



5G射频技术

Qorvo专版第2版

**作者：大卫·施纳弗、途安·阮、
本·托玛斯、阿莱克西斯·玛利安尼、
保罗·库伯、布洛尔·彼德森、
菲尔·沃德**

for
dummies[®]

5G射频技术For Dummies®, Qorvo专版第2版

出版商:

约翰·威利父子公司

111 River St.

Hoboken, NJ 07030-5774

www.wiley.com

Copyright © 2020, 新泽西州霍布肯市约翰·威利父子公司版权所有

未经出版商事先书面准许,不得复制本出版物的任何部分,或者将其保存于检索系统,或者以电子、机械、影印、录制、扫描等形式或方式传播,但是根据《1976年美国版权法》第107条或108条规定获得准许的情况除外。需要办理出版商批准的,请将相关申请发送至:Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, 电话:(201) 748-6011; 传真:(201) 748-6008; 也可在线联系: <http://www.wiley.com/go/permissions>。

商标: 威利 (Wiley)、傻瓜版 (For Dummies)、傻瓜版人像标识 (Dummies Man)、傻瓜版之路 (The Dummies Way)、Dummies.com、让一切变得更轻松 (Making Everything Easier) 以及相关商业外观,均为约翰·威利父子公司和/或其在美国以及其他国家的关联机构所持有的普通商标或注册商标,未经书面许可,不得使用。所有其他商标均归相应所有权人所有。约翰·威利父子公司与书中提及的任何产品或供应商无任何关系。

责任限制/保证责任免责声明: 出版商以及本文作者对于文中内容的准确性和完整性未做任何声明和保证,并且特别声明免除一切保证责任,包括但不限于对特定用途的适合性保证责任。销售资料或促销资料并不形成或扩展任何保证责任。文中出现的建议和策略不可能适合所有情况。本书在出售时,即表明出版商并不从事法律、会计或其他专业服务。如需专业协助,应当寻求适格专业人士提供服务。出版商及作者均不承担因此产生的损害赔偿。书中提及任何组织或网站并且将其作为引证和/或潜在信息源的,此举并不表明作者或出版商认可该组织或网站所提供的信息或建议。另外,敬请读者悉知,从本书成书时起至读者读到时止,书中所列网站可能发生变更甚至消失。

ISBN 978-1-119-68396-4 (pbk); ISBN 978-1-119-68421-3 (ebk)

美国制造

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

如果您想了解我们的一般性产品和服务信息,或者如何为您的企业或组织定制傻瓜版图书,请联系我们的美国业务开发部,电话: 877-409-4177; 电子邮件: info@dummies.biz; 网址: www.wiley.com/go/custompub。

如果您想了解傻瓜书品牌的产品或服务授权,请联系: BrandedRights&Licenses@Wiley.com。

出版商鸣谢

为本书上市做出贡献的部分人员如下:

联合出版人: 卡蒂·摩尔

制作编辑: 西德克·萨伊克

编辑经理: 列夫·门格尔

特别帮助: 费斯·文彭

业务发展代表: 卡伦·哈坦

目录

引言	1
关于本书	1
傻瓜式假设	2
书中使用的符号	2
本书之外	2
第 1 章 5G介绍	3
认识当前情况	4
认识5G愿景	5
了解5G核心实现技术	9
频谱共享	9
载波聚合	10
大规模MIMO	10
毫米波技术与固定无线接入	11
第 2 章 考察部分使用案例	13
发现5G的不同之处	13
增强型移动宽带	14
大规模机械类通信	14
超可靠低延时通信	15
认识5G市场	15
汽车行业	15
制造行业	16
医疗行业	17
网络切片	18
第 3 章 带宽的重要意义：5G频谱	19
介绍5G 3GPP全球频谱	19
认识频谱	21
5G频带	22
频谱特许	23
动态频谱共享	24

第 4 章	探索5G射频技术	25
	深入了解5G NR.....	25
	频谱与动态频谱共享.....	26
	频分复用（OFDM）.....	26
	5G MIMO与大规模MIMO.....	28
	波束赋形.....	29
	网络密致化.....	30
	5G NR频谱载波聚合.....	32
	探索射频前端技术的不同.....	34
	氮化镓技术.....	34
	体声波滤波器技术.....	37
	射频技术、封装及设计.....	39
第 5 章	5G未来发展道路上的十大里程碑	41
	FR2 5G毫米波.....	41
	蜂窝物联网.....	42
	网络密致化.....	42
	大规模MIMO与天线阵列系统.....	42
	频谱集合.....	43
	车联万物通信.....	43
	工业4.0与制造业.....	43
	无处不在的物联网.....	43
	医疗行业与远程医疗.....	44
	增强现实与虚拟现实.....	44

引言

2017年，Qorvo出版了第1版《5G射频技术*For Dummies*》。该书以通俗易懂的语言，帮助业界许多人士掌握了一些围绕5G技术的复杂概念。

我们在该书中简要讲解了一些重点概念，这些概念到今天已经发展成熟，包括：

- » 基站有源天线系统的开发
- » 载波聚合技术使用量的增加
- » 新增频谱的重构和开放

2017年，当时小蜂窝密致化技术才刚推出，5G毫米级固定无线接入技术还在测试。今天，由于技术的进步，这些技术已经大规模铺开。在本书中，我们将探讨以上技术及其他5G技术的进步，以及这些技术如何重塑移动网络、移动设备、行业、用例及企业。

关于本书

《5G射频技术*For Dummies*, Qorvo专版第2版》共分五章，分别探讨了以下专题：

- » 5G愿景与核心实现技术（第1章）
- » 发现5G用例及5G技术的先行者（第2章）
- » 5G频谱及其管理、重构、分配和共享（第3章）
- » 深入认识5G NR技术，及其射频前端核心技术（第4章）
- » 5G未来发展道路上的重要里程碑（第5章）

傻瓜式假设

有人说过，大部份假设都并没有太多实用价值，尽管如此，我仍然要做一些假设！我主要假设认为，您是移动通信行业的利益相关人，并且您对5G网络和5G技术抱有长期兴趣。您或许是工程人员、设计人员、技术人员、技术领导、销售人员或投资人。另外，我还假设认为您对电信行业和射频技术有一定了解。本书主要面向的是技术类读者。

如果以上任何一条假设讲的正是您，那么本书绝对适合您！如果没有任何一条假设讲的是您，那么您也要读下去。这是一本很好的书，读后您将充分了解什么是5G，这让您感觉很棒！

书中使用的符号

为方便您查找最有用的信息，我们使用以下符号标记重要的文字内容：



小贴士

跟踪这个符号，可以获得提示信息，帮您节省时间与精力。



记忆

注意，这个符号指向重要的知识点。



技术内容

如果您渴望更多技术层面的解读，请阅读这些选读段落。

本书之外

在这本只有48页的小册子里，我能讲到的只有这么多，所以，如果您在读完之后想：“天啊，这真是本好书！我到哪里才能学到更多知识？”只需访问这个网址：www.qorvo.com/innovation/5g，或者www.qorvo.com/design-hub。

- » 认识当前情况
- » 了解5G愿景
- » 了解5G核心实现技术

第1章

5G介绍

在 我们社会，网络联接已变得十分普遍，人们甚至把联网看作像电力一样——无处不在、无时不在。

无论是消费者还是企业，都在期盼着第5代无线连接(5G)：

- » 提高下行链路和上行链路的速度
- » 随时随地视频和游戏
- » 提高服务质量，同时保证服务的安全可靠
- » 提高制造业/行业效率
- » 按需提供任何及一切东西

与此同时，无线运营提供商期望：

- » 能够满足激增的移动数据需求
- » 降低单数据比特成本
- » 获得其他业务模式和营收流

所有这一切都能够借助5G NR（即“新空口”）架构实现，只是在这一过程中，我们还需要一些高度技术性的东西。

在本章，您将认识5G蜂窝网络的过去、现在和未来，从而更好地理解5G在今天（和明天）无线通信中发挥的重要作用。

认识当前情况

像许多人预期的那样，5G将具有颠覆性，它将改变我们的生活。我们看到物联网、汽车、制造业及零售行业正在发生的无线通信创新，这让我们一窥5G连接的未来。

科研组织IDTechEx报告称，预计到2030年，5G的推出将为全球经济贡献7000亿美元。全球移动通信协会（GSMA）声称，预计到2025年，5G全球移动连接将达到14亿个。

没错，5G革命已经开始。技术建设的速度正在超出先前的预期，并且远超3G向4G的过渡速度。

以下是过去几年间发生的事情：

- » 2018年韩国平昌冬奥会展示了首个运营性5G网络。
- » 移动网络运营商的报告显示，截止2019年10月，韩国的5G用户已超过200万。
- » AT&T公司的5G网络是美国首个无线速度超过2吉比特的5G网络。
- » 威瑞森公司已在美国职业橄榄球联盟（NFL）的全国体育场启动5G网络。

未来将会怎样？以下是一些预测：

- » 估计到2021年，手机用户（55亿）将超过自来水用户（53亿）。
- » 估计到2023年，5G将为全球国内生产总值（GDP）贡献4.8万亿美元。

- » 预计到2025年，全球物联网设备将达到250亿个——其中消费类设备将达到114亿个，工业用设备将达到137亿个。
- » 一家领先的5G芯片制造商实施的一项研究项目估计，仅5G价值链将可带来3.5亿美元的营收，在全球将支持2200万个就业岗位。



记忆

在全球向着智能化全时联网前进的过程中，5G将扮演着重要角色。世界各国及各地的承运商都在争先恐后地使用5G，而无论其能力如何。不过，像任何技术演进一样，5G的主要推动力量将是那些能够带来经济价值、商业价值和消费价值的东西。

认识5G愿景

自从5G诞生以来，话题一直主要集中在以下三个用例类别：

- » 增强型移动宽带（eMBB）
- » 超可靠低延时
- » 大规模连接性

作为5G部署者，他们首先最为关心的是为消费者的智能手机及其他移动设备提供增强型移动宽带服务——换句话说讲，他们要能随处提供增强型移动宽带。这是实现移动网络运营商5G投资回报的最简捷路径。

物联网用例集中出现在第二个和第三个类别：超低延时和大规模连接。随着物联网、窄带物联网（NB-IoT）、蜂窝型车联万物标准（C-V2X）及工业4.0的普及（参见图1-1），固定无线接入（FWA）、智能家居和智慧城市等服务越来越引发人们的关注。

在开拓新道路时，能获得支持总是有好处的，而5G就获得了一定支持。不同于3G或4G期间的无线标准过渡，5G拥有广泛的全球支持，并被接纳为未来广域网（WAN）连接适用的唯一全球标准。

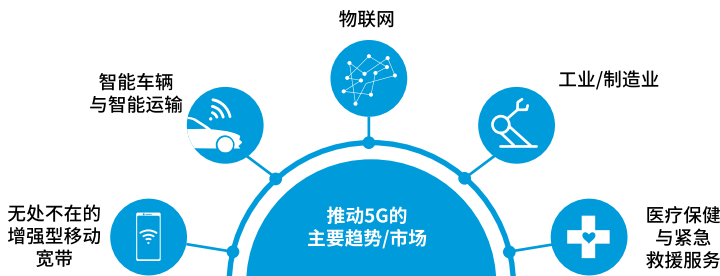


图1-1: 推动5G发展的五大趋势。



记忆

5G通过非独立组网（NSA）和独立组网（SA）两套实施方案，让全球承运商能够在其网络内部平滑地实施5G。第3代合作伙伴计划组织（3GPP）是一个由移动系统制造商组成的集体项目合作组织，该组织在5G标准的平滑演进和发展过程中扮演了极为重要角色。



技术内容

5G NR技术利用调制方案、波形及接入技术，让网络系统能够满足高数据率服务的需要，同时带来低延时、小数据率和很长的电池寿命。

2017年12月，《3GPP Release 15 NSA 5G NR规范》获得通过，成为商用5G产品的基础。该规范包含从600 MHz直至50 GHz的低频、中频和高频频谱支持。2019年初，R15 Late Drop版本获得通过，至此Release 15标准全部完成（参见图1-2）。

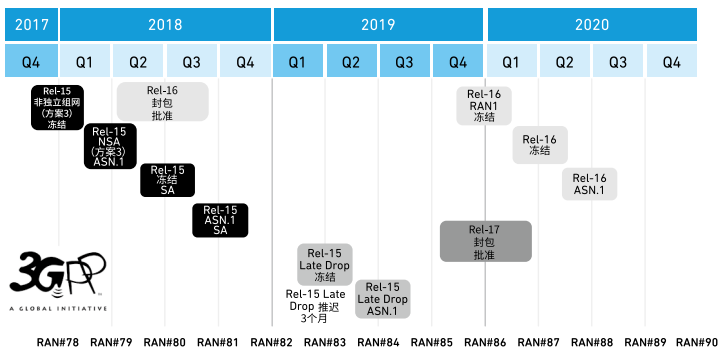


图1-2: 3GPP标准发布时间表。

2020年发布的Release 16标准将扩展5G，主要集中在垂直系统的功能和整体系统的完善。R16标准的目标是长期演进标准（LTE）、车联网

物标准 (V2X) 之外的高级用例, 还将为工业物联网和超可靠低延时通信 (URLLC) 提供强化功能, 以替代工业以太网。另外, R16标准还将完善信号定位技术、多入多出 (MIMO) 技术及低系统功耗技术。



技术内容

所谓“网络延时”, 指一个数据包在两个点之间往返一次所需的时间。

5G射频接入网络 (RAN) 的设计完全兼容现有的4G LTE网络。3GPP Release 15标准允许采用多个NR部署方案, 例如: 3x NSA和2 SA。这些方案术语来自当初为分析和建立非独立组网和独立组网的最终演进成果所实施的5G架构研究。非独立组网利用LTE锚带进行控制, 利用5G NR频带提供更高的数据率。非独立组网允许承运商在不新建5G核心的情况下, 提供5G的数据速度。图1-3所示为LTE向5G 非独立组网和独立组网的过渡过程。根据承运商和地区的不同, 承运商的使用和发布时间表也不同。

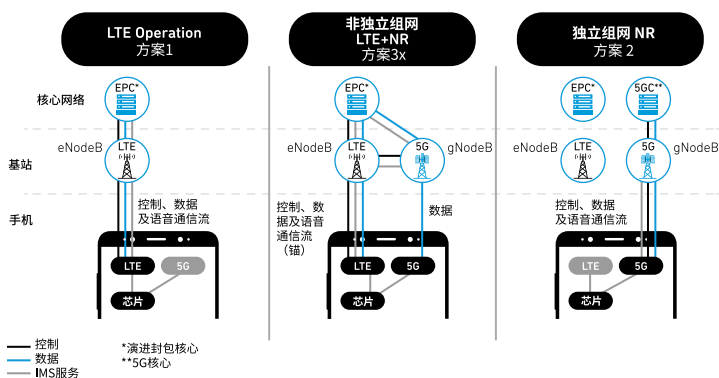


图1-3: 5G部署的渐进式过渡。



技术内容

近期全球5G部署都采用非独立组网方案, 这极大加快了5G的部署速度。5G连接演进的下一阶段将是完全成熟的独立组网 5G, 拥有专用核心网和射频接入网络。



小贴士

无论是非独立组网方案还是独立组网方案, 5G运营频谱都在高速演进。在本书中, 我们借用较为熟知的、对应FR1波段的“Sub-6 GHz”一词指代“Sub-7 GHz”——后者支持的是7 GHz以下的潜在频率分配。在5G NR Release 15标准中, 工作频带被分为两个频率范围: 频率范围

1 (FR1) 和频率范围2 (FR2)。FR1通常被称为“Sub-7GHz”，即：低于7GHz的频率范围；FR2是5G毫米波 (mmWave) 的频率范围 (参见图1-4)。

虽然物理层和更高层的设计不考虑频率，但每个层面都有指定单独的射频性能需求。另外，FR1与FR2的测试方法也不同。FR1既可使用传导测试，也可使用空口测试 (OTA)；FR2只需使用空口测试。

参数* Parameter	频段1 (FR1)	频段2 (FR2)
别名	5G Sub-7 GHz	5G毫米波
频段	410-7,125 MHz (*包括 n77, n78, n79) (参考: 3GPP: 38.101 v16.1.0)	24.25-52.6 GHz (**包括 n257, n258, n259, n260, n261) (参考: 3GPP: 38.101 v16.1.0)
传送带宽 (CC)	5-100 MHz	50-400 MHz
子载波间隔	15 kHz, 30 kHz, 60 kHz	60 kHz, 120 kHz, 240 kHz
载波聚合	最多16条载波	最多16条载波
波形与调制	CP-OFDM (UL/DL), DFT-s-OFDM (UL): QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM)	CP-OFDM (UL/DL), DFT-s-OFDM (UL): $\pi/2$ -BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM)
MIMO	下行链路最多8层 上行链路最多4层	下行链路最多8层 上行链路最多4层
部署应用	大蜂窝/多移动用户/长距离	小蜂窝/较少用户/内容增加/短距离
挑战	空间复用——在同一个资源块内，递送多条平行数据流	为每名移动用户提供波束导向服务
频谱效率	频谱效率高，原因在于特别的复用技术	频谱效率低——较少用户，较大路径损耗
信道定性	丰富的多径传播	传播路径少
同时用户数量	数十名用户，覆盖面积大	少量用户，覆盖面积小

*FR1

频段	下行链路/上行链路 (GHz)
n77	3.30-4.20
n78	3.30-3.80
n79	4.40-5.00

**FR2

频段	下行链路/上行链路 (GHz)
n257	26.50-29.50
n258	24.25-27.50
n259	39.50-43.50
n260	37.00-40.00
n261	27.50-28.35

图1-4: 频率范围FR1与FR2。

如图1-4所示，5G的命名方案已经变更；正如4G LTE在命名中使用字母“B”指代频带，5G在命名中重新加入字母“n”，用以指代“New Radio（即（新空口）”）。5G NR使用LTE频带的，将使用相同的频带编号，只是加上“n”标识符。除了测试方法之外，FR1与FR2还有其他区别。这些区别体现在载波聚合、MIMO及子载波间隔上。

了解5G核心实现技术

在本节，我们深入了解一些为5G性能做出贡献的重点技术：

- » 频谱共享
- » 载波聚合
- » 大规模MIMO与天线阵列系统
- » 固定无线接入（FWA）与毫米波技术

频谱共享

在无线通信中，频谱是移动网络运营商所需的、排在第一位的资源。所有移动网络运营商必须在各类技术上，有效地、高效率地使用宝贵的频谱资源。5G正是围绕这一点来建设的，通过将服务、频谱和网络整合成一个内聚型架构，满足下一代移动体验带来的挑战。

为过渡到完整的5G实施例，移动网络运营商通过动态频谱共享技术（DSS），动态管理频谱配额。动态频谱共享技术是一种在不同空气接口标准（例如：3G、LTE或5G）之间智能化分配频谱资源的方法，以减少频谱浪费和优化用户体验。

对于其他相邻信号载波轻度使用的频谱，频谱共享技术能够解锁这部分频谱资源。动态频谱共享技术不仅能够提高频谱利用率，还能利用FR2毫米波频带上的共享频谱或非特许频谱。



记忆

5G NR技术的最终目标是原生地、同时地支持特许频谱、共享频谱和非特许频谱，提高现有频谱资源的利用效率。例如，通过共享FR1和FR2频率范围的频谱配额，能够让新的5G中高频基站覆盖范围增加一倍，同时还能以每秒高达数亿比特的速率，向室内甚至蜂窝边缘递送数据。

载波聚合

载波聚合技术（CA）将多个移动网络载波合并成一条数据信道，以增加系统数据率，同时优化现有带宽的使用率。LTE之所以能够逐渐提高下行链路数据率和接收数据率，让大量手机消费者获益，载波聚合技术功不可没。5G NR技术扩大了这一趋势，在FR1和FR2中都使用载波聚合，最高支持16个分量载波。LTE与5G NR都使用载波聚合的情况被称为“双重连接”。在双重连接模式下，同时使用LTE载波和5G NR载波。



记忆

载波聚合技术给5G NR带来许多优势，例如：

- » 提高上行链路和下行链路的数据率和吞吐量
- » 网络运营商能够灵活地使用任何载波聚合类型（例如：带内连续载波聚合、带内非连续载波聚合或带间非连续载波聚合）部署非特许频谱

大规模MIMO

大规模MIMO被称为5G的骨干技术。大规模MIMO借助LTE-Advanced技术的一切前期工作成果，帮助承运商提高网络容量和数据率，同时减少支出。例如，大规模MIMO利用波束赋形技术（一种将多个天线的信号集中成为一条强波束的技术），通过将信号指向目标个体，以此降低能耗。另外，这种信号集中技术还有助于减少网络用户之间的干涉。对于消费者，大规模MIMO有可能带来与有线连接相等的无线数据率。



技术内容

为实现这些优势，大规模MIMO技术使用大型天线阵列系统（AAS），天线阵列系统将射频收发链条合并成为单个阵列单元，通常由16、32、64或以上阵列元素组成。之所以采用这种大型天线阵列，是为了利用空间复用技术这个概念。空间复用技术能够在同一个频谱资源块内，递送多个平行的数据流。大规模MIMO实际上是通过扩大虚拟信道的总数，在不增加信号塔和频谱的情况下，提高网络容量和数据率。

毫米波技术与固定无线接入

目前运营商推介给消费者和企业的一项5G服务是基于5G FR2毫米波频谱的固定无线接入服务（FWA）。该技术让无线运营商能够进入家庭互联网市场，利用高数据率服务来挑战有线宽带提供商。

固定无线接入技术是最早推出的5G服务技术之一。该技术能够为家庭和企业带来吉比特的互联网速度，并且其用时和成本仅为传统电缆和光纤设备的零头。该技术成为能够帮助5G服务提供商与数字用户线路（DSL）、光纤和电缆竞争的“最后一英里”解决方案。为此，该技术采用的是FR2毫米波频谱，同时还利用了天线阵列系统（大规模MIMO技术使用的天线阵列系统，采用全数字波束赋形或混合波束赋形）（参见图1-5）。

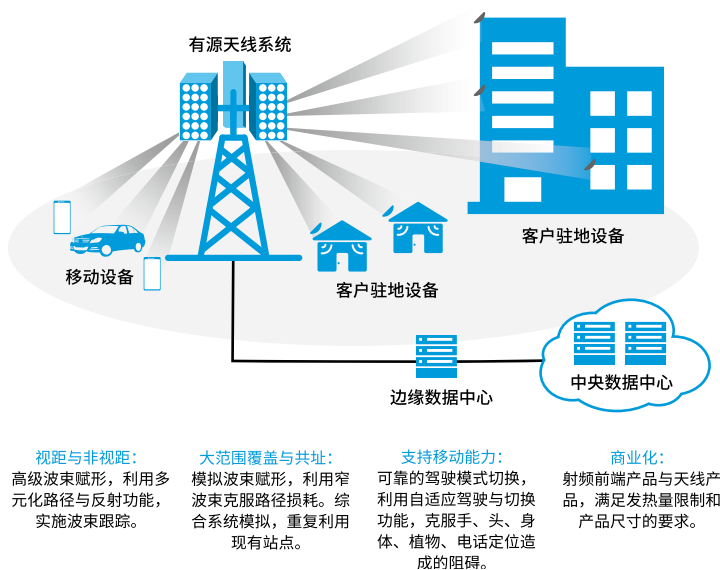


图1-5：端到端固定无线网络及其优势。

固定无线接入技术适合多个移动环境——稠密的城镇和郊区环境，以及室内外热点。无论使用环境是稠密还是稀疏，该技术都能提供高速度、低延时连接能力。



记忆

通过利用毫米波频谱，移动网络运营商能够支持最高400 MHz信道带宽，还能够实现吉比特数据率。尽管存在一些非视距挑战，但大规模MIMO的天线阵列系统能够减轻这些难题，该天线阵列系统利用多个天线，将数个收发信号集中到较小的空间区域，极大改善吞吐量和能量效率。数据流越大，数据率越高，辐射功率的使用效率也越高。

另外，毫米波技术也出现在新发布的手机版本中。这种高频技术将为我们提供低延时的掌上设备，不仅将改变我们家庭和企业的未来，而且将改变我们的日常生活。

- » 发现5G的不同之处
- » 回顾先行者的使用案例
- » 了解网络切片

第2章

考察部分使用案例

本章将说明5G技术与前几代蜂窝连接技术之间存在的部分主要区别。另外，本章还将介绍几个商业类别的5G先行者的部分用例，说明网络切片技术在整个5G背景下发挥的作用。

发现5G的不同之处

所有前代蜂窝连接标准几乎无一例外，都把重心放在消费类通信服务的进步上，例如：升级Web浏览功能、提高数据传送速度、增加视频流功能、完善无线连接等。5G的受众远不止消费者；5G还将要解决企业、城市、公用事业设施组织等的需求。

5G无线连接将意味着更高的上下下载速度、低延时及更大的容量。5G将向无缝连接迈出一大步，数据下载速度将从4G的2 Gbps峰值速度一跃升至5G的10 Gbps峰值速度。对于每个企业、消费者和娱乐实体，所有这一切将转化成为更短的延时、更优的连接性能、更高的移动性能及更快的速度。

虽然每个应用都有自己独特的属性组合，但大部分5G用例都可归入以下三个类别之一：增强型移动宽带（eMBB）、大规模机械类通信（MTC）及超可靠低延时通信（URLLC），具体如图2-1所示。在下面几节，我们将详细介绍这几类用例。

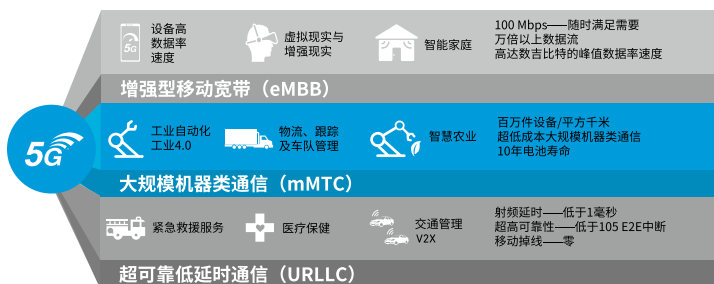


图2-1：5G的未来。

增强型移动宽带

借助FR1和FR2频谱资源，5G将推升移动计算性能，实现高速度的云连接体验和实时响应。增强型移动宽带技术（eMBB）将为稠密的城镇环境、高移动性环境和室内环境带来极高吞吐量。用户能在几秒内而非几分钟内，就可为3D视频、增强现实（AR）和虚拟现实（VR）等应用下载高达几个吉字节的数据。

大规模机械类通信

如其名称所示，大规模机械类通信将主要用于机器对机器（M2M）的通信，可以随地连接任何东西，同时只需要极少的人工干预，甚至完全不需要人工干预。其应用通常是低成本、低功率的传感器和设备，这些设备能够提供良好的端到端覆盖率，还能将数据传回云。

超可靠低延时通信

超可靠低延时通信技术（URLLC）的用例需要具备处理、关联和协同多面输入的能力，以提供快速响应。用例包括自动驾驶汽车、医疗机构、公用事业组织、应急响应组织、安保组织等。这些服务将能实现实时的智能化自动决策，因此需要稳健的覆盖率、可靠的连接、安全性及可持续性。



技术内容

以上两类应用适合大部分情况，但凡事都有例外。例如，物联网机械类通信应用既可能划分到大规模机械类通信类别，也可能划分到关键性机械类通信的类别，具体取决于延时需要。



小贴士

想要了解物联网的更多信息，请参阅《物联网*For Dummies*, Qorvo专版》，网址：www.qorvo.com/design-hub/ebooks/internet-of-things-for-dummies。

认识5G市场

自从5G的3GPPs Release 15标准获得批准，电信制造业已开始生产新的设备。有些行业从一开始就受到5G技术的影响。例如，2019年就有超过18款5G智能手机上市。美国职业橄榄球联盟与一家主要承运商结盟，开始在联盟球场安装5G。另外，韩国也计划在年底之前，实现5G手机用户达到全部用户的6%（约为400万人）。甚至欧洲也跳上了5G的列车，欧洲5G的实施速度远超之前的4G。

余下几节将探讨不同行业的部分用例，让您更好地理解5G的部署方式。

汽车行业

5G通信和连接是发展汽车行业的一个新领域——自动驾驶汽车——的关键。5G技术将是移动生态系统和车联网万物通信彻底转型的核心。

有了5G，交通运输行业将减少拥堵、提升安全功能等级、减少排放物以及完善整体驾驶体验的流畅性。5G通信带来的防撞功能不仅保护生命，还能节省数亿计的维修成本、保险费用及法律费用。

汽车行业将能利用全面互联的驾驶体验和功能，吸引新的车辆买家。用户将可获得实时交通信息来优化驾驶体验，有些功能可以帮助用户找到距离最近的免费停车场，还有些功能可以启用预防性维护，帮助用户节约时间与金钱等。

除了驾驶员和车主之外，其他人也能从中获益。乘客也将获得下一代信息娱乐服务的好处。作为乘客，您可以观看电影、接拨重要的电话或实时播放最新要闻，这一切都因为5G连接而成为可能。

制造行业

制造业面临着提高工厂效率、保持竞争力、提高质量、提高安全性、加强安全防护和保持利润能力等持续压力。这些需求促使企业实施精益化生产实践和自动化作业。不过，有了5G，我们可以做更多工作，减轻这林林总总的压力。进入工业4.0时代。

工业3.0是将计算机引入制造领域。在工业4.0时代，计算机彼此连接和通信，不需要人为干预。



记忆

当各行各业切断以太网接线，彻底进入无线连接时，他们都将获得巨大收益。在制造业，无线连接能够带来灵活生产，让智能化工厂快速切换生产线，缩短前置时间。但是，向工业4.0的过渡要依靠许多新的5G技术，具体如图2-2所示。

例如，在2018年美洲移动世界大会上，诺基亚公司和威瑞森公司分别展示了Wi-Fi控制的自动导引搬运车与5G控制的自动导引搬运车，以及二者之间的产能区别。这两种搬运车都在工厂内搬运货盘、纸盒及产品，由于5G的高速度和低延时，5G搬运车能够快速地对路上障碍做出反应。



图2-2：工业4.0。

安保控制需求正在促使工业企业探索专用的5G无线网络。由于企业内部5G的出现，各行各业将能自行定义安保实施方式，而不必依靠移动网络运营商。另外，内部5G还将保证专属敏感信息停留在企业内部。

专用网络将成为5G的一个重要组成部分。港务局、医院和制造园区都对专用网络抱有兴趣。今天，美国的移动网络运营商和网络设备制造商已开始与企业展开合作，利用CBRS频段（即：民用频段射频服务频段）搭建LET专用网络。在4G和5G，其中部分专用网络可以完全由移动网络运营商来搭建和运营，运营商在运营时，可以使用自己的特许频谱，并且把这种专用网络作为面向私人企业客户推出的一项服务。

另外，企业主也可以利用非特许频谱，借助第三方供应商来搭建专用网络——这一情况已在LTE CBRS频段出现。

医疗行业

5G不仅能够拯救交通运输行业的生命，还能拯救医疗行业的生命，并且给医疗行业带来转型。在5G医疗用例中，超可靠低延时机械类通信将是重要的组成部分。随着可穿戴传感器、视频会议及虚拟巡诊越来越普及，医疗行业即将开启一个新时代。

5G将帮助医疗行业满足日益增长的数字化转型需求。高速5G网络将帮助医疗行业快速、可靠地传输大型数据文件（例如：MRI图像）。

远程医疗（指远程咨询医疗专业人士）需要的是能够支持实时高质量视频的网络，传统上，这个网络意味着较低的移动性和有线连接。不过，有了5G，医疗系统能够利用移动网络，提高移动性和扩大受众范围。

通过利用5G设备，实时远程监控系统不仅能够协助医护人员监控患者，还能收集数据，以完善个性化、预防性护理。另外，这些设备还能提高患者对于自身治疗的参与度。

网络切片

那么，我们如何统一运用本章提到的所有用例？

5G移动网络拥有众多灵活的组成部分，网络切片技术可以帮助实现统一。5G需要服务众多客户，并且这些客户的需要和用例不尽相同。网络切片技术作为一项重要的实现技术，将促成搭建一种新型虚拟网络架构，该架构能够根据特定的用例，递送相应的多套资源。



记忆

所谓“网络切片”，是一种能够根据特定的服务和通信流，创建多个定制且优化的虚拟网络的能力。无论是公用5G网络还是专用5G网络，网络切片能力都代表一种网络优化能力，可以在网络内满足用户的需要并支持不同的用例。

每个网络切片都将根据特定服务和通信流的资源需求和网络拓扑需求进行优化。速度、容量、连接性能和覆盖率等功能将按照每个用例的需求进行分配，但各功能组件也可在不同网络切片之间进行共享。

随着时间的推移，网络切片技术将能让运营商提高可编程性，并且将被用于大规模物联网等大型用例情境。

第3章

带宽的重要意义：5G频谱

所谓“频谱”，是指特定类型的无线通信所在的射频范围。不同的无线技术使用不同的频谱，因此互不干扰。由于一项技术的频谱是有限的，因此频谱空间存在大量竞争，并且人们也在不断开发和增强全新的、高效率的频谱使用方式。

本章将介绍5G通信使用的第3代合作伙伴计划组织（3GPP）全球频谱。

介绍5G 3GPP全球频谱

频带的带宽越多，接收数据的量越大、速度越快。带宽越多，下载大文件的用时越少。因此，移动网络运营商和监管机构正在尽一切可能，重构、获取或共享频谱资源。

所谓“频谱重构”，是一种将一个现有应用所使用的频谱转移到新应用的方法（例如：2010年，移动网络运营商将2G应用使用的频谱直接转移到4G LTE应用）。

在释放频谱资源上，尽管监管机构已有长足进步，但仍需采取其他措施。为适应5G通信的众多用例和性能需求，必须在所有频率范围都提供频谱资源。另外，承运商为支持5G需要增加容量，由于带宽是提高数据率的关键，因此运营商必须取得更多宽带。

3GPP为全球各个地区分配国际移动通信（IMT）频带。在第1章已经说明，3GPP是一个由移动系统制造商组成的集体性项目合作伙伴组织。过去几年，3GPP通过重构和清理数字电视等现有服务，稳步增加新的时分双工（TDD）和频分双工（FDD）3G和4G频带。

甚至在5G到来之前，4G LTE就已在许多方面完善了频谱效率。随着高位调制技术的进步，例如：64和256正交波幅调制技术（QAM），以及多入多出（MIMO）和波束赋形技术的推出，每秒峰值数据率被推升至2吉比特。另外，LTE载波聚合技术也为移动网络运营商新增一个提高带宽的选项，即：将多个20 MHz带宽的频率载波合并，提供最高140 MHz的可用频谱。在美国，当非特许LAA和CBRS频谱与7分量载波（CC）聚合时，可实现140 MHz的聚合带宽。5G更进一步，允许进一步加大分量载波带宽。在7 GHz以下的FR1频段，能够实现100 MHz带宽；对于FR2频段毫米波，则可实现400 MHz的带宽。如果个体移动网络运营商拥有足够的频谱许可证，5G在FR2频段能够聚合达到800MHz的带宽。

5G频谱目前划分为两个频段：

- » 7 GHz以下频段（FR1）
- » 毫米波频段（FR2）

图3-1所示为世界各国被分配的7 GHz以下频谱。

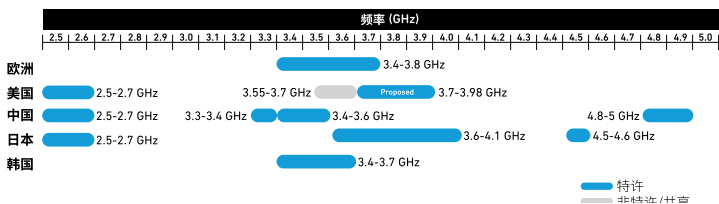


图3-1：全球5G 7 GHz以下频带使用情况。

在6 GHz以上，更容易在毫米波频带找到100 MHz或以上的连续带宽。这种带宽通常集中在24 GHz、28 GHz、39 GHz直至80 GHz，5G允许的FR2信道带宽最高可达400 MHz。

图3-2所示为全球现有毫米波频带的可用情况。虽然6 GHz以上的频谱资源更多，但这些频率的传播条件更为复杂，往往需要基站与设备之间满足视距条件。另外，毫米波还需要高度方向性波束赋形和大规模MIMO天线，以便实时跟踪用户。

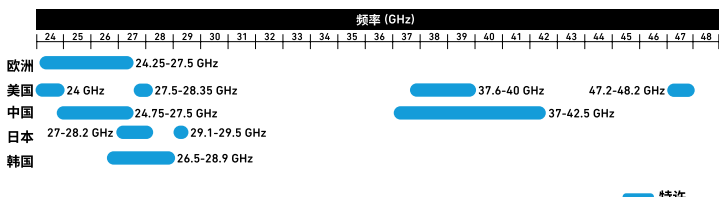


图3-2：全球5G 毫米波频带使用情况。

认识频谱

5G的部署将是在当前频谱资产基础上的演进。根据频带的不同，技术性能也不同。对某些用例而言，有些频带会比其他频带更适合。

您可以主要通过两种方式来考虑5G：频带的分配和频带的特许（无论是非特许频带、特许频带，还是共享频带）。

5G频带

5G频带分为三个明确类别：

- » **低频：**410 MHz至1 GHz。
 - 容量有限，但覆盖面积大，室内穿透性强。
 - 峰值数据率最高约为200 Mbps。
- » **中频：**1 GHz至7 GHz。
 - 适合城镇部署，增加容量。
 - 峰值数据率最高约为2 Gbps。
- » **高频：**24 GHz至100 GHz（毫米波）。
 - 覆盖面积有限，但可能达到极高容量。
 - 峰值数据率最高约为10 Gbps。

随着运营商和原始设备制造商不断完善毫米波技术，7 GHz以下频率技术将在不久的将来成为首选5G网络技术。7 GHz以下频率技术能够长距离递送高数据率，因此不仅适合农村地区，也适合城镇地区（图3-3）。

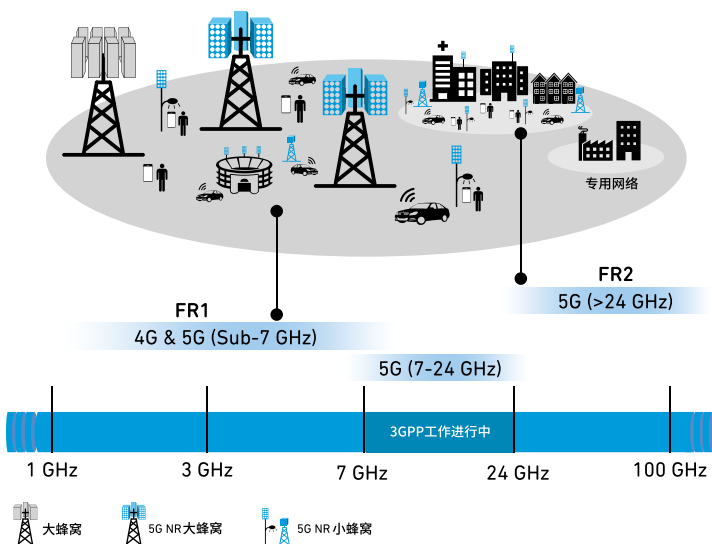


图3-3：LTE-Advanced Pro与5G NR生态系统。

毫米波等高频频率带最适合增强型移动宽带（eMBB）所需的短距离、低延时、超高容量传输。不过，我们在上文提到，这些高频频率带传输距离短，更容易因为天气或物体原因而产生信号损耗，并且室内穿透率有限。这种毫米波蜂窝站网络设计就像4G的小型蜂窝，因为二者拥有相似的频率范围和覆盖率。

中频频谱平衡了多项能力，在城镇和郊区环境下能够补充毫米波。中频频谱的传输距离更远、传播特性更好，因此除了人口稠密地区，中频频谱还能在其他地区提供5G。另外，中频部署还有一个优势：运营商能够将中频能力添加到现有的4G蜂窝站区域，从而减少了在建筑物顶部或周边购买或租用空间产生的额外支出。

2 GHz以下的低频提供优秀的覆盖率和移动性。对于低频用户，可以使用载波聚合技术扩大带宽。低频非常适合互动通信和大规模机械类通信（mMTC）。低频频谱也很适合室内穿透。

频谱特许

下面，我们来看以下三种频谱分配方法：

- » **非特许频谱：** LTE-U、LAA、eLAA、Wi-Fi、蓝牙、C-V2X、DSRC、CBRS
- » **特许频谱：** 拍卖的已清理频谱
- » **共享频谱：** 需要授权才能共享接入的频谱

可用的非特许频谱数量很大，远超特许频谱。目前，非特许频谱主要用于Wi-Fi、点对点通信、传送或回传、读表及自动化。另外，国际上的非特许频谱还被预留给工业、科学和医疗应用。全世界的特许频谱都由原产国进行管理和管制；例如，美国联邦通信委员会（FCC）管理着美国的频谱。

非特许频谱的频带通常是共享频带。但是，为确保共享秩序，非特许频谱的使用存在一定限制。所有非特许频谱的用户都必须遵守相关规范，这些规范限制了允许的传输功率、辐射方向图、工作周期及接入程序，并确保在服务全体用户的同时减少干扰。共享5 GHz非特许频带的LAA和Wi-Fi就是其中一个例子。

动态频谱共享

频谱共享是向5G SA迁移过程中的一个重要组成部分。动态频谱共享技术是促使移动网络运营商快速启用5G的“催化剂”。有了动态频谱共享技术，承运商能够在当前4G LTE使用的频带内启用5G。动态频谱技术让现有的LTE运营商能够同时运营5G NR和LTE。有了动态频谱共享技术，运营商不必为4G LTE或5G分割频谱，而是可以在这两种技术之间共享频谱。这让运营商能够智能化地、灵活地、快速地在现有4G网络范围内推出和增加5G。动态频谱共享技术让5G和4G LTE能够同时在同一频带运行，它是一项改变游戏规则的技术。

- » 深入了解5G NR
- » 探索射频前端技术的不同

第4章

探索5G射频技术

5 G NR植根于4G LTE（长期演进）和Wi-Fi标准，是一种全新的射频接口与射频接入网络。（“NR”，即“New Radio”，中文翻译为“新空口”或“新射频”。）5G NR将成为5G通信系统的关键赋能技术。5G NR利用当前最佳的技术和手段，满足各标准化组织提出的5G要求。

本章将讲解5G NR的部分技术方面，以便您能理解那些背后的技术。另外，本章还将介绍射频前端（RFFE，5G网络的一个重要组成部分）背后的一些特征和技术。

深入了解5G NR

现在，您可能对5G已有基本认识，下面让我们再深入一些，了解5G的支持技术。5G的骨干技术如下：

- » 频谱技术（参见第3章）
- » 动态频谱共享技术（同样参见第3章）

- » 扩展正交频分复用技术（OFDM），一种将更多数字数据编码到多个载波频率的方法
- » 多入多出技术（MIMO），其中包括同时利用多个天线的技术，以提高数据速度和减少误差
- » 波束赋形技术，将来自多个天线的射频信号合并成一个指向特定设备或接收器的强信号
- » 小蜂窝技术或网络密致化技术，将多个蜂窝站点密集放置，以提高可用容量

另外，这些技术还将显著强化现有的4G LTE网络，提高网络灵活性、伸缩性和效率。其中部分技术（例如：动态频谱共享）已在前几章讲解。其他几项技术对您来讲也许是全新的。我们将在以下各节分别讲解。

频谱与动态频谱共享

我们在第3章提到，为满足增强型移动宽带（eMBB）的需求（例如：1 Gbps或以上的数据率速度，以及采纳用户设备所需的数据率），频谱与动态频谱共享是两项必需的技术。

相对于4G LTE，5G显著提高了数据率。不过，5G的大部分优势都源于新的5G频带所获得的带宽增强（如图4-1所示）。只有少部分数据吞吐量的提高是因为实施了5G NR技术。如您所见，频谱的增加给下行链路的数据率带来指数级增长，而载波聚合与5G NR技术升级仅贡献19%的增长。

频分复用（OFDM）

在5G NR开发过程中，第一步是为5G NR设计物理层，其中波形是一个核心技术组成。在审查多个提案后，3GPP选择扩展使用频分复用技术，同时在上行链路和下行链路为5G添加循环前缀频分复用（CP-OFDM）波型。

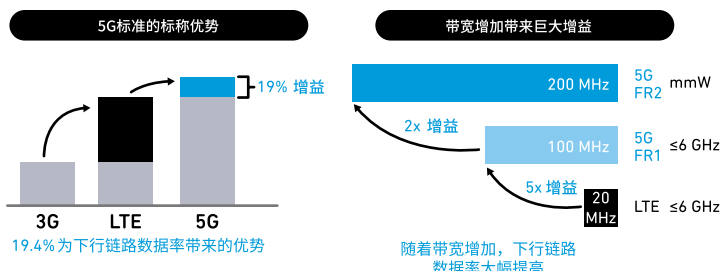


图4-1：4G LTE与5G NR下载链路数据完善情况比较。

CP-OFDM技术利用多个平行窄带子载波来传输信息，而不使用单个宽带载波。该技术定义充分，已在4G LTE下行链路和Wi-Fi通信标准成功实施，因此也适合用于5G NR设计。

不过，5G NR上行链路还提供了一种不同的波形格式，这种波形格式类似4G LTE上行链路使用的波形模式——离散傅立叶变换扩频正交频复用（DFT-S-OFDM）波形。DFT-S-OFDM波形是一种4G采用的波形，结合了循环前缀正交频复用和低峰均比（PAPR）的优点。DFT-S-OFDM波形对上行链路有帮助，对于高功率的2级功率应用或者当用户设备位于基站蜂窝的边缘位置，远离信号塔时，DFT-S-OFDM可能是首选波形。

在灵活性上，5G NR提供的子载波间隔方案还超越了LTE提供的固定15 kHz子载波间隔。5G NR提供的子载波间隔包括FR2，最大间隔达到240 kHz。灵活的载波间隔可用于适当支持5G NR所需的多元化频带、频谱类型及部署模式。

DFT-S-OFDM非常类似于LTE上行链路使用的单频分复用接入（SCFDMA），CP-OFDM非常类似于LTE下行链路使用的正交频复用接入（OFDMA）。3GPP之所以选择CP-OFDM，原因如下：

- » CP-OFDM能够面向复杂程度较低接收器延展。
- » 在一些最重要的5G性能指标上（例如：与多天线的兼容性），CP-OFDM排名最高。
- » CP-OFDM的时域控制良好，这一点对于低延时关键应用和时分双工（TDD）部署具有重要意义。

- » 与其他波形相比，CP-OFDM对于相位噪声和多普勒效应（频率变化与波长变化）的耐受性更强。
- » CP-OFDM在MIMO空间复用上的效率更高，这相当于提高了频谱效率。
- » 在大规范部署条件下，CP-OFDM非常适合上行链路传输。

5G MIMO与大规模MIMO

大规模MIMO技术是MIMO技术的扩展。MIMO技术有效地、重复地利用同一带宽，以便传输更多数据，实现对频谱更加高效的利用。

今天许多LTE MIMO基站都最多由八根天线组成，接收器上有一到二根天线。这使得基站能够同时向8名用户分别发送8条数据流；如果合二为一，则能够同时向4名用户分别发送2条数据流。

随着4G向大规模MIMO的转移，天线数量出现指数增长——多达16根、32根、64根、128根，甚至更多。这些天线的集合被称为“天线阵列系统”（AAS）。这有助于通过波束赋形技术，将能量集中到较小的空间区域（参见下节），以极大改善吞吐量和辐射能量效率。

大规模MIMO有助于：

- » 防止在非理想方向上传输数据，减轻干涉
- » 减少延时，从而提高速度和可靠性
- » 减少通知和连接的衰落与掉线
- » 同时服务大规模用户群
- » 推出二维波束赋形

大规模MIMO不仅能够增加蜂窝容量和蜂窝效率，还能利用锐利天线波束方向图（由多个天线元素组成）平行发送和接收射频信号。在采用大规模MIMO技术的基站，每条数据流都有独特的辐射方向图，因此不会相互干涉。每条数据流的信号强度都按照目标用户设备的方向传送；在其他用户设备的方向，信号强度则被减少，以降低干涉。

波束赋形

波束赋形技术对天线阵列中的单根天线的量级和相位进行适当加权，利用多根天线来控制波形的传送方向，为5G带来显著优势。由于波束赋形技术是大规模MIMO系统使用的一项技术，因此有时“波束赋形”与“大规模MIMO”这两个术语可以互换使用。

波束赋形技术被用于毫米波频谱，基本频率在24 GHz以上。该频谱使用的是200至400 MHz的宽信道带宽，因此提供了超高的数据传输速度。承运商将使用该技术部署5G固定无线接入服务（FWA），作为“最后一英里”连接解决方案，为家庭和企业提供高速连接。

固定无线接入毫米波有一个缺点：雨、植物或建筑物等，都可能造成毫米波信号衰减（即：信号强度损失）。在这些情况下，有时候难以保持用户设备处于视距范围，因此会造成信号延迟、衰减以及到达信号发生变化。不过，波束赋形技术有助于减少这些负面效果，如图4-2所示。通过利用大规模MIMO和波束赋形技术带来的多条路径，即使在视距受限的情况下，也可以对天线元素与用户设备之间的空间信道进行定性及数字化编码和解码，从而有助于减少信号损失。

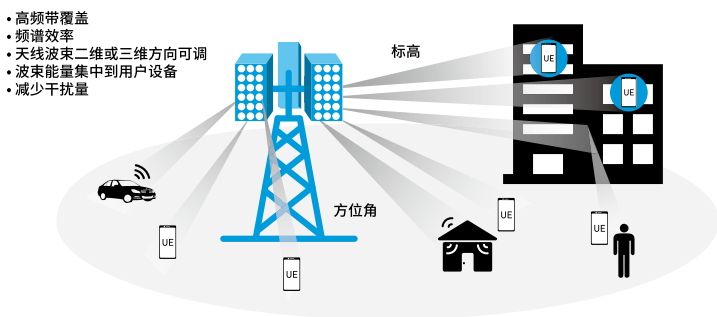


图4-2：大规模MIMO与波束赋形。

图4-2所示的大规模MIMO波束赋形基站技术被部署在城镇等人口稠密地区。

网络密致化

今天，无线基础设施网络包含众多元素，有大蜂窝基站、地铁蜂窝基站，还有室内外分布式天线系统和小蜂窝基站。这些元素在异质网络（HetNet）环境下共同工作，如图4-3所示。

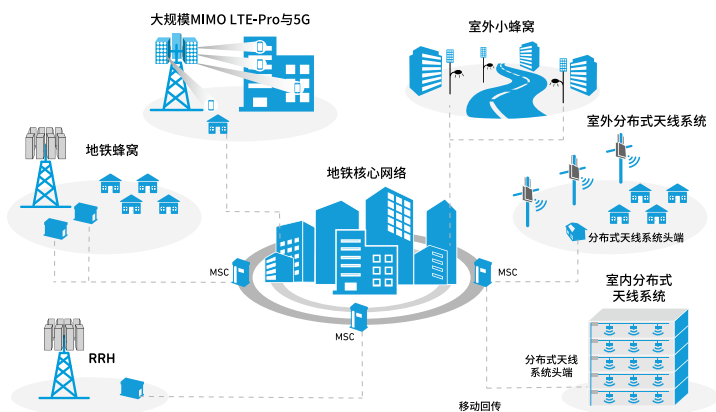


图4-3：无线基础设施异质网络与小蜂窝基站集成。

所谓“密致化”，是一种通过增强蜂窝站点，提高可用蜂窝容量的技术。这种蜂窝可以是微蜂窝或小蜂窝，以应对网络容量紧张的区域。另外，这些蜂窝还可以分担周边大基站和微基站的通信流量。

小蜂窝基站是一种将蜂窝基站拆分成更小型群组的迷你基站。另外，还可根据覆盖面积的大小，细分为皮蜂窝基站、微蜂窝基站和飞蜂窝基站，并且这些基站既可以设在室内，也可以设在室外（参见表4-1）。

表4-1

基站类型

蜂窝类型	输出功率 (W)	蜂窝半径 (km)	用户	位置
飞蜂窝	0.001 - 0.25	0.01 - 0.1	1-30	室内
皮蜂窝	0.25 - 1	0.1 - 0.2	30 - 100	室内外
微蜂窝	1 - 10	0.2 - 2.0	100 - 2,000	室内外
大蜂窝	10至50以上	8 - 30	2,000以上	室外

微蜂窝基站与小蜂窝基站之间存在重要区别。微蜂窝基站有一条大型数据管道通向网络。小蜂窝基站则将这条管道拆分成覆盖一定区域的多条小型管道。小蜂窝基站的主要目标是提高大蜂窝基站的边缘数据容量或者覆盖大蜂窝不能覆盖的区域（覆盖不良），最终目标是完善数据、速度和网络效率。图4-4所示为小蜂窝集成网络。

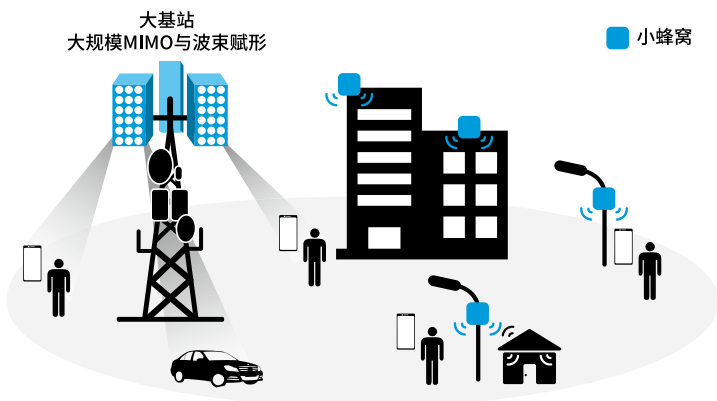


图4-4：小蜂窝集成网络。

小蜂窝：

- » 提高数据容量，尤其是高端购物区或城市中心区等高度稠密的区域。

- » 消除了高成本的屋顶系统和设备或租用成本。
- » 提高了手机性能。

在讨论密致化与小蜂窝基站时，我们需要考虑到物联网——物联网设备使用多种无线技术进行连接。小蜂窝基站的实施以及众多设备的互联，将构成大规模、超可靠、低延时机械类通信（MTC）的一个关键方面。物联网的传输类型大致分为以下四种：

- » 有线传输
- » 中短距离无线传输（从蓝牙到网状网络Wi-Fi、ZigBee）
- » 长距离无线传输（4GLTE和5G蜂窝），低功率广域网（LPWAN）
- » 卫星传输

5G将可实现大规模物联网，大规模物联网能够支持数百亿个设备、物品和机器，并且这些设备都需要连接无处不在。这些设备可以是移动设备、漫游设备，还可以是固定设备。

5G NR频谱载波聚合

“载波聚合”是一种将两个以上载波合并成一条数据信道，以增加数据容量的技术。通过利用现有网络频谱，载波聚合技术让运营商能够提供更高的上行链路和下行链路数据率，因此能够提高网络性能和确保高质量用户体验。载波聚合为4G提高用户数据吞吐量做出重要贡献，并且还将在5G起到同样重要的作用。为了增加容量，全球运营商都在积极地添加载波聚合频带和功能（例如：MIMO），如表4-2所示。

我们在第1章提到，相关命名惯例因为5G频带而发生改变。5G命名重新加入字母“*n*”（即：n77或n78），用以指代“New Radio”（即：新空口）；而4G命名则使用字母“*B*”指代“频带”。5G NR使用的LTE频带仍将使用相同的频带编号，只是增加了*n*标识符。

表4-2

全球载波聚合频带与功能

地区	频带	载波聚合类型与功能
欧洲	B1、B3、B7、B8、B20、B28、B32、B38、B40	5CC_CA、UL 2CC_CA、4x4 MIMO
中国	B1、B3、B5、B8、B34、B39、B40、B41	5CC_CA、UL 2CC_CA、4x4 MIMO
韩国	B1、B3、B5、B7、B8	5CC_CA、UL 2CC_CA、4x4 MIMO
日本	B1、B3、B11、B18、B19、B21、B26、B28、B41、B42	5CC_CA、UL 2CC_CA、4x4 MIMO
澳大利亚	B1、B3、B5、B7、B8、B28、B40	5CC_CA、UL 2CC_CA、4x4 MIMO
美国	B2/25、B4/66、B5、B7/B12、B13、B14、B26、B30、B41、B46、B48、B70、B71	5CC+_CA、UL 2CC_CA、4x4 MIMO、LAA、HPUE

5G 载波聚合将提供带有非对称上下载功能的多重连接能力，并且在毫米波频率提供高达700 MHz的信道带宽。在7 GHz以下频带，可以利用4条100 Mhz信道，实现400 MHz瞬时带宽。

在频分双工（FDD）或时分双工（TDD）条件下，每条分量载波能够获得1.4 Mhz、3 Mhz、5 Mhz、10 Mhz、15 MHz或20 MHz带宽。因此，如果有5条20 MHz分量载波，那么利用载波聚合，最高可以实现100 MHz带宽。在时分双工条件下，分量载波的带宽和数量必须在上下行链路保持相同。4G LTE-Advanced Pro能够提供最高100 MHz带宽，支持32条分量载波，因此最高带宽可以达到640 MHz。在5G NR条件下，还有另外一个载波聚合方案，该方案被称为“双重连接”，该方案能够聚合4G LTE和5G NR频带。



小贴士

想要更多了解载波聚合技术，请参阅《载波聚合技术*For Dummies*, Qorvo专版》，网址：www.qorvo.com/design-hub/ebooks/carrier-aggregation-for-dummies。

探索射频前端技术的不同

5G愿景的真正实现，还需要更多创新。网络基站和用户设备（例如：手机）变得越来越纤薄和小巧，能耗也变得越来越低。为了适合小尺寸设备，许多射频应用所使用的印刷电路板（PCB）也在不断减小尺寸。因此，射频应用供应商必须开发新的封装技术，尽量减小射频组件的占位面积。再进一步，部分供应商开始开发系统级封装办法（SiP），以减少射频组件的数量——尽管这种办法将会增加封装成本。

系统级封装办法正在被用于射频前端，而射频前端包含基站与天线中间的所有组件。

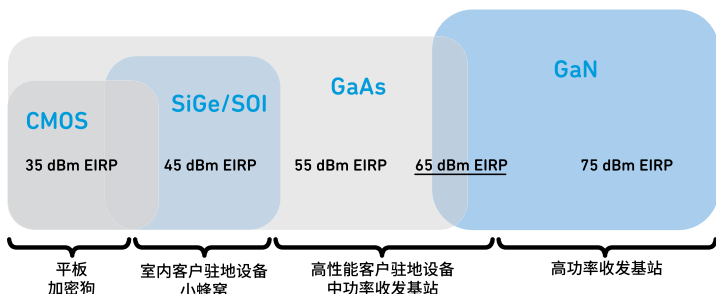
一个典型的射频前端由开关、滤波器、放大器及调谐组件组成。这些技术设备的尺寸不断减小，并且相互集成度不断加大。结果，在手机、小蜂窝、天线阵列系统、Wi-Fi等5G应用中，射频前端正在变成一个复杂的、高度集成的系统封包。

不管怎样，5G愿景的实现都需要射频技术和封装技术的颠覆性创新。

氮化镓技术

氮化镓（GaN）是一种二进制III/V族带隙半导体，非常适合用于高功率、耐高温晶体管。氮化镓功率放大器技术的5G通信潜力才刚刚显现。氮化镓具有高射频功率、低直流功耗、小尺寸及高可靠性等优势，让设备制造商能够减小基站体积。反过来，这又有助于减少5G基站信号塔上安装的天线阵列系统的重量，因此可以降低安装成本。另外，氮化镓还能在各种毫米波频率上，轻松支持高吞吐量和宽带宽。

氮化镓技术最适合实现高有效等向辐射基站功率（EIRP），如图4-5所示。美国联邦通信委员会定义了非常高的EIRP限值，规定对于28GHz和39GHz频带，每100MHz带宽需要达到75 dBm功率。因此带来了哪些挑战？相关设备的搭建既要满足这些目标，又要将成本、尺寸、重量和功率等保持在移动网络运营商的预算范围内。氮化镓技术是关键；相比于其他技术，氮化镓技术在达到以上高EIRP值时，使用的元件更少，并且输出功率更高。



高EIRP值促使客户转向III-V族氮化镓

图4-5：半导体技术与EIRP需求的适应性比较。

对于高功率基站应用，相比于锗硅（SiGe）或硅（Si）等其他功率放大器技术，在相同EIRP目标值下，氮化镓技术的总功率耗散更低，如图4-6所示。氮化镓减少了整体系统的重量和复杂性，同时还仍保持较低功耗，因此更适合塔上安装系统的设计。

氮化镓技术的部分重要属性：

- 可靠性与结实性：**氮化镓的功率效率更高，因此降低了热量输出。氮化镓的带隙宽，能够耐受更高的工作温度，因此可以减少紧凑区域的冷却需求。由于氮化镓能够在塔上应用（例如：天线阵列系统）的高温条件下工作，因此可以不需要冷却风扇，以及/或者可以减少散热器的体积。历史上，冷却风扇由于

其机械性质，一直是造成外场故障的首要原因。大型散热器不仅硬件本身构成重大成本，并且由于重量原因，还可能带来额外的人力成本。使用氮化镓可以让人们不再使用这些高成本的散热办法。

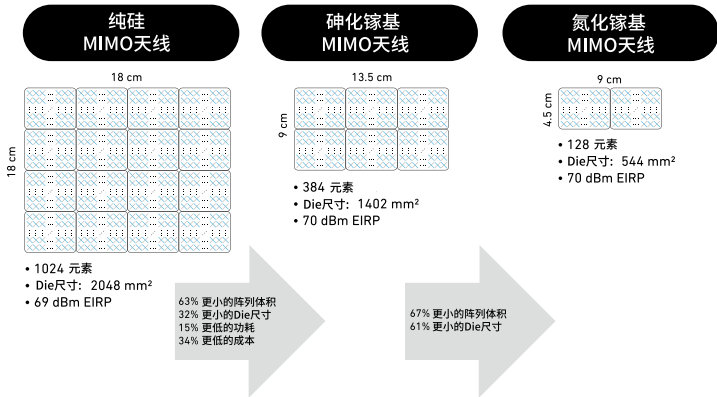


图4-6：氮化镓减少了基站设计的复杂性，降低了成本。

- » **低电流消耗：**氮化镓降低了工作成本，产生的热量也更少。另外，低电流还有助于减少系统功耗和降低电源需求。再者，由于功耗降低，服务提供商也减少了运营支出。
- » **功率能力：**相比于其他半导体技术，氮化镓设备提供更高的输出功率。市场的发展趋势以及对于基站高功率输出的需求，更加有利于氮化镓技术的发展。
- » **频率带宽：**氮化镓拥有高阻抗和低栅极电容，能够实现更大的工作带宽和更高的数据传输速度。另外，氮化镓技术还在3 GHz以上拥有良好的射频性能，其他技术（例如：硅）在这个频率范围的性能却不佳。今天氮化镓模块和功率放大器提供的宽带性能，能够支持5G前所未有的带宽需求。

» **集成**：5G需要体积更小的解决方案，这促使供应商将大规模、包含多个技术的离散式射频前端，替换成单体式全面集成解决方案。氮化镓制造商开始抓住这个潮流，开发那些能够将收发链条整合到单一封装的全面集成解决方案。这进一步减少了系统的体积、重量和上市时间。



小贴士

想要更多了解氮化镓技术，请参阅《氮化镓技术For Dummies, Qorvo 专版》，网址：www.qorvo.com/design-hub/ebooks/gan-for-dummies。

体声波滤波器技术

由于新增频带和载波聚合，再加上蜂窝通信必须与许多其他无线标准共存的事实，干扰问题比以往更加严重。要减少频带与标准之间的干扰，滤波器技术是关键。

表面声波滤波器和体声波滤波器具有占位面积小、性能优异、经济适用等优势，在移动设备滤波器市场上居于主导地位。



小贴士

想要更多了解滤波器技术，请参阅《滤波器技术For Dummies, Qorvo 专版》，网址：www.qorvo.com/design-hub/ebooks/filters-for-dummies。

体声波滤波器最适合1 GHz至6 GHz的频段，表面声波滤波器最适合1 GHz以下的频段。因此，体声波的5G“甜蜜点”是低于7 GHz的频段。

体声波和表面声波能够减少LTE、Wi-Fi、自动通信以及新的7 GHz以下5G频率的干涉，同时又能满足制造商严格的体积和性能标准。

对于智能手机设计者，5G的推出对于电池寿命和主板空间又是一个挑战。随着每代产品推陈出新，集成的压力和缩小体积的压力不断增加。在较高频率下工作，意味着功率放大器效率降低，同时天线和线路的损耗增加。另外，5G手机还需要增加射频开关，因此带来更多链路预算损失。（所谓“链路预算”，是指在电信系统中，从发送器经由电缆、走线等直至接收器，在这一过程中产生的所有增益与损失的总和。）

不出意外，从4G到5G，手机里安装的滤波器数量急剧增加，如图4-7所示。载波聚合是滤波器数量增加的主要促成因素。随着全球载波聚合以及手机中标准和频带的数量越来越多，滤波器技术方兴未艾。另外，在载波聚合以及手机性能优化需求的驱使下，滤波器的复杂性也在增加。

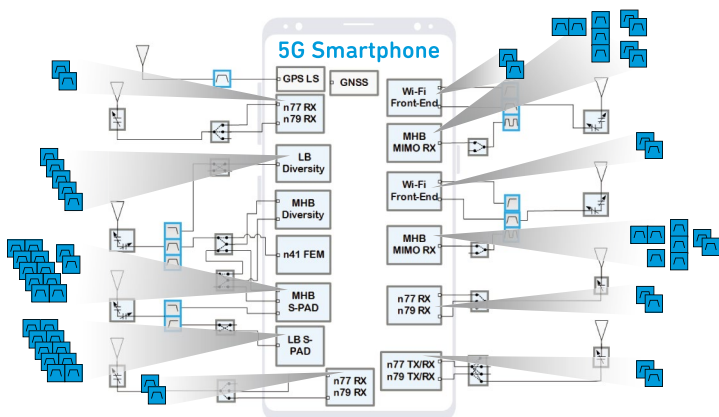


图4-7：智能手机与集成滤波器技术。

体声波技术的一项优势就是散热，如图4-8所示。如前所述，放大器功率的增加导致热量的增加。如果为补偿系统功率损耗或信号范围问题而增加放大器的功率，则发送滤波器产生的热量也将增加。该热量对滤波器的性能和工作寿命都有不利影响，并且会在衰减区域和传输频带造成频率偏移。体声波技术有助于减轻这一问题，因为SMR体声波滤波器

(BAW-SMR) 产生垂直热通量，有助于将热量导离设备。在高频率下，反射器层变得更薄，这更加有助于体声波谐振器的散热。

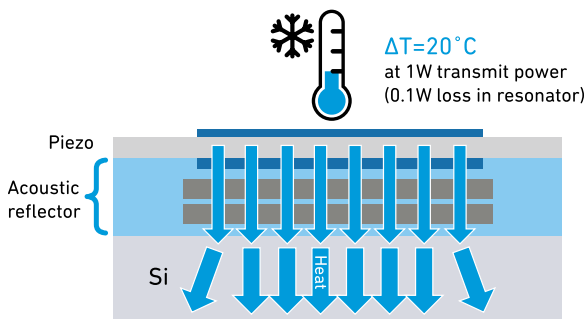


图4-8：SMR BAW滤波器功率处置方式。

射频技术、封装及设计

射频前端由多个半导体技术设备组成。众多的5G应用需要五花八门的处理技术、设计技巧、集成办法和封装办法，以满足各个独特用例的需求。

对于5G的7GHz以下频段，相应的射频前端解决方案需要创新封装办法，例如，提高组件排列的紧凑度；缩短组件之间的导线长度，以尽量减少损耗；采用双面安装；划区屏蔽；以及使用更高质量的表面安装技术组件等。



小贴士

想要更多了解5G相关射频技术，请参阅Qorvo Design Hub提供的电子书、博客、白皮书、文章、视频等，网址：www.qorvo.com/design-hub。

所有5G用例都需要射频前端技术。根据射频功能、频带、功率等级等性能要求，射频半导体技术的选择不尽相同。如图4-9所示，每个射频功能和应用分别对应多个半导体技术。

这些应用需要五花八门的处理技术、设计技巧、集成办法和封装办法，以满足各个独特用例的特定需求。

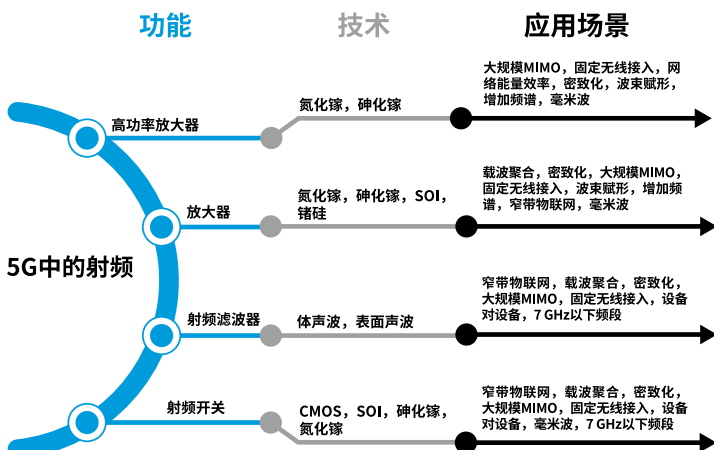


图4-9: 5G射频通信技术。

第5章

5G未来发展道路上的十大里程碑

想要知道5G的未来？未来几年将出现许多变化，其中一个原因就是技术仍在不断完善，另一个原因是人们对互联网和其他网络的利用方式不断变化。以下就是您能够期待的5G未来发展十大里程碑。

FR2 5G毫米波

您从前几章已经看到，运营商和电话制造商正在通过毫米波技术加速发展5G。FR2高频毫米波带（高于24 Ghz）不仅将扩大网络容量，还将增加无线用例，理论上5G传输速度将高达每秒10吉比特。由于毫米波带的传输距离远低于低频带，因此提供商们需要推出更多短距离蜂窝站点，以防止覆盖面上的缺口。

蜂窝物联网

2018年，爱立信公司报称，物联网设备的连接数量已超过手机连接数量。但这还只是冰山一角——爱立信公司预测到2023年，物联网连接数量将达到35亿个。物联网的普及和增长主要得益于行业专业化程度的提高，以及3GPP组织对蜂窝物联网技术的标准化。蜂窝网络几乎无处不覆盖，并且能够提供大部分最苛刻的物联网应用所需要的、无与伦比的可靠性、安全性及性能。

网络密致化

所谓“网络密致化”，是指网络变得越来越稠密——换句话说讲，网络在一个给定区域内支持的用户和设备越来越多。网络用例逐年增多，并且随着自动驾驶汽车、网络化医疗及增强型移动宽带等未来用例的出现，网络密致化将呈现爆炸式增长。

为应对使用量的突发增长，高使用率地区的运营商们开始减少信号塔，转而部署小型蜂窝和其他集成射频天线单元，然后再连接到中央化基带资源。这种配置方式能够帮助提供商在使用量激增的情况下，继续满足5G对容量、数据率和连接性的需求。

大规模MIMO与天线阵列系统

大规模MIMO与天线阵列系统对于5G移动网络的大规模部署具有十分重要的意义。大规模MIMO和天线阵列系统大幅增加基站天线数量，增强上行链路和下行链路的性能，在遗产系统基础上进一步扩展了容量和数据率。天线阵列系统利用MIMO和波束赋形技术，提升最终用户的体验以及网络容量和覆盖率。

频谱集合

5G必须能够支持大幅提高的移动宽带速度和较低延时。因此，需要更多频谱。在FR1和FR2频段范围内，新增的5G频谱将能提供大范围覆盖并且支持所有用例。关于FR1和FR2频段的更多信息，参见第1章。

车联万物通信

车联万物（V2X）通信是一个综合概念，既是指车对车（V2V）通信，也是指车对基础设施（V2I）通信。车联万物通信一经实施，它将能够实现车辆与周围环境之间的数据交换。

车联万物通信通过提供交通拥堵警告消息来提高交通效率，确保驾驶员/车辆的安全，还能通过自适应巡航控制技术和智能化交通管理来减少二氧化碳排放。



小贴士

想要更多了解车辆万物通信，请参阅《网联汽车ForDummies，Qorvo 专版》，网址：www.qorvo.com/design-hub/ebooks/connected-car-for-dummies。

工业4.0与制造业

无论是企业还是整个行业，都在面临持续不断的压力，他们需要完善质量、提升工厂效率、保持竞争力、增强安全性、完善安全措施、削减制造成本，同时还要保持利润能力。工业4.0将显著转变商品的生产 and 交付方式。（想要更多了解工业4.0，请参阅第2章。）工业4.0将促使工业向着智能化生产和灵活制造的方向发展。

无处不在的物联网

无论是对于消费者还是对于商业企业，物联网都越来越普及，从家用电器和安保系统，到工业机器人和街边路灯，物联网无处不在。近年来，云计算、人工智能、增强现实和安全保障进一步加快了物联网生态系统的发展。

物联网3GPP标准同时包含大规模物联网通信和超可靠低延时关键通信。今天5G网络将在4G LTE网络基础上部署，其中包括窄带物联网（NB-IoT）。物联网将继续演进并且与5G无缝兼容，最终将建成大规模物联网，在一个网联世界里，物联网设备的数量将以数十亿计。

医疗行业与远程医疗

蜂窝运营商已跳上远程医疗的列车，他们正在帮助医疗行业提高网联程度，以传送实时数据。

5G通过提供额外的带宽和连接性，扩展了远程医疗和远程家庭监控等技术的大范围应用的可能性。对于农村居民，医生远在数英里之外，带病远途求医是个难题。有了远程医疗和远程家庭监控，患者可以舒服地呆在家里接受救治。医护人员可以通过视频电话见到患者，在不用亲自出诊的情况下，提供基础护理或开出药方。

增强现实与虚拟现实

未来的增强现实和虚拟现实技术都将依靠5G。这两项前沿技术将虚拟数据叠加到现实世界，让计算机能够生成3D模拟图像或3D环境。

通过借助5G的速度和带宽，增强现实和虚拟现实技术将能为企业、城市、教育行业、零售行业、制造行业及医疗行业实现新的功能。例如，智能眼镜能够利用增强现实技术和混合现实技术（增强现实与现实生活的混合），为机修人员提供远程帮助。

另外，增强现实技术在零售行业也有巨大潜力，能够为零售企业提供新的客户互动方式。例如，增强现实技术能够让顾客看到自己考虑购买的商品（例如：台灯或沙发）在自己家里的样子。