

光传送网络、自动化与 高性能数据中心互联

为AI而生，由AI驱动

NOKIA

你的光网络是否为AI驱动的工作负载做好了准备？

网络运营商正在其数据中心增加更多的图形处理器，以跟上人工智能应用对性能的需求。这些GPU通常集群分布在多个地理位置，而这些集群之间必须相互连接。尽管光传输在低时延连接、更低功耗/比特传输以及高密度解决方案方面仍然是最佳技术，但支持跨地理分布式位置和资源之间进行快速、高效的数据传输的需求，为运营商增加了新的复杂性层次。

自动化对于减少设计、扩展、部署和管理AI所需的海量互连所涉及的工作至关重要。而由AI驱动的自动化，则有望增强网络的智能，使互连操作更加高效，并改善网络运营商的用户体验。

本文探讨了AI的海量数据流和分布式需求如何影响光网络。同时，也解释了AI如何支持创新的网络自动化，帮助运营商交付高效、安全、智能且可扩展的互连传输解决方案，以满足一个即将由AI驱动的世界的需求。



引言

随着人工智能、机器学习和生成式人工智能兴趣的增长，许多网络运营商正在为其数据中心配备诸如图形处理器等计算资源，以加速经典AI方法（例如神经网络）和基于大语言模型的生成式AI所需的并行计算。

GPU集群的计算任务和性能要求取决于节点规模，因为更大的节点需要更多的GPU、内存和存储。然而，GPU可能并非全部集中在一处。如果GPU集群节点跨越多个机架、建筑内的多个楼层或地理分散的数据中心，它们的位置就需要被连接起来。

光传输为互连GPU集群提供了一种理想方法。运营商可以使用点对点连接来支持这些互连，但更可能的情况是，数据将需要穿越基于放大器或可重构光分插复用器的线路系统所连接的多个地点。

跨多个地点的互连增加了网络运营商的复杂性。他们需要管理这些互连，以确保其符合GPU集群的严格要求，同时维持性能，以保证它们能以分布式、集群化的方式高效运行。

自动化可以帮助降低设计新连接、随后扩展、部署和管理这些网络所涉及的复杂性。随着运营商引入自动化，他们可以利用AI来增强网络的智能，并通过提高运营实践的效率来降低成本。



利用人工智能实现转型

AI驱动的应用需要大量数据来训练经典的AI或生成式AI模型，并确保它们能够在各行业中得到高效应用。为提升模型准确性而进行的训练和调优，进一步增加了对高速光连接的需求，特别是当企业将其私有数据中心与公共数据中心相连接时。

数据中心之间AI数据流和高带宽工作负载的兴起，是一个关键的发展趋势。这需要高性能的光传输技术，以及具备网络自动化和管理层的架构，以优化互连、确保其韧性，并最大限度地减少停机时间和数据丢失。在AI模型训练和推理过程中，零数据丢失尤为重要。

可以配置GPU节点以改善服务器集群之间的连接。随着数据中心采用这些优化的配置，对光和光纤创新的需求也随之增加。这些需求延伸到跨越城域和区域网络的光传输系统中，这类系统需要网络管理以及工程资源，以在整个网络生命周期内运行这些系统。AI可以在利用自动化解决方案来管理这些网络方面发挥关键作用，这些方案可以扩展光纤网络以满足AI集群的高处理需求。

AI在当今网络中的作用

AI正在通过使网络能够预测需求、检测并解决故障、实时优化路由，并以最少的人工干预来完成这些工作，从而彻底改变光网络的生命周期。换句话说，AI为通向自主网络开辟了一条道路。自主网络由一个光系统和一个智能软件平台构成，能够感知其环境，处理这些信息以思考所感知到的情况，然后通过选择最佳行动方案来实现特定的业务目标。



借助高质量的网络训练数据，人工智能将通过提供预测性分析、智能决策制定和个性化服务方案，增强网络自动化能力，从而创造出不仅是自动化的，更是真正智能的网络。

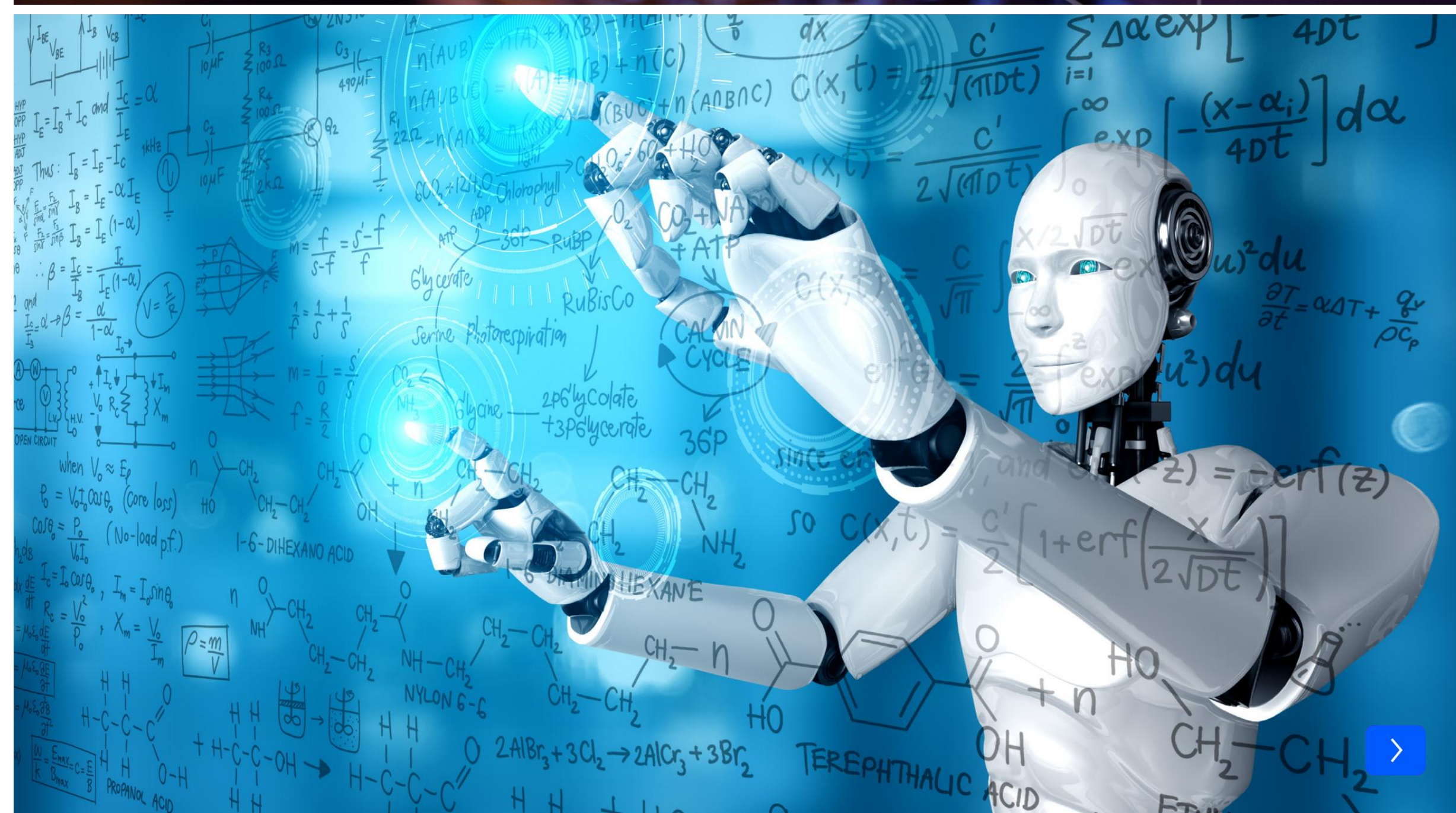
自动化计划正在从基于脚本或模板的简单机器人操作，演进到基于更高层级需求抽象（称为意图）的更复杂的闭环操作。

例如，意图可以明确服务等级协议、特定路由策略或地理服务端点，从而让底层系统能够编排实现业务成果所需的操作。运营商可以在无需具备光技术专业知识的条件下利用意图。

采用基于意图的网络的运营商，可以通过消除执行复杂的手动流程来配置网络设备或应对网络问题的需求，从而简化其网络运营。他们还可以通过使用人工智能，利用自然语言处理来实现意图，或在底层网络内部使用AI来满足意图，同时持续微调系统以维持其业务成果，从而扩展这一概念。

人工智能将在推动自主网络超越被动的闭环操作方面发挥关键作用。多个标准论坛（例如Mplify、TM Forum）正在定义相关框架，描述可集成AI技术以增强网络韧性的功能。这些功能包括预测性分析、智能决策、自愈、资源优化、解决方案报告和问题解决。利用AI向自主网络迁移，将利用网络自动化中已建立的闭环系统。然而，它将不断将其获得的知识反馈到这些系统中，以确保实现与意图相关的目标。

凭借高质量的、经网络训练的数据，AI将通过提供预测性分析、智能决策制定和个性化服务方案，增强网络自动化能力，从而创造出不仅是自动化的，更是真正智能的网络。AI将通过无监督学习从网络中发现新模式，并处理当前若无大量人类专家参与则无法实现的多种运营用例。

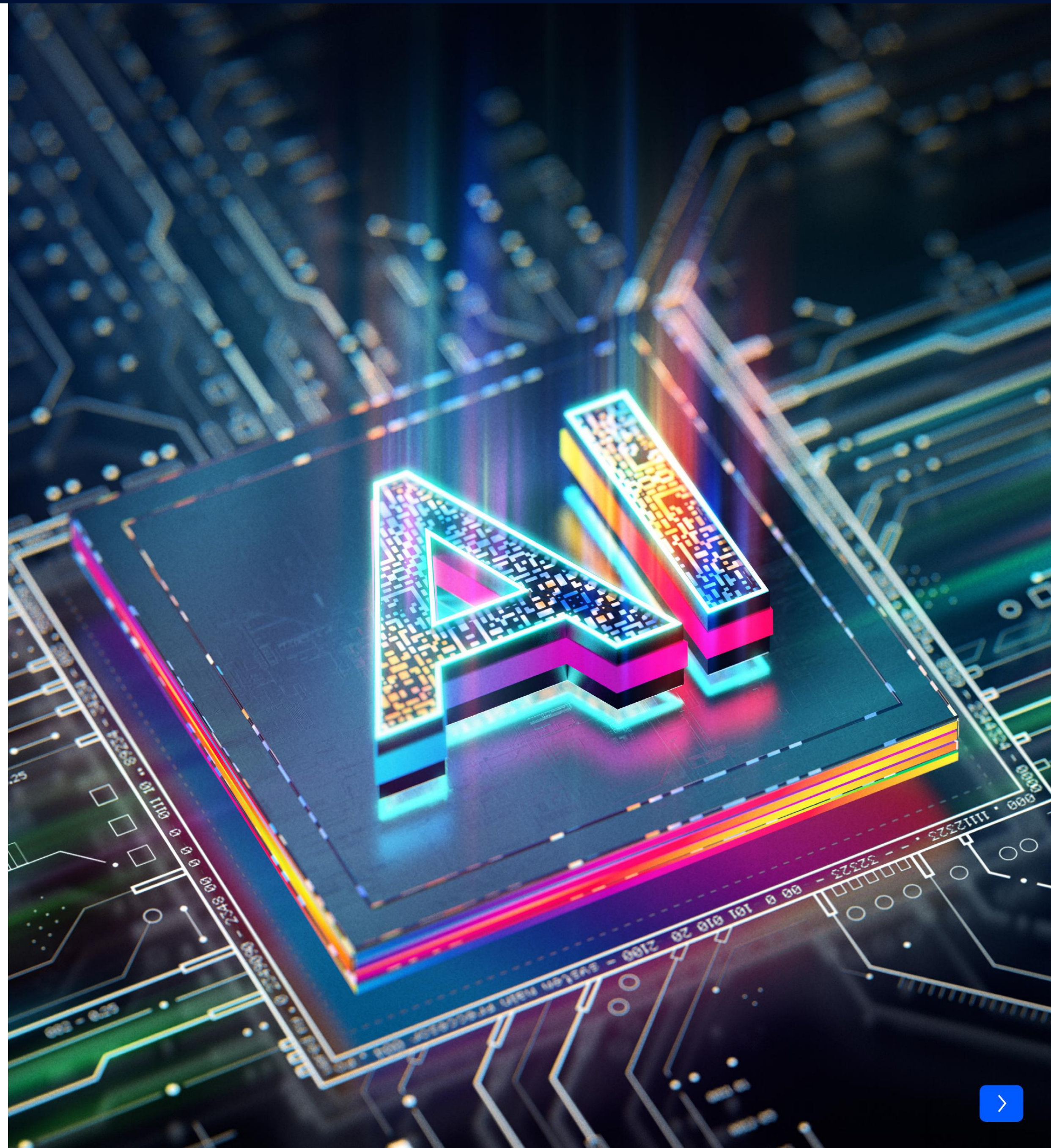


如何为AI构建光传送网络

理解包含GPU服务器的数据中心之间的距离，以及互联它们的光纤长度，对于规划和设计光传送网络至关重要。由于大语言模型可以在不同节点位置的多块GPU之间进行拆分和运行，光传送的高容量特性使其成为理想的互联选择。然而，LLM的拆分也给传送规划带来了约束，并要求光网络满足以下条件：

- 确保高性能传输：AI集群需要最优的光性能，包括在各种光纤类型和链路距离下都能实现高频谱效率、低时延和低能耗。
- 保护传输中的数据：随着AI数据中心数量的增长和互联的增加，安全性成为首要考虑。在光层内置线速加密，作为抵御入侵威胁的弹性、多层纵深防御策略的一部分，对于保护用于AI的敏感数据至关重要。
- 提供韧性与保障：从网络采集实时遥测关键性能指标，为构建自主运营奠定了基础，使光网络能够感知、思考并响应网络事件。例如，自主网络可以感知光链路性能劣化或中断，了解它们如何影响网络性能，并采取行动在备用路由上恢复业务。

在光层创建第一层服务连接的速度，决定了数据中心能够以多快的速度部署用于AI的GPU资源。这进而影响着通信服务提供商、超大规模运营商、云运营商和企业等各方的业务成果。数据中心在城域、区域和长途范围内的分布，增加了为满足AI所需规模、性能和服务等级协议而设计的网络的管理复杂度。因此，简化跨传送段的多层管理和性能监控，以保持GPU集群的效率变得至关重要。



AI辅助的光网络运维

光网络的生命周期包括规划、开通、配置、保障、分析和优化等多个阶段。

在每个阶段，网络运营商都必须完成多种类型的操作，其中许多操作耗时且容易出错。而这些正是自动化流程中融入AI技术能够帮助简化操作的领域，包括：

- 光网络设计：涉及创建站点、分配互连速率、跨距长度和光纤类型，并运行可行性分析。AI辅助操作可以利用自然语言界面促进设计流程，改善用户体验。AI还能帮助网络运营商在设计阶段优化光网络性能。例如，它可以优化相干互连传输参数，在不影响系统余量的前提下，为训练或推理周期实现最高容量。
- 生成设备物料清单，并准备在每个站点安装和互连网络设备所需的操作方法和图纸。生成式AI辅助操作可以使信息的生产 and 组装变得更简单，并减少完成这些任务所需的时间。
- 为光线路系统以及端点位置之间的服务配置和开通网络。这需要对文档和接口有深入的了解，并常常导致运营延迟。AI辅助操作可以自动与硬件设备和软件系统交互，从而完成网络设置。
- 在网络上逐链路跟踪性能指标，为规划人员捕获容量消耗状态，以及为网络保障捕获服务和节点可用性状态。AI辅助操作可以从各种网元中提取数据，并通过单一管理面板汇总特定指标的报表，从而消除“转椅式”管理。
- 制定故障排除策略，以解决发现的问题，同时将其记录在案，并培训其他网络运营商，以便他们在未来能处理类似问题，并更好地了解自己的网络。AI辅助操作可以在问题出现时进行诊断，并提供关键建议，以加快根本原因分析，并通知关键利益相关方。AI系统还能保留这些知识以备将来使用。
- 建立维护程序、执行修复和重新调优网络配置，这些操作有助于在网络老化或出现问题时优化其性能。AI辅助操作可以调整基础设施，使网络保持在最佳状态，缩短修复时间，并延长网络资产的使用寿命。
- 增强运营商的专业知识，以加速最终客户的服务交付。生成式AI可以帮助运营商简化流程、做出更好的决策并简化繁琐的任务。这类AI需要利用来自网络的实测数据集，以及大量关于各种传输配置用例、故障和操作的文档进行训练的大语言模型。
- 利用预测性AI分析海量实时网络KPI数据，在潜在中断影响服务之前加以缓解，预测支持新GPU集群互连所需的光容量，或在流量需求降低时通过将部分互连置于待机模式来降低功耗。

运营商可以在传输网络中利用AI来发展业务、简化运营、遵守高吞吐量互连所需的严格时延和性能感知SLA，并在多个地点灵活部署GPU集群。

为AI保障光网络的安全

数据驱动型AI应用（特别是在医药或金融等敏感领域）的兴起，需要强大的安全解决方案，以保护传输中的数据免受物理和基于量子的威胁。随着企业为AI工作负载而迁移至云平台和互联的数据中心，光数据传输中将出现更多潜在漏洞。对加密的威胁（如密码学相关量子计算机）以及对物理基础设施的威胁（如窃听），可能会危及从应用到光传送基础设施的各网络层的完整性。

一种将符合强大加密标准的光转发器与对称分发的强加密密钥相结合的方法，可以保护传输中的数据在GPU节点间传递时免受潜在威胁行为者的侵害。这种全面的方法使网络运营商能够构建一个包含光网络域层的弹性深度防御框架。这也开启了他们向后量子密码学的迁移，使他们能够在现在和未来保护关键基础设施和数字化转型免受量子威胁。

克服应用挑战

尽管AI为光网络管理带来了巨大前景，但也带来了挑战，例如：

- **自主性与控制：**在发展完全自主的光网络时，运营商必须遵守伦理和监管框架，以避免对敏感数据和服务等级协议产生意外影响。
- **可解释性：**为在AI系统中建立信任，运营商必须能够证明这些系统具有清晰、可解释的决策过程，并最小化训练数据集中存在的偏见。
- **数据访问：**确保获取网络关键性能指标数据对于训练可靠的AI模型至关重要。训练后，这些模型必须经过测试和验证，不仅要有效，而且要在实际部署中证明有益。
- **数据完整性与安全性：**保护敏感数据不被窃取并用于恶意目的至关重要，特别是在训练AI模型时。
- **AI治理政策：**运营商必须确保在光系统中采用AI时，遵守全球和特定国家关于数据治理的监管框架。从用于自动化的AI系统中提供必要的洞察，将使算法能够受到监控、评估和更新，以防止随着模型漂移而做出有缺陷或有偏见的决策，这可能导致输出质量和可靠性问题。触发需要重新训练数据集维护条件可能是必要的，以确保AI在安全的前提下提供技术创新。
- **功耗优化的LLM：**运营商必须仔细选择用于网络自动化的大语言模型，以减少模型存储和推理处理所需的计算资源。通过优化使用小规模模型来覆盖可能并非自动化用例必需的更广泛应用空间，他们可以降低电力消耗。运营商可能需要高效地使用一个或多个较小规模的LLM，以确保网络自动化不会妨碍其实现长期环境、社会和治理目标的追求。

携手诺基亚，用AI构建网络

诺基亚（Nokia）从边缘到核心的光传送解决方案产品组合，由业界领先的相干光引擎驱动，为可扩展、有韧性且量子安全的数据中心间及数据中心内网络基础设施奠定了基础。在AI时代，大规模管理和优化这些网络需要智能自动化。网络运营商利用诺基亚WaveSuite来简化整个光传送生命周期的运营，借助AI驱动的洞察来增强网络规划、简化运营，并解锁新的货币化机遇。WaveSuite提供内置的可解释AI、预测性分析和实时自动化，帮助运营商加速服务交付、优化网络性能，并在互连复杂性日益增加的时代确保长期的扩展性。

行业领先的硬件

网络运营商可以信赖诺基亚光传送网络产品组合，以提供快速的海量互连容量，并具备卓越的性能、安全性和频谱效率——覆盖从网络边缘到跨洋海底连接的广泛场景。

该产品组合由内部研发的、最先进的相干数字信号处理器、光子半导体技术、相干光线路系统和智能可插拔器件驱动，能够实现：

- 可扩展、可靠且安全的数据中心连接
- 更低的每比特数据传输成本和功耗
- 自动化与优化的网络性能，以简化运营并降低总拥有成本
- 增强的数据控制与安全性，以满足数据主权和关键任务的要求
- 针对数据中心优化的紧凑型平台，配有合适的开放API

诺基亚的光传送产品组合——包括1830全球特快紧凑模块化传送平台、1830光子服务交换机、1830光子服务互联、相干光线路系统、智能可插拔模块和FP5 IP路由芯片——是业界领先的解决方案，可为任何应用、任何地点、任何规模提供可扩展、高性能、可靠、可保障且安全的连接。



诺基亚光网络赋能解决方案——以创新与卓越性能，构建从边缘到核心的云互连网络

自动化



自动化

以更快、更简单的操作实现网络扩展与货币化，同时降低总拥有成本。

Layer 2
以太网



P-OTN switching交换

行业领先的网络规模，支持高效、可靠、安全的批发与企业服务以及综合分组传送。

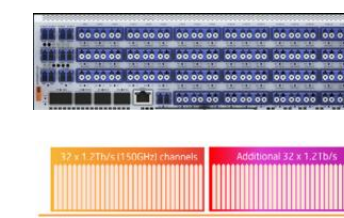
Layer 1
OTN与传送



相干传输

可插拔与超级相干嵌入式光学器件；用于优化边缘-核心-数据中心平台的线路卡。

Layer 0
WDM线路系统



WDM线路系统

市场领先的C+L波段开放线路系统：C波段、L波段、集成C+L波段；完整的ROADM选项，从固定光分插复用器到超高维度多光纤架构。

服务交换机、ICE-X多程可插拔相干收发器、ICE-D数据中心内光学器件以及网络自动化与管理解决方案——这些构成了诺基亚帮助网络运营商在可持续发展的方式下，以量子安全的内置智能，降低每比特成本与功耗、简化网络运营，并跨地域扩展其网络部署的关键技术组合。

世界级自动化软件

作为光网络自动化技术的全球领导者，诺基亚提供WaveSuite自动化平台，以应对传送领域内各运营阶段的关键挑战。围绕诺基亚贝尔实验室的研究成果构建，WaveSuite平台集成了AI能力，旨在提升整个生命周期的生产力，同时使AI对用户而言是可解释的，以帮助建立对该技术的信任。

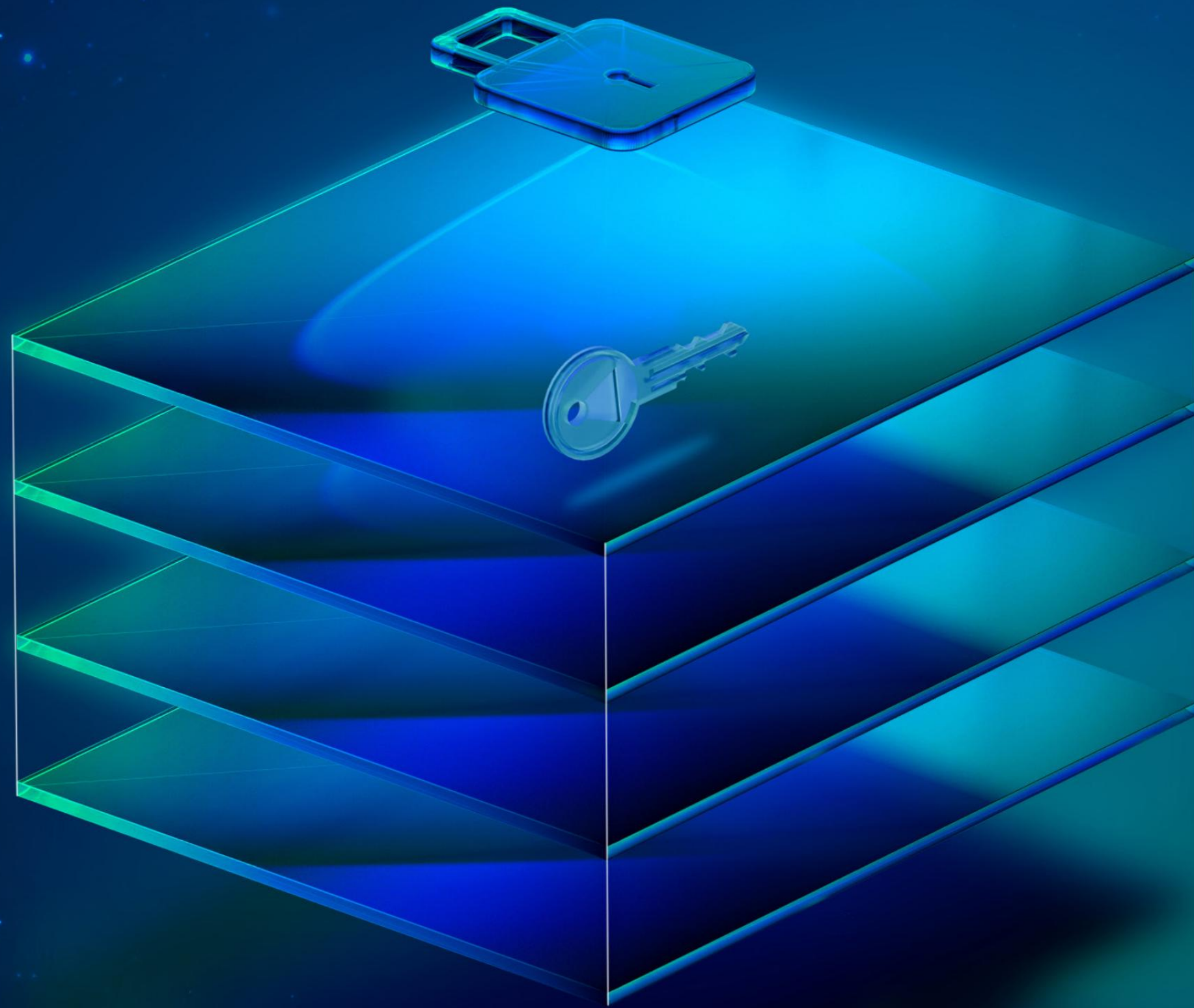
WaveSuite光网络自动化通过以下方式应对上文所述的扩展挑战：

- 高效与简化的网络运营：缩短光网络的开通、配置、部署和管理时间。
- 自动化的网络规划：优化网络资源，确保城域、区域或跨大陆数据中心之间的最佳性能。
- 简化与加速新商业模式的服务开通——例如通过服务虚拟化和网络抽象，为GPU即服务网络切片等新商业模式加速服务上线，以确保更好地遵守GPU互连SLA。
- 趋势分析：主动规划和安排维护活动，并在光网络中的潜在故障影响互连网络之前将其解决。

网络运营商依赖WaveSuite网络自动化平台来缩短上市时间并降低资本支出。WaveSuite帮助确保他们的网络在安全地提供所需带宽的同时，针对互连交付优化性能。

除了扩展网络以应对新的数据中心互连挑战外，WaveSuite的能力分为四个关键领域：

- 管理：利用容量预测来支持无接触式设计、配置和分阶段的网络部署。这将使运营商能够简化决策流程，并实时响应不断变化的条件。
- 运营：通过自然语言处理驱动的指南、实时网络查询和基于角色的网络管理，增强知识共享和故障排除能力。利用嵌入式文档训练的生成式人工智能将提升整体用户体验，加速根本原因分析，从而降低成本并提高网络质量。此外，可解释的人工智能机制将增强对AI驱动建议的信任。
- 优化：采用模式识别和光纤传感技术来识别和评估网络行为，检测物理基础设施威胁，并在服务中断发生前加以缓解。这将提高对服务水平协议的遵从性，并最大限度地减少人工干预的需要。人工智能将通过识别待机网络设备和最佳低能耗路由，补充现有的系统级闭环运营任务，降低能耗，从而构建一个更具可持续性的网络。
- 货币化：帮助服务运营商开发面向最终用户的端到端光域切片，其服务水平特性可根据其特定应用进行定制。这包括满足GPU集群内大语言模型训练和推理所需的特定连接性要求。



为集群GPU节点提供互连服务的网络运营商，可以利用传输领域内的人工智能能力，通过基于优化性能自动重新配置服务特性（例如，时延、冗余和保护），来实现性能的增值销售。生成式人工智能可以通过自然语言表达生成服务意图请求，从而扩展传输领域内的订单履行。

以量子安全网络确保万物安全

诺基亚量子安全网络通过将先进的对称密码学和高抗量子计算的高熵密钥源集成到光传输层，来降低这些风险。这些功能由诺基亚贝尔实验室的研究和诺基亚量子合作伙伴提供支持，可保护数据免受经典和量子攻击。它们还确保了对未来解密企图（“现在截获，以后解密”场景）的长期安全性。

克服网络运营中的人工智能应用障碍

诺基亚WaveSuite平台通过先进的方法论、安全策略以及诺基亚贝尔实验室的研究，致力于解决采用人工智能时可能面临的关切——包括自主性与控制、可解释性、数据访问、数据完整性与安全性、治理以及功耗等问题。

基于自然语言处理的用户提示、从产品文档中提取的决策树洞察以及基于角色的控制等功能，确保了运营商在借助人工智能驱动的自动化来提升性能、减少停机时间的同时，仍能保持对网络的监督。通过集成安全最佳实践，并采用诸如诺基亚数字孪生和光网络专业服务工具来开发业务流程建模，WaveSuite支持网络向可信赖且具备适应性的部分或完全自主网络演进。这使得服务提供商能够构建能够“思考、感知、行动”的网络，从而可以专注于驱动业务增长，而非仅仅管理网络。

未来的趋势与机遇

人工智能在光网络中的集成将持续驱动行业进步，并在以下多个领域创造机遇：

- 标准制定：诸如IETF、Mplify和TM Forum等组织正在起草标准化传统人工智能与生成式人工智能集成的提案。诺基亚积极参与这些讨论，确保未来的解决方案与行业需求保持一致。
- 商业化变现：由运营支持系统 集成驱动的、生成式AI赋能下的意图驱动型光连接，可以实现按需带宽等高级服务，从而为需要增强性能的关键业务应用提升收入。
- 预测性智能：人工智能可以促进高级故障检测和事件分类，减少停机时间，并提高服务水平协议的遵从性。
- 规模化挑战应对：随着私有/公有数据中心互连的增长，人工智能网络自动化可以应对运营复杂性，特别是在技术劳动力短缺的情况下。
- 可插拔器件与IP/光融合：随着可插拔数字相干光学器件 提供更高的传输速率和更长的传输距离，它们将在城域和区域互连中得到更广泛的应用。为实现互连的IP与光域的融合，将需要基于人工智能的网络管理来提供更好的协调与数据交换。人工智能还将促进基于自然语言的意图驱动式人机交互。
- 能源优化：人工智能数据中心对电力基础设施提出了巨大需求。服务提供商可以利用人工智能识别并适应高能耗的网络热点，应用深度学习算法和基于策略的优化策略，以最小化对已趋紧张的电网的影响。

结论

人工智能是一项颠覆性技术，正在改变各行各业的运作方式。同时，它也将持续推动承载其运行的传输网络实现快速增长。为满足AI、数据中心互联及其他高带宽服务对海量光互连的需求，传输网络的规模将达到前所未有的水平。网络运营商需要利用与自动化内部相同的技术，来彻底改变其与网络生命周期交互及管理的方式。这项技术还必须使他们能够长期专注于其业务目标。

诺基亚的光网络解决方案组合、WaveSuite自动化平台以及光网络专业服务，为应对AI驱动的需求和高性能数据中心互联，提供了高效、安全、智能、简化且可扩展的定制化解决方案。通过采用这些技术，服务提供商可以解锁新机遇、提升生产力、扩大可触达的市场范围，同时在这个日益互联的数字化世界中建立信任并确保可持续增长。

缩写

| | | | | | | | |
|-------|--|--------|---------------------------------|-----|-----------------------------|----------|---|
| AI | artificial intelligence | GPU | graphics processing unit | NLP | natural language processing | ROADM | reconfigurable optical add-drop multiplexer |
| CRQC | cryptographically relevant quantum computers | IETF | Internet Engineering Task Force | PQC | post-quantum cryptography | SLA | service-level agreement |
| DCO | digital coherent optic | KPI | key performance indicator | PSE | Photonic Service Engine | TM Forum | Telemanagement Forum |
| ESG | environmental, social and governance | LLM | large language model | PSS | Photonic Service Switch | | |
| GenAI | generative artificial intelligence | Mplify | Mplify Alliance | QSN | quantum-safe networks | | |
| | | ML | machine learning | | | | |

Nokia OYJ
Karakaari 7
02610 Espoo
Finland

Tel. +358 (0) 10 44 88 000

CID: 214737 (September)

nokia.com

NOKIA

关于诺基亚

在诺基亚，我们创造科技，连接世界。

作为B2B技术创新领导者，我们正在开创能够“感知、思考、行动”的网络，这得益于我们在移动网络、固定网络和云网络领域的全面工作。此外，我们通过知识产权和长期研究创造价值，由屡获殊荣的诺基亚贝尔实验室引领，该实验室正在庆祝其百年创新历程。

凭借能够无缝集成到任何生态系统中的真正开放架构，我们的高性能网络创造了新的货币化和规模扩展机遇。全球的服务提供商、企业和合作伙伴信赖诺基亚能够交付安全、可靠、可持续的网络，并与我们携手共创未来的数字服务和应用程序。

诺基亚是诺基亚公司的注册商标。本文提及的其他产品和公司名称可能是其各自所有者的商标或商品名称。

© 2025 诺基亚

