



[ericsson.com/
mobility-report](http://ericsson.com/mobility-report)

爱立信 移动市场 报告

2021年6月

发行人致辞

5G进入大众市场，普及加速

新冠疫情带来的全球危机已经有18个多月，数十亿人的生活、工作和出行都受到了影响。虽然世界各国目前处于应对疫情的不同阶段，但显而易见，技术（特别是连接）在支持我们日常生活方面发挥着日益重要的作用。

本期《爱立信移动市场报告》(Ericsson Mobility Report) 揭示的数据令人惊叹，再次证明了我们这个行业的坚韧不拔和勤勉敬业。5G的普及速度远远高于4G，更不用说3G，彰显了业界变革求新、不断为市场带来新技术的不倦精神。

迄今为止，已有160多家通信运营商推出了5G业务，超过300款5G智能手机已经发布或投入商用。到今年年底，全球5G用户将突破5亿大关。

然而，从区域层面来看，各地区之间存在差异，显然，在某些地区，5G的部署和大规模普及需要更长的时间。不过，无论是4G还是5G，用户对优质高速连接的需求是永无止境的。70%以上的运营商都在提供固定无线接入 (FWA) 服务，正是这一需求的体现。

随着各国纷纷计划在新冠疫情后恢复到正常的状态，作为经济复苏的一个关键所在，保障和投资优质数字基础设施成为重要的考量。好消息是，行业为此已经厉兵秣马，倍道兼程。

希望这份报告对您而言既有趣又实用！

发行人

Fredrik Jejdling

爱立信全球执行副总裁兼网络业务部总经理

重要贡献者

执行编辑： Patrik Cerwall
 项目经理： Anette Lundvall
 编辑： Peter Jonsson, Stephen Carson
 预测分析： Richard Möller
 文章作者： Peter Jonsson, Stephen Carson, Steven Davis, Peter Linder, Per Lindberg, Juan Ramiro, Jose Outes, Amit Bhardwaj, Claudia Muñoz Garcia, Harald Baur, Jake Alger, Todd Krautkremer, Rohit Chandra, Tomas Lundborg, Brahim Belaoucha, Fredrik Burstedt, Courtney Latta, Robert McCrorey
 文章合著者： Karri Kuoppamaki (T-Mobile)

目录

预测

04	移动签约用户纷纷转向5G
06	5G到2026年将渗透到每个地区
08	5G商用拉动固定无线接入服务
10	5G终端持续受到消费者青睐
11	宽带物联网将超越2G和3G
12	移动网络流量稳定增长
13	智能手机和视频推动移动数据流量增长
15	5G网络覆盖增速超过4G
16	海合会国家一瞥

文章

18	T-Mobile奉行多频段5G频谱策略
22	在无线广域网基础上构建企业5G
26	人工智能：在复杂的5G网络环境中增强用户体验
29	5G室内覆盖规划：从依靠经验到利用统计数据和人工智能
32	方法
33	术语表
34	全球和区域关键数据

本文档的内容基于大量理论条件和假设，爱立信对于本文中的任何陈述、说明、承诺或疏漏不承担任何责任和义务。爱立信可随时自行更改本文的内容，且对更改的后果不承担任何责任。

5.8亿

第4页

到2021年底, 5G签约用户将达到5.8亿左右。

70%

第8页

目前, 超过70%的运营商都在提供固定无线接入服务。

46%

第11页

大规模物联网技术正在蓬勃发展, 预计将占到蜂窝物联网连接总数的46%。



第18页

通过在3个频段部署5G, T-Mobile可利用全部基站达到广泛覆盖。



第22页

从零售到紧急服务, 无线广域网(WWAN)领域日益受到寻求创新性和敏捷性边缘应用的企业的关注。



第26页

强化学习使网络能够不断学习, 并优化客户体验——这已在两个现网中得到验证。



第29页

统计和无督导学习(人工智能/机器学习的一个分支)提供了更精确地估算室内/室外移动流量比例的方法。

移动签约用户纷纷 转向5G

到2021年底，5G签约用户预计将达到5.8亿。

尽管新冠疫情带来了不确定性，但运营商仍在继续部署5G，已有160多家运营商推出了商用5G服务¹。

今年第一季度，持有5G设备的5G签约用户增加了7000万，共计约2.9亿。我们估计，到2021年底，5G签约用户数将接近5.8亿²。目前，东北亚的5G用户渗透率最高，其次是北美、海湾合作委员会（简称海合会，Gulf Cooperation Council）国家和西欧。预计到2026年，北美地区的5G签约用户比例将达到84%，居所有地区之首。

5G签约用户数的增长速度预计将明显快于2009年4G（LTE）上市后的增长速度。

5G签约用户预计将比4G早2年达到10亿。这主要是因为与4G相比，中国更早地参与5G业务，并且有数家供应商更及时地推出了5G终端。我们预测到2026年底，全球5G签约用户将达到35亿，大约占到当时移动签约用户总数的40%。

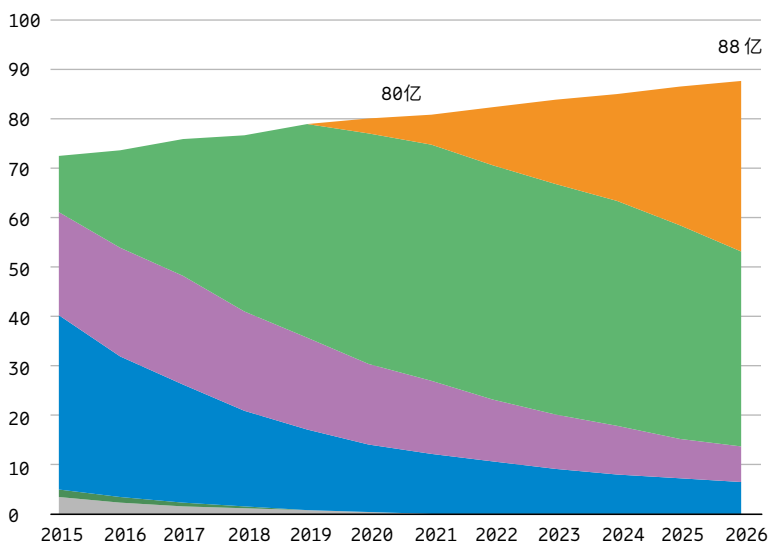
在本预测期内，以签约用户数计算，4G仍将是主流移动接入技术。在2021年第1季度，4G签约用户增加了约1亿，总数超过了46亿，占到移动签约用户总数的58%。预计今年将达到48亿的峰值，但随着越来越多的用户向5G迁移，到2026年底，这一数字将下降至39亿左右。

2021年第一季度，移动签约用户净增5900万人，数量较少。这可能是由于新冠疫情和相关的封锁限制所致。印度净新增用户最多（+2600万），其次是中国（+600万）和尼日利亚（+300万）。

服务套餐发展趋势

运营商不断地调整其服务套餐以适应消费者的各种需求。除了大幅提高数据传输速度外，5G套餐流量通常都很大，甚至不限流量。随着使用率的提高，运营商也加入了一些限制（尽管是软限制），作为增加变现的一种手段。目前对于不限流量套餐提出了每日限额，用户可选择免费增加限额，每次增加几个GB。这只需用户每次发送一条简单的短信。

图1: 按技术划分的移动签约用户数 (亿)



35亿

2026年，预计将有35亿5G签约用户。

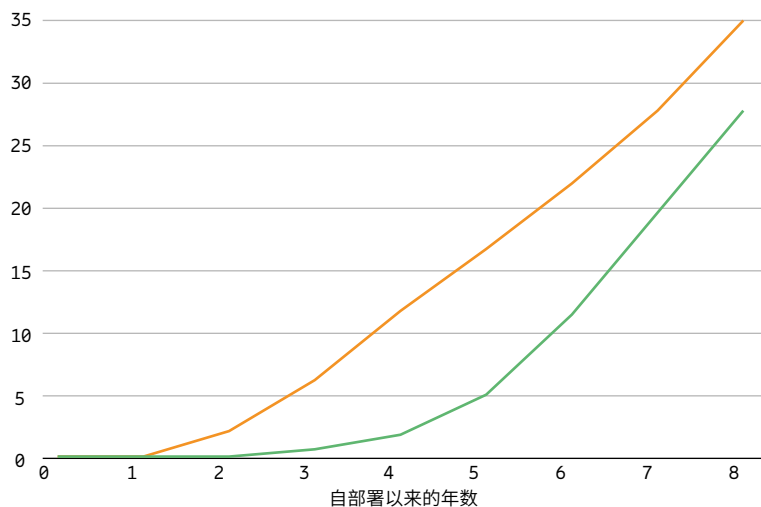
- 5G
- LTE (4G)
- WCDMA/HSPA (3G)
- 仅GSM/EDGE网络(2G)
- TD-SCDMA (3G)
- 仅CDMA网络(2G/3G)

注：此图中不包括物联网连接。但是包括固定无线接入（FWA）连接。

¹GSA (2021年4月)。

²根据3GPP第15版的规定，如果用户使用的终端支持新空口（NR）并且能够连接到5G网络，则将其计为5G签约用户。

图 2: 5G 和 4G 部署前几年的签约用户年增长率对比图 (亿)



5G 签约用户数的增长速度预计将快于 4G。

■ 5G (2018-2026)

■ 4G (2009-2017)

许多运营商制定了相关条款和条件，限制物联网设备使用这些套餐，又限制了家庭和共享套餐的使用量上限。基于服务的套餐（如音乐和视频套餐）在过去几年数量稳步增长。该领域的新增长是游戏套餐（gaming pass）。这些资费套餐作为常规套餐的附加服务出售，通过宣传 5G 和低延迟体验吸引了游戏玩家。针对这些套餐的定向流量，要么不限使用，要么限时或限量减免。

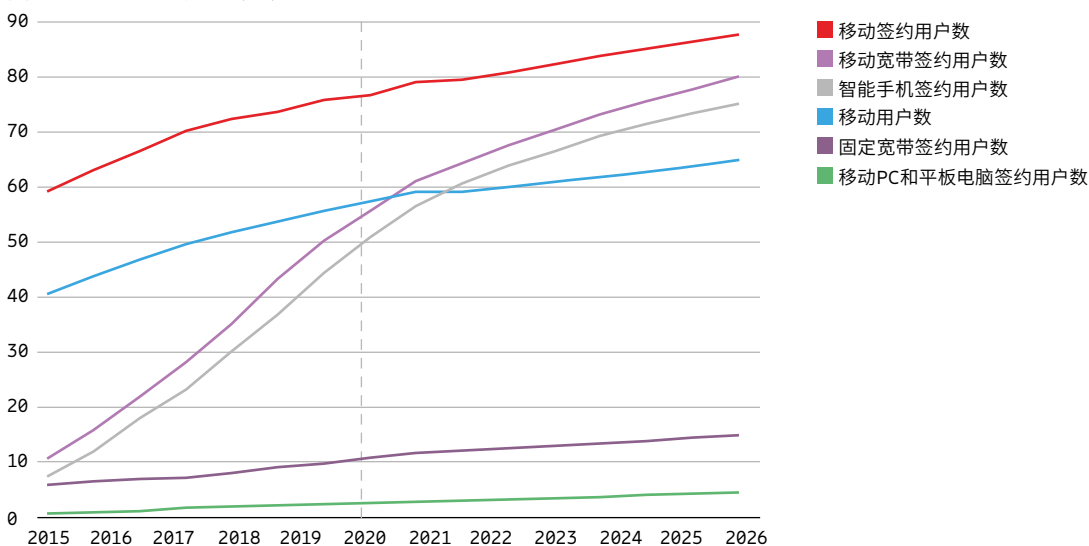
移动宽带签约用户日益增加

现在，移动签约用户数大约在 80 亿左右。我们预计到 2026 年底该数字将增长至 88 亿，其中 91% 是移动宽带签约用户。到本预测期结束时，移动用户数预计将从 2021 年第一季度的 59 亿增长到 65 亿。

智能手机的普及率不断提高，智能手机签约用户数占到了手机签约用户总数的 76%。

2020 年底，智能手机签约用户达到了 60 亿。预计到 2026 年，该数字将达到 77 亿，占到移动签约用户总数的 88%。预计从现在起直到 2026 年，固定宽带签约用户数有望实现 4% 的年增长³，固定无线接入的连接数将以每年 20% 左右的速度强劲增长。而移动 PC 和平板电脑的签约用户数量同期将保持适度增长，到 2026 年有望达到 4.5 亿。

图 3: 签约数和用户数 (亿)

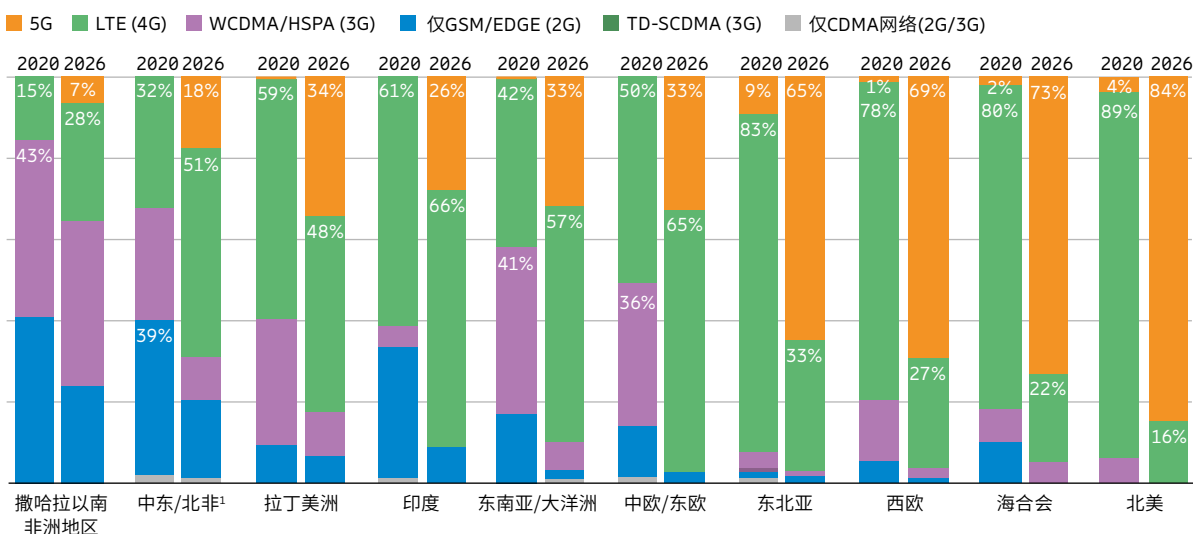


³由于家庭、企业和公共接入点往往都是多人使用，因此固定宽带用户数至少是固定宽带连接数的 3 倍。这与移动电话的情况恰恰相反，移动电话的签约用户数要多于它的实际用户数。

5G到2026年将渗透到每个地区

移动宽带签约用户数目前占移动签约用户总数的83%。

图4:按地区和技术划分的移动签约用户数 (百分比)



注:除5G外,图表中未显示签约用户数少于1%的技术。

撒哈拉以南非洲地区

在撒哈拉以南非洲地区,由于移动用户普及率低于全球平均水平,因此在本预测期内,移动用户将继续增长。2021年第一季度,全球净增签约用户的20%以上来自非洲,其中尼日利亚净增加额居全球第三位。截至2020年底,4G签约用户占到了签约用户总数的15%左右,在本预测期内,移动宽带²签约用户数预计将有所增加,占到移动签约用户总数的76%。虽然5G和4G的用户数量在未来6年内将继续增长,但到2026年,HSPA仍将是主导技术,份额为40%。移动宽带签约用户数增长趋势背后的推动因素包括年轻人数量的不断增加,他们掌握的数字技能与日俱增,以及智能手机价格的

下降等等。在本预测期内,预计5G签约用户数将在2022年开始明显增加,到2026年约占到移动签约用户总数的7%。

中东和北非

在中东和北非地区,截至2020年底,约32%的移动签约用户使用LTE。预计该地区在本预测期内将继续发展演进,到2026年,约有近80%的签约用户使用移动宽带,LTE将成为主导技术,其签约用户将占移动签约用户总数的50%以上。领先的运营商已经开始进行商用5G部署,到2020年底,5G签约用户数已超过了100万。预计2021年5G业务量将大幅增长,到2026年,该地区的5G签约用户数有望

达到1.5亿左右,约占移动签约用户总数的18%。

海湾合作委员会(GCC)

海湾合作委员会国家是中东和北非地区的一部分,也是全球最先进的信息技术市场之一——到2020年底,超过90%的移动签约用户使用的是移动宽带,预计到2026年这一比例将达到95%。4G是主导技术,截至2020年底,约占签约用户总数的80%。然而,随着5G普及在本预测期内进入快车道,预计2026年大部分移动签约用户将迁移到5G,5G签约用户将超过6200万,约占移动签约用户总数的73%。届时,海合会将成为5G普及率第二高的地区。

¹包括海合会国家。

²移动宽带包括 HSPA (3G)、LTE (4G)、5G、CDMA2000 EV-DO、TD-SCDMA 和 Mobile WiMAX 等无线接入技术。



拉丁美洲

在拉丁美洲，LTE在本预测期内仍是主流无线接入技术，签约用户数在2020年底约占到移动签约用户总数的59%，预计到2026年将降至48%。考虑到用户逐渐迁移到LTE和5G，我们将WCDMA/HSPA占比的估计值从30%大幅下调至11%。迄今为止，巴西和哥伦比亚已推出商用5G服务，阿根廷、智利和墨西哥等国也在投资和部署5G。到2026年底，5G将占到移动签约用户的34%。

印度

在印度地区，预计4G签约用户数将从2020年的6.8亿增加到2026年的8.3亿，年复合增长率(CAGR)为3%。4G在2020年仍是主导技术，其用户占到移动签约用户总数的61%。到2026年，4G将继续占主导地位，预计签约用户数将占到移动签约用户总数的66%，届时3G将逐步被淘汰。到2026年底，5G签约用户数预计将增加至3.3亿，占到印度移动签约用户总数的26%左右。

2020年，智能手机签约用户数已增至8.1亿，按7%的预计复合年增长率来计算，到2026年将达到12亿。智能手机签约用户在2020年占到移动签约用户总数的72%，预计到2026年将超过98%，这是由于智能手机在印度的迅速普及。

东南亚和大洋洲

该地区的移动签约用户数现已超过11亿，就净新增用户而言，印度尼西亚位居全球前5位。该地区5G签约用户数量目前略低于200万，但未来几

年将强劲增长，预计到2026年将达到约4亿。

在该地区较发达的市场上，不断看到5G取得重大成就。载波聚合试验势头强劲，澳大利亚将5G FDD 2.1GHz和5G TDD 3.5GHz频谱相结合，为全球首创。今年早些时候，澳大利亚推出了容量增强型2.3GHz和3.5GHz TDD双频网络，采用了载波聚合技术。在新加坡，多个5G独立组网(SA)站点正在部署，准备投入使用，旨在补充该国现有的5G非独立组网(NSA)商用服务。

中欧和东欧

在中欧和东欧，4G是主流技术，现已占到签约用户总数的50%。到2026年，4G仍将是主流技术，预计将占移动签约用户总数的65%，而5G签约用户预计将占到33%。在本预测期内，随着用户向4G和5G迁移，WCDMA/HSPA签约用户数在签约用户总数中的占比将从36%降至几乎为零。

迄今为止，该地区大约有20个5G网络已投入商用。中欧和东欧原计划在2020年底和2021年初进一步拍卖700MHz、3.4-3.8GHz等关键频段的频谱，但其中一些已被延后。由此，5G在一些国家中的部署将受到短期影响。

东北亚

在东北亚，运营商继续投资进行5G部署，以进一步推动5G签约用户增长。目前运营商重点关注提高5G全国覆盖率。与此同时，5G签约用户快速增长，再加上供应商纷纷推出多款新的

5G终端设备，对运营商的财务业绩产生了积极影响。中国和韩国等领先5G市场的主要运营商报告称，2020年5G签约用户对移动服务收入和每用户平均收入(ARPU)产生了积极影响。

在本预测期结束时，预计该地区的5G签约用户数将超过14亿，5G签约用户渗透率将达到65%。

西欧

在西欧，4G是主流接入技术，占签约用户总数的78%。随着用户向5G迁移，到2026年，LTE占比将下降到27%，WCDMA/HSPA占比将下降到仅占3%。60多家运营商在该地区推出了5G服务。2020年间，西欧计划进一步拍卖700MHz和3.4-3.8GHz频段的频谱，但其中一些已被延后，这将对5G在该地区的部署和覆盖率产生短期影响。预计到2026年底，5G签约用户的渗透率将达到69%。

北美

在北美，5G商用进入快车道。该地区的运营商已经推出了主要聚焦移动宽带和固定无线接入(FWA)的商用5G服务。该地区推出了支持所有三个频段的5G智能手机，2021年对于5G先行采用者而言意义重大。固定无线接入将在弥合数字鸿沟方面发挥重要作用，因为新冠疫情暴露了教育、远程办公和小企业存在的巨大缺口。到2026年，我们预计该地区将有近3.6亿名5G签约用户，占到移动签约用户总数的84%。

5G商用拉动固定无线接入服务

超过70%的运营商现在提供固定无线接入 (FWA) 服务。据预计, 到2026年底, 固定无线接入 (FWA) 连接数将超过1.8亿, 占全球移动网络数据总流量的20%。

超过70%的运营商现在提供固定无线接入 (FWA) 服务

新冠疫情加速了数字化进程, 同时也增加了快速可靠的家庭宽带连接的重要程度和需求。在许多情况下, FWA是运营商满足此需求的最快替代方案。

2021年4月, 爱立信第5次更新了其对全球运营商提供的FWA零售套餐的研究。在所研究的311家运营商中, 有224家提供FWA服务, 全球平均占比为72%。在过去6个月中, 提供FWA服务的运营商的比例增加了12个百分点, 自2018年12月首次统计以来, 到2021年4月, 推出FWA服务的运营商数量增加了一倍多。

~90%

近90%推出5G业务的运营商也提供FWA服务 (4G和/或5G)。

图5: 全球范围内提供FWA的运营商的数量

□ 20年2月的增长为基数扩大导致

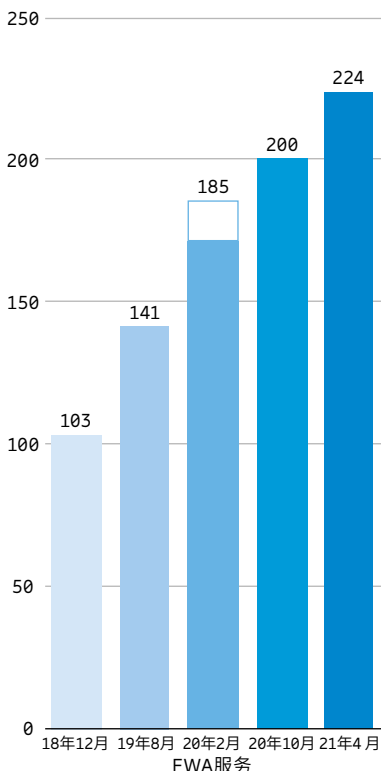


图6: 各地区提供FWA的运营商的百分比

■ 18年12月 ■ 19年8月 ■ 20年2月 ■ 20年10月 ■ 21年4月

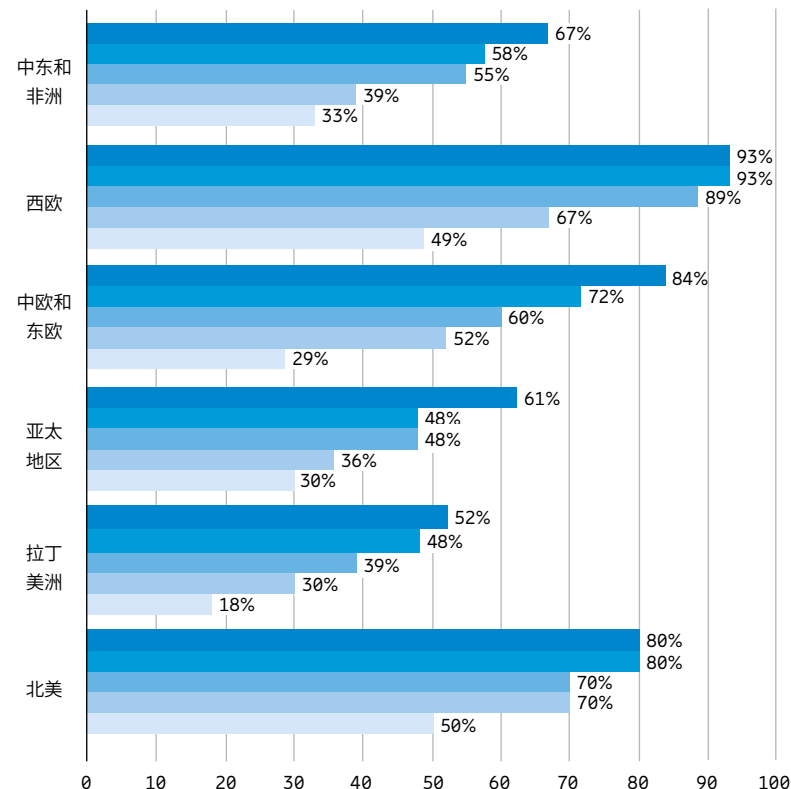
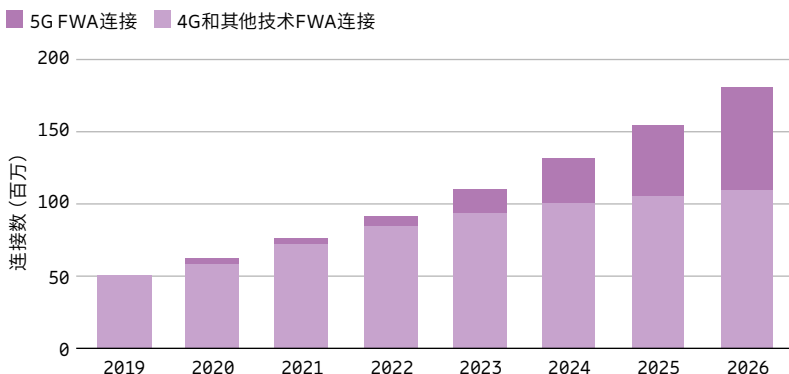
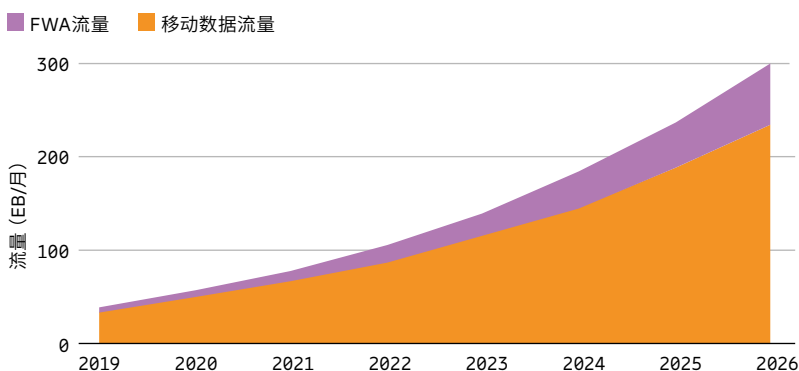


图 7: FWA 连接

**FWA的定义**

FWA被定义为通过支持移动网络的客户端设备 (CPE) 提供宽带接入的连接。这包括各种形式的CPE, 如室内(桌面和窗户)和室外(屋顶和壁挂式客户端设备)。不包括基于电池供电的便携式Wi-Fi路由器或上网卡。

图 8: 移动数据和 FWA 流量

**现在, 每个地区都有超过半数的运营商提供FWA**

从地区细分来看, 每个地区都有超过50%的运营商提供FWA服务。过去6个月, 固定宽带普及率最低的地区增长最快, 即中东和非洲、中欧和东欧、亚太地区以及中美洲和拉丁美洲。这些地区增长了4-13个百分点。中欧和东欧自2020年2月新冠疫情以来增长了近25个百分点。在全球范围内, 其普及率位居第二, 为84%, 而西欧是FWA普及率最高的地区, 为93%。

5G运营商走在FWA普及的最前沿

在推出5G业务的运营商中, 有近90% (87%) 的运营商也提供FWA服务 (4G和/或5G)。与尚未推出5G业务的运营商 (62%) 相比, FWA普及率要高得多。在光纤普及率较高的国家, FWA的普及率通常也较高。

FWA全球连接数出现增长

除了新冠疫情带动的需求外, 推动FWA连接数出现增长的因素主要有3个。首先, 消费者和企业对宽带连接

的需求仍持续增长; 其次, 与DSL、电缆或光纤等固定服务相比, FWA成为越来越具成本效益的宽带替代方案。随着4G和5G网络分配到的频谱越来越多且技术不断进步, 其容量也在不断增加, 推动网络效率日益提高, 每千兆字节的单位交付成本大幅下降; 此外, 5G毫米波上的技术创新将毫米波的传播半径从几百米扩展到了7公里以上。可使用现有网络基础设施, 使5G成为用于大规模FWA部署的面向未来的技术; 第三, 宽带连接对于数字化工作和经济增长至关重要, 因此政府通过计划和补贴的方式来促进宽带连接。

由于FWA连接报告资料有限, 再加上FWA定义的不同, 导致全球报告的连接数存在差异。但我们曾估计, 到2020年底, FWA连接数将超过6000万。预计到2026年, 这一数字将增长3倍, 超过1.8亿。其中, 预计到2026年, 5G FWA连接将增长至7000万, 约占FWA连接总数的40%。

据估计, 到2020年底, FWA数据流量约占全球移动网络数据总流量的15%左右。预计到2026年, 这一数字将增长约7倍, 达到64EB, 占到全球移动网络数据总流量的20%。

宽带背景下的FWA

全世界大约有20亿户家庭。到2020年底, 约有12亿户家庭 (60%) 拥有固定宽带连接, 预计到2026年底, 该数字将达到15亿 (70%左右)。届时, FWA将占到固定宽带连接总数的12%。不过, 值得一提的是, FWA也被视为是对现有2.5亿DSL连接的替代选项。

FWA对社会的实际意义远大于FWA的连接数, 根据地区人口统计情况, 一个FWA连接能够为家庭中提供3到5人使用。预计到2026年底, FWA连接数将超过1.8亿, 相当于大约6.5亿人使用无线宽带连接。

5G终端持续受到消费者青睐

新空口 (NR) 功能的引入势头强劲。

5G终端生态合作系统继续快速发展，比前几代蜂窝技术的发展速度都要快。

5G在网络和终端设备领域的普及势头强劲：

- 超过300款5G智能手机已经发布或投入商用
- 尽管半导体芯片暂时短缺，但预计2021年全球智能手机出货量将同比增长7%
- 5G终端价格继续下降，在中国地区外出现了零售价低于250美元、支持中低频段的5G终端，美国境内推出了零售价400美元的支持毫米波的5G终端
- 5G独立组网 (SA) 将继续发展，越来越多的市场会开启以下功能：
 - 5G 原生NR语音 (VoNR) 服务
 - 支持网络切片
 - 锚定在NR载波上的双连接 (NR-DC)，可以在独立组网网络中使用毫米波频谱
- 首批具有NR载波聚合 (CA) 功能的芯片组和终端设备将于第二季度上市
- 用于毫米波频段的新终端芯片组将于2021年降低此类终端的价格

半导体芯片供应紧张

尽管由于2020年芯片短缺对汽车行业产生了重大影响并引发了担忧，但到目前为止，终端设备行业已经较好地处理了新冠疫情对半导体芯片供应的影响。大多数供应商能够确保基带和射频 (RF) 芯片的供应，这表明对

终端设备行业的影响是有限的，预计2021年可交付约5亿台5G终端。这相当于在全球出货的所有终端中有35-45%具有5G功能，但各地区之间存在巨大差异。

独立组网取得积极进展

随着5G基本能力的确立，独立组网的部署工作已成重心所在。中国和北美一直处于领先地位，目前欧洲等其他市场的独立组网也崭露头角。

芯片组支持独立组网 (SA) 功能已有一段时间，然而，要在中国和北美以外的终端上实现这些功能取决于运营商的部署计划。2021年下半年，我们预计会看到在网络和终端中引入5G原生VoNR商用服务，包括在芯片组层面上支持独立组网 (SA) 模式下的毫米波。

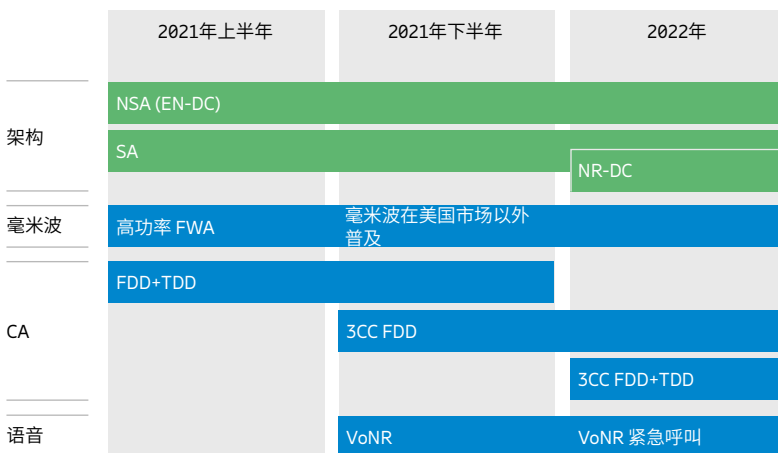
载波聚合部署

NR载波聚合 (CA) 在现网中的大规模部署速度比预期的要慢，只有少数市场于2020年推出了相关业务。随着越来越多的设备和网络为商业服务做好准备，我们预计，2021年下半年会涌现出更多支持NR载波聚合 (CA) 的终端，这将有助于扩大TDD频谱的覆盖范围，并提高峰值数据速率。首先，两个NR载波将被聚合，然后在2022年期间，生态系统将支持三载波聚合。

进入毫米波领域

随着竞争日益加剧，我们预计更多的芯片组品牌将进入毫米波领域，支持毫米波的终端的价格将继续下降。目前至少有12家智能手机厂商提供支持毫米波的手机。此外，在终端设备和网络新功能的帮助下，毫米波覆盖范围进一步增强，推动固定无线接入 (FWA) 不断发展。

图 9: 5G 技术市场就绪情况



注：该图说明了网络功能的可用性以及设备支持情况。

宽带物联网将超越2G和3G

2021年, 宽带物联网(4G/5G)的发展将超过2G和3G, 在物联网应用中占有最大份额。

大规模物联网技术NB-IoT和Cat-M¹继续在全球部署, 2021年连接数有望增长近80%, 达到近3.3亿。到2026年, 这些技术预计将占所有蜂窝物联网连接的46%。

大规模物联网主要由广域用例组成, 连接大量具有长电池寿命且较低吞吐量的低复杂度、低成本终端。目前约120家运营商启用了NB-IoT, 55家运营商启用了Cat-M。NB-IoT和Cat-M技术相辅相成, 约有40家运营商同时启用了这两种技术。

Cat-M和NB-IoT可以平滑演进到5G, 届时, 它们可以继续部署在今天所在的频段中。当今最常见的大规模物联网终端包括各种类型的仪表、传感器和跟踪器, 因为这些终端和应用(智能计数、资产跟踪)易于端到端的集成和部署。

宽带物联网主要包括需要更高吞吐量、更低延迟和更大数据量的广域用例, 而大规模物联网技术无法支持。4G已经支持此细分市场中的许多用例。到2026年底, 蜂窝物联网连接的44%将是宽带物联网, 而大多数宽带物联网将采用4G技术连接。随着5G新空口(NR)被同时引入到新旧频谱中, 该领域的速率将普遍大幅提高。

关键型物联网适用于广域网和局域网中那些对数据传送提出特定延时要求的用例。通过5G NR先进的时间关键型通信能力, 关键型物联网将会部署在5G网络中。它将为消费者、各领域企事业单位提供广泛的时间关键型服务。典型用例包括基于云的AR/VR、机器人和车辆的远程控制、云机器人、高级云游戏以及机器人流程的实时协调与控制等。支持时间关键型通信的首批商用终端预计将于2022年部署。

中国移动除了非活跃的蜂窝物联网连接, 这表明非活跃连接占的比例很大, 因此我们将2020年的蜂窝物联网连接估计值从17亿修改为16亿, 并相应调整了整体预测。

物联网终端

工业路由器和汽车一直是率先利用5G能力的物联网终端。2020年发布的物联网终端只支持5G非独立组网(NSA)架构。2021年上半年, 我们看到了首款具有5G独立组网(SA)能力的物联网终端。一些供应商开始提供支持5G独立组网的模组, 会有更多的模组供应商加入到物联网生态合作体系中来。2021年下半年, 5G有望应用到更多物联网终端类型, 如摄像头、VR头盔和无人机(UAV)。其中一些用例有望在2022年随着时间关键型通信的发展而实现。

图10: 按领域和技术划分的蜂窝物联网连接 (亿)

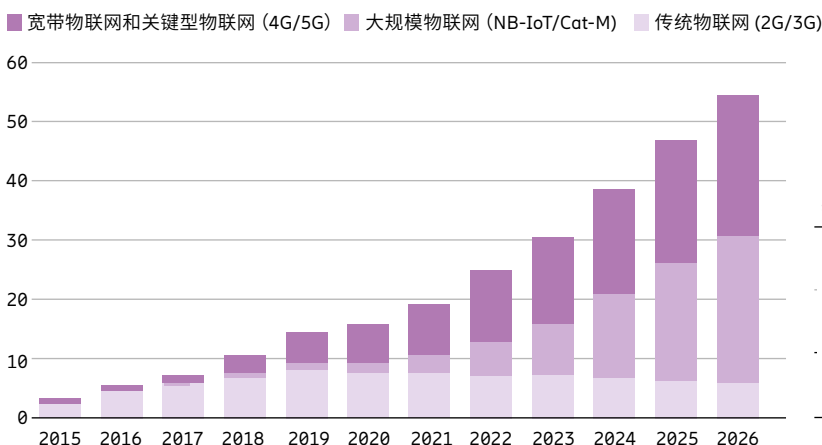


图11: 物联网连接 (亿)

物联网	2020	2026	CAGR
广域物联网	17	58	23%
蜂窝物联网 ²	16	54	23%
短程物联网	107	206	12%
物联网连接总数	124	264	13%

¹ Cat-M 同时包括Cat-M1 和Cat-M2。现在只支持Cat-M1。

² 这些数字也包含在广域物联网数字中。

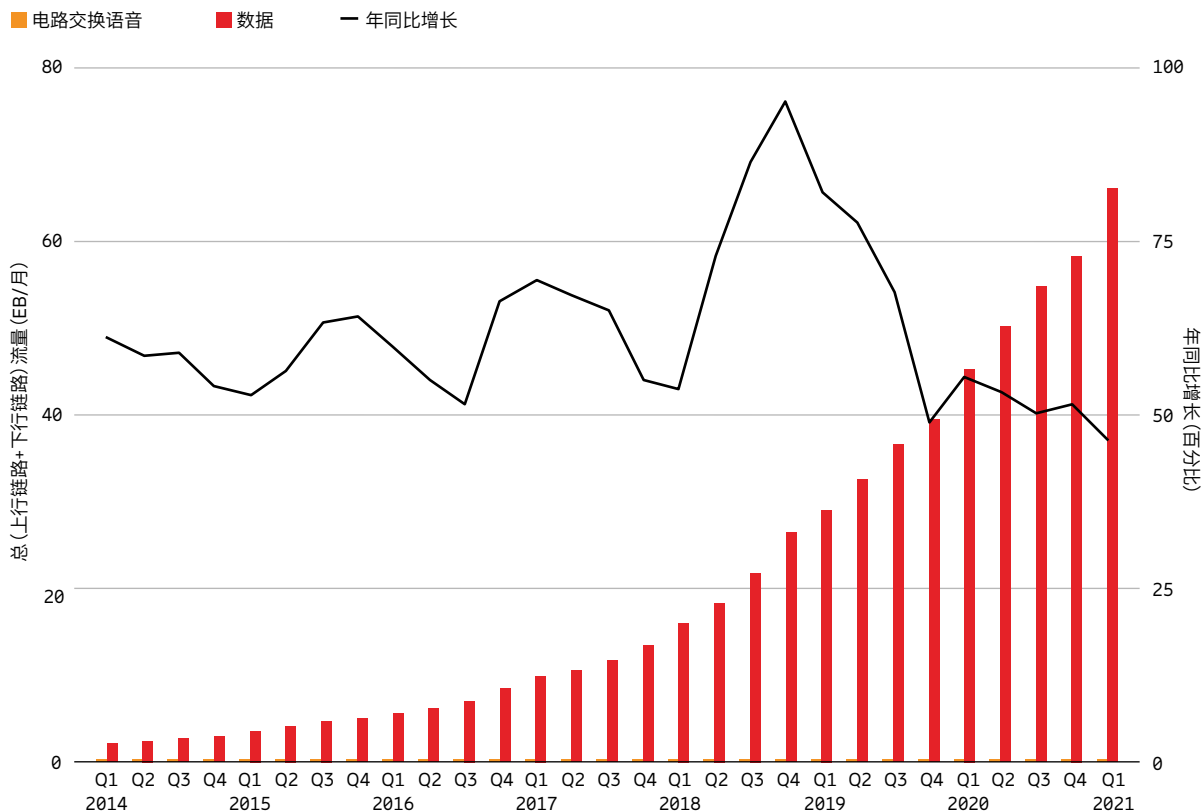
移动网络流量 稳定增长

2020年第一季度至2021年第一季度, 移动网络数据流量增长了46%。

与2020年前几个季度一样, 继2018年和2019年上半年出现流量增长超常高峰之后, 2021年第一季度同比增长率已恢复到较为正常的水平, 为46%左右。2021年第一季度, 每月的移动网络数据流量超过66EB, 环比增长率为13%。

从长期来看, 流量¹的增长一方面是因为智能手机用户数的增加, 另一方面是因为观看更多的视频内容导致每用户平均数据流量的增长。图12显示了从2014年第一季度至2021年第一季度全球每月网络数据和语音流量的总体情况, 以及移动网络数据流量的同比变化情况。

图12: 全球移动网络数据流量和同比增长率 (EB/月)



注: 移动网络数据流量还包括固定无线接入 (FWA) 服务产生的流量。

¹ 流量中不包括DVB-H、Wi-Fi或Mobile WiMAX, 但是包括VoIP流量。

智能手机和视频推动 移动数据流量增长

到2026年，全球一半以上的智能手机流量将由5G网络承载。

全球移动数据总流量(不包括固定无线接入(FWA)服务生成的流量)继续增长，到2020年底达到49EB/月，到2026年有望增长近5倍，达到237EB/月。全球移动网络总流量(包括固定无线接入服务生成的流量)去年年底达到58EB/月，到2026年有望超过300EB/月。

目前，全球智能手机的月平均流量超过10GB，到2026年底预计将达到35GB。

智能手机继续成为推动这一趋势的主力军，是移动数据流量的主要生成者，目前占比为约95%，这一份额预计在本预测期内将有所增加。

在本预测期内，人口众多的5G早期部署地区可能会引领流量增长。到2026年，我们预计53%的移动数据总流量将由5G网络承载。

视频流量目前占移动数据总流量的66%，预计到2026年该比例将增至77%。

各地区的流量增长差异巨大

年度间的流量增长可能极不稳定，各国之间可能也有很大差异，具体取决于当地市场的发展动态。我们提高了对东南亚和大洋洲以及印度的预估，印度仍然是智能手机月平均流量最高的地区，到2020年底约为15GB。

纵观全球，每部智能手机移动数据流量的增加主要归功于3个驱动因素：终端功能的改进、数据密集型内容的增加以及已部署网络的性能持续改进带来的数据使用量增加。

到2026年，印度的智能手机签约用户有望超过12亿

新冠疫情加速了印度的数字化转型，因为越来越多的消费者依赖数字化

10GB

纵观全球，每部智能手机的平均流量现在超过10GB。

服务(无论是数字化支付、远程健康咨询、在线零售还是视频会议)来满足他们的业务或个人需求。

每部智能手机的平均移动数据流量继续强劲增长，这是由于人们在家时增加了智能手机的流量使用。人们依靠移动网络保持联系以及在家办公，让每位智能手机用户的平均使用流量从2019年的13GB/月增加到2020年的14.6GB/月。印度地区智能手机的平均流量在全球排名第二，预计到2026年每部智能手机平均流量将进一步增加至约40GB/月。运营商为签约套餐提供的具有竞争力的定价、智能手机价格更可接受以及人们上网时间的增加都有助于该地区月移动数据用量的增长。

2020年，印度的移动数据总流量已从每月6.9EB增长到每月9.5EB，预计到2026年将增长4倍多，达到每月41EB。这两个因素：智能手机用户数的快速增长(包括农村地区的增长)，和智能手机平均用量的增加。在本预测期内，印度将新增4.3亿智能手机用户，到2026年，印度智能手机签约用户总数将超过12亿。

图13:全球移动网络数据流量(EB/月)

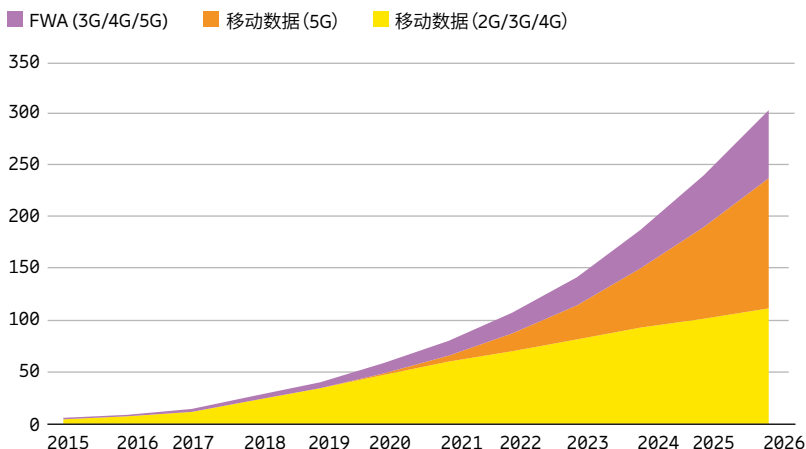
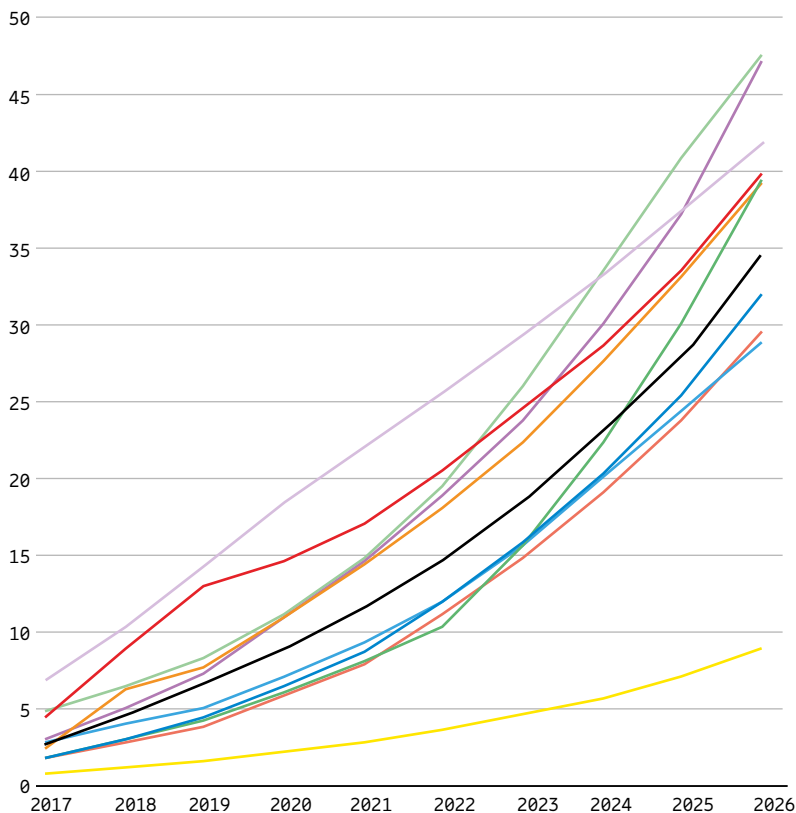


图 14: 每部智能手机产生的移动数据流量 (GB/月)



在北美, 未来的每月GB增长取决于5G服务的采用

预计到2026年, 北美移动数据月平均用量将达到每部智能手机每月48GB。熟悉智能手机的用户群和视频丰富的应用程序, 再加上给力的流量套餐, 将共同推动流量增长。虽然智能手机平均流量短期内已具备强劲增长的可能, 而使用AR/VR的沉浸式消费者服务则有望在长期内带来更高的增长率。到2026年, 5G签约用户普及率将达到84%, 在所有地区中最高。

西欧的流量增长方式与北美相似。然而, 市场情况更加分散, 导致5G在大众市场的普及将更加缓慢, 但到2026年, 西欧的智能手机平均流量将达到47GB/月, 与北美地区的数字接近。

东北亚的月5G移动数据使用量持续增长 视频观看、远程办公、移动游戏以及AR/VR等新型流媒体是推动东北亚地区移动数据使用增长的重要原因。

据估计, 到2021年底, 东北亚每

部智能手机月数据用量将从2020年底的10.9GB增加到14.5GB。作为领先的5G市场, 东北亚地区有望继续高速增长, 预计2026年智能手机平均数据流量将达到39GB/月。

在本预测期内, **中东和北非地区** 预计是增长率第二高的地区, 在2020年至2026年间, 移动数据总流量将增加近7倍。到2026年, 该地区智能手机平均数据流量预计将达到32GB/月。到2020年底, **海合会(GCC)** 国家的每部智能手机数据流量全球最高, 超过18GB/月。到本预测期结束时, 该地区智能手机平均数据流量预计将达到42GB/月。

撒哈拉以南非洲地区 的增长率也很高, 但基数相对较小, 到2026年, 总流量将从2020年的每月0.87EB增长到每月5.9EB。在本预测期内, 智能手机平均流量预计将达到9GB/月。

在东南亚和大洋洲, 智能手机数据流量将以全球最快的速度增长, 到

地区	2020	2026	CAGR 2020-2026
北美	11.1	48	27%
西欧	11	47	28%
海合会	18.4	42	15%
印度	14.6	40	18%
东南亚和大洋洲	6.2	39	36%
东北亚	10.9	39	24%
全球平均	9	35	25%
中东和北非	6.5	32	30%
拉丁美洲	5.9	30	31%
中欧和东欧	7.2	29	26%
撒哈拉以南非洲	2.2	9	26%

2026年将达到每月39GB, 复合年增长率为36%。移动数据总流量将相应地增长, 复合年增长率为42%, 达到每月39EB, 4G用户的继续增长和5G的普及是主要推动因素。

在本预测期内, **拉丁美洲** 的发展趋势与东南亚类似, 而各个国家/地区的智能手机流量平均增长率将有很大不同, 流量增长是由覆盖范围的扩大和4G (最终是5G) 的持续采用推动, 这与智能手机签约用户的增加以及智能手机平均数据使用量的增加有关。2026年智能手机平均数据流量预计将达到每月30GB。

在**中欧和东欧**, 4G和5G的采用也推动了增长。在本预测期内, 智能手机月平均流量预计将从每月7.2GB增加到29GB。

需要注意的是, 各地区月数据消费量存在很大差异, 一些国家/地区和运营商的月消耗量要比区域平均水平高出许多。

5G网络覆盖增速超过4G

5G有望成为历史上部署最快的移动通信技术，预计2026年将覆盖全球约60%的人口。

到2020年底，全球4G人口覆盖率超过80%，预计2026年将达到95%左右。4G网络也在不断发展，以提供更高的网络容量和更快的数据速率。目前共有809个商用4G网络，其中328个已升级为LTE-Advanced，另有42个商用千兆LTE网络已经问世。

5G到2020年底覆盖了10亿多人

到2020年底，全球5G人口覆盖率约为15%，相当于超过10亿人。5G网络的扩展继续加速，到目前为止，全球已有160多个5G商用网络问世。

5G覆盖扩展可分为以下三大类频段的部署：

- 1.6GHz以下新频段
- 毫米波频段
- 现有的4G频段

从运营商已经采用的5G部署方式看，各国之间存在很大的差异。在美国，上述三种类型都已采用，因此5G覆盖了很大一部分人口。在欧洲，德国和西班牙等国家采用了在现有频段进行部署的方式来获得相当高的覆盖率。许多市场都提供了低于6GHz的频段（通常称为中频段）的新频段，实现了网络覆盖、容量和速度的良好平衡。以中国为例，运营商就在中频段部署了大量基站。

退网(Network sunsets)不会对全球网络覆盖产生负面影响

运营商不断寻求替代方案，通过使用新一代技术来增加覆盖和容量。一种选择是将通常部署在中低频段的传统技术（2G或者3G）逐渐退服以至退网，利用这些宝贵的频段完成4G和5G的广泛覆盖。

关闭网络的另一个驱动因素是降低网络复杂性和运营开支。然而，这需要考虑几个因素，例如各种终端的能力和已安装的物联网设施。此外还要考虑监管要求。例如，2018年3月30日起，欧盟法规要求机动车辆必须具备拨打112紧急电话的能力。许多车辆仅使用2G和3G技术。不同地区和国家的淘汰计划和发展趋势非常不同，发达国家已经开始关闭一些网络。这是通过终端组合实现的。例如，在北美，2G/3G的用户份额仅为7%，而撒哈拉以南非洲地区的用户份额目前为70%-80%。

中低频段上覆盖和容量的增加可以在不启动退服退网（或逐步推进退服退网）的条件下实现，例如通过使用频谱共享技术。此外，如果传统技术被关闭，相应的频段将用于较新的3GPP技术，并且不会对网络覆盖产生负面影响。

图15:按技术划分的全球人口覆盖率¹

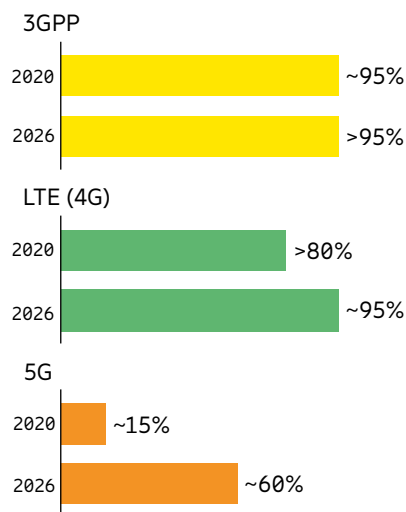
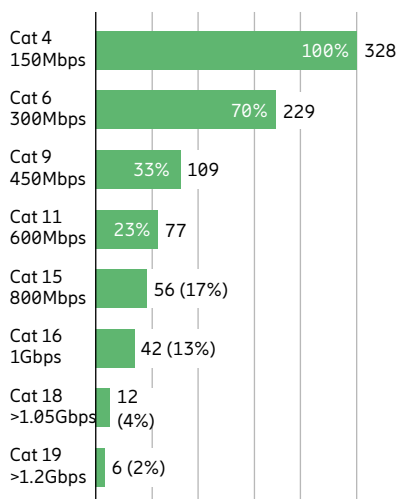


图16:支持各类终端的LTE-Advanced网络的百分比和数量



来源:爱立信和GSA (2021年5月)。

¹这些数字是指每项技术的人口覆盖率。使用该项技术的能力取决于接入终端和签约用户等诸多因素。

海合会国家一瞥

海合会(GCC)国家推出了一系列实现经济多元化、发展新产业的举措,加速了技术创新和5G的普及。

这是首期为海合会国家提供统计数据的爱立信移动市场报告,所用关键数据来自中东和北非地区,包括各种移动签约用户和流量数据的统计和预测。

海合会国家的运营商也较早地推出了5G服务,2019年,大多数海合会国家都推出了商用服务。在Ookla®的Speedtest®测试结果中,整个地区5G网络的下行链路吞吐量中值是4G的6-10倍¹。到2020年底,海合会国家智能手机的普及率为82%,仅次于东北亚,与北美相当。到2020年底,该地区每智能手机的月数据流量为全球最高,超过18GB²。

据预测,到2026年底,海合会的5G移动签约用户总数将达到6200万,占海湾地区当时所有移动签约用户的近四分之三。

运营商将5G网络性能作为在竞争激烈的市场中脱颖而出的关键,这使得海合会国家在2026年底前能实现5G渗透率仅次于北美,但5G在这一地区的意义不仅仅是用户签约的数量,5G还将带来新的能力,使运营商能够为企业市场开发创新的应用、服务和收入流。新的5G应用和服务预计将对一系列垂直行业产生深远影响。

海合会国家的经济高度依赖石油和相关服务。然而,由于石油价格的波动和对石油达峰的预期,近年来,海合会国家政府越来越注重经济多样化,以减少对石油的依赖。一个表现就是政府资助的旨在技术创新的数字化计划大量出现。

· **沙特阿拉伯王国(KSA)**是最强大的区域经济体之一,拥有许多备受瞩目的数字化计划,并根据其“2030年愿景计划”(Vision 2030 initiative)进行管理,关键主题包括创建充满活力、建设繁荣的经济和振兴雄心勃勃的国家。

· **阿拉伯联合酋长国(UAE)**也宣布了一项类似的计划,名为“智能迪拜愿景”(Smart Dubai Vision),目标是使迪拜实现完全无纸化,确保所有政府交易100%数字化。

· **卡塔尔**的目标是将自己转变为能够持续发展并为人民提供高水平生活的先进国家。为此,卡塔尔“2030年愿景”(Vision 2030)将人类发展、社会发展、环境发展和经济发展确定为四大支柱。

· **阿曼**制定了一项战略,名为“阿曼数字化战略2030”(Oman Digital 2030),旨在使其劳动力(包括私营部门和政府部门)做好准备,应对技术和数字化转型的影响。该战略特别关注人工智能。

· **巴林**已将人工智能、生物技术、材料科学和机器人技术等新兴技术确定为特别有希望推动经济增长的领域,重点是创造有效的生态合作体系,通过这些技术促进创新。

· **科威特**的“国家发展计划(2035年愿景)”侧重于基于数字化基础设施建立多样化和可持续发展的经济,目标是将科威特变成区域性和全球性的金融和贸易中心。

73%

到2026年底,5G将占海合会国家所有移动签约用户的近四分之三。

18GB

2020年底,海合会地区每智能手机的月平均数据流量居全球之首,超过18GB。

在充满这类计划的商业环境中,运营商受到激励,紧跟最新技术的步伐,满足熟悉技术的消费者的预期需求。这在娱乐、生活方式、旅游、教育和工作场所等方面为运营商带来了盈利的机会。

未来三年,海合会国家将举办大量高知名度的体育和文化活动,这映衬了海合会国家雄心勃勃的数字化转型计划。相关活动包括2021年10月至2022年3月将于阿联酋举行的世博会和2022年将于卡塔尔举行的国际足球锦标赛。

¹ 爱立信对2021年1月到4月Ookla®Speedtest Intelligence®数据的分析。

² 该地区每月平均数据消耗量不同,具体取决于国家和运营商。

图 17: 海合会国家

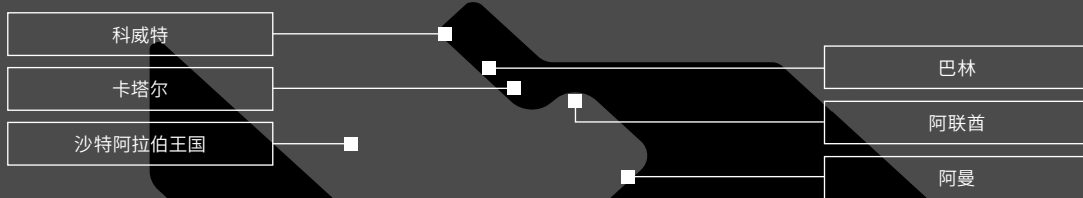


图18: 按技术划分的海合会移动签约用户数 (百万)

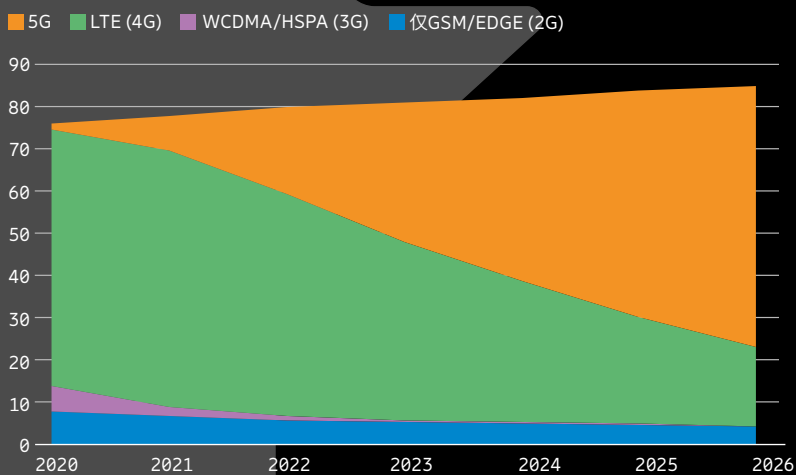
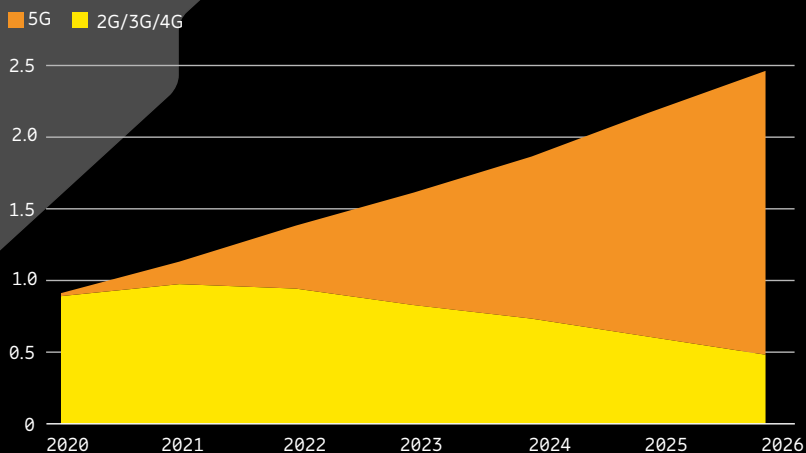


图19: 海合会移动数据流量 (EB/月)



80%

预计到2026年, 海合会国家80%的移动数据流量将由5G网络承载。

T-Mobile奉行多频段 5G频谱策略

如果在所有三个频段(低频段、中频段、高频段)都部署5G网络,运营商就可以支持更加丰富多彩的用例。

5G网络在选择网络架构和技术时,所考虑的目标就是在用户需要的地方提供正确的连接,同时最大限度地利用可用的频谱资产。全球大多数运营商最初都使用中频段推出5G网络,因为中频段为5G初始用例和部署场景实现了覆盖和容量的平衡。一些运营商已在不止一个频段上部署了5G网络。

对于消费者和企业来说,了解不同频段在承载5G服务中的作用和特性可能是一个挑战,这在某种程度上是因为大多数现有的4G服务在室外和室内场景中都表现良好,而且占用相对更少的频段。与4G相比,5G技术使用的频段更多,提供的服务更广泛,对网络性能的要求也不同。

这三个主要频段最终都将推动全球5G网络的发展,但一些运营商已经走在了前面。本文研究了T-Mobile在美国部署5G的策略,T-Mobile目前在这三个频段上都部署了网络。有关5G频谱的更多信息,请参阅第21页。

T-Mobile部署5G的策略

T-Mobile正在部署5G专用低频段(600MHz)作为网络覆盖的基础层,该公司2019年底利用这一频段推出了美国首个全国性的5G网络,目标是到2021年底覆盖美国3亿人口(占美国总人口的90%),2022年将人口覆盖率提升至97%。

T-Mobile与Sprint合并后获得了专用的中频段(2.5GHz),于2020年年中开始部署5G,目前部署仍在进

行。与低频段相比,中频段容量更高、速度更快,与高频段相比,中频段覆盖更广、楼宇穿透能力更强。2021年初,美国中频段的人口覆盖率达到1.4亿(占美国总人口的40%以上),今年有望增长到2亿。这是美国迄今为止最大规模的中频段部署,目标是到2023年底覆盖3亿人口(占美国总人口的90%)。此外,收购的C频段适宜于城市地区的部署,对2.5GHz层形成补充。

在现有4G服务的中频段附近使用5G中频段,可以打造具有以下特点的网络:

- 大型城市的城区和郊区都可实现5G覆盖和高容量
- 充分利用现有的4G宏蜂窝站点部署网络
- 在每个站点都部署大规模天线阵(Massive MIMO)射频单元,通过软件配置支持全部可用频谱
- 当中频段的下行链路 with 低频段的上行链路相结合时(带间载波聚合, inter-band carrier aggregation),中频段服务的覆盖范围和容量均相应增加
- 显著提升中频段的服务性能
- 升级回传能力,以支持强大的射频单元带来的容量跃升



本报告为爱立信与T-Mobile合作撰写,T-Mobile是美国市场领先的运营商,在多个频段部署了全国性的5G网络,以解锁广泛的用例。

T-Mobile在美国部署5G策略的第三步是高频段(毫米波)部署,已于2019年年中在一些大城市开始。

低频段和中频段的结合大大提高了4G/5G的平均下行速率,参见Umlaut执行的路测(见图20)。

网络质量和差异化服务

T-Mobile利用全部可用频段构建5G网络，未来几年其网络容量有望比2019年增加14倍。T-Mobile的多层5G网络将适用于需要广域网覆盖和移动性的一系列服务和应用，并且通过让客户使用多种服务来增加业务收入。

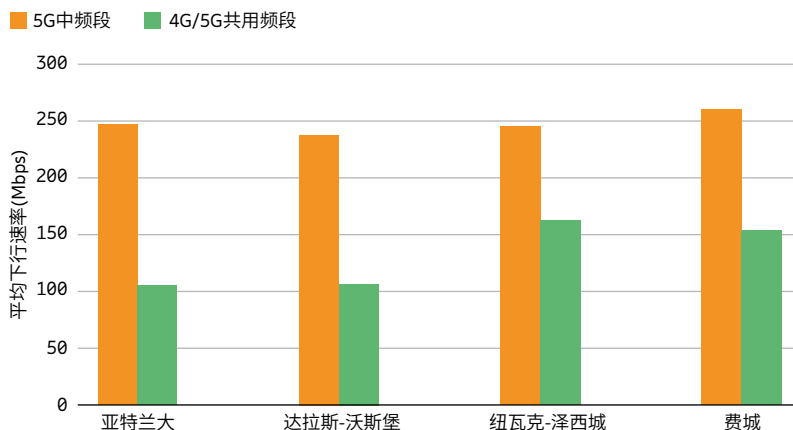
增强型移动宽带（eMBB）提供富媒体体验所需的高峰值速率和低延迟通信。娱乐行业向视频、音乐和游戏流媒体的结构性转变，为移动运营商提供了令人兴奋的商机。要满足日益增长的对更高质量视频服务、AR/VR、云游戏和消费者可穿戴联网设备的需求，网络容量需要在2024年前达到扩容目标。

固定无线接入（FWA）是很有吸引力的方案，部署固定无线接入可以根据需要逐步增加有限的投资，而采用光纤解决方案，投入较大。T-Mobile的目标是家庭宽带市场，将5G固定无线接入（FWA over 5G）作为旧一代铜缆、同轴电缆和非蜂窝无线网络技术的替代方案。双宽带服务（固定无线接入和移动宽带）对住宅用户很有吸引力，可满足私人远程办公的需求。根据经济合作与发展组织（OECD）的数据，到2020年中，美国16.5%的住宅宽带连接是基于光纤的。提供基于4G和5G的家庭宽带是确保教育和工作快速实现数字化通信的途径。T-Mobile的目标是到2025年，为700万到800万客户提供服务。

新冠疫情还显示出5G服务中小企业（SMB）的潜力，固定无线接入（FWA）可以作为主连接或者备选连接访问企业所在地。美国正紧锣密鼓地在大型商业建筑铺设光纤，但到2020年底，只有12.8%的小型商业建筑实现了光纤连接。无论是在城市、郊区还是农村地区，5G在连接中小企业方面都发挥着重要作用。

美国较小的城市和农村地区有5000万户家庭，涉及1.3亿人口，是最大的消费市场。T-Mobile希望通过提供固定无线服务和移动宽带服务来拓展市场。

图20: 客户体验 (对比5G中频段与4G/5G共用频段的平均下行速率)



来源: Umlaut (2021年2月)。

注: Drivetest, T-Mobile网络。



最终,这三个主要频段都将推动全球5G网络的发展。

确保中频段性能的网络架构注意事项

5G网络的架构和各种技术就是在用户需要的地方提供正确的连接,同时最大限度地利用可用的频谱资产。

- T-Mobile在所有三个频段中使用专用频谱来提供5G服务,同时在原有频段中保留4G服务。

- T-Mobile决定在低频段引入5G时采用5G独立组网(SA)架构,将5G覆盖范围扩展到只有低频段信号的地区,并从一开始就确保在目标架构上集成低频段服务和中频段服务。与非独立组网(NSA)架构相比,5G独立组网架构带来了显著的好处,它具有简化的架构,可以为终端用户提供更好的体验,并支持需要低延迟的新用例。这也是在不依赖4G覆盖的情况下部署5G的唯一方法。

- 在中频段(2.5GHz)部署64x64大规模多入多出天线系统,进一步增加容量并扩展小区边缘,从而提供更好的用户体验,从而最大化每个扇区的性能。

- 引入带间载波聚合(Inter-band Carrier Aggregation),T-Mobile能够将中频段的高容量下行链路与低频段的上行链路相结合,使郊区和农村地区的中频段覆盖范围扩大了30%。这种组合显示了如何同时使用多个频段释放更多5G价值,这样的应用例子很多。这也适用于5G高频段与FDD低频段的载波聚合,可将高频段小区覆盖面积增加三倍以上。载波聚合还可以改善城市地区的楼宇内网络性能。

- 语音服务仍将是移动网络的核心。通过引入新空口语音(VoNR),T-Mobile可以保证只要有覆盖,用户通信就可以留在5G,只有在没有5G覆盖时才会回落到4G。

T-Mobile的策略是在所有三个频段扩建5G,该策略展示了如何建立目标架构,支持更多的5G用例,以及不同的5G技术如何协同配合,从而提高网络性能。

最终,全球大多数5G网络将利用低频段、中频段、高频段频谱,在不同地理区域提供所需的网络性能,并满足消费者、社会和企业不断变化的需求。

图21: 关键架构和技术选择



5G频谱深入剖析

不同的5G频段提供的能力不同:

- 低频段5G频谱不仅包括早期移动网络(1G、2G)重耕(Re-farmed)的频谱,还包括以前未使用的频段,适合为5G覆盖奠定基础。
- 中频段涵盖1-6GHz频段,包括现有的3G/4G频段,以及授权给移动服务的新频谱。由于使用了更宽频谱,网络的容量得到增加。新的无线技术的发展,让5G覆盖和各频段的容量进一步提高。
- 高频段对于5G来说是全新的领域,可以针对专用区域推出高性能服务。5G业务在高频段的覆盖范围小于在中频段和低频段的覆盖范围,但高于Wi-Fi热点的覆盖范围。

中低频段的服务可以通过现有的宏基站塔提供,也可以通过室外基站服务室内环境。提供高频段服务结

合利用信号塔上和小蜂窝站杆上的射频单元来覆盖室外区域,而室内覆盖则通过部署室内小蜂窝解决方案来实现。随着时间的推移,5G服务的可用性越来越强,将在所有三个频段上无缝提供。

美国中频段的特点

美国的频谱分配与世界其他地区不同。5G初期的频谱拍卖主要是为运营商提供高频段和低频段。三段中频段频谱目前已进入拍卖阶段,第四段中频段频谱将于2021年下半年推出。

- **2.496-2.690GHz:** 宽带无线服务/教育宽带服务(BRS/EBS)是一个纯授权频段,194MHz用于4G(频段41)和5G 新空口(频段n41)。由于临近常用的4G频段,它对于扩容移动无线宽带和固定无线宽带都很有吸引力。

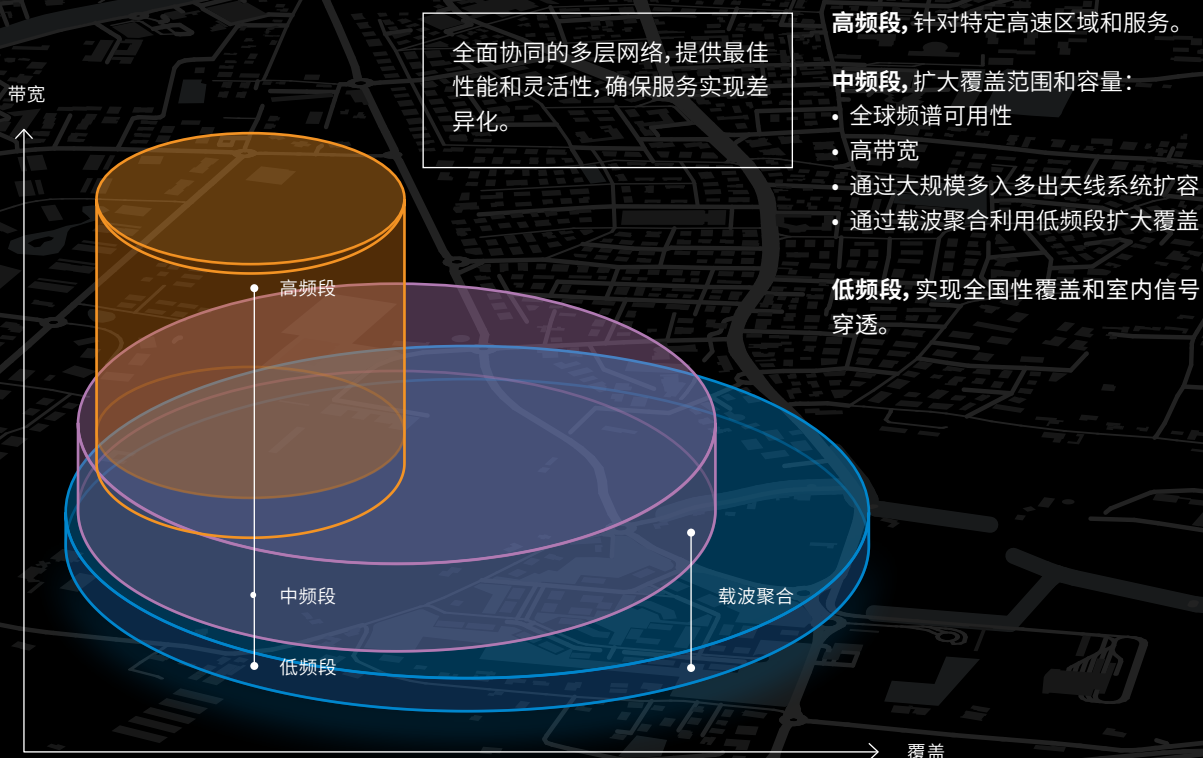
- **3.55-3.70GHz:** 公民宽带无线服务(CBRS)由80MHz的共享频谱和70MHz的授权频谱组成。公民宽带无线服务的覆盖较短,因为允许的发射功率比授权频段低。公民宽带无线服务频谱可以同时服务于4G和5G服务。

- **3.70-3.98GHz:** C频段是美国史上最大拍卖中最新添加的频谱。联邦通信委员会(FCC)拍卖了280MHz的频谱,清频工作分两步进行,第一步在2021年底进行,第二步在2023年底进行。

- **3.45-3.55GHz:** 该中频段将于2021年在美国拍卖。

此外,早先授权的、目前服务于3G和4G的中频段可能会在日后重耕,用于5G服务。

图22: 适用于各种用例的完整5G网络——三层频谱



在无线广域网基础上 构建企业5G

5G带来的低延迟、大带宽、高密度等优势使蜂窝网络在企业架构边缘已经建立的良好用途得到进一步扩展。

在人们纷纷关注5G及其部署速度的同时，企业广域网（WAN）领域的边缘——企业网络的边缘——出现了一股悄然兴起的创新浪潮。在这里，企业快速发展的需求与下一代网络和蜂窝技术产生了交汇。

以医疗为例。在全球范围内，医疗服务正在发生迅速的变化。新冠疫情加速了这一进程，但变化的苗头很早以前就出现了。空置的建筑物、赛场和停车场必须立即转换成核酸检测或物资分配中心和病房。此外，医疗机构必须弄清楚如何利用物联网技术，更快地将患者送回家，同时提供持续监测和护理。这些变化让医疗机构面对危机能够做出更灵活的响应，并为患者提供更好的医治效果，同时降低了护理成本。

从集散、制造和施工现场，到零售店、医疗机构、救援机构和急救服务单位为主的“客户边缘”，4G和5G蜂窝网络在广域网边缘的当前作用和计划中的用途正在不断扩大。

这一波广域网转型（商业转型的折射）被称为无线广域网（WWAN）转型。它已经在进行中，使用当今快速、可靠的4G蜂窝网络来扩展连接，实现新的业务方式、更精简的商业运营和更好的客户体验。5G已经成为一种催化剂，扩大了用例范围，并在边缘释放了更多的智能和能力。

无线广域网是企业必不可少的基础设施

企业广域网已在其传统的连接基础上取得了长足的发展。云技术、移动技术和物联网技术的迅速崛起使得新的业务自动化和商业应用成为可能，促使企业广域网不再局限于固定站点和有线网络。这种转变给广域网边缘的连接带来了巨大的压力。虽然企业仍然需要连接工厂、办公室和商店等固定站点，但它们现在也有大量其他对业务至关重要的广域网连接，包括临时站点和闪卖站点、传感器、监控摄像头、信息亭、数字标牌、车辆甚至机器人。事实上，最近对美国、加拿大和英国499名IT决策者进行的在线调查显示，40%的组织已经将分支机构、车辆和物联网设备通过其广域网建立连接¹。

随着广域网加速连接种类繁多的设备，广域网需要敏捷、灵活、可靠、安全和高性能的边缘网络连接。它还需要合理控制成本，并且易于大规模管理。

因此无线广域网就派上了用场。无论是作为连接固定位置的主要或次要链路，还是作为物联网设备或一队车辆的唯一连接，广域网边缘的4G和5G蜂窝宽带已成为现代商业运营必不可少的基础设施。



本文与Cradlepoint共同撰写。

Cradlepoint是基于云的4G和5G无线网络边缘解决方案的全球领导者。它与世界各地的运营商合作，通过蜂窝技术，为企业和公共部门的用户赋能。

Cradlepoint于2020年第4季度成为爱立信的一个独立部门。

无线广域网提高了连接灵活性并加快了部署

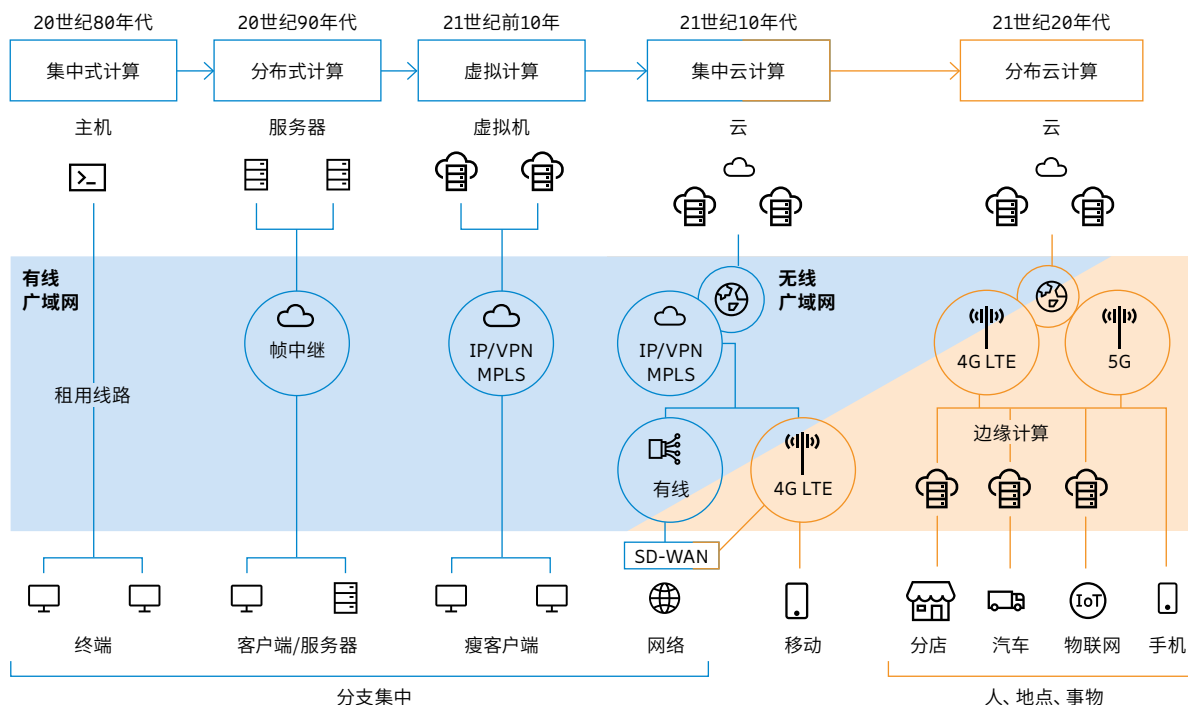
无线广域网的流行很大程度上归功于对灵活性的需求，因为移动性在边缘变得越来越重要。客户要求零售商把商品和服务带到他们生活、工作和娱乐的地方，而不是相反。公民也要求政府机构提供类似的服务。医疗服务提供者正在使用新技术来弥补准入差距，并解决病患护理效率低下的问题。救援机构也在利用互联技术，提高救援人员的安全防护和作业效率，同时满足社区对实时信息的需求。所有这些业务活动以及客户偏好的变化都需要新的连接形式才能应对。

因此，IT决策者（51%）认为越来越多地使用蜂窝网络作为广域网链路的主要原因是为了引入新的服务，这是可以理解的²。业务转型和技术创新推动了将新的人员、地点和事物尽可能快速、方便地连接到企业广域网的需求。

¹ Cradlepoint 和IDG，“2020年无线广域网现状”（2020）。

² Cradlepoint 和IDG。

图23: 从集中式计算向无线广域网的演进



光纤安装的进度不可预知，有时可能要花费数周甚至数月时间。很少有企业能够等得了这么长时间，它们承受不起延迟开放新地点或延迟推出关键物联网应用的代价。最近的一项研究³对美国和澳大利亚的12家企业的技术负责人进行了访谈，这12家公司来自不同的行业⁴，但是都使用4G网络提供无线广域网解决方案。研究发现，他们平均要等35天才能看到有线系统上线，而部署4G或5G解决方案，一个新地点平均仅需26分钟就可以实现“首次”初始网络连接。此外，这项研究还表明，与有线连接相比，无线广域网是一种更可靠、更具成本效益的解决方案。

无线广域网将网络宕机时间降至最低
像4G或5G这样的无线链路是地面有线线路的自然备份或替代方案。这些有线线路容易受到互联网中断的影响，而互联网中断的代价非常高昂。在上述研究中接受采访的企业表示，使用无线广域网作为主要链接的站点中，至少90%的站点其平均宕机时

间减少了88%。那些至少有90%的地点使用无线广域网作为备份的企业，宕机时间减少了62%。

无线广域网降低总体成本

虽然蜂窝宽带可能不是所有情况下的最佳选择，但从长远来看，它往往是最具成本效益的选择。

从传统链路切换到无线广域网的企业报告说，其每个站点每月的宽带成本降低了一半，每兆成本降低了90%⁵。他们还报告说，他们花费更少的时间和资源来解决广域网问题和管理互联网服务提供商（ISP）合同。与数百家地区性有线网络供应商打交道，就会很耗精力，而无线广域网通常只涉及一到两个全国性的网络运营商合同。

从4G转到5G，又会是什么样子

4G一直被认为是业务连续性和移动性的理想连接选择。最新一代蜂窝技术（千兆LTE和5G）提供的网络性能改进（速度、可靠性和容量）逐渐使无线

成为商店、诊所和其他固定地点日益流行的主要连接选择，而到目前为止，这些站点主要由有线网络控制着。

由于5G技术提高了速度、改善了延迟和连接密度，网络管理员和IT经理正在识别边缘用例。随着无线广域网旧有障碍的消失，这些用例可能会急剧增多。

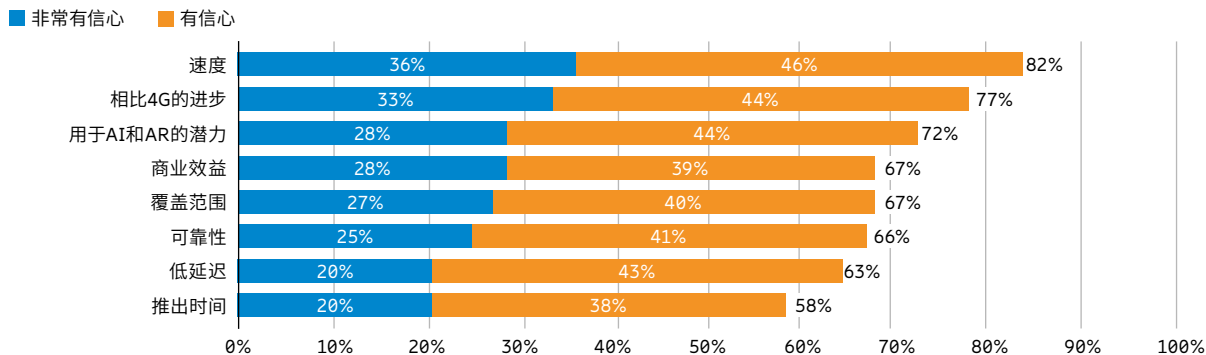
零售、医疗、执法等领域的企业或机构有很多机会借5G之力将无线广域网的应用提升到新的高度。如图24所示的在线调查显示，IT决策者对5G将提供更强的功能充满信心，例如：与4G相比，5G将提供更快的速度、更好的信号覆盖和更高的可靠性。带宽增加被认为是5G普及的首要驱动因素（60%），许多人期待5G将促进新服务的推出（51%）。例如：72%的受访者对5G赋能AI和AR服务表示有信心或非常有信心。67%的受访者对5G将在未来一年内实现承诺的商业效益表示有信心或非常有信心。

³ Nemertes, “企业采用无线广域网的可行性”（2020年12月）。

⁴ 这包括零售、医疗、专业服务、物流行业的大公司和一家政府机构。四分之三的公司收入超过10亿美元，三分之二的公司拥有超过2500名员工，58%的公司在其广域网中拥有超过500个站点。

⁵ Nemertes.

图24: 受访者对当今和未来的5G能力满怀信心



来源: Cradlepoint 和IDG, “2020年无线广域网现状”(2020)。

零售: 5G帮助增加商店覆盖范围和增强客户体验

网络购物的普遍流行改变了消费者期望得到服务的方式和地点。更重要的是,那些仍然选择逛商店的顾客想要获得比以往更加丰富的沉浸式体验。基于信标(Beacon)的商店个性化营销系统⁶提供了这样一种工具。据RIS News“未来智能商店报告”⁷称,有一半的调查对象表示,他们要么已经拥有最新的信标技术,要么计划在两年内整合该技术。

消费者期望值的提高也意味着对购物体验被打断的容忍度降低。4G长期以来一直是确保广域网正常运行的最佳、最灵活的选择。基于无线广域网的解决方案有助于保持零售点的基本流量,如信用卡处理、连接和流动。然而,需要不间断网络可用性的业务关键型零售店系统及其数据量正在迅速增长,4G可能难以应对这种需求的急增。

5G解决方案提供了灵活而有弹性的带宽,确保所有店内通信流量的不间断运行。此外,5G确保以客户为中心的服务(比如客用Wi-Fi、安全监控摄像头和导航系统)始终可用。

对零售商来说,蜂窝宽带的另一个好处是能够将触角扩展到多个社区和其他客户聚集的地方。4G和现在的

5G是许多公司的首选网络,它们通过信息亭、数字标牌、非接触式技术、季节性店面和闪卖场所来扩大其业务面。

5G带来了新的蜂窝网络功能和属性,如低延迟和增加的带宽,使AI和VR等沉浸式技术成为可能。零售史上第一次可以使用无线广域网在任何地方建立虚拟更衣室,或让购物者与远方的时尚顾问实时电话会议。

专用5G网络也有可能改变蜂窝宽带在零售业中扮演的角色。专用蜂窝网络上的大型“仓库”(Warehouse)可以为包括订单收集机器人、自动车辆和监控摄像头在内的所有设备提供低延迟、安全和可扩展的“广域网”(wide area LAN)连接。

医疗: 5G帮助增强远程护理

与购物者一样,患者现在也期望医疗机构带来更多便利、灵活的服务和更好的结果。联网技术,包括远程医疗、基于物联网的在家护理、医院救护车上的医生和重症监护人员的主动视频接入、移动检测车辆和临时护理站点,让医疗服务变得非常方便。

远程医疗可能是当今医疗领域最大的技术趋势。在新冠疫情期间,它引起了全世界的关注。在线视频咨询和其他服务可以直接为需要的人提供优质护理,无论他们身处何地。因此,医

疗机构已经开始为医生和护理人员配备蜂窝宽带解决方案,以确保可以从任何地方提供安全、合规和可靠的远程医疗服务。

许多医疗服务提供商已经在其诊所使用支持4G的物联网设备和应用。医生和病人不必待在同一个地方,就可以从诊所获得实时数据。数据来自物联网的诊断和医疗设备,如听诊器、耳镜、生命体征监护仪、超声波设备、血糖监护仪和心电图机等。

5G可以进一步改善远程医疗。例如,医生可以使用专门设计的触觉手套和虚拟现实设备,通过机器人进行远程手术。

急救车的使用也在不断演进。美国大多数救护车已经配备了车载蜂窝网络,以支持计算机辅助调度、移动数据终端(MDT)、自动体外除颤器(AED)、实时视频流和连网的医疗设备。这些技术实现了在现场和医院之间的关键病人信息沟通,有助于挽救生命。

如今,许多移动医疗功能都是通过4G部署的。然而,5G的低延迟、高带宽和安全性对于移动医疗的普及至关重要。

⁶信标是一种小型无线发射器,它使用蓝牙向附近的其他智能设备广播信息。

⁷网址:risnews.com/preparing-smart-store-future

执法机构：在突发事件时利用5G传输实时高清视频

可靠、随时随地的连接是当今执法机构使用通信服务的最低要求。在美国，蜂窝宽带以及Wi-Fi、以太网、串行和其他连接，已经把巡逻车变成了流动的通信枢纽。每一个车载网络都连接着大量的物联网设备和传感器，从车载和穿戴式摄像机、笔记本电脑和平板电脑，到总部和云端的关键后端系统。计算机辅助调度、车队管理等关键应用始终保持联网状态，并利用实时位置数据确保警官的安全和执行力，并确保资产得到维护。

随着5G应用的普及，互联技术对执法部门及其服务的社区的好处显著增加。有了5G，警官们可以实时将高清视频从现场传输给指挥官。它还能够使用先进的识别技术、通过接入全市监控摄像头提高态势感知，并可更多地利用无人机和机器人。所有这些都使警官们更安全、出警准备更充分，并能更好地向社会发布信息。

对运营商的影响

虽然无线广域网能够推动企业和整个行业转型，但它对运营商的影响同样引人注目。

4G网络推动了消费者移动应用的变革，5G则很好地推动了企业实现超级互联(hyper-connected)。随着消费网络的增长和每用户平均收入(ARPU)在成熟市场趋于下降，5G使运营商能够为B2B客户提供有吸引力的、差异化的网络解决方案。这些服务不仅更具粘性，提供更高的ARPU，它们还为附加服务奠定了基础。

泰勒建筑(Taylor Construction)用5G构建未来业务

在澳洲电讯(Telstra)推出首个面向企业的5G服务之前，泰勒建筑在其建筑工地的行政管理拖车中使用无线广域网解决方案已经很多年了。有线宽带部署耗时太久，拆装复杂，迁移也很困难。但蜂窝宽带提供了足够的灵活性，可以立即投入运行。

该公司有一个行之有效的模式：使用多功能边缘路由器，连接笔记本电脑、平板电脑、打印机和图纸打印机。在LAN上通过Wi-Fi连接，使用4G作为广域网链路。但泰勒建筑认识到，4G很快就要满足不了其现场行政管理拖车的需求，因为4G不足以支持规划中的各种下一代应用。

这些下一代应用包括：

- **全息建筑可视化**，员工和客户使用Microsoft HoloLens对虚拟建筑模型和示意图进行混合现实可视化。
- **广域安全扫描**，使用无线摄像机的360度8K流媒体和二维码扫描来跟踪完成了安全培训的人员。
- **物联网结构传感**，将汇聚数据并向云端发送数据的智能传感器固定在钢筋上并嵌入混凝土中。
- **实时设计显示**，可实时查看数字蓝图调整。

- **大型工地冗灾备份**，涉及用5G替换昂贵的备份光纤线路，通过无线连接的多样性获得光纤一样的速度。

泰勒建筑决定通过一个包括5G优化路由器和基于云的网络管理的解决方案来试验Telstra的5G服务。

随着灵活的企业5G解决方案的推出，该公司很快开始看到广域网的速度和覆盖范围，足以支持带宽密集的连接设备和应用。这些改进将在未来几年内提高建筑工地的成本效益和客户满意度。



5G让泰勒建筑得以使用创新的现场用例。

人工智能:在复杂的5G网络环境中增强用户体验

强化学习(RL)是机器学习的一个分支领域,能够让网络不断地从观察和经验中学习,在动态的环境中保持最优用户体验。这已在两个现网中得到验证。

孩子很快就能认识到,有一些行为可以得到大人的奖励,而这些奖励影响了他们未来的行为。这就是强化学习的基础。相比遵从人工设定的行为,AI智能体(Agent)关注的是目标状态,能完全自主地学习甚至优化复杂的任务流程。使用“数字孪生”(Digital Twin)测试和学习各种行为,则可以避免该方法带来的风险。

电信领域的人工智能应用

5G应用的扩大,对通信网络提出了更多的要求。如高可用性、超高的可靠性、低延迟和高安全性。这种不断增加的复杂性促进了对网络自主运行的需求。智能体(Intelligent Agent)可以处理复杂的任务流程,人们需要用它们来协调长期行为收益和即时措施收益。例如,如何通过多个步骤优化网络。这些过程需要智能体自主学习,无需人类专家的干预。强化学习正是应对这种挑战的机器学习方法。

强化学习在动态环境中带来长期回报

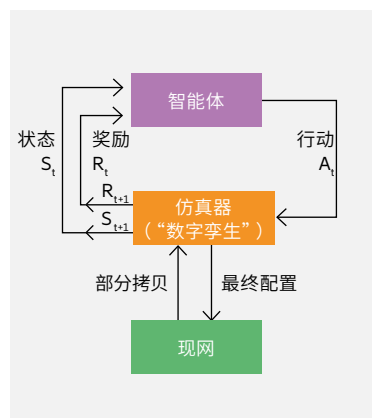
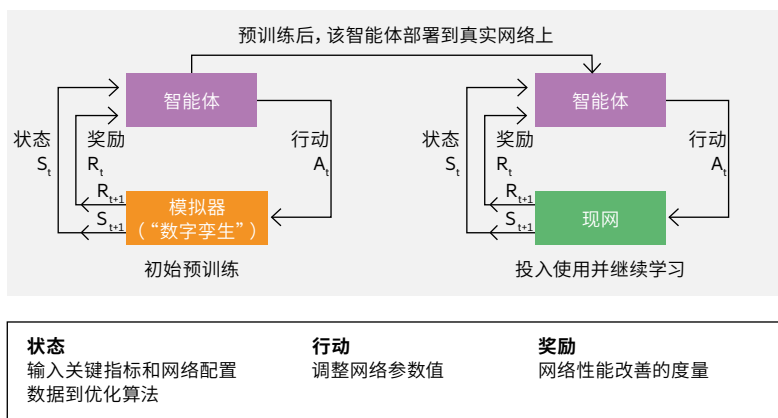
强化学习受到了行为心理学的启发。智能体通过与环境(即移动网络)互动,累积有关环境动态的知识。它与环境的互动可能导致好的或者坏的结果,这取决于互动的技术能力。

为了训练强化学习系统,软件智能体不断地与环境交互,观察环境状态,然后根据在各个阶段获取的知识,采取行动,追求最大化长期回报,也就是根据确定的条件,改善目前的环境状态。在每一次的迭代中,智能体都会学习建议行动所产生的结果,从而变得越来越“明智”。在这个过程的初期,智能体对环境的探索当然会非常不准确。但是随着不断迭代以及对环境动态的进一步了解,探索会逐渐变得更加集中和精确。

训练阶段结束时,智能体应该具备足够的知识,帮助强化学习系统针对环境的每个可能出现的状态做出合适的决定。之后,把智能体应用到特定的网络,强化学习系统将学习,同时可以根据设置的程度对环境进行探索。这项技术已应用于许多不同的领域,包括电子游戏、国际象棋和自动驾驶汽车。

在移动网络优化方面,大部分现有的解决方案都是基于规则的,这些规则是由领域内的高级技术专家定义的,需要他们把这些规则转化为相应的自主框架。这些规则对于所有网络都是静态的、通用的。鉴于5G网络的复杂性,很难手工修改针对特定网络用例的规则。但强化学习系统可以使用通用知识做预训练,然后在生产环境中继续学习,从而根据每个具体的情景制定优化策略。

图25: 使用模拟器和仿真器作为“数字孪生”的两个真实网络



“数字孪生”实现了对智能体即刻反馈训练

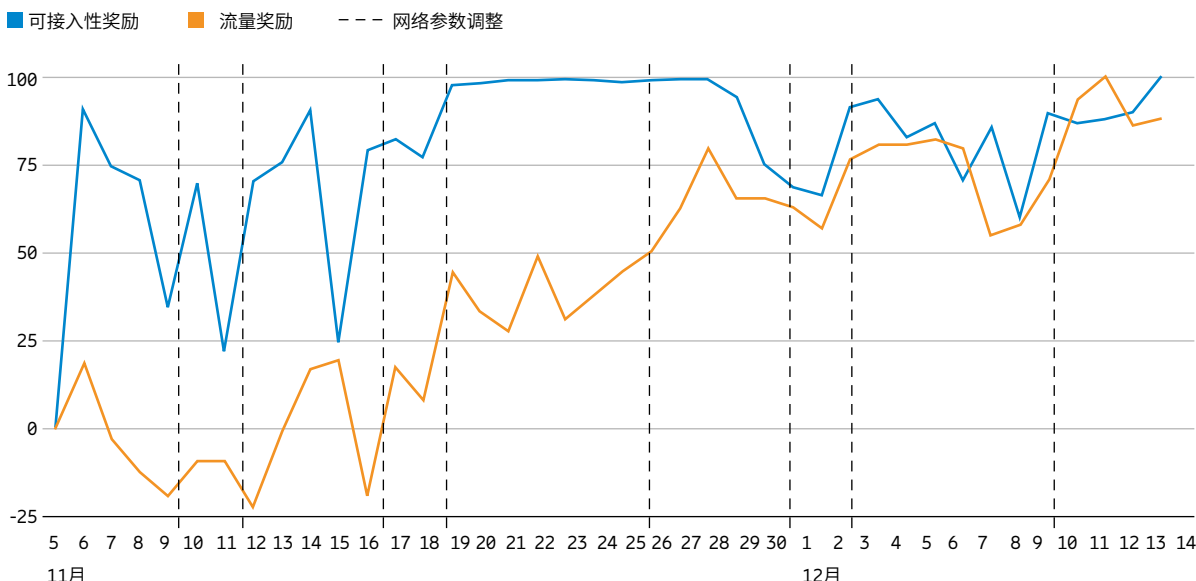
“数字孪生”是一项很好的解决方案，可以避免智能体在移动现网中初始探索时产生巨大偏差。探索首先在模拟现网的外部实体上进行。等到智能体从“数字孪生”中获取了所有必需的知识后，生成的策略就能安全地应用到现网中。从这时起，智能体就会在现网上采取优化行动，同时通过反馈不断学习，还可在设置的程度范围内进行探索。

通常有两类“数字孪生”可以用于初始离线学习：仿真器和模拟器，如图25所示。仿真器复制了现网的一部分，提供了准确的结果，但是需要大数据技术才能有效运行。模拟器是一个软件程序，模拟了一系列假设场景的网络行为。在很多情况下，模拟器更容易进行取舍判断（trade-off），并捕捉到网络行为趋势。

用全网协调的方法实现单个小区的优化

一些网络参数是逐个小区配置的，但调整这类参数有可能对周围的小区造成重大影响。例如，天线电调和下行传输功率。改变其中任何一个参数都会影响周围小区正在服务的用户。所以，为这类参数寻找最佳配置是一项复杂的工作。

图26：各主要奖励的演进（百分比）



要解决这个问题，可以采取在本地按小区定义奖励的方法。在评估某个小区的调整结果时，还考虑它对邻近小区造成的影响。这就间接实现了小区间的协调，并实现了这样一种运行策略，即智能体不仅要改善单个小区的性能，还要考虑整个网络的表现。

这些概念已经在两个现网中得到验证：西班牙MásMóvil的通信网络实现了远程电调（RET）优化，而瑞士电信（Swisscom）的通信网络实现了下行传输功率的优化。

MásMóvil：改善高峰期用户使用体验

MásMóvil想要改善西班牙马拉加地区通信高峰时期的信号拥堵状况，提高下行吞吐量。MásMóvil为该地区提供了最高的逐小区RET支持。具有RET功能的基站可以通过远程软件指令调整其倾角，无需上山。这有助于促进网络运行创新，实现零接触网络优化。

RET优化方案涉及两个阶段：

- 初始预训练阶段。智能体从“数字孪生”（一个网络模拟器）中获取所有相关知识。
- 在线优化阶段。这是智能体迭代的过程。经过预训练的智能体接收网

络性能测量数据，对现网中的小区采取渐进式调整，并持续根据结果奖励学习。

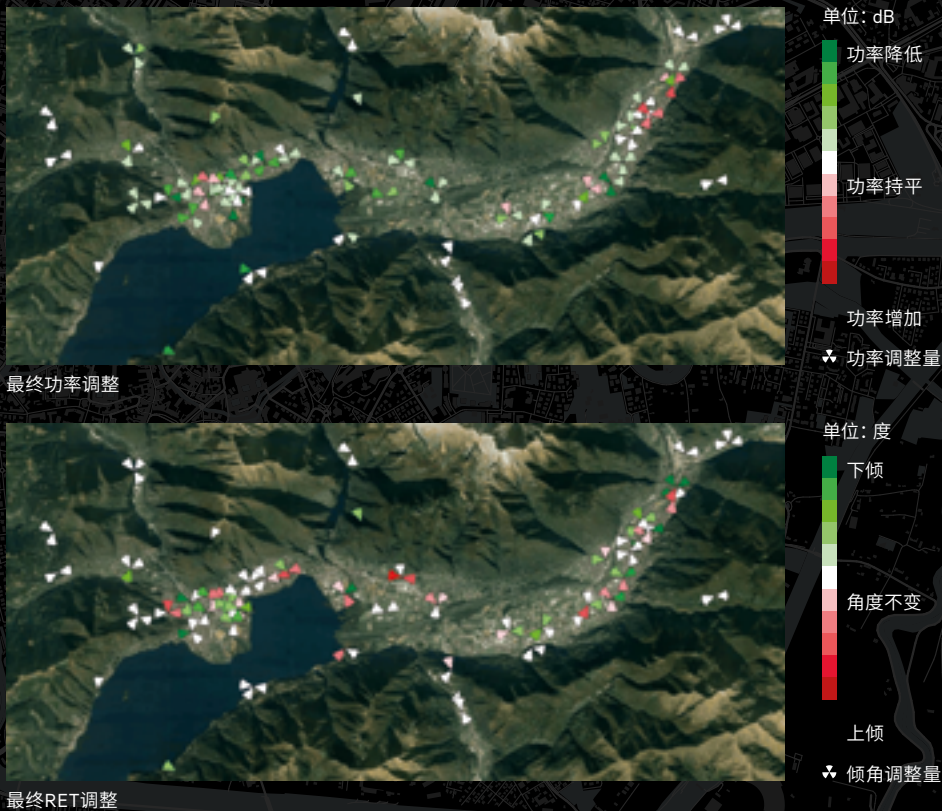
MásMóvil选择的实验地区包含数个不同频段的载波，带有独立RET设备，从而可以实现只调整一个小区的天线倾角，而不影响其他同站小区的天线倾角。最后统计，在1800MHz频段的一个载波中，267个4G小区中有127个小区进行了RET优化。其余小区也进行了性能基准监测，为周围可优化小区提供奖励反馈。

经过5周的自主决策，算法总共进行了8次参数调整迭代。图26描述了这5周中，这个现网的两项关键指标（与智能体奖励挂钩）是如何改进的。竖线代表网络参数的调整。总体结果表明，拥堵率已经趋近于零，下行用户吞吐量在高峰期增加了12%，而总流量近乎持平。所有调整的决策都没有人类专家干预，也没有在调整前进行过手动过滤。

12%

MásMóvil利用强化学习优化RET，将下行用户吞吐量提高了12%。

图27: 瑞士提契诺地区发射功率和RET调整



瑞士电信:在不牺牲用户体验的情况下满足严格的监管要求

瑞士对移动网络有效辐射功率(ERP)进行了严格的规定。瑞士电信所要面对的一大挑战就是降低现有低频网络层的发射功率,为混合部署用于4G和5G新空口(NR)的新低频网络层提供空间。首先,新低频网络层由于缺少可用功率,无法匹配现有低频网络层的覆盖范围。为此,瑞士电信采用了一种基于强化学习的方法,使用一个网络仿真器作为“数字孪生”,尽可能降低4G网络的有效辐射功率,同时保持原有的覆盖范围和通信质量。瑞士电信随后又使用了基于模拟器的方法,进行了RET优化。

这项优化下行传输功率和RET的实验在瑞士提契诺地区展开。被研究的簇包含163个800MHz频段的4G小区,其中选取100个小区进行下行传输功率优化,随后再进行RET优化。

功率调整后的网络行为仿真非常准确,智能体已经不需要与现网进行迭代交互了。因为单靠“数字孪生”就得到了最终的优化数值。随后这些数值直接应用到了现网中。经过这个阶段以后,网络又进行了RET优化。最终的变化结果如图27所示。

发射功率降低了10%,同时下行吞吐量增长了12%。瑞士电信又进行了一轮功率和RET优化,旨在发现解决方案的潜在极限。最终,发射功率降低了20%,同时仍实现了5.5%的吞吐量增益。这里的有效发射功率减少意味着基站的能耗降低了3.4%。

强化学习应用于认知网络

零接触网络管理和运行愿景所构想的是,网络利用可信任的人工智能技术,以最小限度的人工干预执行部署并运行。认知网络将基于控制设计,通过机器推理和机器学习技术,得到比以往技术更好的表现。

官方微信: zhi tuquan

20%

瑞士电信使用强化学习,让小区下行发射功率平均降低了20%。

强化学习让网络可以不断地观察环境、与环境互动,并利用收集的经验进行学习,通过认知流程了解当前网络的状况,预计想要的结果,决定要做什么并付诸行动。预期的结果输入智能体,让它通过实现结果的行动进行学习。认知网络将能够优化已有知识,根据已有经验进行推理,解决新的问题。

5G室内覆盖规划： 从依靠经验到利用统计数据 和人工智能

提升网络规划者评估室内流量需求的能力有助于更加有效地部署5G网络。准确预估室内流量占比对于运营商推出5G毫米波覆盖尤其有用。

过去我们认为70%到80%的移动数据流量是在室内产生的(包括室内覆盖系统中的流量)。现在,我们通过技术手段,更加准确地估计了室内流量占室外基站流量的比重。图28描述了在都市区域三种不同环境中的室内流量占比。

在市区,大部分移动流量通常产生于室内。由于信号穿过墙壁和窗户会减弱,室外基站提供通信服务困难很大。如果是5G通信,那就更具挑战性,因为5G使用的是超高频段。

无线信号在发送者和接收者之间的空间中传播,其功率强度会减弱。这也叫做路径损耗。造成路径损耗的因素很多,包括:自由空间损耗、穿透损

耗、反射、折射和各种其他形式的信号衰减。

5G系统可以在各种载波频率上运行,从低频段的1GHz以下的载波到毫米波频谱中的39GHz载波。较低频率具有良好的覆盖特性,而高频段频率传递的信息容量更大,因为可分配的带宽更大。但是信号衰减也会随频率升高而增加。

频率对路径损耗的影响可以通过测量视距内两个相隔500米的天线之间的信号强度来体现。在极端情况下,与800MHz上的信号相比,39GHz信号的自由空间传播损耗增加34dB(约99.96%)。

高频段的另一个挑战是信号穿透建筑物的衰减。就信号传播而言,建筑物可大致分为两种类型:有着金属化玻璃窗、墙壁箔衬板、隔热空心墙和厚钢筋混凝土的现代节能建筑;以及没有这种材料的传统建筑。

800MHz信号穿透节能建筑,其损耗中位数是穿透传统材料建筑的50倍。39GHz信号穿透节能建筑的损耗中位数是穿透传统材料建筑的240倍¹。

为了补偿与毫米波频率相关的损耗,运营商可以使用一系列解决方案,包括先进的天线系统、波束成形和室内系统。考虑到建筑物穿透损耗很高,如果室内流量需求较大,那么采用室内覆盖解决方案就会更经济。另一方面,为了更好地服务室外流量,运营商可能需要加密蜂窝站点。对室内通信量比重的真实估计为网络投资决策提供了坚实的基础。

图28: 在特定都市区域的室内用户产生的移动流量占室外基站流量的比重

	密集市区 191 个小区	市区 112 个小区	居民区 13 个小区
宏蜂窝基站	37%	65%	42%
室外小基站	40%	46%	
聚合	38%	64%	42%

¹itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2109-0-201706-I!!PDF-E.pdf

新的方法

数据科学家目前正在通过两种不同但相互关联的方法预估室内流量：一种是统计方法，另一种是基于人工智能的方法。

这两种方法都可以使用已有的网络数据（例如从4G网络中获得的数据），估计每个小区或小区簇的室内流量占比。这些数据来自网络节点以及众包数据，后者产生自用户设备（UE），如智能手机。

可以使用性能管理（PM）计数器里的上行链路数据。一个关键的性能管理计数器是上行路径损耗分布（包括自由空间、建筑物穿透和其他损耗）。众包数据是用户授权第三方通过手机应用收集的。数据的类型非常广泛，包括作为参考信号接收功率（RSRP）的无线信号强度、位置信息和电池充电状态等。

统计方法

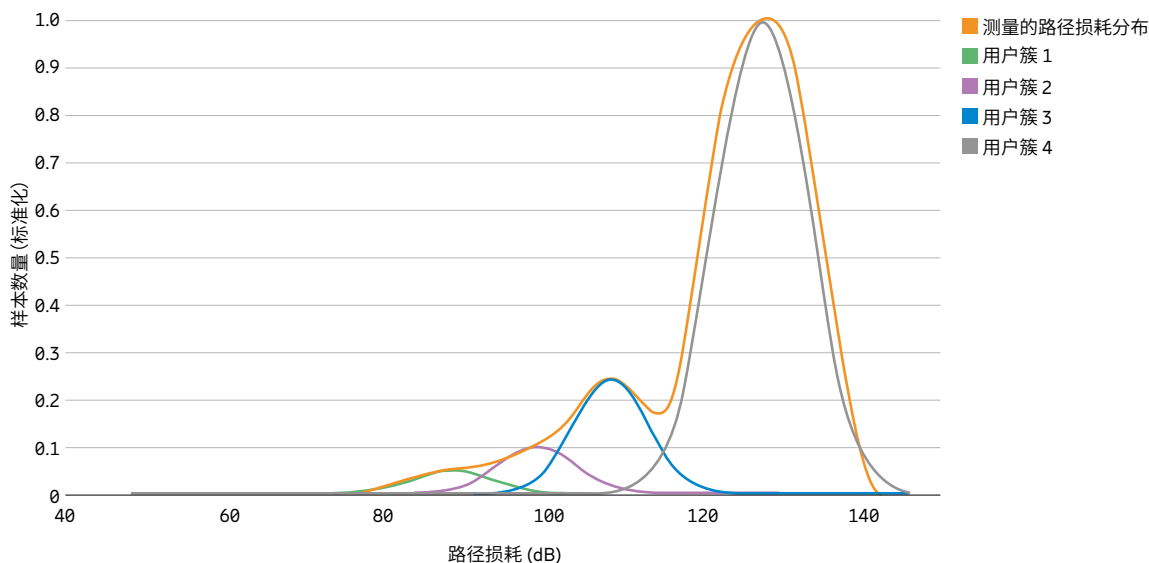
获取上行路径损耗分布的方法是在每个传输时间间隔（TTI）收集一个样本，得到足够的样本后，建立高斯混合模型（GMM, Gaussian Mixture Modeling）。由于建筑物穿透损耗，位于建筑物内的智能手机，相比位于室外的智能手机，其连接到室外无线基站的路径损耗更高。高斯混合模型的工作原理是，在一定的地理区域或在一个小区中采集所有数据样本，然后为数据集创建路径损耗分布。模型确定高斯分布的最佳拟合度后，将数据分为多个用户簇，每个用户簇都有自己的统计描述。最后，通过分析每个分布的数据，可以确定哪些用户簇在室内，哪些在室外，如图29所示。这个统计方法的优势就在于简单、透明。

人工智能方法：无监督学习

与统计方法相比，机器学习可以在不直接表明数据对结果的影响的前提下使用数据。通过无监督学习的方法，可以不用花费很大力气，就能添加更多的数据源。而且无需直接的人工干预，就可以利用数据中更微妙的信息。

为了将手机标记为室内或室外，RSRP、电池充电状态和吞吐量等数据都使用无监督学习方法进行分析。机器学习模型将特征空间（即描述数据的一组度量）分割成若干簇，并预测簇是来自室内还是室外活动。所有落在室内簇内的手机样本将被标记为室内。

图29: 利用高斯混合模型分析单个小区的路径损耗分布



37%

在设备密集、高楼林立的市区, 37%的宏蜂窝基站流量被用来服务高峰时期的室内用户, 这表明运营商可以考虑增加部署室内覆盖小区, 以满足室内流量的需求。

分析和结果

我们在分析性能管理计数器的路径损耗分布时运用了这些方法。应用这些方法的地点是都市区域的4G小区, 测试时间是21个工作日的上班时间。在分离了宏蜂窝基站和小基站的路径损耗分布后, 我们对来自运营商的数据进行了分析。统计分析包括三种不同的环境: 市区、密集市区(高层建筑)和居民区。

在市区, 室外小区平均承担的室内流量约为64%, 4G小基站服务的室外流量达到54%以上。这些结果表明, 运营商可以考虑在可能的情况下部署室内覆盖解决方案, 然后增加室外小基站的数量。

对于高楼林立的密集市区, 大约37%的宏基站流量和40%的室外小基站流量是为室内用户服务的。这表明增加室内覆盖小区部署可以满足这一

需求, 而且主要是在现代节能建筑中部署。

高楼林立的密集市区中, 室外宏基站上室内流量比重较低是可以理解的, 因为楼内都部署了室内覆盖系统。

通过量化内部和外部的流量需求和覆盖范围, 可以确定所需的额外资源, 把穿墙损耗的功率消耗降到最低。

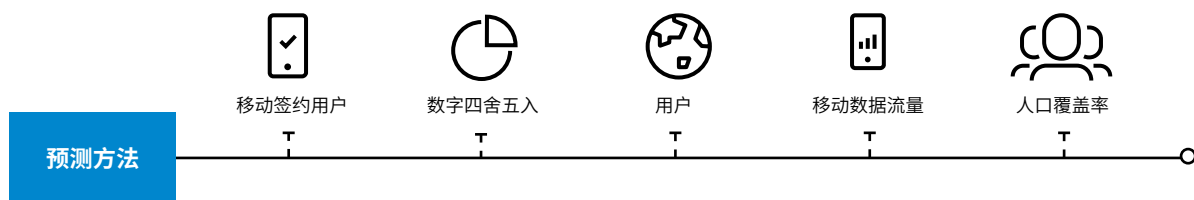
无监督学习方法适用于更大的区域, 包括前面方法中提到的所有三个区域。它能够更有效地处理更多数据, 并且可以处理多个输入, 而不是像统计方法那样依赖于一个度量值。由于标记是在设备/样本级别上进行的, 而不是在数据聚合后进行的, 因此可以获得数据粒度更小的结果。这不仅实现了使用相同的模型计算室内流量比重, 而且还能计算任何室内-室外流量

比。我们还能计算室内设备数量以及由室内设备产生的流量百分比。在数据集中, 61%的设备被检测为室内设备。为这些设备提供服务的室外基站流量占其总流量的59%。这些结果符合并补充了统计方法的结果。

推出5G网络

随着每一代移动通信的发展, 无线接入网(RAN)的设计变得越来越复杂。现在, 随着5G的推出, 为运营商找到最优设计(平衡服务质量和效率)变得更具挑战性, 因为5G使用了高频段频率, 它的容量大幅提升, 但是障碍物的吸收损耗也增加了。提高预测精度可以更快地找到最优的室外和室内部署方案, 应对日益增长的网络复杂性。最终, 这些方法将实现自动化, 并对5G无线接入网的效率进行持续监控。

方法



预测方法

爱立信定期进行预测，以支持内部决策和规划以及市场传播。本《移动市场报告》的预测期为6年，并在每年11月份的报告中向后推进一年。本报告中的用户数和流量预测基于各种来源的历史数据，并根据爱立信的内部数据进行了验证，包括客户网络中的大量测量数据。未来发展的评估基于宏观经济趋势、用户趋势、市场成熟度、技术发展预期和各种其他资料，如行业分析报告以及内部假设和分析等。

如果基本数据发生变更，例如运营商报告更新了用户数，爱立信可能修改相关历史数据。

移动签约用户

移动签约用户包括所有移动技术。爱立信根据手机和网络能够提供的最先进的技术划分用户。我们按技术划分的移动签约用户根据其可以使用的最高技术进行划分。在大多数情况下，LTE签约用户还包括能够接入3G(WCDMA/HSPA)和2G(GSM或CDMA)网络的用户。如用户与支持3GPP R15中指定的新空口终端相关联并连接到5G网络，则将其计为5G用户。移动宽带包括无线接入技术

HSPA(3G)、LTE(4G)、5G、CDMA 2000 EV-DO、TD-SCDMA和Mobile WiMAX。不包括不含HSPA和GPRS/EDGE的WCDMA用户。

固定无线接入(FWA)是通过支持移动网络的客户端设备(CPE)提供宽带接入的连接，包括室内(桌面和窗口)和室外(屋顶和壁挂式)CPE，不包括使用电池的便携式Wi-Fi路由器或适配器。

数字四舍五入

数字进行了四舍五入，因此可能与实际总数略有不同。关键数字表中的用户数已四舍五入至十万单位。然而，出于突出显示的目的，本文在表达用户数时通常以十亿或亿为单位。复合年增长率(CAGR)根据基础、未四舍五入的数字计算，然后被四舍五入为整数百分比，流量则以两位或三位数表示。

用户

签约数和用户数之间存在较大差异。这是因为许多用户有多项订阅服务。造成这种情况的原因可能包括用户对不同类型的呼叫使用优化签约，最大限度地扩大覆盖范围及针对移动PC/平板电脑及手机使用不同的签约，以

降低流量费用。此外，从运营商数据库删除非活跃签约用户需要一些时间。因此，签约普及率可能超过100%，如今在许多国家都是如此。然而，在一些发展中国家和地区，多人共享一个签约业务屡见不鲜，例如，通过家庭或社区共享电话。

移动网络流量

爱立信定期对全球所有主要区域的100多个真实网络进行流量测量，并将这些测量结果用作计算全球总移动流量的代表性基础。针对一些选定的商用网络，还会进行详细的流量测量，旨在了解移动数据流量是如何发展的。这些测量不包括用户数据。

人口覆盖率

人口覆盖率是使用区域人口和领土分布数据库，基于人口密度估算得出的。我们将把这个数字与无线基站(RBS)现有用户的专有数据相结合来估算每个基站对每类人口密度群(从大都市到荒野乡村分为六类)的覆盖率。基于该数据，我们将能够估算出某项技术对每个区域的覆盖率及其代表的人口百分比。通过汇总这些区域性数据，我们将能够计算出每项技术的世界人口覆盖率。

爱立信移动市场展示平台

利用爱立信新的交互式Web应用，了解本《移动市场报告》中的实际和预测数据。它包含一系列数据类型，包括移动签约用户数、移动宽带签约用户数、移动数据流量、每种应用类型的数据流量、VoLTE统计、每台终端每月数据使用量以及物联网连接终端预测。您可以导出数据，在出版物中使用生成的图表，但需注明爱立信是信息来源。

如需了解更多信息

请扫描二维码，或访问
www.ericsson.com/en/mobility-report/mobility-visualizer



术语表

2G: 第二代移动网络(GSM、CDMA 1x)	EDGE: GSM演进增强型数据速率	移动 PC: 定义为带有内置蜂窝芯片或外部USB收发器的笔记本电脑或台式PC终端
3CC: 三分量载波	EN-DC: EUTRA-NR双连接	
3G: 第三代移动网络(WCDMA/HSPA、TD-SCDMA、CDMA EV-DO、Mobile WiMAX)	FDD: 频分双工	移动路由器: 一种终端, 一侧通过蜂窝网与互联网连接, 另一侧通过Wi-Fi或以太网与一个或多个客户端连接(如PC或平板电脑)
3GPP: 第三代合作伙伴计划	GB: 千兆字节, 10^9 字节	
4G: 第四代移动网络(LTE、LTE-A)	Gbps: 千兆比特每秒	NB-IoT: 用于物联网连接的3GPP标准化的低功率广域(LPWA)蜂窝技术
4K: 在视频中, 水平显示分辨率为4000像素。 3840×2160 (4K UHD)分辨率在电视和消费媒体中使用。在电影放映行业, 4096×2160 (DCI 4K)占主导地位	GHz: 吉赫兹, 10^9 赫兹(频率单位)	NR: 3GPP R15定义的新空口
5G: 第五代移动网络(IMT-2020)	GSA: 全球移动供应商协会	NR-DC: NR-NR双连接
5G TF: 预标准化的3GPP NR技术论坛开放规范	GSM: 全球移动通信系统	PB: 拍字节, 10^{15} 字节
AI: 人工智能	GSMA: GSM协会	短距物联网: Seg主要由通过未授权无线技术相连接的设备组成, 范围一般不超过100米, 如Wi-Fi、蓝牙和Zigbee
应用: 可下载并在智能手机或平板电脑上运行的软件应用程序	HSPA: 高速分组接入	智能手机: 带有操作系统的手机, 能够下载和运行应用, 例iPhone、Android操作系统手机、Windows手机, 还包括Symbian和Blackberry操作系统手机
AR: 增强现实。现实环境的交互式体验, 通过计算机生成的感知信息“增强”驻留在现实世界中的对象上	Kbps: 千比特/秒	TD-SCDMA: 时分同步码分多址
ARPU: 每用户平均收入	LTE: 长期演进	TDD: 时分双工
CAGR: 复合年增长率	MB: 兆字节, 10^6 字节	VoIP: IP语音(互联网协议)
Cat-M1: 用于物联网连接的3GPP标准化低功率广域(LPWA)蜂窝技术	Mbps: 兆比特/秒	VoLTE: GSMA IR.92规范所定义的LTE语音系统
CDMA: 码分多址	MHz: 兆赫兹, 10^6 赫兹(频率单位)	VR: 虚拟现实
dB: 在无线传输中, 分贝是一个对数单位, 可用于从发射器传输至接收器的信号增益或损耗的求和	MIMO: 多输入多输出是指在无线设备上使用多个发射器和接收器(多个天线), 以提高性能	WCDMA: 宽带码分多址
EB: 艾字节, 10^{18} 字节	mmWave: 毫米波是极高频率范围(30-300GHz)内的无线电波, 波长在10mm至1mm之间。在5G环境中, 毫米波指24至71GHz之间的频率(按惯例, 26GHz和28GHz这两个频率范围包含在毫米波范围内)	广域物联网: 使用蜂窝网络或非授权低功耗技术(如Sigfox和LoRa)连接的设备组成的网络
	移动宽带: 采用5G、LTE、HSPA、CDMA2000EV-DO、MobileWiMAX和TD-SCDMA等无线接入技术的移动数据业务	

全球和区域关键数据

全球关键数据

	2019	2020	2026 预测值	CAGR* 2020-2026	单位
移动签约用户					
全球移动签约用户数	7,930	7,950	8,770	2%	百万
•智能手机签约用户数	5,650	6,060	7,690	4%	百万
•移动PC、平板电脑和移动路由器的签约用户数	270	290	450	8%	百万
•移动宽带用户数	6,120	6,430	8,010	4%	百万
•移动签约用户数, 仅使用GSM/EDGE	1,670	1,390	630	-12%	百万
•移动签约用户数, WCDMA/HSPA	1,870	1,660	720	-13%	百万
•移动签约用户数, LTE	4,290	4,630	3,900	-3%	百万
•移动签约用户数, 5G	13	220	3,520	59%	百万
•固定无线接入连接	51	62	180	20%	百万
固定宽带连接	1,170	1,220	1,520	4%	百万
移动数据流量					
•每部智能手机生成的数据流量	6.6	9	35	25%	GB/月
•每台移动PC生成的数据流量	15	17	29	9%	GB/月
•每台平板电脑生成的数据流量	6.9	8.1	18	15%	GB/月
总流量**					
移动数据总流量	34	49	237	30%	EB/月
•智能手机	32	47	232	31%	EB/月
•移动PC和路由器	0.8	0.9	1.3	6%	EB/月
•平板电脑	0.9	1.1	3.9	23%	EB/月
固定无线接入	6.1	9.1	64	39%	EB/月
移动网络总流量	40	58	301	32%	EB/月
固网数据总流量	140	170	490	19%	EB/月

区域关键数据

	2019	2020	2025 预测值	CAGR* 2019-2025	单位
移动签约用户数					
北美	380	390	430	2%	百万
拉丁美洲	660	650	710	1%	百万
西欧	510	510	520	0%	百万
中欧和东欧	570	560	560	0%	百万
东北亚	2,050	2,060	2,210	1%	百万
中国 ¹	1,600	1,600	1,680	1%	百万
东南亚和大洋洲	1,140	1,130	1,220	1%	百万
印度、尼泊尔和不丹	1,130	1,130	1,260	2%	百万
中东和北非	710	710	810	2%	百万
海湾合作委员会(GCC) ²	79	76	85	2%	百万
撒哈拉以南非洲地区	770	820	1,040	4%	百万
智能手机签约用户数					
北美	310	320	350	2%	百万
拉丁美洲	490	500	580	3%	百万
西欧	420	420	430	0%	百万
中欧和东欧	400	410	450	2%	百万
东北亚	1,760	1,850	2,080	2%	百万
中国 ¹	1,390	1,450	1,600	2%	百万
东南亚和大洋洲	790	840	1,100	5%	百万
印度、尼泊尔和不丹	660	810	1,240	7%	百万
中东和北非	420	470	680	7%	百万
海湾合作委员会(GCC) ²	62	62	74	3%	百万
撒哈拉以南非洲地区	390	440	760	9%	百万

区域关键数据

LTE签约用户数	2019	2020	2026 预测值	CAGR* 2020-2026	单位
北美	350	350	70	-24%	百万
拉丁美洲	330	390	340	-2%	百万
西欧	360	400	140	-16%	百万
中欧和东欧	230	280	370	5%	百万
东北亚	1,800	1,720	740	-13%	百万
中国 ¹	1,230	1,410	560	-14%	百万
东南亚和大洋洲	390	470	700	7%	百万
印度、尼泊尔和不丹	560	680	830	3%	百万
中东和北非	180	220	420	11%	百万
海湾合作委员会(GCC) ²	53	61	19	-18%	百万
撒哈拉以南非洲地区	88	130	300	15%	百万

5G签约用户数	2019	2020	2026 预测值	CAGR* 2020-2026	单位
北美	1	14	360	71%	百万
拉丁美洲	0	1	240	N/A	百万
西欧	1	8	360	N/A	百万
中欧和东欧	0	0	180	N/A	百万
东北亚	10	190	1,430	40%	百万
中国 ¹	5	173	1,170	38%	百万
东南亚和大洋洲	0	2	400	N/A	百万
印度、尼泊尔和不丹	0	0	330	N/A	百万
中东和北非	1	1	150	N/A	百万
海湾合作委员会(GCC) ²	1	1	62	N/A	百万
撒哈拉以南非洲地区	0	0	70	N/A	百万

每部智能手机生成的数据流量	2019	2020	2026 预测值	CAGR* 2020-2026	单位
北美	8.4	11.1	48	27%	GB/月
拉丁美洲	3.9	5.9	30	31%	GB/月
西欧	7.3	11	47	28%	GB/月
中欧和东欧	5.1	7.2	29	26%	GB/月
东北亚	7.8	10.9	39	24%	GB/月
中国 ¹	7.8	11	38	23%	GB/月
东南亚和大洋洲	4.3	6.2	39	36%	GB/月
印度、尼泊尔和不丹	13	14.6	40	18%	GB/月
中东和北非	4.4	6.5	32	30%	GB/月
海湾合作委员会(GCC) ²	14	18.4	42	15%	GB/月
撒哈拉以南非洲地区	1.6	2.2	9	26%	GB/月

移动数据总流量	2019	2020	2026 预测值	CAGR* 2020-2026	单位
北美	2.8	3.7	17	29%	EB/月
拉丁美洲	1.6	2.5	15	34%	EB/月
西欧	3	4.4	18	26%	EB/月
中欧和东欧	1.6	2.3	10	28%	EB/月
东北亚	12.4	18	74	26%	EB/月
中国 ¹	9.9	15	56	25%	EB/月
东南亚和大洋洲	3.1	4.7	39	42%	EB/月
印度、尼泊尔和不丹	6.9	9.5	41	27%	EB/月
中东和北非	1.6	2.6	18	38%	EB/月
海湾合作委员会(GCC) ²	0.7	0.9	2.5	18%	EB/月
撒哈拉以南非洲地区	0.54	0.87	5.9	38%	EB/月

¹ 这些数据也包含在东北亚地区的区域性数字之中。² 这些数据也包含在中东和北非地区的区域性数字之中。

* CAGR依据末四舍五入的数字计算。

** 数字按照四舍五入计算(参见方法), 因此而计算的预测数字可能和实际数字有些许差距。

爱立信助力通信运营商捕捉连接的全方位价值。我们的业务组合跨网络、数字服务、管理服务和新兴业务,帮助我们的客户提高效率,实现数字化转型,找到新的收入来源。爱立信持续投资创新,从固定电话到移动宽带,致力服务全球数十亿用户。爱立信在斯德哥尔摩纳斯达克交易所和纽约纳斯达克交易所上市。

更多信息请访问 www.ericsson.com