = (H+R) \sin \theta \quad (3)$$

[0082] 联立公式 (2) 和 (3),可求得:

$$d = (H+R) \sin(\arccos(\cos(\text{LatP}) \cos(\text{LatRec}) \cos(\text{LonRec} - \text{LonP}) + \sin(\text{LatP}) \sin(\text{LatRec}))) \quad (4)$$

[0085] 同样在 Rt ΔOMP 中, O、M 之间的距离可求为:

$$[0086] \quad OM = OP \cdot \cos \theta = (H+R) \cos \theta \quad (5)$$

[0087] 则圆形探测区域 $\odot M$ 距离地面的高度 h 可求为:

$$[0088] \quad h = OM - OM' = (H+R) \cos \theta - R \quad (6)$$

[0089] 在 Rt $\Delta AMM'$ 中, 探测圆区域半径 r 可求为:

$$[0090] \quad r = M'M \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = h \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = ((H+R) \cos \theta - R) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

[0091] 若 $d > r$, 则判别飞行目标处于该左旋天线的探测区域外, 即为图 5(b) 所示情况; 反之, 则判别飞行目标处于探测区域内, 即为图 5(a) 所示情况。

[0092] 对于每个反射信号接收模块, 若飞行目标至少处于其中一根左旋天线的探测区域内, 则认为飞行目标处于该反射信号接收模块的探测区域内。当实时探测模块判别空中飞行目标均处于三个反射信号接收模块探测范围内时, 则启动射频前端及硬件接收机主板进行后续数据处理工作, 最终输出三路反射信号相对于直射信号的延迟时间 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 。以此建立空中飞行目标定位模型, 计算飞行目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 。

[0093] 在空中飞行目标定位模型中, 建立反射信号与直射信号的路径差公式如下:

$$[0094] \quad \begin{aligned} (\Delta t_1 - \Delta t_2) \cdot c = & \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2 + (Z_0 - Z_1)^2} \\ & - \sqrt{(X_0 - X_2)^2 + (Y_0 - Y_2)^2 + (Z_0 - Z_2)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

$$[0095] \quad \begin{aligned} (\Delta t_1 - \Delta t_3) \cdot c = & \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2 + (Z_0 - Z_1)^2} \\ & - \sqrt{(X_0 - X_3)^2 + (Y_0 - Y_3)^2 + (Z_0 - Z_3)^2} \end{aligned} \quad (9)$$

$$[0096] \quad \begin{aligned} (\Delta t_2 - \Delta t_3) \cdot c = & \sqrt{(X_0 - X_2)^2 + (Y_0 - Y_2)^2 + (Z_0 - Z_2)^2} \\ & - \sqrt{(X_0 - X_3)^2 + (Y_0 - Y_3)^2 + (Z_0 - Z_3)^2} \end{aligned} \quad (10)$$

[0097] 式中, c 为光速, (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) , (X_3, Y_3, Z_3) 为三个反射信号接收模块的位置, 联立公式 (8)、(9) 和 (10), 即可求得飞行目标在地心地固坐标系下的位置坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 。

[0098] 需要说明的是, 本发明目的中所述的射频前端、AD 译码模块、FPGA 信号处理模块的硬件结构在现有技术中均已公开, 属于本领域技术人员公知技术, 在此不再赘述。

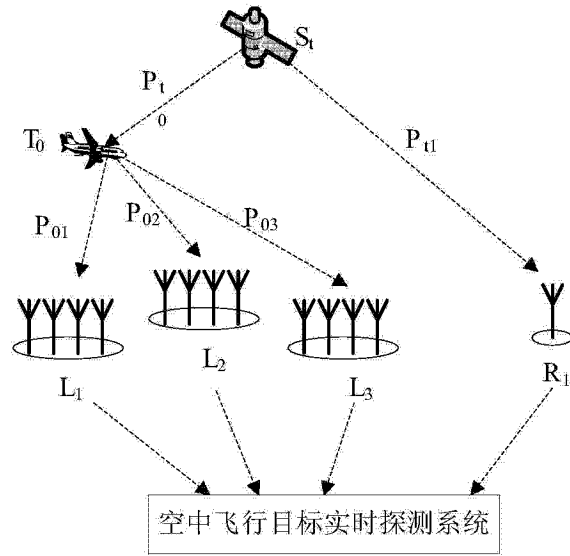


图 1

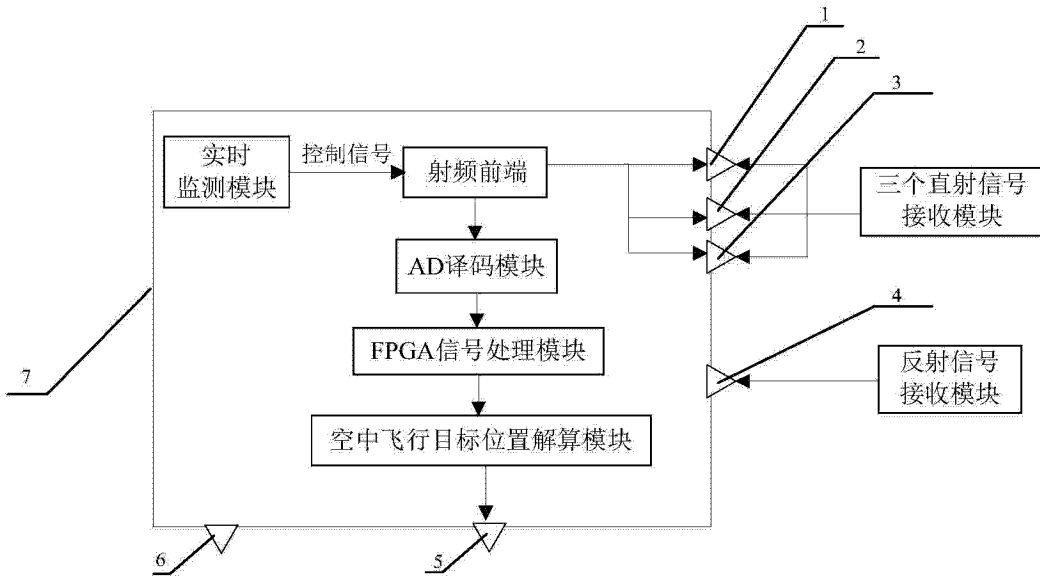


图 2

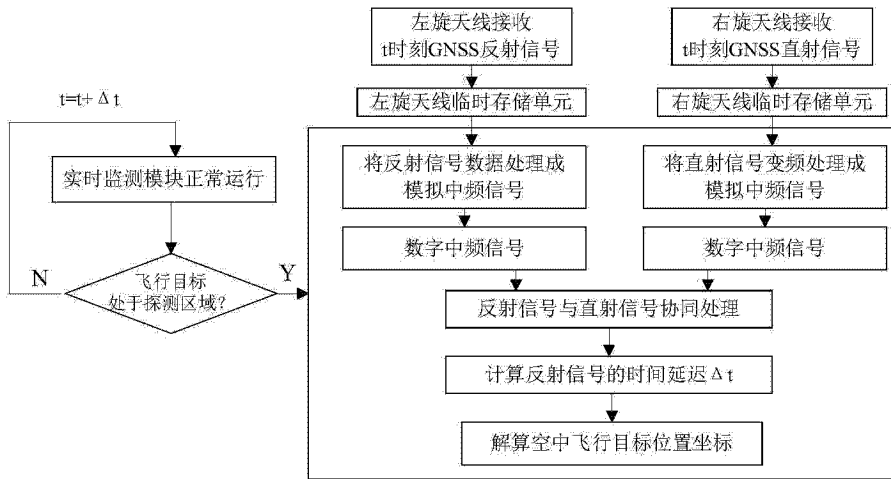


图 3

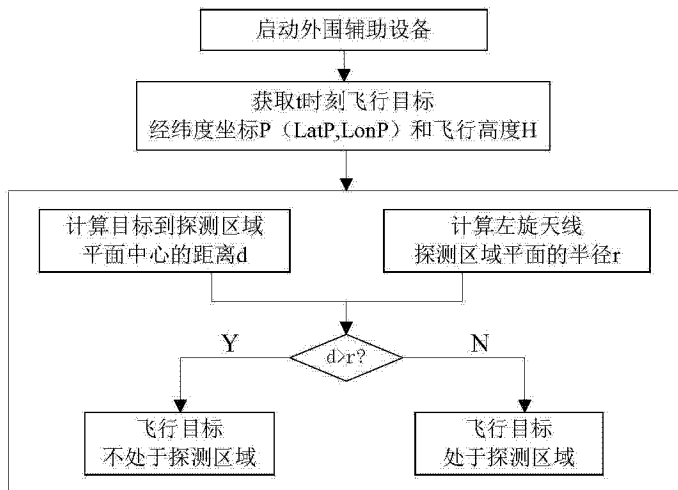


图 4

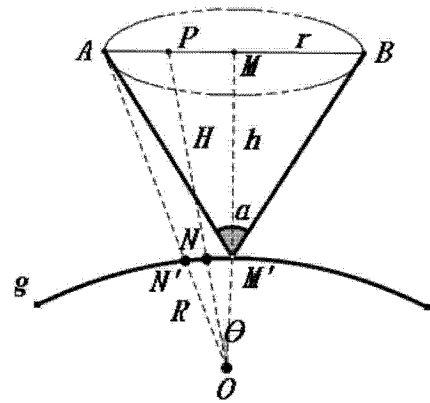


图 5(a)

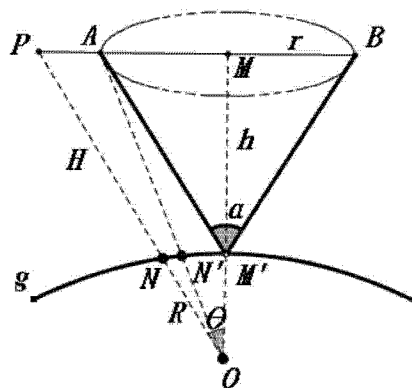


图 5(b)