



## 私有5G网络

企业不再受限

为 了实现企业互联互通，不仅仅是一般意义上的网络连接，更是超可靠、高速、低延迟、高效以及高密度的无线网络连接，企业有两个基本选择。连接公共5G网络；或者选择私有5G网络，无论是通过与移动运营商签约获得

运营支持并购买自己的网络基础设施，或是用自有频谱维护私有5G网络。对于众多国际大型企业来说，私有5G网络有望成为他们的首选，尤其是制造企业、物流中心以及港口等工业环境。

到2020年底，预计全球将有超过100家公司开展私有5G网络部署测试，人力及物力投资将达到上亿美元。在之后的几年内，安装单站点和多站点私人5G网络的费用将迅速增长。<sup>1</sup>到2024年，用于私有网络的蜂窝移动网络设备和服务的价值每年可能会增加数百亿美元。

不难理解为什么5G有这般吸引力，因为它的性能比无线网络更好，灵活性比有线网络更大。到目前为止，蜂窝移动网络仍难以在充满金属和无线电干扰的环境中大规模应用。将于2020年6月颁布的企业5G标准很有可能会消除这一限制，让5G在未来十年被应用到工厂、仓库以及其他此前不适用的场所。

尽管并非所有企业都必须使用私有5G网络，但很多企业都有必要使用私有5G网络。与公共网络不同，私有5G网络可以根据使用场所的具体需求进行配置，<sup>2</sup>也可以按照每个地点的工作类型提供不同的配置。私有网络还可以让企业决定网络部署时间表和覆盖区域的网络质量。现场工作人员可提供网络安装和维护服务，以及时解决问题。凭借更高的安全性，网络所有者将能获得公共网络不可能提供的控制权：<sup>3</sup>企业可以决定哪些用户接入网络，哪些数据也可以保留在站点。现场保存数据可以减少延迟。私有网络甚至可以在专用频谱上运行，以减低第三方使用所导致的服务水平变化的风险。

### 私有5G网络有多安全？这取决于您如何处理这些数字

与公共网络相比，私有5G网络在隐私和安全方面有明显的优势——至少有人可能这么认为。但拥有自己的网络并不意味着数据永远都不离开这个网络。企业以采取多种方法来处理数据，每种方法都会有不同的安全和隐私影响。

如果企业想要将数据完整保存在本地，除了私有网络外，还需要合适的硬件和软件在本地处理数据。如机器学习计算，如果某家公司需要运行自己的机器学习应用以及/或者在设备中嵌入人工智能芯片，以帮助设备在本地完成计算。而其他公司可能想要将某些数据移出私有网络，在公共云端进行处理。在这种情况下，隐私和安全风险会增大，但科技借助联邦学习等可以在私有网络中对数据进行预处理的技术，然后将加密结果发送至云端，可以帮助减低此类风险。<sup>4</sup>

当企业与采用“电信边缘”架构的网络运营商合作时，情况可能会变得更加复杂。在此类情况下，可以将电信边缘人工智能计算机置于电信公司的办公场所内，但其距离企业的实际距离必须小于50公里。可以通过公共网络中的电信边缘计算机传输数据，同时也可以通过私有5G网络将数据存放在公司的办公场所，这种方式被称为“colo edge”。大多数选择电信边缘人工智能方法部署私有5G网络的公司都会采用“colo edge”的方式。

## 面向企业的5G网络： 堪比有线网络的无线网

企业私有5G网络将探索下一代5G标准——3GPP Release 16所提出的新性能。Release 16旨在用5G替换私有的有线以太网、WiFi和LTE网络，增加多种专为工业环境设计的新性能。<sup>5</sup>2019年投入商业运营的各种5G网络均基于Release 15；Release 17将重点关注附加应用软件，例如，Release 17提出计划在21世纪20年代中期实现5G直播。<sup>6</sup>

Release 16规定了5G的三大特征，有助于实现5G在一系列工业环境中的应用：

- **超高可靠低时延通信（uRLLC）**。uRLLC使5G能够以等同于有线网络的时延和可靠性，为控制器、转换器、传感器和致动器提供网络连接。<sup>7</sup>

- **海量机器通信（mMTC）**。mMTC支持极高连接密度，可以提供工业级的物联网服务。凭借这一特征，5G将能在一平方公里的范围内为上百万个物联网传感器和设备提供网络连接。
- **增强型移动宽带（eMBB）**。eMBB由Release 15提出，指5G可以高达20 Gbps的速度传输数据。<sup>8</sup>

Release 16增加了对时间敏感网络（TSN）的支持，可实现固定以太网与5G网络的共存与合并。<sup>9</sup> TSN将使5G网络能够被应用到目前仅通过有线以太网网络运行的应用程序中。<sup>10</sup>此外，Release 16还提出支持未经许可的网络，这意味着私有5G网络部署可使用不在许可范围内的频谱。

### 5G的工业级性能

5G的超强性能可以将无线网络连接延伸到任何标准都未曾触达的领域，将5G网络带到很多曾经没有网络的场所和场景。Release 16实施之后，5G将实现：

- **每个应用每秒网速上百兆**，在此之前，只有光纤才能实现如此快的网速。除此之外，5G的速度足以支持以每秒上百兆的速度运行的超高清(UHD)视频，使远程可视化检查成为可能。
- **99.9999%的可靠率**。也称为六个9级别的可靠率，意味着一年只停机5分钟，<sup>11</sup>相当于11个固定以太网的性能。
- **处理关键任务更可靠**。5G网络可以实现选择性分区，用户可以设定不同网络段的服务质量，从而进一步缩短最高优先级应用程序的停机时间。
- **在有金属障碍物的环境中工作**。Release 16将这种能力称之为5G CoMP（多点协作），<sup>12</sup>在工业应用中不可或缺。如果一个金属物体，如起重机或传送带，阻塞了5G信号的路径，那么还可以通过另一条路径传输数据。多个发送端会产生通往接收器的多余路径，确保成功发送数据包。

- **高密度。**4G网络在一平方公里范围内最多仅能支持100,000台设备联网；而5G可支持多达100万台设备联网。对于一个面积100,000平方米的工厂来说，这意味着5G能够接入100,000台设备，而4G只能接入1万台设备，因此工厂里的所有传感器和设备都能连接网络。在工业领域，提高密度的需求越来越大。例如，在巴斯夫位于德国路德维希港的主要生产设施中，联网的传感器和设备数量达到600,000，此外，该公司还计划将传感器和设备数量增加到10倍以上。<sup>13</sup>
- **毫秒级延迟。**根据Release 16，5G网络将能够在千分之一秒内作出响应。这种极低延迟是某些类型的流程自动化和远程控制设备所要求的。私有5G网络的延迟甚至可能比公共网络还低：如果私有5G网络的核心部署在本地，那么所有工作都可以在本地处理；但如果在外部，则会带来额外的延迟——如果采用电信边缘的方法，可能会延迟几毫秒；如果通过远程数据中心处理，则可能延迟几十毫秒——因为在这种情况下，需要先将数据传输到外部站点，然后再回传。

当然，5G并不是唯一的上网方式。从短期来看（至2030年），5G将可能与多种其他蜂窝移动以及WiFi标准以及当前广泛使用的有线网络标准共存。实际上，从中期来看（至2026年或之后），大多数企业将可能混合使用5G和现有的以太网等有线网络。

但从长远来看（未来10年至15年），5G可能是最适合苛刻环境的网络标准，如重视灵活性，强调可靠性，或者有高传感器密度安装要求等苛刻环境。

### WiFi和LTE亦有用武之地

5G可能是无线网络的一大飞跃，但并不是唯一可行的技术。从用途和环境来看，WiFi以及/或者LTE也能达到同样的效果，我们希望企业继续使用这两种技术来构建私有网络（图1）。

相较于私有蜂窝网络，WiFi具有快捷、简便且便宜的特点，在重视速度和经济性的情况下，是一种非常具有吸引力的选择。私有WiFi网络已经被应用到工厂中，尤其是非关键应用情境。新的WiFi标准，包括Wi-Fi 6，不断出台，大大增强了WiFi网络的性能。截至2019年夏，市场已推出14款Wi-Fi路由器，14但客户端设备仍未上市。

各种私有LTE网络——基于公共LTE标准，但私人部署的规模可能缩小——可能从2020年开始部署。一些公司可能会将其作为权宜之计，直到5G工业网络完全可用（可能从2021年-2022年间开始）。私有LTE网络通常使用高质量的射频设备，可能拉高成本。然而，最新的LTE版本可能有比Wi-Fi更高的频谱效率，而且还具备网络切片功能，不过仅支持无线网络。此外，LTE还比Wi-Fi更稳定。

图1

## 不同网络技术的优劣势

	Wi-Fi 6	私有 LTE	5G
 环境	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 办公环境</li> <li>• 家庭</li> <li>• 汽车</li> <li>• 购物中心</li> <li>• 交通枢纽</li> </ul>	所有环境，如没有公共LTE网络的矿场或建筑工地	所有环境，包括工业环境
 可用性	Wi-Fi 6 于2019年第三季度最终确定	随时可用	将于2020年6月最后敲定Release 16 标准；2021年开始首次投入商业化应用
 速度	最高9.6 Gbps	理想情况下，最高1 Gbps，最低相当于窄带IoT (极低速)	初期阶段最高10 Gbps
 密度	专为数字人口密集的家庭和办公场所设计。Wi-Fi 6将上一代标准在高密度环境中的性能提升了4倍	每平方公里可连接100,000台设备，企业可以设置上行和下行链路，并制订使用规范	每平方公里可连接100万台设备
 可移动性	主要为在固定场所使用而设计	可从私人网络漫游至公共LTE网络。具备快速切换能力（相对速度350千米/小时）	可从私人网络漫游至公共LTE网络。具备快速切换能力（相对速度500千米/小时）
 时延与可靠性	> 100 毫秒，但载荷增加时，不能保证低延迟和高可靠性	对于私有LTE-M网络，时延为40-50 毫秒	超高可靠低时延 (URLLC)： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 私有网络的时延仅为亚毫秒</li> <li>• 99.9999% (六个9) 的可靠性</li> </ul>
 频段	发布时，频率范围为2.4 GHz和5 GHz，拓展频率为1 GHz和6 GHz	授权频段与非授权频段，包括美国的CBRS (3.5 GHz) 和 5 GHz	授权频段与非授权频段，600 MHz至毫米波 (24-29 GHz 和37-43 GHz)

资料来源：Mark Turner, "Wi-Fi 6 explained: The next generation of Wi-Fi," Techspot, September 17, 2019; Gabriel Brown, *Private LTE networks*, July 2017; Lauren J. Young, "Telecom experts plot a path to 5G," *IEEE Spectrum*, October 6, 2015; Yongbin Wei, *The role of 5G in private networks for industrial IoT*, May 22, 2019; Sacha Kavanagh, "5G vs. 4G: No contest," 5G.co.uk, September 27, 2018; Wi-Fi Alliance, *Wi-Fi 6: High performance, next generation Wi-Fi*, October 2018.

目前为止，LTE通常是在最苛刻的工业环境中首选的网络技术。例如，中国洋山港采用LTE网络的变体来管理自动导引车车队（AGV）。<sup>15</sup>相较于固定以太网或Wi-Fi，LTE的优势在于它有更大的覆盖范围和移动性。完成全面部署后，港口将能通过网络远程或自动操控设备，包括130辆AGV、26辆桥式起重机和120辆轨道式龙门起重机。同样，在英国，Ocado部署私有LTE网络，并通过物流中心操控1,000个快速移动的机器人在线处理订单。LTE网络仅通过一个基站来管理机器人，每秒最多可与它们通信10次。

虽然可能比较昂贵，但私有LTE网络可以带来经济回报。例如，诺基亚曾使用先进的私有LTE网络（4.9G）帮助旗下某基站工厂实现自动化生产。LTE网络可以实现边缘云上的物联网分析，并通过联网移动机器人，形成运营数据和内部物流自动化的实时数字孪生。据诺基亚称，使用LTE网络使可使生产效率提高30%，产品投放市场的成本降低50%，每年的收益高达数百万欧元。<sup>16</sup>

## 私有5G网络的主要部署场景

根据Release 16, 5G有望在未来10到20年成为全球主流的局域网和广域网技术, 尤其是绿地建设领域。新工厂、港口或园区的建设可以大幅减少有线网络的使用。未来5年, 一些地方可能会出现私人5G部署热潮, 这些地方将很快从更好的(从速度、容量、时延以及其他方面来看)无线技术中获得巨大好处。

从2020年至2025年, 预计港口、机场和物流中心将构成约三分之一的私有5G市场(以美元计算), 并成为5G的首批尝鲜者。原因不难看出。例如, 某主要海港有一些固定的机械和设备可以通过电缆连接到网络, 但还需要跟踪并与数百台叉车和推车进行通信, 更不用说还要在一个受控制、敏感且安全的环境中与成百上千名员工通信。此外, 港口管理人员还需要追踪成千上万个集装箱的多项数据: 集装箱具体位置、是否已清关、温度是否适宜、是否有人移动或打开、是否可以移除或添加任何东西等。在理想情况下, 每个集装箱内每件高价值物品都可以被追踪, 最多可以达到上百万件。但所有工作必须在一个充满移动金属物件和射频设备的、约1平方公里的范围内完成。

在上述环境中开展工作, 5G毫无疑问是最佳的选择。只有5G能够在这些环境中正常工作, 其他所有技术, 包括4G和WiFi都做不到。安全性、灵活性以及价格等因素, 将使企业产生控制其网络的想法。

另外三分之一的私有5G机遇将来自工厂和仓库。如今, 这些场所混合采用有线和无线网络技术, 由于很多公司需要引入新设备来推动业务转型, 但有线网络不能满足这方面的需求。这类“私有”网络可以确保安全性、隐私以及灵活性; 帮助企业开发专有的特殊解决方案; 同时, 以更低的成本从公共网络购买服务。

## 从2020年至2025年, 预计港口、机场和物流中心将构成约三分之一的私有5G市场(以美元计算), 并成为5G的首批尝鲜者。

根据Release 16, 5G的几大特点将在工业环境中发挥重要作用。其中最重要的特点是, 5G能够在充满金属的环境中正常工作, 这是过去所有无线网络技术都难以克服的障碍。另一个推动5G应用的关键特点是网络切片。网络切片按优先级分配流量, 而不是将相等的份额平均分配给每台设备。优先级最高的可能是高速运行的远程操控汽车, 而传感器和追踪设备则不受较慢网速或较高延迟的影响。

企业5G网络的另一个重要特征是超高连接密度。装配厂里的每把工业螺丝刀或医院里的每台计重秤都可以被纳入大规模扩展的网络，从而更好地监控和管理设备，提高生产效率。万物互联还能大大改进简单资产管理：确定螺丝刀的位置、上次检修后的使用频率。

利用5G与机器通信并实现机器间的通信，制造商将能建设灵活的工厂，这些工厂可以在相对较少的停机时间内完成重新配置。当然，可能不再需要移动工厂设备：传统的工业机械臂用途广、价格贵，且通常需要固定在一个地方。企业正引入越来越多可移动的设备，以提高工厂和仓库的生产效率。例如，越来越多地使用自动专业服务机器人—机械操控型，并非人工远程控制型—来搬运物品。预计2020年这类设备的销量将达到约50万台，比上年增长30%；到2025年，年度销售额有望突破100万台。<sup>17</sup>自动搬运车需要在5G网络的支持完成工作，如精确的室内导航和定位（10厘米内）。<sup>18</sup>这类设备变得越来越重要，未来的工厂车间内的设备将混合使用固定和移动网络，以实现充分的灵活性。

最后三分之一的5G市场是绿地项目建设，尤其是园区的开发建设。事实上，许多公司可能最初只会在绿地项目建设工地中部署5G，但对于进行中的绿地建设工地，因为混合使用多种联网技术，将形成私有5G网络孤岛。

根据以往的经验，建设一个新的设施或园区包括设计、购买、安装以及部署各种各样的电线、以太网网线、光纤网线、3G以及/或者4G蜂窝中继器以及WiFi设备等环节。

然而，未来5年私有5G网络将降低成本，让许多工地可以直接跳过有线网络，或者至少可以尽可能少地使用有线网络。在某些情况下，这些园区可能只有暂时的联网需求。例如，私有5G网络可以在几天之内完成部署，以为大型音乐节提供支持。移动运营商也可以分配移动网络为涌入现场的20万乐迷提供服务，并保留部分容量，但网速延迟需要满足一些要求，以确保音乐节顺利开展，如电视直播（5G可以替代有线网络）、音响连接以及紧急服务。<sup>19</sup>

## 公司可以通过多种方式部署私有5G网络。大型公司可能会安装基于完全自有的基础设施并采用（获得市场许可的）专用频谱的私有5G网络。

公司可以通过多种方式部署私有5G网络。大型公司可能会安装基于完全自有的基础设施并采用（获得市场许可的）专用频谱的私有5G网络，并通过公司内部团队或者外包给移动运营商来进行管理。中小型公司更有可能向公共移动网络运营商租用网络设备，外包网络管理业务并转租频谱（频谱定位到公司所在位置），或者，在某些情况下，使用未经许可的频谱。<sup>20</sup>移动运营商、系统集成商或者设备供应商可以管理网络以及所有附属设备。



## 对消费者来说锦上添花，制造商而言必不可少

2019年推出的第一批5G网络服务面向消费者，在很大程度上是因为，适用于消费者的标准（即3GPP Release 15）是最先制定完成。但先得到并不意味着最有用，至少从更广泛的经济影响来看是这样。大多数消费者可能只会从5G网络服务中获得新增收益。它可以缓解火车站等人口密集地区的网络拥堵，提供固定家庭宽带之外的选择。但5G在速度、便利性以及可用性等方面的优势却小到很多人都难以注意到。

但对企业来说，则完全不同。随着2020年6月发布Release 16，5G将推动企业工作方式发生巨大变革，尤其是制造企业。

2020年，预计全球仅有10%的机器可以连接无线网络。（到2025年，预计全球有50亿人（占多数的全球人口）使用移动数据网络。）<sup>21</sup>现在大多数生产线使用有线固定网络，重新调整生产线既费时间又费财力。反过来，这种情况限制了生产的灵活性。连接到移动机器的线缆也会随着时间的流逝出现损耗。维护和更替线缆花费较高，因为不仅需要考虑零部件与人力成本，还需要暂停生产活动。

在近代制造业发展史上有过很多次这种尝试，但并非每次都能成功调整工厂车间不灵活的生产力，以满足消费者迅速增加的个性化需求。<sup>22</sup>根据Release 16，在私有环境中部署5G也许才是解决方案。

## 工业5G： 从削减成本到流程再造

企业可能会分阶段部署5G，未来几年，早期部署工作将主要关注削减成本。某些部署项目可能会以公共5G网络为切入点，之后再转变为私有网络；当然，也可能出现反方向的转变。

以下是5G在工业环境的一些应用情境。所有这些应用都可以通过公共网络实现，但是如果公司最终将这些网络变为私有，则可能获得更多好处。

### 5G用于线缆更换

在某些情况下，企业选择5G可能仅仅因为它比安装新的固定网络更便宜。考虑到这个原因，芝加哥拉什大学医学院在一栋老旧大楼里安装

了5G网络。由于这栋楼有100年的历史，其建筑架构不能满足计算机时代的使用需求：<sup>23</sup>大楼的假吊顶已被各种东西填满，没有空间安装新的线缆。在大楼安装线缆可能花费数百万美元，远远超过部署5G网络的成本，而5G不仅能够提供同等的网络服务，而且具备更大的灵活性。但并不是说拉什大学没有考虑过将5G应用到新建大楼。目前，这家医院正考虑在院区中心地段设计一栋连接5G网络的11层建筑。

### 5G用于远程控制

5G可以用于远程控制各类设施。例如，一家英国小型农场计划利用5G技术，打造一个“解放双手的”自动化农场。<sup>24</sup>远程控制的机器，如拖拉机、无人机等将被用于播种、耕种和收割庄稼。此外，安装在地面上的传感器还能提供更多信息。

同样，一家日本公司也利用5G，帮助坐东京办公室办公的司机，远程驾驶数十公里之外建筑工地上的机械挖掘机。<sup>25</sup>来自多个4K摄像机的视频流通过5G网络快速传递挖掘机周围的环境信息。如果遭遇恶劣天气状况，或者到建筑工地的通勤距离较远，即使不坐在驾驶舱，司机计也能操控挖掘机。除了舒适和便利的好处，远程控制机械还可以让年老或者残疾人士继续参加经济活动，对于日本这类人口老龄化严重的国家来说很有帮助。

港口也纷开始考虑使用蜂窝移动网络，监视自动导引汽车，远程控制起重机，或者进行视频监控。在荷兰鹿特丹，连接5G网络的超高清摄像机可以对160,000公里之外的管道网络实施可视化检查。<sup>26</sup>在中国天津，连接5G网络的无人机已经被用于检查电力线路。<sup>27</sup>

#### 5G 用于新设备分类

完整的5G标准可能会帮助一些相对小众、新出现的设备充分发挥潜力。增强现实和虚拟现实眼镜就是两个典型的例子。截至2019年，增强现实眼镜在零售消费者和企业客户中的销量预计将达到数十万，<sup>28</sup>与工业用虚拟眼镜的销量不相上下。<sup>29</sup>凭借高速和可靠的特性，5G可以让这些设备在云端而非本地，处理图像，大大改善用户体验。在试验中，5G已经能够将图像传输到分辨率为2880×1600的（分辨率介于高清和4K之间）VR眼镜上，刷新频率可达到每秒75帧。<sup>30</sup>高速帧频可以最大程度缓解运动过程中眼镜造成的眩晕感。<sup>31</sup>

在众多可行的企业应用情境中，增强现实和虚拟现实眼镜在维修工作中尤其有用。维修工人可佩戴高质量的增强现实眼镜，在维修现场获得自动化协助，例如，增强现实覆盖层可通过设备指导工人工作。<sup>32</sup>虚拟现实技术也可以应用于远程维修工作，它可以利用360度球形摄像机传送图像。

#### 5G 用于产能提升

通过提升现有流程的效率，5G可以大幅提高生产效率。英国Worcester Bosch的一项试验发现，在一些应用情境中，私有5G网络能将生产效率提高2%，达到了预期效果的两倍。将这个数字放在历史背景下来看，2%的提升相当于英国过去10年的平均生产效率增幅。<sup>33</sup>

5G改进流程的方式仅受人类创造力的影响。例如，在赫尔辛基的一家制造厂，连接5G网络的摄像机可为组装低压驱动器的工作人员提供实时反馈。机器视觉可以对摄像机反馈的视频进行分析，<sup>34</sup>任何的装配错误都会触发即时警报。如果没有触发警报，则说明装配过程准确无误。机器视觉应用还可以为工人提供人体工程学方面的指导，纠正工人工作过程中身体和手的姿势。

爱立信利用5G技术，基于使用频率，自动维护约1,000把高精度螺丝刀。过去，工人需要手动校准和润滑螺丝刀，并通过手写记录追踪上次维修时间。通过增加运动传感器来量化螺丝刀的使用次数，并用窄带物联网模块连接网络，爱立信实现了这一过程的自动化，将每年的工作量减少50%。<sup>35</sup>

## 5G 用于流程再造和新运营模式

也许5G最引人注目的地方是，可以推动基本流程再造，尤其是制造业。5G 技术诞生之时，许多市场的制造业正在寻求自我改革。对很多公司来说，现在就是最好的时机。

以汽车行业为例。汽车购买者现在想要并且愿意为汽车个性化设置买单。汽车制造商通过提供越来越多的车型和汽车子类来满足这类需求，同时，装配线也需要更加灵活，以适应不同生产需求。为了满足这种需求，梅赛德斯为旗下某新型工厂打造了一个灵活生产的模板——TecLine。梅塞德斯的TecLine连接5G网络，拥有300个无人驾驶系统组成的灵活装配线。与一步一步地往下走的线性装配线不同，自动运输系统将未组装完成的零部件运送至工厂各个区域，然后智能拣货系统会将相应的零部件运送至不同站点。<sup>36</sup>

Bosch Rexroth正在不断完善这个概念。它正在中国西安建设工厂，这是一家只有墙、地板和天花板固定不动的工厂，除此以外，所有其他东西都是可移动的。装配线是模块化的，构成模块的机器通过5G相互连接，可实现自主移动和重新调整，从而形成新的生产线。<sup>37</sup>

其他行业也可以通过5G 实现流程再造。例如，某家医院因为接入5G 网络，大大增加了联网设备数量，而且，即使是不断移动的设备也能连接到网络。磅秤、血压袖带等医疗仪器将不再需要连接固定网络，<sup>38</sup>医生可以通过这些设备，远程查看影像资料并进行诊断。

## 私有5G紧随专用交换机的步伐

在企业电话通讯系统的发展初期，语音电话是唯一的应用。如果一家公司想要为所有10位员工配备不同的电话号码，则需要准备并支付安装10条电话线的费用。如果某位员工想要拨打内部电话，例如，打给仅在数米之外的同事。电话信号首先会离开其办公的写字楼，到达通信运营商总部的转接中心，然后再回到同一栋写字楼，到达另一位同事办公的大楼。这种方式既昂贵又低效。

上世纪70年代，替代方案出现：自动专用交换机（PBX）。PBX是一种应用于企业办公场所内的电话交换机。每台内部电话都有自己的分机号码。有了专用交换机，内部电话再也不用离开办公室：实际上，它形成一个私有网络，仅在拨打外部电话时连接到公共网络。企业可以从电话公司租用PBX，按月缴纳费用；或者，从上世纪90年代起，公司也可以购买并自行维护专用交换机。专用交换机具备很多公共网络所不具备的好处和特征（如等待音乐），而且可以节约成本。

在应用PBX 的初期，几乎每家公司都会委托电话公司安装或维护PBX。几十年后，企业所有和自营的PBX市场才逐渐成熟。

到1988年，美国PBX 市场每年新增近500万根电话线。<sup>39</sup>1997年，随着互联网协议专用交换机（IP PBX）技术的出现，企业可以用PBX拨打本地甚至长途和内部电话。功能增加，成本却进一步降低。<sup>40</sup>IP PBX技术使公司在地理上分散的站点成为一个单的、全国性的、甚至跨国的语音网络。

与PBX类似，私有5G网络既是自给自足的，同时也需要与外部网络连接。企业可以与电话公司共同管理网络，或者完全由企业自主运营。私有5G网络有很多公共5G网络所不具备特征和好处。此外，它还能降低成本。

在私有5G网络的发展初期，预计大多数企业会交由运营商等专业机构来帮助管理公共5G网络。

---

## 小结

企业难免会受到连续几代通信技术更迭的影响。关于5G的Release 16可能是目前为止最具颠覆性的移动技术。广泛应用私有网络将对很多不同类型的企业产生影响。

对于移动运营商，私有5G网络的增长意味着更多收入。支持部署私有5G网络的运营商有机会将他们的网络管理技术应用到单个公司中去，尤其是中小型企业建立并运营私有网络。在某些市场，他们可以将所有的频谱转租到特定的地理位置。为了有效利用这些机会，移动运营商需要发展管理垂直部门的能力，或与拥有特定知识的企业进行合作。实际上，每个行业、每次部署都可能有一系列不同的需求和应用，每一次都是不同性能、特征组合，如速度、延迟和可靠性。

对于网络设备供应商来说，私有5G市场的范围将得到极大延伸，甚至包括销售蜂窝移动设备。预计（可能有点夸张）私有无线网络最终将有多达1,400万个蜂窝基站，超出当前全球公共移动网络运营商运营的700万个基站的两倍（虽然单个企业蜂窝网络基站的价格可能比公共网络基站更低）。<sup>41</sup>企业维护私有5G网络的服务和支持需求将带来新的创收机遇。供应商将需要确定是否需要直接向公司出售，或者与移动运营商合作。通常情况下，它们会同时采用两种方法。

如果有的话，监管机构应该确定企业私有网络可以使用多少频段。在某些地方，监管机构可能需要确定是否直接向企业分配频段，或者通过移动运营商进行分配。此外，监管机构还应考虑在哪些频段提供频谱。

---

## 私有5G频段

私有5G网络的性能将取决于可用频谱的数量和范围。中频段（1-6 GHz）在室内环境中运行良好，能够在传输点相对较少的情况下实现广泛覆盖。毫米波频段（24-29 GHz、37-43.5 GHz以及66-71 GHz）具有较高网速和较低延迟，信号更容易保留在建筑物内，可以减少对宏移动网络的干扰。然而，和中频段相比，它需要更加密集的无线电部署。

使用私有移动网络频谱的很多方式目前正处于部署、试验或考虑的阶段，包括：

- 授权频谱内的5G。德国已经开始通过这种方式向个别公司分配频谱或者将频谱交由运营商管理。
- 授权频谱内的LTE。
- 未授权频谱内的独立LTE（MulleFire）。这是当前日本所采用的方式，目的是最终将MulleFire迁移至5G NR。
- 共享频谱内的LTE（例如，美国的市民宽带无线电服务【CBRS】）。在美国，这种网络的运行频率为3.5 GHz，美国联邦通信委员会制订了一个三级频谱共享框架。
- 未授权频谱内的独立5G（MulleFire）。例如，在5GHz和6GHz频段中，NR-U能够以独立和非独立的方式运行。

成百上千的企业可能会在未来十年部署私有蜂窝网络。一些公司可能只会将部分或所有线缆换成无线网络，但将私有5G部署与流程变化和业务模式重新设计结合起来，可能会带来更大的回报，尽管也更具挑战性。随着越来越多的公司

开始利用5G实施转型，行业格局将发生改变，而且可能是颠覆性的变革。如果真的发生这种情况，那么在历史进程中，5G将不仅仅是技术奇迹，更是一股重塑企业经营方式的强大力量。

## 尾注

1. 高德纳的一项调查发现，三分之二的组织计划2020年部署5G，主要用于物联网通信和视频。欲了解更多信息，请参见：高德纳，新闻报道“Gartner survey reveals two-thirds of organizations intend to deploy 5G by 2020”，2018年12月18日。
2. Qualcomm, “Expanding 5G NR to industrial IoT,” accessed October 3, 2019.
3. Markus Fasse and Stephan Scheuer, “Carmakers want their own 5G networks,” *Handelsblatt Today*, October 29, 2018.
4. Solmaz Niknam, Harpreet S. Dhillon, and Jeffery H. Reed, “Federated learning for wireless communications: Motivation, opportunities and challenges,” Cornell University, September 6, 2019.
5. 5G通过单一标准实现这种功能。相比之下，目前有多种工业固定以太网系统：Sercos、PROFINET和EtherCAT。欲了解更多信息，请参见：3GPP, “3GPP SA6 initiatives to enable new vertical applications,” 2019年9月30日。
6. 欲了解更多关于release 15和16的区别，请参见：IEEE Spectrum, “3GPP release 15 Overview,” 2019年10月3日。
7. Gabriel Brown, *Ultra-reliable low-latency 5G for industrial automation*, Qualcomm, accessed October 3, 2019.
8. Lauren J. Young, “Telecom experts plot a path to 5G,” *IEEE Spectrum*, October 6, 2015.
9. János Farkas et al., “5G-TSN integration for industrial automation,” *Ericsson Technology Review*, August 27, 2019.
10. Chantal Polsonetti, “Could 5G NR + TSN mean the end of industrial ethernet as we know it?,” ARC Advisory Group, June 10, 2018.
11. Yongbin Wei, “A new era in industrial production?,” *New Electronics*, May 31, 2019.
12. Light Reading, “How can CoMP extend 5G NR to high capacity & ultra-reliable communications?,” July 11, 2018.
13. Reuters, “Factbox: German industrial giants eye regional 5G licences,” January 24, 2019.
14. ASUS, “AX6000 dual band 802.11 ax WiFi router supporting MU-MIMO and OFDMA technology, with AiProtection network security powered by Trend Micro, built-in WFast game accelerator and adaptive QoS,” accessed October 3, 2019.
15. Huawei, “World’s largest automated container port uses 5.8 GHz LTE,” accessed October 3, 2019.
16. Nokia, “Nokia’s digitalization of its 5G Oulu factory recognized by the World Economic Forum as an “Advanced 4th industrial revolution lighthouse,” press release, July 3, 2019.
17. Please see Deloitte TMT Prediction in the same series: *Robots on the move: Professional service robots set for double-digit growth*.
18. 3GPP, “Study on positioning use cases,” accessed October 3, 2019; 3GPP, “Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains,” accessed October 3, 2019.
19. Glastonbury音乐节有20万名观众和工作人员。欲了解更多信息，请参见：Ben Wood, “The first 5G-enabled festival,” CCS Insight, 2019年10月3日。
20. *IEEE Spectrum*, “Unlicensed spectrum may be critical to 5G,” accessed October 3, 2019.
21. GSMA, *The mobile economy 2019*, 2019.
22. Vicki Holt, “Five expert insights into digital manufacturing and mass customization,” *IndustryWeek*, July 19, 2018.
23. Mike Dano, “This hospital is installing 5G for one big reason: Getting rid of wires,” Light Reading, January 29, 2019.
24. Harper Adams University, “Agricultural Engineering Precision Innovation (Agri-EPI) Centre,” accessed October 3, 2019.

25. NTT Docomo, "Smart construction powered by 5G & IoT," accessed October 3, 2019.
26. Huawei, "KPN, Shell and partners test industrial 5G applications in the port of Rotterdam," November 6, 2018.
27. Xinhua, "China completes first 5G inspection of power lines," May 16, 2019.
28. International Data Corporation, "Augmented reality and virtual reality headsets poised for significant growth, according to IDC," March 28, 2019; Andrew McDonald, "CCS: VR and AR device sales to drop in 2018 despite long-term promise," Digital TV Europe, December 3, 2018.
29. 2019年出售的大部分VR设备可能主要用于游戏消费。Shanhong Liu, "Unit shipments of virtual reality (VR) devices worldwide from 2017 to 2019 (in millions), by vendor, " Statista, 2019年9月5日。
30. Jeremy Horwitz, "AT&T: Our 5G network is ready for 2880×1600 VR and 5ms latency games," VentureBeat, April 1, 2019.
31. Ibid.
32. Ericsson, "Troubleshooting made easier with augmented reality," January 12, 2018.
33. Jayne Brooks, "UK's first 5G industrial trial suggests new technology could increase UK productivity by 2%," Total Telecom, June 18, 2019.
34. Juan Pedro Tomás, "ABB pilots industrial AI application using 5G," Enterprise IoT Insights, June 7, 2019.
35. Ericsson, "The world's first cellular IoT-based smart factory," accessed October 3, 2019.
36. Chris Davies, "Mercedes reveals the 5G robot-filled factory for its most high-tech cars," SlashGear, November 16, 2018.
37. Bosch Rexroth, "Bosch Rexroth invests in the factory of the future," press release, May 8, 2019.
38. Dano, "This hospital is installing 5G for one big reason."
39. *Network World*, "Intecom charts new strategy for future," June 26, 1989.
40. Kevin Gu, "How does a business phone system work?," GenVoice, May 10, 2019; Johnson Hur, "History of PBX," BeBusinessed, accessed October 3, 2019.
41. Mike Dano, "Nokia CTO: Private wireless could be 2x bigger than commercial wireless," Light Reading, May 30, 2019.
42. Bundesnetzagentur, "Electronic communications services," accessed October 3, 2019.





## 关于作者



**Paul Lee | paullee@deloitte.co.uk**

Paul Lee是德勤英国合伙人及德勤全球科技、传媒和电信行业研究负责人。除领导全球科技、传媒和电信行业研究团队外，Lee还负责管理德勤英国该行业研究团队。



**Jeff Loucks | jloucks@deloitte.com**

Jeff Loucks是德勤科技、传媒和电信行业中心执行总监。他密切关注和研究企业如何应对市场环境的加速变化，并撰写相关文章，帮助企业有效利用技术变化。



**Duncan Stewart | dunstewart@deloitte.ca**

Duncan Stewart是德勤加拿大科技、传媒和电信行业研究总监。他定期参加相关行业会议，探讨行业趋势和发展前景，并向客户分享相关信息。



**David Jarvis | davjarvis@deloitte.com**

David Jarvis是德勤科技、传媒和电信行业中心高级研究经理，拥有12年以上科技行业经验，专精研究新兴企业和科技问题，以及长期变革可能产生的影响。



**Chris Arkenberg | carkenberg@deloitte.com**

Chris Arkenberg是德勤科技、传媒和电信行业中心研究经理，主要研究个人和企业与变革性技术的互动。

# 联系人

## 行业领导人

### **Paul J. Sallomi**

德勤全球科技、传媒和电信行业领导人 | 合伙人 | Deloitte Tax LLP  
psallomi@deloitte.com

Paul Sallomi是德勤全球科技、传媒和电信行业领导人及德勤美国科技行业领导人，常驻加利福尼亚州圣何塞。

### **Mark A. Casey**

德勤全球电信、传媒和娱乐行业领导人 | 合伙人 | 德勤荷兰  
markcasey@deloitte.nl

Mark Casey领导德勤全球电信、传媒和娱乐行业团队，常驻阿姆斯特丹。

### **Craig Wigginton**

德勤全球电信行业领导人 | 合伙人 | Deloitte & Touche LLP  
cwiginton@deloitte.com

Craig Wigginton是德勤美国副主席及美洲地区科技、传媒和电信行业领导人，常驻纽约。

# 致谢

感谢德勤同事**David Ciampa**、**Rishabh Kapoor**、**Shashi Kaligotla**和**Shashank Srivastava**为本报告提供的宝贵洞见。

## 中国联系人

### 林国恩

科技、传媒和电信行业领导合伙人  
电信、传媒及娱乐行业领导合伙人  
德勤中国  
电话: +86 10 8520 7126  
电子邮件: [talam@deloitte.com.cn](mailto:talam@deloitte.com.cn)

### 卢莹

教育行业领导合伙人  
德勤中国  
电话: +86 21 6141 1801  
电子邮件: [chalu@deloitte.com.cn](mailto:chalu@deloitte.com.cn)

### 陈耀邦

科技、传媒和电信行业华南区领导合伙人  
德勤中国  
电话: +86 755 3353 8227  
电子邮件: [ybchan@deloitte.com.cn](mailto:ybchan@deloitte.com.cn)

### 薛梓源

科技、传媒和电信行业风险咨询合伙人  
德勤中国  
电话: +86 10 8520 7315  
电子邮件: [tonxue@deloitte.com.cn](mailto:tonxue@deloitte.com.cn)

### 李思嘉

科技行业领导合伙人  
德勤中国  
电话: +86 10 8520 790  
电子邮件: [frli@deloitte.com.cn](mailto:frli@deloitte.com.cn)

### 陈颂

半导体行业领导合伙人  
德勤中国  
电话: +86 21 6141 111  
电子邮件: [leoschen@deloitte.com.cn](mailto:leoschen@deloitte.com.cn)

### 何铮

科技、传媒和电信行业华东区领导合伙人  
德勤中国  
电话: +86 21 6141 1507  
电子邮件: [zhhe@deloitte.com.cn](mailto:zhhe@deloitte.com.cn)

### 程中

科技、传媒和电信行业管理咨询合伙人  
德勤中国  
电话: +86 10 8520 7842  
电子邮件: [zhongcheng@deloitte.com.cn](mailto:zhongcheng@deloitte.com.cn)

**殷亚莉**

科技、传媒和电信行业税务与法务合伙人  
德勤中国  
电话: +86 10 8520 7564  
电子邮件: yayin@deloitte.com.cn

**王佳**

科技、传媒和电信行业税务与法务合伙人  
德勤中国  
电话: +86 10 8512 4077  
电子邮件: jeswang@deloitte.com.cn

**张耀**

电信行业首席顾问  
德勤中国  
电话: +86 10 8512 4816  
电子邮件: yaozhang@deloitte.com.cn

**钟昀泰**

德勤研究总监  
德勤中国  
电话: +86 21 2316 6657  
电子邮件: rochung@deloitte.com.cn

**陈兆临**

科技、传媒和电信行业管理咨询合伙人  
德勤中国  
电话: +86 755 3353 8168  
电子邮件: andrewclchen@deloitte.com.cn

**黄毅伦**

科技、传媒和电信行业财务咨询合伙人  
德勤中国  
电话: +86 755 3353 8098  
电子邮件: alwong@deloitte.com.cn

**周立彦**

科技、传媒和电信行业规划经理  
德勤中国  
电话: +86 10 8512 5909  
电子邮件: liyzhou@deloitte.com.cn

**李艳**

科技、传媒和电信行业高级专员  
德勤中国  
电话: +86 23 8969 2507  
电子邮件: lavli@deloitte.com.cn







# Deloitte. Insights

敬请登陆[www.deloitte.com/insights](http://www.deloitte.com/insights)订阅德勤洞察最新资讯。



敬请关注@DeloitteInsight

## 参与人员

**编辑：** Junko Kaji、Blythe Hurley、Preetha Devan、Rupesh Bhat、Abrar Khan、Nairita Gangopadhyay和Anya George Tharakan

**创意：** Mark Milward

**推广：** Maria Martin Cirujano

**封面设计：** Stuart Briers

## 关于德勤洞察

德勤洞察发布原创文章、报告和期刊，为企业、公共领域和非政府机构提供专业洞察。我们的目标是通过调查研究，利用整个德勤专业服务机构的专业经验，以及来自学界和商界作者的合作，就企业高管与政府领导人所关注的广泛议题进行更深入的探讨。

德勤洞察是Deloitte Development LLC旗下出版商。

## 关于本刊物

本刊物中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其成员所或它们的关联机构（统称为“德勤网络”）并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。任何德勤网络内的机构均不对任何方因使用本通信而导致的任何损失承担责任。

## 关于德勤

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。德勤有限公司并不向客户提供服务。在美国，德勤指德勤有限公司、在美国以“德勤”的名义运营的关联机构及其各自的附属公司所属的一家或多家美国成员所。根据公告会计条例及法规，某些服务并不向鉴证客户提供。请参阅[www.deloitte.com/about](http://www.deloitte.com/about)以了解更多有关德勤有限公司及其成员所的详情。

© 2019 Deloitte Development LLC 版权所有 保留一切权利

德勤有限公司成员

Designed by CORE Creative Services. RITM0384588