

ZTE中兴



中兴通讯

CO重构技术白皮书

目 录

01	业务和技术驱动的CO重构
03	CO重构的关键技术及挑战
05	中兴通讯CO重构技术方案
24	中兴通讯CO重构实践以及经验
24	趋势展望
26	术语及缩略语
27	附录 参考资料

业务和技术驱动的CO重构

电信业务发展挑战和机会

过去10年间电信网络固网IP的流量增长了大约13.5倍，移动网络由于智能手机的普及，流量增长了约280倍，其中2012-2016年间移动流量增长了108%，但是运营商通信服务收入反而降低了3%。

从产业环境来讲智能终端、服务互联网化、网络技术以及同业竞争的因素推动了流量的高速增长，但是面向用户的服务能力的增长并未伴随流量使用价值的外延同步扩大，同时通信市场用户渗透率已经趋于饱和，如移动连接数2017年将超过76亿，和全球人口基本相等，因而无法获得和流量增长同等的收益增长。以Intel CPU为例，每两年处理能力翻一番，但是价格基本保持不变。运营商网络其中还存在大量机房、供电、线缆等非硅化的资产，成本和性能并不能完全摩尔定律化，流量的其投资收益率持续处于下降通道。

从经济学的角度来讲，所有产品/服务最终都是竞争对手，竞争的是消费者/组织的支出预算和时间，通信服务是一类使用价值，在接近饱和的市场中不同通信方式之间的竞争更为直接，数据流量的高速增长使得报表上

的数据通信收入高速增长，但是由于客户对于通讯的预算基本固定，需求价格弹性接近于1，数据收入的增长必然会带来传统语音、短信类业务的下降，因此通信业无法从简单的流量提速中获益，而是要扩大通信网络的使用价值外延：

横向扩展

从人-人、人-服务的通信扩展到机器-机器的通信，IoT的高速发展提供了这一契机。

垂直扩展

从提供通信能力到提供IT基础设施，从通信服务商扩展为提供包括计算/存储在内的数字化时代的IT基础设施服务提供商，包括基于边缘DC的高性能属地化云服务提供商、CDN、高速企业存储服务等等。

进一步垂直向上扩展

从IT基础设施服务扩展到其它行业，包括已有的IPTV业务的改良以及和第三方内容提供商的合作，提供娱乐服务。

CO重构的内在驱动力

在过去的10年中，运营商网络逐渐完成了光进铜退的改造，接入到骨干改造成为了以光传输为主的网络，极大地提升了网络业务承载能力，为未来发展奠定了良好的基础。但是由于互联网业务的蓬勃发展，运营商面临了商业模式和技术双重的挑战。

运营商从2008年开始，即意识到了云化转型的必要性，比如AT&T推出了自己的Synaptic云服务，BT、Verizon等也纷纷进入云计算领域。但是10年过去了，运营商的云化转型道路并不成功，公有云早已被Amazon、微软、Google几大巨头所垄断，传统运营商的人员技能结构、运营体制和软件研发能力并不适应于完全IT化的云运营，其分区域、专业的运营模式也无法和OTT的全球集中化运营相竞争。

从应用的角度来看，非结构化数据消耗了互联网90%以上的带宽和计算存储能力，而非结构化数据中则以视频为主，4K/8K/VR的发展是客户对交互真实性的持续追求，使得应用对带宽的需求持续增长，广域网连接单位带宽成本相对较高；而VR等应用时延更加敏感。站在网络的角度来看，一个ASIC交换机引入的时延在数百纳秒到数微秒，机架式路由器引入的时延在数十微秒，而1000公里的光传输RTT时延则高达10ms，所以对于时延敏感性业务减少客户端到服务端的距离比任何其

它改进均有效，同时降低应用流量的平均网络距离也极大地降低了传输的成本。

对于运营商而言，光进铜退改造留下了大量空闲的CO机房资源，这些CO资源分布在各个城市乃至区县中，部分具有良好的机房条件和供电设施，并且离最终用户的距离在几十到几公里不等，在这些机房的基础上进行DC化改造，以支撑电信运营的转型以及提供新型IT基础业务：

- 支撑传统连接型业务基础设施从专有封闭的设备体系向开放的基于COTS硬件+软件的SDN/NFV体系架构转型，构建DevOps一体化能力，将新业务的上线周期从年降低到月乃至数周，从而具备和互联网标杆公司同等、同业领先的竞争力。
- 在未来的全社会数字化转型中提供无处不在的信息化基础设施，利用边缘DC更靠近用户、低时延的特点，将云的边界延伸到政企、家庭，乃至个人终端，构建企业/家庭/个人的虚拟私有云，提供无处不在的云服务，网络即云、云即网络。这其中低时延的边缘DC所提供的本地化访问客户体验是相对于大型集中式公有云的差异化竞争优势，同时在数字化社会中成为公有云全球化服务的有效补充。

CO重构的关键技术及挑战

关键技术及趋势

CO重构是将现有的CT化基础设施转换成面向未来的ICT基础设施，承载电信业务以及适合于运营商开展的IT化普适业务。云、SDN、NFV是三大关键技术，其中云化数据中心技术是基础，应用SDN将网络改造按需构建的多租户网络，同时承载异厂家多种NFV网元，并且为提供IT服务提供了基础。

云计算

云技术从2006年AWS开始，经过了10多年的发展，IaaS/PaaS/SaaS三层模型架构已经成型。IaaS层从最初的虚拟化资源管理逐渐演进到虚机/裸金属/容器融合共管的模式，以支持多样化的应用；尤其是容器技术的逐渐成熟，使得IaaS和PaaS的边界变得模糊。开源的云平台从梭树、CloudStack、OpenStack等百家争鸣逐渐统一到OpenStack，OpenStack也成为全球范围内运营商承载NFV的几乎唯一的平台。

边缘计算

云基础设施的规模效应非常显著，集约化建设的大型数据中心可以获得比中小型数据中心5-10倍的单位运维、供电、网络成本的节省[1]，同时公有云的技术门槛也越来越高，这使得公有云服务提供商先发优势明显，Top 5的供应商占据了三分之二以上的市场。但是集中化必然带来远离客户，使得客户到云服务的时延大大增加、网络质量难以保证，并且长距离的高带宽网络代价昂贵，难以承载VR、大量数据采集等时延、带宽敏感型业务，这使得运营商主导的基于边缘数据中心的云服务具有显著的差异化优势，并且更进一步地靠近接入网络的边缘计算技术也成为可能。2014年9月份，

ETSI成立了移动边缘计算工业规范组（ETSI MEC ISG）开展了移动边缘计算的标准化研究，在2016年扩大到固网接入的领域，MEC的内涵从Mobile Edge Computing扩展到Multi-Access Edge Computing。

SDN

云的多租户、自动化网络管控、可视化运维的需求催生了SDN技术，从而使得在IaaS层面计算、存储、网络可以完全实现自动化的编排并即刻生效。DC内的SDN广泛使用Overlay技术，从而可以支持网络软硬解耦、多厂商部署的场景，也将SDN的重心放在云网络虚拟化的支持上，而非参与网络拓扑的故障收敛处理。多云互联的需求也使得SDN从DC内走向DC间以及运营商网络，应用场景从DC网络虚拟化扩大到WAN网络的流量调优、VPN的实时开通、IP+光跨层优化等等场景。

NFV

云技术的普及以及计算能力的提升，也使得电信网元采用云技术去承载成为可能，从而使得硬件的通用化、软硬解耦，一方面运营商可以大幅降低CAPEX、降低备板备件的库存，另一方面也可以通过网元的软件化来加

速新业务的面市周期、提升网络的弹性提升网络的利用率以及峰值情况下的服务质量。自2012年ETSI成立NFV ISG以来，NFV技术已经逐渐成熟，从2015年开始全球范围内就开始了商用部署，并且逐渐加速。

CORD

2015年ON.Lab联合AT&T等成立了CORD项目，作为ONOS的子项目，主要研究面向运营商的CO重构。2016年3月，CORD从ONOS社区中独立出来，并在

7月份在Linux基金会正式立项。CORD包括了面向移动网络的M-CORD、面向企业的E-CORD以及面向家庭客户的R-CORD。CORD是SDN和NFV的集成项目，同时也关注边缘计算部分。CORD采用了非常激进的基于ONOS的转控分离架构+白盒设备+完全开源软件的技术路线，覆盖了数据中心网络、vOLT、vBRAS等领域，但是对于存量资产网络如何向CORD目标架构演进并未涉及，这也是需要重点研究的领域。

挑战

平台+应用架构对现有投资运维模式的挑战

CO重构架构下是个云化基础设施平台+软件应用的模式，原有运营商按照专业分工建网、维护、运营的思路不再适用，运营商需要重构组织模式以适应NFV的技术架构。某种程度上讲，运营商也可以分专业建设NFV基础设施，但是势必会降低基础设施的共享程度，增加了成本，降低了NFV技术的性价比。

虚拟化基础设施性能的挑战

对于转发类网元，和传统专用硬件设备相比，今天的NFV网元性能还相对较低。比如典型的vBRAS单板可以处理200-400Gbps用户流量，但是同样的一台服务器，大约可以处理20-40Gbps左右的流量，性能相差10倍左右，功耗相当，集成度相差5-10倍。同时NFVI层面的vSwitch性能瓶颈也较为明显，制约了VNF性能的进一步提升。对此有多种解决方案：

- 采用SR-IOV网卡直通技术，使得VNF可以bypass vSwitch，避免vSwitch的性能瓶颈。但是SR-IOV技术的缺陷也相当明显，包括：1）不能支持虚拟机热迁移。2）受制于PCIe设备编号，支持的虚拟网卡数量有限，对于需要大量网络平面的VNF很容易资源耗尽。3）无安全机制、隔离性差，多个VM采用SR-IOV共享同一个物理网卡时，如果VM有不良的行为，很容易造成整个刀片的网络故障。
- 软件加速技术，DPDK应用已经比较普遍，但是只解决了收发包的性能问题，大部分仅应用DPDK技术的VNF、vSwitch性能提升仍然有限。采用开源VPP技术可以充分利用CPU的特性和扩展指令，大幅提升CPU的Cache命中率、分支预测成功率以及内存操作效率，从而大幅提升了报文处理性能，但是VPP编程难度较高，并且和所有软件技术类似，在内存带宽利用已达极限、CPU冲高时，时延和吞吐量无法严格保证。

- 智能网卡加速技术，将转发卸载到智能网卡上处理，vSwitch作为智能网卡的控制面存在。智能网卡可以采用NP或者FPGA实现；和软件加速技术相比，优势是消除了vSwitch的CPU开销(一般2-6个vCPU)，将其释放给业务，同时转发时延更有保证；缺点是降低了硬件的通用性，可能通过推动标准化、建立同构硬件加速资源池来提升通用性。

因此未来基础设施层面将普遍采用智能网卡加速，使得主机转发性能到40/50G乃至100G线速，CPU开销接近于0。VNF层面采用DPDK+VPP技术加速，必要时将VNF的报文封装、加密等处理卸载到基础设施层进行。

中兴通讯CO重构技术方案

CO重构的实施阶段及关键业务

实施阶段

中兴通讯认为CO重构分为如下三个阶段：

概念阶段

2014年~2016年，主要进行关键技术的研究和储备，同时开展少量的PoC试点研究，与此同时SDN、NFV的商用部署也为CORD积累了宝贵的经验和教训。

典型代表是上海电信的LSN。同时，运营商在此阶段要调整组织架构，从原有业务专业烟囱式组织架构转变为基础设施运营+应用运营的组织架构。

小规模商用阶段

2017~2019年初，在此期间开展小规模商用实验局，并且在末期开展小规模商用部署。运营商分别从电信业务、政企业务云化两个维度出发，最终实现CO重构的目标架构，前者代表包括VEON的NFVI，后者

大规模商用阶段

2019年及之后，在前期小规模商用经验的基础上，开始大规模推广云化基础设施，将网络改造为云+软件业务的方式，部分运营商具备研发能力，采用DevOps一体化的方式在云化平台上研发、改良业务软件系统。

关键业务部署建议

CO重构有两条驱动力路线，一个是自身CT业务的重构，另外是IT政企业务的拓展，因此对于不同的运营商，其CT、IT业务的部署在时间线上可能会存在不同程度上的重叠。总体来说，不同层面的DC部署的业务如下：

业务类型	边缘DC	区域及中心DC
CT类业务及网元	vBRAS、vCPE、企业专线vFW、Edge vCDN、部分vEPC用户面、vSBC、SD-WAN控制器等	vIMS、vEPC、vHSS、Global vCDN、vMessage、vRCS、SD-WAN控制器等
IT类业务	家庭存储、智能家居、场馆直播、IoT数据采集及存储、VR视频、游戏、云桌面、裸机出租、室内定位	云主机、企业SaaS

早期NFV业务量较小时，CO的建设可以从区域DC兼做边缘DC开始，统一规划，首先建设/改造少量的区域DC，等待业务量增长后，建设EDC，并且和区域DC合并为统一的资源池，逐渐将业务下沉到边缘

DC。中兴通讯提供区域DC和边缘DC统管的解决方案，将其整合为统一的资源池，业务VNF在同一个云管平台下可以无缝的迁移，以支撑业务的增长和平滑的扩容。

CO重构总体技术方案

中兴通讯CO重构总体技术方案以OpenStack+SDN的开放云化基础设施为中心，统一承载CT、IT类业务，以支撑运营商的城域网重构以及IT化业务市场的开拓。

中兴通讯CO重构总体方案

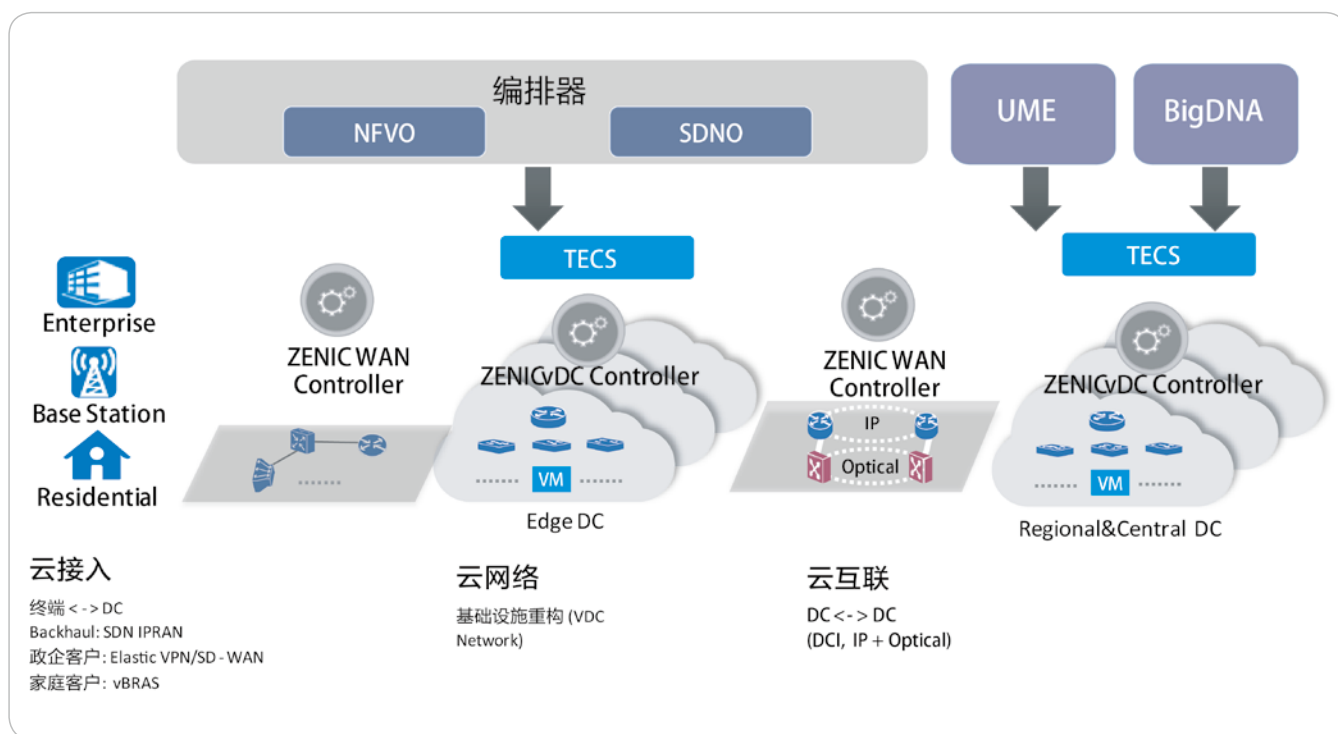


图1 中兴通讯端到端SDN/NFV架构

中兴通讯认为未来社会必然演进为一个全面信息化的社会，这其中云作为最核心的基础设施，网络则以云为中心提供敏捷按需连接、网络虚拟化能力，支持计算、存储以及应用的高效交付。中兴通讯提供了多样化的云接入、云网络以及云互联的解决方案，包括：

- 面向个人客户的vBRAS解决方案
- 面向政企客户的ElasticNet SD-WAN方案
- 面向BackHaul的ElasticNet IPRAN方案
- 云基础设施的ElasticNet VDC Network方案
- 面向云互联的ElasticNet IPO/DCI方案

CO机房的选择及部署业务建议

考虑现有运营商CO机房以及业务特点，考虑将DC分为两大类：

边缘DC

部署在靠近用户侧，部署CT类用户面网元以及时延敏感类的IT业务。

区域及中心DC

部署控制面业务以及资源需求量大、面向全国、全球服务的IT类业务。区域和中心DC随运营商规模的不同，其位置和定位会有所差别，一般采用中心城市的CO进行改造，也可以和IT云统一规划建设，以达到集约化的效应。

与集中化建设的公有云、IT云相比，边缘CO机房云化这类小型化DC的优劣势均非常明显，由此带来的差异化定位和关键技术：

优势

靠近客户，客户的访问时延低、单位带宽成本低，适合于流量汇聚类业务、时延敏感型、数据密集型业务，包括家庭/企业客户连接型业务、CDN、游戏、高清视频、AR/VR、企业/家庭存储以及海量数据采集的物联网应用。相对于公有云通常集中建设在气温低、电力成本低的区域，其和终端客户的距离平均在1000KM左右，仅传输RTT即达10ms以上，考虑网络实际路径及设备时延，端到端时延在20ms以上，而边缘DC通常距离客户在数十KM，传输时延在1ms以内。

劣势

单个DC的规模小，资源池利用率提升相对困难，单位机房、电力以及维护成本高[1]，因此一方面边缘DC要和公有云做差异化定位，另一方面要采用多DC的统一

管理调度技术，将多个DC整合成一个资源池来统一为客户提升服务，以期提升资源利用率。

如上所述，边缘DC在一定距离范围(比如100KM)内，时延已经足够低，再下沉并不能有效提升客户的业务体验，并且部分业务只有在足够多的用户访问情况下才有意义，比如CDN，只有足够多的客户访问才能保证内容热度的集中，从而使得缓存的命中率上升到可以弥补CDN本身建设的成本，必须考虑用户密度因素综合选择EDC的位置。因此边缘DC的设置要考虑的因素：

- 足够的覆盖用户群，一般考虑覆盖10万左右的家庭客户和1万以内的政企客户。
- 覆盖半径在50Km以内，参照第一个条件，在人口密集区，这个距离可以大幅降低，比如以上海的人口密度计算，主城区覆盖半径大约在5Km左右；在欠发达地区，可以适当提升到100KM乃至更高。
- 辖区内CO的条件，包括机房空间、承重、供电条件、备用电源，从承载的客户数量及业务计算出所需的计算/存储/网络设备空间、功耗、重量，来选择相应的DC，或者制订DC改造的计划。
- 网络的拓扑结构，云化边缘DC选择除了客户覆盖、业务规划的考虑外，还有计算/存储和网络成本的综合权衡，边缘DC是流量带宽的汇聚点，也是部分流量的终结点，包括CDN、终端到终端的流量、以及部分IT类业务都会终结流量，从而节省边缘DC上行的网络成本。因此EDC本身的CAPEX/OPEX和上行的网络成本是天平两端的砝码，需要综合平衡考虑。

城域网及边缘DC重构

边缘DC是CO重构中的重要环节，承载了大多数用户面业务以及时延敏感型业务。边缘DC的建设和城域网重构密不可分。

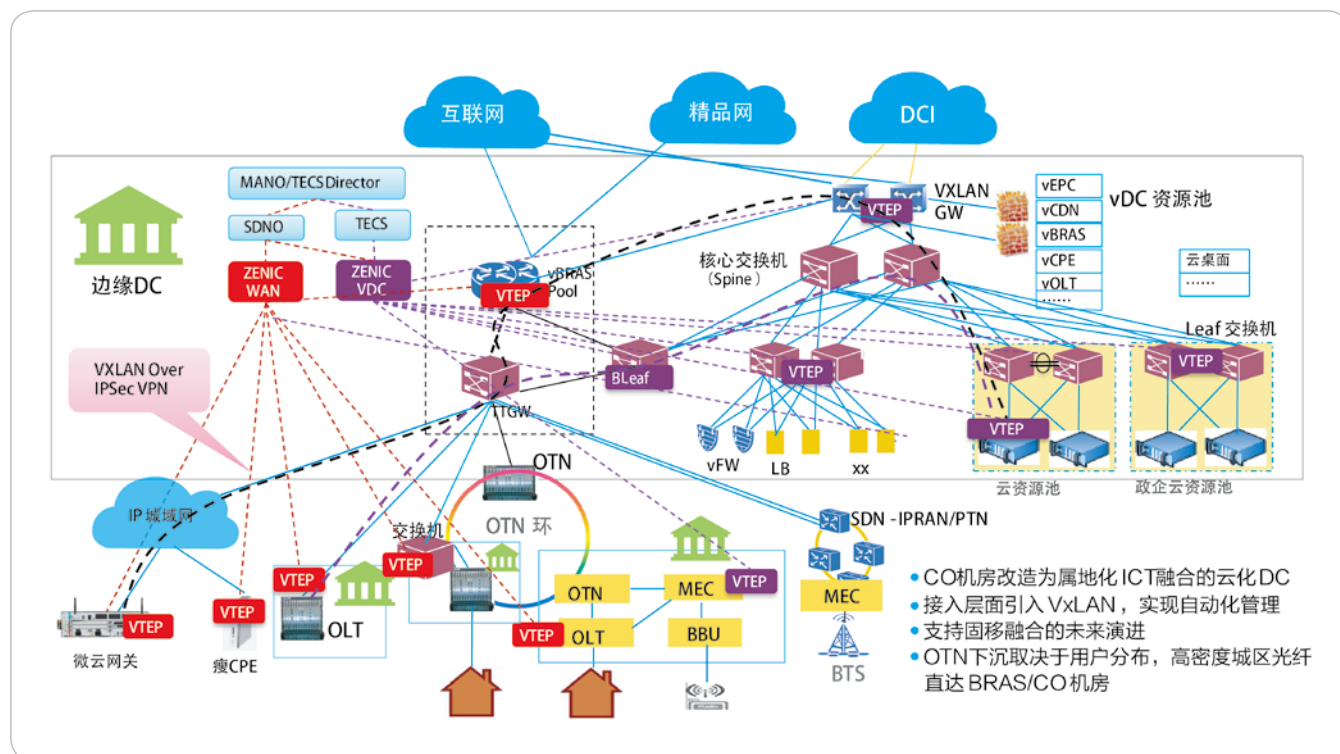


图2 边缘DC及城域网重构架构

中兴通讯城域网重构方案以云化基础设施为中心，承载各类移动、固网CT业务以及新型的IT业务，其关键特征：

融合

ICT融合和固移融合，以云化基础设施为中心，整合边缘DC为和中心/区域DC，构建承载vBNG/vCPE/vEPC各类NFV CT业务以及企业托管云托IT类基础设施平台；整合多接入边缘计算技术，下沉vEPC用户面，或统一控制远端MEC服务器，实现固网移动业务的融合接入。

高效

软边缘、硬网关，基于X86的vCPE将业务推送至企业边缘、数据中心采用基于智能网卡、DPDK加速技术的vSwitch，部署大容量的SDN硬件出口网关，保证业务灵活性的前提下提供最好的性能和延迟，保证VR、低时延5G等业务的客户体验。

解耦

软硬解耦，将网络智能集中到SDN控制器，支持网络业务的快速面市；以CTOS硬件承载多种软件化的NFV应用。接入和传送解耦，在数据中心内部和OLT/uCPE等用户接入网元部署VXLAN Overlay组网，将用户、业务接入和传送分离，以支持多样化的城域网架构，支撑未来城域网传送架构的多种演进技术路线共存。

智能

基于SDN的集中控制、编排、管理和分析架构，整合

ZENIC控制器、UME智能网管和BigDNA网络大数据分析产品，为网络提供端到端的自动化业务发放、网络状态的自愈、状态分析和可视化的运维手段。

安全

一体化的无边界安全设计，包括数据中心内的微分段、硬件防火墙分区防护、面向政企的安全服务，中兴通过和业界各个细分安全领域的领先厂商合作，始终提供最佳的安全方案解决方案。

云化基础设施

CO数据中心总体方案

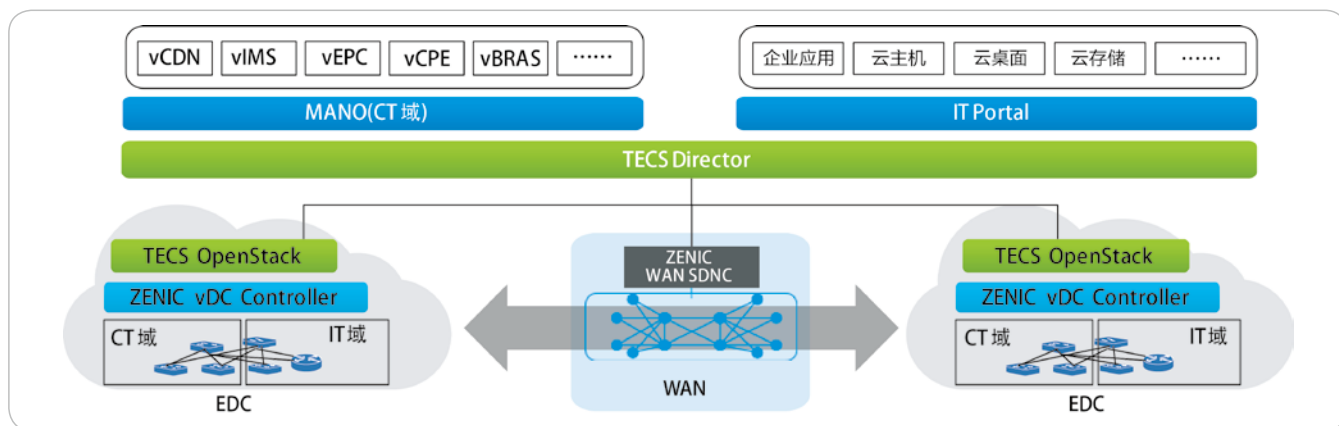


图3 多DC云化数据中心

- 统一云管平台，支持多DC资源整合，多虚一形成vDC资源池，大幅提升资源利用率。
- 一虚多，除了多租户的基本功能外，支持在统一资源池之上按需划分为CT域和IT域，以及在CT和IT域中进一步划分安全域，共网络基础设施、计算/存储资源隔离，防火墙隔离不同安全域。统一承载IT/CT业务的同时保证网络的安全。
- 采用SDN架构，统一编排DC内、DC间网络，按需打通NFV和IT租户网络。
- 端到端QoS设计，DC内带宽限速+DSCP优先级保证，DC内DSCP优先级按需映射到DC间MPLS隧道。
- 支持单一平台扩展到上百个EDC数据中心，数万个计算节点。

分布式电信云方案

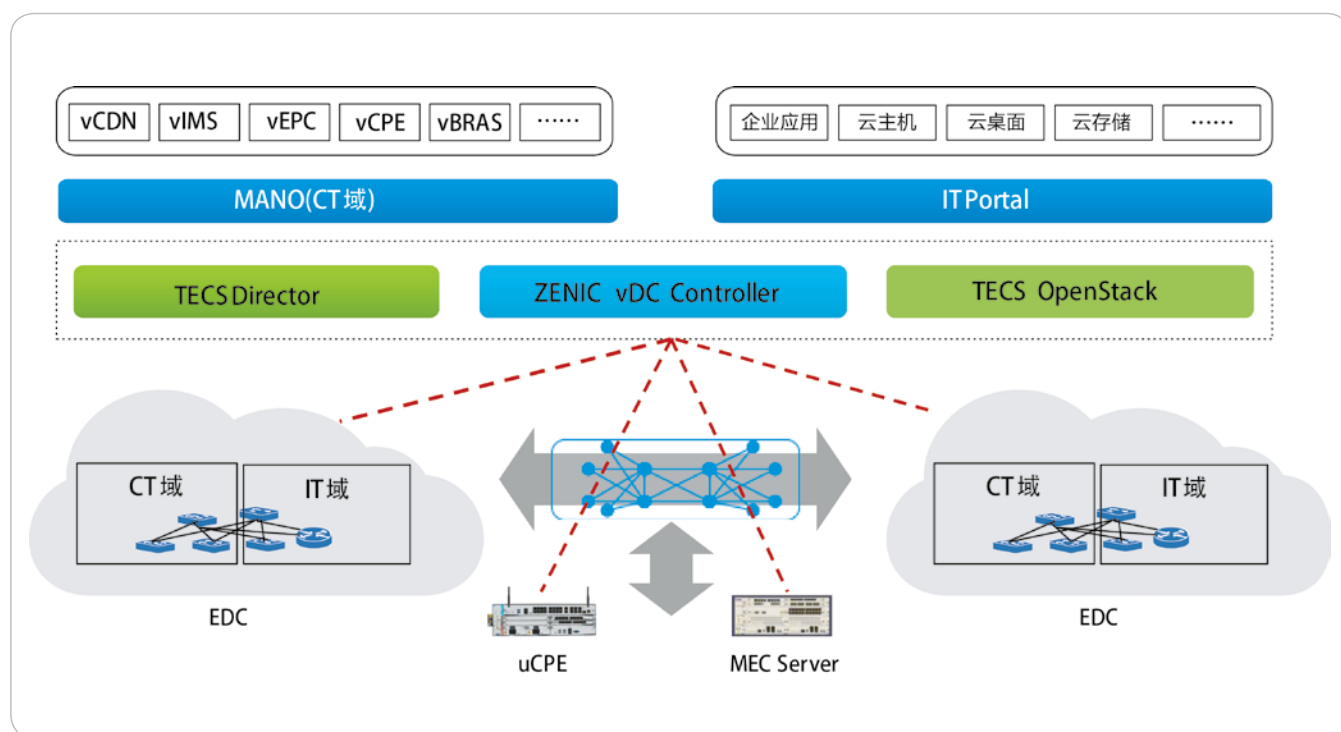


图4 分布式电信云

在CO重构初期，EDC规模较小时，可以部署单个管理域来管理多个EDC以降低云管和SDN系统的投资。中兴通讯支持一套OpenStack+SDN管理上百个EDC，EDC和管理节点、EDC间最大距离不超过500KM的情况下即可。DC间采用VXLAN隧道技术互联，支持每个EDC有自己独立的出口。

对于支持NFV的企业uCPE节点以及和BBU共址的MEC节点，两者可以作为远端计算节点纳入到分布式电信云的系统中统一管控、统一部署业务。其中uCPE也可以仅受ZENIC WAN控制器控制，免除重量级的云管控制开销，作为独立的SD-WAN解决方案中的组件。

关键技术特征

统一云管平台

基于OpenStack，提供开放的计算、存储及网络资源的统一调度；TECS Director云资源编排器，实现多DC资源的统一管理和编排。针对电信NFV网元所要求的高性能、高可用性提供巨页内存管理、SR-IOV和vSwitch共存、SR-IOV Bond等扩展要求，并且对性能和灵活性要求均较为苛刻的应用提供智能网卡加速。

基于SDN控制的VXLANOverlay网络

Overlay技术可以支持在扩展性良好的L3 IP Underlay网络上构建虚拟二层网络，以支持虚机的位置透明、热迁移，完全支持云网络的网络即服务、网络虚拟化的能力；同时也支持Overlay和Underlay异厂商的混合部署，从而支持客户的多厂商采购策略以降低采购成本。

软边缘、硬网关

采用vSwitch/智能网卡作为VM/容器的接入VTEP，以支持灵活的安全和QoS策略。vSwitch/智能网卡相对于ToR交换机作为VTEP而言可以提供有状态的轻量级L4分布式防火墙，支持无边界的云网络安全防护，同时也支持灵活的SFC策略和更多的QoS策略。内置网络虚拟化功能的硬网关可以提供更高的带宽，提升总体解决方案的性价比。

仅仅在裸金属服务器部署业务时，采用ToR作为VTEP接入业务。SDN网络必须支持vSwitch、ToR VTEP的混合组网。

多DC&DCI资源池化组网能力

- 支持异构化资源池，支持多厂商计算虚拟化的共管。
- 对于CO存在大量小型化EDC的场景，支持部署一套云管、一套SDN控制器，将多个地理位置上接近的小型CO整合成一个逻辑的资源池，资源池内业务可以统一调度部署，支持虚拟机弹缩、热迁等特性。采用Openstack和控制器集群技术，可以将单一资源池做到4K个以上主机，从而极大地提升了资源的利用率。
- 对于区域甚至集团性的DC资源池，提供DCI编排能力，从而将更大范围内的多云CO资源整合成一个逻辑的DC，支持全网的统一资源调度和业务编排，跨云资源统一编排、部署业务。

可视化管理，优化网络调度

SDN VDC网络技术通过集中式的SDN控制器接管网络控制面，提供设备接入管理，网络拓扑自动发现，转发路径计算，故障诊断，流量工程等可视化管理，支持应用拓扑-逻辑拓扑到物理拓扑的三层互视。采用In-Band Network Telemetry技术测量网络实时路径时延，快速发现拥塞节点，并快速进行网络路径调整。

业务链，定制化编排网络服务

在VDC数据中心中，提供租户根据实际的业务模型，动态选择服务类型（比如FW，LB，VPN等），并对服务的执行顺序进行编排的能力。中兴通讯提供的弹性VDC网络解决方案，利用业务链技术，定制化编排网络服务，能够满足用户的个性化需求。

数据中心网络能力

- Spine-Leaf组网，L3组网，Leaf可以位于远端接入机房，Spine和Leaf可以独立扩容，增加节点而无需重构网络。SDN GW和Spine均提供小容量盒式设备、大容量架式设备多种形态，以满足不同出口带宽组网时的最佳性价比。一对5960盒式交换机提供高达3.2Tbps的出口带宽，一对9916交换机提供57.6Tbps的出口带宽。
- 计算、存储、管理控制网络三个网络平面分离，避免故障以及安全隐患扩散。
- Overlay采用VXLAN组网，VXLAN UDP源端口采用payload的五元组hash生成，以充分利用底层网络的ECMP/LAG链路的Hash负载均衡机制。
- 根据需要划分安全域，不同的安全域间通过防火墙进行隔离。
- 支持多网关出口，以支持分布式电信云情况下的EDC本地出口等场景。
- 全面的云化网络服务(NaaS, Network As a Service)能力，租户、租户安全域映射到VRF实现完全的地址空间隔离，软硬件防火墙、负载均衡器支持FWaaS/LBaaS/VPNaaS服务接口。

电信级可靠性设计

CO重构数据中心从控制器、转发面设备、L4-L7设备等不同层面进行设计，无任何单点故障，从而提供电信级的高可用性，满足电信业务的高可用需求。

控制器通过集群技术提供服务，支持秒级的节点故障倒换恢复；硬件交换机全面支持堆叠、NSR(Non-Stop Routing)以及跨机架捆绑，百毫秒级的链路级节点故障收敛时间。防火墙和LB均支持1+1主备冗余，节点故障保护倒换时间在秒级。在计算节点侧，vSwitch提供多种Bond模式保护上行网络链路，同时对SR-IOV虚拟机提供了内置的链路捆绑机制，从而保证了业务流端到端的No Single-point of Failure。

数据中心安全设计

管理面/控制面安全

管理面和业务平面严格物理隔离

对于位于云内的NFV网元的管理平面(包括MANO和VNFM)需要和系统管理平面打通的情况，必须采用防火墙进行隔离。

大型网络的管理网采用三层组网

避免广播风暴扩散到全网，并且所有网元的管理接口配置ACL策略只允许开放特定的管理端口、特定IP地址访问。

可审计性

Co重构数据中心对安全性的要求较高，操作人员的所有操作(包括成功和失败的登录操作)，系统都进行即时记录，并提供查看操作日志的工具，以便在必要时追根溯源。

漏扫及定期安全补丁

除了操作系统加固外，定期对管理面网元进行漏洞扫描，并及时升级安全补丁。

控制面安全

各设备、控制器都支持基于协议优先级的队列及限速，保证控制面协议的安全性，包括未知单播/广播/OSPF/BGP/OpenFlow等协议的过载控制，保证遇到攻击等极限情况下控制面的安全性。

业务面安全

多租户隔离安全

SDN内置了自动的多租户安全隔离能力，不同的租户之间的流量、地址空间完全隔离，无论是IT的用户租户、还是NFVI的网元，均应划分到不同的租户中，SDN网络采用VRF进行隔离，保证多个租户的不同流量隔离，IP地址可重叠。

边界安全防护

通过部署FWaaS，提供租户级别的边界安全防护，将外网侧的安全攻击阻断在边界上。FWaaS的实现方式可以是支持一虚多的硬件防火墙，也可以是vFW，根据流量大小进行选择。

同租户安全域隔离

SDN支持自动化的安全域划分，根据网元是否和访问外部网络将网络划分为非信任域和信任域，非信任域设置DMZ区，DMZ访问信任域必须通过防火墙，SDN支持同一个租户创建多个Router，将不同的Router下挂

的资源映射到不同的安全域，每个Router关联到各自的FWaaS，并且支持安全域之间通过FWaaS的访问关系编排。当非法入侵者攻破非信任域主机时并不能威胁核心系统数据的安全。

东西向安全隔离

对于VM/容器，SDN提供了微分段安全(对应OpenStack的安全组)，支持在同租户内进一步进行安全边界的划分，一个租户可以将申请的云主机按照应用类别和访问关系划分成不同的安全组，同安全组内可以缺省互访，不同安全组内不可访问，跨安全组的边界主机可以归属于多个安全组从而实现安全组间互访只能通过特定主机；安全组功能缺省支持VM/容器的IP/MAC地址防欺诈以及有状态ACL策略防护。对于IT类业务、NFV控制面网元，建议缺省打开安全组，对于用户面网元，由于本身充当路由器或交换机的角色，其流量的IP/MAC不固定，可以关闭安全组能力。

优先级带宽限速

每个租户必须配置出口优先级和带宽限速，除了付费签约带宽外，还保证在中病毒或软件Bug触发的情况下，单个租户/网元的大流量带宽不会阻塞更高优先级业务的出口。

其它安全

根据需要，在DC公网的出口部署WAF、DDOS、IPS网元。



城域网重构

城域接入网络重构

全面支持接入网虚拟化架构，将用户、业务的接入和业务传送分离，在城域网中全面引入VXLAN技术，将VXLAN VTEP点延伸到现有的固网OLT和企业的uCPE设备，用户连接VXLAN隧道的另一端点终结在vBRAS用户、EDC中的vCPE上或者企业位于EDC中的VPC虚拟私有云中。SDN控制器根据业务编排系统的指令以及全局负载均衡、容灾的策略将家庭、企业客户连接到对应EDC中的vBRAS、vCPE或VPC中。

由于用户接入引入VXLAN Overlay技术直接接入EDC，使得用户地址不再暴露在城域汇聚网络中，大大降低了组网的难度，使得城域网采用交换机汇聚、光纤直连或者OTN汇聚均只需要考虑网络本身的拓扑设计、成本的合理性。中兴通讯的大容量C600 OLT、基于M6000-S的BRAS/vBRAS以及基于NFV的vBRAS将全面支持VXLAN用户接入。

对于现网演进，中兴通讯提供三种接入网络虚拟化的解决方案：

- 现有BRAS基础上进行升级，支持业务的分流，CPE侧按照VLAN定义业务，BRAS配置VLAN或基于流的分流策略，普通家宽业务执行PPPoE认证上网业务、企业云专线业务封装VXLAN隧道进入到DC中的vCPE租户，等等。
- 现网OLT设备升级，支持SDN业务控制以及VXLAN封装，将普通家宽业务分流至BRAS/vBRAS，将企业云专线分流进入边缘DC的vCPE租户。OLT在ZENIC WAN控制的控制下可以支持连接多个BRAS

设备，支持BRAS Pool的架构。中兴通讯的C600 OLT设备全面支持SDN能力。

- 对于OLT、BRAS升级均较为困难的场景，中兴还提供基于汇聚交换机的业务分流，在边缘DC内部设置汇聚交换机，汇聚OLT流量，上行连接传统的BRAS Pool以及DC的Border-Leaf，根据下行业务的外层VLAN范围将业务分流到BRAS Pool或者DC中的vBRAS、vCPE等租户。

未来架构演进

CO重构的目标架构是为每个家庭、企业客户提供虚拟私有云的业务，将云服务延伸到企业/客户侧，网络即云，成为未来数字化社会的基础设施。

基于如上远景架构，对于接入网络而言，需要汇聚大量的企业、用户终端，按照一个边缘DC接入10万家宽(每个家庭10个终端)、1万中小企业(一个企业50个终端、2个子网)计算，并提供本地化的虚拟二层访问体验，即需要12万L2网络、150万MAC，现有的基于交换的汇聚网络无法支撑如此规模的网络。因此架构建议如下：

- 用户业务尽早进入VXLAN隧道封装，汇聚层设备只看到隧道，无需学习大量MAC，无需支持海量L2广播域，建议将VXLAN隧道起点放到企业CPE、OLT等设备上，CPE和OLT在SDN的控制下同时执行业务分流策略，决定业务是进入传统BRAS还是进入边缘DC业务域。

- 在边缘DC侧，设置汇聚交换机，仅汇聚流量，按照VXLAN外层进行转发，不终结VXLAN隧道。VXLAN终点放在BRAS以及DC内的vCPE软件或租户内的IPSec VPN软件设备上。vCPE本身支持多租户，在支持海量租户接入的情况下，尽可能消耗较少的计算资源。
- 数据中心采用软边缘、硬网关的方案进行建设，软VTEP设备无硬件的容量限制，可以处理海量的租户的MAC/ARP记录来支持未来网络即云的基础架构。

vBRAS方案

相比较移动网vEPC的全面虚拟化，固网接入的虚拟化进展相对缓慢。主要原因是固网流量密度大约是移动网的十倍左右，采用X86虚拟化在性价比上仍然处于不利地位。

目前简单转发，典型的双路X86至强服务器已经能够做到100Gbps以上的转发能力，但是对于需要叠加多种业务处理的商用场景，单X86服务器的业务处理能力大约在20-40Gbps，同样功耗和占地面积的专用NP处理器的BRAS大约能够处理200-400Gbps，单位流量的性能、功耗有一个数量级的差距。对此中兴推出了两种vBNG的方案，分别适用于不同的场景：

- 转控分离架构的vBRAS，控制面虚拟化，转发面仍然使用NP硬件设备，克服了原有完全专用设备控制面能力弱的缺点，能够支持高达千万的用户会话，同时也保留了高性能的转发优势，适用于普通固网用户接入的场景。
- 全虚拟化的vBRAS，仍然是转控分离架构，但是转发面改变为X86虚拟化实现，适用于小流量、高会话的场景，包括WLAN热点覆盖、ITMS、现网BRAS设备的流量/会话处理能力不足时的分流补充。

C/U分离的vBRAS架构

中兴通讯推出的vBRAS采用转控分离的融合架构，分为控制面（vBRAS-C）与转发面（vBRAS-U）的分离，其中vBRAS-U提供基于高性能专有硬件和X86两类形态，遵循ETSI NFV标准，逻辑架构如下图所示：

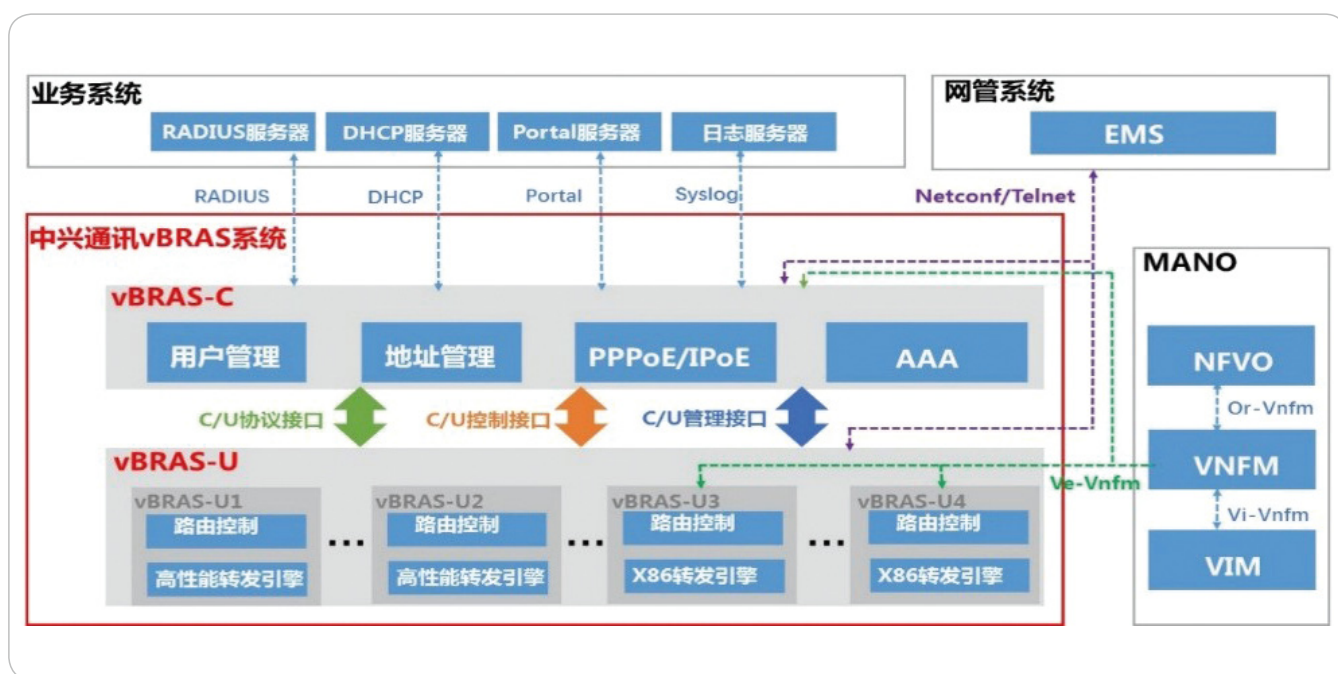


图5 vBRAS系统逻辑架构

vBRAS系统分为vBRAS-C和vBRAS-U，前者部署在云中，以虚拟机或容器方案运行，负责用户管理、地址管理、PPPoE/IPoE的认证处理，后者负责用户面流量的路由和转发，并且支持统一管理的基于NP的高速硬件转发池和部署在云上的X86虚拟化转发面。无论是vBRAS-C还是X86的vBRAS-U，均由MANO系统统一进行编排和生命周期管理，支持按照CPU负荷、流

量进行动态弹缩。此外，vBRAS支持和无线核心网统一的MANO系统。

vBRAS系统对外的业务接口保持不变，包括和现有Radius系统、DHCP Server、认证Portal以及EMS系统，以最大限度保护运营商现有投资，实现网络的平滑演进。

中兴通讯vBRAS方案的主要特点

业务完全覆盖传统MSE设备

- PPPoE、IPoE、IPTV组播，覆盖家庭triple-play业务、个人WiFi业务。
- IP Host、L2/L3 VPN、L2TP接入，覆盖政企互联网专线、VPN业务。
- 强大的CGN能力，保障私网IPv4业务的开展与可靠性。
- 提供基于硬件的高性能H-QoS，支持智能提速，助力固网流量经营。

优于成熟的安全可靠机制

- 控制面负载均衡，弹性伸缩，充分保障控制面资源的合理利用。
- 转发池化保护，天然冗余负荷，比传统BRAS热备技术更灵活可靠。
- 转发池直接丢弃协议攻击报文，充分保障控制面的安全性。

接口能力开放，网络架构与时俱进

- 基于标准的ETSI NFV架构，提供开放化北向接口，实现端到端网络资源的协同控制，业务链编排以及网络能力开放，解决策略控制瓶颈问题，助力宽带业务创新。
- 控制面和转发面完全解耦，部署灵活，可直接部署于当前的城域网业务边缘，亦可向未来云化网络架构无缝演进。

运维管理极致简化

- 一键式部署，创建vBRAS实例一步到位。
- 控制面转发池统一网管，智能化配置。
- 提供全图形化界面，性能统计一目了然。

vBRAS的部署

中兴通讯vBRAS除了具备SDN/NFV技术所带来的全部优势外，针对运营商网络的需求还提供了如下特征：

- 中兴通讯提供的vBRAS-U既有基于NP的高性能转发池，也有基于通用X86的纯虚拟转发池，两种转发池采用统一的vBRAS控制面，可实现集中统一管理。无需改动网络的整体架构，两种架构的转发池即可联合组网，实现业务、资源协同优化。
- 高性能转发池提供Tbit转发能力，承载高带宽、强QoS的业务（如HSI、IPTV、OTT等），满足电信级网络持续增长的带宽需求。
- X86转发池运行在通用X86服务器上，支持容量的弹性扩容，可用于承载低带宽、弱QoS的业务（如TR069、VOIP、WLAN等），分担用户会话数，降低对高性能转发池的转发表开销。

FMC接入方案

边缘DC除了承载固网接入业务外，同时也可以承载移动网络业务，以支持未来5G低时延的要求。在4G之前，移动网络流量相对较小，综合权衡流量成本以及设备CAPEX/OPEX，EPC部署位置相对较高，在5G时代，移动网流量进一步激增，核心网络全面NFV化，EPC下沉几乎无额外成本。

到2021年，移动网流量在网络中的占比在今天9%左右的基础上再翻一番，提升到18%左右。此外VR、直播类业务对时延和带宽均提出了更高的要求。

vEPC本身是转控分离架构，在DDC/EDC统一资源池、统一MANO调度的情况下，支持动态按需将部分vEPC用户面部署到边缘DC。

中兴通讯提供两种固移融合的方案：

- 对于现有未进行vEPC改造的网络，vEPC未下沉到EDC，在BBU侧设置专门的移动MEC业务处理服务器，作为边缘DC的远端节点，和BBU共址，业务上和固定业务统一管理，在BBU的交换单板上配置分流策略将特定的业务流重定向到MEC服务器，由MEC服务器解析GTP-U隧道，处理业务并进行必要的计费处理，比如开展场馆直播业务，边缘DC将业务流推送到MEC服务器，MEC将媒体流广播到无线侧，可以节省大量的BackHaul带宽。
- 新的5G网络架构下，由MANO按照规划和业务需求，按需将部分vEPC用户面沉降到EDC中，MEC服务部署到vEPC之后，由vEPC识别需要在EDC中处理的业务流，通过业务链或者路由方式定向到MEC业务系统，从而实现在EDC中统一承载固网和移动网业务。

Elastic SD-WAN随选网络方案

中兴通讯Elastic SD-WAN解决方案提供面向政企的弹性接入方案，支持如下场景：

- 政企客户企业分支解决方案，支持VNF服务集中化部署、分布式部署到vCPE以及混合部署的场景。
- 支持X86形态的CPE和传统接入路由器形态的瘦CPE，也支持直接控制OLT或城域汇聚交换机实现固网FTTx客户的ShortCut接入。
- 政企客户公有云/混合云接入场景，支持SD-WAN接入网关汇聚，提供企业→PoP点→运营商公有云→第三方公有云的自动化路径选择和优化功能。

中兴通讯Elastic SD-WAN方案主要的特点、功能和服务如下：

- 提供统一的Portal，由管理员或用户实现网络随选的一键式开通；
- CPE的即插即用，通过业务编排系统和控制器系统实现设备的自动鉴权、自动网络连接开通、自动业务部署；
- CPE提供基于网络拓扑、路径质量的测量手段，并根据测量结果进行多出口选择；
- DMVPN功能，以支持复杂的分支和总部互联的服务；
- 通过灵活的业务编排，实现灵活的业务随选功能。比如在CPE侧灵活可选的加载WAN加速，包括TCP加速、SSL Offload、Caching等VNF服务，在总部或云服务中心提供IPS、流量清洗等VNF服务；
- 和第三方合作，提供其它增强型VNF服务。

企业分支网络随选解决方案

企业分支采用CPE接入到不同的运营商，根据需要分支机构至少选择一个运营商作为主接入，可能选择一个运营商线路作为备用线路(比如LTE线路)。

订单系统根据客户签约导入设备清单，并自动生成逻辑拓扑配置；当客户CPE上线后由SDN平台自动下发随选隧道配置及路径优化策略，同时根据签约及拓扑情况

决定是否启用DMVPN能力；当企业租户存在CPE位于NAT之后的场景，系统自动启用DMVPN。

企业可以根据需要订购WAN加速、安全防护、上网审计等服务，由编排器根据应用特性选择加载到CPE侧或者云端集中服务。

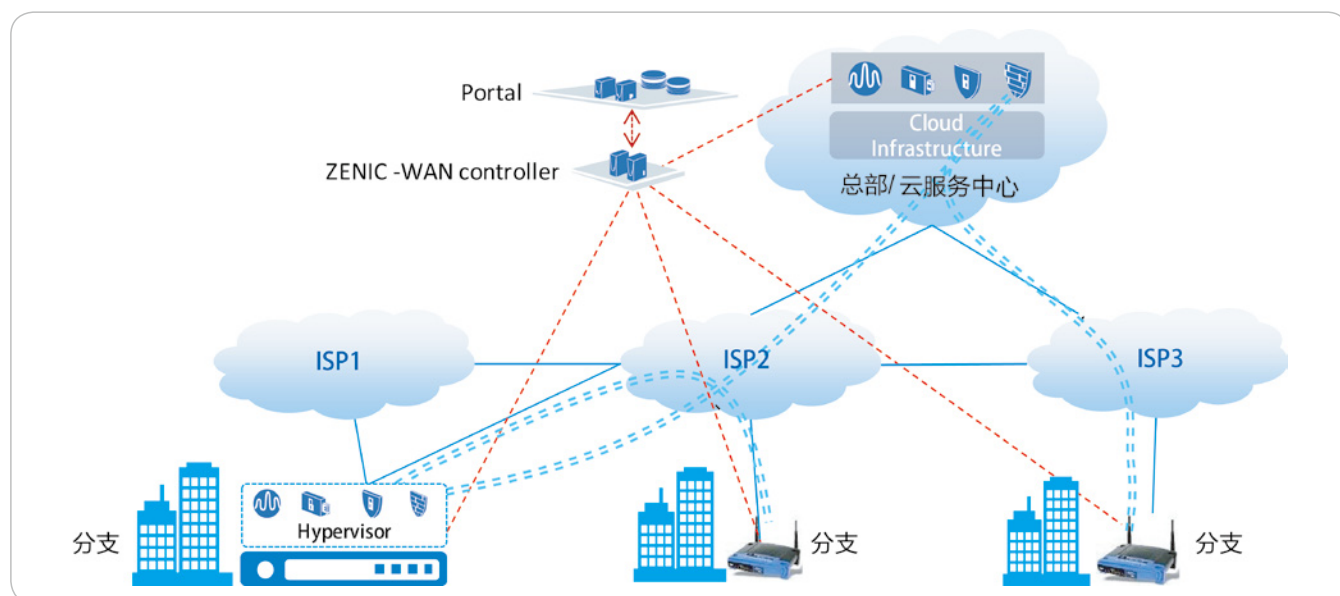


图6 企业分支解决方案架构

公有云接入解决方案

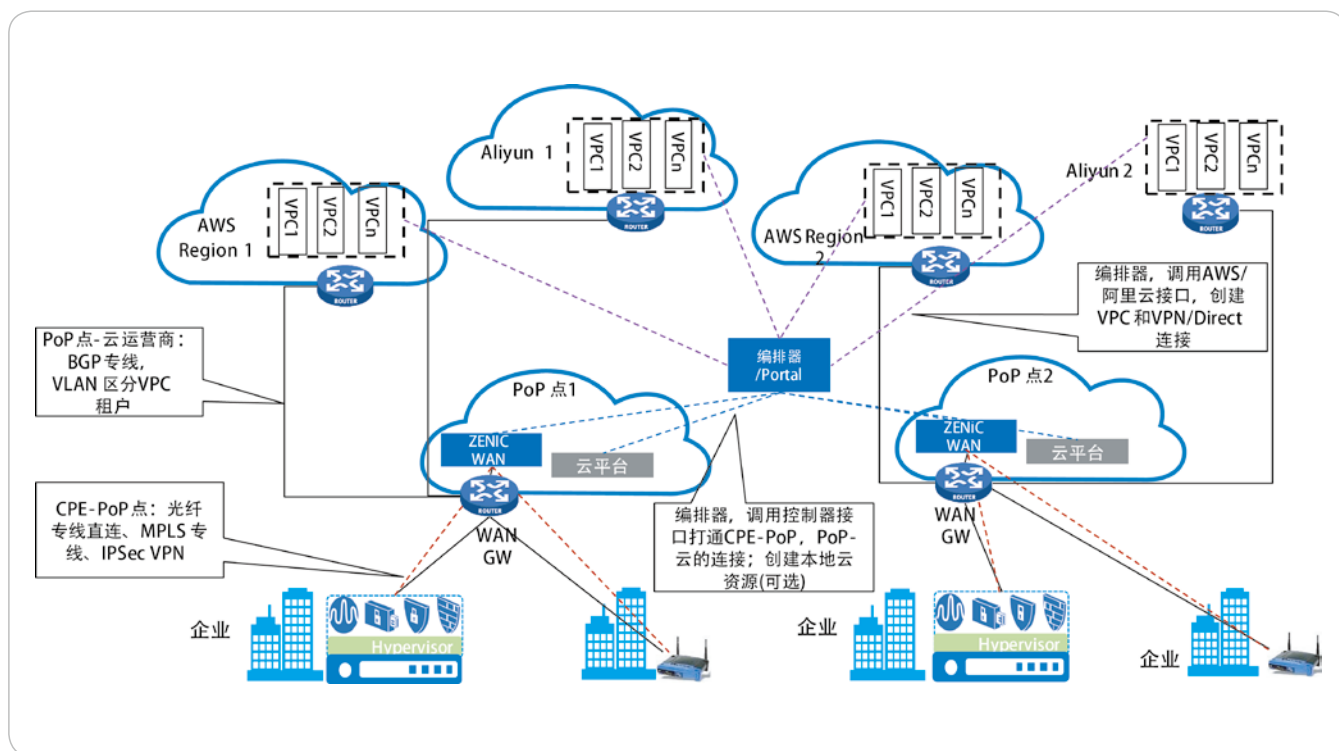


图7 公有云接入场景

SD-WAN运营商和公有云运营商合作，在合适的地理位置设置云接入PoP点，并且和CSP间预先建立专线连接。

企业客户只需和SD-WAN运营商签订合约，部署uCPE设备，由SD-WAN平台自动选择CPE接入到E2E网络质量最佳的PoP点，并自动创建VXLAN隧

道，同时根据客户的公有云连接开通自助打通PoP点到公有云VPC的专线子接口通信连接，从而实现企业客户→运营商PoP点→公有云提供商的VPN专线连接。当客户具备连接到多个PoP点的能力时，网络某段通信质量发生劣化时，Elastic SD-WAN平台可以为客户自动重选PoP点，以始终保证最佳的通信质量。

CO重构架构下的Underlay和Overlay统一随选

对于拥有到客户端丰富的FTTx接入线路的固网接入运营商而言，完全基于Internet接入的随选方案显然不够优化，流量可能经过完整的城域、CR迂回路径，其一是服务质量相对难以保证，其二是对城域的带宽浪费严重。

Elastic SD-WAN方案提供了OLT的控制能力，对于通过运营商PON接入的企业客户，通过SDN控制器直接控制OLT，将企业专线流量分流直接接入边缘DC，建立随选隧道连接，避免了城域网的流量路径迂回，从而获得了比Internet接入更佳的服务质量。

当现网OLT不支持VXLAN等隧道连接技术时，可以通过增加/改造汇聚交换机的方式将网络改造为适用于Elastic SD-WAN架构的网络。当现网汇聚交换机也无法改造的情况下，可以采用增加单独的SD-WAN汇聚交换机连接到多个OLT，为企业专线业务分配单独的VLAN范围，在OLT侧配置VLAN分流策略，将企业专线的流量分流到单独的汇聚交换机上再接入到边缘DC中。

智能运维

一体化网络运维UME

中兴通讯充分考虑到云化运营转型过程中的各种挑战，基于对电信网络运维的深刻理解，推出了云化运维的新一代网络管理系统 ElasticNet UME。ElasticNet UME承载网络运维系统以公司ElasticNet OES解决方案为平台，以智能化，集约化，基于策略的自动化运维来降低OPEX，提高网络资源利用率，加快网络业务上线，更好的满足SDN/NFV/云计算环境下的承载网络运维要求。

UME系统采用B/S（Browser/Server）架构，提供专业的资源监控管理和诊断排障的智能运维能力，提供资

源管理、网元管理、智能故障诊断、告警管理，流量分析、网络和业务质量分析以及网络调整、业务调整、和系统管理等强大的管理功能。

UME对underlay/overlay、物理/虚拟化设备统一管理，提供统一的Portal实现统一的界面入口和功能，保持统一的运维习惯，降低运维人员的OPEX投入。提供Corba、SNMP、FTP、XML、Rest等多种统一的北向接口，可与各种上层应用系统快速对接。网络管理的效能提升迅速。

网络数据智能分析BigDNA

BigDNA通过长期和实时的全量网络流量、质量、资源状态数据等采集，结合大数据分析手段与丰富可视化手段，可以帮助运维人员轻松地把握网络性能运行状态，真正实现端到端网络性能监控管理和故障定界定位。同时可以助力网络运营商，实现流量精确预测，SDN场景流量调优，业务指标感知体系，无线/家客/大视频等业务端到端故障定界定位等客户需求。

BigDNA具备如下典型应用场景：

全面客户体验管理

通过客户体验指标直观反映单用户或者区域用户的家宽体验感受，对客户体验差进行及时的跟踪和反馈；

市场业务分析

分析2G、3G、LTE、集客、WLAN、OLT回传业务量，分析业务投资回报，发现、预测客户需求，拓展商机；

网络容量规划

分析端到端网络性能基线，预测网络带宽需求，输出扩容建议；

实时流量保障

对网络流量进行实时的采集和展现，直观快速的发现网络热点和问题，实现网络性能的实时保障；

网络质量分析

通过各类协议进行网络质量测量相关场景保障，可以对网络重要链路的时延、抖动等指标进行直观的查看，便于定位网络问题；

带宽配置调整

分析网络资源性能与带宽数据，输出 CIR、PIR设置建

议，生成优化策略，结合SPTN控制器实现半自动、自动实施带宽配置调整；

IP+光流量调优

针对IP+光场景，通过对VTE-LINK实时和长期流量监控分析，可实现实时BOD和带宽日历策略调整输出，配合ZENIC控制器实现带宽的自动调优；

LTE（无线）/家宽业务故障定界定位

针对无线/家宽业务提供客户体验管理和端到端网络质量监控，在网络质量裂化情况下，通过内外置探针方案，实现业务的故障的快速定界定位。

大视频业务故障定界定位

针对大视频业务提供承载侧可视化运维手段，主动进行业务路径还原，并且通过2544监测和MDI性能计算等技术，实现大视频业务的故障定界定位。

开放生态链建设

中兴通讯CO重构解决方案始终坚持采用开放的架构，和产业链上下游厂商共同成长，以云、SDN为中心，引入多层次的合作伙伴，包括服务器、计算虚拟化、安全设备厂商、VNF等领域，合作伙伴超过50个厂商。

在产品技术方面，坚持开源、并回馈开源社区的技术线路，目前中兴通讯是ONAP、OPNFV、OpenDayLight开源社区的白金会员、OpenStack社区金牌会员，并在以上社区以及CEPH、Kubernetes等社区中贡献位于领先地位。

中兴通讯CO重构实践以及经验

自2016年初起，中兴通讯已经在国内三大运营商开展和进行中的累计10个完全意义上的CO重构的试点，同时也参与了海外多个运营商的早期CO重构项目的概念设计；在国内单独进行的vBRAS试点累计10余个。国内CO重构试点主要形态包括：

- 基于单个边缘DC的CO重构试点，包含vBRAS、vCPE、vEPC、vCDN等固网、移动业务；其中在上海电信LSN、广西电信实现了VMWare资源池的统一纳管。
- 基于单个边缘DC，以固网接入业务为主。

- 基于DDC+多EDC整合资源池的CO重构试点，承载各类固移融合业务。

总体来讲，基于OpenStack+SDN的NFVI已经成熟可商用。对于城域网重构，不同的运营商、不同的省份公司，其城域网的架构差异性较大，部分省公司是OLT上行直连到BRAS、部分是通过OTN光传输汇聚到BRAS，也有不少是通过汇聚交换机上连到BRAS，这个是由省内的传输资源、人口地理特征决定的，短期内无法完全统一，因此在城域网重构的理念下，因地制宜，选择合适的城域网虚拟化及业务分流方案，逐步向目标架构演进。

趋势展望

生态链重构

CO重构的目标是采用软件化SDN/NFV技术重构运营商网络，降低CAPEX/OPEX的同时实现业务、运营的敏捷化，在此过程中，部分运营商开始构建自己的网络业务的研发能力，实现业务的快速市场响应。这一过程势必使得传统供应商-运营商的生态链发生颠覆性的变化。

在过去的30年中，实际上这一趋势已经在缓慢演进之中，比如上层的BOSS系统和部分软件业务系统运营商已经尝试自研或委托第三方开发，SDN/NFV技术使得网络本身进一步软件化、开放化，从而使得运营商可以

自主研发的范围扩大到网络业务。

随着CT基础设施的重构，网络软件化的深化，网络产业越来越像软件产业，在其中硬件供应商、平台提供商、应用软件提供商、系统集成商各司其职，对于网络规模足够大，自建研发队伍的收益和投入可以平衡的运营商会倾向于自研部分业务编排及应用软件，使用设备供应商提供的组件来构建自己的网络；另外部分运营商客户仍然会选择主要的CT业务提供方作为系统集成商来交付网络系统，并且承担长期的售后服务。

即使具备自研能力的运营商而言，如果采用供应商提供的Building Block(比如硬件设备、VNF、SDN开放接口)来开发应用，在多厂商环境中也面临标准化、维护界面的问题，尤其多厂商标准化和业务的敏捷响应在

长期来看是矛盾的，因此在适当的标准化的基础上，大部分运营商会选择固定的长期合作伙伴，协同规划，深度合作，以保证业务需求的快速迭代交付。

白盒化趋势

白盒交换机已经在数据中心中占有一席之地，主要是Google等互联网公司使用，同时部分运营商也尝试在Backhaul、CPE领域引入白盒设备。白盒的市场驱动力在于：

- 软硬件分离，降低设备硬件采购成本，软件简化、只支持特定场景，降低软件研发成本。
- 买家自建软件研发能力，DevOps一体化，自己能够控制业务功能的研发需求和进度，降低新业务的面市周期。

以上两点是建立在硬件通用化和自研能力的基础上之上，通用的硬件架构使得设备可以在市场上找到多个合格供应商、并且具备大批量采购的条件，并且以自研能力(Opex)替代软件的厂商附加值产生的一次性采购CAPEX。

在数据中心领域，组网方式简单、固化，设备形态标准化，同时网络的交换/路由以及L4-L7层功能越来越多

地沉降到服务器上的vSwitch、智能网卡进行处理，这样使得整体方案对于硬件交换机的功能性要求趋于简单，从而使得白盒的软件功能劣势变得不是那么明显，并且最终占据一个稳定的市场份额；在运营商网络，设备的各项指标、功能、可靠性要求极为苛刻，白盒化首先面临这些准入评价体系的变更，而这些准入技术指标的修订依赖于运营商网络本身的简化设计，比如简化去除诸如MPLS TE、SR类似的功能，将城域网络设计成一个扁平、地址汇聚的IP Fabric，而将灵活的业务功能、QoS能力下放给CPE设备和位于边缘DC的NFV网元，这一变化必然是个漫长的过程。

对于白盒系统，由于运营商客户不同于个人或者普通中小企业客户，必须要保证产品的可获得性、集成能力、长期质量保证和服务，对于白盒也需要选择具备这些能力的品牌供应商，除了类似于Google这样的个别客户外，代工厂直接销售的模式局限性较大，品牌白盒软硬件提供商可能是主流。但是无论如何，在电信领域，市场的价值从硬件向软件的转移是大势所趋，是正在发生、不断加速的过程。

术语及缩略语

术语	英文全称	中文含义
AWS	Amazon Web Service	亚马逊万维网服务
BNG	Broadband Network Gateway	宽带网络网关
BRAS	Broadband Remote Access Server	宽带远程接入服务器
CORD	Central Office Re-architected as a Datacenter	中心机房重构为数据中心
CPE	Customer Premise Equipment	用户前置设备
DDC	Domain DataCenter	区域数据中心
DDoS	Distributed Deny of Service	分布式拒绝服务攻击
EDC	Edge DataCenter	边缘数据中心
EPC	Evolved Packet Core	演进分组核心网
EVPN	Ethernet VPN	以太虚拟专用网络
IPS	Intrusion Protection System	入侵保护系统
MEC	Multi-access(Mobile)-Edge Computing	多接入(移动)边缘计算
MPLS	Multi-Protocol Label Switch	多协议标签交换
NFV	Network Function Virtualization	网络功能虚拟化
NVE	Network Virtualization Edge	网络虚拟化边缘
ONF	Open Networking Foundation	开放网络基金会
ONOS	Open Networking Operating System	开放网络操作系统，一种开源SDN控制器
OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
PBB	Provider Backbone Bridge	运营商骨干桥接
RTT	Round Trip Time	往返时间
SDN	Software Defined Networking	软件定义网络
ToR	Top of Rack	架顶交换机
VNF	Virtual Network Function	虚拟网络功能
VPC	Virtual Private Cloud	虚拟私有云
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
VTEP	VXLAN Tunnel End Point	VXLAN 隧道端点
VXLAN	Virtual eXtensible LAN	虚拟可扩展局域网
WAF	Web Application Firewall	Web应用层防火墙
ZENIC	ZTE Elastic Network Intelligent Controller	中兴弹性网络智能控制器

附录 参考资料

- [1] UC Berkeley, Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, 2009
- [2] Cisco, Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021
- [3] <http://www.openstack.org>
- [4] <http://www.openvSwitch.org/>
- [5] ETSI, Mobile Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture, 2016-3
- [6] BBF, WT-384 Cloud Central Office Reference Architectural Framework, 2017-8
- [7] OpenFog Consortium, OpenFog Reference Architecture for Fog Computing, 2017-2