



2030年数据通信网络 发展趋势研究

面向5.5G时代的网络演进（Net5.5G）

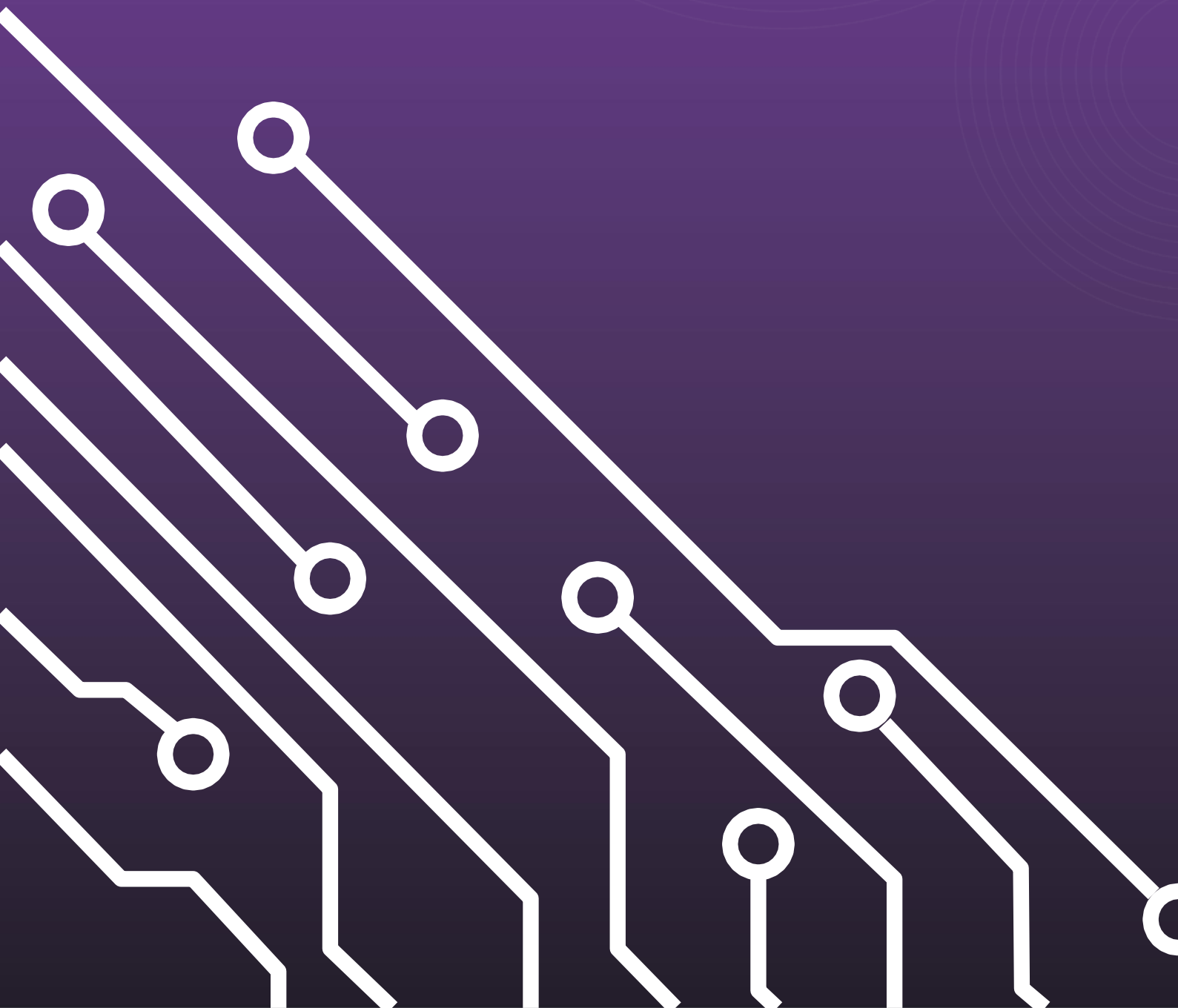


本报告中文翻译由第三方完成，如有歧义，请以英文版为主。



目录

1.0 网络的发展和数字技术的进步	4
2.0 展望2030年：商业应用的可能性和对网络需求的影响	9
3.0 2030年关键Net5.5G网络的特点和创新	23
4.0 总结与展望	35



1.0

网络的发展和数字技术
的进步



全IP和智能数据通信网络势不可挡

数据通信网络，简称网络（包括园区网、广域网[WAN]、数据中心网络等），代表了电信和企业网络的发展方向。数据通信网络诞生和萌芽于互联网。数据通信网络本质上是由网际互联通信协议（TCP/IP）演变而来，其主要任务是跨地域远程智能传输数据。数据通信网络的相关技术正在飞速发展，物理世界和虚拟世界交互融合，数字时代对网络的需求永无止境。数据通信网络的本质，是其底层的互联网基础设施，这是现代世界实现数字融合的先决条件。

万物互联，网络支撑。未来，数字通信网络将在万物互联的数字化进程中发挥重要作用。但相较于其他数字技术受到的广泛关注，数据通信网络却没有得到足够的重视。

到2030年，无处不在的遥感技术、有线和无线10GE宽带、普惠AI、高性能计算和行业定制应用均将被用于数字基础设施的落地实施。这些技术正在飞速发展，但最重要的问题仍有待回答：现有的ICT数据通信网络是否足够智能、足以处理由于产业的革命性转型以及“元宇宙”这一下一代互联网所带来的海量数据？

展望工业互联网时代未来10年的发展（例如元宇宙、AI和算力），互联网基础设施将面临诸多挑战，包括确定性网络体验、多云互联、无处不在的可信性、智能运营以及预测性运维等。

通信网络在过去十年中迅猛发展，而即将到来的产业革命性转型的数字时代，将需要更加成熟的数据通信网络。新型、弹性、强大、多样化的用例和数字化场景的出现，把我们带入一个完全智能的世界，同时也将推动数据通信网络的大规模发展。

网络的演进和创新

50年前，网络从实验室中诞生，经过50年来的演进发展，网络以开放包容的方式将各种应用和终端联接起来。应用和设备的进步推动了网络的扩张和发展。数据通信网络发展的真正本质是网络基础设施的周期性演进发展。

了解网络的代际演进和历史发展的底层逻辑，有助于理解数据通信网络如何在未来实现数字网络现代化。

实验性网络阿帕网（ARPANET），商业化前的互联网：1990年

阿帕网的诞生标志着通信业历史上的一次革命，公众可以远程分享和交换有限的信息，最大传输速度为1G。

该时代有如下特点：

- 首先，引入了实验性的非商业化阿帕网-高级研究计划局网络（ARPANET）；它在上个世纪起源于美国，后来演变为国家科学基金会网络（NSFNET）。彼时，通信和数据交换技术有限，只允许研究机构和政府部门将其用于军事用途。

- TCP/IP成为阿帕网的新标准，统一的IP协议栈可以将电脑联接起来，实现信息交换，成为所谓的“星际计算机网络”。在这个初始面向公众使用的时期，互联网主要用于简单信息和数据的低速传输。
- 第一代互联网并不可靠，采用IPv4协议，缺乏服务质量（QoS）和用户体验保障。
- 随后，更多的技术发明和进步应运而生，使用户能够将他们的电脑直接连接到电话线上，搭建全新体验的个人网络。
- 发明了各种形状和尺寸的调制解调器，使得网络通信进入到数位比特每秒（bps）时代。人们将这个最大网络速度为1G的基础宽带时代称为Net1G时代。
- 这个时代的核心应用是简单的电子邮件，和有限大小的文件的传输。

万维网（WWW）的商业化和爆炸式发展：1990年至2000年

美国国家科学基金会（NSF）解除对互联网商业化的全面禁令后，互联网真正的潜藏价值就此释放。自此，我们迎来了宽带爆炸式发展的黄金十年。此后，互联网逐渐成为公众快速获取信息的主要渠道。

该时代有如下特点：

- 56K调制解调器在全球市场势头强劲，成为最大的技术突破点之一，并因其价格合理和速度相对较快的特点获得了消费者青睐。
- 万维网（WWW）诞生，公众可以自由地在线经营小生意和交流。万维网的出现成为开发互联网应用和革新宽带生态系统的基础。
- 局域网（LAN）和广域网（WAN）应运而生，旨在满足消费者和小型企业的需求，为其提供更好的交互式网络浏览体验和视觉图像。
- 以IE浏览器为代表的免费浏览器出现，进一步加快了互联网应用进入千家万户的步伐，公众都可以上网了。此外，类似于雅虎（Yahoo）和Ask.com的大企业也受到欢迎。
- 典型的以太网技术是802.3u，带宽可以达到100Mbps；典型的无线通信（Wi-Fi）技术是802.11。
- 二十世纪九十年代末期，联网主机超过4000万台，互联网用户超过2亿。
- 在此阶段，万维网和搜索引擎门户网站标志着互联互通时代的开启。

社交媒体、3GPP 3G无线互联网和IP多业务承载网络：2000年至2010年

用户对互联网应用的需求从信息获取演变为社交网络和移动互联网。

该时代有如下特点：

- 固定互联网宽带成为主流技术，因其便利性而成为公众生活中的必需品。
- 无线3GPP组织发布了革命性的3G标准，标志着3G语音和互联网数据服务时代的开启。
- 手机可以上网，人们可以更便利地使用互联网。包括广域无线语音电话、移动互联网（一个绝妙的功能）、视频通话和移动电视在内的应用服务广受欢迎。

- 无线3GPP标准规定了所有核心网络接口均应基于IP，使得TCP/IP进入到移动互联网领域，这标志着真正基于IP的电信网络发展时代的到来。
- 数据通信网络使得无线回传项目符合3G网络标准，支持将无线数据流量回传到各自的核心网络。
- 通信服务提供商（CSP）开始绑定固定和移动数据服务，并向VIP用户提供这种融合服务。
- 另一个快速增长的应用是点对点链路层传输，它既可在广域范围内为顾客提供以太网传输，也可以用作异步传输业务（ATM）或帧中继（FR）服务仿真。该阶段典型的无线通信（Wi-Fi）技术是802.11n/ac。

短视频、3GPP 4G无线数据与移动互联网时代：2010年至2020年

这个时代中最引人注目的创新和发展延续自上一时代，但增加了服务成熟度和数字化创新。

- 3GPP推出了无线4G LTE网络，移动联网速度更快，4G标准支持的移动互联网传输速度从100Mbps升至1Gbps。
- 由于移动联网的灵活性，2011年联网的移动设备数量超过了有线设备的数量。
- 4G标准将高速移动环境下的通信峰值速度设定为100Mbps，低速移动环境下的通信峰值速度设定为1Gbps。
- 家庭宽带开始流行，因其传输速度更快、联接更稳定，成为无线4G技术的竞争对手。
- 家用Wi-Fi开始普及，用于各种家庭终端的联网。
- 各种大屏幕手持设备（iPhone、Android、iPad等）蓬勃发展，相继面世，各种互动式移动互联网应用程序如雨后春笋般出现。
- 对短视频、视频会议和大型文件传输之类的应用的需求，以及对随时在线的互联网数据联接的需求逐渐增长。
- IP服务质量（QoS）和多播技术得到了普及和发展。
- 电机电子工程师学会（IEEE）发布了40GE/100GE以太网传输标准，广泛应用于所有网络层传输。大多数客户选择直接从10Gbps以太网升级到100Gbps以太网；该阶段典型的无线通信（Wi-Fi）技术是802.11n/ac。

云计算、3GPP无线5G数据、行业数字化和5G：2020年至-2025年

在这个互联网时代，高速、低时延和确定性体验就是竞争力，新时代多样化的数字服务对此也有更高的需求。这个时代被称为5G时代，云计算和企业数字化在这个时代诞生，开始了通用云计算和云应用的快速发展。

- 5G移动通信为人际和物联网（IoT）通信创造了新机遇。
- 建设目标网基础设施需要数据通信承载网络更加现代化、更成熟。IP网络成为这个网络基础设施的重要组成部分，对于5G无线移动互联网流量回传至核心网络至关重要。
- 云计算蓄势待发，网络即服务（NaaS）成为新的趋势。
- 企业上云时代开启。

- AI触发了基础固定网络的自动化和网络编排。
- 智慧城市、智能家居、物联网、高速移动互联网和高速家庭宽带应用开始萌芽，网络能力的需求面临严峻的挑战。

元宇宙、工业4.0、成熟的AI和3GPP 5G Advanced (5.5G): 2025年至2030年

这个时代代表着网络的未来，网络发展的历史使命正在从实现物理世界的互联互通转向垂直行业的数字化和AI驱动的云计算。

因此，智能、高效的数据通信承载网络将成为联接工业生产网、元宇宙赋能的AR/VR世界、AI赋能的工业数字化、分布式算力和万物智联的重要骨干网络。

这一时代预期的显著成果包括：

- 3GPP Release 18制定了无线5G标准，专注于5G Advanced (5.5G)的功能，并提出对新一代数据通信网络的需求。
- 解锁下一代端到端（E2E）智能IP网络对于5.5G时代的成功至关重要。
- Wi-Fi 7、无处不在的算力创新、高弹性数据中心和更环保的网络将是未来的发展方向。
- 我们将会迎来更多元宇宙和扩展现实（XR）应用，并实现垂直行业生产系统的自动化。对于无人驾驶汽车、工厂生产远程控制管理和机器人系统等应用来说，网络的超低时延是至关重要。
- 多样化、分布式的计算资源将广泛用于传感通信，从而实现沉浸式XR和人体增强。
- 智能制造引领工业数字化转型，工业物联网（IIoT）将成为主流。
- 元宇宙所代表的VR融合将开启互联网的新篇章，它将成为物理世界和虚拟世界全息互连的关键驱动力。

简而言之，互联网的发展和演进需要底层IP传输网络做出相应改变。

在本白皮书的第二章中，Omdia对行业高管进行了详细的访谈，分析了未来企业的技术前景和2030年的服务需求。

此外，在第三章中详细阐述了数据通信网络代际飞跃背后的催化力量，以及建立智能数据通信网络所需的技术进步。

2.0

展望2030年：
商业应用的可能性和
对网络需求的影响



2030年的消费者和企业体验

2030年的消费者视频、元宇宙和带宽的驱动力

2030年，网络将不再只是联接个人与千家万户，还将扩展到对物的联接——包括家庭内外的日常用品，以及我们穿戴、植入的物品。到2030年，每天将新增1370万台联网的消费者设备，合计将有超90亿台联网的消费者移动设备和330亿台消费者物联网设备。

这种超大规模的联接将形成一个可以随时随地访问数字信息内容的世界。此外，我们的联网体验也将发生根本性的变化——从当前以二维体验为主，到通过AR，或者AR结合VR——又称混合现实（MR）来实现完全沉浸式的三维体验，从而将数字世界和物理世界融合起来。最快到2026年，联网的VR头戴式设备数量就会超过Xbox游戏机的数量。

网络联接度的提升，以及Web 3.0技术的发展，将改变人们社交、工作和消费娱乐的方式。通过实现虚拟的沉浸式体验，消费者能够在数字世界中复刻在物理世界中的所作所为。社会生活的方方面面都将发生改变，例如在医疗健康领域，改变不仅体现在人们与医疗保健专业人员的交互方式，而且通过大量个人互联设备的使用，包括镜子、体重秤、相机和可穿戴设备等，用户无需看医生，就可以监测当前的健康状况，发现潜在的健康问题，每年可以帮助健康产业节省数十亿美元的开支。

家庭之外，消费者的数字体验也将无处不在，各种互联网服务和应用将适应各种设备和本地网络的需求。很多物体都将完全联网，例如汽车，可以直接为消费者提供娱乐和应用，还可以观测周围环境，实现自动驾驶、智能导航和自动支付等功能。

到2030年，可持续性将成为消费者决策的关键因素。实时信息将帮助消费者了解他们所做的每个决定对环境的影响，Web 3.0技术将赋能新的商业模式，这意味着资源将不再被个人拥有，而是可回收、可再利用和可共享的——既为消费者带来经济利益，也减少了对环境的影响。

如今，视频约占所有互联网流量的80%，这是消费者对宽带速度有更高需求的主要原因。随着全球向2030年迈进，这种需求只会成倍增加，因为视频服务正在向高质量的8K视频演进，每个频道对速度的要求为80Mbps到100Mbps。而且，如果消费者使用先进的VR应用（如自由视角视频），每个视频流对速度的要求可能达到5Gbps。消费者对更高的带宽服务的持续需求是必然的。

更快的速度并不是消费者对未来网络的唯一要求。如今，大多数视频流量都采用流媒体方式传输。对于流媒体视频应用，时延和抖动等网络指标至关重要。使用缓冲、自适应比特率控制和动态优化等技术可以部分减少网络性能波动，从而避免其对终端用户的体验造成显著影响。

然而，随着我们逐渐向元宇宙发展，应用的交互性将大幅提升。网络性能方面的任何故障都可能会对终端用户的体验造成很大的影响。因此，用户体验的质量取决于网络性能，例如时延、抖动、连贯和可靠性，这些因素与带宽一样重要。到2030年，根据全球云网宽带产业协会（World Broadband Association, WBBA）预测，先进国家的宽带网络需要满足大于99.999%的可靠性、小于1ms的时延和极低的抖动幅度。

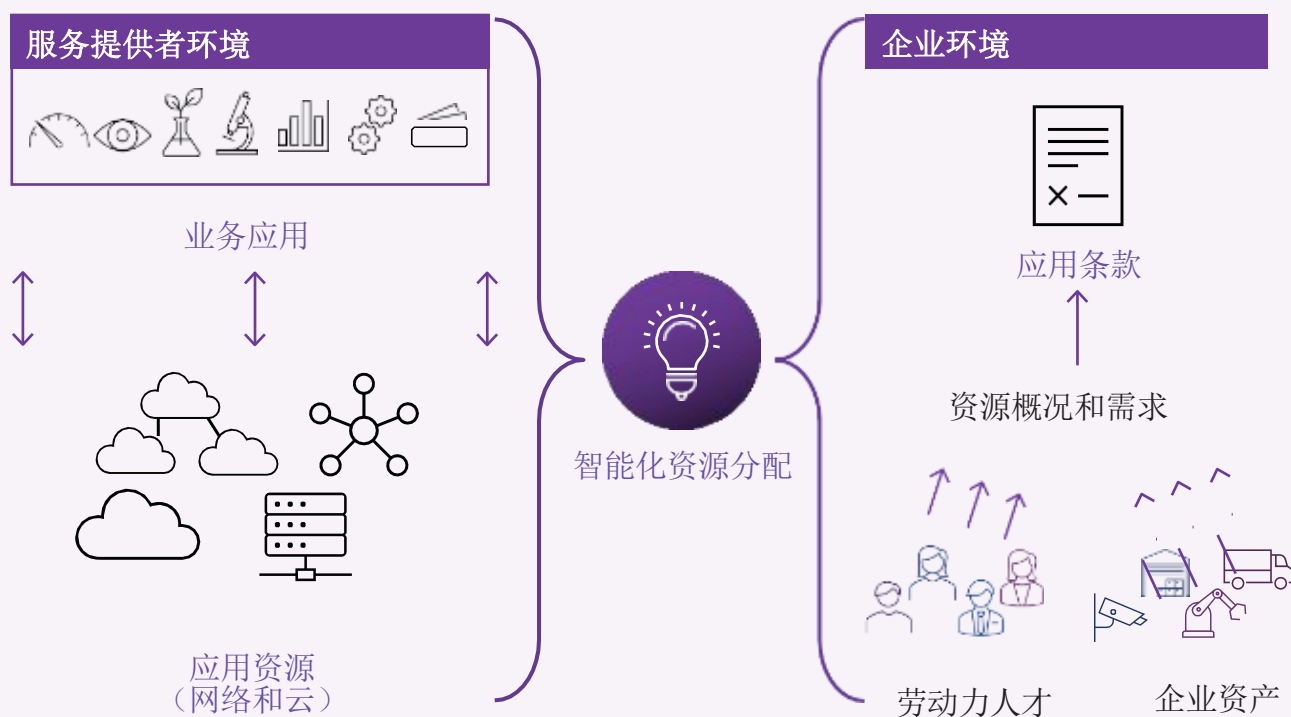
并不是所有元宇宙应用都需要高性能网络，速度、可靠性、时延和抖动等指标本身也并不能完全反映应用层面的终端用户体验。因此，未来网络技术发展的关键是理解每个应用的数据流；可靠性、时延和连贯性等因素对最终结果将产生何种影响；并在应用层面设置网络优先级，以确保最终的用户体验的质量。

2030年应用驱动型企业

对于2030年的企业而言，云服务成为主流已有20余年。企业业务几乎完全转到云平台（更确切地说，是一组智能互联的云平台），以适应不断变化的应用、用户和设备需求、可用计算资源以及网络流量条件。底层资源为满足特定应用的需求，由企业根据可接受的响应时间和工作体验进行调整。商业策略将决定可接受的结果。

图1展示了人员、设备、应用和支撑性资源如何智能协调，使得企业获得预期成果的模式。

图1：根据业务需求进行智能网、云和应用调度



资料来源：Omdia

© 2023 Omdia

到2030年，企业仍将保留技术部门，以管理IT和运营技术（OT）。该部门将作为新想法的把关者和开发者，探索新技术使企业受益的潜力。技术部门将会在数字孪生环境中评估新应用、平台和解决方案。该数字环境将会为机器和车间等物理资产、操作流程等物理-虚拟混合环境、数据和软件等纯虚拟资产，都建立虚拟模型。

在虚拟化和智能代理程序的帮助下，技术人员无需拆箱设备或编写代码即可操控新的解决方案。他们可以更改参数设置、调整接口和适配器。然后，他们可以测试该设置下的解决方案与数字孪生环境中的现有设备和软件如何协同工作。当新的解决方案获得验证通过后，就可以将它部署到现实世界中，成为业务运营的一部分。如此，公司的知识工作者将获取新的能力，从而使组织受益。

2030年，企业将广泛采用来源于消费科技的产业技术来辅助其开展业务。知识工作者在2030年可用的工具集包括：用于复杂的可视化和响应的MR；协助或替代人类决策的AI和机器学习（ML）；产生于视频协同和视频流媒体，并经过认知分析的丰富数据；以及作为社交空间和虚拟工作环境的元宇宙。这些技术的底层基础早在十年前便存在了。经过过去十年的飞速发展，这些技术为企业赋能了大量知识工作者。

以下的一些例子，展示了新技术将如何在2030年提升企业关键职能的智能化和效率。这些新技术能力将改善公共道路的商业交通，保障私人工作场所和大型园区的安全和顺利运营，通过数据可视化和分析的方式帮助知识工作者做出更好的决策，并为组织和个人标注应用环境和数据以获得更好的成果。

智能交通——联网车辆

到2030年，公共交通基础设施和车辆都将更智能。智能公路和自动驾驶车辆将大大缩短出行时间、降低事故发生率和能耗。尽管很多私家车还不能完全实现自动驾驶，但仍会有28亿左右的车辆联网，其中大部分（近20亿辆）是商用车。联网车辆相对现有车辆将会在智能化方面有所增强，可以主动评估路况，必要时获得人工帮助，从而有助于提高公共道路的安全性。

商用车辆的运营商使用视频监控解决方案到现在已经数十年了。到2030年，多台车载摄像机将用流媒体方式传输内部和外部的视频片段。这些视频流将得到认知分析处理，以辅助人工驾驶。此外，摄像头还将对安全性进行监控，帮助企业免于担责。车辆摄像头还将全方位监控，显示驾驶员并未在驾驶时分心。

如果车辆在路上发生故障，或驾驶员遇到问题，认知分析系统将识别问题并立即处理。到2030年，交通事故率将大幅降低。一旦出现问题，视频和遥测数据可以帮助商用车辆司机（以及企业）确定问题的根本原因。

智能工作场所——通过精确传感提高生产力

到2030年，智能控制下的工作场所将实现高度自动化。配备了自动引导车（AGV）的无人值守仓库将成为常态。叉车和搬运车将快速精准地存储和提取库存，而传送装置则将负责分类和处理输入和输出。全自动仓库将更高效、准确、有序，而且由于它无需留出工人行走的通道，因此可以存储更多产品。

正如视频流可以帮助实现公共道路上的智能交通一样，视频流和认知分析也是实现工作场所安全、合规和安防的核心所在。视频采集早在数十年前就被用作安全执法和安防监控的工具。到2030年，115亿台安防和场所自动化设备将在住宅和商业应用中发挥作用。其中许多将是联网摄像头，以保证运营的安全与顺利进行。

工作场所的视频采集将与认知处理、AI或数据分析相结合，在员工合规性、资产追踪、安全预警和发布其他警报方面发挥积极作用。例如，摄像头可以确保员工正确穿戴护目镜、头盔和背心，以遵守公司的安全规定。运用地理围栏技术，视频可以利用RFID等工具来追踪材料、设备和现场员工的位置。此外，该技术还能发现未经授权或身份不明人士进入不安全或限制区域的情形，并及时做出响应。

尽管有很多AGV被用于重复性的工作任务，但其他另一些工作场所配备的全自动和半自动交通工具则更为灵活，可以用于特定任务。空中和地面无人机采用摄像头和遥感技术（包括位置追踪），在大型场地巡逻和检查现场状况的变化。无人机可以在几分钟内到达危险或难以触达的地方，并提供详细的视觉数据和分析。这些自动驾驶设备补充完善了大型炼油厂、发电厂、公共工程项目、建筑施工区和安全设施等场所的遥测系统。

为人类提供可视化数据和数据处理功能

2030年，MR设备的集合（AR、VR和XR）将成为知识工作者广泛使用的主流工具。这些工具与运动感知控制器和触觉反馈相结合，帮助员工对大型数据集进行可视化、结构化和操控，以获得新的商业洞察。

MR将会影响各行各业的员工。企业源源不断地获取数据，实时分析这些数据，做出即时的响应。知识工作者寻找进一步组合及利用这些数据的方法，他们将信息来源转化为市场情报，帮助企业更好地做出决策。示例如下：

- 在制造业领域，对工厂车间进行可视化可以提高运营效率。另外，还可以在创建物理模型前，对新设计进行概念化、原型化和迭代
- 在农业领域，通过评估土壤条件，来决定何时何地进行灌溉或施用化学品
- 在金融服务领域，运用数据分析来预测未来市场表现
- 在医疗保健领域，在AI的帮助下，利用远程机器人进行操作
- 在采矿和能源领域，可视化物理空间和地下结构，从而掌握地层情况，优化开采方案
- 在零售业领域，帮助消费者在购买决策前，体验提供新生活方式的产品或服务

到2030年，使用大型而昂贵专业设备的行业将把AR作为主流工具。来自总部的专家和现场技术人员可以佩戴带有视频的AR头戴式设备，一起完成复杂设备的维护、维修或升级工作。现场技术人员可以先通过智能代理程序对实时视频流进行认知分析。智能代理程序通过视觉提示，引导现场技术人员逐步完成流程。随后，智能代理程序可以评估并确认技术人员是否正确完成了任务中的每个步骤。

智能服务——快速、准确、个性化

到2030年，服务交付将更快、更加个性化，产生的结果也更好。这些改进将体现在商业和专业服务、零售、教育、医疗保健部门和公共部门服务等方面。仅在医疗保健领域，2030年将有超50亿台联网设备投入使用，包括消费者医疗和临床护理设备，用以监测和改善健康状况。

过去几十年以来，企业组织一直在保存各类电子记录。2030年，所有这些收集到的信息将足够全面且彼此相关，从而很容易帮助理解并对应到其中单独的个体，包括其他企业、客户、学生、患者或公民。数据将与个人建立标注关联，因此有关组织必须确保个人隐私和敏感数据受到保护。

这些丰富的数据可以帮助人们，甚至拯救生命。例如，在医疗保健领域，带有多媒体功能的电子医疗记录可以纳入处方药的相关信息，可以附带高分辨率的影像文件、过往的就医问诊数据和过往的手术视频。如果一位已出院的患者需要复诊，智能分析工具可以帮助指导医务人员采取适当行动。

有时，丰富的数据可以带来更好的个人回报。2030年，为了保持竞争力，零售商需要了解他们的客户群体，获得更多稳定的回头客。根据常客过往的消费习惯，零售商可以给出恰当的建议，推荐与其兴趣相匹配的其他产品或服务。对于潜在的零售客户，MR将替代数字标牌，成为吸引顾客参与和体验新产品和服务的方式。虚拟零售店铺可以展示客户正在考虑购买的新产品，以及过往买过的产品，从而提供更多信息，以帮助客户做出更符合其个人偏好的消费决定。

在教育领域，远程学习项目早已采用。2020年，新冠疫情暴露了采用远程教学的一些不足，但同时也展示了其潜力。2030年，大学将同时构建物理校园以及扩展的虚拟空间。学生们可以在社交元宇宙中彼此交流，和教师互动，随时随地都可以学习和进行项目合作。

对于商业服务来说，2030年我们所拥有的这些技术将会成型，并带来更好的成果。商业和专业服务的成功离不开专业人员的技能。该领域蓬勃发展的关键在于赋能员工，使他们更好、更高效地完成工作。协作、数据分析和可视化工具，以及数据的获取和分发（包括通过元宇宙这样的方式）最终将使企业受益。AI代理程序将被用来协助员工，减少一些简单机械的工作任务，从而使人才能够专注于为企业提供更高价值。

2030年的网络需求

将未来的应用需求与网络需求进行对照，我们发现了一些共同点。2030年的服务提供商网络将需要提供10倍于10年前的带宽。这种对容量的需求来自于更多的联接设备和每台设备需要的更高带宽。

园区网：无线、视频和元宇宙

2030年，许多智能工作场所仍在使用传统的物理材料和资产，但它们都将有一个信息维度。工作场所将依赖于实时视频，并与丰富的遥测数据协同。实时视频流对带宽需求很高，高度压缩的、低质量的视频流可以在1Mbps的带宽环境中工作。许多带有认知分析功能的摄像头更需要注重细节。传输速率高达25Mbps的高清（HD）视频流和高达100Mbps的8K视频流将更为逼真。遥测也会产生大量数据，例如，能源行业使用分布式声学传感监测地震活动；这样的系统每天可以生成10TB的数据。

2030年，大型工作场所将会设置许多摄像头，生成实时视频流。有些摄像头放置在永久固定位置，或是嵌入静止的机器。而有些则是无线的，安装在车辆上，或佩戴在员工身上。有些无线摄像头也是静止的，只是当工作场所发生改变时偶尔移动。这些摄像头所捕获到的视频流的带宽各不相同，取决于其所监测和分析的事件和目标。一般来说，在2030年的大型工作场所，机器轻轻松松就能生成数千兆的视频流。这些数据都将被收集、分析、关联，并用于启动实时响应。

无论在现场还是远程，2030年的知识工作者将偶尔需要执行实时、交互的数据建模和分析工作。这种任务可能会对算力和带宽有极高要求。涉及到可视化和分析大型数据集的任务时，MR的要求与其他类型的流媒体视频相似：高达25Mbps或高达100Mbps的带宽，用以将视频数据流传输到设备，外加其他传感器所需的额外带宽。后台应用对网络 and 云资源的要求可能非常高。

沉浸式和完全交互式的元宇宙体验需要大量带宽（1Gbps或更多）来模拟连续的现实生活体验。取决于业务类型和员工可使用的工具，未来的工作场所可能需要为现场每位知识工作者提供100Mbps到1Gbps的基础带宽，甚至可能更多。

元宇宙中的员工无需移动便能实现协同，但元宇宙外的员工则需要一个在工作场所随处可用的协同档案。理想情况下，不管员工在家里或是哪里工作，这个协同档案都会伴随其到任何工作环境。在工作场所，高性能无线网络可满足面对面会议和项目协作的需要。除了为每位知识工作者规划带宽之外，企业还需留出固定带宽，以便把工作场所的服务器与全球分布式云平台联接起来。

充足的网络带宽只是一方面，还有另一个重要的考虑因素是端到端性能的最低阈值。对于任何实时用户界面来说，当端到端延迟低于10–15ms时，体验质量最为理想；当延迟低于50–60ms时，体验质量可以接受；当延迟达到100ms时，体验质量勉强可以忍受（见图2）。

图2：网络延迟对人类感知和沉浸式用户体验的影响



资料来源：Omdia

© 2023 Omdia

对于实时机器遥测和视频认知处理技术而言，容忍度因应用而异。低于1ms的响应时间有时是至关重要的，尤其是在高速制造过程和关键安全传感器中，例如一个防止设备损坏或工人受伤的关闭开关。在动态、危险的环境中运行的AGV，理想延迟应低于10ms才能及时响应意外事件。其他类型的视频监控相对没有那么严苛。一些优先触发装置可能需要低于100ms的响应时间（例如，非关键性的机器警报）。其他应用可以允许1秒或更多的延迟（例如，提醒工人正确穿戴安全装备或设备位置的更新）。

图 3 举例展示了一些关键设备和功能的可接受性能范围。应用本身会把其全部性能需求告知网络和云端资源。基于这些信息，园区网将自行安排应用优先级，以满足其所需的无线和有线带宽。新一代的Wi-Fi将满足更高的性能需求，能够处理许多并发的千兆带宽流。

图3：示例应用的性能和机器需求



资料来源：Omdia

© 2023 Omdia

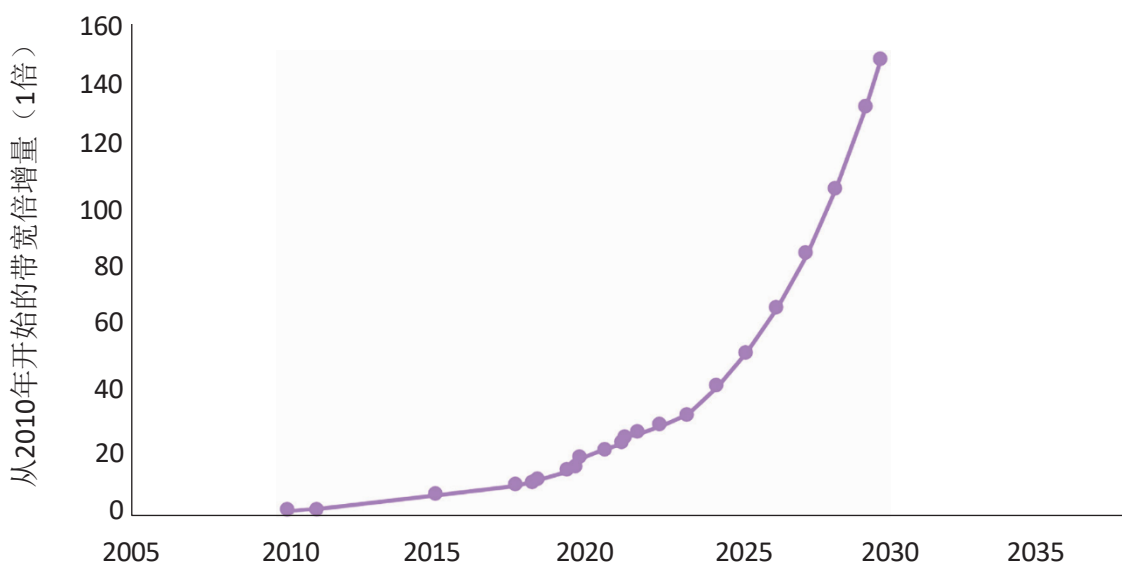
广域网、多元化计算和多云互连

2030年的网络和云（许多网络和云）将成为一个协调的整体。网络需求将由企业的业务策略决定，而业务策略则由应用决定。当云和计算资源中的某个元素接近其性能上限时，智能代理程序会通知相关的服务提供商，需要提供额外的硬件和资源来确保承诺交付给客户的服务水平。

2030年，服务提供商的网络和云资源都将紧密结合在一个高性能、分布式和完全互联的架构中。云联接早在十年前就已分裂成多云环境。对于2030年的企业来说，私有云、混合云、公有云、托管平台，以及托管的软件即服务，都将作为一个统一的整体运行。

在过去的20年间，对运营商带宽的需求稳定增长。到了2030年，全球对网络流量的需求将会有所放缓，但也只是略微缓和。许多领先的提供商在2010-2020年间的流量复合年均增长率（CAGR）接近30%，但到2030年，对流量的需求则将每年增长20%以上（见图4）。2030年及以后，流量将持续保持迅猛的涨势，达到20年前运营商网络净流量的150倍，或是2020年至2030年间流量增长的10倍左右。

图4：2030年，网络服务提供商网络将承载约150倍于2010年的流量



资料来源：Omdia

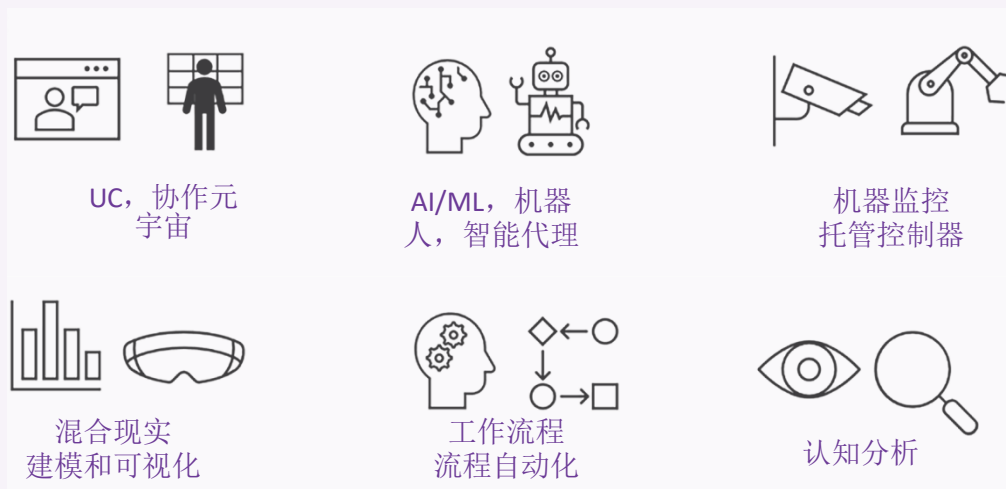
© 2023 Omdia

2030年，企业将持续增加网络流量，这些流量输入将包括机器生成的信息和人类协作的信息。企业需要决定应当如何处理其运营中收集的大量数据。他们需要选择保持哪些数据源的完整性，保留多长时间；压缩或截断哪些数据源，仅保留部分参数；数据保存到什么时候不再有用；以及如何处置此类数据。其目的是让企业管理数据流：哪些数据仅用于即时决策，哪些应保留用作未来的分析；哪些数据需要短期保留，哪些需要长期保留；哪些数据只需保留原始数据的片段，而哪些需要完全充分保留，用作未来的进一步分析。

知识工作者需要访问这些规模庞大的数据集，以便人工操作员和智能代理能够操控它们。员工可以通过比较不同数据源，来寻找特定的模式或相关性。数据存储的位置并不重要。为了能够安全地访问、可视化以及组合不同的数据源（实时进行），无论数据被存储在哪里，都需要具备高弹性、超高带宽的高性能算力和存储。实时协调远程数据集则需要确定性网络，以提供低时延和无损传输。整个网络-计算架构需要能自我驱动来组织和满足这些要求。

早在2020年，应用向云端的转型已经开始。企业将原有应用迁移到云端，并增加了新的数字化的、云原生应用。到2030年，应用的核心类别还是大致相同。应用的带宽和性能要求不断增加。图5按类别显示了高需求的、主流的云端企业应用。每一项应用都在持续发展，对性能的需求也越来越高。

图5：演进过程中对带宽和性能要求越来越高的主流企业应用示例



资料来源：Omdia企业IT服务洞察，n=310

© 2023 Omdia

数据中心网络：发展至庞大的规模

2030年，数据中心将成为广域网架构的一部分，无论其是严格意义上的私有云，还是扩展到公有云基础设施之上。存储和计算资源、以及满足操作和传输数据需求的网络附件将会体量庞大。网络带宽在过去10年间增长了10倍。数据中心需要扩大10倍的规模以跟上流量的增长。为了满足大幅增加的远程处理需求，数据中心不得不再扩大10倍。此外，为了支持那些需要完成微秒量级交易的关键应用，数据中心还将时延减少了10倍。

为了满足性能需求，数据中心必须充分协同网络 and 计算要素。2030年的数据中心将继续RoCE等概念，充分利用其联接到大规模并行、非阻塞计算架构的优势。在2030年，数据中心将广泛使用智能运维（AIOps）实现自我监控和自我上报。除了定期添加和更换硬件以外，其设施将是“无人值守”的。数据中心旨在成为零故障、零抢占和零访问的工作场所，其设施将自主执行监控、维护、运营任务。这代表了有别于过去数十年的巨大转变，以前的企业IT部门的职责中有很大一部分是设计、评估、维护和升级数据中心。

到2030年，数据中心也将比10年前更节能。这些设施实现了云计算的承诺：实现资源合理分配，最大化利用资源。每一代新的计算和存储基础设施都会在增加处理能力和存储容量的同时，消耗更少的能源，产生更少的热量。

较低的热量足迹也减少了冷却设施所需的能源。尽管量子计算在2030年仍处于有待完善的阶段，现今的云计算基础设施已经减少了碳排放量，以满足企业和政府的要求。

这些数据中心具备处理企业和消费者数据洪流的能力、网络附加能力和性能。2030年，高要求企业应用的主要数据中心流量示例如下：

- 用AI工具评估持续的遥测数据流和视频流，以识别预示变化或警报情形的特定模式信息
- 用AI工具指导、协调现场运营，联接车辆和其他资产以实现效率的最大化；
- 用分析工具来协助知识工作者处理大量数据；
- 通过MR和其他人机界面，用演示工具来可视化分析结果；
- 知识工作者工作中用到的元宇宙协作工具、虚拟操作空间、及相关服务。

2030年的数据中心将接入全球可用资源结构，并通常具有多光纤入口和数兆位规模的网络联接能力。底层网络和云资源管理不再复杂，企业应用也将完全独立于具体的服务器和地点。资源管理将根据可接受的总体性能、安全性、合规性和成本进行安排。

网络安全：可信访问机制和行业需求

2030年，虽然届时的技术水平将会在很多方面改善企业运营，但网络安全仍然是企业面临的一大挑战。不良分子将继续试图破坏企业运营、窃取数据、威胁、勒索和造成破坏，因此，企业仍应保持警惕。自十年前起，安全工具便已开始使用AI和机器学习来检测和警示已知的攻击模式和潜在的破坏。零信任实践实现了对未经授权数据源访问的最小化。到2030年，这些实践将逐渐发展成为成熟的智能代理机制，可以与网络安全研究人员和专家协同提供安全保障。

2030年，服务提供商将在企业的整体安全环境中发挥作用；他们将在威胁触及企业网络或云资产之前中断威胁。大约10年前，安全访问服务边缘（SASE）的概念将安全性重新引入网络环境。服务提供商现在可以通过他们的公共网络对可疑流量和不良分子进行监控及锁定，将其阻断在客户网络这一薄弱环节之外。由于服务提供商的边缘识别阻止了危险流量，因此潜在的攻击者将无法接触他们企图攻击的目标公司资产。

2030年，企业将会以严格的授权和安全协议来闭合工作场所的无线网络。这些企业私有无线网络将会处于一个完全封闭的环境。只允许装有获授权的eSIM的设备联接企业私有网络；同时这些企业设备中的eSIM将无法联接到企业私有网络以外的资源，从而保持网络闭环。

这些企业私有网络将会封锁任何企图访问工作场所的未知设备。任何企图联接到企业网络的设备都有可能被封锁或限制在某个受限的网络环境中。企业可能允许此类设备登入公共互联网，但无法看到或获取任何企业资源。未经授权的设备产生的流量可能遭到进一步的限制；例如，被限制带宽从而保证企业网络不受影响（无论直接还是间接）。

在受控的企业环境之外，维护网络安全就更加困难。出差的高管、现场员工和远程员工都可能存在信息被拦截或工作设备被破坏的风险。工作设备可能被他人窃取或感染病毒软件，成为不良分子攻击组织信息资源的载体。然而，不管知识工作者在哪（无论何时何地），企业都必须为其提供支持，而这也造成了企业网络安全的一些潜在漏洞。

广泛使用的零信任和数据丢失预防措施等实践，可以减少此类漏洞可能造成的损害。然而，在2030年，因数据被破坏或被窃取而造成的损失可能比10年前更具有灾难性。一次完整的破坏将使犯罪分子获得大量关于企业和个人的数据和情报。特别是那些拥有大量潜在敏感个人数据的服务业企业，必须保持警惕，保护这些信息。基于云的安全服务将在保护企业敏感资产方面持续发展。来自不同组织的安全专家将继续合作，联手阻击不良分子，共同保护企业资产、资源和整体业务。

B2B将成为新的营收增长引擎

由于政府要求降低消费者家庭宽带（也称为2C市场）的联网和使用费用，服务提供商面临着营收增长乏力的难题，且2C市场逐渐趋于饱和。与2C市场不同，由于数字化转型和企业云化进程的加速，企业B2B市场出现了新的趋势。企业和垂直行业需要网络服务商提供SLA保障、灵活的带宽、高安全、高扩展性、低时延和更高的性能，B2B市场的这些需求增长迅速，且利润丰厚。

B2B将成为未来新的营收增长引擎。服务供应商应及时提供差异化的优质专线服务，作为B2B服务的主流产品，打开成功的大门，确保投入的资本早日获得回报。

与现有的云服务提供商相比，此类服务提供商仍然被企业部门视为值得信赖的合作伙伴，因为他们了解企业的业务需求。

然而，为了保持竞争力，他们必须调整自己的商业模式，与已经拥有云网协同基础设施经验和技能的云供应商同台竞争，为企业和垂直行业提供优质和更快面市（TTM）的新服务。

Omdia愿景：在数字化转型时代，“专线+X” 数字化套件将促进服务提供商的B2B业务增长

企业和垂直行业不止依赖一个服务提供商实现专线联接和WAN站点的联接；相反，他们会使用不同的服务提供商来获得更有弹性且差异化的服务体验。因此，Omdia建议服务提供商全面升级和重新架构其传统的IP MPLS-VPN专线产品，将其纳入“专线+X”组合的数字套件，促进在B2B市场的营收增长。

这种“专线+X”的差异化数字套件代表了服务提供商在复杂的数字化转型和云计算时代满足企业和垂直行业更高绩效预期的核心竞争力，此外，也为新的商业机会和增长创造无限潜能。

Omdia对“专线+X”产品组合数字套件的建议

专线与“X”（其中“X”是指高级SLA、管理局域网（LAN）、SD-WAN及安全服务）的组合必将为企业和垂直行业提供一个获得更高投资回报的机会。

以下为组合建议：

- 1. 高级SLA：**企业和垂直行业需要更快的面市时间和新服务框架、按需分配带宽和SLA保障，以便在数字世界的竞争中取得胜利。因此，“专线+高级SLA”数字套件确保传统的IP MPLS专线整体升级，实现端到端SRv6，以及全自动租户级切片，以满足更高的服务质量和骨干网互联需求。
- 2. 管理LAN：**“专线+管理LAN”的数字套件确保IP网络和云一键式高效协同、管理并整合企业和垂直行业的LAN、Wi-Fi和工业物联网的弹性。
- 3. 软件定义广域网（SD-WAN）：**将SD-WAN与专线捆绑，传统IP MPLS专线的范围将得到升级和扩展。“专线+SD-WAN”数字套件确保现有的和新的分支机构与企业和垂直行业之间更快、更灵活的一键式云网访问联接，促进新业务增长。
- 4. 安全管理：**“专线+安全管理”数字套件提供安全的基于AI的主动威胁检测和响应功能。为企业业务提供保障和安全防范。

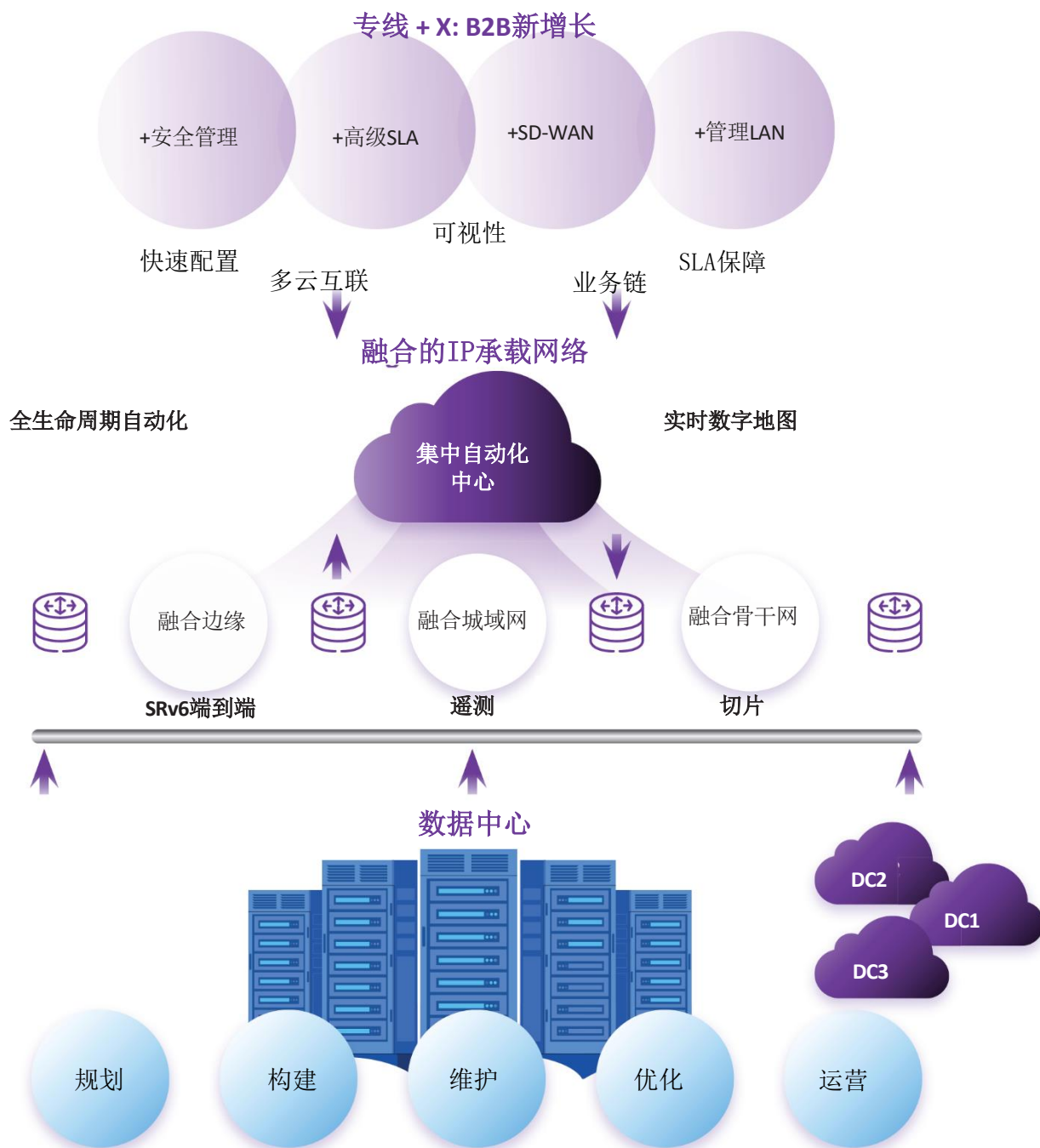
服务提供商在实行“专线+X”的B2B组合数字套件时面临的主要网络挑战

企业认为服务中断是一个重大损失，期望服务提供商的网络能够提供高级SLA和高性能体验。

如下图所示，服务提供商的IP传输网络现在需要从承载网络整体升级到数据中心网络，以满足企业和垂直行业的关键数字服务趋势。

1. 融合的IP承载网络
2. 超融合数据中心网络（DCN）

图6：“专线+X”需要IP承载网络集成端到端SRv6和全自动化



资料来源：Omdia

© 2023 Omdia

对融合IP承载网络的要求

从IP边缘到骨干网络的端到端传输网络需要整体升级，以满足全面网络融合的要求，发挥“专线+X”数字套件的真正实力。

以下是基本的网络要求：

- 融合边缘：RAN网络统一接入、50GE站点和100GE上行链路
- 全业务融合城域网：100GE下行链路和400GE上行链路
- 全业务融合核心网络：800GE互连
- 端到端SRv6、Telemetry、租户级切片，整个网络全生命周期自动化

对超融合数据中心网络（DCN）的要求

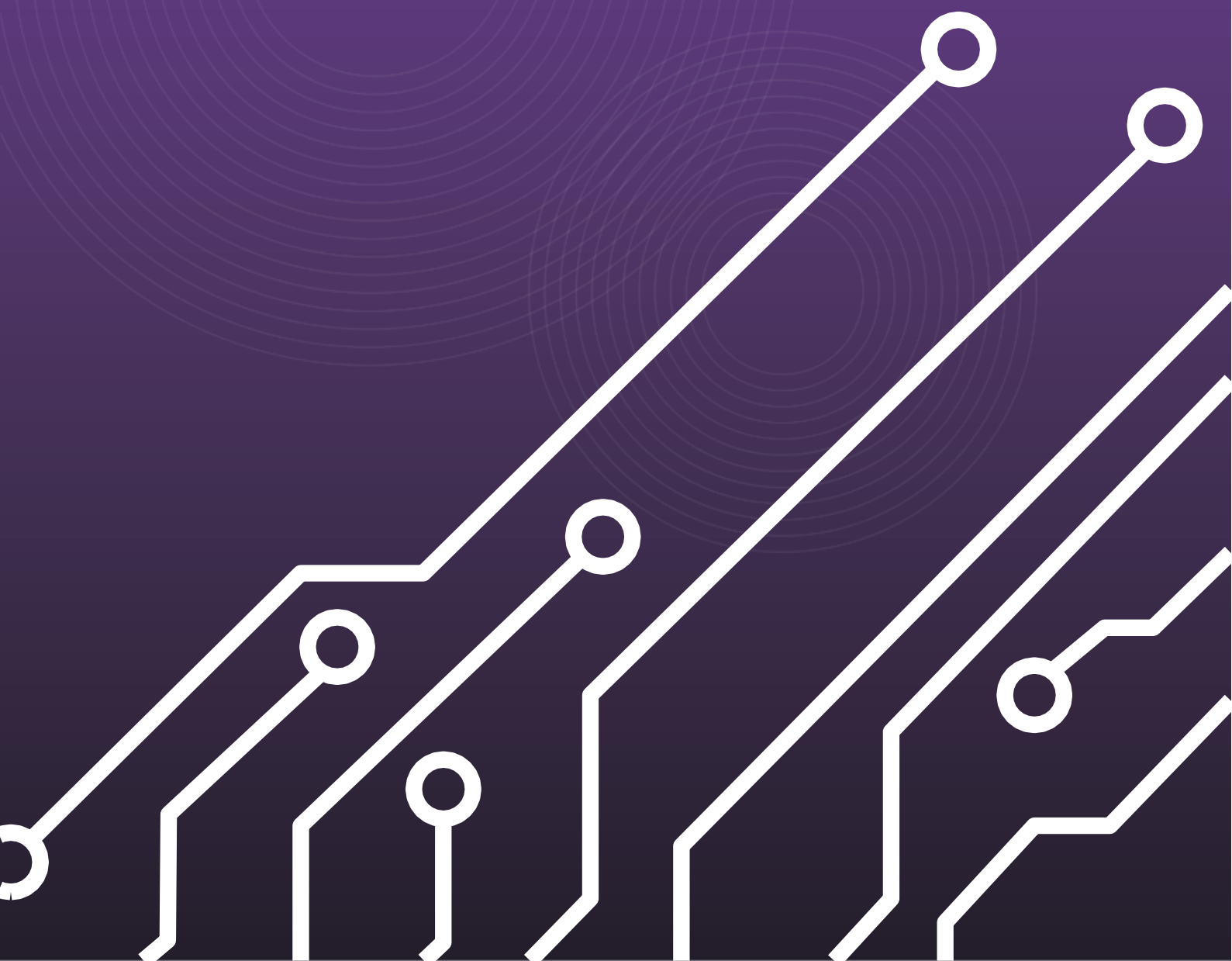
DCN网络必须进行升级，以便在数字时代为企业和垂直行业提供“专线+X”组合的IT相关服务。

以下是基本的DCN网络要求：

- 实现全以太融合网络基础设施的全生命周期自动化
- 通用算力转成AI算力
- 具有零丢包和低时延架构的800GE互连
- L4自治和预测性自主驱动网络，用于多云互连

3.0

2030年Net5.5G网络的关键特点和创新



面向2030的数据通信网络的演进

随着时代向2030年迈进，垂直行业应用场景的新流量模式、即将到来的元宇宙时代和工业物联网（IIoT），都对通信网络的带宽、开放性、可信度以及访问数字平台的便捷性提出了更高要求。因此，企业和垂直行业越来越依赖云计算（包括泛在算力、充足的存储空间和可靠的低时延网络）来管理其工业自动化流程。工业自动化需要借助AI来解决与生产系统相关的复杂和非结构化的问题。云计算是电信公司云战略中必不可少的组成部分，它激发了通信服务提供商们（CSPs）在数字时代重塑数据通信网络架构和运营的新思考。

Omdia观点：Net5.5G的基本驱动因素

Net5.5G承载数据通信（IP承载）网络将不会像过去那样仅支持简单的数据流，而是要保持固移融合（FMC），实现超高可靠性的低时延通信。用例包括智能制造、智能电网、云VR/AR、元宇宙智能电网等。此外，从2025年起，网络服务需求的多样化及其规模将创造巨大的市场新潜力，需要强大的数据通信网络基础设施。

网络向Net5.5G演进的三个基本驱动因素如下：

- AI推动了计算和存储网络资源的统一；
- 元宇宙要求网络带宽升级；
- 工业数字化转型。

AI推动了计算和存储网络资源的统一

- 首先，AI等多元化算力推动了计算和存储网络资源统一解决方案，以及灵活跨域调度的发展。可通过端到端IPv6+和SRv6网络实现完全智能的云网协同。

元宇宙要求网络带宽升级

- 其次，像元宇宙这样的沉浸式应用进一步推动了网络带宽的升级进程。用户对端到端、多服务、切片级SLA保障的需求也正在成为用户体验的重要内容。

工业数字化转型

- 第三，数字化转型使多云部署成为企业的主流选择。这促使网络提供一跳入多云、异构物联网接入、端到端确定性网络能力，从而赋能云-边-端协作和智能联接的工业互联网。

Omdia对Net5.5G的愿景

Net5.5G定义了泛在计算、5.5G移动网络 and 全行业数字化时代，网络基础设施的发展方向。其主要的能力提升包括：计算与网络的融合、5.5G承载网络的改进，以及智能互联网和万物感知互联。Net5.5G以端到端IPv6+技术为基础进行创新，实现了WiFi 7、端到端800GE、确定性网络和应用/计算感知网络的部署，构建了面向2030年的联接物理和数字空间的智能网络基础设施。

Net5.5G赋能了新的用例，包括AI密集型应用、沉浸式元宇宙和全行业数字化。Net5.5G通过在物理和数字空间之间构建的数字神经系统，开启一个智能世界的时代。我们必须承认，在过去几十年或5G之前的时代，互联网的发展确实已将网络联接延伸到了物理世界的几乎每一个角落。Net5.5G将在推动网络升级方面发挥关键作用，以支持6G及其后时代的，虚拟和物理空间相融合的，完全数字化和智能化的世界。

由于泛在AI计算、元宇宙和数字孪生应用的蓬勃发展，互联网基础设施所担任的角色正在从“物理世界的信息高速公路”转向Net5.5G时代联接物理和虚拟世界的“神经系统”。

同时，技术创新的关键场景正在从消费互联网向工业互联网延展，实现智能制造和万物互联应用。



Net5.5G标志着从万物互联迈向万物智联

无论是万物互联还是万物智联，Net5.5G围绕IPv6标准提出多项创新，将互联网基础设施从“消费互联网”扩展到了“全行业、全要素的工业互联网”。

不断发展的技术能力和不断升级的互联网数据基础设施将为2030年通往智能世界打开大门。这将有助于实现大规模工业数字化和元宇宙扩展现实，并帮助企业更加敏捷和灵活地使用来自多个云的算力。

Net5.5G可以为未来场景构建创新性的和全面的基础设施，从而为人们提供机会来实现对物理和虚拟世界的智能感知。如第2章所述，Net5.5G技术的主要特征是可满足2030年不同企业网络的多样化应用场景和需求。

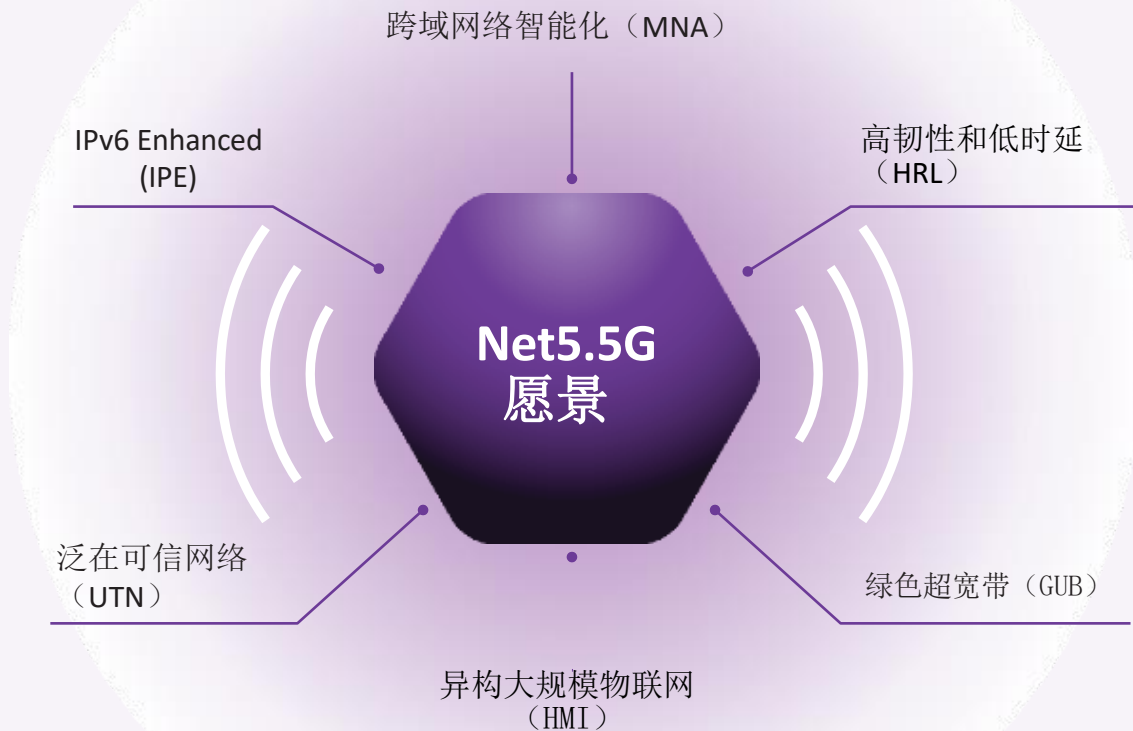
- 园区网络：将园区网络从Wi-Fi 6升级到Wi-Fi 7，为用户提供30Gbps的峰值接入能力；此外，将园区汇聚网和骨干网升级到100GE/400GE，以提升端到端的超宽带访问容量。
- WAN网络：将基站接入从10GE升级到50GE，将城域汇聚网和骨干网传输速度从400GE升级到800GE；此外，确定性IP网络将抖动从毫秒级降至微秒级。
- 数据中心网络：服务器网络规模从十万个节点发展到数百万个节点；数据中心交换机的最大接口速率从400GE升级到800GE，将时延从微秒级降至纳秒级。
- 泛在可信网络：深度扩展边缘边界安全，并在云网络边缘实施分钟级及时防御。

Net5.5G的愿景是实现泛在的、无缝的和智能的IP联接（IP联接万物）；智能化管理使得新兴应用可以更低成本更敏捷灵活地使用多云算力。此外，Net5.5G推动了数百万台终端和设备的IPv6升级。

具体来说，如图8所示，Net5.5G的发展侧重于两个维度：

- Net5.5G-基本网络能力
 - 绿色超宽带（GUB）网络
 - 跨域网络智能化（MNA）——智能网络
 - 泛在可信网络（UTN）
- Net5.5G-关键架构互联网创新
 - IPv6+（IETF中定义的基于IPv6的功能，例如端到端SRv6网络）
 - 高韧性和低时延（HRL）的确定性网络
 - 异构大规模物联网（HMI），以释放工业互联网的潜能

图8: Net5.5G愿景



资料来源:

© 2023 Omdia

Net5.5G —基本网络能力

绿色超宽带 (GUB) 网络

绿色超宽带网络使得元宇宙时代VR、AR或MR中的沉浸式体验成为现实。企业和垂直行业对此似乎雄心勃勃，希望将这种沉浸式体验应用于他们的远程控制工业生产系统、虚拟娱乐、教育、人际互动、人机交互等场景。因此，现有的IP承载网络（从接入、汇聚到骨干网络）需要升级为高端智能IPv6 Enhanced网络路由平台，以支持沉浸式的元宇宙交互。此外，承载网络必须满足低时延、高带宽、100%网络可靠性和体验保障的严格要求。

新服务—如元宇宙、24K 3D VR/AR游戏、大数据流（每次100TB）、持续增长的视频应用和远程全息交互式工业生产控制系统—需要千兆宽带、零时延和确定性网络体验。绿色千兆宽带因其速度（目前为10Gbps, 到2030年为50Gbps）与零碳排放和节能等特点，正在广泛成为消费者和企业加快数字化转型的选择。

Wi-Fi 7和800G等下一代技术，将通过泛在光联接和无站点光传输，来实现10Gbps级别的泛在网络。

骨干网络将从单一平面切换到3D网格，以消除网络堵塞。

带宽是未来网络的本质特性之一，在未来十年内将不断升级。此外，智能制造等工业级应用对可靠、优质的网络联接提出了严苛、多样化的要求，这推动了对高算力和海量存储需求的爆炸式增长。

Net5.5G的发展表明，应不断提升接入、聚合和骨干网带宽。以下是实现绿色超宽带网络的重点方面：

- 园区无线网络峰值速率从Wi-Fi 6（10Gbps）升级到Wi-Fi 7（30Gbps）
- 升级有线站点接入，支持10Gbps到50Gbps，以满足以下要求：
 - 数据中心网络的接口速率范围为400GE到800GE；
 - WAN为跨区域计算协作（如东数西算）提供灵活的超宽带和高吞吐量；网络必须能够将巨大的算力需求和单个数据中心的算力进行匹配，从EFLOPS提高到100EFLOPS；
 - 骨干传输网络的接口速率范围为400GE到800GE，以满足未来多样化的流量需求。

跨域网络智能化（MNA）—智能网络

在数字时代，数据中心、园区和IP广域网面临着更加多样化和复杂的服务需求。作为一种解决方案，AI在网络管理、控制和分析功能方面的整合有助于推动智能网络自动化。为了衡量网络自动化的成熟度和服务体验，智能网络自动化被分为六个级别（L0到L5）。

这六个级别（L0至L5）用于评估并衡量自治网络服务的优势，也有助于促进网络和服务的自动化和智能化转型。应用AI和大数据技术，可以改进网络规划、配置、运维（O&M）和自优化。此外，自动驾驶网络（ADN）也能赋能网络自动化和智能化。

Net5.5G的目标是从L3（有条件自治）升级到L4（高度自治）网络，或在后期升级到L5网络以实现完全智能的ADN。

NET5.5G可帮助ADN将网络联接和智能技术相结合，开发出自组网、自修复、自实现和完全自动化的网络。此类网络将为垂直行业和企业提供零等待、零接触的无忧体验，提升企业的数字化水平。ADN利用知识和数据推动了三个层面的智能发展，打破了人工处理的极限。这三个层面包括：

- IP网络设备智能
- IP网络智能
- 服务智能

ADN有助于将网络流程自动化从人工决策，发展到智能化自动化的决策，以提高整体IP网络自动化水平。对于L3级的ADN，服务配置也可从几分钟缩短到几秒钟，这有助于系统根据预先配置的场景模板自动编排网络意图。在L4级的ADN中，系统可以智能识别整个流程中可以自动化的场景，进一步加快服务速度。

泛在可信网络（UTN）

由于云计算和企业数字化呈现指数级发展态势，网络威胁也变得越来越复杂和具有挑战性。因此，一个智能的、前瞻性的、AI赋能的泛在网络安全系统，将为云网、边缘和设备集成提供保护。Net5.5G提出了以下通用可信网络能力：

- AI赋能的泛在安全保护机制能够对异常变化以及所需的网络和业务环境级别做出快速响应；
- 通过AI的威胁响应和智能网络保护可以降低工业数字时代的安全风险；
- 利用高度准确和实时的泛在安全保护机制可保护园区网络和大型数据中心网络边缘免受威胁；
- 减少网络安全漏洞，将攻击检测时间从几小时缩短到几分钟或几秒钟；
- 将响应和补救应对时间从几天缩短到几分钟，以避免因遭受安全威胁而导致的长期损失。

Net5.5G - 关键架构创新

IPv6+端到端SRv6网络能力

要解决IPv4地址枯竭问题意味着要采用基于IPv6的联接，这是数字时代的必然趋势。基于现有的IPv4寻址技术，如今的网络无法发挥云网络的协同效应，以达到对异构算力资源灵活调度的期望。因此，数以百万计的企业正在向云端迁移，并需要基于IPv6的融合和智能的承载网来联接云端资源。

Net5.5G利用基于IPv6开展的IETF协议创新，旨在对IETF中定义的IPv6功能进行微调，以构建一个增强型的大规模IPv6网络。

带有SRv6协议的IPv6+可简化和统一端到端IP寻址和隧道信令，联接数据中心、终端系统、园区网络，并减少跨域转换。因此，Net5.5G可提高可达性、简化网络、实现网络可编程，这是IP网络历史上具有里程碑意义的发展。SRv6以经济高效的方式，使流量工程超越了MPLS时代，通过以下功能实现网络SLA保障和可编程性：

- 端到端SRv6网络提供应用/计算感知能力；
- 将租户级网络切片规模从K级升级到100K级。

在IPv6基础上，IPv6+（具备AI功能）允许新的服务创新并可实现智能网络的联接。支持IPv6+的全IPv6网络可确保边缘实现快速计算，端到端SRv6支持多云环境一站式访问，基于FlexE技术的复杂切片可实现确定性用户体验。IPv6+网络允许新的服务创新，通过网络切片实现差异化的服务质量保障（QoS），并通过自动化和软件定义网络（SDN）控制来缩短服务配置时间，以满足云应用需求。IPv6+将推动网络创新和对诸如SRv6、AI、IPv6封装的比特位索引显式复制（BIERv6）等新功能的端到端支持，在边缘计算、IIoT、网络融合、企业网络等场景中实现基于SDN的自动化网络控制。

Net5.5G SRv6可有效应对元宇宙时代的庞大流量负载带来的挑战，提供灵活弹性的超宽能力，提升用户体验和网络利用效率，实现智能按需接入。此外，采用端到端IPv6+和SRv6的数据中心可以实现零丢包和高吞吐量，高效释放算力。

该创新将帮助服务提供商实现云网协同，帮助企业敏捷地访问多云算力。在企业垂直领域和数字化转型的过程中，需要用IPv6智能网络来承载日益增长的关键服务。随着企业越来越多地转向云端，对智能联接、工业自动化和沉浸式服务体验的需求使得IPE网络和AI赋能的自动化技术成为必需品。

IPv6可确保智能路径规划、运维可视化和自动化、流量工程、SLA保障和应用感知。此外，SRv6和BIERv6封装可缩短业务布放时间，满足云应用要求。

这种智能云网协同需要引入简化后的全IPv6可达性，以及跨所有IP网络域的统一转发，而无需额外的信令要求。因此，这种由云带来的协同作用将把IP边缘、传统的以设备为中心的城域网络 and 核心网络转变为现代IP网络。

高韧性和低时延（HRL）的确定性网络

未来，IP网络将从办公网络扩展到需要低时延、高可靠性、确定性的生产网络，如用于工业控制系统和无损应用承载的生产网络。网络的高灵活性和低时延，对于最终用户在元宇宙时代的XR应用体验至关重要。

对于5.5G DCN网络的关键任务应用程序，Net5.5G可确保确定性IP网络体验，降低工业物联网(IIoT)时延。

它还有助于确保：

- 将DCN网络的静态时延从1微秒降至200纳秒；
- 高度可扩展和技术驱动的高级蜻蜓拓扑，使DCN达到数百万台服务器的规模；
- 网络抖动从毫秒级改进到微秒级，可靠性达到99.9999%，满足工业需求。

确定性工业网络

现有的IP网络的设计思想是提供“尽力而为”的服务，因而无法满足工业互联网多样化且弹性的网络服务需求，因为生产制造活动对于时延和抖动相关的网络服务保障都有超高的要求。而Net5.5G推动互联网基础设施实现从尽力而为到确定性的IP网络体验，使得核心生产服务可以迁移到云端，帮助客户实现机器人自动化工业生产，提高工作效率。

无损和低时延DCN

全球计算能力将提升100倍，DCN规模将从十万台服务器升级到数百万台服务器量级。在这种情况下，DCN性能的改进（静态时延从1微秒降低到200纳秒）将是必然趋势。此外，新的存储介质（存储级内存[SCM]）将投入使用，其I/O时延将从200微秒改进到20微秒。网络抖动将从毫秒级降为微秒级，而网络可靠性将从99.99999%提高到99.999999%，以满足以下要求。

Net 5.5G的网络切片能力及其确定性IP技术，继承了IP网络在达成端到端毫秒级时延和微秒级抖动，以保证低损耗和服务时延变化时所采用的联接技术。而且，元宇宙和工业互联网需要实时数据采集。

Net5.5G利用IPv6对于入户设备进行基于IP的升级改造，为各种终端提供IP地址，解决工业网络协议不互通的问题，进一步提高智能终端与云端的直接联接能力。

异构大规模物联网（HMI），释放工业互联网的潜力

异构物联网是一个新兴的领域，它改变了智能家居、智能城市、工业互联网、智能农业、智能医院和智能交通等未来的生活方式。

随着网络规模的扩大，其联接能力将不断增强，所联接的设备数量也在增加，因此需要在网络边缘进行快速处理。

IPv6+创新加速了IPv6协议栈的普及，使之可用于更广泛的异构工业物联网应用，以联接终端、内容和网络。IPv6+增强了IPv6，实现了如下好处：



用一个部署Wi-Fi 7的IP融合承载网（通过网络切片将物理网络划分为许多逻辑网络）来确保用户体验。它可以防止网络切片拥塞，同时确保异构IIoT场景的高带宽和可靠性。此外，一键式操作、预测分析和故障诊断也将提高运营效率。

新的Net5.5G框架意味着什么？

AI驱动的数字浪潮正在推动一场前所未有的网络变革，企业、垂直行业和消费者对未来十年的期望不断提高。随着2030年的临近，展望数通产业未来，端到端底层IP网络将基于新兴用例和应用向更高带宽演进。对于5G、IoT、8K、cloud VR、专线2B等新兴企业和消费应用，端到端底层IP网络需提供更高的可靠性和基于AI的网络智能。

- 沉浸式体验视频预计将持续推高带宽需求，未来需要的带宽将是当前带宽的10倍。
- **8K视频流量**目前正以33%的速度增长，单条流可达100Mbps，一些高保真全息图像流甚至可以达到10Gbps。总之，随着8K及家庭3D沉浸式体验技术的成熟，视频体验正在达到新的高度。



8K高清视频
100Mbps/流



裸眼3D
xGbps/流

— XR和工业元宇宙应用也需要高带宽，如XR校园（单教室）和工厂需要10Gbps接入带宽。



XR工厂

10Gbps/1000 m²



XR教育

10Gbps/教室

- **多云战略已成为明确的企业数字化转型战略。**所有大中小型企业的IT应用都在加速迁移到多云或混合云，以期获得更好的管理、更强的数据安全性、更高的系统可靠性及特定云服务提供商提供的专业SaaS。

但另一方面，云-边互联及公私混合云互联使得网络更加复杂。为了降低网络复杂度和提高网络敏捷性，网络自动化应运而生。

- 在垂直行业领域，**工业数字化**正在加速，IT/OT接入网和企业分支网带宽正在向10Gbps升级。园区IT、OT和企业专线场景中存在以下情况：

— **园区IT网络：**在园区IT网络中，所有高密办公场所都需要10Gbps的桌面接入带宽，每个接入点(AP)挂接50台左右的终端设备，平均有40个实时视频会议会话。随着**教育园区IT网络**从传统教育向智能教育转型，每个班级同样需要10Gbps接入带宽。每个班级有8张课桌，每个课桌配备6台VR设备，带宽要求为10Gbps/班级。



Gbps-10 Gbps

— **园区OT网络：**工业自动化要求对机器进行无线控制，对生产单元进行10Gbps无缝覆盖，为每条生产线配备13个摄像头。各生产站点需要8.6Gbps总带宽，每个摄像头需要100Mbps或更高的带宽，同时要求60%并发率、零延迟、零丢包。



100Mbps → 10Gbps

在智能制造领域，10Gbps到生产线是新趋势，因为每个分布式控制系统（DCS）会控制1000台仪器，而每台仪器都需要10Mbps带宽。

— 在企业IT应用中，**企业专线上云**需要实现10Gbps到分支。高清视频会议作为热门应用，每个会议都需要至少160Mbps带宽。另外，所有企业都需要严格的视频监控，每个摄像头至少需要10Mbps带宽。



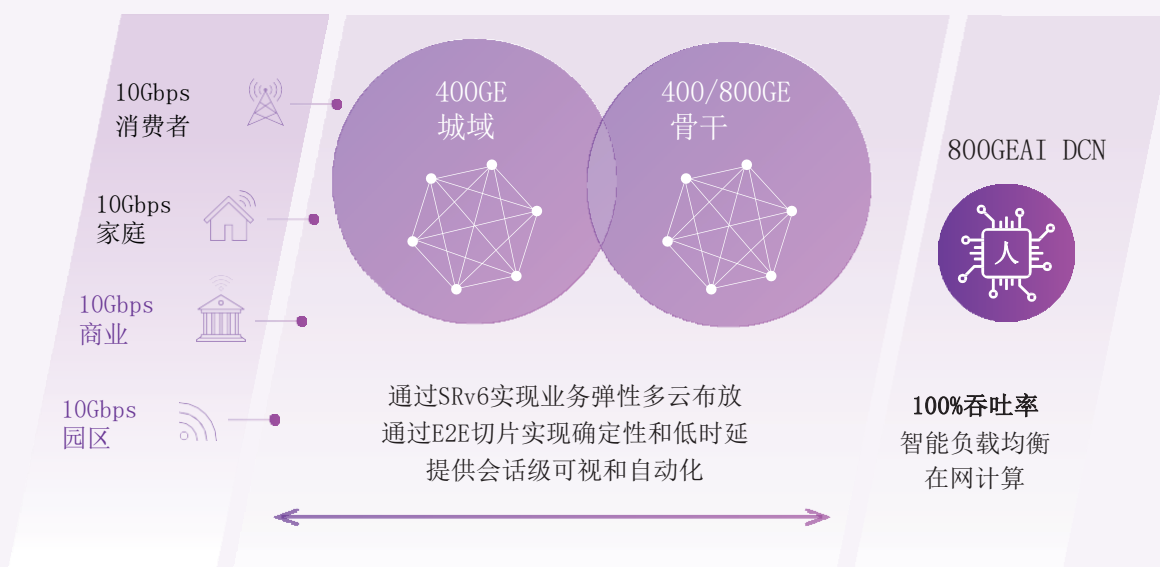
Gbps → 10Gbps

AI DCN在提升AI计算效率中起着至关重要的作用

- 5G、云、AI已成为各行各业发展的驱动力。AI计算应用对组网要求严格，且需要高效的算力，以确保面向消费者和行业垂直领域的单级和多级租户智能计算具有极高的扩展性。随着AI的发展，DCN网络建设从传统DCN模式转向AI-DCN模式，仅仅0.1%的丢包率就可以将AI训练的计算能力降低50%，DCN网络的作用不容小觑。
- AI-DCN可确保业务和云服务提供商拥有完全自动驾驶的DCN网络，具有快速故障定位、根因分析、流量模式预测、网络风险评估、网络最优路径选择等能力。
- 同时AI-DCN在提升AI计算效率方面发挥着至关重要的作用，可使AI能力在2030年后增长500倍，确保服务提供商在其底层IP网络上实现超宽、高吞吐、低时延。

为满足上述新兴用例及应用需求，我们需要建设下一代400GE/800GE IP汇聚网，以实现4种场景下10Gbps接入及AI DCN计算，如下图所示。

图9：四种场景下10Gbps接入 + 400GE/800GE IP承载 + 800GE AI DCN计算



来源：Omdia

@ 2023 Omdia

到2030年，家庭消费者、企业和垂直行业（如医疗、教育、交通、制造、物流、矿业等）对端到端IP承载网的需求将变得更加强劲，同时还需要通过网络开放自动化实现多云按需互联。

只有当AI赋能的NET5.5G可以振兴数据通信行业、实现行业现代化、切实展现行业演进价值时，IP网络才能向更高水平迈进。

以下是一些注意点：

10Gbps

到消费者、家庭、企业和园区对于超宽和确定性端到端体验必不可少

使能

400GE 城域
和

400G/800GE 骨干

使能

800GE AI DCN

实现

500倍AI算力提升（2030年）

另一方面，ChatGPT和其他AI工具的涌现使得算力需求井喷，大大提高了AI芯片的出货预期。NET5.5G AI-DCN将在具备400GE城域和800GE骨干能力的端到端数据通信网络中发挥重要作用。

同时，SRv6等新技术在数据面的端到端演进可保证组网灵活性和确定性。SRv6可高效应对元宇宙时代的大流量负载，提供灵活弹性的超宽能力，提升用户体验和网络利用效率，实现智能按需访问。同时，端到端采用统一协议和SRv6的数据中心可实现零丢包和高吞吐，高效释放算力。

为了提高效率和敏捷性、降低自动化复杂度、提高网络调度智能，应在整个生命周期中实现网络基础设施多层可视化和自动化。通过维护一张统一的数字地图，实时监测IP层和SRv6连接状态，主动维持特定服务或客户所需的服务级别。

目前，很多服务提供商和厂商已达成行业共识，即Net5.5G可填补5G、5G-A和未来6G网络的空白。Net5.5G将使能eMBB、URLLC、mMTC等关键特性，助力承载网达成接入、汇聚、核心层带宽路标，实现全面网络数字化。

4.0 | 总结与展望



数字经济正在推动一场前所未有的网络变革，企业、垂直行业和消费者都对未来十年寄予厚望。工业数字化转型赋能商业，需要敏捷、高效和灵活的ICT网络解决方案，来实现深入的人机交互。因此，到2030年，将有数十亿的人和物联网连接、互动。满足企业和消费者需求的个性化Gbps量级带宽体验将是关键的差异化因素。另外，提供1毫秒以下时延和99.999%可靠性的低时延确定性服务体验，对于智能工业数字化转型和元宇宙时代至关重要。

到2030年，数据通信承载网络的演变将要求敏捷性、低时延、高带宽、高可靠性和安全性，具备大规模算力和海量存储空间，用于人际和人机交互。运用SRv6技术的IPv6端到端隧道，将支持工业互联网的商业化，并帮助解决数百万物联网设备面临的IPv4地址受限问题。及时采用IPv6创新将加速和推动工业4.0的应用，例如智能交通和智能制造。

IPv6和网络切片的组合有助于构建毛细血管型网络，确保工业互联网时代的效率和敏捷性。在接入、城域和骨干层具备端到端SRv6传输能力的IP融合承载网将提供更好的适应性、更大的容量、更简单的组网和更短的面市时间，同时变得更加智能。这样就满足了垂直业务领域的要求，还可实现网络“云交付”。

整个行业必须通力合作，开发工业数字经济，使元宇宙成为现实。实现Net 5.5G需要一个蓬勃发展的生态系统，简单来说就是“IP联接万物”。

Net5.5G的愿景和标准将在IETF、IEEE等定义的框架内最终确定。

致谢

Yu LU

劳动就业和经济一体化部，数字项目总监（法国）

Lin Jinbin 林锦斌

南京钢铁联合有限公司，数字应用研究院院长

Zhou Huan 周欢

东风设计研究院，智慧技术研究院副院长

Ji Dewei 纪德伟

中国石油大庆油田有限责任公司，信息技术公司北京分公司经理

附录

作者

Sameer Malik

承载网高级首席分析师

E Sameer.Malik@omdia.com

Michael Philpott

消费者服务提供商研究总监

E Michael.Philpott@omdia.com

Brian Washburn

企业服务提供商研究总监

E Brian.Washburn@omdia.com

联系方式

www.omdia.com | askananalyst@omdia.com

Omdia咨询

Omdia是一家市场领先的数据、研究和咨询企业，专注于助力数字服务提供商、技术公司和企业决策者在互联数字经济中获得蓬勃发展。我们的分析师团队遍布全球，致力于为信息技术、电信和媒体行业提供专家分析报告和战略洞察。

我们通过提供切实可行的见解，为客户的业务规划、产品开发和面市计划提供支持，为客户创造业务优势。

我们通过综合权威数据、市场分析和垂直行业的专业知识，不断增强决策能力，帮助客户从新兴技术中受益，利用持续改进的商业模式获利。

Omdia是Informa Tech的分支部门，Informa Tech是一家服务于技术、媒体和电信行业的B2B信息服务企业。Informa集团已在伦敦证券交易所上市。

希望我们的分析能够协助您做出明智、有远见的商业决策。

如果您有进一步的需求，Omdia的咨询团队也将竭诚帮助您的公司发现未来的趋势，抓住机遇。

版权声明及免责声明

此处引用的Omdia研究、数据和信息（“Omdia资料”）是Informa Tech及其子公司或关联公司（统称为Informa Tech）或其第三方数据提供商的版权资产，Informa Tech发布的数据、研究、意见或观点，并不代表事实。

Omdia资料反映的信息和意见是截至原始发布日期的信息和意见，而不是本文档的日期。Omdia资料中表达的信息和意见如有更改，恕不另行通知，Informa Tech没有任何义务或责任因此更新Omdia资料或本出版物。

Omdia资料是以“现状”及“现有”为前提的情况下提供的，对于Omdia资料所载信息、意见及结论的公正性、准确性、完整性或正确性，概不作出任何明示或暗示的声明或保证。

在法律允许的最大范围内，Informa Tech及其附属公司、高管、董事、员工、代理和第三方数据提供商均对Omdia资料的准确性、完整性或使用概不承担任何责任（包括但不限于因过错或疏忽而产生的任何责任）。在任何情况下，Informa Tech都不对任何基于或依赖Omdia资料做出的任何交易、投资、商业或其他决策负责。