

# 6G网络 – 连接 虚拟和现实世界 的桥梁



# 目录

引言	3
2030年的虚拟-现实世界	5
6G: 未来的网络平台	9
6G网络的技术要素	12
结语	20
作者	21
参考文献	26

# 引言

5G网络扩展之势继续席卷全球；网络正提供注定将改变整个社会的全新通信功能和服务。5G Advanced网络正推动着下一波发展浪潮，带来增强型移动宽带（enhanced Mobile Broadband, eMBB）、超可靠低时延通信（ultra-reliable low latency communication, URLLC）和海量机器类通信（massive Machine Type Communication, mMTC）等领域的更强大功能。

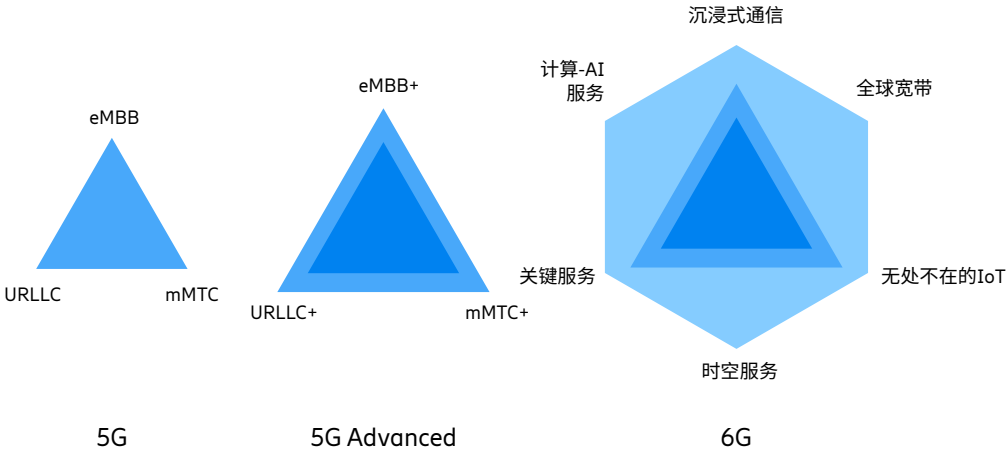
毋庸置疑，长期社会变革将催生5G网络所无法化解的种种挑战。到2030年，5G网络影响社会发展的时间将达到10年，我们从5G网络部署中吸取了经验教训，同时新需求和新服务不断涌现。尽管5G网络具有与生俱来的出色灵活性，我们仍会发现需要进一步扩展，采用新功能[1]。这就要求我们在社会需求的拉动和新面世的更先进技术工具的推动下进一步发展演进，迎接即将到来的6G时代。

未来网络将成为一个基本要素，支撑生命、社会和产业的几乎所有方面的正常运转，满足人类及智能机器的通信需求。要最有效地顺应这一趋势，行业和科研社区应紧密合作，为实现共同的愿景而努力。

与6G时代的各种挑战相关的4大主要驱动因素正日益显现：社会核心系统的可信性、借助移动技术的高效性实现的可持续性、旨在简化和改进人类生活的不断加速的自动化和数字化、随时随地增强普遍通信的无限连通性。

要化解这些未来挑战，6G网络需要继续突破5G网络的技术极限，进一步推动关键服务、沉浸式通信和无处不在的物联网（IoT）。此外还应探索全新的功能维度，集成计算服务，提供通信范畴之外的功能，如空间数据和时间数据。

本白皮书简要描述了2030年的6G网络世界愿景，重点讨论未来网络应实现哪些目标，以及应开发哪些技术来实现这些目标。



# 2030年的虚拟-现实世界

到2030年，整个社会将围绕日益先进的技术发生重大变革，网络将成为通信和信息传输骨干，实现随时随地通信。

伴随无线网络连接成为社会生活的一个基本有机组成部分，对通过网络连接传输的数据及网络连接本身的信任、数据服务及计算平台功能将变得更为重要。社会应能够完全依赖网络来交付关键服务，确保所发送信息的完整性。不管是人还是各产业，都必须能够依赖经过验证的身份，同时尽享全面的私密性。

可持续性至关重要，社会各界需要携手实现联合国可持续发展目标（SDG）[2]。无线网络在实现这些目标方面已经扮演着重要角色。而且显而易见，它们在做出更大贡献，提高资源利用效率，支持新的生活方式方面同样有着巨大潜力，因此成了推动积极变革的重要工具。

人工智能（AI）可以降低对人为参与和监控的需求，进而优化和简化多种流程，改进运营。因此，为了进一步优化社会效率，简化人类生活，人工智能技术的快速普及指日可待。为此，网络必须基于数据驱动的架构，在各种系统中使用海量数据支持AI；而且其设计应考虑最高的安全性和可解释性。

今天，有着极苛刻要求的应用程序快速增加。它们需要很低的时延和很高的数据传输速率，以支持虚拟现实、增强现实和混合现实等应用，实现对敏感操作的远程控制。随着2030年日益临近，这一趋势预计将继续存在，而且对网络性能的需求也将进一步增加。

可信性

面向依赖关键信息的产业和社会的可信通信及计算

可持续世界

通信和网络作为可持续发展的一部分和“推动者”（enabler）

简化的生活

在系统中大规模使用人工智能，确保最有效的帮助和最高的效率

应用需求

要求极致连接性能的经过扩展的服务及新服务

## 6G模式转变

要化解未来挑战，还意味着必须转变某些基本网络模式。势在必行的转变包括：

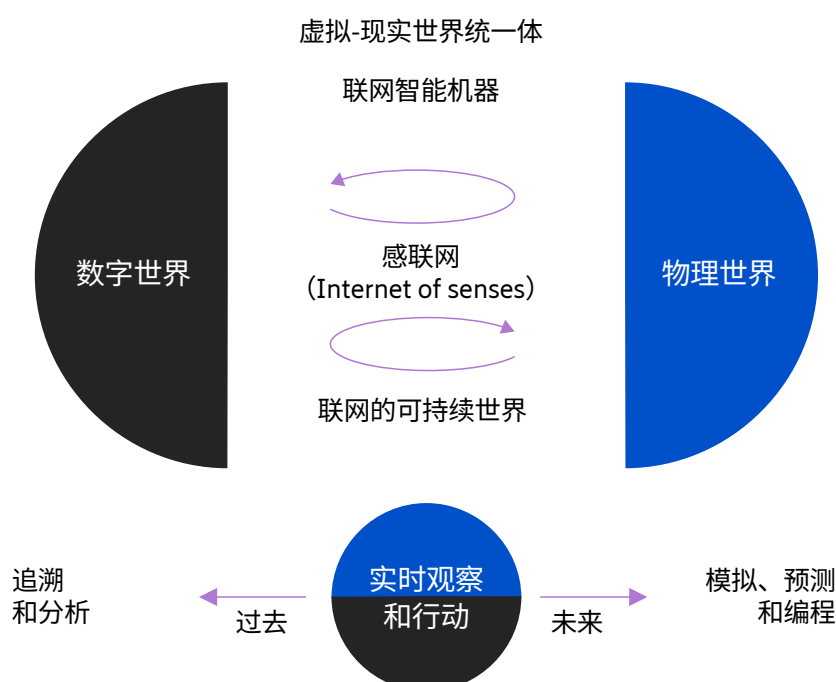
从安全通信 到可信平台	从能效到可持 续转型	从手动控制到 学习网络	从分离的物理世 界和数字世界到 虚拟-现实世界 统一体
从数据管理到 数据所有权	从陆地2D到全 球3D连接	从预定义服务 到以用户为中 心的灵活服务	从数据链路到通 信之外的服务

- 从安全通信到可信平台 — 扩大服务范围，从保护数据扩展到在相关场景下确保端到端服务交付
- 从数据管理到数据所有权 — 确保发送给第三方的个人和关键数字资产的管控和私密性
- 从能效到可持续转型 — 资源利用高效的网络，通过有效的数字化影响社会，减小环境影响

- 从陆地2D到全球3D连接 — 旨在实现全面数字化，确保对农村地区、海上甚至空中的无限网络连接覆盖
- 从手动控制到学习网络 — 在整个网络中使用智能和数据，将重点从指导系统如何实现目标转移到提供可自动实现目标的系统
- 从预定义服务到以用户为中心的灵活服务 — 利用灵活的网络适应用户需求，允许各种应用带来影响，而不是预先定义服务和接口
- 从分离的物理和数字世界到虚拟-现实世界统一体 — 网络平台不仅应连接人类和机器，还应实现全面的融合现实，支持无缝交互，打造沉浸式体验
- 从数据链路到通信之外的服务 — 扩大网络角色范围，作为多功能信息平台交付可用于各种目的的全面服务

## 利用技术推动社会转型

6G可引领我们进入虚拟-现实世界统一体，在由知觉、行为和体验组成的物理世界和可编程的数字世界之间架起一座桥梁。网络提供智能和无限的连通性，实现物理世界和数字世界间的完全同步。嵌入到物理世界中的大量传感器实时发送数据以更新数字世界呈现方式。真实物理世界中的执行机构执行数字世界的智能体发出的命令。我们可以追溯和分析过去的事件、实时观察并采取行动，并模拟、预测和编程未来操作。与元宇宙（虚拟化身进行交互的VR/AR世界）相比，虚拟-现实世界统一体与现实世界的联系更紧密；数字对象被映射到以数字化方式呈现的物理对象上，使它们可以通过“融合现实”的方式无缝地共存并增强现实世界。





在上述4大因素的驱动下，新的应用领域将不断出现，要求将来的网络提供更多新功能。但现有应用的未来发展以及填补数字鸿沟也是同等重要的事情。

可编程的数字世界可以提供整座城市的交互式4D地图，精确地显示位置和时间，而且可以由大量人和智能机器同时访问和修改，实现详尽的活动规划。这些虚拟-现实服务平台可以向大规模可控制系统发出命令，如公共交通、垃圾处理、供水和供暖管理系统，以提高资源利用效率、增强控制和弹性。

在测量人体机能的微型节点和提供药物建议及物理帮助的设备的推动下，精准医疗应运而生，并将以连续接受在线分析的数字世界为后盾。人类生命科学领域的这种高度技术集成通过可用性、安全性和数据私密性彰显了可信性的重要性。这还需要具有以下特征的新型设备：可以嵌入到几乎任何地方，无需维护，使用高效的分布式处理和管理，并在人体网络中安全地通信。

将来，城市的地面和空中将充斥大量自动驾驶汽车和飞机，因此需要实时4D地图来管理密集的车流。网络传感器架构可以从传感基站及车载传感器中汇总精确的测量结果和全球数据，然后与轨迹数据一同共享，可以用于指导完成安全、清洁而高效的交通运输。

自动社会将受益于AI辅助功能，帮助增进人民福祉，简化人们的生活。例如，协作性AI智能陪练可以更安全而高效地完成许多需要手工操作的艰巨任务，在工业生产和家居生活中带来帮助，自动运行并适应人类行为。这种高度可信的信息物理系统可以平滑顺畅地与人群及其它智能机器进行交互，需要极高的可靠性和弹性、精确定位和感知、低时延通信、AI信任和集成。从个人层面讲，智能身份和偏好处理将在日常生活中帮助人类，根据人们的偏好管理与联网世界的交互并相应地改变联网世界。

要构建可持续的新世界，需要全社会的共同努力，借助网络确保全球范围的“数字包容”（digital inclusion）。这包括多种要素，如在地球上每一个角落支持智能自动化服务、通过全球联网传感器监控森林和海洋状态、推动资源利用高效的联网农业生产、提供面向每个人的数字化个人医疗、帮助全球各地的学校和医院等机构使用高端服务等。通过在全球范围内对商品进行端到端生命周期跟踪，自主供应链可以加快整个循环经济的发展速度。数字资产跟踪可以减少浪费，自动完成回收。综合起来，这要求真正的全球覆盖，需要极高的能源、原材料利用率和经济高效性、嵌入式自主设备及传感器、具有高可用性和安全性的网络平台。

沉浸式通信将带来全面的远程呈现（telepresence）体验，使距离不再成为人类互动的障碍。具有人类级别感知回馈的扩展现实（XR）技术[3]需要很高的数据传输速率和容量、通过精确定位和感知实现的空间映射以及通过边缘云处理技术实现的端到端低时延。这方面的一个例子是公共交通领域无处不在的混合现实应用。它可以为每位乘客提供独特的虚拟体验，使他们能够运行虚拟差事，通过扩展现实（XR）获得指导，并将虚拟游戏覆盖到物理世界。此外，通信技术将打造全面融合的现实环境，允许在物理世界和数字世界间转换使用感觉和全息图片。支持精确人体交互的个人沉浸式设备将允许从远程进行体验和执行操作，确保沉浸式感觉，更有效地满足人们的通信需求（这一点的重要性在新冠肺炎疫情期间变得尤其清晰），同时增加全新的通信模式，实现对访问操作和身份的严格控制。

# 6G: 未来的网络 平台

日益增长的预期为行业和研究社区制定了清晰的目标——6G网络应利用不间断智能通信功能，帮助打造一个高效、对人类友好而且可持续的社会。

## 所需功能

与现有网络相比，未来无线网络若欲作为支持各种新老服务的平台，其功能必须从多个维度得到增强和扩展。这既包括传统功能，如可实现的数据速率、时延和系统容量，又包括新功能——其中某些可能具有更明显的“性质”特征。应该注意的是，未来无线网络的功能不仅应匹配目前设想的应用场景，还应确保可支持当前计划之外的未来服务。

首先是传统功能，未来网络应在**所有相关场景下**实现更高的**数据速率**和更低的时延。这包括在某些场景下提供每秒数十万兆比特的数据速率及不到一毫秒的端到端时延。同样甚至更重要的是，未来网络甚至应以可预测的低时延和很小的抖动提供高速网络连接。

未来的无线网络应能够经济高效地满足快速增长的流量处理需求。基本无线接入技术的更高频谱效率是实现这一目标的影响因素之一，另一个因素是如何自然而然地获取额外的频谱。但更重要的是，如何真正经济高效地完成超高密度网络的部署。

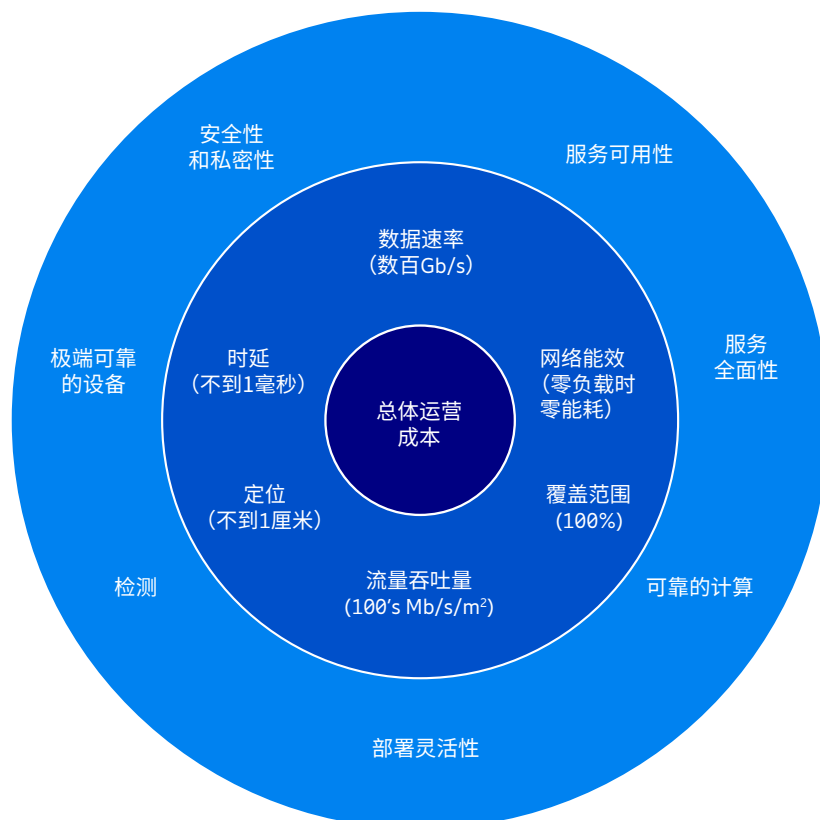
我们需要继续扩展无线通信网络，实现全面的全球覆盖，即消除数字鸿沟，实现对偏远地区的覆盖，同时支持整个社会上无处不在的数量多得多的设备。这方面的一个关键要素是要确保用户和服务提供商的总成本都保持在一个可持续的水平。

在5G网络的发展过程中，出色的网络能效是一项关键要求。对未来无线接入解决方案来说，这一要求将更加重要[4]。非常关键的一点是，预期的大幅流量增长不会导致能耗的相应增加。流量传输速度的加快不应意味着能量消耗也会不断增加。此外，节点中没有流量时，能耗应趋于零。

随着无线网络日益成为当今社会的一个关键要素，网络弹性和安全功能变得至关重要。基础架构的某一部分由于自然灾害、本地扰动或社会动荡而无法运行时，网络必须能够正常提供服务，而且必须能够可靠地抵御有意而为的恶意攻击。

在可信性方面，网络应能够利用新的保密计算技术，提高服务可用性，提供增强的安全身份验证、协议和端到端保障。

这些网络将需要具备可靠的计算和AI集成基础架构的功能，允许快速开发和部署分布式应用及网络功能，提供数据和计算加速服务；并保证能够在整个网络中实现这些目标，同时保证性能。

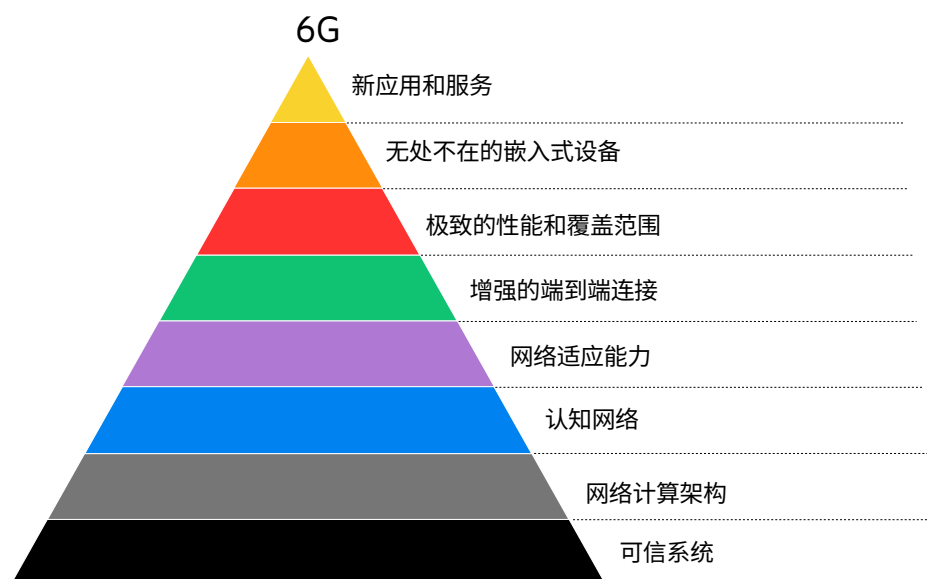


最后，为了推动整个社会的全面数字化和自动化，网络需要具备高精度定位和详细检测周围环境的功能。探测是一种新功能，通过分析环境对无线电波传播的影响完成。例如，微波链路会受到下雨影响——这些信息对天气预报非常重要。还可以主动发射无线电信号进行探测，使通信网络可以提供类似雷达的功能。与使用专用探测系统相比，重复使用蜂窝系统进行探测不仅可以使探测系统更加经济高效，而且可以实现更广泛的覆盖。例如，探测可以用于模拟环境，了解道路车流量情况，或在有人进入厂房大厅内的限制区域时发出告警。未来的网络需要高效地利用无线电资源来实现通信和探测。另外还需要可扩展的机制来发送检测结果、对检测结果的人工智能解释，以及帮助确保信息私密性的安全机制。

## 6G网络的基础

对于2030年的6G网络，应考虑使用多种前景光明的技术。研究未来6G网络的这些潜在要素，将成为今后几年研究工作的重要主题。

综合来讲，6G网络的各组成要素将形成一个无缝的系统，提供所有必需的功能，帮助实现推动不间断智能通信、连接虚拟和现实世界的愿景。有了可信的系统基础和具有内置认知功能的高效计算架构后，未来的网络将能够为即将面世的应用和服务提供无限的连接。这样就使6G网络可以成为推动创新的广泛平台及整个社会的信息骨干。



# 6G网络的技术要素

## 网络适应能力

增强网络的适应能力，可以提高几个关键方面的效率，带来部署成本、能耗、网络开发和扩展、管理和运行方面的优势。

### 动态网络部署

确保动态网络部署的机制将是将来经济高效地部署大容量弹性网络的关键。这将帮助服务提供商更加敏捷地处理新的业务机会和新的应用场景。关键挑战是无缝地将服务提供商部署的传统网络节点与用户部署的补充性、临时性移动或非陆地节点相集成。

实现多跳通信的可能性已在5G网络中通过集成接入回传（IAB）部分实现，将是实现这种动态网络部署的重要因素。我们预计这将进一步发展演进，以低成本和出色的灵活性确保无缝的多跳无线网络连接。这还将在一定程度上消除连接设备的无线接入链路和网络节点间无线回传链路之间的区别，建立一个统一的无线连接框架。

所有未来网络部署场景的一个共同点是，它们都需要一个灵活、可扩展而且可靠的先进传输网络，以支持苛刻的6G应用场景和新的部署选项，如分布式无线接入网络（RAN）和集中/云RAN的混合部署。这通过AI驱动的编程功能实现。这一编程功能使用软件定义、异构网络中的多业务抽象化/虚拟化和闭环自动化来确保传输网络的灵活性和可管理性。

## 设备和网络编程能力

前几代蜂窝网络依赖由网络配置控制的明确规定的设备行为。这种情况下的局限性是新特性不能用于传统设备，因此会限制开发速度。

用更易于编程的环境【如使用不同的应用编程界面（API）进行定义】取代硬编码设备行为，就可以增强设备行为编程能力，使设备更加面向未来并准备好支持更先进的网络功能。而这样又可以增强网络的可编程性，因为现在可以从根本上修改网络和设备，实现新功能（例如允许服务提供商同时向设备和网络中下载AI模型，优化整体网络性能或针对具体垂直应用场景定制设备行为）。另外，这还可能帮助实现更快速的特性部署，加快上市时间和故障修复，支持更多类似DevOps的运营。

## 网络简化和跨RAN/CN优化

预期网络成为整个社会的更不可分割的一部分的同时，伴随而来的还有对更高可用性和弹性的需求。然而过去几年，网络的功能日益丰富，复杂性也不断增加。这就导致多种网络组件被用于支持多种不同功能，而且有时候用于解决相似（甚至相同）的问题。未来的部署将不太以节点为中心，无线接入网络（RAN）和核心网络（CN）将使用更多通用平台。这样就消除了重复部署各种功能的部分原因，如使RAN依赖CN作为闲置设备的数据存储。因此，重新考虑目前在RAN和CN间进行功能隔离背后的一些架构假设非常重要。

在选择部署正确的RAN和CN功能及接口时，需要做出明智的选择，提供最出色的性能、应用场景和部署多样性，同时确保开发工作和网络运行的可管理性。需要慎重地选择一系列多厂商接口，以确保网络和生态系统的开放性，同时最大限度地降低系统复杂性，确保开发敏捷性和强健的弹性网络。

## 增强的端到端连接

未来的应用需要利用高性能连接，满足对所需带宽、动态行为、弹性及其它方面的需求。网络功能必须端到端提供，并与应用程序和互联网技术的发展演进保持一致。例如，这将影响应用和网络间的协作、弹性机制、端到端传输协议的演进和处理时延的方式。

## 网络协作

应用程序和网络可以从协作中受益，确保提供最适当的网络服务。对受保护通信的更大需求意味着任何协作都需要协作双方明确同意，达成一致并使双方均可受益。

## 弹性

网络弹性问题需要从不同角度解决。不管是用于连接还是端到端通信，都需要支持需要弹性的应用。同样，所需的互联网基础架构需要随时可用、有弹性而且可防止商业监控。分布式架构确保并非所有信息都在协作方之间集中保存，因此也不必面对所有风险。

## 协议演进

最近，Web和传输协议经历了快速演进，使互联网协议栈变得更易于修改（例如现在可以在不影响操作系统内核的情况下更新传输协议）。同时，未来通信预计将更多地采用多路接入（multi-access）技术，而各种应用将提出更加严格的要求。这是构建理想的解决方案，在移动网络中更高效地处理多路径通信、弹性和拥塞控制问题的大好机会。

## 可预测的时延

经验表明，有着更严格时延要求的许多（初始）应用场景通常有着可以容忍最长的时延限制。确保可预测的时延，将为测试更多应用场景创造机会，而且可同时支持分布式和更加集中的部署模式。

## 极致的性能和覆盖范围

将来的无线接入解决方案必须在多个功能维度上和所有相关场景下提供真正极致的性能，以可接受的成本实现未来的按需服务。例如，这包括在需要时提供极高的数据速率和时延性能，提供极高的系统容量来为大量用户提供服务，以及实现真正的全球无线接入覆盖。要以极高的系统容量经济高效地实现高密度部署，关键是要引入数据包前传（fronthaul）和新的无线传输技术，如中继和网状网络、无线光通信（free-space optics）、集成接入和回传（backhaul）。

## 频谱

显而易见，频谱是而且将一直是无线连接的重要资源。获得额外的宽带频谱并高效地利用现有频谱至关重要，授权频谱和非授权频谱都很重要。

较低频段（最高约6GHz）目前供4G/5G网络使用，在未来的6G时代仍会很重要，对于实现6G服务广域覆盖尤其如此。6GHz以下的可用新频谱预计非常少，因此使6G无线接入技术能够与前几代网络共享较低频段非常重要。24GHz到52GHz的毫米波频段最初供5G网络使用，很快将扩展到最高100GHz，以后自然而然也将用于6G网络。

7GHz到24GHz之间的频段目前用于蜂窝通信之外的其它目的，但也可以探索通过先进的分享机制供6G网络使用。在100GHz以上，可能有大量频谱可用，但由于该频段的传播条件极具挑战性，因此这部分频段主要用于高密度网络部署条件下需要极高流量容量和/或数据速率的具体场景。

## 非地面接入

扩展传统地面接入，增加非地面（NT）接入，是将来实现真正的无线网络连接全球覆盖的有效途径。这些补充性NT接入手段可以通过多种不同途径提供，例如无人机（drones）、高空平台（HAPS）和/或近地轨道（LEO）卫星。这些移动NT节点应该是总体无线接入解决方案的一个有机组成部分，作为对地面网络的扩展，提供真正无缝的全球覆盖。

## 多点连接（Multi-connectivity）和分布式MIMO

为了增强韧性和性能，确保更加一致的无线连接质量，预计多点连接将在未来得到普及。目前，5G网络中已开始使用多重无线（multi-radio）、双连接和多点传输等技术，预计将来会进一步普及。例如，这种扩展可能包括物理层的大规模多点连接。在这种情况下，设备通过多条物理链路同时连接到大量密切配合的网络传输点（叫作分布式MIMO）。另一种可能的途径是多RAT（multi-RAT）连接。在这种情况下，设备通过不同无线接入技术连接到一个网络，以增强韧性或以更优化的方式提供不同的同步服务。

## 无处不在的嵌入式设备

未来的服务将需要无处不在的普遍联网。6G网络将支持数万亿台嵌入式设备，提供始终可用的可信网络连接。



## 零能耗设备

今天的海量机器类通信（mMTC）可以提供高达每秒数十万比特的数据速率，支持远程抄表等应用。尽管它们的电池使用寿命在有些情况下长达10年，但电池更换或充电会限制这些设备的应用范围。能量收集（以光、振动、温差甚至无线电波的形式收集周边能源供设备使用）使设备有可能不需要更换电池或充电。然而，可收集的能量一般可能非常少，意味着需要开发能效极高的通信协议。由于可用能量很少，因此可传输的信息量也很小——很多情况下每小时只能传输几个字节。然而对于资产跟踪等应用，这已足够。与当前的解决方案相比，无线技术可能是更有吸引力的选择，如条形码光学扫描，而且可实现与视线外设备的通信。

## 沉浸式交互设备

将来，用户将获得更加沉浸式的体验，可以通过智能手套、皮肤传感器等穿戴式设备自然地与数字世界进行交互。用户将可以连接到虚拟对象（这些对象经常需要精确的定位，如向虚拟饮料中投入冰块），通过所有感官体验虚拟对象的更新，因此要求不到1毫秒的时延。脑机接口（Brain-computer interface, BCI）设备可以捕获并安全地共享用户的意图，适应网络渲染的虚拟对象，进而进一步改进用户体验。网络还将帮助在这些对象和视觉外感官刺激（如声音、触感等）之间实现同步。此外还需要解决可信性方面的问题，如验证用户ID，保护易受攻击的用户，免受不适当的内容和联系信息影响。

## 认知网络

要打造面向未来的网络，运行大量通用服务而不增加成本和复杂性，必须提高网络的智能化程度。最终的认知网络将帮助提高能效，优化性能，确保服务可用性。这一目标预计将通过两种方式实现：一是在AI机器学习（ML）支持的情况下进行传统算法很难实现的优化操作；二是在AI机器推理（MR）可以扮演重要角色的情况下演进操作系统，以自主方式完成当前的大多数系统管理任务。

## 基于意图的管理

人类可以通过表达意图的形式规定运行目标，进而控制系统行为。这种基于意图的自动化管理方法要求在人机界面中提高抽象化程度，而且要求系统能够围绕这些目标进行解释和推理操作。我们需要理解抽象知识，利用MR技术，根据现有知识和数据集得出结论；从人类用户和分析算法中收集知识和经验并保存在通用知识库中。然后，认知网络就可以利用这些可变的要素，了解不同场景，确定适当的纠正措施，制定并在网络中实施最正确的行动计划。

## 自治系统

这种方法还意味着系统的自治程度会不断提高。认知系统需要使用本机功能，根据具体环境进行调整，连续进行监控并从先前的操作中吸取经验教训。从运行和服务提供过程中吸取的经验教训以近实时方式进行快速反馈，以改进配置、流程和软件。网络逻辑中将对算法进行连续改进，帮助做出多个物理地点和逻辑功能中分散的运行（Runtime）决策。这种连续优化将使系统与现有系统相比更加动态灵活。地理上分散的网络中将以多种不同形式提供智能功能。

## 可解释的可信AI

只有得到人的信任，自治系统才能成功。这涉及到几个方面。首先，系统需要能够解释其行为以及为什么会进入当前的状态。其次，智能系统在技术上应该强健可靠，即使在受到各种干扰和攻击时；考虑所处的社会环境；以符合道德准则的方式运行，恪守正确的原则和价值观；根据所有适用的法律和法规运行[5]。第三，该系统在必要时必须允许人类干预。

## 数据驱动的架构

智能就是根据事实或数据做出决策；可用的数据越多，决策越正确。数据驱动的架构就是负责做出决策的AI算法的基础架构。这种基础架构支持数据管道（data pipelines）。数据管道负责以针对管道用户进行了定制的格式传输、保存、处理、显示和提供来自内部服务提供商网络及外部数据来源的数据。

## 网络计算架构

6G网络将所有物理系统合并到计算架构中。它不仅用作各种物理系统（从简单的终端一直到复杂的性能敏感型机器人控制系统和增强现实应用）的连接器，还是这些系统的控制器，在网络计算架构中提供计算和通信功能，实现出色的效率和可靠性[6]。

服务提供商可以利用他们的资产，将计算和存储设备集成到日益虚拟化的网络中，为各种应用程序提供最高的性能、可靠性、低抖动和毫秒级时延。这样，网络-计算架构就可以提供连接范畴之外的工具和服务，为各种客户群和垂直行业带来一个普遍、全球互连、灵活而强健的平台，而且具有应用托管、无缝的任务移植功能和计算抽象化功能。

### 生态系统推动者 (enabler)

只有通过同一个全球联合生态系统中有关各方的密切协作，才能建成这样一个系统。网络和云服务提供商、应用开发商、服务提供商和设备生产商都扮演着一定的角色。各有关方之间的大量交互将在软件层面进行。在这里，无代理市场 (broker-less marketplace) 技术将帮助生态系统进行扩展，通过自动合同谈判和执行来支持销售、交付和收费工作。生态系统合作还会带来将不同厂商的服务集成到一起的技术挑战。可确保互操作性的技术标准或自动处理合作关系的技术将帮助实现高效的协作。生态系统中的高度和谐一致是实现可扩展性和推动创新的关键。

### 可靠的计算

新兴应用场景将要求使用多种严格的实时特征的组合，如低时延、高吞吐量、高可靠性和可扩展性。为了满足这些端到端性能要求，6G网络平台将使用对应的计算功能来补充可预测而且可靠的连接解决方案。通过网络计算架构，网络将提供统一接口，帮助将分布式应用轻松部署到集成计算堆栈中，并为关键应用任务提供可靠的实时属性。例如，开发商将可以访问网络内的计算服务。这些计算服务通过高效硬件加速技术及针对实时运行进行了优化的操作系统和平台组件提供。

### 统一、流畅的计算

为与物理现实进行交互而开发的应用需要更大的部署灵活性。它们可以受益于高度分布式设计，以尽可能地靠近数据源和数据用户，如传感器和执行器，实现对关键任务流程的闭环控制及对大量数据的智能汇总。此外，智能地将处理工作分配到设备、网络计算节点和中央云中，就能够在极其小巧的设备中以有限的功耗运行更多应用。这会带来几个方面的计算挑战。我们需要新的方式来合并、部署和运行软件，满足应用要求，即使在用户移动或出现故障时也能满足要求。

例如，动态计算负载分流（即将应用任务从设备应用程序中分流到网络中的嵌入式计算节点上）将受益于统一执行环境。这个执行环境基于可移植的轻量运行时 (Runtime) 技术，通过硬件强制隔离实现安全的任务执行，提供对开发人员友好的功能和接口。这样就可以在这个架构中无缝地部署应用程序，而且可以跨越中央云，通过网络边缘延伸到设备。这一切使6G成了一种真正的创新平台。

## 可信系统

在设计可信系统时，经受、检测、响应攻击和意外中断并从中完成恢复的能力是关键。可信系统的4大组成部分是机密计算解决方案的使用、安全的身份和协议、服务可用性、安全保障和防御。

AI有望给未来技术演进和安全性带来重大影响，而且可以在上述4个方面带来帮助。此外，AI组件的可信性也非常重要。

## 机密计算

当前的网络可以对传输的数据进行有效保护，但对正在处理的或保存的数据的保护不太有效。在保护正在处理的或保存的数据方面，机密计算正成为一种强大武器。在云计算中，它可以对有效负载进行基于硬件的隔离和处理；这是云服务提供商所无法修改的。它还允许远程云用户验证他们想在其中部署有效负载的隔离环境；计算硬件本身还可以执行验证和证明流程，防止负责硬件设备的云服务提供商绕过这一过程。这些机密计算特性的基础是信任根（RoT）机制的一部分。

机密计算还有望增强网络切片的安全性。通过结合使用传输数据保护机制和机密计算技术，还可以利用加密方法来将网络切片彼此隔离开来，以保护正在处理或保存的数据。安全身份和协议需要为基础架构、连接、设备、边缘和网络切片功能分配可信的身份。这可以通过以下方法实现：为每个物理组件、软件功能及接口建立身份，然后对这些身份执行RoT机制。最终目标是创建一个系统，为部署的所有软件提供私密性，并有效保护数据，防止非法访问。

## 服务可用性

服务可用性可以通过关注可帮助提高整个网络的可靠性及弹性的细节得到保证。无线链路是满足可用性要求的关键要素。无线电弹性可以通过配置足够的容量、覆盖冗余并使用多种连接和介质访问控制机制得到增强。为了满足工业场景或其它关键控制功能中的近实时时间期限要求，RAN、传输和核心网络中面向关键服务的资源配置可以支持不同级别的服务和服务保证。

可用性的另一个方面是从通信系统的各个部分中汇总数据并进行分析，进而构建自动恢复机制。这意味着必须设计一种分布式分层方法，增强性能观察能力，同时进行中间分析以实时验证并确保这些要求得到满足。此外，在集成数据驱动的观测功能，帮助对服务可用性进行端到端验证方面，AI也扮演着一定的角色。基于AI的实时分析能够增强网络弹性，应对流量负载和无线环境的动态变化，进而根据不同网络切片的需求进一步保证可靠性和性能。

## 安全保障

目前，安全保障和认证受到广泛关注。例如，2019年颁布的《欧盟网络安全法》为网络安全认证制定了一个欧盟框架，增强了欧洲数码产品和服务的网络安全性。目前的最先进安全保证机制（如GSMA NESAS）是为具体产品版本提供安全保障的有用工具；然而某些方面还需要进一步开发。这一过程中必须考虑虚拟化和云计算的增强、连续集成、连续交付流程和AI。这里的一个重要方面是，对安全性的解释不仅限于产品安全；而这是安全保障机制目前关注的重点。将来，它们应该得到改进，更多地考虑系统的所有方面，包括运行的网络。在建立安全保障机制时，重要的一点是要确定所有有关方都能接受的明确要求和流程。这一工作最好依据全球标准完成。

# 结语

5G带来了巨大变革，不断推高社会的期望。随着赋能技术的进步和网络发展转向改善人们生活的新服务和用例，2030年人们对通信运营商的预期更高，希望他们不仅仅提供技术。

围绕6G的开发工作正在如火如荼地开展，以形成6G时代的能力目标，研究一系列有前景的技术组件，构成2030年网络平台一部分。要实现这一转变，关键在于确保无线接入有极致性能、网络适应性以及全球无处不在的覆盖。除了提供连接外，6G还应成为智能、计算和空间数据的可信平台，鼓励创新并成为社会的信息支柱。

现在就是将6G技术的先进研究转化为网络平台的大好时机，显著扩大能力来满足2030年的需求。Hexa-X项目[7]和下一代网络联盟（Next G Alliance）[8]等研究合作纷纷涌现，推动技术和系统设计取得了巨大进展，赋能网络物理世界和无限连接。未来网络自然应该基于5G的优势，5G将通过5G Advanced不断升级演进，加强学术界和其他行业伙伴的合作，协调各区域举措，让全球朝着一个方向迈进。

# 作者



**Gustav Wikström**是爱立信网络研究院（Ericsson Research Networks）的研究负责人，致力于推动下一代网络的发展。他在完成物理学博士后研究后于2011年加入爱立信，从事WLAN、4G和5G的标准化、概念开发和性能评估。他目前专注于6G愿景、用例和服务。



**Patrik Persson**于2007年加入爱立信研究院（Ericsson Research），担任6G项目经理总监一职。Patrik在专注于推动6G愿景和概念研究活动之前曾参与不同领域的研究，包括先进天线系统的概念开发、3GPP RAN标准化（4G和5G）以及LTE的专有演进。Patrik拥有瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）电气工程博士学位（2002年）和讲师职称（2011年）。



**Stefan Parkvall**于1999年加入爱立信，是研究6G和未来无线接入的资深专家。他是HSPA、LTE、NR无线接入开发的关键人物之一，多年来一直深入参与3GPP标准化工作。Parkvall博士是电气和电子工程师协会（IEEE）的研究员，也是《面向移动宽带网络的4G—LTE/LTE-Advanced》（4G -LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband）和《5G NR—下一代无线接入》（5G NR – The Next Generation Wireless Access）等多本畅销书的合著者。Parkvall博士在移动通信领域拥有超过1500项专利，并拥有瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）的电气工程博士学位。



**Gunnar Mildh**是爱立信研究院（Ericsson Research）无线网络架构方面的资深专家。他于2000年获得了瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）的电气工程硕士学位，此后一直在爱立信研究院工作，研究GSM/EDGE、HSPA、LTE和5G NR的标准化和概念开发。



**Erik Dahlman**于1993年加入爱立信，目前是爱立信研究院（Ericsson Research）无线接入技术领域的资深专家。他一直参与无线接入技术（从早期的3G到4G LTE）的开发，目前主要是研究5G NR，不仅包括5G的发展演进，还包括5G无线接入以外的技术应用。他是《3G演进：HSPA与LTE》（3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband）、《4G：LTE/LTE-Advanced宽带移动通信技术》（4G – LTE and LTE-Advanced for mobile broadband）、《4G LTE-Advanced Pro和通向5G之路》（4G – LTE-Advanced Pro and the Road to 5G）以及最近的《5G NR：下一代无线接入技术》（5G NR – the Next Generation Wireless Access Technology）等书籍的合著者，拥有瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）的电信博士学位。



**Bipin Balakrishnan**是爱立信研究院（Ericsson Research）未来终端技术的资深研究员，拥有瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）的电气工程硕士学位。自2008年毕业以来，他一直致力于移动终端系统架构和概念开发工作。他还曾在移动终端标准化机构MIPI联盟（MIPI Alliance）担任领导职务，于2019年加入爱立信。



**Peter Öhlén**是爱立信网络研究院（Ericsson Research Networks）的首席研究员，专注于在传输网络、无线设备和云等不同技术领域实现服务和网络的自动化。Peter Öhlén的研究方向是通过高效的框架、相关数据的开放和应用智能算法完全实现自动化，目前主要研究何时以及如何应用人工智能来处理目前没有有效解决方案的问题。Peter于2005年加入了爱立信，曾在无线和固定网络的多个技术领域工作，拥有瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）的光子学博士学位。



**Elmar Trojer**是爱立信网络研究院（Ericsson Research Networks）的研究负责人，目前专注于拆分RAN架构和5G和6G无线网络的前传传输解决方案。他拥有电气工程博士学位和工商管理硕士（MBA）学位，并在固定接入、小蜂窝、4G/5G回传、前传和低层拆分等方面开展了研究。





**Göran Rune**是爱立信研究院（Ericsson Research）系统和网络架构的首席研究员，自2014年一直担任该职务。他于1986年获得了应用物理和电气工程硕士学位，并于1989年获得了林雪平大学（Linköping University）理工学院颁发的固态物理工程Licentiate学位。Göran Rune于1989年加入爱立信，此后一直致力于核心网络和无线网络架构的系统设计以及GSM、PDC、WCDMA、HSPA和LTE以及5G核心网络等大多数数字蜂窝标准的概念开发和标准化。



**Jari Arkko**是爱立信研究院（Ericsson Research）互联网架构方面的资深专家，曾从事软件开发、路由器、安全、移动网络和互联网技术方面的工作。Jari还担任过互联网工程任务组（IETF）的主席。



**Zoltán Turányi**是云业务研究领域控制架构方面的专家，一直对云原生友好的移动架构、功能即服务和云执行环境感兴趣。他拥有计算机科学理学硕士学位，于1996年加入爱立信，过去还从事过IP QoS和移动性、移动核心网络架构和软件定义网络等方面的工作。



**Dinand Roeland**是爱立信研究院（Ericsson Research）的首席研究员，目前的研究方向是在端到端网络架构中引入人工智能技术，实现自主认知网络。自加入爱立信以来，他担任过各种技术领导职务，包括产品开发、概念开发、原型设计和标准化。他以优异成绩获得了荷兰格罗宁根大学（University of Groningen）计算机架构和智能系统硕士学位。



**Bengt Sahlin**负责芬兰爱立信研究院（Ericsson Research）NomadicLab的安全小组。他于2000年加入爱立信，最初从事移动系统安全和产品安全方面的工作。Bengt Sahlin参与了一系列标准化工作，包括3GPP、ETSI、GSMA和IETF的标准化。2010年至2013年，他担任3GPP安全工作组TSG SA WG3的主席。



**Wolfgang John**是爱立信研究院（Ericsson Research）网络计算融合的首席研究员，目前主要研究电信和IT应用程序的边缘和分布式云计算。他拥有瑞典查尔姆斯大学（Chalmers University）计算机工程博士学位。自2011年加入爱立信以来，他还开展并主导了网络管理、软件定义网络和网络功能虚拟化方面的研究。



**Joacim Halén**是爱立信研究院（Ericsson Research）分布式云软件设计方面的专家，拥有瑞典皇家理工学院（Royal Institute of Technology）工程物理硕士学位，于1997年加入爱立信。他致力于软件架构和各种类型系统和级别的原型开发工作。在过去十年中，他一直专注于云技术。



**Håkan Björkegren**自1995年以来一直在瑞典爱立信研究院（Ericsson Research）工作，是爱立信的首席研究员，专注于无线系统的空口和无线协议设计。他拥有瑞典吕勒奥理工大学（Luleå University of Technology）的信号处理博士学位，目前正为6G设计和评估不同的空口概念。

## 参考文献

1. 《迈向6G时代的五大网络趋势》（Five network trends towards the 6G era）, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/technology-trends-2021>
2. 《联合国可持续发展目标》（UN Sustainability Development Goals）, [www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html](http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html)
3. 《感官互联网报告》（The Internet of Senses report）, [www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/10-hot-consumer-trends-2030](http://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/10-hot-consumer-trends-2030)
4. 《指数路线图》（Exponential roadmap）, [exponentialroadmap.org/](http://exponentialroadmap.org/)
5. 《值得信赖的人工智能》（Trustworthy AI）, [ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai](http://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai)
6. 《爱立信技术评论》（Ericsson Technology Review）之“网络计算结构”（The network compute fabric）, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/network-compute-fabric>
7. 《Hexa-X项目》（The Hexa-X project）, [hexa-x.eu](http://hexa-x.eu)
8. 《下一代网络联盟》（The Next G Alliance）, [nextgalliance.org](http://nextgalliance.org)

