



专题：海洋物联网

水面无人艇远距离通信系统设计与实现

李雪^{1,2,3}, 胡海驹⁴, 王伟平^{1,2}, 陈焱琨^{1,2,3}, 郑兵^{1,2,3}, 董超^{1,2,3}

- (1. 国家海洋局南海调查技术中心, 广东 广州 510300;
2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东 广州 510300;
3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 广东 珠海 519080;
4. 广东省国土资源测绘院, 广东 广州 510500)

摘要: 无人艇远距离通信在开展海洋调查作业中具备重要用途, 从岸端通信设备和艇载通信设备两方面开展无人艇远距离通信系统设计与设备研制, 并在万山和黄海周边海域开展该通信系统的宽带和窄带测试, 辅助采用系留无人机对整套系统进行通信增程试验。测试结果表明, 岸端通信设备升高 129 m 时, 宽带通信可达 45 km; 岸端通信设备升高 180 m 时, 窄带通信可达 50 km, 通信质量稳定可靠, 满足无人艇远距离通信需求。

关键词: 无人艇; 远距离通信; 系统设计; 通信增程

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021141

Design and implementation of unmanned surface vessel long-distance communication system

LI Xue^{1,2,3}, HU Haiju⁴, WANG Weiping^{1,2}, CHEN Yankun^{1,2,3}, ZHENG Bing^{1,2,3}, DONG Chao^{1,2,3}

1. South China Sea Marine Survey and Technology Center, Guangzhou 510300, China
2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application,
Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510300, China
3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai 519080, China
4. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China

Abstract: Unmanned surface vessel (USV) long-distance communication has important use in marine survey operations. The design and equipment development of USV long-distance communication system were carried out from both shore-side communication equipment and boat-mounted communication equipment, and the broadband and nar-

收稿日期: 2021-05-30; 修回日期: 2021-07-10

通信作者: 胡海驹, 15679070@qq.com

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (No.2020B1111010002); 广东省促进经济高质量发展专项资金资助项目 (No.GDNRC[2020]018); 国家自然科学基金联合基金资助项目 (No.U1809211); 国家自然科学基金面上项目 (No.61971198); 国家海洋局南海分局局长基金资助项目 (No.180215)

Foundation Items: Key-Area Research and Development Program of Guangdong Province of China (No.2020B1111010002), Specific Fund of Promote High-quality Economic Development of Guangdong Province of China (No.GDNR[2020]018), Joint Fund of National Natural Science Foundation of China and Zhejiang Province (No.U1809211), The National Natural Science Foundation of China (No.61971198), Chief Foundation of the South China Sea Branch SOA (No.180215)

rowband tests of the communication system were carried out in Wanshan and Yellow Sea with the assistance of tethered UAV to conduct communication range test for the whole system. The test results show that when the shore-side communication equipment is raised 129 m, the broadband communication can reach 45 km, when the shore-side communication equipment is raised 180 m, the narrowband communication can reach 50 km, and the communication quality is stable and reliable, meeting the long-distance communication needs of USV.

Key words: USV, long-distance communication, system design, communication range extension

1 引言

随着无人艇技术的发展^[1-2], 无人艇的应用越来越广泛, 其数据传输技术也备受关注, 大带宽、远距离、低时延、低能耗的数据链对无人艇拓展应用范围至为重要^[3]。无线电波在水面的通信特性和在陆地上有很大区别。海上障碍物遮挡比较少, 电波传播余隙大, 绕射损耗比陆地上小, 但电波反射波比陆地大。另外海面高湿、高雾环境还存大气吸收衰减、云雾衰减以及雨衰等不利因素。

无人艇天线高度一般不高, 贴近水面, 发射的无线电波通过海浪、岛屿、船舶障碍物之间, 其接收信号的强度, 将由各直射波和反射波叠加合成, 形成多径效应, 引起信号衰落^[4]。各条路径的电长度会随时间而变化, 故到达接收点的各分量场之间的相位关系也是随时间而变化的。这些分量场的随机干涉, 形成总的接收场的衰落。各分量之间的相位关系对不同的频率是不同的, 干涉效果也因频率而异。由于不同路径有不同延时, 同一时刻发出的信号因分别沿着不同路径而在接收点前后散开, 而窄脉冲信号则前后重叠, 造成数据无法解析。

针对海面无人艇远距离通信的需求, 目前常用的有短波通信和卫星通信。短波通信具备通信距离远、通信电台简单、占用空间等优点, 但是其通信速率慢, 易受电离层变化影响^[5]; 卫星通信具有通信频带宽、信号覆盖范围广等优点, 但是卫星通信时延长, 无法实时传输图像、雷达等环境数据^[6]。一种新型的利用平流层的气象稳定的

特性, 将通信设备放在飞艇、飞船等平台长期驻留平流层中, 实现水面艇的超远距离通信^[7], 该技术多应用于军事方面。

为实现无人艇远距离稳定通信, 本文采取系留无人机作为通信中继, 为了通信系统的多径效应, 保证图像信号可靠传输, 采用 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)^[8-9] 传输体制, OFDM 技术的基本思路是把高速数据流分散到多个正交的子载波上传输, 从而使各子载波符号速率大幅度降低。用多个较低速率的正交子载波组合, 传输高速数据流, 具有很强的抗符号干扰、抗多径衰落能力, 适合在复杂的无线信道中传输高速的数据业务。

2 无人艇远距离通信系统设计

无人艇远距离通信系统由地面站和艇载通信设备组成, 地面通信设备安装全向天线, 向艇载通信设备发送前向数据并接收反向数据。艇载通信设备安装定向天线, 通过数字引导的方式指向地面通信设备。

系统开机上电后, 艇载通信设备和地面通信设备都采用全向天线, 在近距离链路建立后, 通过数据链将地面通信设备的经度、纬度、海拔等位置信息传至艇载通信设备。艇载通信设备采集艇载天线的经度、纬度、海拔等位置信息, 经过计算将艇载定向天线对准地面天线。通信距离超出全向天线覆盖范围后, 将艇载天线切换为定向天线, 提高链路电平储备。远距离通信时, 如果天线跟踪丢失, 则通过旋转天线转台, 对地面站信号进行搜索, 实现天线重新对准。



艇端通信设备由艇载天线组合和艇载收发组合组成。艇载天线组合包括全向天线和定向天线；艇载收发组合集成了 L 波段收发信机、L 终端处理单元和网络接口板。L 波段收发信机能够工作在 TDD 模式，L 终端处理单元完成艇上设备的调制解调、天线控制、资源分配、接口控制和频率控制等功能。

地面通信设备由地面全向天线、地面收发组合和计算机系统组成。地面收发组合中包含 L 波段收发信机、L 终端处理单元和网络接口板组成。L 波段收发信机工作在 TDD 模式，L 终端处理单元实现地面通信设备的调制解调、链路控制、接口控制和频率控制等功能。用户计算机通过网口与地面收发组合连接，其安装应用软件和链路监控软件。应用软件实现用户界面和业务数据的管理。链路监控软件负责通信子系统的链路管理功能，包括链路质量监控、链路资源分配、设备状态控制和回报等功能。

无人艇远距离通信系统主要组成如图 1 所示。

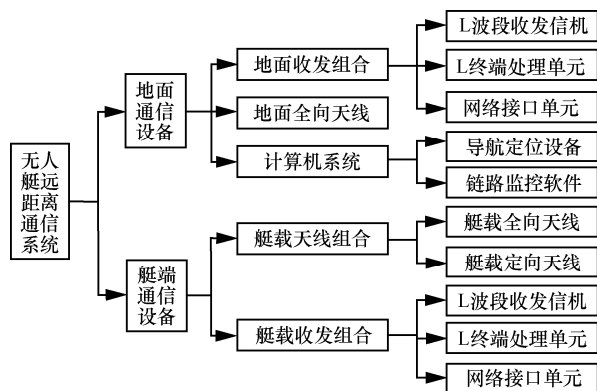


图 1 无人艇远距离通信系统主要组成

2.1 地面通信系统设计

地面通信设备由地面全向天线、地面收/发组合、导航定位设备和链路监控软件组成。地面收发组合由 L 波段收发信机、L 终端处理单元和网络接口单元组成。L 波段收发信机包括射频前端、本振和上下变频模块，L 终端处理单元完成地面通信设备的调制/解调、频道控制、网络资源管理

等。网络接口单元完成无线通信设备与外部以太网设备之间的数据转换。导航定位设备提供地面通信设备的经纬高数据，用于船载定向天线的数引跟踪。链路监控软件安装在情报控制席位上，负责链路控制和链路状态的显示，如图 2 所示。

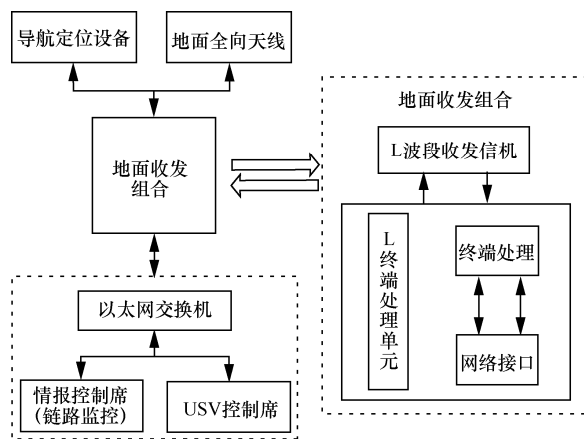


图 2 地面通信设备组成

2.1.1 地面全向天线设计

地面全向天线采用了有一定增益的 L 波段全向天线，天线设计为半波长对称阵子形式，长度为 324 mm，直径为 37 mm，如图 3 所示。

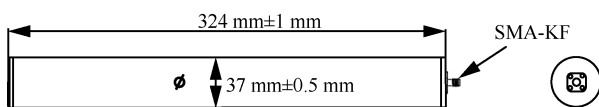


图 3 地面全向天线示意图

2.1.2 地面收发组合设计

(1) L 波段收发信机

收发信机发射通道包括输入 SPDT、两路完全一样的射频链路，射频链路包含驱动放大器、功率放大器、环形器和双工器。输入频率为载有调制信息的 L 波段射频信号，经 SPDT 给任意一路驱动放大后，最后经功率放大器进行功率放大输出 60 W 的载波信号给天线单元。

接收通道包括输入双工器、双节隔离器、限幅低噪放、下变频、跳频本振和中频放大滤波等部分。接收端输入的信号频率为 L 波段信号经低噪声放大器放大，经带通滤波器滤波后输入混频

单元,同时输出频率为 1 225~1 295 MHz 和 1 465~1 505 MHz 本振信号经隔离放大器、滤波器后也输入混频单元,进行下变频处理,下变频单元输出频率为 205 MHz 中频信号,最后,205 MHz 中频信号进行中频放大和滤波处理输出给终端板。

(2) L 终端处理单元

终端处理单元在硬件主要由信号处理器、上下变频器、Flash、电平转换电路和必要接口部件、本地晶振等组成。

终端处理单元硬件实现如图 4 所示。

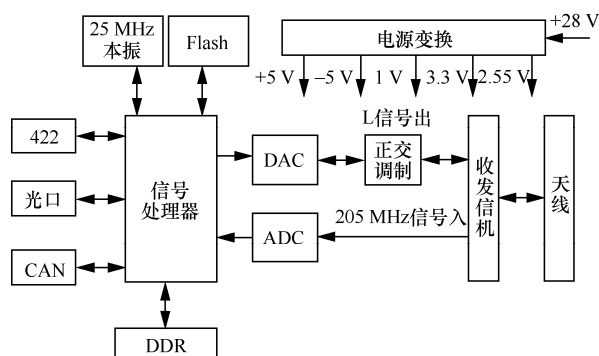


图4 终端处理单元硬件实现

终端处理单元软件模块组成如图 5 所示。

终端处理单元中信号处理器是核心器件,集成了 ARM 处理器内核和 FPGA 处理单元。其中 ARM 处理器内核完成数据报文生成、网络管理、节点随机接入协议控制、参数注入等功能;FPGA

是数字信号处理核心器件,完成数据分接复接、突发信号调制解调、信道编码、网络同步、频率管理和状态回报功能。

本文通信方案中,地面通信设备以本地时钟为基准产生帧定时,艇载通信设备解调前向时隙,提取帧定时,获得网络同步。地面通信设备上电后,在前向时隙周期性广播地面遥控数据和时隙分配表,在反向时隙接收艇载通信设备的遥测数据、载荷数据和艇间协同数据,将艇间协同数据通过前向时隙转发。L 终端处理单元完成控制指令译码,对射频单元进行频道设置,同时完成终端状态回报。

(3) 网络接口单元

网络接口单元完成 L 终端处理单元和用户计算机之间双向数据的网络格式转换。网络接口单元和 L 终端处理单元之间采用高密度接插件,由 L 终端处理单元向其供电,数据传输格式采用 LVDS 标准。

数据链工作在 L 频段,一套系统(含一个地面系统和一个艇端系统)收发采用同一个频率工作,通过时分多址、时分双工体制,构成一个 2 个节点的单跳时分网络,信道传输调制体制采用 OFDM 技术。

系统中 1 个时帧由 2 个时隙组成,母船系统占用 1 个短时隙发送遥控信息,无人艇占用 1 个长时隙发送遥测信息和图像信息,1 个时帧长度

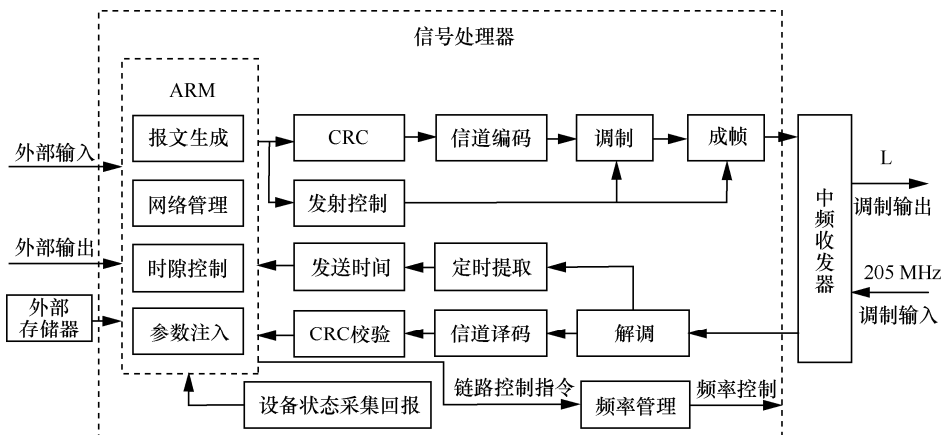


图5 终端处理单元软件模块组成

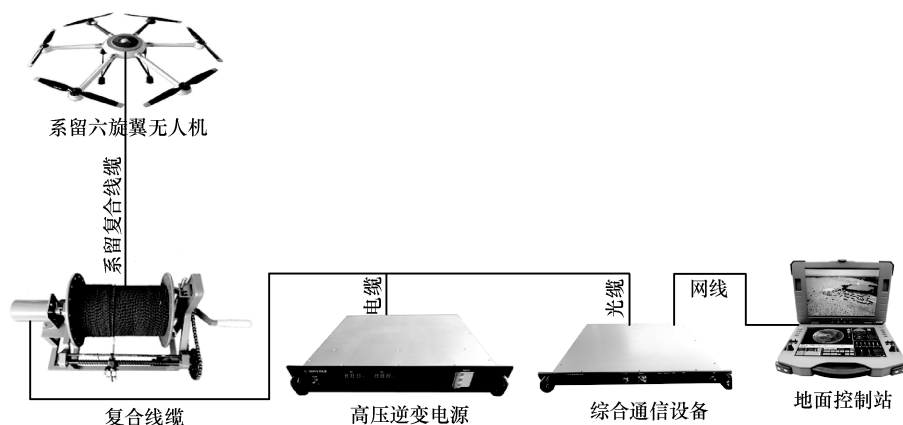


图6 艇载通信设备

20 ms。单套系统工作，采用一个频率，构成一个2个节点的网络；多套系统同时工作，采用频分多址技术，不同系统采用不同的工作频率，构成多个异频的相互之间相互独立的网络。

2.1.3 系留无人机通信增程

系留多旋翼无人机系统，在地面利用多旋翼无人机系统搭载数据链载荷升空，构建无线电通视的应急通信系统，作为视距通信的辅助拓展，是应急通信保障手段。系留无人机系统使用船载220 V或380 V电压供电，由交直流变换器变为980 V DC经组合电缆给机体供电，保证机上功率。系留无人机可实现悬停飞行、随行伴飞，操作简便，训练保障要求低，故障率低，维护保养容易。

系留多旋翼无人机系统由六旋翼机体、缆绳收放器、地面站和数据链终端组成，其组成如图6所示。

2.2 艇端通信系统设计

艇载通信设备由艇载全向天线、艇载定向天线、导航定位设备、天线座和伺服机构和艇载收发组合组成。艇载全向天线和定向天线采用一体化设计，通过控制信号实现天线切换。导航定位设备提供艇载通信设备的经纬高数据，用于艇载定向天线的数引跟踪。天线座具备基于数引的天线对准与跟踪能力，具备通过电子陀螺仪进行姿态保持的能力，保证艇载天线在船只航行或海风、

海浪影响下始终对准地面天线。艇载收发组合由L波段收发信机、L终端处理单元和网络接口单元组成。L波段收/发信机包括射频前端、本振和上下变频模块，L终端处理单元完成艇载通信设备的调制解调、频道控制等。网络接口板完成无线通信设备与外部以太网设备之间的数据转换，其组成如图7所示。

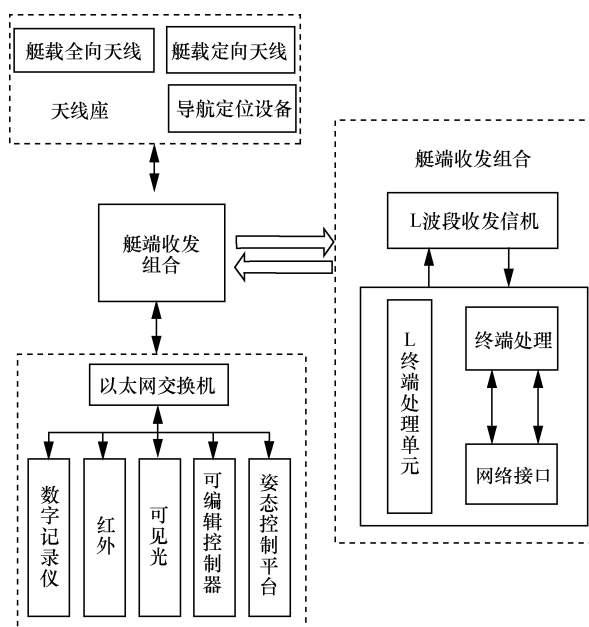


图7 艇载通信设备组成

艇载通信设备主要功能为调制解调、天线对准和跟踪、分接复接、设备状态控制和回报以及以太网格式转换。

2.2.1 艇载天线系统设计

艇载天线面板设计如图 8 所示,由全向天线、定向天线、安装支架和航插及射频接口组成。

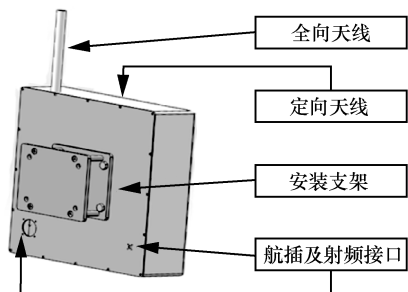


图 8 艇载天线面板设计

由于天线负载需要指北功能和对岸基天线的搜索,需要对负载在指北方位进行测量。考虑环境适应性,本文采用差分 GPS 的形式对负载的指北方位进行测量,设计伺服系统自动对天线进行指向操作。

伺服系统可分为固定座组件、方位回转组件、俯仰回转组件 3 部分。主要功能为:固定座组件,完成与基座的连接功能;方位回转组件相对于基座进行方位回转运动,完成伺服系统的方位运动功能;俯仰回转组件相对于基座进行俯仰回转运动,完成伺服系统的俯仰运动功能。

艇载天线系统设计如图 9 所示。

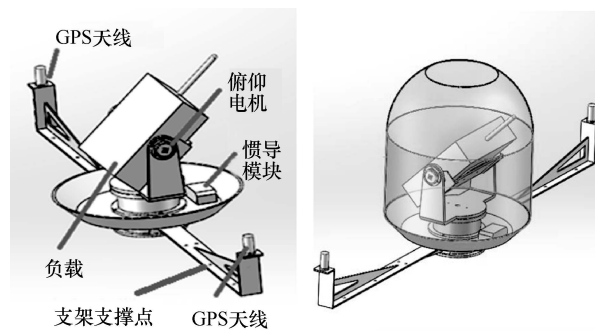


图 9 艇载天线系统设计

2.2.2 艇载收发组合设计

艇载收发组合的硬件形式与地面收发组合相同,软件上艇载通信设备相比地面通信设备有 3 点不同,分别为:增加了天线伺服控制功能;作为

网络从节点通过接收地面通信设备的发送信号提取网络定时,占用自己的发射时隙实现载荷数据的反向传输;网络接口板用于传输载荷数据且对外端口定义与地面不同。

地面架高平台上安装地面天线和地面收发组合,通过网线与监控计算机连接,地面通信设备安装如图 10 所示。

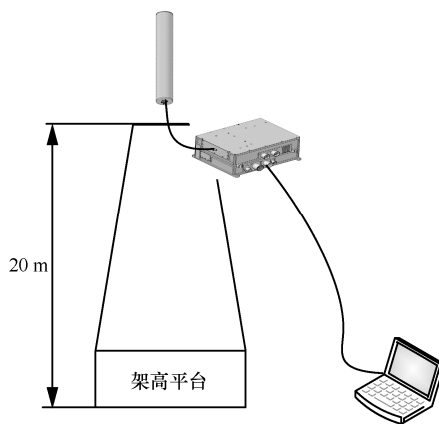


图 10 地面通信设备安装示意图

艇载定向天线和艇载收发组合安装在无人艇,收发组合通过网线与艇上交换机连接,如图 11 所示。

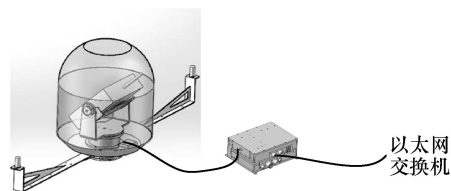


图 11 艇载通信设备安装示意图

3 无人艇远距离通信系统测试

3.1 无线电视距计算

本文通信系统选用的射频为微波频段,是直线传播方式,绕射能力较差,不能在通视视距之外通信。因此受地球曲率的影响,无线电作用距离越远,要求两点间高度越高。数据链的作用距离受到无线电视距的限制,考虑各种地形、地貌、气候对电波传播的影响,其电磁波发射从 T 点经



地表 C 点到 R 点，如图 12 所示。

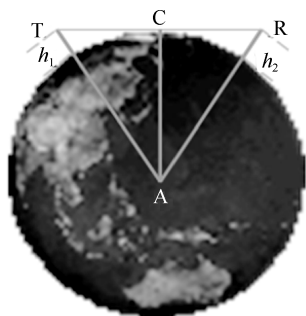


图 12 视距传播示意图

地球半径 $R=6\,370\text{ km}$ ， h_1 、 h_2 都远小于 R ，故视距 $d_0=TC+CR$ 。由三角计算关系 $TC^2=(R+h_1)^2-R^2\approx 2Rh_1$ ，同理 $CR^2=2Rh_2$ ，则无线电视距计算如式 (1) 所示。

$$d_0=TC+CR=\sqrt{2R}(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})=3.57(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}) \quad (1)$$

其中， h_1 为母船天线工作时距地面高度 (m)； h_2 为无人艇天线工作时距地面高度 (m)； d_0 为直视距离 (km)。

3.2 系统测试与结果分析

通信链路的关键参数设计指标见表 1，为了验证本文设计的无人艇远距离通信系统，分别在珠海万山海域和青岛黄海海域进行本通信系统的宽带测试和窄带测试。测试过程采用系留无人机搭载地面通信设备升到高空，无人艇上加装艇端通信设备，由母船拖曳无人艇的方式逐渐远离地面通信站，每间隔 5 km，记录一次监控软件的实时带宽数据。

万山宽带通信拉距测试中，为增加通信距离，岸端通信设备采用系留无人机升高至 129 m，艇端通信设备距离水面最大高度为 8 m，当艇端通信设备离水面 8 m 时，宽带通信拉距增程测试的结果见表 2。

表 2 中，通信带宽在距离 35~40 km 时发生骤降，在 50 km 时被中断，带宽变化剧烈，这是由于地面作为主节点提供全网定时，按照自身时间基准

表 1 通信链路关键参数指标

关键参数	定向天线	全向天线
工作频率	L 频段	L 频段
信息速率	8 Mbit/s	8 Mbit/s
误码率	10^{-5}	10^{-5}
发射功率	47 dBm	47 dBm
发射天线增益	12 dB	0 dB
接收天线增益	4 dB	4 dB
接收信号电平	-64 dBm	-68 dBm
灵敏度电平	-88 dBm	-88 dBm
链路电平储备	24 dB	20 dB

表 2 宽带通信拉距增程测试结果

距离	AGC	带宽
1 km	3.86	8 Mbit/s
5 km	3.21	8 Mbit/s
10 km	2.96	8 Mbit/s
15 km	2.8	8 Mbit/s
20 km	2.76	8 Mbit/s
25 km	2.67	8 Mbit/s
30 km	2.61	8 Mbit/s
35 km	2.31	8 Mbit/s
40 km	2.11	7.3 Mbit/s
45 km	1.02	500 kbit/s
50 km	/	中断

周期性发射下行信号，无人艇作为从节点接收主节点信号并恢复定时基准再占用自己分配的时隙发送上行宽带信号。如果通信距离超过保护间隔，电磁波传输时间增加，从节点收到主节点的信号后，发送信号再到达主节点的时间超过保护间隔，此时主节点开始发射后，就不会再接收未到达的上行信号，数据传输达到设计时间间隔临界，导致部分数据无法被接收而丢失，表现为数据速率骤降。

青岛窄带通信拉距测试中，岸端通信设备采用系留无人机升高至 180 m，艇端天线距离水面

高度最大高度为 8 m, 当艇端天线距离水面 8 m 时, 窄带通信拉距增程测试的结果见表 3。

表 3 窄带通信拉距增程测试结果

距离	AGC	带宽
5 km	131	6.2 kbit/s
10 km	133	6.1 kbit/s
15 km	65	6.3 kbit/s
20 km	64	6.1 kbit/s
25 km	64	6.5 kbit/s
30 km	64	6.5 kbit/s
35 km	64	6.3 kbit/s
40 km	63	6.5 kbit/s
45 km	63	2.4 kbit/s
50 km	70	6.1 kbit/s

考虑实际情况中, 海平面水汽衰减、海杂波干扰等因素的干扰会影响数据传输质量, 造成通信衰减, 衰减系数 k 按式 (2) 计算。

$$k = \frac{1}{L} \quad (2)$$

依据式 (2) 的衰减系数计算, 在无人艇艇端天线处于不同的高度, 其理论通视距离和实际测量通视距离测试结果见表 4。

表 4 理论通视距离和实际测量通视距离测试结果

带宽	岸端 天线高	艇端 天线高	理论通视 距离	实际通视 距离
宽带	129 m	2 m	46 km	40 km
		4 m	47 km	42 km
		6 m	49 km	43 km
		8 m	51 km	45 km
窄带	180 m	2 m	53 km	46 km
		4 m	55 km	48 km
		6 m	57 km	49 km
		8 m	58 km	50 km

从表 3 测试结果可以看出: (1) 岸端天线越高, 通信视距越远; (2) 艇端天线越高, 通信视

距越远; (3) 岸端天线利用系留无人机升高至 129 m, 艇端天线架高 8 m 时, 最大宽带通信距离可达 45 km, 艇端天线架高 2 m 时, 宽带通信距离可达 40 km; (4) 岸端天线利用系留无人机升高至 180 m, 艇端天线架高 8 m 时, 最大窄带通信距离为 50 km, 当艇端天线架高 2 m 时, 最大窄带通信距离为 46 km; (5) 考虑实际情况中合理的衰减, 本文研制的无人艇远距离通信系统通信质量稳定可靠, 达到设计预期效果。

4 结束语

针对目前无人艇通信距离短的问题, 本文设计一种适应无人艇的远距离通信系统, 系统由地面通信设备和艇端通信设备组成, 其中地面设备又包括地面全向天线和地面收发组合; 艇端通信设备包括艇载天线设备和艇端收发组合, 在系留无人机的通信增程辅助下, 在海洋真实环境对该系统进行了测试, 在地面设备升高到 129 m, 宽带通信可达 40 km, 岸端设备升高 180 m, 窄带通信可达 50 km, 测试过程中, 无人艇与地面设备通信稳定可靠, 满足无人艇远距离通信系统的需求。

与海面蒸发波导通信相比, 本文通信系统数据传输更稳定, 传输距离更远。海面蒸发波导作为一种新的传输媒介, 可实现海上超视距传输, 传输速率可达数十至数百 Mbit/s 级, 但是一方面海面蒸发波导随经纬度、季节变化, 可被利用的波导高度受到限制, 导致传输不稳定; 另一方面, 海面蒸发波导通信的发射天线须位于大气波导层内, 发射天线的高度受到限制, 这也限制海面蒸发波导通信的传输距离。

本文的通信系统设计虽达到无人艇远距离通信的要求, 但是艇载宽带通信系统设备相对较大, 在无人艇上加装比较困难, 未来艇载远距离通信系统的小型化、轻型化是进一步研究的方向。



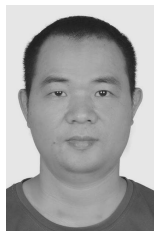
参考文献：

- [1] 李家良. 水面无人艇发展与应用[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(6): 203-207.
LI J L. Development and application of unmanned surface vehicle[J]. Fire Control & Command Control, 2012, 37(6): 203-207.
- [2] 钱帆. 水面小型无人艇通信导航系统的设计与开发[D]. 海口: 海南大学, 2020.
QIAN F. Design and development of communication and navigation system for small unmanned surface vehicle[D]. Haikou: Hainan University, 2020.
- [3] 刘爽, 武秋锋. 海面通信的多路径跳跃传播分析[J]. 数码世界, 2018(8): 41-42.
LIU S, WU Q F. Analysis of multipath hopping propagation for sea surface communication[J]. Digital Space, 2018(8): 41-42.
- [4] 常雪娇, 陈析. 短波通信抗干扰技术应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(22): 35.
CHANG X J, CHEN X. Short-wave communication anti-interference technology applications [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(22): 35.
- [5] 张任楠, 王志涛. 卫星通信抗干扰技术及其发展趋势分析[J]. 数字通信世界, 2020(9): 79-80.
ZHANG R N, WANG Z T. Satellite communication anti-interference technology and its development trend analysis[J]. Digital Communication World, 2020(9): 79-80.
- [6] 刘嵩鹤, 农海燕, 王倬. 基于平流层通信技术的军事通信网络研究[J]. 数字通信世界, 2020(6): 60-67.
LIU S H, NONG H Y, WANG J. Research on military communication network based on stratospheric communication technology[J]. Digital Communication World, 2020(6): 60-67.
- [7] 宋南, 郑剑云, 孙欣, 等. 水面舰艇新型中远距离通信方式分析与研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(12): 61-64, 182.
SONG N, ZHENG J Y, SUN X, et al. Nalysis and research on new medium and long distance communication mode of surface ships[J]. Ship Electronic Engineering, 2019, 39(12): 61-64, 182.
- [8] 佟学俭. OFDM 移动通信技术原理与应用[J]. 中国数据通信, 2003, 5(7): 120.
TONG X J. OFDM mobile communication technology principles and applications[J]. China Data Communication, 2003, 5(7): 120.
- [9] 李海洋. OFDM 移动通信技术原理与应用分析[J]. 大众标准化, 2021(10): 162-164.
LI H Y. OFDM mobile communication technology principle and application analysis[J]. Popular Standardization, 2021(10): 162-164.

[作者简介]



李雪 (1986-), 女, 国家海洋局南海调查技术中心工程师, 主要研究方向为海洋智能装备技术。



胡海驹 (1978-), 男, 广东省国土资源测绘院高级工程师, 主要研究方向为海洋测绘。



王伟平 (1966-), 男, 国家海洋局南海调查技术中心高级工程师, 主要研究方向为海洋测绘。

陈焱琨 (1982-), 女, 博士, 国家海洋局南海调查技术中心工程师, 主要研究方向为海洋声学。

郑兵 (1990-), 男, 国家海洋局南海调查技术中心工程师, 主要研究方向为智能图像识别。

董超 (1982-), 男, 博士, 国家海洋局南海调查技术中心研究员, 主要研究方向为海洋智能装备。