

文章编号: 2095-4980(2022)04-0319-06

基于卫星和集群通信的渔船组网技术与应用

李超¹, 杨晨², 李明², 杨华勇^{*1}

(1. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 海洋立体观测团队, 广东 广州 511458;
2. 天津航天中为数据系统科技有限公司, 资源环境项目办, 天津 300150)

摘要: 渔业公司船多且作业队伍不固定, 通过在每艘船上加装卫星通信终端来解决远洋宽带通信问题成本很高。根据船队分为指挥船与任务船两类, 出海作业时每组由一艘指挥船带领若干任务船的特点, 在指挥中心和指挥船之间建立卫星通信网络, 在指挥船和任务船之间建立移动宽带多媒体通信网络, 并辅以组播、路由自动切换等策略。建成后的系统可实现任意船只之间以及船与指挥中心间的宽带互联互通, 指挥船与任务船随机组队时, 链路可自适应, 系统无需重新配置, 指挥船与任务船间宽带通信距离大于 20 km。该系统可大大降低渔业公司远洋宽带通信网络的建设成本与运营成本。

关键词: 海上通信; 卫星通信; 宽带多媒体集群; 视频会议

中图分类号: TN92

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2020199

Fishing boat networking technology and application based on satellite and cluster communication

LI Chao¹, YANG Chen², LI Ming², YANG Huayong^{*1}

(1. Integrated Ocean Observation Group, Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory(Guangzhou), Guangzhou Guangdong 511458, China;

2. Natural Resources and Ecological Environment Project Office, Tianjin Zhong Wei Aerospace Data System Technology CO., LTD., Tianjin 300301, China)

Abstract: The fishery companies have many ships and the operation team is not fixed. It is very costly to solve the problem of ocean-going broadband communication by installing satellite communication terminals on each ship. The fleets are divided into two types: command ship and task ship. During the operation on the sea, each group includes a command ship and a number of task ships. A mobile broadband multimedia communication network is established, supplemented by strategies such as multicast and automatic routing switching. The completed system can achieve broadband interconnection between any ship and between the ship and the command center. When the command ship and the mission ship form a random team, the link can be adapted, and the system does not need to be reconfigured. The broadband communication distance between the command ship and the mission ship is more than 20 km. The system can greatly reduce the construction cost and operation cost of the ocean-going broadband communication network of the fishery company.

Keywords: maritime communications; satellite communications; broadband multimedia cluster; video conference

随着远洋渔业的快速发展, 大型渔业公司管理的船只数量日益增多, 作业海域日渐扩大。船队一般分为指挥船与任务船两类, 平时批量出海且作业队伍不固定。为实现作业船队的多级全面管理与指挥调度, 亟需建立跨海域船队间的宽带多媒体调度指挥通信体系。当前, 宽带多媒体通信主要通过每艘船上安装船载动中通设备及任务终端以实现卫星点对点通信或组网通信^[1]; 也有部分采用卫星通信与局域组网通信相结合的方式^[2]。

收稿日期: 2020-05-10; 修回日期: 2020-06-21

基金项目: 2017国家重点研发计划资助项目(2017YFC1404902)

*通信作者: 杨华勇 email: yanghy@gmlab.ac.cn

当前船载可靠通信存在诸多局限性：a) 纯卫星通信方式时船队间通信成本高昂。动中通设备以及卫星通信带宽租赁资费都比较高，每艘渔船安装动中通设备，抬高了固定成本。而且作为一个船队，联系较为密切，在出行时距离较近，这时宽带多媒体通信就会占用大量的带宽和流量资源，产生的流量费也非常高昂^[3]。b) 采用卫星通信与微波通信相结合时，存在网络规模受限及组网不灵活问题。鉴于船队由指挥船和任务船两类船组成，卫星通信终端部署于指挥船，指挥船与任务船之间通过微波点对点方式或者自组网方式通信，在视频会议组会时，每增加一个视频会议节点，单路带宽就会减少，造成视频会议质量下降。另外，由于每次出海的船队并不固定，当指挥船和任务船发生变更时，网络拓扑就要发生改变，需要对任务船、指挥船以及指挥中心的网络进行更新，对于操作水平不足的管理者而言，既增加工作量，又增加了犯错的几率。针对现有技术的不足，本文设计了一种基于卫星通信与船载移动宽带多媒体通信相结合的网络^[4]，可针对海上渔船作业特点有效解决宽带通信问题。

1 系统组成

系统分为指挥中心、指挥船、任务船三部分。船队与指挥中心以及不同船队之间采用卫星通信实现广域互联，同一船队内部采用宽带多媒体集群的方式建立一个以指挥船为核心的有中心网络。当同一船队的任务船之间进行通信时，经过本船队的指挥船的集群基站建立通信链路。当任务船与另一船队的船只通信时，经过集群链路与卫星链路构成的异构网络完成通信。在此基础上实现语音、视频、数据(文本、图片、位置信息)等多种应急业务应用。指挥中心建设或租用卫星通信主站，并配备虚拟专用网络(Virtual Private Network, VPN)设备、集群调度台、多点控制单元(Multi Control Unit, MCU)、视频会议终端设备以及大屏等设备。指挥船配备 VPN、船载动中通、集群基站、调度台、MCU、视频会议终端、视频监控终端等。任务船配备防火墙、集群终端及视频会议终端、视频监控终端等。

网络防火墙和 VPN 设备，用于系统安全防护、信息加密、路由转换等功能。

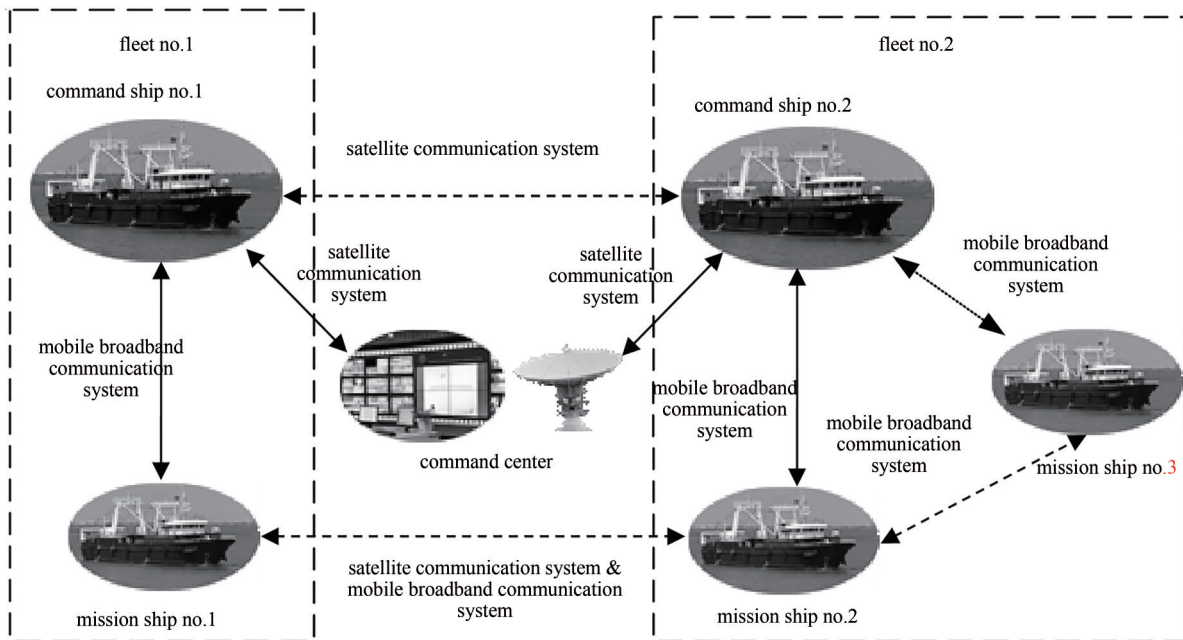


Fig.1 Composition and application chart of system

图 1 系统组成及应用图

1.1 移动宽带多媒体集群通信系统

移动宽带多媒体集群通信系统由指挥船基站设备、任务船前端设备和两级管理调度平台三部分组成。

1.1.1 任务船前端设备

指挥船各配属若干任务船作为编组船队，每艘任务船配置 1 套船载前端设备。a) 所有前端可以与两级指挥中心实现图像、语音、数据等双向多媒体信息实时传输。b) 所有前端可以在多艘指挥船构成的多基站网络内自动漫游切换，图像切换时间 < 3 s。c) 两级指挥中心可对所有前端的图像、数据带宽灵活配置。d) 船载前端具备多种业务接口，包括高清视频、调度语音、勤务语音、网际互连协议(Internet Protocol, IP)数据、定位数据等。e) 配置大功率输出模块，进一步提高系统覆盖范围。

1.1.2 指挥船基站设备

指挥船上各配置 1 套基站，通过 300~400 MHz 微波频段与任务船系统互通，实现指挥船、任务船、指挥中心之间的图像、语音、数据等宽带多媒体信息通信。a) 采用时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)技术，在 4 MHz 条件下，可接收 6 路移动前端的上传图像。b) 采用时分双工(Time Division Duplexing, TDD)技术，在同一工作频点，基站设备可与移动前端之间实现双向图像、语音、数据等多媒体信息实时传输。c) 多基站异频组网，所有移动前端在多基站网络内自动漫游切换，相邻指挥船基站、移动前端之间无相互干扰。d) 可接收所有移动前端上传的定位数据。e) 通过 IP 接口与下级指挥调度平台连接。

1.1.3 两级管理调度平台

指挥中心建设 1 套上级管理调度平台，指挥船各配置 1 套下级管理调度平台，两级管理调度平台通过卫星 IP 链路连接，实现指挥中心与所有指挥船、任务船设备之间的图像、语音、数据等多媒体信息的实时交互，并对所有基站、移动前端进行在线管理。管理调度平台主要包括以下设备：a) 基站控制器：实现多基站联网，确保所有移动前端在多基站之间自动漫游切换，完成鉴权、注册、注销等功能。b) 多媒体调度机：实现图像、语音、数据等多媒体业务的转发。c) 多媒体调度台：配置多媒体调度软件，是实现调度功能的窗口。对下辖所有前端进行指挥调度。

1.1.4 集群通信系统功能与指标

表 1 集群通信系统指标

Table1 Cluster communication system indicators

item	base station	terminal
electric power requirements	AC220 V	AC220 V/DC12 V
receive sensitivity	≤-98 dBm	≤-104 dBm
power consumption	≤100 W	≤25 W
transmit power	1~10 W, continuously adjustable	
center frequency	300 MHz~400 MHz,adjustable	
carrier bandwidth	2 MHz/4 MHz, optional	
data bandwidth	up to 4.2 Mbps for uplink and 1.1 Mbps for downlink	
duplex mode/multiple access mode	TDD/TDMA	
video codec format	H.264/H.265	
terminals online	a single base station supports 255 terminals online at the same time to receive downlink broadcast voice and data	
roaming under multi-base stations	terminals can automatically roam and switch under multi-base stations	
video	a base station can receive 6 images at the same time sending images for uplink can be accompanied by voice	
voice	full duplex, selective for uplink, broadcast for downlink support Push-To-Talk(PTT) between terminals	
data interface	RJ45, providing transparent Ethernet transmission channel	
management and dispatch	support remote parameter configuration and service dispatch	

1.2 卫星通信系统

卫星通信网络是海上通信的关键。指挥中心分系统搭建主控站，与船载动中通构成星型卫星通信网，实现对全网运行的卫星通信终端进行监控管理、资源规划分配以及业务信息的分发。

1.2.1 主控站

主控站是卫星通信网络管理、路由交换处理、卫星数据分发的核心，具有业务支撑、网络管理、数据汇聚分发等功能，主控站对外提供标准的 IP 数据接口，支持与地面网络的互联互通，实现卫星网与地面网间的数据交互功能。主控站由射频子系统、基带子系统和网络管理子系统组成，用以完成馈电信号收发、基带信息处理、全网资源监管及星地网络交换等功能。射频子系统通过自动跟踪方式控制天线对准卫星，实现上行链路 Ku 频段信号的发射和卫星下行 Ku 频段信号的接收。基带子系统负责对发送、接收数据的调制解调，支持通过路由交换分系统实现与指挥中心的信息交互。网络管理子系统负责全网设备、资源、业务的监控管理，对外提供北向接口。

1.2.2 船载动中通

船载动中通小站由三轴船载动中通天线、射频单元和卫星调制解调器组成^[5]。三轴船载动中通天线：采用方位-俯仰-横滚型结构形式，方位、俯仰、横滚电机分别通过齿轮和传动带完成天线 3 个自由度的转动，并通过各自的同步传动链带动相应的光电编码器同步转动，把天线三轴位置信息反馈回伺服控制器，控制器控制三轴转动使天线到达目标位置。射频单元：射频单元包括功放和低噪声放大器。功放的主要功能是实现基带信号的变频和放大作用，是搭建卫星链路的关键部件之一。低噪声放大器具有从接收天线中感应的许多电信号选频、放大、变频、传输给接收机解调的功能，是卫星通信系统接收设备中承前启后的一个重要组成部分。

卫星调制解调器：可以接收卫星转发数据，同时还具备数据回传功能，实现终端的入网、同步等功能，具

备多速率突发包回传能力。

2 系统功能

整个网络通信具体要求如下：

- 1) 指挥中心具备接入其他网络(如办公网、互联网)功能，保障所有设备可以连接其他网络。
- 2) 指挥中心与任意指挥船及任务船之间可以直接进行 IP 点对点视频会议、视频监控、语音及文本通信。
- 3) VPN 设备之间通信相互独立。(说明：任意 2 台 VPN 上层网络联通时，这两台 VPN 下属的设备之间即可进行通信，不受其他 VPN 影响，即 VPN 之间没有下属关系)。
- 4) 通信系统具备组网功能，卫星通信采用星状有中心组网方式，具有统一的卫星通信管理能力。移动宽带多媒体通信采用有中心组网方式，基站可同时管理多个终端。
- 5) 指挥中心和指挥船 MCU 组织的多方会议，均采用组播方式。视频会议 MCU、卫星通信网络以及集群通信网络均开放组播功能。无论多少船参与视频会议组会，卫星通信的下行链路，以及指挥船所属的集群下行网络均占用一路带宽。这样下行可以一路视频的带宽将最为重要的 MCU 高清视频分发给所有船只，而上行链路根据 MCU 的固有功能，所有船只的本地视频将自动整合为一路上行链路回传至指挥中心。
- 6) 网络自适应。当任意一艘任务船与任意一艘指挥船对接时，指挥船就会探测到是哪一艘任务船与指挥船对接，将这艘任务船的路由通知所有指挥船及指挥中心，但所有船载设备的网络配置均保持不变。

3 关键技术途径

3.1 网络设计

假设当前指挥船和任务船的数量分别为 M 和 N 。系统网络拓扑图如图 2 所示，每个指挥船直连的卫星网关(卫星通信小站)实际通过卫星链路建立连接，即网关 10.10.1.1/24、网关 10.10.2.1/24、……、网关 10.10.M.1/24 和网关 172.16.1.254/24，这 $M+1$ 个网关为独立的物理设备，且任意两个网关均通过卫星链路进行通信。

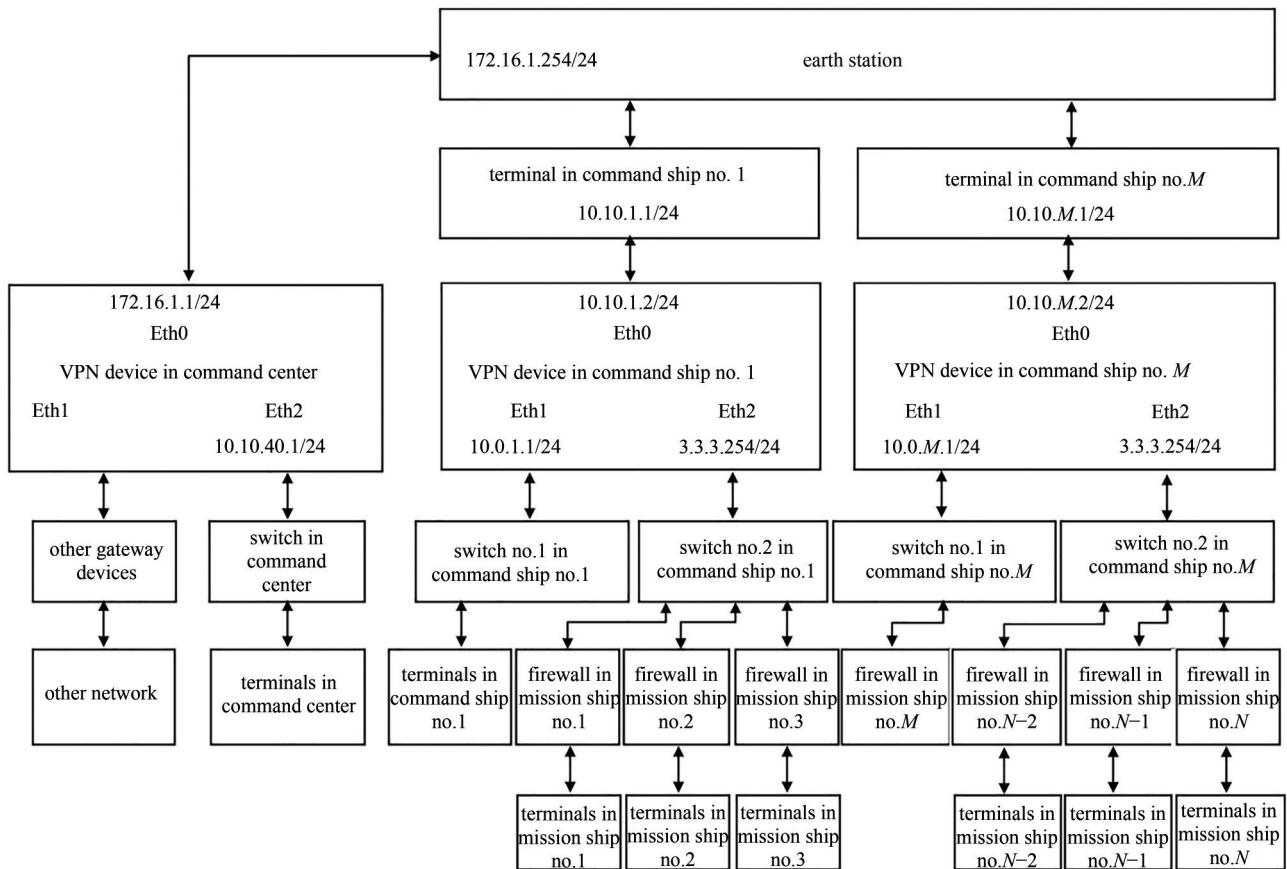


Fig.2 Network topology chart of system
图2 网络拓扑图

3.2 网络配置

卫星通信和集群通信均采用通用的IP协议，通过VPN、防火墙等网关设备可直接互通。其中涉及的关键技术实现主要包括：

1) 设备独立通信：有 $M+1$ 台VPN设备之间路由可达，针对于每一台VPN设备，需搭建 M 条通用路由封装协议(Generic Routing Encapsulation, GRE)隧道，使用IPSEC隧道技术封装，即每一台设备与另一台设备之间有独立的静态隧道进行通信，并且设备间相互独立，无需其他服务器中转。同时需要在 $M+1$ 台VPN设备上部署开放式最短路径优先(Open Shortest Path First, OSPF)动态路由，实现动态路由宣告功能，为后续指挥船与任务船对接做准备。

2) 组播通信：指挥中心的组播主机，不使用VPN技术进行数据封装，使用多播路由直接转发。

3) 任务船与指挥船对接：目前共有指挥船 M 艘，根据集群系统限制，假设每艘指挥船最多对接 L 艘任务船，故共有 $M \times L$ 艘作业船与 M 艘指挥船进行随机对接。确定任务船IP为单独且唯一，并在任务船上部署一台防火墙设备，任务船设备与指挥船设备采用特殊网段(如3.3.3.0)进行互联。在任务船设备上配置默认路由指向指挥船，实现路由转发。同时，需要在每一艘指挥船设备上配置 $M \times L$ 条回指路由，并开启IP探测功能。这样，当任意一艘任务船与任意一艘指挥船对接时，指挥船的IP探测就会探测到是哪一艘任务船与指挥船对接，之后通过上层的OSPF路由宣告功能，告诉所有上层 $M+1$ 台设备这艘任务船的路由。

3.3 天线选址

指挥船的动中通天线及集群基站的3根天线需安装在甲板上。因船舶甲板已安装多种通信系统天线，如短波天线、中高频天线、甚高频天线、北斗天线，且存在桅杆平台等遮挡卫星信号的平台，结合遮挡区域算法^[6]，新装天线应避免电磁干扰和物理遮挡，并注意如下几点：a) 天线安装于甲板高处且周边无明显遮挡物干扰；b) 天线确定安装位置之前进行理论计算，并进行行驶、360°旋转等实际场景模拟，测试各种通信系统信噪比或业务是否正常；c) 开通所有通导设备，确保所有设备可在相应频率上正常工作；d) 需要做防风、防水、防潮、防腐蚀处理，过高的天线应额外加固。

3.4 卫星链路计算

链路计算是卫星通信系统设计的主要依据之一，其主要内容是指计算主控站接收机输入端处的发射功率与天线增益；传输中的各种损耗；传输过程中引入的各种噪声与干扰以及接收系统的天线增益、噪声性能等因素。最终目的是为主控站之间传输质量满意的信号^[7-8]。

4 系统测试

4.1 通信测试

通过带宽测试软件测试任意指挥船卫星回传速率达2.1 Mbps；随机选取船队，任务船与指挥船之间移动宽带通信点对点传输有效距离20 km，语音传输距离大于40 km，下行速率共享1.1 Mbps，上行共享2.2 Mbps。

4.2 视频会议

随机选取任意两艘任务船、任意两艘指挥船、任意船与指挥中心，均可召开高清晰点对点视频会议。召开指挥中心与某一船队的、指挥中心与多个船队的多方视频会议，相同视频质量情况下，卫星信道下行所需带宽高比点对点视频会议多30~50%左右非线性开销。某一船队内部召开的多方视频会议，不依赖卫星信道，组播模式下，多方视频会议与点对点视频会议清晰度有轻微下降。以上测试表明，组播模式已实现，但由于组播模式的信令开销较大，导致实际占用带宽稍高于点对点方式。

4.3 视频监控

指挥中心可调取任意船只监控视频；指挥船可根据需要调取查看船队内所有任务船的监控视频。当选取H.265编码方式时，最大可支持1920×1080分辨率画面实时输出。

5 结论

根据渔业公司船队出海作业的特点，提出的基于卫星及移动宽带多媒体集群的现场组网系统兼具卫星组网网络覆盖范围大、通信距离远的优点以及移动宽带多媒体集群方便指挥、组网快速、部署灵活、容易扩展等优

势。通过卫星链路、集群链路、视频会议系统的组播功能显著降低多方视频会议所占用的信道资源，通过网络设备的路由设置实现了指挥船与任务船的自由搭配。该系统还可在海警执法领域进行推广应用。

参考文献：

- [1] 杨之伟. 探讨船艇编队通信指挥模式[J]. 通讯世界, 2020,27(2):121–122. (YANG Zhiwei, Discussion on the communication command mode of ship formation[J]. Telecom World, 2020,27(2):121–122.)
- [2] 付荣国,肖飞,郑黄海,等. 基于卫星及无线 Mesh 网的组网技术研究与应用[J]. 现代电子技术, 2017,40(11):21–24, 28. (FU Rongguo,XIAO Fei,ZHENG Huanghai,et al. Research and application of networking technology based on satellite and wireless mesh network[J]. Modern Electronics Technique, 2017,40(11):21–24,28.)
- [3] 刘丰华,孔祥海. 一种新型海上无线集成网络的研究与实现[J]. 舰船科学技术, 2014,36(12):140–143. (LIU Fenghua,KONG Xianghai. Research and implementation of a novel maritime wireless integrated network[J]. Ship Science and Technology, 2014, 36(12):140–143.)
- [4] 刘云龙,朱贵冬. 移动应急指挥调度系统设计[J]. 无线通信技术, 2016,25(2):20–23. (LIU Yunlong,ZHU Guidong. Design of mobile emergency command and dispatch system[J]. Wireless Communication Technology, 2016,25(2):20–23.)
- [5] 郝洁. VSAT 技术在海上船舶通信系统的应用研究[J]. 舰船科学技术, 2019,41(10):130–132. (HAO Jie. Application research of VSAT technology in marine ship communication system[J]. Ship Science and Technology, 2019,41(10):130–132.)
- [6] 张海勇,刘冠邑,马迁. 海上卫星通信遮挡预报模型研究[J]. 舰船科学技术, 2019,41(21):160–164. (ZHANG Haiyong,LIU Guanyi,MA Qian. Study on the occlusion prediction model of maritime satellite communication[J]. Ship Science and Technology, 2019,41(21):160–164.)
- [7] 楼兰. 数字集群与便携式卫星站异构组网应用[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(6):997–1002. (LOU Lan. Applied research on heterogeneous networking system of digital trunking and portable satellite station[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(6):997–1002.)
- [8] 李几超. 某 Ku 频段卫星通信系统的设计[J]. 电讯技术, 2012,52(5):649–653. (LI Jichao. Design of a satellite communication system in Ku-band[J]. Telecommunications Technology, 2012,52(5):649–653.)

作者简介：

李 超(1987–), 男, 山东省平度市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为应急监控指挥、无人机通信传输与指挥系统、海岛礁监测等 .email:tanklichao@139.com.

李 明(1985–), 男, 辽宁省辽阳市人, 博士, 副高级工程师, 主要研究方向为卫星通信、航空遥感等.

杨 晨(1982–), 男, 天津市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为无人机测控数据链系统等.

杨华勇(1974–), 男, 南昌市人, 博士, 教授, 主要研究方向为海洋立体观测等 .email:yanghy@gmlab.ac.cn.