

OpenFlow

OpenFlow

- Su origen en proyectos de investigación en la Universidad de Stanford
- En 2011 se funda el consorcio ONF
 - Open Networking Foundation
 - <https://www.opennetworking.org>
 - Más de 140 empresas (fabricantes, operadoras, ISPs, startups, etc)
- OpenFlow es un protocolo “southbound”
- No hace “nada” sin una aplicación que lo emplee



OPEN NETWORKING
 FOUNDATION



Martin Casado

Member Listing

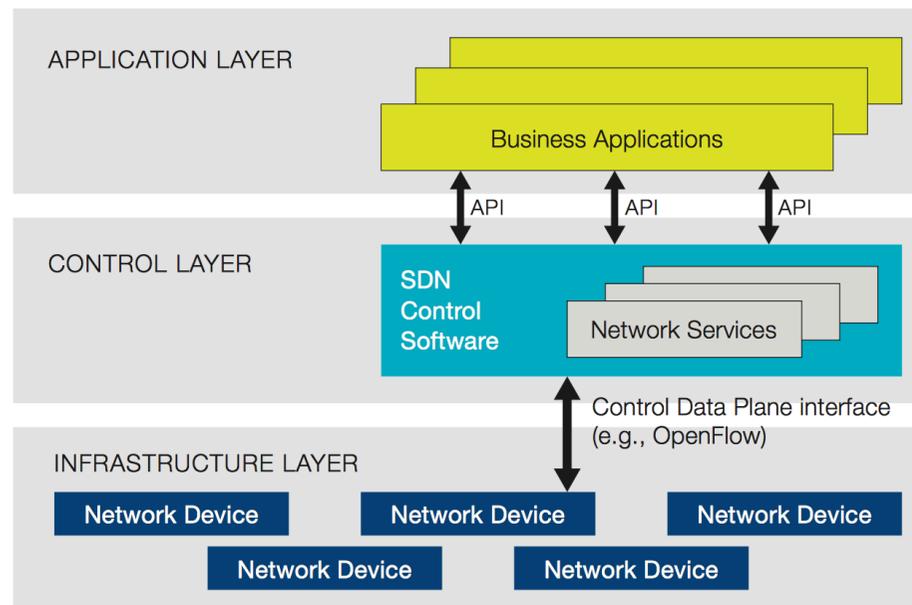


STARTUP MEMBER



ONF y SDN

- “The aim of SDN is to provide open interfaces that enable the development of software that can control the connectivity provided by a set of network resources and the flow of network traffic through them, along with possible inspection and modification of traffic that may be performed in the network.”
- “In the SDN architecture, the control and data planes are decoupled, network intelligence and state are logically centralized, and the underlying network infrastructure is abstracted from the applications. “



OpenFlow

- Dos tipos de conmutadores:
 - *OpenFlow-only*: solo soportan el modo de funcionamiento OpenFlow
 - *OpenFlow-hybrid*: también soportan funcionamiento “normal” (conmutación L2, conmutación L3, VLANs, ACLs, etc)
 - Los híbridos deberán tener alguna forma de clasificar si los paquetes pasan por procesado “normal” u OpenFlow

Ejemplo: HP 2920-24G

Key Features

- High-performance Gigabit Ethernet access switch
- Four optional 10GbE (SFP+ and/or 10GBASE-T) ports
- Stacking capability with a total of four switches
- L2 and L3 plus static and RIP routing, PoE, and PoE+ support
- Limited Lifetime Warranty 2.0, sFlow, ACLs, OpenFlow, and rate limiting



Product overview

The HP 2920 Switch Series consists of five switches: the 2920-24G and 2920-24G-PoE+ switches with 24 10/100/1000 ports and the 2920-48G, 2920-48G-PoE+, and 2920-48G 740W PoE+ switches with 48 10/100/1000 ports. Each switch has four dual-personality ports for 10/100/1000 or SFP connectivity.

In addition, the 2920 Switch Series supports up to four optional 10 Gigabit Ethernet (SFP+ and/ or 10GBASE-T) ports, as well as a two-port stacking module. These options provide you with flexible and easy-to-deploy uplinks and stacking.

Together with static and routing-information-protocol (RIP) routing, robust security and management, enterprise-class features, Limited Lifetime Warranty 2.0, and software updates included, the 2920 Switch Series is a comprehensive, cost-effective, and scalable solution for building high-performance networks. These switches can be deployed at the enterprise edge, in remote branch offices, and in converged networks.

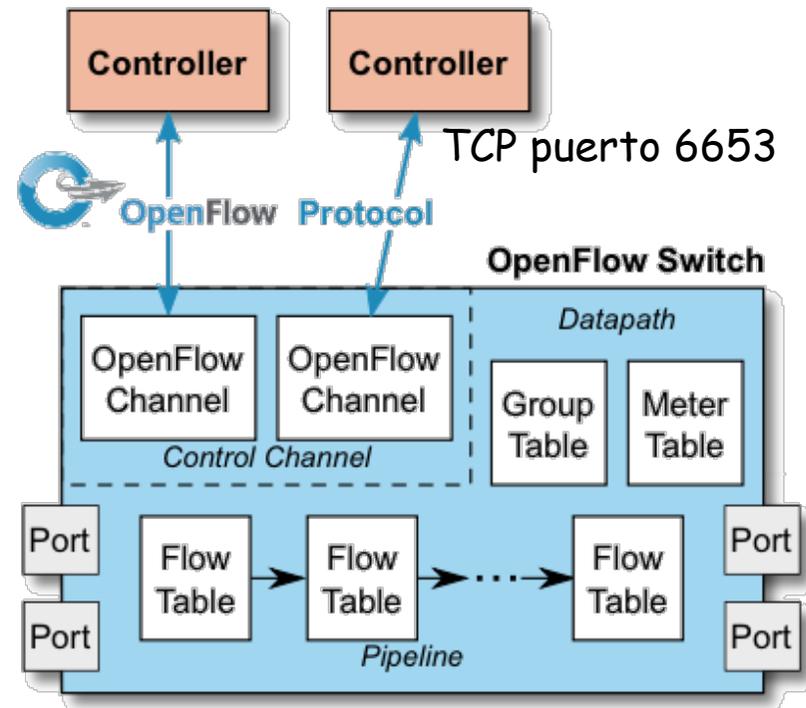
Features and Benefits

Software-defined networking

- **OpenFlow**
supports OpenFlow 1.0 and 1.3 specifications to enable SDN by allowing separation of the data (packet forwarding) and control (routing decision) paths

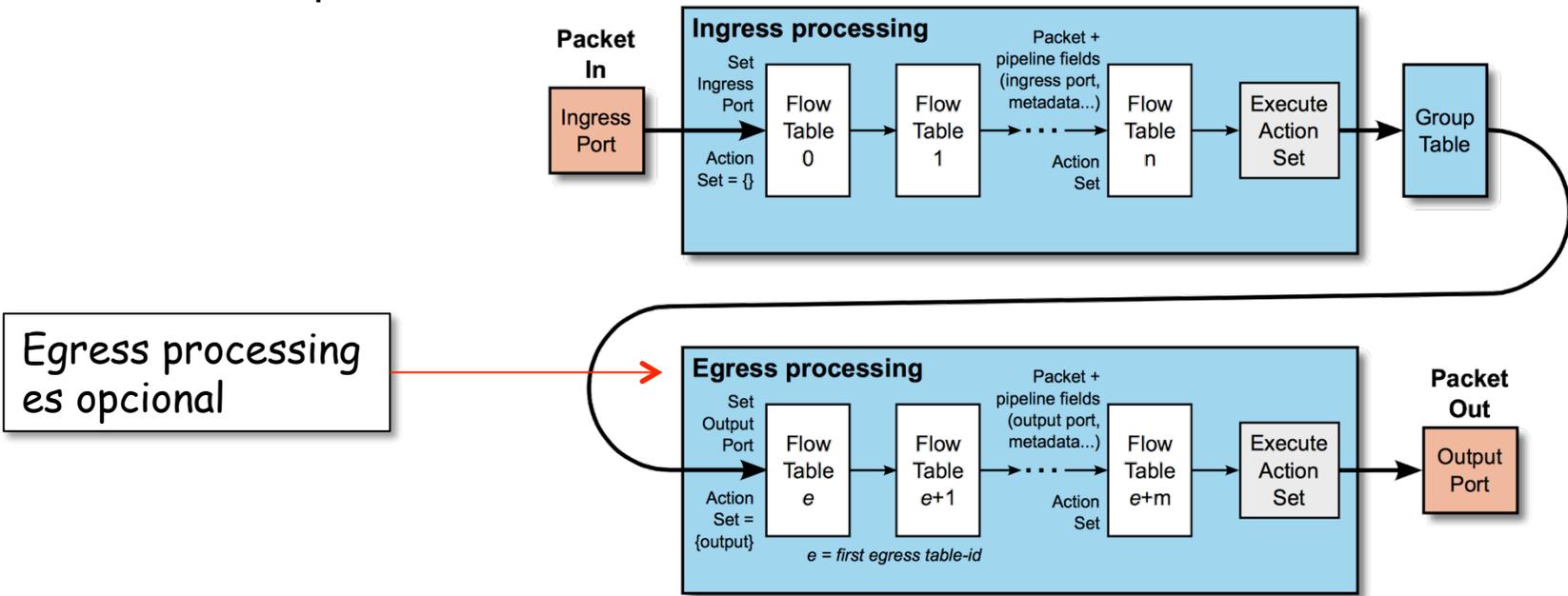
Flow Tables

- Contienen la información sobre los campos a comprobar (*match fields*) en los paquetes y qué hacer con ellos
- El controlador puede añadir, modificar y borrar entradas empleando OF
- Las “acciones” son las operaciones en caso de que el paquete verifique la entrada en la tabla
- Puede reenviar el paquete, mandárselo al controlador, pasarlo a otra tabla, actualizar contadores, etc



OpenFlow pipeline

- Debe tener al menos una tabla aunque pueden ser más (desde 1.1, permite procesado de etiquetas MPLS)
- Hay procesado a la entrada del paquete (al menos una tabla)
- Si se decide reenviarlo pasa por tablas de salida (desde 1.5)
- Las tablas se comprueban en orden
- Si el paquete verifica una regla se ejecuta la acción que indique
- Si no verifica ninguna es un *“table miss”* y hay una acción por defecto en la tabla para este caso



Acciones

- Incluimos aquí la acción por defecto para el caso de “*table miss*”
- La acción puede ser pasar a otra tabla posterior (no anterior)
- Puede ser hacer inundación
- O reenviar por un puerto en concreto
- O puede ser reenviar el paquete al controlador (dentro de un mensaje OF)
- O pasar el paquete a un reenvío tradicional si es un conmutador híbrido
- O modificar campos de cabeceras del paquete (una modificación afecta a las comprobaciones en egress tables)
- etc

Entradas en las tablas

- Prioridad:
 - Pueden verificarse varias entradas de la tabla
 - En ese caso se selecciona solo la de mayor prioridad
- (...)

Match Fields	Priority	Counters	Instructions	Timeouts	Cookie	Flags

Entradas en las tablas

- Contadores:
 - Se actualizan cuando la entrada es seleccionada
- (...)

Counter	Bits	
Per Flow Table		
Reference Count (active entries)	32	<i>Required</i>
Packet Lookups	64	<i>Optional</i>
Packet Matches	64	<i>Optional</i>
Per Flow Entry		
Received Packets	64	<i>Optional</i>
Received Bytes	64	<i>Optional</i>
Duration (seconds)	32	<i>Required</i>
Duration (nanoseconds)	32	<i>Optional</i>
Per Port		
Received Packets	64	<i>Required</i>
Transmitted Packets	64	<i>Required</i>
Received Bytes	64	<i>Optional</i>
Transmitted Bytes	64	<i>Optional</i>
Receive Drops	64	<i>Optional</i>
Transmit Drops	64	<i>Optional</i>
Receive Errors	64	<i>Optional</i>
Transmit Errors	64	<i>Optional</i>
Receive Frame Alignment Errors	64	<i>Optional</i>
Receive Overrun Errors	64	<i>Optional</i>
Receive CRC Errors	64	<i>Optional</i>
Collisions	64	<i>Optional</i>
Duration (seconds)	32	<i>Required</i>
Duration (nanoseconds)	32	<i>Optional</i>

Per Queue		
Transmit Packets	64	<i>Required</i>
Transmit Bytes	64	<i>Optional</i>
Transmit Overrun Errors	64	<i>Optional</i>
Duration (seconds)	32	<i>Required</i>
Duration (nanoseconds)	32	<i>Optional</i>
Per Group		
Reference Count (flow entries)	32	<i>Optional</i>
Packet Count	64	<i>Optional</i>
Byte Count	64	<i>Optional</i>
Duration (seconds)	32	<i>Required</i>
Duration (nanoseconds)	32	<i>Optional</i>
Per Group Bucket		
Packet Count	64	<i>Optional</i>
Byte Count	64	<i>Optional</i>
Per Meter		
Flow Count	32	<i>Optional</i>
Input Packet Count	64	<i>Optional</i>
Input Byte Count	64	<i>Optional</i>
Duration (seconds)	32	<i>Required</i>
Duration (nanoseconds)	32	<i>Optional</i>
Per Meter Band		
In Band Packet Count	64	<i>Optional</i>
In Band Byte Count	64	<i>Optional</i>

Entradas en las tablas

- *Instructions:*
 - Cambio al paquete, acciones, etc, cuando se selecciona la entrada
 - Las hay de implementación requerida y opcional
 - Ejemplos:
 - Enviar a un puerto de salida, descartar, asignar cola en el puerto out
 - Añadir/retirar etiquetas (MPLS, VLAN, PBB)
 - Modificar valor de un campo de cabecera
- (...)

Match Fields	Priority	Counters	Instructions	Timeouts	Cookie	Flags

Entradas en las tablas

- *Timeouts:*
 - Máximo tiempo inactiva antes de expirar
- (...)

Match Fields	Priority	Counters	Instructions	Timeouts	Cookie	Flags

Entradas en las tablas

- *Cookie*:
 - Ahí el controlador puede guardar un valor
 - El switch no lo emplea para nada
- (...)

Match Fields	Priority	Counters	Instructions	Timeouts	<i>Cookie</i>	Flags

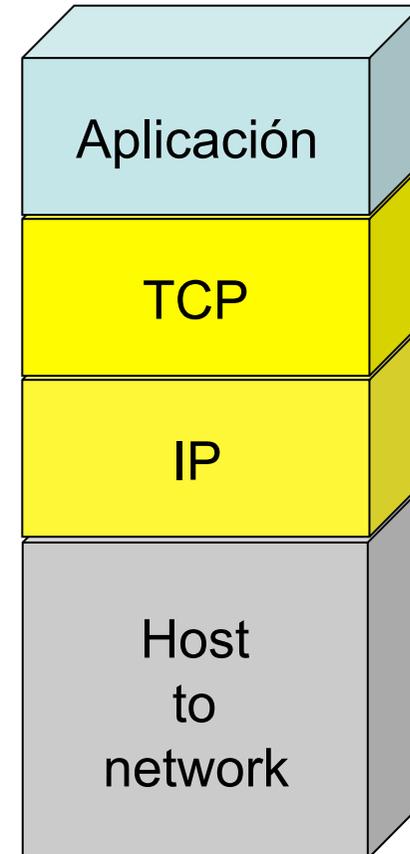
Entradas en las tablas

- *Flags:*
 - Diferentes opciones
 - Ejemplo:
 - Que envíe un mensaje al controlador al eliminarse o expirar una entrada
 - Que no lleve contadores de bytes o de paquetes

Match Fields	Priority	Counters	Instructions	Timeouts	Cookie	Flags

El protocolo

- TCP (puerto 6653), opcionalmente empleando TLS
- Hay mensajes:
 - De controlador a conmutador (...)
 - Asíncronos (desde el conmutador)
 - Simétricos



El protocolo

- TCP (puerto 6653), opcionalmente empleando TLS
- Hay mensajes:
 - De controlador a conmutador
 - Petición de capacidades
 - Establecer o preguntar por configuración o estado
 - Entregarle un paquete para enviar por un puerto
 - Asíncronos (desde el conmutador) (...)
 - Simétricos



El protocolo

- TCP (puerto 6653), opcionalmente empleando TLS
- Hay mensajes:
 - De controlador a conmutador
 - Asíncronos (desde el conmutador)
 - Envío al controlador de un paquete recibido
 - Notificación de entrada en tabla eliminada
 - Notificación de cambio de estado de un puerto
 - Simétricos (...)



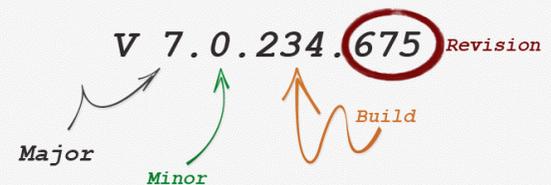
El protocolo

- TCP (puerto 6653), opcionalmente empleando TLS
- Hay mensajes:
 - De controlador a conmutador
 - Asíncronos (desde el conmutador)
 - Simétricos
 - Hello, al establecer la conexión
 - Echo, para comprobar que el otro extremo está vivo y tal vez para medir latencia o bw
 - Error



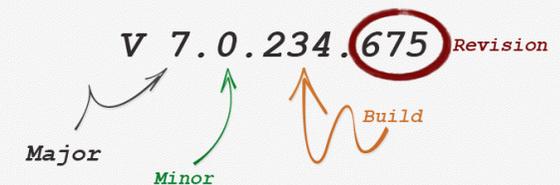
Versiones

- <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/technical-library>
- Versión 1.5.1 Abril de 2015
- Probablemente OF 1.0 sea lo más implementado en hardware
- Las siguientes versiones han ido introduciendo mejoras, más flexibilidad, pero también haciéndolo más complejo
- OF 1.1
 - Múltiples tablas
 - Soporte de acciones para MPLS (soporta multi-etiqueta)
 - Acciones sobre el TTL
 - Soporte de VLANs en QinQ
 - Soporte para agrupar puertos de cara a acciones
- (...)



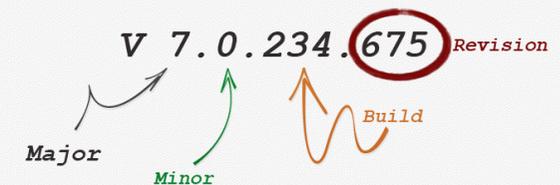
Versiones

- <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/technical-library>
- Versión 1.5.1 Abril de 2015
- Probablemente OF 1.0 sea lo más implementado en hardware
- Las siguientes versiones han ido introduciendo mejoras, más flexibilidad, pero también haciéndolo más complejo
- OF 1.1
- OF 1.2
 - Soporte de campos de IPv6, ICMPv6, ND
 - Mejora la extensibilidad de las reglas de *match*
- (...)



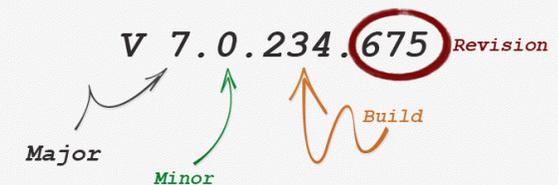
Versiones

- <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/technical-library>
- Versión 1.5.1 Abril de 2015
- Probablemente OF 1.0 sea lo más implementado en hardware
- Las siguientes versiones han ido introduciendo mejoras, más flexibilidad, pero también haciéndolo más complejo
- OF 1.1
- OF 1.2
- OF 1.3.x
 - *Meters* por flujo (limitadores para QoS)
 - Soporte de PBB
- (...)



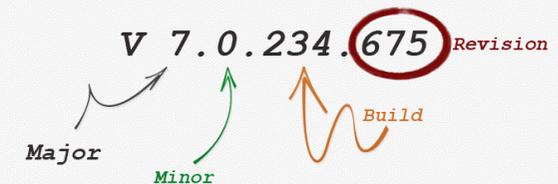
Versiones

- <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/technical-library>
- Versión 1.5.1 Abril de 2015
- Probablemente OF 1.0 sea lo más implementado en hardware
- Las siguientes versiones han ido introduciendo mejoras, más flexibilidad, pero también haciéndolo más complejo
- OF 1.1
- OF 1.2
- OF 1.3.x
- OF 1.4
 - Mayor extensibilidad
 - Soporte de puertos ópticos (frecuencias, potencia, etc)
- (...)



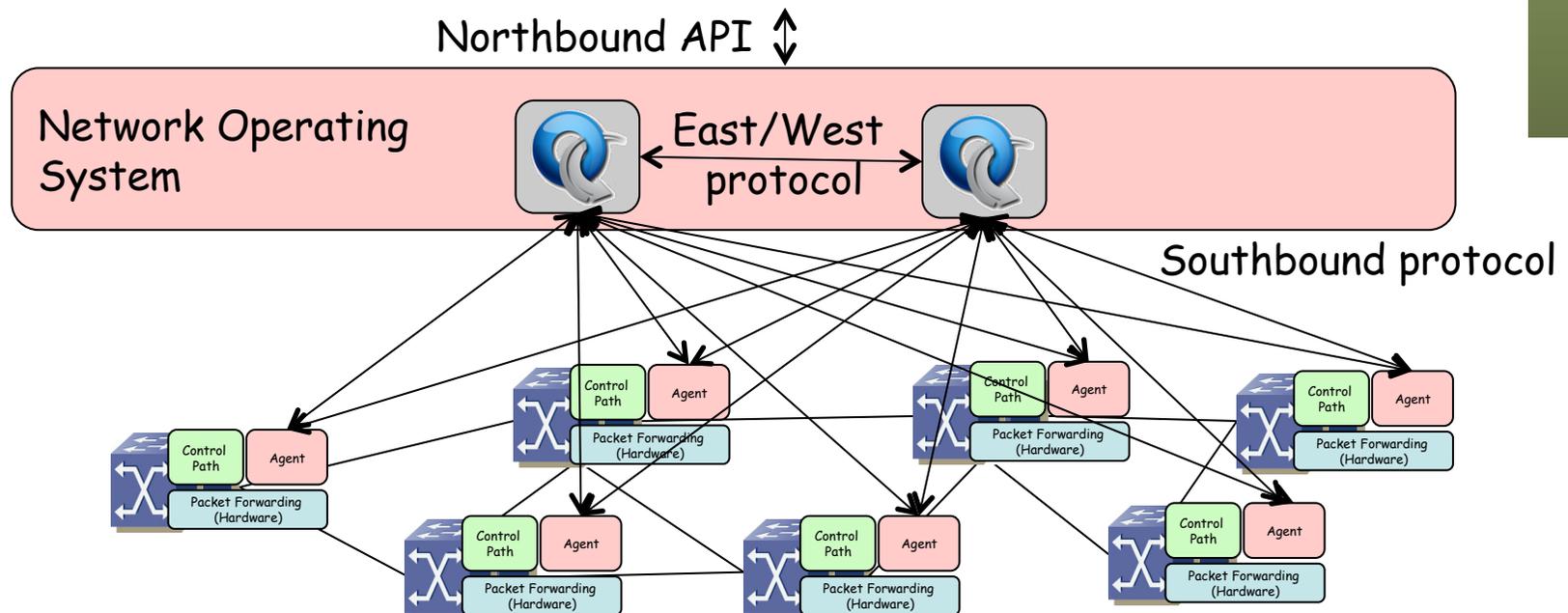
Versiones

- <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/technical-library>
- Versión 1.5.1 Abril de 2015
- Probablemente OF 1.0 sea lo más implementado en hardware
- Las siguientes versiones han ido introduciendo mejoras, más flexibilidad, pero también haciéndolo más complejo
- OF 1.1
- OF 1.2
- OF 1.3.x
- OF 1.4
- OF 1.5
 - *Egress tables*
 - Soporte para más que Ethernet
 - Flags TCP



APIs

- OpenFlow es un *Southbound API*
- El ONF asocia OpenFlow a SDN pero una SDN no necesita emplear necesariamente OpenFlow
- Podríamos considerar OF a día de hoy el API south estándar
- No hay *Northbound API* estandarizada, ni *de facto*
- No hay *East/West API* estandarizada



Controladores

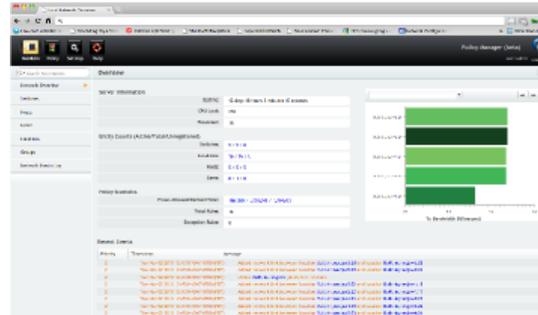


- NOX
 - <http://www.noxrepo.org>
 - Desarrollado por Nicira, cedido el código en 2008
 - Ofrece un API C++ para OF 1.0
 - Muchos otros heredan de su código
 - Incluye componentes de ejemplo para descubrir la topología, implementar un puente transparente y un switch distribuido
 - Open Source
- POX
 - Hereda de NOX
 - Permite el desarrollo en Python
 - Open Source
- Beacon
 - <https://openflow.stanford.edu/display/Beacon/Home>
 - Java (desarrollo con eclipse)
 - Open Source

Controladores

- SNAC

- <http://www.openflowhub.org/display/Snac/SNAC+Home>
- Incluye GUI web
- Incluye un lenguaje de definición de políticas
- Open Source

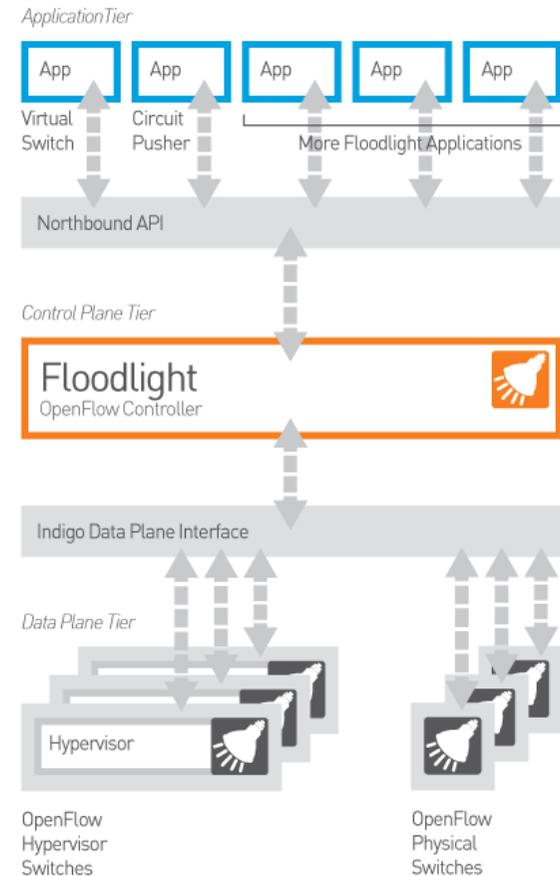


- FloodLight

- <http://www.projectfloodlight.org/floodlight/>
- Basado en Java (basado en Beacon)
- Apoyado por Big Switch Networks
- Lo emplean para construir su controlador
- Open Source



Guido Appenzeller



VMware

- Controlador propietario
- vCenter Server controla los VDS (Virtual Distributed Switches)
- Otros componentes: vSphere, vCloud Director, vCloud Networking and Security, vCloud Automation Center, vCenter Site Recovery Manager, vCenter Operations Management Suite, vFabric Application Director for Provisioning
- Máximos vSphere 6.0:
 - 1024 VMs por host
 - 10 vNICs por VM
 - 1000 hosts por VDS
 - 1016 puertos de VDS activos por host
 - 60.000 puertos por VDS
 - 1000 hosts, 10.000 VMs en funcionamiento y 128 VDS por vCenter
 - 65.536 direcciones MAC por vCenter
 - 4/8 operaciones vMotion simultáneas por host por NIC 1/10Gbps
 - 16 VDS por host
 - etc



Nicira

- Fundada en 2007
- Miembro fundador del ONF
- En 2011 empieza a distribuir su NVP (*Network Virtualization Platform*)
- Es un controlador para OVS (Open vSwitch)
- No emplea solo OF sino OVSDb (Open vSwitch DataBase Management Protocol)
- Adquirida en 2013 por VMware (por unos 1260 millones de \$)



Martin Casado



Otro software

- Frameworks
 - Onix, Trema, Maestro, Ryu
 - Indigo (para añadir OF a switches)
- FlowVisor:
 - <https://github.com/OPENNETWORKINGLAB/flowvisor/wiki>
 - Actúa como un proxy entre los switches y los controladores OF
 - Permite repartir recursos de la red entre varios controladores
- ONOS
 - <http://onosproject.org/>
 - Open Network Operating System
- Avior, Oflops, Cbench, Twister, FortNOX, LINC, Pantou, Of13softswitch, Cisco OnePK, Plexxi, etc etc etc
- ¡Se abrió la veda al software!



NFV

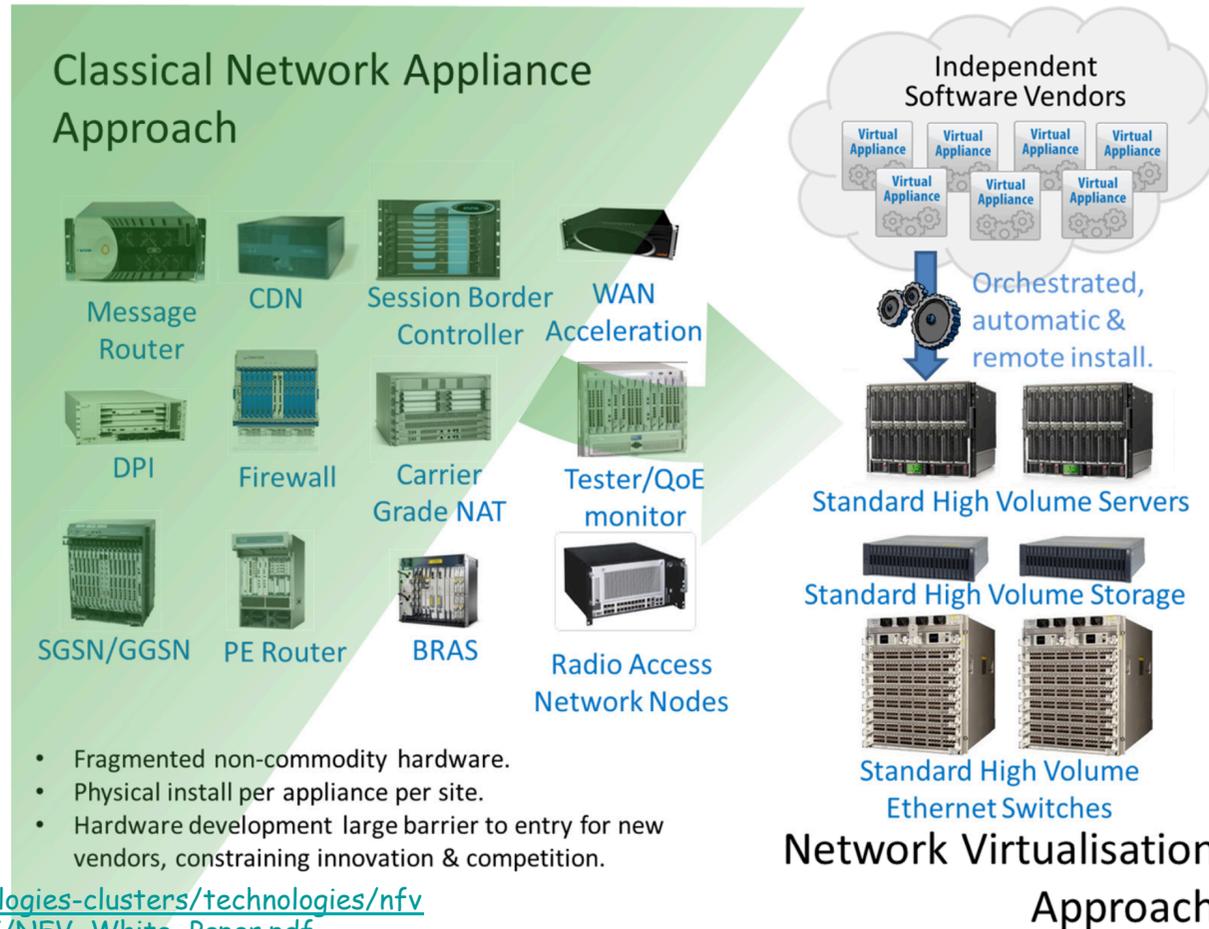
El problema

- Problema de las operadoras
- Gran cantidad de *appliances*
- Desplegar un nuevo servicio requiere espacio y alimentación para ese nuevo hardware
- Nuevas habilidades de la gente para diseñar, integrar y operar el servicio con ese nuevo hardware
- Ese hardware alcanza su límite de vida con rapidez, lo cual requiere políticas de remplazo que no crean nuevo beneficio
- Los operadores declaran no estar incrementando sus beneficios pero aumentan sus costes (más tráfico, más servicios)



NFV

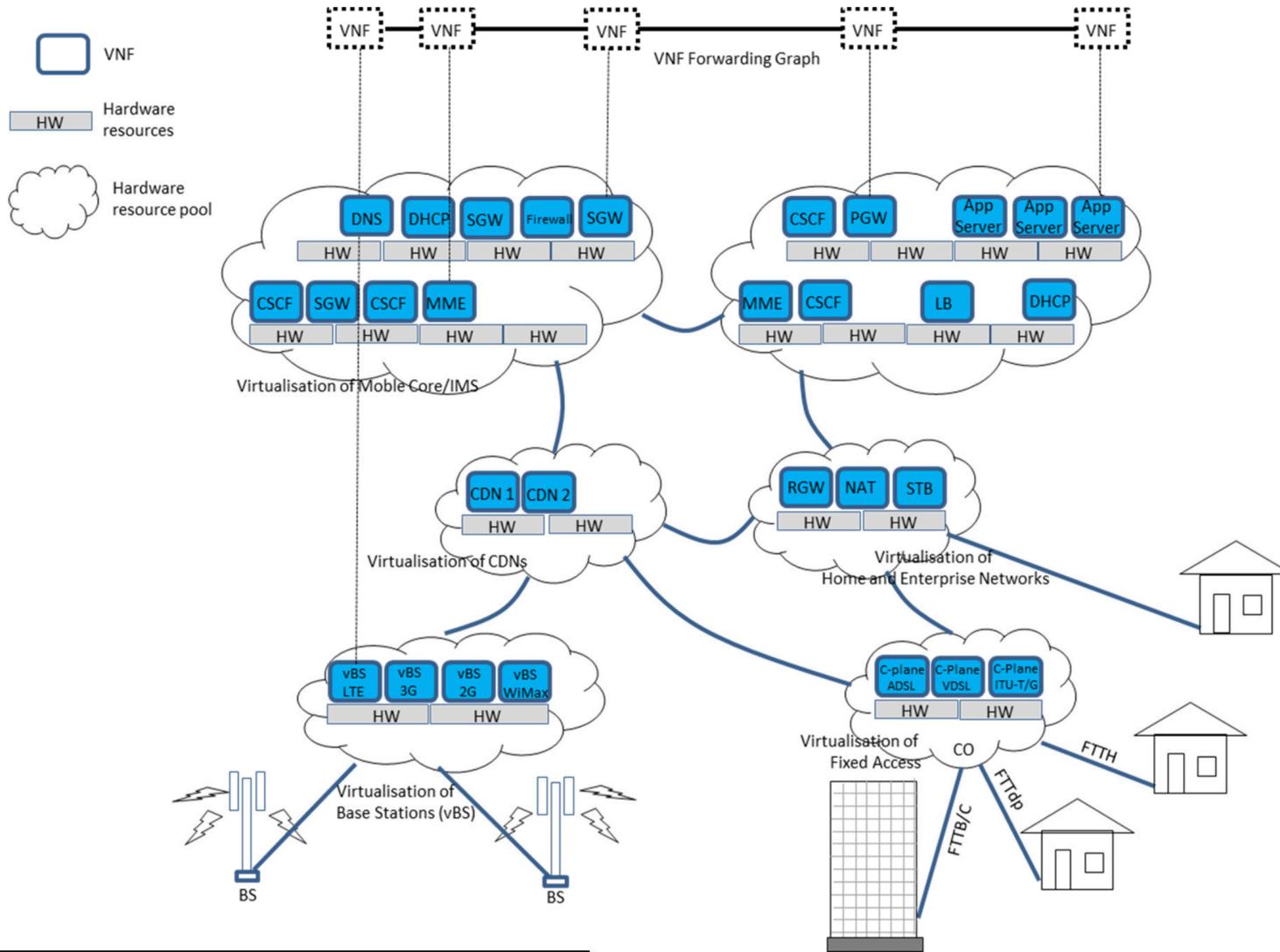
- *Network Functions Virtualisation* (complementario a SDN)
- Se busca mover de hardware dedicado a máquinas virtuales
- Un ISG (*Industry Specification Group*) de ETSI desde finales de 2012
- Hoy más de 200 compañías



Use cases

- Switching elements: BNG, CG-NAT, routers.
- Mobile network nodes: HLR/HSS, MME, SGSN, GGSN/PDN-GW, RNC, Node B, eNode B.
- Functions contained in home routers and set top boxes to create virtualised home environments.
- Tunnelling gateway elements: IPSec/SSL VPN gateways.
- Traffic analysis: DPI, QoE measurement.
- Service Assurance, SLA monitoring, Test and Diagnostics.
- NGN signalling: SBCs, IMS.
- Converged and network-wide functions: AAA servers, policy control and charging platforms.
- Application-level optimisation: CDNs, Cache Servers, Load Balancers, Application Accelerators.
- Security functions: Firewalls, virus scanners, intrusion detection systems, spam protection.

Ejemplos



VNF = Virtualised Network Function

Algunos beneficios

- Reducción de coste de equipos
- Reducción de consumo eléctrico
- Reducción de tiempo de despliegue de un nuevo servicio
- Posibilidad de tener servicios en producción, prueba y desarrollo en la misma infraestructura
- Escalado rápido del servicio
- Abre el mercado a desarrolladores de soft (no necesitan desarrollar hardware)
- Multi-tenancy
- Mejores habilidades existentes para la gestión de infraestructura IT de gran escala que de equipos de red
- Reducción de tiempos de reparación
- Reducción de tiempos de actualización de software
- Etc etc



Facilitadores

- *Cloud Computing*

- Virtualización (hypervisores, vSwitch, smart NICs)
- *Orchestration*
- Open APIs



- Grandes volúmenes de servidores

- Componentes estándar (por ejemplo x86), vendidos por millones (escala) e intercambiables (competencia)
- En lugar de *appliances* que dependen de ASICs



Ejemplo: B4N CG-NAT

B4N CG-NAT SPECIFICATIONS

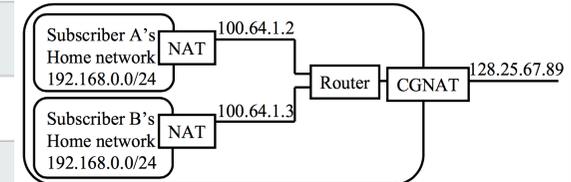
WHAT IS B4N CG-NAT?

B4N CG-NAT is an NFV-based solution designed to provide high performance and transparent address and protocol translation. B4N CG-NAT helps Service Providers to mitigate IPv4 address exhaustion by using address and port translation in large scale and provides native integration within existent operators' infrastructure.

B4N CG-NAT is a fully virtualized and SDN ready solution that utilizes commodity x86 servers and provides carrier grade performance by using Intel® Data Plane Development Kit libraries.

CG-NAT solution provides maximum **500Gbps** throughput performance and fully compliant with **ETSI NFV ISG architecture**

	CONF.10	CONF.50	CONF.500	DISTRIBUTED
Max Throughput	10 Gbps	50 Gbps	500 Gbps	Unlimited
Connections per Second	200K per 10Gbps			
Two-way sessions	10M per 10Gbps			Depends on OpenFlow switches performance, but not less than BOXED
Resiliency	N+1. Active-Active, Active-Standby			
Supported protocols	NAT44 PCP			
Interfaces	REST API NETCONF			
Management	WEB CLI			
Supported hypervisors	LXC (Linux Containers) KVM VMware			
Logging	Local or external SYSLOG Server			



SCALABILITY

Simple extend capacity and performance by adding new B4N NAT VNFs and Distributed Switches, while maintaining existent network architecture



COMMODITY HARDWARE

Using commodity x86 servers instead of dedicated hardware devices



UNIFIED MANAGEMENT

Single point of management through powerful WEB-interface



AUTOMATION

B4N CG-NAT provides set of tools for automate service management



CONFORMANCE WITH REFERENCE ARCHITECTURE

Fully compliant with MANO Framework. B4N CG-NAT includes VNF-manager that can be integrated with Customer orchestration and management system.



SDN READY

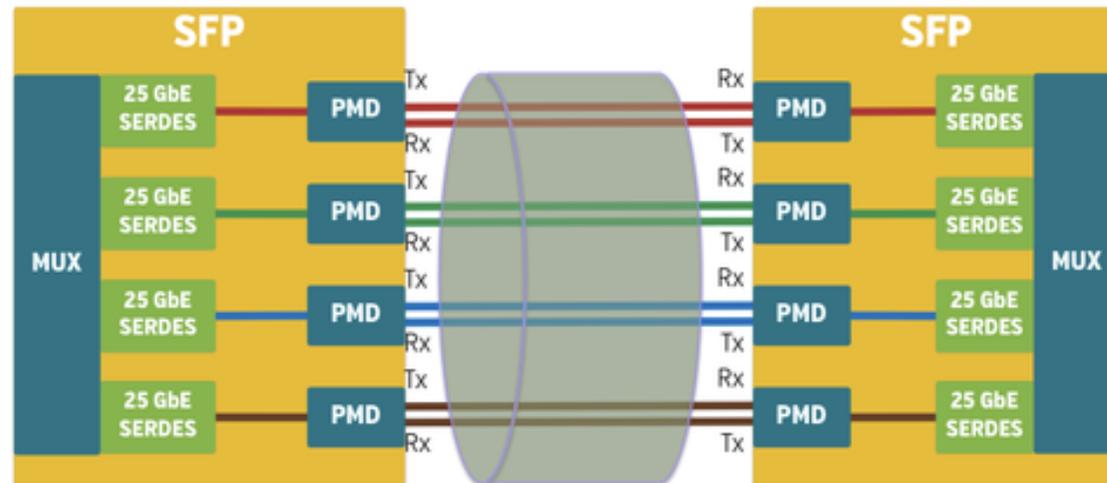
B4N CG-NAT designed to be easy integrated with Customer SDN infrastructure

Networking hardware y el software

Evolución

- Los fabricantes de equipos de red están adoptando los ritmos de producción de electrónica
- Empujados por pocos grandes clientes
- Por ejemplo: donde teníamos SerDes a 10Gbps los tendremos este año a 25Gbps, al mismo coste
- Esto permite interfaces 100GE donde antes teníamos 40GE, al mismo precio
- A día de hoy SoC (Switch on Chip) a 3.2Tbps

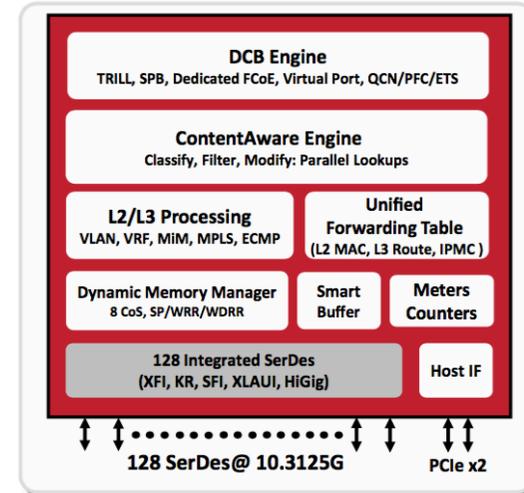
100 Gigabit Ethernet = 4 x 25 GbE



© Greg Ferro 2014

Broadcom Trident 2

- 1.28 Tbps con puertos 10GE/40GE
- 128 SerDes 10GE (así que un máximo de 32 puertos 40GE en base a 4x10GE)
- Cut-through y Store&Forward
- VXLAN, NVGRE, 802.1Qbg EVR, 802.1BR
- Per VM traffic shaping
- DCB PFC, QCN y ETS. FCoE
- MPLS, VPLS, ISATAP, MAC-in-MAC, TRILL, SPB, Q-in-Q



Fixed/Top-of-Rack Switches

32-port 40GbE QSPF - Speed Match
Speed Match

48-port 10GbE 12-port 40GbE
Full Bisirectional Uplink/Downlink Bandwidth

96-port 10GbE SFP+ 8-port 40GbE QSPF
2Ru Oversubscribed

Modular Chassis

32 x HG[42] Backplane
 32 x 40GE Front Panel 32 x HG[42] to Backplane
 16-port 40GbE QSFP
 32-port 40GbE QSFP

Solution Characteristics

- Single-chip design
- Lowest power/highest density
- Line rate and oversubscribed configurations for power/performance tradeoff
- FCoE support on all ports
- No external PHY needed for 10GbE or 40GbE

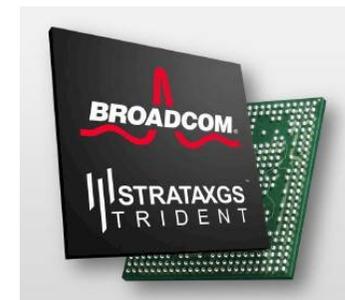
Solution Characteristics

- Line rate and oversubscribed configurations for power/performance tradeoff
- Lowest power/highest density 40GbE solution available
- FCoE support on all ports
- Support for 40GbE flows

<https://www.broadcom.com/collateral/pb/56850-PB03-R.pdf>

Broadcom Tomahawk

- Conmutación a 3.2 Tbps para paquetes a partir de 250 bytes
- Para paquetes de 64 bytes da un throughput de 2 Tbps
- 32 x 100GE, cada uno divisible en 4x10GE, 4x25GE, 2x50GE o 1x40GE
- SerDes 25Gbps
- 10 colas por puerto
- Bridging de VXLAN a VLAN (no routing)
- NVGRE, MPLS, SPB
- Latencia de 300-500 ns



Trident 2 y Tomahawk

- Memoria (SRAM, TCAM) particionable para diferentes usos del switch (muchas MACs, muchas rutas IPv4, etc)



Table 1. Broadcom Trident 2 Forwarding Tables

Mode	Dedicated Layer 2	Shared Memory bank 1	Shared Memory bank 2	Shared Memory bank 3	Shared Memory bank 4	Host Route Dedicated	LPM Dedicated
Mode 0	32,000	Layer 2 (64,000)	Layer 2 (64,000)	Layer 2 (64,000)	Layer 2 (64,000)	Layer 3 (16,000)	16,000
Mode 1	32,000	Layer 2 (64,000)	Layer 2 (64,000)	Layer 2 (64,000)	Layer 3 (40,000)	Layer 3 (16,000)	16,000
Mode 2	32,000	Layer 2 (64,000)	Layer 2 (64,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (40,000)	Layer 3 (16,000)	16,000
Mode 3	32,000	Layer 2 (64,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (40,000)	Layer 3 (16,000)	16,000
Mode 4	32,000	LPM (32,000)	LPM (32,000)	LPM (32,000)	LPM (32,000)	Layer 3 (16,000)	16,000

Table 2. Broadcom Tomahawk Forwarding Tables

Mode	Dedicated Layer 2	Shared Memory bank 1	Shared Memory bank 2	Shared Memory bank 3	Shared Memory bank 4	Host Route Dedicated	LPM Dedicated
Mode 0	8,000	Layer 2 (32,000)	Layer 2 (32,000)	Layer 2 (32,000)	Layer 2 (32,000)	Layer 3 (8,000)	16,000
Mode 1	8,000	Layer 2 (32,000)	Layer 2 (32,000)	Layer 2 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (8,000)	16,000
Mode 2	8,000	Layer 2 (32,000)	Layer 2 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (8,000)	16,000
Mode 3	8,000	Layer 2 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (32,000)	Layer 3 (8,000)	16,000
Mode 4	8,000	LPM (32,000)	LPM (32,000)	LPM (32,000)	LPM (32,000)	Layer 3 (8,000)	16,000

Cisco ASE-2

- ACI Spine Engine 2 (ACI = Aplicacion Centric Infrastructure)
- 3.6Tbps (todos los tamaños de paquetes)
- 36x100GE, 72x40GE, 144x25GE
- 16K VRF, 32 SPAN, 64 mcast, 4K NAT
- Push/swap 5 etiquetas VPN
- DWRR con 16 colas por puerto
- WRED, ACN, AFD (Approximate Fair Dropping)

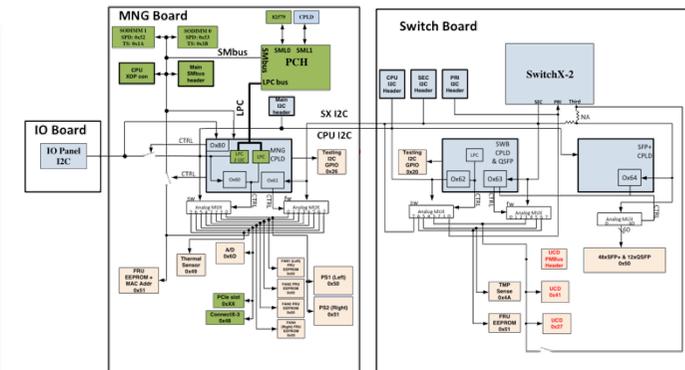
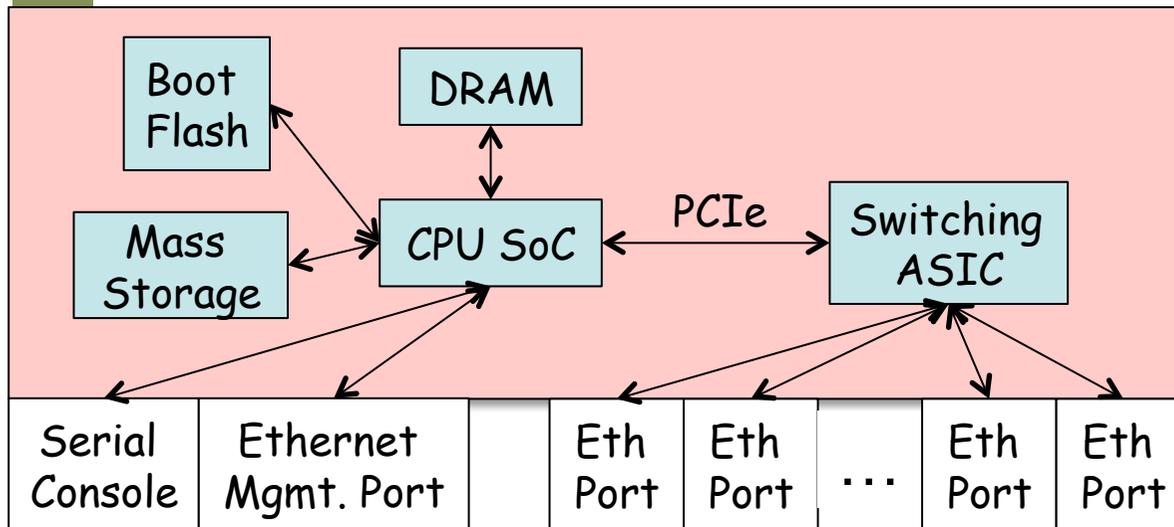
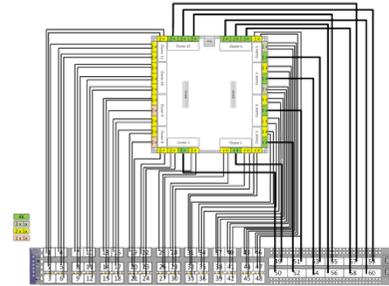
¿Evolución?

- La infraestructura se está simplificando
- Principalmente el hardware, controlable por software
- *White boxes* no solo servidores sino también switches
- También se venden ya switches "*Bare metal*" = solo el hardware



Bare metal switches

- Menores costes
- El mismo equipo un día es un switch, otro un firewall, otro un balanceador... dentro de las limitaciones del ASIC
- Ejemplo:
 - Open Compute Networking Project
 - <http://www.opencompute.org/wiki/Networking>
 - Especificaciones completas de conmutadores
- Fabricantes: Mellanox, Quanta, Penguin Computing, Edge-core, Acton, Dell, etc



¿Evolución?

- Para estos equipos sistemas operativos y gran cantidad de software, generalmente basados en linux, muchos de código abierto
- Ejemplos:
 - Open Network Install Environment (ONIE): <http://onie.opencompute.org>
 - Open Network Linux: <http://opennetlinux.org>
 - Big Switch's Switch Light OS
 - Pica8 PicOS
 - Cumulus Linux
- Es decir, igual que en el entorno de servidor, puedes cambiar el hardware, instalar el sistema operativo que quieras y desarrollar tus aplicaciones (...)



¿Evolución?

- Para diferenciarse, los proveedores desarrollan software propietario para ofrecer sus servicios
- Porque hoy en día ya es el software por lo que principalmente están cobrando los fabricantes “no-open”
- Muchos modelos ToR de fabricantes conocidos son switches bare-metal que han comprado, cambiado el software y el frontal

