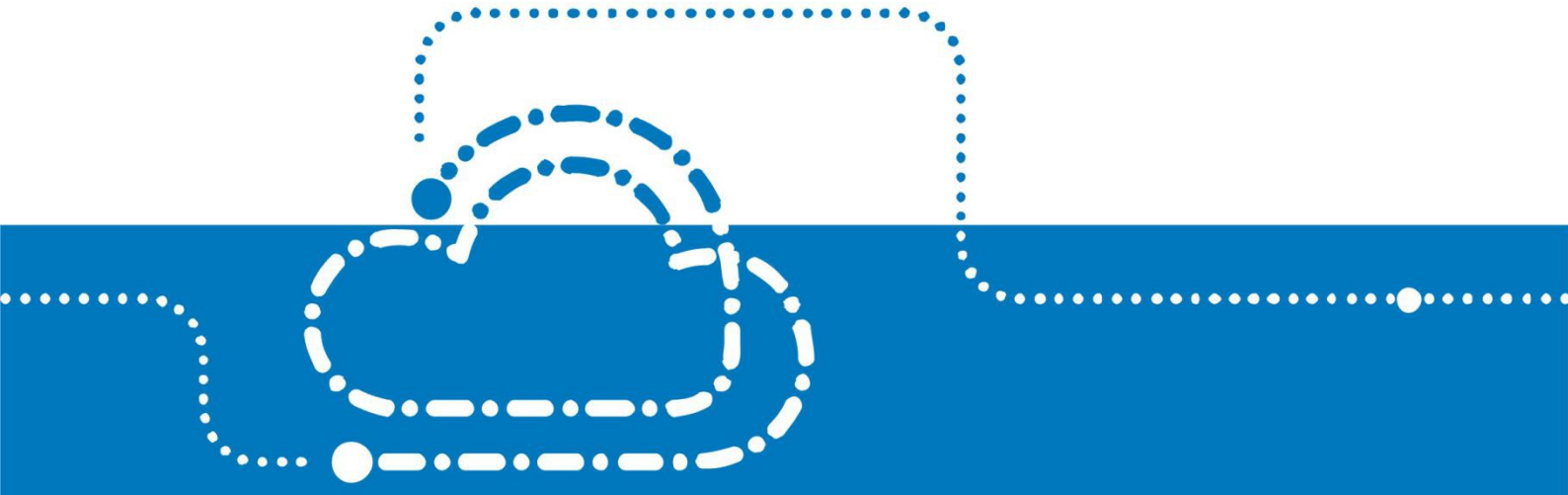
ZTE中兴

IP 网络未来演进技术白皮书



© ZTE Corporation. All rights reserved.
版权所有 中兴通讯股份有限公司 保留所有权利

IP 网络未来演进技术白皮书

版本	日期	作者	备注
V1.0	2021/06/10	ZTE	新建

重要贡献单位：

中国信息通信研究院

中国移动研究院

中国电信集团

中国联通研究院

© 2021 ZTE Corporation. All rights reserved.
2021 版权所有　中兴通讯股份有限公司　保留所有权利
版权声明：
本文档著作权由中兴通讯股份有限公司享有。文中涉及中兴通讯股份有限公司的专有信息，未经中兴通讯股份有限公司书面许可，任何单位和个人不得使用和泄漏该文档以及该文档包含的任何图片、表格、数据及其他信息。
本文档中的信息随着中兴通讯股份有限公司产品和技术的进步将不断更新，中兴通讯股份有限公司不再通知此类信息的更新。

目 录

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

1 概要

在数字经济的浪潮中，互联网在社会经济生活中起到越来越重要的作用。IP 技术作为互联网的技术基础，在今后的 5~10 年间如何发展是通信行业面临的关键问题。本白皮书分析了 IP 网络未来 5~10 年（以下称为未来网络）面临的需求和挑战，提出了万维互联、算网融合和精准网络这三大愿景。在技术架构方面，本文提出，未来网络仍将继承传统互联网成功的设计原则，比如端到端原则和解耦原则。但传统的 IP 技术过于强调网络和业务的分离，无法适应未来业务对于网络的高要求。本文认为未来网络要加强业务和网络的协同，对 IP 网络设计原则进行了改进——"横向：服务化网络赋能的端到端原则，纵向：智能控制面支撑的瘦腰模型"，并基于此原则提出了未来网络的参考架构。本文还描述了未来网络的关键技术，包括精准连接、算力网络、内生安全、移动性、智能控制面技术等。

2 术语和定义

- 未来网络：又名下一代互联网，特指 IP 网络在未来 5~10 年乃至更长时间的演进方向。主体是运营商数据网络。
- 精准连接：基于业务承载质量要求精准选择灵活的承载技术提供网络连接。
- 算力网络：即基于网络基础设施对算力资源进行感知、调度和编排，在网络层提供满足网络连接和计算（含存储）SLA 的新型 ICT 融合服务，是以网络为基础的新一代技术架构和业务运营体系。
- 网络内生安全：指结合新型网络结构体系特征，自顶而下地构建以全系统为视角、以信任为基础的安全可信防护体系，设计基于网络和业务需求的一体化自适应协同机制，赋能未来网络自主免疫、共生演进之特征。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

3 前言

当前，产业和社会正在进行数字化转型，数字经济通过不断升级的网络基础设施与算力设施等信息工具推动人类经济形态由工业经济向信息经济—知识经济—智慧经济形态转化，极大地降低社会交易成本，提高资源优化配置效率，数字经济的规模在国民经济中占比日益增强。

互联网诞生至今已有超过 50 年的历史，从最初的限于军事和科研的实验网络到现在全球信息互联的基础设施，互联网已成为数字经济中最重要的载体和基石。

为进一步推进数字经济的发展，面向未来 5~10 年的生产、生活、社会管理的需求，网络技术也需要不断演进。IP 网络技术是互联网的技术基础，在过去 50 年取得了巨大的成功。但在面向未来的需求，尤其是产业互联网的需求时，现有的 IP 技术存在着很大的局限性。对于 IP 技术在未来 10 年如何演进，业内有多条研究路线，也有多个不同的称谓，如未来网络、未来互联网、下一代互联网、网络 5.0 等。本白皮书使用“未来网络”来特指 IPv6 之后的网络技术发展。本白皮书从未来的业务需求出发，试图找出传统 IP 技术在设计理念和技术架构上的不足，并提出了未来网络的设计思想。

本白皮书的第 4 章阐述了未来网络的主要应用场景和技术需求；第 5 章是对于 IP 技术的反思和改进。其中第 5.1 节从传统互联网的设计原则出发，指出互联网的端到端原则和分层解耦原则虽然促进了互联网的创新，但也造成了业务和网络的隔离。第 5.2 节回顾了运营商对于互联网技术的增强和改进，也就是电信级 IP 技术，电信级 IP 技术使得 IP 网络成为可运营、可管理的网络，但并没有解决业务和网络的隔离问题。第 5.3 节面向未来的业务需求，总结了现在的 IP 网络所存在的主要技术差距。第 5.4 节总结前 3 节所述，提出了改进后的，面向未来网络的两条设计原则。第 6 章根据新的设计原则提出了未来网络的参考架构。第 7 章阐述了在此参考架构下，几个关键技术的方案和实现。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

4 未来网络的愿景和需求

4.1 未来网络的三大愿景

互联网的开放架构使得新应用的创新层出不穷，应用不断向深度和广度拓展。面向未来5~10 年，互联网从消费互联网向产业互联网的演进最为令人期待；VR、AR、全息等新媒体应用也同样值得关注。6G 面向万物智联，提出了感知互联网、AI 服务互联网、行业服务互联网等应用场景和需求。随着业务形式的多样化和网络规模的扩张，对网络自身也提出了智能、开放的要求。面向新的业务需求，未来网络的发展趋势可以归纳为三个愿景：万维互联、算网融合和精准网络。这三个愿景对应着未来网络的三个主要应用场景。

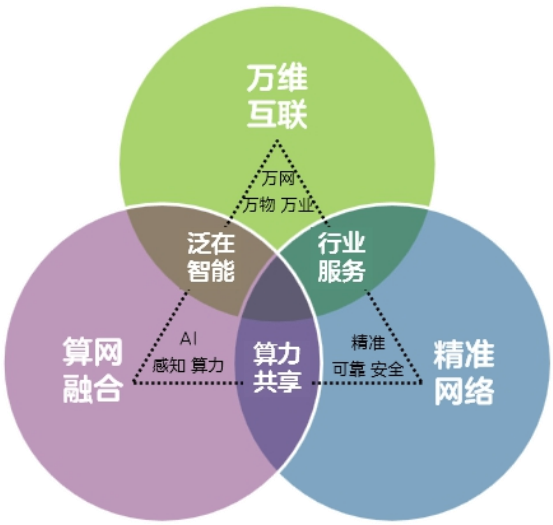


图 4.1 未来网络的愿景

- 万维互联：包含 3 个含义：万网、万物和万业。万网是网络将持续融合多种异构

网络互联，包括网络向空天地一体化演进、下一代智慧光承载和接入网、下一代 B5G/6G 移动互联网等；而随着物联网的深入发展，未来网络需要支持更大范围、更高数量级的万物互联 IoT，从而实现智慧家庭、智慧城市等数字化社会的目标；工业互联网等垂直行业多种边缘异构异质网络无缝连接到以 IP 为核心的未来网络互联体系。

- 算网融合：在边缘计算的大背景下，算力资源从中心云的集中模式，逐渐向云-边-端的分布式模式转变。因此，如何将全网的算力资源、网络的精准传输能力更好的结合起来，实现云、边、端三级算力的分配和协同，是未来网络需要完成的使命。具体来说，网络需要能够根据不同的业务需求，并结合网络实时状况、计算资源实时状况，将业务导入到最合适的计算节点上执行计算任务，实现用户体验最优、计算资源利用率最优、网络效率最优。进一步地，通过动态优化连接的特性，如带宽、时延等特性，可为计算资源的动态利用提供更好的网络连接 QoS 保证，从而实现了计算和网络的深度融合。

- 精准网络：面向未来工业控制、智能电网、远程医疗、自动驾驶等实时交互要求极高的业务，网络需要提供 99.999%的可靠性，以及毫秒级的时延和微秒级的抖动。面向未来的 AR/VR、全息通信等消费类业务，网络同样要满足越来越苛刻的带宽需求和精准传输需求。

4.2 未来网络关键技术需求

从以上愿景看，未来网络的技术需求表现在以下方面：

- 网络确定性需求

主要指的是时间敏感及可靠通信的需求。时间敏感的确定性需求包括确定性时延需求（端

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

到端时延上限确定，即端到端网络通信时延低于期望的最大值）、确定性时延变化需求（端到端时延变化确定，即端到端时延变化或称为抖动低于期望的最大值）；可靠通信的需求主要是确定性低丢包率需求（丢包率低且低于期望的最大值）。时间敏感及可靠通信的典型应用包括工业控制、车辆远程操控、智能电网电力保护等。

- 内生安全需求

产业互联网相对于消费互联网，对于网络安全的需求有本质的不同，然而现有技术难以满足多样化应用场景的泛在网络安全需求，未来网络需要在传统网络安全的基础上提供网络内生的安全增强。比如，未来产业互联网引入新角色、新信任关系，需要对身份或标识真实性做更强的校验，对端到端通信做路由安全保障，增强网络业务通信的可信度；网络需对未知攻击增强内生防御能力，提供自适应、自免疫、协同的内生安全能力。

- 移动性管理需求

移动性问题是 IP 网络由来已久的问题。IP 技术设计最初基于有线接入场景，存在 IP 地址身份、位置二义性问题，使得如何在移动环境下保持业务连续性成为一个难题。而随着工业互联、车联网、无人机、云 XR 等新兴业务的发展，未来网络对于移动性将会提出越来越高的要求，不仅要满足业务连续不中断，还要在移动切换过程中保持零丢包、低时延、低抖动、高可靠。未来的 6G 网络需支持新增的空天地、毫米波、微基站等新型连接技术，在连接密度、空间容量、终端移动速度等方面相比 5G 网络有上百倍的增加，对于确保业务连续性和服务质量提出了重大挑战。

- 网络对算力感知与调度需求

算网融合的需求是网络能够感知算力，并基于用户请求将动态分布的计算、存储等多维度

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

资源统一调度、按需分配，实现全网的算力和网络一体化。网络能够针对算力进行可度量、可交易的调度，支持针对裸资源、虚拟机、容器和微服务等多种方式和颗粒度的算力资源调度。而在传统互联网的架构中，网络和算力的部署、运营是相对隔离的状态。尽管目前业内在朝云网融合的方向努力，但各个云平台都是封闭私有的架构，云和网之间也难以形成有效的协同。

- 多语义多标识需求

未来网络中异构网络不仅连接各种物理实体，如主机和人；随着网络虚拟化的深度演进，也需要连接各种虚拟化实体，如内容、计算、存储等虚拟资源。因此未来网络既要支持传统的基于主机和位置绑定的拓扑寻址，也需要支持基于虚拟化和移动化的标识寻址、内容寻址、计算服务寻址等。

5 未来网络的设计原则

5.1 传统互联网的设计原则回顾

美国麻省理工学院教授 D.Clark 在 1988 年发表论文“The design philosophy of the DARPA Internet protocols”，谈到互联网设计初期的目标，包括一个基本目标（Fundamental Goal）和七个二级目标（Second Level Goals）：

基本目标：互联网需要把多个已经存在的网络连接在一起

二级目标：

(1) 互联网必须在一部分网络或者网关失效的情况下，其余部分还能继续通信

(2) 互联网必须能够支持多种通信服务

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

(3) 互联网必须能够容纳多种网络接入

(4) 互联网必须能够分布式管理它的资源

(5) 互联网体系结构应该是有成本效益的

(6) 互联网体系结构应该允许主机较容易接入

(7) 互联网体系结构资源的使用必须可审计

可以看到，在互联网设计之初，整体目标围绕着建立主机间的通信连接。之后互联网逐步推进，规模逐步扩大，业界基于互联网推进过程碰到的问题进行总结，逐步形成了一些有共识的原则。在 1996 年，IETF 发布的 RFC1958《Architectural Principles of the Internet》中，首次提出了互联网设计需要遵循的一些原则，指出互联网的首要目标是提供连通性，IP 协议是工具，智能应该在网络的两端，而不是隐藏在网络中。之后在 2002 年，IETF 又对互联网的设计原则进行了升级，发布了 RFC3439《Some Internet Architectural Guidelines and Philosophy》，对互联网设计原则做出了更为明确的解读：

(1) 端到端原则：互联网的复杂性属于边缘，互联网的 IP 层应保持尽可能简单

(2) 分层解耦原则：非线性理论中两个最重要的概念就是放大和耦合，互联网层间应该尽可能避免内部交互

(3) 最优成本设计原则：IP 协议不追求最高效率，而是追求最优成本的设计，应避免逐场景去寻求局部最优设计

(4) 避免过度设计：网络应该避免过度部署，比如在网络采用"1+1"保护模式时，网络的负荷应该不要超过 50%，网络应该避免过度设计，比如为了达到 5 个 9 的可靠性，可以从整体网络解决方案出发，而不是对于网络中的每个组件都提出对应的要求

(5) 分组交换原则：网络不需要维护每个连接状态，这样可以确保网络的可伸缩性并有助于提

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

高成本效益

这些原则是互联网获得巨大成功以及互联网体系得以发扬壮大的根源，我们认为其中最为重要的两大设计原则就是端到端原则和分层解耦原则：

(1) 端到端原则：

① 智能和复杂性在两端而不是在网络，这种原则有利于新业务创新和部署

② 网络层尽量简化（IP 层），瘦腰模型，有利于跨越不同类型的底层介质，实现全球互联

③ 加密、认证等功能也是两端的责任，两端需要不依赖于网络的真实性和完整性

④ 无状态：端到端协议的状态只保留在两端，与网络内部的状态无关

(2) 分层解耦原则：

① 介质解耦：IP 协议应该要做到和传输的物理介质以及对应的物理编址无关

② 垂直解耦：不要多层实现重复功能设计，如果要扩展功能，尽可能在同一个层次进行功能扩展，避免垂直扩展，这样会更稳定；上层不要复制使用底层的功能；层与层之间减少内部交互接口

③ 水平解耦：在同一层进行的功能拆分，相对跨层设计而言，从长期来看更为稳定

这两大原则是互联网长期实践之下形成的，也因为这两大原则的理念设计，互联网协议体系逐步演变成了当前的瘦腰模型。

但按照这两个原则设计出来的 IP 网络架构，存在的最大问题就是业务和网络处于相对隔离的状态。端到端原则隔离了两端和网络，使得终端和云端无法感知网络的状况；分层解耦原则隔离了应用层和网络层，使得上层应用无法向网络传递个性化的需求，最终绝大多数业务只能按照 Best Effort 的模式运行。

 中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

随着互联网的使用者、连接对象、业务类型不断变化和丰富，互联网的目标开始发生变化。业务和网络的隔离在有些场景并不能满足业务的需求。比如，对于传输质量有要求的业务，希望网络能够提供确定性的传输能力，也就是带宽、丢包率、时延都是可以预期的，而不仅仅是“尽力而为”；对安全性有高要求的垂直行业，希望网络不仅仅是提供传输功能，而是“有安全保障”的传输，即保持信息传送的完整、可靠、不被非授权的访问；还有的业务希望感知网络的状态，比如链路利用率、丢包率、缓存队列等，以便调整自身的传输窗口，保持最优的传输效率。

因此，我们需要重新思考现有体系结构的设计原则，以解决业务和网络隔离的问题。不过这并不意味着我们就要完全抛弃最初的设计原则，打造一个全新的互联网体系结构。

5.2 电信网、互联网融合对网络架构的影响

互联网最初是服务于教育科研的网络。80 年代，美国国家科学基金会 NSF（National Science Foundation）是互联网的主要建设者和管理者。90 年代以后，NSFnet 恢复成为学术网络，而网络运营商成为了商用互联网的主要建设者和运营者。为用户提供互联网接入服务逐步成为运营商的一项主要业务，运营商投入巨资拓展网络覆盖范围，提升网络连接速度，极大地促进了互联网的发展。

互联网业务发展起来之后，运营商便开始着手把传统的电信网络和互联网融合起来，即在一张统一的网络中承载传统的电信业务（如语音、数据专线）、新兴的电信业务（视频通话、云服务）和互联网接入服务。

电信网络发展历程可以划分为四个大的阶段：模拟技术、TDM（时分复用）技术、ATM（异步传输）技术和 IP 技术。电信界在后三个阶段都进行了统一承载网的尝试。在 TDM 时代的 80 年代末，电信界发展了 ISDN（综合业务数字网）技术，把电路交换技术作为统一承载网的基础。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

随着视频通信、数据连接对于带宽需求的不断增长，分组交换替代电路交换成为网络技术的主流，因此 ATM 技术应运而生。ATM 又被称为“宽带 ISDN”（B-ISDN），通过精巧的设计，试图成为一张全业务统一承载的网络。但随着互联网的迅猛发展，互联网接入服务逐步成为了电信网络最重要的业务，因此直接采用 IP 技术构建统一的承载网络成为最高效的技术选择。从 90 年代末开始，全 IP 化网络成为电信网络的主流。

脱胎于计算机网络的 IP 技术并不能完全满足电信网的要求。电信界在传统的 IP 技术基础上引入了新的网络设计理念，称为“电信级 IP 网络”，主要包括如下几个方面：

（1）网络可管理、可运营

运营商出于商业化运营的需要，必须鉴别访问网络者是否是它的合法签约用户，还需要按照既定的规则收取用户的上网费用。因此，需要对互联网进行电信化改造，在传统互联网的基础上引入计费系统、用户接入控制系统（BRAS、AAA 服务器等）。

电信运营商和设备商还开发了方便易用的网管系统及一系列管理模型和协议，包括 SNMP、NETCONF 等。

（2）多业务承载带来的服务质量、高可靠、高安全

运营商 IP 网络承载的业务不仅包括互联网接入服务，还包括其他电信业务，如语音业务、大客户专线、视频业务、移动承载业务等。电信业务一直都有“电信级”的业务保障需求。面对电信业务实时化、高可靠性、低时延的需求，传统 IP 网络的 best effort 服务水平显然已经力不从心，必须针对不同类型的业务给予不同 QoS 等级，于是在 IP 网络中逐步引入了 DiffServ、IntServ、MPLS-TE 等技术。MPLS-TE 体系架构在无连接的 IP 网络上实现了面向连接的服务，达到了电信级的服务水平。为简化 TE 业务部署和提升灵活性，近年 Segment Routing TE 也在电信级互联网中推广。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

安全性方面，IPsec 技术在传统互联网基础上构建了网络安全架构，这个架构包括加密、鉴权等机制，它被用来保证端到端的通信安全。

（3）“端到端”和“边到边”

“端到端”原则不仅是互联网的设计原则，其实在电信网、互联网融合之前，它就已经是电信网的设计理念。比如在 TDM 时代，语音网络中就出现了“智能网”技术，把复杂的业务处理从程控交换机中剥离出来，由独立的智能网网元处理。到了 IP 时代，电信业务也是按照端到端的原则设计，比如软交换、IMS 等业务，业务逻辑由专门的业务网元处理，终端逐渐从“傻终端”演进到“智能终端”。

端到端架构的优势，主要在于更有利于业务创新。业务逻辑更多的由两端处理，使得新业务的部署不需要改动众多的中间网元，不需要漫长的标准化过程。业务可以快速迭代、试错，研发和部署周期大大缩短。

电信运营商对于网络架构的改造也遵循这一原则。由于运营商不掌握终端，因此采用了“边到边”的网络设计，即复杂的处理放在网络边缘，中间网络尽量简单。例如 MPLS VPN 大客户专线业务，利用 PE-P-PE 边缘到边缘建立隧道，复杂的业务管理功能由 PE 节点实现，而 P 节点相对简单。近几年 Segment Routing 技术兴起，相比 MPLS 更加突出了边缘节点的作用，而同时简化了核心节点的功能。

（4）从分布式控制到 SDN 模式

传统互联网的架构是自下而上发展的分布式网络架构，网络中并不存在一个中心控制或者集中交换节点。分布式架构的优点是健壮性和可扩展性，缺点是网络资源无法达到最优化的使用和调度。而电信网的发展一直是自上而下的中心化路线，中心化的优点是业务调度灵活、资源利用率高以及能够提供更好的服务等级，但缺点是网络结构复杂和维护成本较高。未来网络

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

应该结合分布式和集中式的优点演进。

SDN 是对 IP 网络做集中式控制的技术体系，最早产生于数据中心，很快得到了电信界的认可，在运营商网络逐步开始部署。虽然 SDN 实际的部署模式、协议接口的选择多种多样，但基本上都是分布式和集中式混合的模式。即：传统的分布式路由协议仍然保留，保证整个网络的平稳运行和互联互通；同时在各个管理域内部署相对集中的控制面网元，实施业务控制、路径计算、流量工程、网络运维等多种功能。

SDN 模式把复杂的功能放到相对集中的控制面实现，而简化了转发面功能，这一点与"端到端"原则有异曲同工之妙。SDN 模式使得运营商可以在不升级转发面网元，不通过冗长的标准化过程，就能够通过软件方式增加更多网络功能，加快了新业务的部署和新策略的实施。

总之，运营商在融合互联网、电信网的过程中，一方面继承了互联网的优秀设计原则，比如端到端原则。另一方面也加入了电信网络的业务控制、运维管理的要求。这些因素需要在未来网络架构的设计中加以继承和发扬。但是，目前的电信级 IP 网络仍然没有解决业务和网络隔离的问题，使得运营商面对未来的业务需求仍然存在很大的障碍；同时各个业务提供方当前独立在网络之上做了很多网络资源抢占、加速的设计，而缺乏在网络层面的协调，导致既不能解决资源冲突问题，也无法做到全局性资源最优利用。综上所述，无论从业务视角还是网络视角当前都存在较大的问题，这个问题需要在未来网络的设计中重点解决。

5.3 面向未来业务需求的网络技术差距分析

在设计未来网络的架构时，除了要考虑继承现网好的设计原则之外，更重要的，是要考虑到未来的业务需求。如果传统的设计原则不能支撑未来的业务，就要加以调整和优化。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

本文第一部分描述了未来网络的愿景、应用场景和关键技术需求。接下来将从万维互联、精准传输、内生安全、移动性等多个方面对现有网络技术的差距进行分析。

1、万维互联的需求技术差距

- 未来异构互联网络将不仅面向各种物理实体之间的连接，如主机和人；而且需要支持各种虚拟化实体，如内容、计算、存储等虚拟资源的连接。此外，还需要支持包括物联网、工业互联网、空天地一体化等各种异构网络和服务的互联。因此未来网络需要建立统一的标识体系实现面向异构网络、资源以及服务的互联。

2、算网融合的需求技术差距

- 云侧系统跟算力资源及服务从 API，业务逻辑等深度耦合，相对封闭，无法兼容多元算力资源的纳管，并且无法与网络连接服务无缝融合；
- 算网独立管控和调度，云网融合中网络无法发挥宏观大平台的整合优势；
- 应用流量路由止于 IP 拓扑之内，无法延伸至计算存储资源和服务。

3、精准传输的需求技术差距

目前所定义的网络层服务质量（Qos）保障机制，不管是区别业务（DiffServ）还是集成业务（InteServ）的 QoS 架构都基于尽力而为传输服务不能为 IP 精准传输满足当前及未来新兴业务提供全面的解决方案。随着远程医疗、自动驾驶、工业智造等新兴垂直行业的出现，对于网络通信服务质量提出了更高要求。如工业互联网的工业控制、电网的差动保护等需要毫秒级的时延上限，并且要求抖动控制在一个很小的范围之内，消费互联网的 AR/VR、云游戏等也对网络提出了越来越苛刻的带宽和时延需求。

	高带宽、高通量	低时延、确定时延	高可靠、高安全
AR/VR	约 10Gbps	RTT<10ms	中

智能电网	无	时延<15ms；抖动<50us	99.9999%
云化工业控制	低	最大时延 500us~50ms	99.9999%
车联网	低	时延 2ms -> 20ms	99.999%
远程控制(驾驶、医疗)	25Mbps~6Gbps	时延 5ms -> 20ms	99.9999%

因此，未来网络需要更精准、细粒度的 QoS 控制和转发架构来实现确定性的、可预测的网络通信服务质量保障。

4、网络内生安全的需求技术差距

未来网络内生安全的需求技术差距主要体现在以下几个方面：

一是：互联网设计初期的原则是对应用数据完全透明，这是互联网成功的关键要素，但是透明设计也带来了更多的安全攻击，未来的互联网需要让相互信任的用户无障碍连接，相互不信任的用户之间高度受限，这就需要网络具备内生安全的能力。

二是：虽然应用层加密可以提供端到端机密性和完整性保护，但是 IP 本身缺乏可信的自验证机制，作为安全锚的密钥交换过程存在欺骗威胁的可能性。此外，业务层“补丁”防范方式使得系统不断被动层叠局部安全技术，导致防护冗余、方案完整性缺失以及代价过大等缺陷。

三是：网络协议本身和网络基础设施的安全性也存在差距。BGP、DNS 等协议的安全性严重依赖于资源公钥基础设施(RPKI)等中心化基础设施。存在单点故障、不可信节点等安全性问题。

四是：随着未来新型网络、多样化业务的快速发展，现有攻击防御机制缺乏全网统一设计，无法对现有攻击以及未知攻击实施系统性协同防护，严重制约未来网络的发展与应用。

5、网络移动性管理的需求技术差距

目前网络的移动性管理在移动锚点和隧道技术等几个方面存在差距：

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

1) 现有无线网络中基于锚点的方式，在锚点固定情况下可以保证终端 IP 地址不变化。但在移动过程中，流量始终需要通过固定锚点进行转发存在迂回，导致传输时延大，无法满足低时延业务需求。

2) 在移动锚点变化的情况下，终端 IP 随锚点变化而变化，因此业务链接存在拆链和重建的过程，导致业务连续性、可靠性难以得到保证。

3) 现有无线核心网的数据传输采用 IP over GTP 隧道技术，在移动性切换时造成控制相对复杂，而且有状态方式较难降低业务时延。IP over GTP over IP 的方式也造成数据传输的效率降低。

5.4 未来网络的设计原则

从以上章节的描述，我们可以梳理出未来网络设计的大致原则。

1. 传统互联网的核心设计原则，包括端到端原则、分层解耦原则等，需要尽量保留。毕竟，互联网运行 50 年来已经取得了巨大的成功，不论是对应用创新的促进，还是网络本身的扩展性、健壮性，都说明互联网的架构设计总体是合理的，目前没有充足的理由对其做根本性的改变。
2. 运营商出于业务控制、运营管理的需要，多年来不断对网络架构和协议做出改进。这已经成为互联网获得成功的关键因素之一，是互联网不可或缺的一部分。在未来网络的设计中，需要继承运营商多年来形成的网络设计理念，比如可管可控、服务质量保障、集中式与分布式控制相结合等。
3. 面向未来的需求，现有的网络技术不能完全满足。现有网络的一些设计原则需要进行调整。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

比如，传统的端到端原则，要求业务和网络之间的解耦，网络不感知业务。但这种模式显然不能满足对于传输质量有很高要求的业务场景。

4. 为了实现业务和网络的协同，未来网络的目标是持续增强 IP 网络能力，为共性化需求提供内生的、网络主导的解决方案，为业务和应用提供支撑。

基于以上思路，我们提出未来网络的两条设计原则：

1. 横向：服务化网络赋能的端到端原则
2. 纵向：智能控制面支撑的瘦腰模型

从横向的角度看，也就是终端、网络、业务之间的关系看，传统互联网的端到端原则，是指业务的处理主要在两端进行，网络不感知业务，保持“哑管道”模式。这种架构确实有利于两端的业务创新，但正如前面章节所述，业务和网络的隔离在有些场景并不能满足业务的需求。

为了在特定的场景，满足网络对业务进行支撑的需求。我们把“端到端原则”修正为“服务化网络赋能的端到端原则”。具体说明如下：

- 端到端的互联网协议架构仍然保留，即，业务的处理仍然主要在两端进行，网络主要负责建立端和端的连接。对于绝大多数业务来说，仍然保持网络的无状态原则，即，业务的状态与网络节点无关。
- 网络为业务提供各种服务能力，比如确定性传输能力、内生安全能力、算力调度能力等。网络以开放接口的方式提供这些能力，调用的主动权在于业务本身。
- 网络能力的开放是多层次的，可以只提供连接类服务，有服务质量保障的连接；也可以提供基础资源类服务，即，连接+计算+存储；进一步可以提供业务支撑类服务，网络提供业

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

务需要的公共模块，比如安全服务。

- 网络能力的开放又是多粒度的，不同的业务主体，对网络的需求也不相同。比如，同样是为了保障传输质量，大型云服务商只需要得知网络的拓扑结构和链路的时延、拥塞状态，就可以据此做出合理的路由规划和多路径分担；而行业客户并不想知道网络内部的细节，只希望网络能提供一个有质量保障、安全保证的传输通道。
- 网络以多种方式提供开放接口，比如，通过 SDN 控制器提供业务接口，或者由 PE 设备在转发面提供业务接口，或者在终端、云端植入 APP 的方式提供接口。

互联网架构的"纵向"，可以有两个角度去理解：一个是纵向的协议层次，也就是 TCP/IP 协议栈，分为应用层、传输层、网络层、网络接口层（网络接口层可再细分为链路层、物理层）；还有一个角度是网络的纵向功能区分，分成转发面、控制面、管理面。

IP 协议层次的设计，有一个非常形象的说法，就是"瘦腰模型"。就是说，IP 层，作为互联网的"腰"，要尽量保持简单。这是因为，IP 层是互联网互联互通的基础，是所有节点都要支持的协议，影响面涉及全网。IP 层的任何一个微小改动，都可能产生难以事先评估的后果。在这种情况下，业界对 IP 层的改动是慎之又慎的。相比之下，IP 层之上的改动只涉及网络两端，IP 层之下的改动只涉及局部网络，所以业界在这两个层面的创新不断涌现。比如 CDN、QUIC、VXLAN 等应用层和传输层的新技术，往往是实际部署快于标准，迭代改进；而位于链路层、物理层的 SPN、M-OTN 等技术，则先是由少量电信运营商以企标形式推动、部署，然后才在标准组织进行标准化工作；而 IP 层的 SRv6、BIER 等技术，则需要经历长期的技术研究、试验、标准化的过程，才能进入真正的商业部署。从这个意义来说，保持 IP 协议栈的"瘦腰"模型是很有必要的。针对新的需求或问题，如果能够在其它层面解决，则不要去改动 IP 层。比如，针对低功耗物联

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

网场景的 IP 包头过长的问题，6LoWPAN 协议通过在 IP 层与链路层之间增加垫层的方式解决问题，就是这种思路的体现。

如果尽量少动 IP 层，那么如何扩展网络功能来实现“服务化网络”呢？就要看网络纵向架构的另一个维度，即网络自身的转发面、控制面、管理面。自从 SDN 的概念提出以来，数据网络采用相对集中的控制面，简化转发面，已经成为运营商的普遍选择。传统的互联网是纯分布式控制架构，不存在集中的控制面网元，控制面功能（比如各种路由协议）由网络设备的主控板实现。这种架构其实不适合网络运营管理的需求。SDN 技术产生之后，运营商数据网络逐渐成为分布式和集中式混合的架构，在保留传统的分布式路由协议基础上，在管理域内部署相对集中的 SDN 控制器来实现更加灵活的策略，比如，区别化的流处理、特定业务的路径规划、全网数据采集和决策优化等。SDN 控制器相当于以软件的方式扩展了网络的功能，有利于把最新的 IT 技术，比如 AI、大数据、区块链等技术，引入到网络领域，实现网络资源的高效利用、网络能力的精准匹配。

两个角度结合起来看，未来网络纵向的设计原则就是“智能控制面支撑的瘦腰模型”。具体的含义如下：

- 保持互联网协议栈的“瘦腰架构”，IP 层尽量稳定。这并不是说，IP 协议不能扩展。事实上，IPv6 协议预留了扩展字段用于扩展新功能，SRv6、BIER6 等功能就是利用 IPv6 的扩展功能实现的。除了地址长度不能变，IPv6 的扩展能力并没有受很大的限制。但对 IP 层的扩展要相对慎重，要考虑对现网的兼容和网络的平滑演进。
- 网络的功能扩展（主要指运营商数据网）主要在相对集中的控制面进行，转发面尽量简洁。现有的 IP 路由协议以及成熟的 MPLS 系列协议等，作为互联网运行的基本骨架，需要保留和适度改进。新增的 SDN 控制面，应作为运营商扩展网络功能，提升网络服务能力的主要

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

抓手。使得网络能够在不对基础协议做大的改动的情况下（即，保持瘦腰模型），体现出更强的业务支撑能力和适配能力，做到灵活性和稳定性的统一。

这两个原则是相辅相成的关系。端到端原则必然在协议架构上导致瘦腰模型，这是保持互联网灵活、可靠、可扩展的最基本原则。为了满足未来业务需求和网络可持续发展，引入了服务化网络的概念，作为端到端原则的补充。而为了在瘦腰模型不变的情况下增强网络能力，又需要加强控制面的能力。

6 未来网络的架构

为了满足面向 2030 年业务发展需求，结合上述提到的两大设计理念："服务化网络赋能的端到端原则"和"智能控制面支撑的瘦腰模型"，未来网络参考架构如下。

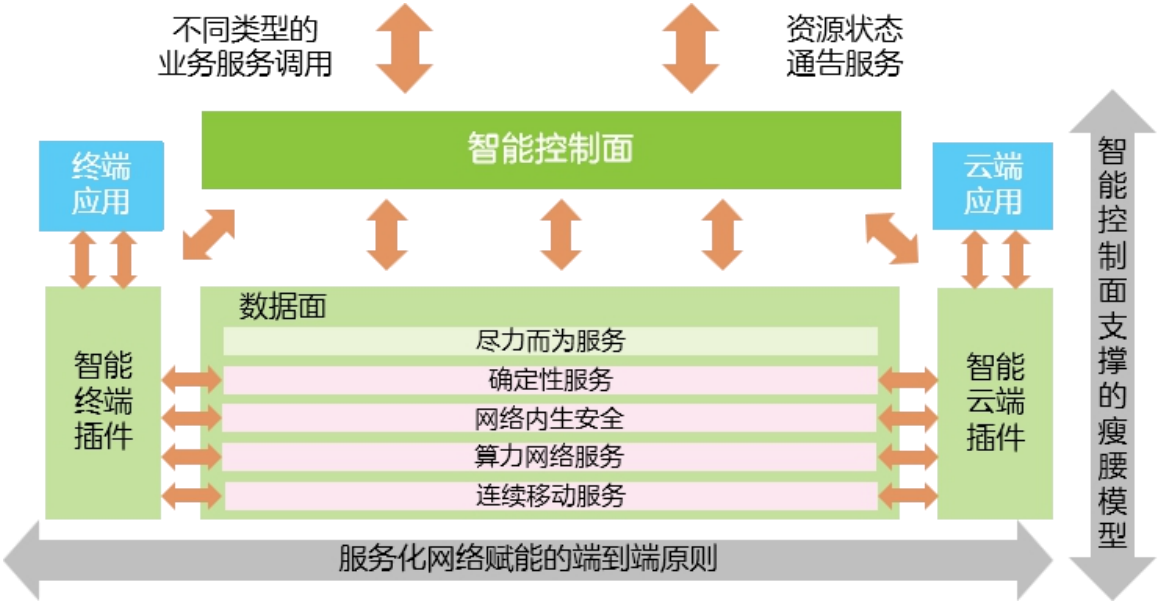


图 6.1 未来网络参考架构

6.1 横向：网络的能力向两端延伸

未来网络在保持原有尽力而为服务能力的基础上，增强提供确定性业务服务能力、网络内生安全能力、算力网络服务能力和连续移动业务服务能力，同时将增强服务能力延伸到业务应用的两端，并提供标准化的设计范式，简化应用层设计，为未来多种多样的业务提供服务化的支撑，有利于全社会全行业的快速创新和发展。

未来网络以智能插件的形式驻留在业务应用的两端（在业务应用的两端资源受限无法满足智能化部署需求时，智能插件也可以就近部署在网络的边缘节点上），智能插件负责实现网络标识映射和管理，其核心思想就是基于 IP 地址的灵活扩展，来解决当前互联网面临的安全可信、移动连续以及寻址效率等问题；智能插件另一个重要能力就是基于感知的应用意图，对网络、算力、AI、安全等综合资源进行最优决策和调度，最终向应用提供有精准资源保证的精准连接。

智能插件和应用之间通过松耦合的接口进行交互，采用面向应用的服务订阅发布接口，这样应用程序可以专注于其核心业务逻辑的设计，在基于网络提供的契约进行应用数据分类后使用网络提供的服务，而无需关注其应用数据在网络服务过程中的处理过程，从而满足未来业务的高可靠性、高伸缩性和灵活性的需求。

一类接口是网络向应用发布不同类型的业务服务调用接口：网络通过智能插件发布服务类型和服务参数，应用结合自身的需求订阅网络服务，按照不同类型的服务进行数据分类，并填写对应的服务参数，调用网络服务。

另一类是网络向应用提供资源状态通告服务：智能插件通过应用友好的服务接口，将综合资源使用状态通告给应用，应用根据网络资源使用状态进行应用侧优化，以向最终用户提供精准的业务体验。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

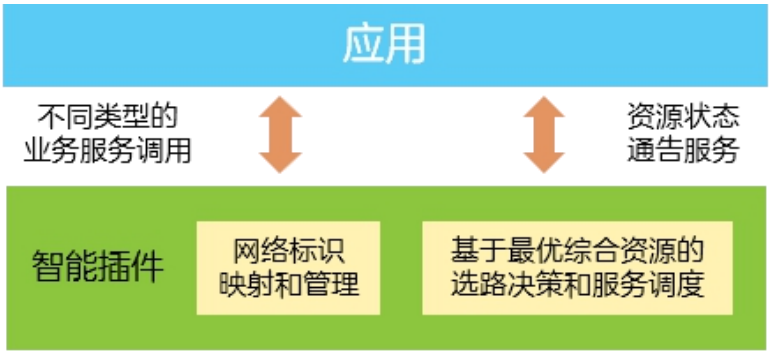


图 6.2 智能插件与应用的接口

6.2 纵向：智能控制面支撑下的瘦腰

未来经济社会和互联网深度融合，面对由此带来的业务多样性、用户多样性、介质多样性等需求，此时应用和网络的设计需要更为高效和敏捷。架构设计中一个重要的问题就是取舍问题，高性能、易用性、稳定性、可扩展性、可维护性、安全性往往不可兼得，架构决策的关键在于理解利弊和确定优先级。在未来网络的架构设计中一定要避免网络中心论或者应用中心论，避免过度设计。

从计算机程序设计的经典一书《计算机程序的构造和解释》（SICP）中关于控制复杂度的思想可知，对任何一种复杂问题的认知方法都可以通过简单认知的组合找出，这样的设计会具有比较好的可扩展性，其核心要素为：

- 基本表达式：最简单的原子概念和元素
- 组合的方法：从简单原子元素出发构造出复合的对象
- 抽象的方法，给复合对象命名，当作单元去操作

基于以上的设计思想，未来网络新功能的部署，可以把复杂多变的处理交给控制面，网络设备保留通用、简化的处理功能，也就是控制面面对应用的多样性需求，通过抽象和建模得到

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

聚合后的网络功能，比如标识、选路、编程、调度等，数据面负责提供基本原子元素的组合操作，去实现上述网络功能。

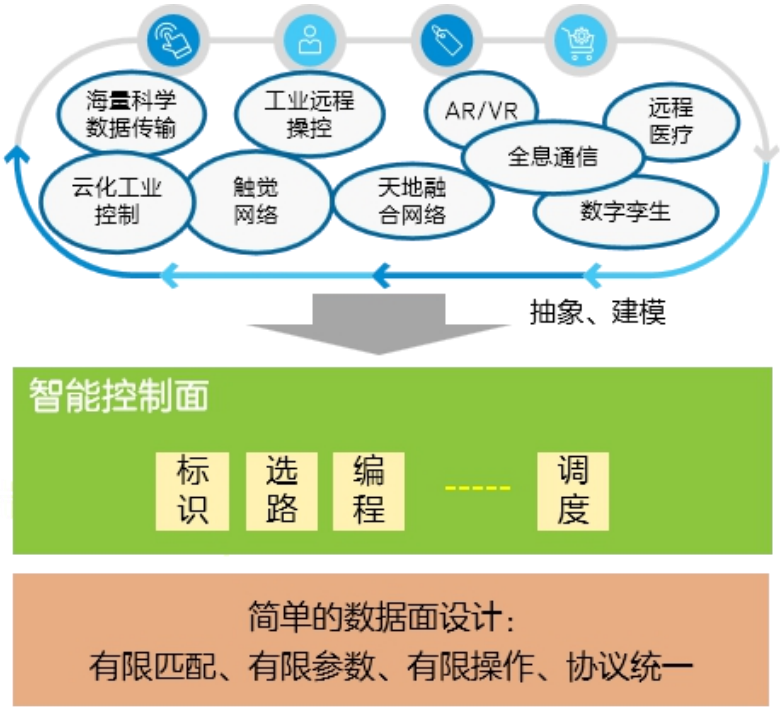


图 6.3 智能控制面与简化的数据面

通过前面对于运营商发展历程的回顾可知，运营商通过电信网为经济社会快速地提供了无所不在的互联网连接，而运营商对于网络实现的可管理可运营支撑了网络规模的快速增长和网络服务质量的提升，成为互联网成功的重要推手。

而人工智能技术为人类社会的持续创新提供了强大的驱动力，开辟了广阔的应用空间。从网络角度来看，大规模网络有迫切的自动化管理需求，需要网络引“智”，化“繁”为“简”。网络逐步加强智能化能力，可以帮助运营商网络运营决策科学化、业务个性化、维护精准化和服务高效化。

未来网络通过意图网络（IBN），分析用户意图，将意图转译为相应的网络策略，最终实现网络感知和控制策略的自动化部署。意图是 IBN 的核心，IBN 的运行过程与意图紧密相关。用

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

户只需要描述想要的结果，而不用描述如何实现，IBN 就可自动地实现用户意图，并能够持续监控网络状态信息，判断用户意图是否实现。如果检测到意图没有实现，则系统将通过人工智能和自动化技术对用户意图进行重新转译和优化，最大程度满足用户的意图。在意图网络的支撑下，非专业人员在对网络行为感知和控制时，无需了解相关的底层实现细节，大大简化应用开发的复杂度，从而降低了整体数据经济建设的综合成本。

未来网络智能控制面的基础是镜像，镜像网络是实际物理网络的数字镜像，通过镜像网络来实现对综合资源的知历史、明当前、察未来，知历史就是对综合资源使用的状态和历史进行回溯，然后进行仿真得出资源使用和业务体验的关联；明当前就是将综合资源的实时使用状态快速镜像到控制面获取全局资源使用现状；察未来就是基于仿真和现状，对于未来的网络质量、用户体验以及后续行为做出预测，然后再通过应用友好的接口将网络镜像得出的综合信息通告给应用，由应用结合应用侧的综合预测结果做出匹配最佳用户体验的最终优化。

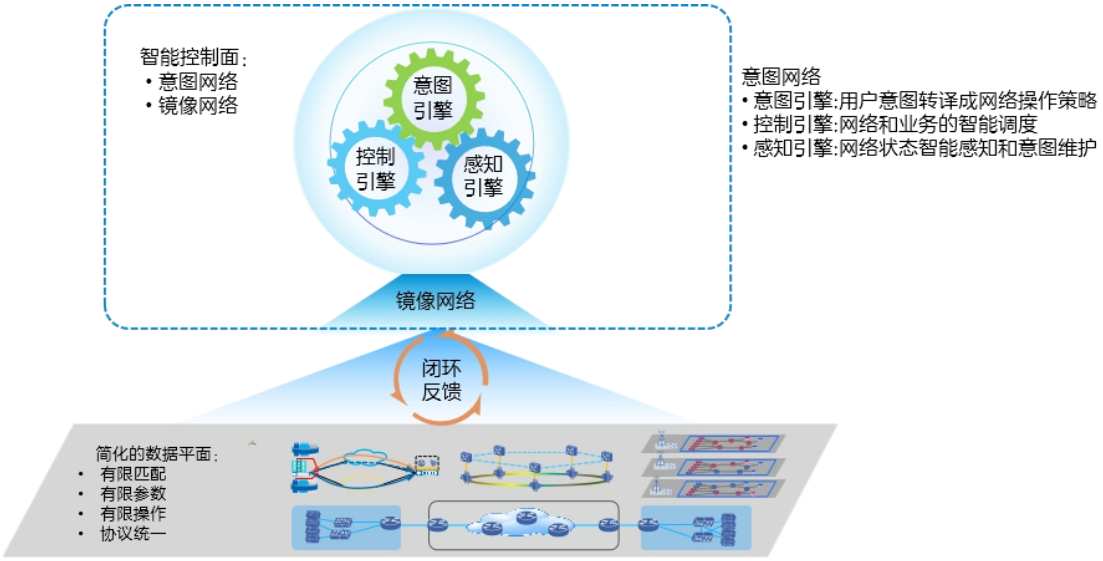


图 6.4 智能控制面的基本架构

在智能控制面的支撑下，未来网络可以继续基于瘦腰模型对数据面进行改造和升级，以应对未来经济社会的多样化需求。

以上就是以上一章两条设计原则为基础的未来网络参考架构。这个架构的核心要点，一是网络自身的能力要提升（确定性承载、内生安全等）；二是这种能力要能够向两端延伸，向应用开放；三是控制面增强、转发面简洁。下面的章节将基于这个参考架构，对未来网络关键技术需求的实现做一个简要的描述。

7 未来网络的关键技术

7.1 精准连接技术

传统互联网基于尽力而为的转发为应用提供即插即用的服务，面对未来网络多种多样的业务需求（尤其前面提到的确定性网络的需求），需要网络可以根据不同的业务承载质量要求灵活选择精准的承载技术以及精准的资源匹配向应用提供精准的业务体验，即网络向各种差异化的业务提供精准连接服务。

精准连接技术整体设计思想为：

横向：智能插件式设计实现基于业务需求选择精确连接切片，计算精准连接路径只需要按需智能部署在两端，中间转发节点不维护每业务状态。

纵向：智能控制面提供精准连接控制，包括精准业务识别、精准网络资源控制、精准路径控制和精准质量保障，数据面提供多层次灵活转发技术以提供不同的网络服务能力。

7.1.1 精准连接架构

未来网络作为基础设施需要满足具有不同承载质量要求业务的综合承载，不同业务的承载质量对带宽、时延和抖动、丢包率以及隔离性等都有差异化的要求，传统 IP 网络尽力而为的转

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

发技术无法满足日益增长的差异化承载质量的需要；同理，也不存在某一种单一的技术能满足所有业务的承载质量要求。因此，未来网络支持灵活插件式的转发技术精准满足不同业务的承载质量要求是非常合理的选择，基于业务承载质量要求精准选择灵活的承载技术提供精准连接是未来网络的关键。其中灵活连接能力共享相同的网络基础架构（如下图所示），简化网络设计。

图 7.1　灵活精准连接能力架构

插件式灵活精准连接服务能力对于不断涌现的新业务承载具备动态演进能力，支持新业务-新需求-新插件-新能力自我动态闭环演进流程（如下图所示）。

图 7.2 灵活精准连接服务闭环流程

7.1.2　层次化灵活精准连接技术

网络精准连接技术从 OSI 网络模型来说可以在 L1-L3 不同网络层次上提供不同的连接服务，

具备不同的连接特性。

表 7.1 不同网络分层连接技术及特性

网络分层	连接技术	连接特性
L1 物理层	光层复用	硬隔离，固定带宽，无拥塞丢包，低时延和低抖动
	电层 TDM 复用	
L2 链路层	标准以太网	统计复用，MAC 帧存储转发，可变速率，优先级调度
	TSN	MAC 帧时间敏感转发，可优先级抢占，时延和抖动可控
L3 网络层	标准 IP	统计复用，IP 包存储转发，可变速率，优先级调度
	DetNet	DetNet Flow 资源预留，时延和抖动可控

IP 化的业务可以根据业务的承载需要精准选择合适的连接技术或者组合技术（如下图所示）。结合网络切片的能力可以在同一张基础物理网络上切片出多张满足指定功能或拓扑的虚拟网络，虚拟网络内进一步为不同服务质量的业务精准选择合适的连接技术。

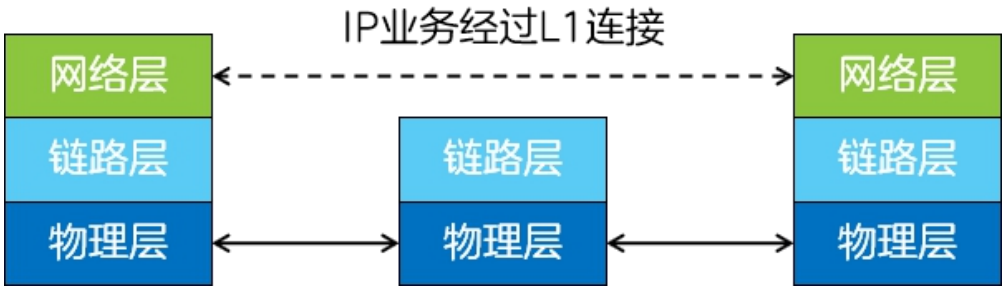


图 7.3 IP 业务经过 L1 连接一跳直达

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

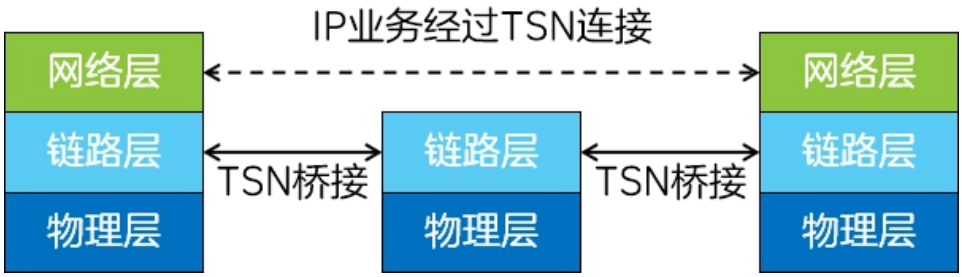


图 7.4　IP 业务经过 TSN 网络连接

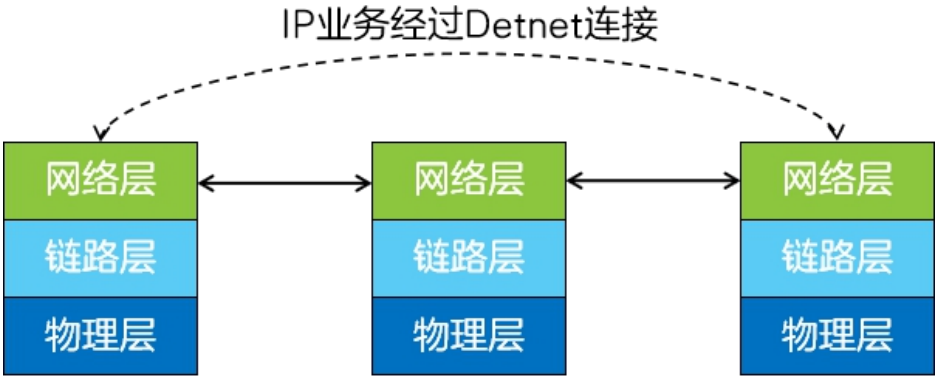


图 7.5　IP 业务经过 DetNet 连接

7.1.3　精准连接控制技术

精准连接需要精准的为不同业务选择合适的连接技术，该功能由精准连接控制技术提供。精准连接控制技术包括精准业务识别，精准网络资源控制，精准路径控制和精准质量保障几部分组成（如下图所示）。

图 7.6 精准连接控制技术

精准业务识别根据收到的业务请求及承载质量要求，识别业务的承载质量特征和指标，从而精确匹配业务的需求选择合适的连接技术；然后根据选择的连接技术进行精准的网络资源分配，包括分配独占的网络资源或者共享预留的网络资源；在网络资源分配成功的基础上，精准控制连接路径，提供约束或非约束的路径选择能力；最后为连接提供精准质量保障，确保承载业务的服务质量。

7.2 算力网络

在 5G 及后 5G 时代，为了更迅捷高效地响应业务的计算需求，算力资源逐渐被下沉至靠近用户的边缘，并形成异构多样、分布式的算力部署新态势。网络基础设施通过其成熟发达的连接感知触角，将多级分布的算力资源进行统一的动态纳管、调度和编排，实现全网资源的虚拟算力池化优势，在提升服务质量和资源利用率的同时，为网络运营商使能全新的业务提供能力

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

和算网融合商业模式。

算力网络，即网络基础设施具备对算力资源的感知、调度和编排，在网络层提供网络、计算、存储的新型 ICT 融合服务，是以网络为基础的新一代技术架构和业务运营体系。

算力网络整体设计思想为：

横向：两端算力智能，中间算力无状态，智能插件执行算力应用与网络可服务算力/网络资源之间的适配，算力（含存储）分布在边云，边缘节点如 PE、DC GW 感知算力状态，执行算力编排和路由策略，中间节点仅需根据编排好的路径进行转发。

纵向：智能控制面完成算力感知、调度和编排的抽象，数据面实现路由策略算网双约束，统一协议架构规划执行。

7.2.1 算力网络控制面技术

算力网络体系之下，算力路由表的创建需要动态感知分布式的算力、存储等资源信息，对这些信息的感知和与此对应的算力路由表的创建，是算力网络控制面的关键技术。

算力网络控制面根据算力资源的收集、编排和分发的机制不同，可以分为集中式、分布式和混合式三种方式。

集中式算力网络控制面方案中，端、边、云的算力、存储和网络资源及节点信息由集中式编排器统一收集和分发，集中式编排器按照应用需求，结合全网算力和网络资源状态，编排最优的转发和路由路径，并下发至算力网络路由和转发节点，如图 7.7 所示。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

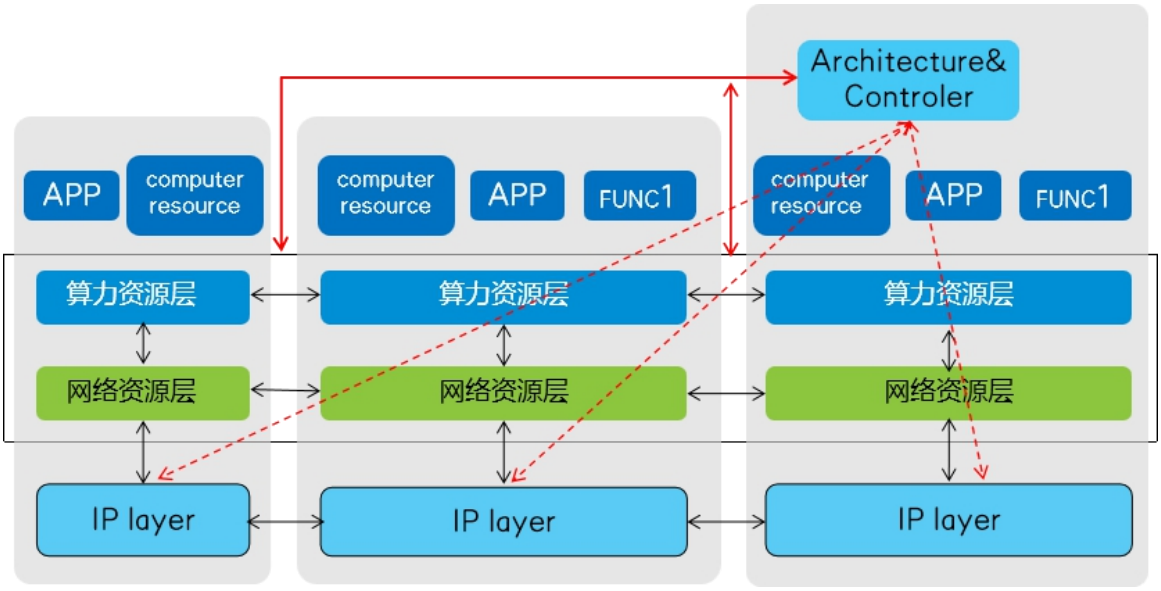


图 7.7 算力网络集中式控制面方案示意图

算力资源分布部署于网络基础设施上，如边缘计算节点、云数据中心等，算力资源节点通过北向接口与集中编排器（或控制器）进行南北向垂直交互。应用从边缘节点接入，集中编排器（或控制器）需要在感知应用及其算力和网络需求的基础上，进行路由策略编排。对于少数典型应用，可通过集中编排器预编排预配置，并预下发至算力网络节点。入口节点将应用与预配置的路径做映射，进行相应的应用流量路由转发。对于非典型应用，算力网络入口节点（或算力网关）需要通过信令接口通告集中编排器，由后者进行相应的策略编排和下发。

分布式算力网络控制面方案中，算力、存储等资源节点就近向算力网络节点注册（含更新、删除）其算力资源状态信息，即算力网络转发和路由边缘节点对算力节点资源信息进行本地化管理，本地算力资源信息的全网通告则通过分布式路由协议（IGP & BGP）实现。路由协议对算力资源信息的洪泛通告，将在网络域内(如 IGP)或域间（如 BGP）构建全网算力资源状态数据库，以供算力网络转发和路由设备据此进行算力资源维度的路由和转发决策。如图 7.8 所示。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

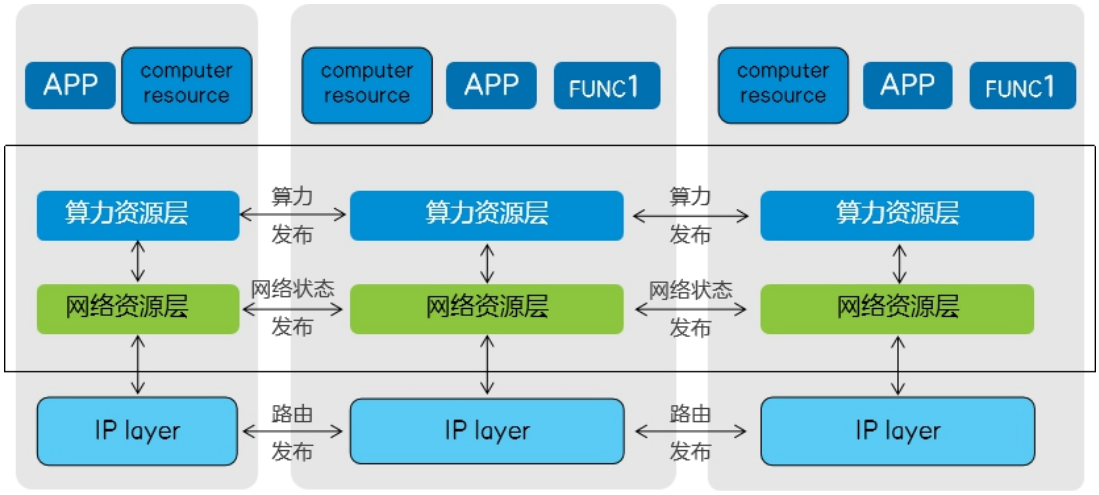


图 7.8 算力网络分布式控制面方案示意图

集中式算力网络控制面方案拥有全局资源视图优势，并且对设备和现行协议的影响较小，但是由于大量计算节点和网络节点需要频繁与控制器或编排器进行交互，收敛速度慢，效率较低，无法适应时延敏感的算力应用。分布式算力网络架构能够较好地解决集中式架构的弊端，但是它涉及到现网设备和现行协议的大幅度调整，代价高昂，落地周期更长。

因此，一种既有集中式交互机制又有分布式交互机制的混合式架构，在很多应用场景能较好地平衡部署代价、收敛速度等方面的需求。如图 7.9 所示。

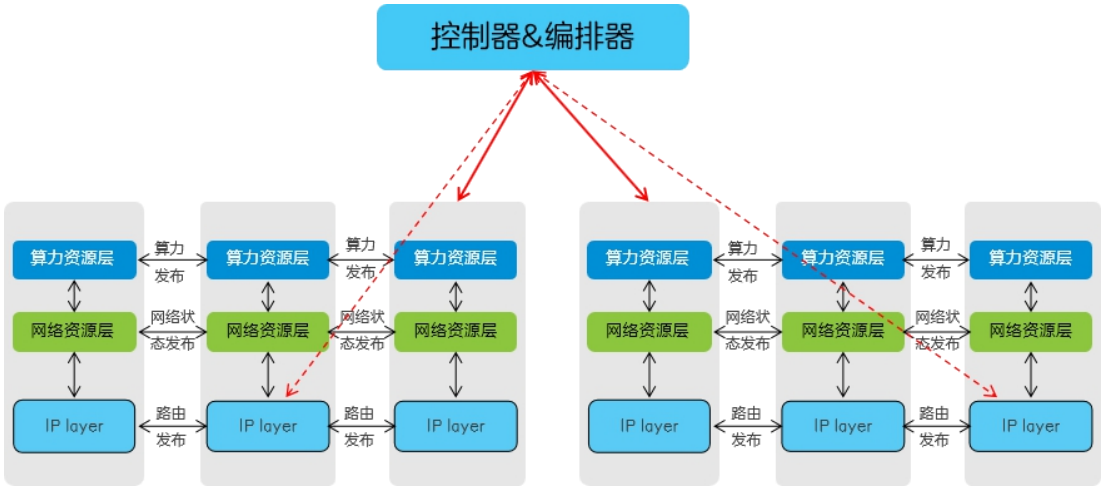


图 7.9 算力网络混合式控制面方案示意图

7.2.2 算力网络转发面及路由策略技术

从路由机制上讲，算力网络是在当前网络路由机制基础上增加了算力、存储等 IT 资源约束。因此，算力网络的路由策略必须基于网络和算力（含存储）双重约束进行编排，并据此进行数据面的封装、解封装以及流量转发。在算网应用转发场景中，算力、存储等资源往往以可即时服务的算力功能或算法为锚点，即算力应用的实际转发节点是基础算力功能或业务。一个端到端的算网业务转发将是一个由多个转发和路由节点以及多个基础算力功能或业务节点组成的算网服务链，如图 7.10 所示。因此，一种基于经过扩展的 SRv6 & SFC 转发面方案，能够更好的统一执行算网融合路由策略。

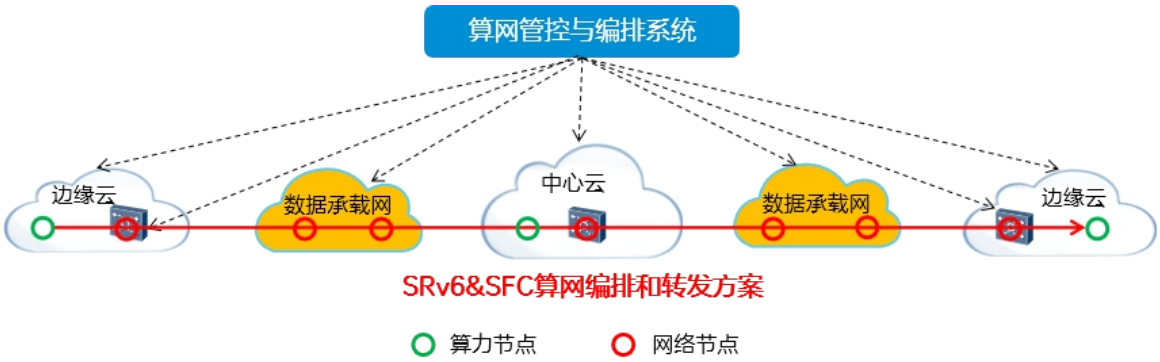


图 7.10 基于扩展 SRv6&SFC 的算力网络转发面方案示意图

7.3 网络内生安全

6G、网络 5.0 等未来网络中，车联网、远程医疗、工业网络、算力与网络融合等应用场景衍生了新型网络体系结构，具有泛在互联、万物互动等特点，需要网络具备更高安全性能。考虑到用户或终端行为的不确定性、威胁的泛在多变性，现有网络防护模式以及安全能力难以满足新型泛在网络的安全需求，不能适配网络多态化快速演进需求，严重制约未来网络的发展与

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

应用。

网络内生安全通过在网络层内生可信安全能力、由网络主导可信关系的建立和传递，在控制面不断提升智能程度，最终对未知网络攻击实现最优位置阻断，实现对网络攻击的全网防御，提升端到端安全防护性能，充分保障业务和应用未来的持续发展。

网络内生安全技术整体思路：

横向：通信源端和目标端安全处理，驻留于端侧（包括终端或边缘节点）上的智能插件完成网络可信通信发起和终结，中间其余节点可透明转发。

纵向：智能控制面基于大数据、AI 等技术，提供实时威胁检测与智能研判、大规模网络安全态势指标评估与预测技术，实现网络行为的监控与风险防范；数据面将网络可信通信内置到统一网络层协议。

7.3.1 网络内生安全技术整体架构

支撑新型网络体系结构的整套内生安全技术框架主要分为可信网络通信和智能协同防御两方面机制，如图 7.11 所示。可信网络通信旨在提供通信方端到端网络通信过程的安全可信能力，具体涉及可信标识管理体系、可信网络传输机制、可信路由保障方案等诸多关键技术方向，实现“云-边-端”全过程可信认证与转发，以及端到端流量安全。智能协同防御基于整网提供对未知攻击的分析、识别和防护，实现大规模网络未知攻击检测与防御能力，提升未来网络的攻击免疫力。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

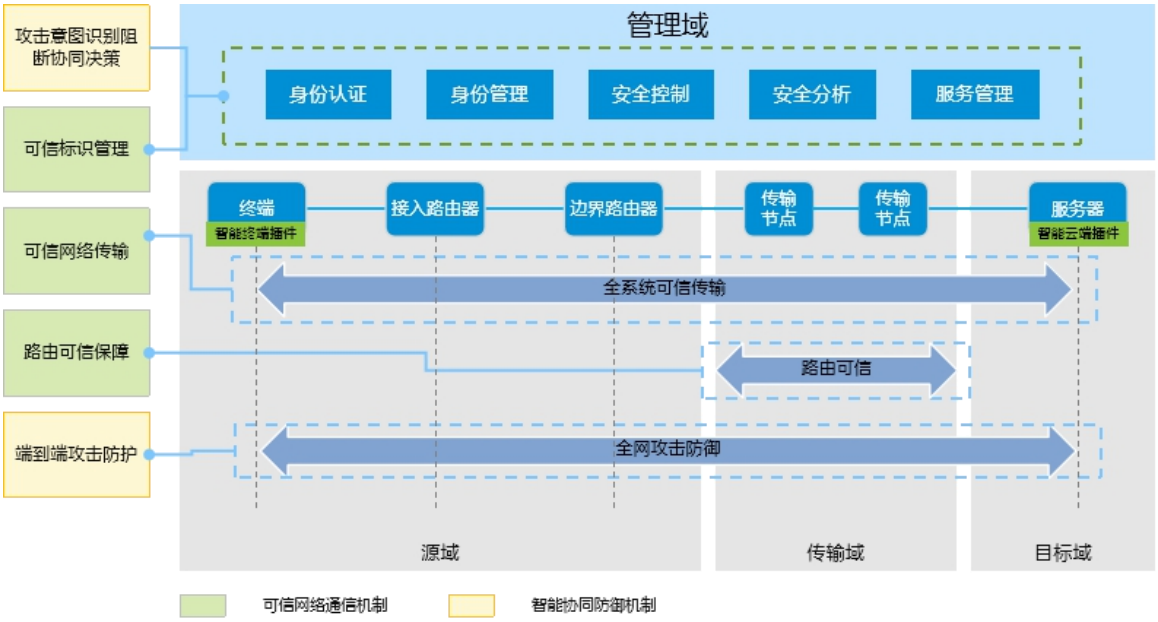


图 7.11　面向未来网络的内生安全技术框架

7.3.2　全系统可信网络通信

针对现有的身份管理系统复杂低效、可信验证技术开销大、保护机制不完整，审计溯源困难等问题。如何构建网络身份数字化体系，如何建立端到端安全可信的网络通信机制值得深入研究。

全面分析新型网络体系结构的内生安全机理，在网络中所有节点元素（包括用户、终端、网元、应用等）身份数字化基础上，设计与现有网络标识命名系统兼容的可信标识符命名体系。在此基础上提供网络可信表示、信任关系建立及信任传递机制，同时构建网络可信通信模型和技术框架，如图 7.12 所示。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

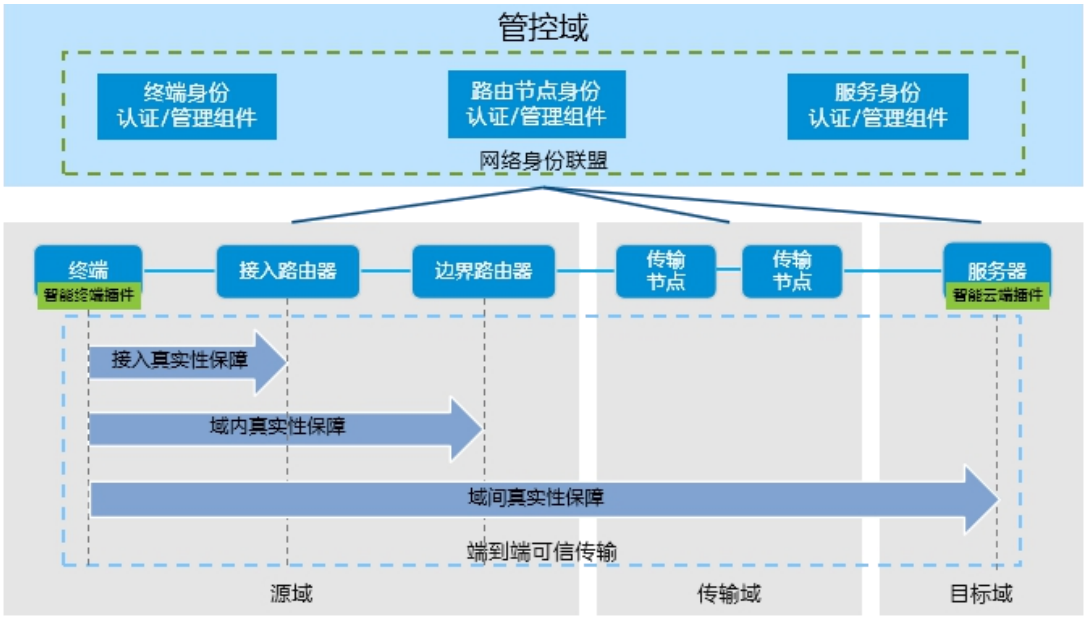


图 7.12　端到端的可信标识管理和可信传输机制

基于数字化身份标识体系提供联盟态的网络空间安全信任锚点模式，提供适应异构主体的去中心化安全可信身份管理架构及其关键技术，解决不同场景、不同区域、不同行业的信任协同问题。在标识管理系统安全可靠得以保障的基础上，提供分布式信任链技术与实时认证或授权技术，实现身份认证过程的安全可信。在业务传输方面，利用身份可信、快速密钥生成技术，通过多层级验证和关键信息隐匿，提供网络传输通道的统一安全可信机制，实现高性能轻量化的实时验证与可信可行转发能力。

通过研究可信网络标识管理体系和可信网络传输机制，不仅满足异构应用场景下对通信端身份的可信管理，还能实现数据的端到端安全传输、攻击主动预防、隐私保障以及跟踪审计。

除了可信网络标识管理体系和可信网络传输机制以外，路由协议的安全保障也需要得以加强。BGP 在假设网络可信的基础上产生，设计之初缺少可信机制，导致目前路由伪造、路由劫持等攻击层出不穷。通过基于身份认证与授权的可信网络寻址机制，利用基于区块链等的路由认证密钥分发技术，可提升转发路径的真实性,实现基于可信标识的安全路由转发控制，有效防

范路由假冒、路由劫持等威胁。

7.3.3 全网智能协同防御

现有安全机制中的被动防御模式、孤岛防护手段很难满足新业务、新网络发展趋势和需求，因此，考虑在端到端通信业务中，需要提供基于威胁模型等知识的攻击检测和预知，基于溯源的全系统协同攻击防护能力。

基于大数据、AI 等技术，提供实时威胁检测与智能研判、大规模网络安全态势指标评估与预测技术，实现网络行为的监控与风险防范。结合网络和业务安全需求，基于可信网络身份的智能分析和对访问行为的持续感知进行风险动态度量、网络攻击意图识别，通过信任评估和识别信息动态调整访问授权、安全防范点以及威胁防御手段，实现对未知网络攻击自适应协同处置、全方位决策、最优位置阻断，系统性提升网络的未知攻击免疫能力。

7.4 移动性管理

当前无线通信网络基于传统的 IP 网络构建，移动性管理存在着 IP 与身份标识绑定问题。一是移动锚点固定方式，终端 IP 地址不变，则流量存在迂回，传输时延大。二是移动锚点变化方式，终端 IP 随锚点变化，则业务连接存在拆链和重建的过程，业务连续性不能保证。

随着工业互联、车联网、无人机、云 XR 等新兴业务的发展，对未来网络要求高带宽、低时延、高可靠、空间无限制移动。现有的移动性方案，要么以业务和终端为主，要么以网络为主，均不能有效的满足移动中确定性业务的需求。3GPP 移动性方案的演进，已经从纯网络的方案逐步引入网络层和应用层协同机制，来优化移动切换体验。但 3GPP 方案局限于特定场景下使用，

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

不具备通用性。

未来的网络移动性管理除了需要解决上述 IP 锚点的问题，还应独立于不同的接入网，向后兼容已有的接入，并支持未来新增的空天地、毫米波、微基站等，无论通信端在地理、空间上的位置发生如何改变，通信网络都能够确保业务连续性和服务质量。

移动性管理技术整体思路：

横向：通信两端主导移动管理，智能插件向应用屏蔽各种接入网的差异以及实现多路径调度，中间节点对于移动无感知。

纵向：智能控制面基于大数据、AI 等技术，实现移动轨迹预测、最优服务迁移和资源调度，数据面实现统一、扁平的多介质接入。

7.4.1 移动性管理技术整体架构

未来移动性管理解决方案构想通过引入智能终端及云端插件，提供接入管理、终端及云端移动管理和多链路管理，实现移动过程中连接快速切换及路径冗余；通过新的标识体系协同，实现通信端移动过程中会话标识的全局唯一性及连续性，不管通信端从哪里接入，以何种方式接入，都可以进行各种通信实现对应用层会话的透明和无感知。通过引入集中的智能控制面提供位置管理及轨迹预测、新位置标识的分配管理、连接的主动切换、路径的最优选择等功能实现全局视角的移动性管理及终端插件的辅助功能。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

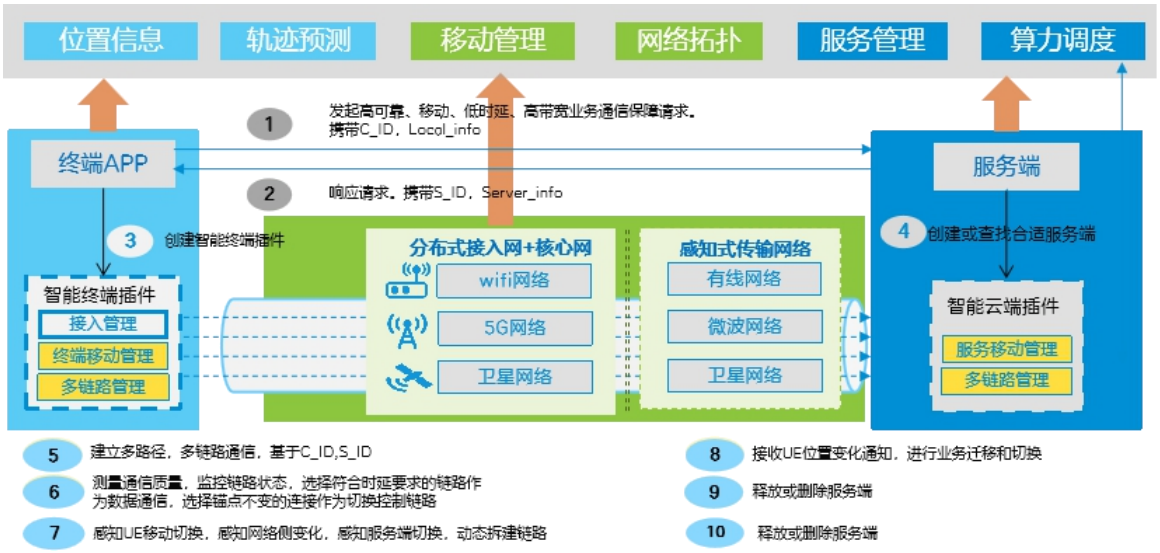


图 7.13 未来网络移动性管理方案构想

7.4.2 移动性管理关键技术

基于上述移动性管理总体方案构想，未来将围绕统一标识的多连接多路径管理，基于 AI 的智能控制面和会话数据动态迁移三个方面展开。

整个移动性架构由融合业务、网络、传输的新型协议完成。网络侧感知业务请求内容及 SLA，协同新型协议完成端到端服务质量保障，满足已知及未来移动中确定性业务。

1、基于新标识的多连接多路径管理

当前 TCP/IP 的连接以通信双方的 IP 地址及端口号进行标识，使得连接标识随 IP 地址的变化而变化，进一步引发应用侧业务不可连续。通过引入新的标识体系实现身份与位置分离，实现在一次会话过程中，身份标识和连接标识不随位置标识而变动，对应用侧透明实现业务连续性。

多连接多路径的管理需要解决两个问题，一方面实现连接和路径的冗余，确保数据传输的零中断和零丢包，以及多路径下的最优负载分配；另一方面通过对通信端的位置管理和轨迹预

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

测，实现接入和路径的最优选择以及位置标识和连接的预分配，确保连接切换过程中的最低时延。

同时还应考虑：通过安全内生特性减少在连接建立过程中的双向安全认证，进一步降低切换时延；通过网络应用相互感知实现切换前后网络连接质量的一致性；通过后向兼容现有协议架构降低落地成本。

2、会话数据的动态迁移

这包括与网络强相关的连接会话数据和与应用强相关的服务会话数据。

一次连接切换可能包括物理层、链路层以及网络层或传输层的多层切换，网络各层状态数据的快速迁移可有效缩短连接的切换时延，保持会话连续性。

随着边缘计算的应用和普及，就近资源选择及服务提供会带来服务端的动态生成。当连接在多个服务端进行移动和切换时，需要云网协同实现用户移动过程中跨基础设施的上下文同步和业务快速迁移。

3、基于 AI 的集中控制面智能管理

未来网络将进一步扁平化，终端多样化，应用需求差异化。通过在区域内设置统一的集中控制面，基于云端协同的分布式移动管理架构，提供差异化的移动管理功能并与现网后向兼容，实现终端按需请求的差异化移动性管理。

智能化的集中控制面功能包括：通信端的位置管理及轨迹预测，网络拓扑的实时感知，标识的预先分配以及跨系统的映射，多连接、多路径的选择和切换。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

7.5 智能控制面关键技术

7.5.1 意图网络技术

意图网络是一种在掌握自身"全息状态"的条件下，基于人类业务意图，借助人工智能技术进行搭建和操作的闭环网络架构。

意图网络提供网络基础设施全生命周期的管理，包括网络设计、实施、配置和运维，可提升网络可用性和敏捷性。Gartner 预测：完整的意图网络系统能将网络基础设施交付时间缩短 50%~90%，业务故障时间减少 50%，并本质上提升用户的业务体验。

传统的业务开通需要用户通过繁琐的业务参数配置才能完成，工作量大，开通时间长，操作易出错，运维成本高。

基于用户意图的业务自动开通在未来支持两种方式，一种是用户通过一定的操作终端（手机 APP、系统客户端等）接入控制器，用户只需选择业务场景（如移动业务场景、集团客户场景等），系统会根据所选场景自动判断并提示用户必须输入的信息，提供默认推荐的业务 SLA 信息（包括带宽、是否需要保护等）。当用户意图确认后，系统自动形成多个符合用户意图的业务方案，并为用户推荐最佳方案。用户确认方案之后，系统将方案内容转换为设备的各种配置信息，下发给有关设备，从而完成业务的开通。这种基于意图的业务发放，配置极简，全程可视化，业务发放效率高，用户体验得到质的提升。

第二种是网络系统通过对业务报文的智能分析自动识别获取新建业务或业务变更信息，自动感知和分析业务意图，然后根据业务意图进行与第一种方式类似的方案自动生成、自动部署。两种方式能够满足不同场景的用户需求，适应网络未来的发展。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

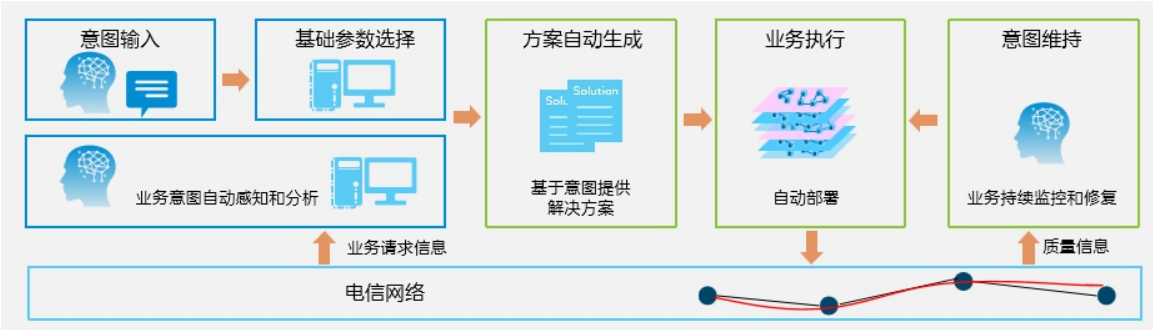


图 7.14 意图网络技术示意图

当意图创建成功后，系统根据业务 SLA，采用对应策略进行业务的精准感知，比如，对业务流的丢包、时延、抖动等质量数据进行随流统计。如果发现业务某个质量特性超过设定阈值，则自动触发精准监测，并基于业务知识图谱和 AI 算法，自动分析判断异常所在位置（如具体异常网元、端口）。如果业务质量劣化到设定阈值，则触发业务路由优化和自动恢复。基于实时感知的意图维持能够提高业务质量管理的及时性、主动性，提高业务保障能力和运维效率。

7.5.2 镜像网络技术

镜像网络是数字孪生技术在通信行业的实践。镜像网络是实际通信网络的镜像，是实际通信网络在数字空间的等价映射，可独立在数字空间进行分析、仿真、预测，并与实际网络进行交互，更好（更快、更易、更主动、更智能）的实现通信网络的全生命周期管理。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

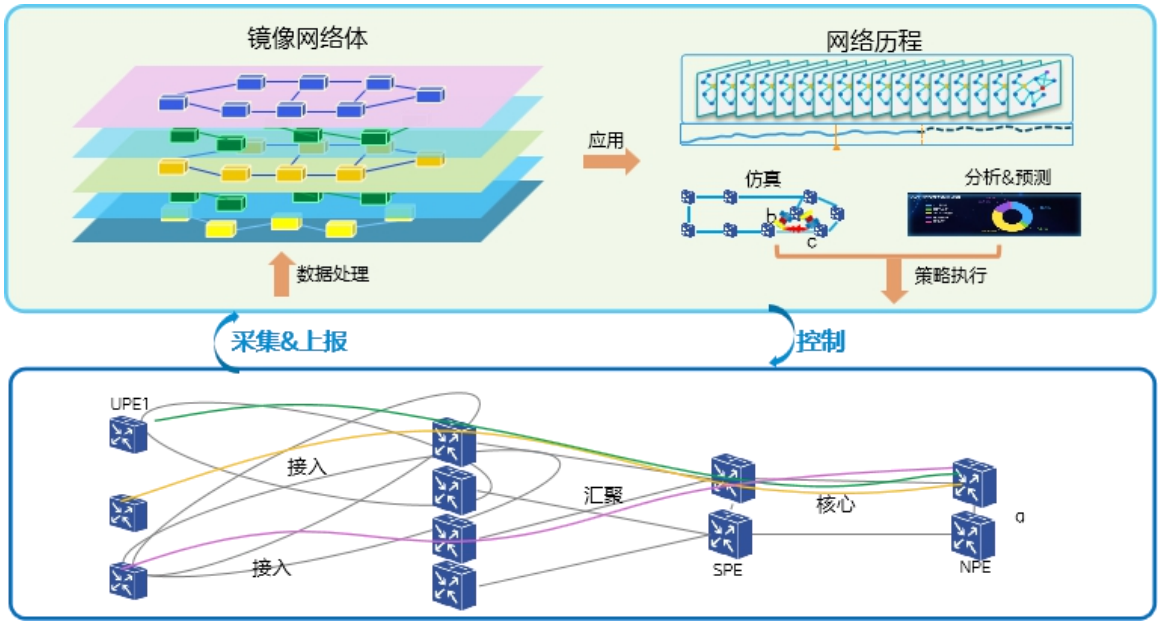


图 7.15 镜像网络技术示意图

镜像网络技术的一个关键点是如何建立实际电信网络的符合智能化需求的镜像网络体，这个镜像网络体包含了实际网络、业务的历史和当前配置、状态及变化，是完整、系统的网络、业务镜像体。

镜像网络一个重要的应用是仿真，仿真可以在网络调整、业务创建、质量分析等场景发挥重要价值。比如故障仿真，通过设置一个或多个故障点，模拟网络断纤，节点掉电等事件，向用户直观地呈现故障发生后网络质量和业务受到的影响，从而使运维人员在进行光缆割接、节点升级等调整操作前，提前判断对业务运行情况的影响，做好业务安全保障，提升运维操作的安全性。

镜像网络另外一个重要的应用是分析和预测，基于完整、系统、实时的镜像网络体，采用 AI 智能算法，进行网络和业务的持续分析，及时发现网络、业务的潜在风险，实现网络连通性和质量的持续性保障。当镜像网络和意图网络结合，将最终实现网络自治。

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

7.5.3 网络智能调度技术

未来网络中需要传输的数据量将爆发式增长，而用户对业务 QoS 的要求却在不断增高。传统的基于全局业务的网络资源优化算法，虽然能够提升网络资源利用率，但是无法满足网络中业务请求的动态性和实时性要求。网络智能调度技术采用基于深度学习模型的手段，使得网络中的动态业务同时满足时间要求和性能要求。

网络智能调度技术主要包含两个部分：离线训练过程和在线决策过程。

在离线训练过程中，将统计网络中的历史请求信息，然后将批量业务请求和网络信息作为输入，利用长时间的全局最优路径智能生成算法计算业务路由信息，基于此路由信息通过深度学习模型进行离线训练。

在线决策过程中，当控制器收到新的业务请求时，将请求信息和当前网络状态信息作为输入传递给深度学习模型，经过模型在线推理得到精简网络拓扑。最后根据精简后的拓扑，通过在线快速路径计算得到最优路径。

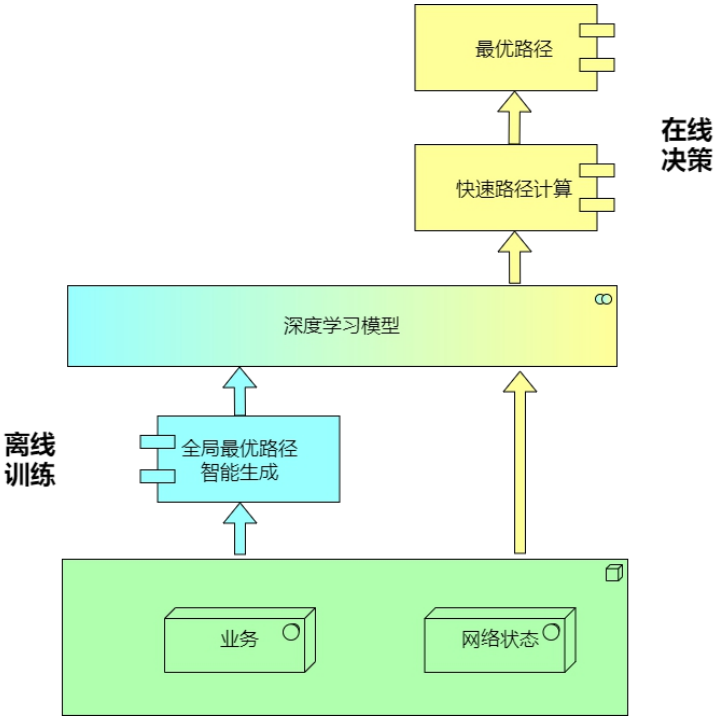


图 7.16 基于深度学习的网络智能调度过程

网络智能调度技术通过发挥深度学习模型的优势，不仅能满足高动态业务的实时路由需求，同时控制面还能够保证用户业务的 QoS。对于控制器总体来说，提升了网络资源利用率，降低了网络阻塞率。

8 总结

本白皮书分析了未来网络面临的需求和挑战，提出了万维互联、算网融合和精准网络这三大愿景。在技术架构方面，本文提出要在继承传统互联网成功的设计原则的基础上，吸取多年来运营商建设、管理数据网络的技术实践，同时面向未来的业务需求，提出改进后的新的设计理念。本文创造性地提出了"横向：服务化网络赋能的端到端原则，纵向：智能控制面支撑的瘦腰模型"的新型网络设计原则，并且基于此原则提出了未来网络的参考架构。

9 参考文献

(1) ClarkD D：The design philosophy of the DARPA Internet protocols，ACM SIGCOMM Computer Communication Re-view,1988,18(4)

(2) Feldmann A：Internet clean-slate design:What and why?，ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2007,37(3)

(3) 吴建平，林嵩，徐恪，刘莹，朱 敏：可演进的新一代互联网体系结构研究进展．计算机学报，2012,35（6）

(4) B. Carpenter：Architectural Principles of the Internet，RFC 1958，June 1996

(5) R. Bush，D. Meyer：Some Internet Architectural Guidelines and Philosophy，RFC 3439，

 中兴通讯版权所有未经许可不得扩散

December 2002

(6) Hongke Zhang, Wei Quan, Han-Chieh Chao, Chunming Qiao：Smart Identifier Network: A Collaborative Architecture for the Future Internet，IEEE Network May/June 2016

(7) 黄韬，霍如，刘江，刘韵洁：未来网络发展趋势与展望，中国科学:信息科学 ，2019，49（8）

(8) 网络 5.0 技术和产业创新联盟：网络 5.0 技术白皮书，2019 年 5 月

(9) 方敏，段向阳，胡留军：6G 技术挑战、创新与展望，中兴通讯技术 2020 年 6 月 第 3 期

(10) 孙滔，周铖，段晓东，陆璐，陈丹阳等：数字孪生网络(DTN)：概念、架构及关键技术. 自动化学报, 2021, 47(3)

(11) 中国移动研究院：未来 IP 网络 IDEAS 关键技术白皮书，2020 年 6 月

(12) 中国电信集团公司：云网融合 2030 技术白皮书，2020 年 10 月

(13) 中国联通算力网络产业技术联盟：算力网络架构与技术体系白皮书，2020 年 10 月

(14) X. Tang et al.，Computing power network: The architecture of convergence of computing and networking towards 6G requirement ，China Communications, vol. 18, no. 2, Feb. 2021.

中兴通讯版权所有未经许可不得扩散