

미래인터넷 아키텍처 연구동향

Trends in Future Internet Architecture Research

New ICT 방송통신융합기술 특집

변성혁 (S.H. Byun) 방통융합미래인프라연구팀 책임연구원

목 차

-
- I . 미래인터넷의 등장배경
 - II . 국내외 미래인터넷 프로젝트
 - III . 아키텍처 이슈별 연구동향
 - IV . 결론

30여 년 전에 연구망으로서 개발이 시작된 인터넷은 현재 사회의 공공 인프라로서의 역할로 기능이 확장되면서 이동성, QoS 지원, 보안성 등을 고려한 점진적 개선이 이루어져 왔다. 그러나, 이러한 점진적 개선 방법의 한계성 때문에 현재의 인터넷 구조가 향후 20~30년 후의 미래사회의 인프라로서도 적합할 것인가에 대한 의구심이 생기기 시작하였다. 이에 따라, 기존 인터넷과의 호환성을 고려하지 않고, 처음부터 현재 및 미래 서비스의 요구사항에 기반하여 네트워크를 새로 설계하고자 하는 “미래인터넷” 연구가 시작되었다. 미래인터넷에 대한 연구는 아직 초기단계로서, 거시적 목표를 위해 다양한 네트워크 아키텍처들이 제시되고 있는데, 본 고에서는 미래인터넷의 등장 배경과 지향점, 각국의 연구 현황을 살펴보고, 미래인터넷 아키텍처에 대한 연구자들의 다양한 아이디어를 주요 이슈별로 소개하고자 한다.

I. 미래인터넷의 등장배경

1. 현재 인터넷의 한계

인터넷은 원래 서로 다른 구조의 네트워크를 상호연결(internetworking) 하기 위해 고안된 연구망으로서, 1969년에 구축이 시작된 ARPANET를 시초로 하여 진화해 왔으며, 현재의 TCP/IP 기반의 인터넷 구조는 1981년에 IP, TCP, UDP에 대한 IETF 표준 RFC를 통해 정립되었고, 1983년 1월 1일에 ARPANET의 NCP protocol을 TCP/IP로 일제히 전환함으로써 인터넷이 탄생하게 되었다[1].

이렇게 30여 년 전에 연구망으로 만들어진 인터넷이 1991년 Web의 탄생과 더불어 일반 대중에게 급속도로 전파되었고, 현재는 일반 대중이 원하는 정보를 언제든지 찾을 수 있는 정보의 바다로서, 그리고 통신과 신문, 방송까지 수용하고 전자상거래, e-banking, 전자정부 등으로까지 활용이 확대되어 사회의 공공 인프라 역할을 하게 되었다.

따라서 초기에 고려하지 못한 보안성, 관리성, 이동성, QoS 등에 대한 새로운 요구사항을 수용하고자 필요에 따라 기능이 추가되어 왔다. 그러나 항상 backward compatibility를 위해 인터넷의 기본구조를 유지하면서 기능 추가를 해야 하는 한계성 때문에 인터넷의 구조는 점점 복잡해져 왔고, 그럼에도 인터넷의 기본적인 구조적 한계 때문에 다음과 같은 문제점은 여전히 풀어야 할 숙제로 남아 있다.

가. 보안성 취약

인터넷의 초창기 사용자는 서로 신뢰할 만한 연구자들이었기에 악성 해커 등을 대비한 보안성은 크게 고려하지 않았다. 인터넷은 누구든지 누구에게나 패킷을 보낼 수 있으며, 악의적 유저가 패킷의 자기 주소를 변조하는 것도 막지 못하여 악성 트래픽의 근원지를 찾아내기도 어렵다. 사용자에 대한 신뢰를 가정하여 많은 자유를 허용하는 인터넷의 근본 구조를 그대로 둔 채, 스팸 메일이나 DDoS 공격 등 악성 유저의 피해를 막으려고 노력하나 쉽지 않은 문제가

다. 인터넷이 전자상거래, 은행, 전자정부, 스마트 전력망 등의 사회 인프라로서의 역할을 확대하면 할수록 가장 큰 걸림돌이 보안문제의 해결이다.

나. 안정성/신뢰성 취약

VoIP가 전화망을 완전히 대체하려면 전화망과 같은 안정성이 요구되는데, 전화망의 요구 신뢰도는 99.999%로서 1년 동안 다운되는 시간이 5분 이하여야 하며, 이는 관리를 위한 의도적 다운 시간도 포함한다. 인터넷의 현재의 신뢰도는 이에 미치지 못하는데, 이는 라우터 및 스위치 장비 자체의 낮은 신뢰도도 한 원인이지만, 인터넷 구조 자체가 갖는 취약성이 더 큰 문제이다.

현재 인터넷은 가능한 한 기능을 네트워크 보다는 단말에 부과하기 때문에 단말의 행동에 자유도가 높다. 바이러스에 감염되었거나 해킹 당한, 혹은 네트워크 설정이 잘못된 호스트에 의해 대량의 브로드캐스트 패킷이 만들어지면 네트워크가 심각하게 영향 받으며 마비될 수도 있다. DHCP로 주소를 할당 받는 기업망 내에서 “불법” DHCP 서버가 고의 혹은 실수에 의해서 운영되면 일반 사용자의 네트워크 접속 자체가 차단될 수도 있다. 그리고 파키스탄의 ISP가 YouTube의 “불온” 비디오를 막기 위해 잘못 설정한 BGP 설정 한 줄 때문에 Google의 YouTube 서비스 전체가 두 시간 동안 마비될 수도 있다[2].

다. 이동성 부족

인터넷에서의 단말들은 이전에는 유선망에 연결된 고정 단말들이 대부분이었지만, 현재는 휴대폰, 노트북 등의 이동단말이 급증하고 있으며, 미래에는 차량 등 다양한 이동 단말이 주류가 될 것이다. 초기에 고려되지 않았던 이동성을 지원하기 위해서 Mobile IP, Proxy MIP, Fast Handover 등의 기술이 도입되었으나, 기술의 근본적인 한계 때문에 본격적인 네트워크 이동성 서비스가 아직까지 활성화 되지 못하였다. 이동성을 근본적으로 제공하기 위해서는 하나의 IP 주소가 locator와 identifier로서의

역할을 동시에 수행하는 현재의 인터넷 구조를 수정해서 ID/Locator가 분리된 주소체계가 필요하다고 일반적으로 보고 있다[3].

라. 관리성 부족

현재 네트워크 관리는 고도의 숙련된 관리자의 능력에 의존하고 있다. 네트워크 분리, 라우팅 설정, 보안 설정, 트래픽 엔지니어링, BGP 정책 설정, VPN 관리 등이 숙련된 관리자의 직접 설정을 요구하는데, 이러한 네트워크 설정의 오류는 네트워크 서비스 중단이라는 치명적 결과를 유발할 수 있으며, 안타깝게도 많은 네트워크 사고가 관리자의 잘못된 네트워크 설정에 기반한다고 알려져 있다[4]. 네트워크 설정 및 관리를 좀 더 자동화하고 쉽게 할 수 있는 방안에 대한 요구사항은 오래 전부터 있어 왔으나 아직까지 해결되지 않고 있다.

한편, 네트워크의 문제가 발생시 원인을 쉽게 찾아낼 방법이 부족하며, 제한적인 망 상황 데이터를 바탕으로 관리자의 능력에 의존하여 원인을 분석/해결해 나가고 있다. 이는 인터넷의 설계시 관리성을 고려하지 않았기 때문에 생겨난 문제로서, 새롭게 네트워크 아키텍처를 설계한다면 잘 정리된 관리 프레임워크를 설계한 후에 네트워크 컴포넌트마다 관리기능을 포함하도록 하여, 망 상황을 보다 정확히 파악할 수 있고 문제의 원인을 집어낼 수 있도록 해야 한다는 요구가 높다[5].

마. ISP의 비즈니스 모델 부족

인터넷 백본을 소유하는 ISP는 망 접속료와 망 사용료가 수입의 전부이며, IPTV나 YouTube와 같은 대용량 트래픽을 유발하는 신규서비스를 위해 망을 증설해야 하지만, 망 증설에 따른 ISP의 경제적 이득은 미미하고, 이에 따라 돈을 버는 것은 Google 같은 서비스 사업자들이다. 인터넷의 발전을 위해서는 네트워크에 대한 지속적 투자가 필요한데, 현재의 인터넷은 ISP에게 지속적 투자를 유발할 경제적 동인이 부족하다.

일반 사용자들은 충분히 인식하지 못하고 있는 이러한 내재적 문제들이 인터넷의 발전을 크게 저해할 것이라 우려와 함께, 인터넷의 기본 구조를 유지하면서 문제를 해결하는 것의 한계가 충분히 예상되어 미래인터넷에 대한 연구가 시작된 것이다.

2. 미래인터넷이란?

한번 설치된 네트워크를 전면적으로 새로운 네트워크로 전환한다는 것의 어려움 때문에, 네트워크 연구에 있어서 가장 중요한 요구사항이 backward-compatibility이다. 다만, 기존 네트워크의 한계가 극에 달했을 때는 전혀 새로운 네트워크로의 전환을 시도한다. ATM으로 모든 통신을 통일하고자 한 것이 그 한 예였으나 결국 시장에서 IP에 패하였다. IPv4의 주소부족을 해결하기 위해 IPv6를 개발하였고, 각국의 정부에서 IPv6의 확산을 위해 많은 노력을 하고 있지만 표준이 완성된 지 10여 년이 지난 현재까지 보급률은 미미한 수준이다.

그럼에도 이제는 IP 기반의 현재 인터넷을 전면적으로 바꿔야 한다는 논의가 David Clark 등의 인터넷을 설계한 사람들에 의해 시작되었으며[6], 이 새로운 인터넷이 미래인터넷이다.

“20~30년 후의 미래 사회에서 현재의 인터넷을 일부 수정한 네트워크로도 충분할까?”

위의 질문에 대해, 인터넷의 진화모델로는 충분치 않다는 것에 많은 연구자들이 동의하고 있다. 인터넷이 언젠가는 새로운 네트워크로 바뀌어야 한다면 그 준비는 지금부터 시작해야 하며, 이 미래의 네트워크는 기존 인터넷과의 호환을 고려하지 않고, 철저하게 현재 및 미래의 요구사항에 근거하여 새롭게 설계되어야 할 것이다.

미래인터넷에 대한 논의는 2000년 DARPA의 NewArch 프로젝트를 통해 시작되었으며[6], 2005년부터 미국이 미래인터넷 연구를 위한 새로운 테스트베드인 GENI를 설계하기 시작하였고, 2006년 미래인터넷 연구 프로그램인 FIND를 필두로 유럽, 일본 등에서 본격적인 연구가 시작되었다.

미래인터넷은 현재 및 미래의 네트워크 요구사항을 바탕으로 처음부터 새로 설계하고자 하는 네트워크로서, 현재 상황은 서로 공감하는 방향성을 바탕으로 구체적 모습에 대한 다양한 연구자들의 의견이 개진되는 상태이다. 미래인터넷의 방향성에 대해서도 연구자마다의 의견이 완전히 일치하지는 않지만, 대부분이 공감하는 방향성들은 다음과 같다고 말할 수 있다[5],[7],[8].

• 안정성(Robustness)/신뢰성(Reliability)

인터넷이 전화와 방송을 수용하고, 모든 비즈니스 업무의 기반시설로 사용되면서, 네트워크의 안정성과 신뢰성은 미래인터넷에서 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 안정성과 신뢰성을 높이기 위한 아키텍처 설계는 네트워크의 관리능력과 보안성을 필수로 한다. 반면에 미래인터넷의 또 다른 지향점인 개방성과 다양성, 확장성은 망의 안정성을 낮출 수 있기 때문에 주의해야 한다.

• 관리성(Manageability)

인터넷의 안정성과 신뢰성을 위해서 가장 필요한 기능이 망의 관리성이다. 망 상황을 관리자가 보다 정확히 파악할 수 있어야 하고, 관리자의 실수를 최소화하는 자동화된 관리 프레임워크가 필요하며, 망의 오류시 원인을 파악하고 이를 쉽게 복구할 수 있는 방안이 요구된다.

• 보안성(Security)

스팸메일, 바이러스, 피싱, DDoS 공격 등에 시달리는 현재의 인터넷을 볼 때, 미래인터넷에서 이 문제들을 근본적으로 완화시킬 수 있는 방안이 필요하다는 것에 이견은 없다. 다만, 보안을 강조하다 보면 인터넷의 중요한 덕목 중에 하나인 익명성을 해칠 수 있으며, 개인의 프라이버시를 침해할 수 있기 때문에 보안 강화와 프라이버시 보장이라는 상반된 목적을 모두 고려해야만 한다.

• 이동성(Mobility)

미래에는 이동단말이 고정단말보다 많아질 것이라는 것이 일반적인 예측이며, 기본적으로 단말이 이동하면서, 언제 어디서나 통신할 수 있도록 고려되어야 한다.

• 다양성(Diversity)/개방성(Openness)

인터넷의 성공은 개방적이고 적응성이 높은 IP 계층을 중심으로 다양한 L2 기술 및 새로운 응용들을 수용해 왔기 때문이다. 인터넷을 바꿔놓은 웹은 인터넷 설계자들이 예상 못한 응용이었지만, 인터넷의 개방성 때문에 출현이 가능하였다. 개방성과 다양성을 충분히 지원해야 미래인터넷이 향후 50년 이상 지속적으로 진화해 갈 수 있다.

미래인터넷은 단말의 다양성을 지원해야 한다. 모든 단말이 호스트컴퓨터처럼 충분한 계산능력을 가지지는 못하며, 저전력/저성능의 센서, 가전기기 등의 임베디드 프로세서를 가진 다양한 단말들을 지원할 수 있어야 한다.

또한 다양한 미래의 신기술들이 쉽게 수용될 수 있는 개방성도 같이 유지되어야 한다. 현재의 특정 기술만 고려하여 네트워크를 설계하면 네트워크의 진화가 방해받게 된다.

그리고 새로운 개념의 컴퓨팅 패러다임을 수용할 수 있는 개방성도 필요하다. P2P, DTN, Cloud Computing 등 이미 존재하는 서비스 외에 또 다른 미래의 서비스가 만들어질 수 있는 여지가 준비되어 있어야 한다.

● 용어 해설 ●

미래 인터넷: 기존 인터넷과의 호환을 고려하지 않고 현재와 미래 네트워크의 요구사항에 기반하여, 처음부터 혁신적으로 재설계할 미래의 인터넷

End-to-End Principle: 인터넷의 확장성, 다양성을 위해 망은 단순 기능만 수행하고 통신 세션관리, 폭주제어 등 복잡한 기능은 양단의 호스트에 두도록 해야 한다는 인터넷의 기본적인 설계 원칙

• 확장성(Scalability)

유비쿼터스 네트워크로 진화해가면서 다양한 단말의 출현과 단말 수의 급증으로 네트워크 자체의 복잡도는 커져가고 있기 때문에 네트워크의 확장성은 가장 기본적인 요구사항이다. 현재 인터넷에서도 백본의 라우팅 정보가 급증하는 추세여서 이를 해결할 대책이 시급한 상황이다.

• 경제적 동인(Economic Incentive)

인터넷이 발전하기 위해서는 인프라에 대한 지속적인 투자를 ISP가 해야 하지만, 현재는 ISP의 수익 모델이 접속료에만 기반하고 있다. ISP가 고품질의 인프라 서비스를 제공할 때 이에 상응하는 수익이 날 수 있도록 경제적 동인이 제공되어야 인터넷의 지속적인 발전이 가능할 것이다.

그런데, 상기의 미래인터넷 방향성은 미래인터넷이 어떠한지 한다는 당위적 목표를 말할 뿐이고, 이들을 동시에 만족시킬 방법론을 찾기는 쉽지 않은 일이다. 관리성과 보안성은 망의 신뢰성에 중요하지만, 다양성 및 확장성의 추구는 신뢰성을 위협할 수 있다. 그리고 관리성과 보안성은 개방성과 충돌할 수도 있다. 보안성을 추구하면서도 프라이버시를 같이 고려해야 한다는 요구도 무시할 수 없다.

각 방향성에 대한 방법론 또한 다양하며, 서로 상반되는 접근방법들이 제시되곤 한다. 인터넷의 성공 원인 중에 하나인 end-to-end principle을 미래인터넷에서도 고수하여 네트워크는 단순기능만 하도록 해야 한다는 주장이 있는 반면[7], ISP에 경제적 동인을 주고 이미 존재하는 firewall, cache server 등의 middle box들을 네트워크 구조로 흡수하기 위해서는 네트워크가 좀더 많은 기능을 가져야 한다고 주장하기도 한다[9],[10].

이렇게 미래인터넷의 구체적 모습에 대해서는 매우 다양한 가능성이 있으며, 이론적 분석으로 어떤 방안이 더 나은지를 판단하기도 어렵다. 그래서 미국 등에서의 미래인터넷 전략은, 연구자들에게 다양

한 아키텍처에 대한 아이디어 제시를 독려하고, 이에 대한 검증은 실제 구현하여 미래인터넷 테스트베드에서 시험하고 연구 커뮤니티 내에서의 상호검증/경쟁을 거치도록 하는 것이다. 이러한 bottom-up 전략이 미래인터넷의 모습을 구체화하는 데 적절하지 않을까 생각된다.

II. 국내외 미래인터넷 프로젝트

1. 미국

인터넷을 주도해 온 미국은 일찍부터 현재 인터넷의 구조적 한계에 대한 고민과 새로운 네트워크의 필요성 및 방향성에 대한 연구를 시작해 왔다. 2000년부터 수행된 DARPA의 NewArch 프로젝트에서 처음으로 인터넷을 현재 및 미래의 요구사항을 바탕으로 다시 설계해보자는 시도를 하였다[6]. 이후에 2003년의 NSF의 100x100 clean slate 프로젝트 [11] 및 SIGCOMM FDNA workshop 등에서의 논의를 통해 본격적인 미래인터넷 연구의 필요성을 인식하고, NSF는 미래인터넷 연구를 위한 FIND 프로그램과 미래인터넷 테스트베드 개발을 위한 GENI 프로젝트를 시작하였다.

FIND 프로젝트는 2006년에 NSF의 네트워크분야 연구 프로그램인 NeTS 산하의 4개의 연구분야(미래인터넷-FIND, 센서네트워크-NOSS, 무선네트워크-WN, 네트워크-NBD) 중의 하나로서, 미래인터넷(Future Internet)을 위한 혁신적 아키텍처를 연구하는 것을 목적으로 한다. 2006년 9월에 26개 과제로 시작하여 2009년 4월 현재 42개 과제가 수행 중이다. 대부분의 과제기간은 3년이며, FIND 프로젝트의 전체 과제규모는 연평균 \$11.5M이다[12].

FIND 프로젝트는 3단계로 추진 예정인데, 1단계에서는 개별 아키텍처 컴포넌트들에 대한 다양한 연구를 지향하며, 2단계에서는 이러한 아키텍처 컴포넌트들이 통합된 전체 아키텍처 연구를 독려하고, 3단계에서 유력한 미래인터넷 아키텍처 후보에 대한 본격적 실험을 진행하는 것으로 계획되었다.

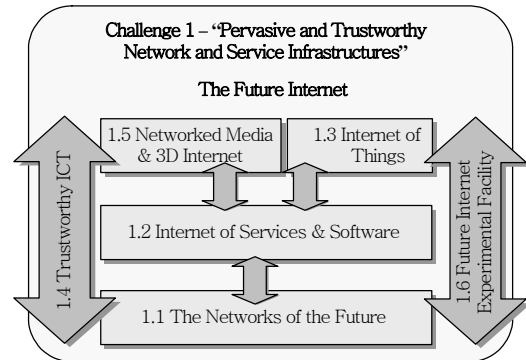
이는 미래인터넷 아키텍처가 top-down 방식이 아닌 bottom-up 방식에 의해서 연구되어야 한다는 공감대를 바탕으로 하는 것으로, 미래인터넷 아키텍처에 대한 다양한 방향으로의 연구를 독려하면서, 연구 커뮤니티 내에서의 경쟁 및 테스트베드에서의 실증 검증을 통해 자연스럽게 유력한 미래인터넷 아키텍처가 구체화 될 수 있도록 도모하는 것이다. 2009년부터는 1단계의 컴포넌트 아키텍처 연구들을 지속하면서 2단계 통합 아키텍처 연구단계로 진입할 계획이다[13].

NSF는 미래인터넷 연구를 위해서는 다양한 새로운 네트워크 아키텍처들을 동시에, 대규모 사용자들을 대상으로 하여 검증해 볼 수 있는 대규모의 실증적 테스트베드가 필요하다고 보고, 미래인터넷 테스트베드인 GENI의 설계를 2005년부터 시작하여 개념설계안을 완성하였고, 2008년부터 프로토타이핑 과제를 시작하였다. GENI의 프로토타이핑도 하나의 구체적 아키텍처를 확정한 후에 이를 구현하는 방식이 아니라, 다섯 가지의 GENI control framework 제안서를 모두 선정하여 구현토록 한 후에 그 완성도에 따라서 최선의 구조를 선택하고자 하는 bottom-up 방식을 따랐다. 현재 1단계 프로토타이핑에 29개 개발팀이 참여하며, 2009년에는 2단계 프로토타이핑이 시작될 예정이다. GENI 프로토타이핑 과제의 전체 규모는 연평균 \$4M이다[14].

2. 유럽(EU)

유럽은 2006년까지 진행된 유럽공동연구프로그램인 FP6 산하의 EURO-NGI, EURO-FGI 과제에서 미래 네트워크에 대한 연구를 시작하여, 2007년부터 시작된 FP7(2007~2013년)에서 본격적으로 미래인터넷 연구를 하기 시작하였다. EU는 2008년 3월 31일 Bled 선언을 통해 FP7의 ICT 분야의 기존 68개 프로젝트들이(총 연구비 400M 유로) 미래인터넷 연구에 동참하기로 했다고 발표했다[15].

유럽에서는 FP7 하의 ICT Challenge 1 - “Pervasive and Trustworthy Network and Service



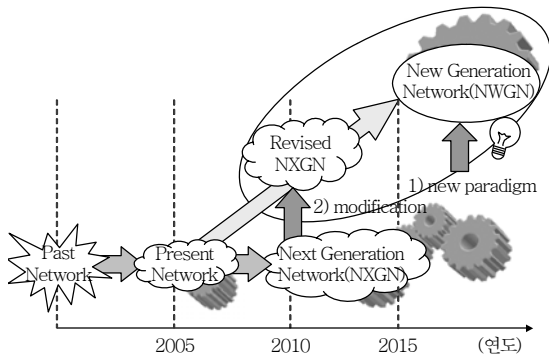
(그림 1) 유럽의 미래인터넷 연구분야[16]

Infrastructures” 분야를 미래인터넷 연구로 보고 있으며(그림 1)과 같이 6개 연구 영역으로 구성된다.

그런데 유럽에서 미래인터넷 연구 프로젝트로 구분하는 것 중에는 인터넷 아키텍처의 수정까지는 요구하지 않는 L1, L2 네트워크 기술 및 미디어, 서비스에 대한 연구들도 포함되어 있어서, 혁신적 재설계를 지향하는 “미래인터넷(Future Internet)” 연구뿐만 아니라, 보다 광의의 “미래의 네트워크”에 대한 연구들을 미래인터넷으로 정의하고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 미국 및 일본의 미래인터넷 과제들이 대부분 학교 및 국책연구소에서 수행되는 반면에, 유럽의 미래인터넷 과제는 Nokia, Ericsson, Alcatel-Lucent 등의 기업들도 활발히 참여하는 것이 특이할 만 하다[17].

3. 일본

일본에서는 현재 인터넷에 기반한 차세대 네트워크에 대한 연구인 ITU-T 표준 기반의 NGN을 NXGN이라고 명칭을 변경하고, 일본에서 보는 미래인터넷을 신세대 네트워크라고 구분하여 2007년부터 신세대 네트워크, 즉 NWGN에 대한 연구를 새롭게 시작하였다. NXGN과 NWGN과의 관계는(그림 2)와 같이 정리하고 있는데, 새로운 패러다임 기반의 NWGN 완성은 장기적인 과제이기 때문에 현재 인터넷의 점진적 개선인 NXGN에 대한 연구/개발과 NWGN에 대한 연구를 동시에 진행시켜야 함을 나타낸다.



(그림 2) NXGN과 NWGN의 상관관계[7]

미래인터넷인 NWGN에 대한 연구는 국책연구소인 NICT의 Network Architecture Group이 주도하고 있는데, NWGN의 아키텍처를 설계하는 AKARI 프로젝트를 2006년부터 시작하였다. 일본은 2011년까지 NWGN 아키텍처 설계를 완료하고 이를 구현 시험하면서 2015년에 완성한다는 상당히 공격적인 플랜을 잡고 있다. 미국이나 유럽은 미래인터넷이 언제쯤에 완성될지를 정하지 않고 10~15년 후에 도래할 것을 예상하는 수준이며, 미래인터넷의 지향점에 대해서만 공감대가 형성되어 있고, 아키텍처에 대한 큰 그림은 아직 논의가 시작되지 않고, 다양한 아이디어들을 모으고 있는 반면에, 일본의 AKARI 프로젝트는 2008년에 NWGN의 기본 설계원칙과 일부 컴포넌트의 구조에 대한 초안을 포함하는 NWGN 개념설계서 v1.1을 발표하였다. 이 개념설계서에는 NWGN의 구성요소로서 광패킷 스위칭과 광패스 스위칭이 결합된 optical core 망, 새로운 광액세스 망, 패킷기반 무선다중접속방법, ID/Locator 분리 주소체계, cross layer 구조, 보안구조, QoS 라우팅, 보다 단순해진 IP layer 구조, 네트워크 가상화 등을 포함하고 있다[7].

4. 한국

우리나라는 2006년 9월 미래인터넷 포럼을 발족하여 아키텍처, 무선기술, 서비스, 테스트베드, 정책 등의 5개의 워킹그룹을 구성하고 미래인터넷에 대한 논의를 시작하였다. 2007년에 정보통신부의 신성

장동력 사업으로 “미래인터넷 핵심기술연구” 사업이 선정되어 대학 중심으로 3년간 핵심기술 선행 연구를 진행중에 있고, 2009년부터는 ETRI가 “미래인터넷 인프라를 위한 가상화 지원 프로그래머블 플랫폼 기술”이란 제목 하에 테스트베드용 가상화 플랫폼 개발을 시작하였다.

그러나 아직 국가적인 미래인터넷 연구 계획의 수립 없이 정부부처별로 산발적인 개별 과제로서 미래인터넷 연구를 수행하고 있다. 이제는 국가 미래인터넷 연구 프로그램을 수립하고, 우리나라의 산학연 연구 역량을 결집시켜 미국, 유럽, 일본에게 미래인터넷 분야에서 만큼은 뒤지지 않고 주도적인 역할을 할 수 있도록 체계적인 연구/개발 계획이 필요한 시점이다.

III. 아키텍처 이슈별 연구동향

미래인터넷 연구는 아직 초기 단계로서, I장에서 언급하였듯이 미래인터넷이 지향하는 방향성에 대한 다양한 방법론을 모색하고 있는 단계이며, 본 장에서는 주요 아키텍처 이슈별로 두드러진 연구 동향을 정리하고자 한다.

1. 주소체계

주소체계에 있어서 대부분이 동의하는 방향은 ID/Locator 분리구조이다. 단말이 위치한 네트워크를 나타내는 locator 주소와 단말 자체의 ID를 구분하면, 통신세션을 ID를 기반으로 설정함으로써 단말의 이동성 지원이 용이하고, locator 체계가 다른 네트워크간의 연동 등도 가능케 하는 것이다. 이에 대한 대표적인 연구는 HIP, shim6 등이다[18],[19].

라우팅의 확장성을 위해서, IRTF RRG에서는 HIP과는 다른 개념의 주소 분리 구조를 논의중인데 대표적인 것이 LISP이다[20]. LISP은 인터넷 백본에서의 라우팅 엔트리 급증을 해결하기 위한 방안으로, global 망 주소공간과 local 망 주소공간을 분리하고, 패킷이 global 망으로 진입할 때는 global 주

소 기반의 터널링을 통해 local 망의 대표 global 주소를 붙이도록 한다. HIP은 호스트 스택에 HIP 계층을 두어 ID와 locator(IP 주소)를 매핑하는데, LISP은 호스트의 변화는 없고, 예지 라우터에서 local 주소(ID)와 global 주소(locator)간 매핑을 하기 때문에 HIP 등을 호스트 기반, LISP을 네트워크 기반 ID/Locator 분리구조라고도 부른다. 그러나 HIP이 이동성과 이종 네트워크간 연동에 장점이 있고 라우팅 확장성과는 관련 없는 반면, LISP은 라우팅 확장성에만 중점을 둔 것이고 서로 다른 구조라고 할 수 있다. 따라서, 일본의 AKARI 개념설계처럼 두 가지 개념을 동시에 적용하는 것이 필요할 수 있다[7].

주소체계는 네트워크 아키텍처의 기본 개념에 따라 달라지는 핵심 요소이다. 통신의 대상이 호스트가 아니라 데이터 자체여야 한다고 보는 data-centric 네트워크에서는 ID를 호스트가 아니라 데이터마다 고유하게 할당해야 한다고 본다[21]. 위치정보 기반의 네트워킹을 위해서는 주소가 호스트의 위치정보를 담고 있도록 하고자 한다[22]. 일반적으로 라우팅에 사용되는 locator 주소를 없애고 flat label ID만으로 라우팅을 하자는 제안도 있다[23].

2. 네트워크 관리

망관리 분야의 방향은 비교적 명확하다. 네트워크 장비 설정을 가능한 한 자동화하여 휴먼 에러를 줄이는 것이고, 망의 문제점을 쉽게 파악할 수 있게 정확한 망 정보를 수집할 수 있어야 하며, 망의 오류를 자동 감지하고, 오류 원인을 진단할 수 있고 가능하면 자동 복구할 수 있는 망관리 프레임워크를 구현하는 것이다.

네트워크 장비 설정의 자동화를 위해, Telcodia는 라우터 설정이 원래의 목적과 부합하는지를 검증할 수 있고, 또 요구사항으로부터 네트워크 설정과 일을 생성하기 위한 ConfigAssure란 도구를 개발하였다[24]. 근본적인 망관리 자동화를 위해서, 각 프로토콜 및 네트워크 장비 등의 망관리 객체를 상

위레벨로 추상화하고, 추상화모델에 공통적으로 적용될 수 있는 기본 object들과 primitive들을 찾기 위한 노력도 있다[25].

David Clark은 망의 운영상황 정보를 지속적으로 수집/분석하면서 망의 오류를 자동 감지하고, 파악된 문제를 자동 복구할 수 있는 knowledge plane을 도입하자고 제안하였다[26]. Knowledge plane의 필요성에 대해서는 많은 연구자들이 공감하고 있는데, 망의 행태를 학습/추론하며 추론에 따라 행동할 수 있어야 하기에 인공지능 기법이 필요하며, 이를 위해 망의 knowledge를 어떻게 표현할 것이냐에 대한 연구도 계속되어야 한다.

한편, 현재는 네트워크 장비 내에 존재하는 제어평면(control plane)과 패킷전송의 데이터평면(data plane)을 분리해서, 라우팅 같은 제어평면은 중앙의 외부 서버에서 수행하고 그 결과만 네트워크 장비에 설정하자는 의견들도 대두되고 있다[27],[28]. 이는 장비의 기능이 복잡해지면서 장비 자체의 제어평면 기능 관리가 힘들어지고, 망 운영자가 망에 원하는 관리 정책을 직관적으로 구현하기가 힘든 분산 제어 알고리즘의 단점을 극복하고자 하는 접근방법이다. 제어평면을 라우터 및 스위치에서 분리하면 네트워크 장비가 단순해지고, 새로운 제어평면 알고리즘을 사용자가 쉽게 적용할 수 있는 반면, 중앙집중화에 따른 single-point-of-failure 문제를 서버 분산구조로 해결해야 하며, 무선 ad hoc 망처럼 중앙 집중제어가 힘든 경우도 있음을 염두에 두어야 한다.

3. 보안

보안의 강화를 위해서는 사용자의 행위에 대한 traceability와 accountability가 필요하면서도, 한편으로 익명성, 프라이버시의 존중 역시 무시할 수 없기에 이들을 균형 있게 제공할 수 있는 방안이 필요하다. Afanasyev는 group signature 기반의 변조 불가능한 source identifier를 패킷헤더에 붙여서 누구나 헤더의 변조 여부를 확인할 수는 있지만, source가 누구인지는 권한을 부여 받은 자만이 분

석할 수 있도록 하는 방안을 제시하였다[29].

보안을 좀 더 강조하는 SANE 구조에서는 엔터프라이즈 망의 경우, 모든 통신 세션은 통신 전에 중앙 제어국에 목적지와 원하는 서비스를 알려서 인증을 받은 후 암호화된 source-routed path를 할당받아서 정해진 경로로만 통신토록 하자고 한다. 공중망의 경우에도 사전에 접속할 서버로부터 인증을 받은 후에 통신토록 하는 정책을 주장한다[30].

NewArch 프로젝트에서는 사용자는 통신할 때 자신의 trust 수준을 선택할 수 있어야 하고, 망은 이에 기반해서 trust-modulated transparency를 제공해야 한다고 제안했다[31]. 즉, 사용자가 본인이 충분히 신뢰할 만함을 보이면 제약 없는 “transparent”한 통신을 보장하고, 익명성을 유지하고 싶어한다면 통신은 허락하되 packet filtering 등으로 악의적 행동을 방지할 수 있어야 한다는 원칙론 수준의 제시였는데, 사용자의 선택에 따른 보안구조의 필요성은 주목할 만 하다고 판단된다.

4. 계층구조

인터넷은 IP 계층을 공통계층으로 하고, 상위 계층과 하위 계층의 다양성을 제공하는 구조이다. IP 계층의 단순성은 인터넷의 발전에 큰 역할을 해왔지만, 한편으로 네트워크에서 보안을 위해 firewall이 필요해졌고, 웹 접속 성능 개선을 위해 캐싱을 해야 하며, 응용을 구분해서 QoS를 처리하고자 하는 요구 등 때문에 네트워크의 복잡도는 증가해 왔다. 따라서 미래인터넷에서는 네트워크에서 세션을 인지하고, 암호화, 트랜스코딩, 캐싱 등의 데이터 가공까지 할 수 있도록 해야 한다는 의견이 있다[9],[10]. 반면에 일본의 AKARI는, end-to-end principle은 인터넷의 성공을 이끈 중요한 원칙이라서 미래인터넷에서도 고수해야 한다면서, 지금의 IP 보다 더 단순화한 새로운 common layer를 주장한다[7]. 미래인터넷에서 end-to-end principle을 유지해야 할지에 대한 논란은 매우 중요하면서도 쉽게 결론이 날 수 없는 이슈이다.

새로운 계층구조(layering)에서 논의되는 것 중의 하나가 cross-layer 구조이다. 기본적으로 프로토콜 계층구조에서는 계층을 기능별로 구분하고, 인접계층과는 정의된 인터페이스에 의해서 필요한 정보를 교환하며, 각 계층 내에서의 구체적 정보는 다른 계층에 전달되지 않는다. 그런데 fast handover를 위해서는 L2 연결상황 정보를 L3 계층이 알 필요가 있는 등 계층간 정보 공유가 효율적인 응용이 늘어남에 따라 cross-layer 통신이 중요하게 되었다. 일본의 AKARI는 임의의 계층 간의 통신구조를 일반화한 cross-layer 아키텍처를 미래인터넷의 기본 구조로서 제안하고 있다[7].

기존의 계층구조를 깨는 파격적인 구조의 제안도 있다. RBA는 non-layered 구조로서, 통신을 “role”이란 기능 블록들의 연결로 모델링 하고자 한다[32]. SILO도 non-layer 구조로서 프로토콜들의 공통적인 기능을 마이크로 기능블록으로 구분해 내고, 응용별로 통신에 대한 요구사항을 SILO control agent에 전달하면 agent가 on-demand로 기능블록들을 조합하여 네트워크장비에 해당 기능을 수행하도록 함으로써 응용별 통신을 수행하고자 하는 composition 기반의 통신 구조이다[33].

5. 네트워크 다양성 지원

미래인터넷도 인터넷과 마찬가지로 네트워크의 다양성을 지원할 수 있어야 한다. 인터넷은 IP라는 공통계층을 중심으로 상위와 하위계층의 다양성을 가능케 했다. 미래인터넷에서도 IP와 같은 공통계층이 존재해야 한다고 보는 AKARI의 경우는 새로운 공통계층 위에서 다수의 오버레이 네트워크를 수용하는 형태로 네트워크 다양성을 지원할 수 있다고 본다.

한편, 센서부터 슈퍼컴퓨터까지의 다양한 단말과 이질적인 서비스들이 예상되는 미래 네트워크의 요구사항이 하나의 네트워크 아키텍처로 해결될 수 없을 것이라고 보는 견해도 많다. Plutarch는 미래인터넷이 다수의 이질적인 네트워크의 연결로 보고 네트워크간 상호연결하는 아키텍처로서, 각 네트워

크는 해당 목적에 최적인 프로토콜로 운영된다고 가정한다. 게이트웨이가 네트워크간의 서로 다른 프로토콜 및 메시지 형식을 변환해주는데, 인터넷과는 다르게 IP와 같은 공통의 convergence layer를 두지 않는 것이 독특하다[34].

이질적인 네트워크는 물리적으로 다른 네트워크로 볼 수 있지만, 이들을 하나의 물리적 네트워크 상에서 운용되기를 바란다면 네트워크 가상화가 필요하다. GENI 같은 미래인터넷 테스트베드는 프로그래머블 가상화를 통해 다수의 이질적 네트워크 아키텍처가 하나의 물리적 네트워크에서 운용되도록 하는데, 이러한 가상화 구조가 미래인터넷의 기본구조가 될 수 있다고 보는 견해도 있다[35],[36].

6. 그 외의 연구동향

ISP에게 경제적 동인을 주는 것은 미래인터넷의 주요 요구사항으로 거론된다. 이를 위해서는 ISP가 차별화된 클래스들의 서비스가 이루어지고, 사용자는 원하는 클래스의 서비스를 선택할 수 있어야 할 것이다. Yang 등은 ISP를 선택할 수 있어야 ISP간 경쟁을 유발할 수 있다고 보고, 사용자가 패킷이 지나갈 ISP 패스를 지정하는 소스 라우팅과 유사개념의 새로운 라우팅 체계를 연구하고 있다[37]. 경제적 동인을 위해서는 대부분 사용자가 본인의 요구사항에 맞는 서비스를 제공하는 ISP를 선택한다는 방안이 고려되는데, 이것이 사용자의 편리성까지 보장할 수 있도록 하는 것은 쉽지 않아 보인다.

Yates 등은 이동단말, 간헐적으로만 연결되는 단말 등의 다양한 단말의 네트워크에 통일된 전송서비스를 제공하기 위해서 네트워크 노드가 데이터를 cache 했다가 forward 하는 것을 기본동작으로 하는 cache-and-forward 구조가 필요하다고 보고 있다[38].

미래인터넷에서는 지능적 광 네트워크가 코어망이 될 것으로 보여진다. 일본의 AKARI는 코어망으로 광패스 스위칭 및 광패킷 스위칭까지 고려하고 있다[7]. 파장 단위의 광 경로를 효율적으로 쓰기 위해

서는 optical flow switching 같은 flow aggregation 기법이 필요해 보인다[39].

미래의 센서 노드들이 모두 네트워크 단말이 될지는 미지수이다. 대부분의 센서 네트워크는 게이트웨이를 통해 센서 데이터를 가공해서 전달하기 때문이다. 개별 센서 네트워크에서 생성된 센서 데이터를 지역 저장소에 저장하고, 이를 상호 교환하며, 사용자가 검색해서 이용할 수 있도록 하고, 이때 데이터 진위확인, 프라이버시 등도 고려한 글로벌 센서 공유 네트워크 아키텍처에 대한 연구들이 수행중이다[40],[41].

IV. 결론

인터넷의 엄청난 성공은 인터넷을 설계한 사람들조차 놀랄 정도이고, 갈수록 중요도가 높아지고 역할이 확대되어 감에 따라, 현재 인터넷으로 20~30년 후의 미래를 대비할 수 있는 것일까에 대한 우려가 커졌고, 이에 따라 국제적으로 미래인터넷 연구가 시작되었다. 미래인터넷은 10~15년 이후에 완성될 것을 예상하고 있지만, 인터넷을 대체할 새로운 네트워크 아키텍처를 설계한다는 것은 그만큼의 시간과 노력이 필요한 장기 과제이기에 지금부터 시작되어야 한다.

현재는 미래인터넷의 방향성에 대한 어느 정도의 공감대 하에 다양한 방법론에 대한 연구들이 진행 중이다. 하나의 목적을 위해 서로 상반된 방법론들이 주장되기도 하는데, 이에 대한 검증은 이론이 아닌 구현과 실험을 통한 완성도를 바탕으로 이루어져야 한다는 것이 일반적인 생각이다. 다양한 아이디어들이 경쟁을 통해 자연스럽게 정리되고 통합되고, 사용자 및 시장에 의해 선택되어지는 bottom-up 방식의 연구가 미래인터넷 아키텍처 연구에 적합한 연구전략이라고 할 수 있다.

따라서 현재상황에서 미래인터넷의 모습이 보이지 않는다고 뜬구름 잡는 연구가 아닌가 하는 우려의 목소리가 있으나, 미래인터넷 연구란 것이 바로

미래인터넷의 모습을 구체화해 나가고자 하는 것임을 이해한다면 그 모습이 현재 보이지 않는 것이 당연함을 알 수 있을 것이다. 우리 나라에서도 이제는 목표 자체는 구름 같지만 미래 IT 기술의 핵심 원천 기술이 될 미래인터넷 연구에 대한 국가적인 연구프로그램을 마련하여 국제적인 미래인터넷 연구에 본격적으로 동참해야 할 것이다.

약어 정리

DDoS	Distributed Denial-of-Service
DTN	Delay-Tolerant Network
FDNA	Future Directions in Network Architecture
FIND	Future Internet Design
FP7	Framework Program 7
GENI	Global Environment for Network Innovations
HIP	Host Identity Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IRTF	Internet Research Task Force
LISP	Locator/ID Separation Protocol
MIP	Mobile IP
NGN	Next Generation Network
NWGN	NeW Generation Network
NXGN	NeXt Generation Network
RBA	Role-Based Architecture
SANE	Security Architecture for Networked Enterprises
SHIM6	Site Multihoming by IPv6 Intermediation

참고 문헌

[1] B. Leiner et al., "A Brief History of the Internet," http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml#Initial_Concepts

[2] "YouTube Outage Underscores Big Internet Problem," *NetworkWorld Article*, Feb. 26, 2008, <http://www.networkworld.com>

[3] B. Quoitin et al., "Evaluating the Benefits of the Locator/Identifier Separation," *ACM SIGCOMM MobiArch Workshop*, Aug. 2007.

[4] Z. Kerravala, "Enterprise Networking and Computing: the Need for Configuration Management," Yankee Group Report, 2004.

[5] GENI Research Plan, GDD-06-28, Apr. 2007, <http://www.geni.net/GDD/GDD-06-28.pdf>

[6] David Clark et al., "New Arch: Future Generation Internet Architecture Project Final Technical Report," 2003, <http://www.isi.edu/newarch/>

[7] New Generation Network Architecture AKARI Conceptual Design ver1.1, 2008, <http://akari-project.nict.go.jp/eng/index2.htm>

[8] 신명기, "미래인터넷 기술 및 표준화 동향," 전자통신동향분석, 제22권 제6호, 2007년 12월, pp. 116-128.

[9] D. Duchamp, "Session Layer Management of Network Intermediaries," FIND Project Proposal, 2006.

[10] T. Wolf, "Service-Centric End-to-End Abstractions for Network Architectures," FIND Project Proposal, 2006.

[11] 100x100 Clean Slate Project, <http://100x100network.org/>

[12] NSF FIND(Future Internet Design) Project, <http://www.nets-find.net/>

[13] D. Fisher, "US National Science Foundation and the Future Internet Design," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.37, No.3, July 2007.

[14] GENI, <http://www.geni.net>

[15] Bled declaration, Mar. 2008, <http://www.future-internet.eu/>

[16] FP7 ICT Challenge 1 program, http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/challenge1_en.html

[17] "FP7 Future Networks Project Portfolio," Mar. 2008, <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/future-networks/home-en.html>

[18] R. Moskowitz et al., "Host Identity Protocol(HIP) Architecture," RFC4423, May 2006.

[19] M. Bangulo et al., "Level 3 Multihoming Shim Protocol for IPv6," Internet-draft draft-ietf-shim6-12, Feb. 2009.

[20] D. Farinacci et al., "Locator/ID Separation Protocol(LISP)," Internet-draft draft-farinacci-

- lisp-12, Mar. 2009.
- [21] J. Scott et al., "Haggle: A Networking Architecture Designed Around Mobile Users," *3rd IFIP Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services(WONS)*, Jan. 2006.
- [22] M. Cruteser, "A Geometric Stack for Location-Aware Networking," FIND Project Proposal, 2006.
- [23] M. Caesar et al., "ROFL: Routing on Flat Labels," *ACM SIGCOMM'06*, Sep. 2006.
- [24] S. Narain et al., "Declarative Infrastructure Configuration Synthesis and Debugging," *Journal of Network and Systems Management*, Vol.16, Issue 3, Sep. 2008, pp.235-258.
- [25] P. Barford, "Design for Manageability in the Next Generation Internet," FIND Project Proposal, 2006.
- [26] D. Clark et al., "A Knowledge Plane for the Internet," *ACM SIGCOMM'03*, Aug. 2003.
- [27] A. Greenberg et al., "A Clean Slate 4D Approach to Network Control Management," *Computer Communication Review*, Vol.35, No.5, Oct. 2005.
- [28] T. Nq, "Maestro: An Architecture for Network Control Management," FIND Project Proposal, 2006.
- [29] M. Afanasyev et al., "Network Support for Privacy-Preserving Forensic Attribution," *UCSD Technical Report CS2009-0940*, Mar. 2009.
- [30] N. McKweon et al., "Design Secure Networks from the Ground-Up," FIND Project Proposal, 2006.
- [31] D. Clark et al., "Addressing Reality: An Architectural Response to Real-World Demands on the Evolving Internet," *ACM SIGCOMM 2003 FDNA Workshop*, Aug. 2003.
- [32] R. Braden et al., "From Protocol Stack to Protocol Heap-Role-Based Architecture," *HotNets-I*, Oct. 2002.
- [33] I. Baldine et al., "The SILO Architecture for Services Integration, Control, and Optimization for the Future Internet," *IEEE ICC'07*, 2007.
- [34] J. Crowcroft et al., "Plutarch: an Argument for Network Pluralism," *SIGCOMM Computer Communications Review*, Vol.33, No.4, 2003, pp.258-266.
- [35] J. Turner and D. Taylor, "Diversifying the Internet" *Globecom'2005*, 2005.
- [36] N. Feamster et al., "How to Lease the Internet in Your Spare Time," *Computer Communication Review(CCR)*, Jan. 2007.
- [37] X. Yang, "An Internet Architecture for User-Controlled Routes," FIND Project Proposal, 2006.
- [38] R. Yates, "Postcards from the Edge: A Cache-and-Forward Architecture for the Future Internet," FIND Project Proposal, 2006.
- [39] V. Chan et al., "Optical Flow Switching," *Workshop on Optical Burst Switching(WOBS)*, 2006.
- [40] V. Paxson et al., "Network Innovations for Personal, Social, and Urban Sensing Applications," FIND Project Proposal, 2006.
- [41] J. Heidemann, "Sensor-Internet Sharing and Search," FIND Project Proposal, 2006.