

5G 微基站架构演进及发展

Evolution and Development of 5G Small Cell Base Station Architecture

韩 乾¹,陈任翔¹,袁姝婕²,马广辉¹,平军磊¹,曹 恒¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007; 2. 中国铁塔浙江省分公司,浙江 杭州 310000)

Han Qian¹,Chen Renxiang¹,Yuan Shujie²,Ma Guanghui¹,Ping Junlei¹,Cao Heng¹(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China;2. China Tower Zhejiang Branch, Hangzhou 310000,China)

摘 要:

5G 微基站架构伴随着 5G 技术的发展在不断演进,从最初的 Intel、NXP、高通到如今的比科奇、思朗,5G 微基站架构在向功耗更低、性能更强、成本更经济的方向快速发展。梳理了 5G 微基站架构的演进过程,从中选取了典型架构方案,并针对架构方案进行分析,总结出 5G 微基站架构的未来演进和发展方向。

关键词:

5G;无线通信;微基站架构

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.08.007

文章编号:1007-3043(2025)08-0030-05

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:

Driven by the advancement of 5G technology, the architecture of small cell base stations is undergoing rapid evolution. This progression, marked by key chipset platforms from early players like Intel, NXP, and Qualcomm to later entrants such as PicoChip and SmartLogic, is consistently moving towards lower power consumption, higher performance, and reduced cost. It traces the evolution of 5G small cell base station architectures, analyzes representative solutions along this evolutionary path, and outlines future development trends.

Keywords:

5G; Wireless communication; Small cell base station architecture

引用格式:韩乾,陈任翔,袁姝婕,等. 5G 微基站架构演进及发展[J]. 邮电设计技术,2025(8):30-34.

0 引言

为了解决 5G 信号覆盖不足的问题,采用 5G 微基站针对室内场景、工厂、人员密集区进行补盲,可低成本提升 5G 信号的覆盖质量。5G 微基站可以在最需要的地方提供 5G 服务,将 5G 扩展到更多更广泛的区域,大幅提高覆盖范围;同时 5G 网络与垂直行业的深入结合,使 5G 微基站在智能工厂、智能城市、智能汽车等场景具有广泛的应用,因此,5G 微基站技术隐藏着巨大的市场空间。

由于 5G 微基站市场潜力巨大,传统通信设备商

(例如 mavel、NXP、高通)都纷纷提早布局,推出自己的相关芯片产品及解决方案,其中高通和 NXP 的方案被各大设备厂商广泛采用。同时,IT 制造商(例如 Intel、NVIDIA)也希望能在 5G 发展时期拓展自己的电信领域的市场。其中 Intel 采用的通用处理器结合 FPGA 加速卡方案也被国内外厂商所认可。随着时间的推移,国内芯片产业日趋成熟,可用于 5G 微基站基带通信处理的国产化芯片强势崛起(例如比科奇、思朗),5G 微基站国产化解决方案应运而生。国产化 5G 微基站解决方案虽成熟较晚,但整体技术方案建立在前期 5G 微基站架构方案的基础上,继承了前期 5G 微基站系统架构方案的优势,使得国产化方案具有明显的后发优势。下面以 X86、UCP4008、PC802 方案为例,详细

收稿日期:2025-06-04

剖析 5G 微基站系统架构的发展趋势。

1 基于 X86 芯片的 5G 微基站系统架构设计

从 ICT 产业的发展历史来看,IT 业在 20 世纪 80 年代就开启了软件、硬件、外设间的开放,从而形成了一个蓬勃发展健康开放的大生态。相比之下,尽管电信业(CT 业)也经历了快速发展的阶段,但是网络封闭性始终没有突破,生态环境也较为封闭。电信业也开始认识到开放性的生态才是一个行业强大的推动力,也是电信业重振和发展的必由之路。在这个大背景下,2018 年 O-RAN 联盟成立,通过软硬件解耦的架构、开放的接口以及智能化等方式,在 5G 生态中引入了更多的通信厂商和更多的智能化技术,来打破传统设备厂商的垄断,以降低设备成本并提升网络部署和管理的灵活性,提高开放性、虚拟化和智能程度,从而提升多供应商网络设备之间的互操作性^[1]。依托通用的计算平台,而非定制的硬件平台实现 RAN 功能并用云原生机理来管理 RAN 的虚拟化应用,而 X86 5G 微基站方案是 O-RAN 架构的典型代表(见图 1)。

X86 芯片厂商利用自己在通用 CPU 上积累的技术优势,基于 Xeon 平台推出通用处理器搭配 FPGA 的 5G 微基站解决方案。依托 Xeon 多核处理器和 X86 AVX512 指令集,配合 FPGA 加速卡,通过通用计算平台实现了 5G 微基站基带处理单元物理层处理的功能,验证了 O-RAN 技术方案的可行性。

X86 推出的用于 4G LTE 与 5G NR RAN 的无线设备解决方案在行业内被广泛使用。X86 方案将 O-

RAN 规划的设计架构进行了具体化和实体化。O-RAN 的逻辑网元架构和接口定义在 X86 方案里初见成型,一些功能模块间的接口划分和网络逻辑结构也被其他后来的方案所沿用。

在 4G RAN 中,蜂窝基站的无线收发单元被称为远端射频单元(RRU),这些收发单元连接至基带处理单元(BBU),而基带单元 BBU 连接到核心网。就 4G RAN 而言,前传是指 RRU 与 BBU 之间基于光纤的连接,而回传是指 BBU 与核心网之间的连接。如图 2(a)所示,4G 前传部署通常使用通用公共无线接口(CPRI)。5G RAN 架构则设有 3 个逻辑节点,且这 3 个逻辑节点通常作为 3 个独立设备来实现。下层 1(L1)功能中有些向上移入远端射频单元(RRU),其余功能则在分布式单元(DU)和中央单元(CU)之间进行划分^[2]。

就 5G 而言,前传是指 RRU 和 DU 之间基于光纤的连接,回传是指 CU 与核心网之间的连接。另外,为了描述 DU 和 CU 之间的连接,还使用了一个新的术语——中传。众多 5G(以及部分新部署的 4G)用例均要求大大增加前传带宽。为解决高带宽前传成本增加的问题,方案建议在 BBU 和 RRU 之间使用新的功能分区。减少前传带宽的一种方法是将功能从 BBU 转移到 RRU 中;另一种方法是使用数据压缩技术。3GPP 标准组织对大多数移动通信网元、测试和互操作性进行了定义,但却未定义前传接口。此前,这一接口采用通用公共无线接口(CPRI)来定义。但对于 5G 和基于以太网的传输而言,已有部分工作组迈出重要一步,填补了这一规范上的空白。CPRI 接口要求使用专用光纤并承载基本帧(basic frame)信息。这些基本帧封装用户平面流量(时域数字化无线电信号)、控制平面信息和时间信息。时间信息易于提取且具有高度确定性。使用时间信息可相当轻松地使无线电同步

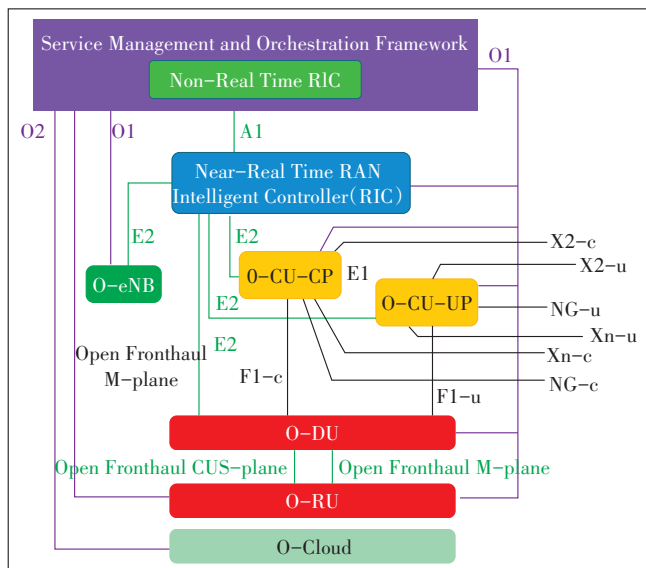


图 1 O-RAN 内部逻辑网元的整体架构

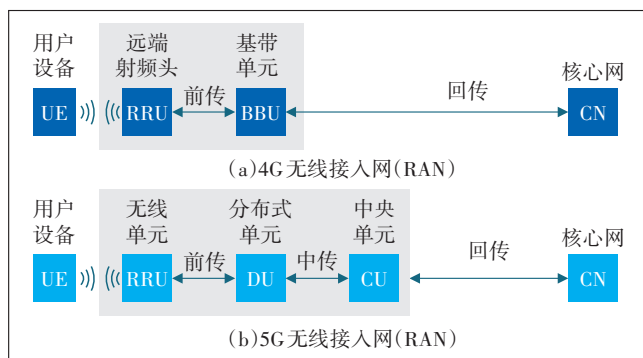


图 2 Intel 4G/5G O-RAN 方案逻辑结构划分

精度达到所需的 ± 8 ns左右。如图2(b)所示,X86 5G RAN方案使用基于增强型CPRI (eCPRI) 传输协议的O-RAN进行前传。O-RAN/eCPRI 通过以太网进行传输,使用以太网这种很常见的传输类型,可获得多种技术和成本优势^[3]。

X86 5G 微站解决方案从2018年推向市场就开始

受到关注(见图3),对行业来说也具有深远的意义,它将O-RAN架构设计融入自己方案之中,实现了O-RAN对5G微基站前传开放接口的定义,实现了硬件平台的白盒化,但是通过长期的应用部署发现其方案还存在如下问题。

a) 功耗高。由于使用通用处理平台,对于物理层

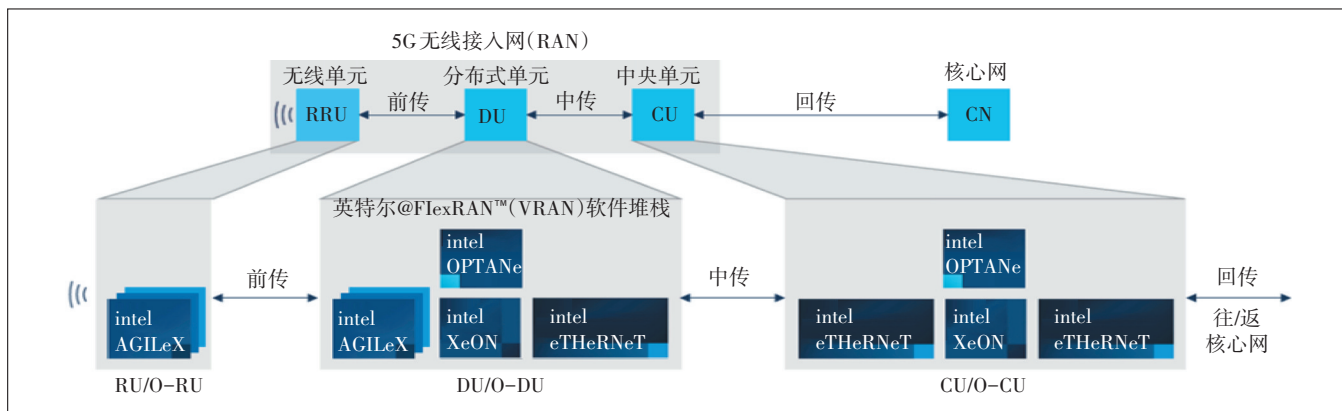


图3 X86 5G O-RAN解决方案

大数据量的实时计算,至强处理器还存在算力不足问题,必须搭配FPGA加速卡来实现物理层信道的处理(如信道编解码、OFDM等),导致方案整体功耗较高。

b) 稳定性差。由于采用通用处理器+FPGA的方案,处理器与FPGA的数据交互调度会出现稳定性问题,加之X86早期提供的软件包尚不完善,方案整体稳定性欠佳。

为了解决这些问题,X86方案后期推出了eASIC和ASIC的方案,采用专用芯片取之前方案中FPGA的功能来降低功耗,提高系统稳定性。

随着国内芯片技术的日趋成熟,基于国产芯片的5G微基站解决方案也在加速形成,以研发通用处理器和专用处理器为代表的国内芯片厂商在快速崛起,相关产品开始进行商用部署。

2 基于国产通用处理器5G微基站架构设计

UCP4008是一款基于ARM架构的高性能通用处理器,主要面向超算、人工智能、边缘计算、无线通信等领域和场景。其采用ARM Cortex-A72加自主开发高性能代数处理器(Algebraic Processing CPU,APC)的异构多核架构,集成了丰富的通信接口,是一款具有高性能、低功耗、可灵活支持不同通信算法的通用通信处理器。

UCP4008通信处理器芯片内核突破了X86等传统

通用处理器架构的桎梏,通过架构创新拥有了高密度的计算能力。基于UCP的单核芯片就可以实现2.5 Gbit/s的LDPC(5G标准采用的数据信道编码技术)译码和50 Gbit/s的LDPC编码能力,每秒可以完成5G Sample点16位定点复数FFT运算。

UCP4008芯片,从内核架构、指令集、到工具链的全自主的无线通信基带SOC芯片,是典型的DSA(Domain Specific Architecture)架构的芯片。如图4所示,UCP4008是一款12 nm工艺,1.4G主频,满足5G基站4小区/8天线规格的通信SOC芯片,内部除了负责数字基带处理的(Algebraic Processing Engine, APE)处理器,同时也集成了8个ARM A72,负责通信高层协议栈的多线程处理,可实现单芯片全系统的解决方案。单颗芯片即可完成4G/5G基站的所有功能,并且能够提供对数模/模数转换的高速接口。

UCP4008的接口丰富,支持扩展型和一体化等多种基站形态(见图5、图6和图7),支持Option 2/6/7-2/8、JESD204B/C、LVDS、CPRI、eCPRI和PCIe等接口;集成度高,单芯片能完成L1、L2、L3全部基带处理功能;集成加解密、完整性保护、IPSec和国密算法加速器。

与X86方案相比,UCP4008由于采用DSA内核的通信处理器芯片(Universal Communication Processor, UCP),使其在通信方面有更强的处理能力,单靠一颗芯片就能完成5G基站4小区/8天线规格的通信能力,

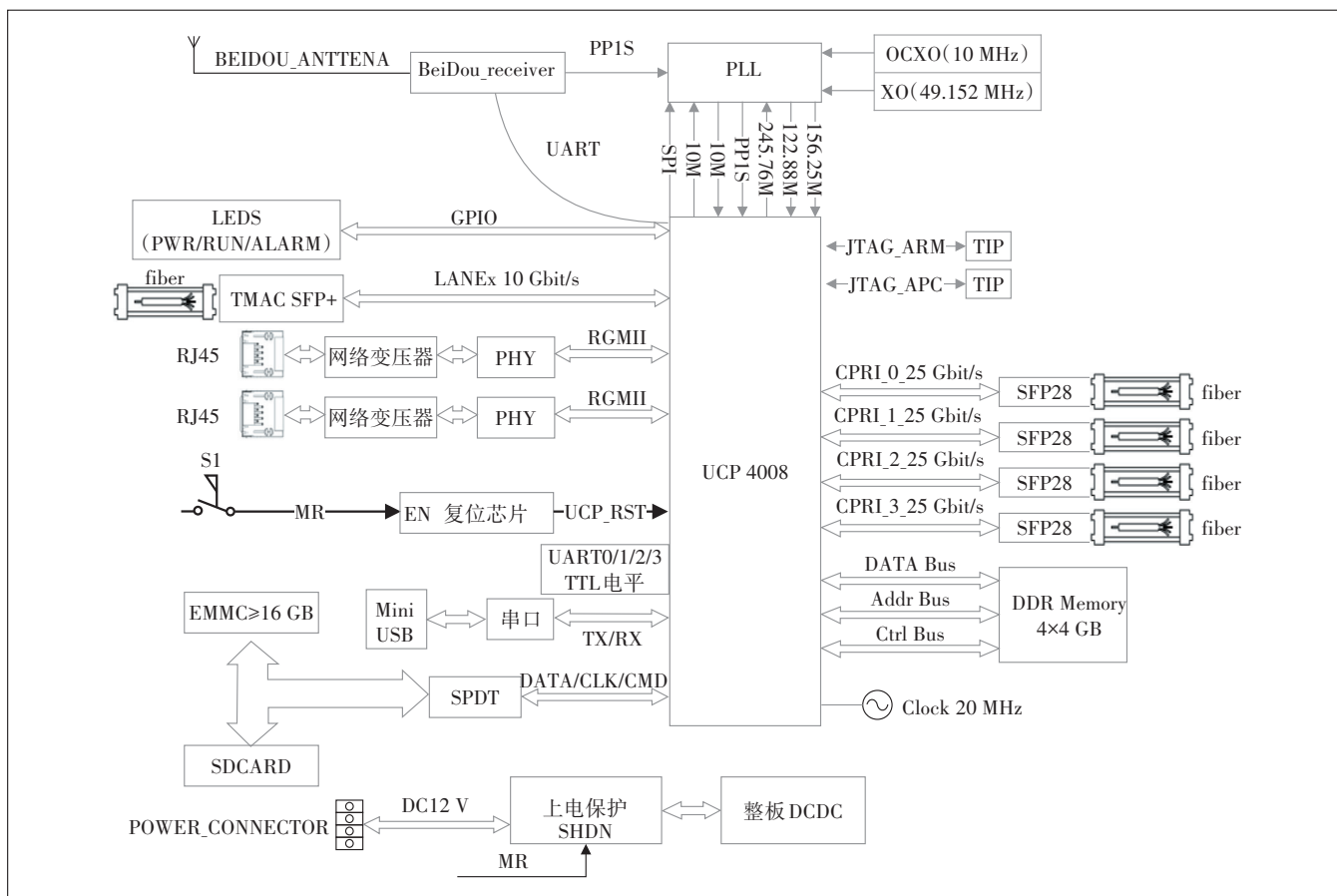


图4 硬件各模块逻辑框图

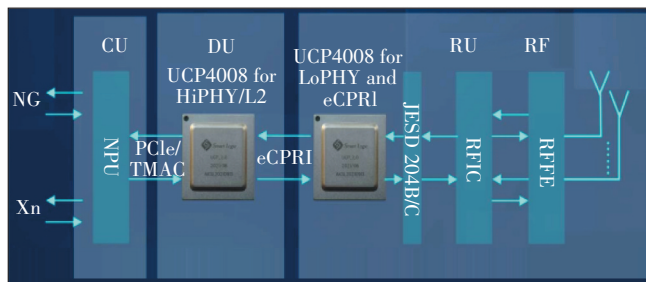


图5 支持Option8接口扩展型方案架构设计

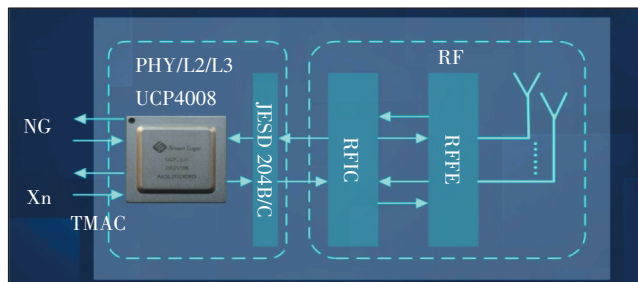


图7 一体化方案系统架构设计

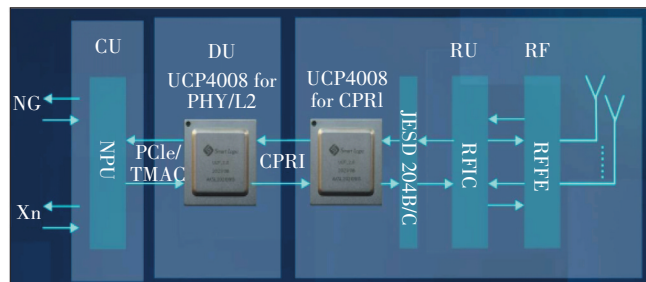


图6 支持Option7-2接口扩展型方案架构设计

无需 FPGA 或其他通用处理器配合使用,方案集成度高,功耗低,与其他方案相比 UCP4008 的架构方案较

为经济,成本更低,尤其是一体化站型设计,优势更加突出。

3 基于国产专用处理器 5G 微基站架构设计

除了通用处理器方案,基于国产化专用处理器搭配通用处理器也能实现 5G 微基站基带的架构设计。国内芯片厂商推出了基于 RISC-V 架构设计的 PC802 SoC 基站解决方案。通过采用 PC802 加速卡与通用处理器 (ARM 或 X86 处理器) 结合的方式在功耗、成本和集成设计方面确实对 X86 (以 Intel 为代表) 方案形成

了优势,能够更好地满足5G扩展型或一体化微站架构设计的需求^[4](在图8中,左图为基于PC802一体化方

案参考设计,中间为基于PC802的加速卡方案参考设计,右图为基于PC802的RRU方案参考设计)。

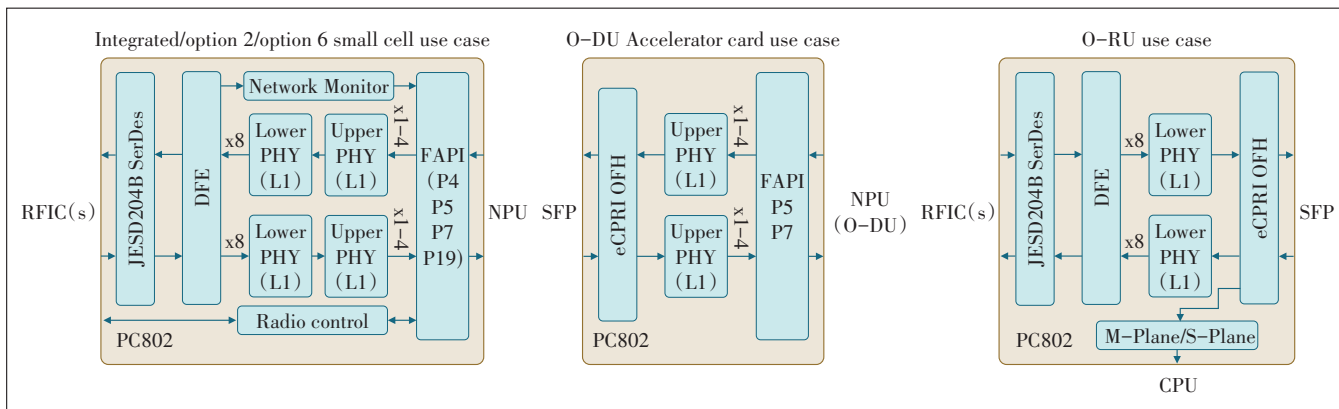


图8 基于PC802 5G微基站架构示意

PC802是遵循5G NR/LTE小基站分布式和一体化RAN架构的PHY SoC芯片,它继承了O-RAN协议规范。该芯片通过PCIe接口采用SCF FAPI消息与L2/3协议栈进行连接。PC802支持通过CPRI和eCPRI接口与射频单元进行无缝连接,或通过标准化JESD204B高速串行接口与射频芯片(RFIC)直接连接,可满足扩展型或一体化5G微基站产品设计需求。

基于PC802的5G微基站架构设计,将5G微基站功能很好地进行了模块化的划分。5G物理层(L1)运算实现运行在PC802芯片上,协议栈(L2/L3)运行在通用处理器上,L1与L2/L3之间的交互通过PCIe进行通信,通过增加PC802芯片的个数或加速卡的个数来增加5G微基站基带单元的处理性能,简化了5G微基站架构的系统集成复杂度。

PC802芯片基于RISC-V架构设计,采用Ceva XC12 5G优化的1280位矢量信号处理器支持Option 6/7.2/8,4通道JESD204B,CPRI,eCPRI,4通道G4 PCIe,LPDDR4 32位(2666/3200 MHz)等接口,接口较为丰富,整体硬件适配性较好,目前已经有多款通用处理器方案与之适配(例如LX2160、X86、RK3588、S5000C等)。与X86架构方案相比,PC802方案采用专用SoC取代了X86方案中的FPGA加速卡,并将5G物理层的处理全部在PC802上进行处理,大大降低了系统的整体功耗,同时与X86+FPGA方案相比,实现成本较低,从实现复杂度和可靠性的角度来看,专用SoC与FPGA相比,稳定性和可靠性相对较高,开发周期短,维护成本低,后期可以通过不断优化完善PC802的物理层软件,使该方案的性能得到了进一步的提升。

4 总结和展望

5G微基站架构演进伴随着5G技术和芯片技术的发展,也见证了国产通信芯片的成长壮大。从传统的通信芯片方案(例如FSM100xx,LA12xx,X86)到如今的国产芯片(PC802,UCP4008)。5G微基站架构设计都在不断地推陈出新,新的架构设计将朝着5G时代对超强计算能力和低功耗的双重要求不断发展。

参考文献:

- [1] 英特尔. 基于英特尔® FPGA SmartNIC N6000-PL 平台的英特尔® 加速虚拟蜂窝基站路由器解决方案,助力通信服务提供商(CoSP)提高服务创收能力[EB/OL]. [2025-05-20]. <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/products/docs/programmable/accelerate-virtual-cell-site-router-solution-brief.html>.
- [2] 吴越,黄蓉,王友祥. 开放前传接口技术及其在5G数字化室分系统中的应用研究[J]. 邮电设计技术,2020(12):39-45.
- [3] 英特尔. 英特尔® Agilex™ FPGA 助力打造更具成本效益且更高效的5G无线解决方案[EB/OL]. [2025-05-20]. <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/customer-spotlight/cases/cost-effective-efficient-5g-radios-agilex-fpgas.html>.
- [4] Picocom. PC802 5G small cell PHY SoC[EB/OL]. [2025-05-20]. <https://picocom.com/wp-content/uploads/2021/11/PC802-Product-Brief.pdf>.

作者简介:

韩乾,高级工程师,学士,主要从事微基站架构设计与研发工作;陈任翔,正高级工程师,学士,主要从事移动通信网络架构设计与规划工作;袁姝婕,助理工程师,学士,主要从事5G通信基础设施设计工作;马广辉,正高级工程师,学士,主要从事无线通信系统研究与设计工作;平军磊,高级工程师,硕士,主要从事移动通信技术研究工作;曹恒,正高级工程师,学士,主要从事移动通信咨询设计工作。