



# 中国联通 CUBE-Net2.0 开放硬件网络设备白皮书

中国联通  
2019 年 6 月

# 目录

## 目录

1 引言 .....	2
2 发展趋势 .....	3
2.1 业务发展 .....	3
2.2 网络架构变革.....	3
2.3 开源和白盒化趋势 .....	5
3 相关开源组织.....	6
4 软硬件解耦 .....	8
4.1 白盒交换机架构 .....	8
4.2 芯片方面 .....	9
4.3 白盒交换机整机硬件方面.....	11
4.4 白盒交换机软件.....	12
5 白盒交换机组网方案.....	18
5.1 白盒交换机通信云内部组网方案 .....	18
5.2 白盒交换机通信云间组网方案 .....	20
6 中国联通白盒交换机的创新应用.....	21
6.1 基于白盒交换机的 vBNG 转发面 .....	21
6.2 基于白盒交换机的 UPF .....	23
6.3 基于白盒交换机的 DC 出口路由设备 .....	23
7 中国联通白盒网络设备规划 .....	24
7.1 中国联通白盒交换机定义和目标 .....	24
7.2 中国联通白盒交换机推进计划 .....	25
7.3 白盒交换机软硬件采购模式.....	26
10 总结与展望.....	27
白皮书联合编写单位.....	28

# 1 引言

近十年，移动互联网的飞速发展深刻地改变了人类生活方式。物联网、大数据和云计算等新兴技术正带动各行各业实现信息化和数字化转型。深陷人口红利消失，逐步管道化困境的运营商灵敏地嗅到了这场变革中新兴业务的潜在价值，开始加速挖掘行业客户需求，积极寻求商业合作共赢，努力开辟新的市场空间。

未来网络服务呈现出新的特点，实时、按需提供、永远在线、自助服务已经成为数字时代所有行业新的用户体验标准。要实现最佳体验，就需要运营商采取基于互联网架构的运营系统，并具备互联网化的运营能力。快速增收，增加效率，敏捷服务成为运营商当前面临的重大课题。要实现这些目标，必须对运营商网络进行彻底转型。

随着云技术的不断成熟，把 IT 技术应用到 CT 领域已经成为可能，而 SDN/NFV 技术结合云计算、大数据正好满足了这一网络转型对技术的要求。标准化组织也在积极推动 SDN/NFV 的快速成熟，产业界正通过共同努力加速这一技术的商用化部署。

另一方面随着 5G 迎来规模商用，数据流量爆发式增长，连接数量激增，业务场景多样化，构建以 DC 为核心的全云化网络是网络转型的基础，经过提前规划，对网元按照业务要求进行分层部署、构建统一的云平台实现网络的弹性与自动化运维能力，极力打造敏捷、弹性、智能的云化网络，以满足未来网络业务的发展诉求。从网络设备层面来看，传统网络设备软硬一体，利用率低，缺乏敏捷性，新业务新网络上线周期长，难以适应未来网络发展需求，要求运营商网络尽快实现网络转型，以增强网络灵活性、敏捷性、开放性，实现低成本运营。

目前全球很多领先运营商都开始思考并启动了自己的面向未来网络的转型战略，中国联通在 2015 年发布新一代网络架构白皮书 CUBE-Net2.0，指明了未来网络的发展方向，并通过不断论证与实践，进一步提出中国联通网络转型通信云架构白皮书，希望能够为通信云建设指明方向。

中国联通于 2015 年发布了新一代网络技术体系和架构白皮书 CUBE-Net2.0，指明了中国联通网络发展方向。本白皮书提出中国联通 CUBE-Net2.0 开放硬件网络设备的概念，本白皮书此版本主要关注通信云内部的交换机设备，文档后续都将把通信云内部开放硬件网络设备简称为白盒交换机。旨在通过云化架构演进、多接入融合、资源智能管理和边缘能力开放，打造弹性、敏捷、开放、高效、智能的移动无线接入网。

## 2 发展趋势

### 2.1 业务发展

业务的多样性和不确定性愈加突显，快速实现业务商业创新及有效提升用户体验，将成为通信网络演进最重要的驱动力。未来的应用和业务场景将更加多样化（从人与人连接到万物互联），业务速率体验需求从 Kbps 到 Gbps，时延体验需求从秒到毫秒，这对运营商网络能力和运营提出更高要求，运营商需要提供高效资源利用、网络按需部署以及业务敏捷发放的能力匹配业务需求。

区别于个人客户，行业客户需求千差万别且灵活多变，需为其提供定制化服务，实现业务快速响应和交付。为满足客户体验，运营商迫切需要改变封闭僵化的运营思维，摆脱重资产枷锁，向更加高效敏捷的方向发展，以开放的姿态拥抱多变的外部需求，探索出一条可持续发展的互联网化转型之路。将 SDN/NFV、大数据、人工智能等 IT 领域技术应用到 CT 领域，能够助力运营商重构基础网络资源，开放移动网络能力，引入互联网运营模式，实现云管端协同发展，构建良性循环的合作生态。

为适配业务在时延、带宽、连接等方面的更高需求，通信网络云化将成为趋势。借助 NFV/SDN/云计算等领先技术，构建面向未来的通信云，支撑通信业务和能力开放，实现网络资源的虚拟化，打造高效、弹性、按需的业务服务网络。基于通信云提供灵活、开放、多元化的应用平台，实现业务和应用的持续快速创新，同时帮助运营商用架构的确定性来管理未来技术的不确定性。

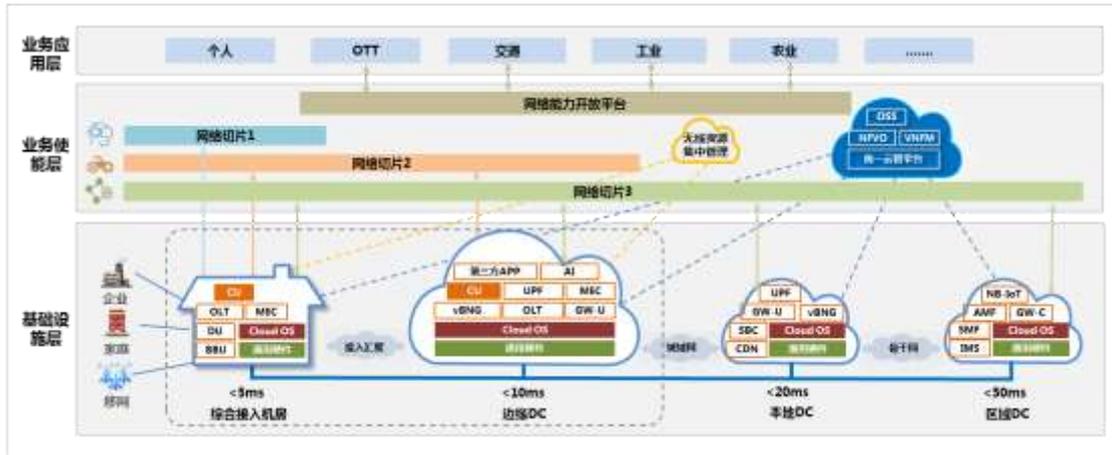
### 2.2 网络架构变革

中国联通在网络转型中始终主张聚焦、创新、合作的理念，聚焦移动、固定、IoT、视频等基础管道能力，基于中国联通已有的网络建设部署与运营经验，为支撑网络的云化演进、匹配网络转型部署、统一构建基于 SDN/NFV/云计算为核心技术的通信云基础设施。实现个人、家庭、政企、物联网等领域的业务创新，对外开放网络能力，构建合作生态。

通信云是基于中国联通已有网络建设部署与运营经验，为支撑网络的云化演进、匹配网络转型部署、统一构建基于 SDN/NFV/云计算为核心技术的网络基础设施。

为支撑网络 NFV 不同阶段集中或分布式部署要求，传统网络机房将逐步向

数据中心架构演进，从而构建通信云云化网络总体架构。云化网络总体架构沿用传统通信网络接入、城域、骨干网络架构，与现有通信局所保持着一定对应和继承关系，在不同层级边缘、本地、区域进行分布式 DC 部署，实现面向宽带网/移动网/物联网等业务的统一接入、统一承载和统一服务。



整体网络架构

通信云云化网络架构总体上可划分为四个层级单元部署，包含 3 层 DC 以及一层接入机房：

- 区域 DC：以省域/集团/大区控制、管理、调度和编排功能为核心，如集团 OSS/NFVO，省云管平台、NFVO、VNFM 等，主要承载省域内及集团区域层面控制网元以及集中媒体面网元包括 IMS、GW-C、CDN（内容）、MME 和 NB-IOT 核心网等网元。

- 本地 DC：主要承载城域网控制面网元和集中化的媒体面网元，包括 CDN（内容）、SBC、BNG、UPF、GW-U 等网元。

- 边缘 DC：以终结媒体流功能并进行转发为主，部署更靠近用户端业务和网络功能，包括 CloudRAN-CU、MEC、UPF 等网元。

- 接入局所：以提升资源集约度和满足用户极致体验为主，实现面向公众/政企/移动等用户的统一接入和统一承载。考虑到接入局所主要部署接入型/流量转发型设备，暂不考虑接入局所基础设施 DC 化改造。未来按需部署 Cloud RAN-CU/DU、MEC 等网元，基于现有机房条件直接入驻。

## 2.3 开源和白盒化趋势

随着运营商网络转型步伐加速，运营商开始深刻认识到黑盒设备的局限性，不仅仅将眼光局限在无线接入设备通用化、云化，甚至开始将软、硬件的彻底开源和白盒化作为长期的目标。通信云内部数据中心交换机设备采购成本在网络建设成本中占比较高。降低数据中心交换机设备开发门槛，通过引入更多厂家形成规模效应，进行灵活的软件功能和硬件配置匹配，从而降低设备成本，是运营商推动开源和白盒化的源动力。另外，开源和白盒化还可以加强运营商对网络数据的控制，从而更好地开放网络能力、实现网络运维与大数据分析、机器学习等技术相结合。

推动开源和白盒化最重要的是构建相应的生态系统，运营商在该生态系统中需要发挥主导作用，深入研究数据中心交换机设备各硬件与软件的组成部分，根据设备的运行环境、业务需求等分解软硬件关键功能及指标，进行各部分模块化设计，定义模块间接口标准，理清方案细节设计，制定设计规范，最终推动设计方案共享。在这个过程中，运营商也应该重视积极参与开源软件和社区工作。

开源和白盒化是运营商的长期目标，但实现开源和白盒化最根本的原则是不能损失通信云网络性能。对于运营商来说目前数据中心交换机设备的开源和白盒化整体仍处于研究的初级阶段，还存在许多需要逐步尝试和探讨的内容。评估设备各部分开源和白盒化的迫切性及难易程度，有规划地合力推动其发展至关重要。

从 2010 年公开市场开始出现白盒交换机设备，各路玩家就尽显身手为白盒网络软件尝试各种突破口，数据中心是最先落地的场景。在商业模式不明朗的前期，一些初创公司基于 Linux 平台移植开源协议软件或者集成商用代码，为多款万兆白盒交换机提供了不同的软件版本，初步实现了软件与硬件的解耦与灵活组合；有了初创公司的市场宣传与引导，2015 年相继出现 OpenSwitch 和 SONiC 等纯开源软件，尤其是微软将其数据中心运行的 SONiC 系统在 2016 年开源并提交在 OCP 组织，至此数据中心级白盒交换机有了软件和硬件的全部开放的实现。在巨大的市场驱动下，品牌厂商也纷纷加入了白盒网络软件的战局并享受开源的成果。部分企业或者将仅有的路由协议解耦嫁接于开源平台之上，或者全盘接收开源软件将其移植到自研交换机芯片之上，如前所述，也有部分厂家直接引入白盒硬件，将其与自家操作系统对接，走品牌化白盒的路线。除了上述通过协议软件的归一化简化设备复杂度的流派，以 OpenFlow 起家的 SDN 方案通过将白盒设备的控制能力体现在逻辑集中的控制器当中达到相同的目的，从早期的 OpenFlow 到现在的 P4 可编程网络设备，白盒设备作为数据平面只需要快速敏捷

的转发报文，谷歌联合 ONF 打造的开源项目 Stratum 就沿着这个方向继续细化控制与转发的解耦，将管理配置监控等多个层面标准化，为白盒设备探索另一条落地之路。无论是商用白盒软件还是开源操作系统，无论是中大规模数据中心还是相对封闭的企业环境，无论是 SDN/Openflow 还是传统 BGP，白盒交换机已经可以根据用户需求提供不同功能特性的方案，在 IT 环境中白盒网络软件已成气候。

### 3 相关开源组织

#### OCP

OCP 全称是 Open Computer Project，是 2011 年 Facebook 发起的一个硬件开源组织。它的关注点主要在这些方面：存储设备、服务器主板、服务器机柜、虚拟 I/O、硬件驱动管理、数据中心基础架构设计，期望能够把涉及其中的硬件尽量标准化。后续成立网络组对交换机的硬件进行标准化，也包括 sonic、sai、onie、onl 等几个相关开源软件项目，OCP 网络硬件追求的是类似服务器的使用体验，包括控制平面与数据平面的高度模块化、软件与硬件解耦合，以实现定制的灵活性（DIY），避免被供应商锁定。

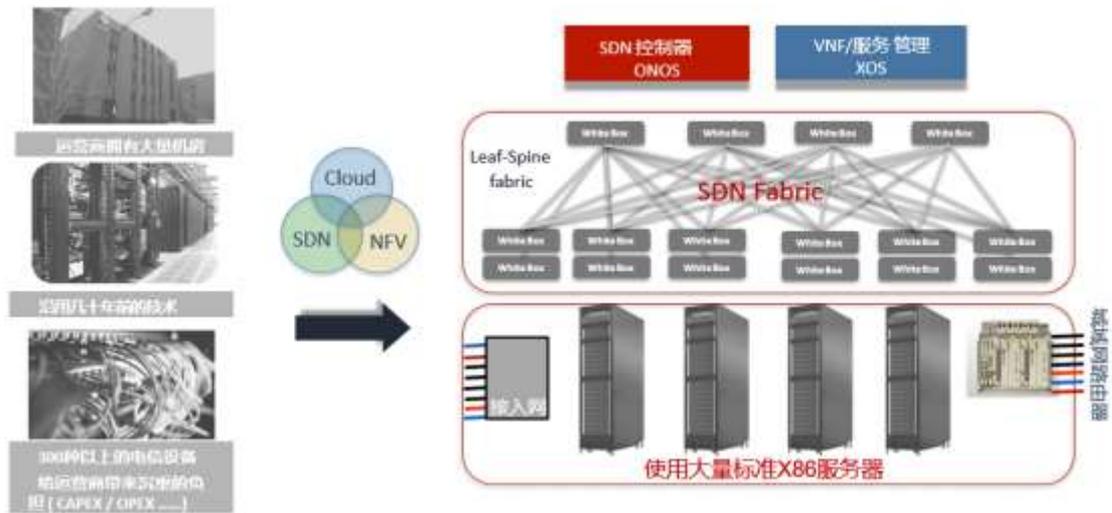
OCP 网络组试图定义一套标准化的硬件设计，标准化包括：交换机硬件 电路板中都要用哪些类型的器件，CPU 跟各种器件之间用什么样的接口，芯片接口类型和数量，各个器件地址空间，镜像文件在 flash 中存放的位置等等，基于这样的硬件规范，各个厂商或者代工厂可以生产符合 OCP 标准的硬件交换机。OCP 的交换机开源包含三个层次：第一个层次是硬件开源且标准化；第二个层次是硬件驱动，bootloader, linux OS 的开源；第三个层次包括各种开发和管理工具的开源。

OCP 提供了一种全新的架构，个人和组织可以与其他人分享知识产权，促进了 IT 硬件行业走向开放。OCP 成员可以向 OCP 提交硬件设计图纸、规格或者产品等。如果是产品的话，厂商可以选择是否保留该产品的知识产权。如果厂商选择保留该产品的知识产权，那么这个产品就是“OCP Inspired”；如果厂商将该产品的知识产权也转移给 OCP，那么这个产品就是“OCP Accepted”。

#### CORD

CORD 是 ONF 旗下一个开源集成项目组织，中国联通作为 CORD 的创始成员也加入了 CORD 董事会，并且在 2016 年 12 月成立了中国联通 CORD 产业联盟，推进 CORD 技术在中国联通以及中国的应用。CORD 项目的目标是将开放

的硬件和软件相结合，使电信运营商的电信机房（CO, Central Office）拥有数据中心那样的经济性和敏捷性。CORD 为电信运营商提供了一种新的方式——电信机房中的物理网络改用数据中心非常流行的 Spine-Leaf 架构，实现高效的无阻塞交换，同时将开放硬件和开放软件相结合，大量使用 NFV、SDN 和云计算相关技术，提高服务交付速度和运维效率。CORD 的本质其实就是将运营商中心化的网络架构转变为分布式的边缘网络，在重构电信机房为数据中心的过程中借助云计算、NFV 和 SDN 等技术来解决长久以来在技术、运维等方面的一些痛点。



CORD 就是用 IT/互联网运营商的技术思路/运维方法来解决电信运营商的技术、商业、管理、运维等问题。用开源软件和白盒交换机来构建技术模块，用通用的数据中心基础设施规模来降低成本。CORD 认为不改变设备硬件形态的网络虚拟化都不是真正的虚拟化，不是真正的云化，也不是架构性的变革。通过这样的变革，希望达到互联网公司的敏捷，同时创造高效的业务。CORD 项目中硬件只保留了简化的用户侧接口板。其他都被数据中心的硬件消化。板间交换/网络侧出口都被交换机替代。所有的业务和控制都在服务器上处理。不同的业务场景最终是通过 SDN 控制器对不同的应用层软件模块调度组合完成的。整个数据中心变成了一个通信设备，而且有良好的软硬件扩展性。

## ODCC

开放数据中心委员会（open data center committee, ODCC），前身为天蝎联盟，由数据中心相关的企业事业单位自愿结成的行业性的全国性的非营利性的社会组织。委员会旨在打造中国的数据中心开放平台，推动互联网产业发展和基础设施标准化、产业化进程。现有四个工作组，分别为服务器工作组、数据中心工作组、测试认证工作组和网络工作组，各工作组下设项目组。网络工作组下面开

展相关白盒交换机硬件标准项目和白盒软件凤凰项目。

## TIP

TIP 电信基础设施联盟（Telecom Infra Project consortium, TIP）是 2016 年由 Facebook 主导成立的一个开放组织，旨在重新思考如何设计和部署电信网络基础设施。TIP 将软件与硬件组件分离，以提高效率并创建创新解决方案，该项目主要集中在三个关键领域：接入、回传和核心网/管理，运用开放的开放计算项目（OCP）模型来刺激创新。

## P4.org

P4 Language Consortium 成立于 2015 年 5 月，P4 Language Consortium 建立一个致力于使用和改进 P4 语言的蓬勃发展的开源社区，利用 P4 来描述转发平面如何处理数据包，促进 P4 语言的标准化和改进，帮助行业参与者开发符合规范的新技术，通过促进采用 P4 语言，使消费者和行业受益。P4.org 已经成立四个 Working Group，分别是 Language Design Working Group、API Working Group、Architecture Working Group 和 Applications Working Group。目前 P4 已经成为开放网络基金会（ONF）旗下的一个项目，ONF 将把 P4 工作置于运营商主导的开源 SDN 项目之下，与所有 ONF 项目一样，ONF 旨在战略性地将 P4 活动与 Linux 基金会结合起来，以推动开源的发展。P4 项目将继续以前的运作方式，同时受益于与 ONF 的战略联盟以及 ONF 的运营基础设施和专业知识。

## 4 软硬件解耦

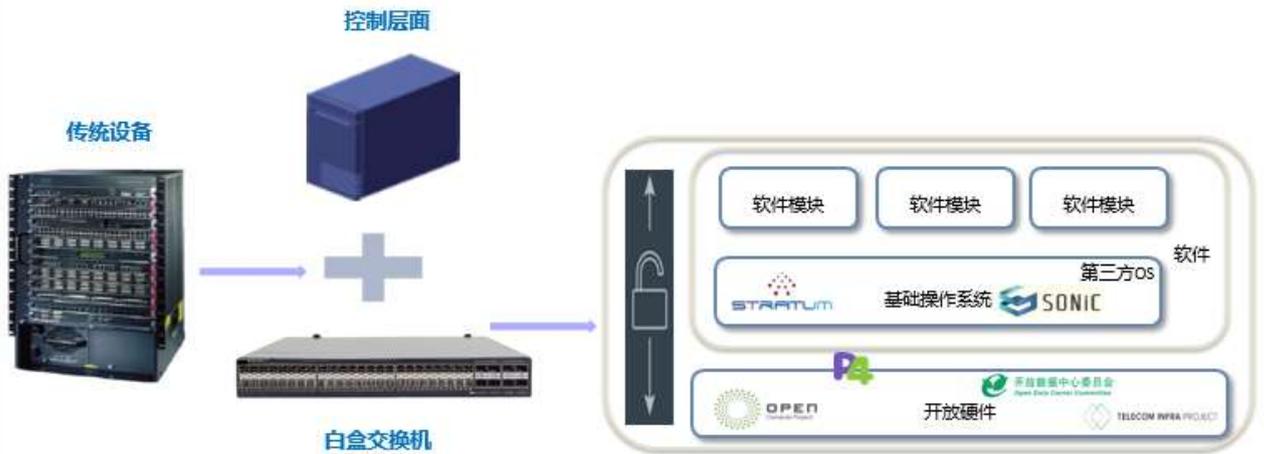
### 4.1 白盒交换机架构

由于运营商网络设备功能需求的数量和复杂性，创建网络操作系统的门槛历来很高。这种复杂性包括软件和硬件方面。为增加网络的灵活性，降低运营商网络建设成本，实现下一代网络云化、智能化发展目标，开放、解耦正在重构运营商未来的网络。SDN/NFV 促进网络设备更加开放、简化。

另外随着开源软件系统、商业转发芯片及其相应 SDK 的发展能够满足最高端的网络设备的能力和吞吐量需求。诸如 P4、NPL 语言和可编程芯片等技术很快就会提供功能更强大的设备。这些技术的结合创造了一个强大的网络应用程序和构建模块生态系统通过硬件和软件组件供应商的协作生态系统更快地引入技术，设计和功能，通过即插即用的硬件和软件组件灵活进行网络设计和服务部署，可以经济高效地进行扩展和缩减，通过使用具有规模经济规模的标准硬件和软件

技术组件来降低单位成本。

以下是白盒交换机系统中功能组件的抽象表示。白盒交换机系统由整机硬件和软件组件组成。软件组件包括基本操作系统、协议模块、管理模块以及驱动模块等，相关开源软件主要有 sonic、stratum、onie、onl、P4、SAI 等。硬件组件通常包括通用 CPU，以运行用例所需的基本操作系统，控制和管理平面以及任何软件数据平面，硬件组件还包括专用转发芯片，通用 CPU 和专用转发设备可以共同设计在相同的硬件中，另外还包括风扇模块、电源模块、BMC 等。



白盒交换机演进思路

后面将从芯片、交换机整机硬件、交换机软件系统三个方面进行详细说明。

## 4.2 芯片方面

白盒交换级芯片方面主要包括交换芯片和 CPU 芯片，下面从这两方面介绍发展趋势。

### 交换芯片方面

近年来，数据中心的大规模建设和扩容，导致交换芯片的带宽增长需求日益迫切，基本上呈现出两年带宽提升一倍的增长态势。目前业界的 12.8T 单芯片方案已经非常成熟，但出于建设成本以及节能的考虑，25.6T 单芯片方案仍会是未来的重要趋势。随着 400GQSFP-DD 光模块的日益完善，400G 接口也将成为高速数据互联的主流方案，以此满足大规模数据中心的布网需求。同时，一些主流商业交换芯片公司纷纷在 2019 年宣布了基于 7nm 工艺的交换芯片解决方案，来缩小芯片尺寸并降低设备功耗。功能上，由于更多的网络功能被智能网卡卸载，交换芯片不再需要承载各种复杂的封装和解封装功能，而是更加专注于转发表项

和缓存的扩大以及对数据拥塞的管理。

在运营商业务方面，随着 5G 的建设步伐加速，商业交换芯片也不断更新换代来满足 5G 的业务需要。为了满足了 5G 业务的切片和时延要求，Flex-E 和 TSN 等技术逐渐的被商业交换芯片所支持，并且随着技术的演进和 BIDI 模块的普及，IEEE1588 对时精度也得到了极大的提升。5G 承载方面，交换芯片对 EVPN，Segment Routing 等新兴技术的支持为承载网的演进提供了新的活力，并带来了更为灵活的端到端连接保障；SD-WAN 和 NFV 技术的逐步成熟则为运营商提供了更为快捷的业务部署保证。

大部分的交换芯片厂家都提供了支持开放架构的软件，比如基于 SAI 接口的 SDK 适配层，极大的减少了白盒设备研发的工作量，为运营商/云服务商提供了更加广阔的生态环境。

另外现有的 SDN 解决方案为用户开放的是控制平面的可编程能力，但转发平面无法实现可编程，转发设备的数据包解析，转发流程是由设备转发芯片固化的，所以设备在协议的支持方面并不具备扩展能力，而且厂商开发新的转发芯片以支持新的协议或者扩展协议特性的代价也非常高，需要将以前的硬件重新设计，势必导致更新成本高，时间周期长等一系列问题，而且转发层面资源固化利用效率低，所以在一定程度上，这种将设备功能和协议支持与硬件绑定的模式限制了网络的快速发展。新一代的 SDN 解决方案必须让数据转发平面的逻辑也具有可编程能力，让软件能够真正定义网络和网络设备。打破了硬件设备对数据转发平面的限制，让数据包的解析和转发流程也能通过编程控制，使得网络及设备自上而下地、真正地向用户开放。灵活的流水线/数据块编程能力使得一款芯片可以满足多种应用场合的需要，成为了今后交换芯片的另一个发展趋势。

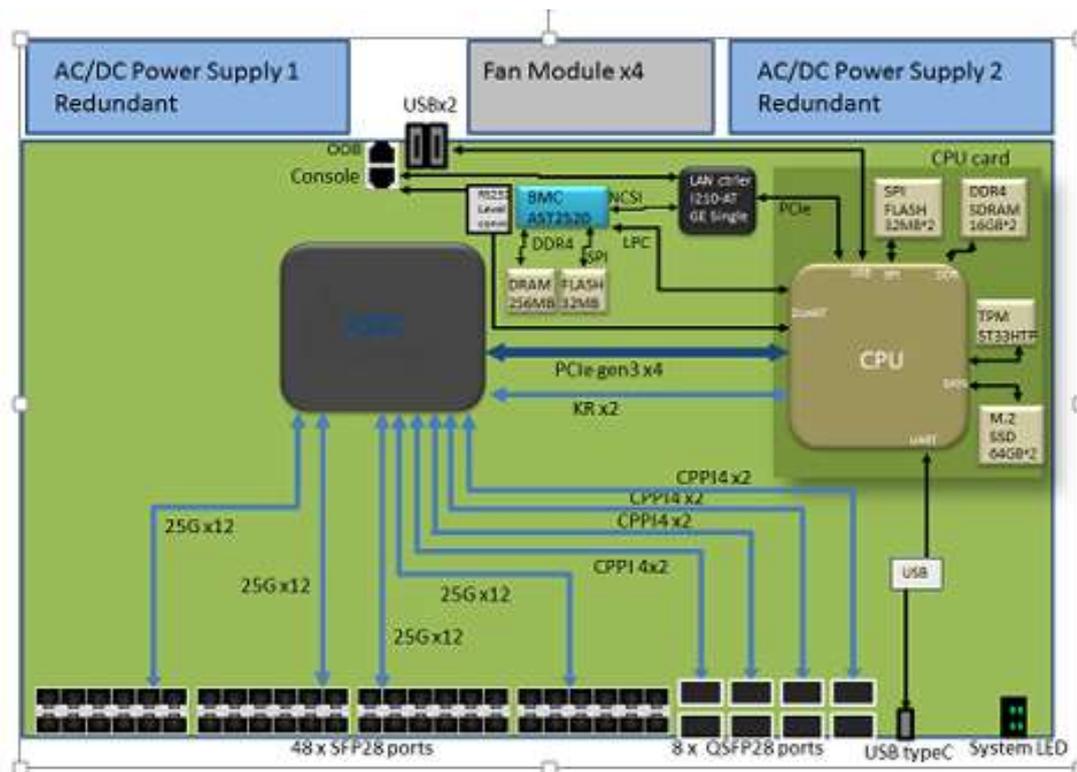
## CPU

CPU 芯片主要起到白盒交换机控制管理平面的作用，半导体制程还无法保证嵌入式应用的低功耗时，MIPS/PowerPC 等 RISC 架构的 CPU 都尚有一席之地，因此在选择设备操作系统时以精简为主，随着 x86 技术以及半导体工艺的进一步发展，白盒交换机内部 CPU 的 x86 化在现代数据中心尤为重要，这样就能像运维服务器一样运维网络，因此数据中心白盒交换机交换机在 CPU 方面的 X86 化成为了主流趋势。

### 4.3 白盒交换机整机硬件方面

白盒交换机硬件组件通常包括通用 CPU，以运行用例所需的基本操作系统，控制和管理平面以及任何软件数据平面，硬件组件还可以包括专用硬件转发设备，例如商业 ASIC 芯片，NPU，FPGA 或类似设备。通用 CPU 和专用转发设备可以共同设计在相同的硬件中，或者可以通过总线或网络分开。

下图是一个 48\*25G+8\*100G 白盒交换机的组件模型：



交换机硬件组件模型

**ASIC:** 交换机上 ASIC 芯片是交换机上重要的硬件组件，它是一种快速处理数据包的专用集成电路芯片，能够以最高达 12.8Tbps 的速率交换数据包，交换机 ASIC 内部有多个组件：存储器，通常是 CAM、TCAM 或 SRAM，用于存储需要由 ASIC 快速访问的信息；一个解析流水线，由一个解析器和一个 deparser 组成，它从数据包中定位、提取、保存感兴趣的数据，并在数据包发送出去之前重建数据包；匹配-动作（Match-Action）单元，它们指定 ASIC 应如何根据数据包内的数据、配置的数据包处理逻辑和 ASIC 存储器内的数据来处理数据包。

**PHY:** PHY（物理层子系统）负责将链路层设备（例如 ASIC）连接到物理介质（例如光纤），并将链路上的模拟信号转换为数字化的以太网帧。在某些交换机设计中，PHY 可以在 ASIC 内构建。在高速传输数据时，电信号干扰非常严

重,会导致交换机内部数据包损坏。因此,需要复杂的降噪技术,如 PHY tuning, PHY tuning 控制各种参数,例如预加重、可变功率设置或用到的前向纠错算法(FEC)的类型。

**端口子系统:** 端口子系统负责读取端口配置,检测已安装端口的类型,初始化端口以及为端口提供与 PHY 交互的接口。数据中心交换机包含多个 SFP 和 QSFP 端口。端口用于将交换机硬件与线缆连接,端口的类型和数量由交换机规范和 ASIC 决定。

**CPU 板:** 在交换机中存在一个 CPU 子卡, CPU 子卡非常类似于商业服务器,包含 CPU、RAM 和存储介质。除了这些标准部件外, CPU 板还通过专门的 PCI-E 总线与交换机 ASIC 互连,可实现对 ASIC 的快速调用。X86 CPU 的存在使得能够为交换机安装商用 Linux 进而提供常见的操作系统功能。与服务器级 CPU 相比,交换机内的 CPU 通常性能要低一些。目前白盒交换机系统架构支持模块式 CPU 处理器,以满足升级不同运算核数及内存需求。

**BMC 基板管理控制:** BMC 基板管理控制,支持发生异常时,能够自我恢复。串接系统主 CPU 处理器,实现基板远程运维管理控制串接千兆管理网络控制器,提供 RJ45 网路电口进行远程运维管理控制,基础器件控制。

**电源系统:** 直流或交流电源输入电源模块,电源模块 1+1 冗余,可支持热插拔。

**风扇模块:** 可选前风向/后风向风扇模块, N+1 冗余,支持热插拔。

**TPM (Trusted Platform Module)信任平台模块:** 一个选配 TPM 信任平台模块,提供 TCG 二种安全标准等级,提升数据中心解耦软件保密性设计。

除以上模块以外还包括串口、管理网口、USB 口、LED 等组件。

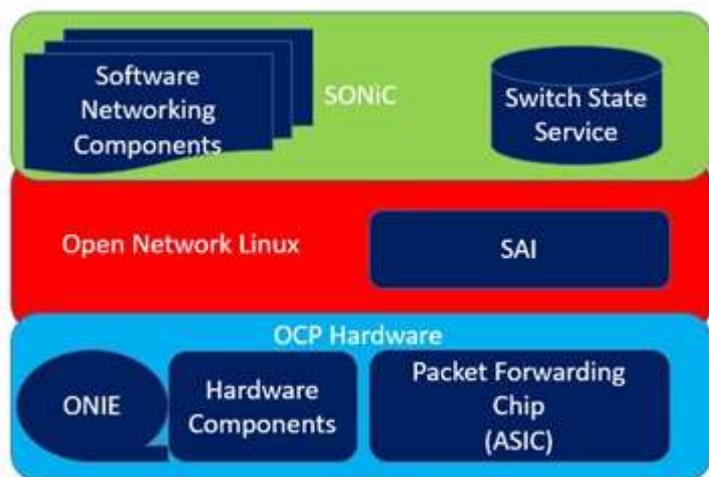
## 4.4 白盒交换机软件

随着白盒交换机在 OTT 大批量应用,涌现出了一些开源的白盒软件系统,这些软件各有特色,侧重点也有不同,下面分别介绍一下相关开源软件。

### SONIC

2016 年度 OCP 峰会上,微软推出了内部开发基于 Debian GNU/Linux 的系统--SONiC,全称是 Software for Open Networking in the Cloud (针对云计算开放网络的操作系统)。该系统包含代码工具包和内核补丁能够根据你的意愿来调整

网络交换机。该系统降低了对来自网络设备提供商的硬件依赖，能够在来自不同设备厂商的各种硬件设备上运行，且能够使用通用的 Switch Abstraction Interface (SAI)对网络设备专用芯片进行配置。这本质上就是允许完全控制和管理网络设备来实现底层电子设备所需求的各项功能，正是由于 SAI 的存在，SONiC 的网络功能才能够支持多个厂家的 ASIC。SONiC 的所有软件功能模块都是开源的，推动了 OCP 社区以及其他厂商在开放网络方面的创新。SONiC 是构建交换机所需功能的软件集合，它运行在 ONL 之上。

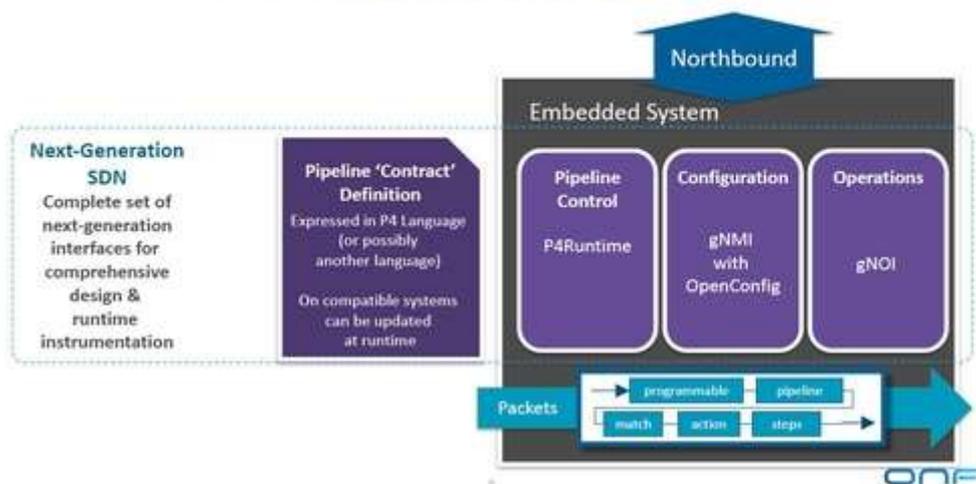


SONiC 是一个将传统交换机操作系统软件分解成多个容器化组件的创新方案，这使得增加新的组件和功能变得非常方便。SONiC 大量使用了现有的开源项目和开源技术，如 Docker, Redis, Quagga 和 LLDPD 以及自动化配置工具 Ansible、Puppet 和 Chef 等。

## Stratum

ONF 在谷歌的支持下推出了 Stratum 项目，中国联通做为创始成员参与了该项目，该开源项目将用于实现真正的软件定义的数据平面参考平台，其目标是提供一个白盒交换机开放软件系统。谷歌是 Stratum 首个版本的代码贡献者，Stratum 将使用可编程芯片以及包含 P4 和 P4Runtime 的工具箱，可以彻底重新定义芯片转发行为，并管理数据层的所有配置和运行。

## Next-Generation SDN Interfaces



为了真正实现软件定义网络的愿景，需要一套新的接口来实现数据平面各个方面的生命周期控制和自动化网络管理，并且在不需要定义新标准。在软件速度上可以增强和改进接口，软件工具链支持网络操作系统（NOS）和数据平面之间的动态交互，以便开发人员锁定升级部署。Stratum 的创始成员计划通过尽可能广泛的网络芯片以及来自多厂商的白盒交换机来提供 Stratum 解决方案。

## 凤凰

凤凰项目是 ODCC 网络工作组发起的开源网络 OS 发行版项目，凤凰项目于 2017 年 8 月正式发起，目前项目成员包括阿里巴巴、腾讯、百度、移动、联通、京东、电信、中国信息通信研究院，该项目依托 SONiC 开源社区，选择社区稳定的 SONiC 版本软件，将 Base OS、SAI、平台驱动等共同打包制作成可直接加载运行在白盒交换机的网络 OS 映像文件，即凤凰发行版。另外，凤凰项目也会在软硬件兼容性测试认证、运维管理体系等方面进行探索。凤凰发行版支持跨芯片平台、跨硬件平台，具有良好的开放性。凤凰项目的目标是推动“白盒+开源 OS”的网络生态，促进中国开放网络和 SDN 网络的进一步发展。

凤凰发行版是一个开源网络 OS 映像文件，形态类似商业品牌交换机的 OS，可直接运行在白盒交换机上，当前主要面向数据中心场景。凤凰发行版映像由 Base OS（目前为 Debian linux 发行版）、SAI（芯片抽象接口）、平台驱动、SONiC 编译整合而成。凤凰发行版的各项功能都以独立 APP 形式分别运行在不同 Docker 内，通过 Docker 的管理可以非常灵活的实现相关功能模块的重启或替换。其次，凤凰发行版仅支持非常有限的命令行进行配置，推荐采用结构化的 JSON 文件进行配置管理。

## ONL

ONL (Open Network Linux) 是专为开放网络硬件平台设计开源 Linux, ONL 中包括了许多硬件 (温度传感器、风扇、电源、CPLD 控制器等) 的驱动程序。ONL 已经支持十几家白盒设备供应商的开放网络平台。ONL 是 Big Switch 在 2014 年贡献给 OCP 的。ONL 支持多种数据平面抽象接口: OF-DPA, OpenNSL 及 SAI。同时兼容大部分路由转发代理项目: FRRouting, Quagga, BIRD, FBOSS, stratum 以及 SONiC。

## ONIE

ONIE (Open Network Install Environment, 开放网络安装环境) 是白盒交换机事实上的标配软件, 用于安装各种 NOS。ONIE 是 Cumulus 在 2013 年贡献给 OCP 的 ONIE 也是 OCP 网络项目早期的重点工作, ONIE 即 Open Network Install Environment (开放网络安装环境), 是一个定义用于裸金属网络交换机的开放“安装环境”的开源项目, ONIE 软件是一个智能的 bootloader (相当于 PC 中的 BIOS, 但是比 BIOS 功能更多一些), 用来安装和启动符合要求的交换机软件系统。只要软件厂商或者交换机厂商开发的交换机系统软件能够适配 OCP 硬件, 那就可以通过 ONIE 启动。这样一来, 交换机软件和硬件就彻底分离了, OCP 组织负责硬件规范设计, 代工厂负责提供生产硬件, 另外的厂商提供交换机软件系统。这些交换机, 就可以称之为符合 OCP 要求的白盒交换机。

## SAI

SAI (Switch Abstraction Interface, 交换机抽象接口), 它定义了一套标准化的 API 规范。SAI 向上给 SONiC 提供了一套统一的 API 接口, 向下则对接不同的 ASIC。正是由于 SAI 的存在, SONiC 才能在不进行额外修改的情况下就能够支持不同厂家的 ASIC 平台。SAI 是微软在 2015 年贡献给 OCP 的。SAI 没有公开源代码, ASIC 厂家只提供二进制格式的 SAI 文件。虽然 SAI 没有开源, 但是 SAI 向上给 SONiC 提供了一套统一的 API 接口, 向下则对接不同的 ASIC。

## DANOS

AT&T 在 2018 年初将 dNOS 作为种子代码贡献给 Linux 基金会, Linux 基金会的据此成立 DANOS 项目。DANOS (Dis-Aggregated Network Operating System 分解网络操作系统) 将提供一个开放的 NOS 框架, 利用现有的开源资源和硬件平台, 如白盒交换机、白盒路由器和 uCPE 等。项目将提供一个软件架构, 以加速在服务提供商的基础设施中白盒设备的采用和使用。这意味着软件开发商、网络运营商、云服务提供商、硬件制造商和网络应用开发商可以快速创建新的白盒基础设施, 以满足不断变化的用户需求, 并且能够以具有成本效益的方式加以实

现。DANOS 项目的目标是成为白盒设备的开放操作系统。该项目将支持现有的网络协议，也将提供扩展功能来支持新的工具，如开源的数据平面编程语言 P4。DANOS 设立了如下目标：将路由器的操作系统从路由器底层硬件中分离，在基本操作系统、控制和管理平面以及数据平面内提供标准接口和应用程序编程接口（API），标准接口/API 实现数据平面与控制平面的分离。

### **Quagga& FRRouting**

Quagga 是一款功能比较强大的开源路由软件，支持 ip,ripng,ospfv2,ospfv3, bgp 等协议。FRRouting（FRR）是 Quagga 路由套件的一个分支。FRRouting 是用于 Linux 和 UNIX 平台的 IP 路由协议套件，其包括用于 BGP，IS-IS，LDP，OSPF，PIM 和 RIP 的协议守护进程。它随着时间的推移不断增长，目前它支持 EVPN 部分特性。

### **FBOSS**

Facebook 在 2015 年开源软件 FBOSS 和 Wedge 交换机，Facebook 和 OCP 网络项目通过分离或“分解”网络硬件和软件，明确推动了单一模式的变革。尽管名字中有“OS”，FBOSS 并不是一个完整的操作系统。相反，它是一组可以在标准 Linux 操作系统上运行的应用程序。希望让交换机像服务器一样。每个交换机都像另一台需要 FBOSS 套件/应用程序的服务器。它的设计考虑到了 Facebook 的数据中心网络。虽然 Facebook 有一个非常复杂的结构拓扑结构，但网络使用相当小的简单功能集来构建。对所有流量使用 L3 单播路由，使用 ECMP 平衡链路间流量，使用 BGP 配置整个网络中的路由。不支持数据中心内的多播流量，也不使用 L2 覆盖，生成树甚至中继等功能。这个有限的功能集有助于保持 FBOSS 的实现相对简单，并允许我们使用一个非常小的开发团队来构建它。

### **OpenSwitch**

HP 在 2015 年发布了其基于 Linux 的开源网络操作系统 OpenSwitch，HPE 目前已经交出控制权，由 Dell 及 Snaproute 接手，OpenSwitch NOS 聚焦于数据中心交换机，支持 OCP 兼容交换机，通过 ONIE 安装/卸载，系统提供完备的 L2 与 L3 层网络协议，适用于与 OCP 兼容的交换机，即可以用 ONIE 引导器安装或者卸载网络操作系统。操作系统的开发环境是 Linux，可用 docker 执行。

软件主要包括如下一些模块：基础操作系统，协议及管控平面，以及驱动及数据平面等。

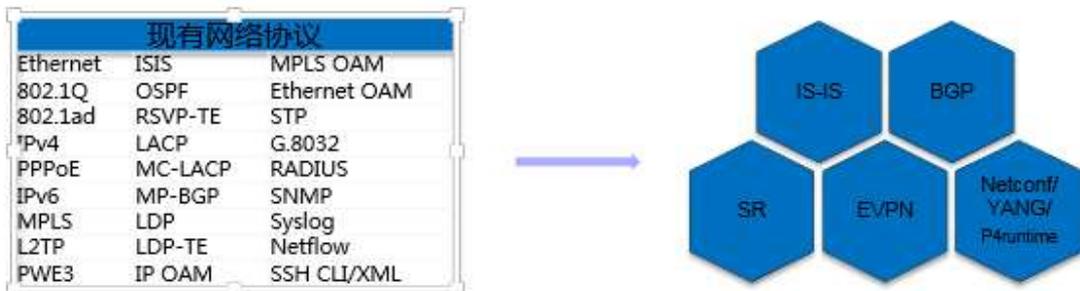
基本操作系统有如下主要职责：系统的基本功能，包括引导、设备驱动程序、

进程管理、shell 访问等，基本网络状态信息的授权。目前基础操作系统是主流从 Linux 派生。基本操作系统应该与主要 Linux 发行版之一密切配合，以利用其现有的成果和生态系统。基础操作系统应支持多种 CPU 架构以实现系统可移植性。基本操作系统必须包含对开放网络安装环境（ONIE）的支持，以促进最常见的商业芯片平台上的启动引导。它必须支持旧式和统一可扩展固件接口（UEFI）环境中的引导。

协议及管控平面具有如下功能：管理控制平面网络功能应用程序，提供将应用程序集成到基础操作系统，向外部业务流程系统和最终用户配置、操作和管理界面，将控制平面和系统状态信息传递给机架模块，控制和管理平面主要负责网络特性应用的运行。这些应用程序可以来自开源，商业供应商，也可以是定制应用程序。协议及管控平面包括负责将应用程序集成到基础操作系统。除了应用程序之间的数据共享机制外，这些基础架构组件还包括一组用于将应用程序集成到系统中的 API，包括它们的配置和操作接口。

驱动及数据平面负责在上层与底层之间同步状态，上层模块与硬件/软件数据平面之间提供转发抽象层，提供硬件和软件的通用数据包转发功能，负责与上层管理平面进行状态同步。然后它将这些数据呈现给转发抽象接口层。该接口层负责将抽象网络数据表示转换为用于硬件转发数据平面的供应商特定 API。这包括单个数据平面本地的状态，如接口状态，路由表状态，QoS 和 ACL 配置等。可编程芯片转发流水线是用可编程语言将转发功能编辑链接在一起。数据平面中的接口层充当多个供应商的商用芯片 SDK 与控制平面的数据表示之间的转换元件，以实现硬件抽象。接口层的目标是能够提供一个抽象层，一旦写入“驱动程序”，系统就可以使用多个供应商的芯片转发。

作为中国联通来说目前并不研发软件系统，主要是推动产业链软件提供商开发满足需求的软件系统，软件系统可以基于开源增量开发，也可以是第三方的商业操作系统，在协议方面推动向设备协议向简单化、标准化发展

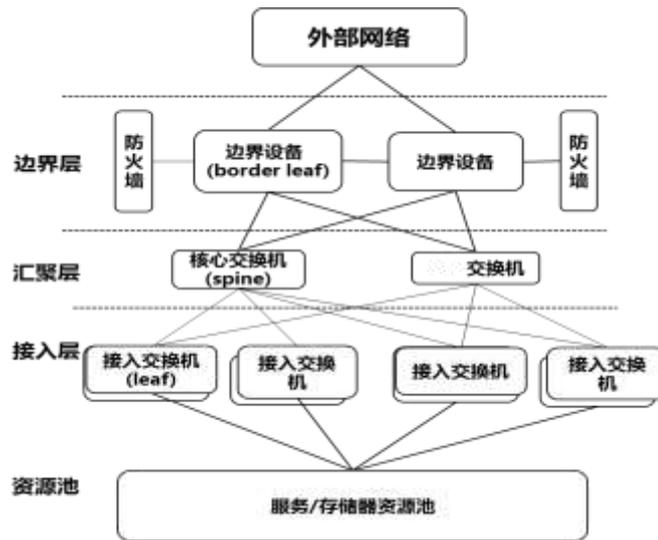


软件协议简单化

## 5 白盒交换机组网方案

### 5.1 白盒交换机通信云内部组网方案

DC 是在一个物理空间内实现信息的集中处理、存储、传输、交换和管理的中心，是 NFV 网元部署的载体。为满足 NFV 后续业务不断的发展，DC 组网上要具备弹性，同时可靠及安全方面也要同步考虑。通信云 DC 内组网建议采用 EVPN 方案，满足多场景灵活组网需求。



DC 内组网架构

**Leaf 设置原则：**每个服务器机架设置 ToR，计算节点服务器上的管理、存储和业务流量全部接入 ToR。一般为管理节点（包括 VIM、SDN-C 和 Director）及存储服务器设置单独的 ToR。服务器推荐通过 M-LAG 双归接入两台 Leaf 交换机。

**Spine 设置原则：**DC 内部部署盒试 Spine，作为 DC 核心汇聚跨机架流量，当 leaf 数量增加时，spine 可以级联，增加网络弹性扩展。

**Border 设置原则：**DC 内部部署两台 Border，作为 DC 南北向网关。一般情况南北向流量不大的情况，Border 可以由 Spine 充当。当东西向流量远大于南北向流量时，可考虑专门部署两台 leaf 充当 Border，可以选用大表现、大缓存、大队列芯片的白盒交换机来做为 Border leaf 设备。

**Leaf-Spine 互联原则：**Leaf-Spine 之间交叉连接，也就是 Leaf 双上行到两台 Spine，链路根据需要可选 10G/25G/40G/100G。Leaf 与 Spine 之间采用 OSPF/BGP 互通，在每根物理链路上启用 BGP 或 OSPF 邻居，也就是 Leaf-Spine 之间全三

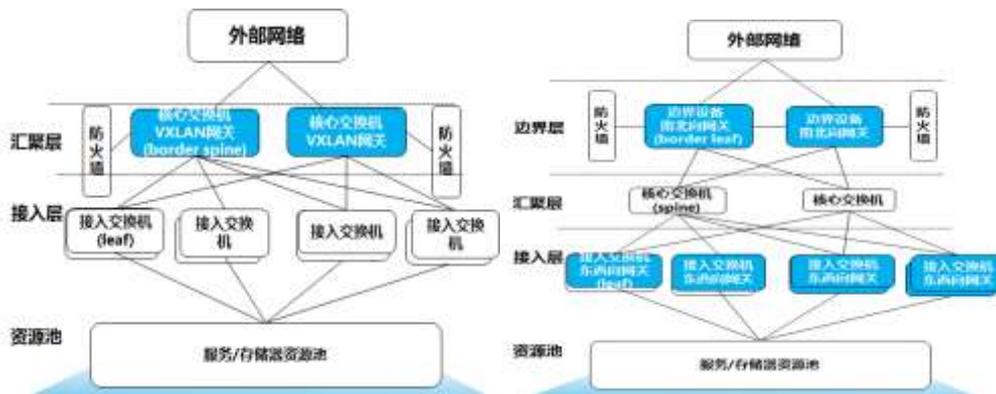
层互通。

根据 VXLAN 组网中进行 VXLAN 处理设备的软硬件形态的不同，基于 VXLAN 技术的 Overlay 网络分为硬件 Overlay，软件 Overlay 和混合 Overlay 三种。VXLAN 技术中的关键节点是 VXLAN 网络边缘设备即 NVE(Network Virtual Edge)，在 NVE 设备上配置隧道端点 IP 地址后，NVE 设备即可作为 VTEP(Virtual Tunnel End Point) 在 NVE 设备间建立端到端隧道。硬件 Overlay，指 VTEP 和网关有硬件交换机担任；软件 Overlay 和混合 Overlay 都要求软件交换机担任 VTEP 和网关，对软件交换机有较高的要求：建议支持 QoS、ACL 功能、端口捆绑、负载均衡、NIC 容错等功能，并建议具有独立的管理接口。虚拟化交换机建议支持传统的 IP 报文转发和 openflow 流表转发。

在当前阶段，使用硬件 Overlay 方案，运维界面清晰，对虚拟机要求低、转发性能高，建议优先部署硬件 Overlay 方案。

VXLAN 网关通常指 VxLAN 三层网关，支持由一个 VXLAN 子网到另一个 VXLAN 子网的跨三层转发，包含东西网关和南北向网关（即 border）。东西向网关，支持由数据中心内部一个 VXLAN 子网到数据中心内部另一个 VXLAN 子网的跨三层转发；南北向网关支持由数据中心内部一个 VXLAN 子网到数据中心外部网络的跨三层转发。

VXLAN 三层网关有两种部署方式：集中式和分布式。



VXLAN 三层网关部署方式

集中式部署：三层 VxLAN 网关包括东西网关和南北网关都由同一组 spine 设备承担，该设备可以是 Spine 设备（即图中 Border Spine），也可以是独立的 Border Leaf 设备。网络扁平，层次少，DC 南北向和东西向流量路径短，时延小，迂回路径少。Underlay 汇聚功能与 Overlay VXLAN 功能合一部署在 Spine 设备上，节约了设备数量，降低了组网成本。

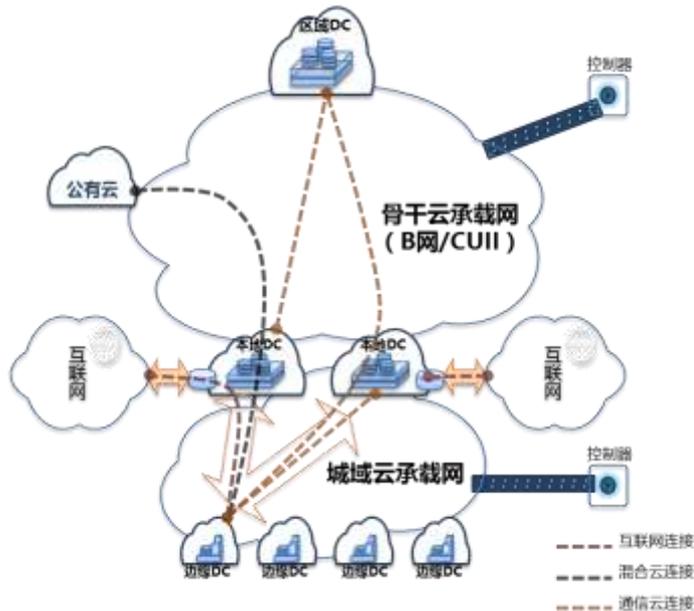
分布式部署：三层 VxLAN 网关包括东西向网关和南北向网关由不同设备承担。各自功能定位清晰，Spine 只用于 Underlay 网络汇聚，不做 Overlay 功能，对 Spine 的特性要求不高，对 Spine 的转发能力要求较高。此组网应用于较大规模数据中心，网络扩展性好，稳定性相对更好，但设备数量较多，组网成本高。

在白盒化通信云部署中，可以根据网络规模、流量大小、产品形态等选择合适的部署方案。

## 5.2 白盒交换机通信云间组网方案

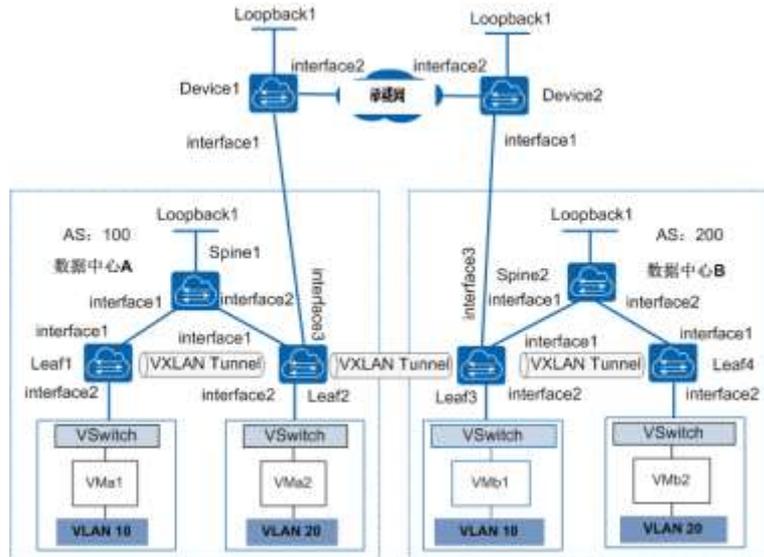
随着通信各类业务向 NFV 变革演进，以及不断集中的网元和应用，驱动通信运营商构建以 DC 为核心的新型网络架构，网络架构可分为区域—本地—边缘三层。全网支持业务灵活调度和配置自动下发，支持全国 DC 间端到端连接，支持本地 DC 互联网流量快速疏导。其中骨干云承载网综合承载城际通信云流量，城域云承载网综合承载互联网、通信云流量。

考虑到投资等各方面因素，通信云 DC 间组网分为两个阶段。通信云规划初期，城域承载网和骨干承载网逐步融合并进行 SDN 改造，此时不同的 DC 之间的虚拟机如有互通需要，主要通过原有承载网互通；通信云建设后期，城域承载网络和骨干承载网络分别实现融合，考虑增加独立的 DCI 平面，统筹管理整个 DC 间的网络互通。



DC 间互联架构图

初期阶段，不同 DC 通过承载网可实现三层互通，在此基础上可以实现 VXLAN、BGP-EVPN 组网互通。如下图所示，数据中心 A 和数据中心 B 规划在不同的 BGP AS 域，在数据中心内部配置 BGP EVPN 协议实现同一数据中心 VMa1 和 VMa2 之间的互通、VMb1 和 VMb2 之间的互相通信，通过在 Leaf2 和 Leaf3 之间配置 BGP EVPN 协议创建 VXLAN 隧道，实现数据中心 A 和数据中心 B 之间的互相通信。



DC 间三层互通架构图

后期阶段建设 SDN 化的 DCI 网络，随着通信云业务的发展，不同 DC 间的东西向流量越来越大，对 DC 间承载网络带宽造成挑战。为了实现对 DC 间网络的智能流量调度，打造一张有“弹性”的承载网络，需要专门规划一张 SDN 化的 DCI 网络：基于各厂家提供统一的 API 开发（或采购）云管理平台（协同器）实现极速业务发放，并能利用实时流量分析组件优化网络，提升用户体验。DCI 网络建设节奏是优先建设国干 DCI，其次是建设区域级的 DCI。

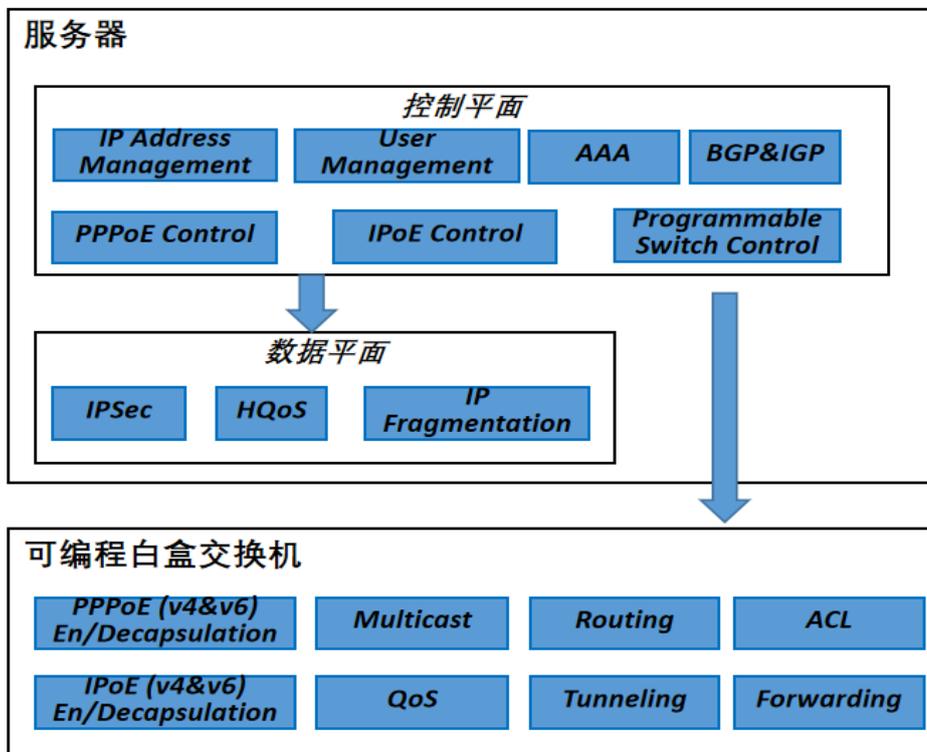
## 6 中国联通白盒交换机的创新应用

### 6.1 基于白盒交换机的 vBNG 转发面

宽带远程接入服务器(BNG)是提供网络宽带网络服务的关键设备形态。BNG 的功能包括接入、认证计费、用户管理路由、ACL、QoS、隧道等。传统上，BNG 采用专用和封闭式硬件实现，并面临很多问题，如供应商锁定、高成本和手动管理。为了解决这一困境，最近的趋势是在网络功能虚拟化(NFV)框架中实施虚拟

化的 vBNG。通过 NFV 的灵活性，vBNG 可以带来许多显著的益处，例如在商用现成(COTS)服务器、可编程管理 API、可扩展性等。然而，vBNG 在转发容量和性能方面也有巨大弱点，因此性能缺陷不可避免地阻碍了 vBNG 获取大规模部署。

为了在提供高性能服务的同时获得 vBNG 的好处，我们提出了一种解决方案，旨在通过可编程白盒交换机的加速来构建高性能的 vBNG 转发面，创新方案的关键设计是在可编程交换机上卸载部分 vBNG 网络大流量转发功能。创新方案由三层组成，即 VM 中的控制平面、VM 中的数据平面以及可编程白盒交换机，如图所示。



**VM 中的控制平面：**提供与管理 vBNG 相关的控制层面功能，如提供北向 API、IP 地址池管理、客户管理等。

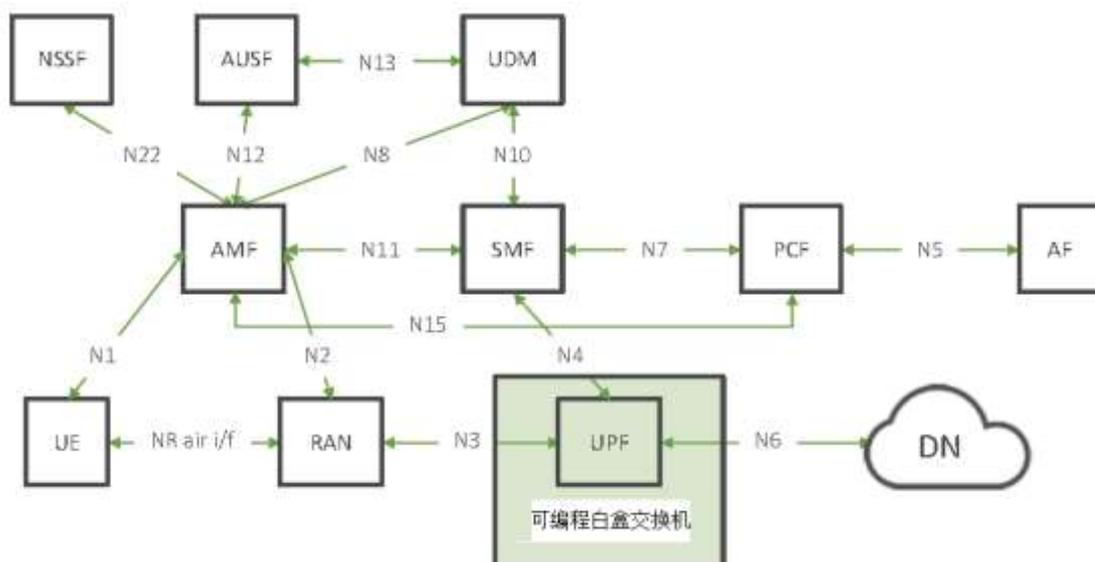
**VM 中的数据平面：**提供大表现小流量业务的转发，数据平面提供复杂用户策略的相关处理，集成极大部分原有转控分离 vBNG 方案转发面功能。

**可编程白盒交换机：**控制层面根据业务流量情况下发转发表项，提供高性能宽带远程接入服务转发功能，可编程白盒交换机作为虚拟机中数据平面和控制平面的缓存层，如果数据包匹配到可编程交换机中的表项，则可以直接转发该流量，不但大大提高转发性能，还能减少网络延迟；如果没有匹配到可编程交换机中的表项，可编程交换机应将数据包传送到数据平面进行进一步处理。

本方案中的白盒交换机可以复用通信云中的 leaf 交换机，在有卸载需求时下发 vBNG 转发表象，同时提供普通 leaf 交换机功能和部分 vBNG 转发面功能，没有卸载需求时删除表象，只提供原有 leaf 交换机功能。

## 6.2 基于白盒交换机的 UPF

UPF 作为 5GC 网元主要承接业务转发功能，UPF 网元有别于控制面，其技术本质是强转发，服务器的软件加速技术无法满足大流量、超低时延转发需求，这就要求核心网 UPF 下沉到边缘或区域 DC 减少传输时延，同时需要大幅减少 UPF 报文转发时延。UPF 必须使用硬件加速技术，UPF 网元的商业本质是追求转发成本最低，4G 到 5G，每用户平均带宽增长 10 倍以上，但每用户转发成本不能同比上升，用可编程白盒交换机做为 UPF 是一个有潜力的创新方案。



基于白盒交换机的 UPF 解决方案通过可编程的隧道处理能力，对 UPF 转发进行硬件加速，将大部分流量从虚拟网络卸载到硬件交换机处理，利用交换机的大带宽和线速转发能力实现高性能 UPF 加速，使得单服务器的虚拟化转发面性能大幅提升。

## 6.3 基于白盒交换机的 DC 出口路由设备

传统的交换芯片在交换容量，路由表深度以及用户服务质量保障等方面均无法满足路由器的要求。最新部分商业交换芯片，支持高达 4.8Tbps 的报文处理能力、大缓存、大队列以及多达两百万的路由表项资源，使得基于商业交换芯片的路由器方案成为可能。相关系列交换芯片还支持灵活的端到端层次化调度，允许

用户自行设计调度层级，完美的满足了运营商对于部分出口路由器设备的需求。对于更加大容量表现要求的设备，商业交换芯片可以通过外扩 TCAM 的方式来支持更大的路由表，商业芯片可以支持高达千万级别的路由表项。

另外随着芯片可编程理念的逐渐普及，除了常规的路由协议支持，商业芯片系列的可编程能力则使得其应用泛用性更上一层楼，并使得该系列商业交换芯片可以长期适应运营商网络的技术演进。不但如此，随着虚拟化技术的不断演进，控制层面功能可以虚拟化部署，实时而灵活的端到端路径选择也将成为今后网络建设的重要目标，转发面大部分功能由白盒交换机设备代替。另外在转发平面上，Segment Routing 技术由于其独特的灵活性，开始挑战传统三层路由转发技术的霸主地位。芯片支持极具深度的 Segment Routing 标签栈，以此实现可以穿透核心网的端到端路径规划，来满足未来新型网络的负载分担要求。

## 7 中国联通白盒网络设备规划

### 7.1 中国联通白盒交换机定义和目标

白盒交换机解耦合分为硬件平台和软件操作系统，最终实现灵活开放的系统，也能使成本得到降低，给用户选择最佳软硬件平台的权利。创新的交换机技术和元器件让 SDN 时代的白盒交换机不仅具备高性能，同时可以支持灵活多样的软件操作系统，这样可以快速地满足客户的个性化需求，这是传统网络设备所不具备的。白盒交换机在构建一个全新的生态系统，这其中包含了交换芯片、白盒交换机整机硬件、嵌入式软件系统和协议模块等。从这几个方面本白皮书有如下具体含义：

- ✧ **交换芯片方面：**避免芯片锁定，使用通用跨芯片平台，积极推动芯片可编程、开放化。
- ✧ **白盒交换机整机硬件方面：**目前白盒交换机整机硬件主要以盒试设备为主，接入白盒交换机有 10G、25G、100G 等几种形态，积极推进硬件标准化和模块化。
- ✧ **嵌入式软件系统方面：**网络系统软件和硬件平台解耦，积极参加开源社区，推动第三方商业软件的开放，增强自己软件掌控能力。
- ✧ **协议模块方面：**简化软件要求，软件模块化，可以根据需求灵活定制软件模块，避免使用大而全耦合的系统。

基于以上构想，本白皮书对中国联通通信云的白盒交换机工作进行了梳理，并提出通信云的白盒交换机现阶段研究目标如下：

- ✓ 目标一：制定 48\*25G+8\*100G 形态白盒交换机的硬件企业标准，做为 Leaf 白盒交换机硬件采购方案的参考基础。
- ✓ 目标二：制定全 100G 形态白盒交换机的硬件企业标准，包括 32\*100G、64\*100G、128\*100G 等形态，做为 Spine 白盒交换机硬件采购方案的参考基础。
- ✓ 目标三：制定白盒交换机软件系统标准，做为白盒交换机软件系统采购方案的参考基础。
- ✓ 目标四：整合产业链合作伙伴，推动白盒交换机硬件、软件系统和控制器厂家进行集成开发，在实验室进行白盒交换机通信云网络方案的实验室集成评估。
- ✓ 目标五：在实验室测试评估的基础上，选定一到两套整体方案在现网进行试点部署，进行现网测试评估。
- ✓ 目标六：推动白盒交换机方案参加通信云交换机的集采测试评估。
- ✓ 目标七：结合中国联通通信云及边缘云规划，研究下一代白盒交换机的设施需求，包括机房空间、供电、空调等，探讨未来设备形态演进方向。

## 7.2 中国联通白盒交换机推进计划

打造高度弹性、敏捷、开放、高效、智能的通信云，意味着运营商需要打破现在完全基于黑盒设备的烟囱式封闭网络，推动整体网络架构变革，让 IT 化网络建设、运营和管理的思想扎根。而推动这种 IT 化的转变并不是一蹴而就的，一方面需要运营商深度参与设备需求定制、研发试验和系统集成的各个环节，另一方面需要运营商理清传统网络和新建 IT 化网络之间的关系，在初期就做好详细规划。中国联通将通过和厂家联合研发的方式，重点突破技术难点，并加强与其他相关研究组织、标准组织和开源社区等的成果分享和合作，逐步推动通信云白盒交换机的应用落地和长期演进。网络设备白盒化的发展将是一个循序渐进的过程，围绕通信云白盒交换机现阶段目标，近期推进规划如下：

### (1) 研发试验阶段

推动基于通用数据中心白盒交换机设备软硬件的联合研发，密切跟踪开源社

区及开源项目的最新进展，聚焦解决面向通信云的交换机设备白盒化关键性问题，包括不同端口性能需求下的规格要求、芯片可编程性、接口抽象化和标准化等；实现异厂家系统集成，包括交换机软件系统和白盒交换机硬件基础设施平台解耦，以及 SDN 控制器和白盒软件系统接口对接等。

以通信云为起点，推动白盒交换机功能验证和多种应用规模、组网场景下功能和性能验证，探索白盒交换机适用业务和应用规模，和业界分享研究成果，推广通信云交换机白盒化的理念。

## （2）部署探索阶段

推动开发开放的通信云 SDN 控制器系统，实现对白盒交换机的统一控制，MANO 与 OSS/EMS 的对接，并推动接口标准化。通过实际业务案例，推进基于白盒的通信云落地部署和同步应用验证，为进一步网络架构演进作指导参考。

## （3）应用推广阶段

引入智能化技术，优化通营运资源集中管理，以及网络资源编排和管理；推动网络接口更加开放，以及设备硬件开放及软硬件解耦的白盒化发展。

推动通信云白盒交换机灵活按需部署，实现与业务的深度融合；以前期成果为指导，推动多接入网络架构变革和统一管理；将通信云白盒交换机逐步融入中国联通通信云架构中，结合 SDN、NFV、AI 等技术，构建和完善端到端统一资源编排和管理机制。

## 7.3 白盒交换机软硬件采购模式

传统网络设备软硬件一体采购，在 SDN 模式下，SDN 控制器和交换机软硬件形成了更加深度的绑定。白盒交换机模式天然软硬件解耦，网络硬件资源通用化，软件功能定制化。软件功能和硬件功能解耦以后，采购模式将从纵向的软硬件一体的标准化交换机采购，转变为白盒硬件交换机和软件系统的独立采购，甚至软件系统也可以分为通用基础软件系统和定制化功能模块的独立采购。除了传统设备提供商，将涌现出一批新兴的硬件和软件提供商，产业链将更加丰富，软件功能定制化将越来越重要。与此同时，与采购配套的售后技术服务也讲随之改变，软件和硬件的维护和升级可以独立进行。

基于中国联通 CUBE-Net2.0 开放硬件网络设备的架构，中国联通希望引入更多的合作伙伴进行定制化硬件开发和软件开发，并积极参与相关开源社区，通过不断增强自身的软件开发能力，做好软件开发管理并自主承担部分核心功能软

件和业务应用的开发工作，打造差异化的竞争优势。

## 10 总结与展望

本白皮书是中国联通 CUBE-Net2.0 开放硬件网络设备的第一本白皮书，总结分析了通信云内部白盒交换机发展的新需求以及实现变革面临的多重问题和挑战，给出了通信云内部白盒交换机的概念和愿景。后续我们将根据 CUBE-Net2.0 开放硬件网络设备的研究目标和计划，有序推进中国联通其他场景白盒化的演进。在此，中国联通以开放的姿态，诚挚邀请所有运营商、相关开源社区、芯片厂商、硬件设备厂商、软件厂商、系统集成商和测试仪表厂商等加入研究和试验工作。同时，中国联通也将积极参与 ONF、CORD、TIP 和 ODCC 等组织的相关工作，并持续向业界贡献 CUBE-Net2.0 开放硬件网络设备的阶段性研究成果，未来将加入更多的开源社区，和业界一起构筑网络设备软硬件解耦发展全生态，掀起网络设备白盒化全面变革的浪潮。

白皮书联合编写单位

