

멀티미디어 네트워크의 트래픽 혼잡 제어를 위한 적응적 온라인 가격결정기법에 대한 연구

종신회원 김 승 욱*, 김 성 천**

An Adaptive Online Pricing Mechanism for Congestion Control in QoS sensitive Multimedia Networks

Sungwook Kim*, Sungchun Kim** *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 대역량의 대역폭을 사용하는 다양한 멀티미디어 서비스에서 발생할 수 있는 네트워크 혼잡 문제를 효율적으로 제어하며, 동시에 우선순위가 높은 서비스의 QoS 를 보장하는 적응적 온라인 가격결정 방법을 제안하였다. 이 방법은 현재 네트워크의 트래픽 상황을 기반으로 하여 적응성과 유연성을 제공하는 실시간 온라인 기법을 기반으로 수행되기 때문에 실제 네트워크 운영에 적용하기가 용이하다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문이 제안한 방법이 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

Keywords : Dynamic pricing mechanism, Multimedia services, On-line decisions, bandwidth management, QoS

ABSTRACT

Over the years, the widespread proliferation of multimedia services has necessitated the development for an efficient network management. In this paper, we investigate the role of adaptive online pricing mechanism in order to manage effectively the network congestion problem. Our on-line approach is dynamic and flexible that responds to current network conditions. With a simulation study, we demonstrate that our proposed scheme enhances network performance and system efficiency simultaneously under widely diverse traffic load intensities.

I. 서론

다양한 형태의 멀티미디어 데이터는 서로 다른 대역폭과 QoS(Quality of Service)를 요구하며, 요구한 QoS에 민감한 특성을 가지고 있다. 일반적으로, 멀티미디어 데이터는 요구되는 QoS에 따라 class I(실시간) 데이터와 class II(비실시간) 데이터로 구분된다. 이와 같은 구분은 QoS 제어를 위한 우선순위로 사용되는데, 서비스의 지연 허용성을 고려해서 비실시간(class II) 트래픽 데이터 보다는 실시간(class I) 데이터 트래픽에 더 높은 우선순위를

부여한다^[1-4].

본 논문에서 제안한 혼잡제어 방식은 사용자들의 요구를 현재 사용 가능한 네트워크의 대역폭에 맞춰 조절하는 것이다. 일반적으로, 사용자들은 다른 사용자에게 대한 배려 없이 이기적이고 독립적으로 행동하지만 그들은 서비스 가격에 민감하게 반응하는 경향이 있다. 따라서, 최근 들어 동적인 대역폭 가격조절 기법이 새로운 트래픽 혼잡 제어를 위한 방법으로 고려되고 있다^{[5], [6]}.

본 논문에서 제안된 적응적 온라인 가격결정 방법은 기존에 제안된 QoS 관리 기법과 결합하여 적

* 서강대학교 공학부 컴퓨터학과 조교수 (swkim01@sogang.ac.kr)

** 서강대학교 공학부 컴퓨터학과 교수 (ksc@mail.sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-03-139, 접수일자 : 2006년 3월 13일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 24일

절한 대역폭 가격을 설정하고, 이를 통해 사용자의 서비스 요구를 조절하여 네트워크 혼잡상태를 효율적으로 제어하며 동시에 네트워크 서비스 제공자의 이익을 최대화한다. 이와 같은 방법은 다양한 트래픽 상황에서 네트워크의 전체 성능을 개선할 뿐만 아니라 경제적인 효율성도 증가시킨다.

시뮬레이션에 의한 성능분석을 통해, 본 논문에서 제안된 온라인 관리방법이 전체 네트워크 시스템의 성능을 향상시키고, 네트워크 혼잡 문제를 완화하며, 동시에 높은 경제적 효율성을 제공하는 것을 확인 할 수 있었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 온라인 가격결정 방법에 대하여 자세히 기술하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통하여 제시된 기법의 우수성을 검증하며, 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 논의한다.

II. 적응적 온라인 가격결정 기법

이 장에서는, 본 논문에서 제안된 적응적 온라인 가격결정 방법을 상세히 기술한다. 먼저, 대역폭 요청 추정기법에 대해 설명한 후, 사용자의 요구와 네트워크의 가용 대역폭 량에 따른 적응적 가격 결정 방법을 제안한다. 마지막으로 서로 다른 멀티미디어 데이터를 위한 해당 서비스 가격을 산출하는 방법에 대해 설명한다.

미래의 네트워크 서비스 요구에 대해 현 시점에서 정확히 예측하기는 불가능하다. 따라서 적절한 온라인 방법에 의해 대역폭 요구량(D_n)을 추정한다. 제안된 대역폭 요청 추정기법은 현재 네트워크 상황에 기반을 두어 D_n 의 량을 적응적으로 조절해 나간다.

이를 위해 본 논문에서는 트래픽 윈도우(W_{set_I})를 정의한다. 트래픽 윈도우는 서비스 요구 패턴을 알 수 있도록 네트워크상의 대역폭 요구 상황을 시간순으로 기록하여 유지한다. 윈도우의 크기 [$t_c - twin_I, t_c$]는 현재시간(t_c)과 트래픽을 위한 윈도우 길이 $twin_I$ 로 정의되는데, 본 논문에서는 시간을 단위시간($unit_time$)으로 나누고 트래픽 윈도우의 크기는 단위시간의 정수배로 설정된다. 윈도우의 길이는 온라인 관리기법에 의해 적응적으로 조절되는데, 만약, 현재 네트워크의 신규 서비스 실패률(Call Blocking Probability: CBP)이 미리 설정된 목표치(P_{target})보다 큰 경우 트래픽 윈도우의 크기는 단위시간의 크기만큼 증가한다. 그 반대의 경우에는 단위시간의 크기만큼 감소한다. 트래픽 윈도우를 이

용해서 네트워크 상황에 적응적으로 대역폭 요구의 평균량(D_n)을 식 (1)과 같이 산출한다.

$$D_n = \sum_{i \in W_{set_I}} (B_i \times N_i) / T_u \quad (1)$$

N_i 과 B_i 는 트래픽 서비스 타입 i 의 갯수와 이 서비스가 요구하는 대역폭 량이며, T_u 는 트래픽 윈도우의 길이이다.

이상적인 상황은 산출된 대역폭의 량이 다음 단위시간에 요구되는 서비스를 지원하기 위한 대역폭의 총 량과 일치하는 경우이다. 그러나 미래의 서비스 요청이나 트래픽의 변화를 정확히 예측하기 어려운 현실에서 이와같은 이상적인 값을 현재의 시간에서 정확히 예측하고 유지한다는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 산출된 대역폭의 량을 단위시간마다 주기적으로 조절하여 최적화된 값에 근접하도록 한다.

네트워크 가격결정 모델은 사용자와 공급자로 구성된다. 사용자는 자신이 요구하는 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있는 대역폭을 요구한다. 공급자는 제한된 대역폭을 사용자에게 적절히 할당해서 최대의 네트워크 수익을 얻으려 한다. 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 본 논문에서는, 대역폭은 기본 대역폭단위(Basic_Unit: BU)로 나누어져 할당되는데, 하나의 BU는 대역폭 할당의 최소 단위이다. 만약 네트워크의 트래픽 부하가 적고 모든 사용자들이 납득할만한 QoS를 얻고 있다면, 각 BU는 고정가격(B_m)으로 제공된다. 그러나 네트워크 혼잡이 발생하여 요청되는 대역폭 량(D)이 공급 가능한 가용 대역폭의 량(S)보다 크게 되면 제안된 방식은 각 사용자들에게 추가적인 대역폭 사용 요금을 부과하게 된다. 사용자들은 가격에 민감하게 반응하기 때문에 대역폭 가격의 상승은 사용자들의 대역폭 요구량을 줄이도록 자극할 것이며 이를 통해 네트워크의 트래픽 혼잡을 감소시킬 수 있다. 네트워크 혼잡 상황이 종료되면 추가 요금부과도 중단된다. 따라서 추가 요금은 수요와 공급이 균형을 이룰 때까지 상승과 하락을 반복하는 상호작용을 통하여 대역폭 요구와 공급이 적절한 균형을 이루고 네트워크가 안정된 상태를 유지하도록 한다.

제안된 모델에서 가격조절 과정은 이산적으로 설정되는 조정구간(Adjustment_Period : A_P)에서 실행된다. 현재시간(t_c)에 네트워크의 D 가 S 보다 크거나 혹은 현재 대역폭 사용률이 미리 지정된 대역폭 사용률(U_{target})보다 적으면 A_P 는 시작된다. k 번째

조정구간인 A_Pk 에서 산출되는 BU의 실제 가격 ($Pk(BU)$)은 식 (2)과 같이 계산된다.

$$Pk(BU) = \max \{ Bm, [Pk-1(BU) + Fp(Be_k, Sk)] \} \quad (2)$$

Bm 은 하나의 BU에 대한 최소요금이며, 대역폭 가격은 Bm 이하로 하락하지 않는다고 가정한다. Be_k 은 A_Pk 동안에 예상되는 대역폭 수요량, Sk 는 가용 대역폭의 량을 의미하며, Fp 은 가격변동을 산출하는 함수로, D 와 S 의 차이에 비례하여 아래의 식 (3)와 같이 정의된다.

$$Fp(Be_k, Sk) = (\delta \times (Be_k - Sk) / Sk) \quad (3)$$

δ 는 네트워크 균형상태를 이루게 하기 위한 매개변수로 D (또는 S)가 급속히 증가하게 되면, δ 의 값을 적절히 조절함으로써 네트워크를 균형상태를 보다 빨리 이룰 수 있도록 한다. 고정된 δ 값은 네트워크 혼잡제어에 효율적이지 못하므로 시스템의 매개변수와 같이 현재 네트워크 상황을 고려해 적응적 온라인 기법으로 δ 값을 제어한다. A_Pk 기간 동안의 트래픽 경향이 이전단계인 A_Pk-1 와 동일한 경향을 나타내면 즉, 계속적으로 D 가 S 보다 크거나 또는 현재 대역폭 사용률이 $Utarget$ 보다 낮다면, δ 는 대역폭의 수요와 공급량에 따라 적응적으로 조절된다.

이미 발표한 논문들 [1-4]에서는 다양한 멀티미디어 서비스 중에서 우선순위가 높은 class I 트래픽 서비스를 위한 대역폭 예약기법을 소개하였다. 멀티미디어 네트워크에서 서로 다른 QoS요청에 기반한 대역폭 예약량의 존재여부는 서비스의 차별적인 가격부과를 위해 고려해야 하는 또 다른 중요한 사항이다. 멀티미디어 서비스 Ri 를 위한 가격은 요구된 대역폭의 량(BU의 수), 구매 시간의 대역폭의 가격, 그리고 서비스 우선순위 및 대역폭 예약량의 존재 여부 등에 의해 식 (4)과 같이 정의한다.

$$\text{Cost of } Ri = \begin{cases} [Volume(V) \times P(BU)] \times (Res)^{\gamma} & \text{if } Ri \in \text{class I service} \\ [Volume(V) \times P(BU)] & \text{if } Ri \in \text{class II service} \end{cases} \quad (4)$$

$Volume(V)$ 과 Res 은 서비스 Ri 가 요청한 BU갯수 및 대역폭 예약량이며, $P(BU)$ 은 BU의 현재 가격이다. $(Res)^{\gamma}$ 은 'priority factor'로 우선순위가 높은 서비스에 부과되는 추가적인 비용을 의미한다. 매개

변수 γ ($0 \leq \gamma \leq 1$)은 현재 네트워크의 신규 서비스 실패율(CBP)로 정의된다. 따라서, 네트워크 트래픽 부하가 적어 모든 사용자가 요구한 서비스를 받을 수 있을 때 γ 은 0이다. 이런 경우는 우선순위가 높은 서비스에 부과되는 추가요금($(Res)^{\gamma}=1$)은 없다. 네트워크 트래픽 부하가 증가되어, 새로운 서비스 요청이 거부되기 시작하면 γ 값 역시 증가하여 예약된 대역폭의 량에 따라서 class I 서비스에 대한 추가요금($(Res)^{\gamma}$)이 부과된다.

III. 성능 평가

이 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 온라인 가격결정 기법과 기존에 제시한 고정가격 기법의 성능을 비교, 분석하였다. 멀티미디어 데이터 타입과 어플리케이션 종류, 그리고 시스템 파라미터 값들은 공정한 성능의 비교, 분석을 위해 실제 네트워크 환경과 유사하게 제안된 시뮬레이션 모델 [1-4]과 동일하게 설정하였다.

네트워크의 성능평가를 위한 메트릭에는 최초로 시스템에 진입하고자 하는 서비스 요청이 실패할 확률인 신규 서비스 실패율(CBP), 셀룰러 네트워크 상에서 사용자가 다른 셀로 이동하고자 하는 요청이 실패할 확률인 핸드오프 서비스 실패율(CDP), 그리고 네트워크 수익(network revenue)등이 있다.

앞에서 언급했듯이 본 논문의 기본가정은 가격 변화에 대응하여 대역폭에 대한 수요가 적절히 변화한다는 것이다. 즉, 대역폭 요금의 증가는 사용자들의 서비스 요구를 감소시킨다는 것이다. 다양한 가격변동에 대한 사용자들의 신속적인 반응은 다음과 같이 3가지 형태의 서로 다른 반응함수로 표현될 수 있다⁶⁾.

$$F1(x) = e^{-x^2}, F2(x) = \frac{e^{-x}}{1+x}, F3(x) = \frac{1}{1+x^2} \quad (5)$$

그림 1과 그림 2는 셀룰러 네트워크상에서의 신규 서비스 실패율(CBP)과 핸드오프 서비스 실패율(CDP)을 나타낸다. 전체 네트워크의 트래픽 부하가 적을 때는, 모든 방법이 거의 동일한 성능을 나타낸다. 왜냐하면 각 셀에 충분한 가용 대역폭 존재하기 때문에 사용자들의 서비스 요구를 모두 수용할 수 있기 때문이다. 그러나, 서비스 요청비율의 값이 점점 증가할수록 가용 대역폭의 량이 점점 줄어들게 되어 서비스 요청이 실패하는 비율이 증가하게 되므로 CBP와 CDP가 증가하게 된다. 그러나, 제안된

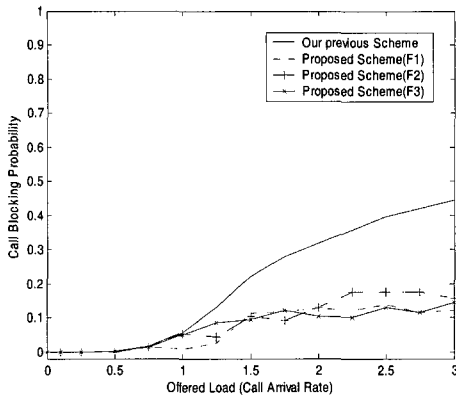


그림 1. 신규 서비스 실패율(CBP)

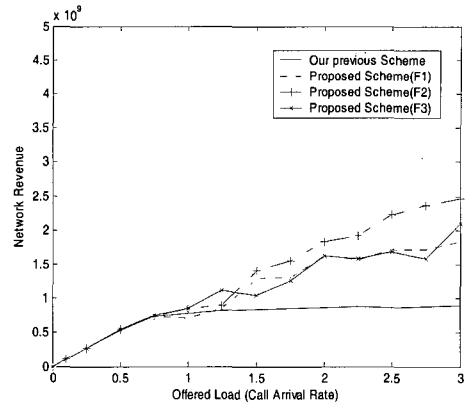


그림 3. 네트워크 수익률

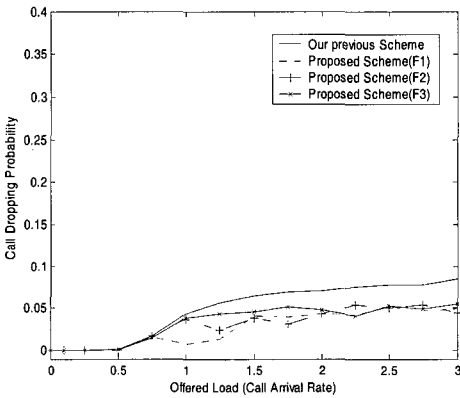


그림 2. 핸드오프 서비스 실패율(CDP)

트래픽 상황에서, 제안된 온라인 기법은 적응적으로 대역폭의 가격을 결정하여 고정 가격 기법에 비해, 최적화된 네트워크 성능에 접근하도록 하며, 동시에 상호 상충하는 여러 성능 메트릭들 사이에 적절한 성능균형을 제공한다. 향후 연구 과제로는, 효율적으로 시스템을 운영하기 위해 프로세서간 통신, 시스템 자원관리, 실시간 통신 및 파워 컨트롤 등 다른 여러 분야에도 본 논문에서 제안한 실시간 온라인 기법을 적용하는 방법에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

적응적 온라인 가격결정 방법에서는 대역폭 가격 조정에 의해 대역폭에 대한 수요를 적절히 조절하여 기존의 제안된 고정가격 방법에 비해 CBP와 CDP가 감소되는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3은 네트워크 수익의 변화를 나타낸다. 마찬가지로 트래픽 부하가 적을 때는, 모든 방법의 네트워크 수익이 동일함을 알 수 있다. 그런데 네트워크가 과부하 상태로 변화면, 적응적 가격 정책 방법의 네트워크 수익이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다양한 멀티미디어 네트워크를 위한 적응적 온라인 가격 관리 기법을 제시하였다. 이 방식은 네트워크의 높은 경제적으로 효율성을 유지하며 동시에 트래픽 혼잡이 발생했을 때, 이를 적절히 완화시킬 수 있도록 설계되었다. 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교, 분석해본 결과, 다양한 네트워크

- [1] Sungwook Kim and Pramod K. Varshney, "An Integrated Adaptive Bandwidth Management Framework for QoS Sensitive Multimedia Cellular Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. , May, 2004.
- [2] Sungwook Kim and Pramod K. Varshney, "An Adaptive Bandwidth Reservation Algorithm for QoS Sensitive Multimedia Cellular Network", *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1475-1479, September, 2002.
- [3] Sungwook Kim and Pramod K. Varshney, "Adaptive Load Balancing with Preemption for Multimedia Cellular Networks", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, March, 2003.
- [4] Sungwook Kim, "Adaptive On-line Bandwidth Management for QoS sensitive Multimedia Networks," Ph.D dissertation, Syracuse University, Syracuse, NY, U.S., 2003.

- [5] L. Badia, M. Lindstrom, J. Zander, M. Zorzi, "Demand and Pricing Effects on the Radio Resource Allocation of Multimedia Communication System," *Proc. IEEE GLOBECOM'03*, San Francisco, Dec. 2003.
- [6] P.C. Fishburn and A.M. Odlyzko, "Dynamic behavior of differential pricing and quality of service options for the Internet," *Proceedings of the ACM First International Conference on Information and Computation Economics*, New York, pp.128-139, 1998.

김 성 천 (Sungchun Kim)

종신회원



1975년 서울대학교 공과대학
공학사

1979년 Wayne State University,
M.S.

1982년 Wayne State University,
Ph.D.

1985년~현재 서강대학교

공학부 컴퓨터학과 교수

<관심분야> 다중 프로세서 내부연결망, 라우팅기법,
병렬 컴퓨터 구조, 프로세서 오류처리, 네트워크 분
산 구조

김 승 욱 (Sungwook Kim)

종신회원



1993년 2월 서강대학교 전자 계
산학과과 학사

1995년 2월 서강대학교 전자 계
산학과과 석사

2004년 Syracuse University,
Computer science 박사 /
Post-Doc.

2006년~현재 서강대학교 공학부 컴퓨터학과 조교수

<관심분야> QoS, 실시간 제어처리, 셀룰러 네트워크
자원관리.