



未来通信网络架构及演进方案

张晟¹, 戎伟²

(1. 中国移动通信集团公司, 北京 100032;
2. 中国移动通信集团北京有限公司, 北京 100007)

摘要: 随着互联网的飞速发展, 网络承载内容逐渐由以基于连接的信息交互为主的业务, 转变为以内容分享为主(视频)的业务, 网络传送大量冗余信息, 造成非正常的大规模投资, 且业务质量难以保障, 迫切需要研究构建与业务发展匹配的网络。通过对内容分享连接关系和通信网络架构连接关系的研究, 探究二维差时分发或三维分发等实现方式, 改造 CDN 构建内容边缘节点, 优化调整核心网、无线网、承载网架构和网元部署, 并考虑引入卫星等天基网络, 从而在现有通信网络上构建无标度小跳数网络, 实现网络架构与内容分发的匹配。

关键词: 未来通信网络架构; 移动核心网; IP 网络; 无标度网络

中图分类号: TP393, TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018215

Future architecture and evolution of communication network

ZHANG Sheng¹, RONG Wei²

1. China Mobile Communications Corporation, Beijing 100032, China
2. China Mobile Group Beijing Co., Ltd., Beijing 100007, China

Abstract: With the rapid development of the internet, the network bearer content is gradually transformed from a service based on connection-based information interaction to a service based on content sharing (video). The network transmits a large amount of redundant information, resulting in abnormal large-scale investment. And the quality of the service is difficult to guarantee, and it is urgent to study and construct a network that matches the business development. The content sharing connection relationship and the communication network architecture connection relationship were studied, and the two-dimensional poor time distribution or three-dimensional distribution and other implementation methods were explored. CDN was constructed to construct the content edge node, and the core network, wireless network, bearer network architecture and network element deployment were optimized. And space-based network such as satellite was considered to introduce to build a scale-free small hop network on the existing communication network to achieve matching of network architecture and content distribution.

Key words: future architecture of communication network, mobile core network, IP network, scale-free network

1 引言

从 Klerrock 在 1961 年发表“分组交换”的论文算起,互联网已经走过了近 60 年的发展历程。今天的互联网,已经从最初覆盖范围有限、应用相对单一的小规模实验性质网络,演化成为一个覆盖全球、广泛渗入并深刻影响人类社会方方面面的超大规模复杂信息网络。随着网络的规模发展,以信息交换为目标的简单应用正逐步被以内容共享为特征的复杂应用所取代,现有端到端通信为基础的体系架构难以为内容的高效分发提供有效的支持,导致网络中传输大量的冗余数据,网络建设及投资巨大,业务质量难以保障,迫切需要研究构建与业务发展相匹配的网络架构。本文将从通信网络 IP 网络发展进程、网络架构拓扑理论分析、匹配现有业务的网络目标架构及通信网络演进方案等方面进行论述,力求给出从理论分析到具体实施的一揽子解决方案。

2 通信网络 IP 化

通信网络 IP 化后,纵向上实现了网络上下的兼容(IP over everything, everthing over IP);横向上实现了大连接的互联网络,从而构建了大统一的网络架构,提升了整个网络生产力,带动了网络和业务的蓬勃发展。

互联网在持续发展过程中取得成功很大程度上得益于其体系结构的支持:灵活的分组交换技术、开放的协议标准(TCP/IP)、简单的分层模型等。以“统计复用”和“存储—转发”为特征的分组交换技术,是互联网体系结构最重要的技术基础;确保互联网体系结构具有良好开放性、兼容性和可扩展能力的沙漏模型,是互联网体系结构特征的最形象描述。

同时,互联网打破了传统电信领域的疆界,改变了通信网络的演进规则,IP 化的通信网络成为适应业务多元化、打造互联网新时代的基础。

如图 1 所示,通信网络全 IP 架构可以分为业务网、支撑网、核心网、承载网、传送网和接入网(无线接入网、固定接入网)等层面。

网络的 IP 化进程如下所述。

(1) 数据承载网

承载网天然是一张 IP 网络,对中国移动来说主要包括提供内部通信、高质量的 IP 专网和用于互联网业务的 CMNet 两张 IP 网。承载网络 IP 化采用扁平化的网络结构实现,可以提供各种 QoS 分类转发、电信级别倒换保护和更灵活的承载能力,以实现各类业务的端到端连接承载,实现多业务传送。IP 网络不仅可以支持数据业务,还可承载语音、视频、支撑类及其他非实时性业务等。

(2) 业务和支撑网

网站、IDC、运营支撑系统等都采用计算机服务器等组建,网元很早实现 IP 化,业务和支撑网络的构建需要下层的数据承载网承载。业务和支撑网 IP 化还可实现业务层面端到端的质量和安全的管

(3) 核心网

核心网包括电路域、分组域和 IMS 域,电路域以软交换为起点,改造成 IP 网,分组域和 IMS 域最初采用 IP 分组交换,以提供丰富的多媒体业务,实现网络的融合。核心网络 IP 化通过将电路交换转换为分组交换,给予网络融合各种业务应用和用户体验的能力,使运营商能够快速提供新业务,克服了原有网络业务提供周期过长、业务适应性差等缺点。

(4) 接入网

无线接入网络主要包括移动网络和游牧网络(WLAN),移动网在 2.5G(GPRS)开始引入 IP 化,到 3G 时所有接口实现 IP 化,4G 中继承了 IP 化体系,同时将控制和承载分离,架构进一步扁平(取消了 2G/3G 时的 BSC/RNC)。WLAN 引入时就是采用 IP 化网络。

在固定接入网层面:对于家庭客户接入,早期的模拟 modem 拨号接入已经被 IP 化的家庭网关替代;对于集团客户专线接入,早期的帧中继/DDN

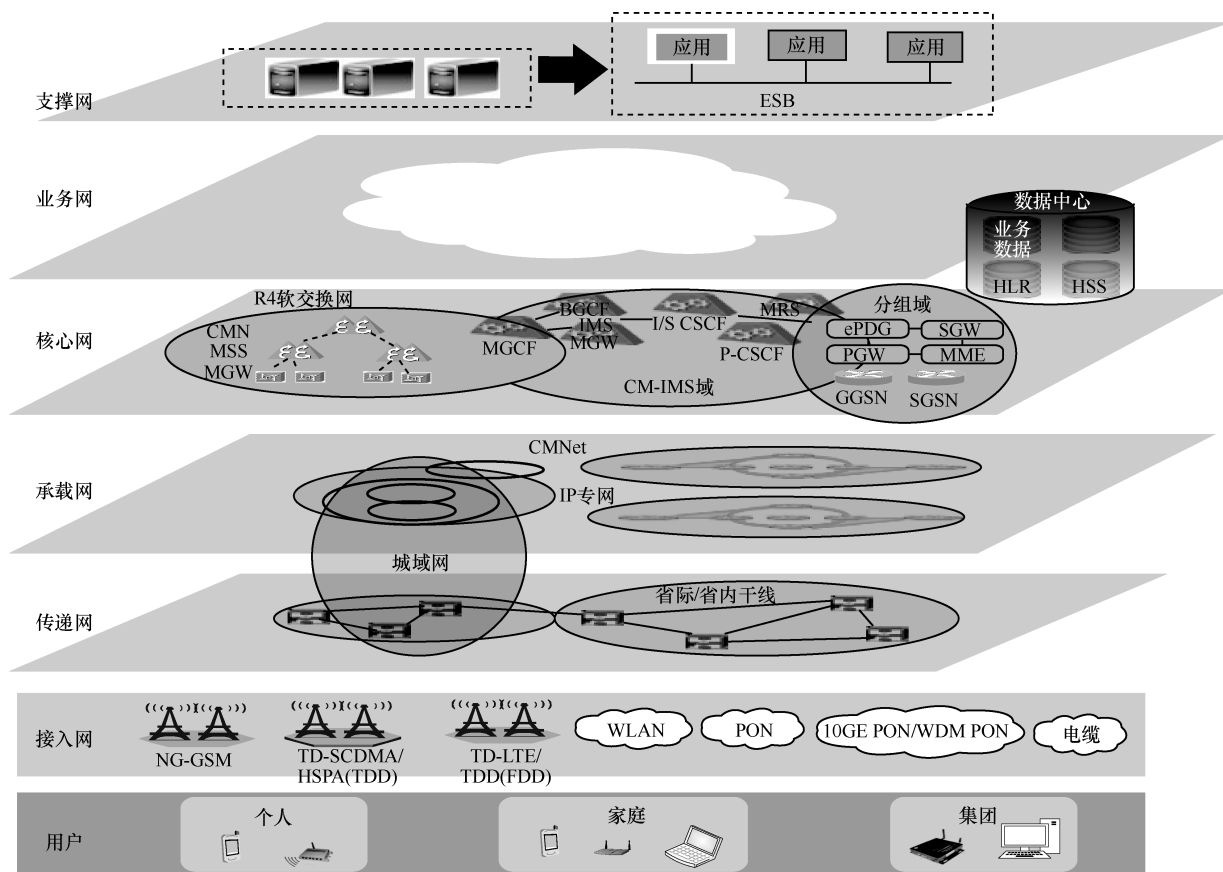


图1 现有通信网络架构示意

等电路接入已经被IP化的光纤接入网络替代。

(5) 传送网

传送网从上至下分为骨干传送网、城域传送网和本地网。在骨干传送网上，IP技术和传统的光传输技术分层共存，“IP over DWDM”成为主要技术；在城域传送网上，IP技术和光技术走向融合，引入了IP化的PTN，提供高效率传输通道。在末梢端，IP化的GPON/XGPON实现了传送资源的共享和性能的提升。

总之，通过IP设计的语义细腰，实现了整个通信网络上下的兼容，IP技术逐渐延伸到通信网络的各个层面，从承载网到传输网、从核心网到无线网、从业务平台到支撑网、从多层次化的TDM网络架构到软交换以至扁平化的网络架构，无一不是IP技术的引入所实现的。IP引入实现了网络技术的大统一，对网络生产力是极大的提升。

3 当前通信网络存在的问题

随着通信业务及互联网的飞速发展，网络承载内容逐渐由以基于连接的信息交互为主的电话、即时消息（instant message, IM）、邮件等业务，转变为以内容分享为主的视频、网页浏览业务。全IP化的通信网络基于位置连接的架构设计，与现有内容分享为主的承载需求失配，造成网络上大量冗余信息传输，导致承载网络非正常的大规模投资，且业务质量难以得到保障。

通信网设计初始，设计者主要考虑的是不同用户终端之间的连接和信息交互。近年来，随着互联网技术与应用的飞速发展以及互联网用户数量的快速增长，以富媒体化、海量化和个性化等为特征的内容共享已经成为互联网发展的主旋律。互联网的流量持续飞速增长，现在互联网的

主要使用需求是内容的获取和分发。中国移动现网流量统计表明(如图2所示),内容共享类应用(Web访问、视频浏览及文件传播等)在互联网中的流量占比已达到网络总流量的90%以上。

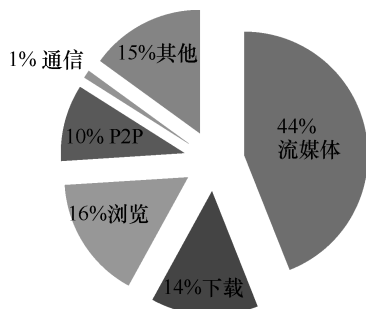


图2 中国移动某省流量统计情况

随着内容分发业务的发展,互联网用户行为也在发生变化。今天通信网从主要支持用户间端到端通信,转变为主要以内容高效分发与共享的信息中心网络,只关心数据的内容是否符合要求,不再关心由哪一台主机提供服务,而是需要如何更快、更准确和更高效地获取数据。现有通信网络架构和机制,对于内容分发业务存在明显的不足,主要表现为以基于位置的端到端通信来承载内容分发与共享,相互独立的不同业务流之间没有关联,相同的内容在网上重复传送,网络中存在大量的冗余数据传输,引发了流量的爆炸式增长,网络建设规模及投资巨大。同时通信网在承载这些流量时所采用的网络明显低效,造成部分电路拥塞,用户业务质量下降,通过不断增加带宽来提升业务质量的做法变得越来越困难。迫切需要从网络架构上着手,破解当前网络发展的瓶颈。

4 业务分布与承载网络连接特征

通过研究内容分享连接关系和通信网络架构,发现内容分享业务连接具有小世界、无标度(scale-free)网络特性,连接关系服从幂律分布,与现有的平面通信网络泊松分布连接关系失配。为了高效承载内容分享为主的互联网业务,需要对现有的网络架构进行重构。

(1) 小世界网络

“小世界”网络(又称为六度分隔, six degrees of separation)可通俗地阐述为:你和任何一个陌生人与人之间所间隔的人不会超过6个,小世界网络中大部分的节点不与彼此连接,但大部分节点可以从任一其他点经少数几步到达。

1998年, Watts 和 Strogatz^[8]将规则网络的边以概率 P 进行重新连接,当 $P=0$ 时为规则网络,当 $P=1$ 时为随机网络,然而当 $0 < P < 1$ 时,则该网络属于“小世界”网络范畴,小世界网络连接如图3所示。

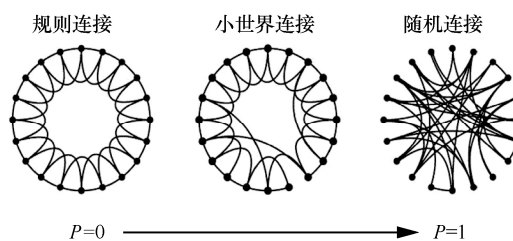


图3 小世界网络连接示意

信息传输跳数比认为的要小得多,更是远低于现在的通信网传输跳数。实际的社会、生态等网络都是小世界网络,在这样的系统里,信息传递速度快。

(2) 无标度网络

1999年 Barabasi 和 Albert^[9]在分析万维网时发现网络中节点与节点之间的连接分布遵循幂律分布 $P(k) \sim k^{-\alpha}$,该分布的形状在双对数坐标下通常近似为一条直线, Barabasi 和 Albert 将具有这种分布特性的网络称为无标度网络。

互联网无标度的特征主要表现为:当绝大多数网站的连接数很少时,却存在极少数网站(如 Google、Facebook、YouTube 等)拥有高于普通网站成千上万倍的连接数,虽然数目相对有限,但却成为互联网 80%流量的主要源头。互联网的主流应用向内容共享类应用的转变,所产生的影响是多方面的,其中之一是使互联网由随机网络演化为服从幂律的无标度网络。



内容分享连接架构与当前通信网络架构的比较显示,业务分发需求与现有通信网络架构失配。

当前的通信网络(如图4所示)基于地球表面的光纤建设,需要经过地表的各个节点,从而形成了基于平面网格的具有近似泊松分布连接属性的网络架构。

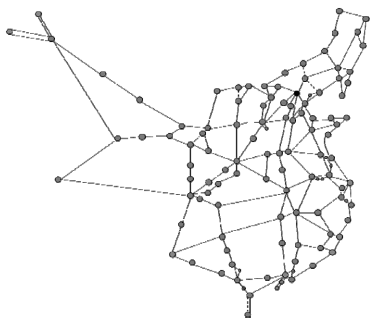


图4 当前传输网络示意

当前传输网络架构说明内容源与用户之间的联系是小世界(小跳数),连接关系服从幂率分布,意味着越是用户需求多的内容,其距离用户越近(跳数少)。当前通信网络基于平面建设,具有近似泊松分布的连接属性。当前通信网络与内容分布具有幂律分布的无标度网络架构失配,具体比较如图5所示。

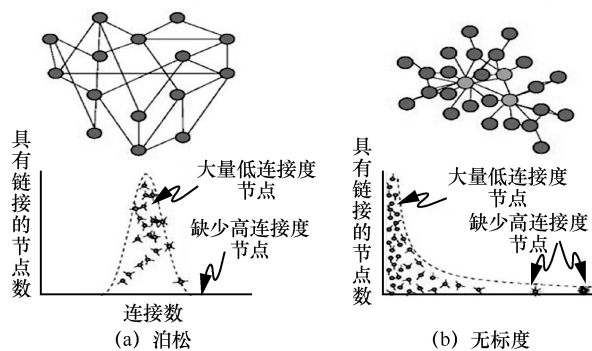


图5 当前通信网络架构与内容分发需求的网络特性比较

具体来说,内容分布网络要求实现按照内容热度的小跳数、无标度传送,对于高热度内容,连接点多、跳数少,但受限于现有的基于地球表面的二维传输网络,无法满足内容高效传递的无标度小跳数需求。

5 面向内容分布的承载网络方法

在现有网络架构上,叠加构建面向内容分布的无标度小跳数网络架构,需要破解地球表面二维传输问题,超二维组网方式包括二维传输+时间的组网方式及三维空间组网方式。

内容分发小世界无标度特性要求构建相应属性的网络架构,考虑到当前的传输网络受到地球表面二维平面限制,无法实现节点间的无标度连接。需要转换思路,扩充纬度。一是采用二维空间+时间的扩维方式,即在闲时将内容下沉到用户侧,从而在逻辑上构建面向内容的小跳数无标度网络;另一种是三维空间,即采用卫星通信等跨越当前地面传输的二维限制,构建小世界无标度网络。

(1)“二维传输+时间”的异步无标度小跳数网络

利用时间这个维度,采用异步传送,破解现有二维传输网瓶颈,即利用业务闲时将按照统计热度聚类的内容下发到各类边缘节点,热度最高的内容下发到距离用户跳数最小的边缘节点,聚类热度其次的下发到距离用户跳数次之的边缘节点,依次类推。边缘节点按照距离用户跳数类别划分为逻辑节点1、逻辑节点2、逻辑节点3等;由这些边缘节点分别为用户提供内容分发业务,从而实现了内容与用户之间的小世界无标度网络连接,如图6所示。

(2)超二维的实时传送网络架构

“二维传输+时间”的异步组网架构可以很好地提供非实时的点播、业务浏览等业务,但对于实时直播业务无法解决,需要采用超二维的实时传送网络架构(如图7所示),如卫星通信、中微子通信等。

具体部署上,利用卫星等天基网络,解决二维平面多跳问题,构建符合幂律分布的承载网络架构,即将按照统计热度聚类的直播内容通过卫星下发到各类边缘节点,下发内容与下发边缘节点的对应关系同“二维传输+时间”的异步组网,由

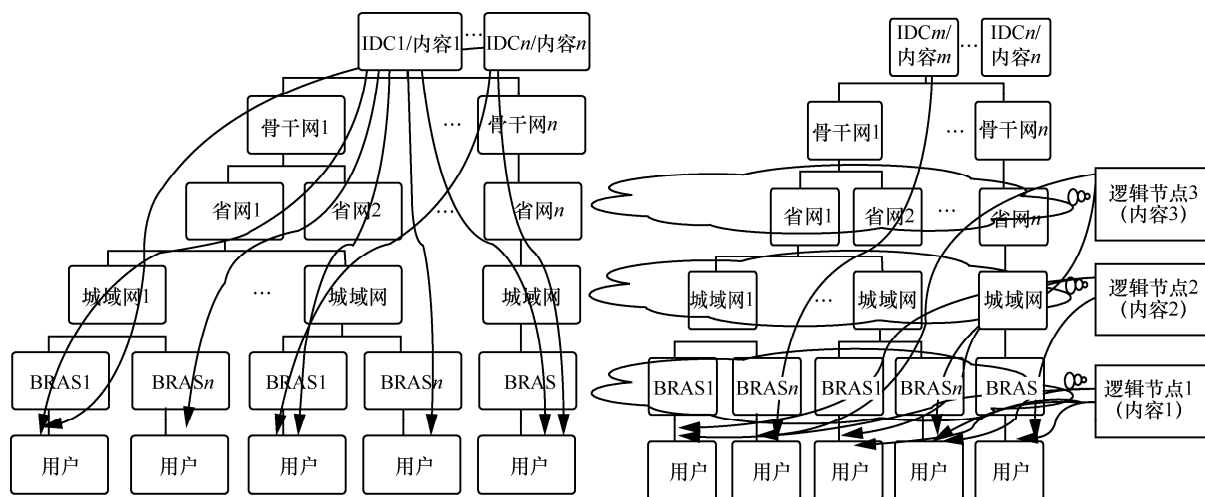


图6 利用时间维度构建的符合幂律分布的承载网架构

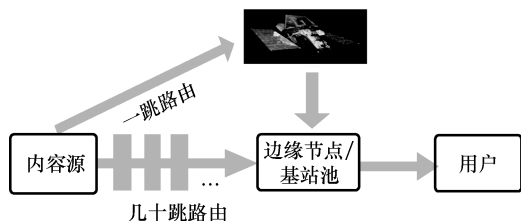


图7 利用卫星等天基网络构建的符合幂律分布的承载网架构

这些边缘节点分别为用户提供内容分发业务，从而实现了内容与用户之间的小世界无标度网络连接（小跳数、连接幂律分布），匹配内容与用户之间的连接要求。

采用卫星传送主要的问题是带宽有限，随着B3F等高通量卫星天基网络的发展，该类问题能够得到较好的解决。其他的三维以上传输方式还有中微子通信、量子通信等。

6 信息中心网络

搭建承载网络架构的同时，也需要考虑内容网络的构建。规划基于内容寻址的信息中心网络（information centric networking, ICN），对以IP地址为基础的物理地址与内容的捆绑进行解耦，转变为以信息作为标识，更高效地匹配内容分发网络的需求。

内容中心网络，也称为信息中心网络（ICN）

或数据命名网络（named data networking, NDN），是将信息对象作为构建网络的基础，分离信息的位置信息与内容识别，通过内容名字而不是主机IP地址获取数据。利用网络内置缓存提高传输效率，而不关心数据存储位置。通过发布/订阅模式请求数据，使供给者和消费者在空间、时间上解耦合。这种新的网络架构专注于信息对象、信息属性和用户兴趣，采用“信息共享通信模型”，从而实现高效、可靠的信息分发。ICN的特点包括以下几个方面。

（1）以信息非IP为中心的网络结构

内容中心网络将原本的IP层取代为内容标识层。在设计上，“细腰”的位置又重新变为一个简单的结构，这样新的网络层次结构能够比目前的结构更高效地运转。IP沙漏模型与内容沙漏模型比较如图8所示。

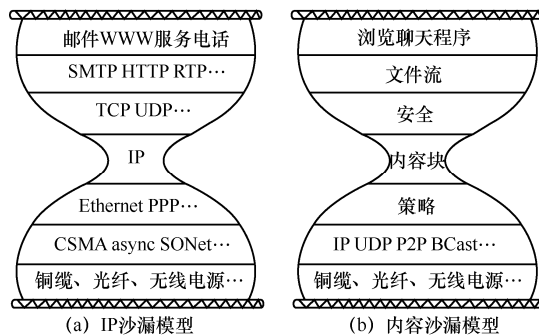


图8 IP沙漏模型与内容沙漏模型比较



(2) 命名方式

内容中心网络使用信息对象层取代 IP 层在现有网络结构中的位置。相应地,相对于传统网络为访问对象赋予位置标识(IP 地址),内容中心网络利用信息对象的名字进行寻址。

(3) 使用发布/订阅模式拉取信息

发布/订阅(pub/sub)模型自创立以来,已经被众多信息服务系统所采用。pub/sub 模型中,信息提供者可以通过信息发布,共享其拥有的内容。信息消费者可以对某一个特定的信息发出请求。该模型可使发布方和请求方在时间和空间上解耦合。一方面,信息提供者和信息消费者不需要在同一时间出现;另一方面,信息供求双方并不需要知道对方的位置就能完成信息传递。这种特性在很大程度上恰好满足了内容中心网络的特点:将信息内容与存储位置分离开。

(4) 网络内置缓存机制

内容中心网络与传统网络的另一个不同点是:它充分利用了网络设备存储容量大、存储代价很小的优势,而适当地运用缓存机制可以使网络性能得到进一步的提升。在 ICN 的设计中对缓存机制基本上做了如下处理:当请求消息被路由到某个节点上时,如果这个节点有符合条件的内容备份,那么内容将被立即返回,请求的路由过程也就结束了;如果这个节点没有符合条件的内容备份,那么这个节点就会向下一个节点继续传送请求,并且在这个内容数据返回时对内容进行缓存。

简而言之,内容中心网络抛弃了过去以 IP 地址为基础的网络,强调以信息作为标识,可以更高效地匹配内容分发网络的需求。

7 现网叠加构建高效内容分发网络实施方案

在现有通信网络上叠加构建内容高效分发网络,需要改进现网的深度分组检测(deep packet inspection, DPI)系统实现内容的聚类,改造 CDN 构建内容边缘节点,优化调整核心网、无线网、

承载网架构和网元部署,实现网络架构与内容分发的科学匹配。

在 ICN 成熟应用前,为了构建适合于内容分发的网络,需要通过将内容聚类并下发到边缘化节点来实现,内容边缘化将对现有的网络架构带来很多改变,包括业务网(IDC/CDN/DPI)、无线网(2G/3G/4G 基站)、核心网(SGSN/GGSN/SAE-GW/5G-UP)及承载网等。下面对现有网络架构的改变做具体分析。

(1) 采用 DPI 进行内容聚类,并优化 CDN 实现边缘内容分发

构建内容探测及统计平台,利用现有 DPI 设备,分别在 IDC 出口、网间接口等内容传送接口进行深度分组检测,统计用户内容分布。更加准确的方案可以通过在用户接入层面进行内容探测,对于固定接入用户(含 WLAN),可以在 BRAS 设置 DPI,采集集团客户及家庭用户的业务内容。对于移动接入用户,可以在 GI/S-GI 接口设置 DPI,采集用户的业务内容。同时构建内容分析处理平台,根据固定接入和移动接入的内容采集信息,对内容进行统计整理,按照使用度进行排序,实现内容聚类存储。

改造现有内容分发网络(CDN),根据内容聚类分布情况将内容下发到边缘节点,并根据网络流量和各节点的连接、负载状况以及到用户的距离和响应时间等综合信息,将用户的请求重新导向离用户最近的服务节点上。

(2) 调整承载网、核心网、无线网、业务网等网元部署,优化业务传送路由,构建与内容分发匹配的网络架构

当前用户主要通过有线宽带和无线(2G/3G/4G/WLAN)接入现网,按照现有的网络架构,各类用户具体的业务路由均需要通过传输网数据网连接到省网,再连接当地内容源或外省及国外内容源,跨越几十个节点、几百或上千米距离,服务质量难以得到保证。

固网业务：对于家庭宽带或集团客户等固网业务，用户通过家庭机顶盒→BRAS→城域网路由器→省网路由器，再到省网内容源或通过骨干网连接外省或外网的内容源获取内容。

移动业务：对于 2G/3G/4G 移动业务，用户通过手机→基站（池）→SAE-GW（SGSN/GGSN）→省网路由器，再到省网内容源或通过骨干网连接外省或外网的内容源获取内容。

WLAN 业务：对于 WLAN 业务，用户通过 PAD/手持终端→WLAN AP/AC→BRAS，后续的路由与家庭宽带或集团客户相同。

按照新的网络架构设计，需要对现网网元进行重新设置。相关网络实施方案如图 9 所示。

（1）业务网

新建边缘内容节点，下沉到离用户最近的汇聚节点，将现在的 IDC 内容通过异步或天基网络传送到边缘内容节点，由边缘内容节点为用户提供业务，当前可以采用 CDN 组网实现，未来待基于内容寻址系统完成后替换。

（2）承载接入网络

建设汇聚边缘内容节点和各类接入网的汇聚层网络，将现有的 BRAS/SR 等有线接入网元从城域层面下沉到汇聚层，需要 BRAS 进行转控分离，承载面（BRAS-UP）下沉，控制面（BRAS-CP）集中，

形成分布式网络接入能力，避免路由迂回，降低时延，提升用户业务体验，节省传输投资。

（3）核心网

核心网网元 SAE-GW/GGSN 等从省网层面下沉到汇聚层，特别是在 5G 阶段将通过转控分离，将转发面网元 UPF 下沉，从而避免路由迂回，降低时延，提升用户业务体验，节省传输投资。

经过以上重构后，IDC 内容通过异步传送（点播业务）或天基网络（直播业务）到达边缘内容节点（CDN），由边缘内容节点为用户提供业务。各类用户的业务路由如下：对于家庭宽带或集团客户等固网业务，用户通过家庭机顶盒→OLT→BRAS→CDN 获取信息；对于移动业务，用户通过手机→基站（池）→SAE-GW→CDN 获取信息。

通过以上优化调整，初步实现了基于现有通信网络的小跳数无标度网络架构。未来随着网络 NFV/SDN 技术的发展，将形成电信综合云（TIC）和边缘云及接入点（TAP/AP）的三层网络架构，如图 10 所示。

8 结束语

在现有通信网络上叠加构建小世界无标度的通信网络架构，采用深度分组检测技术对内容进

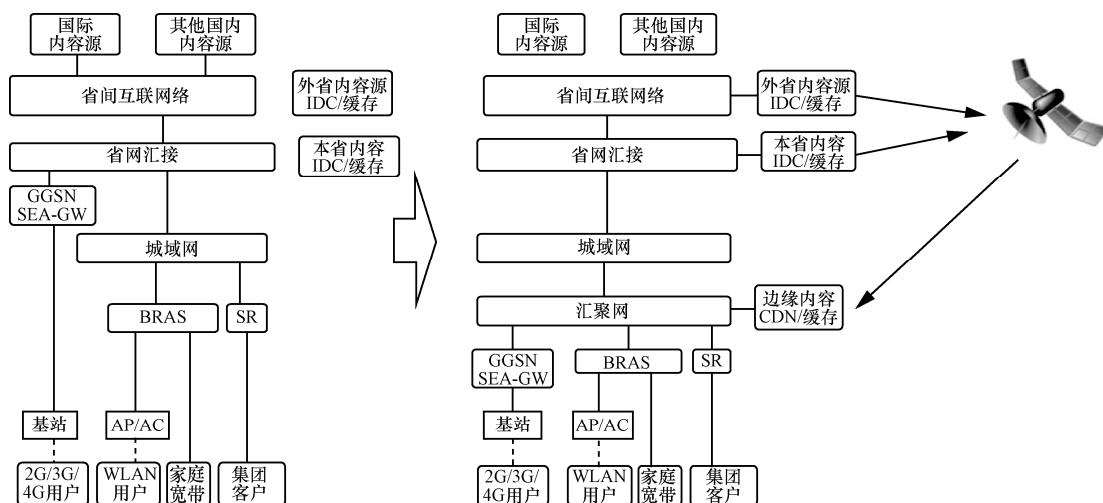


图9 网络架构重构示意

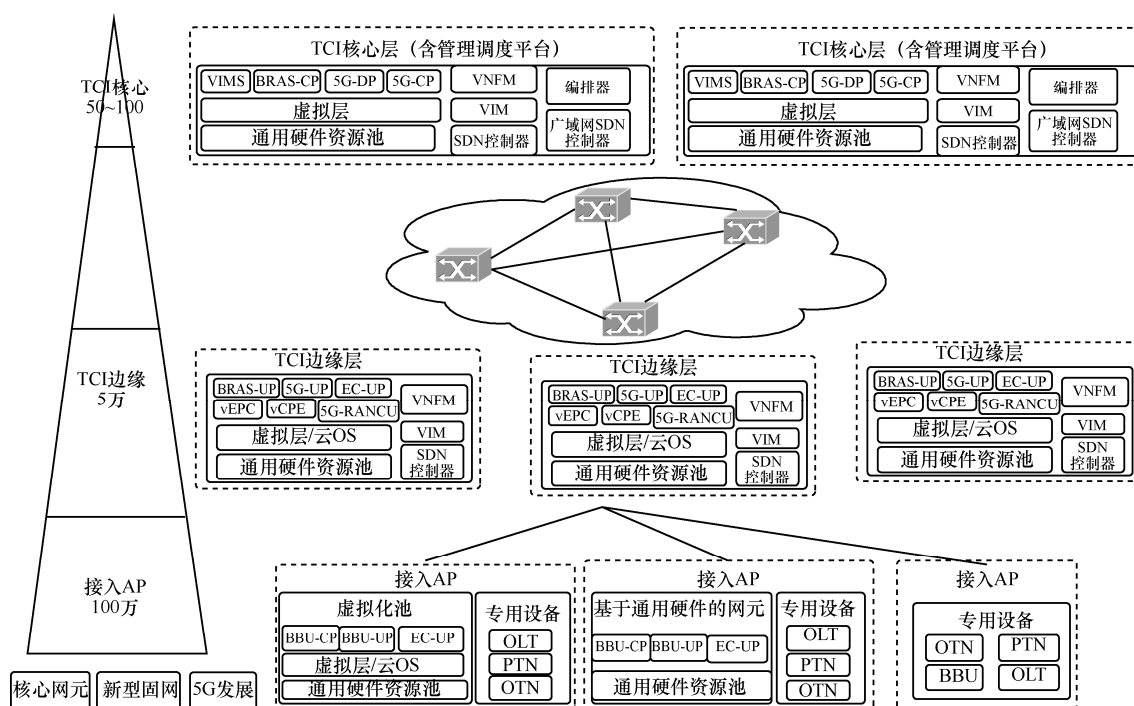


图 10 三层网络架构

行聚类,按照聚类后的内容幂律分布进行内容分发,建立具有平滑演进的通信网络架构体系,逐步实现内容与位置(提供商/网站)的解耦,实现信息发送与网络架构的科学匹配,保障信息内容的高效传送,降低网络建设投资,提升用户业务使用体验。

参考文献:

- [1] BARABÁSI A, ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512.
- [2] AHLGREN B, DANNEWITZ C, IMBRENDA C, et al. A survey of information-centric networking[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7): 26-36.
- [3] JACOBSON V, SMETTERS D K, THORNTON J D. Networking named content[J]. Communications of the ACM, 2009, 55(1): 1-12.
- [4] ZHANG L, ESTRIN D, BURKE J. Named data networking (NDN)[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2012, 1892(1): 227-234.
- [5] 韦乐平. 电信业的未来与“去电信化”的思考[J]. 电信科学, 2013, 29(2): 1-6.
- [6] WEI L P. Future of telecom and thinkings on de-telecom[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(2): 1-6.
- [7] 黄韬. 未来网络体系架构研究综述[J]. 通信学报, 2014, 35(8): 184-197.

HUANG T. Survey of research on future network architectures[J]. Journal on Communications, 2014, 35(8): 184-197.

- [7] 张行功. 未来网络之内容中心网络的挑战和应用[J]. 电信科学, 2013, 29(8): 24-31.
- [8] ZHANG X G. Challenge and implementation of content-centric networking[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(8): 24-31.
- [8] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature, 1998, 393(6684): 440-442.
- [9] ALBERT R, JEONG H, BARABASI A L. The diameter of the world wide web[J]. Nature, 1999, 401(6): 130-131.

[作者简介]



张晟(1970-),男,中国移动通信集团公司教授级高级工程师,主要研究方向为互联网、核心网、LTE/5G。



戎伟(1971-),女,中国移动通信集团北京有限公司高级工程师,主要研究方向为计算机网络、互联网业务。