

5G 通信测试技术挑战

詹建

(中国电子科技集团公司第四十一研究所 青岛 266555)

摘要:第5代移动通信(5G)采用的大规模天线阵列、新型多址技术、全频谱接入、超密集组网、新型网络架构等关键技术给测试带来了巨大的挑战,为便于进一步的开展具体测试方案研究,本文从测试的角度提出了第5代移动通信测试技术体系结构,结合5G通信新的网络架构、新的空口要求,重点对5G通信的无线信道模拟与评估测试、Massive MIMO系统测试、新波形和多址方案测试、业务和系统级集中测试等测试技术的难点和挑战进行了论述。

关键词:第5代移动通信(5G);无线信道;Massive MIMO;新波形;新多址

中图分类号: TP336 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

The challenge of 5G communication test technology

Zhan Jian

(The 41st Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao 266555, China)

Abstract: The fifth generation mobile communication (5G) adopts some key technologies including large-scale antenna array, new multiple access technology, full spectrum access, ultra dense networking, new network architecture etc., which bring huge challenges to testing. In order to further develop the research of specific test solutions, this paper presents the fifth generation mobile communication technology architecture from the perspective of testing. Combined with the new network architecture and new OTA requirements of 5G communication, this paper discusses the difficulties and challenges of testing technologies in 5G communication such as wireless channel simulation and evaluation, Massive MIMO system testing, new waveform & multiple access scheme testing, business & system level concentration testing and so on.

Keywords: 5G communication; wireless channel; Massive MIMO; new waveform; multi access

1 引言

在全球通信行业的共同努力下,5G通信的愿景与关键能力需求已基本明确。未来业务挑战主要包括面向以人为主体的移动互联网以及面向人物、物物的物联网。不同的运用场景提出了不同的技术要求,其中移动互联网的超高清、3D和浸入式视频业务需要更高的数据传输速率;大量个人办公及云存储业务对无线传输的连接数、流量密集和高移动性提出了挑战;智能家居、电网、农业及监测业务需要海量的连接设备;车联网和工业控制业务要求传输低延时、高可靠;山区、森林、水域、隧道的物联业务要求覆盖能力进一步增强以及设备的低功耗。面对5G多样化场景的极端差异化性能需求,很难像以往一样以某种单一技术为基础形成针对所有场景的解决方案,新型多址技术,

大规模天线阵列、超密集组网、全频谱接入、新型网络架构等都成为了解决不同场景运用的关键技术,而这些技术带来的超宽带、毫米波、多通道等也给测试带来了巨大的挑战。

目前国内外各大仪器厂家纷纷开展相关测试解决方案的研究,但大多只是基于自身测试仪器开展的部分测试研究,本文根据5G关键技术的特点总结了目前5G通信中测试技术面临的挑战,为进一步开展具体方案研究提供了系统的指导^[1-3]。

2 5G技术带来的测试挑战

5G与现有的3G/4G技术相比提出了更为激进的性能要求。需要巨大的改变和更多的新技术来满足5G的需求。为了验证这些改变和新技术与5G需求相匹配,相应

测试测量技术不仅对研发、生产很重要,也对未来的网络部署也很重要。5G 新技术很大的可能性将会包括毫米波频率,超宽的带宽,和大规模多天线技术。首先最重要的是用户和设备之间的空间信道的测量,建立信道性能的数学模型,并使用它们来定义 5G 新的空中接口标准,5G 空口也发生着重大的变化来满足 5G 的性能要求,包含软件定义的新空口概念,新的空口技术包括 Massive MIMO,高频段通信,新的波形和多址技术等^[4]。每项新技术需要专门的测试解决方案,验证这项技术实际能够达到的性能,并验证性能优化解决方案。例如,Massive MIMO 测试解决方案需要扩展到多通道来测试 TX/RX 性能指标,并采用 OTA 测试来测试系统性能。还有一个很重要的方面,5G 网络发生非常大变化来满足 5G 网络性能要求:Gbit/s 级的高数据速率,数十 Tbit/s/km² 级的高容量,端到端 ms 级的低延迟等,专用的测试和测量解决方案来验证新的网络体系的性能,也有助于优化 5G 网络部署。

5G 测试的挑战主要在于为了达到极高速的用户体验速率,5G 信号带宽和基带信号处理速度将大大增加,带宽从 20 MHz 增加至 500 MHz 甚至 2 GHz,超宽带信号波形质量、功率、频谱分析以及极高速数据流的实时处理解析对测试提出了更高要求。为了增加用户连接数以及提高传输效率,5G 引入了大规模 MIMO 和新型多址技术,多个传输通道(64、128、256)之间的一致性校准以及算法的特定指标分析将会是难题。随着带宽的增加以及大规模 MIMO 的使用,5G 传输载波频率将会往高波段拓展,目前 30~100 GHz 的毫米波频段受到广泛关注,毫米波段的信号收发及传输特性为测试带来了新的要求。为了应对未来多种应用场景及兼容现存技术体系,5G 系统将会是多种网络的并存与叠加,异构网络、多层覆盖和三维信道下的复杂场景模拟将对系统测试带来挑战。

3 5G 测试技术体系

5G 测试测量技术主要涵盖以下几个方面:由于 5G 网络架构的改变带来的测量技术创新、5G 空口技术测量、由 5G 需求产生的新设备测量、新的应用测量、现场测试以及适合 5G 新技术的测试测量方法设计。而无线信道模拟与评估、Massive MIMO 系统测试、新波形和多址方案测试、业务和系统级集中测试等方面将是整个 5G 通信测试技术中的重点。

3.1 5G 无线信道模拟与评估技术

为了达到理想的性能目标,5G 标准将最大限度的联合毫米波、超宽带和大规模 MIMO 技术。尽管每一个技术都会增加收发机的难度,但是最重要的未知是介于 UE 与基站之间的空中无线信道。为了全面的规划信道,建立一个数学模型并用它来定义 5G 新空口的标准是必要的,如图 1 所示,同时成功的毫米波系统部署也需要对信道环境有着深入的理解,目前研究集中在频谱高于 6 GHz 以

上波段的一系列可能载波的电磁波传输上。详尽的传输信道特征描述对于空口的设计是非常重要的,将支持 5G 高速率、灵活频谱和超宽带的原景,而信道探测是理解信道环境必不可少的一步,有很多不同的方法来实现并且都有各自的优缺点。

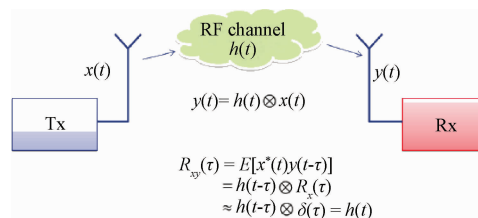


图1 无线信道数学模型

在 5G 毫米波段,无线传输信道的理解对于物理层设计来说是先决条件。高频、宽带以及与阵元数和波长定义尺寸相关的大规模天线阵列是最主要的传输挑战。信道探测的主要目标是将无线信道分解成多条传输路径,是一个模拟无线通信系统运行的测量技术,发射信号在空中被信道环境影响响然后到达接收端,通过信号处理一个测量系统能在要考察的频段对无线信道特征进行提取^[5-6]。

利用数学矩阵为 RF 无线信道提供近似的数学模型 $h(t)$,构造这样的数学模型需要一系列的信道参数被评估,大概可以分为 3 类:信道冲击响应(CIR);直接参数如到达角(AOA)、发射角(AOD)、多普勒频移、功率衰减及延迟(PDP);统计与建模参数如角扩散(包括 AOA/AOD)、功率角频谱(PAS)、多普勒频谱、相关性矩阵、Rician K 因子等。

信道建模过程如图 2 所示。

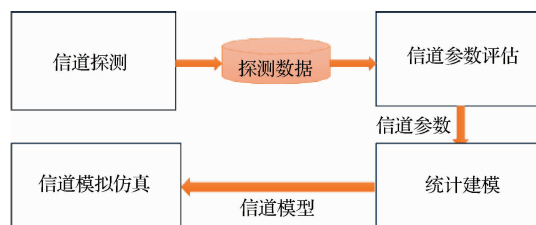


图2 无线信道模拟系统

信道探测系统经过必要的处理从天线端捕捉数据并对其进行分析,最后的数据可用于其他信道测量的后期处理与分析。为了对可获得信号进行详尽的处理分析,通过不同的配置来提取信道参数。通过大量的测量,被估算的信道参数可以被用来构建信道模型。

3.2 Massive MIMO 系统测试

大规模 MIMO 被广泛的认为是 5G 愿景关键技术之一,在研究领域中给予了极大的关注。这项技术的目的是充分利用空间多样性来改善系统的容量、能源效率和频谱效率。考虑到信道数量必不可少的大量增长以及可能的高波段使用(关系着更高的数据传输速率),大规模 MIMO 测试及测量方法也面临着巨大的挑战。由于大规模 MI-

MO系统的复杂性和多种可能的实现方法,一种低成本、高时效的测试测量方案和具有最重要价值的测试指标定义对于5G大规模MIMO的实现是不可或缺的,考虑到经济与实际的测试测量方法,需要在射频通道数、基带处理、测试时间和成本之间找到一个合理的平衡点^[7]。

在5G高波段,需要用天线阵列传输来提供更有指向性的波束赋形以达到抵消高频率下的恶劣传输环境(高路损),在现有频率(如2.6 GHz、3.5 GHz)和现有技术中(如LTE),天线阵列也将要提升到具备3-D波束赋形功能,不仅可以在水平方向上而且在垂直方向上可以产生倾角以更好的覆盖高层建筑。由于具有很多的天线阵元,显而易见在最终的天线阵列中将不会有天线连接装置,因此在早期产品设计天线阵元阶段需要可接入的连接器件以证明天线设计的正确性。以4G LTE技术作为参考,来自于3GPP的测试规范(如LTE TS36.141)对于测试的过程定义了所有的测试限制,如测试设备如何通过射频电缆连接基站天线端口等。但迄今为止对于5G测试仍然没有清晰的测试规范,因此对于大规模MIMO系统需要对其测试及测量方法进行深入研究。

3.3 新波形和多址方案的测试

蜂窝通信系统的爆炸性需求驱动了新空口技术的设计,包括MTC/D2D的非严格同步、海量连接、认知无线电频谱共享。新空口技术可以分成两个研究领域:新调制技术(大多聚焦于替代循环前缀OFDM的滤波器多载波系统)、新多址技术(允许更大的频谱灵活性、低延时、高容量),测试测量方法被用来验证这些关键技术特征的有效性以及确保这些特征在真实工作场景下良好运行^[8]。

考虑到传统OFDM不同字载波之间的干扰以及严格的时间同步,当前的研究更加倾向于摆脱这些限制以及实现不同的滤波器多载波信号设计技术。包括一般频分复用(GFDM)、通用滤波器多载波(UFMC)、滤波器组多载波(FBMC)、双正交频分复用(BFDM)和滤波器正交频分复用(F-OFDM)。这些技术的频谱辐射情况如图3所示。包括频率跟踪与时钟调整验证的非严格同步机制将被引入解调技术,尤其是对于MTC的任意接入(RACH)和同步信道、多点协作以及在新频谱共享技术使用下的带外辐射性能等。

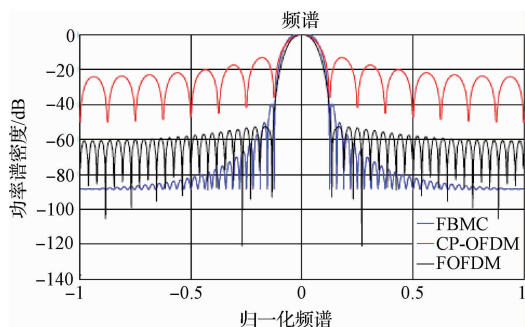


图3 不同新波形的带外辐射

LTE系统上行采用SC-FDMA,下行采用OFDMA技术。OFDM相对于SC-FDMA拥有更好的频谱扩散性能。相反,SC-FDMA相对于OFDM拥有更好的时间扩散性能。5G可能引入诸如GFDM等新波形技术来抵消频率与时间扩散的影响以改善当前椭圆系统的性能。因此需要专业的测试技术来公正的评估这些性能,测试测量方法应该要考虑以下几个方面:

频率分析: ACLR、SEM等。

链路级性能: 为确保链路级性能的单用户或多用户加噪与多径信道评估、预测试例和设定仿真设计来验证完好同步机制的需求、良好的测试例设计以验证抵消频率与时间扩散的性能。

应用场景分析: 引入认知无线电场解决碎片化频谱共享带来的授权与非授权频率冲突问题、所有的测试例都需要考虑新的帧结构与调制格式。

网络协调分析: 由于新波形技术放松了系统内及系统间的同步要求,这些新波形技术对多点协作性能的改善需要评估。

3.4 业务和系统级集中测试

未来5G生态系统包括宏小区、微小区、重叠小区、无边界小区、毫米波和光纤回传。这导致了支持智能卸载/装载无线技术的复杂混合,为了应对这种复杂性,无缝集成生态系统、联合多域管理和RAN以及CN网络级控制将不断演进以开发关键使能技术诸如SDN和NFV,这都将联合支持未来需求的动态智能调度^[9]。

网络架构的本质是由努力实现智能、对等和协作复杂系统的多个要素组成,即使测试单独的组成部分,我们也不再有更深刻洞察这样系统的能力,那就是当配置和体验多样业务要求时,这个系统如何在极端环境或真实物理世界中运行。同样的,在实验研究中测试策略案例已经表现的非常明显,功能测试被要求当作朝着开发和连接一个完整系统下的测试。

需要一个新的方法来测试复杂系统并且明显是系统或业务级集中测试,在这一新的策略下,不久的将来需要一个围绕更加智能系统/业务级关键性能指标测试案例。对于测试生成连接、协议、资源管理和服务特征的复杂系统来说,新的相关性策略和分析引擎导致了高级的KPI。同样的,在实验室和潜在部署阶段将会看到一个真实网络环境再现或创造的需求以帮助调试、故障原因分析、性能优化和驱动设计与定义的测试。闭环测试与验证被用在具备创新技术的系统/业务以帮助消除风险以及使能有效创新系统的发展^[10]。

4 结论

本文从测试技术的角度分析了第5代移动通信发展过程中在无线信道模拟与评估、Massive MIMO系统测试、新波形和多址方案测试、业务和系统级集中测试等方面面临的挑战。可以预期,随5G通信发展,这些测试面临

的挑战将是各大测试厂家重点关注的方向,而这些挑战也将随5G的研发的深入,逐步得到解决。

参考文献

- [1] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学,2014,44(5):551-563.
- [2] IMT-2020 编著. 5G 概念白皮书[M]. 2015.
- [3] IMT-2020 编著. 5G 愿景与需求白皮书[M]. 2015.
- [4] ERIK L. 5G 大规模多入多出(MIMO)测试台:从理论到现实[J]. 国外电子测量技术. 2014,33(11):6-10.
- [5] 杨明. 自动测试系统中的智能结构[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(6):93-97.
- [6] 陈珍萍. 无线传感网络混合触发一致性时间同步[J]. 仪器仪表学报,2015,36(10):23-26.

- [7] 徐国珍. 有限反馈下大规模 MIMO 系统性能仿真[J]. 重庆邮电大学学报,2012,24(5):589-594.
- [8] JONATHAN R. 5G 开启移动网络新时代[M]. 北京:电子工业出版社,2016.
- [9] 杨学志. 通信之道从微积分到 5G[M]. 北京:电子工业出版社,2016.
- [10] 赵国峰,陈婧,韩远兵,等. 5G 移动通信网络关键技术综述[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2015,27(4):441-452.

作者简介

詹建, 1969 年出生,高级工程师,主要研究方向为微波毫米波测试技术及测试应用开发。

E-mail: zhanj@ei41.com

(上接第 89 页)

对比可以看出,无论是稳态电压调整率还是瞬态电压调整率,模糊 PID 励磁控制均优越于 PID 控制,且波动更小,调整速度更快,对干扰有较强的抑制作用。现场实验结果表明,该设计相对于传统 PID 控制器具有较好的动、静态性能,调解速度快,能够达到预定的性能指标。

参考文献

- [1] 谷志锋,邵天章,杨润生,等. 同步发电机励磁系统自动电压调节器通用测试系统的设计[J]. 工矿自动化,2010,11:33-36.
- [2] 姚舜才,潘宏侠. 粒子群优化同步电机分数阶鲁棒励磁控制器[J]. 中国电机工程学报,2010,30(21):91-97.
- [3] 马幼捷,邵宝福,周雪松,等. 基于 DSP 的同步发电机励磁控制系统[J]. 电力电子技术,2007,41(10):102-104.
- [4] 王德意,罗兴绮,张江滨,等. 基于 TMS320LF2812 同步发电机励磁控制器研究[J]. 电力电子技术,2005,39(5):104-106.
- [5] 徐龙权,魏建华. 基于 DSP 的同步发电机励磁控制器[J]. 电机与控制应用,2007,34(5):47-50.
- [6] 吴平安,刘昂. 基于 DSP 的励磁控制器数据采集系统

设计[J]. 天津理工大学学报,2007,23(1):56-59.

- [7] 刘政,司磊磊,张光建. 应用 Cortex-M0 设计的励磁数字触发系统[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2014,28(2):67-71.
- [8] 程绪长,熊芝耀. 数字式柴油发电机组励磁控制器设计[J]. 微计算机信息(测控自动化),2008,24(28):14-15.
- [9] 薛国将. 基于 ARM 的数据采集系统的研究开发[D]. 武汉:中国地质大学,2007.
- [10] 朱更军,萧蕴诗,刘静. 谐波励磁同步发电机数字电压调节器的研究[J]. 微特电机,2009,37(11):607-609.

作者简介

王玉同,1993 年出生,硕士研究生,从事移动电站励磁与调速综合控制研究。

E-mail:1003709505@qq.com

邵天章,1967 年出生,副教授,硕士研究生导师,从事移动电站控制技术研究。

谷志峰,1979 年出生,讲师,从事电力系统非线性控制技术研究。