



专题：6G

上下文感知的 6G 无线网络

孙军帅, 赵芸, 王莹莹, 李娜, 张慧敏, 孙欣, 闫敏, 赵泉, 李刚, 刘璇, 刘光毅
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: ICDT 深度融合是移动通信演进的重要技术趋势之一, 如何实现无线网络和 AI 技术的深度融合是无线网络中演进的重要课题。基于内生 AI (native AI) 概念, 研究在无线网络中使用 AI 工具进行无线资源优化。提出了一种上下文感知的 6G 无线网络架构, 并在 RRM 中引入内生 AI 工具, 形成智能控制器智能化无线资源管理 (AI-driven RRM), 完成智能无线资源管理的控制器, 在大数据和人工智能的驱动下, 实现对无线资源的智能化管理。该部署方案把智能控制器按照功能进行部署, 并支持动态的功能伸缩, 让其部署独立于基站接入点之外以实现基站硬件成本最小化。

关键词: 上下文感知无线网络; 内生 AI; RRM

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021227

6G context-aware wireless network

SUN Junshuai, ZHAO Yun, WANG Yingying, LI Na, ZHANG Huimin,
SUN Xin, YAN Min, ZHAO Quan, LI Gang, LIU Xuan, LIU Guangyi
China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Convergence of ICDT is one of the important technical trends in the evolution of wireless mobile communication. How to realize the convergence of wireless network and AI technology is an important topic in the evolution of wireless network. Based on the concept of native AI, AI was applied for wireless resources optimization. 6G context-aware wireless network architecture was proposed and AI was introduced into RRM to form an intelligent controller (AI-driven RRM), which completed the intelligent wireless resource management. Driven by big data and artificial intelligence, intelligent management of wireless resources was realized. In the deployment, the intelligent controller is deployed according to its functions and supports dynamic function scaling, so that it can be deployed independently of base station to minimize the cost of hardware.

Key words: context-aware wireless network, native AI, RRM

收稿日期: 2021-08-10; 修回日期: 2021-09-15

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1806800)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1806800)

1 引言

ICDT 深度融合是无线移动通信演进的重要技术趋势之一, 如何实现无线网络和人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术的深度融合是无线网络中演进的重要课题。传统的 AI 和无线网络结合的方式为外挂式。基站把 AI 需要的信息上报到 AI 节点, AI 节点对数据进行处理产生策略, 并把策略发送给基站, 然后基站根据该策略产生相应的控制。外挂式 AI 存在如下问题。

根据文献[2]中的估计, 将所有数据上报到 AI 节点进行处理将消耗过多的上行链路带宽, 给基站和传输网络带来了巨大的开销。为了满足 AI 模型训练的需求, 基站需要上报测量的数据量和频度超过了基站处理业务的运算负荷。

- 大量测量数据的上报, 导致了基站信息的安全风险。为了训练 AI 模型, 需要大量针对用户的详细数据, 把基站内正常的用户数据信息上报到基站外的节点, 造成了数据安全风险。
- AI 产生策略只能是慢速的, 比如秒级或者百毫秒级, 无法完全适应无线网络信道变化迅速的需求。
- AI 给基站带来的增益小于基站, 为了支撑 AI 而提供的测量和数据处理开销。
- 无法实现 AI 和基站的深度融合。

针对外挂式 AI 存在的问题, 内生 AI (native AI) 通过引入分布式 AI 体系, 实现了测量和数据处理开销的降低, 并实现了 AI 和基站功能的深度融合。目前多个行业组织 (ITU、CCSA、6GANA 等) 开展了基于内生 AI 通信技术的研究和立项, 其中涉及基础理论、网络架构、能力开放、典型用例的工作流程等多个方向。本文提出的上下文感知的 6G 无线网络可以实现 6G 网络的智慧内生, 符合未来网络技术趋势。

2 6G 上下文感知无线网络

内生 AI 的概念被广泛提及, 在无线网络中使用 AI 工具进行无线网络的无线资源优化。下一代无线网络面临更复杂的应用场景, 运用 AI 工具能够更好地服务用户, 极大地提高用户体验。面向 6G 的无线网络的设计目标, 需要对使用 AI 工具驱动的无线网络进行研究。

目前 4G/5G 的网络架构主要是面向移动性的网络架构——集中的核心网、分散的基站、核心网和基站两级的用户移动性管理机制。在当下的 5G, 网络架构仍然是传统的核心网+基站的架构, 5G 设想所要支持的业务类型和场景已经远远超过了传统移动通信场景。在 4G 和当下 5G 时代, 移动通信面对的仍然是传统的通话和数据业务等移动通信场景, 所以 5G 标准中目前定义的基于传统网络架构的演进架构还是能支撑当前通信场景需求。下一代移动通信提出了更广泛和深刻影响社会的需求, 在这些需求推动下, 传统的网络架构已经无法支撑这些需求, 需要进行系统的重新设计。

面向下一代移动通信的需求, 网络需要感知服务的每一个用户, 并能够对用户进行大数据运算, 归纳总结用户特征, 形成对一类用户行为的准确判决和控制, 并针对每一个用户量身定做对其的控制和数据收发方案, 称为上下文感知无线网络 (context-aware wireless network, CAWN)。在 CAWN 中, 网络需要感知终端的一切, 包括位置、业务、终端本身运行状态、控制需求、移动状态和潜在的行为等, 网络侧 (network side) 通过终端通过上报各种测量全面掌握其状态; 终端为“笨终端”, 不承担任何复杂计算, 以节约功耗, 将计算能力部署在用户的应用层, 网络侧提供无线领域的控制和数据传输方案。CAWN 的特征如下。

- 集中的大数据处理中心, 提供统一的用户



行为和网络运行状态分析，并集中控制核心网（core network，CN）、传输网络（transport network，TN）和无线电接入网（radio access network，RAN）。

- 各个网络功能实体具有自生自洽能力（self-consistent capability）。
- 网络是多层级的，各层级之间具有灵活的耦合性（与目前严格的 CN+RAN+TN 分工架构不同），各层级之间的功能根据用户的实际需要进行远离空口或者靠近空口定义。定义层级的目的是为了用户更好的移动性管理。

CAWN 核心思想是：去除传统网络中核心网（CN）和无线电接入网（RAN）之间在用户控制和数据处理等功能方面的分割，实现相应功能根据用户位置进行灵活定义；对于运营商的计费或者其他管理功能不进行灵活定义。这些功能的灵活定义通过集中的大数据计算控制点进行大尺度粗调控制，然后各个功能实体再进行小尺度精确控制，二者结合完成精确控制。

CAWN 功能如图 1 所示，CAWN 把服务于无线通信的传输网部分、高层协议部分和低层协议部分（空口协议部分，比如层 1/层 2）按照一个整体进行控制和协调。由集中数据单元（central data unit，CDU）、网络侧高层（high layer of NS，HL）、传输网络（transport network，TN）和网络侧低层（lower layer of NS，LL）4 个部分组成。在网络侧的外部，连接高层用户面（UP of high layer，UPHL）。

UPHL 主要是层 3 及以上的层，包括 TCP/UDP 以及 IP 层，主要聚焦于用户的数据处理功能。其中 UDP/TCP/IP 代表着 CAWN 包含的协议层的上层协议，负责数据包在不同 CAWN 侧实体之间完成数据的分发。

CDU 为集中数据单元，负责 CAWN 的数据收集和处理，并产生控制网络侧的 HL、TN 和 LL

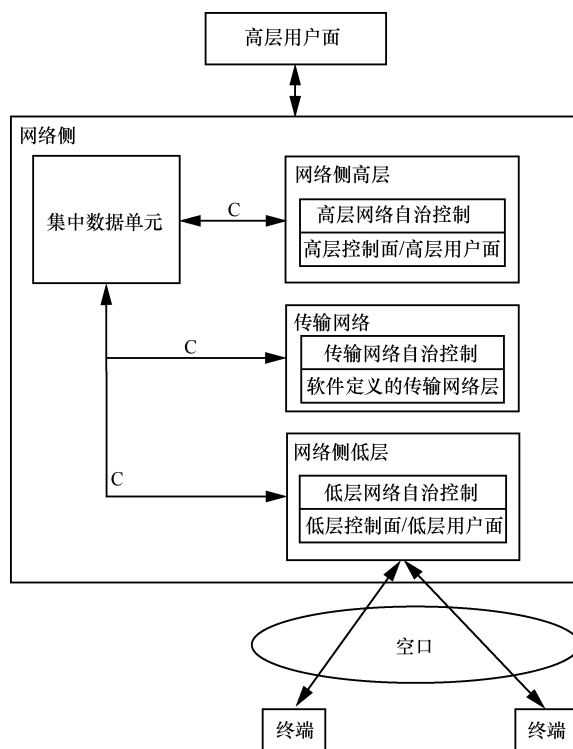


图 1 CAWN 功能示意图

的命令，控制 HL、TN 和 LL 各个实体的自生自治能力。

HL 为 CAWN 的高层功能，为层 3 及层 2 的功能，主要由高层网络自治控制（network autonomous control of high layer，NAC-H）和高层控制面和用户面（control plane and user plane of high layer，CP-H/UP-H）两大逻辑功能实体组成。NAC-H 的主要功能是在 CDU 的统一控制下，结合 CP-H/UP-H 产生的各种参数，产生针对 CP-H/UP-H 的自治控制，包括与 TN 和低层的交互、功能控制等。

TN 为 CAWN 的传输网络功能，主要由传输网络自治控制（network autonomous control of transport network，NAC-T）和软件定义的传输网络层（software defined transport network，SDTN）两大逻辑功能实体组成。NAC-T 的主要功能是在 CDU 的统一控制下，结合 SDTN 产生的各种参数，产生支撑 HL 和 LL 的数据传输的各种传输通道和 QoS 保障能力。

LL 为 CAWN 的低层功能, 为层 2 及层 1 的功能, 主要由低层网络自治控制 (network autonomous control of lower layer, NAC-L) 和低层控制面和用户面 (control plane and user plane of lower layer, CP-L/UP-L) 两大逻辑功能实体组成。NAC-L 的主要功能是在 CDU 的统一控制, 结合 CP-L/UP-L 产生的各种参数, 完成空口数据的控制和传输。

3 CAWN 中一种智能控制的部署

在无线资源管理 (radio resource management, RRM) 中引入内生 AI 工具, 形成智能控制器智能化无线资源管理 (AI-driven RRM), 完成智能无线资源管理的控制器, 在大数据和人工智能的驱动下, 实现对无线资源的智能化管理。该部署方案把智能控制器按照功能进行部署, 并支持动态的功能伸/缩, 并让其部署独立于基站之外以实现硬件成本最小化。

智能控制器部署分成两个部分进行部署: 一部分部署在基站上, 另一部分部署在新增加的云平台上。部署在基站上的功能按照如下原则进行定义。

- 实时性要求低于某一门限值, 记为 TC (time constraint), 如 10 ms。“实时性要求”是指, 功能或者算法从收到响应的测量或者监测数据, 经过计算, 到产生最后的决策时间限制要求。
- 计算能力要求低于某一个门限值, 记为 CC (computing capability), 如 10 万个 Cycle (周期), 或者处理器主频等“计算能力”是指功能或者算法对硬件的要求。当超过该门限时, 功能或者算法进行适当的切割, 把对计算能力要求高的非核心部分分离, 把要求低的核心部分放到基站上, 分解到计算能力需求的原子层之后 (即功能或者算法的功能已经无法再进行分割), 再放到基站上

面, 以实现基站成本的可控。

- 存储空间需求, 记为 BR (buffer request)。存储空间的管理和使用不仅仅是成本的问题, 还涉及功耗的问题。为存储空间的使用需求设置一个门限, 如 1 GB, 超过这个门限的数据就要放到基站外面的存储上去。
- 数据被使用的频度, 记为 UF (used frequency)。按照数据被调入内容使用的频段进行划分, 设置一门限, 如 1 000 次/s。频度越高的数据尽量放到基站中, 频度越低的数据放到基站之外。

对上述 4 个参数进行拟合得到分布部署的特征值如下。

$$R_{Split} = k_1 TC + k_2 CC + k_3 BR + k_4 UF$$

其中, $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$, TC、CC、BR、UF 需要进行归一化, 或者可以预定义四者的一致性映射表。对于 $R_{Split} \geq \text{Threshold}$, 则把该部分功能或者算法放到基站之外, 否则放到基站之内。

基于上述分割方法和原则, 把智能控制器分成两部分, 一部分部署在基站之外的云平台上 (记为 Part1), 另一部分部署在基站上 (记为 Part2), 两部分通过私有接口 (proprietary interface) 进行连接, 如图 2 和图 3 所示。

在图 2 中, 对于 Part1 部分, 可以部署到云平台上, 通过 IT 技术解决大存储、大计算量的需求, 通过云平台的分布式硬件功能实现 Part1 的规模可控扩展, 从而实现了 Part1 部分的灵活扩展和计算能力、存储能力的灵活增长。对于 Part2 部分, 聚焦于基站最核心的无线资源管理功能, 基本上基于目前基站已有的硬件和计算资源部署即可。把大量的计算和存储需求尽可能放到 Part1 部分。对于私有接口, 传递 Part1 和 Part2 两部分功能之间切分后的私有信息或者参数的交互, 以确保厂商算法的完整性和专属权。该私有接口可以通过专用的物理连接通道, 如专门的光纤。Part2 和协议栈之间通过标准、开放的 E2 接口与协议栈互联。

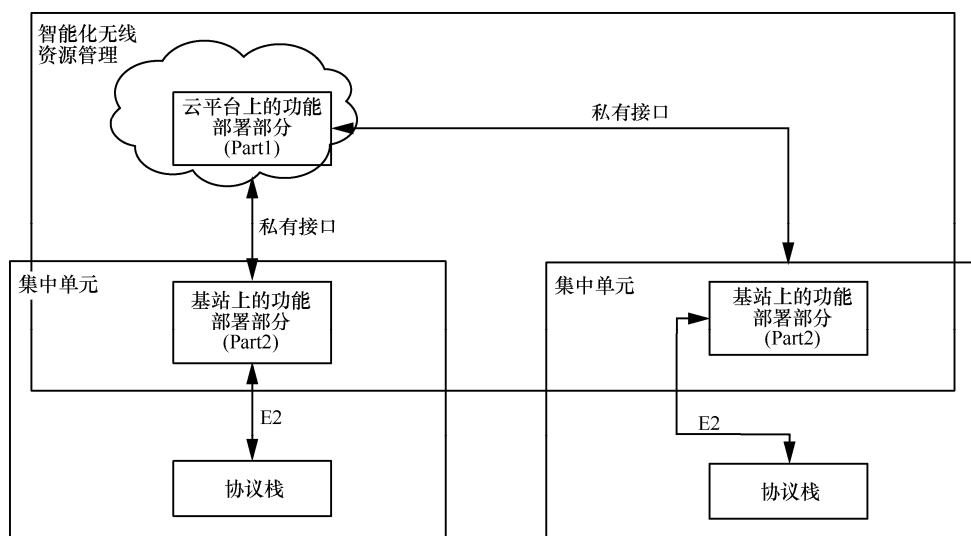


图2 智能控制器的部署方案一

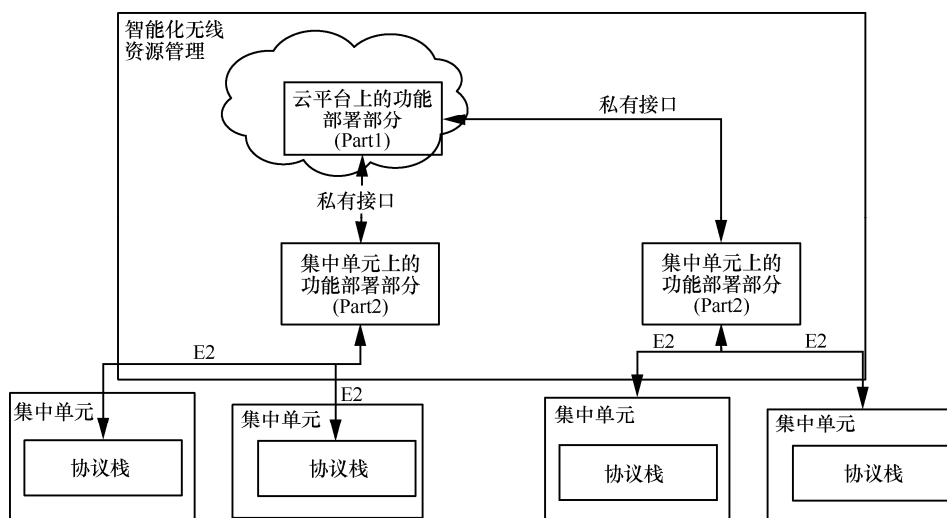


图3 智能控制器的部署方案二

在图3中，Part1 部分为大集中部分，部署在云平台上。Part2 为小集中部分，部署在小范围的基站之外，管理较少的基站。这样基站主要专注于协议栈功能。Part1 和 Part2 之间的私有接口与图2的定义相同。Part2 与协议栈之间通过 E2 接口互联。

两种方案中，Part1 和 Part2 之间都是通过私有接口进行互联，私有接口确保了整个智能控制器的一致性和统一性，即整个智能控制器出自一个产品提供商，通过标准开放的 E2 接口与标准的协议栈互联，从而实现了在 E2 接口上的能力开放

(把基站的能力暴露给运营商)，同时实现了厂商利益的最大化。

4 结束语

6G 网络逻辑架构由“三层四面”构成。三层分别是分布式资源层、网络功能层和应用与服务层，四面分别是数据感知面、智能面、安全面和共享与协作面。资源层向其他层提供资源（如无线频率资源、存储与计算资源）。网络功能层编排底层资源并执行必要的网络功能，以更好地支持上层应用与服务层的数据收发。数据感知面采集、

处理和存储用户及智慧网元的全域数据, 这些数据可以被智能面订阅以用于模型训练、算法优化或者为其他网络功能提供数据分析服务。智能面为其他“层”和“面”按需提供 AI 能力。安全面使网络具备内生安全的能力, 为网元、服务与应用提供更强大的安全保护。共享与协作面实现各“面”各“层”的多方共享, 解决数据孤岛、异构系统安全性等问题。

6G 网络具备“按需服务、架构至简、服务化的 RAN、智慧内生、数字孪生”的特征。本文提出的 6G 上下文感知的无线网络实现了 6G 网络的按需服务和智慧内生, 可以感知其所服务的每一个用户, 并能够对用户进行大数据运算, 归纳总结用户特征, 形成对一类用户行为的准确判决和控制, 并针对每一个用户量身定做对其的控制和数据收发方案, 实现按需地为用户服务。同时, 基于内生 AI 的方法和部署, 充分利用了 AI 面的功能, 使得 AI 和无线网络功能深度融合, 符合未来网络技术趋势。

参考文献:

- [1] IMT-2020 (5G) Promotion Group. White paper on vision and requirement[R]. 2014.
- [2] Gartner. AI trends for enterprise computing[R]. 2017.
- [3] 刘光毅, 金婧, 王启星, 等. 6G 愿景与需求: 数字孪生、智能泛在[J]. 移动通信, 2020, 44(6): 3-9.
LIU G Y, JIN J, WANG Q X, et al. Vision and requirements of 6G: digital twin and ubiquitous intelligence[J]. Mobile Communications, 2020, 44(6): 3-9.
- [4] LIU G Y, HUANG Y H, LI N, et al. Vision requirement and network architecture of 6G mobile network beyond 2030[J]. China Communications, 2020, 17(9): 92-104.
- [5] 中国移动通信有限公司研究院. 2030+愿景与需求报告[R]. 2020.
China Mobile Research Institute. Vision and requirements for 2030+ (version 2.0)[R]. 2020.
- [6] 3GPP. Medium access control (MAC) protocol specification: TS38.321[S]. 2020.
- [7] 3GPP. Radio link control (RLC) protocol specification: TS38.322[S]. 2020.
- [8] 3GPP. Packet data convergence Protocol (PDCP) specification: TS38.323[S]. 2020.

[作者简介]



孙军帅(1980-), 男, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员、高级工程师, 主要研究方向为接入网网络架构、协议栈功能的研发和标准化工作及 6G 网络。

赵芸(1981-), 女, 中国移动通信有限公司研究院高级研究员, 主要研究方向为接入网网络架构、协议栈功能及 6G 网络。

王莹莹(1986-), 女, 中国移动通信有限公司研究院高级研究员, 主要研究方向为 6G 无线网络关键技术研究。

李娜(1988-), 女, 中国移动通信有限公司研究院高级研究员, 主要研究方向为下一代无线网络架构及协议设计。

张慧敏(1995-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为下一代无线网络架构研究。

孙欣(1994-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为 6G 网络架构与功能, AI 内生相关网络流程, 功能设计、联邦学习与通信联合优化等。

闫敏(1988-), 男, 中国移动通信有限公司研究院高级研究员, 主要研究方向为 6G 无线网络关键技术。

赵泉(1973-), 男, 中国移动通信有限公司研究院高级研究员, 主要研究方向为 6G 愿景需求、云原生技术、RAN 协议栈。

李刚(1977-), 男, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员、高级工程师, 主要研究方向为 5G/6G 无线网络架构和协议、无线内生智能架构和协议、空口 AI 关键技术和算法等。

刘璇(1988-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为下一代无线网络架构及协议设计。

刘光毅(1974-), 男, 中国移动通信有限公司研究院首席专家、教授级高级工程师, 主要研究方向为 5G/6G 端到端关键技术研究、标准化、原型验证与产业化等。