

미래인터넷 관련 해외 학회들 탐방기

KAIST 전산학과 | 문수복, 장건

미래 인터넷 연구는 현재의 인터넷이 가지고 있는 근본적인 문제점들을 해결하고자 시작되어 최근에 들어서는 “Clean-Slate” 기존의 인터넷과 상관없이 처음부터 다시 만든다는 상황에서 많은 연구를 진행하고 있다. “Clean-Slate” 방식으로 인터넷을 연구하면서 가장 크게 각광 받고 있는 부분은 이를 가능하게 하기 위한 인프라 이다. 본 글에서는 최근 3년 (2006년 ~ 2009년) 동안 미래 인터넷과 관련된 학회들에서 어떤 주요 연구결과들이 발표 되었는지를 살펴 본다.

1. 서론

미래 인터넷 연구는 현재의 인터넷이 가지고 있는 근본적인 문제점들을 해결하고자 시작되어 최근에 들어서는 “Clean-Slate” 기존의 인터넷과 상관없이 처음부터 다시 만든다는 상황에서 많은 연구를 진행하고 있다. “Clean-Slate” 방식으로 인터넷을 연구하면서 가장 크게 각광 받고 있는 부분은 이를 가능하게 하기 위한 인프라이다. 연구실 수준이 아닌 큰 스케일에서 실험해볼 수 있는 환경을 만드는 것 자체가 현재 활발하게 연구되고 있다. 본 글에서는 최근 3년 (2006년 ~ 2009년) 동안 미래 인터넷과 관련된 학회들에서 어떤 주요 연구결과들이 발표 되었는지를 살펴 본다.

많은 네트워크 관련 학회들 SIGCOMM, NSDI, OSDI, SOSP 등에서 미래 인터넷 관련 연구들이 발표되며 또한 GEC (GENI Engineering Conference) 는 미국에서 진행중인 미래 인터넷 테스트 베드 설계 프로젝트인 GENI (Global Environment for Network Innovation) 에서 주관하여 참여 기관들이 각자 연구내용을 발표하는 회의로 미래 인터넷 테스트베드에 관한 많은 정보를 접할 수 있는 곳이다. 국내에서는 ETRI와 GIST 등이 참여하고 있다. 저자 중 장건은 SICOMM 2007, 2008, NSDI 2008, OSDI 2008, SOSP 2009 에 참석하였고, 문수복은 SIGCOMM 2007, 2008, 2009, NSDI 2008, 2009 에 참석하였고 일부 학회에서는 프로그램 위원으로 활동 하였다. 본 탐방기에서는 지난 3년간 이 학회들에서 발표된 내용들을 살펴 보도록 한다. 본 학회들은 모두 10 ~ 20 % 의 논문 채택비율을 가지고 있으며 많은 좋은 논문들이 많이 발표된다. 또한 학회에 함께 개최되는 워크샵 들도 좋은 프로그램들을 가지고 있으므로 해당 학회 및 같이 개최되는 워크샵에 많은 논문 제출을 적극 권장한다.

SIGCOMM, NSDI, OSDI, SOSP, CoNEXT 이렇게 5가지 학회 및 학회와 함께 개최된 작은 PRESTO, VISA 워크샵이 본 글에서 포함하는 범위이다. 우선 이 학회들은 한 개의 트랙만을 가지고 3일 정도의 시간 동안 30여 개의 논문이 발표되며 약 300~500명 정도의 사람들이 참석한다. 하나의 트랙을 모든 사람이 다

듣기 때문에 발표는 넓은 범위의 참석자가 이해할 수 있도록 일반적인 내용부터 기술적인 부분까지 많은 범위를 커버하며 굉장히 수준 높은 발표를 볼 수 있다.

각 학회들은 조금씩 서로 다른 성향을 보이는데, SIGCOMM은 Network 전반적으로 이론적인 부분부터 실제 구현까지 다양한 범위를 포함하며 미국 유럽 그리고 기타지역을 돌아가면서 한다. NSDI 역시 네트워크 전반적인 영역을 포함하지만 실제 구현된 내용이 포함되지 않은 논문은 거의 찾아보기 힘들다. OSDI와 SOSP는 Network 관련 논문은 한두 세션으로 제한되고, 실제로는 운영체제를 포함한 프로그래밍 언어, 데이터베이스 등 다양한 영역을 커버하는 시스템 학회로 마찬가지로 실제 구현한 시스템이 없는 논문은 찾아보기가 힘들다. USENIX에서 주관하는 NSDI와 OSDI의 경우 현재까지 미국 내에서만 개최되고 있으며, SOSP는 현재까지 미국과 유럽에서 개최되었고 아직 아시아에서 개최된 적은 없다. CoNEXT는 SIGCOMM과 비슷한 영역을 커버하는 유럽에서 만든 학회로 현재까지는 미국과 유럽을 오가며 개최되었다.

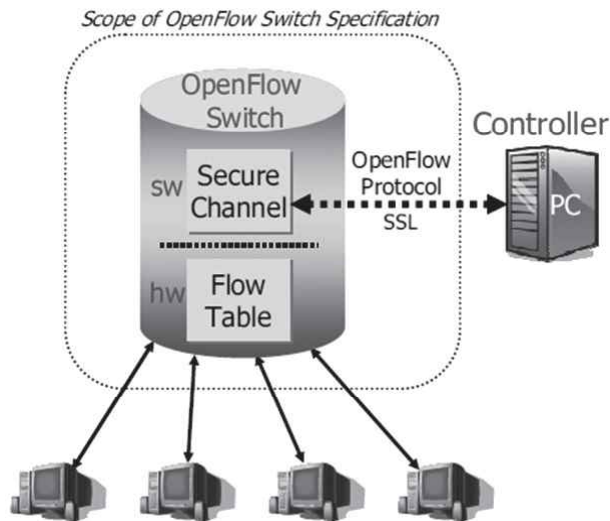
2. 미래 인터넷 관련 주요 연구 동향

최근 미래 인터넷 관련 연구들은 기존의 인터넷 프로토콜을 새롭게 디자인 하는 부분을 넘어서, 어떻게 다양한 프로토콜을 실험실 내에서가 아닌 대규모로 실험을 하여 검증하고 실제로 이를 사용하여 다른 사람들이 이용할 수 있는 테스트베드를 만드는 가에 많은 노력을 기울이고 있다. 이는 기존의 많은 연구들이 현재의 인터넷에 도입할 수 없거나 도입하는데 많은 노력이 필요하여 큰 스케일에서의 실험이 불가능 했던 점을 극복하고 기존의 인터넷에 도입 가능하다는 제약 없이 새로운 개념을 적용해서 실험해 볼 수 있는 환경의 필요성이 대두 되면서이다. 새로운 프로토콜을 큰 스케일에서 실험 가능하게 하기 위해 필요한 기술로는 크게 네트워크 안에 프로그램 가능한 요소를 가지는 것, 그리고 가상화를 통하여 이 네트워크 요소들이 여러 가지 프로토콜을 동시에 동작시키는 것, 이렇게 하면서도 동시에 현재의 라우터 또는 스위치 장비들만큼의 성능을 유지하여 실제 트래픽을 가지고 실험할 수 있는 수준의 장비를 만드는 것 이렇게 세가지 정도로 나눌 수 있다. 특히 가상화와 프로그래머블 라우터는 굉장히 인기 있는 주제이다. SIGCOMM내에 PRESTO (Programmable Routers for Extensible Services of Tomorrow) 그리고 VISA (Virtualized Infrastructure Systems and Architectures) 워크샵의 존재가 이를 뒷받침해준다.

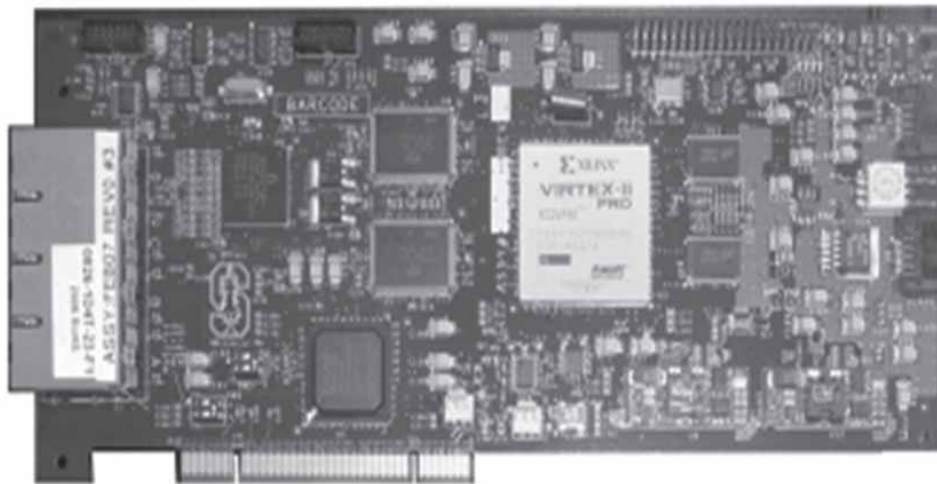
위의 세가지 목적을 달성하기 위해서 진행되는 연구들의 방법을 크게 세가지 정도로 분류할 수 있다. 우선 첫째로는 하드웨어에 기반한 연구로 OpenFlow와 NetFPGA를 예로 들 수 있다. OpenFlow는 처음으로 SIGCOMM의 저널인 CCR에 게재된 후 SIGCOMM 2008에도 데모세션에서 시연하였다 [1]. OpenFlow는 네트워크 가상화를 통해 사용자가 원하는 플로우에 대하여 임의의 포트로 보냄으로써 이를 활용하여 원하는 패스를 지정할 수 있도록 해준다. Openflow에서 플로우는 IP 또는 Ethernet 에 국한되지 않고 Packet의 임의의 영역에 대하여 원하는 값 또는 Wild Card와 비교함으로써 다양한 새로운 프로토콜들에도 쉽게 적용이 가능하다 [1]. 현재 Cisco와 HP에서 OpenFlow를 지원하는 스위치를 시판하고 있으며, OpenFlow기능을 가진 라우터도 NEC에서 개발 중으로 알려져 있다 [2].

| 탐방기 | 미래인터넷 관련 해외 학회들 탐방기

| 그림 ① | OpenFlow 스위치의 동작 예시(출처: (1))



| 그림 ② | NetFPGA 카드(출처: (3))



NetFPGA [3] 는 Ethernet Controller와 FPGA Logic 을 하나의 기판으로 만듦으로써, FPGA로직에 사용자가 원하는 프로그램을 집어넣어 전용 하드웨어를 만드는 수준의 성능으로 원하는 네트워크 프로토콜을 동작시켜 볼 수 있는 하드웨어이다. 2007년 SIGMETRICS 학회에서 처음 Tutorial 을 시작하여 미국, 호주, 한국, 중국, 인도, 영국, 체코 등 세계 각국에서 Tutorial 을 하였고, SIGCOMM 2009 PRESTO 워크샵에 논문이 발표 되었다[1]. 또한 NetFPGA를 사용하여 연구 개발을 하고 있는 사람들이 모여 발표하는 NetFPGA Developers Workshop [4] 행사도 2009년부터 시작되었으며, 2010년 에는 서울에서 Asia NetFPGA Developers Workshop [5] 을 따로 개최할 정도로 큰 인기를 끌고 있다. NetFPGA는 하드웨어 수준의 성능

을 유지하면서 사용자가 원하는 프로토콜을 구현할 수 있다는 큰 장점이 있지만, FPGA로 원하는 기능을 구현하는 작업 자체가 많은 노력을 필요로 한다는 단점을 가지고 있다. 현재 판매되는 제품은 1GbE 4 포트를 가지고 있는데, 이는 기능에 따라서 PC기반의 소프트웨어로도 더 좋은 성능을 얻을 수 있는 기능들도 있기 때문에 10GbE NetFPGA카드가 나오기 전까진 아직 이점이 그렇게 크지 않다고 볼 수 있다 [6].

그림 ③ | IXP를 사용하여 Fastpath를 구현한 Supercharging the Planetlab의 구조도 (출처: (7))

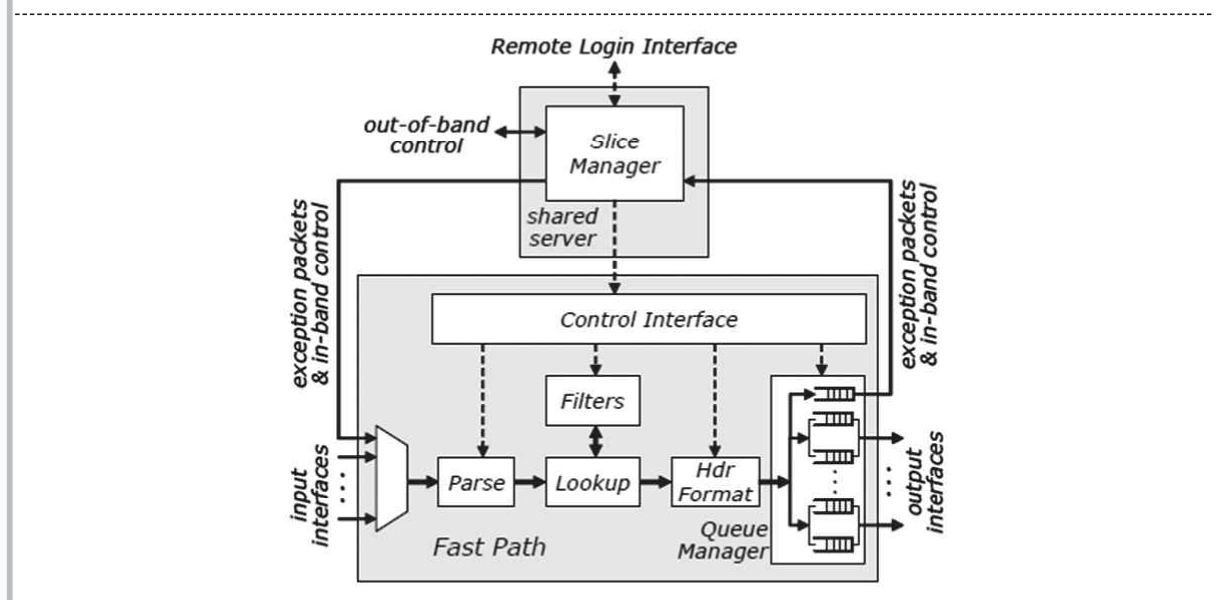
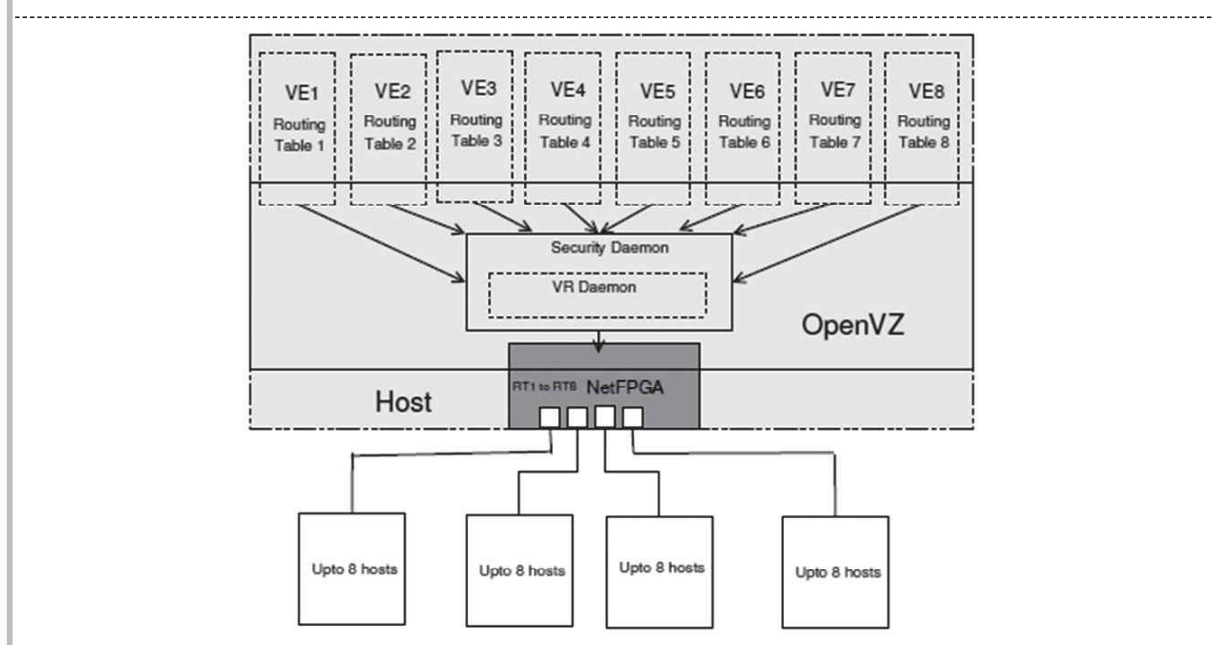


그림 ④ | NetFPGA를 통하여 여러 개의 DataPlane을 구현하고 가상머신을 사용하여 Control Plane을 구현 (출처: (8))

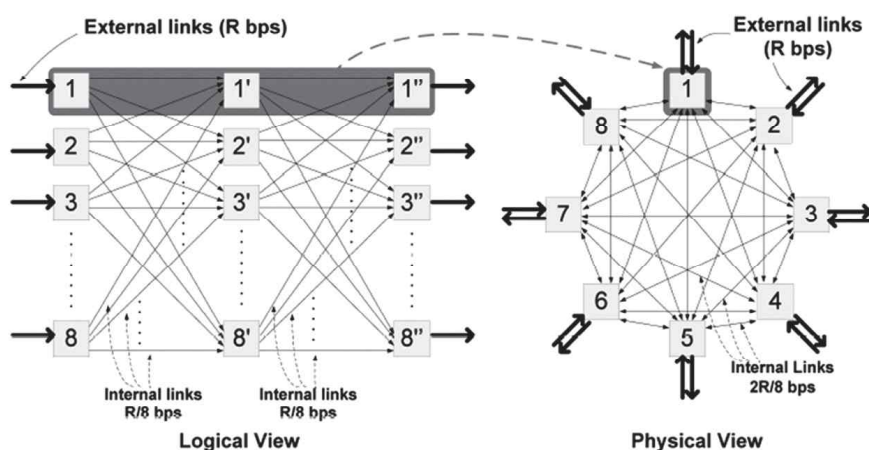


| 탐방기 | 미래인터넷 관련 해외 학회들 탐방기

두 번째로는 Network Processing의 일부를 하드웨어를 통하여 가속하면서 일반 PC기반의 소프트웨어도 같이 사용하는 경우를 들 수 있다. 대표적인 예로는 SIGCOMM'07에 발표된 Supercharging PlanetLab [7]이다. 해당 연구에서는 PlanetLab의 네트워크 패킷 처리 성능이 패킷의 크기가 작아짐에 따라 떨어지는 문제를 Intel의 네트워크 프로세서 IXP를 사용하여 가속함으로써, 고성능의 네트워크 프로세싱이 가능한 PlanetLab 노드를 구현하였다. 그 외에 VISA'09에 발표된 Building a Fast, Virtualized Data Plane with Programmable Hardware [8]가 있다. 이 연구에서는 NetFPGA를 사용하여 네트워크를 가상화 하나의 라우터에서 여러 개의 Data Plane을 만들 수 있도록 하였다. 이 방법의 제일 큰 장점은 순수하게 소프트웨어만 사용하여 구현하는 것에 비하여 SPP와 마찬가지로 성능에서 굉장히 큰 우위를 보완한다는 점에 있다. 이외에도 NetFPGA와 Network Processor를 활용하여 Network Processing 성능을 하드웨어에 근접하게 유지하면서 프로그래머블한 환경을 제공하기 위한 다양한 연구들이 있다. 이런 방식들의 근본적인 한계는 Network Processor나 FPGA가 컴퓨터 공학을 전공한 사람들에게조차 쉽게 구현하여 원하는 성능을 얻기 어렵다는 점이다. 예를 들면 NetFPGA에 FPGA 로직을 구현하여 컴파일해서 다운로드 하기까지 수시간이 걸리기도 한다. 이는 사소한 버그 하나를 잡기 위해서 수시간의 컴파일 및 로딩시간을 기다려야 할 수 있다는 의미이다. 또한 일반 PC에서 돌아가는 소프트웨어와 달리 개발/디버깅을 위한 환경이 풍부하지 않아 디버깅에 굉장히 오랜 시간이 소요 된다. 따라서 많은 모듈들이 개발되고 사용자들이 좀더 쉽게 원하는 기능을 만들어 볼 수 있는 환경을 개발하는 것이 필요하다.

마지막으로 순수하게 소프트웨어에 기반한 방법이다. 대표적인 예로는 Princeton의 VINI(Virtual Network Infrastructure)이다 [9]. VINI는 SIGCOMM'06에 처음 발표되었으며, GRE터널을 사용하여 기존의 인터넷에 노드들을 연결하여 Overlay로 사용자가 원하는 가상의 Topology를 구성하도록 하여준다. 사용자는 구성된 가상 네트워크 위에서 원하는 Routing Protocol을 수많은 인터넷의 호스트들을 사용하여 큰 스케일에서 실험해볼 수 있다는 장점을 가지고 있다. VINI는 순수하게 Application Layer에서 작성된 소프트웨어로 데이터 플레인 성능이 근본적으로 리눅스 커널에서 동작하는 것에 비교하여서도 떨어진다. CoNext'08에는 이를 개선하여 네트워크 가상화 부분을 리눅스 커널에서 구현한 Trellis-VINI [10]를 발표하였다.

| 그림 5 | RouteBricks에서 8대의 서버를 사용하여 구성한 Router의 예시 (출처: (6))



소프트웨어 방식의 또 다른 예로는 SOSP '09에 발표된 RouteBricks이 있다. 이 아이디어는 처음 PRESTO' 08에 PC로 만드는 소프트웨어 기반의 라우터가 과연 성능이 충분히 나올 수 있는가? 라는 점을 분석하면서 시작 되었다. 해당 연구에서는 PC를 여러 대 연결하여 CPU 성능이 병목이 되는 부분을 해결함으로써, 서버들을 4대 묶어 최대 35Gbps 그리고 64 Byte 패킷에 대하여도 12Gbps 의 성능을 내는 소프트웨어 기반의 라우터를 만들었다. 또한 Click [11] 을 기반으로 하였기 때문에 사용자들이 이미 구현된 Click Module들을 활용하거나 Module을 직접 구현함으로써 손쉽게 원하는 기능을 구현할 수 있다. 이러한 소프트웨어 방식은 Programming하기가 굉장히 용의 하다는 장점을 가지는 반면, 기능이 복잡하면 복잡해 질수록 그에 비례하여 성능이 급격하게 저하한다는 문제점을 가지고 있다. RouteBricks에서도 IPsec의 경우 IP Routing의 1/3 이하의 성능으로 떨어지는 것을 확인하였다.

이러한 프로그래머블하고 가상화를 통해 기존해 시뮬레이션에 의존하던 연구를 실제로 실험할 수 있는 환경을 구축하고자 하는 연구는 유선을 넘어 무선에서도 이루어지고 있다. 우선 MobiCom에 함께 열리는 WinTech' 07 에서 발표된 무선에서 시분할을 통해 가상화를 하고자 하는 연구가 있다 [11]. 이 연구에서는 시분할 방식을 이용한 무선 가상화 방식의 큰 문제로서 노드들이 정확한 시간에 서로 일관성 있게 동작하도록 하는 점을 꼽았다.

무선에서 프로그래밍 가능한 인터페이스를 만들고자 하는 노력은 Software Defined Radio (SDR)라고 불리며 오래 전부터 연구되어 왔다. 크게 FPGA로 무선 인터페이스를 제어 하는 방식과 CPU에서 직접 무선 신호를 제어하는 방식으로 나눌 수 있다. 후자의 경우에는 무선 인터페이스와 CPU사이의 지연시간 및 스케줄링에 의한 Real-time 보장 문제 등으로 인하여 굉장히 낮은 성능을 보였었다. NSDI' 09 에 발표된 Sora: High Performance Software Radio Using General Purpose Multi-core Processors 에서는 이러한 문제를 해결한 무선 인터페이스를 개발하여 WiFi 802.11g 의 성능을 CPU를 사용하여 Processing가능한 수준으로 만들었다 [12]. 이렇게 CPU를 사용하여 Processing이 가능한 플랫폼은 FPGA를 사용하는 방법에 비하여 프로그래밍하기가 훨씬 용의하기 때문에 SDR을 사용하는 연구를 촉진시킬 수 있다.

3. 결론

미래 인터넷 연구는 최근 네트워크 학계에서 큰 관심을 받고 있다. 특히 기존의 많은 연구들을 실제로 큰 스케일에서 실험하여 볼 수 있는 테스트베드를 만드는 것 자체가 미래 인터넷 연구로서 큰 주목을 받고 있으며, 이를 위하여 가상화와 프로그래밍 가능한 네트워크 장비들을 만드는데 많은 연구가 이루어 지고 있다.

본 글에서는 SIGCOMM을 비롯한 해외의 주요 네트워크 관련 학회들에서 발표된 내용을 중심으로 최근 미래 인터넷 연구 동향을 정리하였다.

4. 참고문헌

- [1] N. McKeown, et al., "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 38, no. 2, pp. 69–74, 2008.
- [2] 대. 김, et al., "네트워크 가상화에 대한 고찰," 정보과학회지, vol. 26, no. 10, 2008.
- [3] <http://www.netfpga.org>
- [4] <http://netfpga.org/wordpress/netfpga-developers-workshop/>.
- [5] <http://fif.kr/AsiaNetFPGAs/>.
- [6] M. Dobrescu, et al., "RouteBricks: exploiting parallelism to scale software routers," in SOSPP '09: Proceedings of the ACM SIGOPS 22nd symposium on Operating systems principles, Big Sky, Montana, USA, 2009, pp. 15–28.
- [7] J. S. Turner, et al., "Supercharging planetlab: a high performance, multi-application, overlay network platform," in SIGCOMM '07: Proceedings of the 2007 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication, vol. 37, Kyoto, Japa, 2007, pp. 85–96.
- [8] M. B. Anwer and N. Feamster, "Building a fast, virtualized data plane with programmable hardware," in VISA '09: Proceedings of the 1st ACM workshop on Virtualized infrastructure systems and architectures, Barcelona, Spain, 2009, pp. 1–8.
- [9] A. Bavier, N. Feamster, M. Huang, L. Peterson, and J. Rexford, "In VINI veritas: realistic and controlled network experimentation," in SIGCOMM '06: Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications, Pisa, Italy, 2006, pp. 3–14.
- [10] S. Bhatia, et al., "Trellis: a platform for building flexible, fast virtual networks on commodity hardware," in CoNEXT '08: Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference, Madrid, Spain, 2008, pp. 1–6.
- [11] R. Morris, E. Kohler, J. Jannotti, and M. F. Kaashoek, "The Click modular router," SIGOPS Operating Systems Review, vol. 33, pp. 217–231, 1999.
- [12] G. Smith, A. Chaturvedi, A. Mishra, and S. Banerjee, "Wireless virtualization on commodity 802.11 hardware," in WinTECH '07: Proceedings of the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization, Montreal, Quebec, Canada, 2007, pp. 75–82.

- [13] K. Tan, et al., "Sora: high performance software radio using general purpose multi-core processors," in NSDI'09: Proceedings of the 6th USENIX symposium on Networked systems design and implementation, Boston, Massachusetts, 2009, pp. 75–90.
- [14] <http://www.openflowswitch.org>.
- [15] K. Argyraki, et al., "Can software routers scale?," in PRESTO '08: Proceedings of the ACM workshop on Programmable routers for extensible services of tomorrow, Seattle, WA, USA, 2008, pp. 21–26.
- [16] J. Naous, G. Gibb, S. Bolouki, and 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, Seattle, WA, USA, 2008, pp. 1–7.

