

基于 5G 小基站的虚拟化场景与应用分析 *

刘海涛, 刘 洋, 杨峰义

(中国电信研究院 5G 研发中心, 北京 102209)

摘要: 5G 时代, 伴随着基于通用服务器的小基站的发展, 利用开源开放技术实现无线接入网的虚拟化为进一步提高通信设施资源利用率和部署效率、降低成本提供了新的方向。首先分析了基于通用服务器的新型 5G 小基站的结构, 然后借鉴现有经验分析了小基站虚拟化部署的典型场景。随后介绍了常见虚拟化技术的特点及应用情况, 结合当前电信行业虚拟化的现状以及不同应用对于虚拟化设施要求的差异, 讨论了适合小基站的虚拟化技术。最后面向典型场景给出了完整的虚拟化平台的架构分析以及未来发展的展望。

关键词: 5G; 小基站; 虚拟化; vRAN

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200472

中文引用格式: 刘海涛, 刘洋, 杨峰义. 基于 5G 小基站的虚拟化场景与应用分析[J]. 电子技术应用, 2020, 46(7): 29–32.

英文引用格式: Liu Haitao, Liu Yang, Yang Fengyi. Virtualization scenario and application analysis based on 5G small base station[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(7): 29–32.

Virtualization scenario and application analysis based on 5G small base station

Liu Haitao, Liu Yang, Yang Fengyi

(5G R&D Center, China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China)

Abstract: In the 5G era, with the development of small base stations based on general purpose servers, the virtualization of wireless access network using open technology provides a new direction for further improving the utilization rate and deployment efficiency of communication facilities. This paper firstly analyzes the structure of the new 5G small base station based on the general server and then analyzes the typical scenarios for deployment of the small base station. In the second part, the paper introduces the common characteristics and the applications of virtualization technology. Considering the current status of telecommunication industry of virtualization, the differences between the applications for virtualization infrastructure requirements are discussed, which is suitable for small base station for typical scenarios. The last part gives the analysis of complete virtualization platform architecture and future development prospect.

Key words: 5G; small base station; virtualization; vRAN

0 引言

5G 时代, 越来越多的业务场景催生了更加丰富的应用类型, 而且随着室内流量占比越来越高, 新一代网络建设对室内覆盖网络指标提出了更高的要求。同时, 由于采用较高频段部署, 不仅室外宏基站覆盖室内有较大难度, 而且传统 4G 网络的无源分布式天线系统也不支持 3.5G 及以上频段, 导致同等覆盖的室外基站建设成本远高于 4G 且难以满足 5G 要求^[1-2]。对于设备性能、成本、运维等方面因素的综合考量让运营商在选择室分方案时更加慎重。在此背景下, 基于通用服务器的新型 5G 有源小基站迅速发展起来, 被认为具有低功耗、部署方便等的优势, 还可承担起 5G 时代智能家居的中枢功能, 不仅能与宏基站搭配部署扫除覆盖盲区, 实现数字化的

5G 室内覆盖, 还能通过定制化的服务满足不同场景下的多样化需求^[3-4]。

另一方面, 近些年来, 开源虚拟化技术在互联网领域得到了大规模的应用和普及, 包括基于虚机的和基于容器的虚拟化环境都在不断向前演进, 特别是伴随着 Docker 和 Kubernetes 的出现带来容器应用的火爆发展。在通信行业, 虽然网络虚拟化的概念早已经开始研究, 但是现在的应用主要还在核心网领域, 因为典型的核心网元与无线接入网由于本身的功能特点不同, 对虚拟化环境有不同的要求, 加上业务场景的变化和实际部署性能、成本考虑等, 从而导致接入网设备对虚拟化设施的架构和实现提出了不同的要求和这方面研究的缺失。本文简要分析了传统网络设备中无线接入网部分的特点, 结合 5G 室内小基站部署的场景, 给出了典型的虚拟化平台架构及未来发展趋势。

* 基金项目: 国家科技重大专项课题(2017ZX03001001)

1 基于通用服务器的 5G 小基站架构与应用

近些年来,以电信基础设施项目(Telecom Infra Project, TIP)及开放无线接入网(Open-Radio Access Network, O-RAN)等为代表的倡导接入网开放的联盟组织持续发布有关接入网开放设备的标准推动及试商用信息^[5]。其中典型案例包括2019年初,日本乐天移动首批4G基站开通,计划以全IT化的方式建设4G/5G网络,通过基站虚拟化、白盒化,建成端到端的云原生移动网络。目前对于5G小基站,基于通用硬件的实现方式在产业界处于优化过程中,虚拟化形态还属于早期探索阶段。

1.1 小基站架构

典型的基于通用服务器的5G小基站一般为三级架构,包括基带处理单元(Building Base band Unit, BBU)、交换机(HUB)及射频处理单元(Remote Radio Unit, RRU)的,如图1所示。其中,HUB通过前传接口连接BBU和RRU的中间设备,负责数据分发与合并,RRU即射频处理单元,负责射频信号的产生与收发^[6]。当下一般的HUB和RRU根据前传接口选择不同,与传统通信设备并无本质区别,目前虚拟化的讨论集中在BBU部分。

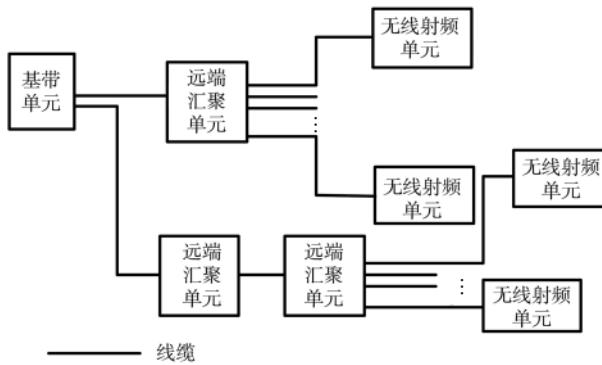


图1 扩展型小基站架构

对于5G扩展型小基站,BBU实现基带处理,具体包括实现无线接入网层1/层2/层3的协议栈功能、同步及前传等,从实现方式来看,协议栈可以通过通用处理器+专用硬件方式或者全通用处理器实现。专用硬件的目的是将处理实时性要求较高的信道编解码和前传采用现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)/专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)来实现以降低整体成本、提高稳定性,同时层2/层3协议栈基于通用处理器X86/ARM(Advanced RISC Machine)架构的服务器来实现。但是考虑特定场景或者未来服务器性能进一步提升,实际全通用服务器的方案依然不能排除,如果考虑与其他网络虚拟化功能共平台部署,或者考虑云部署,如移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)等,全通用服务器的方案长期看会拥有更多的潜力。通过引入软硬件解耦,进而考虑软件功能的虚拟化,有助于充分利用IT技术和思维,实现更高效的资源管理方案和更灵活的网络架构,有利于运营商提供灵活、

快速的业务应用。

1.2 面向室内小基站的虚拟化场景分析

虚拟化主要是对计算或者存储资源进行集中部署和分配,从而提高资源利用率和分配效率。目前虚拟化应用最多的是数据中心,对服务器进行池化,这就要求一定数量的服务器进行集中部署^[7]。考虑到基站部署要根据业务和覆盖需求因地制宜,同时考虑室内小基站的覆盖能力,基于通用服务器的5G小基站主要面向两种场景:室内公众网络和区域行业应用。

针对公网室内覆盖应用部署的主要需求是在满足性能和覆盖等无线网络指标基础上尽量实现成本最优化,这种场景对于5G小基站的应用规格要求与传统无线网络的需求一致,对性能、功耗、体积和可靠性的要求都比较高,对成本较为敏感。由于目前基于通用服务器的小基站产品尚在成熟过程中,因此在这种场景下,更适用于采用非虚拟化的物理机运行,可以兼顾性能和成本。

面向垂直行业的5G应用与公网不同,尤其是工业园区,对网络性能指标及对设备功耗和体积的要求相对宽松,成本方面相对公网也没有那么敏感,但是业务多样性增加,希望网络能够提供定制化的服务。同时,由于区域相对集中,更适合根据需要对BBU进行集中部署。这种场景下,小基站部署时适合采用虚拟专网的形式进行网络部署,用于满足5G中多种业务能力的灵活需求,而采用云化、虚拟化技术,可以实现无线网络资源的池化共享,进行快速部署,同时还有利于实现虚拟无线接入网(Virtual Radio Access Network, vRAN)与MEC/UPF(User Plane Function, 用户面功能)的共平台部署,以及未来平台的升级拓展,从而满足多种业务对于无线底层基础资源的弹性伸缩需求,实现池化增益和规模效益^[8]。

2 开源虚拟化技术介绍及电信行业应用现状

2.1 虚拟化技术发展与应用

在大数据云计算的快速发展趋势下,应用虚拟化技术,构建资源集中、共享的新服务器模式,更能满足日益扩大的应用需求。在以服务器为主要设备的部分通信基础设施中,虚拟化技术也起到了非常重要的作用,使得网络功能的实现、设备的管理以及信息的传送都更加高效,虚拟化技术在通信基础设施中的应用,有效推动了通信行业的进步。

目前在服务器硬件设施之上,有众多的厂商平台及开源项目提供虚拟化平台。主流虚拟化平台包括基于虚机的和基于容器的,两者都有众多的应用项目支撑,在互联网行业得到了大规模的应用,在进行5G网络的虚拟化研究时可以充分借鉴相关的经验。

2.1.1 虚拟机和OpenStack

虚机较容器的发展更早,因此商用时间长,产品比较成熟,目前最具代表性的商业系统虚拟化软件系列VMware ESX来自美国的威睿公司,从虚机的底层支持到应用管理都有完善的解决方案。此外,也有众多的开源

解决方案,很多厂家基于这些开源项目建设自己的应用平台,其中最重要的就是KVM(Kernel-based Virtual Machine)和OpenStack(云计算管理平台)。KVM是一个开源的系统虚拟化模块,它使用Linux自身的调度器进行管理,核心源码很少。虽然KVM需要硬件支持,但是使用通用服务器的小基站可以很好地适配这个需求。OpenStack即开源云计算管理平台项目,利用它可以根据自己的需要来搭建基础设施,同时可以自由地扩充集群规模。这些开源项目的兴起为开发自己的虚拟化平台提供了条件,同时这些项目又有良好的标准化基础,使得不同厂家的平台应用很容易实现兼容。

2.1.2 容器和K8S

容器与虚拟机作用类似,但是原理不同,特点也不同。由于虚机需要消耗较多资源进行部署和运行,而互联网行业应用的更新迭代越来越快,容器技术以其轻便、灵活和快速部署等优点对传统的基于虚拟机的虚拟化技术获得了越来越多的关注。类似地,目前使用最广泛的有Docker容器技术和管理系统K8S(Kubernetes,一个用于容器集群的自动化部署、扩容以及运维的开源平台)。通过Kubernetes可以针对应用需求快速有效地部署、扩展和升级应用,从而进一步节省资源,优化硬件资源的使用,为容器管理提供完整的开源方案。

2.2 电信行业应用现状与需求选择

目前在电信行业实践中,虚拟化应用更多的是针对核心网、云计算等资源集中的场景,通常是以集群的形式大规模部署,往往需要几十、上百甚至上千台物理服务器,这样通过将CPU、内存、磁盘、I/O等硬件变成可以动态管理的“资源池”,将服务器物理资源抽象成逻辑资源,以一种逻辑服务器的形式为用户提供服务。然后在此基础上,搭载虚拟化软件,根据用户需求调动资源,将零散的资源整合利用,提升服务器利用效率。

通过前文对基站部署的典型场景进行分析,可以发现其规模与现有的应用相比有明显差距,但是考虑虚拟化软件本身的资源消耗,在讨论5G小基站的虚拟化时,也是需要在设备相对集中的场景,一定数量的基站进行虚拟化才能利用虚拟化的优点。因此综合以上考虑,基于5G小基站进行虚拟化部署适合首先面向5G垂直行业,特别是在工业园区,进行超轻量化的部署,这里超轻量化的定义可以粗略视为物理机数量上的定义,如物理节点在几台到十几台之间,这是与现有的实际部署区别较大,需要重点研究的地方。

另外,除了规模上,从通信应用的角度看,对虚拟化软件平台的需求也会因应用而异。当下主要的网络虚拟化功能有核心网、MEC和vRAN。对于承载这些应用的虚拟化平台要求上的差别归纳如表1所示。

由于不同的虚拟网络功能(Virtual Network Function, VNF)在计算、存储、网络转发等方面对平台有不同的需求,因此在虚拟化平台选择和设计时就需要充分考虑平

表1 不同应用对虚拟化平台的需求比较

| 应用 | vRAN | 核心网 |
|-------|--------|--------|
| 服务器规模 | 几台~几十台 | 几百~上千台 |
| 计算能力 | 较高 | 较低 |
| 网络转发 | 较低 | 较高 |
| 存储功能 | 本地存储 | 分布式存储 |
| 时延 | 较高 | 较低 |

台可能搭载的VNF对软硬件的要求,在兼顾性能的同时提高资源的利用效率。例如,虽然虚机在现有CT市场占据主导地位,且在架构设计、商业应用方面相对成熟,在公有云部署时进行多用户隔离也更有优势,但是虚机主要针对的是核心网应用,特点是部署规模大,需要较高的网络转发和存储,对计算和处理时延要求则相对较低。而vRAN对于平台的需求则与核心网恰好相反,对CPU的计算能力和处理时延有严格的要求,对转发和存储则相对较小。而且前文在讨论小站部署场景时也提到,适合vRAN的一般是较小规模的BBU集中部署,物理资源有限,所以针对vRAN平台设计在满足计算和时延要求的同时,尽可能提高资源利用率,这样考虑传统的虚拟机和庞大的OpenStack架构是不太合适的。

另一方面,容器在部署和启动阶段都比虚机更方便,容器本身的资源消耗要小得多,在相同的工作负载下,Docker实现了更高的CPU和内存利用率,开销更小,易扩容,综合性能更优,而且开源开放日益成为一种重要的技术趋势,随着Docker和K8S的组合在IT业逐渐成为事实上的标准,同时考虑vRAN场景资源可能相对稀缺,容器更有优势。虽然在安全及可靠性方面容器进入CT行业更受质疑,这方面没有太多具体的研究,但是容器已在IT业大规模商用,一定程度上证明其稳定和可维护性。实际上,具体应用场景的需求不同似乎正在导致虚机和容器技术两者之间的进一步演进或者融合。例如,出于对公有云下多用户支持、租户隔离、网络需求等的考虑,一种名为安全容器的技术正在逐渐兴起,利用虚机层保障容器用户的安全和隔离需求,同时资源消耗也在相对虚机折中,在利用容器进行vRAN部署时,可以利用安全容器运行重点功能,保证特殊需求。

3 vRAN 虚拟化平台架构及应用

综上所述,可以利用现有的开源技术(包括操作系统、底层支持、容器/安全容器、K8S管理平台)搭建一套完整的面向vRAN的虚拟化应用平台,并针对基于通用服务器的5G小站在特定场景下的部署,提出相应的策略。

3.1 虚拟化平台架构

虚拟化平台包括虚拟层、虚拟化应用和虚拟化控制管理功能以及相应的基础硬件支持。其中,基站软件对硬件存储要求很低,重点考虑的是虚拟层对存储空间的需求,只需要本地存储保障一定数量的容器/安全容器启动运行,并具备相对的可扩展性。如图2所示,虚拟层

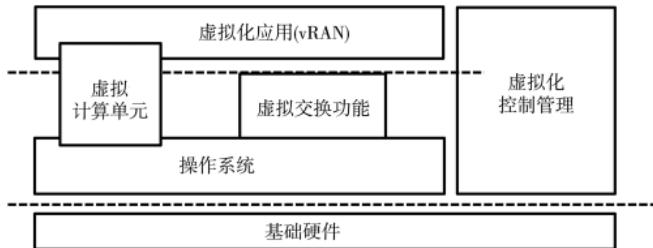


图 2 虚拟化平台架构

主要为上层应用提供虚拟的计算和网络转发功能，其中，虚拟计算单元由 Docker 容器/安全容器实现，Docker 容器需要在操作系统中配置 Docker-runtime，安全容器使用 Kata-container，需要配置 Kata-runtime，它的优点是与 Docker 类似，为了接入 K8S，接口需要支持容器运行时接口(Container Runtime Interface, CRI-O)。Kubernetes 则针对容器/安全容器提供了虚拟化应用实例的管理、编排功能。虚拟交换功能使用开源虚拟交换机(Open vSwitch, OvS)实现，主要依赖数据平面开发套件(Data Plane Development Kit, DPDK)技术。虚拟层运行在操作系统上，考虑可用和稳定性，服务器的操作系统可以选择 CentOS，在 CentOS 上需要实现对虚拟层的支持，包括实时内核(real-time preemption patches)，在低延时的基础上通过几种手段(高精时钟、中断线程)尽量达到硬实时要求)、容器运行时、标准容器接口、主板管理等。

3.2 典型场景应用策略分析

如果考虑 vRAN 的实现方式，针对实际场景的部署策略进行分析。以工业园区为例，在厂房等需要部署 5G 网络的建筑中，先在专用机房部署一定规模的通用服务器，在其上搭建虚拟化平台，根据实际需要部署拉远 HUB 及射频 RRU 覆盖指定区域。开始部署 vRAN 应用时，为了提高 5G 基站设备虚拟化后的稳定性和运行效率，可以在部署和运行监控中采取一定的策略。

首先，依据功能将基站 BBU 部分划分为多个软件子模块，包括 CU-UP、CU-CP、DU1(不含编解码)、DU2(编解码部分)，当然，也可以根据实际的需求和协议实现采取不同的划分；然后，根据模块特点以及运行情况再单独部署子模块，具体的策略如图 3 所示，在启动虚拟应用实例前，判断待部署模块是否需要经常更新和升级，如果需要，则可能由于软件版本导致程序出错，为了降低对平台的影响，使用安全容器启动；然后，判断模块提供的服务是有状态还是无状态，有状态则使用安全容器启动，这里的有状态、无状态是指该模块是否需要保存请求/输入数据的信息，如 CU-CP 通常需要保存各种接入和缓存

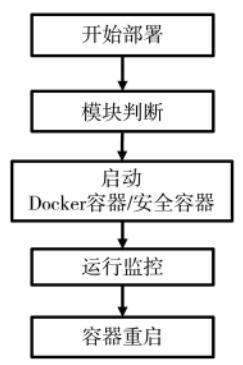


图 3 vRAN 应用部署策略

信息，是有状态的，使用隔离的安全容器更好，而 DU2 提供编解码功能，只需要输入数据即可，属于无状态。判断过不需要安全容器，直接使用 Docker 容器启动。

为模块选择容器或者安全容器运行后，还需要进行状态监控，设置监控周期(如 24 小时)，如果模块在监控周期内出现故障，则再次启动时改用安全容器启动；同样，对于由于更新被判断在安全容器中启动的模块，如果一段时间后仍然正常运行，则可以视资源情况，在闲置时改用容器启动。

这样，可以在利用容器有效降低系统的部署周期和资源消耗的情况下，利用安全容器满足一定的安全和隔离需求，同时，容器类虚拟应用又具备良好的扩容性能。

4 结论

在 5G 室内小基站部署中，面向垂直行业应用的专网部署是网络虚拟化需要重点关注的场景，企业园区或者工厂可以为 vRAN 部署提供良好的试点验证条件，同时通过引入基站虚拟化也可以为更开放、智能、定制化的无线接入网提供基础。本文对目前基于通用服务器的 5G 小基站的架构、虚拟化及部署场景进行总结与展望，对于不同的虚拟化实现方案都结合电信行业应用进行分析，提出当下容器化是虚拟化平台的发展方向，vRAN 需要参考 MEC 平台及应用进行虚拟化平台搭建，同时关注与虚机融合架构的技术发展，最终提出典型的 vRAN 虚拟化平台架构和应用策略。在虚拟设施管理方面暂时利用现有的管理手段，并没有展开分析实际的需要，这方面有待进一步探索。

参考文献

- [1] 方绍湖, 李馨, 卜斌龙. 基于开放平台小基站的 5G 数字室分解决方案[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 69-77.
- [2] 缪洪兵, 任伟. 5G 小基站发展优势及相关关键技术[J]. 通信与广播电视台, 2019(4): 1-8, 19.
- [3] 姜丽, 杨立敏. 5G 时代小基站的建设需求分析[J]. 通讯世界, 2019, 26(8): 168-169.
- [4] 梅雅鑫. 5G 已来 小基站厂商蓄势待发[J]. 通信世界, 2019(23): 44.
- [5] 金剑. 基于 5G 通信时代的开放平台小基站建设[J]. 智能城市, 2019, 5(16): 188-189.
- [6] 刘洋, 杨涛, 杨峰义. 5G 室内小基站: 接入网开放的突破口[J]. 通信世界, 2019(17): 31-32.
- [7] ORAN.WG6.CLOUD-REF-B-v01.00.Cloud platform reference design for deployment scenario B[S]. 2020.
- [8] 熊杰. 在 5G 小基站上部署 MEC 的意义分析[J]. 移动通信, 2019, 43(7): 63-66.

(收稿日期: 2020-06-10)

作者简介:

刘海涛(1992-)，男，硕士，初级工程师，主要研究方向：5G 接入网、开源网络技术等。

刘洋(1983-)，女，博士，高级工程师，主要研究方向：无线网络开放、5G 室内小基站等。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所