

五大网络技术趋势

面向6G时代

作者：ERIK KUDDEN, CTO

由于新冠肺炎大流行，数字基础设施在关键的社会、经济和政府职能方面发挥的关键作用比以往任何时候都更加显著。现在，企业和社会都高度认识到，必须在短期和长期内确保数字基础设施的可用性、可靠性、可负担性和可持续性。与此同时，网络与现实的融合正在加快速度。一些用例正在使虚拟与现实的界限变得模糊，它们增加了对先进网络技术的需求。

疫情期间，如果没有现有的移动和固定通信基础设施能力，数字化的加速普及就不会实现。展望未来，5G将成为面向消费者的主要数字基础设施，通过移动和固定无线住宅接入等方式，支持增强/虚拟现实和基于人工智能的服务。对于企业，特别是那些已经转向云服务的企业，5G为基于服务水平协议的QoS带来了更高的性能、边缘计算、内置的物联网优化、工作流程自动化和网络切片。

一些用例将现实世界和数字世界相融合。人们对这类用例有着更高的期望，这已经在5G中体现出来，而在6G的发展中将更加明显。例如，感官互联网（Internet of Senses, IoS）将扩展我们的感知力。该网络将为这些用例提供具有成本效益和值得信赖的解决方案。

增加对云技术的依赖将变得至关重要。许多网络运营商已经开始在他们的网络中加入云原生技术（例如云原生独立核心网和具有开放分层体系结构的云无线接入网）。未来这一领域的发展将取决于高性能的数字基础设施，从而确保一个开放、可互操作、可信赖、高效自动化、功能安全和信息安全的现实世界。除了开放传统的通信服务，网络还将提供新的功能，如多感官数字化表示（multisensory digital representations），包括上下文感知和观察能力，帮助用户洞察和推理。通信网络的分布式功能，如嵌入智能实时计算的无处不在的连接，将与分布式端点和云基础设施协同工作，塑造数字基础设施未来的能力。

数字基础设施的发展，需要遵守的一项基本原则是开放技术和业务接口，保证市场的开放。这种开放将有助于数字基础设施自身和以其为基础的自主创新，赋能未来的业务平台。这个生态系统将依靠商业驱动的投资、强大的伙伴关系和数字基础设施的开放而发展。

在去年的技术趋势报告中，我强调了作为数字基础设施中枢的“网络”的重要性，并认为它是打造智能、可持续和联网的世界的理想创新平台。今年的技术趋势报告重点关注与数字化表示相关的基本网络功能，它们将使联网现实的通信范式成为可能。我将所有这些网络功能合在一起，放在“趋势1”中讨论。标题为“联网现实的数字化表示”。趋势2-5是确保提供所需功能和服务的主要网络构建模块，即：可适应的无限连接、可信赖系统的完整性、联合认知网络和统一的网络计算结构。

趋势 #1：
联网现实的数字化表示

5G推出以来，我们已经能够将现实世界和数字世界融合成为增强现实，满足人类和机器的通信需求。由于人类和物体只能在局部环境中体验现实世界，因此传感器、执行器和网络的本地部署将是一个关键的使能因素。通过对人类、物体及其环境的数字化表示，现实世界和数字世界的融合才得以实现。

来自嵌入式传感器和执行器的数据可以支持环境和实体资产的数字观察能力。未来的网络将提供对于来自传感器的

数十亿种不同数据流的低级别处理，并为它们的应用做好准备。准备工作将处理数据流的聚合、过滤和融合。处理过程将得到实时监控，执行器将实现自动操作。为了进一步提高观察能力，该网络将生成感官数据（sensory data），如身份、定位、时间戳、空间映射信息等数据。5G在这些领域实现了基本功能，而6G将提供增强的功能。在未来网络平台的发展中，以下功能和能力是至关重要的。

网络感知的渲染和同步

有些用例需要保证上界的端到端时延。由于网络是上下文感知的，从空间映射和动态对象处理的能力来看，渲染算法

提供了优化用户体验所需的动态时延和控制。该优化包括在现实环境中所有感觉模式和数字对象之间的同步。

协同式上下文感知和观察能力

联网的智能机器依靠上下文感知和观察能力来与附近的其他机器建立联系，并与之合作。这包括物理轨迹、意图和能力的记录和跟踪。网络将通过包含上下文信息的上下文结构为智能机器提供服务，包括对此类上下文信息的实时处理。随后上下文结构向协作机器提供关于其角色和功能的验证信息，以及上下文数据。

关键用例

有3项关键用例正推动着联网现实的发展，它们是：数字化和可编程的现实世界，感官互联网和联网的智能机器。

1 数字化和可编程的现实世界

未来，每一个实体对象（包括智能机器、人类及其环境）都将有一个数字化表示，而现实世界将是完全可编程和自动化的。数字化表示将通过独立和整体的方式管理和处理数据，以对现实世界进行预测和规划。

产生的洞察将通过编排、实现和重新编程的方式影响现实世界。

2 感官互联网

感官互联网实现了多感官数字体验与本地环境融合，并能与人、设备和机器人进行远程交互，就好像他们就在附近一样。

这些数字体验与现实世界的体验非常接近，实现这种数字感官体验的基本组件是视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉的感知和实现技术。

3 联网的智能机器

联网的智能机器是在数字和现实领域运行和执行任务的实体对象和软件代理。

它们以协作和聚合的结构与应用、用户以及彼此连接。随着协作能力的发展，对通信能力和功能能力的需求呈指数增长，新的数字化和多样化的交互模式将产生。此外，联网的智能机器将越来越依赖于它们所处的现实和数字环境的感知。

机器与设备间的互操作性

联网的智能机器和设备之间的差异导致了语义描述和信息格式的异构，因此它们之间需要中介和互操作性。机器和设备之间的通信优化需要语法和语义互操作性，以及不同协议和模型之间的可编程性。网络通信栈将为此提供支持，从而消除互操作性问题。

实时定位

物理和逻辑位置以及时间观测对于将数字化表示与物理世界联系起来至关重要，以此生成数字化上下文意识。这种上下文感知的数据需要以统一和标准化的格式表示，从而支持跨平台使用以及操作和管理系统的系统。这也使得市场（marketplaces）能够不断更新观察结果、模型、经验教训、见解和其他实时数字化表示。

网络的一个关键特征是通过动态环境中实体对象的实时定位来协调安全、协同的自主操作。网络还为对象及其相关数据的完整性和隐私提供了安全识别和身份验证。这使得在考虑法规、策略和角色的情况下，能够安全控制和驱动（actuation）实体对象。这些网络能力将是建立一个值得信赖的虚拟与现实融合的世界的关键因素。

空间映射

空间地图是通过收集和融合所有联网设备（如摄像头、激光雷达、雷达、陀螺仪、加速计、水平传感器和压力传感器）的感官数据而创建的。这些网络生成的地图被用来正确地将数字对象定位到现实环境中，从而实现多用户交互。这一网络功能将处理相关的空间映射处理，以减小IoT设备的尺寸、功耗和成本。空间地图最初将专注于视觉表示，随着时间的推移，将扩展到空间声音、触觉、嗅觉和味觉的表示。

动态对象处理

基于空间地图，网络将执行动态对象处理和实时跟踪，将现实环境和数字内容融合。动态对象处理对于高级遮挡、去遮挡和高分辨率空间地图中移动对象位置的持续更新特别重要。例如，在消防救援行动中，去除气味和温度的遮挡可以用来确定被困人员的位置。其他功能还包括收集空间数据以生成个性化用户体验，以及支持上下文感知通信的能力。

嵌入数据处理和丰富（enrichment）

未来网络的一个基本功能是提供正确的数据管道和计算特性的轻量级普适数据

处理结构。由于联网的智能机器、设备和传感器将产生大量的数据和信息流，未来网络将为数据的准备、元数据的提取和注释提供充分的处理能力。此外，还将提供并开放网络内流处理和丰富功能，如事件检测、过滤、推理和学习，以及传感器融合。这种网络内流处理将由嵌入网络的专门硬件加速来支持。数据格式和新的压缩算法将为机器的需要而优化，而不是为人类的使用和处理而优化。必要的转码和压缩算法也将嵌入到网络中。

除了上述的网络功能和能力，实现大规模的联网现实的数字化表示还需要纵贯数字基础设施（包含设备、边缘、网络和云）的端到端解决方案。由于数字化表示可能包含敏感信息，所以使用标准化、可互操作和安全的协作空间地图是建立信任的先决条件，使其成为从生态系统合作和创新中受益的一个很好的例子。我们将在全球生态系统中促进开放和密切合作，塑造推动创新的未来商业平台。

未来网络支持现实和数字世界的融合，有4个关键领域的技术进步至关重要，它们是：无限的连接、可信赖的系统、认知网络和网络计算结构（趋势2-5）。

趋势 2-5:

联网现实的构建模块

趋势 #2: 可适应的无限连接

6G接入的一个主要目标就是提供可适应的无限连接，以确保一个敏捷、健壮而耐用的网络得以发展。用户和应用应能随时随地关注手头的任务，而网络应能适应和支持他们的需求。多厂商接口将确保网络和整个生态系统的开放性，同时最小化系统的复杂性。

网络的可适应性

确保动态和灵活的站点部署的解决方案对于未来的高容量、高耐用性的网络至关重要。不同类型的节点（包括临时节点和非地面节点）将被无缝集成。对于范围有限的较小站点，网络拓扑将随着多跳路由能力的发展而演进，从而实现具有成本效益的网络密集化。这是因为专用的传输链路已不再必需。

高性能、灵活、可扩展和可靠的传输将支持整个网络的异构部署场景。例如，它将简化分布式和集中式无线接入网的集成以及公共和非公共网络的集成。为了保持传输网络的灵活性和可管理性，人工智能驱动的编程能力将用于闭环自动化和多服务虚拟化。

设备和网络的可编程性

设备将变得更加经得起未来的考验，并能够通过可编程性利用更先进的网络功能。设备可编程性将包括可下载的软件栈和可配置的人工智能模型。与此同时，可编程的网络功能将支持升级的和新的设备功能，从而实现为特定的用例定制优化单个设备，同时带来更快的功能开发和上市时间。

端到端的可用性和耐用性

为了满足可用性和耐用性的需求，网络将进一步简化，减少以节点为中心的部署，并在无线接入网和核心网之间进行功能分离。标准化的多厂商接口将确保生态系统的开放性，同时最小化复杂性。

网络和应用将相互协作，以确保端到端性能，并为不同的应用开通最合适的服务。在支持网络与应用协作方面，耐用性机制和端到端传输协议是很好功能示例。这些端到端支持功能将随着应用的需要和要求而发展，例如能够处理多路径通信以及智能拥塞控制的传输协议。为了支持应用的上界时延需求，网络将提供可预测的、变化幅度小的时延。

趋势 #3: 可信赖系统的完整性

6G网络将支持数万亿的嵌入式设备，提供可靠的、始终可用的连接，保证端到端连接安全，以缩小日益扩大的威胁空间。未来网络的一个基本特性将是提供安全服务，方法是管理和验证功能安全、信息安全、耐用和隐私是否符合要求。利用人工智能技术的自动化技术将应用于包含开发、部署、运营等环节的整个产品生命周期。人工智能技术还将用于自动问题根源分析、威胁检测和攻击响应，以及对无意干扰的响应。这些技术还将提高服务可用性。

机密计算

安全的云和边缘系统对在虚拟运行环境中执行敏感代码和数据有严格的安保要求。可信赖的机密计算特性将使用加密和密码完整性保护，提供隔离的运行环境。这将需要专门的硬件和用户的远程认证，以验证他们的应用在真正的和正确配置的硬件上执行，支持基于硬件的信任根和虚拟运行环境的安全引导。



类似同态加密（允许用户直接对加密数据执行计算）以及多方机密计算（参与方之间的数据隐私受到保护）这样的新技术将得到使用。

机密计算技术还可以用于解决在云和边缘进行数据处理时的隐私问题。

安全身份和协议

网络将提供信任根，以确保高度动态和分布的虚拟化环境中的身份安全。

安全身份是身份管理和增强隐私保护协议栈的基础，它将支持对整个网络

以及所有连接的实体对象和软件代理进行监控和合规验证。

零信任体系结构

零信任体系结构是促进对网络资源的安全访问的基础，这种资源仅限于授权和获得批准的客户访问。零信任是一种以身份为中心的方法，在运行时执行动态策略授权。人类员工负责监督所有拥有的和关联的资产的完整性和安全状态。

服务可用性保证

服务可用性首先要确保硬件和软件组件

的完整性和可靠性，以及利用分配的网络资源，运行环境中每个服务的行为一致性。例如在无线接入网中权衡系统容量和性能，以减轻环境和通信流量变化对关键服务的影响。

数据驱动运行和实时策略管理的预测分析框架将提供实时复合指标，从而确保服务可用性，并向关键服务通报功能安全风险。除了网络指标，用户可以明确表达自身意图，以进一步提高服务可用性。



趋势 #4：
联合认知网络

继续沿着5G网络自动化的道路发展，未来的网络将具备认知能力，可以自主观察和行动来优化网络性能。6G认知网络将实现网络管理和配置任务的完全自动化，并由操作和维护人员进行闭环监督。

一组分布式的意图管理器将被嵌入到网络中。每个意图管理器都被某项意图控制，意图指定了期望，包括需求、目标和约束。意图管理器具备认知功能，观察控制下的环境，并从获得的数据中得出结论。这意味着它能执行

推理过程，采取行动，实现意图的期望。人类将表达控制网络的意图。

认知功能利用人工智能从原始数据中得出结论。这类例子包括机器学习模型，它可以产生洞察，具备机器推理能力，从而执行意图。新的机器推理和多智能体强化学习技术有望实现协作闭环功能。

值得信赖的人工智能确保了网络的透明度，让人类可以理解它为什么采取某些行动，或者为什么不能满足某些条件。可解释的人工智能（Explainable AI）是实现可信赖人工智能的一种技术，旨在为人工智能做出的结果提供

一个简单易懂的解释，理解其背后的基本原理。认知功能的实现是通过底层的数据驱动体系结构实现的，其中包括高效和安全的数据摄取。知识库将是意图管理器的一个重要部分，是认知功能的知识来源。

趋势 #5：
统一的网络计算结构

互联网、电信、媒体和信息技术的融合，将催生一个由互联部件组成的统一的全球系统。网络计算结构促进了生态系统、应用管理、运行环境的统一，促进了网络和计算能力的开放。

6G将作为网络的控制器，覆盖从简单设备到先进的虚拟与现实融合系统的各类应用。与此同时，6G将整合存储、计算和通信，创建一个分布式的统一的网络计算结构。这种结构将使运营商能够访问连接以外的工具和服务，这些工具和服务可以提供给开放的市场。

未来的用例（如感官互联网和联网的智能机器）将高度分散，并要求确定性的低时延、高吞吐量和高可靠性。网络将提供一个内嵌的、统一的执行环境，用于托管和管理这类用例，从而对连接性产品进行补充。硬件和软件加速，时间敏感型通信技术（如时敏网络和超可靠的低时延通信），

以及时间感知功能，将保证端到端的时效和可靠性。

考虑到未来数十亿的传感器和执行器数据流，网络内流处理将通过可互操作的应用编程接口提供的确定性计算能力实现。除了进行诸如数据来源、元数据提取和注释等信息准备工作，网络还将提供一个轻量级的普适数据管道和计算结构。此外，网络将以无服务器的方式提供应用部署、扩展和资源分配，以支持未来所有可能涉及的传感器和执行器的功能执行。

这种计算结构将围绕一个联合生态系统演进，该生态系统包括空中接口、

概念验证

爱立信正与汽车行业合作进行一项概念验证，即在一个无线连接的工厂中测试自主运输机器人。该解决方案将把与应用相关的数据处理从连接的设备转移到边缘计算上。基于云的软件栈和相关服务已经针对确定性实时性能做了显著调整。为了满足工业对可用性和可靠性的要求，该解决方案正在集成到5G连接网络中。网络计算结构嵌入了确定性计算能力，以容错的方式管理事件到实现（event-to-actuation），实现安全、准确的运行。

互联网、云服务和设备领域的业内人士和用户。生态系统的扩展需要广泛利用生态系统内人士之间的双边协定。这种计算结构将为虚拟服务（包括身份和关系处理）提供去中心化和无代理的交换功能。智能合约技术（如分布式账本）将使支持服务交付模式（如自动销售、交付和收费）的各方之间的合同谈判自动化。

目前的语音和数据漫游模型将得到扩展，从而加入面向联合生态系统的智能合约。我们正在与学术合作伙伴一道进行研究，以解决这类无代理交换的安全性、保密性、隐私和数据来源问题。

结语

5G和6G支持的数字基础设施将在实现虚拟与现实融合方面发挥至关重要的作用，特别是在大规模扩展这种融合方面。网络中嵌入的先进功能（如全实时空间映射和上下文感知用户数据）将是下一波数字化转型的基础。因此，由相互连接的实体对象和软件代理组成的全球系统将使集成来自不同领域的实体以塑造各类系统的系统变得更加容易。

数字化基础设施将使所有数字化解决方案能够持续优化，造福社会和企业。不仅持续提高效率和舒适度，还能减少对环境的影响。综上所述，我预计

未来数年，数字化解决方案将在商业和行业的各个领域，以及消费者和公共领域得到前所未有的发展和应用。数字基础设施将为全球范围内的所有企业和行业提供新的收入流或增加收入流。

然而，值得注意的是，用于开发人类、机器和软件代理之间进行智力交流的技术创新，需要跨生态系统的新形式的协作。因此，要充分发挥这一联网现实的潜力，就需要在供应商、行业和社会之间建立新的协作框架，以确保公平、可信和互操作性。6G为创新提供了广阔的平台，最适合成为社会的信息支柱。

联网现实将基于一个全球平台，负责保证技术和业务接口的性能、完整性和开放性，确保市场开放。它将通过业务驱动的投资和协作来发展。爱立信在5G和6G领域的投资表示我们在实现联网现实方面的主要贡献。关于合作，我们的做法是由我们的坚定信念驱动的，即融合虚拟与现实的未来业务平台的开发，需要与生态系统进行深入、长期的接触。爱立信正在致力于与新老合作伙伴共同努力，实现这一目标。



作为爱立信集团的首席技术官和技术战略主管，Erik Ekudden负责制定爱立信的整体战略和技术领导方向。他在美国加州圣克拉拉生活了近7年后，于2017年搬到了瑞典的基斯塔。

他站在集团的高度，重点关注移动、云、人工智能和物联网领域的战略决策和投资。这要归功于他长达数十年的技术战略和行业活动相关的职业生涯。从2G到5G，乃至未来的技术时代，他不断与领先的客户和合作伙伴进行互动。Ekudden于1993年加入爱立信，从事移动系统的研究，但很快就成为了研究和技术领域的领导者。他曾担任研究领域主任和技术战略、标准化和工业副总裁。

他在瑞典斯德哥尔摩的瑞典皇家理工学院获得了电气工程硕士学位。是瑞典皇家工程科学院的成员。

ERIK EKUDDEN
爱立信集团CTO，高级副总裁，技术战略主管

更多资源

- 》爱立信白皮书，A research outlook towards 6G，网址：
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g>
- 》爱立信技术报告，The network compute fabric – advancing digital transformation with ever-present service continuity，2021年6月30日，Sefidcon, A; John, W; Opsenica, M; Skubic, B，网址：
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/network-compute-fabric>
- 》爱立信，《2030年10大消费者趋势》，网址：
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/10-hot-consumer-trends-2030>
- 》爱立信，《去实体化办公室》，网址：
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/industrylab/reports/the-dematerialized-office>
- 》爱立信，Cognitive Technology，网址：
<https://www.ericsson.com/en/managed-services/cognitive-technology>
- 》爱立信博客文章，To deliver cognitive networks, we build human trust in AI，2021年5月4日，Ekudden, E，网址：
<https://www.ericsson.com/en/blog/2021/5/cognitive-networks>
- 》爱立信技术报告，2020年技术趋势，Ekudden, E，网址：
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/technology-trends-2020>