

# 미래인터넷 아키텍처 전망



최진혁 | 삼성종합기술원 전문

## I. 인터넷 아키텍처 개요

아키텍처라는 개념 자체가 그 정의에서 어느 정도 모호성을 피할 수 없으나 일반적으로 네트워크 아키텍처란 '네트워크 엔지니어링을 가이드 하는 일군의 원칙과 기본 메커니즘(A set of principles and basic mechanisms that guide network engineering)' 이라 말할 수 있다.

인터넷은 명확한 아키텍처에 의해 설계 개발되었다기 보다는 몇 개의 기본 아이디어를 바탕으로 시간을 두고 차츰 성장해 왔다. 인터넷 발전 과정에서 ARPANET은 패킷 스위칭 개념을 기반으로 1969년 탄생되었으나 인터넷 아키텍처의 정식 정의는 David Clark의 논문으로 1988년에야 이루어졌다.

기존 네트워크 아키텍처는 인터넷 성장을 무리없이 뒷받침 하였으나 현재 디지털 융합에 기인한 인터넷 응용, 환경, 기기의 변화로 인해 그 한계가 표출되고 있다. 인터넷 기술은 완전한 전송 품질, 신속한 이동성 제공, 완벽한 보안, 확장성 측면에서 어려움이 있으며 바이러스, 스팸 및 ISP 이익 동기 상실들 경제적, 사회적 문제의 발생으로 미래 사회에 적합한 새로운 인터넷 아키텍처가 요망된다.

현재 미국을 시작으로 유럽, 일본 등 각국은 '미래인터넷(Future Internet)' 연구에 착수했다. 기존 인터넷의 연장이 아닌 원점에서 출발(Clean Slate)해 미래 사회 요구에 적합한 인터넷과 이를 뒷받침 할 수 있는 새로운 네트워크 아키텍처를 연구한다.

## II. 인터넷 아키텍처 현황

인터넷은 명시적인 정식 아키텍처 없이 몇몇 기본 아이디어의 가이드 아래 점진적으로 성장해 왔다. 원래 인터넷은 다음 목적들을 염두에 두고 구성되었다.

- 기존 네트워크의 연결(Connection of existing networks)
- 생존성(Survivability)
- 다중 서비스 지원(Support of multiple types of services)
- 이종 물리망 포괄(Accommodation of a variety of physical networks)
- 분산 관리(Distributed management)
- 경제성(cost-effectiveness)
- 호스트 접속 용이(host attachment with a low level of effort)
- 자원 사용 계량(resource accountability)

위의 목적 달성을 위해 아래 원칙들에 의존한다.

- 패킷 스위칭(Packet switching)
- 데이터그램(Datagram)
- 글로벌 주소(Global addressing)
- 계층적 프로토콜 스택(Layered protocol stack)
- 좁은 허리(Thin waist)
- 엔드 투 엔드 원칙(End-to-end principle)
- 투명성(Transparency)

위 원칙들은 인터넷 기기, 용도, 환경의 변화에 따라 일부 원칙들은 훼손되기도 하고 일부 원칙들은 그 효용성이 의문시되고 있다.

먼저 패킷 스위칭은 버스티한 간헐적 통신에는 적합하나 지속적인 대용량 전송에는 서킷 스위칭이 보다 적합하다. 인터넷은 패킷 스위칭 단일 구조로 구성되어 있으나 향후에는 패킷 스위칭과 서킷 스위칭의 조합, 예를 들면 패킷 스위칭의 에지 무선 네트워크와 서킷 스위칭의 백본 광 네트워크와의 연동 구조로 변화해야 한다는 의견이 있다.

모든 통신에 인터넷은 전달에 필요한 모든 정보를 포함하는 하나의 범용 표준 데이터그램을 사용한다. 이러한 범용 데이터그램은 네트워크 상황에 따라 적절치 않을 수 있다. 예를 들면 통신 자원이 부족한 센서 네트워크 상에서 범용 데이터그램의 헤더는 너무 큰 부담이 될 수 있다. 향후에는 하나의 범용 표준 데이터그램 대신 각 환경에 적합한 복수의 데이터그램과 그들의 원활한 연동 구조로 가야 한다는 주장이 있다.

인터넷은 5단계의 계층으로 나뉘어져 있으나 현재 그 계층의 경계가 허물어지고 있다. SIP, MIPv6 등 중간 계층에 속하는 프로토콜이 등장하고 있으며 성능 향상을 위해 계층 간의 정보교환이 이루어지고 있다. 계층 간 구조에 대한 근본적 고찰이 요구된다.

원래 인터넷은 하나의 IP에 의해 호환 활동(inter-operation)이 이루어지나 IP 계층의 성격이 바뀌고 있다. 추가 기능을 위해 멀티캐스트 등 IP 계층에 점점 많은 프로토콜이 배치되고 있으며 또한 v4, v6 복수의 프로토콜이 존재한다.

인터넷은 전송 시 발신자와 수신자 사이에 데이터가 변환되지 않아야 하나 현재 ISP는 NAT, Firewall 등으로 중간에 데이터를 수정한다. 단말의 인텔리전스를 강조하는 엔드 투 엔드 원칙의 효용성도 의문시되고 있다. 일부에서는 엔드 투 엔드 대신 트러스트 투 트러스트(Trust to Trust)로의 수정을 요망한다.

현 인터넷 아키텍처의 가장 근본적인 문제점은 그 경직성(ossification)이다. 인터넷 아키텍처는 화석화되어 새로운 요구에 대한 대응이 아주 어렵다. 인터넷은 1990년 이래 사용, 기기, 규모에서 혁신적 변화가 있었으나 네트워크 계층에 지난 10년간 주목할 변화가 없었으며 트랜스포트 계층에서는 근 20년간 개선이 없었다. NAT와 방화벽(firewall)의 확산으로 새로운 트랜스포트 프로토콜, 심지어 새로운 응용의 도입도 곤란하다. 기존 http 기반의 응용은 이력저력 동작하나 비 http 기반 응용은 방화벽 통과가 힘들다. Skype의 경우 NAT 통과를 위해 복잡한 별개 메커니즘이 필요하다.

원 인터넷은 유연한 구조로 새로운 도전에 적절히 부응하였으나 현 인터넷은 화석화 되어 현재 운용 중인 모델만을 지원할뿐 새로운 프로토콜이나 응용을 거부한다. http 기반의 응용 외 IPTV, VoIP 등 새로운 응용이 출현하고 있으며 디지털 융합에 의해 방송, 음성, 심지어 센서까지 인터넷으로 통합되고 있으나 현 인터넷 아키텍처는 이러한 도전에 직면할 준비가 되어 있지 않다.

### III. 미래인터넷 아키텍처 전망

네트워크 아키텍처는 상위의 요구사항과 하위의 메커니즘(또는 기능) 사이에 위치하여 상위의 요구사항을 하위의 메커니즘으로 만족시킨다. 요구 사항 달성을 위해 네트워크 아키텍처는 '어떤 기능을 네트워크 어디서 수행하며 또 이 기능들은 어떻게 상호 연결되는가(the definition and the placement and connection of functionalities in a network)' 를 선택한다.

최적의 네트워크 성능을 위해 네트워크 아키텍처는 아래의 질문들을 고려한다.

- 어떤 개체들이 어떻게 이름 지어지는가(What entities are named and how)?
- 어떻게 이름, 주소, 라우팅이 서로 연계되나(How do naming, addressing, and routing inter-relate)?
- 어디에 어떻게 상태가 저장되며 소멸되나(Where & how is state installed and removed)?
- 어떻게 기능들을 모듈화 시키나(How are functions modularized)?
- 어떻게 자원을 배분하나(How are resources allocated)?

위에 관련하여 대략 아래의 분야에서 미래인터넷 아키텍처 연구가 진행 중이다.

- architecture
- virtualization
- naming & addressing
- routing & forwarding
- information network
- end to end Connectivity with QoS
- mobility
- security
- management

- wireless
- optics
- economy

이 분야에서 현재 진행되고 있는 대표적 연구를 아래에서 소개한다. 원래 아키텍처와 메커니즘과의 경계가 모호하기는 하나 현재 진행되고 있는 연구의 태반이 특정 기능을 만족하는 메커니즘 수준이지 여러 메커니즘을 아울러 유기적 통합 구조를 구성하는 전체 아키텍처라 하기에는 모자람이 있다.

### 1) 가상화(Virtualization)

현재 가상화는 인터넷 아키텍처 연구의 중심에 위치한다. 프로그래머블 장비를 기반으로 하나의 하드웨어 자원위에 소프트웨어를 이용 복수 가상 네트워크를 구성한다. 공통 물리적 네트워크 상에서 별개의 아키텍처를 가지는 이종 가상 네트워크를 운용할 수 있기에 미국에서 아키텍처 테스트용으로 GENI라는 가상 네트워크를 구성 중이다. 이러한 가상화 구조가 단순한 시험 용도가 아닌 미래인터넷의 기본 아키텍처가 될 수도 있다.

### 2) Meta-Architecture

네트워크 아키텍처 그 개념 자체에 대한 논란이 있다. 대략 단 구조(mono-architecture), 복 구조(multi-architecture), 무 구조(non-architecture) 세 가지 다른 의견이 있다. 첫째는 유일한 인터넷 아키텍처가 존재하리라 주장한다. GENI 테스트망을 통해 최적의 새로운 인터넷 아키텍처가 결정될 것이며 이를 바탕으로 미래인터넷이 구성될 거라 예측한다. 둘째는 유일한 네트워크 아키텍처 대신 복수의 네트워크 아키텍처가 병존 하리라 주장한다. GENI와 같은 가상화를 통해 이종 아키텍처의 복수의

네트워크가 운용 되어 별개의 응용에 따라 별개의 서비스를 제공하리라 예측한다. 셋째는 더 이상 네트워크 아키텍처가 존재하지 않으리라 예측한다. 중요한 것은 주어진 자원으로 어떻게 분산 응용(distributed application) 들을 구성, 연계하는가이며 아키텍처란 개념 자체가 인터넷의 혁신에 장애가 된다고 주장한다.

### 3) Information network

인터넷은 호스트 간 대화(host to host conversation) 모델을 가정한다. 하나의 인터넷은 대부분 웹페이지를 통한 정보 획득에 이용된다. 이러한 응용은 필요 정보의 입수가 관건이지 그 정보가 어디 위치하는지는 관심사가 아니다. 호스트 간 대화 모델이 아닌 정보 배포(data dissemination) 모델이 보다 적합하기에 이에 맞춘 데이터 중심 네트워크 아키텍처를 재구성하려 한다. 현재 Data Oriented Network Architecture(DONA), Content Centric Network(CCN) 등의 후보가 있으며 주요 내용을 보면 ① 정보별 아이디(identifier)가 부여되고, ② 이 정보 아이디는 정보의 신뢰성을 보장하는 암호화 서명을 포함하고, ③ 이 정보 아이디로부터 정보 위치를 도출하는 방법이 제시된다. 아직 인터넷 규모로 확장이 가능한지, 사용자가 어떻게 원하는 정보의 아이디를 입수하는 지, 정보는 어떻게 복사되어 어디에 저장되며 어떻게 동조 될지에 대한 이슈가 있다.

### 4) Non-layered(Lego-like) architecture

네트워크 프로토콜은 5단계의 계층으로 나뉘어 있으나 계층 간 경계는 점점 모호해지고 있다. 성능 향상을 위해 계층 간의 정보 교환이 허용되며 SIP, MIPv6 등 계층 간에 위치하는 프로토콜들도 등장했다. 계층 기반의 엄격한 역할 분리는 더 이상 효율적이지 않다 보고 이를 대체하려는 제안들이 있다. 계층 간의 상호 작

용을 원활하게 하는 Cross layer 아키텍처와 보다 파격적인 Non-layered 아키텍처가 있다. 후자는 프로토콜의 역할을 계층 별로 구분하는 대신 보다 세분화된 기능 블록(Functional Block)으로 나눈다. 응용에 따라 적절한 기능 블록들이 조합되어 상황에 맞는 통신 서비스를 제공한다. 보다 세분화된 통신 개체 간의 상호작용에 의한 복잡성 증가, 또 상황에 적절하게 기능 블록들을 조합하는 방법 등에 대한 이슈가 있다. EU 과제 중 하나인 ANA(Autonomic Network Architecture) 과제에서는 인지과학의 Ontology 기술로 기능 블록 들을 조합하나 현 Ontology 수준으로 미루어 볼 때 실용화에 의문이 있다.

### 5) Naming & addressing

현 주소는 호스트의 신분(identification)과 위치(location)를 모두 나타낸다. 현 주소는 이렇게 복수의 의미를 내포하기에 이동성 지원, 라우팅 등에 문제가 있다. 신분을 나타내는 아이디(identifier)와 주소(locator)를 따로 설정하는 연구가 진행 중이다. 이 경우 필요시 아이디와 주소를 연결하는 별개의 매핑 시스템이 필수적이다. 이 밖에 주소 체계를 현재의 계층적(hierarchical) 구조에서 평면적(flat) 구조로 전환하자는 주장이 있으며 위치정보 기반의 통신(Geo-networking)을 위해 주소에 위치정보를 포함시키는 제안도 있다. 또한 통신 단위가 정보인 Information network에서는 정보 개체 하나 하나에 주소를 부여하기도 한다. 이 경우 인터넷 규모의 확장이 가능한가가 아직 확실치 않다.

### 6) 보안

현 인터넷은 신뢰할 수 있는 소수의 사용자를 상정하고 설계되었기에 보안에 취약점이 있다. 아키텍처 자체에 보안 기능을 내재한 연구가 진행 중이다. 먼저 Crypto-generated identity에 대한 제안이 있다. 아이디

에 암호 데이터를 포함에 그 자체로 인증이 가능케 한다. 하나 PKI같은 a priori Trust system을 필요로 한다. 둘째 트래픽에 자신의 기원과 의도를 명시적으로 표시한다. 네트워크 관리자가 트래픽 자체를 차단하거나 문제 발생 시 근원지를 용이하게 파악할 수 있다.

### 7) Bi-inspired network

미래인터넷의 확장성, 유연성, 신뢰성 담보를 위해 현존하는 가장 효율적인 대규모 네트워크인 바이오 시스템의 아이디어를 도입하자는 제안이 있다. 개미, 벌 등의 대규모 바이오 시스템은 중앙 제어 없이도 개체의 자율적인 결정과 주변 개체와의 상호 작용으로 효율적으로 동작한다. 바이오 원칙과 메커니즘이 미래인터넷의 주요 구성 원리가 될 수 있다 보며 구체적으로는 면역 체계(immune system)를 모방한 네트워크 보안체계, 적자생존(Natural selection)에 기반한 서비스 구성 연구 등이 진행 중이다.

### 8) 기타

그 밖에도 네트워크 아키텍처에 관한 여러 연구들이 있다. 먼저 경제적 동기를 보다 충실히 반영한 아키텍처가 필요하다. 원 인터넷 아키텍처 하에서는 ISP나 기타 관련자들이 전체 네트워크의 유익을 위해 노력할 동기가 별로 없다. 예를 들어 각 사용자는 자신의 프리픽스를 상위 네트워크로 공지하는게 유리하지만 이는 전체 네트워크에 심각한 문제를 초래한다. 인터넷의 장기적 안정성을 위해 새로운 아키텍처는 각 네트워크 관련자가 전체 네트워크의 유익을 도모하는 것이 자신의 유익과 직결되도록 해야 한다. 게임 이론을 적용한 연구가 진행 중이다.

트래픽 전달에 관한 새로운 프레임들이 시도되고 있다. 먼저 기존의 Client-server 모델을 대체하는 P2P

통신 모델이 확산되고 있다. 대표적 P2P 프로그램인 bitTorrent는 파일을 쪼개 복수의 Peer로부터 동시에 필요 데이터를 다운로드 받는다. 이러한 Swarm 기능을 네트워크 단에 내재시키는 연구가 진행 중이다.

대용량 파일 전송 또는 열악한 통신 환경에 맞추어 Store & Forward 전달 모델이 제안되었다. 네트워크 인프라에 대용량 스토리지가 내재되어 트래픽 전송이 어려울 때 잠시 저장했다가 상황이 호전되면 다시 전달한다.

라우팅 시스템의 확장성을 위해 업데이트가 필요 없는 라우팅이 연구 중이다. 모든 Complex Network에는 Hidden Metric이 존재하며 이에 기반한 Greedy routing을 최적화하기 위해 Scale free 네트워크 구조가 도출 되었다고 본다. 현 인터넷 구조를 규정하는 Hidden Metric을 분석하여 이에 맞는 Greedy routing 방법을 실 상황에 적용한다. 각 전달 노드는 전송할 데이터가 있을 때 이웃 노드 중 Hidden Metric 상 목적지에 가장 가까운 노드에 데이터를 전달하기만 하면 된다. TTA