

大型船舶平台5G专网设计与部署研究

廖晶静^{1,2}

¹中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄

²先进通信网国家重点实验室, 河北 石家庄

收稿日期: 2026年8月29日; 录用日期: 2026年9月21日; 发布日期: 2026年9月28日

摘要

针对大型船舶平台复杂海洋环境下网络可靠运行、灵活部署的工程需求, 本文从系统工程视角提出船载5G分级分布式网络架构与配套部署方案。技术层面融合机固分级协同组网、分布式核心网热备份、多接入边缘计算本地数据自治三项关键技术, 依托分级协同机制完成固定基站与机动节点动态组网, 结合核心网热备与用户池共享、3GPP标准规定的AMF容量权重配置实现网元故障快速自愈, 借助边缘本地数据闭环处理完成涉密信息安全隔离; 落地层面梳理适配舰船空间与作业环境的专用设备形态, 支撑大型船舶专网工程建设。整套架构可在网元局部受损时实现网络自愈, 面向应急通信、区域热点补盲场景完成动态覆盖拓展, 兼容多型船载终端接入, 可依托卫星回传链路实现岸海网络互通, 为构建多舰船跨平台一体化海上移动通信体系提供技术支撑。方案整体既是对现有5G专网标准的工程化应用, 又是面向舰船平台特殊需求的系统性优化与创新。

关键词

船载5G专网, 分级分布式网络架构, 机固分级协同, 容灾备份, 域内自治

Research on the Design and Deployment of Private 5G Networks for Large Ship Platforms

Jingjing Liao^{1,2}

¹The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang Hebei

²National Key Laboratory of Advanced Communication Networks, Shijiazhuang Hebei

Received: August 29, 2026; accepted: September 21, 2026; published: September 28, 2026

Abstract

In response to the engineering requirements for reliable operation and flexible deployment of

文章引用: 廖晶静. 大型船舶平台 5G 专网设计与部署研究[J]. 无线通信, 2026, 16(4): 59-66.

DOI: 10.12677/hjwc.2026.164006

networks in complex marine environments on large ship platforms, this article proposes a ship borne 5G hierarchical distributed network architecture and supporting deployment scheme from a systems engineering perspective. At the technical level, it integrates three key technologies, namely, machine fixed hierarchical collaborative networking, distributed core network hot backup, and multi access edge computing local data autonomy. It relies on the hierarchical collaboration mechanism to complete the dynamic networking of fixed base stations and mobile nodes. It combines the core network hot backup and user pool sharing, and the AMF capacity weight configuration specified in the 3GPP standard to achieve rapid self-healing of network element failures, and completes the security isolation of classified information with the help of the edge local data closed-loop processing; It sorts out the specialized equipment forms that are suitable for ship space and operating environment at the landing level, and supports the construction of large-scale ship dedicated network projects. The entire architecture can achieve network self-healing in the event of local damage to network elements, and dynamically expand coverage for emergency communication and regional hotspot blind filling scenarios. It is compatible with multiple types of shipborne terminal access and can rely on satellite feedback links to achieve shore sea network interoperability, providing technical support for building a multi ship cross platform integrated maritime mobile communication system. The overall solution is not only an engineering application of existing 5G private network standards, but also a systematic optimization and innovation for the special needs of ship platforms.

Keywords

Shipborne 5G Private Network, Hierarchical Distributed Network Architecture, Mobile-Fixed Hierarchical Collaboration, Disaster Recovery Backup, Intra-Domain Autonomy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大型船舶平台是集海上移动航行与多样化使命任务于一体的综合体[1], 广泛应用于军用指挥战斗或民用邮轮旅游等服务。这类平台通常远离岸基, 内部结构复杂、功能分区多样, 涵盖动力、电力、监控、医疗等多种系统, 内外通信均存在宽带无线网络需求[2]。5G 凭借其先进的无线技术、网络架构和数据服务能力, 构建了强大的核心支撑能力, 催生了丰富的应用场景, 已成为满足大型船舶平台内部通联与对外交互需求的首选技术[3]。

目前, 无论是运营商建设的 5G 网络, 还是独立的煤矿 5G 专网、铁路 5G 专网等垂直行业建设的 5G 专网[4], 其核心网、承载网和接入网均是固定布设的, 相对移动的一般为终端。小型船只在近海区域活动时, 一般部署终端, 接入公共网络[5]。而大型船舶平台, 包含自成体系的平台监控、视频娱乐等多媒体应用服务, 全方位覆盖的独立 5G 专网, 可为内部通信、网络直播、视频会议、船舶报警等系列场景需求提供信息化基础设施[6]。因此, 如何利用 5G、5G-A 等先进移动通信技术, 为大型船舶平台设计并部署稳定、可靠、高速且具备可持续升级能力的专网, 已成为船舶平台通信网络亟待深入细化研究的重要课题。

俞春祥等[7]针对船舶特殊环境, 结合网络架构、接口协议、网元功能和运行环境轻量化等核心技术, 提出基于一体化 5G 技术的船舶通信系统方案, 为 5G 技术在位置空间有限的船舶平台落地提供了可行的架构路径。主要聚焦于通信系统本身的轻量化、融合、定位等技术突破, 在基于大型船舶平台业务需求

的 5G 专网系统性研究及设计方面还有所欠缺。李淑兰[8]从硬件设计角度切入,针对 5G 毫米波传输特征,提出了基于 C-RAN (Centralized Radio Access Network, 集中式无线通信网)分布式框架的舰船通信网络系统,并在实验室环境验证设计系统能够支持 5G 标准下的多模数据传输,解决了现有 4G 系统无法有效支持 5G 毫米波的问题。邢展豪[9]聚焦于 MEC (Multi-Access Edge Computing, 多接入边缘计算)设计了舰船平台分布式网络架构,并引入粒子群优化算法对系统时延进行优化,通过仿真证明该架构在多 MEC 设备并行计算下具有更低的响应时延和更好的收敛性。上述文献所提出的 C-RAN 架构、MEC 技术的应用,及其它相关文献提出的技术[10]-[12],多处于分立研究或实验室验证阶段,如何进行系统级集成,满足可靠性、可用性和安全性要求,目前尚无研究聚焦形成可在船舶平台工程化部署的完整解决方案。

现有 3GPP TS 23.501 [13]、TS 23.502 [14]定义了 SNPN (Stand-alone Non-Public Network, 独立非公共网络)基础组网框架,TS 23.558 [15]规范了 MEC 边缘本地流量分流、下沉 UPF 会话管理通用流程,陆地园区、工业专网相关研究均基于上述标准实现专网隔离与边缘业务卸载。但现有标准与已有研究均以地面稳定有线回传、终端位置相对固定为前置假设,未针对海上船舶通信特有约束开展适配设计:其一,船舶离岸后船岸无线链路存在大幅时延抖动、间歇性中断问题,标准原生 5G 接入流程依赖远端岸基核心网鉴权,断链后船载业务将全部中断;其二,传统 MEC 分流方案缺少船载本地自治能力,回传失效后边缘会话无法维持;其三,现有主备 AMF (Access and Mobility Management Function, 接入和移动性管理功能)负荷分担策略仅适配陆地固定机房,未结合海上信令突发重注册负荷设计标准化权重配比。

针对舰船平台 5G 专网系统设计与工程实现需求,本文首先基于分级分布式网络架构构建分级协同的固定与机动融合网络,适配舰船区域故障、临时任务活动等多变场景以实现灵活全域覆盖;其次结合核心网容灾与负载均衡理论,搭建核心网热备份架构并引入用户池共享机制,遵循 3GPP 相对容量规范配置主备 AMF 负荷权重,在部分网元受损时保障关键业务连续运行,解决大型舰船专网高可靠、强抗毁需求;最后依托多接入边缘计算完成区域业务数据本地闭环处理,实现舰船敏感数据链路隔离,整套方案兼容 3GPP NPN、MEC 基础标准框架,基于舰船动态覆盖、设备损毁容灾、涉密数据隔离等特殊场景约束开展定制化优化创新,清晰厘清方案中标准复用内容与舰船场景针对性改进内容。

2. 5G 分级分布式网络架构

大型船舶平台 5G 专网应是一种可实际运行和使用过程中可实现的高可靠、易组网和自恢复的高可用网络,以满足大型船舶平台对 5G 专网的分布性、稳定性、灵活性和安全性的要求,在网络架构上需考虑如下设计:一是共设固定专网与机动专网,机动专网可按需应急分布式部署,且与固定专网之间保持一致的开户信息;二是固定专网需实现网络架构容灾备份,部分受损时不影响船载工作和生活业务;三是对部分指定专业的应用服务数据实现一定的程度的隔离和访问限制。具体为:

(1) 整体网络架构分为一级固定专网、二级机动专网和各类型终端三层,机动专网可按需应急分布式部署,且与固定专网之间保持一致的开户信息,机动专网可独立运行,也可与固定专网协同,接入两专网的终端可相互通信。

(2) 船艇平台远海作战时间长、补给维修困难,在作战过程中受损或用时过久出现故障,可能造成网络不可用,需船载 5G 专网具备容灾备份能力,因此,固定专网设置主、备两个核心网,均为具备完整功能网元的核心网,开户信息同步,各区域舱室以室分基站的方式实现网络覆盖,且当主核心网受损或出现故障的情况下,所有用户可全部接入备核心网,保证舰载 5G 网络的抗毁性。

(3) 主、备核心网均部署有各自独立的 MEC,以保障低时延需求的控制类业务和高安全保护需求的医疗类业务数据,实现计算能力下沉到专业分区,承载本地业务信息的流转,保障信息的低时延和高安

全保障需求。

整体网络架构见图 1。

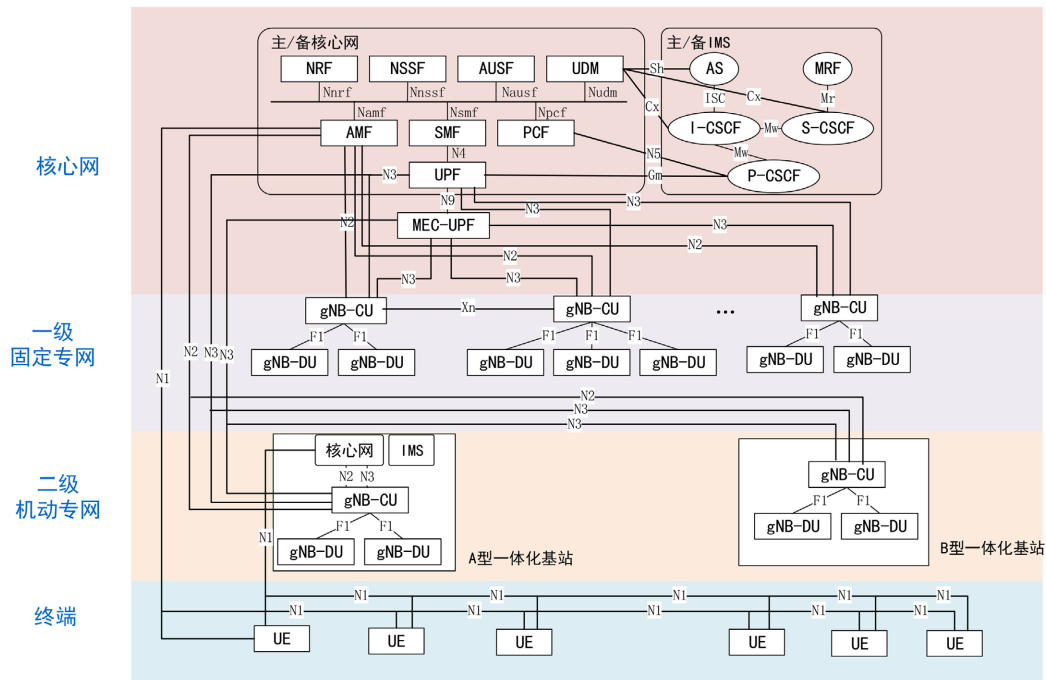


Figure 1. 5G hierarchical and distributed network architecture for large vessel platforms
图 1. 大型船舶平台 5G 分级分布式网络架构

3. 5G 固定与机动专网分级协同设计

针对船舶平台区域故障或临时活动等导致固定覆盖失效的多变场景，基于分级分布式网络架构，设计面向覆盖灵活性的分级协同固定与机动组网架构。由固定网元承担常态基础覆盖与业务承载，由机动网元(船载节点、任务区域临时补盲节点)按需动态延伸与收缩覆盖，通过分级协同实现覆盖能力随任务场景自适应调整。该设计在不增加固定设施冗余的前提下，保障区域故障与临时活动场景下的业务连续覆盖，克服了现有陆地固定园区组网难以适应船舶动态任务场景的局限。

固定与机动专网分级协同设计主要原理为，当二级网络与一级网络不连通时，二级网络可以脱离一级网络独立使用；当二级网络与一级网络连通时，其中二级网络接入一级网络的 IMS (IP Multimedia Subsystem, IP 多媒体子系统)，二级网络自身的 IMS 为备用。二级网络与一级网络经过传输(有线或无线)连接，可接入其它船载平台的终端，也可利用卫星通信接入岸基互联网。当多个二级网络连通时，也可配置为互备份用户可以在任意二级网络间漫游，也可以根据业务需要设置访问与漫游规则二级网络见的互通方式。因此，分级专网协同设计三个层次内容，一是机动专网中 A 型一体化基站设计可独立运行，二是 A 型一体化基站扩展连接多个 B 型一体化基站，扩大机动专网覆盖范围，三是 A 型一体化基站接入通过网线、光纤、微波、卫星或大功率 CPE (Customer Premises Equipment, 用户终端设备)接入固定专网，实现分级专网协同。

3.1. A 型一体化基站设计

A 型一体化基站集成 5G 核心网和 IMS，具备条件连接内置基站，预置核心网用户数据，在不外接网

线/光纤环境下，基站上电单机运行，预留接口连接外置应用，实现单机终端和终端的数据业务和 IMS 业务。

应用于大型舰艇平台应急或补盲的应用场景，也可用于小型舰艇平台独立部署 5G 专网的应用场景，作为二级机动专网的主要组成单元，可以通过业务类型的不同、业务地点的不同以及业务时间的不同，自由定制服务网络。

3.2. A/B 型一体化基站混合组网

A 型一体化基站集成 5G 核心网、IMS 和基站，B 型一体化基站仅包括内置基站。A 型一体化基站预留光口接入应用服务，预留电口或光口扩展连接 B 型一体化基站，终端在两类基站间可根据区域位置实现接入切换，接入两类基站的终端因连接同一 IMS 和应用服务，可实现数据/语音互通。组网场景见图 2。

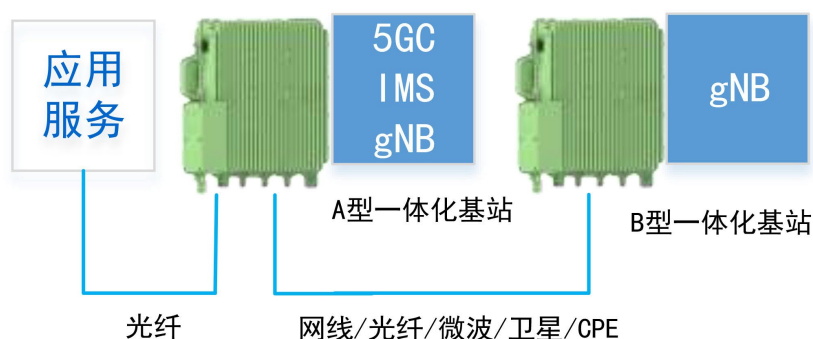


Figure 2. Hybrid networking architecture of shipborne A/B-type integrated base stations

图 2. 舰载 A/B 型一体化基站混合组网架构

应用于大型舰艇平台应急或补盲应用场景下，多个一体化基站分布式部署，扩大覆盖范围，也可将 A 型一体化基站和 B 型一体化基站部署于两个舰船平台，通过微波、卫星等宽带无线手段实现连接，还可通过部署大功率 CPE，基于 5G 无线链路，将 B 型一体化基站接入 A 型一体化基站，实现跨平台信息互通。

3.3. 固定机动专网分级协同设计

A 型一体化基站和固定专网基站分区部署，也可以同区域部署。A 型一体化基站预留接口连接其它 B 型一体化基站，实现扩展部署，支持邻区切换。A 型一体化基站通过电口或光口接入主核心网或备核心网，内置的 IMS 为备用 IMS，内置的用户数据，在传输可达的情况下，与固定专网 5G 核心网保护同步。

当 A 型一体化基站与固定专网核心网传输可达时，终端依托固定专网中主/备核心网内 IMS 实现 VoNR (Voice over New Radio, 5G 新空口语音)业务；当 A 型一体化基站与固定专网核心网传输不可达时，终端依托 A 型一体化基站内备 IMS 实现 VoNR 业务。

应用于大型船舶平台应急或补盲应用场景下，机动式 A/B 型一体化基站与固定专网核心网业务协同互通场景。也可应用于跨平台通信，部署于中小型船舶平台上的 A/B 型一体化基站与部署于大型船舶平台上的固定专网，通过微波或卫星等宽带无线手段，大功率 CPE 接入固定专网，实现固定与机动专网分级协同。

4. 核心网容灾备份设计

舰载远海作业时间长、补给维修困难，在作业过程中受损或用时过久出现故障，可能造成网络不可

用,需船载 5G 网络具备容灾备份能力,因此,针对大型船舶平台部分设备受损可能导致关键业务中断的威胁,融合核心网容灾与负载均衡设计理论,设计核心网热备份与用户池(User Pool)共享机制:主备网元之间通过实时上下文同步实现热备倒换,用户池共享使故障网元所承载用户可平滑迁移至健康网元,避免单点失效引发的业务整体中断;同时依据 3GPP 相对容量取值规范,配置主备 AMF 负荷权重,实现倒换与迁移过程中的信令负荷均衡。该机制确保部分设备受损时注册、会话、移动性等关键业务不中断,解决大型船舶平台 5G 专网的高可靠与抗毁性难题。

4.1. 核心网容灾组网架构

固定专网设置主、备两个核心网,主核心网和备核心网均为具备完整功能网元的核心网,开户信息同步,各区域舱室以室分基站的方式实现网络覆盖,且当主核心网受受损或出现故障的情况下,所有用户可全部接入备核心网,全部迁移到备核心网,保证船载 5G 网络的抗毁性。主要设计包括两个方面内容:一是所有固定专网中的分布式基站同时接入主核心网和备核心网架构设计,网元 AMF 组成 Pool,实现资源共享、业务负荷分担。二是 Pool 容灾场景下,服务请求迁移流程设计。

本文将主备核心网 AMF 容量负荷比例设置为 255:1,其取值依据 3GPP AMF 选择机制确定。依据 3GPP TS 23.501 [13]与 TS 38.413 [16],AMF 经 N2 接口上报相对容量,取值为 0~255,基站在注册接入时按容量权重分配负荷。其中,255 为协议满容量、1 为最小非零权重。主核心网用配置 255、备核心网配置 1,权重比 255:1 等价于常态下约 99.6%的入网与移动性信令由主核心网承载,备核心网仅以最小权重维持链路保活与上下文同步,从而在协议层面实现“主备倒换、备用兜底”的容灾模式。当主核心网断电、链路中断等故障触发切换时,备核心网网元可短时承接全网信令峰值。经信令负荷仿真测算,该配比在满足 99.99%业务可用度前提下,大幅降低备用设备硬件配置成本,同时符合 5G 控制面网元热备架构负载分配设计要求。

Pool 内 AMF 之间实现资源共享、业务负荷分担,当主核心网 AMF 故障时,基站选择备核心网 AMF 处理用户业务,提升网络业务的可靠性。主备核心网容灾组网架构见图 3。

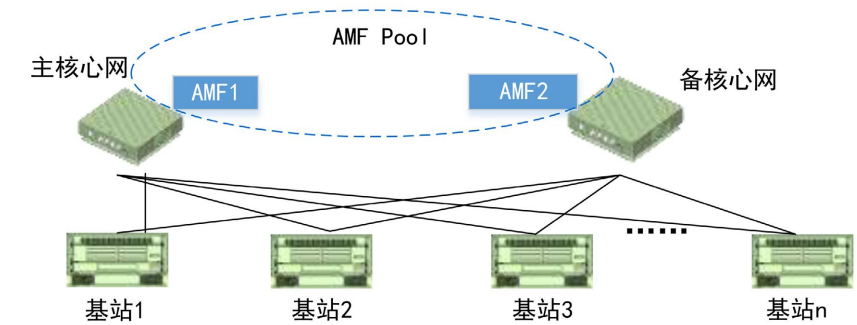


Figure 3. Disaster recovery networking architecture for the primary and backup core network
图 3. 主备核心网容灾组网架构

4.2. 核心网容灾服务请求流程

AMF Pool 区域容灾场景下,当终端原接入 AMF1 的 GUAMI (Globally Unique AMF Identifier, 全局唯一 AMF 标识符)对应 AMF1 的 N2 接口故障时,基站基于负载均衡原则,在 AMF Pool 区域内选择 N2 接口正常的 AMF2。当用户当前的 AMF 不是用户上次注册的 AMF,则新 AMF 回拒绝消息,终端重新发起初始注册到新的 AMF 上。

基站发现终端注册的 AMF1 故障,将 Registration Request 消息基于负载均衡的原则发送到 Pool 区域

内其他状态正常的 AMF2 上。若用户原来注册的 AMF 故障，则 New AMF 回 Service Reject 消息，终端重新发起 Registration Request 消息，完成向备核心网注册流程。

Step 1: 基站发现终端注册的 AMF1 (Old AMF)故障，将 Service Request 消息基于负载均衡的原则发送到 Pool 区域内其他状态正常的 AMF2 (New AMF)上。

Step 2: New AMF 没有该终端用户上下文，向基站回 Service Reject。

Step 3: 终端重新向基站发起注册 Registration Request 消息请求。

Step 4: 由基站重新向新 AMF 发送服务请求 Service Request 消息。

后续在备核心网完成相关注册和接入流程。具体流程见图 4。

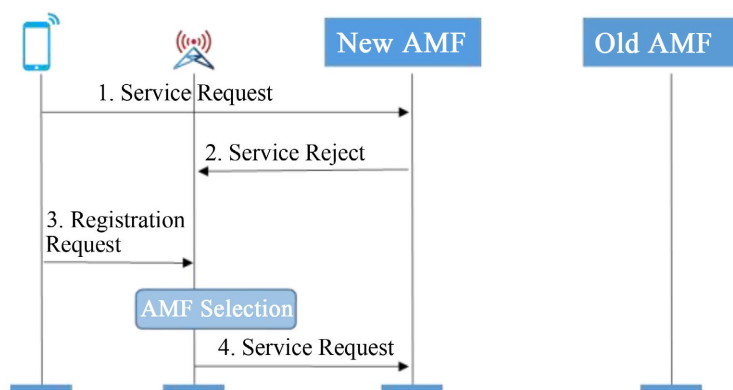


Figure 4. Service request procedure for registering to a new AMF

图 4. 注册到新 AMF 的服务请求流程

5. 数据域内自治设计

针对船舶平台敏感业务数据的安全隔离需求，采用多接入边缘计算(MEC)技术，将特定区域的业务处理下沉至船载边缘节点，实现业务数据的本地化采集、处理与存储，使敏感数据不出船、不经过岸基回传链路，从根本上切断敏感数据向公网泄露的路径，解决舰船场景下敏感数据的安全隔离问题。

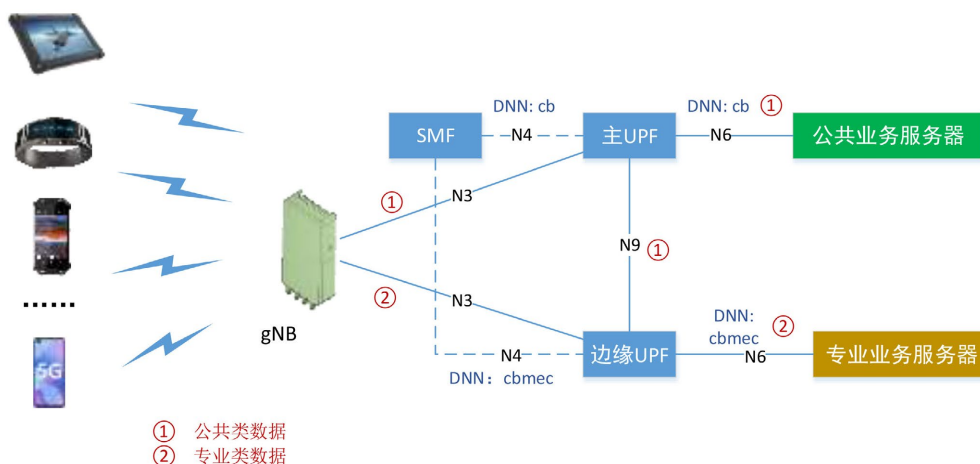


Figure 5. Shipborne 5G private network MEC enables data autonomy within the domain

图 5. 船载 5G 专网 MEC 实现数据域内自治架构

为足不同专业部门 5G 业务差异化传输质量控制、高安全、大带宽及低时延等承载需求，利用 UPF

(User Plane Function, 用户面功能)作为 5G 网络与 MEC 之间的连接锚点实现在船载 5G 专网环境下, 不同专业部门业务数据本地部署、受控访问和分析处理。

为实现各专业部门差异化质量传输要求, 面向敏感数据安全隔离的多接入边缘计算本地化处理实现方式是, 核心网部署两套 UPF, 一套主 UPF 连接公共服务, 另一套边缘 UPF 医疗类专业部门业务, 可部署于所属船载专区, 实现本地数据维护。具体实现架构和方法见图 5。

边缘 UPF 实现用户数据流量控制, 分类用户的上行数据流量, 同时作为边缘业务数据的锚点, 根据不同的 DNN 配置相应的业务网络路由: 主 UPF 的 DNN (Data Network Name, 数据网络名称)设置为 cb, N6 口配置为指向公共业务服务器, 边缘 UPF 的 DNN 设置为 cbmec, N6 配置为指向专业业务服务器。

6. 结语

本文提出了一种适用于大型船舶平台的 5G 分级分布式网络架构, 并提供设备形态和技术配置建议, 在纵向上实现固定专网与机动专网分级协同设计, 在横向上满足数据本地处理和域内自治需求, 具备容灾设计, 部分网络失效时用户切换无感知。可有效提升舰艇平台在受毁、断连等极端条件下的通信生存能力和任务保障能力, 为移动通信技术在大型船舶平台落地和业务赋能提供了可靠支撑, 同时将 5G 容灾理念与业务需求结合, 为后续构建跨平台无缝衔接的海上移动通信体系提供了研究基础。相比船舶平台海上航行时完全依赖卫星通信, 5G 船载专网方案在提升用户宽带通信体验同时, 能大幅降低通信成本, 为船舶平台状态监测、故障诊断等智能化升级提供了坚实的云原生网络底座。

参考文献

- [1] 张尚耀, 史恭乾, 赖明雁, 等. 某大型多功能海洋救助船的开发设计[J]. 船舶与海洋工程, 2025, 41(2): 18-23.
- [2] 樊湖, 甘茂林. 大型舰船内部移动通信应用需求分析[J]. 船舶物资与市场, 2020(3): 10-12+61.
- [3] 陈宁, 李雅丽. 5G 通信技术对舰船通信质量的影响研究[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(5A): 109-111.
- [4] 雒艳. 5G 行业专网建设模式探索[J]. 价值工程, 2023, 42(24): 94-98.
- [5] 刘振. 基于 5G 的 STG 船载通信系统研究[J]. 移动通信, 2024, 48(11): 51-56.
- [6] 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.
- [7] 俞春祥, 王董豹. 基于 5G 技术的船舶通信系统分析[J]. 机电设备, 2024, 41(4): 5-9.
- [8] 李淑兰. 基于 5G 技术的舰船通信网络系统构建[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(18): 142-144.
- [9] 邢展豪. 基于 5G 通信技术的舰船网络系统[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(8): 157-160.
- [10] 姜俊颖. 基于 5G 通信技术的船舶网络系统设计[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(23): 169-172.
- [11] 王布依祎, 李一辰, 于文彬, 等. 基于 5G 的船载测量设备通信系统设计[J]. 指挥与控制学报, 2020, 6(4): 310-318.
- [12] 张莉, 吕太之. 基于 5G 通信的船舶信息采集和检索系统设计[J]. 舰船科学技术, 2024, 46(19): 137-140.
- [13] 3GPP (2022) TS 23.501 V17.0.0: System Architecture for the 5G System. 3GPP.
- [14] 3GPP (2022) TS 23.502 V17.0.0: Procedures for the 5G System. 3GPP.
- [15] 3GPP (2026) TS 23.558 V19.7.0: Architecture for Enabling Edge Applications. 3GPP.
- [16] 3GPP (2023) TS 38.413 V16.12.0: NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP). 3GPP.