

《实现 5G 成功》

加速整个工作流程中的测试，
将 5G 设备更快交付到客户手中

引言

5G 设备接力赛

5G 正在飞速发展。5G 在全球范围内的加速部署使得整个移动生态系统产生了连锁反应。

5G 技术的复杂程度也急剧增长。5G 新空口（NR）、大规模多路输入多路输出（MIMO）、毫米波（mmWave）频率和空中（OTA）测试方法都提出了许多重大挑战。

设备制造商必须有效地克服这些挑战，才能抢在竞争对手之前实现商用化。

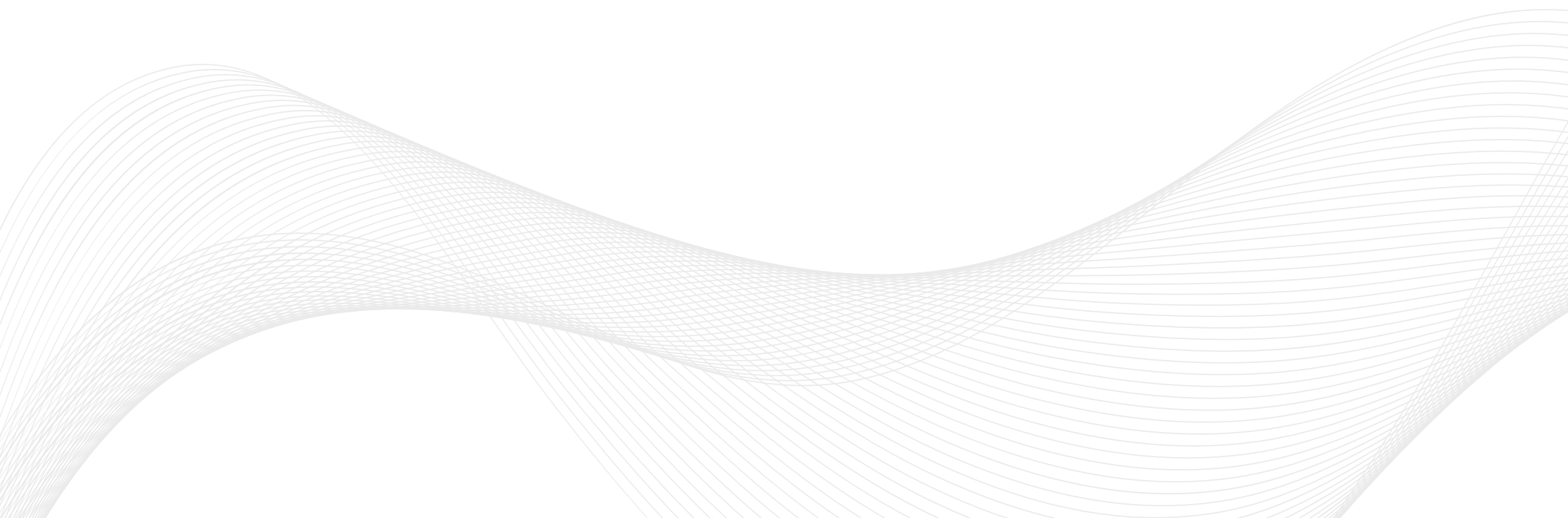
5G 好比一场接力赛，从设备设计、一致性测试、运营商验收测试（CAT）到制造，四个环节紧密衔接。本文介绍了多种实用技巧，可帮助您加速整个工作流程的运转，实现率先将产品推向市场的目标。

5G 设备工作流程的四棒接力



目录

完成商用化的四棒接力，赢得 5G 竞赛





第 1 棒

加速 5G 设计

打造优质设计的五大策略



设计

第 1 棒 仿真、设计和验证： 在复杂设计中实现高性能

5G 在 4G 功能的基础上实现了长足进步。5G 标准的目标是数据速率提高 100 倍，时延缩短到 1 毫秒以内。

因此，设备工程师需要：

- 依据新标准进行设计
- 针对众多迥异的用例验证协议
- 验证射频性能能否交付预期的服务质量（QoS）

利用以下五大策略加速开发功能更强大的设备：

1. 通过仿真减少原型制作和返工成本

制作毫米波原型设计的成本非常高。使用信道模型和基站链路对仿真系统中的天线进行建模，可在设计周期的前期提供深刻的洞察力。

仿真数据是设计流程的一个重要部分，可以用于在整个开发流程中进行故障诊断。

仿真中可以添加不同减损，帮助设计人员在开发硬件原型之前优化设计。



2. 采用功能丰富的工具支持众多用例

在频域、时域和调制域中分析 5G NR 波形非常重要。NR 规范中增加了许多新功能，例如灵活的参数集以及不同的子载波间隔、动态时分复用（TDD）和带宽部分，这一切增加了创建和分析波形的复杂性。

设计人员必须使用软件和硬件针对 6 GHz 以下频段和带宽更宽的新毫米波频段的各种不同用例创建和分析 5G 波形。

3. 信号质量使用 IQ 星座图和数字 EVM 测量来表征

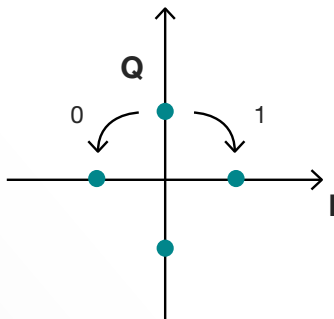
影响信号质量的因素有许多，包括基带信号处理、调制、滤波和上变频。IQ 减损、相位噪声、线性和非线性压缩以及频率误差都可能导致调制信号失真。

设计人员在设计设备时，必须要克服宽带毫米波信号带来的物理挑战。评测信号的调制属性，可以得到关于信号质量最有用的指标之一。

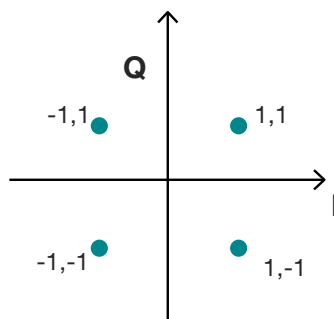
查看同相正交星座图，有助于确定和诊断失真错误。数字误差矢量幅度（EVM）测量可以从总体上说明波形失真的情况。

5G 调制方案的密度增加

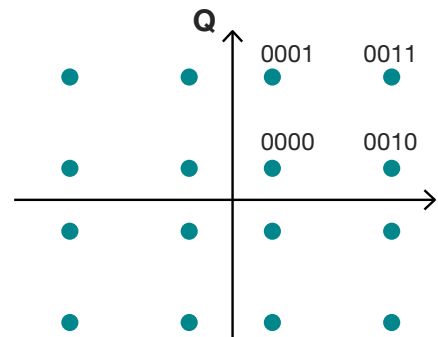
$\pi/2$ -BPSK (每个符号 1 个比特)



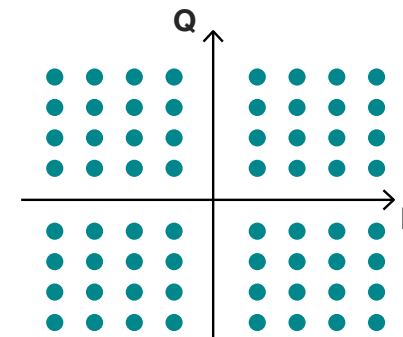
QPSK (每个符号 2 个比特)



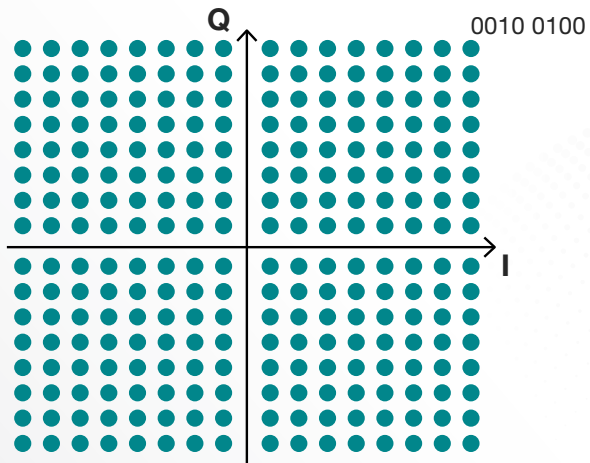
16 QAM (每个符号 4 个比特)



64 QAM (每个符号 6 个比特)



256 QAM (每个符号 8 个比特)



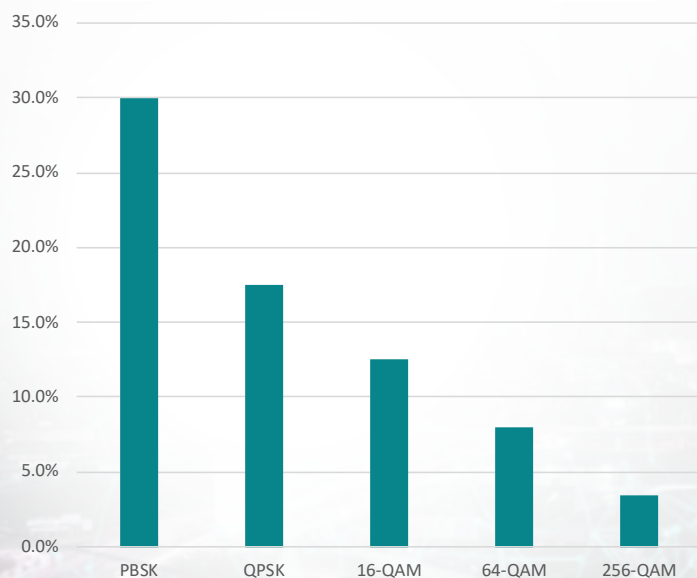
更高的精度打造出更优秀的设计

测试解决方案必须具有比被测产品或系统更好的性能。

在不带来新问题的前提下正确测量和表征信号质量：

- 元器件测试：总体上比被测系统高 10 dB
- 系统测试：比无线标准的信号源高 3 dB

各种 5G 调制方案所要求的 EVM



4. 使用真实减损评测设备性能

大多数设备测试都是在可控环境中进行。然而，这些设备需要在实际环境中工作，可能会遇到各种信号传播问题，例如过量的路径损耗、多径衰落和时延扩展。

网络仿真器可有效地测试波束端到端吞吐量。在测试装置中加入一个信道仿真器，可以表征端到端的全栈数据吞吐量，同时仿真各种真实的无线条件。

5. 使用 IFF 减少 OTA 测试装置中的距离和路径损耗

5G 蜂窝通信链路需要使用远场假设来进行评测。由于辐射波的特性，远场距离和相关路径损耗会随着频率升高而变大。

第三代合作伙伴计划（3GPP）已经批准了以紧缩天线测试场（CATR）为基础的间接远场（IFF）测试方法。虽然这种方法仅限于测量单个信号，但与直接远场（DFF）法相比，它可以缩短测量毫米波设备的距离，降低路径损耗。

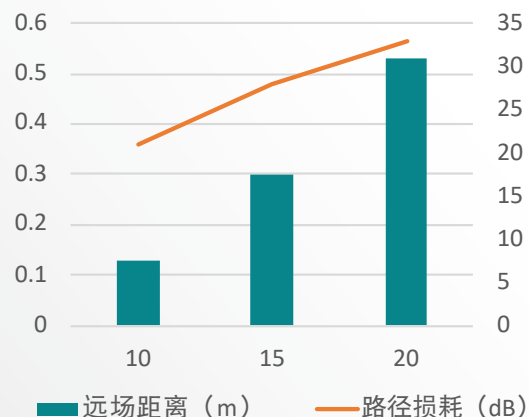
借助 OTA 专业技术节省时间

典型的空中测试解决方案包括电波暗室、不同的探测方法和测试设备，以便在某种空间设置下生成和分析辐射信号。单靠自身实施 OTA 测试解决方案可能需要花费大量时间。

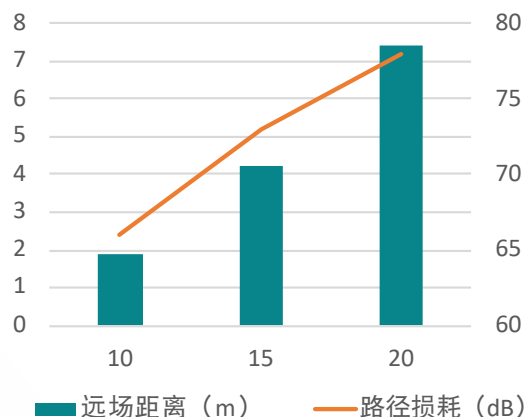
由于具体要求和测试方法尚未定义完毕，因此要确保测试合作伙伴拥有 3GPP 规范的专业技术，并尽早了解需求。

为了避免不必要的返工，我们需要使用一系列专业技术和测试设备，包括涉及测试暗室和探测的 5G 空中测试方法，而测试设备需要能够满足 5G 新空口设计在毫米波和 6GHz 以下频率范围内的各种射频、解调和功能测试要求。

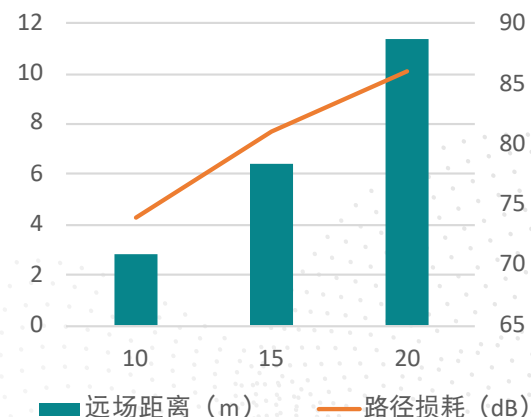
不同大小的设备在 2 GHz 下的远场距离和路径损耗



不同大小的设备在 28 GHz 下的远场距离和路径损耗



不同大小的设备在 43 GHz 下的远场距离和路径损耗





第 2 棒

实现 5G 一致性

加速一致性测试的四大见解



一致性

第 2 棒

一致性测试：跟上不断演进的规范

一致性测试由 3GPP 无线接入网（RAN）工作委员会定义，用于确保设备和基站具备最低性能水平。

通过一致性测试是设备公司在将产品推向市场之前必须克服的最大 5G 挑战之一。

5G NR 可以在频率范围 1（FR1：410 MHz 至 7.125 GHz）和频率范围 2（FR2：24.25 至 52.6 GHz）内工作。FR2 极大增加了测试的复杂性。测试用例的数量正急剧增长。同时，标准也在不断演进。一致性测试的具体要求和测试方法，目前定义的进度还不到 50%。

使用以下四个技巧来加速 5G 一致性测试：

1. 充分利用 3GPP RAN2 和 RAN4 文档的最低要求

5G NR 文档已经发布在 [3GPP 网站](#)上的 38.xxx 系列文档中。

一致性测试规范以 3GPP RAN2 和 RAN4 文档中规定的最低要求为基础定义。

设计人员可以将最低要求用做测试 5G NR 产品的指南，因为它们比规范更严格。

技术规范	描述
TS 38.101-1	无线发射和接收；第 1 部分：范围 1 独立组网（FR1 传导测试）
TS 38.101-2	无线发射和接收；第 2 部分：范围 2 独立组网（FR2 辐射测试）
TS 38.101-3	无线发射和接收；第 3 部分：范围 1 范围 2 与其他无线范围的互通操作（FR1 传导测试和 FR2 辐射测试）
TS 38.101-4	无线发射和接收；第 4 部分：性能要求



2. 使用灵活的测试解决方案简化测试装置

测试设备需要足够的范围来满足从 6 GHz 以下到不同毫米波工作频段的要求。

用于 FR2 的测试设备需要覆盖更大的频率范围，满足更高的带宽要求。

许多测试需要使用多个信号源进行接收机测试，还需要使用多台分析仪进行发射机测试。

模块化平台可以缩小测试占用的空间并简化测试装置。

3. 采用标准平台来满足不同需求

5G NR 致力于在 FR1 和 FR2 工作频段支持多种不同的用例和部署场景。这些测试组合构成了一个巨大的测试用例矩阵。

5G NR 能以独立组网模式（SA）或非独立组网模式（NSA）运行：有多种选项可供选择。设备需要对一个或多个部署方案进行验证。E-UTRA 和 5G NR 双连接（EN-DC）也需要进行测试。

由于在多个工作频段添加 MIMO 和载波聚合组合，相当于增加了 1,000 多个用户设备（UE）的测试用例。

使用可以跨频率范围扩展的通用硬件平台，以及包括射频、RRM 和协议在内的用户设备一致性测试：

- 1

充分扩大测试用例的覆盖范围
- 2

扩展到更宽带宽和更高频率
- 3

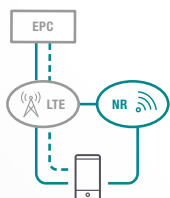
尽早解决问题并进行验证
- 4

更快完成测试

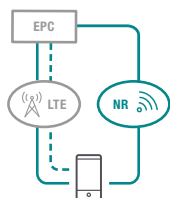
可用的 5G NR 部署选项

非独立组网模式 (NSA)

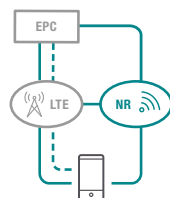
选项 3: 非独立组网新空口,
LTE 辅助, EPC 连接



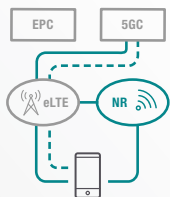
选项 3A: 非独立组网新空口,
LTE 辅助, EPC 连接



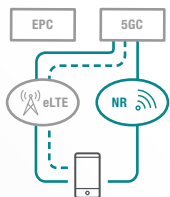
选项 3X: 非独立组网新空口,
LTE 辅助, EPC 连接



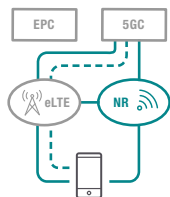
选项 7: 非独立组网新空口,
LTE 辅助, 5GC 连接



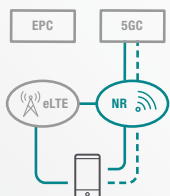
选项 7A: 非独立组网新空口,
LTE 辅助, 5GC 连接



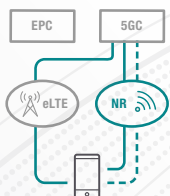
选项 7X: 非独立组网新空口,
LTE 辅助, 5GC 连接



选项 4: 非独立组网 eLTE,
新空口辅助, 5GC 连接



选项 4A: 非独立组网 eLTE,
新空口辅助, 5GC 连接



独立组网模式 (SA)

选项 2: 独立组网新空口



选项 5: 独立组网 LTE Rel-15, 连接



4. 通过可扩展的测试解决方案满足 5G NR 标准的要求

针对各种用例的一致性测试和针对第 15 版标准的网络部署方案仍在紧锣密鼓地定义之中。载波聚合、FR2 和 RMM 测试用例的定义完成度不到 10%。

第 16 版标准预计将在 2020 年初完成，它将继续推进 5G NR 优化，研究新用例，以及确定新类型的服务、设备、部署模型和频段。

为了让您的测试解决方案满足未来需求，您的测试设备务必能够随着标准的变化升级换代。您需要考虑测试厂商需要多长时间才能提供新的软件版本，以便支持最新的测试用例。

随着标准向更高频率和更宽带宽演进，对测试硬件进行扩展时，将会遇到物理局限性。您可以考虑购买或租赁初始覆盖范围更大的测试设备，或是选用易于扩展的测试设备。



第 3 棒

成功通过运营商验收

加速设备通过运营商验收的三种方法



验收

第 3 棒

运营商验收测试：满足移动网络运营商的要求

运营商验收是设备工作流程中的一个重要环节，处于一致性测试和制造之间。CAT 的目的是确保设备的功能和性能满足用户期望。5G 设备必须向运营商证明具有足够强大的性能和安全性，运营商才会将它们用于自己的网络。

领先的运营商开发出了全面的 CAT 程序，涵盖互操作性测试、外场试验、协议和射频一致性测试以及网络仿真。大多数运营商都执行一致性测试，所有运营商都会进行网络厂商互操作性测试和外场试验。运营商还会重点针对其网络专有的特性和功能展开测试，例如网络可靠性或覆盖范围。

采取以下三种策略加速设备的运营商验收：



验收

1. 利用一致性测试工具套件提前开展测试

设备工程师可以使用一致性测试和 CAT 工具套件提前开展测试。

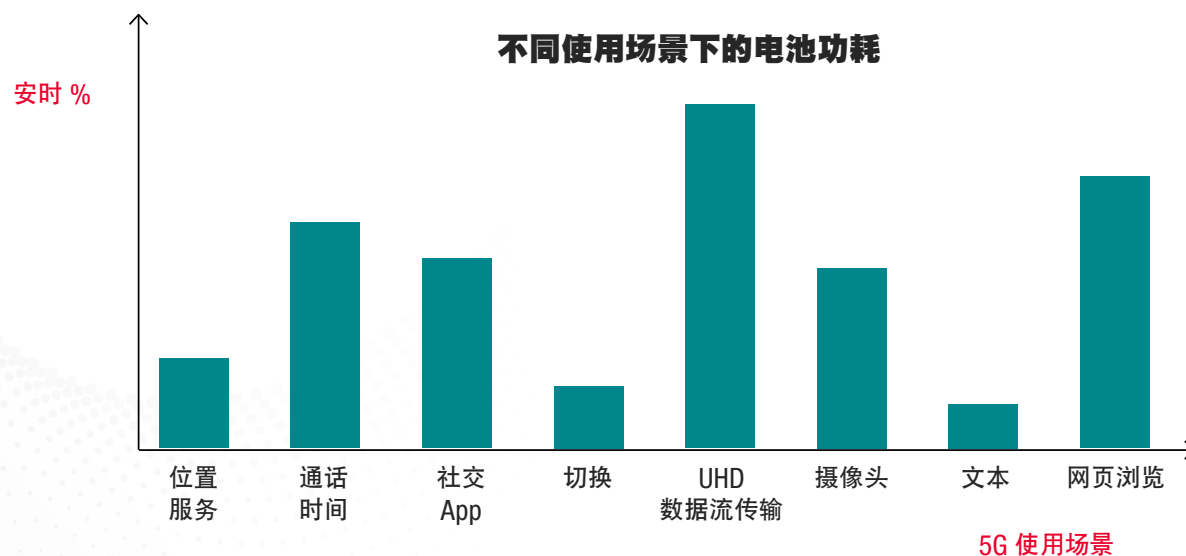
通用测试套件涵盖射频特性、无线资源管理（RRM）和协议等方面。它们覆盖最可能的网络配置，对于许多用例来说已经足够。

灵活的一致性测试解决方案允许定制超出认证要求的测试用例，使设备工程师能够针对给定网络专有的配置和用例进行测试。

2. 对设备进行极限测试以优化功耗

设备的功能和特性不断增加。毫米波工作频段和 5G NR 双连接特性要求设备必须与基站保持高质量通信。电池功耗是移动设备的主要竞争点。

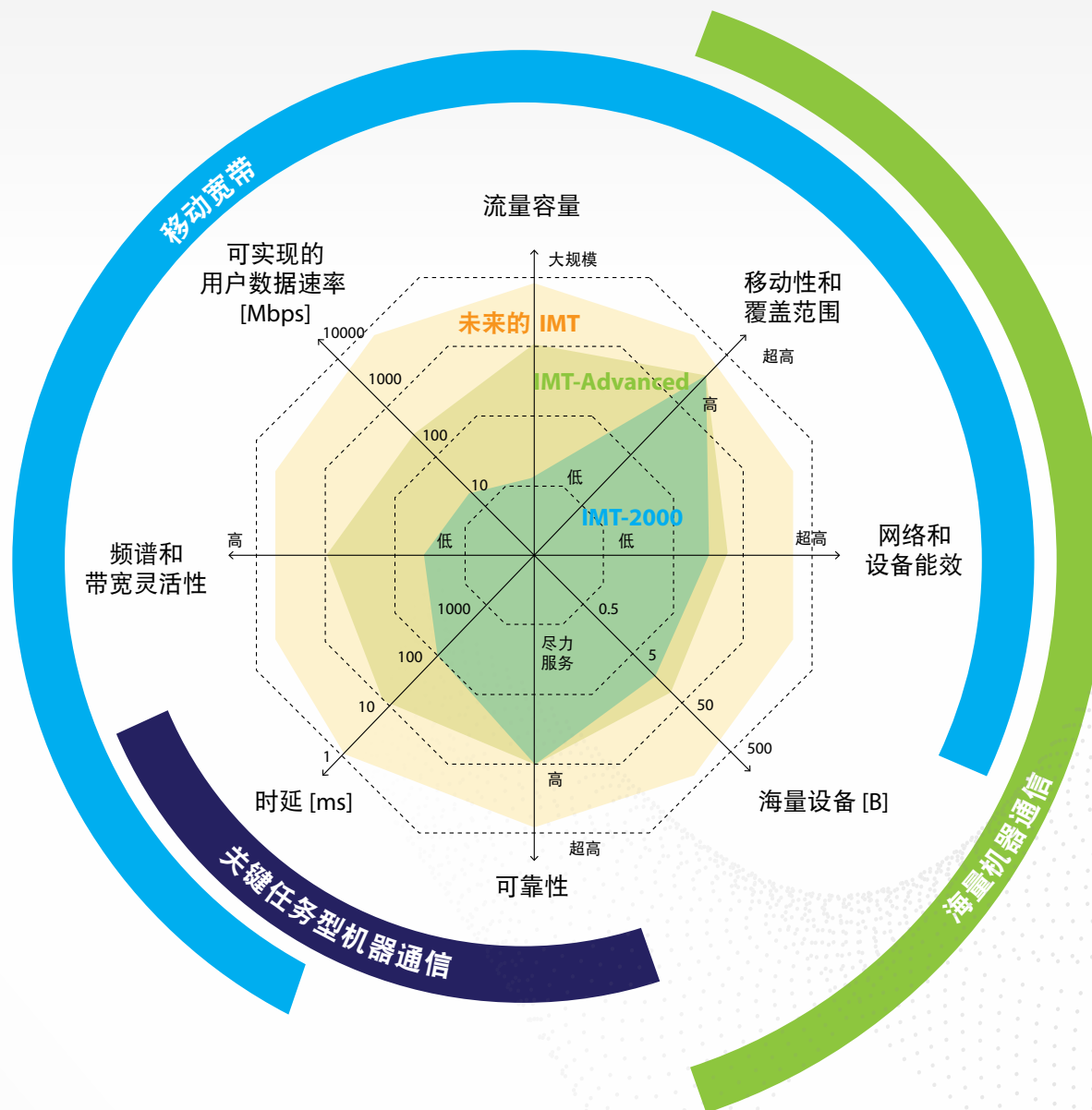
5G 用例的电池要求和性能各不相同。设备工程师应当有前瞻性地选择典型用例和极限测试设备，使用网络仿真器和功率分析仪开展大量不同的测试，确保电池具有长续航时间。



5G 的众多用例

5G 要求对大量不同的用例进行测试：

- 增强型移动宽带（eMBB）侧重于高数据吞吐量。它旨在提供极快速度的下载、增强现实（AR）和高清视频。
- 大规模机器类通信（mMTC）注重的则是几十亿“设备”的互联。其用例包括智能农业和最佳的交通管理。
- 超高可靠性低时延通信（URLLC）将会为自动驾驶车辆、远程手术和虚拟医学就诊提供支持。



来源：ITU: 5D/TEMP/390-E



验收

3. 执行虚拟路测，测试设备的实际性能

与 4G 相比，5G NR 中的新初始接入程序提高了切换测试的重要性。一致性测试不足以确定不同外场条件下的用户体验，也不能覆盖所有运营商专用的切换场景。传统路测方式的成本过于高昂。

虚拟路测（VDT）可以帮助设备制造商在将设备部署到实际网络之前，对设备的真实切换性能进行测试。VDT 使用外场捕获的数据来构建测试，通过在受控实验室环境中仿真真实的射频网络条件，重新回放路测或室内测试路径。这有助于缩短外场测试所需的时间，从而加速验收测试进度。



验收



第 4 棒

掌握 5G 制造

缩短测试时间并降低测试成本的四大技巧



第 4 棒 制造测试：赢得大规模 5G 竞争胜利

设备制造商正朝着商用化目标全速前进。一旦通过一致性测试和验收测试，测试成本和测试时间会决定他们的盈利能力以及进入市场的先后顺序。

在 5G 中，设备制造商需要克服在 4G 时未曾遇到过的新制造测试挑战：更多频段、毫米波频率以及更宽的带宽。

要让 5G 设备顺利走完整个制造工作流程并非易事。设备制造商必须掌控 5G 的复杂性，才能加快创新和转型速度，迅速赢得 5G 成功。

采用以下四种方法可以缩短测试时间并降低测试成本：

1. 加速测量

加速测量有助于从一开始就拉近测试工程师与最终目标之间的距离。

基于硬件的现场可编程门阵列（FPGA）测量可大幅缩短测试时间。

针对多个信道和无线制式下各种功率和频率范围的测试速度会增加。

2. 多设备测试

一次测试多个设备可以加快设备制造商的测试速度。

先进的测试排序和单次采集多次测量（SAMM）功能有助于最大限度提高测试吞吐量和良率。





3. 云数据处理

云数据处理有助于将测试吞吐量提升到极高水平。

在快速的云服务器上可并行运行关键计算。

这种测试体系结构非常高效，可极大提高测量吞吐量。

制造商可重复使用测试站，从而提高测试资产的使用率和灵活性。

4. 测量一致性

在整个设备工作流程中使用相同的测量算法有助于缩短开发时间。

工程师对自己的测量结果更加充满信心。

可追溯性能够实现设计溯源，更快解决问题。



总结

5G 设备接力赛

接力赛是一项田径比赛，通常由四棒依次传递完成。5G 设备的商用化用接力赛来比喻，可以分成设计、一致性测试、运营商验收测试和制造四棒接力。

提供 5G 承诺的超高数据速率和低时延将面临重重挑战。设备制造商需要利用高性能、灵活且可扩展的测试解决方案，有效地克服 5G NR、mMIMO 和毫米波频率所带来的技术挑战。他们还必须重新考虑整个工作流程的总体测试策略，充分利用协同效应并获得先发优势。

了解更多信息

关于如何在整个设备工作流程中加速 5G 创新的更多见解，请查看以下链接：

如需加快 5G 设备的开发，请浏览《实现 5G 的首要步骤》系列白皮书。该书包括四部分内容：[5G 新空口标准](#)、[毫米波频谱](#)、[MIMO 和波束赋形](#)以及[空中测试](#)

如需加快一致性测试，请下载[《为迎接 5G 新空口一致性测试挑战做好准备》](#)；新发布的[《5G 新空口标准和一致性测试》海报](#)还可以帮助您将关键信息公示在最方便看见的地方

如需缩短测试时间并降低测试成本，请浏览[《掌控 5G 制造技术》](#)

