

1.1 时代背景

2019 年 10 月召开的 ITU SG13 全体会议上，由中国移动主导，中国电信、华为、中科院声学所共同提出的“算力感知网络的需求及应用场景（Cloud Computing-Functional Requirements of Computing-Aware Networking）”立项获得全会通过，成为算力感知网络的首个国际标准项目，标志着算力网络在国际层面获得认同。

作为我国率先提出的一种原创性技术理念，算力网络是指依托高速、移动、安全、泛在的网络连接，整合云、边、端等多层次算力资源，提供数据感知、传输、存储、运算等一体化服务的数字信息基础设施，推动算力成为像水力、电力一样“一点接入、即取即用”的社会级服务。“算力好比电，算力网络好比电网。电网支撑着数亿人和不同商业的用电需求，而在万物智联时代，算力网络可以满足自动驾驶、云游戏、人脸识别、VR/AR 等新兴应用的实时计算需求。”全国政协委员、云南联通党委书记、总经理张云勇在 2022 年两会的提案中指出。

在算力服务对经济发展的带动性上，随着各行各业数字化转型的推进，算力的经济发展带动作用也越来越突出。据中国信通院测算，2016 年至 2020 年，我国算力规模平均每年增长 42%，能撬动数字经济增长 16%、GDP 增长 8%。从投入产出看，2020 年我国算力产业规模达 2 万亿元，直接带动经济产出 1.7 万亿元，间接带动经济产出 6.3 万亿元。平均来看，算力每投入 1 元，将带动 3 ~ 4 元 GDP 经济增长。算力对经济发展的带动能力可见一斑。未来随着我国产业升级、数字化转型的深入及社会智能化水平的提高，算力在整个社会经济发展中起到的基础性作用将会越来越突出。

然而，虽然算力对经济的带动能力很强，算力增长非常迅猛，算力产品规

模也位于全球前列，但我国目前的算力资源情况依然无法满足当下的业务需求，更无法满足 5G 时代新业务对算力的爆发性需求。公开数据显示，目前我国数据中心规模已达 500 万标准机架，算力达到每秒 1.3 万亿亿次浮点运算，但算力需求每年仍以 20% 左右的速度快速增长。5G 时代的到来及智能化应用的发展带来大量新业务，比如 VR、AR、自动驾驶，元宇宙场景等，其计算量需求暴增。根据华为在“泛在算力，智能时代的基石（华为）”中的评估，目前全球算力分布从低算力国家的 100 GFLOPS/人到高算力国家的 2500 GFLOPS/人，即使是高算力国家，也只是进入智能社会的初级阶段。而中级阶段的人均算力为 10000 GFLOPS/人，我国距高算力国家尚有很大的距离。因此，算力在未来有很大的发展前景。目前集中式的云计算不再能够满足未来算力的需求。未来的很多业务场景需要根据业务特性、价格、网络条件来选择合适的算力，而云计算数据中心通常集中部署于某些地区，在时延上无法满足新业务需求。在此背景下，国内巨头纷纷开始进军布局算力网络。

作为数字基础网络的建设者与拥有者，“近水楼台”的运营商也成为布局算力网络最为积极的厂商。以中国移动为例，目前计划将依托“4+3+X”数据中心布局，按需部署网络节点、增设直连链路、调整组网架构，实现移动云中心节点间全互联组网。

以上海为例，据全国人大代表、上海移动董事长陈力在 2022 年两会期间介绍，上海正积极建设以 5G、算力网络、智慧中台为重点的新型信息基础设施，助力构建“连接+算力+能力”的新型信息服务体系，为上海经济、生活、治理三大领域数字化转型融合注智赋能。

同时，中国电信则明确了“2+4+31+X”的数据中心/云布局，未来将加快在八大枢纽节点的征地、建设工作，预计到“十四五”规划末，数据中心机架规模在相关区域占比达到 85%；中国联通则提出，将按照全国一体化大数据中心体系总体布局及八大算力枢纽节点的要求，优化“5+4+31+X”资源布局，实现大规模算力部署。此外，阿里、腾讯、华为、百度、字节跳动等也相继在全国多地布局数据中心。

在中国移动董事长杨杰看来，加快算力网络创新发展，不仅有利于贯彻落实国家“新基建”部署要求，推动算力资源的精准配置和按需获取，同时也将促进东部数字经济产业链向西部延伸拓展，有效降低算力能源消耗，助力区域协调发展和国家碳达峰、碳中和目标达成。

1.1.1 国家战略

近年来，随着社会经济的发展，尤其是新冠肺炎疫情给实体经济带来的直接困难表现下，数字经济的引擎作用日益突出。2021年发布的《中国互联网发展报告 2021》显示，2020年中国数字经济规模达到39.2万亿元，占GDP比重达38.6%，保持9.7%的高位增长速度，成为稳定经济增长的关键动力。中国数字产业化规模达到7.5万亿元，不断催生新产业、新业态、新模式，向全球高端产业链迈进；产业数字化进程持续加快，规模达到31.7万亿元，工业、农业、服务业数字化水平不断提升。

然而，在数字经济的发展下，我们也看了一些问题，比如数据中心在地理上分布不均，带来资源不协调的矛盾。东部区域经济发达，对数据中心的要求很高，但在寸土寸金的东部区域，数据中心的建设带来了资源紧张，同时，数据中心对能耗的需求越来越高，电力成本激增，社会成本越来越高。而拥有丰富可再生资源、气候适宜、地广人稀的西部区域，其数据中心建设较少，但网络带宽低，跨省数据传输费用高。面对如此局面，我们思考，能否在IT基础设施上实施类似“南水北调”的方案，将东部密集的计算和存储需求引入成本较低的西部，一方面降低东部的计算存储成本，另一方面也在新基建上提升西部地区的基础设施建设水平，形成共赢的局面。

针对以上问题，国家层面有过很多的思考。在我国数字经济健康发展的集体学习中，强调要加快新型基础设施建设，加强战略布局，加快建设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合数据信息基础设施，打通经济社会发展的信息“大动脉”。

为推动数字经济发展，我国陆续出台了多项政策，加快构建以算力和网络为核心的新型基础设施体系。

以下是标准化组织或者国家陆续提出或出台的一系列标准和政策。可以看到国家对于算力网络的布局和推进是在不断前进的。

2019年，中国运营商在国际标准组织中倡导算力网络：10月的ITU-T SG13全体会议上，中国移动主导的“Functional Requirements of Computing-aware Networking”立项获得全会通过；中国电信主导的“算力网络框架与架构草案（Framework and Architecture of Computing Power Network）”获得通过。

2020年8月，网络5.0产业联盟启动算力网络研究：信通院牵头的网络5.0

产业联盟成立“算力网络特设研究组”，在网络领域中启动算力网络的前沿研究。

2021年3月，“十四五”规划要求强化算力的统筹智能调度，要求“加快构建全国一体化大数据中心体系，强化算力统筹智能调度，建设若干国家枢纽节点和大数据中心集群，建设E级和10E级超级计算中心”。

2021年5月，四部委联合发文，启动“东数西算”工程：发改委、网信办、工信部、能源局联合印发《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》，明确提出布局全国算力网络国家枢纽节点，启动实施“东数西算”工程，构建国家算力网络体系。

2021年7月，工信部发布“东数西算”工程指引下的算力发展格局：工信部印发《新型数据中心发展三年行动计划（2021—2023年）》，明确用3年时间，基本形成布局合理、技术先进、绿色低碳、算力规模与数字经济增长相适应的新型数据中心发展格局。

2021年9月，算力网络纳入6G网络关键技术：IMT-2030（6G）推进组发布《6G网络架构愿景与关键技术展望》白皮书，将算力网络技术列为6G网络关键技术。

2022年2月，“东数西算”工程正式全面启动：国家发改委、中央网信办、工信部、国家能源局联合印发通知，同意在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏8地启动建设国家算力枢纽节点，规划了10个国家级数据中心集群。

“东数西算”的数据中心布局，会因地制宜，根据不同地理位置的能源结构、产业布局、市场发展、气候环境等不同因素，分类布局不同类型的数据中心，形成梯次配置，包括国家枢纽节点、省内数据中心、边缘数据中心、老旧数据中心和海外数据中心等。

针对国家级枢纽节点，根据“4+4”的枢纽节点配置，重点统筹打造京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝等枢纽，为周边经济的发展提供持续的数字化算力资源支撑，满足区域发展战略的实施需求；而在贵州、内蒙古、甘肃、宁夏等可再生资源丰富、气候适宜的区域，发挥资源优势，提升网络质量，打造非实时性算力保障基地。

“东数西算”是国家层面算力网络的一次大范围、超大项目的落地。该项目会为算力网络后续在更多业务场景下的应用提供宝贵经验。

1.1.2 5G时代的智能化应用对网络架构提出了新的要求

自从因特网的广泛使用开始，传统应用一直以下行流量的使用为特征，比如，浏览网页、VOD点播、IM社交、网络购物等。用户浏览的内容绝大部分都位于业务提供方的机房，或者大型数据中心。用户通过终端发送浏览请求，从服务端获取请求的信息，通过网络传输至用户终端，实现业务的供给。用户对于短暂的延时宽容度比较高，视频缓冲数秒，或者页面在1~2秒内打开，或者实时消息稍微晚点完全可以接受，因此，互联网业务一直比较顺利。

然而，随着5G时代的到来，以及5G场景下的业务创新，我们发现目前的网络架构已经很难满足未来的业务需求了。新场景如下：

- 虚拟现实的游戏环境中，玩家需要用自己的虚拟形象，以自己的实际动作，与在线的其他玩家实时互动。在这种场景下，终端设备需要对用户进行多角度全方位音视频采集，并按照用户的自定义设置渲染成为不同的效果，并实时展现在虚拟的场景中，完成与其他玩家的互动。
- 远程手术过程中，手术医生远在千里之外，通过机械臂为病人实施救护。医生需要通过音视频信息的传输及时判断操作的精准度，需长时间保持网络传输的流畅度。
- 李然和朋友出游，在长途高速路上，李然不想无聊地开车，希望开启自动驾驶模式，让车辆自己掌控方向驶向目的地，而自己可以陪着朋友一起海阔天空地聊，或者玩一把吃鸡游戏。

我们可以发现，业务的性质似乎有了改变。在虚拟现实游戏中，期望用户终端完成所有的渲染并实现与多个玩家的实时互动，在现有网络架构下完全无法实现。因为我们在可负担成本前提下的用户终端没有强大的算力能够实现复杂的渲染，以及在网络时延的条件下无法实时上传渲染结果并实时互动；在远程手术的过程中，可能遇到网络抖动或者长距离传输带来的时延问题，医生无法做到操作与感知的手术级细微同步；在自动驾驶场景中，车辆的安全行驶、距离保持都需要极短时延的对应操作，而在现有网络条件下，这些都是难以保障的。

那么，无法满足业务需求的原因在哪里？通过场景分析，我们可以得出以下结论：

- 终端设备的算力不足以支撑业务场景，需要提升算力水平。
- 终端上行带宽不足以保障业务的实时性，需要扩大上行带宽，同时降低上行流量。

业务有区分，常规业务对时延不敏感，而特殊业务对时延非常敏感，以至于决定业务的成败，因此，要针对不同需求提供差异化的网络，支持可靠稳定的毫秒级时延网络供给。

以上几个场景均带来一个现实的问题，即目前的网络架构对这种新型的业务应用不够友好，不能够实现对此类应用的支撑，业务的发展急需新的支撑技术出现。

1.2 电信运营商的算力网络发展概述

1.2.1 运营商算力网络发展背景

国内电信运营商在 2G 时代的传统个人业务是语音和短信，由于当时处于通信行业大发展的前期，移动电话和短信业务是用户的刚需，且用户量长期处于上行态势，三大运营商业务发展十分迅猛。然而，传统业务的爆发性增长也带来了创新性滞后的不足。随着 3G、4G 时代的到来以及 IT 技术的发展，互联网厂商的 OTT 业务不断蚕食运营商的传统优势业务。通过互联网向用户交付各类业务应用。其中的实时服务消息类和语音通话类业务更是将运营商的传统优势业务直接拉到了免费的竞争态势下，在事实上完成了对运营商的管道化，使运营商成为提供基础网络和流量的管道。不仅如此，随着互联网业务的蓬勃发展，比如多人在线游戏、VOD 点播等，都对高速、稳定的网络条件提出了更高的要求。运营商在投入庞大资金做基础设施建设的背后，却依然只能靠流量收取极为有限收益，与业务创新带来的大部分收益无缘。再加上工信部多年以来提速降费的指导方针，直接造成了三大运营商增量不增收，陷入剪刀差的境地。4G 时代，运营商仅提供带宽（流量）服务，远离用户，被迅速管道化、低值化。

三大运营商多年以来也在不断尝试新业务创新，以实现业务的可持续发展。比如，中国移动通过成立咪咕公司，用于运营中国移动的音乐、视频、阅读、游戏、

动漫等业务,下设咪咕音乐、咪咕视讯、咪咕数媒、咪咕互娱、咪咕动漫等子公司。此外,中国移动还将自己的技术支撑能力开放出来,为业务应用的开发者提供互联网能力开放平台(dev.10086.cn);中国联通也在发展自己的互联网业务,比如沃音乐、沃视频等;中国电信的天翼云,下属的天翼云游戏、天翼高清等也是在互联网业务上的探索。

在互联网服务上,到目前为止,只有中国移动的咪咕在比较有限的领域获得了市场的认可。中国联通和中国电信的互联网业务均不温不火,无法实现业务创新、打造新业绩增长点的目标,更难以与互联网公司进行直面的竞争。

那么,有什么领域是电信运营商具备优势,且能够实现商品化包装、服务的?答案很清楚,遍布各省市机房的算力资源和占据绝对优势的网络资源。在5G时代,运营商在不断探索适合其运营的、标准归一化的新业务。盘活大量机房局点资源,避免粗放、低层次的出租空间方式,基于算力网络对带宽、时延有要求的各行业中高价值客户,提供可信、有保障的算网一体的综合服务。在与云服务商的分布式云的竞争中,取得算力交易市场的主导地位。

在算力资源的层面上,运营商虽然具备海量的资源优势,但算力资源不集中,没有统一管理,且没有实现云化,缺少以服务的方式对外开放的能力。同时,面临着阿里云、华为云、腾讯云等云服务商巨头的竞争,冒然进入市场并不是个好主意。而算、网结合,封装为算网服务,新市场则打开了。

想象一下在1.1.2节中提到的几个业务场景,目前的网络架构能否支持?目前的云服务商,能否为我们提供低时延的、稳定的网络算力服务,能否为我们提供符合虚拟现实要求的实时上传渲染交互算力网络支撑?在国家“东数西算”的大背景下,指导思想是将集中化算力向西部转移,东部仅保留原有数据中心以及扩建对时延敏感性业务的边缘算力,那么未来云服务商是否有足够的算力向东部用户开放?是否需要对业务加以区分,针对不同的业务提供不同位置的算力资源?这一切,都给运营商带来了新的商机。

电信运营商的独特优势恰好能够解决以上云服务商所不能解决的问题。

- 遍布全国各省份、城市的大量边缘计算资源。电信运营商有着遍布全国各个地区的不同机房,包括BTS基站机房、地市级的核心设备机房、省级核心机房、全国区域机房。基于这些机房构建起来的大中小型数据中心,通过资源的虚拟化服务,能够满足不同的边缘计算需求。
- 唯一的网络提供者角色。电信网络运营投资成本在万亿级别,需要覆

盖全国，且需要符合政策要求，因此，电信运营商具备网络的建设、提供、运营等独特优势。加上网络切片能力，能够为不同的业务类型提供不同等级的网络传输服务，满足特殊业务的特殊需求。

- 基于PaaS的业务支撑系统的能力支持。算力网络的能力需要通过IT系统承载，完成能力的纳管、封装和开放。以中国移动为例，近几年，中国移动大力升级业务支撑系统，通过集中化磐基PaaS平台建设，为智慧中台以及上层业务建设提供技术中台支撑。磐基PaaS平台可以用于算网的底层技术支撑平台，并为算网的运营提供支撑。

在这些独特的优势下，算力网络作为新基建，其运营有望成为电信运营商的新增长引擎，并为 5G 时代下新业务的发展提供算力支持。

1.2.2 运营商对算力网络的定义

国内三大运营商均对算力网络提出了自己的理解。

在中国移动算力网络白皮书中对算力网络没有直接的定义，而是通过算力网络的属性、目标、愿景间接做了定义。中国移动认为，算力网络是以算为中心、网为根基，网、云、数、智、安、边、端、链（ABCDNETS）等深度融合、提供一体化服务的新型信息基础设施。算力网络要实现“算力泛在、算网共生、智能编排、一体服务”的目标，逐步推动算力成为与水力、电力一样，可“一点接入、即取即用”的社会级服务，达成“网络无所不达、算力无所不在、智能无所不及”的愿景。

根据中国联通算力网络白皮书里的描述，算网一体是在继承算网融合 1.0 工作的基础上，根据“应用部署匹配计算，网络转发感知计算，芯片能力增强计算”的要求，在云、网、芯三个层面实现 SDN 和云的深度协同，服务算力网络时代各种新业态。

而在《中国电信算力网络：新型 ICT 融合解决方案》报告中，对算力网络做了以下描述：算力类比为电力，算网类比为电网，算力网络吸纳和调度社会分散算力，以统一服务的方式，结合确定性网络输送高可靠、可度量、通用化的算力资源，使能 AI 应用，体现网络价值。

可以看到，三家运营商的观点既有相似之处又有不同之处。相似之处在于，三家都认为算力泛在化，分布更广泛，算力的调度和交易依赖于运营商的网络

基础能力。而不同之处在于，中国移动强调一体化的布局，算力包括网和算；中国联通强调算网对于算力的支撑作用；中国电信更侧重于算力的运营，统一的、归一化的产品销售模式。

随着国内外各厂家开始对算力网络进行布局、探索，相信算力网络的概念还会持续演进。通过概念凝聚共识，共同探索这一新型基础设施的设计、建设和运营。

1.2.3 技术趋势

从每个人的生活中可以明显感受到，如今的生活相比30年前已经恍如隔世。从遍布大街小巷的各种小商铺，到面向全国甚至全球市场的大型线上购物平台；从“交通基本靠走，通信基本靠吼”，到共享出行的火爆和全球范围内的实时连接。这些改变，都是底层技术突破和数字化经济带给我们的。我们以前从未敢想过，我们的格局可以如此大。我们在设计产品的时候，考虑的不再是一个县、一个市，甚至一个省的业务需求，而是可以通过一个平台，将产品推送到全球消费者的面前，我们也就能够拥有全球的潜在消费者。新技术的引入前所未有地改变了商品的供给，又反向刺激了生产者扩大产品类别，满足不同地区、习惯、民族等的需求，同时改变了商品的生产，给全世界都带来了极大的价值和更舒适的体验。

技术和业务本就是相互促进、相互支撑的。传统计算、网络架构下的数字化转型带来了很多革命性的业务模式，比如线上新零售、餐饮外卖、共享出行体验、电子支付、基于位置的本地生活服务等，给人们的生活带来了无数的便利。而这些业务的大发展，又促进了技术的发展，比如，海量用户的高并发业务需求促进了微服务技术、弹性伸缩技术、分布式数据库等技术的发展。然而，互联网业务发展到今天已经开始遇到瓶颈，很多我们已经期待的业务，由于底层技术的限制，暂时无法实现。这就倒逼技术上进行持续创新，满足新业务对技术支撑的诉求。

那么下一个10年，我们会遇到什么业务需求呢？又有哪些技术会为需求进行持续支撑呢？关于业务上的需求，我们似乎已经窥视到了未来的影子，比如我们可以在车里打着牌、聊着天，车子自主安全地将我们送到目的地；我们可以待在家里，与全球不同国家的同事完成“面对面”的协同工作；我们可以

通过虚拟现实或者元宇宙，与逝去的亲人再次见面；我们可以在虚拟化环境中，体验永远都不能触达的遥远星空的寂寞。这一切都会引起无限的遐想，而这一切的背后，都有不同的新技术，比如人工智能、区块链、虚拟化、物联网等。而在这些新技术的背后，是更为底层的算力技术支撑。

在业务层面上，应用创新速度不断加快，应用种类和数量越来越多，将来，云、边、端协同将成为业务服务实现的主流。

随着自动驾驶、云游戏、VR/AR 等新型业务应用的兴起，以及物联网、移动应用、短视频、个人娱乐、人工智能的爆炸式增长，应用越来越场景化和多样化，用户对应用体验的追求也将不断提高。传统单一架构难以满足此类要求。这就对传统的计算平台提出了新的挑战，驱动计算架构向多样性发展，满足现实的业务需求。

边缘计算的使用会越来越广泛，未来超过 70% 的数据和应用将在边缘产生和处理。边缘侧设备和移动端设备受场景约束，处理能力和性能的提升受到技术和成本的限制，需要与中心云协同，满足业务需求的同时控制实施成本。随着 5G 的规模部署，网络传输时延、带宽、连接密度均得到指数级的提升，给云边端协同提供了基础保障。

在业务开发和交付方面，企业在寻求更加敏捷、灵活和高效的应用开发模式，以加速应用的创新和快速上线，如容器技术、微服务技术和 DevOps 技术。这些技术和应用开发模式拉近了业务和计算平台之间的联系，应用开发团队将定义基础设施的性能、可用性和规模，直接推动计算平台架构的变革和创新。

百亿连接带来数据爆炸式增长，智能和实时处理成为普遍诉求：5G 的商用将驱动行业物联网的应用与落地，工业机器人、工业互联网、智能电表、水表、路灯、车联网等快速普及。智能无所不及，人工智能技术将渗透到人们的生活和企业的业务中，智能驾驶、智能安防、智能制造、智慧城市等全面兴起。IDC 预测，2023 年全球物联网市场空间将达 1.12 万亿美元。海量的应用、百亿级连接、无处不在的智能，将产生海量的数据，带动海量数据分析处理，并围绕数据创造价值。新计算平台必须具备海量数据处理分析能力、各种应用场景下人工智能训练和推理能力，以及边缘计算、物联网大规模连接场景下的安全和实时处理等能力。

1. 泛在算力

算力离每个人都很近，近到我们貌似都对它失去了感知。

算力为所有的业务应用、各种技术提供底层支撑。日常生活中的每个电话、每条信息；在京东、淘宝的每次搜索、每笔订单、每次支付；在百度搜索的每个问题；物流小哥在每个站点位置的上报，位置信息同步到你的终端；每次打开菜鸟驿站的货柜取出自己心心念念的物品；每次打开手机看到展示在自己面前的画面，都是算力在进行支撑。

而涉及个人利益时，算力的概念又再次回到了我们的身边，比如在采购电脑的时候，具备最新一代 CPU 和大内存配置的机器总是更加吸引你的注意；购买手机的时候，你在预算充足的条件下，一定是选择拥有更强处理器的型号，因为你知道，这样的设备用起来很快；如果你和小伙伴玩在线组队游戏，你一般会选择一个离你的地理位置比较近的服务器，因为这样游戏速度更快；如果你有很多的文件、音乐、电影类的文件要长期保存，你可能会选择百度云盘或者阿里云盘，实现云上保存、随时随取。这几个场景中，你选择的算力设备或者算力服务分别属于算力端设备、边缘算力服务和中心云算力服务。在没有意识到的情况下，你已经选择了分布在云边端的算力架构模式为自己的不同需求提供服务。

那么，以后的 10 年，算力能力的提供上会有哪些变化呢？我们还是先看一下日常生活中熟悉的场景。比如个人电脑、手机，这些分别是 x86 架构和 ARM 架构的 CPU 算力。前几年随着比特币挖矿热度的提升，起初有人用显卡来实现比特币挖矿，导致市场上显卡价格飞涨。之所以用显卡挖矿，是因为显卡 GPU 也是一种算力设备，但 GPU 不像 CPU 那样，需要很大的存储单元、控制单元和计算单元。GPU 更多的是为了计算像素点，所以在设计时，更多强调计算单元，便于并行进行大量的计算。再到后来，一种专门用途的 7 纳米 ASCII 矿机推出，每秒能进行 110 万亿次哈希运算，因此迅速取代了显卡。

从以上几个日常生活中的例子我们可以看出，算力呈现出了泛在和多样化的趋势。

在算力能力的提供上，会因为算力的效费比以及算力本身发展的局限性带来泛在算力的必然结果。在效费比方面，性能优先的场景下，我们倾向于使用本地算力或者就近算力，这促进了边缘计算的迅速发展；而针对时效性不明显

的业务，我们倾向于选择云数据中心的集中化算力提供成本更低的算力支持。在算力本身发展局限性方面，受硅基芯片本身的特性影响，算力的单核芯片计算能力将在芯片制程 3 纳米到达极限，后续算力的扩展需要通过多核化实现。然而，随着核数的增加又会出现算力散失效应，结果就是算力不再随着核心数的增加而线性增加。同时，从算力功耗上讲，核心数量在 128 核时会接近上限。芯片的“垂直扩容”到此走向尾声。在算力需求持续增长的背景下，需要通过“横向扩容”，以算力组网的形式增加算力，满足业务不断增长的算力需求。而网络化的算力矩阵会带来算力潮汐效应，所以，需要边缘端设备来解决需求错配问题。因此，未来算力必然构建云、边、端的泛在部署架构，满足社会智能化发展带来的算力需求。

而在算力的多样化上，随着 5G 业务、人工智能、AR/VR 业务、云游戏等业务的出现，传统的 x86 和 ARM 等以 CPU 为单一计算单元的通用算力已不能满足并行计算能力的要求，算力的内核从普通的 CPU，向 GPU、FPGA、NPU、ASIC、SoC 等异构方向拓展。在不同的场景根据需要使用通用算力或者专用算力成为了多样化业务发展的必然结果。

2. 算网深度融合

云、边、端的泛在算力架构必然要求位于不同位置的算力能够形成多级管理体系，类似于虚拟化技术中将一台物理机虚拟为多台虚拟机的“一虚多”技术，和分布式多节点虚拟为一个统一节点的“多虚一”技术，泛在算力也需要通过类似的技术，实现统一纳管和资源分配，并通过某种技术结合起来支持按需动态调度。而这种技术的实现方式就是网络。就像自来水和电力的流动离不开水网和电网，算力的流动也离不开算力网络。拥有四通八达的高性能算力网络，是泛在算力充分自由流动的基础。通过网络连接泛在算力，可突破单点算力的性能极限，发挥算力的集群优势，提升算力的规模效能。通过算网大脑，实现对算网资源的多级调度，可有效促进算力的“流动”，满足业务对算力按需使用的需求。同时，伴随着行业应用对网络在端到端质量方面的极致要求，网络也需要从尽力而为向端到端确定性保障演进。

实际上近年来电信运营商一直在持续推进云网融合。SDN 和 NFV 技术为云网融合提供了技术支撑。目前，运营商通过 SDN 技术已经实现了云和网的联通，核心网也通过 NFV 技术实现了功能的云化。然而，目前 SDN 和 NFV

都是独立部署，自成体系，尚没有实现深度协同。在算网结合的演进中，主要分为三个阶段。

第一阶段，泛在协同。目前的云计算，更多是处于算网泛在协同的阶段，这是算力网络的起步阶段，核心理念是“协同”。“算”和“网”是两个独立个体，各自编排调度，但开始向布局协同、运营协同发展。通过协同算网服务入口，实现资源互调，满足用户一站开通需求。该阶段的特点是网随算动，协同编排，协同运营，一站服务。

第二阶段，融合统一。该阶段，核心理念是“融合”。“算”与“网”逐步融合发展，但还是两个身体，负责管理编排的大脑开始融合统一，实现在算网资源层面的统一管理、编排、调度。本阶段的特点是算网融合。智能编排，统一运营，融合服务。关注网络智能化、算网大脑、多样化量纲、超边缘计算、确定性网络、应用感知为代表的技术，实现算网智能编排和端到端的质量保障。

第三阶段，一体内生。本阶段是算力网络的跨越阶段，核心理念是“一体”。算网边界被彻底打破，形成算网一体化基础设施，为用户提供融合多技术要素的一体化服务。该阶段的特点是算网一体，智慧内生，模式创新，一体服务。

未来的算力网络架构下，“算”和“网”会通过不断融合，逐步实现算网一体化。

3. 要素融合互促

在算力本身和算网融合发展的同时，算力网络底层技术的发展也会反向促进业务的发展以及新业务的出现。让我们开启上帝视角，回想一下平台经济最初发展面临的一个最核心的难题：信任问题。卖方如何能够相信自己寄出产品后，买方收到货品后会完成付款；买方又如何相信自己付了黄金的价格，得到的不是板砖。阿里巴巴通过第三方担保支付解决了该问题。而实际上，第三方担保支付只是一个应用，还算不上是技术。然而，我们却可以看到，有了第三方担保支付后，电商的发展如日中天。一直到今天，电商的火爆对实体线下销售都形成了压倒性优势。

在2G时代，我们通过模拟网络，实现远程通信，传统大黑粗的大哥大就是这个时代的应用巅峰。到了3G时代，我们可以看到多媒体的大发展。通过下行流量，可以看到丰富多彩的文本、图像和视频，虽然缓冲和卡顿一直常伴视频。4G时代，我们看到视频业务的大发展，各种VOD点播不再需要长时间

的缓冲，各种直播几乎是实时的，我们很少会遇到卡顿等情况，其业务使用体验前所未有的。而这个阶段，其实还是以下行流量为主，通过 CDN 等加速手段，实现了用户终端的良好体验。而完全进入 5G 时代后，上、下行流量并行会是新业务的主要特色。我们可能不再依赖服务端已经拥有的内容，而自己仅仅作为一个看客。我们可能会更多地参与其中，与自己相关的数据源源不断上传，完成与其他人数据的融合渲染之后，再下行到用户终端，实现实时交互式业务体验。想想我们刚开始使用微博等社交工具时，通过文本交互给我们带来的满足，再想想我们以虚拟人的形态充分融入业务场景，这毫无疑问会带来各种新业务的大爆发。

那么，我们有理由相信，算力网络技术上的突破，同样也会以业务的发展形成反哺效应。比如依赖现有的网络和算力协同能力，我们无法实现无人驾驶，无法实现远程手术，更无法实现元宇宙的虚拟场景再现。也因此，这些业务一直还留存在实验室或者是大众的期待中。而如果某一天，技术上能够支持高吞吐量基础上的终端毫秒级延迟，那么，不同的新业务形态也会如雨后春笋般出现。在算力网络的赋能下，人工智能技术、大数据技术、区块链技术的应用场景越来越多，并在业务场景中为我们带来直接的用户体验。算力网络、新技术与业务相辅相成，相互融合互促，最终将为用户带来更高层次的业务体验。

4. 算网一体服务

在算网的不断融合上，其最终的目标是实现算网一体服务。从“云计算+网络”的组合服务，转变为算网深度融合、灵活组合的一体化服务。在算网一体服务的基础上，再加上各种新技术的赋能，如通过容器技术实现算网应用的封装，通过云原生技术，实现算网应用的持续部署、运行托管、自动化运维，通过 SDN 技术实现对网络的虚拟化，等等，让服务开始从资源型向任务型发展，最终实现算网一体化服务。

1.2.4 发展愿景

国内三大运营商均基于算力网络的发展愿景对算力网络做出了相关的战略布局。本节以中国移动为例阐述中国移动对算力网络的发展愿景。

根据中国移动算力网络白皮书中的描述，算力网络是以“算”为中心、“网”

为根基，网、云、数、智、安、边、端、链深度融合，提供一体化服务的新型基础设施。

“算”为中心，“网”为根基：几十年来的互联网发展已经深入改变了整个社会的面貌，随着各行各业数字化转型的持续深入，整个社会层面已经从初级的以网络为核心的信息交换，发展到以算力为核心的信息数据处理。以几个互联网巨头为例，阿里巴巴拥有全网最强的消费者数据，能够根据消费者长期以来的消费习惯实现消费者的人物画像，并基于人物画像，提供千人千面的销售服务。腾讯公司有着全网最强的社交关系数据。根据社交关系，腾讯公司可以轻松获取人物的社交数据，并向外延伸，拓展到商品销售、精准推荐、位置服务之类的服务。百度公司有着全网最强的知识库数据，能够基于用户搜索，形成各类关注热点，比如社会事件热点、品牌热点、人物热点、话题热点等。通过对热点的挖掘，不仅能够实现精准的商业变现，还能够实时掌握社会舆情，有针对性化解风险。这一切均需要基于大规模算力的挖掘。因此，算力将成为信息技术发展的核心之一。而网络则作为连接用户、数据、算力的桥梁。网络需要与算力深度融合，形成算网一体化新型基础设施，最终达成“网络无所不达、算力无所不在、智能无所不及”的愿景。

我们的社会正在向智能社会急速演进。智能社会的主要构成要素为算法、算力、数据。算法的提供主要依靠高端研究院基于顶尖科学家的数学模型；算力由新基础设施提供；数据则来自于日常生活中的人和物交互。中国移动做出的算力网络的发展愿景，是网、云、数、智、安、边、端、链的深度融合。其中，云、边、端是泛在算力的基础，是信息化社会的核心生产力。云、边、端的算力通过网络连接起来，共同构建算力网络新基础设施，为万千行业赋能做底层支撑。大数据和人工智能是影响社会数智化发展的关键。链指的是区块链，这与算网的运营相关。算力的提供者通过区块链实现可信交易，是实现算力交易的核心基石。安全则是保障算力网络可靠运行的基石。八大因素的融合，让算力网络真正走向个人终端消费者，最终实现安全、可靠、按需使用、可信交易的算网服务愿景。

一体化服务是指通过算、网、数、智等多原子的灵活组合，实现算力服务从传统简单的云网组合服务向多要素深度融合的一体化服务转变。算力网络的服务模式将从资源式向任务式转变，为用户提供智能、极简、无感的算网服务。

1.2.5 发展目标

算力网络的发展目标是实现“算力泛在、算网共生、智能编排、一体服务”，逐步推动算力成为与水力、电力一样，可以“一点接入、即取即用”的社会级服务。

算力泛在指以算为中心，构建云、边、端立体泛在的算力体系，实现多级算力的统一纳管、调度、开放。算力泛在有三个方面的要求：第一，打通不同位置区域的物理算力资源池，实现对不同资源池资源的联通，构建不同层级的统一物理资源池；第二，基于不同层次的物理资源池，实现资源的虚拟化，打造统一的虚拟化资源池，在逻辑上实现资源的联通，构建集中和边缘的逻辑资源池布局；第三，异构资源的兼容支持，比如 X86、ARM、RISC-V，为多样化的业务提供不同类型的算力支撑。

算网共生指算力与网络在形态和协议方面深度融合，形成一体化基础设施。随着算力网络的演进，算力和网络由网随算动、算网融合走向算网一体，最终打破网络和算力基础设施的边界，实现算网一体的内生目标。网络从连接算力的桥梁演化至感知算力、承载算力，实现网在算中、算在网中。网络根据业务需求，按需进行算力网络编程，灵活调度泛在的算力资源，协同全网的算力和网络资源，实现算力路由。通过灵活部署的在网计算，对数据进行就近加速处理，降低应用响应时延，提升系统处理效率，实现算网发展互促互进、共生共赢。

智能编排指融数注智，构建算网大脑，实现算网的统一编排和全局优化。算网大脑向下实现算网全领域资源拉通，向上实现算网融合类全业务支撑，融合人工智能、大数据技术，实现算网统一编排、调度、管理、运维，打造算力网络资源一体设计、全局编排、灵活调度、高效优化的能力。未来，算网大脑还将融合意图引擎、数字孪生等技术，实现自学习、自进化，升级为真正智慧内生的超级算网大脑。

一体服务是指为用户提供算网数智等多要素融合的一体化服务和端到端的一致性质量保障。一体化服务包含三个方面的融合供给：第一，多要素融合供给。算力网络实现了算网数、智、链、安等多要素的深度融合，可提供多层次叠加的一体化服务。第二，社会算力融合供给。算力网络通过与区块链技术的紧密结合，构建可信算网服务统一交易和运营平台，支持引入多方计算

提供者，倒灶新型算网服务及业务能力体系，并衍生出平台型共享经济模式，实现对社会闲置算力和泛终端设备的统一纳管。第三，数智服务融合供给。算力网络通过提供基于“任务式”量纲的新服务模式，可以让应用在无须感知算力和网络的前提下，实现对算力和网络等服务的按需使用和一键式获取，达到智能无感的极致体验。