

爱立信白皮书
2022年6月



5G Advanced: 通向 6G 的演进

摘要

从 Release 18 开始的 5G 演进被称为 5G Advanced。本文会对 5G Advanced 提供一个概述，用以描绘其技术特性在网络性能和能力上的优势。此外，本文会指出哪些技术特性是在 5G Advanced 中被重点期待的、以及这些技术特性是如何增强和丰富已商用部署的 5G 网络。

为了确保 5G 系统在全球范围的成功、以及通过支持丰富多样的应用场景和垂直行业来拓展 3GPP 技术的使用领域，5G 新空口（NR）和 5G 核心网（5GC）技术的演进正在 3GPP 中向着 5G Advanced 持续迈进。在 5G Advanced 系统中，除去支持扩展现实（XR）业务、轻量级（RedCap）终端、网络节能等技术特性之外，人工智能/机器学习（AI/ML）将发挥重要的作用。虽然爱立信的 5G 网络设备已经可以用具有较高能效的方式去支持 AI/ML 和 XR 的应用与相应需求，仍旧很有必要在 5G 国际标准中对这些技术特性进行支持或增强，以改善多厂商支持状况和增强终端与网络设备间的协作。5G Advanced 的标准化工作是蜂窝无线接入网络向 6G 演进过程中的一个重要步骤。

随着中国5G网络建设及业务创新的飞速发展，移动通信已经成为数字化转型的关键基础设施。5G正在工业、医疗、教育、交通等多个行业领域发挥赋能效应，形成多个具备商业价值的典型应用场景，已覆盖国民经济97个大类中的40个，5G应用案例累计超过2万个。爱立信相信以AI/ML、XR、RedCap终端、网络节能及确定性网络等特性为代表的5G Advanced演进技术将会进一步拓展5G应用场景，提升业务体验，降低网络运行运维复杂度和能耗，赋能中国经济发展，助力运营商“建好5G、管好5G、用好5G”。

内容

摘要	第1页
引言	第3页
3GPP技术演进	第4页
5G Advanced的代表性技术	第7页
向6G的迈进	第14页
总结	第15页
作者列表	第16页

引言

3GPP Release 18 标志着 5G Advanced 的开始。5G Advanced 建立在由 3GPP Release 15、16 和 17 所定义的 5G 的基础版本之上。

5G 网络已经在世界上的大部分地区进行了部署。因此，从这些已部署的商用网络的运营中，我们已经可以得到一些有助于后续改进的初步的经验教训。此外，因为支持新的垂直行业和应用场景所导致的对 5G 网络持续演进的需求也已经促使 3GPP 开启了与 5G Advanced 系统相关的标准化工作。最后，因为 5G Advanced 中所研讨的一些技术领域预计会对未来的 6G 系统产生影响，所以可实现 5G 与 6G 的衔接。

本白皮书会对 5G Advanced 提供一个概述，并且会特别介绍其中最重要的几个技术领域，以及借此指引出 3GPP 未来向 6G 演进的方向。6G 的标准化可能会从 Release 21 正式开始。图 1 提供了爱立信对于“在 3GPP 进行 5G Advanced 和 6G 标准化的时间表”的观点；其中，计划于 2024 年完成 5G Advanced 的第一个版本，计划于 2028 年完成 6G 的第一个版本，随后是 6G 的持续演进。

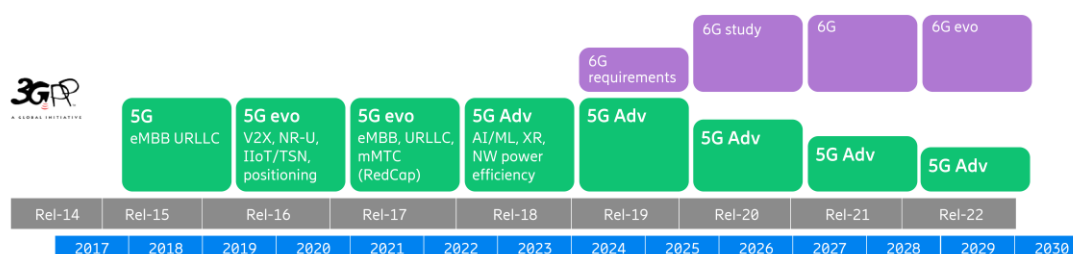


图 1: 爱立信对于“在 3GPP 进行 5G Advanced 和 6G 标准化的时间表”的观点
(2023 年以后的时间表是预计的)

3GPP 技术演进

自从在 Release 15 被推出以来，5G 系统（5GS）的设计已经考虑了一些主要的应用场景种类，例如：增强型移动宽带（eMBB）、关键物联网（cIoT, critical Internet of Things）、和大规模物联网（mIoT, massive Internet of Things）。5GS 在容量和覆盖方面提供了卓越的网络性能；并且，与以前的几代 3GPP 系统相比，5GS 能支持许多新的应用场景和垂直行业。近年来，非常重要的行业趋势是：在追求碳排放量的减少的同时，尽量去满足新应用场景的需求，例如沉浸式通信和专用网络。

此外，已经在运营中的商用 5G 部署提供了关于网络性能的宝贵的经验。上述的新的行业趋势和从已有商用 5G 部署中获取的经验都对 5G 系统的进一步优化提出了要求；因此，有必要在即将展开标准化工作的 3GPP 新版本中去定义 5G Advanced 系统。具体地，Release 18 将不但会考虑 5GS 架构的增强，还会考虑针对新的细分市场的其它增值功能。

eMBB 主要是指基于智能手机设备的相关应用，如 WEB、APP、电子邮件和视频等依赖互联网访问的应用程序；其中一些应用需要大量的数据交互，因此对容量的要求很高。5G NR 通过支持不同的双工方案、频率范围和多载波操作解决了这个问题。无处不在的覆盖和无缝的移动，以及对多天线系统的支持都已经成为商用移动通信系统的必不可少的组成部分；这些功能已经在 Release 15 中引入，并且在后续版本中进行了增强。Releases 16 和 17 中又添加了更多的功能，例如：集成的无线接入和回传（IAB）、在非授权频谱上部署 NR（NR-U）、广播和组播、引入卫星来作为网络侧节点的非陆地网络（NTN）。

借助 5G Advanced, 与 eMBB 相关的技术特性也将得到进一步增强, 例如: 上行链路的数据传输速率、容量、和覆盖都有望得到改善。一种新颖的双工方案将会被研究, 通过“以子带为颗粒度的频分复用”将支持在同一个 TDD 载波上同时进行发送和接收。NR 多跳方案的增强将会通过对“移动 IAB 节点”和“由网络控制的直放站”的支持来实现。Release 18 中对动态频谱共享 (DSS) 的增强将着重于提高 NR 侧的性能, 这样做也是考虑到了在未来随着市场发展 LTE 终端占比降低后, LTE 对 DSS 载波资源的占用会进一步降低。最后, 在 Release 18, 移动性会被进一步增强, 并且将重点关注仅基于 L1/L2 信令去实现更快的跨小区切换。

5GS 架构的增强包括如下一些有代表性的示例: 对与位置相关的服务的增强、对边缘计算的增强、对 UE 策略的增强, 和对网络切片的增强。此外, 在 Release 18, 还会研究“把基于服务的架构扩展至 IMS 多媒体电话业务”。

针对新的细分市场, Release 18 将会进一步增强非公共网络、空中系统 (即 NTN)、车联网、以及广播和组播业务。工业互联网所需要的确定性的通信传输延迟也将由 5G Advanced 来给予支持。

cIoT 是指对时延和可靠性有严格要求的那一类应用场景。最有代表性的是与工厂自动化和车联网有关的应用场景。5G 从一开始就通过引入快速调度、鲁棒的传输方案、和低时延的反馈/重传协议等技术来有力地支持这些应用场景。相关的技术在 Releases 16 和 17 中得到了进一步增强, 例如: 对时间敏感网络 (TSN) 的支持; 并且, 在 Release 18 里, 会通过对确定性网络 (DetNet) 的支持而持续被增强。此外, 从 Release 16 开始被引入的 NR 直通链路使得 3GPP 可以有力地去支持车联网和与公共安全相关的应用。

在 Release 18, 将为无人机和铁路提供更好的通信支持。以无人机为终端时, 终端侧的测量上报会得到有针对性的增强, 并且会得到有效的识别。对于铁路和一些公共服务, 将通过让 NR 系统运营在一个带宽小于 5MHz 的专用频段上来给予专门的支持。Release 18 还将考虑对 XR 业务给予增强的支持。5G 对 mIoT 应用场景的支持最初只是继承来自 4G 的 LTE-MTC 和 NB-IoT, 因为它们已经可以满足 5G mIoT 的所有需求; 而且, LTE-MTC 和 NB-IoT 从 Release 13 创建以来就一直在持续地演进, 最新的演进就是在 Release 17 中增加了 LTE-MTC 和 NB-IoT 对 NTN 的支持。在 Release 17 引入的 RedCap NR 终端是 5G 中第一个基于 NR 的、针对 mIoT 应用场景的优化; RedCap NR 终端也被认为是 5G Advanced 中最重要的技术特性之一。

有些 NR 的技术特性并不会仅局限于在某个特定场景发挥作用, 而是会对多个不同的领域带去好处; 例如: NR 采用了极简的公共信道设计 (即去掉 4G 里总是处于发射中的小区级公共参考信号), 从而使得网络设备和终端都能有效地减少系统开销和相应能耗。在终端节能于 Release 17 被持续增强之际, 网络节能在 Release 18 开始被重点关注。

NR 具有内生的管理功能, 例如: 将系统虚拟地划分为不同的切片或者通过采集各类测量数据以进行自我优化; 这些都将在 5G Advanced 中被持续演进。NR 定位也会在不同的应用场景下发挥作用; 具体地, NR 定位在 Release 16 被引入后, 在 Releases 17 和 18 里被持续增强。Release 18 里另一个值得重点关注的技术领域是对 AI/ML 的利用, 下一章会对其给予更多的阐述。

5G Advanced 的代表性技术

5G Advanced 将增强网络性能，并增加对新的应用场景的支持。本白皮书将重点关注以下这五个有望由 5G Advanced 带来重大改进且有代表性的技术领域：

- 智能的网络自动化
- 扩展现实（XR）业务
- 轻量级（RedCap）NR终端
- 网络节能
- 针对物联网应用的确定性网络

智能的网络自动化

随着网络设计的日益复杂，例如，许多不同的部署和使用选项，在很多情况下传统的方法将无法提供快速的解决方案。众所周知，手动重新配置蜂窝通信系统工作低效，代价昂贵。人工智能（AI）和机器学习（ML）能够利用从无线网络收集的大量数据来解决复杂和非结构化的网络问题。因此，业界最近有日益增多的关注聚焦在利用基于 AI/ML 的解决方案来提高网络性能，从而为在网络运行中植入智能提供有效途径。AI 模型设计、优化和生命周期管理在很大程度上依赖于数据。作为正常运行的一部分，无线网络可以收集大量数据。这为设计智能网络解决方案提供了良好的基础。5G Advanced 致力于如何优化用于数据收集的标准化接口，同时将自动化功能（例如，训练和推理）留给私有实现，以支持网络自动化的充分灵活性。

用于无线接入网 (RAN) 增强的 AI/ML

在 Release 17 中, 选择了三个用例来对使用 AI/ML 技术进行 RAN 性能增强进行预先性研究。这三个用例是: 1) 网络节能, 2) 负载均衡, 3) 移动性优化; 它们在 Release 18 中将正式被纳入规范。

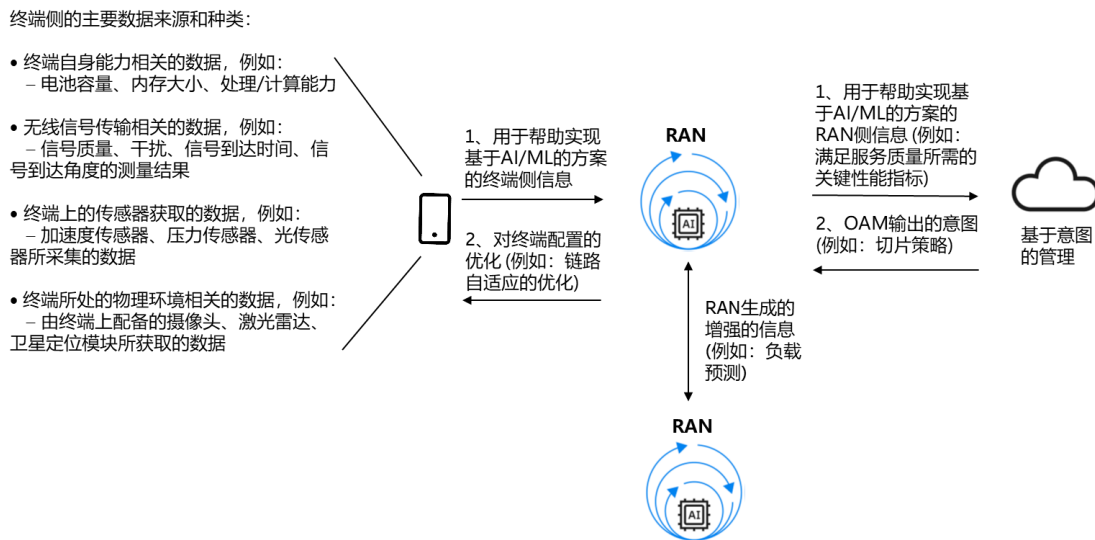


图 2: 在 RAN 使用基于 AI/ML 的方案的示例性概述

所选用例可以通过对当前 NR 接口的增强来支持, 在保持当前的 5G NR 架构不变的同时, 在 RAN 侧使用 AI/ML 功能来提高性能。目标之一是通过保持可以私有实施 AI 模型, 以激励供应商保持创新和竞争力。如图 2 所示, 对于涉及 RAN-OAM 交互的用例, 可以采用基于意图的管理方法。RAN 接收意图, 并需要理解意图及最终触发某些功能。

用于物理层增强的 AI/ML

一般预期 AI/ML 功能可以用于提高无线性能和/或减少空口的复杂度/开销。在 5G Advanced, 3GPP 中针对 RAN 的技术规范组选择了三个用例来研究 AI/ML 技术对空口性能的潜在改进, 这三个用例是波束管理增强、信道状态信息反馈增强和不同场景的定位精度增强。基于 AI/ML 的方法可能会比传统方法提供更好的空口性能; 但是, 我们面临的挑战是: 基于 gNB 和 UE 之间不同程度的协作, 充分地刻画和描绘 AI/ML 模型的特征, 从而为空口定义一个统一的 AI/ML 框架。

5G 核心网中的 AI/ML

5G Advanced 将进一步增强分析架构和 AI/ML 模型生命周期管理, 例如提高模型的正确性。分析和数据收集架构的发展为不同网络功能 (NFs) 开发基于 AI/ML 的用例奠定了良好的基础。在 5G Advanced 中将研究的一些应用案例中, 网络功能 (NFs) 利用分析功能来支持其决策, 例如网络数据分析功能 (NWDAF) 协助的 UE 网络切片策略生成。

扩展现实 (XR) 业务

5G 所拥有的“可以把通信时延限定在某个给定范围”的能力使得不少新的应用场景可以被支持, 这其中就包括扩展现实 (XR) 业务; 具体地, XR 是虚拟现实 (VR)、增强现实 (AR) 和混合现实 (MR) 的总称。在 AR 中, 通过使用相应的设备 (通常是智能手机或 AR 眼镜上的摄像头), 把虚拟信息 (包括数据、图像等数字化元素) 叠加在现实世界的图景里。而 VR 是指使用者沉浸式地去体验脱离现实世界的完全虚拟的世界。新的 MR 技术则考虑了现实世界和虚拟世界的交互。在 XR 和云游戏 (CG) 业务中, 人机交互或者人与人之间的通信将在手持和可穿戴设备的帮助下来完成。

得益于 5G 网络在支持短时延通信上的能力，在大众传媒、远程控制和工业自动化领域有许多新兴的 XR 应用。移动通信服务的提供商可以将 XR 推荐给大众消费者、企业和公共机构，去定义和改进在诸如娱乐、培训、教育、社交互动和通信等领域中的新业务。【参考文献：[“XR and 5G: Extended reality at scale with 5G networks,” Ericsson Technology Review, 2021 年 8 月](#)】。

XR 和 CG 业务主要是对“高的数据传输速率”有需求，因为这两类应用业务在下行和上行链路上都需要传输视频流。相应的终端侧的设备通常被认为是会具有移动性的，以及具有较小的尺寸，这都会限制终端侧设备的电池续航能力。此外，“低的和有着给定界限的端到端时延”是为这些应用业务提供通信服务的另一个挑战。Release 17 对“基于 5G 网络来运行的 XR 业务”进行了广泛的性能评估，在评估中重点检视了像数据传输速率和时延这样的关键性能参数。XR 业务通常包含多个不同类别的数据流，例如：视频、音频和控制；这些数据流基本上具有准周期性，但每个数据流都有不同的周期和不同的数据包大小。为了拥有令人满意的 XR 业务体验，对于通信网络来说，很重要的是：能在提供高的数据传输速率的同时确保低的和有着给定界限的时延。除了低时延之外，如果低的丢包率也很重要，那么可以使用能让吞吐量灵活伸缩的、被称为“低时延低丢包（L4S）”的技术；L4S 技术可以在网络发生拥塞时优先去确保低时延（即可以通过适时调低数据传输速率来达成低的时延和丢包率）。终端侧设备的节电也是一个挑战，需要增强的终端节电方案来解决。在 Release 18，无线接入网对 XR 业务的感知、适配 XR 业务特点的数据流处理、终端节电增强、和容量提升都将成为被研讨的内容。随着新的 AR/VR 终端侧设备的问世，业界对 XR 产生了非常浓厚的兴趣；因此，XR 被认为是 5G Advanced 的重要领域之一。

轻量级（RedCap）NR终端

RedCap 终端的标准化工作始于 Release 17，并将在 Release 18 中持续演进，以期把对 5G Advanced IoT 的支持提升到一个新的水平。RedCap 技术为宽带 IoT 应用提供了解决方案【参考文献：[“Cellular IoT in the 5G era,” Ericsson White Paper, 2020 年 2 月](#)】，并且可以为像娱乐和交通这样的细分 IoT 市场提供经济实惠的终端侧设备。与早期的基于 4G 的 IoT 技术相比，得益于 5G 对前所未有的宽泛的频率范围的支持，RedCap 技术在具备 5G NR 技术体系的优势的同时还可以提供高度的部署灵活性。

根据 Release 17 规范里对 RedCap 终端的定义，终端的调制解调器的成本会有显著的降低；这是通过降低调制解调器的复杂度来达成的。具体地，对于操作在“频率范围 1 (FR1)”的 RedCap 终端来说，最大可支持的带宽为 20MHz，可选地可以只配备单个接收和发送射频通道（即只支持 1Rx1Tx），可选地可以在频分双工（FDD）制式下只支持半双工操作。相对比，常规的 FR1 NR 终端最大可支持 100MHz 带宽，可支持多达四个接收射频通道（即可支持 4Rx），在 FDD 制式下支持的是全双工操作。对于操作在“频率范围 2 (FR2)”的 RedCap 终端来说，支持相似的设计简化（比如：最大可支持的带宽从 200MHz 降为 100MHz）。Release 17 还对处于 RRC 空闲态和非激活态的 RedCap 终端定义了对“扩展型非连续接收（eDRX）”的支持。eDRX 可以显著延长所配置的寻呼周期，使得 RedCap 终端可以在很长的时间里处于低功耗的睡眠状态，从而达成终端节电的增强。

对 RedCap 终端，5G Advanced 计划进一步降低其调制解调器的复杂度，以及支持更精简的终端侧信号处理流程来优化功耗。此外，通过降低所支持的峰值数据传输速率，对协议栈缓存的尺寸要求有望得到放松；在 Release 18，会考虑利用“传输块大小伸缩”这种简单而有效的途径来达成对峰值速率的降低。

在 5G Advanced，为了优化一个终端处于最节能状态的时长，除了让处于 RRC 非激活态的 RedCap 终端可支持更长的 eDRX 周期，还会支持兼顾终端节电和低时延的唤醒信号（WUS）和相应的低功耗唤醒接收机。基于采用 WUS 和利用一个起辅助作用的单独的唤醒接收机，无需再度延长终端的睡眠周期，就能够以超低功耗来完成对寻呼消息的监听。

5G Advanced 还将让 RedCap 终端去支持一些新的应用场景，比如：定位。具体地，会首先评估 RedCap 终端基于“现有 NR 定位技术的测量需求和实施流程”所能达成的定位性能；若评估发现有必要去做增强，再去在保持 RedCap 终端的低复杂度的前提下，研究相应的定位增强手段。

网络节能

从一开始，5G 就旨在既要满足日益增长的业务流量需求，同时也要抑制移动通信网络的功耗增长。在 5G Advanced 中，对网络节能更是给予了重点关注。无论是从成本还是环境的角度，移动通信网络的呈上升趋势的能耗曲线，都是不可持续的。打破能量曲线的上升趋势不仅是一种选择，更是一种行业责任。

【参考文献：[“Breaking the energy curve,” Ericsson, 2020 年](#)】

能量效率一直被 3GPP 认为是系统设计中很重要的方面，3GPP 规范中已经为此定义了针对终端侧设备的智能睡眠模式；并且，在使用载波聚合去提升容量时，会同时借助处于较低频点的频段来在不提高发射功率的前提下扩展覆盖范围。现在，在 Release 18，将会针对网络节能进行专门的研究。具体地，将定义基站能耗模型、基站能耗的评估方法和关键性能指标，并研究有助于达成网络节能的重点技术领域和潜在技术特性。此前，在 Releases 16 和 17，针对终端侧的节能，已经开展了类似的工作。在从系统级的角度来考虑网络节能时，对于在基站侧配置了大规模天线阵列的位于市区的宏小区和微小区，基站的负载均衡和睡眠模式就会成为被重点研究的领域。

针对物联网应用的确定性网络

工业和关键任务型物联网从一开始就是 5G 的一个重要的主题。一个工业物联网的例子是基于 IP 通信的媒体制作和分发，它需要有限的低延迟。5G 已经定义了一个功能框架，支持基于以太网和 IP 的 5G 时间敏感通信（TSC），其中包括通过 UPF 进行的 UE 到 UE 通信、时间同步和 5G TSN 集成。后者使 5GS 能够当作一个或多个可管理以太网交换机。

然而，有些应用需要确定性网络（DetNet）支持，这些应用领域不仅需要有限的 IP 低延迟，还需要低延迟变化和极低的丢包率。5G Advanced 将在 Release 18 的版本中，基于 Release 17 版本中定义的 TSC 框架，增加对 DetNet IP 流的支持（另请参见图 3，其中顶部显示 DetNet 原理，底部显示 5GS 作为逻辑 DetNet 节点映射到 DetNet）。

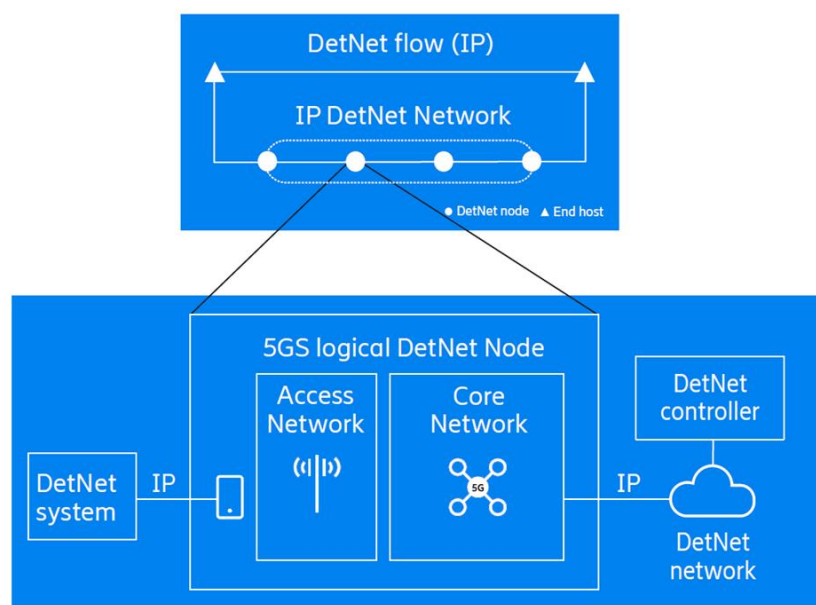


图 3：物联网的基于 IP 的确定性网络（原理及和 5GS 的映射）

向6G的迈进

5G 系统目前正在快速部署，为广泛的业务提供了高速率低延迟的连接。毫无疑问，正在进行的转型将带来 5G 和 5G-Advanced 无法应对的挑战。日益增长的期望为工业界和研究界设定了一个明确的目标——6G 应该通过无时不在的智能通信为一个高效、人性化、可持续的社会做出贡献【[参考文献：6G 网络 - 连接虚拟和现实世界的桥梁，爱立信](#)】。尽管如此，上述讨论的一些 5G-Advanced 技术可以被视为构建 6G 的某些技术模块的先导应用。例如，XR 将逐渐演变为人机交互的沉浸式通信，这可能会对 6G 提出新的要求，以提供更好的体验。在机器类通信方面，零能量设备对 RedCap 也是一种补充，这是一类从周围环境中收集能量的设备，该类设备可用于为数字孪生提供输入。此外 AI/ML 也将在 6G 的全数据驱动架构和未来的智能网络平台中发挥着重要作用。

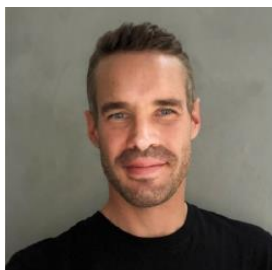
总结

从 Release 18 开始的 5G 演进被业界称为 5G Advanced。因为 5G Advanced 建立在由 Release 15、16 和 17 所定义的 5G 的基础版本之上，这个新的称呼指示的是 5G 从 2018 年及以后的演进所累计的价值。在 Release 18，既会有针对网络架构的增强，也会有针对新的细分市场的其它增值功能。5G 系统目前正在快速部署，并且正在为范围广泛的业务提供高速率、低时延的通信连接。新的业务也将被引入，例如：对网络性能有更高期望的 XR 业务。对 RedCap 终端的支持将会拓宽机器类型通信的应用范围。那些需要利用“基于 IP 的实时组网”的应用将受益于能够提供有着给定界限的低时延、稳定的时延数值、和极低的丢包率的确定性网络。为了高效地满足所有这些需求，移动通信服务提供商将会增加对 AI/ML 和网络自动化的使用，同时也会兼顾对能耗的进一步降低。在移动通信服务提供商已经准备好在未来要充分利用 5G Advanced 系统的这些优势时，3GPP 有必要在 5G Advanced 标准化工作中重点关注这些重要的领域。同时，对这些技术特性的研讨也是对 6G 构成要素的重要奠基。

作者列表



Imadur Rahman 于 2008 年加入爱立信。Rahman 是位于瑞典斯德哥尔摩的爱立信研究院在无线领域的高级研究员；目前，Rahman 与其他同事共同负责爱立信研究院的 5G Advanced 标准化项目。Rahman 持有丹麦奥尔堡大学 (Aalborg University) 无线通信专业的博士 (Ph. D.) 学位。



Olof Liberg 于 2008 年加入爱立信。目前，Liberg 领导着爱立信的 3GPP RAN 标准化团队。Liberg 持有瑞典乌普萨拉大学 (Uppsala University) 工程物理专业的硕士 (M.Sc.) 学位。



Sara Modarres Razavi 于 2014 年加入爱立信。作为爱立信研究院的高级研究员，Razavi 目前与其他同事共同负责爱立信研究院的 5G Advanced 标准化项目。Razavi 持有瑞典林雪平大学 (Linköping University) 基础信息学专业的博士 (Ph. D.) 学位。



Christian Hoymann 于 2007 年加入爱立信。Hoymann 目前领导着位于德国黑措根拉特 (紧邻亚琛) 的爱立信欧洲实验室的一个研究团队。Hoymann 持有德国亚琛工业大学 (RWTH Aachen University) 电子工程专业的博士 (Ph. D.) 学位。



Stefan Parkvall 于 1999 年加入爱立信。Parkvall 是在瑞典斯德哥尔摩的爱立信总部工作的高级技术专家，并且是 IEEE Fellow (即国际电气和电子工程师协会的院士)。Parkvall 持有瑞典皇家理工学院 (KTH Royal Institute of Technology) 电子工程专业的博士 (Ph. D.) 学位。



Göran Rune 于 1989 年加入爱立信。Rune 是系统和网络架构领域的首席研究员。Rune 持有林雪平大学理工学院 (Institute of Technology at Linköping University) 固体物理学专业工学硕士学位。



Ralf Keller 于 1996 年加入爱立信。Keller 是核心网演进的技术专家。作为首席架构师，Keller 目前的工作重点是分组核心网的架构和相关技术。Keller 持有德国曼海姆大学 (University of Mannheim) 计算机科学专业的博士 (Ph. D.) 学位。



Patrik Persson 于 2007 年加入爱立信。Persson 目前是 6G 项目的主任经理。Persson 持有瑞典皇家理工学院 (KTH Royal Institute of Technology) 电子工程专业的博士 (Ph. D.) 学位。