

5G 新无线测试

Testing the 5G New Radio

ETS-Lindgren, Inc. Michael D. Foegelle 著 程少阳 译

摘要

为满足无线通信带宽日益增长的需求，5G 新无线接入技术利用波束成形和大规模 MIMO 等以前没有被广泛采用的技术，并将尝试使用毫米波频率进行移动通信，其规模是以前的国防和卫星毫米波应用中无法企及的。这对新无线电设计性能的验证测试方法将产生重大影响，辐射测试技术或将替代传统上的传导测试方法。阐释业界必须解决的各种问题，以及 3GPP 在 5G 新无线设计完成之前，发展新测试技术上所做的基础工作。

关键词

5G；远场测试；测试端口；信道模型

Abstract

To meet the ever increasing need for wireless communication bandwidth, the proposed 5G new radio access technology will utilize techniques such as beamforming and massive MIMO which have not seen widespread adoption in any previous wireless technology. It will also attempt to use millimeter wave frequencies for mobile communication at a scale never seen in previous defense and satellite applications. These decisions will have a drastic impact on the test methods used to validate the operation and performance of new radio designs, requiring radiated test techniques to replace tests that are traditionally performed conducted. This paper will touch on various issues the industry must address, and the current work in 3GPP to develop the basis for these test techniques before the radio design has even been completed.

Keywords

5G; far-field test; test interface; channel model

1 概述

3GPP LTE 标准经过近 10 年的演进，目前已经着眼于对现今无线网络的增强改进甚至完全替代。3GPP LTE 2008 年的原始版本 8 虽然没有正式达到国际电联定义的 4G 标准，但 2011 版本中 LTE-Advanced 的最终版本 10 还是达到了 100 Mbps 移动数据速率的目标。不管怎样，LTE 从一开始就改变了无线数据的消费格局，流媒体视频成为移动数据的应用核心。当我们正期待着一个应用智能汽车、虚拟现实增强以及物联网无线连接传感器和其他设备的海量互连的未来时，国际电联已经将注意力集中在对 5G 技术的积极跟进上。尽管 LTE-M1 和 NB-IoT 等技术规范正在大力推进，以满足物联网传感器低功耗、低数据速率、高覆盖的要求，但 5G 低延迟、高密度、1 Gbps 或更高传输速率的目标，迫切需要网络体系结构和硬件进行重大调整以适应 5G 要求。

网络后端的架构变化不属于本文探讨的范围，但需要注意的是，5G 的高用户密度要求通常需要使用小型蜂窝站点。减小各小区站点覆盖范围的同时增加网络密度，可用相同 RF 带宽服务更多用户。虽然像大规模 MIMO 这样的技术有望通过提高频谱效率和频谱重用来进一步提高当前无线频带中的用户密度和数据吞吐量，但现在 3GPP 的主要精力还是集中在 5G 新无线（NR）上，它打算利用毫米波（mmWave）更丰富的带宽资源。无论哪种情况，都将在基站大量使用波束形成技术来选择性地覆盖使用功率较少的单个用户。毫米波频段，用户设备（UE）还需有一定的波束成形能力以解决这些频率的路径损耗问题。虽然 5G NR 的目标是定义一个普适无线接入技术，无论是授权的、未授权的还是共享的频谱，都可以在任何应用中使用，但像大规模 MIMO 之类技术使用的动态信道探测机制需要将功能限制在对上行和下行链路使用相同频率的时分双工（TDD）频段；

并且随着频率降低，波束成形天线阵面的物理尺寸越来越大，因此 5G NR 频段不得低于 2.3 GHz。

6 GHz 以下的频率通常用于评估蜂窝无线电和 Wi-Fi 无线电的空中 (OTA) 性能，具备波束成形功能有源相控阵的加入，极大地改变了 OTA 测试的要求。另外自适应天线系统不仅对传统基于天线方向图测量的 OTA 测试方法产生影响，也使得传统无线电一致性测试中的传导测试方法不再合适，需要出台 OTA 测试解决方案，因为直接访问传导无线电信号是不切实际的（如果不是不可能的话），并且实际的用户体验取决于波束形成器的综合性能而不是单个组件性能的简单叠加。6 GHz 以下频段，物理尺寸上没有安装天线阵列的空间，UE 天线设计实际上不会受到 5G 要求的显著影响，变化将体现在基站下行链路容量的提高。然而，在毫米波频段，手持设备和其他 UE 预计有多个小天线阵列，以在设备的各个方面上提供标称增益和波束成形能力。因此设备的 OTA 测试将成为 5G UE 开发生产中值得研究的前沿热点。

2 3GPP TR 38.810

认识到需要新的 OTA 测试方法来满足 5G NR 的需求，3GPP 委托一个工作组 (WI)^[1] 制定了“新无线电测试方法的研究”技术报告 TR 38.810^[2]。测试方法针对 6 GHz 以上指定的毫米波频段，最初的应用目标是移动手持设备、平板电脑、家用和商务互联网的固定无线接入终端，最终覆盖从智能穿戴设备到智能汽车相关的所有无线电设备。除了传统的射频指标之外，测试还要涵盖无线资源管理 (RRM) 和调制解调相关要求。

3 黑盒与白盒及测试距离

天线方向图测量或 OTA 测试都很重视测试距离要求。毫米波频段，由于测试距离本身和测试用电缆的路径损耗较大，这个问题变得更加令人关注。好消息是，即使具有数百个单元的天线阵列，其工作波长很短，1 米左右就能满足远场测试要求。典型的移动手机天线阵列单元数很少，常见的是 1×4 到 2×4 天线阵，只要天线与平台其余部分之间的相互作用（有利于定向天线设计）最小，并且放置在被测物的中心，就能在较短距离完成测试，并保证测量结果足够准确。这是所谓的“白盒”方法，因为它需要了解被测设备 (DUT) 的内部结构、被测天线在被测设备中的具体位置以将被测天线置于测试区域中心。

另一种是“黑盒”方法，假设天线可以在 DUT 中的任意位置，而且没有可用信息，被测物本身被当作一个测试整体。它不需要任何专有信息，没有机会提供误

导信息“欺骗”测试，是更安全的方法。UE 可能使用分布在 DUT 上的多个天线阵列来覆盖不同的扇区，并解决手或其他物体可能阻挡一个或多个天线方向图的场景。黑盒测试方法不需要设定被测天线位置，如果天线定位系统能覆盖完整球面，所有天线阵列可用相同测试设置，测试过程中不用进行特定的配置更改。其缺点在于，被测设备封装的几何形状决定了远场测试条件，以确保设备不同位置的天线阵元接收的辐射功率相同。图 2 显示了直径达 1 米的被测设备的毫米波测试远场条件。未加模拟头、手时，手机仍然可以在相当短的距离内进行测试。除此之外，大于模拟件的任何物品的加入都需要超长的测试距离。被测设备达到较小的电视机尺寸时，所需的测试距离开始超过典型室内小型小区配置的预期通信链路距离。覆盖整个车辆的远场静区的距离要求，将超过毫米波移动通信的预期室外通信距离！

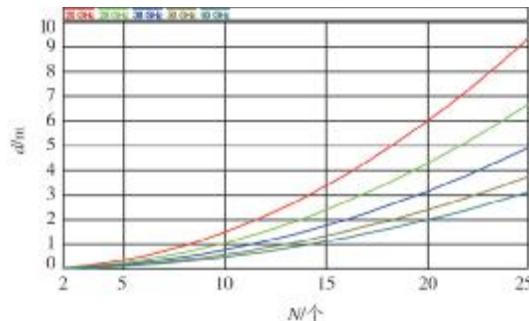


图 1 远场测试距离与 $N \times N$ 天线阵列 (半波间距) 中 N 之间的关系

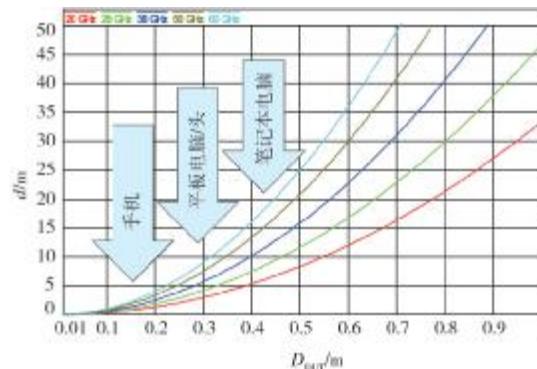


图 2 远场测试距离与被测物最大尺寸之间的关系

需要注意的是，由于大部分感兴趣的指标集中在阵列主波束的信号中，像 TRP 和 TIS 这些不受测试距离影响的传统积分结果在这里就不适用了。相反，该链路另一端的无线设备看到的相控阵每个元件的主波束各分量的相位和幅度非常接近，这一点非常重要。否则，依据测量结果确定的指标可能不会反映预期值。另一方面，达到了远场测试所需的距离后，射频测试设备的性能将成为一个限制因素，因为 EVM 远低于 DUT 产生的最大

信号，像 EVM 这样的指标无法精确测量。

尽管这些问题至今还没有明确答案，但 3GPP WI 当前的决定是采用黑盒测量方法^[3-4]。它已经提出了几种解决远场距离问题的方法，包括使用紧缩场（CATR）或大介质透镜聚焦能量，从而在很短的距离获得远场结果。由于多种原因，近远场转换测试方法对这些有源信号并不可行，最有说服力的原因是测试时间。因为大部分测试的唯一有用数据位于波束主瓣的中心，为满足近远场转换奈奎斯特采样定理的要求，过高的分辨率产生的巨额数据量会使测试时间过长。即使测试实验室可以接受，但对生产线测试等应用来说是不现实的。再加上像 EVM 这样的有源信号量如何通过近远场转换方程传递（或暴力计算所需的大量调制数据）以及无法通过近远场转换确定接收器灵敏度等基本指标的问题，很显然，这样的努力方向可能是一个死胡同。

4 测试接口

传统的 OTA 测试中，执行辐射测试时，需要避免将被测设备（EUT）置于测试模式中。测试的目的是检验被测设备在真实网络上如何运行，并由此判定它被正常操作时的性能。与典型的用户体验相比，这也降低了设备测试期间表现出与典型用户体验结果不同的风险。另外，对典型的蜂窝式无线设备进行的一致性测试，通常在标准中给出了特定的测试模式以实现需要的检验。5G NR 的测试方法必须考虑这两方面要求。

目前的测试方法讨论中，WI 已经认识到需要一个测试模式将波束形成器置于已知配置中。简单地将波束瞄准垂直入射（所有相位元素为零），相对于测试系统所选坐标系而言，仍然可能是 DUT 的任意方向。同样，控制波束指向测试系统中的特定方向，有可能让被测阵列偏离最佳波束形成方向，导致测试报告给出的结果和实际使用性能之间的差异。

提出的另一个测试接口方法，是通过允许访问由每个接收芯片报告的幅度和相位信息包来支持接收机测试。这与一些芯片组目前支持的、用于如辐射两步测试的间接 OTA 技术机理类似。虽然这些信息确实有用，但它们仅限于芯片组从解调基带信号获得的幅度和相对相位信息，很多有关阵列综合表现等性能的信息无法得到。

设备制造商可能需要开发 3GPP 中目前尚未讨论的其他一些定制化的测试功能。选择性地启用 / 禁用阵列中的单元，并迭代测试每个单元，以确定所有阵元正常运行的能力，将是测试的关键。目前还没有新自适应天线系统的自适应组件的测试方法，而现实中这类设备的主要性能取决于它如何适应并跟踪信号。尽管之前已经

提出了评估这种能力的方法^[5]，但到目前为止，行业还没有对这种附加的测试需求做出反应。

5 信道模型

向毫米波通信转变的另一个挑战是，开发能够反映使用中可能出现的各种传播信道的空间信道模型，在模拟条件下实施不同测试场景及方法，评估设备性能。由于 DUT 和基站的波束成形能力在其所看到的实际信道中有很大作用，并且使用的 TDD 信道探测模式需要对称的通信信道，所以测试系统开发有很大挑战性。毫米波无法复制 6 GHz 以下无线设备的 MIMO OTA 测试的 RF 环境仿真方法；适用于任何大尺寸器件边界阵列的奈奎斯特采样定理分辨率的要求，对连续阵列解决方案来说无法实现；另外还要考虑每个天线需要的射频部件（放大器等）的成本。信道模型的建立显然需要寻找其它解决方案。好消息是，链路两端的波束成形功能意味着不需要在测试环境中模拟全向多路径信道。可能只有少数窄波束方向的信号适合 DUT 选择。因此，用于 UE 测试的有效仿真信道资源可能不会比现有的 6 GHz 以下系统更多。这时需要灵活地移动这些模拟空间信道和 DUT 的相对位置，以便测试其应对环境变化的能力。通过天线簇的机械运动还是固定天线之间的电切换实现波束扫描，还有待观察。

6 结语

像 5G NR 开发本身一样，在可用于评估新设备的标准化测试方法确定之前，还有很多工作要做。为成功完成这项工作，必须克服基本物理的和现实的挑战。当然，提出的所有方法都要首先考虑相关的测量不确定度，因为测量不确定度很大的测试方法用途不大。

参考文献

- [1] RP-171021. New SID on Study on test methods for New Radio[C]// 3GPP TSG RAN Meeting #76. West Palm Beach, USA: 3GPP, 2017.
- [2] 3GPP TR 38.810. Study on test methods for New Radio (Release15)[S]. 2017.
- [3] 3GPP. RAN4#84 Meeting report [C]// 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #84. Berlin, Germany: 3GPP, 2017.
- [4] R4-1708991. NR testability ad-hoc meeting notes[C]// 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #84. Berlin, Germany: 3GPP, 2017.
- [5] Foegelle M D. Advances in over-the-air performance testing methods for mmWave devices and 5G communications[C]// AMTA 2016 Proceedings. Davos, Switzerland: EuCAP, 2016.

编辑：刘新霞