

# 海域全场景融合通信技术及应用场景研究

## Research on Full-Scene Fusion Communication Technology and Application Scenarios in Maritime Regions

易影,李泽其,陈双全,褚兆文,杨华,安东明,魏小珊(中国移动通信集团广东有限公司,广东 广州 510510)  
Yi Ying, Li Zeqi, Chen Shuangquan, Chu Zhaowen, Yang Hua, An Dongming, Wei Xiaoshan (China Mobile Group Guangdong Co., Ltd., Guangzhou 510510, China)

### 摘要:

在海上4G/5G通信中,目前通常采用岸基4G/5G基站实现对近海区域的覆盖,但对于中远海域的覆盖效果不佳。分析并提出一套适合于海域全场景的船载融合通信技术,为海上航行船只、近海工程、海上文旅等多场景提供适配的高性价比的无线通信方案。

### 关键词:

4G/5G; Wi-Fi; 无线网络; 卫星通信

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.12.006

文章编号: 1007-3043(2025)12-0029-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

In maritime 4G/5G communications, shore-based 4G/5G base stations are currently used to provide signal coverage for coastal areas, but the coverage effect for mid and far-sea areas is poor. It analyzes and proposes a set of shipborne integrated communication technologies suitable for all-scenario maritime applications, offering a cost-effective communication solution for various scenarios such as maritime navigation, coastal engineering, and maritime tourism.

### Keywords:

4G/5G; Wi-Fi; Wireless network; Satellite communication

**引用格式:** 易影,李泽其,陈双全,等. 海域全场景融合通信技术及应用场景研究[J]. 邮电设计技术, 2025(12): 29-33.

## 1 概述

20世纪以来,陆地通信经历了从电缆到光缆、有线到无线、模拟到数字、1G到5G的日新月异的发展变革,而海洋通信的发展明显滞后于陆地通信。目前,我国海洋通信系统包括海上无线通信、海洋卫星通信和岸基移动通信,它们共同构成一个基本实现海洋全覆盖的通信网络。我国海洋通信系统构成情况如表1所示。

如图1所示,为了适应海洋领域多样化的应用场景和需求,我国电信运营商根据离岸距离、用户类别、

业务需求等因素,将海域网络划分为沿海区域(0~10 km)、近海区域(30~50 km)和远海区域(50 km以上)3个层次。通过精细化的区域划分和目标设定,优化网络资源配置,提升海洋通信的整体效能,以满足不同海域的特定需求,进而推动智慧海洋战略的深入实施。

从全局上看,我国现行的通信技术体系已初步实现了对近海、远海及近岸区域的基本覆盖,能够为常规通信需求提供相对稳定的支持,并推动相关业务的发展。然而,这一体系在实施过程中亦显露出若干亟待解决的问题。

a) 通信技术的应用层次相对较低,未能充分发挥其潜在效能。

收稿日期: 2025-11-07

表1 我国海洋通信系统构成情况

分类	代表性系统	优点	缺点
海上无线通信系统	奈伏泰斯系统 (NAVTEX)、中频/高频系统 (MF/HF)、甚高频系统 (VHF)、通用船载自动识别系统 (AIS)	应用成本低,使用便捷,满足近岸、近海、远海覆盖要求	该通信系统受气候条件和海洋环境影响较大,通信可靠性不高,而且系统采用窄带通信方式,导致无法提供高速数据业务
海洋卫星通信系统	全球卫星搜救系统 (COSPAS/SARSAT) 的卫星紧急无线电示位标 (EPIRB)、海事卫星系统 (INMARSAT)、北斗卫星导航系统	通信距离较远,可以实现全球海洋覆盖	因为卫星发射、空间和地面设施的运营和维护成本很高,所以卫星通信的应用成本较为昂贵,且通信带宽受限
岸基移动通信	移动通信系统	为港口、码头、航道管理、海水养殖、海上救助等提供了可靠的通信保障	只能覆盖近海区域

b) 远海海域信号覆盖弱,实现全海域的连续稳定



图1 海洋通信区域及业务场景划分

虑现网网络资源覆盖、建设成本、资费成本等因素,系统支持自主调度及管理,实现智慧海洋全场景网络覆盖。

#### 2.1.1 传统船上海洋通信架构

船舶作为海上运输的关键工具,其通信需求日益增长。然而,当船舶航行至远离岸边基站覆盖区域的远海时,传统的手机通信服务往往无法满足需求。尽管随着智慧海洋建设的推进,运营商增加了近海区域的网络覆盖投资,沿海信号质量得到提升,但这仍然难以满足大型船舶的通信需求。大型船舶内部空间广阔、舱室间隔多,加之船体金属结构对信号的屏蔽作用,导致通信体验不佳。

在船载通信技术的演进过程中,从最初的 1.0 版

覆盖仍面临技术问题和挑战<sup>[1]</sup>。

c) 各子系统之间缺乏有效的协调管理机制,未能形成统一的海洋通信体系。

d) 现有的海洋设备通信主要通过卫星进行远距离海域覆盖<sup>[2]</sup>,运营与维护成本较高,对长期的可持续发展构成压力。

基于我国海洋通信系统的现状,本文创新性地提出了一套适合于海域全场景的由卫星子系统、基站子系统、船载 Wi-Fi 子系统、直放站子系统组成的船载通信网络,以及各子系统自主协调及管理的海域全场景融合通信技术。

## 2 海域全场景融合通信技术

### 2.1 整体业务技术架构

海域全场景融合通信技术将整合卫星子系统、基站子系统、船载 Wi-Fi 子系统、直放站子系统,统筹考

本,即单一的卫星通信方式,发展至 2.0 版本,该版本采用了全频段低性能直放站,或结合 4G 小基站共天馈覆盖船舱以提供 4G 信号服务。然而,在实际应用中,由于直放站缺乏有效控制,易与船载小站产生互相干扰,尤其在近海区域,直放站与施主站之间的强干扰导致即使手机信号满格,也无法正常使用通信服务,严重影响了船舶上的通信体验。在未来的海上通信中,将通过融合多种通信方式、优化路由策略、研发集成的通信组网系统等方式提供广覆盖、高速率的海洋网络建设。

#### 2.1.2 融合通信组网

为了持续提升客户感知,本研究提出船载通信 3.0 版本,海域全场景融合通信系统方案,它根据船舶航

行情况,将车载高通量卫星终端、高增益5G终端、直放站、移动基站、Wi-Fi基站5个通信子系统创新性融合,组成自主协调和管理的综合性通信网络,系统组网架构如图2所示。该系统由车载信源及船内天馈线分布系统两大部分构成,完美适配船舶出行时从岸边到驶离岸边基站覆盖范围,再到行驶靠岸全航程的船上手机通信需求。沿海时自动启用车载直放站通信,近远海时自动关闭直放站并开启卫星+移动基站通信,解决船舶在近远海信号覆盖及直放站、车载基站信号互相干扰、靠岸与陆地基站互干扰的问题,实现从船舶出海到再返航全航程的优质通信体验。

### 2.1.3 技术功能及优势

本系统中的基站子系统、Wi-Fi子系统、直放站子系统各子系统协调管理机制为沿近远海全海域提供手机信号无缝连接覆盖及Wi-Fi信号覆盖。

处于沿海场景时,船舶靠近岸边自动开启车载数字无线直放站,检测岸边基站信号,将岸边基站信号经过模拟信号解调成数字信号再调制成模拟信号,放大再接入船上室分天馈,为船舱内用户提供无线覆盖服务。

处于近远海场景时,船舶已超出岸边基站覆盖范围,车载数字无线直放站自动关闭,车载基站系统自动启动,通过卫星带宽接入地面核心网,提供无线信号,车载基站系统提供语音通信及数据业务,实现船舶由近海到远海的通信接力服务。返航时,由远海驶入近海,直放站再次检测岸边基站信号,当满足接入

条件时,自动开启,引入岸边基站4G/5G信号服务,并自动关闭船上基站服务。

同时,海上专用高增益5G终端还为船舶提供Wi-Fi数据通信功能。高增益5G终端与高通量卫星融合组网。当船舶在近海航行时,在岸边宏站覆盖范围内,高增益5G终端可在距离岸边40 km区域内接入岸边基站,船上Wi-Fi系统对接海上专用高增益5G终端,为用户提供高速数据业务服务,并自动关闭高通量卫星通道,当船舶驶离海岸,超出宏站覆盖区时,自动启用卫星通信提供数据回传业务。

上述无线通信设备均为具备运营商入网许可的电信级设备,满足防雷、防水、防尘等环境适应性要求,可在低温、高温、盐雾等极端环境下稳定可靠运行。

### 2.2 车载直放站组网技术

车载无线直放站将4G/5G信源的下行射频信号通过无线耦合的方式引入数字无线直放站,低噪声放大后转换成数字信号进行数字化处理,再转换为射频信号经功率放大后实现4G/5G信号的无线覆盖。

车载无线直放站系统由信源及天馈线系统2个部分组成。其中,信源主要包括车载直放站,天馈线系统包括合路器、功分器、耦合器、天线、馈线、接头等无源器件。系统组网架构如图3所示。

### 2.3 车载高增益5G终端+Wi-Fi延伸覆盖技术

车载高增益5G终端系统是一种创新型的用户终端设备,为用户提供无线宽带接入+Wi-Fi中继的整体

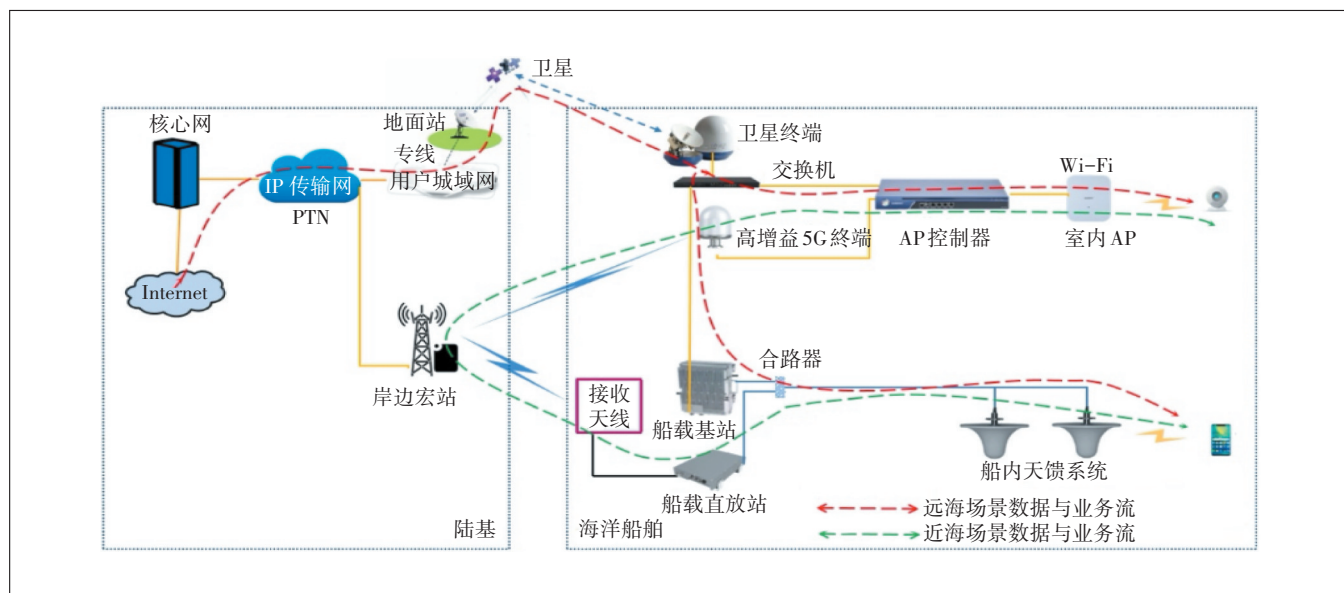


图2 海域全场景融合通信系统组网架构



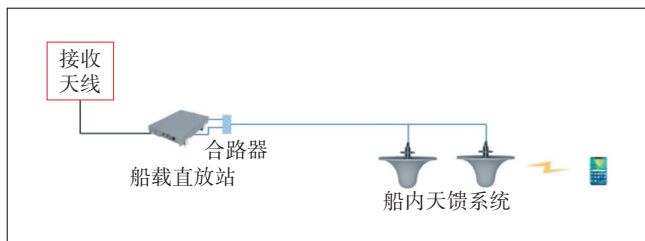


图3 车载直放站信号延伸系统组网架构

解决方案。系统主要分为室外和室内单元,室外单元高防护等级可用于各种安装环境,室内单元支持 Mesh 组网,方便用户使用。系统支持多个频段(低频、中频、高频),支持多种制式(3G、4G、5G),支持智能选择不同的移动网络,配置三阵列高增益全频段天线,支持 Class2(26 dBm)输出功率等级,支持最远 70 km 的覆盖距离;设备采用双 MODEM 并发工作,智能切换天线,搜索最优载波进行驻网,保障用户体验。

在沿海和近海海域,室外单元通过高增益全频段天线接收岸边宏站信号,再通过线缆传输到室内单元;在中远海海域,卫星终端的高增益全频段天线接收卫星传来的无线信号。

#### 2.4 车载卫星+基站 4G/5G 通信覆盖技术

车载宽带卫星通信终端是为船舶量身打造的连接陆地和海洋、海洋和海洋的 VSAT 通信设备。一体化大功率基站系统是一款集基带处理和射频收发功能于一体的 NR 基站设备,其回传端口可通过车载宽带卫星回传网络接入到运营商核心网,射频端口通过馈线连接到天馈系统实现 NR 信号覆盖。

该系统由信源及天馈线系统 2 个部分组成,信源包括车载动中通卫星、交换机、基站设备。天馈线系统包括合路器、功分器、耦合器、天线、馈线、网线、接头等无源器件。全航程由车载基站系统覆盖甲板,船舱内的信号覆盖由一体化基站的射频接入新建或利旧船舶的天馈系统,为船舶整体提供手机信号的无缝覆盖。

车载卫星通信天线安装在船舶上,能够在船舶航行过程中自动搜寻目标卫星并保持锁定,天线实时锁定卫星方向,保证卫星信号的不间断传输,解决船舶在海上作业时的通信问题。车载基站采用一体化紧凑型设计,支持室外部署,无需建设专用机房,具有应用灵活、建网快速、维护简单等优点。保证快速船舶网络覆盖及远洋通信不中断。

本系统满足近、中、远全海域航行场景接入,满足

中大型船舶室内覆盖需求,聚焦语音及低速流量业务,适用于长期远洋航行船舶。

### 3 海域全场景融合通信技术验证

#### 3.1 车载直放站延伸覆盖系统应用效果

车载直放站延伸覆盖系统效果的测试在某市一码头进行,在渔船上对车载直放站在近海海域的信号进行测试。测试对信源的选取须满足以下要求。

a) 控制数字直放站入口电平,建议施主天线处 4G/5G 数字无线信号的接收电平为:  $-70 \sim -90$  dBm,  $SINR \geq 15$  dB。

b) 信源的选取,基站有足够容量,覆盖区避免与信源重叠覆盖,覆盖区的 NR 小区与信源 NR 小区不存在同 PCI 或模三关系 PCI。

c) 施主天线须采用定向窄波束天线。

表 2 为 700 MHz 车载直放站信号延伸系统在渔船上的覆盖测试结果。

表 2 直放站渔船覆盖测试结果

序号	CI	PCI	SS RSRP(对应该接收信号)/dBm	SS SINR/dB	上传速率均值/(Mbit/s)	下载速率均值/(Mbit/s)	时延/ms
1	****8671	118	-70	11	71.38	90.32	56
2	****3503	308	-80	6	66.76	80.69	64
3	****5044	79	-85	4	63.19	77.47	65
4	****4135	141	-90	2	41.76	62.85	69
5	****2019	195	-95	1	22.16	42.34	74
6	****1347	513	-100	-3	16.97	33.85	80

根据现场海上测试,700 MHz 直放站的速率及使用受接收宏站信号强度的影响,在宏站接收信号强度大于等于  $-100$  dBm 情况下,700 MHz 直放站覆盖良好,满足 5G-NR 语音、视频通话以及数据和图片等信息的传递要求,能满足海上用户在近海岸航行或作业通信信号业务需求。

#### 3.2 车载高增益 5G 终端系统应用效果

高增益 5G 终端测试从某码头出发开往外海,不同的 CPE 同时接入车载 AP 控制器上,船上工程师通过 AP 控制器对不同 CPE 进行接入开启或者关闭操作,在船舱内连接 Wi-Fi 热点对 CPE 的性能进行测试。船从码头出发开往外海,测试路线如图 4 所示,最远位置距离海岸线约 56 km,此时实测 RSRP 为  $-94$  dBm,上传速率均值为 41 Mbit/s,下载速率均值为 80.2 Mbit/s。

根据现场海上测试情况,与其他普通 CPE 相比,

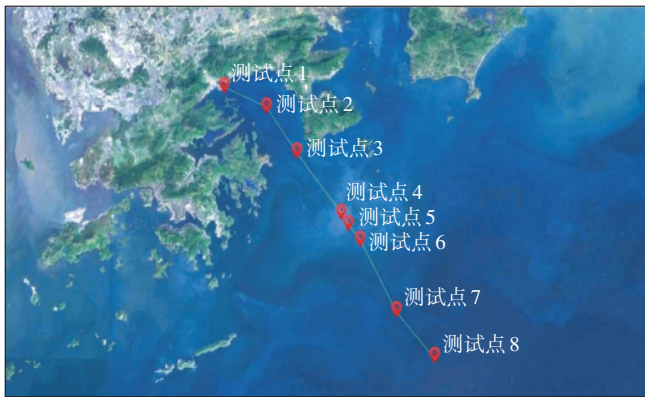


图4 高增益5G终端测试路线

高增益5G终端上传下载速率总体优于其他CPE。设备运行稳定,可对宏站信号进行接收并调制解调转化为Wi-Fi信号,在海域各种场景中具有接收信号距离远、移动性好、高可靠等特点,能满足海上用户在多场景下无线信号业务需求,降低船上使用无线流量上网的通信资费。

### 3.3 船载卫星+基站4G/5G通信应用效果

船只安装某运营商的LTE基站,利用卫星方式接入该运营商的通信核心网,用以保证在航行过程中的4G语音、视频通话以及数据和图片等信息的传递,以达到远洋移动通信目的。测试船只从某码头出发,在渔船上对外海信号进行测试,测试位置如图5所示。卫星选用亚太6D高通量卫星,测试最大带宽设置为:下行15 Mbit/s,上行8 Mbit/s。

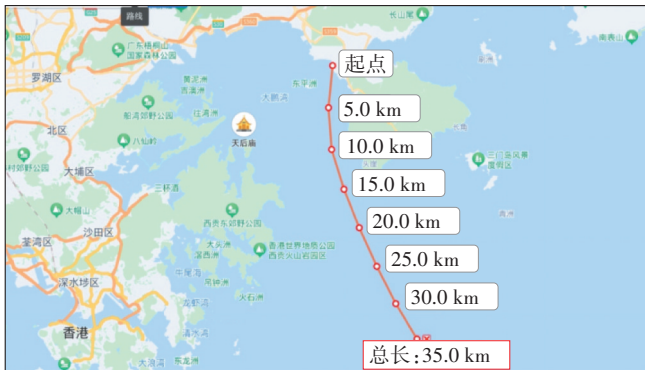


图5 船载卫星测试路线

当测试终端驻留在基站卫星的小区时,开始进行业务测试。在单小区LTE下行速率测试中,设备下行速率均值为15.64 Mbit/s;在单小区LTE上行速率测试中,设备上行速率均值为7.84 Mbit/s。在语音业务测试中,设备VoLTE语音业务开展成功,通话清晰,业务挂断正常;在视频业务测试中,VoLTE视频业务开展成

功,通话清晰,视频清晰无马赛克,业务挂断正常。

测试结果表明,LTE基站的速率及使用受限于卫星带宽、卫星时延等因素,在卫星正常运行情况下,基站覆盖良好,可以满足船只语音、视频通话以及数据和图片等信息的传递需求。

## 4 结束语

海域融合通信系统协调管理机制为客户提供更好的手机信号无缝连接覆盖及Wi-Fi信号覆盖服务。船载基站子系统与船载直放站子系统具备协调管理机制,可根据海域信号覆盖情况自动切换,提供近海4G、5G信号接入,近海高速通信体验与岸上相当,远洋通信不中断,保障蜂窝网通信。高增益5G终端与岸边宏站及高通量卫星融合组网,在近远海分别接收来自岸基基站和卫星基站的信号,增强信号的接收,减少蜂窝数据流量的使用。系统满足应急期通信或建设早期通信业务的连续性需求;可向下接入更多现场数据,向上与更多相关应用无缝连接。设备支持有线及无线回传监控,支持接入运营商物联统一网管平台,统一网管北向对接综合网管,按规范传递告警和性能等数据。

本文针对海上4G/5G通信技术及其应用场景进行探究,并通过外场测试论证了其在现网的应用效果,具有重要的理论意义和实践价值。通过构建一套适用于沿海、近海、远海的全场景融合通信系统,将有力推动海洋经济的发展和海洋治理体系的完善。未来,海上通信技术将继续向智能化、自动化、多系统集成化的方向发展,为海洋经济的可持续发展提供有力支撑。

### 参考文献:

- [1] 林延,蒋健,张文俊. 海域5G新基建网络空间组网研究与探析[J]. 通信与信息技术,2024(6):59-61.
- [2] 邱斌,梁宁. 5G海域超远覆盖技术研究与实践[J]. 邮电设计技术,2024(11):50-57.

### 作者简介:

易影,硕士,主要研究方向为行业专网应用;李泽其,硕士,主要研究方向为专网无线接入产品的研发;陈双全,学士,主要研究方向为行业专网应用;褚兆文,硕士,主要研究方向为专网无线接入产品的研发;杨华,学士,主要研究方向为行业专网应用;安东明,学士,主要研究方向为专网无线接入产品的研发;魏小珊,学士,主要研究方向为专网无线接入产品的研发。