

인터넷, 그 속성, 그리고 그 미래

김대환(한국과학기술원)

인터넷은 이제 통신 모든 분야에서 그 기본 기술로 받아들여지고 있다. 유무선 통신은 물론 디지털 방송에서도 IP 기술의 채택은 뚜렷한 대세이다. IP over Everything, Everything over IP가 실현되고 있는 것이다. 불과 몇 년 전만 해도 ATM을 배타적으로 신봉하던 Telco들이 그들 모든 인프라를 IP로 바꾸려고 하는 것은 놀라운 일이다. 특히 인터넷을 이끌어 온 선진 기술자들 사이에서 서서히 장기적 미래 통신 수단으로서의 인터넷에 대한 근본적 회의가 제기되며 새로운 통신 구조가 모색되기 시작하고 있는 것을 생각하면 이러한 Telco들의 인터넷 기술에 대한 돌변한 맹신은 아이러니에 가깝다고 할 수 있다.

이 글에서는 인터넷의 근본 속성에 대해 돌이켜 보고 미래 통신으로서의 과제에 대해 생각해 보기로 한다.

1. IP 그리고 인터넷

우선 용어 선택에 대한 언급이 필요하다. IP란 인터넷에서 사용하고 있는 3계층 프로토콜의 이름인데 엄밀한 의미에서 인터넷이란 용어와는 차별적으로 사용되어야 한다. 곧, 인터넷이

란 IP 기술에 근간하되 공중망에 연결되어 누구나 IP 주소가 있으면 서로 연결될 수 있는 데이터 통신망을 뜻한다. IP 기술을 사용하고는 있으나 인터넷에는 연결되지 않고 나름대로 폐쇄적인 통신을 하는 망이 있을 수 있기 때문이다. 하지만 이 글에서는 이 두 용어를 큰 구별 없이 사용하기로 한다.

IP의 가장 큰 가치는 바로 연결성(connectivity)이다. 조금 과장해서 말하자면 그 유일한 가치라고도 할 수 있다. 곧, IP 주소만 가지면 누구에게나 연결이 될 수 있다는 것이 인터넷의 가장 최상위 가치라는 것이다. 유명한 "Connectivity is its own reward." (Anthony Rutkowski)라는 말이 이러한 점을 대변하는 구절이다. 여기에서 말하는 연결성은 연결형/비연결형(connection-oriented / connectionless)의 의미에서가 아니라 도달성(reachability)으로 이해하는 것이 옳다.

2. 인터넷의 속성

IP가 글로벌 연결성을 확보하기 위해서 취한 가장 중요한 결정은 그 동작 속성 정의에 있어

서 종속망(subnetwork)으로부터의 독립성을 근거로 했다는 것이다. 곧, 전화망, 위성망, LAN 등 어느 망에 연결되어 있다고 하더라도 IP 주소가 있는 어느 노드든 서로 연결이 가능하도록 한 것이다. 지금 보면 어쩌면 너무도 당연한 이 개념은 IP를 설계할 당시로서는 현명한 해안을 필요로 했다고 할 수 있다.

그러면 연결성 이외에 IP는 어떤 기능을 더 제공하려고 했는가 질문해 볼 수 있겠다. 그에 대한 대답은 놀랍게도 애초의 설계에 있어서 그 이상 아무런 기능도 더 제공하려고 고려되지 않았다는 것이다. 현재 많은 우리들의 초미의 관심이 되어 있는 품질보장, 이동성, 보안, 멀티캐스트 등은 애초의 설계 개념에 없었다는 것이다. 물론 80년 후반 이후 많은 추가 기능 구현 방법들이 개발되었지만 이것은 어디까지나 패치(patching) 수준이라고 할 수 있다. 만일 애초에 그와 같은 다양한 기능 제공을 염두에 두었다면 IP 기본 프로토콜의 설계가 사뭇 달라졌을 수 있다.

IP의 이러한 속성은 이른바 'End-to-End Argument(J. H. Saltzer, D. T. Reed, David D. Clark)'를 보더라도 뚜렷해진다. 안정성 등 추가 향상된 서비스를 위해 필요한 기능 구현은 되도록 종단시스템, 곧 호스트에서 하며 인터넷 망 그 자체 안에서의 기능 구현은 최소로 한다는 것이다. Telco의 dumb terminal, rich network 개념과는 정 반대로 smart host, slim network을 지향한 것이다.

인터넷 및 IP의 기본 속성을 뛰어 넘는 부가적 기술 추구로 인해 시작된 인터넷과 관련된 기술자들의 혼란과 불행은 인터넷의 본산인 IETF에서는 물론 외부 방관자였던 Telco 모두에게서 야기되었다. 인터넷의 주인들은 인터넷

의 세계적 확산에 고무되어 Everything over IP를 뛰어 넘어 Everything with Internet을 추구하기에 이르렀다. 특히 품질 보장을 제공하겠다고 시도한 것은 가장 무모한 일이었다. 또한 Telco는 그들의 오랜 동안의 종교적 신념, 곧 망이 모든 것을 제공해야 한다는 집념으로 바보같은 인터넷을 거대한 공룡으로 키워나가려고 하고 있다.

3. 인터넷의 한계

인터넷을 이제 두 단계로 관찰해야 한다. 인터넷의 최종적 경계는 IP 패킷이다. 엄밀하게 말해 그 이하의 인터넷 구조, 특히 라우팅 기술도 한시적인 것이라고 할 수 있다. 현재의 라우팅 기술은 데이터를 잘 전달하는 데에는 문제가 없다. 그러나 멀티미디어 등 많은 기능을 요구함에 있어서 지금의 라우팅 기술이 그대로 활용 가능한가에 대해서는 의문이 갈 수 밖에 없다.

이러한 전망을 해 볼 수 있다. 우선, 앞으로 모든 통신 트래픽은 IP 패킷으로 포장되어 전달될 것이라는 점이다. 데이터이건 멀티미디어이건 일단 발원지를 떠날 때에는 모두 IP 패킷으로 포장된다는 것이다. 이것은 매우 편리한 방안이다. 왜냐하면 IP 패킷화되면 IP의 connectivity/reachability 장점을 이용해 어느 곳이나 전달될 수 있기 때문이다. 곧 글로벌한 통신 API가 제공된 것이라고 할 수 있다.

문제는 그 다음이다. 우선 데이터 트래픽을 살펴 보자. 품질 보장이 크게 문제가 되지 않는 데이터 트래픽은 현재의 인터넷과 같은 라우팅 기술로 전달되어도 큰 문제가 없다. 전화망이 음성을 100여년 동안 담당해 온 것 처럼, 앞으로 데이터는 인터넷이 담당하게 될 것이다.

정작 문제는 그 다음이다. IP로 포장된 속의 내용이 멀티미디어 스트림일 때는 어떻게 할 것인가이다 그 대책의 하나는 라우터에 QoS 기술을 적용하는 것이다. 이러한 방법을 글로벌 인터넷에 실현하는 것이 얼마나 어려운 것인가는 아는 사실이다. 소위 IntServ/RSVP 기술은 무엇보다도 플로우 마다 soft-state를 관리하고 정기적으로 refresh해 주어야 하는 점이 글로벌 포설 가능성을 지칭하는 scalability 보장에 결정적 장애 요소이다. DiffServ 기술 또한 end-to-end 적용을 위해서는 중간 ISP 들의 DSCP, SLA 등에 대한 합의가 각각 양자간의 bilateral agreement로 이루어져야 하는 점이 글로벌 실현 가능성을 희박하게 하고 있다. 그러나 무엇보다도 패킷 기술 위에서 품질 보장을 시도한다는 자체가 무리한 일인 것이다. 패킷은 best-effort 데이터, 회선(circuit)은 QoS 스트림의 교과서적 가르침을 다시 상기해야 한다.

4. IP 하위 계층

멀티미디어 IP 패킷의 처리를 위해서는 현재의 인터넷 3계층 기술과는 전혀 다른 새로운 기술이 등장해야 한다고 생각할 수 있다. 혹자의 그룹은 이러한 방향에서 새로운 인터넷 구조 기술을 연구하고 있을 것이다.

허나 조금 더 생각해 보면, 사실 품질보장을 정작 제공해야 하는 층은 3계층이 아니라 2계층 이하에서라는 점이다. 1, 2 계층에서 품질 보장을 제공하지 않는데, 3층에서만 패킷 스케줄링 같은 기술로 모두 보상하겠다고 하는 자체가 전혀 성공 가능성 없는 시도이다. 문제는 1, 2계층에서 품질 보장을 우선 하게 하고, 3층은 다만 서로 다른 종속망에서 서로 다른 방법으로 1, 2

계층 품질 보장을 하는 것을 정합하고 품질 정보 전달을 하는 역할에서 끝나야 하는 것이다. 인터넷, 또는 IP 망에서의 품질 보장 문제를 해결하기 위해서는 1, 2계층을 들여다봐야 한다. 1, 2계층에게 품질 보장 기능을 맡기고 3층은 현재와 같이 최소한의 기능으로 끝나야 한다.

5. 2계층

그러면 우리는 어떠한 1, 2계층, 곧 종속망을 갖고 있는가. 우선 인터넷은 현재 품질 보장 기능이 매우 취약하다. 802.1q와 같은 tagging 기술이 정의 되어 있기는 하지만, 인터넷은 기본적으로 패킷 기술이라는 점을 잊지 말아야 한다. 인터넷과 이더넷은 IP 패킷이나 프레임이나의 차이만을 제외하고는 기본적으로 똑같은 Store-and-Forward Packet Switching 기술이라는 것이다. 이더넷에서 품질 보장을 제공하기 위해서는 라우터에서와 마찬가지로 복잡한 packet scheduling 기술에 의존 할 수밖에 없다. 혹자는 패킷 기술로도 품질 보장을 할 수 있다고 주장할 수 있다. 그러나 시험적으로 조그마한 사내 망에서라면 몰라도 글로벌 망에 생기는 수많은 세션을 모두 감당할 수 있는 기술은 아니다. 글로벌 연동이 불가능한 국부적 기술은 결국 사장되어 버리고 말 것이다. 또는 트래픽 부하가 아주 낮을 때는 어느 정도 동작하기를 기대할 수 있겠다. 그러나 이것은 over-provisioning 상태와 같은 것으로 이러한 상황에서는 packet scheduling에 근거한 QoS 기술 적용 자체가 필요 없는 무의미한 경우이다.

그렇다면 정말 큰 의미 있는 2계층 기술이 존재는 하는 것인가? 잘 생각해 보면 그렇지 않다는 것을 알 수 있다. 곧 MAC과 같이 경쟁적 미

다어 접근 상황이 아니라면 2계층은 프레임, 곧 패킷에는 앞뒤 경계 표시가 없으니 앞뒤 경계 표시(framing)를 하는 의미밖에는 남지 않는다. 그런데 MAC 기술은 그 속성이 패킷 기술과 다를 것이 없다. 이미 인터넷의 CSMA/CD MAC 기술은 의미를 잃었고, 이제 거의 모든 인터넷 스위치는 Store-and-Forward 패킷 스위치로 동작하고 있다. MAC 기술 자체가 품질 보장과는 거리가 먼 기술이라면, 품질 보장을 찾아 내려가는 여정에서 MAC 기술로 대표되는 2계층 기술이라는 것은 의미를 잃고 만다. 2계층이 역할은 다만 경계 표시 기능으로 끝나는 것이다.

6. 품질보장은 물리층에서

이렇게 보면 결국 품질 보장은 1계층 곧 물리층에서 근본적으로 제공되어야 한다는 것을 알 수 있다. 물리층에서의 품질 보장에 근거하지 않고 2층, 3층에서의 패킷 기술에 의한 시도는 기술적 유희에 지나지 않는다.

그러면 물리층에서 우리가 알고 있는 품질 보장 기술은 무엇인가? 너무나도 대답이 간단하다. Lambda, TDM 등 회선 기술인 것이다. 두 개의 단말이 파장(lambda)이나 전파 채널로 일대일로 연결되어 있다면 품질 보장은 당연히 따라오는 기능이다. 혹 주어진 회선을 한 단말이 다 활용하지 못할 때에는 TDM 기술로 공유하면 된다. 빛, 전파, 주파수에 의한 회선과, 그를 다중화 하기 위한 TDM 기술. 이것은 백년이 넘는 전화망 진화를 통해 우리가 이미 습득한 기술이다. 너무나도 잘 알고 있고 이해하기 쉬운 기술이다.

7. 인터넷과 음성 통화

음성 통화는 간헐적이라고도 할 수 있다. 곧, 패킷 기술을 적용하는 것이 경제적이라고 주장할 수 있다. 더구나, 음성 통화의 대역폭 요구 수준은 이미 데이터의 요구 수준 이하로 떨어져 있다. 따라서 패킷망을 통해 보내더라도 큰 문제는 없어 보인다. 그러나 이것은 잘못된 판단이다. 이미 우리는 디지털 전화의 음질에 익숙해져 있다. 세계 어디에서라도 디지털 전화로는 한 시간이고 수십 시간이고 피로감 없이 편안하게 통화할 수 있다. 연인들처럼 속삭이는 통화를 몇 시간을 해도 직접 대면하고 대화하는 것에 비해 피로감이 전혀 더 하지 않다. 그러나 패킷 통화는 현재의 무선 통화 품질 이상을 실현할 수 없다. 더구나 이제 거의 모든 사람은 유선 전화를 쓰지 않고 휴대폰을 써서 통화를 하는 습관을 들이고 있다. 그런데 인터넷으로 중계되는 휴대폰 전화의 품질이 어떠하겠는가. 현재의 휴대폰만으로도 사업상 중요한 대화를 오래 하기에는 너무 부족하다는 것을 많은 사람들이 느낄 것이다. 진지한 내용의 대화라면 휴대폰을 제치고 주위의 유선 전화를 찾은 경험이 누구나 있을 것이다.

그러면 유선 인터넷 전화는 어떠한가? 인터넷 전화를 써 본 많은 사람들은 그런대로 쓸만하다는 평이다. 그러나 이것은 아직 인터넷 전화가 보편화되기 이전의 상황이다. 만일 현재의 유선 전화 통화가 모두 인터넷 전화로 바뀐다는 극한 상황을 상상해 보자. 그 때에도 지금과 같은 통화 품질을 유지할 수 있겠는가. 혹 통화 품질이 좋다고 해도 이것은 인터넷 망의 상당한 과잉 시설(over-provisioning)으로 인해서일 것이고, 과잉 시설 투자로 인한 비용도 생각해 봐야 한

다. 더구나 재해 등으로 어느 한 지점으로 통화 폭주가 일어 날 때의 통화 품질은 어떠하겠는가. 현재의 유선 전화는 연결이 안될 망정, 일단 연결이 되면 통화 품질은 완벽하다. 반면 인터넷 전화의 통화 품질은 구식 아날로그 전화 수준 이하일 것이다.

인터넷 전화가 불가능하다는 주장을 하자는 것은 아니다. 다만 인터넷 전화란 데이터 서비스에 무료로 얹어 주는 서비스라면 몰라도 통화료를 받고 시행할 수 있는 서비스가 아니라는 것이다. 어차피 이미 데이터를 수십 메가로 보내주는 시설에 불과 수 Kbps에 불과한 인터넷 전화는 당연히 무료로 되어야 할 것이고, 대신 품질은 보장할 필요가 없는 서비스가 될 것이다.

8. 고품위 멀티미디어

그러나 멀티미디어의 세계에서 음성 통화는 최저 서비스 품목에 그칠 뿐이다. 고품질 오디오를 생각해 보라. MP3, 또는 뛰어 넘어 CD 품질, 5.1, 10.2 채널 고품위 오디오 등을 생각해 보라. 단 방향 통신이라면 몰라도 쌍방향 더 나아가 다방향 통신이 필요한 양자 대화, 음악 세션, 다자간 음향 공유 등의 응용에서 인터넷의 인프라는 너무 약한 기술이다. 또한 더 나아가 비디오 응용을 생각해 보자. HDTV 화면에 익숙해질 우리에게 가끔씩 화면이 끊어지고 흑 골 넣은 장면도 잃게 되는 인터넷 방송은 돈 내고는 못 볼 서비스이다. 또한 원격 의료, 원격 음악 학습 및 공동 연주, 미립자 물리 실험, mission critical한 군사 응용들을 생각하면 사람의 목숨, 안전 문제 등이 관련된 이러한 응용을 무책임한 패킷 기술에 의존 할 수는 없다.

혹자는 variable rate 멀티미디어 코덱 특성 때

문에 패킷 망이 맞다도 하루 수도 있다. 허나 이미 많은 경우 fixed rate 코덱이 더 수용하기 쉬운 것이 현실이다. 대역폭 보장 없는 가변적 상황과, 그와 동반되는 패킷 기술은 비용을 지불하며 신뢰하기에는 부족하다. 움직임이 빠른 영상 부분은 어차리 우리 눈도 함께 인식능력이 떨어지며, 따라서 고정율 코덱으로 크게 불현할 일이 없다. 고정율이라면 회선 기술이 제격이다.

9. 패킷과 회선

그런데 우리는 왜 패킷으로 왔는가? 회선(Circuit)은 비싸다고 판단했기 때문이다. 그렇다 간헐적인 트래픽을 발생하는 데이터에서는 한 세션이 한 회선을 독점한다는 것은 너무 비싼 방법이다. 품질 보장도 필요 없는 데이터 트래픽이라면 패킷 기술로도 족하다. 그러나 날라야 할 트래픽이 품질 보장을 요구하는 멀티미디어, 특히 스티리밍이라면 문제는 달라진다.

과연 회선 기술은 비싸지만 한 기술인가? 따져 보면 꼭 그렇지만은 않다. 과거의 TDM 스위치는 전화망의 five nine 품질 보장 요구에 의해 모든 시스템의 이중화, 엄격한 관리 소프트웨어 등으로 엄청나게 무겁고 비싼 기계로 만들어 졌다. 하지만 디지털 시대에 부응하여 시스템을 가볍게 하고, 불필요한 기능을 간소화 하면 TDM 스위치라도 얼마든지 값싸게 만들 수가 있다. 더구나 이제 부품 및 장비의 신뢰도가 상당히 높아진 상황에 불통의 위험을 조금만 감수하고, 대신 그 보상을 다른 방법으로 하는 생각의 전화만 한다면 TDM 회선 시스템이 결코 패킷 시스템에 비해 크게 비싸지 않게 구현될 수 있을 것이다.

10. 세계적 움직임

아마도 앞으로 십수년 안에 지금까지 없었던 희귀한 새로운 통신 구조가 출현할 수도 있다. 그러나 그러한 장기적이고 가치 혁명적인 상황의 도래를 기다리지 않더라도, 지난 백여년 동안에 쌓인 지식만으로도 효과적인 통신망을 설계할 수 있다. 곧, best-effort 데이터나 무료의 멀티미디어는 패킷 망으로, QoS 멀티미디어는 회선망으로 전달하는 것이다. 이 간단한 교과서적인 지식이 답이 될 수 있다.

이러한 생각은 세계 첨단망에서는 다른 방법으로 표출되고 있다. 곧 Internet2에서는 소위 HOPI(Hybrid Optical Packet Infrastructure)를 시험하고 있다. 여기에서 Optical이라는 말은 광에 의한 회선(Circuit)를 의미한다. 곧, Hybrid Circuit/Packet이라는 뜻이다. Best-effort 패킷은 종래의 라우터에 기반한 패킷 망으로, 대역폭 보장이 필요한 대용량 파일 교환(물리학자들의 테라비트 단위의 파일)이나 고품위 멀티미디어 데이터는 회선 망으로 보내는 것이다. 현재의 기술로서 회선의 구성은 두 단계로 이루어진다. 첫 단계는 lambda에 의한 회선 제공이다. 현재 기술로서 한 파장당 40Gbps까지의 대역폭 제공이 가능하다. 이 회선은 다시 필요에 따라 다수의 단말이 TDM기술을 이용해 공유한다. 곧 TDM/lambda 회선 기술인 것이다. Internet2 이외에도 캐나다의 Canarie/CA*Net, 네덜란드의 SURFNET 등 선도적 첨단망 그룹에서 이러한 움직임이 시작되고 있다.

11. 글로벌 API로서의 IP

이렇게 1층에서의 회선과 2, 3 층에서의 패킷

기술의 병행 사용에도 불구하고, 모든 트래픽은 앞으로 IP 패킷으로 포장되어야 한다는 것 또한 간과해서는 안 될 경향이다. 곧 Everything over IP인 것이다. 그러나 그 IP(곧 주소를 통한 연결성을 보장하는 최소한의 통신 API) 이하에서는 트래픽 요구에 따라 패킷과 회선 기술을 적절히 선택해 사용하는 것이다. IP를 회선에 올리기 위해서는 약간의 정합 기술이 필요하다. 그러나 이러한 정합 기술은 사소한 쉬운 기술이며 IP API로 얻어지는 global, universal, spacial (우주) connectivity의 장점에 비하면 무시될 수 있는 불편이다.

12. 맺음말

IP는 무궁할 것이다. 그러나 패킷 기술을 그 기본 속성으로 정의한다면 인터넷의 장래는 제한적일 수가 있다. 패킷이든 회선이든 하위 종속망이 정의할 전달 기술에 불과하다는 관점에서 보면 인터넷 또한 무궁할 것이다. 이제 인터넷은 패킷 기술이라는 집념을 버릴 때이다. 그럴 때만이 멀티미디어 인터넷의 장래가 꽃 필 것이다.

패킷과 회선 그 어느 것도 이 세상을 다 지배할 수는 없다라는 이 두 교과서적인 기술은 서로 보완해 존재할 영원한 기술이다. 마치 음양의 조화처럼. 작금 우리나라에서 화두인 BcN을 기획함에 있어서 Telco가 주도하는 우리나라의 opinion leader들이 ATM의 개발에서 가졌던 똑같은 아집으로 또 다른 실수를 하지 않기 바란다. 곧, 패킷 위에 회선을 실현하겠다는 아집으로 백년대계로 쌓아 놓은 보고인 TDM 회선 기술을 헌신짝처럼 버리는 과오를 범하지 말아야 할 것이다.

저자소개



김병운

1954년 서울대학교 전자공학과 학사
1977년 한국과학기술원 석사
1983년 한국과학기술원 박사
1985년 홍익대학교 전자공학과 정보통신공학 교수