

doi: 10.7690/bgzdh.2024.09.010

基于轻量化核心网的军用 5G 基站一体化设计

徐琳¹, 刘飞¹, 陈翠云¹, 张中艾¹, 曾启蒙¹, 冷艾亭¹, 宋安²

(1. 成都西南信息控制研究院有限公司智能所, 成都 611730;

2. 四川创智联恒科技有限公司市场部, 成都 610041)

摘要: 针对无人集群作战对广覆盖、大带宽、低延迟的数据通信服务以及设备轻量化, 低功耗需求, 开展超轻量化 5G 一体化基站设计。给出 5G 一体化基站组成框图, 提出核心网轻量化、大上行子帧配比和结构轻量化、低功耗、散热等关键设计。结果表明: 该设计能实现 5G 通信技术的军事应用, 提高所部署作战平台的信息通联和战场生存能力。

关键词: 军用 5G; 5G 基站; 一体化; 轻量化

中图分类号: TN929.5; TP391 **文献标志码:** A

Integrated Design of Military 5G Base Station Based on Lightweight Core Network

Xu Lin¹, Liu Fei¹, Chen Cuiyun¹, Zhang Zhong'ai¹, Zeng Qimeng¹, Leng Aiting¹, Song An²

(1. Intelligent Research Institute, Chengdu Southwest Information Control Research Institute Co., Ltd., Chengdu 611730, China;

2. Marketing Department, Sichuan Chuangzhilianheng Science and Technology Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to meet the requirements of wide coverage, large bandwidth, low latency data communication services, lightweight equipment and low power consumption in unmanned cluster operations, the design of ultra-lightweight 5G integrated base station is carried out. The composition block diagram of 5G integrated base station is given, and the key designs such as lightweight core network, large uplink subframe ratio, lightweight structure, low power consumption and heat dissipation are proposed. The results show that the design can realize the military application of 5G communication technology and improve the information communication and battlefield survivability of the deployed combat platform.

Keywords: military 5G; 5G base station; integration; lightweight

0 引言

随着信息技术的飞速发展, 特别是人工智能技术的广泛军事化运用, 无人集群作战正在从概念走向实战应用, 集群化作战必将成为未来一种重要的作战样式。通信系统是集群系统感知交互和发挥战力的基本保障。与传统通信相比, 集群作战中通信系统的特点主要体现在以下方面: 1) 时效性要求更高。通信链路, 尤其是控制链路, 具有显著的数据链特征, 须保证其时效性。2) 可靠性要求更高。集群作战平台的人工干预在远端, 平台智能化要求更高, 在自主控制、接收、处理等方面要求通信链路具有更高的可靠性。3) 带宽要求更高。集群作战平台前突作战, 需要将更多前方视频图像信息传送到后方, 供 AI 实现智能感知和战场态势认知, 辅助指挥员决策或 AI 智能决策, 对通信系统的带宽要求更高。4) 接入设备数量更多。无人集群作战突出的表现是“群”特征, 集群作战往往是几十架甚至上百架的规模, 对设备连接数要求更高。与传统作

战平台相比, 集群作战对于无线通信的时效性、带宽、设备连接数、可靠性和安全性等方面有更为严苛的要求。

目前, 国内战术通信系统中无线通信主要以短波、超短波、微波、卫星、自组网、测控链等为主, 难以满足集群作战对接入设备数、带宽、时延和可靠性的高要求, 而民用 5G 通信技术的大容量高速率、低时延高可靠、大连接等特性弥补了现有战术通信系统的不足, 完美契合了集群作战的通信需求, 与现有战术通信系统形成优势互补。

鉴于无人集群作战平台的高机动、强对抗特性, 以及对 5G 基站的轻量化、低功耗需求, 笔者基于标准 5G NR TDD 技术原理, 开展基于轻量化核心网的军用 5G 基站一体化设计。

1 系统设计

如图 1 所示, 采用 5G 核心网和基站一体化、模块化、高集成设计, 兼顾低功耗、小型化与灵活

收稿日期: 2024-05-24; 修回日期: 2024-06-28

第一作者: 徐琳(1982—), 女, 山西人。

性^[1], 可分为5G核心网、5G微基站、射频前端、主控板、电源和天线6个模块。5G一体化基站通过内部千兆高速接口连接, 实现供电、健康管理、配

置管理、射频控制与业务数据传输等功能; 从供电的角度看, 外部电源通过接口到达主机内部电源模块, 经过电源模块稳压与转换后, 供应到其他模块。

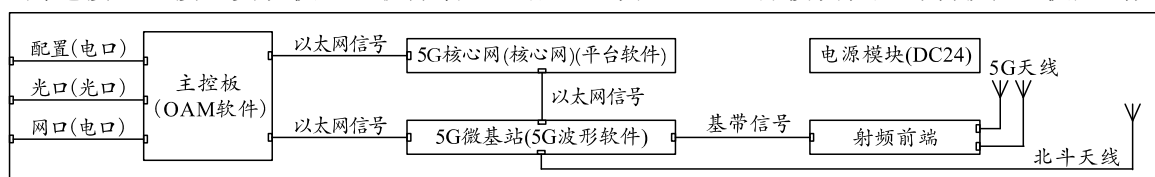


图1 5G一体化基站组成

5G一体化基站软件由平台软件、5G波形软件、核心网或应用软件、操作管理软件(OAM)4大类软件组成。平台软件主要包括操作系统、软件定义无线电平台与插件式虚拟化平台软件; 5G波形软件符合3GPP 5G NR标准规范, 支持FR1 TDD 100 MHz系统带宽和典型时隙配比, 与民用基站下行远大于上行的子帧配比不同, 特别设计了大上行的子帧配比以适用于军事领域需要远端无人机回传大量图像视频数据的场景, 同时提供5G无线接入网PHY, L2和L3协议栈全部功能; 核心网或应用软件一般运行于资源相对丰富的服务器系统, 5G核心网保持总体框架设计的基础上, 去除辅助及非关键网元, 保留通信控制功能相关的关键网元, 实现轻量化; 操作管理软件对外提供CLI、网管服务与WEB服务接口, 支持配置管理、系统管理、应用管理、状态管理、告警管理、设备管理等功能, 实现对5G一体化基站的本地和远程软件升级、参数配置、告警监控、性能分析和监控。

2 关键设计

2.1 核心网轻量化设计

5G核心网部署于低功耗、资源受限的硬件平台, 在保持总体框架设计的基础上, 根据军事领域应用需要裁剪去除辅助及非关键网元, 保留通信控制功能相关网元^[2], 如接入和移动性管理(access and mobility management function, AMF)、会话管理(session management function, SMF)、用户面数据转发(user plane function, UPF)等, 通过统一数据管理实体(UDM)实现控制管理功能, 同时简化关键网元功能, 优化流程与接口, 实现核心网的超轻量化。裁剪后的核心网可实现终端用户的注册、认证鉴权、连接接入及移动性管理, 可针对终端用户进行会话建立、修改及删除, 为用户分配IP地址, 向用户提供上下行数据传输服务, 对用户数据进行路由及转发。5G标准核心网与轻量化核心网架构对

比, 如图2所示。

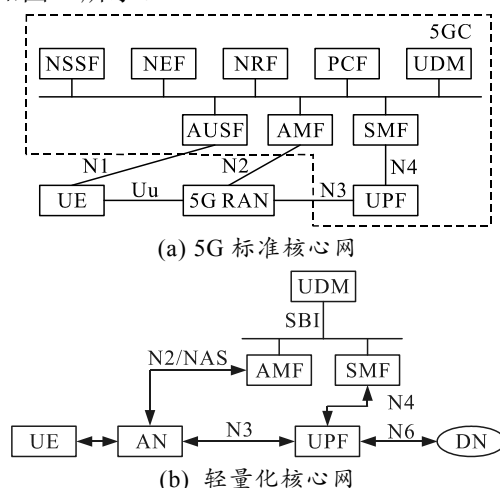


图2 5G标准核心网与轻量化核心网架构对比

5G核心网的设计融入了软件定义网络(software defined network, SDN)、网络功能虚拟化(network functions virtualization, NFV)、云计算的核心思想, 具备控制与承载分离的特征^[3]。控制面采用服务化架构, 以虚拟化为最优实现方式, 能够基于统一的NFVI资源池实现云化部署、弹性扩容, 同时有利于方便灵活地提供网络切片功能。通过UPF下沉、业务应用虚拟化实现边缘计算。用户面功能可根据性能要求和NFV转发性能提升技术的进展, 基于通用硬件或专用硬件实现。

轻量化核心网设计遵从类似无状态化设计原则, 内部多个服务模块(进程), 可以提供对等的服务^[4]。默认情况下, 为保持用户事件处理的有序性, 单个用户的业务只由一个固定的服务模块提供服务, 同时也部署多个相同服务, 当某个服务模块出现问题, 其他提供对等业务的服务模块可以接管问题服务模块上面的用户业务, 不影响用户业务。这些模块临时存储业务的上下文信息, 比如业务上下文相关的信息等, 同时, 将处于相对稳定态的用户session数据同步到第三方数据中心。这样当某个或多个服务模块同时出现问题时, 可以通过访问第三

方数据中心, 将用户 session 相关的状态数据恢复, 达到类似无状态化服务的效果。由于核心网业务复杂, 处理一个流程需要若干次网元间消息交互才能完成, 所以需要复杂的状态控制, 才能保证各业务处理流程的正常处理, 如果进程完全不存储 session 数据, 结果就是频繁访问第三方数据中心, 当用户量大的情况下, 数据中心的访问压力会很大; 服务模块本地缓存数据, 可以减少访问次数, 降低数据中心的压力。

采用微服务架构的轻量化核心网, 将核心网封装成微服务容器镜像, 所有微服务镜像通过标准的 RestFul API 接口为其他网络功能节点提供北向接口调用。彼此逻辑隔离独立容器化部署的微服务间交互数据通过微服务架构底层软件定义开发虚拟交换 (Open vSwitch, OVS) 提供 TCP/IP 数据交换通道实现, 如图 3 所示。

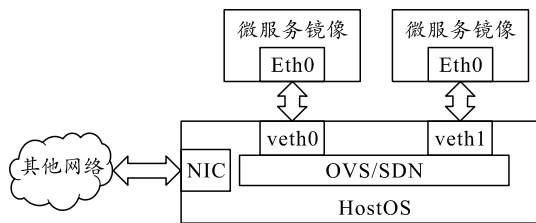


图 3 微服务化部署

2.2 大上行子帧配比设计

5G 波形子帧配比在 5G 网络中扮演着重要角色, 特别是在优化时频资源的分配和提高系统效率方面。在 5G 系统中, 主要使用的波形是正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 和其变体通用频分复用 (generalized frequency division multiplexing, GFDM)。OFDM 通过将频带划分为多个子载波来实现高数据速率和高频谱效率。子帧配比在波形设计中至关重要, 因为它直接影响到时间和频率资源的管理。5G 系统中的子帧结构通常由多个时隙 (slots) 组成, 每个时隙包含多个符号 (symbols)。在时分双工模式中, 时间资源被划分为不同的子帧, 以支持不同类型的传输, 例如上行和下行数据传输。在频分双工模式中, 虽然上下行数据传输在不同的频段上进行, 但子帧配比仍然重要, 因为它影响到频谱的使用效率和系统的负载均衡。

5G 典型的波形子帧配比有 8:2、7:3、4:1 和 3:1 等 (下:上), 然而集群作战时常常需要作战平台前突, 将大量前方视频图像信息传送到后方指挥所, 这时上行数据量远远大于下行数据量, 因此专门设

置了大上行子帧配比 7:3、4:1 (上:下) 来应对这种应用场景。

2.3 轻量化、低功耗设计

轻量化设计: 机箱壁采用常规的铝合金 6061-T6, 厚度仅 3 mm, 整机重量大幅减少, 机箱主体结构件采用铝合金数控加工。机箱壁采用薄壁结构后, 配上加强筋来保证机箱主体部分的机械强。配合防水导电屏蔽条进行密封, 全密闭防水设计, 便于拆卸和维修, 具有优异的电磁屏蔽效果。

低功耗设计: 采用高性能低功耗 5G NR PHY SoC 器件替代 5G ORAN 平台 FPGA 处理器; 微基站板选用 ARM 架构低功耗 CPU, 功耗仅 15 W; 选用高通 FSM10056 基带芯片, 功耗仅 1.86 W; 结合低功耗多核通用 ARM 处理器和多通道宽带 ADC 器件。核心网进行轻量化裁剪后, 部署于 X86 芯片, 主芯片功耗为 10 W, 集成于一体化 5G 基站内部。

散热设计: 内部各功能单元需要散热的箱体选用散热性能高的铝合金 6063-T6。模块布局分为上下 2 层, 热耗较大的功放板、电源板布局在底层, 使其热量能够直接传递给骨架散热。5G 基站板、EPC 板布局在上层, 其热量先传递给安装板后再传导骨架进行散热。安装板设计为热管板, 内嵌 2 根热管, 进而达到温度分布更加均强化散热的目的。

3 结束语

军用 5G 一体化基站可应用于需兼顾广覆盖、远距离、高吞吐、高机动、即插即用和具备在一定对抗性复杂环境中有效工作等需求的特殊场景^[5]。此外, 可通过将 5G 一体化基站平台架高或升空, 进一步提升 5G 信号的覆盖能力, 提高所部署作战平台的信息通联能力和战场生存能力, 为未来无人集群作战提供重要支撑。

参考文献:

- [1] 王佳鹏, 李昕, 张伟. 5G 一体化基站的设计与实现[J]. 通信技术, 2020, 59(8): 78-84.
- [2] 陈健, 张磊, 王金辉. 基于 5G 的一体化基站设计及优化研究[J]. 电子与信息学报, 2021, 7(3): 12-19.
- [3] 史韦德. 5G 移动通信系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020: 33.
- [4] 张晓光, 王鹏. 5G 移动通信技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020: 50.
- [5] 李强, 杨明, 刘文强. 5G 网络中一体化基站的技术挑战与解决方案[J]. 计算机应用研究, 2020, 40(6): 112-118.