



“5G+人工智能”融合发展与应 用白皮书 (2019)

中国联通研究院

中兴通讯股份有限公司

2019 年 11 月

版权说明

本白皮书版权属于中国联通研究院和中兴通讯股份有限公司，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国联通研究院、中兴通讯股份有限公司”。违反上述声明者，版权方将追究其相关法律责任。

前 言

5G 和人工智能是目前科技界两大热点研究领域，两者都是能够改变时代的颠覆性技术。作为通用基础技术，5G 将从线上到线下、从消费到生产、从平台到生态，推动我国数字经济发展迈上新台阶。目前，5G 正在阔步前行，它将以全新的网络架构，提供至少 10 倍于 4G 的峰值速率、毫秒级的传输时延和千亿级的连接能力，开启万物广泛互联、人机深度交互的新时代。

人工智能是第四次工业革命的重要推动技术，是经济发展新引擎。近几年，人工智能发展迅速，各科技强国纷纷制定相关发展政策，科技、制造等业界巨头公司深入布局，人工智能产业规模逐渐扩大。

5G 和人工智能互相促进、互相作用、互相影响。5G 作为新型通信基础设施，如同“信息高速公路”一样，它为庞大数据量和信息量的高效、可靠传递提供了基础。人工智能，不仅仅是云端大脑，也是能够完成学习和演化的神经网络。人工智能将赋予机器人类的智慧，5G 将使万物互联变成可能。二者相互融合，将促进整个社会生产方式的改进和生产力的发展。

中国联通研究院和中兴通讯股份有限公司联合编制《“5G+人工智能”融合发展与应用白皮书》，参与编写的专家主要有（按名字的拼音字母排序）：加雄伟、黄峥、穆晓君、孙进芳、王亮、杨开敏、严斌峰。本白皮书系统地分析了 5G 和人工智能相互促进、协同发展

现状，着重介绍了人工智能如何赋能 5G 网络、5G 人工智能终端、5G 人工智能典型应用场景等方面的现状、问题以及趋势。最后对 5G 与人工智能融合的发展趋势进行了展望，希望与业界分享，切实提升 5G 与人工智能融合发展与应用水平。

目 录

一、5G 和人工智能相互促进、协同发展	1
1.1 第五代移动通信（5G）	1
1.2 人工智能	3
1.3 5G 网络为人工智能的引入提供基础	5
1.4 人工智能融合 SDN/NFV 赋能 5G 网络	6
1.5 人工智能融合边缘计算赋能 5G 网络	7
二、“5G+人工智能”促进 5G 网络发展	8
2.1 人工智能提升 5G 网络关键能力	8
2.1.1 资源分配技术	8
2.1.2 流量分类技术	8
2.1.3 业务预测技术	9
2.2 人工智能在 5G 网络架构中的应用	9
2.2.1 人工智能赋能 5G 接入网	10
2.2.2 人工智能赋能 5G 核心网	13
2.2.3 人工智能赋能 5G 网络切片	14
2.2.4 人工智能赋能 SDN 网络	16
2.2.5 人工智能赋能 5G 网络虚拟化	17
2.2.6 人工智能赋能 5G 边缘计算	18
2.2.7 人工智能赋能 5G 网络运维	20
2.2.8 人工智能赋能 5G 安全	21
三、“5G+人工智能”赋能智能终端	22
3.1 5G 芯片	23
3.2 人工智能芯片	23
3.3 人工智能应用框架	25
3.4 人工智能终端应用	25
3.5 人工智能终端	26
3.5.1 个人终端	27
3.5.2 家庭终端	27
3.5.3 物联网终端	28
3.6 5G 人工智能终端	29
四、“5G+人工智能”典型应用场景	29
4.1 自动驾驶	31
4.2 智慧新媒体	33

4.3	工业互联网.....	34
4.4	智慧医疗.....	35
4.5	智慧环保.....	35
4.6	智慧港口.....	36
4.7	物联网.....	37
4.8	智慧物流.....	38
4.9	智慧能源.....	38
4.10	智能安防.....	39
五、“5G+人工智能”融合发展建议.....		39
5.1	人工智能与 5G 网络融合发展.....	40
5.2	人工智能与 5G 业务融合发展.....	41
5.3	利用“人工智能+SDN/NFV”赋能 5G 网络.....	42
5.4	利用“人工智能+边缘计算”赋能 5G 网络.....	43

图 表

图 1	5G 网络特性.....	1
图 2	4G 与 5G 网络指标对比.....	2
图 3	5G 和人工智能相互赋能.....	4
图 4	5G 为引入人工智能提供基础.....	5
图 5	人工智能赋能 5G 网络.....	7
图 6	5G 边缘计算.....	7
图 7	人工智能赋能 5G 网络.....	10
图 8	人工智能赋能 5G 频谱利用.....	11
图 9	人工智能赋能 5G 网络覆盖.....	12
图 10	人工智能赋能 5G 网络虚拟化.....	13
图 11	人工智能赋能 5G 核心网.....	14
图 12	人工智能赋能 5G 网络切片的管理和运营.....	15
图 13	人工智能赋能 SDN 网络.....	17
图 14	人工智能赋能网络虚拟化.....	18
图 15	人工智能赋能 5G 边缘计算.....	19
图 16	人工智能赋能 5G 网络运维.....	21
图 17	人工智能赋能 5G 安全.....	22
图 18	5G 典型应用场景.....	31
图 19	利用“人工智能+SDN/NFV”赋能 5G 网络.....	43
图 20	利用“人工智能+边缘计算”赋能 5G 网络.....	44

一、5G 和人工智能相互促进、协同发展

1.1 第五代移动通信（5G）

第五代移动通信技术（5G）是继第四代移动通信技术（4G）之后开创性技术，具备诸多 4G 所没有的特性（图 1），特别的，其峰值理论传输速度可达每秒数十 Gb，这比 4G 网络的传输速率要快上数百倍。

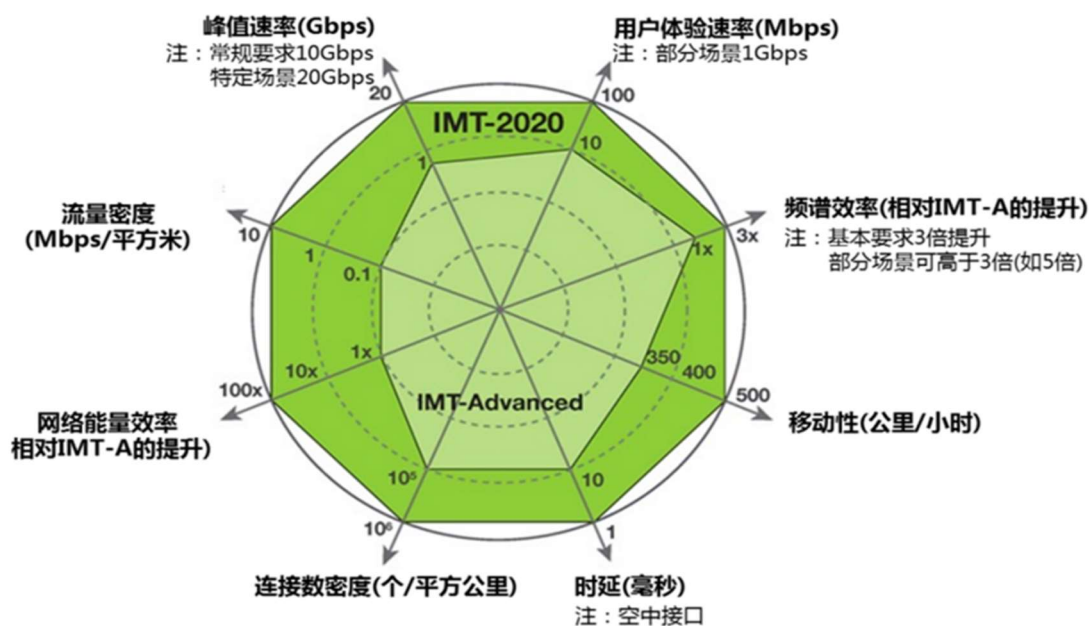


图 1 5G 网络特性

4G 改变人们生活，5G 将改变社会。5G 不仅是移动通信的一次升级换代，更是一次重大的技术变革。5G 提供更高的速率、更低的时延、更多的连接数、更快的移动速率、更高的安全性以及更灵活的业务部署能力（图 2）。

	4G指标	5G指标
◆ 峰值速率：	1Gbps	10~20Gbps
◆ 用户体验速率：	10Mbps	100M~1Gbps
◆ 单向空口时延：	10ms	1ms
◆ 流量密度：	0.1Mbps/m ²	10Mbps/m²
◆ 连接数密度：	10 ⁴ c/km ²	10⁶c/km²
◆ 移动速度：	350km/h	500km/h

图2 4G与5G网络指标对比

全球主要国家的通讯运营商都在加速进行5G网络的建设和商用进度。在世界范围内中国属于5G的领跑者，自2013年成立“IMT-2020推进组”以来，国内5G持续快速推进。2019年，中国工信部正式向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放5G商用牌照，我国正式进入5G商用元年。这意味着中国的5G建设和商用进程将会大大提速，不仅将对中国经济格局影响巨大，也将会很大程度上影响全球5G发展格局，世界5G发展从此将进入快车道。

中国联通在2019年4月发布了全新的5G品牌标识“5Gⁿ”及主题口号“让未来生长”，并同期发布了“7+33+n”5G试验网络部署规划，积极建设5G网络和试点5G应用。2019年8月，中国电信和中国联通达成在5G接入网、传输网方面共建共享，双方协同在各自负责区域内的5G网络建设工作，以期加快5G网络建设和商用的进度与

质量。中国移动也在全国 52 个重点城市建成超过 2 万个 5G 基站，并在全国 300 多个城市开展 5G 网络建设。

5G 渐行渐近，其灵活、高效、融合、开放的特性将能够满足不同行业的快速部署和应用需求。中国信息通信研究院《5G 产业经济贡献》认为，预计 2020 至 2025 年，我国 5G 商用直接带动的经济总产出达 10.6 万亿元，5G 将直接创造超过 300 万个就业岗位。

1.2 人工智能

人工智能（人工智能）是指利用计算机模拟人类智能行为科学的统称，它涵盖了训练计算机使其能够完成自主学习、判断、决策等人类行为的范畴。人工智能领域处理的问题主要包括感知、挖掘、预测以及推理等。

作为新一轮产业变革的核心驱动力，人工智能已经催生了大量新的技术、产品及服务模式，构筑了一个全新的智能产业。人工智能产业是智能产业发展的核心，是其他智能科技产品发展的基础，国内外的高科技公司以及风险投资机构纷纷布局人工智能产业链。社会资本、智力和数据资源的汇集驱动着人工智能技术研究不断向前推进，从学术研究到实际开发，从家庭到社会，人工智能已经走入人们生活的方方面面。2015-2019 年是中国人工智能发展最为迅速的时期，技术研

究不断突破、产业应用层出不穷，人工智能已经渗入社会经济生产和人类生活的多个方面。

5G 和人工智能技术建立起庞大的产业链，带来经济和社会的巨大变革。5G 和人工智能互相促进、互相作用、互相影响。5G 作为通信基础设施，可以为人工智能应用提供高效、可靠、海量的数据传送服务。同时，人工智能作为新型智能化技术，可以有效促进 5G 网络的演进，提升 5G 网络和应用的能力。

5G 网络、5G 业务和人工智能相互赋能（图 3）。5G 网络具备三大特性，增强移动宽带（eMBB）、海量机器通信（mMTC）和超高可靠低时延（URLLC）。5G 网络的这些特性，再加上边缘计算等技术，将可以有效促进人工智能的发展。5G 业务可为人工智能提供落地应用并向人工智能提供大数据，同时，人工智能也可赋能 5G 网络和 5G 业务。

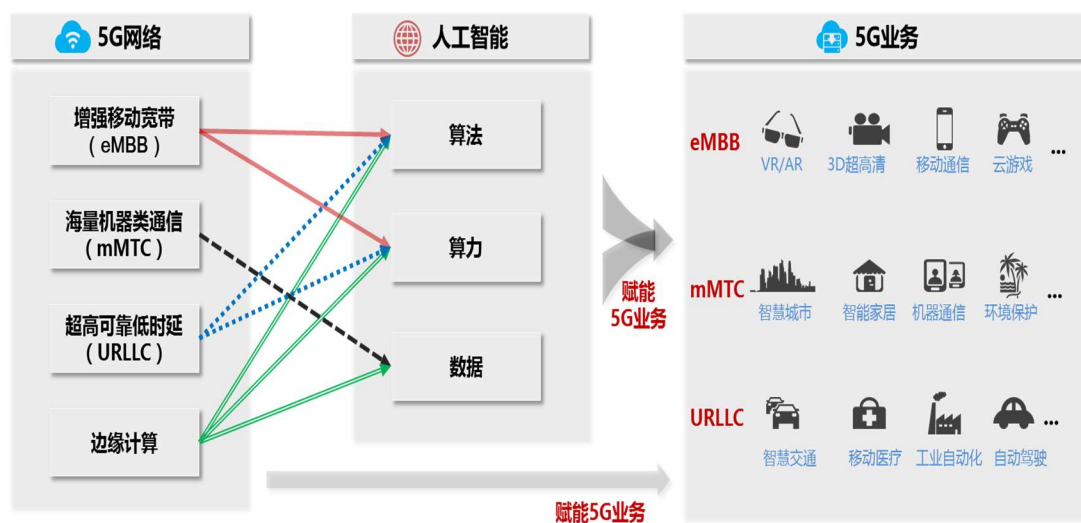


图 3 5G 和人工智能相互赋能

1.3 5G 网络为人工智能的引入提供基础

通信网络（3G/4G/5G）提供三种基本服务能力：设备连接（设备与设备之间、设备与业务平台之间）、数据传送（设备与设备之间，设备与业务平台之间）和服务能力递送（业务平台与设备之间）。在5G时代，人与人、人与物、以及物与物之间建立万物互联，这些连接都将产生海量数据。在3G/4G时代，设备连接服务和数据传送服务的处理都需要经过核心网协调和处理，服务能力通常都部署在外部云平台中，这三种基本服务通常都需要远距离访问，容易造成核心网压力大，灵活性不足和服务效率不高等问题。

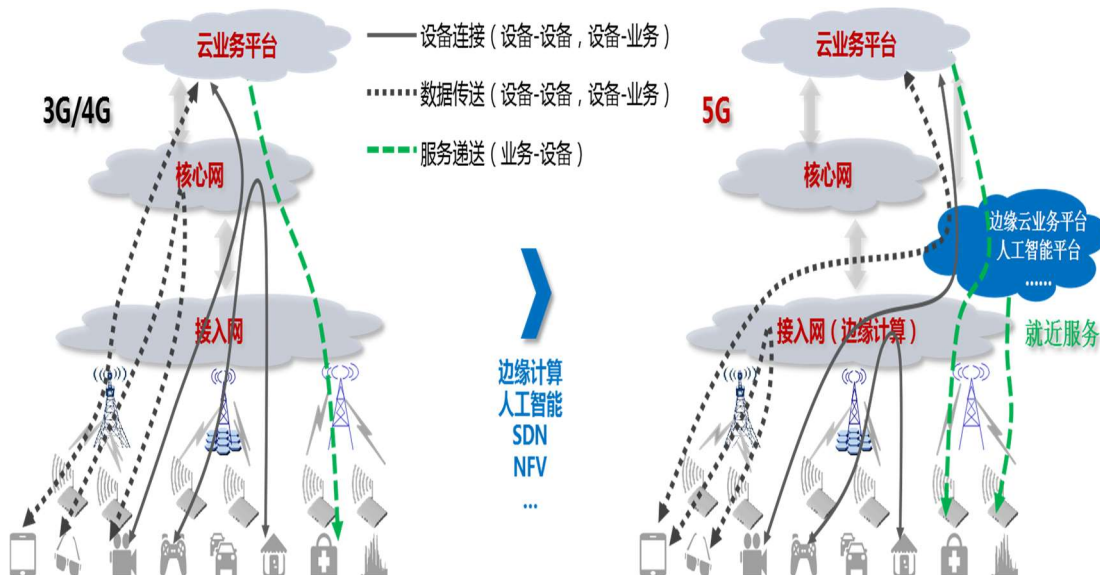


图4 5G 为引入人工智能提供基础

通过引入软件定义网络（SDN）和网络功能虚拟化（NFV），5G 支持控制面与用户面分离（图4）。5G 核心网主要专注处理 5G 控制面的访问控制请求，5G 用户面的数据传送服务主要由接入网和承载网

直接提供，从而有效减轻核心网的压力；再结合边缘计算，5G网络支持服务能力就近部署和就近服务，从而使得支持上述三种基本服务的服务能力、服务灵活性和服务效率都得以大幅度的提升，为在5G网络中引入人工智能能力和通过5G网络提供人工智能能力提供坚实的基础。

1.4 人工智能融合 SDN/NFV 赋能 5G 网络

SDN 和 NFV 解耦 5G 网络的软件与硬件，分离控制面与用户面，提升控制面集中化能力，为 5G 网络的智能化（自修复、自优化等）提供重要基础。边缘计算的引入也为 5G 网络的云网一体化演进提供可能，从而使得人工智能计算和赋能无处不在。人工智能、SDN/NFV、边缘计算等技术融合，提升 5G 网络的智能化水平（例如，智能化的网络切片服务等）。例如，如图 5 所示，人工智能能力可以部署到 5G 终端、5G 网络（包括 5G 边缘计算节点）、或者人工智能中台；5G 网络数据通过汇聚和清洗后可用于训练人工智能能力。

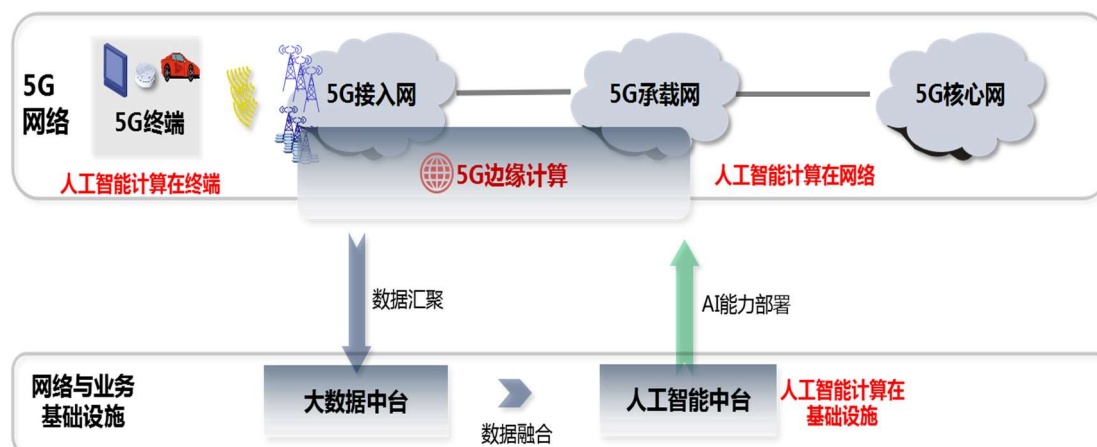


图5 人工智能赋能 5G 网络

利用人工智能可以有效地监控、预测和优化 5G 网络的各种服务资源，提升 5G 网络的服务质量与效率。

1.5 人工智能融合边缘计算赋能 5G 网络

5G 边缘计算为人工智能与 5G 网络、5G 业务融合提供天然的锚点，借助 5G 边缘计算，服务提供商（消费互联网、产业互联网、家庭互联网）可以方便、快速和有效地向用户提供 5G 业务，并可实现人工智能的就近部署和就近服务（图 6）。



图6 5G 边缘计算

网络运营商根据业务类型（eMBB、eMTC、URLLC 等）来部署 5G 边缘计算节点和设置 5G 网络切片，人工智能计算节点可以就近部署在 5G 边缘计算节点上，也可以就近汇聚到附近的计算设施中，从而使得人工智能可以计算终端、计算在边缘云和计算在核心云。

二、“5G+人工智能”促进 5G 网络发展

2.1 人工智能提升 5G 网络关键能力

目前，人工智能技术得到了快速发展，几乎在每一个领域都可以找到人工智能的应用，在 5G 网络领域同样如此。这一部分主要分析人工智能应用于 5G 网络的三大关键技术：资源分配技术、流量分类技术和业务预测技术。

2.1.1 资源分配技术

5G 网络切片机制帮助实现网络资源的合理分配，目前，为了实现用户的动态资源分配，很多人工智能算法已经被应用到了 5G 资源管理当中。例如，利用人工智能领域的遗传算法进行无线资源的分配。遗传算法是利用全局搜索找到最优解，解决优化问题，具有较强的鲁棒性，通过遗传算法找到资源分配的最优解，往往要优于传统的分配算法。除了遗传算法，神经网络学习、蚁群优化等算法都被广泛应用于无线资源的动态规划、自动优化等。

2.1.2 流量分类技术

人工智能技术提供了多种应用与服务，通过网络智能地、自主地监控和管理。基于深度学习的流量分类是利用深度学习技术对网络上

的大量流量进行智能分类的方法之一。基于深度学习的流量分类可以提供对通信网络上的海量流量数据进行模式学习，构建流量分类模型，从而实时提供更高效的网络性能，同时，流量分类技术对网络管理环境的智能构建具有更高的效率和准确性。

2.1.3 业务预测技术

业务预测是人工智能的重要应用领域，通过对数据的采集和处理，利用人工智能算法，例如，神经网络、支持向量机算法等对结果进行预测，从而判断决策的正确性和未来业务发展的规模。目前，利用人工智能进行业务预测已经成为了 5G 网络监督和管理的重要组成部分。由于 5G 业务量巨大，网络中受影响的因素较多，人工智能精准的业务预测可以广泛应用在 5G 网络中。及时有效的业务预测是 5G 网络调度自动化和优化的核心基础。

2.2 人工智能在 5G 网络架构中的应用

5G 连接人与人，连接物与物。不同于过去 2G 到 4G 时代重点关注移动性和传输速率，5G 不仅要考虑增强宽带，还要考虑万物互联。当前网络复杂度越来越高，数据的流量呈爆炸性的增长，现有的网络设备难以满足用户的数据爆炸需求。并且，现有的网络维护和管理方式还是人工干预的方式，已经无法适应 5G 时代网络的需求。

因此，5G 网络需要“自能”化的管理。5G 网络需要支持自主的进行连接路径选择、自动的进行网络连接健康状态分析，甚至要具有对已知故障自己进行修复的能力。人工智能技术应用在 5G 网络架构中，可以解决 5G 网络架构复杂，资源利用率较低的问题。利用人工智能的自主学习、数据分析等特长，赋予 5G 网络自主、自能的自我管理、优化和维护能力；人工智能在 5G 的终端、接入网、承载网、核心网、边缘计算和网络安全与运维等方面，都可以发挥巨大的赋能价值（图 7）。

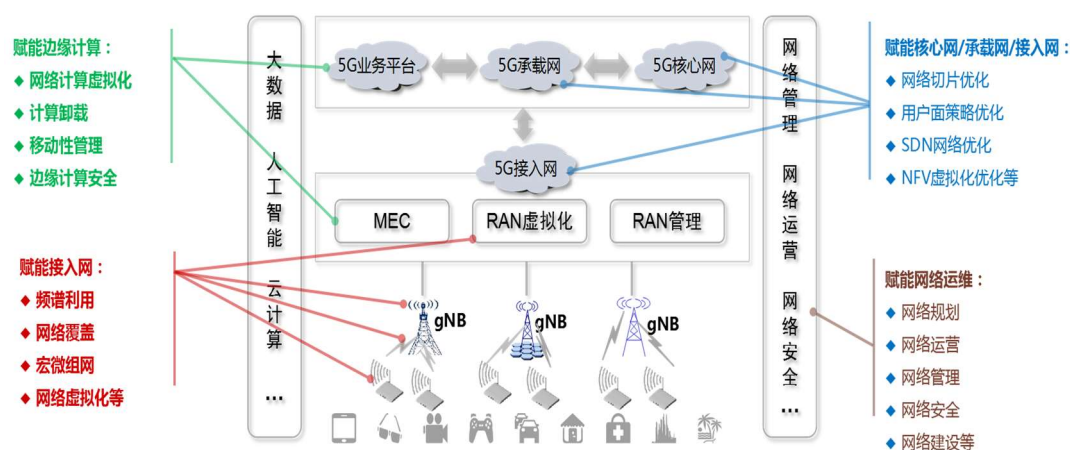


图 7 人工智能赋能 5G 网络

2.2.1 人工智能赋能 5G 接入网

（一）提升频谱利用率

5G 网络天线优化参数从数百种组合增长到上万种组合，纯靠人工难以有效配置。通过汇聚和融合来自于设备、接入网和核心网等相关数据，利用人工智能分析频谱利用策略，用于接入网/基站的实时

管理与动态优化，以及动态、实时和智能化的扇区优化配置，提升网络覆盖率和频谱利用率。

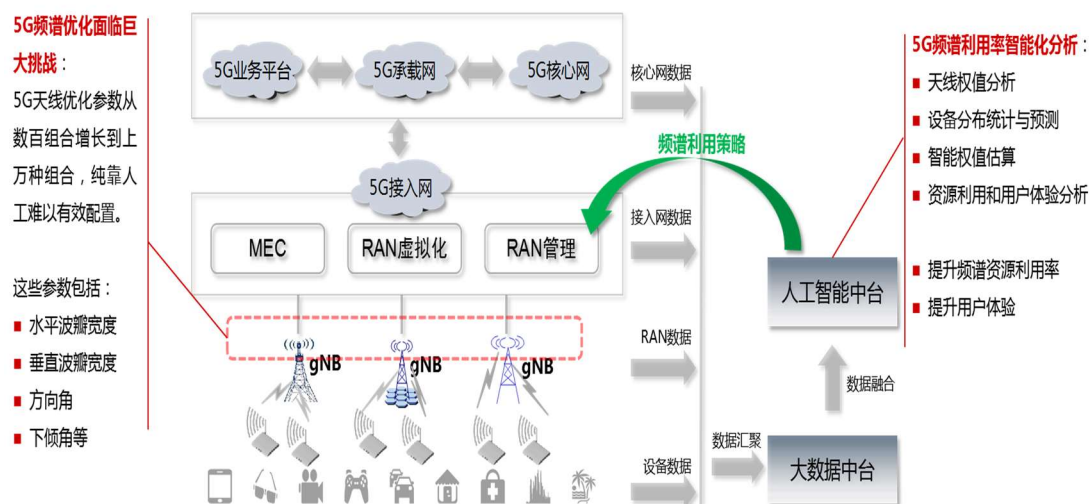


图8 人工智能赋能 5G 频谱利用

通过对天线权值、接入设备分布统计与预测的智能分析，可以动态预测和制定频谱使用策略，提升频谱资源利用率（图8）。

（二）提升网络覆盖率

不同于其他网络服务模式，单个 5G 基站的网络覆盖面较低，整个 5G 网络需要建设大量的基站。5G 基站的选址、规划、建设和扇区的配置工作量巨大且复杂。将人工智能预测技术引入 5G 基站建设可以大大节省基站建设和维护成本，提升基站利用率，扩大网络覆盖率。

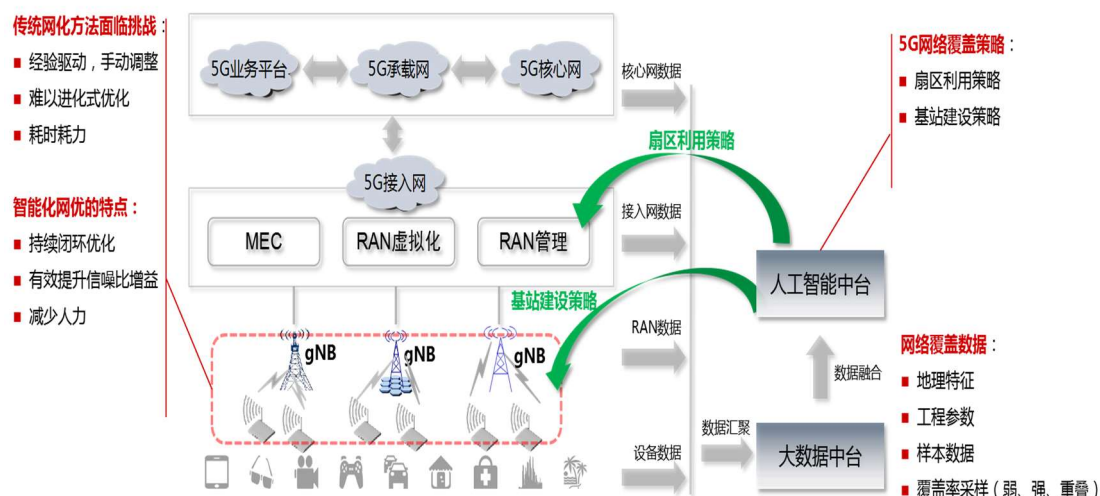


图9 人工智能赋能5G网络覆盖

通过汇聚和融合来自于设备、接入网和核心网等相关数据，利用人工智能技术生成5G基站建设策略以指导5G基站的选址、规划、建设和配置，同时，动态实时地生成扇区利用策略以指导扇区的自动优化与配置（图9）。

（三）优化网络功能虚拟化能力

NFV是一种重要的网络技术，该技术可在物理网络上虚拟多个相互隔离的虚拟网络，从而使得不同用户或业务之间使用独立的网络资源切片，提高网络资源利用率，实现弹性的网络。通过引入NFV，可以虚拟化5G接入网的计算和频谱等资源，使得特定区域的基站可以协同工作。通过引入SDN，可以在5G接入网层面或者在5G核心网层面实现控制面与用户面的分离和控制面的集中化管理（图10）。

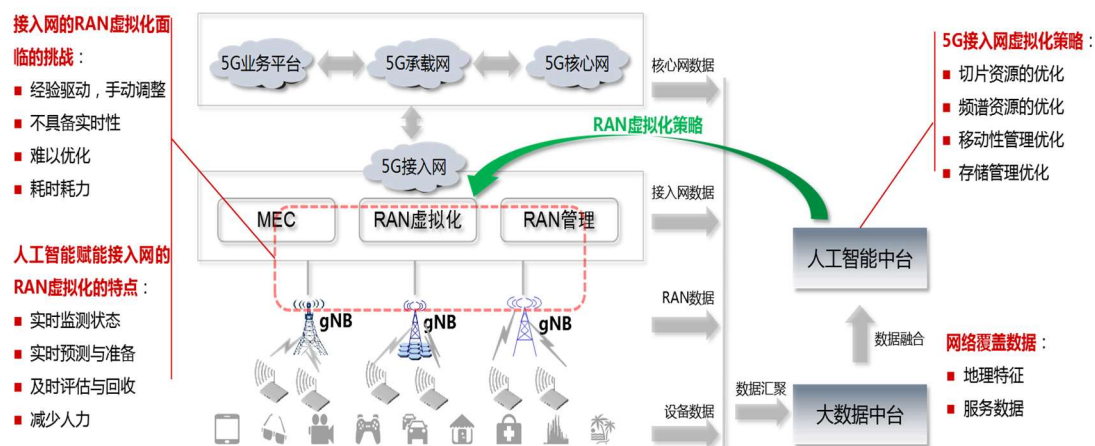


图 10 人工智能赋能 5G 网络虚拟化

根据接入网的物理数据和用户数据，引入人工智能技术，可以监测和优化接入网的虚拟化资源的使用情况。人工智能赋能接入网的基站可以实时监测网络状态、实时预测和评估网络性能、减少人为干预。

2.2.2 人工智能赋能 5G 核心网

跟原有 4G 网络相比，5G 核心网建设面临网络部署、网络功能、新业务开展、多种网络制式共存等诸多挑战。如何有效地融合和管理 5G 网络的用户面、策略面、控制面、数据面等，如何提供差异化的端到端的高效节能的网络切片服务，都需网络运营商应对。5G 业务差异性增大，需要网络切片支持一网多用的同时，还得保障业务质量。通过引入人工智能技术，可以提升 5G 核心网的自我管理能力和运行自动化。

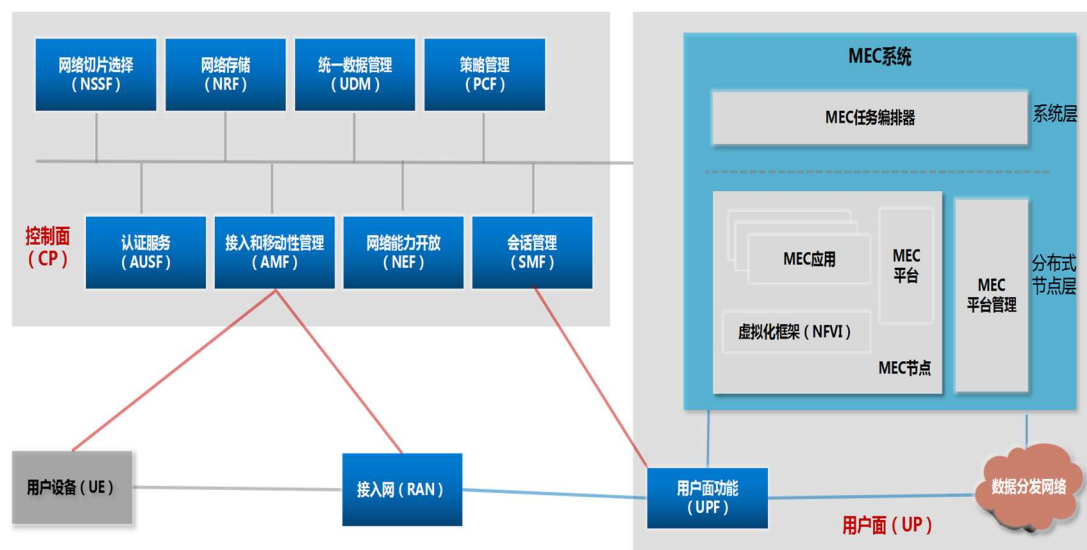


图 11 人工智能赋能 5G 核心网

人工智能可以赋能 5G 核心网（图 11）：

- 传统网元拆分：提升网络功能服务独立升级和互通能力；
- 网络功能服务管理自动化：提升自动注册、自动发现和选择、双向定期状态检测等能力；
- 网络通信路径优化：根据网络功能服务之间通信需求，动态优化通讯路径。

2.2.3 人工智能赋能 5G 网络切片

5G 之前的通信网络通常采用单一网络服务架构服务所有用户需求，这不利于提升网络资源利用率。5G 提出了采用网络切片的方式，可以根据用户的业务需求分配不同的网络资源，从而有利于提升网络资源的有效利用率。对于 5G 网络，传统的人工运维模式无法满足运营和管理大量的网络切片。如果依然采用传统人工管理模式，网络部

署、优化难度会大大增加。因此，需要采用人工智能技术智能化的管理和运营 5G 核心网络切片。

5G 网络通过引入 SDN 和 NFV 技术，可以在接入网、承载网和核心网三个层面分别引入网络切片协作机制。根据不同业务需求，这些不同层面的网络切片需要有效的协作起来组成虚拟服务网络。

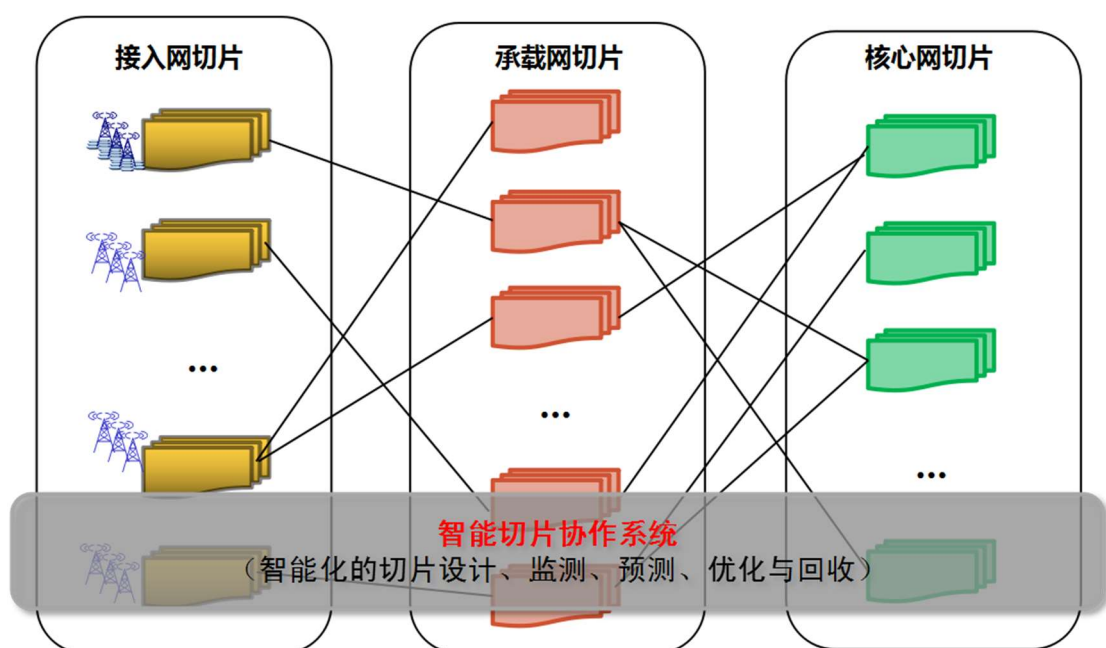


图 12 人工智能赋能 5G 网络切片的管理和运营

通过汇集业务需求、切片信息、网络状态和业务效果等信息，利用人工智能技术，可以智能化的监测和调控不同层面的切片，同时智能化的监测和调控不同层面的切片协作关系（图 12）。

在 5G 接入网切片的运营与管理方面，利用人工智能技术预测和优化接入网的 AAU/CU/DU 等切片，适应不同业务场景；提升接入网网元的协作效率、提高空口利用率，节省建设和运维成本与能源。

在 5G 承载网切片的运营与管理方面，利用人工智能技术动态监测和分析承载网资源的使用情况，按需动态组建承载网切片；同时，支持多层次的切片隔离技术，满足高隔离要求下的底层快速转发。

在 5G 核心网切片的运营与管理方面，利用人工智能技术，动态监测和分析核心网资源，以及整个网络资源和业务的使用情况，按需动态组建核心网切片，以满足核心网的弹缩和高可靠性要求。

2.2.4 人工智能赋能 SDN 网络

通过引入 SDN，5G 网络通过支持相互分离的集中式控制面与分布式数据面，从而具备开放、可编程、灵活、可扩展、易于虚拟化等特性，进而可以降低 5G 网络设备硬件成本、提升网络运营效率、提供端到端的优质网络服务。

基于 SDN 的 5G 网络面临诸多挑战，主要包括，控制面功能重构、扩展能力、兼容能力和安全问题，以及数据面的转发性能和内容缓存优化问题等。人工智能有助于提升控制面的性能与安全性，以及增强数据转发路径的预测与优化能力。

人工智能可以赋能 SDN 控制器，实现 SDN 主控制器和控制器的智能化，包括流表的智能化监测、预测、优化和回收、集中式控制面与分布式数据面的协作等（图 13）。

人工智能可以赋能 SDN 交换机，实现分布式数据面的智能化监视、预测、优化和回收，以及内容缓存的智能化监视、预测、优化和回收。

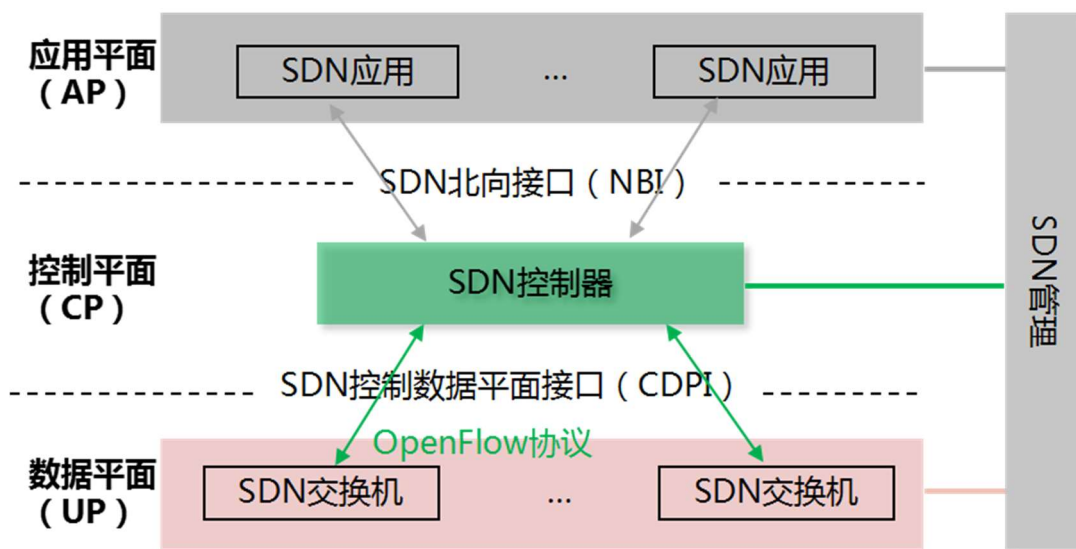


图 13 人工智能赋能 SDN 网络

2.2.5 人工智能赋能 5G 网络虚拟化

通过引入 NFV 技术，可以解耦 5G 网络功能的软件和硬件，使得 5G 网络更具弹性。NFV 与 SDN 虽然源于相同技术基础（通用服务器、云计算、虚拟化等），但两者相互独立，互不依赖。SDN 致力于 5G 网络的控制面与数据面分离及控制面集中化，SDN 与 NFV 的结合，使得 5G 网络更具开放性、可编程性、灵活性和可扩展性。

在 5G 网络中使用 NFV，在可靠性、存储转发性能、业务部署方式等方面还面临诸多挑战，需要引入人工智能解决这些挑战。

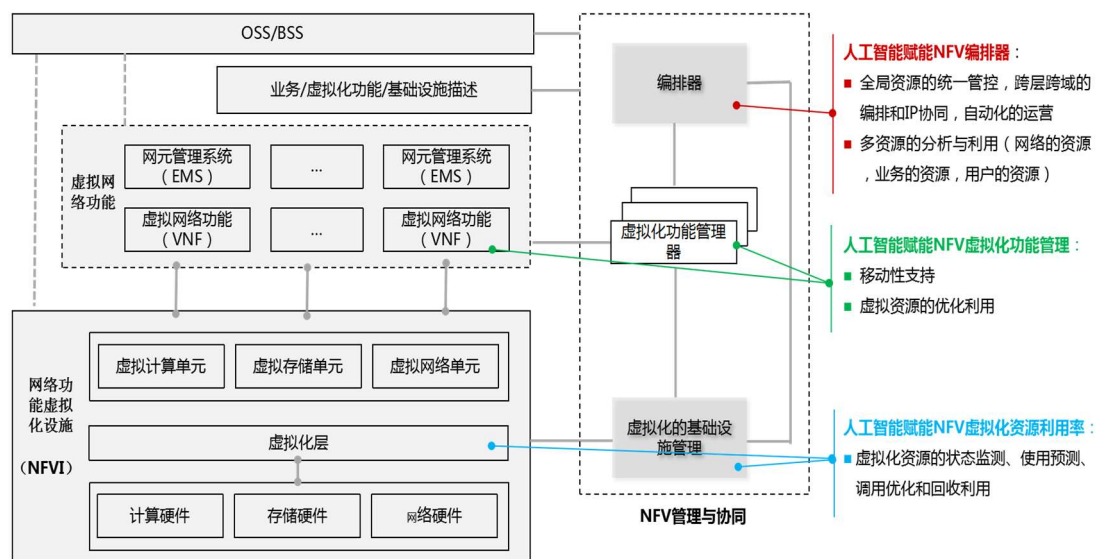


图 14 人工智能赋能网络虚拟化

人工智能可以赋能 NFV 编排器，实现全局资源的统一管控、跨层跨域的编排和 IP 协同自动化的运营，多资源的分析与利用，包括，网络的资源、业务的资源和用户的资源等（图 14）。人工智能可以赋能 NFV 虚拟化功能管理，移动性支持及虚拟资源的优化利用。人工智能还可用于提升 NFV 虚拟化资源利用率，实现虚拟化资源的动态智能化监测、预测、优化和回收等功能。

2.2.6 人工智能赋能 5G 边缘计算

边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用等核心能力的分布式开放平台，就近提供边缘智能服务。边缘计算能够有效地降低对网络带宽的要求，提供及时的响应，并且对数据的隐私提供保护。5G 网络不仅提供人与人的连接、更提供物与物的连接。在万物智能互联的 5G 时代，数据量成指数级增长，不仅

需要云端的大数据分析，在边缘侧对于提取和分析数据也有着更高的要求，边缘计算将在整个物联网的发展中发挥关键性作用。

作为分析、挖掘数据价值的创新方法，人工智能可以充分利用、释放数据价值，为数据采集、分析和增值提供全新的驱动力，也给边缘计算带来全新的发展机遇。与人工智能技术结合的智能化的移动边缘计算（MEC），使得 5G 网络能够更好的提供多重服务（图 15）。依托于 MEC，通信运营商可将传统外部应用引入移动网络内部，使得内容和服务更贴近用户，提高移动网络速率、降低时延并提升连接可靠性，从而改善用户体验，开发网络边缘的更多价值。

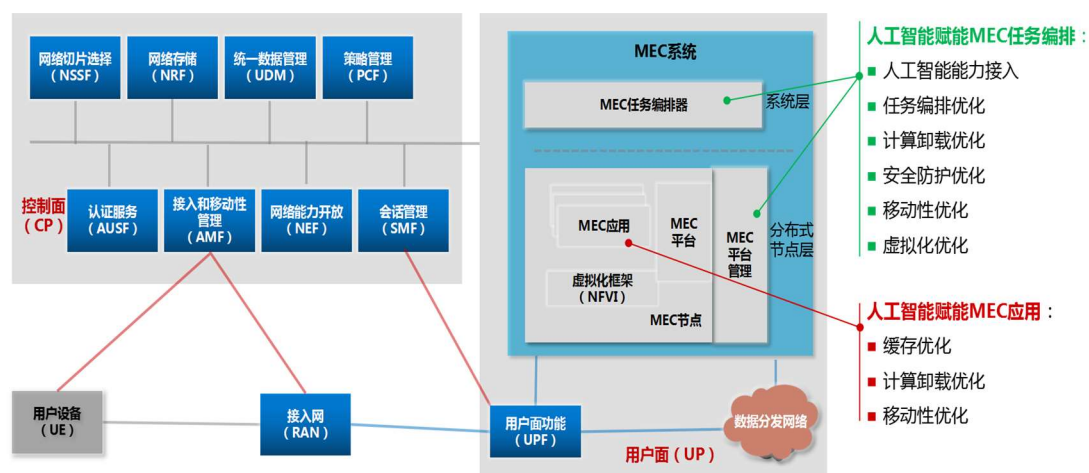


图 15 人工智能赋能 5G 边缘计算

MEC 主要应用在时延敏感、实时性要求高、大数据量等场景，比如，车间通信（V2V）、虚拟现实（AR）、边缘内容递送（MCDN）、物联网（IoT）等，通过在基站侧引入智能计算能力，通信运营商和网络业务提供商的难题将可有效缓解，业务体验将更有保障，同时无线资源的管理将可更加智能和优化，不同等级的服务都将可以实现。比如

在网络基站附近提供数据的智能处理服务，可有效拓展通信运营商的服务范围，运营商也可以从这些服务中获得额外的利润。据估计，将应用服务器部署于无线网络边缘，可在无线接入网络与现有应用服务器之间的回程线路上节省约 35%的带宽使用。将人工智能技术投入到边缘计算中，使基于 MEC 的移动网络和移动应用的无缝结合，将降低接入成本，并为网络业务和服务的创新带来无限可能。

2.2.7 人工智能赋能 5G 网络运维

5G 对应于不同层次的高度异构网络，包括多无线接入技术，多小区层，多频谱带，多类型的设备和服务等。因此，5G 网络运营管理有着极大的复杂性。通信网络运营自动化，主要包括，网络快速构建、网络主动保障以及网络智能优化（图 16）。网络快速构建是指利用人工智能技术进行网络的规划和设计，提高业务部署效率；网络主动保障是指根据网络终端访问网络的数据可以自动判断网络故障的原因，分析异常以及进行网络诊断；网络优化指的是利用人工智能技术对网络进行评估，自动生成结果，并将结果作为输入进行决策判断。

利用人工智能等相关技术，可以实时监控 5G 网络的网络状态、故障根因分析和智能资源调整，可以动态智能化地调整网络拓扑，实现通信网络的自我管理、自组织、自优化和自修复，打造智能网络。

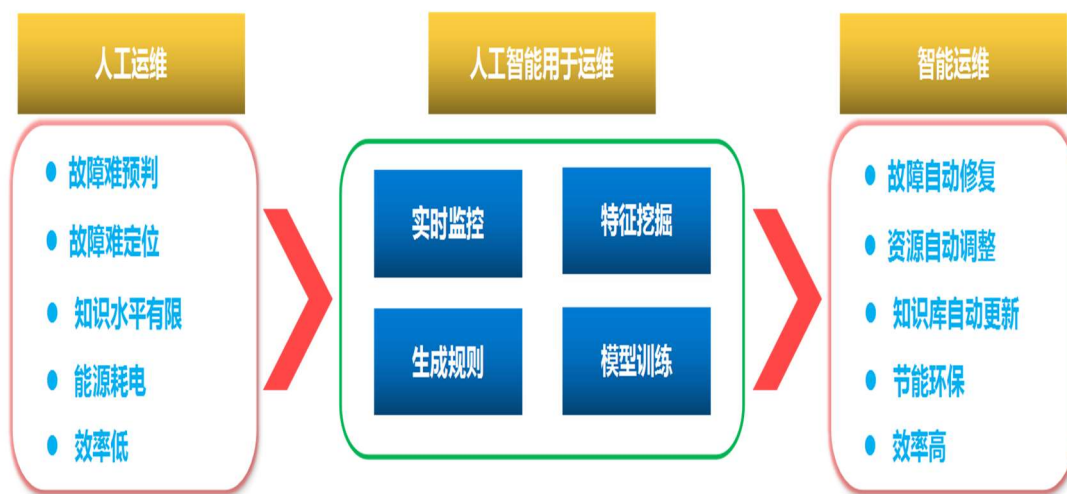


图 16 人工智能赋能 5G 网络运维

人工智能运用于网络运维，实现智能运维，具备以下优点：

- 智能调整：网络切片自动调整，满足云业务要求；
- 网络自愈：网络切片端到端管理、检测，保障网络故障自愈；
- 效率提升：SDN 端到端管控实现网络灵活部署，智能化运维；
- 节能环保：基站电源智能化管理，节能环保。

2.2.8 人工智能赋能 5G 安全

5G 安全主要包括，5G 的网络安全、应用安全、用户安全、设备安全和社会责任等。随着 5G 在通信连接、数据传输和能力递送方面的能力大幅度提升，以及 5G 网络的能力开放，保障 5G 安全面临新形势。

利用人工智能技术，基于 5G 网络的数据，可以对涉及 5G 安全的事件进行跟踪、预警、识别和应对，形成智能化和自动化的处理机制（图 17）。

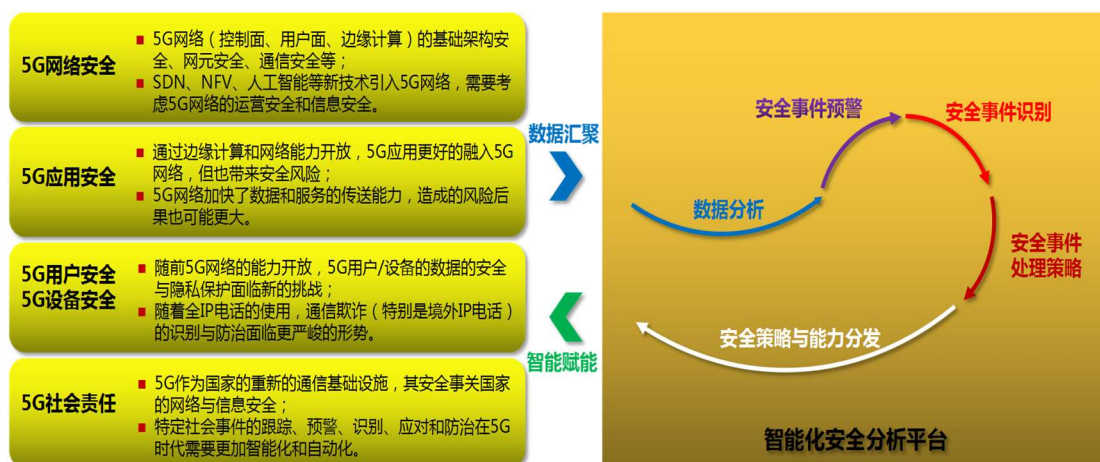


图 17 人工智能赋能 5G 安全

例如，智能化安全分析平台可以汇聚 5G 网络安全、应用安全、用户安全、设备安全等数据，经数据智能化分析，进行安全事件预警、安全事件识别、生成安全事件处理策略，并将安全策略与能力分发，赋能 5G 安全。

三、“5G+人工智能”赋能智能终端

5G 网络赋予人工智能与世界“连接”和“沟通”的能力。当智能终端的计算能力获得大幅提升时，就需要利用 5G 网络强大的连接能力来激活各类智能终端的广阔应用前景，从而形成前所未有的革命性突破。未来的常见模式可能是，人工智能在终端侧就地做完训练，最后在终端就地执行任务。5G 人工智能终端，指的是包括像智能手机、摄像头、传感器、机器人等支持人工智能技术的 5G 终端。人工智能终端正在向诸多行业扩展，比如汽车、计算、网络、内容消费、工业互联网、智能家居等。5G 人工智能终端的构成要素，大致可以划

分为五个部分：5G 芯片、人工智能芯片、终端操作系统、人工智能应用框架和 5G 应用等。

3.1 5G 芯片

5G 时代即将到来，基带芯片是最重要的芯片之一，所以在 5G 基带芯片领域竞争非常激烈，基带芯片厂商所面临的技术挑战也越来越大。目前全球拥有制造 5G 芯片技术的厂商主要有 5 家，包括：中国的华为海思和紫光展锐、美国的高通、韩国的三星、以及中国台湾的联发科。其中，华为海思的巴龙基带芯片以及三星的基带芯片基本当前都是供自家的手机产品使用，这也意味着，在公开市场上，众多手机厂商能够选择的 5G 基带芯片供应商通常只有高通、展锐和联发科。

5G 基带芯片对于芯片的设计和工艺制造能力要求越来越高，现有的 5G 基带芯片大部分采用 7nm 制造工艺。5G 基带芯片支持的通信模式同时兼容 2G/3G/4G 网络。当前大部分 5G 基带芯片都支持 5G 的 NSA 和 SA 等组网模式。通过人工智能算法可以提高传统 5G 基带处理算法的效率和性能。

3.2 人工智能芯片

人工智能芯片粗略地可以分成四类：一是经过软硬件优化可高效支持人工智能应用的通用类芯片（例如，GPU、FPGA）；二是基于 FPGA

的半定制化芯片；三是全定制化 ASIC 芯片，侧重加速机器学习（尤其是神经网络、深度学习）算法的芯片，这也是目前人工智能芯片中最多的形式；四是类脑计算芯片，受生物脑启发设计的神经形态计算芯片。

人工智能芯片的计算既不脱离传统计算，也具有新的计算特质，主要特点包括：

- 处理内容往往是非结构化数据，如视频、图像及语音等，需要通过样本训练、拟合环境交互等方式，利用大量数据来训练模型，再用训练好的模型处理数据；
- 处理过程需要很大的计算量，基本的计算主要是线性代数运算，大规模并行计算硬件更为适合；
- 处理过程参数量大，需要巨大的存储容量，高带宽、低延时的访存能力，及计算单元和存储器件间丰富且灵活连接。

目前人工智能手机是应用最为广泛的人工智能计算设备，包括苹果、华为、高通、联发科和三星在内的手机芯片厂商纷纷推出或者正在研发专门适应人工智能应用的芯片产品。另外，也有很多初创公司加入这个领域，如地平线机器人、寒武纪、深鉴科技、元鼎音讯等。传统的 IP 厂商，包括 ARM、Synopsys 等公司也都为包括手机、智能摄像头、无人机、工业和服务机器人、智能音箱以及各种物联网设备等边缘计算设备开发专用 IP 产品。

3.3 人工智能应用框架

适用于终端侧的人工智能应用框架是终端侧人工智能计算的基础，这类人工智能应用框架主要包括 Facebook 的 Caffe2、谷歌的 TensorFlow Lite、苹果的 Core ML，以及新秀 Bender，百度 MDL 和支持移动端的 MXNet。这些典型的人工智能应用框架大部分是开源的，开源许可存在一定的区别，但大部分都受美国政府的政策影响。

3.4 人工智能终端应用

随着终端人工智能芯片、开源框架和应用的快速发展，云端训练和终端推理成为可能和趋势。终端侧人工智能技术不完全依赖于网络连接和云端服务，用户数据的隐私得以保护，用户体验得以大幅度提升。比较典型的人工智能终端应用包括人脸识别、智能语音助手、和智能美颜等。

人脸识别，是基于人的脸部特征信息进行身份识别的一种生物识别技术。用摄像机或摄像头采集含有人脸的图像或视频流，并自动在图像中检测和跟踪人脸，进而对检测到的人脸进行脸部识别的一系列相关技术，通常也叫做人像识别、面部识别。人脸识别主要用于身份识别，目前在智能终端中用于设备解锁、安全支付等。

智能语音助手拥有播放新闻、天气、查询时间等基础功能，并加入了对于智能家居的深度管理和控制，给予用户更多自由。目前常见

的语音助手有苹果的 Siri、三星的 Bixby、谷歌的 Assistant、亚马逊的 Alex、小米小爱同学、vivo 的 jovi 等。业界统计显示，2018 年在全球出售的智能手机中，有 48% 以上的智能手机都配置了智能语音助手。

人工智能美颜是通过采集面部的特征点，然后智能分析出用户的年龄、肤色等特性，然后采用面部分区或者多维组合的方式进行精细化美颜，让成片更为精准。人工智能美颜在细节的处理更为出色，更为自然，不会有早期美颜的那种大片涂抹感，整个照片看上去层次感更强。

随着人工智能终端的计算能力越来越强，人工智能终端的各种智能化应用将会对人工智能的应用与推广起到良好的促进作用。

3.5 人工智能终端

人工智能终端，例如，智能手机、智能家居、智能硬件、VR/AR、智能可穿戴、智慧交通等领域，纷纷吸引各大科技巨头入局。虽然人工智能终端目前还处于初步发展阶段，但是相关企业的纷涌而入以及泛智能硬件的快速发展，使得通信运营商的引导和支持作用变得尤为重要。在通信运营商乃至整个通信产业，利用 5G 提升人工智能终端性能是目前重要的研究方向。

3.5.1 个人终端

个人用户最重要的智能设备是智能手机，各大手机厂商纷纷推出顺应市场的各种类型的智能手机。另外近两年备受关注的智能可穿戴设备，例如，智能耳机、智能手表等，也层出不穷。

(1) 人工智能手机

人工智能手机广义上是指搭载了满足人工智能算力需求的移动端芯片、且加载了深度学习功能的智能手机。人工智能手机的主流功能不仅在实时性、准确性、处理效率等指标上表现优秀，还在人工智能算法与算力的支持下，通过自我学习尝试理解人类世界的逻辑，通过自主服务变得更便捷，提升了用户体验。

(2) 可穿戴智能设备

语音人工智能技术的成熟，极大提升了可穿戴设备的交互体验，从而也推动了可穿戴设备的发展。另外，也有厂商尝试推出基于视觉人工智能，让 AR 眼镜与智能手表相结合的交互技术。这种交互方式不像语音输入会受到噪声环境的干扰，适合制造业、医疗保健、文档管理和安全领域等行业人员使用。

3.5.2 家庭终端

针对家庭用户，国内外互联网厂商对智能语音技术与智能音箱业务都进行了布局，推出了人工智能音箱产品。智能音箱是在传统音箱

基础上增加了智能化功能，主要体现在三个方面，与用户进行智能化语音交互，提供音乐、有声读物、信息查询、外卖、O2O 等互联网内容服务，以及控制智能家居。

3.5.3 物联网终端

支撑万物互联是 5G 的理想与目标。5G 时代的人工智能终端种类丰富，既有移动互联网人工智能终端（主要是 5G 人工智能手机），还有海量的物联网人工智能终端（比如，无人机、无人车、智能机器人等）。

智能感知与计算技术，以及大数据技术的融合，使得无人机具有一定的避障及路径规划功能；通过人工智能算法，使得无人机在无人控制的情况下自主检测周围环境、自主避障并选择出最佳路线。5G 技术将增强无人机运营企业的产品和服务，以最小的延迟传输大量的数据。5G 与人工智能技术的融合，可以帮助无人机支持诸多领域的解决方案，可以更加广泛的将无人机应用于建筑、石油、天然气、能源、公用事业和农业等领域。

无人驾驶汽车主要依靠车内以计算机系统为主的智能驾驶仪来实现无人驾驶的目标。它集自动控制、体系结构、人工智能、视觉计算等众多技术于一体，是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物。自动驾驶、无人车等都需要安全、可靠、低时延和高带

宽的连接，这些连接特性在高速公路和密集城市中至关重要，只有 5G 可以同时满足这样严格的要求。通过为汽车和道路基础设施提供大带宽和低时延的网络，5G 有利于提供高阶道路感知和精确导航服务。

智能机器人天然具备移动通信的属性。在对智能机器人进行安全控制的过程中，必然需要依托大带宽、低时延和超高可靠性的 5G 网络，这将是智能服务机器人产业化的必由之路。

3.6 5G 人工智能终端

现在新型智能手机（包括部分 4G 手机和大部分 5G 手机）基本上都或多或少的支持人工智能技术。这些智能手机中，比较常见的人工智能应用包括，智能助手、生物识别、图像拍摄、图像识别等，手机生产商大都致力于把人工智能技术应用到手机芯片、整机、应用等不同领域，不断推出新技术和新产品，比较典型的有 iPhone X 系列、华为 Mate X 系列、三星的 Galaxy S 系列以及国内手机厂商 vivo、小米、OPPO 等。

四、“5G+人工智能”典型应用场景

人工智能应用通常大都是端到端的应用场景，数据的采集在前端，数据的处理、增值在云端，增值后的结果再回到前端，以提高前端设备的处理能力和处理效果。在这样一个人工智能应用闭环中，会产生

很多对 5G 大带宽、低时延、高可靠性网络的需求。通过 5G 的连接，将决策、规划部分放到云端处理，从边缘端到云端加倍赋能，让人工智能算法有能力提取出相应的关联并提升自己；个体得到提升之后，通过 5G 网络和云端大脑，能力将快速分发到其他个体。5G 还提供了在整个人工智能架构上把边缘计算充分利用起来的可能，让更多的数据可以快速地在靠近应用场景的地方被处理、被识别。

5G 面向万物互联，支撑三大典型应用场景：

- 增强型移动宽带（eMBB），主要追求人与人的极致通信体验，对应于 3D、超高清视频等大流量移动宽带业务；
- 高可靠低时延（uRLLC），面向如自动驾驶、移动医疗等对时延和可靠性要求极高的应用；
- 海量物联（mMTC），主要体现物与物的通信需求，应用于智慧城市、智能家居、可穿戴设备等以传感和数据采集为目标的场景。

业界预计 eMBB 业务将于 2020 年率先成熟；uRLLC 业务的实现需基于 5G 网络切片及 NFV/SDN/MEC 等技术的成熟应用，预计将于 2022 年成熟；在一段时间内，物联网仍将以 4G 物联网技术为主，基于 5G 的 mMTC 业务将会出现在 5G 网络部署的第二或第三阶段。



图 18 5G 典型应用场景

对几大典型人工智能应用场景，5G 网络将使其能力得到优化和提升。这几大典型应用场景基本涵盖三大特点：

- 提供沉浸式、及时、个性化、隐私保护的用户体验；
- 计算能力不再全部集中在云端，而是可以分布在网络的各个环节中；
- 终端侧的必要能力，与移动边缘设备形成的边缘云服务进行互补。

4.1 自动驾驶

5G 连接和人工智能将支持智能交通和自动驾驶中需要立即反应的场景，例如，无人驾驶、远程驾驶等。

目前，4G 网络下仅可以实现部分无人驾驶，而 5G 在理论上可以支撑完全无人驾驶，并且会全方面的影响无人驾驶。5G 对无人驾驶的

支撑体现在以下几个方面：首先，5G 可以实现地图零误差，高精度地图的实时传导，高速状态下反馈信息的及时送达等，为无人驾驶提供低时延、高可靠、高流量的网络支持。5G 真正实现高精度地图的实时传输，实现厘米级导航，从而实现低延时的全局路径规划导航，为自动驾驶提供坚实的基础。其次，5G 网络可以大大缩短响应时间。响应时间对于自动驾驶汽车行业来说非常重要，0.1s 的时间差就有可能造成不可逆转的损失。5G 的高带宽、低延迟、大容量数据传输特性，能够迅速将数据传输至云端，真正实现实时计算和处理，保障了车辆及其他驾驶员的安全，并且可以帮助实现汽车内部的数字服务，提高乘客的体验感。

智能汽车可与智慧交通甚至智慧城市的人工智能基础设施通过 5G 进行连接。智能汽车的行车路线规划、时速、启停均可受到智慧交通的人工智能统一管理。车辆传感器会将行车过程中的路况信息及时与智慧交通人工智能进行同步，并且可以增强无人驾驶车辆之间和车路之间的相互通信效率，提升车辆避险和编队的的能力。当有紧急或意外情况发生时，车辆人工智能主动进行控制，同时向智慧交通人工智能进行实时汇报，以便等候进一步的指令。而智慧交通人工智能则会向其它相关自动驾驶车辆进行信息同步，并产生进一步的自动控制。5G 高可靠、高带宽、低延时等诸多优势推动着无人驾驶的车车协同、车路协同、车人协同等一系列应用共同发展。

4.2 智慧新媒体

新媒体是指利用数字技术和网络技术，通过互联网、宽带局域网、无线通信网、卫星等渠道，以及电脑、手机、数字电视机、VR/AR 等终端，向用户提供信息和娱乐服务的传播形态。5G 网络为高清视频直播中的视频上传和无卡顿的收看提供了保障，同时 5G 网络恰好适配了 VR/AR 对网络的需求，使 VR/AR 得到更好的体验。基于 5G 技术，目睹即播，可以实现随时随地直播。

VR/AR 需要大量的数据传输、存储和计算能力，以及对带宽的需求巨大；5G 的高带宽、低时延等特性将给 VR/AR 行业带来很大的突破。同时在 5G 的环境下，VR/AR 的云化处理也将是未来的主要趋势。依托高速低时延网络，把复杂的渲染和计算放到云端，大幅度降低对终端性能的要求，设备就可以更轻、更小、更便捷，降低入门要求，有利于 VR/AR 应用的推广。5G 边缘计算实现云 VR/AR/MR，视频多样化，用户足不出户就能获得身临其境的观感体验。人工智能技术可以根据无线传播环境、用户移动性特征和用户业务使用行为等数据，对视频内容进行精准推荐，并可助力内容审核智能化、媒体舆情分析智能化。

4.3 工业互联网

5G 因为其高速率、低时延、海量连接等优势特性，成为工业互联网的重要通信与服务基础设施。可以支持工业互联网对于工业控制、信息采集等应用需求，并且支持多业务场景、多服务质量、多用户及多行业的隔离和保护。5G 边缘计算可以解决工业互联网在异构网络融合、业务融合、数据融合、数据安全、隐私保护等方面的需求。

工业互联网中工厂生产设备间的实时通信、以及海量传感器和人工智能平台的信息交互，和人机界面的高效交互，对通信网络有多样化的需求以及极为苛刻的性能要求，需要引入高可靠的无线通信技术。5G 可以解决设备之间数据通信对时间要求很高的问题，实现工厂内设备与传感器等的实时采集及低时延无线传输，生产线全生命周期管控，车间与车间的全连接，工厂内的零部件及产品的质量自动化检测。通过边缘数据处理、跟踪及聚合能力的增强，提升工业互联网业务的高可靠、低时延等性能指标，提供更好的安全和用户隐私保护，优化资源共享和用户体验。

自动化控制是工业互联网中最基础的应用，核心是闭环控制系统。5G 切片网络可以提供极低时延、高可靠，海量连接的网络，使得闭环控制应用通过无线网络连接成为可能。在终端侧直接进行人工智能处理，解决大量工业设备自主控制的难题，实现未来工业向分布式生产、智能自动生产以及全流程透明化生产发展。

4.4 智慧医疗

5G 的高速率、低延迟和万物互联等特点，为医疗行业在可穿戴设备、远程会诊等领域的应用发展提供了基础，为医疗行业的智能化提供了可能。

在急救方面，5G 帮助建立更快更稳定的急救通讯系统，保障急救工作各方面密切配合，利用 5G 传输超高清视频和智能医疗设备数据，协助在院医生提前掌握急救车上病人的病情。在医院智能化方面，可以利用 5G 对手术视频和医疗视频等进行远程直播，结合 AR，帮助基层医生实现手术环节的异地实习。传输的高清视频与力量感知设备结合，为医生提供更真实的病况，为病人提供高阶远程会诊。查房机器人的出现帮助实现医院智能化，实现医生实时远程查房，减轻医生的负担。在疾病预防方面，5G 支持实时传输大量人体健康数据，协助医疗机构对穿戴者实现不间断身体监测。可以更好地支持连续监测和感官处理装置，不断收集大量患者的实时数据，人工智能利用这些数据对大众健康进行全面且连续的记录与分析，进一步推荐适合的健康保健方案。

4.5 智慧环保

5G 的高速度、大容量、低时延、低功耗等特性，将成为环境监测的技术利器，为实现海量设备接入和数据传输提供基础支撑。

在环境监测方面，5G 和人工智能、物联网、区块链、大数据等技术联合，可以实现环境与平台、平台与人之间的实时信息交互，还可以为多个城市之间提供共享数据，协助联防联控。智慧环保还涉及连接海量的物联网终端，5G 为物联网带来更高效的信息传输通道，实现了设备之间的互联通信，信息实时交互。和传统平台的抽样分析相比，5G 数据流量的容量更大、处理速度更快，可以将环保数据从抽样分析变为全量数据分析，带来更精准、更具普遍性的分析结果。

人工智能与 5G 融合，可以有效提升终端数据处理效率，促进环保智能化，解决智慧环保中无法同时处理海量数据等问题。5G 支持海量终端互联，实现环境与传感器、传感器与平台、平台与人之间的实时信息交互。

4.6 智慧港口

智慧港口以港口操作智能化、物流服务电商化、企业管理平台化为主要特征，融合工业物联网、云计算、大数据、人工智能、5G 等新技术。5G 网络满足港口设备毫秒级的端到端时延、高稳定性及可靠性等严苛要求，提升港口智能化水平。

5G 可以整体提升港口的智能化水平，借助 5G 精准的定位能力，推动智能机械代替人工，实现港区无人驾驶和搬运。利用 5G 无线视频回传能力，实现现场安全监控、实时数据采集、远程处置调度等，

实现生产指挥精细化。5G 为实现自动驾驶、远程操控、主动预警、智能安防等奠定基础，有助于全面提升港区自动化和智能化水平。5G 网络保障无人驾驶安全，实现自主定位、自主导航的无人驾驶；同时，无人运输车可根据码头实际路况，自主规划出集装箱水平运输的最优驾驶线路；结合 5G 低时延网络进一步实现港区无人智慧闸口、无人智慧吊装等功能。通过 5G 高速网络实现信息系统指令与码头机械设备控制功能的无缝衔接，从而实现智能调度。

4.7 物联网

物联网也是 5G 和人工智能的重要应用场景。5G 空前提提升网络上行速率，为物联网带来更高效的信息传输通道；而引入人工智能技术，则为物联网提供更智慧的信息收集入口。目前，云计算、大数据、人工智能相继成熟，大规模发展物联网前提条件已经具备，随着 5G 即将落地，超高可靠和超低时延通信帮助物联网真正实现万物互联。另外，5G 快速的响应速度、高质量的连接网络，为智能工厂、智慧城市、自动驾驶等纵向应用提供了坚实基础。5G 支持广连接的特性，使得更多海量的物联网设备可以通过 5G 互联互通或者访问云端服务。

4.8 智慧物流

在智慧物流领域中，存在诸多应用，例如智慧仓储、智慧运输、智慧管理等，5G 可以促进这些应用的智能化能力，提高智慧物流的智能化水平。5G 的大带宽、低时延等特性可以满足物流行业对于网络的需要。5G 的低时延特性可以应用于物流领域中的全自动化运输货物承运车、智能挂车等场景中。5G 的大带宽特性具有小数据包、海量连接、多基站间协作等特点，可以适用于以传感和数据采集为目标的物流应用场景。

5G 可以促进物流应用优化，提升工人安全和提高资产定位与跟踪效率，从而最小化成本。5G 网络接入的海量设备，将为物流领域的人工智能系统带来丰富的数据资源。基于 5G 优点，提供物流仓储园区内无人机、无人车巡检以及人防联动系统，实现人、车、园区管理的异常预警和实时状态监控。依托 5G 定位技术，实现车辆入园路径自动计算和最优车位匹配。5G 的高带宽、低延时和抗干扰特性能够为物流机器人提供端到端定制化的网络支撑，可以对物流机器人的实时通信提供强大支撑，使得机器人运行更加安全。

4.9 智慧能源

在能源领域，需要实时监测能源数据，进行能耗分析和管理工作。5G 可以支撑能源数据监测、管道监控排查、无人机巡检、机器人巡检、

智能安防等智慧能源应用场景。通过 5G 可以连接更多的能源设备，提升智慧能源中的人工智能能力，实现能源产业中的智能化服务。

4.10 智能安防

智能安防致力于实现终端产品智能化一体化，使终端产品能够连接无线传感，并通过互联网传输报警信息。终端侧的人工智能服务具有即时响应、高可靠性、隐私保护强，以及高效利用网络带宽等诸多优势。人工智能和 5G 技术在安防终端侧的应用正在走向融合，并逐渐成为带动新一代技术革命的“发动机”。在智能安防场景中，5G 可以实现全景高清摄像头对于智慧能源场站的实时监控及综合环控。5G 可以助力能源产业的智能化升级，实现能源产业中智能设备的远程监控、实时跟踪、自动修复、交互模式等新服务，同时为数据和内容的传送、管理和响应提供强有力的支持。利用 5G，可以实现无人机、机器人巡检作业，电站现场无人机、机器人巡检等视频图像的实时高清回传，实现数据传输从有线到无线，设备操控从现场到远程。

五、“5G+人工智能”融合发展建议

人工智能给 5G 网络的演进带来了更多的机会，从实践领域上看，利用人工智能技术赋能 5G 网络意义重大。

5.1 人工智能与 5G 网络融合发展

人工智能与 5G 网络的融合，核心点在于利用人工智能来促进 5G 网络的自检测、自修复和自优化。汇集 5G 网络的业务数据和检测数据，训练人工智能模型，结合 SDN 和 NFV 等技术，实现 5G 网络的自修复和自优化，同时使用人工智能提升 5G 网络切片（接入网、承载网和核心网）的服务效率（预测、预设、监测、回收和优化等）。在此过程中面临一些亟待解决的问题，主要包括：

- 数据问题：如何获取、整理、清洗和利用 5G 网络和业务数据（包括，用户设备、接入网、承载网、核心网、边缘计算的数据）来训练人工智能能力？
- 部署问题：如何核算成本并部署 5G 网络和业务的监控节点、大数据处理节点、人工智能计算节点、人工智能能力训练节点？
- 运营问题：如何支持 5G 网络能力的动态调度？
- 开放问题：如何开放 5G 网络能力？
- 维护问题：如何有效提升 5G 网络维护能力，同时还要降低维护成本？

针对以上问题，提出如下发展建议：

- 在 5G 网络中应用 SDN 和 NFV 技术，解耦 5G 网络的硬件与软件，解耦 5G 网络的信令控制与数据传送服务，支持 5G 网络

能力的动态调整；

- 根据业务需要，逐步在 5G 网络中部署监控节点，汇集 5G 网络和业务数据到大数据中台，清洗和整合大数据，用于研发适用于 5G 网络的人工智能能力；
- 利用人工智能技术，提升对 5G 网络 and 业务的感知、预测和维护能力，提升 5G 网络动态调整的有效性和实时性。
- 完善 5G 网络的边缘计算能力，并通过 5G 边缘计算来提升 5G 网络开放能力，利用人工智能来提升 5G 网络的保护能力。

5.2 人工智能与 5G 业务融合发展

5G 网络服务的虚拟化和定制化，以及 5G 边缘计算的开放性与灵活性，为人工智能与 5G 业务融合提供重要的基础。人工智能与 5G 业务的融合，核心点在于 5G 网络支持人工智能能力的“就近”部署与“就近”访问，支持客户的定制化网络服务需求，以及数据安全与隐私保护需求。在此过程中面临一些亟待解决的问题，主要包括：

- 数据问题：客户在使用 5G 网络时，是否可以和如何控制自己数据的安全、隐私、访问与管理等问题？
- 网络问题：客户在使用 5G 网络时，是否可以和如何就近计算或自主计算？是否可以和如何支持灵活可靠的组网模式？
- 运营问题：使用 5G 网络和业务平台时，是否会增加业务运营

和维护成本？

- 开放问题：如何方便地使用 5G 网络来部署业务？是否有开放平台可以快速方便的支撑定制业务？

针对以上问题，提出如下发展建议：

- 利用 5G 网络切片和人工智能技术，动态有效地支持客户的网络服务定制化需求；
- 利用 5G 边缘计算，支持客户就近计算和自主计算，及灵活组网需求；
- 提供 5G 边缘计算平台和开放接口，提供部分共性计算能力，并支持客户定制化计算需求；
- 5G 边缘计算节点与边缘计算平台提供一定的人工智能计算能力，同时支持第三方人工智能的能力接入；
- 解决好 5G 边缘计算与人工智能中台的协调关系。

5.3 利用“人工智能+SDN/NFV”赋能 5G 网络

在 5G 终端、接入网、边缘计算和核心网等关键位置分布式部署网络人工智能能力，利用 5G 网络大数据和人工智能技术，提升 5G 网络的设计、建设、运营和维护的智能化水平（图 19）。

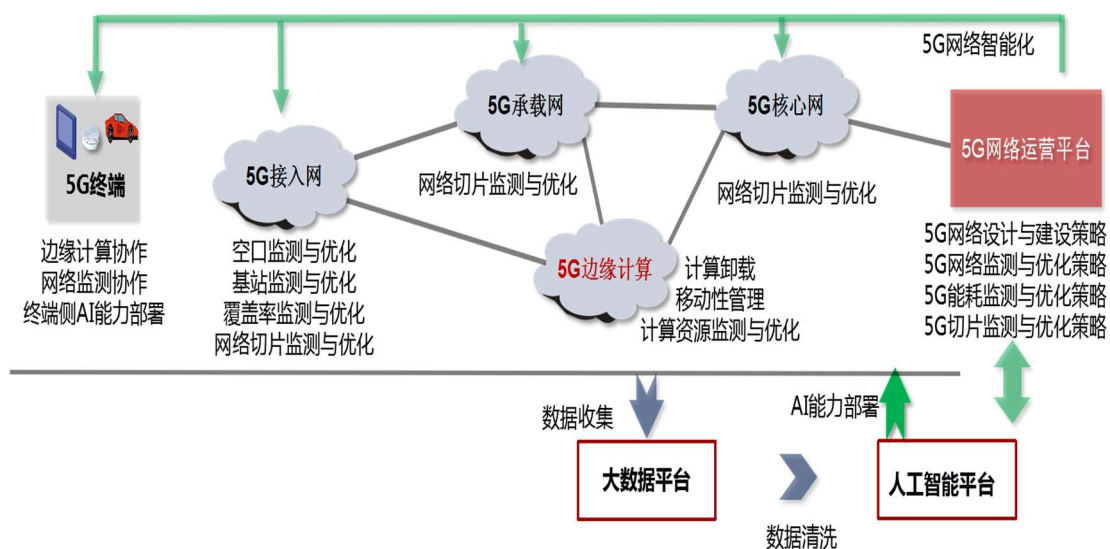


图 19 利用“人工智能+SDN/NFV”赋能 5G 网络

例如，部署于 5G 网络的各个关键位置的网络人工智能能力就近支撑 5G 网络运营，并收集相关大数据；人工智能平台利用收集的大数据，训练网络人工智能能力，并反向部署于 5G 网络和 5G 网络运营平台。

5.4 利用“人工智能+边缘计算”赋能 5G 网络

在接入网部署边缘计算结点，并针对不同业务提供差异化的网络切片服务策略，利用 5G 网络、边缘计算和人工智能等技术，提升 5G 业务（包括消费互联网、产业互联网、家庭互联网的 5G 业务）的功能和性能（图 20）。

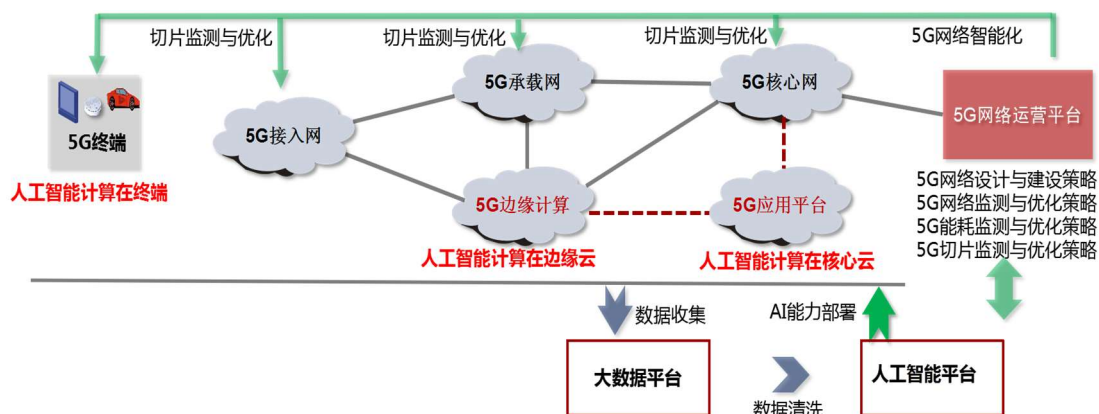


图 20 利用“人工智能+边缘计算”赋能 5G 网络

例如，5G 网络根据业务属性和业务配置提供智能化和差异化的网络切片服务；人工智能平台利用收集的 5G 网络和业务大数据，训练人工智能能力，并反向部署于 5G 网络、5G 边缘节点、5G 网络运营平台、5G 应用平台；优化 5G 边缘计算与 5G 应用平台及 5G 网络的协作。

5G 是万物互联的基础，人工智能则是实现万物智能的工具。5G 与人工智能相辅相成，人工智能使能于 5G，优化 5G 网络，5G 同样使能于人工智能，让人工智能无处不在。下一个时代，将是 5G 和人工智能的融合应用时代。5G 作为新的基础网络设施，将同时满足人与人、人与物、物与物之间的连接，同时结合人工智能的先进技术，共同推动万物智能互联。