

# 深入浅出白盒交换机

---

S D N L A B

2025年5月

# 目录

- 01 白盒产品的基础知识**
- 02 白盒交换机的概念与价值**
- 03 白盒交换机操作系统**
- 04 白盒交换机的应用**
- 05 挑战与未来**

# 1 白盒产品的基础知识



# 白盒化定义

白盒化通过硬件与软件解耦、接口和开放架构标准化，将**传统封闭的专用设备**转变为“**通用硬件+灵活软件**”的模块化组合模式。核心是打破硬件与操作系统的捆绑关系，采用标准化、通用化的硬件平台（如商用交换芯片和模块化组件），支持第三方软件的自由加载与替换。



## 本质价值

白盒化让系统架构像“**搭积木**”一样自由组合，从“设备即功能”到“平台即能力”，为数据中心、5G边缘等场景提供开放、弹性、低成本的基础设施解决方案。



# 白盒化的核心特征

## 1. 全栈开放架构

- 设计透明化**：硬件架构、软件代码及协议接口全面开放，消除厂商技术黑盒，确保用户对底层设计的完全可见性。
- 标准化互操作**：严格遵循OCP等开放标准，统一硬件接口与通信协议，实现跨厂商设备即插即用与无缝协同。

## 2. 深度可定制能力

- 硬件可重构**：采用模块化硬件设计方案，支持板卡级硬件重构，可根据算力、功耗等需求替换核心组件。
- 软件可定义**：开放底层代码接口，允许用户基于开源框架进行功能模块的增删改，实现业务逻辑的个性化编排。

## 3. 弹性可扩展体系

- 模块化架构**：采用 "基础平台 + 功能扩展模块" 的架构模式，支持算力、存储、网络资源的按需横向扩展。
- 弹性资源调度**：支持通过SDN/NFV等技术实现业务负载变化的实时感知，自动完成资源的动态分配与回收。

# 常见的白盒硬件产品

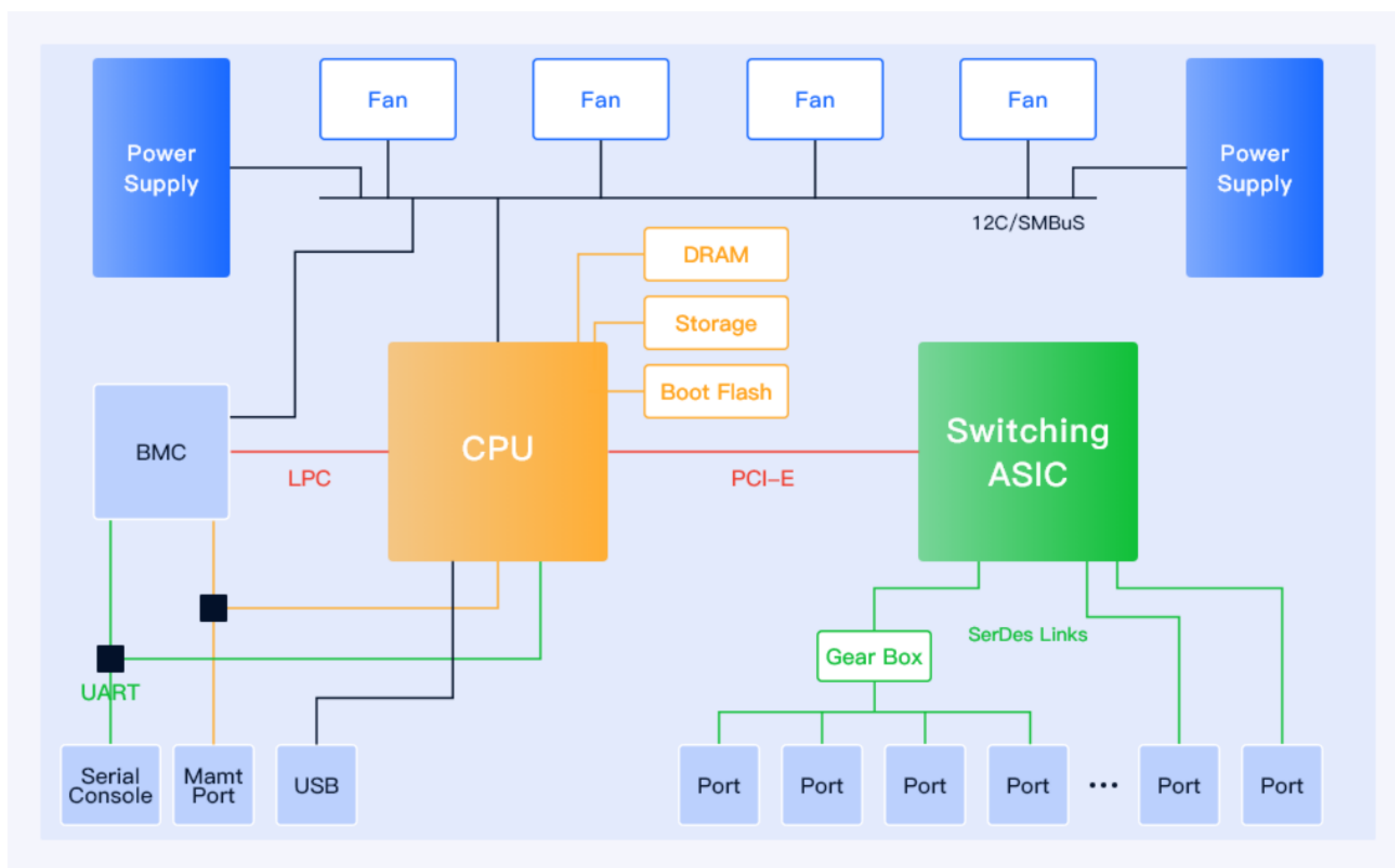


# 2 白盒交换机的概念与价值



# 白盒交换机的概念

白盒交换机是软硬件解耦的开放网络设备，采用“商用硬件 + 开放操作系统”的开放式架构，支持灵活配置管理，**核心在于打破传统“软硬件捆绑”模式，赋予用户按需定制网络功能的能力。**



通用白盒交换机架构

## 与传统品牌交换机的主要差异

传统品牌交换机软硬件封闭，导致设备互通性差、运维管控繁杂、故障定位困难，且封闭式架构制约后期升级扩展。

白盒交换机依托软硬件解耦特性，常与 SDN 技术结合，具备灵活、高效、可编程优势，能降低网络部署成本。

## 核心是需求、技术、成本的三角驱动模型

随着云计算的普及和数据中心规模的扩张，企业对网络设备的性价比与灵活性提出了更高要求。谷歌、阿里等企业为降低数据中心建设成本，摆脱传统专有设备的高溢价与“供应商锁定”，主动推动白盒化，以期实现网络功能按需定制，适配自身业务需求。

**云服务与数据中心的需求驱动**

Open Networking Foundation (ONF) 等组织大力推进软件定义网络 (SDN) 与开放网络技术，促使网络设备软硬件解耦。同时，SONiC等开源网络操作系统诞生，为白盒交换机提供技术生态支撑，推动行业从封闭架构向开放生态转型。

**网络技术标准化与开源化支撑**

云计算厂商与传统网络巨头的博弈倒逼开源生态和硬件解耦，迫使市场向效率更高、成本更低模式演进；而开源技术、开放标准构建的创新环境，则为这种演进提供了可行性，形成“需求驱动创新，创新重塑竞争”的闭环。

**行业竞争与创新环境的推动**



# 白盒交换机生态

白盒交换机 = 标准化硬件 + 商业芯片 + 开放系统

代表用户





标准组织



软件层面

开源网络操作系统



商业开放网络操作系统



硬件层面

交换芯片



设备厂商



# 白盒交换机的核心特征

**硬件层面：**包含交换芯片、CPU、网卡等组件，遵循 OCP 标准化规范，确保通用性。

**软件层面：**以网络操作系统及应用程序为核心，为功能拓展提供支撑。

## 核心特征

- **软硬件解耦：**硬件与软件可独立配置、更新，硬件升级不影响软件，软件迭代无需更换硬件，摆脱厂商功能绑定。
- **开放可定制：**由于硬件接口相对标准，且 NOS 往往提供开放的 API 和 SDK，白盒交换机更容易进行编程、自动化和集成到SDN或NFV环境中，用户可以更深入地控制网络行为。
- **商用硬件降本：**采用通用芯片与组件替代传统专用硬件，直接降低硬件采购成本。

# 白盒交换机 vs 传统品牌交换机



两者的核心区别在于**内部结构的透明性、用户控制权以及软硬件解耦化**。白盒交换机赋予用户对底层的高度控制，适合技术创新和成本敏感场景；传统品牌交换机（黑盒）以开箱即用的便利性见长，适合标准化需求和快速落地。

| 维度    | 白盒交换机                          | 传统品牌交换机                             |
|-------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 架构设计  | 软硬件解耦，支持模块化组合（SAI接口）           | 软硬件捆绑，封闭式架构                         |
| 成本    | 具有潜在成本优势，尤其在硬件和大规模部署时          | 通常较高，升级依赖原厂服务                       |
| 用户控制权 | 高（可自定义硬件配置、修改软件功能）             | 低（仅能通过厂商提供的管理界面配置预设功能，无法触及底层逻辑）     |
| 集成复杂度 | 高（用户或集成商负责）                    | 低（由供应商完成）                           |
| 适用场景  | 需要高度定制；追求开放生态与互操作性；技术创新与成本敏感场景 | 即插即用与稳定可靠优先；标准化程度低、复杂度高；依赖厂商原有技术的场景 |



# 白盒交换机设备架构

**芯片接口层**是硬件转发层与上层软件之间的桥梁，负责将ASIC的硬件能力抽象为软件可调用的接口，保证硬件与软件的解耦。

**硬件转发层**是白盒交换机的物理基础，负责数据包的接收、解析和转发，需符合OCP标准化规范，确保硬件组件的通用性和互操作性。



**网络操作系统层**是白盒交换机的“大脑”，提供网络管理和控制界面功能，运行高级协议并与网络管理工具交互。

**基础软件平台层**提供设备的基本运行环境，管理硬件资源并为上层网络操作系统提供支持。它是连接底层硬件和高层应用的中间件。

# 白盒交换机设备架构——硬件转发层

硬件转发层通常包含以下几类器件：**交换芯片**（用于转发数据）、**CPU 芯片**（主要管控系统运作）、**网卡**（提供CPU侧管理功能）、**存储器件**（包括内存、硬盘等）、**外围硬件**（包括风扇、电源等）。其中**交换芯片是白盒交换机的核心部件**，负责**底层数据包的高速转发**，具备强大的转发能力和丰富的端口类型及数量，可支持多种网络协议和功能，如 VLAN、QoS、ACL 等。

| 公司       | 最高端产品       | 交换容量 (Tbps) | 端口最大速率 (G) |
|----------|-------------|-------------|------------|
| Broadcom | Tomahawk 5  | 51.2        | 800        |
| Marvell  | Teralynx 10 | 51.2        | 1600       |
| 盛科通信     | Arctic      | 25.6        | 800        |

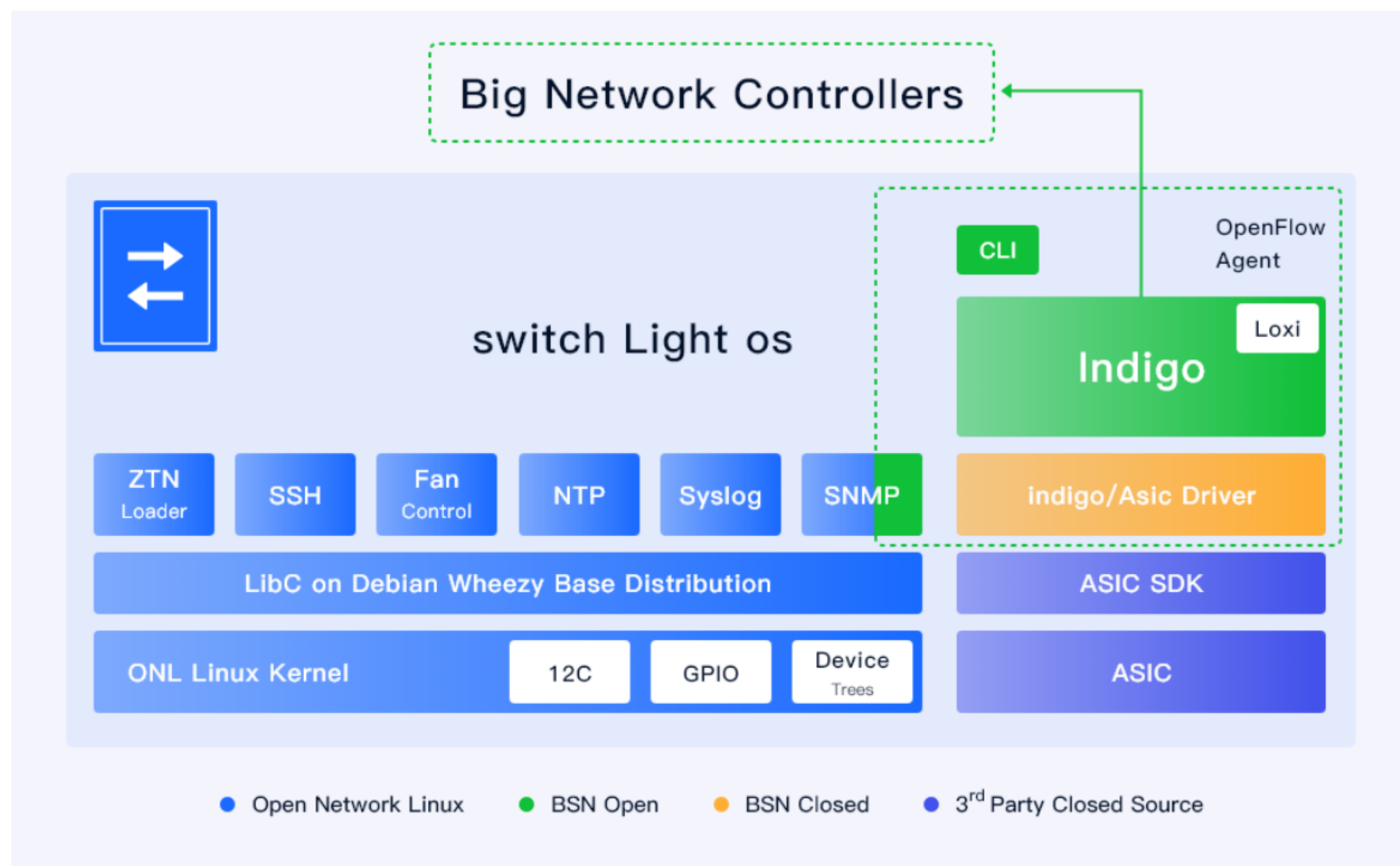
典型的交换芯片

- **Broadcom Tomahawk 5**是市面上首个量产 51.2Tbps 交换带宽的芯片，单个端口最高速率达到 800G。
- **Marvell Teralynx 10**是专为 800G 时代设计的 51.2Tbps 可编程 5nm交换芯片。
- **盛科通信**最新推出的**Arctic系列**交换芯片搭载了领先的 25.6Tbps交换容量和最高800G端口速率。



# 白盒交换机设备架构——基础软件平台层

基础软件平台层主要连接了白盒交换机的底层硬件和上层网络操作系统，提供基础的安装环境、驱动等软件，目前主要的规范是OCP提出的 **ONIE** 和 **ONL**。



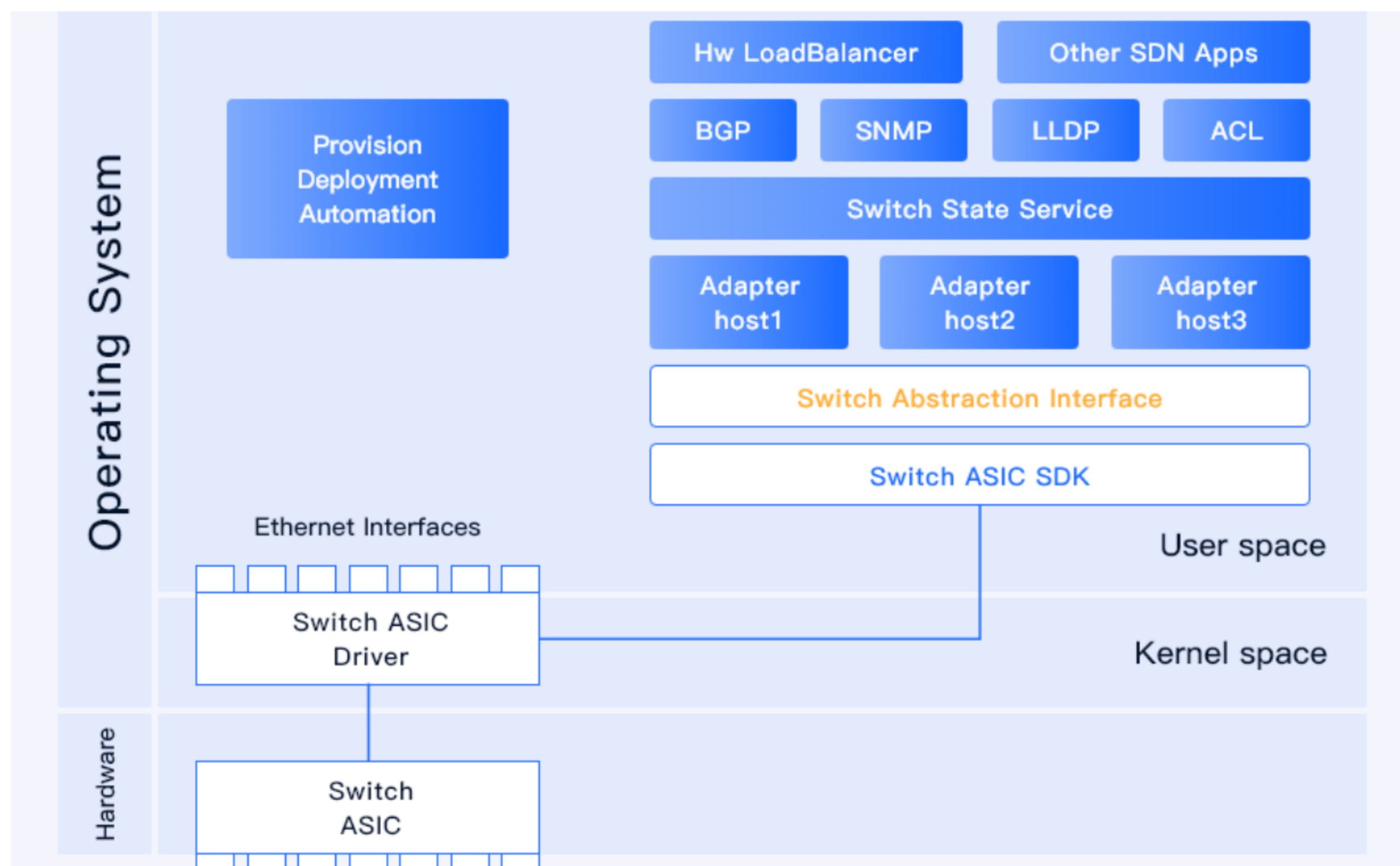
ONL 构成

- **ONL** (Open Network Linux) 是专为开放网络硬件设计的开源 Linux 发行版，由 Big Switch 公司于 2014 年贡献给 OCP。它作为基础软件平台层，为上层 NOS (如 SONiC) 提供运行环境。
- **ONIE** (Open Network Install Environment) 为白盒交换机提供了一个开放的安装环境，实现了交换机硬件和网络操作系统的解耦，支持在不同厂商的硬件上引导启动 NOS。



# 白盒交换机设备架构——芯片接口层

**芯片接口层**通过标准化接口（如SAI）将交换芯片的硬件功能抽象化，向上层应用提供统一的接口。这种设计实现了上层应用与底层硬件的解耦，使得上层应用可以通过调用芯片接口定制底层转发逻辑，提供网络的可编程功能。



SAI 架构

**SAI** 是一种标准化的 API，涵盖多种功能，可以看作是一个用户级的驱动。使用者不需担心硬件厂商的约束，不用关心底层的交换芯片、网络处理单元或是否为软件交换机，都可采用统一的方式进行管理适配。同时，其可以大大简化芯片厂商的 SDK。SAI 向上为网络操作系统提供了统一的 API 接口，向下可以对接不同的 ASIC。

# 白盒交换机设备架构——网络操作系统层

**网络操作系统层**位于白盒交换机架构的最顶层，直接面向用户，主要包括网络操作系统和上层的网络协议应用，负责实现控制和管理平面的功能。



**开源网络操作系统：**主要包括 SONiC、Dent、Stratum等；



**商用网络操作系统：**主要包括紫金山实验室UniNOS、Cumulus Linux（NVIDIA旗下）、Arrcus ArcOS、Pica8 PicOS、SnapRoute、Big Switch Switch Light（Arista旗下）等。



# 3 白盒交换机操作系统

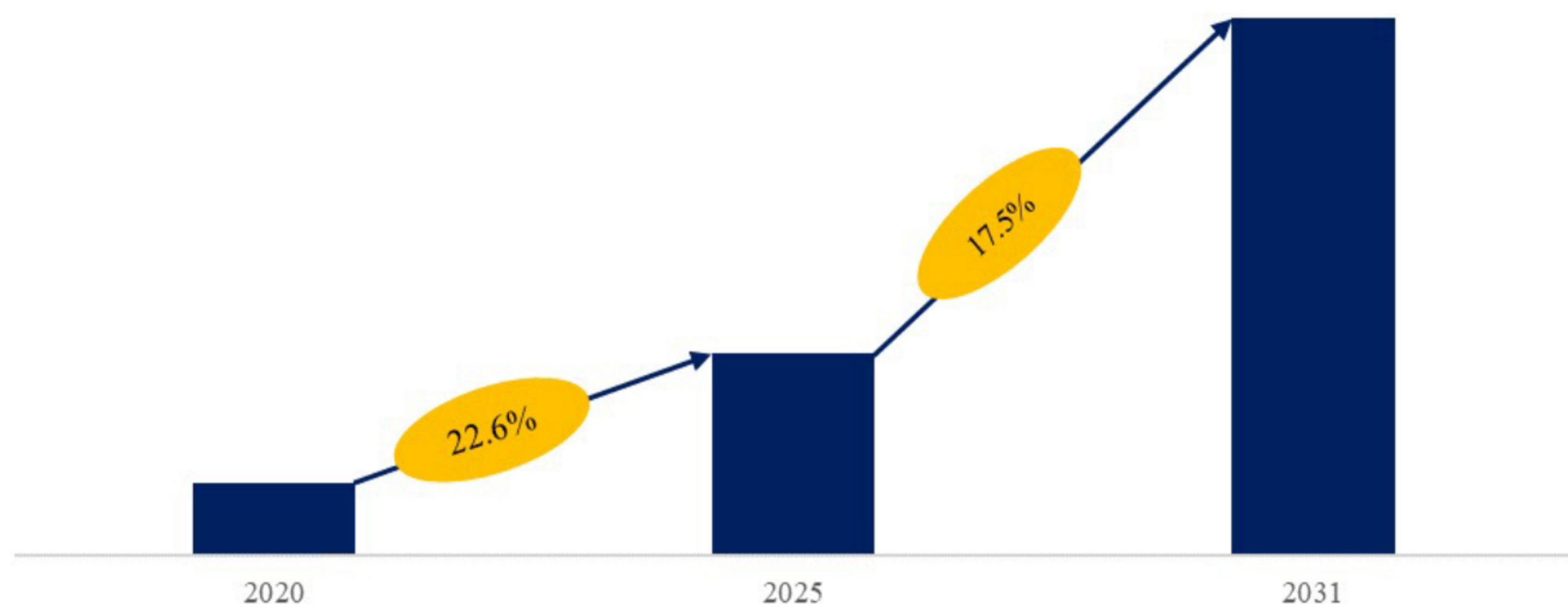


# 白盒网络操作系统

白盒网络操作系统是白盒交换机“开放基因”的软件载体，独立于特定硬件供应商，设计用于在标准化、开放规格的“裸金属”（Bare Metal）交换机硬件上运行。其核心是通过硬件抽象实现网络设备的开放化与可编程化，将网络设备的控制权从传统厂商手中转移到用户侧。

## 白盒操作系统的发展阶段

全球市场规模（百万美元）



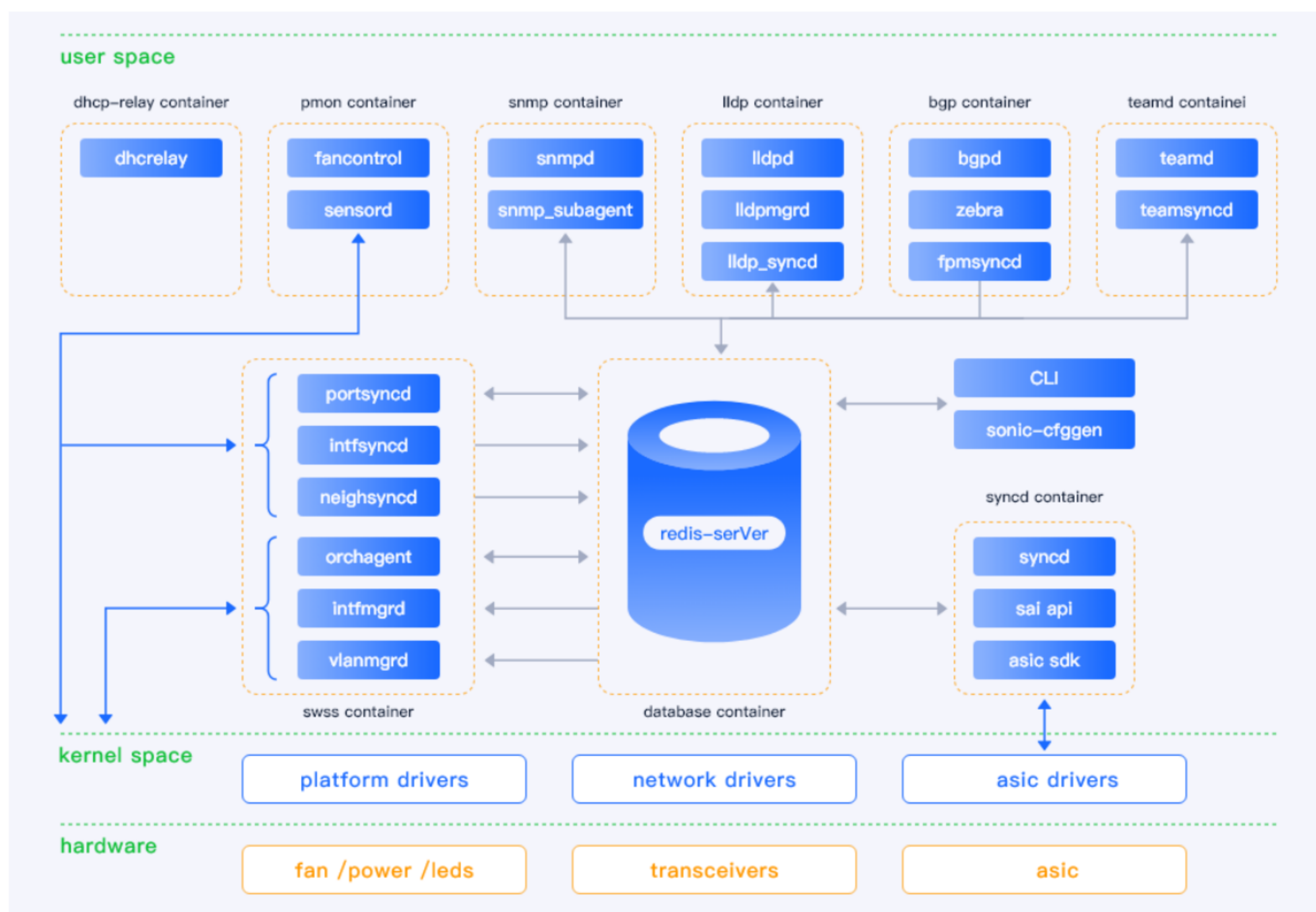
来源：LP Information 白盒交换机网络操作系统研究中心

白盒网络操作系统全球市场规模增长轨迹

- **萌芽探索期（2010 年前后）**：商用交换芯片成熟推动软硬件解耦，Cumulus 等公司率先尝试开发白盒交换机操作系统，SDN 概念为其提供理论基础。
- **标准化期（2015-2018年）**：硬件抽象层（SAI）的提出统一芯片驱动接口，降低操作系统与硬件的耦合度。开源操作系统（如SONiC）开始支持标准化硬件。SONiC通过容器化架构实现模块化设计，成为行业事实标准。
- **多元成熟期（2018 年至今）**：SONiC 持续迭代，功能升级并广泛应用于多场景，微软、阿里等企业开始大规模采用。

# 开源网络操作系统——SONiC

SONiC (Software for Open Networking in the Cloud) 是一个基于Linux的开源网络操作系统，最初由微软开发并于2016年开源发布，后贡献给开放计算项目 (OCP)。SONiC采用模块化设计，将传统交换机操作系统分解为多个独立容器化组件，通过Docker实现功能解耦。这种架构支持灵活扩展，允许用户根据自己的需求，在通用硬件上加载不同的功能组件（软件协议堆栈），实现系统的敏捷开发和无缝快速升级。



SONiC系统架构

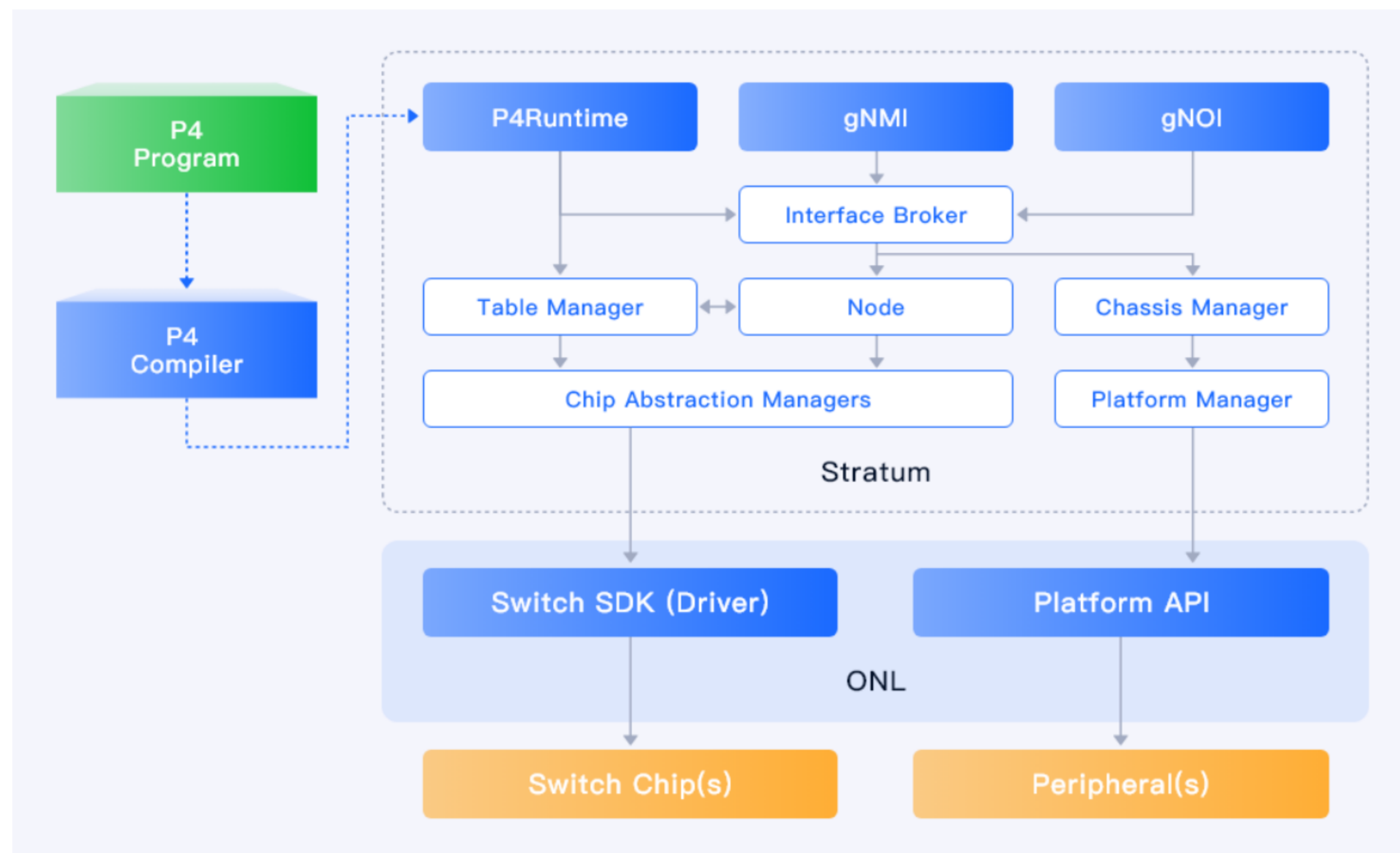
SONiC 采用标准化的SAI 接口实现软硬件的解耦，提供全面的网络功能，涵盖L2、L3和L4协议，支持BGP、RDMA、QoS、ACL等高级功能。

截至2025年4月，其社区规模已超过850个成员，包括云服务巨头、芯片供应商以及网络硬件OEM/ODM。



# 开源网络操作系统——Stratum

Stratum是由谷歌发起、开放网络基金会（ONF）支持的开源白盒网络操作系统，专注于实现芯片无关的开放控制平面和完全可编程的数据平面。它以Linux为基础，通过标准化接口（如P4 Runtime、gNMI/gNOI）解耦硬件芯片与上层应用，支持P4语言定义数据包处理流水线，使网络设备可随业务需求动态重构转发逻辑。



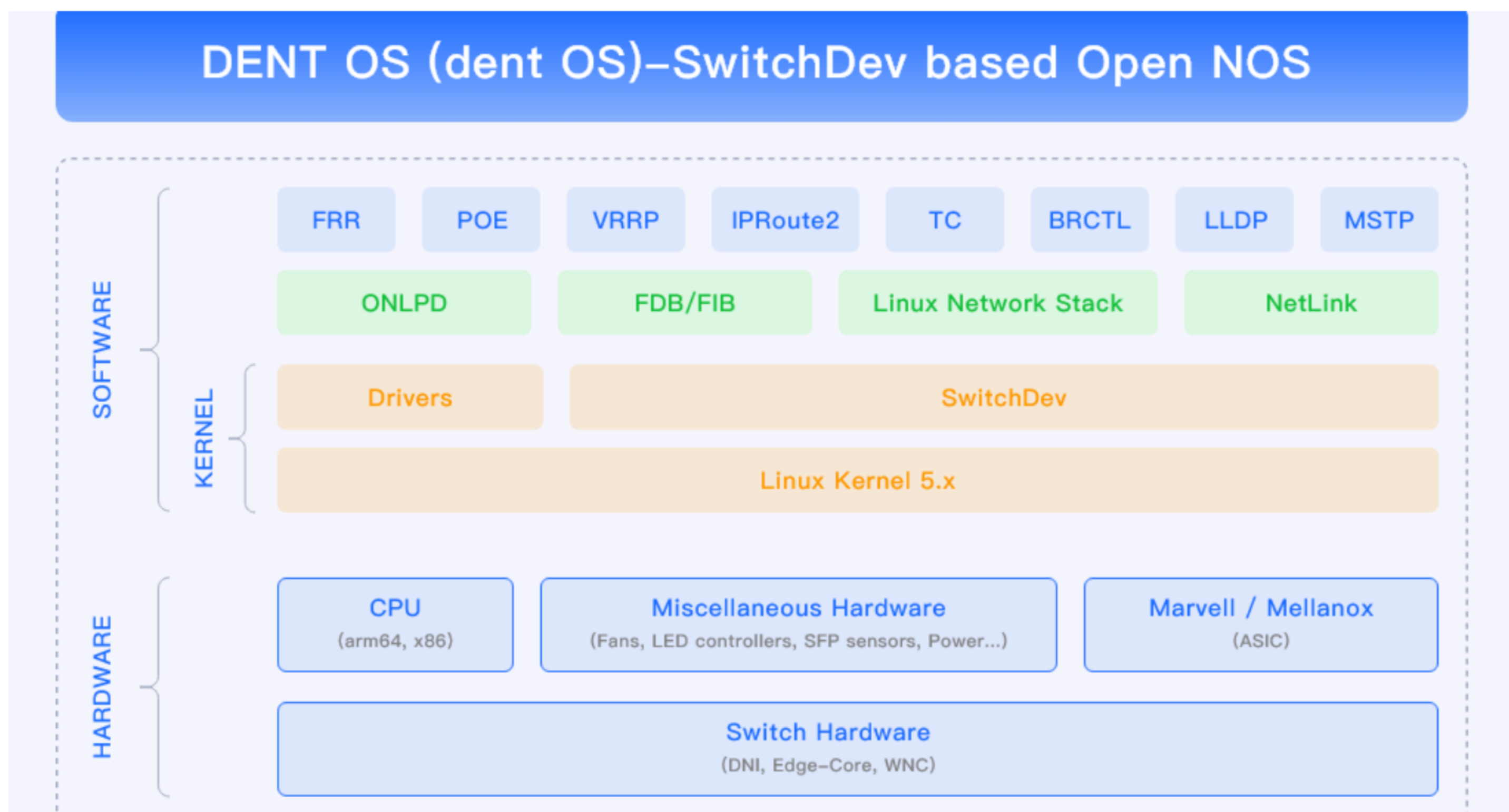
Stratum系统架构

Stratum强调开放性与可编程性，提供基于云原生架构的自动化运维能力（如容器化部署、Telemetry遥测），同时兼容传统网络协议栈，目标是为运营商和超大规模数据中心构建统一、敏捷的SDN基础设施，推动网络从固定功能向软件定义、灵活调度的方向演进。



# 开源网络操作系统——DENT

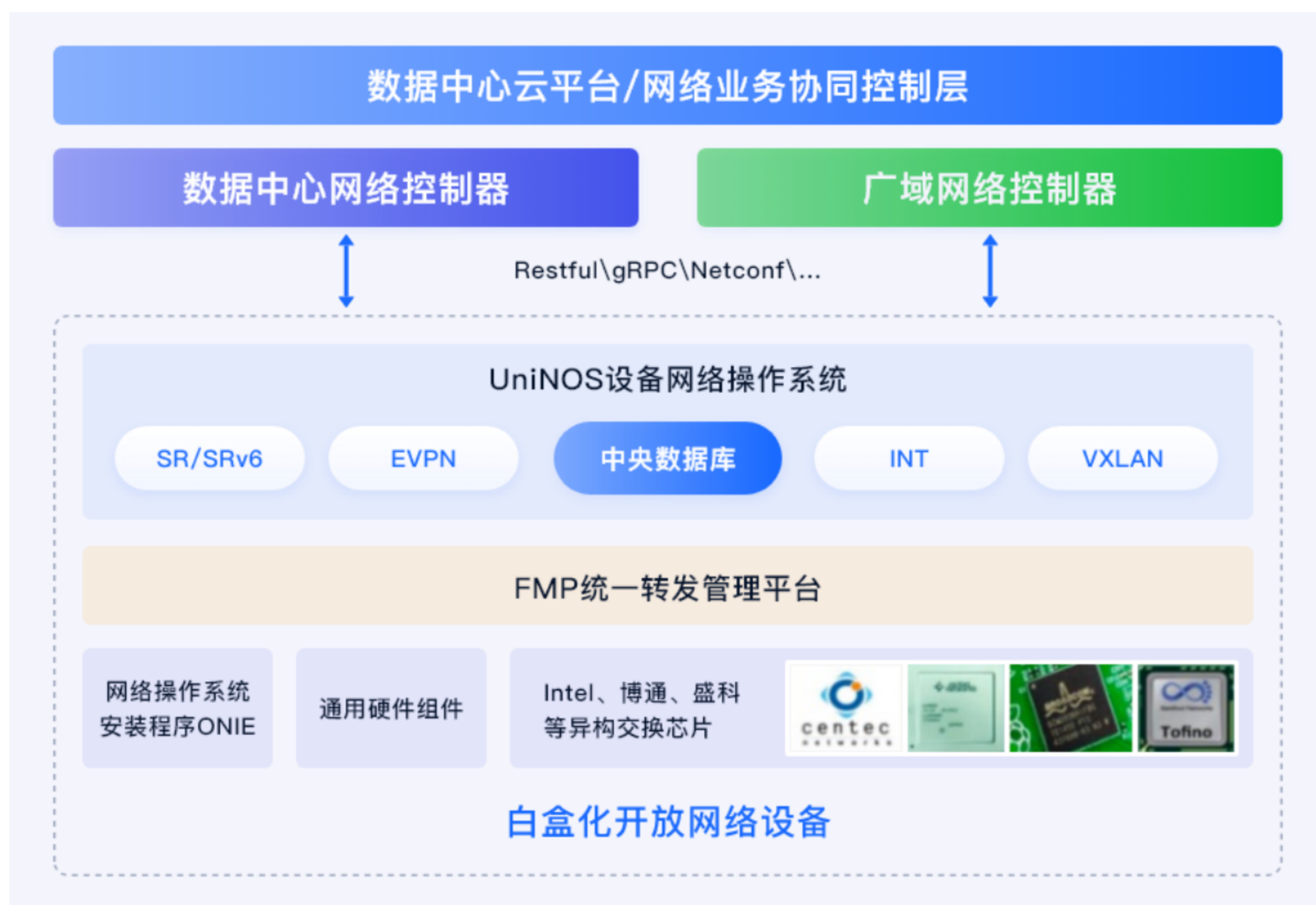
DENT是由Linux基金会主导的开源网络操作系统，专为分布式企业边缘和园区网络场景设计，旨在解决远程站点或分支机构的网络管理挑战。DENT采用轻量级设计，利用Linux内核、SwitchDev和其它Linux开源项目，统一对待所有的底层硬件设备（包括用于网络和数据处理的ASIC和CPU），简化API、驱动、接口等逻辑实体，构建一个标准化的网络操作系统。



与SONiC相比，DENT无需复杂的SAI层，部署更简单且资源消耗更低，特别适合零售、医疗、酒店等需要大量远程节点的场景，而SONiC则更侧重于超大规模数据中心。

# 商用开放网络操作系统——UniNOS

UniNOS 由紫金山实验室研发，是国内首个兼容Broadcom、盛科等异构芯片的白盒化开放网络设备操作系统，能够支撑构建端到端白盒网络，实现全场景的异构网络覆盖。通过结合新型骨干网可编程路由技术、大规模确定性网络技术，UniNOS 可将白盒设备的部署场景拓展至大网级网络，并提供电信级可靠性保证（包括城域网、骨干网、5G 承载网等场景）。



UniNOS 具有骨干级业务调度与感知能力，可通过骨干级 SR 路由机制，实现流量带宽、路径高效调度与控制；使用 INT 等技术，实现高精度网络测量；通过高性能 BFD，实现毫秒级链路状态检测。其特点包括：

- 能实现软件与软件、软件与硬件的解耦；
- 易集成扩展第三方软件；
- 解耦遵循SAI、RestFul等标准化接口；
- 支持 P4、NPL 等芯片编程语言；
- 以数据库为核心构建的容器化架构。



# 开放网络操作系统对比

| NOS     | 目标应用场景              | 硬件抽象接口层   | 主要参与者                                    |
|---------|---------------------|-----------|------------------------------------------|
| SONiC   | 数据中心                | SAI       | 微软、博通、阿里、腾讯等                             |
| DENT    | 园区网、边缘网络、零售商店等      | SwitchDev | 亚马逊、Marvell、NVIDIA<br>(Cumulus、Mellanox) |
| Stratum | 数据中心                | P4Runtime | 谷歌、思科、腾讯、联通等                             |
| UniNOS  | 数据中心、城域网、骨干网、<br>5G | uSAI      | 紫金山实验室、江苏省未来网络创<br>新研究院、北京邮电大学           |



# 4 白盒交换机的应用

# 目标用户画像

| 用户类型           | 核心需求                                         | 典型代表                   | 关注点排序      |
|----------------|----------------------------------------------|------------------------|------------|
| 大型云服务商 / 互联网企业 | 超大规模数据中心弹性扩缩容、AI 训练低延迟通信、成本优化、自定义网络功能（如流量调度） | 谷歌、Meta、微软、阿里、腾讯       | 灵活性>成本>性能  |
| 中小企业 / 成长型企业   | 轻量化网络部署、降低 IT 支出、快速适配业务扩展（如电商促销、在线教育流量波动）    | 中型电商企业、SaaS 公司、区域云服务商  | 成本>易用性>功能  |
| 电信运营商 / 设备商    | 5G/6G 网络切片、边缘计算低延迟支持、多厂商设备互操作（开放生态）          | 华为（部分场景）、中兴、三大运营商、AT&T | 标准化>兼容性>创新 |
| 金融 / 政府 / 制造业  | 高可靠性、安全合规（如等保三级）、混合云架构适配（私有云+公有云互联）          | 银行、政务云、智能工厂            | 安全性>稳定性>成本 |

# 应用场景——运营商网络：开放生态与标准化

## 场景需求

**多业务承载**：同时承载5G核心网、家用带宽、政企专线等业务，需严格SLA保障（时延、抖动）。

**网络切片**：基于SDN/NFV实现切片资源隔离，满足工业互联网、车联网等差异化需求。

## 白盒价值

**软硬件解耦**：白盒设备+开放网络操作系统替代传统黑盒设备，支持敏捷业务上线。

**协议开放**：支持SRv6、FlexE等新型协议，简化多厂商互通复杂性。

**成本优势**：白盒化可显著降低成本。

## 典型案例

**中国电信TeleNOS操作系统**：适配国产化白盒交换机，支持IT上云与智算场景。



# 应用场景——数据中心：高性能计算与降本增效

## 场景需求

**高带宽互联**：需支持400G/800G端口，满足东西向流量激增需求。

**低功耗**：数据中心能耗占运营成本30%以上，需优化PUE（电源使用效率）。

**灵活扩展**：支持模块化部署，适应业务快速增长。

## 白盒价值

**开放架构**：基于OCP标准的白盒硬件，兼容多厂商芯片。

**软件定义**：SONiC操作系统支持VXLAN、ECMP等，实现自动化运维。

**节能降本**：采用硅光技术（如400G DR4模块），降低功耗。

## 典型案例

**谷歌**：采用白盒交换机构建自动化数据中心网络，支持百万级服务器集群互联；

**Meta**：数据中心部署 Wedge 白盒交换机，GPU 间数据传输零丢包，支撑 VR 实时渲染。

# 应用场景——智算网络：高带宽与无损传输

## 场景需求

**超低时延**：AI训练（如万卡GPU集群）需端到端延迟低于1微秒，RDMA（RoCEv2）协议依赖无损网络。

**高带宽**：51.2T交换容量成为标配，支持400G/800G端口，满足模型参数同步的海量数据吞吐。

## 白盒价值

**硬件可编程**：支持硬件可编程，优化AI流量调度（如ECMP动态负载均衡）；

**端到端优化**：自研操作系统与管控平台闭环，实现RDMA网络全链路监控与故障自愈；

**成本控制**：相比InfiniBand方案组网成本大幅降低。

## 典型案例

**阿里云Tigatron交换机**：基于SONiC定制AliNOS，支持液冷散热与确定性延迟保障，适配AI算力网络；

**快手51.2T自研交换机**：采用128 \* 400G端口设计，集成RoCEv2端到端优化方案，支持万卡级大模型训练集群，性能对标IB网络。

# 应用场景——工业场景：高可靠与实时性

## 场景需求

**确定性网络：**TSN（时间敏感网络）保障工业控制时延（ $\leq 100\text{ns}$ ）。

**本地AI推理：**需低时延（ $< 5\text{ms}$ ）响应，如自动驾驶、工业物联网。

**轻量化运维：**边缘节点资源有限，需即插即用部署。

## 白盒价值

**开放架构：**快速集成 TSN、5G 切片等新协议，适配工业级严苛环境（如高温、振动）。

**轻量化设计：**降低边缘节点能耗，支持远程 OTA 升级。

## 典型案例

**星融元**等厂商已经推出了面向边缘计算和工业场景的白盒硬件产品和配套软件。目前有一些试点项目和特定场景的应用，大规模的、标准化的部署仍在探索中。



# 应用场景——企业网络：定制化与灵活性

## 场景需求

**灵活组网**：支持多租户隔离、SD-WAN等场景。

**简化运维**：中小企业需“零配置上线”与云端统一管理。

**安全隔离**：金融、政务等场景要求多层次访问控制与威胁检测。

## 白盒价值

**按需定制**：硬件可搭载防火墙、入侵检测等增值功能模块。

**协议兼容**：支持传统协议（STP、OSPF）与新兴技术（VXLAN、AI-Driven运维）平滑过渡。

**性价比**：大幅降低中小型企业交换机采购成本。

## 典型案例

某大型企业通过部署白盒交换机，结合VLAN隔离、端口认证与集中运维，实现网络流量效率提升50%和安全防护升级。

# 应用案例——谷歌：深度自研与软件驱动

**核心场景：**支撑全球最大规模的搜索引擎、云计算（GCP）和AI训练集群。

**技术路径：**

- B4项目：谷歌在B4网络中采用了OCP的标准白盒交换机硬件。通过白盒交换机构建全球数据中心间的广域网，优化跨地域流量调度，支撑Gmail、谷歌搜索等核心服务。
- Jupiter项目：通过Jupiter项目重新设计数据中心内部网络，支持AI和大规模计算需求。采用白盒交换机构建扁平化的叶脊架构，结合CLOS拓扑消除网络瓶颈，提升横向扩展能力。
- 开源操作系统：谷歌是Stratum的核心发起者和主要贡献者之一，深度参与了 Stratum 的技术架构设计，将其在 SDN 领域的经验融入其中。

**实践成效：**凭借强大的 SDN 流量工程能力，谷歌的 B4 网络实现了接近 100% 的广域网链路利用率；支撑谷歌各项服务的海量用户和数据流量，以及谷歌云业务的快速增长。

# 应用案例——Meta：开源生态与硬件创新

**核心场景：** 社交网络、元宇宙（VR/AR）和AI推荐系统。

**技术路径：**

- OCP开源硬件：主导Open Compute Project（OCP），推出Wedge系列白盒交换机（如Tomahawk-3 ASIC的Wedge 100S），支持400G端口密度和CLOS架构，适配大规模服务器集群。
- 无损网络技术：在AI训练集群中采用RoCEv2协议和PFC（Priority-based Flow Control），结合白盒交换机的可编程队列管理，实现GPU间数据传输零丢包。
- 自研操作系统：开发FBOSS（Facebook Open Source Switching），基于Linux内核深度定制，支持网络功能热升级和硬件解耦。

**实践成效：** 构建和运维了全球最大、增长最快的数据中心网络之一，为其各项业务的爆发式增长提供了坚实可靠的网络基础；软硬件解耦和对FBOSS的自主控制，使得Meta能够根据业务需求快速开发、测试和部署新的网络功能、协议和自动化工具，创新周期大大缩短。



# 应用案例——微软：云网融合与开放生态

**核心场景：** Azure云服务、混合云（Azure Stack）。

**技术路径：**

- SONiC开源贡献：将内部使用的SONiC操作系统开源，推动白盒生态标准化，使得不同的网络功能（如路由、交换协议）可以作为独立的容器运行，提高了系统的稳定性和可维护性。同时，通过 SAI 等接口，SONiC 实现了对不同厂商交换机芯片的广泛支持，目前全球大部分白盒交换机基于SONiC 操作系统。
- 大规模云数据中心网络 (Azure)：在 Azure 的大规模数据中心内部网络中广泛部署白盒交换机，主要作为叶脊架构中的架顶式（ToR）交换机和汇聚层（Aggregation）交换机，负责连接和支持海量的计算、存储资源，并处理云服务所需的高带宽、低延迟通信。

**实践成效：** 支撑全球领先的云平台Azure 的业务规模和流量，提高了网络的可编程性、自动化能力以及降低了对特定供应商的依赖；由微软主导并开源的 SONiC 已经成为数据中心开放网络领域的事实标准之一。

# 应用案例——阿里：全栈自研与技术突破

**核心场景：**阿里云基础设施。

**技术路径：**

- 全栈自研架构：推出51.2T Tigatron白盒交换机，采用自研交换芯片和AliNOS操作系统（基于SONiC深度优化），支持单集群10万卡级AI算力组网；通过HPN 7.0高性能网络架构实现5微秒超低时延，支持两层万卡、三层十万卡组网需求。
- 智能运维：通过AliBMC（自研BMC系统）实现硬件部件级监控，结合链路自动诊断系统「明眸」，百万级链路故障定位时间从小时级缩短至秒级。
- 可预期网络：可预期网络的核心是通过端和网的协同与融合保证网络的带宽和延迟，通过自研白盒交换机的自主可控实现端侧和网侧的透明。

**实践成效：**51.2T交换机支持128个400G端口或64个800G端口，满足AI算力集群需求；HPN 7.0架构下，Redis吞吐量提升130%，支持单服务器高密部署2000个容器；自研硬件降低数据中心TCO 30%-50%。



# 应用案例——腾讯：场景化创新与全球化布局

**核心场景：**适用于AI大模型的星脉网络。

**技术路径：**

- 软硬件解耦：腾讯星脉网络自研白盒交换机，采用“白盒硬件+自研NOS”模式，通过四层解耦体系（接入、转发、路由、管控系统）实现灵活定制与开放生态兼容。硬件方面严格把控设计流程，与ODM厂商联合开发标准化驱动接口。
- 自研网络操作系统与协议栈：基于开源SONiC深度定制开发TCSOS（Tencent Cloud Switch Operating System），强化对AI大模型分布式训练场景的支持，并构建自研网络协议TiTa，通过动态拥塞控制实现高负载下的0丢包，通信效率提升40%。同时开发高性能集合通信库TCCL，优化节点间数据传输时延，降低AI集群通信延迟40%。

**实践成效：**星脉网络实现了AI大模型通信性能的10倍提升，GPU利用率40%提升，通信时延降低40%，支持10万级GPU集群组网。基于全自研网络硬件平台网络建设成本降低30%，模型训练成本节省30%~60%。



# 应用案例——紫金山实验室：硬件开源化与软件自主化



**核心场景：**支撑“东数西算”国家级算力网络、工业互联网高质量外网、5G 确定性网络及智能交通等战略场景，构建全球首个光电融合算网基础设施，覆盖全国 40+ 城市。

## 技术路径：

- 国产白盒硬件生态构建：自研白盒交换机，兼容 Broadcom 等异构芯片，支持多厂商硬件解耦，降低 50%+ 部署成本；采用盒式设备（单台容量超 1Tbps），支持 MPLS/BGP 协议，满足算网汇聚层高可靠需求。
- P4 可编程与确定性网络创新：联合英特尔开发 G-SRv6 项目，基于 P4 语言实现工业互联网流量智能调度，时延抖动  $\leq 5\mu s$ 。
- 开源融合与自研系统适配：基于 SONiC 操作系统打造 UniNOS，结合自研 SDN 控制器，实现“东数西算”跨域故障秒级自愈（<1 秒）。

**实践成效：**硬件成本降低 60%，支撑“东数西算”工程实现跨域算力“一跳入算”，算力资源利用率从 30% 提升至 70%。

5

# 挑战与未来

白盒交换机的核心挑战源于开放架构与产业生态成熟度的阶段性矛盾。

- 在**技术层面**，面临异构硬件适配复杂度高和硬件加速/软件可编程性能协同瓶颈的双重矛盾；
- 在**运维层面**，存在多技术栈整合复杂度高和混合架构统一管理壁垒的实操挑战；
- 在**生态与安全层面**，面临开放架构安全风险攀升和多厂商协同支持体系薄弱的治理难题；
- 在**市场与应用层面**，存在场景渗透广度有限和传统品牌交换机竞争的拓展瓶颈。



# 核心挑战：技术层面

## 面临挑战：兼容性与性能平衡难题



## 解决方案：软硬协同与生态协作

- **多厂商硬件 / 软件适配成本高：**不同芯片（如 Broadcom、Marvell）的 SAI 接口存在差异，需额外开发适配层；多品牌硬件与软件（如 SONiC、Cumulus Linux）的兼容性测试复杂，集成效率低。
- **硬件加速与软件可编程的性能平衡难题：**传统专用交换机通过硬件 ASIC 硬编码实现高速转发，而白盒交换机若依赖软件实现可编程逻辑，在高速率场景（如 400G 端口）中会面临转发延迟增加、吞吐量波动等问题。

- **构建开源协作生态：**依托 SONiC、ONL 等社区，共享多厂商兼容性测试报告，减少重复开发；推动 OCP 硬件标准普及，促进硬件厂商“即插即用”。
- **软硬协同设计：**硬件层通过可编程 ASIC 与智能卸载保留灵活性，软件层利用用户态加速与算法优化减少开销，架构层采用混合流水线与标准化接口实现性能兜底。

# 核心挑战：运维层面

## 面临挑战：技术整合与管理复杂度



## 解决方案：加大人力投入与智能运维

- **技术整合复杂度：**硬件白盒化需要用户自行组合硬件与软件（如开源操作系统、驱动），不同组件的兼容性调试耗时，且跨领域技术栈（硬件驱动、协议栈、软件API）整合难度高。
- **混合架构管理难题：**企业往往混合部署白盒与传统交换机，导致监控工具不统一、故障定位流程复杂，运维效率下降；依赖多厂商硬件模块可能导致供应链不稳定，硬件停产或版本迭代时需频繁调整软件适配。

- **加大运维投入：**建立标准化集成框架，预定义硬件与软件的适配规范；投资跨领域技术团队（硬件工程师+软件开发），或与第三方服务商合作提供一站式集成支持。
- **AIOps 智能运维：**引入 AI 故障预测（如阿里“鹰眼”系统），通过机器学习分析 Telemetry 数据，提前识别硬件老化、配置冲突等风险，将故障处理从“被动响应”转为“主动预防”。



# 核心挑战：生态与安全层面

## 面临挑战：信任与风险并存

- **安全管理压力大：**开源软件漏洞响应依赖社区，自定义配置可能引入安全盲区（如未授权访问、数据泄露）；硬件通用化导致攻击面扩大。
- **厂商支持体系薄弱：**白盒方案多依赖第三方集成，缺乏传统厂商的一站式技术支持，故障处理周期长，企业对服务质量存疑。

## 解决方案：体系化防护与服务增强

- **端到端安全加固：**硬件层：集成 TPM 安全芯片，实现设备身份认证与固件签名校验；软件层：通过容器化隔离（如 Kubernetes 部署 NOS）、漏洞扫描工具定期检测开源组件风险；管理层：部署零信任网络（ZTNA），基于 RBAC 权限控制 API 访问，日志全链路审计。
- **构建分级支持体系：**头部厂商提供“硬件 + 软件 + 服务”一体化方案，中小厂商通过社区技术论坛、远程诊断工具提升响应效率，降低企业后顾之忧。



# 核心挑战：市场与应用层面

## 面临挑战：场景局限与生态成熟度

- **应用场景较窄**：当前主要集中于大型数据中心，在城域网、广域网及中小企业场景渗透不足，难以发挥规模效应。
- **传统品牌壁垒高**：传统品牌交换机厂商占据主流市场，企业对“非定制化”白盒设备的稳定性、长期兼容性存顾虑。



## 解决方案：场景深耕与生态融合

- **细分场景定制化**：针对中小企业推出“轻量白盒解决方案”（如预集成 SONiC 系统 + 图形化管理界面），降低部署门槛；在 5G MEC、智能工厂等边缘场景，联合设备商开发低功耗白盒交换机，适配工业级环境。
- **混合架构过渡方案**：提供“传统 - 白盒统一管理平台”（如支持 CLI/API 双模式），允许企业渐进式替换旧设备，逐步释放白盒灵活性优势。

## 白盒交换机正从数据中心走向全场景，引领网络基础设施开放化变革。

- **市场规模快速扩张：**根据QYR（QYResearch）的统计，2023年全球白盒交换机市场销售额达到了26.09亿美元，预计2030年将达到66.34亿美元；网络操作系统（NOS）作为关键配套软件，预计2031年市场规模达 20.7亿美元。
- **技术升级驱动革新：**硬件迈向 800G/1.6T 超高速端口，Broadcom等厂商的芯片带宽从25.6T向51.2T、102.4T演进；软件层面，SDN 与 AIOps 深度融合，通过容器化部署实现功能秒级迭代，AI 驱动运维提升故障处理效率。
- **应用场景持续拓展：**AI与网络智能化深度融合，白盒交换机将结合AI/ML技术，实现智能流量调度、故障预测和自动化运维；在边缘计算、5G/6G 及工业互联网中，低延迟与高可靠性优势凸显。
- **开源生态日趋成熟：**开源项目（如SONiC、ONOS）的成熟降低了白盒交换机的开发门槛，形成“硬件标准化+软件开源化”的产业协同模式。未来，开源社区与芯片厂商的合作将持续深化，推动白盒交换机在异构网络中的兼容性提升。



# 版权声明

## 一、内容版权说明

文字内容：本 PPT 所有文字内容均基于公开渠道信息整理汇编，包括但不限于行业报告、学术论文、厂商白皮书、开源社区文档（如 ONF/ONOS、OCP、SONiC 等官方资料）及公开新闻资讯，版权归原作者或发布机构所有。图片与素材：所有图片、示意图、表格等素材均来源于公开网络资源（如各类无版权图库，或企业官网、行业分析报告的公开配图），仅用于科普交流，无商业用途。

## 二、知识产权声明

本 PPT 内容为知识整理与二次创作成果，不涉及对任何企业、机构或个人的商业信息、技术专利的侵权。若部分内容无意中侵犯了您的知识产权，请通过以下联系方式告知，我们将立即删除或补充版权说明。

## 三、免责条款

本 PPT 仅用于技术交流、学习分享，禁止用于商业用途或盈利性传播。内容力求准确，但不保证完全无误，对因使用本 PPT 内容引发的任何直接或间接损失，不承担法律责任。图片与数据仅供参考，具体以官方最新发布信息为准。

## 四、联系方式

如有任何问题，请联系微信：sdnlabjiang\_s。



谢谢  
T h a n k s