



专题：新型网络

面向智能工业物联的灵活地址可信协议架构

陈哲, 蒋胜, 王闯

(华为技术有限公司, 北京 100095)

摘要: IP 网络在过去 50 年里取得了瞩目成绩, 已经成为人们生产和生活过程中不可或缺的一部分。然而, 随着互联网的广泛应用, IP 协议体系的一些原始设计缺陷也日益暴露, 难以满足未来网络的发展需求。讨论了面向 2030 年的互联网业务场景和关键技术挑战, 提出了面向智能工业物联的灵活地址可信协议架构。新协议架构在传统 IP 协议全球可达、高生存性的基础之上, 构建万物万网互联、确定性服务、内生安全可信、高通量传输和用户可定义等新能力, 并基于这些新能力使能更多新型网络业务。

关键词: 灵活地址; 协议架构; 万物万网互联; 确定性服务; 内生安全可信; 高通量传输; 用户可定义

中图分类号: TP393.0

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020194

A flexible and secure protocol framework for industrial internet of smart things

CHEN Zhe, JIANG Sheng, WANG Chuang

Huawei Technologies Co., Ltd., Beijing 100095, China

Abstract: The IP has achieved remarkable results in the past 50 years, which is an indispensable part of our life. However, with the wide usage of the internet, original design flaws of the IP were increasingly exposed, making it difficult to meet the requirements of future network. The scenarios and key technical challenges for internet in 2030 were discussed, and a flexible and secure protocol framework was proposed for industrial internet of smart things. The proposed protocol framework not only achieves the global reachability and high survivability, but also enables new network capabilities such as ManyNets (interconnection of everything and networks), deterministic services, intrinsic security, high-throughput transmission, and user-definable networking.

Key words: flexible address, protocol framework, ManyNets, deterministic service, intrinsic security, high-throughput transmission, user-definable

1 引言

现有的 IP 技术始于 1969 年, 过去 50 年在全世界的部署与实践取得了巨大的成功。随着 IP 技

术的不断演进, 其上承载的应用越来越丰富, 邮件、云计算、社交网络、在线购物、电子银行、视频直播等应用正在深刻影响着人们的学习、工作与生活。近年来, AR/VR (augmented reality/

收稿日期: 2020-05-20; 修回日期: 2020-06-21

virtual reality)、远程医疗、工业互联网、车联网等新应用已悄然而至,全息通信、意识通信、空天地一体化通信等新应用在不久的将来也将“揭开神秘的面纱”,人们正在快速进入一个万物感知、万物互联的智能世界。

传统 IP 网络符合沙漏型瘦腰结构,以“简单”“高效”“尽力而为”的设计思想实现全球可达和高生存性。然而,面向新型网络业务,这种原始设计思路正在面临越来越严峻的挑战。随着大量的智能机器接入网络,“面向机器的通信”将产生许多新型网络连接需求。网络服务对象和服务模式的转变使“大带宽等于高质量”的假设不再普遍适用,信息在网络中传输的准时性和网络层的确定性成为了未来网络关键需求之一。与此同时,机器对于信息的处理效率、时长和连续性等方面的要求将远超人类,未来网络在总传输通量和超大数据瞬时传输能力的上限亟需提升。超低功耗的传感器等更为多样的异构设备、超高速移动的卫星联网等更为多样的异构网络逐步促成“万物、万网互联”的态势,网络协议体系需要匹配复杂异构化的特征。以全息全感通信为代表的未来媒体通信形式通过多信息源、多维感官数据的同步传输保证服务体验,超高吞吐、多路并发、精准协同等势必成为未来媒体应用的普遍需求^[1-3]。

在技术发展历史中,包括美国、欧洲、中国在内的多个国家和地区都设立有众多关于未来网络架构的研究项目。它们从不同的思路出发,探讨并研究未来网络架构与协议体系,或连续演进、或彻底变革。从 1996 年美国提出 NGI (Next Generation Internet)、Internet2 计划,到 2007 年欧盟发起第七框架 (7th Framework Programme, FP7) 计划,各个国家和地区一直在努力探索数据通信的下一代技术。然而,这些努力始终没有改变 TCP/IP 技术的内核,其本身的固有缺陷一直没有得到解决。

在继承现有 IP 能力的基础上,本文提出面向

智能工业物联的灵活地址可信协议架构——New IP, New IP 基于未来愿景,展开一系列前瞻性技术研究,旨在面向以未来智能机器通信为主的全行业互联网和工业互联网需求,提供可承诺确定性低时延、兼顾安全与隐私、万物万网互联等新业务能力的网络技术及协议^[4-5]。New IP 系统性地从以下 5 个方面系统性地提升网络能力,推动网络协议体系技术持续向前演进。

(1) New IP 研究灵活可变长的地址体系,并在网络中提供多样化路由寻址能力,以缓解传统 IP 网络定长地址及单一拓扑寻址模式导致的问题。这种灵活多样化编址、路由体系能够通过短地址编址满足 IoT 设备低功耗诉求,通过地理位置路由匹配卫星网络高动态性的特征,基于服务路由在边缘计算场景实现更加极致的服务获取体验。灵活多样化的地址使 New IP 同时适用于多种异构网络场景,从而实现万物万网互联。

(2) New IP 在传统 IP 网络统计复用基础之上,在当前“尽力而为”服务模式之外,尝试增加确定性转发模式。在网络层提供端到端的确定性服务能力,保障特定业务流传输的确定性低时延和抖动,从而满足未来智能制造、远程医疗、自动驾驶等众多对网络服务质量保障有严苛要求的应用。

(3) IP 网络设计之初的七大设计原则不包括安全因素,当前 IP 网络存在地址易伪造、隐私易暴露、信任模型脆弱、易受分布式拒绝服务攻击等问题。New IP 分析和研究具有内生安全机制的网络架构,最大化地保护用户隐私,构建坚实的分布式可信基础,打造安全可信的网络,满足对隐私保护的要求以及全行业互联对安全可信的需求。

(4) New IP 研究新传输层架构,通过并发多路传输、网络编码和跨层协同机制缓解当前传输协议带宽利用率不足、无法感知应用需求和网络状态等问题。面向未来全息全感通信、AI 视频处理等新型应用,实现业务流的超高通量、超大数据突发、差异化服务传输。



(5) New IP 探索用户可定义的网络架构, 通过在协议报文中携带指令和元数据信息, 使用户能够向网络表达更细粒度、更多元化的业务需求, 如质化传输、多业务流间同步等。不同于传统 IP 网络只能满足用户拓扑寻址需求, New IP 能够根据用户定义的指令对数据分组进行定制化处理, 以支撑未来更加纷繁复杂的业务场景。

2 面向 2030 年的互联网业务场景和关键技术挑战

2.1 以机器为主的通信

(1) 车联网

车联网是一个完整端到端网络子系统, 包括无线传输、承载网对接、车载网络、边缘计算, 典型的 V2X 体系包含 V2V、V2P 和 V2N。其应用包括下一代高铁、磁悬浮工业车联网应用以及自动驾驶、下一代车载娱乐办公系统等商业应用。车联网对确定性时延有严格的需求, 以支撑车体定位、控制信号的实时性, 满足未来调度系统的性能要求。确定性时延是端到端的系统工程, 包括无线的实时性、传输网络的实时性。每台汽车内部是一个小型网络体系, ADAS(advanced driver assistance system) 是一个核心系统, 其利用安装于车上各式各样的传感器, 在第一时间收集车内的环境数据, 进行静、动态物体的辨识、侦测与追踪等技术上的处理, 从而能够让驾驶者在最快的时间察觉可能发生的危险。

(2) 远程医疗

远程医疗对影像传输有着特殊的要求, 低质量的视频及图片可能导致医生难以辨清病情。各类医疗数据的传输速率要求不一, 例如远程诊断中的电子病历等传输速率在 200 kbit/s 即可, 但 CR、MRI、B 超等资料的传输速率则要求达到 100 Mbit/s。一般情况下, 远程就诊需要 1080P、30 f/s、低于 100 ms 时延的实时视频传输要求; 在基于远程操控机器人开展的医疗手术, 医生佩戴

3D 眼镜等设备, 实时观察手术现场画面, 视频清晰度要求 4K 以上, 非压缩条件下的数据传输速率要求不低于 12 Gbit/s, 时延低于 10 ms。此外, 远程医疗的发展需要承载医疗设备和移动用户的全连接网络平台, 对无线监护、移动护理和患者实时位置等数据进行采集与监测, 提升医护效率。

(3) 智能电网

以继电保护为例, 其目的是自动检测两个变电站之间的线缆是否存在故障。为此在线缆的两段分别放置两个继保设备, 令它们相互向对端发送等值的电流(该电流值通过本地采样获取)。以一端的继保设 A 为例, 它需要将将对端收到的电流值与本地的采样值进行对比, 如果两者的电流之差小于一定的阈值则认为线缆上没有故障发生, 否则就判定线缆上发生了故障。为了避免由于时延偏差而引发的错误判断, IEC 61850 指出两个单向时延的差距不能大于 200 μ s, 且每个单向时延的抖动不能超过 50 μ s。

2.2 万物万网互联

随着网络技术的飞速发展, 互联网从传统的主机通信模式逐步转变为万物互联的新通信模式, 通信的主体也不再局限于主机, 实体设备、虚拟机、服务内容甚至人都可以作为通信主体。另一方面, 网络的边界从单一的地面互联网发展到天地一体化的万网互联结构, 它以地面网络为基础、以空间网络为延伸, 覆盖太空、空中、陆地、海洋等各类异构网络环境。然而, 多样化的通信主体与异构的网络融合虽然可以催生更加丰富的应用, 却也对当前 IP 网络带来新的技术挑战。

受限于电池技术的发展, 当前物联网设备对于能耗十分敏感, 业界为此提出了多种可实现地址压缩的物联网专用协议, 用于降低设备通信开销。然而, 万网互联时代, 再强大的物联网网关也无法支撑海量物联网终端与外部通信时面临的协议转换开销。因为, 为避免繁重的协议转换过程, 需要网络地址原生支持长度可变, 从而实现

异构网络的无缝互通。

万物互联的时代,通信主体从物理主机扩展到多样化的网络设备,甚至是虚拟化的服务内容,但传统的网络寻址方式仍然是基于主机拓扑位置的,导致寻址过程的效率低下。面对未来多样化通信主体并存的场景,如果可以针对不同类型的通信主体设置相应的寻址方式(如通过服务名称来进行网络服务的寻址),将有效提升寻址效率。但是,当前IP地址无法承载更多的语义信息,难以表达更多种类的寻址需求,需要设计支持多语义的编址机制。

此外,空间网络作为未来天地一体化网络的重要组成部分,具有空间广覆盖特性,可以跨区域实现异构网络的互联互通。然而,空间网络的高动态性为现有路由机制带来新的技术挑战,频繁的路由更新将导致路由收敛性问题,最终网络连接的可靠性将大大降低。究其原因,当前IP地址基于连接的设计思想已无法满足拓扑时变的网络环境要求,需要实现一种基于位置的编址方式,屏蔽网络的移动性。

2.3 新媒体传输

新兴的多媒体显示技术(如AR/VR、全息影像等)给网络传输带来极大的挑战,例如对高带宽、低时延的极致追求。以AR/VR为代表的新媒体应用,沉浸式体验需要的传输带宽约为1 Gbit/s,网络时延小于10 ms。应用层在处理数据时,天然地按照数据语义区分不同对象。在共性的网络传输需求外,不同对象还有着不同等级的完成时间、服务等级需求。例如视频流量会容忍网络分组丢失,但是需要保持较低的完成时间;交互类的指令流量需要完全可靠,更要避免丢失分组重传带来的额外时间开销。

为满足新媒体对网络传输的需求,需要新一代的传输技术灵活地整合网络能力。不同的媒体应用会有不同的可靠性、带宽、时延等传输特性,甚至在同一个连接中,不同数据对象需要传输特性都不相同。作为直接承载应用数据传输的应用

层网络协议(如HTTP2.0/WebRTC等),受限于传统技术的跨层无感知、传输特性单一,不能灵活地优化整体的应用性能,在新媒体技术的浪潮中面临巨大的挑战。

2.4 下一代移动通信

用户需求始终是移动通信系统发展的驱动力。第一代(1G)移动通信系统实现了基本的移动通信功能,2G完成了通信数字化的演进,3G提供了对移动多媒体业务的支持,4G进一步提高了频谱效率和带宽,带动了移动互联网产业的发展,而5G将移动宽带业务拓展到了大规模机器通信的场景。在未来,6G需要网络提供支持确定性和低时延的差异化服务,以应对工业互联网、自动驾驶、远程医疗等多种未来应用的定制化需求。然而,现在的IP网络是基于“尽力而为”的思想设计的,对数据报文的传输行为没有逐跳控制,导致报文最终达到时刻的不确定性,无法支撑未来移动承载网提供可规划、可预期、可定制、差别化的服务能力。

与此同时,随着移动通信逐步进入生产和生活之中,网络安全态势日益严峻,但传统互联网“补丁式”的安全修补机制,难以有效应对与日俱增的安全威胁与层出不穷的新型攻击方式。因此,未来的移动承载网络需要一整套完整的、内生的安全可信机制,不仅要保证通信双方和网络基础设施的可信,还要保证端到端通信的真实性、可审计性、隐私性、完整性、机密性以及面临网络故障和网络攻击下的可用性等。

此外,5G已开始研究利用卫星网络广覆盖特性实现对地面移动网络的有效补充,6G进一步提出天地一体化的通信网络架构,实现天、空、地、海泛在互联。但是,以空间网络为代表的新兴网络与传统地面网络本质异构,传统IP网络设计之初也并未考虑如此复杂的空间链路特性,导致现在的空间网络必须采用定制化的传输协议。然而,未来移动承载网络要实现天网与地网的泛在互联,就必须打破异构协议的束缚,实现天地一体化的信息传输。



3 New IP 核心能力及关键技术创新

New IP 核心能力如图 1 所示,为解决面向 2030 年业务场景下的关键技术挑战,New IP 在传统 IP 协议全球可达、高生存性的基础之上,构建万物万网互联、确定性服务、内生安全可信、高通量传输和用户可定义等新能力,并基于这些新能力使能更多新型网络业务,满足未来网络需求。为构建以上能力,New IP 进行了如下几点关键技术创新。

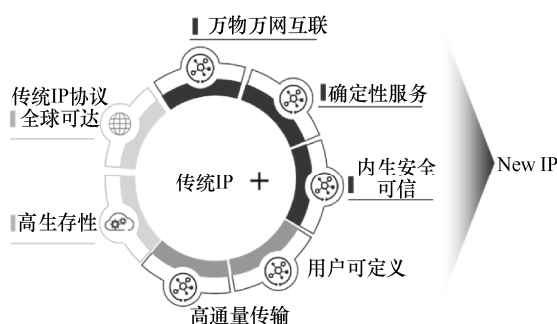


图 1 New IP 核心能力

3.1 万物万网互联技术

(1) 灵活变长地址

现有的 IP 地址空间难以满足海量通信实体的接入需求,需要更长的地址空间。另一方面,以物联网设备为代表的资源受限设备通信载荷通常较小,而局域网内通信时过长的地址又会导致报头开销过大,增加不必要的传输能耗,需要尽可能压缩域内通信地址。因此,New IP 提出灵活变长地址,打破传统 IP 定长定界的束缚,实现按需压缩或者扩展地址空间,以同时满足海量终端带来的长地址通信需求和以物联网通信为代表的短地址通信需求。

New IP 利用自解释且长度可变的编址方式,令网络接入设备可以根据需求灵活编码地址长度。网络中的路由器可以支持任意长度的地址的路由查询操作,无须引入协议转换网关等设备,从而避免额外开销及网络可扩展性问题。在短地址域内(如物联网),不同通信实体可以通过短地址直接通信,且在无反向路由的需求时,源地址

长度可以被进一步压缩到零,从而实现灵活的地址压缩,满足设备资源或功耗需求。而针对长短地址域互通的场景,可以利用地址自解释特性,实现在不同地址域采用不同长度的地址进行通信,避免协议转换过程带来的操作开销和网络可扩展性问题。

(2) 多样化寻址

在未来网络异构互联的架构下,多元化的应用场景导致多种语义的寻址方式并存,即网络中的路由器既可以进行拓扑寻址,又能够根据主机的身份标识、服务内容名字或地理位置坐标等个性化的参数进行寻址。因此,New IP 提出多语义寻址机制,支持异构网络互联。

New IP 通过灵活可选的字段设计与自解释的编址方式,支持自定义的地址语义定义与解析。网络中的路由器可以根据当前地址指示的语义进行对应寻址,支持更加多样化的寻址需求,同时避免协议转换网关带来的开销。传统 IP 网络仅支持拓扑寻址方式,所有网络资源的访问都依赖于映射解析系统对其所在拓扑位置的解析,因此,映射解析系统可以看作整个寻址系统的核心。而 New IP 网络支持多种寻址机制,寻址过程不需要再依赖于任何映射解析系统,可以通过资源名称等方式直接寻址(寻址方式由自解释的编址方式表达),极大提高了寻址效率。

3.2 确定性服务技术

传统 IP 网络基于统计复用,对数据分组经过每跳的传输行为没有控制。最极端情况下,多条流的数据分组可能同时到达同一物理接口。同时到达的数据分组需要排队等待接口资源,使得原本流内的报文间隙被挤压,形成了微突发,如图 2 所示。多跳之后,微突发逐跳累积,最终会导致高时延及时延的不确定性。

New IP 确定性服务的目标就是在现有 IP 转发机制的基础上提供确定性的时延及抖动保证。确定性服务的主要使能技术为 LDN (large-scale deterministic network, 大规模确定性网络)。通过

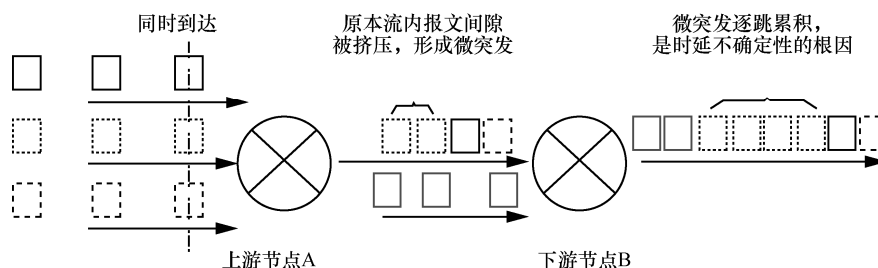


图2 传统 IP 网络微突发原理

引入周期调度机制严格避免微突发的存在, 从而保证了确定性时延和无拥塞分组丢失。LDN 技术的异步调度、支持长距链路、核心节点无逐流状态等特点使其适用于大规模网络可部署。

LDN 引入周期调度概念, 任意两个邻居设备之间都维持着一个稳定的周期映射关系。该周期映射关系约束了两跳设备之间的数据分组转发行为, 数据分组需要且只能在规定的周期内发送, 从而保证了单跳数据传输的时延确定性。从源节点到目标节点经过逐跳的周期约束转发, 保证了端到端的时延确定性。基于确定性的时延上界, 选择一个满足业务需求的确定性服务管道。

设备之间的周期映射关系可以通过控制面配置的方式, 也可以通过自适应分布式学习的方式得到。构造出的周期映射关系可以分布存储在转发设备上, 也可以集中存储在少量控制设备上。后续用户数据报文只需要携带与周期相关的信息, 通过查表转发或者其他方式即可实现确定性转发。

3.3 内生安全可信技术

(1) 保护隐私的可审计动态 ID/Loc 分离技术

采用具有迷惑攻击者的动态 ID 和 Loc 可用于防止隐私泄露和关联追踪, 自治域外部的网络节点仅能揭露数据分组来源于哪个域, 而无法获知发送者具体所在的子网和位置信息以及发送者的长久标识符。网络设备仅能从 IP 分组地址头部获得最小必要信息进行寻址和转发数据分组。当攻击发生时, 受害主机可以追溯非法流量到其所属的源域, 仅源域的审计代理在执行抗否认检查后方能打开发送者的真实身份, 根据其安全策略,

发送控制命令进行流量过滤。通过对永久 ID 和真实 Loc 进行动态加密, 数据分组中携带的身份标识符和位置标识符不仅具有匿名性, 并且可以防止关联分析和非法追踪。

(2) 基于最小化信任的真实性验证与访问控制技术

消除安全域划分机制中对域内流量的信任弊端, 域间和域内流量都将被验证。一方面, 未来网络将根据不同场景, 通过部署不同的匿名验证方法, 在 ID 验证者处实现匿名验证功能, 兼顾隐私保护和真实可追溯能力。另外, 跨域传输流量的真实合法性可以通过流出和流入权多步验证得到保障。对于跨域传输的网络流量, 当数据分组从源端发出后, 源域的 ID 验证者和边界路由器均都会对其流出流量进行验证。对于来自域内部的网络流量, 接收者侧的 ID 验证者同样能验证其来源真实性, 可信的路由设备也能快速对流量合法性进行验证, 从而使得当域内部发生故障和攻击时, 网络管理面能够快速定位错误进行恢复。

(3) 跨域联合审计和多级攻击阻断

面对顽固的 DDoS 攻击问题, 目的域不仅需要具备一定的攻击防御能力, 也需要跨域协同防御协议, 应对目的端被海量压倒性攻击流阻塞的情况。面对 IP 地址因移动异变难验证等特性, IP 数据分组中将内嵌一种目的端可鉴别的标识符, 以使目的端能过滤非法流量、优先转发合法流量。另外, 通过启动跨域的 DDoS 攻击防御协议, 使得攻击路径上的多个网络域之间可以相互协作, 在靠近攻击源侧快速甄别非法流量, 将攻击流掐



断在源侧，同时实现非法流量的追踪溯源。

(4) 网络基础设施安全

采用以分布式账本技术为代表的去中心化技术构建基础设施的可信根。分布式账本等去中心化技术不存在单一可信锚点，所有节点平等，并且有全部信息副本，因此更加可信和安全。在此基础上可以构建统一的资源管理平台，实现网络核心资源（如 IP 地址、域名、AS 及其他未来可能的资源类型）的申请和管理，并提供不依赖于第三方的资源所有权证明。进一步地，资源所有者可以发布与其所拥有资源相关的映射信息，如 AS/IP 地址映射、IP 地址/域名映射等，基于资源间的映射信息，可以进一步实现 BGP 宣告和 DNS 查询的基本能力。由于资源所有权不依赖于单一信任实体，基于此上的所有信息均可信可验证。

3.4 高通量传输技术

New IP 传输层将实现多样化的传输特性，不仅支持新媒体业务的发展，更能提升传统网络业务的性能。基于 New IP 提供的网络信息感知能力，New IP 传输层技术进一步拓展自己的服务能力；为了避免“大而粗”的传输管理，New IP 传输层技术开放服务等级接口给上层应用，并基于对象粒度进行调度，利用现有网络资源最大化地提升应用性能。

New IP 高通量传输原理如图 3 所示，New IP 传输向上感知应用的处理对象，按照其语义实现数据的分块管理。对象块是传输服务等级需求的基本单元，一个连接资源就能实现多种不同的传输策略。New IP 提供多样化的网络感知能力，从而丰富传输层的功能特性；New IP 传输层编排功能特性组合，满足不同对象块的服务等级需求，提升用户体验。New IP 传输层的关键技术包括以下 4 个。

- 差异化传输：通过上层应用对传输内容特征的描述，定义传输策略，表达对数据优先级、服务质量、损失容忍的能力、实时性要求等特性，选择匹配传输策略。
- 超低应用时延：基于对象的数据块传输调度，可以感知数据边界和损失容忍能力，实现尾部传输优化，减少传输完成时间。
- 低时延业务保障：New IP 传输层与网络层配合，识别出“尽力而为”的低时延业务流量集合；转发设备配置特殊的管理策略，保障低时延业务不受影响。
- 并发超大吞吐：利用 New IP 提供的多路径感知能力，新传输层调度对象块在不同路径上实现带宽累加的数据传输；也支持对象块间的需求定义，实现数据同步性。

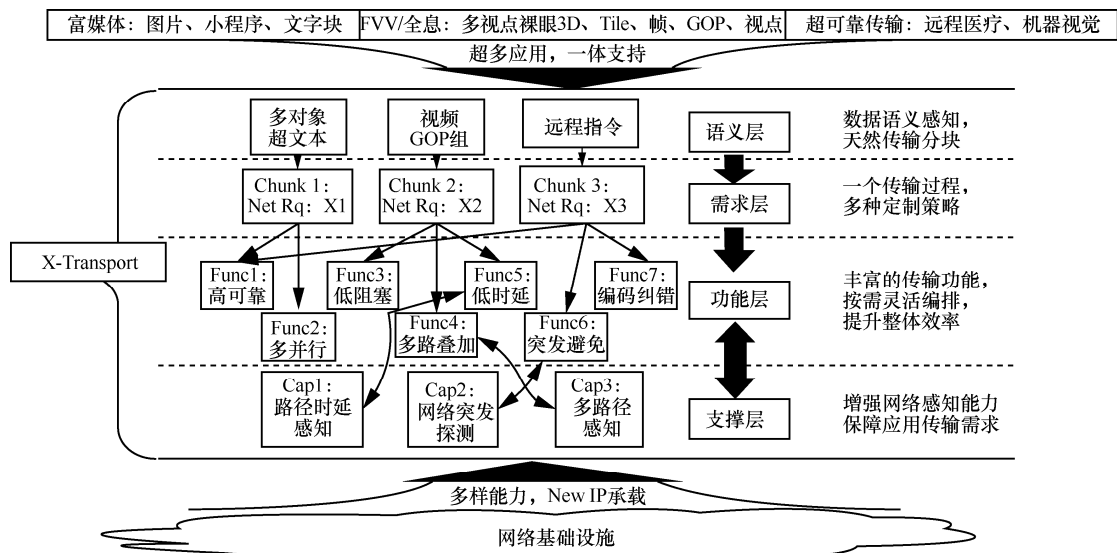


图 3 New IP 高通量传输原理

3.5 用户可定义技术

当前终端的能力越来越强大,同时网络的能力也在随之增长。这种技术的长足发展促使新的网络应用爆发式增长。然而作为终端与网络的唯一接口的IP协议,多年几乎没有发生太大变化。这导致了用户侧及应用侧的需求无法完整、及时地传递给网络侧,同时终端也缺乏感知必要的网络状态的能力,于是在New IP整体协议架构中提出用户可定义网络关键技术,旨在通过对IP协议进行优化,解决上述问题,将指令、信息封装在数据报文中,由这些指令、信息确定网络设备的处理逻辑,从而达到可编程网络协议的效果,以灵活支撑未来各种网络业务。例如,从终端向网络方向上,可以允许用户定义网络功能,低时延转发、大带宽转发、有Deadline需求、订阅分组丢失通告、时延容忍度、收集OAM信息等。从网络向终端方向上,可以允许用户感知网络状态、报文传输路径、是否发生拥塞、中间设备处理信息等。

用户可定义网络可以为用户、应用、业务提供感知网络状态以及定制网络服务的接口,支持对网络状态的感知与网络可编程性。用户可按需使用随路信令在报文中携带相关需求,网络中间节点使用BPP(big packet protocol)按需对数据报文进行处理,例如编码保障可靠性,缓存溢出时选择性丢弃有效载荷保存元数据,提升应用有效数据传输性能、通用报文清洗、自适应速率控制等。用户定义网络是New IP驶向智能网络征程的重要部分,简化网络操作、实现网络高级自动化,让用户决定网络性能、提出网络需求以及智能为用户决策用户需求,实现从终端到网络节点自动化响应、服务器自动化配置的完整证明周期管理,最大化应用和业务性能。

4 结束语

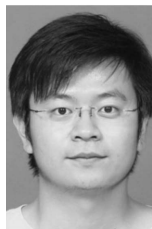
New IP旨在提供“万网互联、万物互联”的新连接能力、确定性传输及大吞吐量传输的新服

务能力、安全可信及用户可定义的新内生能力,使能更多的新服务接入网络。本文讨论了面向2030年的互联网业务场景和关键技术挑战,提出了更加满足未来业务需求的New IP网络协议体系。New IP作为一种协议体系创新研究,尚有大量的技术细节还有待业界的共同研究和完善。

参考文献:

- [1] 蒋林涛. 数据网的现状及发展方向[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 2-15.
JIANG L T. Current situation and development trend of data network[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 2-15.
- [2] 郑秀丽, 蒋胜, 王闯, 等. 对网络技术跨代发展的思考——网络5.0[J]. 信息通信技术, 2017, 11(6): 37-44.
ZHENG X L, JIANG S, WANG C, et al. A potential direction of next generation data communication network—network 5.0[J]. Information and Communications Technologies, 2017, 11(6): 37-44.
- [3] 郑秀丽, 谭佳瑶, 蒋胜, 等. 未来数据网络需求分析[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 16-25.
ZHENG X L, TAN J Y, JIANG S, et al. Analysis on the requirements of future data network[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 16-25.
- [4] 郑秀丽, 蒋胜, 王闯. NewIP: 开拓未来数据网络的新连接和新能力[J]. 电信科学, 2019, 35(9): 2-11.
ZHENG X L, JIANG S, WANG C. NewIP: new connectivity and capabilities of upgrading future data network[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(9): 2-11.
- [5] CHEN Z, WANG C, LI G, et al. NEW IP framework and protocol for future applications[C]//Proceedings of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2020.

[作者简介]



陈哲(1988—),男,华为技术有限公司主任工程师,主要研究方向为网络架构设计、路由协议等。

蒋胜(1978—),男,华为技术有限公司高级技术专家,主要研究方向为网络架构设计、IPv6等。

王闯(1975—),男,华为技术有限公司高级技术专家,主要研究方向为未来网络探索、网络架构设计等。