

## 최근 인터넷 아키텍처 연구 동향

한동수 (KAIST 전기및전자공학부)

본 뉴스레터에서는 그동안 진행되어 왔던 인터넷 아키텍처 연구가 남긴 화두를 정리해 보고, 그 이후의 연구 흐름을 소개한다.

지난 몇년 동안 미국을 중심으로 다양한 인터넷 아키텍처에 대한 연구가 이루어졌고, 이들 프로젝트들은 현재 마무리가 되었거나 마무리 단계에 있다. 이 시점에서 이들 연구가 추구했던 주제들과 그들이 남긴 공통적인 화두를 정리해보고 앞으로의 연구의 방향성을 가늠해보고자 한다.

### 1. 2000년대 말 2010년대 초반의 인터넷 아키텍처 연구

미국 NSF의 Future Internet 프로젝트를 계기로 다양한 네트워크 아키텍처에 대한 연구가 2000년대 말 부터 시작되었다. 대표적으로 Information Centric Networking (ICN) 계열의 Named Data Networking (NDN)을 비롯하여, eXpressive Internet Architecture (XIA), MobilityFirst 등의 연구가 이루어졌다. 이러한 미래지향적 인터넷 아키텍처들이 초기 연구에서 공통적으로 집중한 것은 (적어도 표면적으로) 네트워크 주소에 관한 고찰이다. 이들은 각각 네트워크의 주소 체계 (addressing)을 바꾼다면 이러 이러한 목표를 달성할 수 있을 것이다라는 아이디어를 핵심 주제로 내세웠다. 각기 목표하는 바는 조금씩 다르지만 공통적으로 네트워크 주소가 어떤 의미를 내포하고 있어야 하는가를 고찰해보는 계기가 되었고, 연구 결과물로 각 아키텍처의 구현이 공개되어 아이디어들을 구체적으로 평가할 수 있게 되었다. 이들은 공통적으로 현재 IP의 호스트 기반의 주소 체계가 아니라 다양한 개체에 네트워크 주소를 부여할 수 있는 네트워크를 구성하였다. 각 아키텍처가 주창한 주소의 형식을 보면 다양한 주소를 부여하는 방법을 엿볼 수 있다.

NDN: NDN에서는 콘텐츠에 계층적 주소를 부여한다. 이는 ICN의 대표적 주소 부여 방식이다.

XIA: XIA에서는 네트워크 상의 개체들이 서로 다른 타입을 가질 수 있고, 타입에 따라서 네트워크 서비스가 달라진다. 또한 incremental deployment를 지원하기 위해, fallback의 개념을 포함한 주소 체계를 가지고 있다. NDN과는 다르게 ID가 계층적이지 않기 때문에 네트워크 계층을 표현할 수 있는 주소 체계를 가지고 있다. 이 주소의 모양이 Directed Acyclic Graph로 표현된다.

MobilityFirst: 네트워크 개체에 변하지 않는 주소를 할당하고, 이동성을 위해 네트워크가 현재의 위치에 해당하는 주소를 찾아주는 기능을 두었다. 따라서, 패킷에 두가지 이상의 주소를 표현할 수 있도록 하고 현재의 위치에 해당하는 주소는 포워딩 하면서 네트워크에서 바꿀 수 있는 자유도를 부여하였다.

이들의 연구는 인터넷 아키텍처 미국 주도의 테스트 베드인 GENI 기반의 테스트 베드에서 실증되면서, 연구자들은 네트워크 아키텍처의 설계 경험, 그것의 구현 뿐만 아니라 네트워크 테스트 베드의 운용하는 경험을 쌓고 기반을 다지게 되었다.

### 2. 공통적 화두

이후 아키텍처에 관한 초기의 연구들이 주목을 받고 평가가 이루어지면서, 자연스럽게 주제와 스타일 면에서 조금 더 넓은 범위의 연구가 이루어졌다. 이들 연구는 크게 두가지 방향으로 나뉜다. 1) 네트워크 아키텍처에 자체에 관한 깊은 고찰, 그리고 2) 새로운 문제의식에 기반한 인터넷 기술의 발전이다. 이들이 던진 화두로서는 다음의 세 가지 줄기로 나누어 보았다.

- 주소의 의미 : 네트워크 주소에 어떤 정보를 넣고 어떻게 표현하는가에 대한 연구가 인터넷 아키텍처에서 많

이 이루어지자, 주소의 의미에 관한 연구가 후속적으로 이루어졌다. 대표적으로 XIA 그룹에서 발표된 SIGCOMM 2014 [1] 논문에서는 네트워크상에서 출발지 주소 (source address)가 최소한 다섯가지 이상의 의미와 역할을 가지고 있고 이것 때문에 복잡한 문제들이 일어난다고 주장하였다. 이 논문에서는 출발지 주소를 회신 주소 (return address)와 책임자 주소 (accountability address)로 나누고, 이를 바탕으로 privacy와 accountability를 보장하는 네트워크 아키텍처를 설계하였다. 이와 유사한 흐름으로 ICN 연구에서도 어떠한 정보를 어떻게 주소로 표현할 것인가에 관한 연구가 많이 이루어졌다. 이러한 연구들은 초기의 아키텍처 연구에 비해 주소의 의미에 관한 보다 깊은 고찰을 바탕으로 새로운 방향을 도출하였다.

- 데이터 평면 기술: 새로운 주소 체계에 기반한 네트워크가 등장한 이후, 네트워크를 이루는 다양한 구성요소에 관한 많은 연구들이 동시에 진행되었다. IP 주소가 아닌 다양한 identifier에 대해 forwarding table lookup을 빠르게 하는 고성능 데이터 평면에 대한 연구가 진행되었다 [2]. 또한 flat identifier의 경우나 ICN에서 기존 IP 주소 기반의 forwarding table보다 훨씬 더 큰 table을 어떻게 지원할 것인지에 관한 연구도 이루어졌다. 이러한 연구들은 (distributed) key-value store의 출현과 더불어 현재 인터넷에서 쓰일 수 있는 기술이 되기도 하였다. 또한, congestion control 등의 transport 분야에서도 어플리케이션의 다양한 요구조건을 만족할 수 있는 유연한 transport [3]에 관하여도 연구가 진행되었고, NDN 아키텍처에서도 transport에 관한 많은 연구들이 진행되었다 [4, 5].

- 네트워크 아키텍처의 진화성 (Architectural evolvability) : 이후 하나의 네트워크에서 다른 종류의 네트워크로 진화하기 위한 incremental deployment 의 방법론에 대한 연구가 진행되었다 [6, 7]. 이들 연구는 스마트 control plane과 터널링을 결합하거나 [6], Software-defined Networking (SDN) control plane과 결합하여 [7] 점진적으로 네트워크를 새로운 네트워크로 바꾸어나가는 방법론을 제시하였다.

### 3. 네트워크 아키텍처 연구의 방향

네트워크 아키텍처 연구는 급진적으로 보이는 새로운 아이디어를 전개하고, 구현하여, 검증해보는 단계를 거쳤다. 이러한 아이디어는 현재 인터넷에서 쓰이고 있거나 현재 인터넷 기반으로 연구가 된 기술을 접목하기도 하여 탄생하기도 하였고, 새로운 네트워크 아키텍처 연구에서 나타난 개념을 현재 인터넷에 가져와 새로운 연구가 나타나기도 하였다. 많은 경우 인터넷 아키텍처 연구는 근본적인 고찰로부터 시작하며, 이는 당면의 문제를 아래에서부터 해당하는 방식의 연구와 반대의 성격을 지닌다. 이에 따라 다양한 방식의 연구가 공존하며 상호 영향을 주고 받고 있으며, 산업계와도 영향을 주고 받고 있는 건강한 연구 생태계가 조성되고 있다.

#### [참고문헌]

- [1] David Naylor, Matthew Mukerjee, Peter Steenkiste, "Balancing accountability and privacy in the network," Proc. ACM SIGCOMM 2014.
- [2] Haowei Yuan, Tian Song, Patrick Crowley, "Scalable NDN Forwarding: Concepts, Issues and Principles," Proc. International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)
- [3] Dongsu Han, Robert Grandl, Aditya Akella, and Srinivasan Seshan, "FCP: A Flexible Transport Framework for Accommodating Diversity," Proc. ACM SIGCOMM 2013.
- [4] M. Amadeo, A. Molinaro, and G. Ruggieri, "E-CHANET: Routing, Forwarding and Transport in Information-Centric Multihop Wireless Networks," Computer Communications, vol. 36, no. 7, April 2013.
- [5] L. Saino, C. Cocora, and G. Pavlou, "CCTCP: A scalable receiver-driven congestion control protocol for content centric networking," Proc. IEEE ICC, 2013
- [6] Matthew Mukerjee, Dongsu Han, Srinivasan Seshan, and Peter Steenkiste, "Understanding Tradeoffs in Incremental Deployment of New Network Architectures," Proc. ACM CoNEXT 2013
- [7] Barath Raghavan, Teemu Kopenen, Ali Ghodsi, Martin Casado, Sylvia Ratnasamy, Scott Shenker, "Software-defined internet architecture: decoupling architecture from infrastructure", Proc. ACM Workshop on Hot Topics in Networks