

## 인터넷의 미래와 진화 방향 Future Internet and the evoluto of the Internet

문수복 (sbmoon@cs.kaist.ac.kr)

### (국문요약)

지난 30년간 인터넷은 초기 설계자들의 상상을 뛰어넘는 성공을 하였고, 데이터통신뿐만 아니라, 전화망, TV, 라디오망을 위협하며, 새로 대두되는 센서넷, 유비쿼터스 환경에서도 그 기간기술로 자리를 잡아가고 있다. 그러나 초기에 예상하지 못했던 다양한 서비스를 지원하기 위해서 인터넷이 점진적으로 발전해왔지만 더 이상은 그러한 방법으로는 새로운 기술적 요구에 부응할 수 없는 단계에 이르렀다. 이에 기존 인터넷과의 호환성을 전혀 배제한 "깨끗한 바탕"에서 새롭게 미래 인터넷을 설계하려는 시도를 하고 있다. 본 논문에서는 지금까지의 인터넷의 점진적인 발전과 미래 인터넷의 방향에 대하여 고찰해보기로 한다.

### (영문요약)

In the past 30 years, the Internet has been a success beyond the early designers' wildest dreams, and now threatens to take over not only telecommunication, but also TV and radio broadcasting networks. It is the networking technology of choice in emerging sensor networks and ubiquitous computing environments. The Internet has been incrementally accommodating diverse services not foreseen at the time of ARPANET, but is now facing challenges no longer tameable by the incremental approach. A new initiative has set the goal to design the Future Internet from a "clean slate" without worrying about backward compatibility. In this paper, we review the past incremental growth of the Internet and discuss new directions for the Future Internet.

1960년대의 패킷망에서 시작한 아이디어가 1970년대의 DARPA에서 1980년대말의 인터넷으로 바뀌어 오늘에 이르기까지 컴퓨터 네트워크는 큰 성장을 하였고, 일반인들의 일상생활에까지도 엄청난 변화를 가져왔다. 인터넷의 이러한 성공 요인에는 웹과 같은 소위 "killer application"도 있었지만, 그러한 다양한 애플리케이션을 지원할 수 있었던 망구조가 있었음을 부인할 수 없다. D. Clark이 [2]에서 살펴본 바와 같이, IP 계층을 기준으로 상위 계층과 하위 계층을 분리하여 Ethernet, FDDI ring, SONET, dial-up modem, DSL 등과 같이 다양한 physical network technology를 사용할 수 있었고, congestion control, admission control과 같은 기능을 망내에서 지원하지 않고 종단(network edge)에서 책임지게 함으로써 망 복잡도를 낮추어 새로운 망 구성 및 상위계층에서의 연동이 쉬웠던 점 등이 인터넷의 성공기반에 자리잡고 있다.

1970년대에 존재했던 전화망과 데이터망과의 구분이 Telco 주도의 ISDN (Integrated Services Digital Network), ATM (Asynchronous Transfer Mode)와 같은 시도를 통해 통합망의 개념이 대두하면서 점차 사라져갔고, 이제는 인터넷은 거의 유일무이한 통합망으로 자리잡아가고 있다. 1990년대초까지 존재했던 DECnet, IBM의 SNA (Systems Network Architecture)이 사라졌고, 이기종망이라면 2.5G와 3G의 이동전화망 정도가 있다. 심지어는 전화망과는 전혀 별개의 TV와 라디오 전송망마저 인터넷으로 대체되기 시작했다. 인터넷과 이동전화망의 성공은 수많은 새로운 서비스와 애플리케이션들을 만들어냈고, 이제는 사회간접자본으로서의 기간망 역할을 하기에 이르렀다. 또한 홈네트워크, 센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅과 같이 새로운 네트워크에 대한 기폭제 역할을 하였다.

DARPA를 처음 설계할 때는 그 누구도 인터넷이 이렇게 널리 쓰이게 되리라고는 아무도 예측하지 못했고, 초기의 설계에서 고려하지 않았던 서비스들이 대두하면서 인터넷 프로토콜에 기능들이 추가되고 수정되었다. 그러나 이러한 점진적인 접근방법은 이전 버전과의 호환성을 유지해야되는 문제때문에 수정에 한계가 있고, 인터넷 프로토콜의 화석화(ossification) 문제가 대두되기 시작하였다. D. Clark도 최근 인터뷰에서 지적하듯이 더 이상은 점진적인 방식으로는 새로 창출되는 기술적 수요를 인터넷이 포용할 수 없는 단계에 이르렀다 [7].

인터넷상의 주소를 예로 들어보자. 현재 쓰이는 IPv4 주소는 길이가 4바이트로 표현할 수 있는 주소의 수는 대략 40억개이다. 개인컴퓨터라는 개념조차 없던 인터넷의 초기에는 40억개의 컴퓨터가 쓰이리라고는 예측하지 못했다. 또한 40억개의 주소가 효율적으로 할당되지 못했기 때문에, 주소부족 문제는 1990년대 초반부터 제기되었다. IPv6를 통해서 32바이트 주소가 제안되었으나, IPv6를 지원하는 장비, S/W 디바이스 드라이버 등의 문제, 그리고 IPv6를 IPv4와 동시에 제공하기 위해서 터널링을 ISP(Internet Service Provider)에서 해줘야되는 등의 문제로 널리 쓰이지 못하는 사이, NAT(Network Address Translation)의 기능을 가진 스위치가 보급되어, 여러 대의 컴퓨터가 하나의 IPv4 주소를 이용하여 통신함으로써 부족한 IPv4 주소에 대한 수요를 실질적으로 감소시켰다.

또 다른 하나의 예는 멀티캐스트이다. Broadcasting과는 달리 멀티캐스트는 원하는 사용자들에게만 패킷을 전달해주는 기능을 말한다. 멀티캐스트는 80년대말 S. Deering에 의해 제기되어 90년대에 활발하게 연구되었다 [4]. 그러나 초기 멀티캐스팅 프로토콜들은 서로 다른 망사업자간의 연동이 쉽게 되지 않았고, 사용자에 비례한 성능 저하 문제점을 해결하는데까지 너무 오랜 시간이 걸렸다. 그 사이에 멀티캐스트를 사용해야되는 많은 서비스들은 IP 계층에서의 멀티캐스트 기능이 제공되는 것을 일찌감치 포기하고, 애플리케이션 계층으로 올라가서 많은 CDN(Content Distribution Network)을 만들어냈다.

위의 두 가지 예를 통해서 볼 수 있듯이, 네트워크를 통해서 제공하려는 서비스의 종류와 수는 계속적으로 증가하는데 인터넷에서 필요한 기능을 완벽하게 제공하지 못하여 추가적인 기능들이 임시변통적으로 만들어졌다. NAT 기능은 당장은 편리하지만 인터넷의 기본적인

end-to-end paradigm을 깨기 때문에 한 방향으로만 통신 초기화가 가능한 단점이 있다. (외부에서 NAT 뒤에 붙어있는 컴퓨터의 연결요청이 안된다.) 흔히 NGN이라고 불리는 Next-Generation Network 혹은 차세대 인터넷은 이러한 인터넷의 근본적인 구조를 바꾸려는 시도가 아니라, 다른 여러 망에서 제공되는 서비스들을 인터넷을 통합하려는 개념으로 이해되어야 한다.

Future Internet은 새로 대두되는 다양한 서비스들을 지원하기 위해서 통신망을 "clean slate"에서 설계하겠다는 개념으로, 미국의 NSF (National Science Foundation) 주도하에, GENI (Global Environment for Networking Innovations)

initiative가 제창되었다. 현재의 인터넷이 수용하지 못하는 기능들과 앞으로 생겨날 서비스들을 미리 예측하여 10 ~ 15년 후에 사용될 네트워크를 설계하기 위하여, 네트워크 분야의 연구진뿐만 아니라, 모바일, 무선 망 분야, 광통신, 그리고 분산시스템 등 다양한 전산학 분야에서 폭넓게 여론 수렴을 하고 있으며, 그 일환으로 2005년부터 분야별로 공청회가 진행되었고, 공청회 결과로 백서들이 만들어졌다. 특히, [1]은 GENI의 방향을 잘 서술한 보고서로써 아래의 다섯 가지를 현재 인터넷에 대한 문제점으로 제기하였다.

1. 인터넷상의 통신이 우호적인 호스트간이 대부분이라는 가정.
2. 초기의 인터넷은 망사용의 경제적인 효과를 고려하지 않은 점.
3. 모바일, 센서 노드들은 유선망에서와는 달리 항상 망에 연결되어 있지 않다.
4. 인터넷에서의 망 설정 내용이 종단에는 공개되어 있지 않다.
5. best-effort로 설계되어, 성능에 대한 보장을 할 수가 없다.

Future Internet에서 위의 내용을 해결하기 위해서 풀어야되는 문제를 좀더 구체적으로 제시해보자면 보안, 경제적인 보상, 주소와 단말기간의 매핑, 종간의 역할에 대한 재고, 사용자가 선택가능한 라우팅, 망제어 및 관리 기능, 새로운 서비스의 요구사항 반영 등을 들 수 있다. Future Internet이 성공하기 위해서는 기존의 인터넷 프로토콜에 업데이트가 아니고, 새로운 네트워크 기능을 설계하는 것도 중요하지만, 실제로 이를 구현해서 사용해 볼 수 있는 테스트베드가 절대적으로 필요하다. NSF에서도 이러한 점을 강조하여 새로운 네트워킹 개념의 기능을 실험해볼 수 있는 테스트베드 구축을 위한 프로젝트를 이미 발주한 상태이다.

Future Internet을 위한 테스트베드는 규모면에서는 기존의 슈퍼컴퓨팅센터간의 grid computing을 위한 장비 정도가 필요한데, 큰 차이점은 원한다면 누구나 사용할 수 있어야하는 범용성이다.

현재 널리 사용되고 있는 네트워킹 및 분산시스템을 위한 대표적인 테스트베드로는 PlanetLab과 Emulab이 있는데, 둘 다 이러한 범용성을 통해서 수많은 연구를 동시에 지원한다 [5][6]. PlanetLab은 전세계 200여 곳에 흩어져있는 500여개의 PC를 등록된 사용자라면 누구나 사용할 수 있는 권한을 주어, 분산시스템 혹은 p2p 기능을 이용한 연구저장, 인덱싱, 멀티미디어 시연서비스 등 기존에는 시뮬레이션밖에 할 수 없었던 서비스들을 실제로 구현해서 사용해볼 수 있는 환경을 제공한다.

현재 우리나라에는 PlanetLab 노드를 가지고 있는 곳이 대학으로 제한되어 카이스트, 서울대, 연세대, 충남대, ICU, 광주과학기술에 설치되어 있고, 기업체 연구소는 참여하지 않고 있는 상황이다.

미국에는 PlanetLab을 주도하고 있는 Intel 연구소를 위시하여 HP Labs, Google, AT&T 등과 같은 기업체 연구소가 참여하고 있다.

Emulab은 300여대의 PC가 장거리망 (wide-area networking)을 에뮬레이션할 수 있는 환경으로, 요청하는 사용자에게 필요한 만큼의 장비를 독자적으로 사용할 수 있게 해준다. Future Internet 개념의 제안의 근간에는 이 두 개 테스트베드의 성공이 큰 역할을 했음을 부인할 수 없다.

이 둘을 통해서 기존의 네트워크 연구에서는 시도해보지 못했던 범용 대규모 분산 시스템의 실용성을 확인하였고, 이를 통해서 Future Internet의 실현 가능성을 타진해본 것이다.

NSF의 GENI initiative는 아직 미국 상원의 예산승인을 받지 못한 상태이지만, FIND (Future INternet Design) 프로젝트를 통해서 pilot 프로젝트에 대한 지원이 시작되었으면, 유럽의 European Commission에서도 FET (Future and Emerging Technology)

initiative를 승인하여 GENI에 대응하는 프로그램을 이미 시작하고 있다.

국내에서는 한국과총에서 지원하는 KCIST (Korea Conference on Innovative Science and Technology) 2006에서 GENI와 FET 참여 연구원들과 국내 망사업자, 학계, IT분야 대표기업 연구소등이 참석하는 워크샵을 통해 Future Internet에 관한 국내 여론을 수용할 예정이다.

Future Internet은 미국에서도 전산학 분야의 거의 전 분야를 망라할 정도의 방대한 프로젝트로써 상원의 인준을 필요로 하는 규모의 예산은 전산학 분야에서는 처음으로 신청한 경우라고 한다. 모바일, 홈네트워크, e-commerce 및 온라인상에서의 개인정보보안등이 국내 산업에서 주목하는 첨예한 토픽임을 고려할 때, 이러한 다양한 서비스들의 공통된 요구사항을 추출하여 새로운 망설계에 반영할 수 있는 좋은 기회라고 생각된다. 국내 전산학 분야에서는 PlanetLab이나 Emulab과 같은 테스트베드를 설계부터 시작해서 운용해 본 예가 없고, 범용 테스트베드에 관한 이해도 초기단계이지만, 최첨단 모바일, 온라인 서비스가 세계 어디에서보다 먼저 시도되는 상황을 십분활용하여 Future Internet 설계의 핵심적인 기능수요를 타진해볼 수 있는 좋은 기회라고 생각된다. 과연 20년 후에 현재의 인터넷이 Future Internet으로 대체되어 있을지, ISDN이나 ATM처럼 인터넷에 밀려서 사라져버린 네트워크가 될 지 누구도 예측할 수 없지만, 현재 인터넷보다 더 성공적인 네트워크를 설계해보려는 시도는 학계, 업계에 신선한 자극이 될 것으로 확신한다.

- [1] Report of NSP Workshop on "Overcoming barriers to disruptive innovation in networking," January 2005.
- [2] D. Clark, "The design philosophy of the DARPA Internet protocols," ACM SIGCOMM Symposium, August 1988.
- [3] Y. Rekter, T. Li, "An Architecture for IPv6 Unicast Address Allocation," RFC 1887, December, 1995.
- [4] S. Deering, "Multicast routing in a datagram internetwork," PhD thesis, Stanford University, December, 1991.

- [5] L. Peterson, D. Culler, T. Roscoe, T. Anderson, "A blueprint for introducing disruptive technology into the Internet," Proceedings of the 1st Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets-I), Princeton, New Jersey, October 2002.
- [6] B. White, J. Lepreau, Stoller, R. Ricci, S. Guruprasad, Newbold, M. Hibler, C. Barb, and Joglekar, "An integrated experimental environment for distributed systems and networks," OSDI 2002.
- [7] David Talbot, "The Internet is broken: an interview with D. Clark," Technology Review, December 19, 2005.