

智能超表面技术5G化演进探讨

Research on 5G Evolution of Reconfigurable Intelligent Surface Technology

刘秋妍¹,李福昌¹,张忠皓¹,吕 轩²,李佳俊³(1. 中国联通研究院,北京 100048;2. 中国联通北京分公司,北京 100031;3. 联通华盛通信有限公司,北京 100032)

Liu Qiuyan¹,Li Fuchang¹,Zhang Zhonghao¹,Lü Xuan²,Li Jiajun³(1. China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China;2. China Unicom Beijing Branch,Beijing 100031,China;3. Unicom Vsens Communications Co.,Ltd.,Beijing 100032,China)

摘要:

随着移动通信网络发展演进,5G网络进入规模化商用的下半场5G-Advanced时代,6G业务需求和潜在技术也逐渐成为研究热点。在梳理5G/5G-Advanced网络深度覆盖、扩容提速等网络需求和6G技术演进趋势的基础上,分析6G技术在5G/5G-Advanced网络阶段先试先用的必要性和可能性,提出6G技术5G化演进的“BULL”原则。最后,基于“BULL”原则,分析智能超表面技术在5G/5G-Advanced阶段5G化演进的必要性与可行性。

关键词:

无线通信;6G;技术演进;智能超表面

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.12.003

文章编号:1007-3043(2021)12-0014-04

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:

5G network is becoming 5G-Advanced era with the development and evolution of mobile communication network. And 6G service requirements and potential technologies have gradually become research hotspots. On the basis of combing the network requirements such as deep coverage, capacity expansion and speed increase of 5G / 5G advanced network and the evolution trend of 6G technology, it analyzes the necessity and possibility of trial and first use of 6G technology in 5G / 5G advanced network stage, and the “BULL” principle is proposed. Finally, based on the “BULL” principle, the necessity and feasibility of reconfigurable intelligent surface evolved in 5G/5G-Advanced network is studied intensively.

Keywords:

Wireless network; 6G; Technology evolution; Reconfigurable intelligent surface

引用格式:刘秋妍,李福昌,张忠皓,等. 智能超表面技术5G化演进探讨[J]. 邮电设计技术,2021(12):14-17.

1 移动网络发展趋势

随着5G商用网络规模化建设的逐步加速,其对社会和生产所带来的改变逐步明显。大带宽、低时延、大连接的网络服务质量正在不断催生出移动用户在社会活动和生活体验方面更深层次的变化。未来6G时代,人类将更加注重满足生活、环境和精神层面等各方面要求,6G将会向智能移动通信2.0阶段迈进,进而推动人类社会从“万物互联”演变为“万智互联”,形

成真正意义上的智慧互联时代^[1-3]。

为了应对未来6G网络全息通信、感知互联、智慧车联、工业互联、空天一体等全域业务需求,如图1所示,6G时代的移动通信网络不仅需要在5G/5G-Advanced网络能力基础上进一步增强大带宽、低时延、泛在接入等CT域能力,还需要显著提升IT域能力,6G网络架构在继承5G/5G-Advanced核心网资源池化和架构服务化的基础上,进一步增加服务面向需求的弹性适配能力,通过更普及的算网一体部署将人工智能、安全可信等IT能力由外挂辅助式转化为内嵌式,支撑6G网络成为一张弹性开放、内生智能、算网一体、数字孪生、绿色节能和安全可信的新一代移动通信网络。

基金项目:国家重点研发计划(2020YFB1806700)

收稿日期:2021-10-20



图1 6G系统典型业务、指标体系和使能技术^[4]

为了支撑未来业务需求演进,6G 技术研究在新频率、新材料、新空口、新架构、新能力方面持续创新,产生了众多6G潜在使能技术。

2 6G技术5G化演进的必要性与可行性分析

2.1 6G技术5G化演进的必要性分析

当前处于6G网络发展研究的初期,对于6G业务需求,网络架构探讨刚刚开始,距离初步达成一致还需要一段时间。对于6G使能技术还处于开放式的探讨中,普遍存在技术需求场景不明确,与现有网络或设备耦合度、标准化程度较低,原型系统测试验证更多的是从独立的技术本身出发,尚未考虑技术之间的影响和系统性的关联分析^[4]。

6G技术5G化演进就是在5G网络演进的过程中,不断引入面向5G网络需求基于6G技术的攻关、系统研发、内外场功能验证与性能测试以及应用试点与示范推广。一方面,通过6G预研创新引入新的技术方案以解决现阶段5G规模化商用网络向5G-Advanced网络演进过程中遇到的网络深度覆盖、扩容等一系列实际问题。另一方面,5G/5G-Advanced网络能够为较为成熟的6G技术提供先试先用的实际需求和与现网深度融合的网络环境,能够为尚不成熟的6G技术提供大量试错优化的测试验证机会,可以预见到从当前时间节点到6G网络技术完成标准化这个时间段,会经历多次迭代式或者螺旋上升式的分析过程。

2.2 6G技术5G化演进的可行性分析

在代际技术的发展历程中,可以发现,由于历史渊源、功能定位、技术特性以及影响范围等原因,部分

技术具备先试先用的条件。第1类是已有研究基础的技术(Basic类),这类技术在5G阶段或更早期已经开展过初期技术研究或应用基础,比如在5G阶段就已经有较为完善研究体系的毫米波技术、动态频谱共享技术和软件定义网络(Software Defined Network, SDN)技术等。第2类是与底层协议关联度较低的技术(Upper Layer类),这类技术对移动通信系统的影响通常位于较高协议层,而与底层的信号波形、调制编码格式、帧结构等技术体制关联度不高。第3类是与现有系统可松耦合(Loose Coupling)的技术,这类技术通常通过异构融合技术或异构融合设备与现有系统松耦合。还有一类技术对现有网络的影响本地化特征明显或者可以只局限在某一个较小可控的范围里(Local),通过局部改造、模块化或插件式升级即可实现网络能力升级。综上所述,可以将具备5G化演进的四大类6G技术特征简称“BULL”准则,如图2所示。

3 智能超表面技术5G化演进必要性与可行性

3.1 智能超表面技术原理

智能超表面(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)技术是一种基于超材料发展起来的新技术,也可以看作是超材料在移动通信领域的跨学科应用。智能超表面系统主要由智能超表面辐射结构、馈电系统、波控网络等部件构成。一个智能超表面阵列由大量半波长微结构智能超表面单元组成,其电磁特性由智能超材料单元的几何结构、尺寸大小和排列方式决定。馈电系统可采用远场空间馈电和分布式馈电2种馈电方式。远场空间馈电系统采用喇叭馈源照射的



图2 6G技术5G演进可行性“BULL”原则

方式,其结构简单,馈电插损低,效率高,但系统体系较大,因此通常用于基于智能超表面的收发信机设计等典型应用场景。分布式馈电系统则将整个天线阵面划分为多个子阵区域,每个区域由1套子阵馈电系统提供信号馈电,最后利用功分网络模拟合成或信号处理数字合成的方式,获得整个天线阵面的电磁信号。该馈电方式可显著降低天线的剖面高度,提高天线系统的功率容量,改善天线的平面共形性能,系统体积较小,通常用于覆盖补盲、多流增速等智能超表面典型应用场景。例如,通过可编程控制电路可以动态独立控制每个智能超材料单元的电磁性质,例如通过基于可编程逻辑门(Field-Programmable Gate Array, FPGA)的控制电路调整施加在变容二极管上的电压或光敏元件上的光照强度,进而实时调控电磁信号经过智能超表面后反射信号或透射信号的幅度、相位、频率甚至极化特性,实现高效高增益平面聚焦、大角度快速波束扫描/切换、灵活波束形成等高增益、高动态的辐射性能^[5-9]。近年来,学术界和产业界也针对RIS原型系统的增益进行了实验和验证^[10-14]。

图3给出了智能超表面单元结构示意图。

3.2 智能超表面5G化演进必要性分析

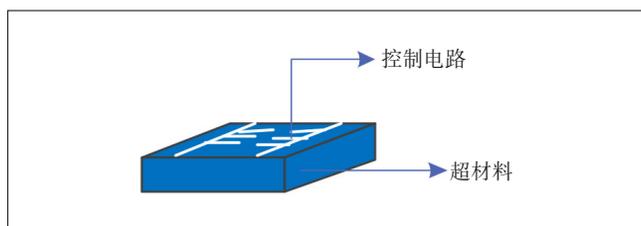


图3 智能超表面单元结构示意图

随着5G网络规模化商用部署的日益推进,5G网络精细化部署和6G关键技术预研需求日益提升。在现有5G网络基础上,如何减少覆盖盲区、提升用户体验质量是向5G-Advanced网络演进的关键。未来6G网络,受高频信号电波特性和覆盖盲区、半径较小、成本加剧均是亟待解决的关键问题。智能超表面是由大量可编程的人工电磁单元排列组成,通过智能控制电路,实现动态调整电磁波在无线环境的传播。RIS技术通过编程控制电磁单元,实现三维空间内无线信号传播特性的智能化重构,突破了传统无线环境被动适应的局限性。RIS作为重要的基础性创新技术方案,具有低成本、低功耗、易部署等商用前景,为保持我国无线通信新技术的全球领先提供一种自主创新的新方案。

RIS技术成熟度可以分为R、I、S 3个维度,R(Reconfigurable)是超材料表面反射、透射等电磁特性的可重配置能力;I(Intelligent)指控制电路依据无线环境时变特性和业务需求对超材料表面控制的智能化程度;S(Surface)是面向不同工作频段的超材料表面设计与制造工艺。目前,在S和R方面,智能超表面原型系统已经具备初步的基础能力,但是在超材料选型、超材料表面设计、控制电路设计等方面存在很多优化问题。但是,在I方面,基站、终端与超表面之间的信息交互是现阶段制约RIS技术智能化程度的关键,无源超表面只能被动地感知无线环境和定位终端,导致RIS系统缺乏智能化感知控制所需的环境数据和基础信息,部分RIS原型系统控制电路依赖预置码本实现超表面有限程度的可编程控制,灵活实时感控一体的

内生智能能力有待进一步提升。总的来说,目前,超表面原型系统的初级能力已经具备,但是尚需通过结合实际网络需求发掘“杀手锏”应用场景,亟需通过端到端系统级测试验证,定义智能超表面设备与基站之间接口和空口协议,支持智能超表面设备基于信道估计信息的波束赋型策略动态调整,实现智能超表面设备与移动通信网络的深度融合。

3.3 智能超表面技术 5G 化演进可行性分析

在技术基础方面,在智能超表面技术被提出之前,超材料技术、界面电磁学理论、广义斯涅尔定律(Generalized Snell's law)^[15]等相关理论技术均已完善的理论基础,基于移相器的相控阵系统设计和硬件设备也已在多种场景部署应用。此外,智能超表面阵列设计主要与信号波长等射频信号特征相关,与信号波形、调制编码、帧结构等绝大多数底层技术体制无关,智能超表面系统部署与网络架构相关,可以通过异构融合或带外信息交互实现设备间的松耦合,并且对网络的影响仅限于改变无线信道环境。因此,智能超表面技术满足“BULL”原则,有技术基础,与底层协议关联度低,可与现网设备松耦合,对网络影响具有本地化的特点,具备 6G 技术 5G 化演进的技术基础。在 5G 阶段,通过设计 Sub6G 频段亚波长的智能超表面系统,通过预配置、带外传输等模式实现智能超表面系统与现有基站和终端的初步融合,进而定义智能超表面与基站间接口、协议格式,以支持智能超表面对信道、干扰等无线环境的感知探测,实现智能超表面按需动态调控无线环境的高阶能力。

4 结束语

本文在梳理 5G/5G-Advanced 网络深度覆盖、扩容提速等网络需求和 6G 技术演进趋势的基础上,提出 6G 技术 5G 化演进的“BULL”原则,指出 6G 技术在 5G/5G-Advanced 网络阶段先试先用的必要性和可能性。通过 6G 预研创新引入新的技术方案提升 5G/5G-Advanced 网络能力并利用 5G/5G-Advanced 网络为 6G 技术提供先试先用的实际需求和与现网深度融合的网络环境和试错优化的测试验证机会。最后,基于“BULL”原则,分析智能超表面技术在 5G/5G-Advanced 阶段 5G 化演进的必要性与可行性。

参考文献:

[1] Focus group on technologies for network 2030[R/OL]. [2021-08-

17]. <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Pages/default.aspx>.

[2] YOU X, WANG C, HUANG J, et al. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts [J]. *Science China Information Sciences*, 2020, 64: 110301.

[3] YRJOLA S, AHOKANGAS P, MATINMIKKO-BLUE M, et al. White paper on business of 6G[R]. Oulu: University of Oulu, 2020.

[4] 中国联通研究院. 中国联通 6G 白皮书(V1.0)[R]. 北京: 中国联通研究院, 2021.

[5] CUI T J, QI M Q, WAN X, et al. Coding metamaterials, digital metamaterials and programmable meta-materials[J]. *Light (science & applications)*, 2014, 3(10): e218.

[6] LI L L, CUI T J, JI W, et al. Electromagnetic reprogrammable coding-metasurface holograms[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 197.

[7] HU S, RUSEK F, EDFORS O. The potential of using large antenna arrays on intelligent surfaces[C]//2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference(VTC Spring). IEEE, 2017.

[8] LIASKOS C, NIE S, TSIOLARIDOU A, et al. A new wireless communication paradigm through software-controlled metasurfaces [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2018, 56(9): 162-169.

[9] 刘秋妍, 吕轩, 李佳俊, 等. 基于智能超表面的毫米波覆盖增强技术研究[J]. *信息通信技术*, 2021, 15(5): 34-38.

[10] 跨学科创新, 中国移动联合崔铁军院士团队率先完成智能超表面技术试验[EB/OL]. [2021-08-24]. <https://www.c114.com.cn/news/118/a1168348.html>.

[11] 中兴通讯联合中国电信完成业界首个 5G 高频外场智能超表面技术验证测试[EB/OL]. [2021-08-24]. <https://www.c114.com.cn/news/127/a1167281.html>.

[12] 中兴通讯携手中国联通完成全球首个 5G 中频网络外场下的智能超表面技术验证[EB/OL]. [2021-08-24]. <https://www.c114.com.cn/news/127/a1167167.html>.

[13] 数学与通信完美结合——罗智泉教授团队与华为合作取得 5G 网络中应用智能反射面技术的突破[EB/OL]. [2021-08-24]. <http://www.sribd.cn/article/361>.

[14] 5G Evolution and 6G: HAPS, metasurface lens and pinching antenna [EB/OL]. [2021-08-24]. https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/media_center/event/mwc21/contents/exhibits06/. 2021.

[15] YU N F, GENEVET P, KATS M A, et al. Light propagation with phase discontinuities: generalized laws of reflection and refraction [J]. *Science*, 2011, 334(6054): 333-337.

作者简介:

刘秋妍,高级工程师,博士,主要研究方向为无线通信新技术;李福昌,教授级高级工程师,博士,主要研究方向为移动通信及无线网络新技术应用;张忠皓,教授级高级工程师,博士,主要研究方向为 5G 网络、毫米波技术与边缘计算技术;吕轩,高级工程师,硕士,主要研究方向为无线通信解决方案与技术创新;李佳俊,高级工程师,博士,主要研究方向为无线通信网络与移动终端技术。