



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115065401 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 23

(21) 申请号 202210882220.6

H04W 4/02 (2018.01)

(22) 申请日 2022.07.26

H04W 4/42 (2018.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

B63B 22/00 (2006.01)

申请公布号 CN 115065401 A

H01Q 1/34 (2006.01)

H01Q 3/08 (2006.01)

(43) 申请公布日 2022.09.16

H01Q 21/06 (2006.01)

(73) 专利权人 中国科学院国家空间科学中心
地址 100190 北京市海淀区中关村南二条1号

(56) 对比文件

RU 2018121199 A, 2019.12.09

CN 111010224 A, 2020.04.14

WO 2020244048 A1, 2020.12.10

CN 112649817 A, 2021.04.13

(72) 发明人 梁显锋 王晋阳 刘才瑞 胡一皓
薛晟

审查员 张枫

(74) 专利代理机构 北京方安思达知识产权代理有限公司 11472
专利代理师 陈琳琳 张红生

(51) Int. Cl.

H04B 7/185 (2006.01)

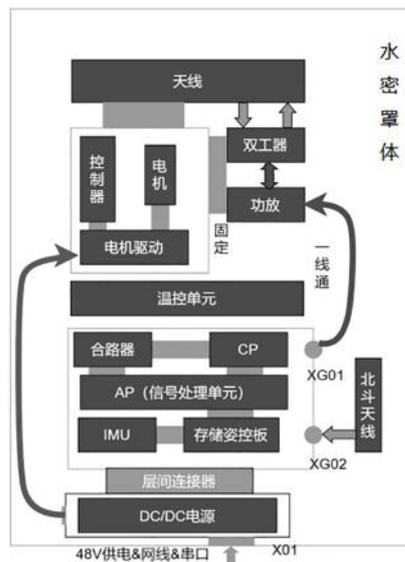
权利要求书3页 说明书10页 附图13页

(54) 发明名称

一种适用于UUV的微型卫星通信浮标及其搜星、通信方法

(57) 摘要

本发明涉及一种适用于UUV的微型卫星通信浮标及其搜星、通信方法,该浮标搭载在UUV的顶端,利用天通一号卫星实现与船端之间的双向数据通信;浮标包括射频前端、伺服控制系统和应用控制系统;伺服控制系统包括北斗模块、惯性测量单元、存储姿控板和伺服控制器;射频前端用于收发信号;应用控制系统包括AP板和CP模块;CP模块将信号强度发至AP板,并由AP板与天线姿态组帧后发至存储姿控板;北斗模块将北斗定位信息传到存储姿控板;惯性测量单元将惯导数据传到存储姿控板;存储姿控板计算天线需要转动的角度;伺服控制器调整天线成功对星后,浮标将航行器的数据发送至卫星,由卫星发送至船端;同时接收来自卫星的控制指令,实现与船端的双向数据通信。



1. 一种适用于UUV的微小型卫星通信浮标,所述浮标搭载在UUV无人水下航行器的顶端,利用天通一号卫星实现与船端之间的双向数据通信,其特征在于,所述浮标包括:射频前端、伺服控制系统(3)和应用控制系统(4);

所述射频前端,采用阵列天线(2)和功放模块、双工器集成化设计,用于搜索和跟踪天通一号卫星信号,实现浮标和天通一号卫星之间的收发通信功能;

所述应用控制系统(4),包括信号处理单元AP板和通信处理器CP模块;所述伺服控制系统(3),包括北斗模块、惯性测量单元、存储姿控板和伺服控制器;

所述CP模块,采用集成基带芯片作为通信处理器,用于接收天通一号卫星发送的信号强度数据,并将信号强度数据发送至AP板;所述AP板,用于接收无人水下航行器数据中心发送的天线姿态数据,所述姿态数据包括方位角和俯仰角,并与信号强度数据重新组帧,发送至存储姿控板;

所述北斗模块,用于接收北斗卫星发送的北斗实时定位信息,并传输到存储姿控板;

所述惯性测量单元,采用MEMS加速计和陀螺仪获取惯导数据,并传输到存储姿控板;

所述存储姿控板,采用单片机和数字稳定方式,根据接收到的信息,计算出天线需要转动的方位角和俯仰角,并发送至伺服控制器,同时向AP板反馈实时阵列天线(2)的状态信息;

所述伺服控制器,根据需要转动的方位角和俯仰角调整阵列天线(2)的方位角及俯仰角,使阵列天线(2)成功对星;

所述浮标在阵列天线(2)成功对星后,将无人水下航行器传来的视频数据发送至AP板,AP板将数据传送至CP模块,再由阵列天线(2)发送至天通一号卫星,由天通一号卫星发送至船端;同时,阵列天线(2)接收天通一号卫星发送的来自船端的控制指令,从而实现浮标端与船端之间的双向数据通信;

应用控制系统的软件基于Android系统实现;

所述Android系统的底层包含Linux内核及HAL层,其中,Linux内核中包含LCD 驱动、摄像头驱动、音频驱动和电源管理单元,以及重启驱动Reset driver、USB 和HUB硬件接口;HAL层提供一个统一查询硬件设备的接口,用于实现数据加解密流程、卫星通信模块管理和天线控制;

所述Android系统的上层为应用层,包括与用户交互的核心应用程序及显示界面的资源文件,在核心原生应用基础上添加协议转化和系统裁剪,实现接口协议转化和系统状态信息传递;

所述Android系统的中间层包含核心类库Libraries和运行环境Runtime,以及上层的框架API Frameworks;核心类库包括Webkit系统、OpenMAX AL系统、Libc系统和SSL系统,提供基本C语言库和传输协议;API Frameworks包括窗口管理、内容管理和通话管理服务,并提供相应的API接口,实现API接口方面的服务;

所述阵列天线(2)采用单振子天线(6)组成 2×2 平面阵列的方式,每个单振子天线(6)由四根支撑柱(23)支撑;四个单振子天线(6)固定在天线板(22)上组成阵列;阵列天线(2)采用功分馈电一分四的网络,接收和发射天线极化方式均为左旋圆极化,收发的波束指向天通一号卫星,波束扫面范围为 $\pm 65^\circ$;

阵列天线(2)通过双工器,将发射和接收讯号相隔离,连接功放模块;功放模块综合了S

频段移动卫星通信的发射、接收链路,同时兼具北斗信号B3频段的1268.52MHz和B1频段的1559MHz-1563MHz接收链路功能;功放模块包括发射通道和接收通道;其中,发射通道实现将发射的小信号放大到10W的大信号输出,接收通道实现小信号的接收功能;发射通道内部集成功率放大器、增益放大器、腔体滤波器以及四功分器,用于通路驱动放大,功率放大和功放失配保护;接收通路集成腔体滤波器、低噪声放大器以及四功分器,用于低噪声放大、通路信号放大、接收北斗B1和B3信号合路以及+5V馈电;发射通道增益可调范围为0.5~31.5dB,接收通道增益大于32dB;

所述浮标端与天通一号卫星之间双向通信的工作频段为S波段,信息码速率最大为384kbps;浮标端阵列天线发送数据至天通一号卫星的工作频率为1980~2010MHz,浮标端阵列天线接收来自天通一号卫星发送的控制指令的工作频率为2170~2200MHz。

2. 根据权利要求1所述的适用于UUV的微型卫星通信浮标,其特征在于,所述射频前端,设置在浮标的顶层;所述阵列天线(2)设置在射频前端的顶端,与双工器相连,并通过功放模块与应用控制系统相连,对阵列天线(2)收发的信号进行传输;

所述伺服控制系统(3),设置在射频前端的下方,还包括:电机、电机驱动器和传动齿轮;电机包括:俯仰电机(9)和方位轴电机(13);电机驱动器包括俯仰电机驱动器(19)和方位轴电机驱动器(16);传动齿轮包括:方位轴齿轮(12)和俯仰运动主从齿轮;所述伺服控制器接收到需要调整的角度后,通过电机驱动器驱动电机使运动齿轮传动,进而调整阵列天线(2)的方位角及俯仰角;同时,惯性测量单元及北斗模块感知无人水下航行器的扰动,并修正或补偿无人水下航行器由于扰动产生的影响,实现天线波束的稳定;

所述应用控制系统(4),设置在伺服控制系统(3)的下方;所述AP板、CP模块、存储姿控板和惯性测量单元集成为一个整体,封装在金属盒体中;盒体设置有外部接口;外部接口分别与功放模块和北斗模块相连,分别用于实现与天通一号卫星之间的双向数据通信,和获取北斗模块接收到的实时北斗卫星定位信息。

3. 根据权利要求2所述的适用于UUV的微型卫星通信浮标,其特征在于,所述浮标还包括:电源部分(5);所述电源部分(5),设置在浮标的底层,包括一个DC/DC转换器,与应用控制系统(4)通过层间连接器相连;所述电源部分(5)经过DC/DC转换器对无人水下航行器传来的电压源进行转化,为AP板供电;所述AP板再分别为射频前端、CP模块、存储姿控板及伺服系统供电。

4. 根据权利要求1-3之一所述的适用于UUV的微型卫星通信浮标,其特征在于,所述浮标还包括:水密舱;所述水密舱顶部为天线罩,所述天线罩为玻璃纤维半球,设有透波部分和非透波部分;所述透波部分罩体为玻璃钢材料,非透波部分罩体为碳纤维材料;所述水密舱底部为钛合金密封件;舱底设置有电气接口、调试接口和吊装接口,用于连接供电线、网线及串口线。

5. 一种适用于UUV的微型卫星通信浮标的搜星方法,所述搜星方法基于权利要求1-4之一所述浮标实现,其特征在于,所述浮标初始化完成后,进入天线寻星模式;存储姿控板控制阵列天线收发的天线波束俯仰角为根据天通一号卫星信息解算的参考俯仰角度,并在方位角度上水平旋转360°,解算接收到的AP板发送的天线接收信号强度AGC;当解算结果大于AGC阈值时,记录下信号最大值对应的天线位置,并将天线工作模式改为跟踪模式;当解算结果小于AGC阈值时,捕捉过程将一直保持;

当捕获到天通一号卫星目标后,记录天通一号卫星目标的地理坐标,当平台姿态变化时,根据惯性测量单元及北斗模块反馈的信息,修正天线的位置,使天线始终指向天通一号卫星目标的位置;同时,存储姿控板进行实时动态的圆锥扫描,具体为:在信号最大的位置 2° 附近始终寻找最大信号值,当寻找到一个修正周期内新的最大信号值时,周期性更新最大信号值和对应的位置信息,并调整天线围绕最新的最大信号值继续圆锥扫描,从而完成实时的天通一号卫星跟踪。

6. 根据权利要求5所述的适用于UUV的微型卫星通信浮标的搜星方法,其特征在于,所述阵列天线在已跟踪状态下受到外界环境遮挡干扰时,会出现丢星情况;当AGC当前值突然出现小于阈值的情况,进入丢星确认状态,此期间依旧保持圆锥扫描状态,状态持续30s,30s内如果出现AGC值大于阈值的情况,状态解除,继续跟踪天通一号卫星;如果30s内AGC值始终小于阈值,则丢星确认,重新进入天线寻星模式。

7. 一种适用于UUV的微型卫星通信浮标的通信方法,所述通信方法基于权利要求1-4之一所述浮标实现,其特征在于,所述通信方法包括:

所述浮标和船端通过控制计算机向其对应的通信设备发送控制指令来配置与之通信的对端SIM卡号以及设置视频压缩率;之后船端和浮标端的应用控制系统向各自的控制计算机反馈控制返回指令;双方均配置完成后端对端通信建立、互相收发数据,包括:船端向浮标端发送指令、浮标端向船端发送视频数据,具体地,

所述浮标端将来自无人水下航行器的数据传送给浮标端的CP模块和AP板,并通过阵列天线发送给天通一号卫星,再通过天通一号卫星发送给船端的通信设备,船端通信设备转发数据给船基控制中心;船基控制中心发送数据或指令给船端的通信设备,船端通过天通一号卫星发送数据或指令给浮标端,浮标端通过阵列天线接收后传输到AP板,AP板将数据转发至CP模块,并根据收到的指令执行相应操作;

当确定视频源和视频压缩率后,浮标端AP板将来自对应无人水下航行器的视频数据通过天通一号卫星发送至船基控制中心;浮标端AP板收到船基控制中心发送的视频模式确认后,通过网口给视频编码板发送命令更改视频传输模式,视频传输模式有标清视频、高清视频、标清图片传输三种。

一种适用于UUV的微型卫星通信浮标及其搜星、通信方法

技术领域

[0001] 本发明涉及海上浮标及卫星中继通信领域,特别涉及一种适用于UUV的微型卫星通信浮标及其搜星、通信方法,更具体地,涉及一种基于天通一号卫星的适用于深远海无人航行器的微型卫星通信浮标及其搜星、通信方法。

背景技术

[0002] 随着陆地资源逐步消耗殆尽,海洋在国家经济发展格局中的作用更加重要。在“海洋强国”发展战略指导下,我国经济已逐步发展成为高度依赖海洋的外向型经济。

[0003] 海洋监测浮标是目前最常用的海洋监测手段,我国早在20世纪60年代就已经开始了对海洋浮标系统的研究。目前的浮标技术已经逐渐成熟。成功布放的浮标包有HX1和HX2海啸浮标、白龙浮标、南浮1号等。

[0004] 随着海洋监测技术的发展,海洋装备获取的数据量也在不断增长,如何将远海监测到的大量有效数据传输到岸基站进行分析处理,以获取实时的准确的海洋监测数据,成为了亟待解决的问题。海洋浮标的数据传输方式主要包括水声通信、无线通信、卫星通信等。水声通信和无线通信技术传输数据率低且仅能保证有限距离通信,限制了海洋监测网络的能力和发展。近年来,随着卫星技术的发展,对海洋数据的监测也有了新的发展思路。卫星通信可以使用多颗卫星组网,能够实现广域无缝覆盖的高速率实时通信。

[0005] 目前常用于浮标数据转发的卫星中继系统有法国的Argos系统、美国的铱星系统以及我国的北斗卫星系统等等,通信速率比较低。随着2016年,我国发射了首颗移动通信卫星“天通一号”01星,能支持最低1.2kbps最高384kbps的数据业务,同时还具备可定制、高可靠性、以及费用较低等优势,成为了海洋浮标与船基站之间数据中继通信的更优选择。

[0006] 而受限于平台的资源,浮标端的设计需满足低功耗和小型化;同时受限于海面复杂的海况,如何确保五级海况下浮标端和卫星能保持稳定的双向通信也是需要解决的问题。基于上述背景,本发明给出了一种小型浮标的设计与实现。浮标端和船端通信终端利用天通一号卫星作为卫星信道,完成双向远程数据中继通信任务。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于克服浮标端和卫星不能保持稳定的双向通信导致浮标端和船端通信终端不可靠的问题,为达到上述目的,本发明研制了一种基于天通一号的S频段小型浮标,搭载在无人水下航行器UUV(Unmanned Underwater Vehicle)的顶端,利用天通一号卫星实现海面浮标端到船端间384kb/s速率双向数据通信,实现了海面浮标端与船端之间稳定可靠的双向通信,完成将浮标采集的海洋监测数据传输到船端进行分析处理的功能。

[0008] 本发明提出了一种适用于UUV的微型卫星通信浮标,所述浮标搭载在UUV无人水下航行器的顶端,利用天通一号卫星实现与船端之间的双向数据通信,所述浮标包括:射频前端、伺服控制系统3和应用控制系统4;

[0009] 所述射频前端,采用阵列天线2和功率放大器、双工器等集成化设计,用于搜索和

跟踪卫星信号,实现浮标和卫星之间的收发通信功能;

[0010] 所述应用控制系统4,包括信号处理单元AP板和通信处理器CP模块;所述伺服控制系统3,包括北斗模块、惯性测量单元、存储姿控板和伺服控制器;

[0011] 所述CP模块,采用集成基带芯片作为通信处理器,用于接收天通一号卫星发送的信号强度数据,并将信号强度数据发送至AP板;所述AP板,用于接收航行器数据中心发送的天线姿态数据,所述姿态数据包括方位角和俯仰角,并与信号强度数据重新组帧,发送至存储姿控板;

[0012] 所述北斗模块,用于接收北斗卫星发送的北斗实时定位信息,并传输到存储姿控板;

[0013] 所述惯性测量单元,所述惯性测量单元,采用MEMS (Micro-Electro-Mechanical System,微机电系统)加速计和陀螺仪获取惯导数据,并传输到存储姿控板;

[0014] 所述存储姿控板,采用单片机和数字稳定方式,根据接收到的信息,计算出天线需要转动的方位角和俯仰角,并发送至伺服控制器,同时向AP板反馈实时阵列天线(2)的状态信息;

[0015] 所述伺服控制器,根据需要转动的方位角和俯仰角调整阵列天线2的方位角及俯仰角,使阵列天线2成功对星;

[0016] 所述浮标在阵列天线2成功对星后,将航行器传来的视频数据发送至AP板,AP板将数据传送至CP模块,再由阵列天线2发送至卫星,由卫星发送至船端;同时,阵列天线2接收卫星发送的来自船端的控制指令,从而实现浮标端与船端之间的双向数据通信。

[0017] 作为上述技术方案的改进之一,所述射频前端,设置在浮标的顶层;所述阵列天线2设置在射频前端的顶端,与双工器相连,并通过功率放大器与应用控制系统相连,对阵列天线2收发的信号进行传输;

[0018] 所述伺服控制系统3,设置在射频前端的下方,还包括:电机、电机驱动器和传动齿轮;电机包括:俯仰电机9和方位轴电机13;电机驱动器包括俯仰电机驱动器19和方位轴电机驱动器16;传动齿轮包括:方位轴齿轮12和俯仰运动主从齿轮;所述伺服控制器接收到需要调整的角度后,通过电机驱动器驱动电机使运动齿轮传动,进而调整阵列天线2的方位角及俯仰角;同时,惯性测量单元及北斗模块感知航行器的扰动,并修正或补偿航行器由于扰动产生的影响,实现天线波束的稳定;

[0019] 所述应用控制系统4,设置在伺服控制系统3的下方;所述AP板、CP模块、存储姿控板和惯性测量单元集成为一个整体,封装在金属盒体中;盒体设置有外部接口;接口分别与功率放大器和北斗模块相连,分别用于实现与天通一号卫星之间的双向数据通信,和获取北斗模块接收到的实时卫星定位信息。

[0020] 作为上述技术方案的改进之一,所述阵列天线2采用单振子天线6组成 2×2 平面阵列的方式,每个单振子天线6由四根支撑柱23支撑;四个单振子天线6固定在天线板22上组成阵列;阵列天线2采用功分馈电一分四的网络,接收和发射天线极化方式均为左旋圆极化,收发的波束指向天通一号卫星,波束扫面范围为 $\pm 65^\circ$ 。

[0021] 作为上述技术方案的改进之一,所述浮标还包括:电源部分5;所述电源部分5,设置在浮标的底层,包括一个DC/DC转换器,与应用控制系统4通过层间连接器相连;所述电源部分5经过DC/DC转换器对航行器传来的电压源进行转化,为AP板供电;所述AP板再分别为

射频前端、CP模块、存储姿控板及伺服系统供电。

[0022] 作为上述技术方案的改进之一,所述浮标还包括:水密舱;所述水密舱顶部为天线罩,所述天线罩为玻璃纤维半球,设有透波部分和非透波部分;所述透波部分罩体为玻璃钢材料,非透波部分罩体为碳纤维材料;所述水密舱底部为钛合金密封件;舱底设置有电气接口、调试接口和吊装接口,用于连接供电线、网线及串口线。

[0023] 作为上述技术方案的改进之一,所述应用控制系统基于Android系统实现;

[0024] 所述Android系统的底层包含Linux内核及HAL层,其中,Linux内核中包含LCD 驱动、摄像头驱动、音频驱动和电源管理单元,以及重启驱动Reset driver、USB 和HUB硬件接口;HAL层提供一个统一查询硬件设备的接口,用于实现数据加解密流程,卫星通信模块管理和天线控制;

[0025] 所述Android系统的上层为应用层,包括与用户交互的核心应用程序及显示界面的资源文件,在核心原生应用基础上添加协议转化和系统裁剪,实现接口协议转化和系统状态信息传递;

[0026] 所述Android系统的中间层包含核心类库Libraries和运行环境Runtime,以及上层的框架API Frameworks;核心类库包括Webkit系统、OpenMAX AL系统、Libc系统和SSL系统,提供基本C语言库和传输协议;API Frameworks包括窗口管理、内容管理和通话管理服务,并提供相应的API接口,实现与接口方面的服务。

[0027] 本发明还提出了一种适用于UUV的微型卫星通信浮标的搜星方法,所述搜星方法基于上述之一所述浮标实现,所述浮标初始化完成后,进入天线寻星模式;所述存储姿控板控制阵列天线收发的天线波束俯仰角为根据卫星信息解算的参考俯仰角度,并在方位角度上水平旋转360°,解算接收到的AP板发送的天线接收信号强度AGC;当解算结果大于AGC阈值时,记录下信号最大值对应的天线位置,并将天线工作模式改为跟踪模式;当解算结果小于AGC阈值时,捕捉过程将一直保持;

[0028] 当捕获到目标后,记录卫星目标的地理坐标,当平台姿态变化时,根据惯性测量单元及北斗模块反馈的信息,修正天线的位置,使天线始终指向目标的位置;同时,存储姿控板进行实时动态的圆锥扫描,具体为:在信号最大的位置2°附近始终寻找最大信号值,当寻找到一个修正周期内新的最大信号值时,周期性更新最大信号值和对应的位置信息,并调整天线围绕最新的最大信号值继续圆锥扫描,从而完成实时的卫星跟踪。

[0029] 作为上述技术方案的一种改进,所述阵列天线在已跟踪状态下受到外界环境遮挡干扰时,会出现丢星情况;当AGC当前值突然出现小于阈值的情况,进入丢星确认状态,此期间依旧保持圆锥扫描状态,状态持续30s,30s内如果出现AGC值大于阈值的情况,状态解除,继续跟踪卫星;如果30s内AGC值始终小于阈值,则丢星确认,重新进入天线寻星模式。

[0030] 本发明还提出了一种适用于UUV的微型卫星通信浮标的通信方法,所述通信方法基于上述之一所述浮标实现,所述通信方法包括:

[0031] 所述浮标和船端通过控制计算机向其对应的通信设备发送控制指令来配置与之通信的对端SIM卡号以及设置视频压缩率;之后船端和浮标端的卫星通信系统设备向各自的控制计算机反馈控制返回指令;双方均配置完成后端对端通信建立、互相收发数据,包括:船端向浮标端发送指令、浮标端向船端发送视频数据,具体地,

[0032] 所述浮标端将来自航行器的数据传送给浮标端的CP模块和AP板,并通过阵列天线

发送给卫星,再通过卫星发送给船端的通信设备,船端通信设备转发数据给船基控制中心;船基控制中心发送数据或指令给船端的通信设备,通过卫星发送给浮标端,浮标端通过阵列天线接收后传输到AP板,AP板将数据转发至CP模块,并根据收到的指令执行相应操作;

[0033] 当确定视频源和视频压缩率后,浮标端AP板将来自对应航行器的视频数据通过卫星发送至船基控制中心;浮标端AP板收到船基控制中心发送的视频模式确认后,通过网口给视频编码板发送命令更改传输模式,视频传输模式有标清视频、高清视频、标清图片传输三种。

[0034] 作为上述技术方案的一种改进,所述浮标端与卫星之间双向通信的工作频段为S波段,信息码速率最大为384kbps;浮标端阵列天线发送数据至卫星的工作频率为1980~2010MHz,浮标端阵列天线接收来自卫星发送的控制指令的工作频率为2170~2200MHz。

[0035] 本发明最终实现了一种基于天通一号卫星的S频段小型浮标的设计和实现。该浮标可实现前向以最大128kb/s的速率接收船端经天通一号卫星发送的控制指令;反向以384kb/s的速率传输图像视频数据,通过天通一号卫星中继转发后传输至船端的双向数据通信功能。这种卫星中继链路时延小,实现了海面端到端系统间高效率数据通信。

[0036] 本发明与现有技术相比优点在于:

[0037] 1.本发明通过天通一号卫星中继完成了五级海况下海面浮标端和船端之间双向的数据通信,该通信链路具备高可靠性和稳定性。

[0038] 2.本发明的浮标搭载于UUV水下无人航行体,具有高度集成,同时也完成了低功耗低成本以及轻小型化设计。

[0039] 3.本发明可用于无人水下设备远距离数据监控。

附图说明

[0040] 图1为本发明与船端通过天通一号卫星互相通信的整体图;

[0041] 图2为本发明的浮标结构示意图;

[0042] 图3为本发明的浮标内部结构示意图;

[0043] 图4为本发明实施例中的水密罩尺寸示意图;

[0044] 图5为本发明的供电接口电路方案示意图;

[0045] 图6为本发明天线及伺服控制系统的结构图,其中,图6(a)和图6(b)为天线和伺服控制系统安装结构示意图,图6(c)为天线结构图;

[0046] 图7为本发明实施例中的功放结构图;

[0047] 图8为本发明的伺服控制系统架构图;

[0048] 图9为本发明的跟踪卫星算法流程图;

[0049] 图10为本发明浮标的 AP板硬件组成框图;

[0050] 图11为本发明浮标的应用控制系统框图;

[0051] 图12为本发明浮标的应用控制系统整体所基于的Android系统组成框图;

[0052] 图13为用户交互界面;

[0053] 图14为数据速率设置界面;

[0054] 图15为参数监控界面;

[0055] 图16为CP模块设置功能界面;

- [0056] 图17为本发明实现的控制指令和返回指令传输示意图；
- [0057] 图18为本发明与船端双向数据传输示意图；
- [0058] 图19为本发明与船端的视频数据传输示意图；
- [0059] 图20为本发明的姿态控制数据传输示意图。
- [0060] 附图标识
- | | | |
|--------------------|-----------|-----------|
| [0061] 1、水密罩 | 2、阵列天线 | 3、伺服控制系统 |
| [0062] 4、应用控制系统 | 5、电源部分 | 6、单阵子天线 |
| [0063] 7、从动齿轮 | 8、主动齿轮 | 9、俯仰电机 |
| [0064] 10、方位轴底座 | 11、伺服天线底座 | 12、方位轴齿轮 |
| [0065] 13、方位轴电机 | 14、功放板组件 | 15、控制器 |
| [0066] 16、方位轴电机驱动器 | 17、方位霍尔开关 | 18、射频滑环 |
| [0067] 19、俯仰电机驱动器 | 20、俯仰霍尔开关 | 21、天线馈电网络 |
| [0068] 22、天线板 | 23、支撑柱。 | |

具体实施方式

[0069] 以下结合实施例进一步说明本发明所提供的技术方案。

[0070] 方案设计

[0071] S频段小型浮标以我国天通一号移动通信卫星作中继,可实现浮标端和船端双向384kbps速率的数据通信任务,浮标负责将水下航行体采集的视频数据和状态信息实时回传到船端,并将船端下发的遥控指令发给浮标端。卫星中继通信系统主要包括浮标端通信终端和船端通信终端以及中继卫星通信系统。前向(卫星-海面)接收来自船端的任务指令,码速率最大为128kbps;反向(海面-卫星)发送384kbps码率视频及红外数据、浮标状态遥测信息等。

[0072] 基于天通一号卫星的中继通信系统通信链路是两跳链路。浮标端通信终端经过卫星到信关站为一跳链路,船端通信终端经过卫星到信关站为另一跳通信链路。卫星对终端S波段上下行,卫星信关站为C波段链路。两跳链路的通信链路在信关站没有实现直连或直通。为保证数据在图1所示链路下安全传输,搭建一适用于S频段卫星通信的VPN系统,在公有网络下通过私有通道建立一个安全的核心私有网络。传统的VPN系统方案大多基于TCP/IP协议进行数据传输,由于天通一号卫星为GEO卫星,距离地面35860km,相比LEO卫星,数据传输时延较大,在传统方案基础上,将网络中的TCP协议数据转为UDP协议,建立适用于S频段卫星通信的VPN系统。在该系统下,实现端到端的数据安全传输。

[0073] S频段小型浮标固定在UUV水下航行体顶部,该浮标主要由水密罩、阵列天线、功放、伺服系统、AP(Application Processer,应用终端)、CP(Communication Processor,通信处理器)、存储姿控板等组成。

[0074] 浮标置于水下500m,固定在航行体顶部,由金属杆支撑,采用13芯水密电缆与航行体连接。同时,航行体在水下高速行驶时,浮标抗震能力满足相关要求。进行数据传输时,浮标浮出水面。浮标上电启动后,首先初始化各类总线 and 外设端口,以及终端正常运行所需的参数信息。然后进入开机入网注册流程,AP通过RS232串口向CP发送AT指令(应用于终端设备与PC应用之间的连接与通信的指令)查询是否能正确检测到SIM卡、是否登录GPRS网络

(2G网络)等,收到返回信息确认无误后,发送AT指令拨号入网。成功入网后,CP模块接收天通一号卫星发送的信号强度数据,并通过串口将信号强度数据发送至AP板,AP将航行体数据中心通过网口发送的天线姿态数据(俯仰角、横滚角、方位角)与信号强度重新组帧,发送至存储姿控板;存储姿控板通过RS422串口接收北斗模块的卫星定位信息以及惯性测量单元的惯导数据,根据收到的信息计算天线需要调整的角度,将得到数据发送至伺服控制器,伺服控制器驱动电机调整天线方位角及俯仰角,使天线成功对星;此外,存储姿控板将信息数据通过RS232串口发送至AP,AP通过网口将北斗模块的卫星定位信息转发给浮标数据中心。天线成功对星后,浮标数据中心通过网口将需要转发的视频数据发送至AP,AP通过串口以115200bps波特率将数据传送至CP,经过一线通传输至功放放大后再由天线发送至卫星,工作频段为S波段,工作频率为1980~2010MHz,信息码速率最大为384kbps。浮标端天线也可以接收到来自卫星发送的控制指令,工作频率为2170~2200MHz。

[0075] 天通卫星通信终端具备处理卫星链路数据能力如下表1。

[0076] 表1 天通卫星通信终端卫星链路数据能力

项目	速率
话音	1.2/2.4/4.0kbps,分档可变
数据	1.2/2.4/4.8/9.6/16/32/64/128/256/384kbps,分档可变
短消息	最大消息长度不小于140字节

[0078] 2. 结构设计

[0079] 卫星通信终端安放在浮标外部,体积限制在直径 Φ 300mm、长度为500mm的圆柱体内,可适应水下500m驻留,应用时浮出水面适应五级海况。浮标系统各部分结构如图2所示。1为水密罩,2为阵列收发天线,3为伺服控制系统,4为应用控制系统,5是电源部分。

[0080] 其中,上层射频前端由 2×2 阵列收发天线、双工器、功放构成。S波段 2×2 阵列天线可实现方位 360° 、俯仰 $0 \sim 90^\circ$ 搜索和跟踪卫星信号能力;中层伺服控制系统由电机、驱动器、控制器组成;下层应用控制系统由AP、CP、侧分合路、存储姿控板等组成;终端外部由水密罩封闭。内部结构示意图如图3所示。

[0081] 水密舱结构设计满足水下500m的密封条件,兼顾透波与耐压性能,为通信终端设备提供水密空间,提供较大浮力。天线罩为直径270mm玻璃纤维半球,透波部分壳体根据通信终端需求选取玻璃钢材料,非透波部分为碳纤维材料。底部为钛合金密封件,舱底设置有电气接口,调试接口,吊装接口等用于连接48V供电线、网线及串口线。如图4所示。水密罩直径为270mm,罩顶到底部长度为500mm,底层直径为300mm,接口通道直径为75mm,高为58mm。水密耐压值大于5.0MPa,透波率大于等于90%,整个舱体重量为14.0kg,可工作在 $-10^\circ \sim 70^\circ$ 温度范围。具备防水、抗盐雾、防晒、和一定的抗震防撞击能力。天线罩底部粘有密封垫圈用于防水,与底板通过螺钉相连。

[0082] 水密舱底板固定有金属机架,通过螺栓固定在水密舱底部,浮标系统则安装在金属机架上。中上层为天线组件、功放、双工器和伺服控制结构。天线和伺服控制结构的安装结构如图6(a)和图6(b)所示。天线通过塑料卡扣固定在天线板上方。功放和双工器等射频前端组件固定在天线板背面。卫星伺服跟踪结构位于天线板的下方,安装在方位轴底座上。卫星伺服跟踪系统主要有方位和俯仰两个自由度,其中,方位可以沿一个方向连续运转。伺服跟踪系统的方位运动及俯仰运动均靠电机及齿轮进行传动,整个跟踪系统由俯仰电机、

方位轴电机、俯仰电机驱动器、方位轴电机驱动器、控制器、方位轴齿轮、俯仰运动主从齿轮、霍尔开关、射频滑环、方位轴底座及伺服天线底座等组成,其中方位轴和俯仰运动电机型号为瑞士maxon电机MAH22-5B-100-1024-01,俯仰电机及方位轴电机驱动器采用maxon配套的EPOS2。采用两路射频滑环,在保证射频通路的情况下,使方位角有连续360度的旋转范围。本方案设计过程中,天线平板的转动中心与水密罩球心重合。

[0083] 金属机架的下层固定了温控单元、应用控制系统和电源模块。应用控制系统内的AP、CP、存储姿控板以及惯导单元IMU集成为一个整体,封装在金属箱体中,箱体右侧有设置有XG01和XG02两个外部接口,其中XG01通过一线通(具有供电和射频信号传输功能的线缆)和金属机架上层的功放相连,用于和天通一号卫星之间实现双向数据通信,XG02连接了北斗模块,用于获取北斗模块接收到的定位信息并将定位信息在存储姿控板内解算。电源模块和应用控制系统通过层间连接器相连。水密罩舱底的电气接口,调试接口,吊装接口等用于连接48V供电线、网线及串口线,通过X01接口与电源模块相连。

[0084] 硬件设计

[0085] 3.1供电设计

[0086] 通信终端的供电接口电路方案如图5所示,输入48V电压,经过DC/DC转换器转为24V,对AP供电,AP为射频前端提供36V供电,为CP模块提供4V供电,为存储姿控板及伺服系统提供24V供电。

[0087] 阵列天线设计

[0088] 浮标利用 2×2 平面阵列天线和功放双工器等实现射频前端集成化,实现和卫星之间的收发通信功能。天线放置在支撑杆前端,阵面尺寸为 $160\text{mm} \times 160\text{mm}$ 。接收和发射天线极化方式均为左旋圆极化,波束指向天通一号01卫星。为了实现天线的轻小型化设计以及节省研制周期,天线设计采用单振子天线组成 2×2 平面阵列,最终阵列天线和合成增益大于10dB,驻波比小于2dB。每个振子天线由四根支撑柱支撑,通过伺服控制系统控制电机转动实现天线俯仰角和方位角的变化,功分馈电为一分四的网络。

[0089] 通信天线带宽覆盖天通一号星地前向链路2170~2200MHz频段以及反向链路1980~2010MHz频段。天线结构如图6(c)所示。四个单振子天线固定在天线板上组成阵列,电机通过控制俯仰齿轮和方位轴齿轮转动调制天线的指向,波束扫面范围为 $\pm 65^\circ$,天线指标EIRP可达50dBm。

[0090] 天线通过双工器,将发射和接收讯号相隔离,连接功放模块。功放模块综合了S频段移动卫星通信的发射、接收链路,同时兼具北斗信号B3(1268.52MHz)/B1(1559MHz-1563MHz)接收链路功能。该部分位于天线板的背面。

[0091] 其中发射通道实现将发射的小信号放大到10W的大信号输出,接收通道实现小信号的接收功能。该模块能支持S频段移动发射、接收同时工作的特性。发射通道内部集成了功率放大器、增益放大器、腔体滤波器以及四功分器,具有通路驱动放大,功率放大,功放失配保护等功能,同时腔体滤波器能够抑制发射信号的边带,能够有效抑制输出谐波信号;接收通路集成了腔体滤波器、低噪声放大器以及四功分器。具有低噪声放大、通路信号放大、接收北斗B1和B3信号合路功能以及+5V馈电功能,其中腔体滤波器能够抑制发射信号,避免发射信号对接收通路产生干扰。

[0092] 功放模块最大功耗为42W。发射通道增益可调范围为0.5~31.5dB,接收通道增益大

于32dB。在天线端口短路、开路异常等情况下,功放能在满负荷情况下,输入信号增加+3dB,单独测试10分钟而不烧毁,异常恢复后,功放能稳定正常工作,性能无恶化。由此可以确保功放模块的稳定性和可靠性。

[0093] 功放模块结构如图7所示。功放板长181.8mm,宽64mm,厚度为19.7mm。

[0094] 伺服系统设计

[0095] 伺服控制系统需要实现的功能是在海浪扰动环境下,根据北斗模块、惯性测量单元(IMU)、信号强度三部分输入信号计算天线需要调整的角度,从而驱动步进电机,使通信终端天线在运动过程中自动对准卫星,实现浮标端通信终端与船端通信终端之间持续稳定的通信。

[0096] 伺服控制系统架构如图8所示。其中北斗模块通过TTL接口,为存储姿控板提供初始北斗定位数据;惯性测量单元,采用MEMS(Micro-Electro-Mechanical System,微机电系统)加速计和陀螺仪获取高精度俯仰角、横滚角、方位角等惯导数据后,再通过RS232串口,为存储姿控板提供上述数据;AP通过TTL接口提供天线接收信号强度等状态信息,存储姿控板接收到上述信号后,计算出方位轴和俯仰轴需要转动的角度,发送至伺服控制系统,进而控制电机运动,同时向AP反馈实时状态信息。方案采用数字稳定方式,存储姿控板由STM32F407单片机及其外围电路构成,在单片机内完成各类信息的解算并计算出需要调整的方位角和俯仰角,通过RS232串口传输给上层伺服控制器,伺服控制器再通过STM32F103单片机驱动俯仰和方向轴电机工作调整方位。在整个控制系统采用组合导航系统(惯性测量单元及北斗模块)感知载体扰动,利用伺服系统修正或补偿载体姿态变化的影响,实现天线波束或瞄准线的稳定。

[0097] 寻星算法设计

[0098] 开机系统初始化完成后,进入天线寻星模式(RunState为1),存储姿控板控制天线波束俯仰角到根据卫星信息解算的参考俯仰角度上,并在方位角度上水平旋转360°,解算接收到的AP板发送的AGC电平值(天线接收信号强度),解算结果大于AGC阈值时,记录下信号最大值对应的天线位置,并将天线工作模式改为跟踪(RunState为2)。解算结果小于AGC阈值时,捕捉过程将一直保持。

[0099] 当捕获到目标后,记录卫星目标的方位(地理坐标),当平台姿态变化时,根据组合导航系统反馈的信息,能够实现在10ms内修正天线的位置,使天线始终指向目标的位置。同时,为了更进一步精确跟踪卫星和消除惯性测量单元本身的精度及漂移的影响,存储姿控板实现实时动态的圆锥扫描,在信号最大的位置2°附近始终寻找最大值,当寻找到一个修正周期内新的最大信号值时,更新最大值和其对应的位置信息,更新周期为1分钟;调整天线围绕最新的最大值继续圆锥扫描,从而完成实时的卫星跟踪。

[0100] 当天线在已跟踪状态下受到外界环境遮挡干扰,则会出现丢星情况。当AGC当前值突然出现小于阈值的情况,进入丢星确认状态,此期间依旧保持圆锥扫描状态,状态持续30s,30s内如果出现AGC值大于阈值的情况,状态解除;如果30s内AGC值始终小于阈值,系统判定丢星失锁,开始重新寻星状态。算法流程如图9所示。

[0101] 该控制系统最终可实现0°~360°范围的方位角跟踪和0~90°范围的俯仰角跟踪;伺服系统最大方位角速度和俯仰角速度 $\leq 60^\circ/\text{s}$,角加速度 $\leq 100^\circ/\text{s}^2$;摇摆角 $-25^\circ \sim +25^\circ$,能满足六级海况工作条件。

[0102] 应用控制系统设计

[0103] 应用控制系统核心硬件由AP及卫星通信CP模块组成。该系统硬件由芯片LC1860以及卫星通信CP模块组成。其中LC1860运行Andriod系统,是一款集成LTE基带的 Soc芯片,能大幅提升芯片集成度并降低功耗及成本。该芯片内部完成链路处理、多功能、接口转换,时序控制等处理。LC1860通过USB口扩展10/100M网口,网口用于传输航行体数据中心上发的视频数据;通过串口扩展芯片SP3222E实现对外串口RS232通信。AP板侧面集成了USB、RS232等各类接口和SIM插卡部位。背板接插件部分包括外部电源接口、网口及一线通接口。硬件框图如图10所示。LC1160芯片负责电源管理。

[0104] AP板负责完成CP模块、视频采集、存储姿控板的控制和数据的组帧转发功能。AP通过RS232控制视频编码板切换视频数据输出模式;将接收卫星信号强度值和北斗数据传给姿控板;通过SPI口控制存储姿控板回放数据。视频数据和航行体数据均通过网络协议传输,需要AP实现网络中视频数据和控制指令数据的数据包。视频数据传给CP的同时,同步传给存储姿控板备份。

[0105] CP模块集成基带芯片,能提供数据业务功能,通过天通卫星移动通信网络接收船端所发送的指令,供终端AP分析使用的同时,将浮标端反馈的信息数据通过天通卫星移动通信网络传送给船端,从而实现浮标端与船端双向数据传输。浮标应用控制系统框图如图11所示。

[0106] 应用控制系统整体基于Android系统实现。软件框架示意图如图12所示。Android的底层包含Linux内核及HAL(Hardware Abstract Layer,硬件抽象层)。其中Linux内核中包含LCD 驱动(Display Driver)、摄像头驱动(Camera Driver)、音频驱动(Audio Driver)、电源管理(Power Management)等等,在此基础上可以实现重启驱动Reset driver、USB HUB各种硬件接口的拓展;HAL层运行在用户空间中且位于操作系统与驱动程序之上,提供一个统一查询硬件设备的接口,可以实现数据加解密流程,卫星通信模块管理,天线控制等。

[0107] Android的中间层包含核心类库Libraries和运行环境Runtime,以及上层的框架API Frameworks(Application Programming Interface,应用程序编程接口)。核心类库主要包括Webkit、OpenMAX AL、Libc、SSL等九个子系统,提供了基本C语言库、传输协议等供系统组件使用;API Frameworks由窗口管理、内容管理、通话管理等多个系统服务共同组成,提供相应的API,实现与接口方面的服务。

[0108] Android的上层为应用层,包括与用户交互的核心应用程序及显示界面的资源文件,在核心原生应用基础上添加自主设计的协议转化、系统裁剪等功能,实现接口协议转化,系统状态信息传递。图13为用户交互界面。在应用程序内可以实现CP设置、天线控制、数据业务设置、参数监控与设置等功能。其中,CP设置主要为设置信号频点;天线控制主要为调整天线增益;数据业务设置为设置最大上行速率与最大下行速率;参数监控与设置包括定位信息、接收频率、功放开关、功放输入功率、输出功率及功放温度。图14为数据速率设置界面。图15为参数监控界面。图16为CP模块设置功能界面。

[0109] AP模块单模块发射功率 ≥ 0 dBm,支持-40~0 dBm的功率调整范围;单模块常规模式灵敏度 ≤ -105 dBm,整体系统灵敏度 ≤ -125 dBm。

[0110] CP模块采用国营714厂军用便携CP模块,可以支持384kbps数据传输,输出功率

0dBm,通过外置功放和低噪声放大器连接高增益平板天线。

[0111] 通信协议设计

[0112] 船端卫星通信系统和浮标端卫星通信系统控制计算机向其对应的通信设备发送控制指令来配置与之通信的对端SIM卡号以及设置视频压缩率。之后船端和浮标端的卫星通信系统设备向各自的控制计算机反馈控制返回指令。双方均配置完成后端对端通信建立,可以互相收发数据,浮标端可以向船端发送视频数据。指令传输示意如图17所示。

[0113] 数据传输指令

[0114] 浮标端与船端可以实现双向数据通信:浮标端数据中心将数据传送给浮标端的通信设备,通过卫星发送给船端的通信设备,船端通信设备通过船端AP转发数据给船基控制中心;船基控制中心发送数据或指令给船端的通信设备,通过卫星发送给浮标端通信设备,浮标端通信设备通过AP将数据转发至数据中心,也可以根据收到的指令执行相应操作。数据传输如图18所示。

[0115] 当确定视频源和视频压缩率后,浮标端AP将对应源的视频数据通过卫星发送至船基控制中心。视频数据传输如图19所示。

[0116] 浮标端AP收到船基控制中心发送的视频模式确认后,通过网口给视频编码板发送命令更改传输模式。视频传输模式有标清视频、高清视频、标清图片传输三种。

[0117] 姿态控制指令

[0118] 天线姿态控制与存储回放集成在同一块板卡上,板上还包括了北斗定位和惯导。浮标的姿态数据通过网口发送到AP板。AP板将浮标的姿态数据与信号强度重新组帧发送到存储姿控板。

[0119] 存储姿控板将方位和俯仰信息以及定位信息通过串口发送给AP板,AP通过网口将北斗定位信息转发给浮标。同时发送方位角、俯仰角给伺服控制。数据传输如图20所示。

[0120] 从上述对本发明的具体描述可以看出,本发明提出了一种适用于深远海无人水下航行器的微小型卫星通信浮标,实现了利用天通一号卫星完成与船端之间S频段的双向数据通信。

[0121] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

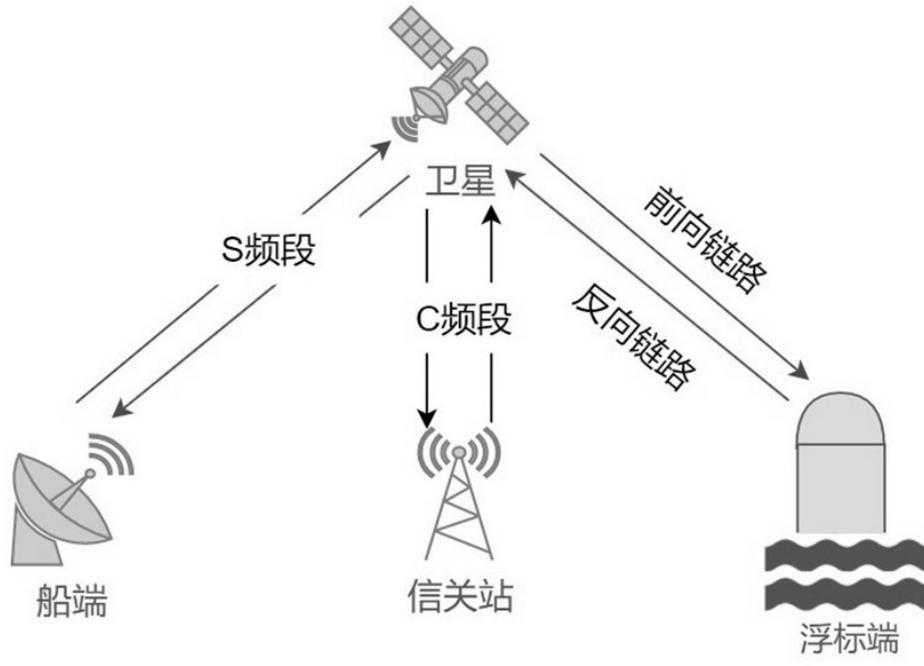


图1

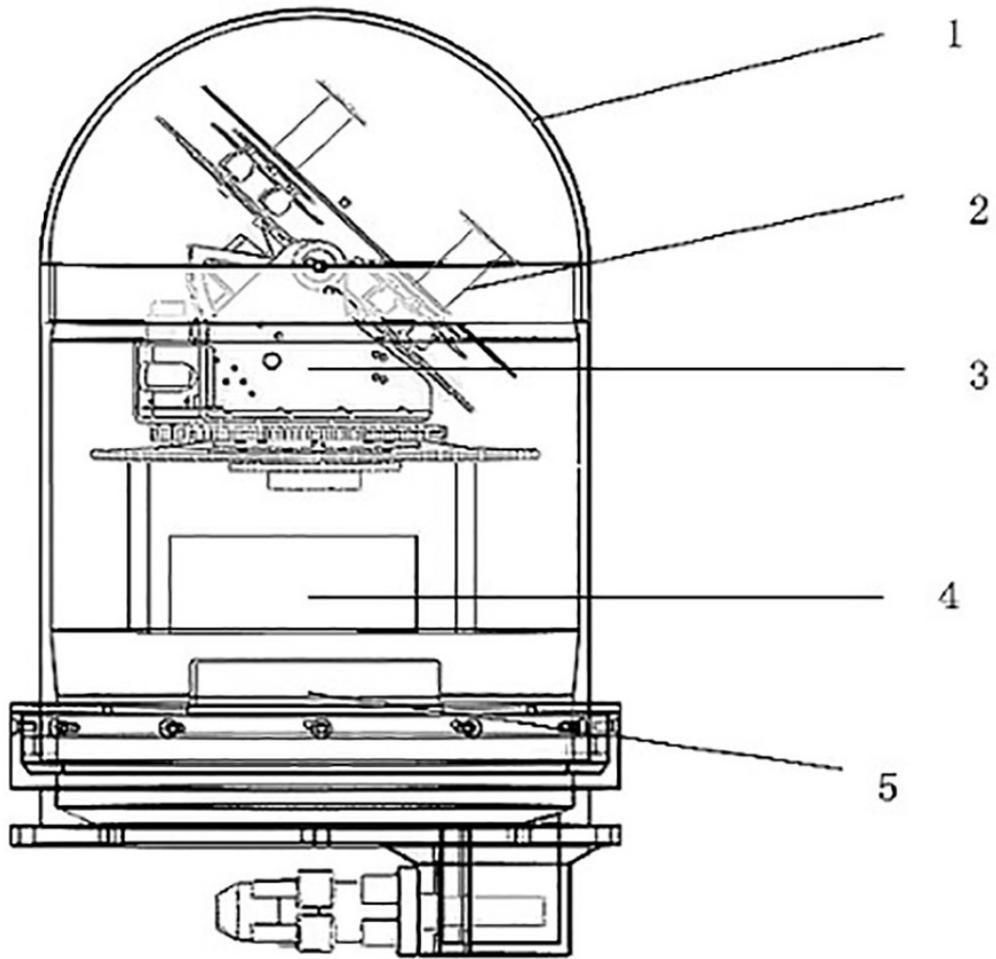


图2

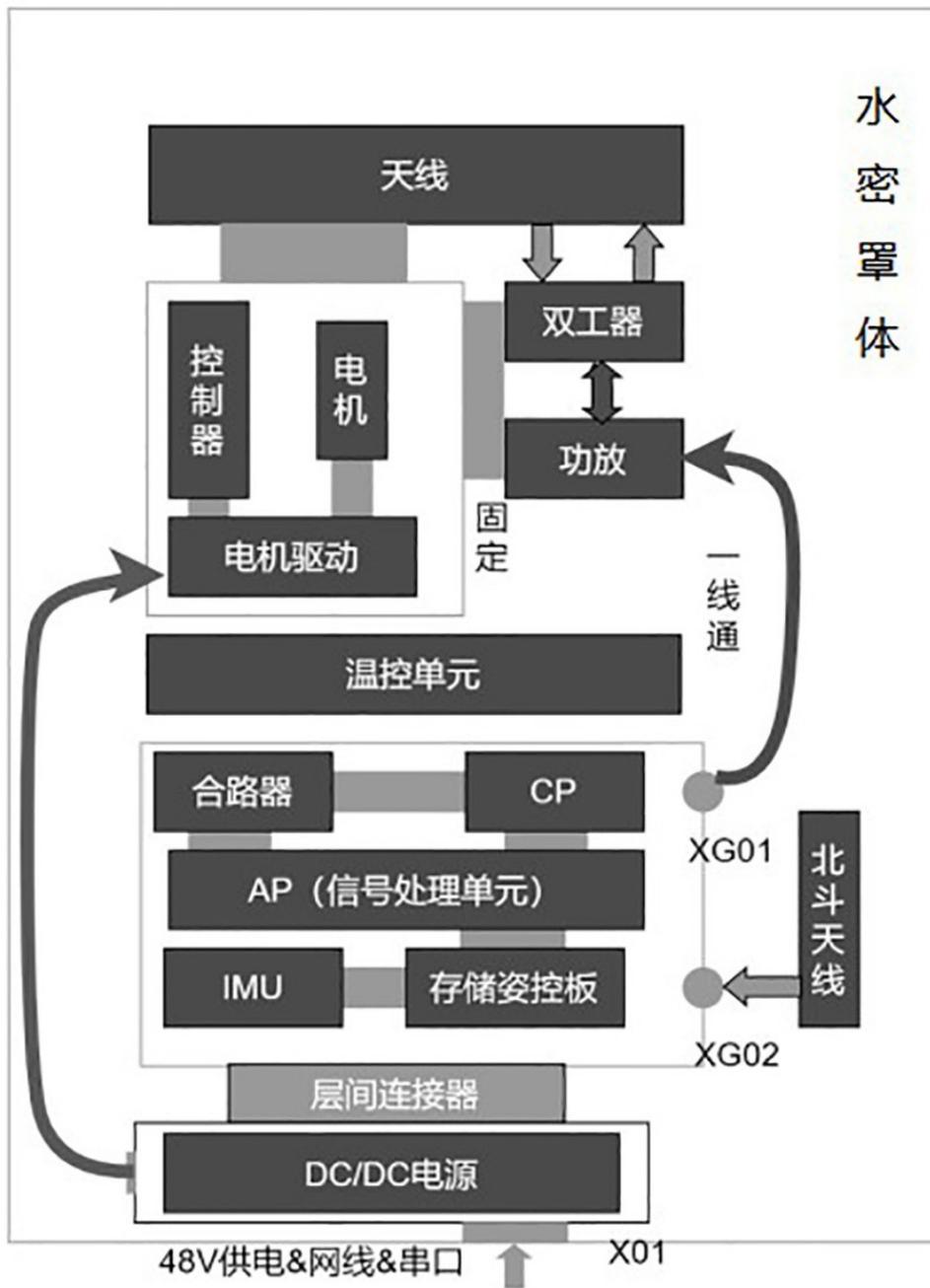


图3

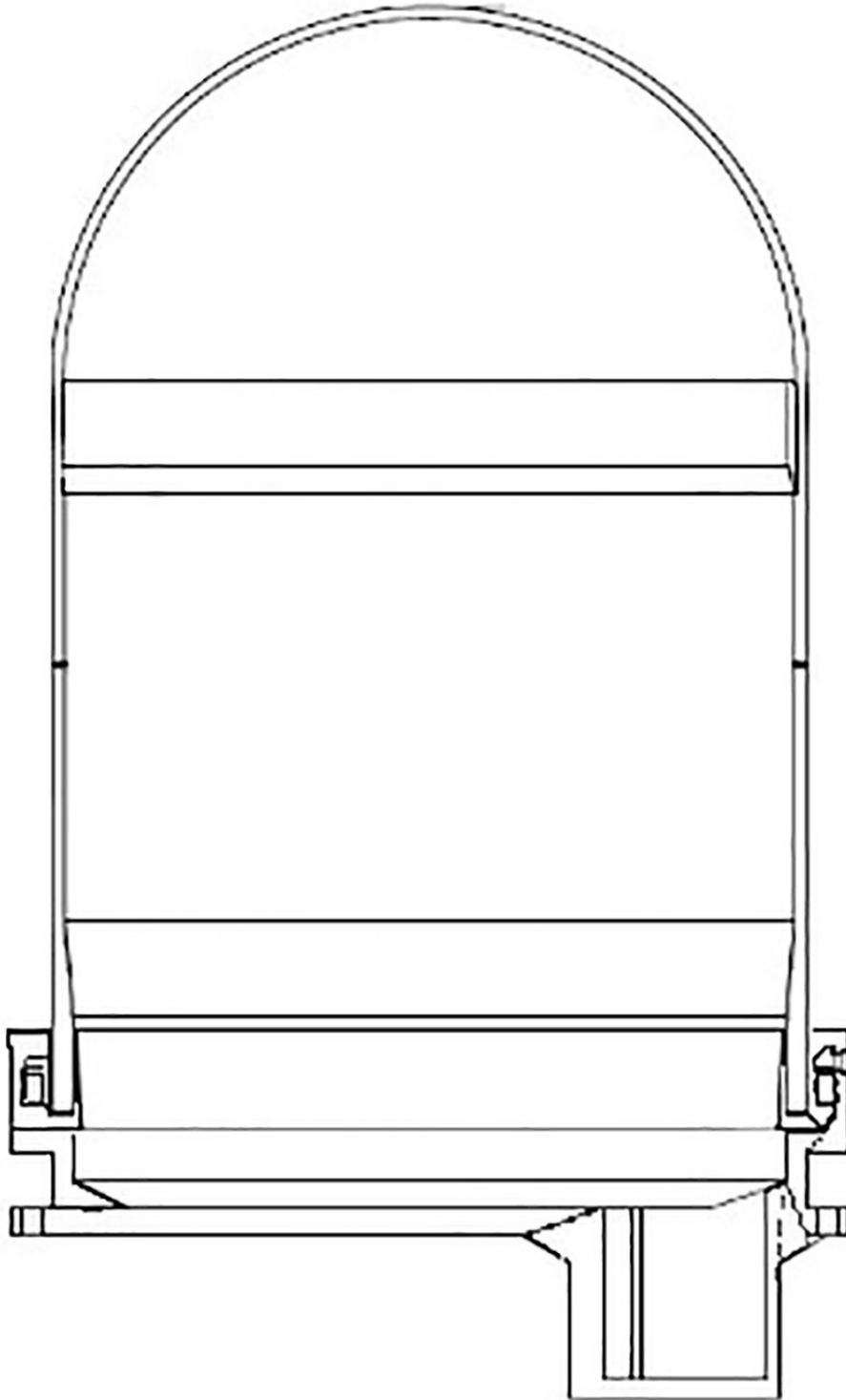


图4

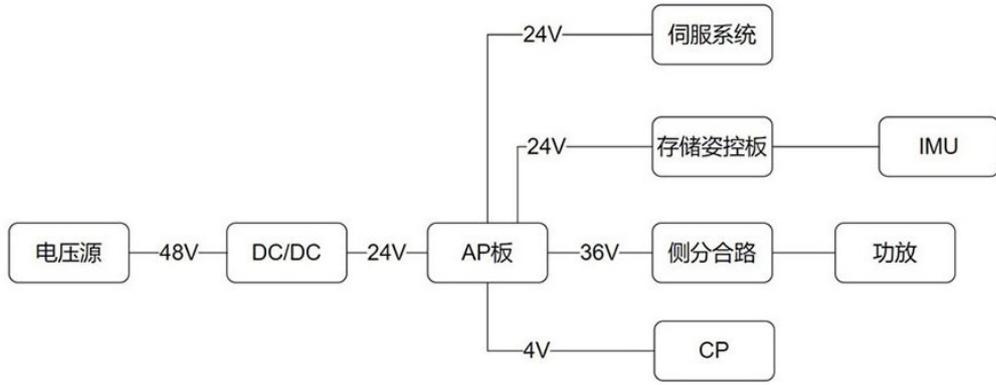


图5

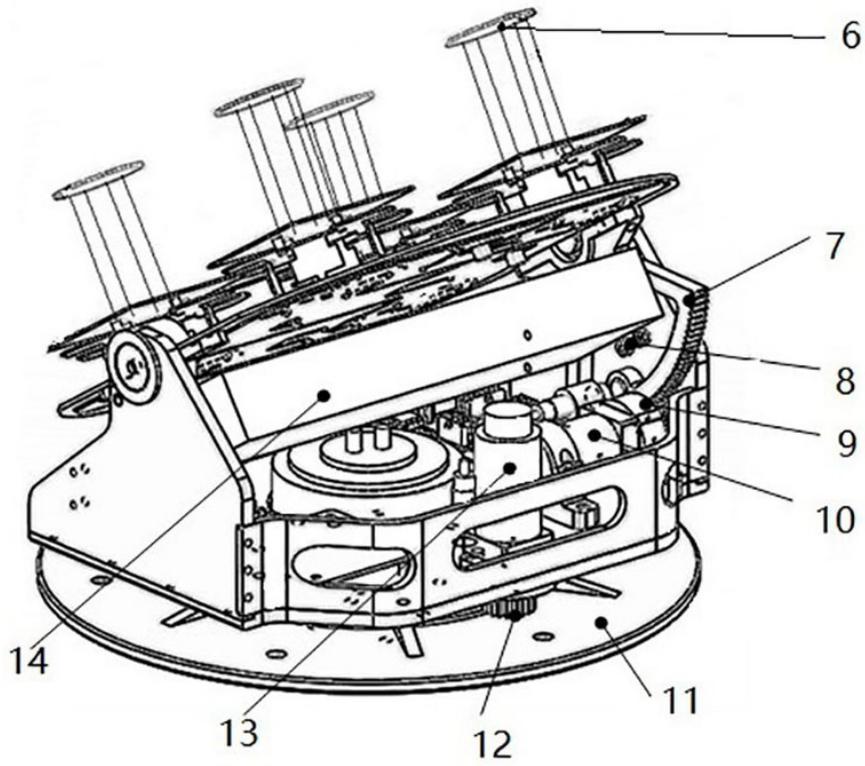


图6(a)

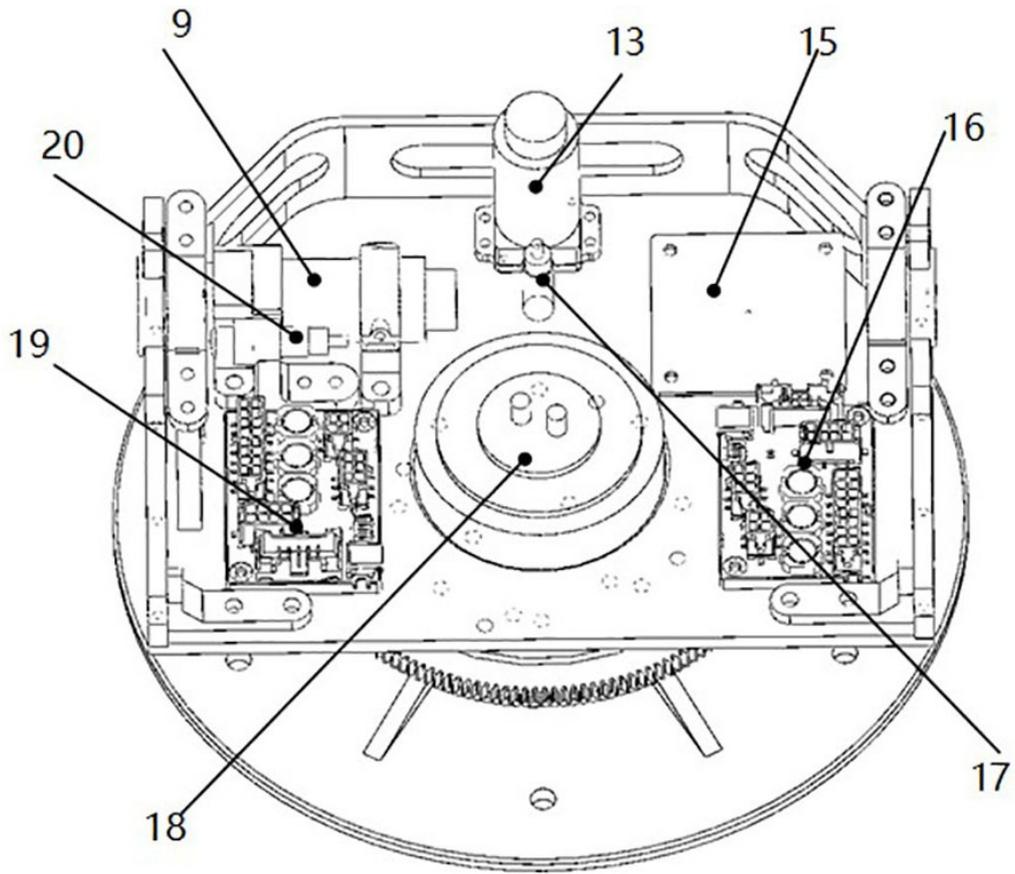


图6(b)

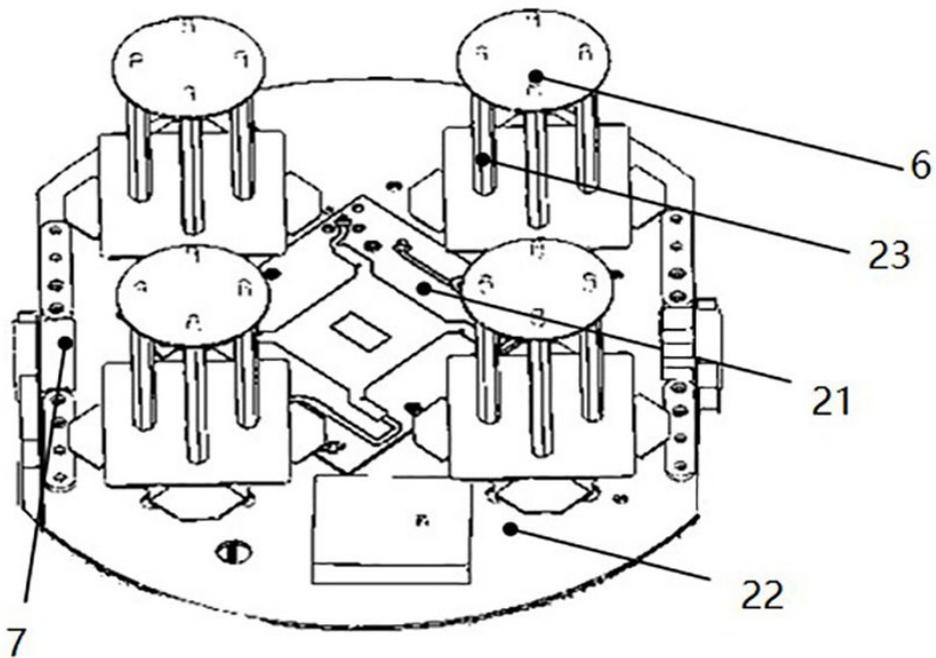


图6(c)

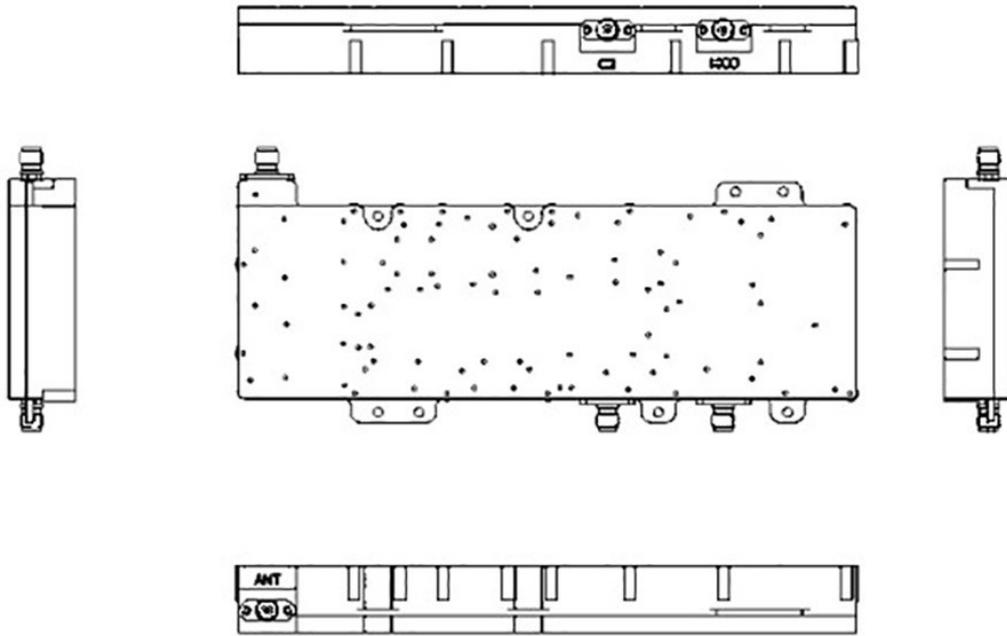


图7



图8

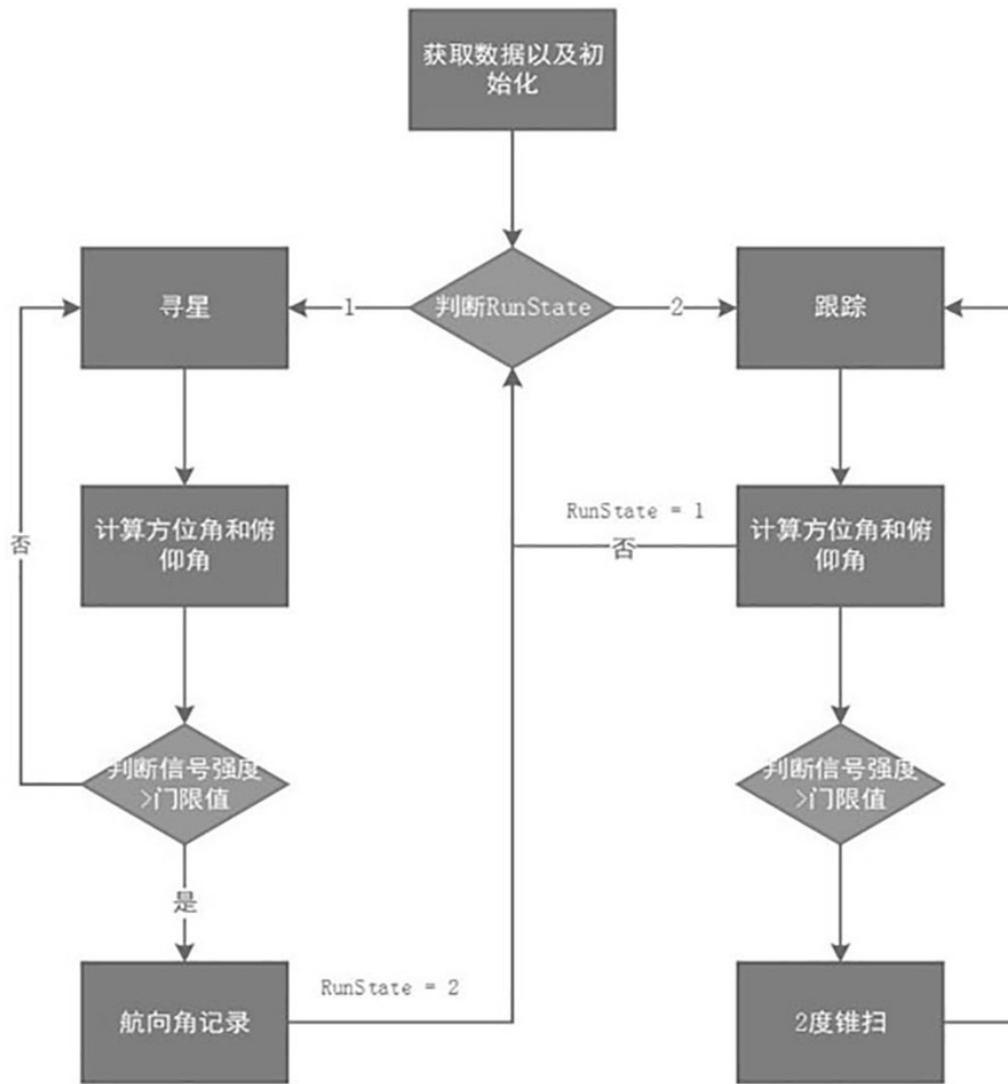


图9

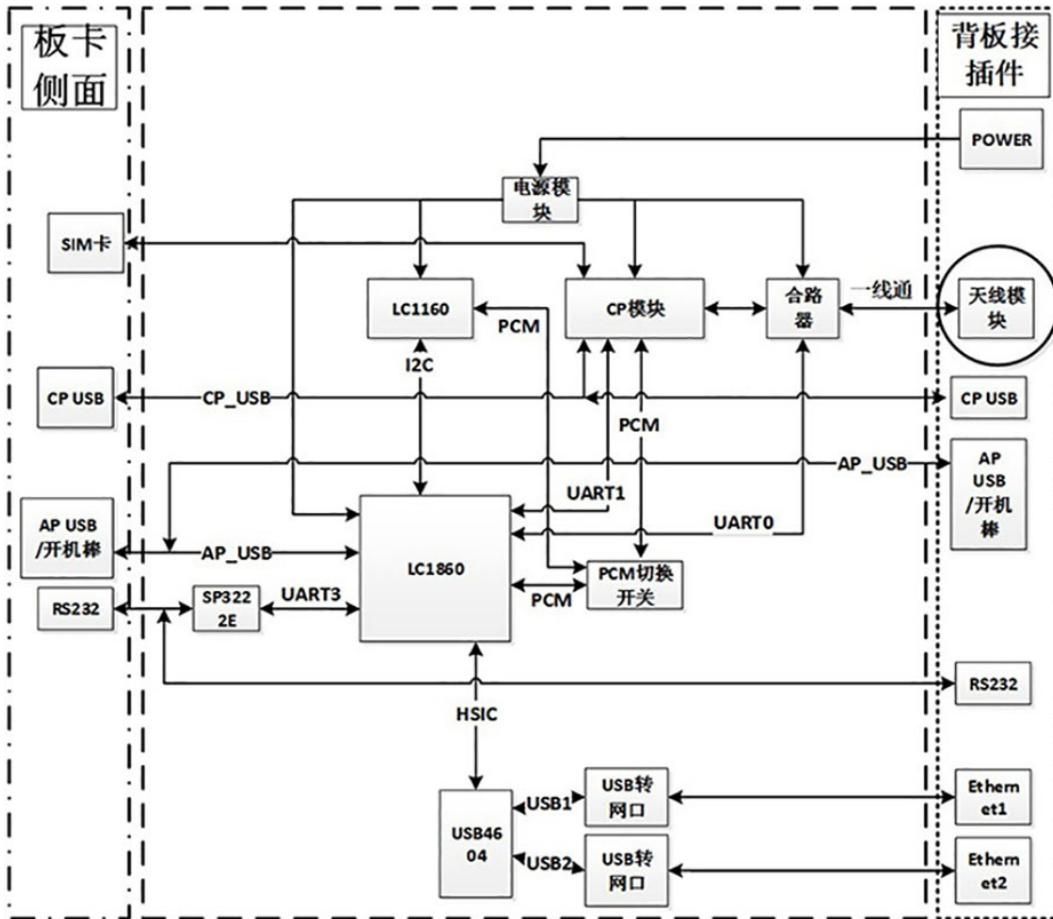


图10

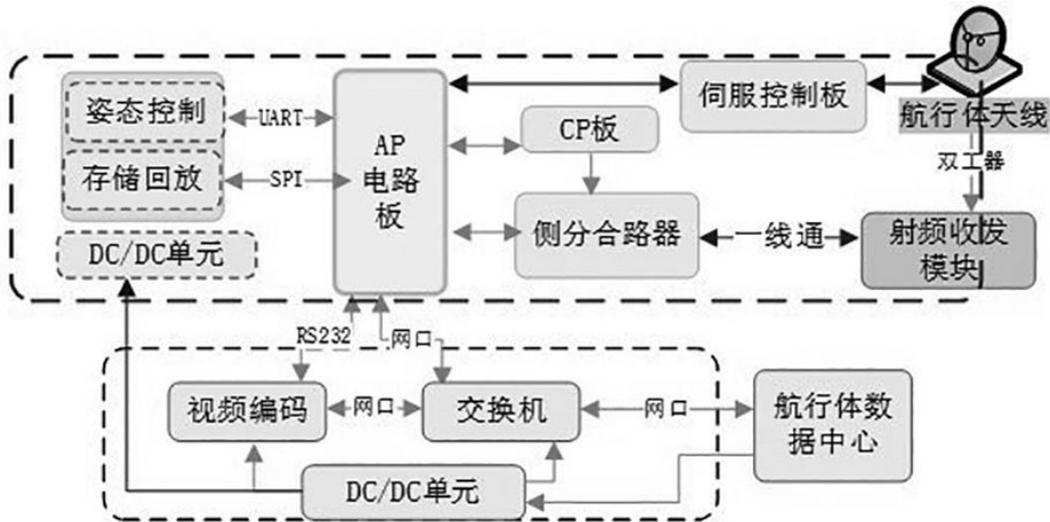


图11

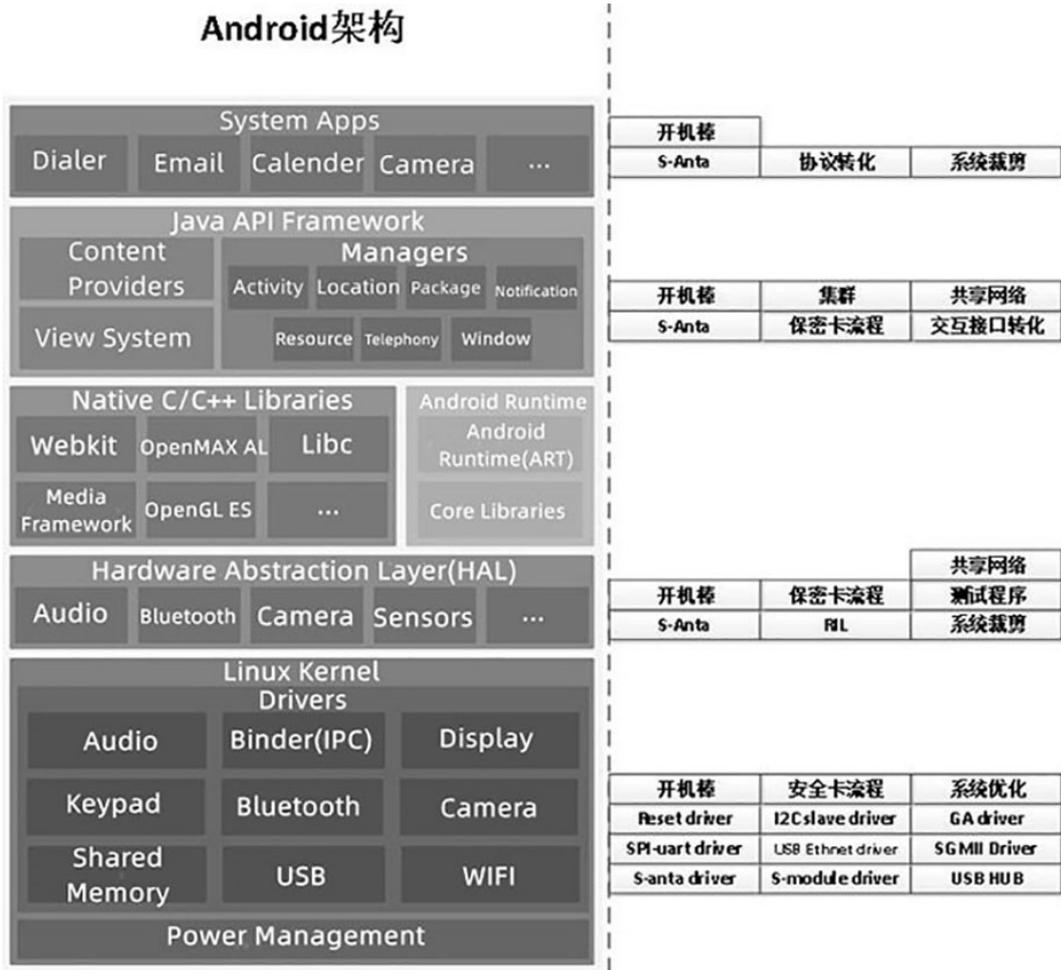


图12



图13



图14



图15



图16

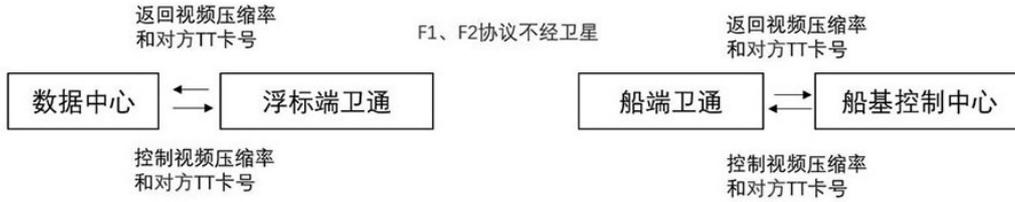


图17

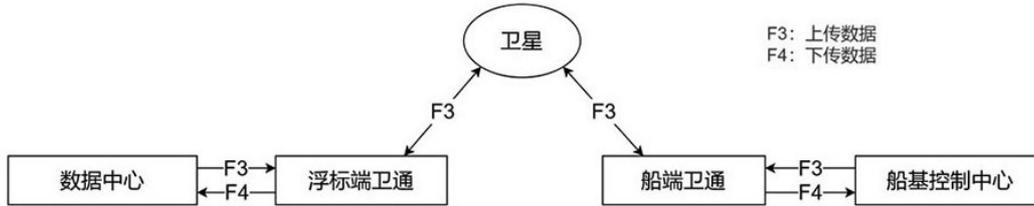


图18

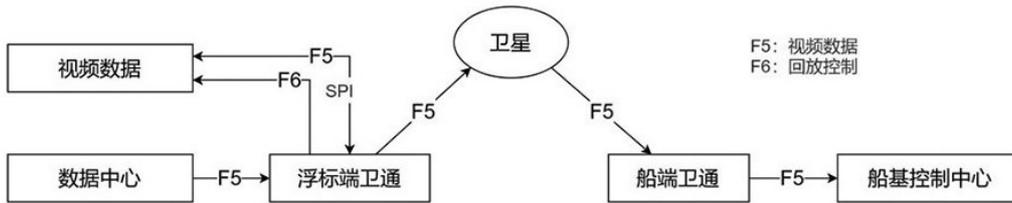


图19

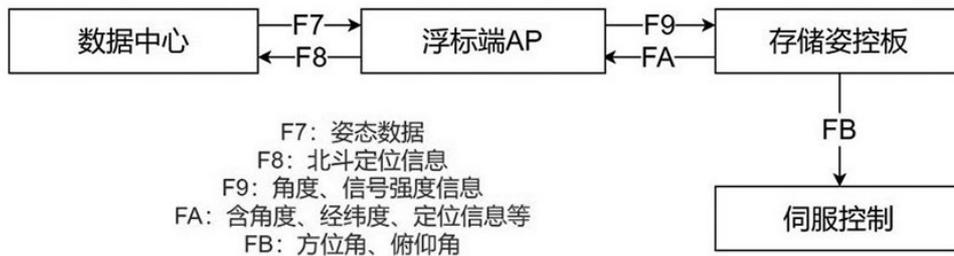


图20