

SDN WAN

技术白皮书

文档版本 01
发布日期 2016-3-14

版权所有 © 华为技术有限公司 2015。 保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或暗示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编：518129

网址： <http://www.huawei.com>

客户服务邮箱： support@huawei.com

客户服务电话： 4008302118

目 录

1 什么是 SDN	3
1.1 SDN 技术产生的背景	3
1.2 SDN 的起源和发展现状.....	4
1.3 SDN 发展面临的挑战和关键问题	5
2 WAN 引入 SDN 的动力和价值	8
2.1 WAN 网络在云时代的挑战.....	8
2.2 SDN 在 WAN 场景的意义和价值	9
2.3 SDN 带来网络发展的新机遇	10
3 华为 SDN 架构	12
3.1 华为 SDN 核心能力要素.....	12
3.2 华为 SDN/NFV 的理念	13
3.3 华为 SDN/NFV 总体逻辑架构	14
3.4 华为 SDN 核心领域模型的抽象	14
3.5 华为 SDN WAN 架构	15
4 SDN WAN 演进的总体策略和建议	17
4.1 从技术成熟度考虑演进策略	17
4.2 IP WAN SDN 演进策略聚焦价值场景	17
4.3 现网演进平滑性	18
术语和缩略语	19

1 什么是 SDN

1.1 SDN 技术产生的背景

随着互联网的高速发展，运营商承载网络从最初满足简单 Internet 服务的“尽力而为”网络，逐步发展成能够提供涵盖文本、语音、视频等多媒体业务的融合网络，其应用领域也逐步向社会生活的各个方面渗透，深刻改变着人们的生产和生活方式。

伴随着云计算的出现，我们的生产和生活的一切活动都将在云平台的服务平台上完成。在云时代下，大型的互联网内容提供商（ICP）正在出现，信息消费的访问点越来越集中在少数大型 ICP 的云平台上，通信连接高度集中在大量终端与少量数据中心之间，运营商的 WAN 网络正是承担着其中的网络连接。

同时，面对云时代的高效、灵活的业务承载需求，传统网络的网络架构日益臃肿，面临一系列挑战。

1. **管理运维复杂：**传统网络采用的是分布式控制平面，控制协议数量多，标准数量数以千计，如此庞大的控制协议体系，使得网络的管理运维变得复杂，对维护人员的技能要求高。同时，设备厂商在实现这些标准协议时，都进行了一些特定的私有扩展，使得设备的操作维护变得更加复杂，进一步加剧了网络管理员操作维护网络的难度，同时大幅增加了网络的运维成本。这种管理模式随着网络规模的扩大和新业务的引入，很难实现对业务的高效管理和对故障的快速排除。
2. **网络封闭，创新困难：**由于传统网络采用“垂直集成”的模式，控制平面和数据平面深度耦合，缺乏标准、开放的接口，且在分布式网络控制机制下，当需要在网络中部署新业务时，首先需要解决需求标准的定义，经过 1~2 年的标准讨论定义，标准组织达成一致，发布标准，规格设备商再实现这些标准，通常也要经过 1~2 个版本（1 年）的成熟稳定，才能在现网部署升级这些新业务，通常也要半年到一年的时间，整体过程从需求提出到现网部署业务，通常需要长达 3~5 年的时间。这样的新技术上线效率，已经无法满足运营商的业务需求，运营商希望能够快速提供网络业务，以满足客户多变的需求。使得新技术的部署周期较长（通常需要 3~5 年），严重制约网络的演进发展。
3. **设备日益臃肿：**由于传统网络的技术体系采用“打补丁”式的演进策略，随着设备支持的功能和业务越来越多（例如，目前 IETF 发布的 RFC 标准超过 7000 个，且还在不停的增加新的 RFC 和 Draft 标准），其实现的复杂度显著增加。

为从根本上摆脱上述网络困境，业界一直在探索技术方案来提升网络的灵活性，打破网络的封闭架构，促进网络逐渐向智能、开放、优化整合等方向转变，这种转变推动 SDN 软件定义网络的兴起。

1.2 SDN 的起源和发展现状

SDN, Software Defined Network, 顾名思义, SDN 使得网络能够像一个通用软件一样, 易于修改, 易于增加新业务, 使得网络更加敏捷。SDN 是一种新型的网络体系结构, 通过将网络控制与网络转发解耦合, 构建开放可编程的网络体系结构, 将部分或全部网络功能软件化, 更好地开放给用户, 让用户更好地使用和部署网络, 以适应快速变化的云计算业务。SDN 认为不应无限制地增加网络的复杂度, 需要对网络进行抽象以屏蔽底层复杂度, 为上层提供简单的、高效的配置与管理。SDN 旨在实现网络互联和网络行为的定义和开放式的接口, 从而支持未来各种新型网络体系结构和新型业务的创新。

SDN 技术诞生于由美国国家科学基金会 (NSF) 资助的高校未来网络研究项目—Clean Slate, 该项目旨在从根本上改变设计已略显不合时宜, 且难以进化发展的现有网络基础架构, 重新设计未来的互联网。项目团队在研究过程中提出了网络控制与转发分离的思想, 并开发 Openflow 协议应用于校园网的试验创新, SDN 的概念应运而生。

- 2007 年, 项目团队创建 Nicira 公司, 正式开启 SDN 商用产品研发工作。
- 2009 年, SDN 入围 Technology Review 年度十大前沿技术, 其理念获得了学术界和工业界的广泛认可和大力支持。OpenFlow1.0 版本发布。
- 2011 年 3 月, 开放网络基金会 ONF 成立, 致力于推动 SDN 架构、技术规范和应用推广。
- 2012 年 IETF 成立 I2RS 等 SDN 相关工作组。
- 2013 年, 传统设备制造商加快 SDN 战略布局, 大约 20 家不同规模的 SDN 初创公司被收购, 总金额近百亿美元。第一个开源控制器平台 OpenDaylight 诞生。
- 2014 年, ONF 开始探索协议无关转发技术为代表的 OpenFlow2.0。

SDN 市场发展现状

2012 年被业界视为 SDN 应用元年, 在 IDC 已经有顶级 IT 企业开始尝试部署 SDN 网络来解决流量调度问题。此后全球对 SDN 市场应用的探索持续不断, 并有逐步加速之势。从全球来看, 目前 SDN 正处在商用部署的准备阶段, 一些大型云运营商已经在采用或准备采用具有 SDN 特性的解决方案, 与此同时, 电信运营商也在积极地尝试借助 SDN 解决网络运维, 业务优化, 新业务快速引入等诉求。

从市场角度来看, SDN 市场客户主要包括网络服务提供商 (含 ISP, ICP 及电信运营商等) 和企业用户。下面就两类客户的市场发展现状作简要介绍。

SDN 市场部署情况

近年来众多用户已经启动 SDN 网络的试点工作, 这些用户即包括互联网公司, 也包括世界级的电信运营商。

传统的电信运营商则更多的是基于业务转型 (例如提供云服务等新兴业务) 和降低自身的网络运维成本, 持续跟进和开展 SDN 测试和网络试点工作。应用场景包括政企网私有云、公有云网络控制、数据中心资源租用、光传输网络和移动回传网的智能化、虚拟化控制改造等。

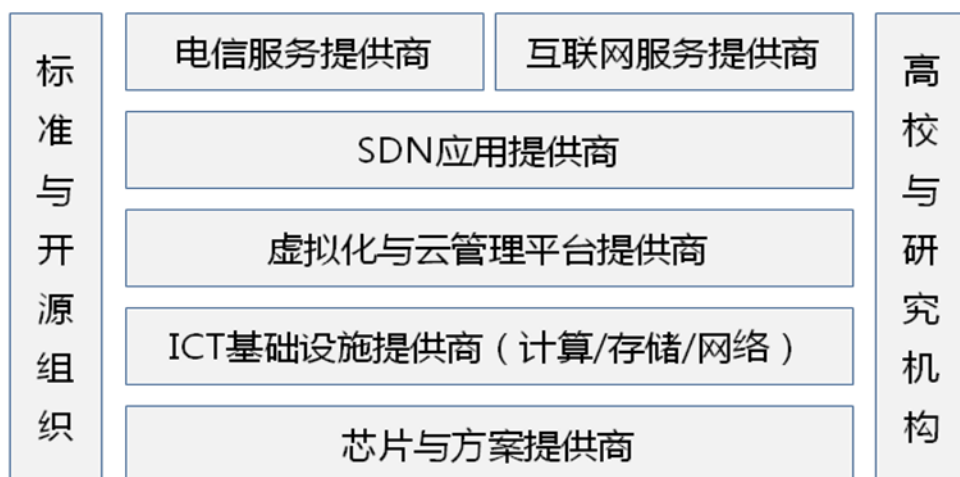
国内三大运营商持续推进 SDN 相关测试和试点活动，与业界等各个设备制造商形成战略同盟，在小范围的网络中试点自己的新业务，主要表现在数据中心内部、数据中心间、云业务、运维、传送等场景。

除了互联网公司和传统的电信运营商外，也有一些传统的大企业，例如金融业对 SDN 技术和网络表现出了浓厚的兴趣，但由于自身缺乏专业技术人才和相应的研发能力，企业客户部署 SDN 的案例尚不多见。

SDN 的产业链构成

下图展现了 SDN 产业生态的主要构成。SDN 产业生态以虚拟化与云管理平台提供商为中心，北向由 SDN 应用提供商、电信服务提供商和互联网服务提供商构成；南向包括虚拟化与云管理平台提供商、ICT 基础设施提供商及芯片与解决方案提供商。此外，标准与开源组织、高校与研究机构也在产业生态中发挥不可或缺的作用。

图1-1 SDN 产业生态构成



SDN 产业链发展动态

SDN 产业链整体来看成熟度比较高，产业链比较完整。电信运营商和互联网公司等单位需求明确，在一些领域成功开展了商用部署；电信设备商在当前主要的应用场景下发布了 SDN 设备和解决方案，并在其他重点场景中进行大量探索实验；软件厂商和硬件厂商发展相对薄弱，国外软件厂商主要侧重于虚拟化和软件解决方案，硬件厂商尤其是芯片厂商占据相关领域全球主要市场；国内软件厂商目前偏重于安全防护解决方案和系统集成，硬件芯片厂商数量很少；测试仪表厂商主要侧重于 OpenFlow 一致性测试和 OpenFlow 仿真，也推出了编排层和 PCEP 的仿真测试工具，对全面的 SDN 解决方案测试还不够成熟。

1.3 SDN 发展面临的挑战 and 关键问题

SDN 作为一种对运营商网络具有重大影响的新技术，其价值已经被业界普遍认可，但在应用部署过程中存在不少挑战和问题。

首先，从运营商的实际部署上，面临以下挑战：

1. 投资回报率难以衡量

运营商引入 SDN 新技术将对网络整体的投资产生重大的影响，SDN 采用标准化硬件，通过加载不同的软件来实现网元的各种功能，因此硬件的成本将大大降低，而软件的价值将显著提升，因此如何评估传统网络建网和 SDN 新技术建网两种模式下的网络成本，以及与现有网络的平滑演进，目前还没有成熟的商用经验数据支撑。通常情况下，一个新技术的大规模应用都不是一蹴而就的，而是经过了比较长的时间达成的，因此新技术的部署和现有网络会是一个长期并存的过程。运营商在引入新技术时，首先需要在保障现有网络业务不受影响的前提下进行新技术、新网络的投资，短期内必然会增加 Capex 的投入，新技术和新网络的 Opex 降低，随着新技术逐渐规模应用，整体网络的 CTO 将逐步降低。

2. 业务应用创新还处于起步阶段

SDN 技术的核心价值是通过网络应用创新带来新的收入，简化运维降低运维成本，简化网络节省建网投资，这就需要引入 SDN 技术的运营商网络具备开放的能力。当前网络能力的开放还处于初级阶段，基于 SDN 架构的应用创新刚刚起步，大多数网络运营者关注的还只是 SDN 技术降低建网成本和运维成本，一定程度上制约了 SDN 技术的创新商业价值。

3. 产业链不完善

SDN 技术的核心能力是开放，可编程，需要不同的组织参与，产业链涉及多个环节，包括标准组织、开源组织、运营商、设备商、应用开发者、网络用户，而这些环节基于各自的利益对 SDN 的理解没有形成有效共识。而当前的运营商网络是由不同网络设备商提供的解决方案，如何保证 SDN 平台开放的基础上，形成有效的产业链，对 SDN 的商用部署形成了巨大的挑战。

4. 运营商组织架构、人员技能的挑战

在运营商网络的传统组织架构，各部门往往是按照专业技术来设立的，如传输部门负责传送网络，IP 部门负责数据网络，无线部门负责无线网络等。但在 SDN E2E 业务的技术架构下，导致不同的网络存在业务的重叠和交叉，如 IP+光场景，需要 IP 网络和传送网络协同进行统一的路径计算和保护恢复等，这就要求运营商内部打破现有的部门界限，形成从网络规划、建设、维护等部门进行有效的整合，在 SDN 的 E2E 架构下对组织架构，人员技能提出了更高的要求。

其次，从 SDN 技术本身的发展，也面临以下关键问题：

1. 开放接口标准化和互操作问题。

目前北向接口标准化工作刚刚起步，尚未形成业界公认的标准，南向接口协议还在不断演进发展，呈现多样化的发展态势。同时，针对解决大规模组网而定义的东西向接口的研究刚刚起步，业界还存在较大的争议。此外，对于 SDN 架构中协同器的具体功能，不同层管理功能和分配以及业务数据模型等细节也尚未给出明确定义。

2. 性能和可靠性问题。

目前控制器软件的架构和性能尚需不断完善和优化。从转发硬件层，通用硬件要求的芯片规范还没有发布，同时，对大规模网络下，控制器针对业务流下发的性能保证和可靠性提出了更高的要求。

3. 扩展性、稳定性和安全问题。

SDN 架构与现有网络分布式的控制机制不同，采用集中式控制机制，由控制器集中完成路由设计。该机制对于小规模网络可以使用，但是大规模网络就需要采用多个控制器控制，这对 SDN 集中控制架构在扩展性、稳定性方面具有较大的挑战。而且由于 SDN 的控制器开源和开放的特性，使其自身具有潜在的危险性，需建立一套隔离、防护机制来确保其安全稳定的运行，这既包含了控制器自身的安全问题，也包含了控制器与应用层之间以及控制器和转发设备之间的安全问题。

4. 与现有运维系统的兼容性问题。

在 SDN 架构下，如何实现传统网络中 OSS/BSS 及网管系统与 SDN 网络中协同层互通配合，控制器与原有网管系统之间的关系，以及控制器与原有非 SDN 设备对接等问题还有待解决，而解决上述问题将是一个长期而复杂的过程。

2 WAN 引入 SDN 的动力和价值

2.1 WAN 网络在云时代的挑战

WAN(广域网)作为连接各种互联网业务不可或缺的桥梁和纽带,是运营商的核心资产,在新业务、新需求层出不穷的云时代,不可避免的面临着各种各样的挑战。

云计算技术、移动性和语音/数据融合等主要 IT 趋势都增加了额外的 WAN 网络压力, WAN 网络链路现在需要更低成本、更低延迟性、更高的带宽和可靠性以及支持任何位置的任何设备来适应这些趋势。

图2-1 WAN 网络面临的业务需求



然而在某些方面,我们的 WAN 网络开始显现得越来越力不从心……

首先,随着移动和云计算趋势的发展,流量模式正变得越来越不可预测。流量不再遵循明确定义的模式,原来根据流量预测方式进行网络规划和部署的方式开始显得不合时宜。同时,作为 WAN 承载网的传送网与 IP 骨干网网络规划、设计和运维相互独立,不同网络层次之间的配合和互通困难、重复投资也是一个让人头痛的问题。最终的结果就是导致网络资源利用率低,带宽不足,导致效率低下,成本高。

其次，配置、维护和变更 WAN 基础设施也是一个需要耗费人力物力的大工程，业务配置复杂，多域多厂商之间业务互通困难，效率低。

2.2 SDN 在 WAN 场景的意义和价值

SDN 技术采用与传统网络截然不同的控制架构，将网络控制平面和转发平面分离，采用集中控制替代原有分布式控制，并通过开放和可编程接口实现“软件定义”。

从网络架构层次上看，SDN 典型的网络架构包括转发层（基础设施层）、控制层和应用层，该新型架构会对 WAN 网络产生以下方面的影响：

- **业务自动化。**在 SDN 网络架构下，由于整个网络归属控制器控制，SDN 控制器完成网络业务的部署，提供各种网络业务服务，如 L2VPN、L3VPN 等，屏蔽了网络内部细节，提供 E2E 网络业务的自动化能力。
- **简化网络复杂度。**SDN 网络架构简化了网络，消除了网络设备的大多数控制器协议，实现转发和控制分离，使得网络设备转发平面的能力要求趋于简化和统一，硬件趋于通用化，提供标准的南向接口，便于不同厂商设备的互通，有利于降低设备的复杂度以及硬件成本。
- **提高网络利用率。**SDN 网络架构提供集中的控制平面，可以实现海量网络设备的集中管理和运维，使得网络运维人员能够基于完整的网络全局视图和网络流量状态来实施网络规划和路径调整，优化网络资源，提高网络利用率。
- **加速网络创新。**SDN 网络架构的可编程性和开放性，使得运营商可以快速开发新的网络业务，加速业务创新。
 - SDN 的可编程能力可通过控制平面可以方便地对网络设备实施各种策略，提升网络灵活性；
 - SDN 的开放性提供开放的北向接口，允许上层应用直接访问所需的网络资源和服务，使得网络可以差异化地满足上层应用需求，提供更灵活的网络服务，加速网络创新。
 - 通过 SDN 可编程和开放能力，可使新业务的应用速度从传统网络的几年提升到几个月甚至更快。
- **网络设备白牌化，降低 CAPEX。**基于 SDN 架构的定义，如果集中控制器和网络转发设备之间的南向接口标准化成熟后，网络设备硬件的白牌化可成为现实，这样会使运营商网络的转发设备采购成本降低，从而使得运营商整体的运营成本下降。

与传统的网络架构相比，采用 SDN 架构后，网络底层只负责数据转发，可以由廉价、通用的商用设备构成；上层负责集中的控制功能，由独立的软件系统构成，网络设备的种类与功能由上层软件决定，通过远程自动配置实现部署和运行，并提供所需的网络功能、参数以及业务。因此，SDN 技术的引入势必会对传统电信网络的架构演进带来颠覆性的影响。

2.3 SDN 带来网络发展的新机遇

SDN 技术倡导的转发与控制分离、控制集中、开放可编程的核心理念为网络发展带来了新的机遇。当然，SDN 技术只是对网络架构的一次变革，一次重构，而不是一种新特性，它可以通过集中控制平面的可编程性和开放性，在不升级网络硬件设备的情况下，完成新特性的部署，解决传统分布式网络不容易解决的问题，主要体现在业务快速发放、流量调优、IP+光多层协同等应用。

1. 业务自动发放

在传统的运营商 WAN 网络中，要完成一个网络业务的发放，是通过网管或者 OSS 来完成的。网管把网络业务配置进行分解，下发给网络的转发平面单元，面临最大的问题是网元配置的一致性，只要其中一个配置出现错误，就会导致网络业务的故障。对于 E2E 的网络业务发放，需要多厂家的网管系统进行配合才能完成，而由于不同厂家设备的业务配置风格的不同，也带来大量的适配工作。

在 SDN 技术的网络架构下，通过 SDN 集中控制，能够实现运营商 WAN 网络的端到端业务自动化能力，提供业务按需、快速部署。

2. 流量调优

传统 WAN 网络是一个各节点分布式动态计算各自路径的网络，无法完成全网的网络资源、流量的管理，而网络的流量调度是基于网络资源视图和流量分布状况，按照业务需求或网络规划要求，针对网络流量的流向进行路径调整，避免拥塞、疏导业务流量、提升网络承载效率。

当前传统 WAN 网络在数据中心出口链路、运营商骨干链路都面临着流量调度缺乏灵活性的问题。

在 SDN 技术的网络架构下，利用集中控制技术，基于集中路径计算，实现 WAN 网络实时流量的动态路由调整，提升多路径带宽利用率，实现跨域流量调优(RR+)和域内流量调优(PCE+)。

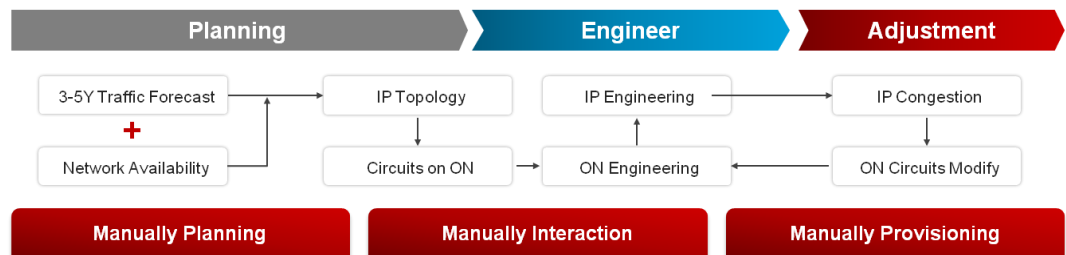
3. IP+光多层协同

骨干网络主要由 IP/MPLS 路由器和光层波分设备共同组成，通常为两层架构，路由器主要负责业务承载，波分主要完成光纤资源复用和光波长复用，提供远距离的数据传输。

当前运营商骨干网的 IP 网络与传送网是独立运维的，由于骨干网拓扑复杂，承载流量大和变化快，运营商需要不断的调整、规划和扩容骨干网络。同时，云业务、OTT 业务的兴起导致流量流向预测变得越来越困难，规划网络利用率和实际网络利用率差距巨大，存在大量低利用率的空闲链路或高风险的拥塞链路，而网络缺乏灵活调度能力，调整困难，造成投资效率低下。

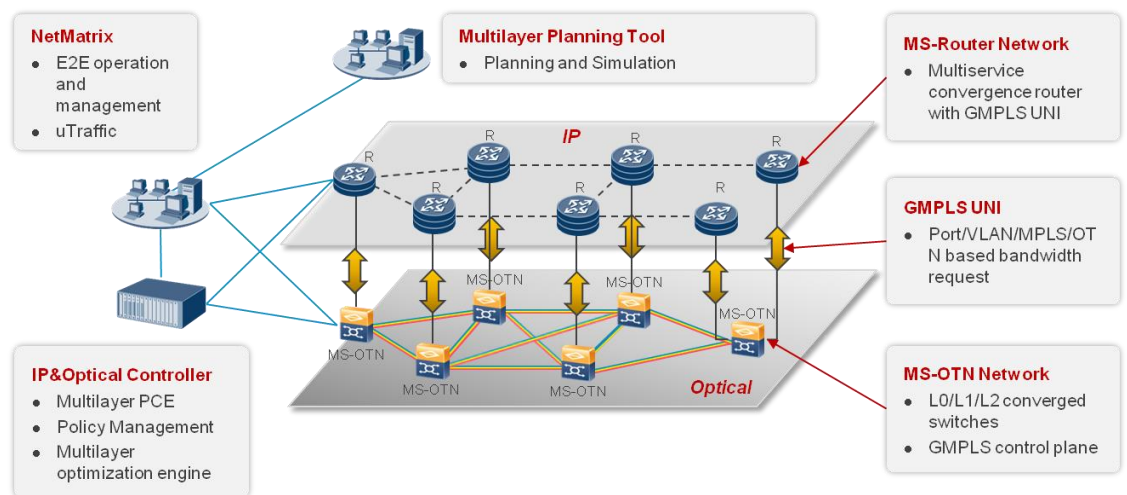
而由于运营商的 IP 网络和传送网是分离运维的，每次跨层的业务部署和调整都需要 IP 和光的互相配合，流程复杂，需要大量的人工协调，因此跨层业务存在部署困难、开通时间长、调整困难等问题，需要数月的时间才能完成，反应慢，成本高，难以满足市场需求。

图2-2 传统 IP 网络和光网络运维



在 SDN 网络架构下，利用集中控制技术，利用 SDN 的统一控制下，实现 IP+光的协同解决方案，使骨干网络更加敏捷、高效、开放，带来更好的体验。

图2-3 SDN 网络下的 IP+光协同



基于 SDN 技术的 IP+光协同，可以实现：

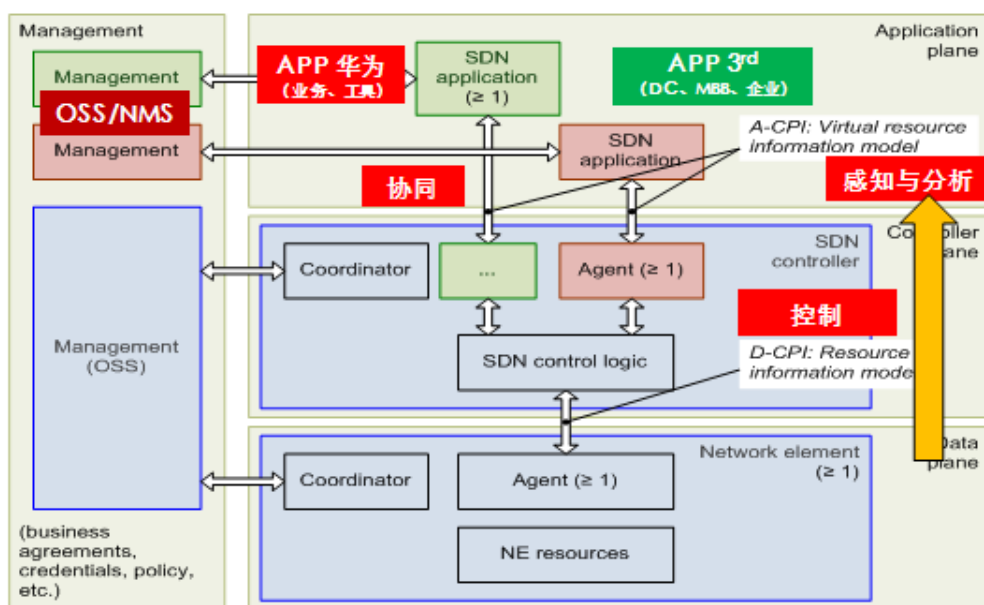
- **多层网络统一规划：**统一规划和智能集中控制，构建具有灵活调度能力的网络。
- **网络自动部署：**简化业务部署简化，通过统一的业务发放平台把多层业务发放简化成单层业务发放，实现业务部署自动化，缩短跨层业务部署时间。
- **多层网络在线实时优化：**通过在线流量监测和预测，集中式的流量工程和拓扑优化，实现自动分配网络资源、流量光层自动旁路等，提升资源优化效率。
- **多层网络协同保护：**通过对 IP 和光层告警及性能进行关联，对故障进行快速界定定位，协调 IP 和光层的保护机制。

3 华为 SDN 架构

3.1 华为 SDN 核心能力要素

从未来网络向精细运维、流量运营的发展趋势来看，SDN 时代构筑在其开放性和可编程性基础上，网络基础设施应该具备的最为核心的能力要素包括：协同、控制、感知与分析以及新型运维。

图3-1 华为 SDN 核心能力要素地图



SDN 控制器是中枢神经，网络探针是神经末梢，各类 APP(含协同器)是大脑各类感知区和控制中心；各类 APP 感知和分析后触发对网络的控制指令经由控制器传递到网络的各个节点。

网络感知从各个层面来讲包括但不限于如下：

- 体验感知：最终用户感知的带宽优先网络、时延优先网络；
- 流量感知：运维人员感知的流量工程，含调优、预测、规划等；
- 安全感知：Network Security As a Service

3.2 华为 SDN/NFV 的理念

关于 SDN/NFV 的整体方案，华为的主要理念观点如下：

1. 网络功能尽可能分布，必须要集中的再集中

对于网络控制功能，当前网络通过分布式协议进行控制；而新兴的 SDN 技术，其理念是完全通过集中控制点来实现。SDN 方案中，华为的想法是：

分布式运行从功能、特性、可靠性、维护等多方面已经非常成熟，在 SDN 的过程中，建议逐步集中，首先将必须集中的功能放到控制器上，例如业务自动部署，整网优化计算等等；集中和分布都可以实现且差别不大的功能，先保持分布实现。这样，即保持了整个网络运维的稳定性和可靠性，也能够充分利用 SDN 技术的价值，没有必要为了 SDN 而 SDN。

2. SDN 的逐步演进

SDN 的过程是逐步演进的，而不是革命性的。

- 首先，通过现有设备已经支持的 BGP, PCEP, Netconf 协议接口来实现 SDN 的功能。华为首先推出的骨干流量调优、业务自动部署等技术，都是和现网设备兼容的。
- 其次，考虑公网标签分配的集中化，替代 LDP, RSVP-TE。
- 下一步，实现私网标签分配的集中化，替代 L3VPN BGP, VLL/VPLS Remote LDP 等。
- 最终，在分布式控制面只保留最基本的逻辑拓扑物理拓扑发现和上报功能，其他控制功能全部集中到 SDN 控制器上实现。

3. 网络设备转发面的智能化

SDN 技术的应用，使得有一个错觉，认为网络设备应该极大简化，这其实是一个错误的认识。SDN 技术解决的是控制面的集中化，因此在设备控制面确实是有很大简化，但设备的转发面不但没有简化，反而更加复杂。

引入 SDN 后，转发面的智能化是一个重要的方向。

- 分布式控制平面有部分 OAM 功能，当前分布式控制面被集中化后，设备面应具有更完整的 OAM 能力。
- 业务体验以及网络可视化的需求，需要转发面具有更强大的功能，包括转发支持性能监控，HQos, 大 Buffer 等等。

因此，设备转发面的智能化，也是 SDN 的一个重要要求。

4. 首先虚拟化计算性业务以及商业价值大的网络功能

虚拟化技术通过 X86 平台实现网络功能，其优势是硬件平台统一，计算能力强，功能开发快捷；但在报文转发处理性能上偏弱。根据这个特性，网络功能虚拟化的顺序选择的原则为：

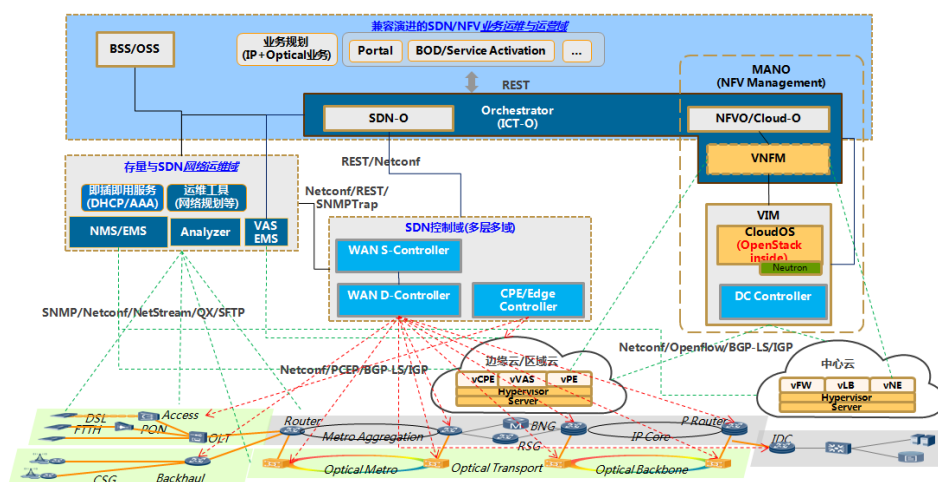
- 先选择计算功能为主的网络功能，转发功能为主网络功能后虚拟化，例如 IMS 会先虚拟化，而 PE/P 路由器功能则靠后考虑。

- 先选择功能复杂的网络功能，后选择功能简单的网络功能虚拟化。网络中的网关功能(CPE\BRAS\GGSN)，不论控制和转发都处理复杂，因此优先虚拟化。而 PE/P 网络功能单一，则靠后考虑。
- 具有商业价值的功能优先虚拟化。例如企业 CPE 商业价值大，有利于业务的快速部署，简化运维，因此会被首先虚拟化。

总之，SDN/NFV 是一个渐进的过程，兼容现有网络设备，充分发挥 SDN/NFV 的价值优势。逐步从存量网络的 SDN 改造向最终目标 SDN 网络演进。

3.3 华为 SDN/NFV 总体逻辑架构

图3-2 融合演进的 SDN/NFV 总体架构



上图所示是华为 SDN 总体逻辑架构，其核心目标是

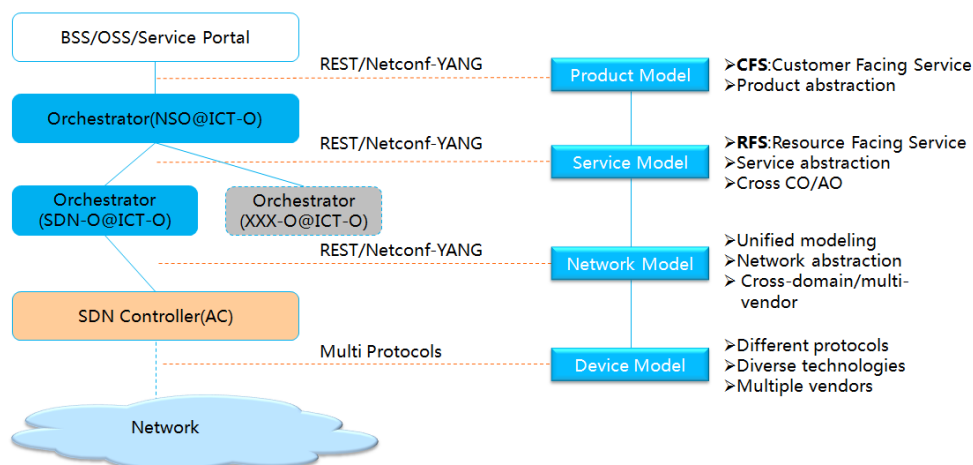
- 面向 WAN/DCI/Edge 场景，NFV/SDN 深度融合，相互增强(SDN 部件 NFV 虚拟化，NFV 部件 SDN 互联化)。
- E2E 业务自动化流程从传统流程 (OSS->NMS->转发器)向基于全新流程(协同器->控制器->转发器)转移，并基于现代分布式软件系统构筑。
- 运维基于传统流程【OSS->NMS/EMS】兜底 SDN 的平滑部署与演进的同时，构筑 SDN 时代的简化运维、MV 能力。

3.4 华为 SDN 核心领域模型的抽象

下图是 SDN 解决方案领域概念模型架构，各核心部件围绕核心资源和数据，分层解耦，以抽象模型的稳定性来支撑灵活的业务可生成可编排能力、网络可编程能力以及多厂商能力。

统一的网络模型和设备模型构成细腰的结构，承上启下，是核心制高点，犹如 ISO 七层模型中的 IP 层和操作系统的系统调用层。

图3-3 SDN 解决方案领域概念模型架构



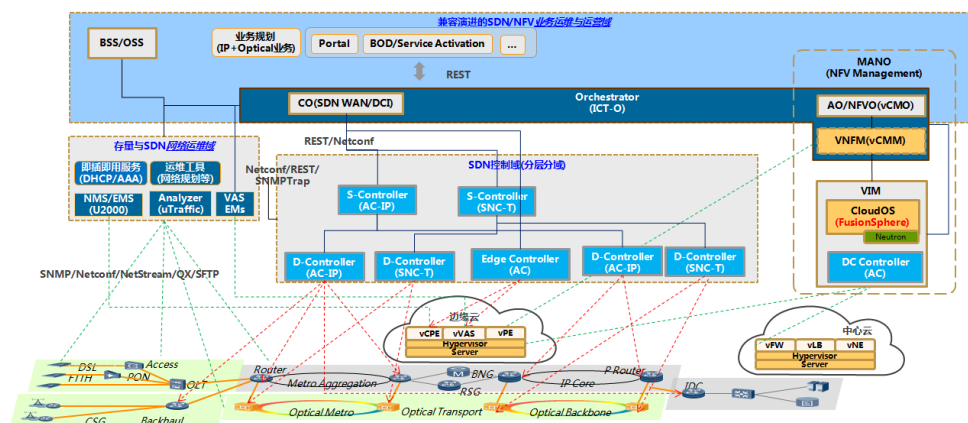
3.5 华为 SDN WAN 架构

SDN WAN 架构

SDN WAN 架构面向分层分域、存量和 SDN 并存，能够接入中心云、边缘云，Overlay/Underlay 稳步支持，有节奏地构筑灵活的可演进的可编程网络设施（Programming Underlay）。

下图是 IP 网络和光传输网络控制器各自分层，在协同器上进行 IP+光协同的部署架构。未来会走向 IP 和光的 Super 控制器逐步融合，构筑 IP+光的统一算路控制器，能获得更为优化的网络路径，提升网络利用率和灵活性。

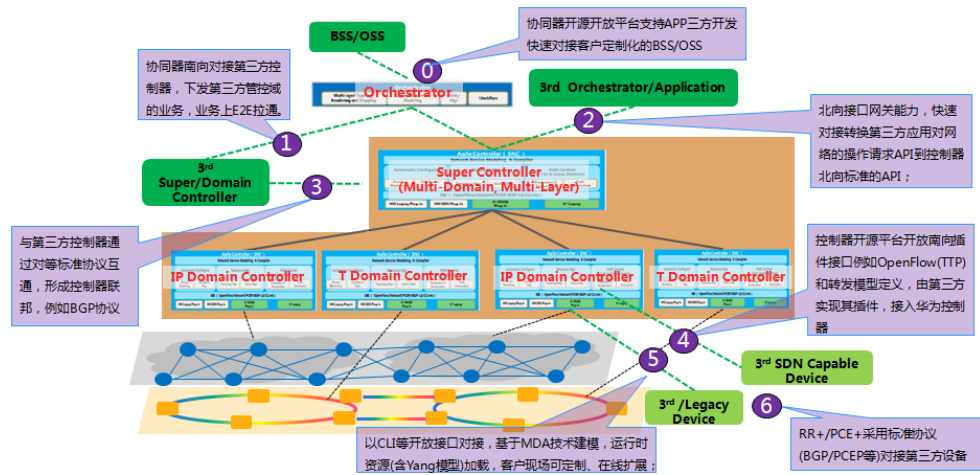
图3-4 SDN WAN 架构



多厂商支持

多厂商本质上也是集成与被集成的问题，下图是多厂商支持全景图。

从上往下标注了 7 个可以对接的集成点，包括协同器的北向南向接口，控制器的北向南向接口，控制器之间的接口，控制器与各种转发器之间的接口：



4 SDN WAN 演进的总体策略和建议

如何在 WAN 网络中，平滑引入 SDN 解决方案，是运营商普遍关注的问题。WAN 网络引入 SDN，引入的节奏和方式非常关键，特别需要考虑：技术的成熟度，价值场景以及，现网演进的平滑性。

4.1 从技术成熟度考虑演进策略

近年来，SDN 技术发展很快，并在数据中心等新兴场景中逐渐应用，但是在 WAN 网络上，SDN 的应用还处于探索阶段，SDN 在网络中的目标架构，也存在较多争议，SDN 方案的引入，适合逐步引入，不能一步到位。

SDN 技术提出伊始是以转控分离技术为关键标志的，通过转控分离能最大程度的发挥设备的能力以及提升快速集成能力和 TTM，那么南向接口是否使用 Openflow。

目前看，采用 Openflow 协议，对于满足业务灵活性，大规模网络的快速收敛保护等方面，还存在很多挑战。同时，现有南向接口技术，包括 Netconf/YANG，PCEP，BGP-LS 等标准协议，也可以实现一些控制器集中对网络的控制。因此，WAN 网络还看不到很强的采用 Openflow 实现完全转控分离的驱动力。同时从演进角度需要考虑对现网的延续与兼容，现网大量设备尚不支持转控分离的能力，在此情况下 SDN 技术的重点就要逐次展开，可以按以下考虑：

- **业务配置自动化：**关键技术体现在业务建模与抽象、北向接口、北向协议、南向接口、南向协议，以及业务配置分解分配逻辑，从技术成熟度来看风险较低，兼容现网容易，可以首先布署。
- **业务路径调优：**通过路径计算算法的优化、丰富化，通过 BGP RR 调优路由，从技术上看调优路由下发可以通过管理配置，也可以进一步通过路由协议影响设备的转发行为，对设备资源和行为的掌控跨越了一大步，技术难度也增加，包括算法的优化程度，以及通过路由协议如何避免设备的分布式控制行为打乱控制器的控制，都提出了挑战。部署上也就要通过一些管理手段配合解决方案推出。
- **转控分离：**控制器完全控制和掌握转化设备的资源与行为。

4.2 IP WAN SDN 演进策略聚焦价值场景

在 WAN 网络中，对于拓扑复杂的 IP CORE 网络，基于 PCEP 的流量调优有明显应用价值，而同样的功能在 WAN 的接入层和汇聚层，由于拓扑简单，价值则有限。同样，对于 SDN 自动化业务发放功能，应用在企业专线业务则有明显价值，

而对于的 LTE 承载等业务，由于 VPN 相对固定，自动化发放的价值有限。因此，引入 SDN，需要聚焦价值场景和价值业务，逐步引入。

1. 首先部署的场景是 Overlay 型的业务自动化 SDN 解决方案，进一步演进拉通多域，拉通城域、骨干和 DC。
2. 当基本的业务自动化得到落实，进一步向资源调优类的解决方案演进，包括：Overlay、Underlay 的协同，路径的调优等场景的解决方案。
3. 当 SDN 发展到成熟阶段将聚焦到业务创新的解决方案场景。

4.3 现网演进平滑性

现网演进方案的平滑性，必须在业务、转发面、控制面、管理运维等四个方面保证演进的平滑，保证 SDN 引入是有步骤，轻量的，对现网影响最小的方式

- 业务的平滑性，主要指逐业务引入 SDN，在华为 SDN IP WAN 方案中，建议优先选择企业专线业务，作为 SDN 引入的试点，原有家庭宽带，2G、3G 和 LTE 承载业务，保留在基于网管+OSS 体系中，待 SDN 的技术和应用成熟，组织能力匹配后，再逐步切换到 SDN 架构。
- 转发面的平滑性，华为 SDN IP WAN 解决方案中，可以利用路由器现有特性和接口，不需要大的功能增强，即可实现 SDN 方案的部署，转发器的能力，后续可以随 SDN 方案能力逐步增强。
- 控制面的平滑性，为保证现网业务的平稳运行，SDN 方案的引入，不改变现网 IP WAN 部署的分布式控制协议，只是在此基础上，叠加新的集中控制协议，在现网 IP WAN 架构上平滑增强。
- 管理运维的平滑性，当前的网络运维，主要基于网管和 OSS 体系，组织架构也与匹配，SDN 方案的引入，也要保证网络管理和运维的平滑性，不能改变原有的运维方式，在此基础上，逐步增加基于 SDN 体系基于开放北向接口的运维应用（APP），实现管理运维的平滑演进。

术语和缩略语

术语

术语	说明
Overlay 网络	CloudVPN 解决方案基于 VXLAN Overlay 技术构建，由支持 VXLAN 相关网络设备组成的网络称为 Overlay 网络，如企业 CPE 与 CPE 间的网络，企业 CPE 与 DC NVE 间的网络。
Underlay 网络	为 CloudVPN Overlay 网络提供基础承载管道（保证 IP 可达），而不需要感知 VXLAN 相关信息的网络叫 Underlay 网络，比如 CPE VXLAN 封装后的外层隧道网络，WAN IP 网络、MPLS 网络。
RR+	相比传统 RR 技术仅管理路由拓扑，SDN 控制器（RR Server）综合路由拓扑、流量、链路质量等信息，分析计算最优业务路径，并向 RR 一样将调优路由下发给路由器，从而影响业务转发路径，进行网络流量调优。
BGP-LS	BGP 协议中传递域内链路状态的属性

缩略语

英文缩写	英文全称	中文全称
API	Application Programming Interface	应用编程接口
BW	Band Width	带宽
CPE	Customer premises equipment	客户端设备
DC	Data Center	数据中心
EVS	Elastic Virtual Switch	弹性虚拟交换机
GUI	Grafic User Interface	图形用户界面
MPLS	Multi-Protocol Lable Switch	多协议标签交换
NVE	Network Virtualization Edge	网络虚拟边缘
OVS	Open Virtual Switch	开源虚拟交换机
SDN	Software-Defined Network	软件定义网络

英文缩写	英文全称	中文全称
SLA	Service Level Agreement	业务服务等级
QoS	Quality of Service	服务质量
VAS	Value Added Service	增值业务
VM	Virtual Machine	虚机
VPN	Virtual Private Network	虚拟专网
VXLAN	Virtual eXtensible LAN	虚拟可扩展局域网
AS	Autonomous System	自治域
BGP	Border Gateway Protocol	边界网关协议
IGW	International Gateway	国际网关
ISP	Internet Service Provider	因特网服务提供方
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
RR	Route Reflector	路由反射器
SLA	Service Level Agreement	业务等级协定
SNC	Smart Network Controller	智能网络控制器
SNMP	Simple Network Management Protocol	简单网络管理协议
SP	Service Provider	服务提供商
VIP	Very Important Person	重要用户