

Proyecto de grado: Routers Reconfigurables de Altas Prestaciones

Rodrigo Amaro, Emiliano Viotti

Instituto de Computación
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Tutores: Dr. Eduardo Grampín, MSc. Martín Giachino

18 de agosto de 2015

Agenda

- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

1 Introducción

2 Conceptos preliminares

3 Arquitectura propuesta

4 Implementación

5 Experimentación

6 Conclusiones

7 Trabajo a futuro

Motivación I

Redes académicas

Internet no parece apropiada para su utilización en el contexto académico en actividades de enseñanza, investigación, el desarrollo de nuevos protocolos, servicios e innovación en el área.



Motivación II

Red Académica Uruguaya (RAU)

A nivel local, la RAU es un emprendimiento de la Universidad de la República administrado por el SeCIU con los objetivos de unir a las instituciones académicas nacionales en una red de alcance nacional y a través de ella conectarlas a Latinoamérica.

RAU2

Remplazo de la actual red académica, es una red avanzada de altas prestaciones que estaría dotada de funciones de virtualización de redes flexibles en su definición y uso.



Hardware comercial

Los equipos de red de backbone comerciales como HP, CISCO, Juniper son costos y generalmente de naturaleza cerrada. Las funcionalidades del hardware se restringen a las funcionalidades expuesta por una API propietaria.



Definición del problema I

Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

Definición del problema I

Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

Resultados esperados

- Estado del arte en Redes Definidas por Software y hardware NetFPGA

Definición del problema I

Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

Resultados esperados

- Estado del arte en Redes Definidas por Software y hardware NetFPGA
- Prototipo de aplicación de gestión de red utilizando SDN y el hardware NetFPGA (orientado a los requerimientos de la RAU2)

Definición del problema I

Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

Resultados esperados

- Estado del arte en Redes Definidas por Software y hardware NetFPGA
- Prototipo de aplicación de gestión de red utilizando SDN y el hardware NetFPGA (orientado a los requerimientos de la RAU2)
- Diseño e implementación de pruebas de verificación

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad

Problema demasiado grande!

Definición del problema II

¿Qué características se esperan del prototipo, cuáles son los requerimientos?

R: Pensemos en posibles requerimientos sobre la RAU2

Requerimientos

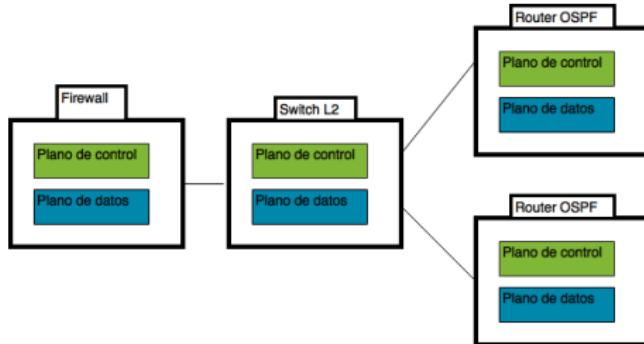
- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad

Problema demasiado grande!

Se hace foco en resolver (1)

- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

Enfoque tradicional de redes



Plano de control

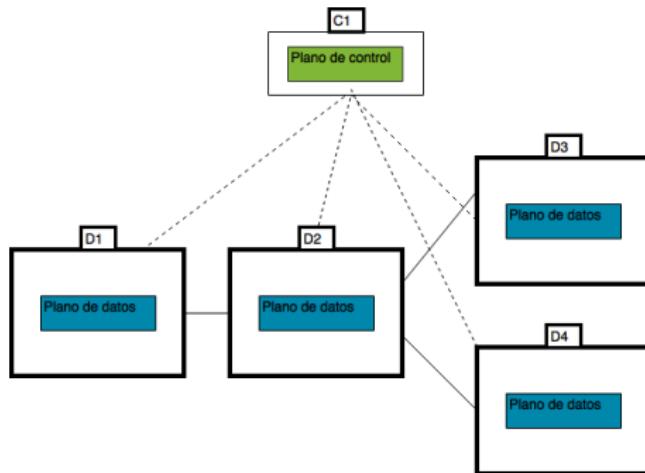
Es donde reside la inteligencia de la red, es la lógica que controla el comportamiento de reenvío. Ejs : OSPF, RIP, Firewalls

Plano de datos

Se encarga de reenviar el tráfico conforme a el plano de control Ejs : Reenvío IP

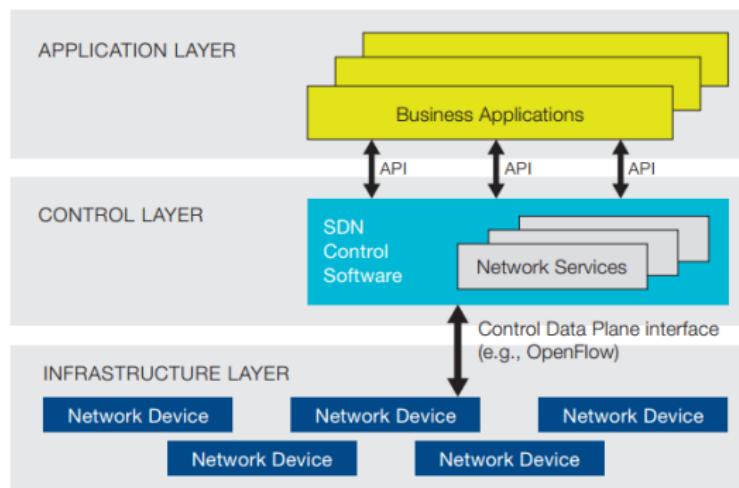
Definicion

La separación física del plano de control de la red del plano de datos, donde el plano de control controla varios dispositivos.



SDN (Capas lógicas)

- Tres capas: (1) capa de aplicaciones, (2) capa de control y (3) capa de infraestructura
- Dos interfaces de comunicación: interfaz sur e interfaz norte

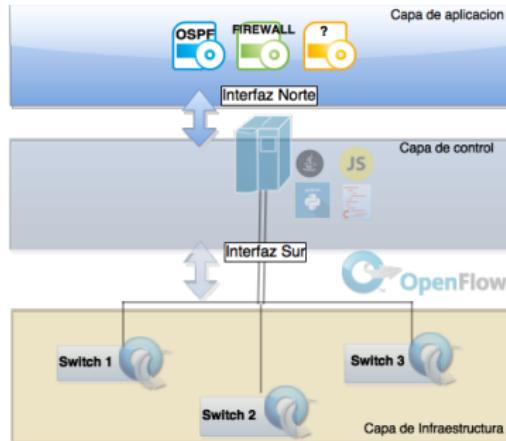


OpenFlow

Solución basada en el enfoque SDN, ofrece una implementación estándar de la Interfaz Sur. El protocolo especifica:

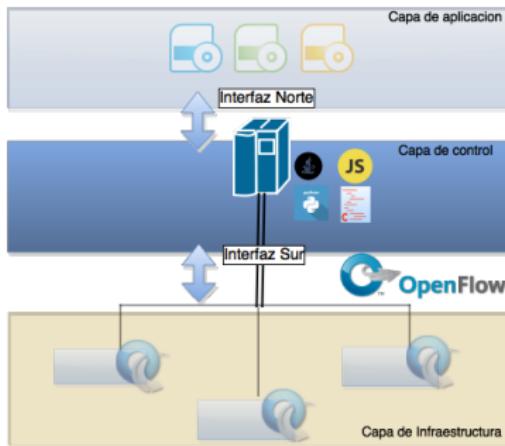
- Canal seguro de comunicación entre capa de control e infraestructura (Protocolo OpenFlow)
- Especificación de dispositivos compatibles con la arquitectura (Switch OpenFlow)

OpenFlow (Capa de Aplicación)



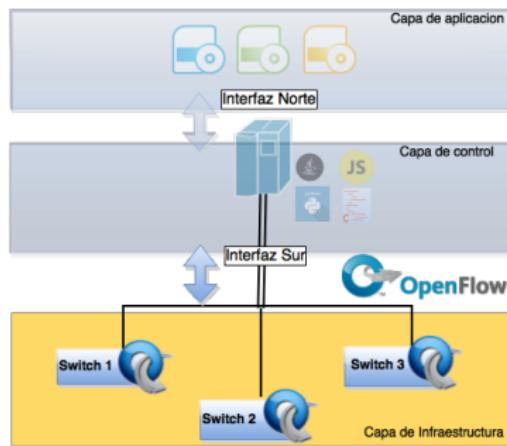
- El comportamiento de la red se implementa mediante aplicaciones
- Se escriben en lenguajes de programación y de alto nivel (C/C++, Java, Python)
- Se ejecutan sobre el Controlador OpenFlow y hacen uso de la API Norte

OpenFlow (Capa de Control)



- Implementación en Software que se ejecuta en hardware convencional (x86)
- Ofrece una API de alto nivel para controlar los dispositivos de una Red (Interfaz Norte)
- Cada operación se traduce a reglas OpenFlow e instaladas en el dispositivo a través de la Interfaz Sur (protocolo OpenFlow)

OpenFlow (Capa de Dispositivos)



Cada dispositivo OpenFlow implementa
Tablas de Flujos



- ① **Regla**: Define una clase de tráfico
- ② **Acción**: Define el procesamiento (Drop, Output, Flood, GoToTable)
- ③ **Estadísticas**: Cantidad de paquetes procesados por cada flujo

VPN (Red Privada Virtual)

Extensión de una red privada sobre la infraestructura de una red pública.
Nos interesa diferenciarlas de acuerdo a:

- Que capa OSI virtualizan: L2 o L3
- Conexión utilizada: punto a punto o multipunto



MPLS (Multilabel Protocol Switching) es la solución de facto para la implementación de servicios de VPN L2 y L3. Permite transportar tráfico mediante la conmutación de etiquetas.

MPLS (Multilabel Protocol Switching) es la solución de facto para la implementación de servicios de VPN L2 y L3. Permite transportar tráfico mediante la conmutación de etiquetas.

Arquitectura:

- Label: Etiqueta MPLS (20bits)
- Acción: Pop, Push y Swap
- LSP: Camino de conmutación de etiquetas
- FEC: Clase de equivalencia de tráfico
- LDP: Protocolo de distribución de etiquetas

NetFPGA

Plataforma de hardware de red reconfigurable y software Open Source.

Hardware: Placa PCI-E que cuenta con:

- ① Chip programable FPGA
- ② 15 GB RAM
- ③ 4 Puertos 10-Gigabit SFP+ Ethernet



Software

Proyectos de software Open Source que permiten programar comportamientos en el hardware. Dos tipos de proyectos: Referencia y Comunitarios

Proyecto ¹	Organización
Production Test	Stanford University
Learning CAM Switch	Stanford University/University of Cambridge
Reference Router	Stanford University/University of Cambridge
Reference NIC 10G	Stanford University/University of Cambridge
OpenFlow Switch	Stanford University

¹ Proyectos NetFPGA extraídos de <http://netfpga.org/site/#/systems/3netfpga-10g/applications/>

- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

Arquitectura propuesta I

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

Arquitectura propuesta I

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

Arquitectura propuesta I

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

Arquitectura propuesta I

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

R: Utilizando MPLS (Multilabel Protocol Switch)

Arquitectura propuesta I

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

R: Utilizando MPLS (Multilabel Protocol Switch)

- ¿VPNs con MPLS en SDN?

Arquitectura propuesta I

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

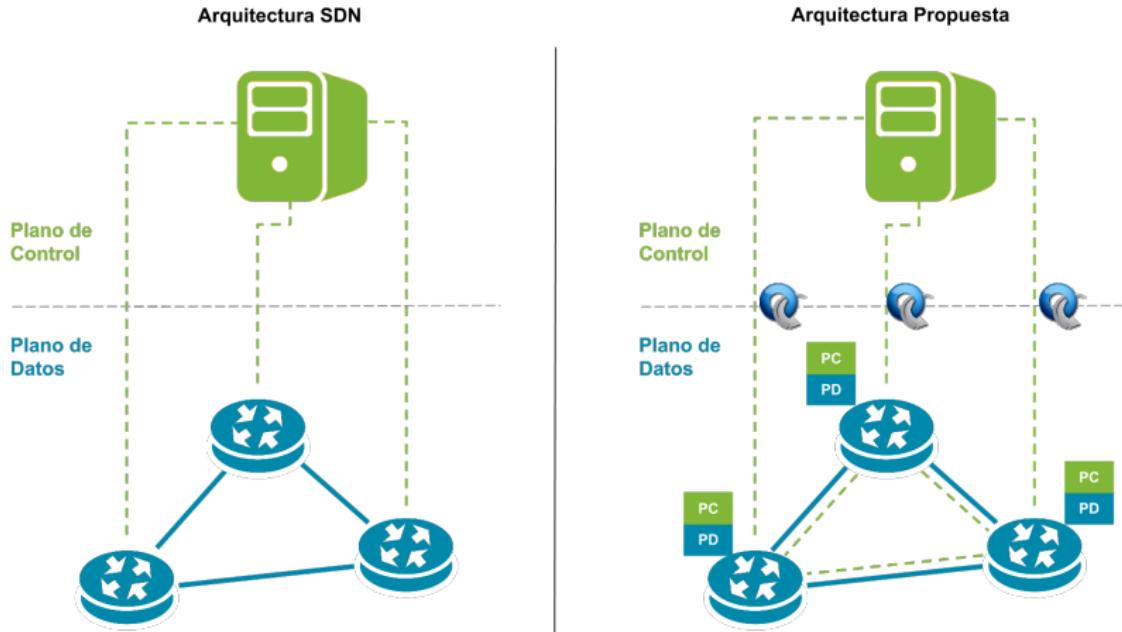
R: Utilizando MPLS (Multilabel Protocol Switch)

- ¿VPNs con MPLS en SDN?

R: OpenFlow!

Arquitectura propuesta III

Se propone una arquitectura híbrida que combina el enfoque SDN con tecnologías actuales, basándose en la implementación de OpenFlow.



Switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

Switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow

Switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow
- ② Proyecto ReferenceNIC más implementación OF en software (Open vSwitch)

Switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow
- ② Proyecto ReferenceNIC más implementación OF en software (Open vSwitch)

(1) OpenFlow	(2) ReferenceNIC y OvS
Velocidad de procesamiento	Prototipación agil
Utilización del hardware	Tiempo libre para investigación
Conocimiento específico	No hay que utilizar HDLs
Licencias full	Licencias económicas

Switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow
- ② Proyecto ReferenceNIC más implementación OF en software (Open vSwitch)

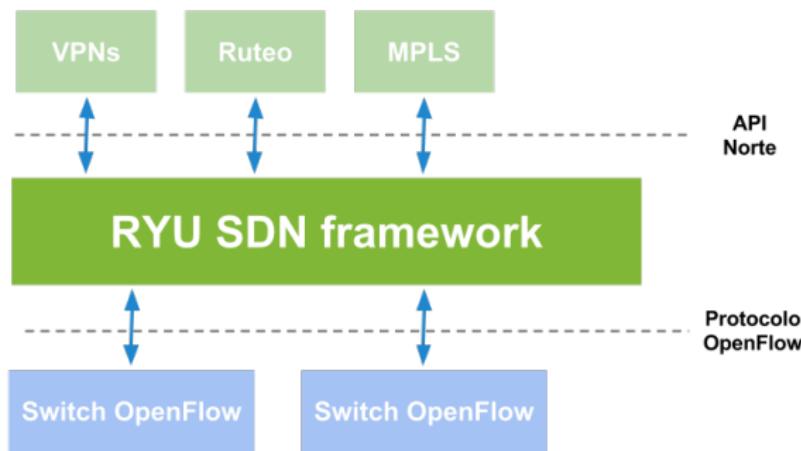
(1) OpenFlow	(2) ReferenceNIC y OvS
Velocidad de procesamiento	Prototipación agil
Utilización del hardware	Tiempo libre para investigación
Conocimiento específico	No hay que utilizar HDLs
Licencias full	Licencias económicas

(2) ReferenceNIC y OvS!

Controlador OpenFlow

Utilizamos Ryu como software de control SDN

- Compatible con OF hasta v1.4
- Académico, sencillo, liviano
- Libre y Open Source



Algoritmo de Ruteo

- Calculo de rutas en base a IP
- Utilizamos OSPF para la construcción de una base de datos topológica (LSDB)
- Cada nodo en la red incluyendo el controlador ejecutan un demonio OSPF de la herramienta Quagga
- Algoritmo de ruteo como App SDN en el controlador, toma información de la LSDB

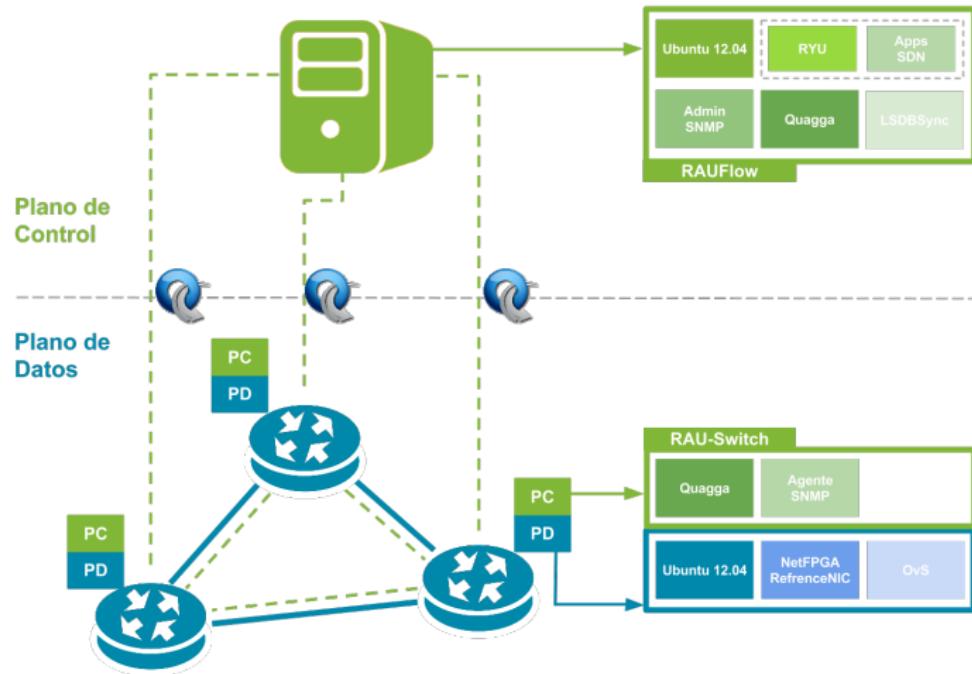
Agente SNMP

Agente SNMP

OpenFlow no prevé un mecanismo para informar al plano de control direccionamiento IP de un puerto en un dispositivo.

Solución: Utilizamos un agente SNMP en cada nodo de la red para obtener mapeo entre puertos OF y direcciones IP

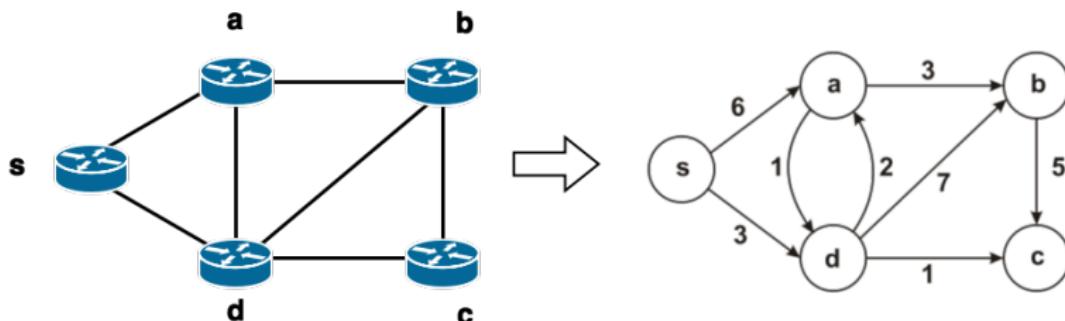
Arquitectura Propuesta III



- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

Algoritmo de ruteo

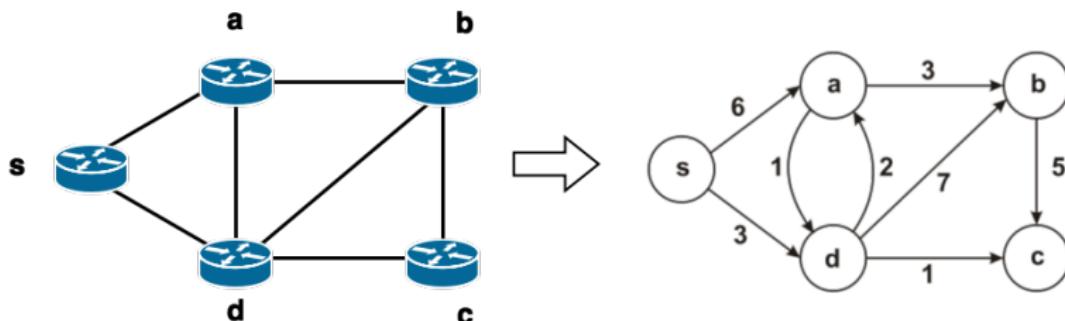
SPF(Shortest Path First): Algoritmo del camino más corto utilizando el algoritmo Dijkstra generalizado para multigrafos dirigidos².



² Implementación basada en "Generalization of dijkstra's algorithm for extraction of the shortest paths in directed multigraphs".

Algoritmo de ruteo

SPF(Shortest Path First): Algoritmo del camino más corto utilizando el algoritmo Dijkstra generalizado para multigrafos dirigidos².

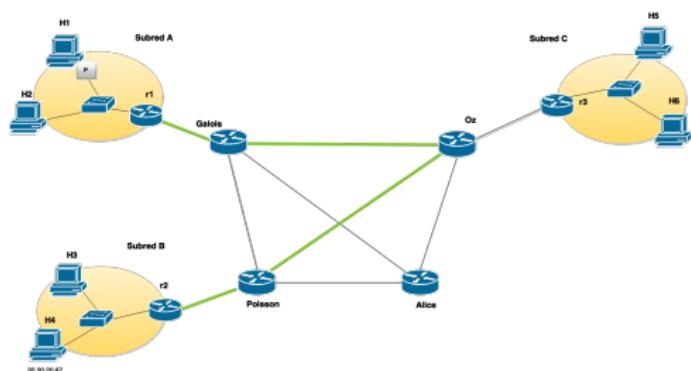
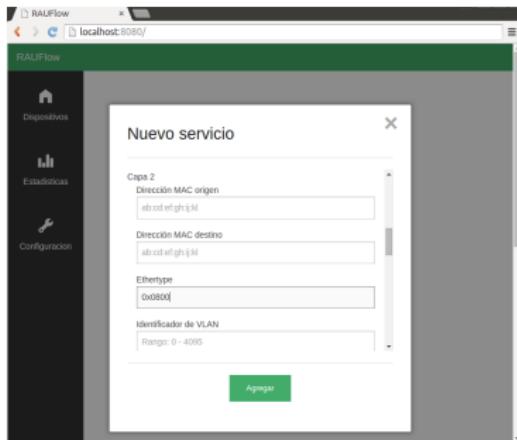


CSPF(Constrained Shortest Path First): Algoritmo SPF con restricciones.

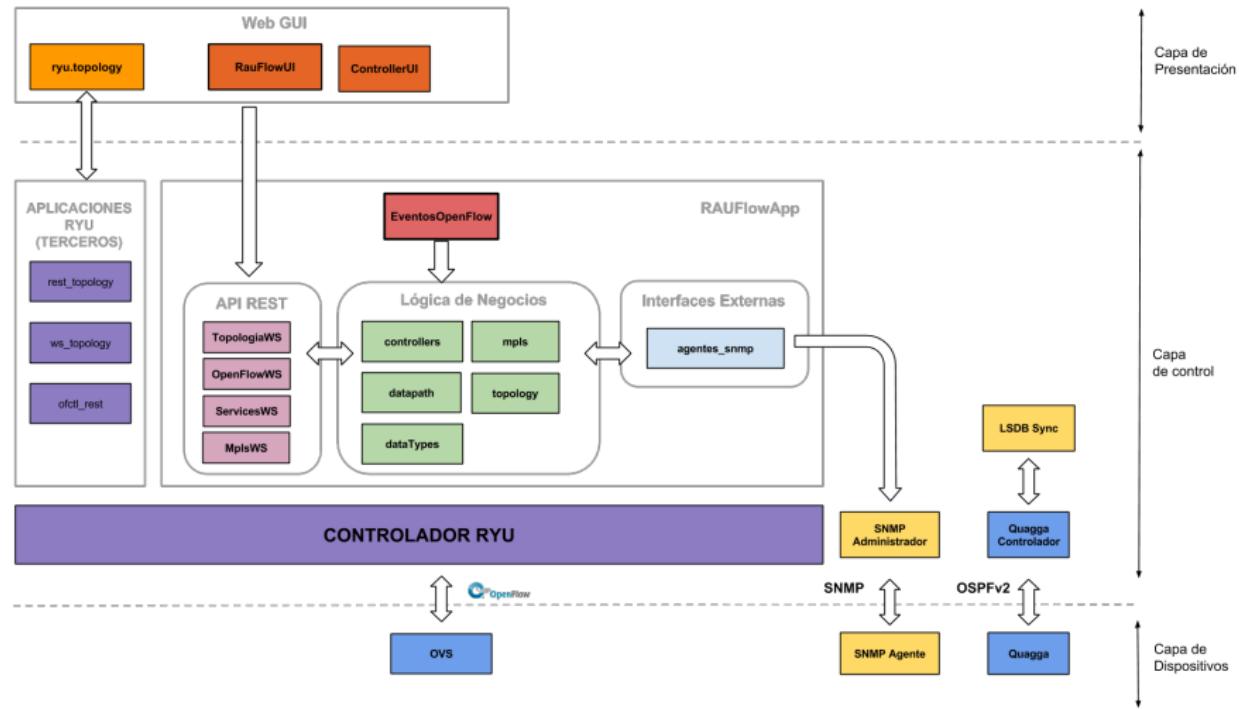
² Implementación basada en "Generalization of dijkstra's algorithm for extraction of the shortest paths in directed multigraphs".

Clasificación de tráfico

- Se implementa clasificación de tráfico utilizando matching fields OF en los nodos de ingreso a la red
- Cada definición de servicio define una FEC que se traduce a un flujo OpenFlow para la clasificación de tráfico



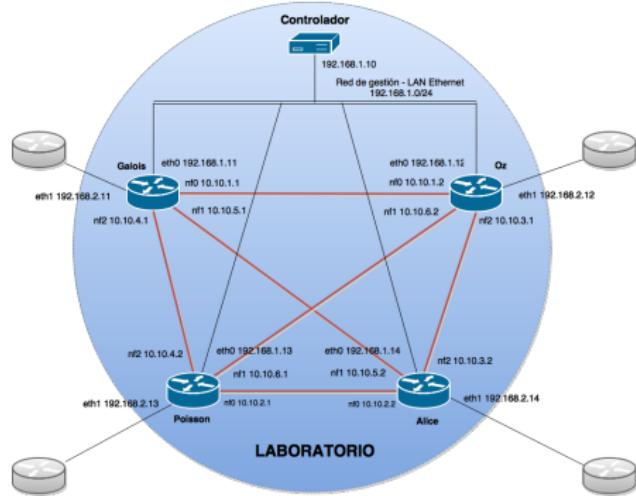
RAUFlow



- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

Experimentación

Se construye un laboratorio de experimentación compuesto por 4 nodos RAU-Switch conectados mediante enlaces ópticos de alta velocidad en una topología full Mesh.



Experimentación II

Mediante la definición de servicios en la aplicación RAUFlow, se configuran dos tipos de redes privadas:

- ① VPN L3 multipunto
- ② VPN L2 punto a punto

Se configuran dos escenarios:

- ① Una organización con tres sucursales físicamente separadas
- ② Dos organizaciones con dos sucursales físicamente separadas cada una

Las principales características de la implementación son:

- Reducción del MTU en 64bits (2 cabezales MPLS)
- Clasificación de tráfico basada en campos del cabezal OpenFlow
- Aislamiento del espacio de direcciones IP

Se configuran un único escenario: Una organización con dos sucursales físicamente separadas.

Las principales características de la implementación son:

- Reducción del MTU en 64bits (2 cabezales MPLS)
- Soporte para un conjunto de 43 ethertypes diferentes
- Se probó diferentes protocolos como ARP, IPv4 IPv6 e IP con tags de VLAN

- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
 - Redefinición del concepto de FEC

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
 - Redefinición del concepto de FEC
 - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
 - Redefinición del concepto de FEC
 - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1
 - Algoritmo de ruteo dinámico SPF centralizado

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
 - Redefinición del concepto de FEC
 - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1
 - Algoritmo de ruteo dinámico SPF centralizado
- Laboratorio de experimentación

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
 - Redefinición del concepto de FEC
 - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1
 - Algoritmo de ruteo dinámico SPF centralizado
- Laboratorio de experimentación
 - VPN L3 Multipunto

Conclusiones

- Estado del arte en SDN y hardware NetFPGA
- Prototipo de red de backbone utilizando hardware NetFPGA y enfoque SDN:
 - **RAUswitch** router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
 - **RAUflow** aplicación de control y gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
 - Redefinición del concepto de FEC
 - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1
 - Algoritmo de ruteo dinámico SPF centralizado
- Laboratorio de experimentación
 - VPN L3 Multipunto
 - VPN L2 Punto a Punto

Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch

Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch
- Se contribuyó a la comunidad NetFPGA reportando dos BUGs

Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch
- Se contribuyó a la comunidad NetFPGA reportando dos BUGs
- Se escribió un artículo científico el cual fue aceptado en la conferencia Latin American Network Operations and Management Symposium 2015 (LANOMS)

Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch
- Se contribuyó a la comunidad NetFPGA reportando dos BUGs
- Se escribió un artículo científico el cual fue aceptado en la conferencia Latin American Network Operations and Management Symposium 2015 (LANOMS)
- Se generó un grupo de trabajo (GT SDNUY) uniendo profesionales del SeCIU, Centro de Capacitación y Desarrollo de ANTEL y del Centro Universitario de la Región Este (CURE)

- 1 Introducción
- 2 Conceptos preliminares
- 3 Arquitectura propuesta
- 4 Implementación
- 5 Experimentación
- 6 Conclusiones
- 7 Trabajo a futuro

Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

- Extender el proyecto OpenFlow de la plataforma NetFPGA para soportar al menos la versión 1.3.1 del protocolo OpenFlow

Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

- Extender el proyecto OpenFlow de la plataforma NetFPGA para soportar al menos la versión 1.3.1 del protocolo OpenFlow
- Extender el algoritmo de ruteo SPF para implementar un CSPF

Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

- Extender el proyecto OpenFlow de la plataforma NetFPGA para soportar al menos la versión 1.3.1 del protocolo OpenFlow
- Extender el algoritmo de ruteo SPF para implementar un CSPF
- Incorporar en RAUFlow la capacidad de soportar múltiples caminos para un mismo Servicio, balanceo de carga, QoS e Ingeniería de tráfico

Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos

Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos
- Investigar la escalabilidad de RAUflow en topologías de red realistas

Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos
- Investigar la escalabilidad de RAUflow en topologías de red realistas
- Construir una jerarquía de controladores e investigar el impacto en el rendimiento

Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos
- Investigar la escalabilidad de RAUflow en topologías de red realistas
- Construir una jerarquía de controladores e investigar el impacto en el rendimiento
- Incorporar más dimensiones a la definición de un servicio (tiempo)

¿Preguntas?