

통신대역폭 거래를 위한 시스템 아키텍처와 거래 엔진 설계 Development of Trading Model of Telecom Bandwidth Commodities

김도훈

경희대학교 경영대학 조교수

서울시 동대문구 회기동 1번지 (130-701)

dyohaan@khu.ac.kr, 02-961-9411

요약

통신대역폭 거래(Bandwidth Trading, BT)는 국제적으로 1 조 달러 이상의 잠재적 시장을 보유한 사업 분야로, 특히 통신사업자에게는 비용 절감과 새로운 수익창출의 기회를 제공한다. 그러나 아직까지 BT에 대한 체계적인 연구는 국내/외를 막론하고 초기단계에 있다. 본 논문은 먼저 차세대 All-IP 인프라 환경에서 통신대역폭이 상품화되는 경향을 살펴본다. 또한 BT 허브(exchange hub) 역할을 할 제3자 기반의 BTS(BT System)을 제안한다. 마지막으로 제안된 BTS 환경에서 통신사업자의 수입을 극대화하는 BTE(BT Engine)을, Markov 의사결정 모형을 적용하여 개발한다.

1. 서론

ISP(Internet Service Provider) 및 통신사업자에게 통신대역폭(bandwidth)으로 대변되는 전송용량(transmission capacity)은 핵심적인 자산임과 동시에 가장 큰 원가요소(cost center)이다. 그러나 변동성이 큰 통신서비스의 수요 특성상 전송용량의 평균 사용율(utilization rate)은 일반적으로 25~40%에 불과하다([8] 등) 이러한 이유에서 최근 미국 등 정보통신 선진국을 중심으로 통신대역폭 관리와 운용에 대한 새로운 방식이 시도되고 있으며, 이러한 경향은 통신대역폭의 상품화(commoditization)로 요약될 수 있다. 즉, 타사업자의 여유 용량(idle bandwidth)을 적절한 가격에 의해 특정 기간동안 임차하여 사용하려는 경향이 점차 확대되고 있다. 이는 결국 통신대역폭을 상품으로 취급하는 새로운 종류의 거래시장이 형성되는 양상으로 발전되고 있다.

특히 통신산업에서의 통신대역폭은 다음과 같은 특성으로 인하여 상품화 가능성이 높다.

- ▶ 특정 단위(OC-12 등)의 통신대역폭은 사업자가 책정한 가격 이외에는 물리적으로 동질적이므로 거래의 안정성이 높다.
- ▶ 소비가 시간에 의존적이며(perishable), 저장 불가능하므로(non-storable), 실시간(real

time) 거래를 통하여 공급자 및 수요자의 편익을 동시에 증가시킬 수 있다.

관행적인 오프라인 거래방식에서는 통신대역폭 거래(Bandwidth Trading, 이하 BT)에 수일에서 길게는 서너 달 이상이 소요된다. 이에 따라 네트워크 성능을 실시간으로 측정하기 어려우며, 측정된 성능을 사업자의 재무성과와 연결시키기 어렵다.

이러한 이유에서 미국, 영국, 독일 등의 통신사업자들은 통신대역폭에 대한 실시간 온라인 거래시스템을 도입하여 위와 같은 비효율성을 제거하며, 공급 및 수요의 편익을 동시에 증가시키려고 노력하고 있다. 특히 미국의 경우, BT는 1984년 AT&T 분할(divestiture) 이후 조금씩 활성화되기 시작하였으며, 이러한 경향은 인터넷의 등장으로 정보통신산업에서 역무 제한을 철폐한 1996년 개정 통신법(The Telecommunication Acts)으로 인하여 더욱 강화되고 있다. 그 결과 미국은 1999년 12월 세계 최초로 Enron과 Global Crossing 사이에서 온라인 방식에 의한 실시간 BT가 시도되었다. 그 결과 오늘날에는 여러 국가의 통신회사가 공동 출자하고 있는 Arbinet과 Band-X 등을 중심으로 PSTN(Public Switched Telephone Network) 국제전화 서비스에 대한 BT 시장이 활성화되어 있으며, 인터넷 등 데이터 교환에도 이와 유사한 BT 방식이 도입되고 있다. 즉, 통신 선진국들은 이러한 변화를 적극적으로 주도함으로써 향후 글로벌 통신사업자로 성장하여 해외시장에 진출하고자 한다.

그러나 국내의 경우 초고속인터넷 및 이동통신의 발달로 인하여 통신사업자간 트래픽 교환은 매우 활발한 편임에도 불구하고, 통신대역폭 자체에 대한 거래는, 일부 국제전화회선을 제외하고서는 지극히 미미한 상태에 있다. 거래방식도 전화나 팩스 등과 같은 오프라인 방식에만 의존하고 있는 등, 아직 이러한 변화에 대응하기 위한 문제인식조차 거의 전무한 상태에 있다. 이는 정보통신 강국을 지향

하는 우리나라의 국가전략에 비추어 볼 때 매우 실망스러운 상황이다.

오프라인 방식의 인터넷 등 데이터서비스를 위한 BT에 관해서는 [3], [9], [13] 등에서 연구된 바 있다. 특히 [13], [14], [15] 등은 ISP 간 트래픽 교환방식들의 장단점을 논하고 있는데, 이는 실시간 온라인 BT로 확장될 수 있다. [3], [9]은 통신사업자간 서비스품질보장(Service Level Agreement, SLA) 제약하에서의 쌍방계약(bilateral agreement)에 의한 통신대역폭 브로커(broker) 모형을 제공한다.

또한 실시간 온라인 BT에 대해서는 [5], [6], [8], [11] 등에서 그 가능성과 현재 시행 중인 사례를 설명하고 있다. 특히 [8], [11] 등은 미 Enron이 시도하였던 최초의 온라인 BTS(BT System)을 자세히 소개한다. 또한 이들 연구는 BT 시장의 효율성을 높이고 통신사업자에게 가시적인 원가절감의 이익을 주기 위해서는 보다 세밀한 단위(minute grade)로 거래할 수 있는 여건조성이 필요하다고 지적하고 있다.

[7], [10] 등은 상품으로서의 대역폭의 현물 가격 움직임(spot price dynamics)을 모형화하는 방법을 제안한다. 제안된 모형은 동일한 수준의 QoS(Quality of Service)를 보장하는 다양한 경로가 존재하기 때문에 (다른 상품에 비하여) 통신대역폭의 현물가격 움직임을 파악하는 것이 더 어렵다는 것을 보이고 있다.

본 연구는 기존 연구보다 실현가능한 차원에서, All-IP BcN(Broadband convergence Network) 환경에 보다 적합한 BTS를 대상으로 한다. 즉, 다사업자 경쟁 환경에서 교환허브를 중심으로 한 다자간(multi-party) BTS를 전제로 한다. 특히 통신사업자 입장에서 보다 중요한 BTE(BT Engine) 개발을 위한 의사결정모형을 고찰한다. 이를 통하여 BTS에 대한 체계적인 이해를 높이며, BT 시장의 활성화를 촉진할 것으로 기대된다.

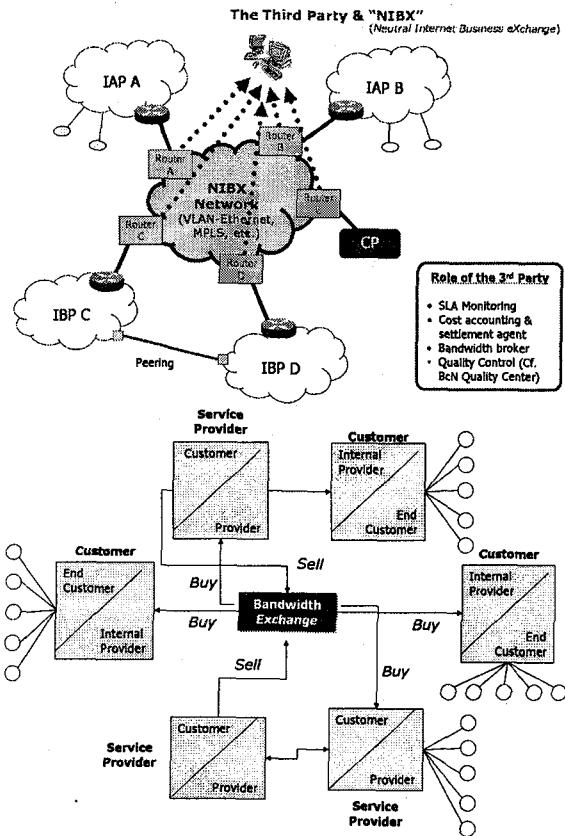
2. 통신대역폭 거래시스템(Bandwidth Trading Systems, BTS)

2.1 교환허브를 이용한 BTS

향후 BcN과 같은 고급 인터넷 기반 융합 서비스가 활성화되기 위해서는 단대단 QoS(end-to-end QoS)가 전제되어야 한다([2], [11], [12] 등). 단대단 QoS는 기술적 문제 외에도, 인터넷 상호접속(interconnection) 방식이 변해야 실현 가능하다. 통신대역폭의 상품화도 BcN과 같은 서비스 환경의 변화와 더불어 단대단 QoS의 구현을 지원하는 새로운 상호접

속 대안을 요구하고 있다. 현재와 같은 계층화된 상호접속체계에서는 사업자간 상호접속 지점이 병목구간이 되어 트래픽 유형에 따른 차별화된 서비스를 처리하는 것이 어렵기 때문이다. 즉, BcN이 지향하는 단대단 QoS를 통한 차별화된 서비스 제공이 어려운 원인은 지나치게 많은 수의 ISP가 존재하는 것에 있는 것이 아니라, 지나치게 세분화된 ISP 간 상호접속구조에 기인하는 것이다.

[1]은 IAP(Internet Access Provider)-Wholesale ISP-IBP(Internet Backbone Provider)로 이어지는 현재의 상호접속 계층구조가 전송경로를 필요 이상으로 길게 하여 서비스 품질을 저하시키는 근원이 된다고 주장한다. [1]에서는 또한 현재의 계층적 전송구조를 해체하여 단순화시킬 경우 단대단 QoS 문제가 보다 쉽게 해결될 수 있음을 보이고 있다.



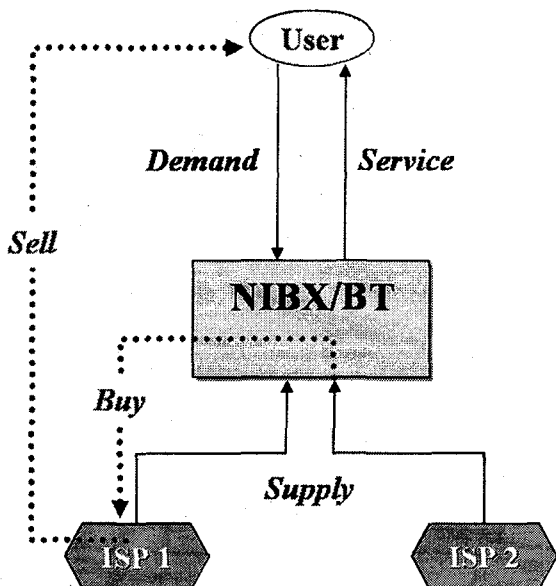
[그림 1] 교환허브의 개념과 BTS

위 그림은 단대단 QoS에 기반한 고품질 서비스를 실현하기 위한 상호접속 대안과 이에 기반한 BTS의 개념을 제시한다. 이는 인터넷 교환허브에 근거한 다자간 정산을 바탕으로 한다. 즉, ISP 유형에 관계없이 다수 ISP들의 트래픽 교환을 체계적으로 관리하는 교환허브를 구축하고, 중립적이고 공공성을 보장

하는 제 3 자(trusted third party)가 이를 관리하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 제 3 자를, [1]에서 제안된 바를 따라서 NIBX(Neutral Internet Business Exchange)라고 부르기로 한다. NIBX의 보다 자세한 아키텍처와 기능적 요구 사항 등은 [1]을 참조하라.

2.2 통신대역폭 거래의 의사결정 이슈

[그림 1]과 같은 BTS와 환경을 전제로 할 때, 효율적인 BT를 위해 고려해야 할 정책적 이슈들을 아래 그림과 함께 살펴 보면 다음과 같다. 먼저 가치중립적인 제 3자인 NIBX를 통하여 사용자와 공급자가 연결된다. 이 과정은 일반적인 e-marketplace에서와 동일하다. 단, 사업자간 통신대역폭 거래도 역시 가능한데, 이 때에도 NIBX가 중간에서 사업자간 거래를 관장한다. 따라서 아래 그림에서 ISP 1은 자신이 제공한 통신대역폭만큼의 주문만을 공급할 수 있는 것이 아니라 ISP 2의 여유 용량을 임차하여 사용자에게 제공할 수 있다.



[그림 2] 교환허브 BTS에서의 BT 프로세스

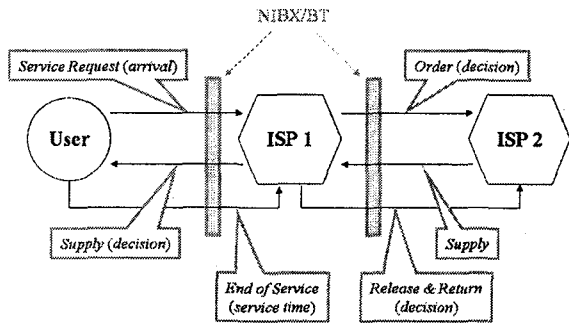
위 그림과 같은 BTS에서 사업자의 핵심적 의사결정은 획득된 사용자의 주문을 처리하기 위한 용량을 확보하는 것이다. 이를 위하여 사업자는 두 종류의 행동을 고려할 수 있는데, 첫번째는 주어진 사용자 수요에 대한 수용 여부를 결정하는 것이다. 또한 타사업자의 여유 용량을 임차할 것인가, 그렇다면 어느 시점에서 임차할 것인지를 결정하여야 한다.

상기한 BTS는 다자간 BT를 대상으로 하지만, 본 연구에서는 사업자간 경쟁은 고려하지 않는다. 특정 사용자의 주문을 사업자가 획득하는 과정이 중요하기는 하지만(예컨대 [11]

은 위 그림과는 다소 상이한 환경에서 사업자간 경쟁을 다루고 있다), 여기서의 의사결정 맥락은 보다 미시적인 것이다. 즉, 한 사업자의 입장에서 획득된 수요를 충족시키기 위한 최적 용량 계획(optimal capacity provisioning)에 집중한다. 이 경우 다음 절에서는 해당 의사결정 문제가 Markov 의사결정 문제로 모형화될 수 있음을 보인다.

3. 거래엔진(Bandwidth Trading Engine, BTE) 설계를 위한 의사결정모형

본 연구는 앞의 그림을 의사결정모형의 관점에서 재정리한 아래 그림에서의 BTS 환경을 전제로, ISP가 BT를 통하여 통신대역폭 확보를 위한 최적 용량(optimal capacity)을 결정하는 의사결정 문제를 다룬다.



[그림 3] 의사결정모형

먼저 한 단위의 서비스가 한 단위의 통신대역폭을 수요한다고 가정하고, 사업자 1은 N 단위의 통신대역폭을 교환허브에 등록하였다고 하자. 해당 사업자는 단위시간당 λ 의 사용자 수요를 획득하는 포아송 확률과정(Poisson stochastic process)에 따른다고 가정한다. 사용자의 서비스 이용시간은 서로 독립적이며, 평균이 μ^{-1} 인 지수분포(exponential distribution)를 따른다.

사업자가 확보한 용량이 부족하여 획득된 사용자를 서비스할 수 없을 경우에는 SLA에 의하여 C_p 의 페널티를 물어야 한다. 사용자로부터 한 단위의 대역폭당(단위시간당) R 의 수입이 발생하며, 여유 용량은 단위당 C_H 의 운영비용이 소요된다.

사업자 1은 교환허브를 통하여 다른 사업자(예컨대 사업자 2)로부터 Q 의 대역폭을 단위시간당 C_{01} 의 단위비용으로 구입할 수 있다고 하자. 사업자 1이 사업자 2로부터 임차한 대역폭을 반환하고자 할 때에도 C_{02} 의 비용이 발생한다. 교환허브가 효율적으로 기능한다면 대역폭 임차는 실시간으로 즉시 시행된다.

매 의사결정 시기(decision epoch)마다 사업자는 Q 의 대역폭 임차를 요청할 것인가 혹은 빌린 대역폭을 반환할 것인가를 결정해야 한다. 여기서의 의사결정 시기는 새로운 수요를 획득하거나 한 사용자의 서비스가 종료되었을 때로만 한정한다. 따라서 이 문제는 연속형 Markov 의사결정모형이다. 그런데 [4] 등에 따르면 연속형 Markov 모형도 균일화과정(uniformization process)을 통하여 동일한 효과를 주는 이산형 Markov 모형으로 변환될 수 있다. 이때의 상태전이율(state transition rate)은 $\xi = \lambda + (N+Q)\mu$ 이고 할인요소(discount factor) $\theta = \xi / (\theta' + \xi)$ 이다(여기서 θ' 은 연속형 Markov 모형에서의 할인율).

x 를 사업자가 현재 제공가능한 대역폭, y 를 현재 사용중인 대역폭, z 를 타사업자로부터의 임차 상태를 나타내는 지시변수(indicator variable)이라고 할 때, 이산형 Markov 모형에서 상태는 (x, y, z) 로 표현될 수 있다. 따라서 $x+y = N+zQ$ 이다. 또한 사업자가 취할 수 있는 옵션은 $(x, y, 0)$ 에서는 임차(0-a) 혹은 임차하지 않음(0-b)이고, $(x, y, 1)$ 에서는 반환(1-a) 혹은 반환하지 않음(1-b)이다.

$V(x, y, z)$ 를 초기 상태가 (x, y, z) 로 주어질 때, 사업자의 할인된 최적 이익이라고 하자. 이때 한 단계에서의 상태 (x, y, z) 에 대한 기대 이익은 $W(x, y, z) = Ry - C_{Hx} - C_{O1}QI_{z=1} - \lambda C_{PI_{x=0}}$ 가 된다(여기서 I_{Ω} 는 Ω 가 발생할 경우 1 을 아니면 0 을 가지는 지시함수이다). 이제 사업자는 V 를 최대화하고자 하며, V 는 동적계획법([4] 등)에 따라 아래와 같이 정리된다.

$$V(x, y, z) = \max\{TaV(x, y, z), TbV(x, y, z)\} \quad z=0, 1$$

$$TaV(x, y, 0) = TbV(x+Q, y, 1)$$

$$TaV(x, y, 1) = TbV(x-Q, y, 0) - C_{O2}$$

$$TbV(x, y, z) = W(x, y, z) + \lambda V(D(x, y, z)) + y\mu V(I(x, y, z)) + (N+Q-y)\mu V(x, y, z)$$

$$(D(x, y) = (x-1, y+1), I(x, y) = (x+1, y-1))$$

4. 결론 및 향후 연구방향

BT 는 국제적으로 1 조 달러 이상의 잠재력을 보유한 시장으로, 통신사업자에게는 비용절감과 새로운 수익창출의 기회를 제공한다. 본 논문에서는 All-IP 컨버전스 환경에서 효과적인 BT 를 위한, NIBX 로 명명된 교환허브에 기반한 BTS 를 소개하였다. 또한 제안된 BTS 프로세스에서 사업자의 BTE 설계를 위한 의사결정모형도 소개하였다.

향후 연구에서는 제안된 모형을 바탕으로 BT 의 최적 정책(optimal policy)을 개발하여 BTE 의 프로토타입을 완성할 것이다. 또한 현실성을 반영하기 위하여 보다 정교한 모형으로 확장할 것이다. 예컨대, 서비스별 사용자 유형을 구분할 경우, 사업자가 대역폭을 확보해야 하는 최적 비율을 계산하는 알고리즘이 필요할 것이다.

마지막으로, 제안된 BTS 아키텍처가 중/장기적 관점에서 BT 시장의 효율성을 경제학적 관점에서 고찰해 볼 필요가 있다. BT 시장의 성공은 제 3 자의 공정하고 효율적인 운영에 달려있기 때문에, 효과적인 시장설계(market design)에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 김도훈, "All-IP 컨버전스에서 End-to-End QoS의 효과적인 구현을 위한 ISP 상호접속", [Telecommunications Review], 제16권, 제1호, 2006.
- [2] 한국통신학회, [광대역통합망(BcN) 특집호], 한국통신학회지, 제 21 권, 제 8 호, 2004.
- [3] G. Anandalingam and N.J. Keon, "Auctioning Telecommunications Bandwidth with Guaranteed Quality of Service", *Lecture Notes in Computer Science*, (2002), pp. 117-133.
- [4] D. Bertsekas, *Dynamic Programming*, Prentice-Hall, 1987.
- [5] P. Bhoj, S. Singhal and S. Chutani, "SLA Management in Federated Environments", *Computer Networks*, Vol. 35 (2001), pp. 5-24.
- [6] D. Chieng, A. Marshall, I. Ho and G. Parr, "Agent-Enhanced Dynamic Service Level Agreement in Future Network Environments", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2216 (2001), pp. 299-312.
- [7] T. Gros, "The Development of a Global Bandwidth Commodity Market", in *The Telecoms Trading Revolution*, (2001), pp. 1-10, Risk Books.
- [8] Y. d'Halluin, P.A. Forsyth and K.R. Vetzal, "Managing Capacity for Telecommunications Networks under Uncertainty", *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 10, No. 4 (2002), pp. 579-588.
- [9] J. Lee and R. Ben-Natan, *Integrating Service Level Agreements: Optimizing Your OSS for SLA Delivery*, Wiley, 2002.
- [10] C. Metz, "Interconnecting ISP Networks", *IEEE Internet Computing*, March/April (2001), pp.74-80.
- [11] N. Ogino, "Performance Analysis of Bidding Policy for Competitive Network Providers", *Telecommunication Systems*, Vol. 21, No. 1 (2002), pp. 65-86.
- [12] P. Pongpaibool and H.S. Kim, "Providing End-to-end Service Level Agreements across Multiple ISP Networks", *Computer Networks*, Vol. 46 (2004), pp. 3-18.
- [13] M.B. Weiss and S.J. Shin, "Internet Interconnection Economic Model and Its Analysis: Peering and Settlement", *Netnomics*, Vol. 6 (2004), pp. 43-57.