

# Planning and Deployment of OpenFlow Networks over Internet

<sup>1</sup>Pang-Wei Tsai, <sup>1</sup>Pei-Wen Cheng, <sup>1</sup>Mou-Sen Chen,  
<sup>2</sup>Mon-Yen Luo, <sup>3</sup>Te-Lung Liu, <sup>1</sup>Chu-Sing Yang\*,  
<sup>1</sup>Institute of Computer and Communication Engineering,  
Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University  
<sup>2</sup>National Kaohsiung University of Applied Sciences  
<sup>3</sup>National Center for High-Performance Computing  
\*csyang@ee.ncku.edu.tw

## 摘要

在設計下一代高速網際網路之架構與應用之研究時，為了能在現有的工作網路環境下進行新的網路協定設計與測試，而又不影響既有的網路流量與行為，讓研究人員能夠擁有一個獨立的網路實驗環境。本研究以 OpenFlow<sup>1</sup> 協定及 NetFPGA<sup>2</sup> 平台，透過 Capsulator<sup>3</sup> 提供 IP Tunneling 技術來連結分處各地的乙太網路，讓位於各 OpenFlow Networks 上的節點可以互通。並使用虛擬化的技術，將分散在不同網路中的 OpenFlow Networks 組成一個實驗網路。將位於各學校/研究中心之 OpenFlow Network 實驗環境經由 Internet2、TWAREN 及 TANet 骨幹網路連結起來，讓研究人員可以在虛擬化的網路環境中共同設計及測試下一代的高速網路。

**關鍵詞：** Capsulator、Ethernet-in-IP、NetFPGA、Network virtualization、OpenFlow

## 1. 前言

對於台灣目前研究用的實驗網路而言，若需要建構規模性質的實驗用網路，需要與多個網路管理單位協調，在路由設備和交換器上切割出實驗用網路。因此，如能在現有的實體網路架構上建構一個虛擬化的實驗網路，讓研究者得以擁有一個獨立的實驗環境，即可解決此一問題。本研究以 OpenFlow 協定及 NetFPGA 平台，透過 Capsulator 提供 IP Tunneling 技術來連結分處各地的乙太網路，讓位於各 OpenFlow Networks 上的節點可以互通。並使用虛擬化的技術，將分散在不同網路中的 OpenFlow Networks 組成一個實驗網路。將位於各學校/研究中心之 OpenFlow Network 經由骨幹網路連結起來，如圖 1 所示。讓多個 OpenFlow Networks 在現有實體網路上組成一個虛擬化的實驗環境。

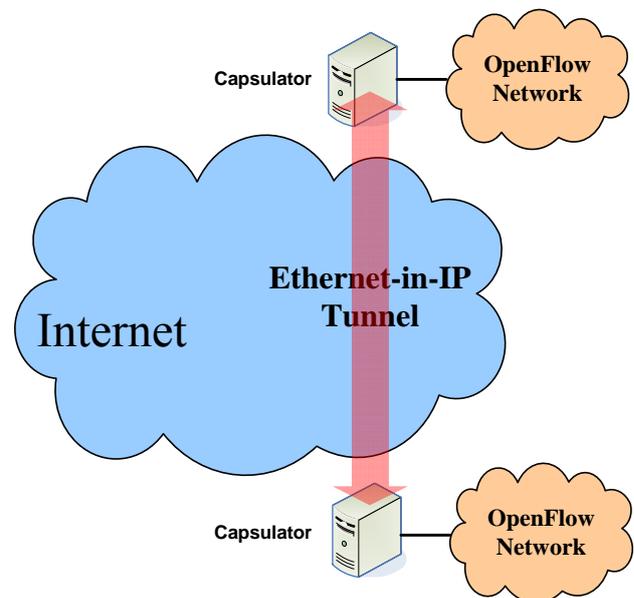


圖 1 OpenFlow Networks Over Internet

本研究將以前述之方法，提出一個基於 Ethernet-in-IP 的 OpenFlow Networks 規劃，使用 Capsulator 連接位於 TWAREN(台灣高品質學術研究網路)和 TANet(臺灣學術網路)上的 OpenFlow Networks。並經由國家高速網路與計算中心的 OpenFlow Network，透過光網路達成與美國芝加哥的 iCAIR<sup>4</sup> 中心相連之跨國 OpenFlow Network 實驗環境，構在虛擬化網路上測試及驗證下一代高速網路的實驗平台。

在本篇的第二章會介紹研究中所使用的軟硬體平台，以及使用 Ethernet-in-IP Tunnel 讓 OpenFlow Networks 達成 Over Internet 的连接。第三章則是介紹本研究使用 NetFPGA 所建構的 OpenFlow 環境。第四章和第五章會針對此一虛擬化網路實驗環境之規畫進行討論，並對本研究做一個總結以及探討未來的發展。

<sup>1</sup> OpenFlow is an open standard that enables researchers to run experimental protocols in the campus networks. <http://www.openflow.org/>

<sup>2</sup> NetFPGA is an open platform for research and develop high-speed experimental network. <http://netfpga.org/>

<sup>3</sup> Capsulator is a program which can be used to transparently connect networks. <http://www.openflowswitch.org/wk/index.php/Capsulator/>

<sup>4</sup> The iCAIR was established in 1998 as a research center focused on creating future Internet technologies. <http://www.icair.org/>

## 2. 軟硬體平台與環境

本章將介紹建構 Openflow Network 所使用的軟硬體平台，透過 Capsulator 提供 IP Tunneling 技術來連結分處各地的乙太網路，讓位於各 OpenFlow Networks 上的節點可以互通。

### 2.1 OpenFlow

為了能在現今複雜的網路環境中進行下一代高速網路的實驗和發展，而又不需要另外佈建獨立的線路來建構實驗環境。由史丹佛大學(Stanford University)提出的 OpenFlow 架構之目標即為解決此一問題。OpenFlow 能夠根據目前網路，對指定流量自定處理規則，讓研究人員可以驗證自己的設計，如圖 2 中的 OpenFlow Switch。而由美國國家科學基金會所支持的 GENI (Global Environment for Network Innovations)計畫<sup>1</sup>即以此架構為標準，建構了橫跨各州的國家級實驗網路，讓許多研究人員在同一時間進行各自的實驗測試網路環境，將網路劃分許多區塊，實現網路虛擬化。除此之外，由美國西北大學 iCAIR 主導的 iGENI 計畫將更進一步透過國際合作來建構跨國的 OpenFlow 實驗平台，共同研究下一代高速網路的技術。

### 2.2 NetFPGA

在本研究中，將以可程式化網路晶片 - NetFPGA 上建立之 OpenFlow Switch 交換器，建構複數的 OpenFlow 網路實驗環境。NetFPGA 是史丹佛大學(Stanford University)所開發的網路研究用開放平台，兼具高速與彈性的特性，其實體架構如圖 3 所示。NetFPGA 主要是用來實作高速封包處理的設備，例如：路由器(router)、網路卡(NIC)及 OpenFlow Switch 等等，目前釋出的版本為 NetFPGA Version 2。下一個版本即將釋出支援 10G 以上的速度。

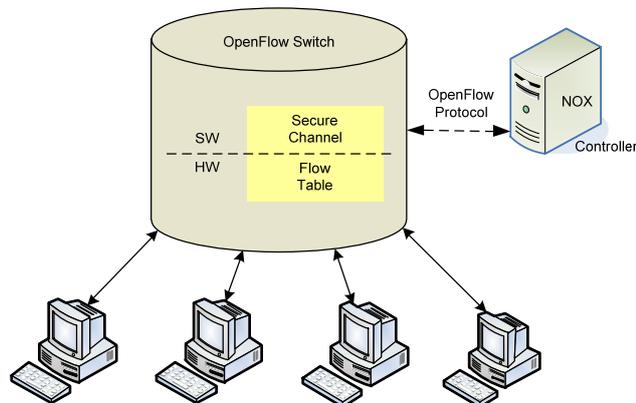


圖 2 OpenFlow Switch

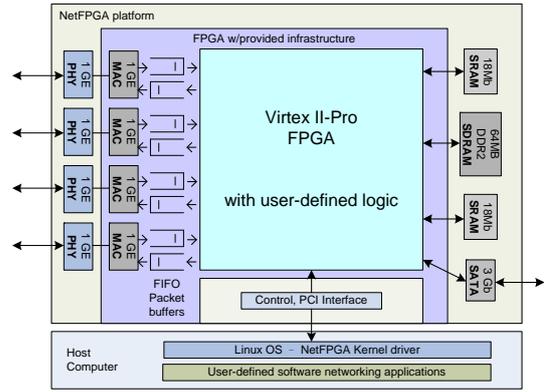


圖 3 NetFPGA 架構圖<sup>2</sup>

NetFPGA 上面包含四個支援億兆(Gigabit) 速度的乙太 (Ethernet) 網路通訊埠及 Xilinx Virtex-II Pro FPGA 讓使用者可以自行設計電路，內建的 Xilinx Spartan II FPGA 能夠處理 host 端溝通的控制訊號，卡板上並擁有兩個 18Mb 的靜態式隨機存取記憶體與 64MB 的雙倍速率動態式隨機存取記憶體，以及 SATA 接口提供串接更多 NetFPGA 平台進行多埠的交換或路由器之設計能力。

### 2.3 OpenvSwitch

由於網路架構的關係，若想在現有的網路架構上建構一個由許多 OpenFlow Networks 所組成的虛擬化的實驗網路，除了以 VPN 的技術連接各個 GigaPoP 的網路中心，另一個方法就是在各個 OpenFlow Network 間建立 Tunnel 來溝通。為了能解決此一問題，本研究將以 Capsulator 實現 Ethernet-in-IP Tunnel 的環境，如圖 4 所示。讓分隔於不同網域底下的 End-host 端可以藉由 Capsulator 建立的 Tunnel 互相溝通，對 End-host 彼此而言，就好像自己和對方都是接在同一個交換器上，位於獨立的網路環境中。

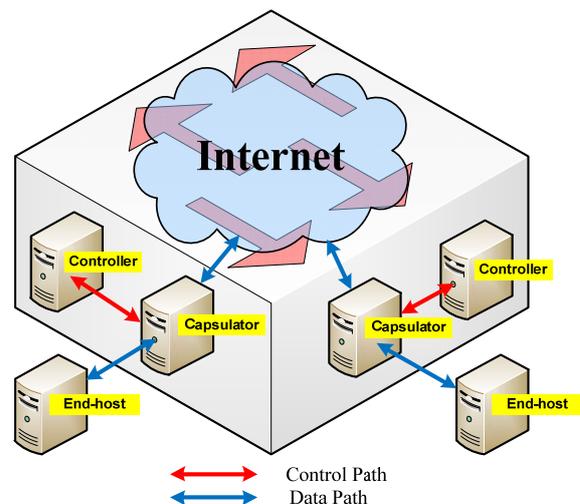


圖 4 Ethernet-in-IP Tunnel

<sup>1</sup> Global Environment for Network Innovations (GENI), a project sponsored by the US National Science Foundation. <http://www.geni.net/>

<sup>2</sup> NetFPGA Architecture 擷取自 <http://netfpga.org/>

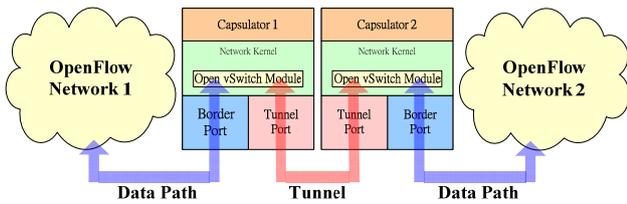


圖 5 OpenvSwitch Module

在本研究中，將透過 OpenvSwitch 的模組橋接內部網路以及外部網路，如圖 5 所示。OpenvSwitch 是一個提供多層的虛擬網路交換器設計的 Linux Kernel Module，能夠讓外界存取伺服器中許多虛擬機提供的服務時，就好像是建立與不同電腦的連線一樣。並且可以控制和設定流量、支持多種虛擬化技術和管理實體硬體資源。

### 2.4 Capsulator 的功能

在本研究中我們利用 Capsulator 提供 Tunneling 技術來完成虛擬化網路的建置。Capsulator 共有三個 Port，其中兩個 Data Port 稱為 Border Port 與 Tunnel Port，分別連接內部 OpenFlow Network 以及外部的網際網路；另一個為 Control Port，如圖 6 所示。位於不同 OpenFlow Network 的主機之間擬傳送的 Frame 均須透過二端的 Capsulator 進行封裝與解封裝的工作，以達到虛擬化的區域網路架構。Capsulator 的 Border Port 接收到 Frame 後依其目的地 IP 位址，對 Frame Data 進行 L3 與 L2 之標頭做封裝動作，將目的地 Capsulator 的 IP 位址以及相對的 Tag 值加入，再由 Tunnel Port 傳送到另一端的目的地 Capsulator。目的 Capsulator 接收到封包後進行解封裝的動作，再經由 Border Port 送到位於內部 OpenFlow Network 的主機。分處不同網路內部 OpenFlow Network 的主機間透過這樣的方式傳送封包，就像位於同一個區域網路(LAN)環境下。藉此讓位於不同學校或研究中心的 OpenFlow 實驗網路相連。

下一個章節將會介紹本研究中建構之虛擬化實驗網路，達成以 Ethernet-in-IP Tunnel 連接多個 OpenFlow Networks。

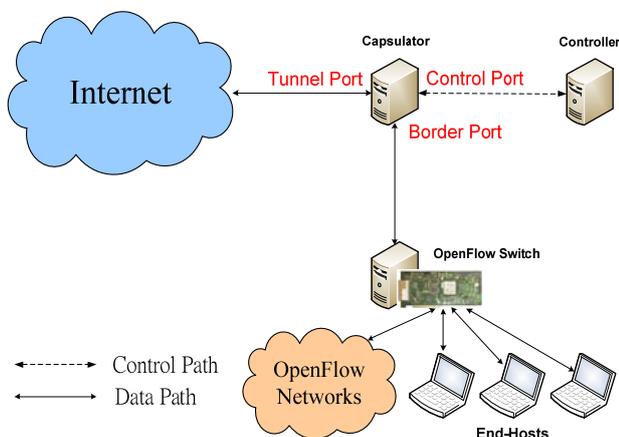


圖 6 Ethernet Ports on Capsulator

### 3. 環境建構

在本研究所建構的環境中，每一個 OpenFlow Network 使用一張 NetFPGA 卡板作為 OpenFlow Switch，並由一台具備 Learning 功能之 Controller 控制。NetFPGA 卡板會與 End-host 及 Capsulator 相連，每個 OpenFlow Network 中部署一台 Controller 控制 OpenFlow Switch，如圖 7 所示。Capsulator 在接收到 End-host 端送來的封包後，會進行 Encapsulation 的動作，接著經由 Tunnel 送到另外一個 Capsulator 後進行 Decapsulation 的動作。如圖 8 中的 OpenFlow Networks 能透過 Capsulator 和 Internet 上其他的 Capsulator 經由 Tunnel 連結成更龐大的實驗網路。

目前經由 TWAREN/TANet 連接位於國家高速網路與計算中心、高雄應用科技大學以及成功大學的 OpenFlow Networks，這三個實驗網路同時和位於芝加哥的 iCAIR 中心透過 Capsulator 相連。在各個 OpenFlow Network 底下主機之間彼此以 ping 指令測試各節點間的 Round Trip Time (RTT)值，連續傳送 1000 次的 Ping Request 求其平均之結果如表 1 所示。

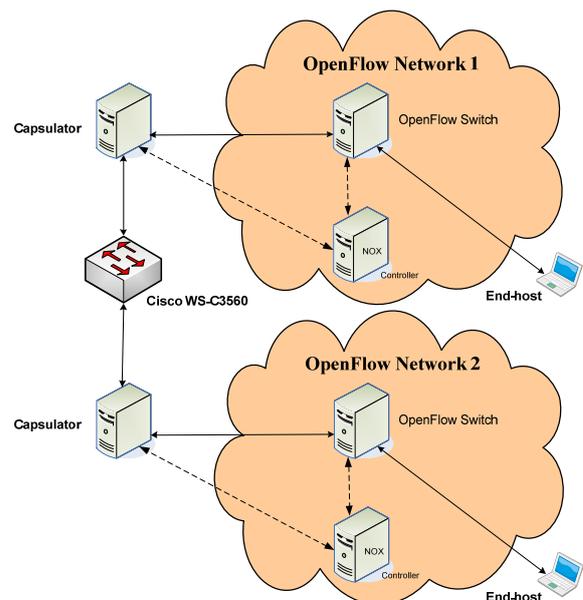


圖 7 OpenFlow 架構圖

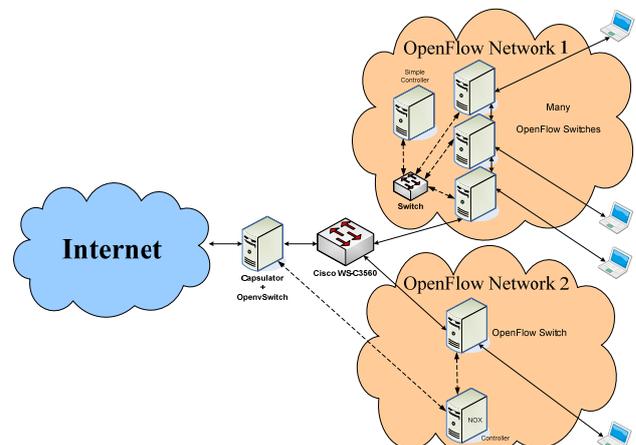


圖 8 由 OpenFlow Networks 組成的實驗網路

表 1 不同 OpenFlow Network 之間 Ping Request 的 Round Trip Time

OF Network1	OF Network2	Avg. RTT(ms)
NCKU	NCHC	2.837
NCKU	KUAS	5.653
NCKU	iCAIR	187.103
KUAS	iCAIR	187.923

#### 4. 結論

本研究基於 OpenFlow 架構下，規劃並建構出 Ethernet-in-IP 的 OpenFlow Networks 實驗環境。讓不同地方的開發人員可以藉由 Tunnel 使彼此的 OpenFlow 網路結合。此一架構預期能與國家高速網路與計算中心的 OpenFlow Network 相連，並使用 OpenvSwitch 管理所建立的 IP Tunneling，再透過國網中心的光網路，亦可跨越太平洋，與芝加哥 iCAIR 中心之 OpenFlow Network 接軌，共同組成一個大型的網路實驗環境。

#### 5. 未來發展

OpenFlow 發展時其中一個目的即是希望能夠佈署在各研究中心與大學的網路節點，如圖 9 所示。除了能提供學生教學及實驗用途之外，在網路交換器製造商的設備支援下，修改路由器的規則或者透過特定的指令改變網路傳輸的路徑，能讓此一實驗網路更具有適應力與彈性，並提供發展下一代高速網路實驗的環境。目前在國家高速網路與計算中心、台灣科技大學、中央大學、高雄應用科技大學以及成功大學皆有 OpenFlow 的研究團隊。如能整合各網路使其相接，即可提升網路拓樸的複雜度，讓團隊們共同在 OpenFlow Networks 上進行下一代高速網路的測試與研究。

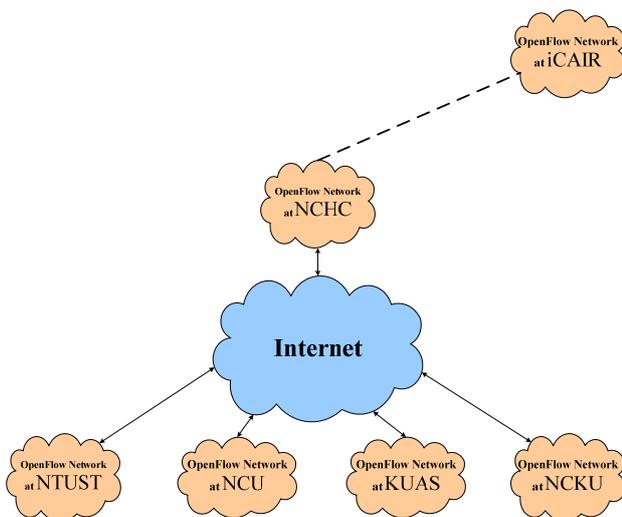


圖 9 各節點 OpenFlow Networks 連線規劃

#### 誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會計畫編號 99-2219-E-006-001、99-2219-E-006-002 經費補助，並感謝國家高速網路與計算中心的協助。

#### 參考文獻

- [1] G. Watson, N. McKeown, M. Casado, "NetFPGA: A tool for network research and education", in Workshop on Architecture Research using FPGA Platforms, Feb. 2006.
- [2] Implementation of a Future Internet Testbed on KOREN based on NetFPGA/OpenFlow Switches [http://netfpga.org/DevWorkshop/NetFPGA\\_DevWorkshop09\\_Paper\\_11-KOREN\\_Testbed.pdf](http://netfpga.org/DevWorkshop/NetFPGA_DevWorkshop09_Paper_11-KOREN_Testbed.pdf)
- [3] Implementation of a Programmable Service Composition Network using NetFPGA-based OpenFlow Switches <http://fif.kr/AsiaNetFPGAws/paper/1-1.pdf>
- [4] J. W. Lockwood, N. McKeown, G. Watson, G. Gibb, P. Hartke, J. Naous, R. Raghuraman, J. Luo, "NetFPGA - An Open Platform for Gigabit-Rate Network Switching and Routing," Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education, p.160-161, June 03-04, 2007
- [5] J. Naous, G. Gibb, S. Bolouki, N. McKeown, "NetFPGA: reusable router architecture for experimental research," In PRESTO '08: Proceedings of the ACM workshop on Programmable routers for extensible services of tomorrow, pages 1-7, New York, NY, USA, 2008. ACM
- [6] J. Naous, D. Erickson, G. A. Covington, G. Appenzeller, N. McKeown, "Implementing an OpenFlow switch on the NetFPGA platform," In Symposium On Architecture for Networking and Communications Systems, 2008 (ANCS, 08).