

멀티미디어 서비스의 품질 보장을 위한 오버레이 네트워크 관리 기법에 대한 연구

김 승 욱[†] · 김 성 천^{††}

요 약

다양한 형태의 멀티미디어 서비스들은 서로 다른 QoS를 요구한다. 따라서, 서로 다른 멀티미디어 서비스를 효율적으로 지원하면서 동시에 우선순위가 높은 서비스의 QoS를 보장할 수 있는 효율적인 셀룰러/무선랜 오버레이 네트워크 관리기법에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 효율적인 대역폭의 예약과 할당, 그리고 혼잡제어를 위한 통신 프로토콜을 통한 적응적 네트워크 관리기법을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 대역폭 관리를 위해 제안된 기존의 다 기법들과의 비교, 분석을 수행하여 제안된 방법이 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

키워드 : 멀티미디어 오버레이 네트워크, 온라인 결정, 적응적 네트워크 관리, QoS

Adaptive Overlay Network Management Algorithms for QoS sensitive Multimedia Services

Sungwook Kim[†] · Sungchun Kim^{††}

ABSTRACT

New multimedia services over the cellular/WLAN overlay networks require different Quality of Service (QoS). Therefore, efficient network management system is necessary in order to provide QoS sensitive multimedia services while enhancing network performance. In this paper, we propose a new online network management scheme that implements bandwidth reservation, congestion and transmission control strategies. Our online approach to network management exhibits dynamic adaptability, flexibility, and responsiveness to the current traffic conditions in multimedia overlay networks. Simulation results indicate the superior performance of our proposed scheme to strike the appropriate performance balance between contradictory QoS requirements under widely varying diverse traffic loads.

Key Words : Multimedia overlay networks, On-line decisions, Adaptive network management, Buffer management, Quality of Service.

1. 서 론

최근 무선통신 기술의 진보를 기반으로 사용자가 자유롭게 이동하면서 정보를 처리하는 무선통신에 대한 관심도가 증가하면서 기존의 유선 네트워크에서 제공하던 다양한 멀티미디어 서비스 지원을 무선 네트워크로 확장시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 존재하는 무선 네트워크는 크게 셀룰러 네트워크와 무선랜 (WLAN)으로 나눌 수 있다. 셀룰러 네트워크는 상대적으로 적은 대역폭을 사용하며 빠른 이동성을 가지는 사용자를 지원하는데 유리하며 무

선랜은 반대로 느린 이동성을 가지며 많은 대역폭을 필요로 하는 사용자를 지원하는데 적합하다. 이와 같은 요구를 모두 만족시키기 위해서 최근에는 셀룰러 네트워크와 무선랜을 통합한 오버레이 네트워크 (overlay network)가 제안되었다[1-4].

멀티미디어 데이터는 일반적으로 class I (실시간) 데이터와 class II (비실시간) 데이터로 구분된다. 따라서, 무선 네트워크 환경에서 서로 다른 멀티미디어 서비스의 QoS 요구를 효율적으로 제어하기 위해, 사용자의 이동성을 지원하는 방법에 대한 연구의 중요성이 더욱 강조되고 있다[5-6]. 멀티미디어 오버레이 네트워크의 관리를 위한 제어결정들은 미래에 대한 정확한 정보가 없는 상태에서 실시간으로 내려져야 한다. 온라인 알고리즘 (online algorithm) 방식은 제어

[†] 종신회원 : 서강대학교 공과대학 컴퓨터학과 조교수

^{††} 정회원 : 서강대학교 공과대학 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2006년 7월 26일, 심사완료 : 2006년 11월 16일

결정시 현재 확보된 정보만을 기준으로 실시간으로 결정을 내리는 문제해결 방식이다[7]. 이런 방식은 최적화된 결과를 얻을 수 없지만 실시간 제어처리가 가능하고 계산에 필요한 데이터 확보가 쉽다는 장점이 있다. 따라서 무선 네트워크에서 QoS에 민감한 멀티미디어 서비스를 위해서 실시간으로 관리하는 방법으로는 온라인 알고리즘 기법이 적절하다.

본 논문에서는 오버레이 네트워크에서 우선순위가 높은 멀티미디어 데이터 서비스의 QoS를 보장해 주기 위한 QoS 제어 알고리즘을 제안하였다. Class I 데이터 서비스의 핸드오프 강제 종료율을 줄이기 위하여 제시한 온라인 대역폭 예약 기법은 각 네트워크의 트래픽 특성에 맞게 적응적으로 대역폭을 조절하며 우선순위가 높은 서비스의 QoS를 보장한다. 또한, Class II 데이터 서비스의 혼잡제어를 위해 제안된 온라인 버퍼관리기법은 전역 동기화(global synchronization) 문제를 효율적으로 해결하기 위해 트래픽 혼잡상태를 조기에 발견하여 송신자에게 통보하여 는 네트워크의 효율성을 높이는 방식이다.

이와 함께, 본 논문에서는 유선 네트워크의 특성에 맞게 제안된 통신 프로토콜인 TCP (Transmission Control Protocol) 방식을 무선 서비스에 적합하게 수정한 새로운 통신 프로토콜인 OTCP (Online TCP) 방식을 제안하였다. OTCP 방식은 무선 네트워크 서비스를 기반으로 설계되었기 때문에 기존의 TCP방식이 무선 환경에서는 효율적으로 작동하지 않는다는 단점을 보완한 방법으로 본 논문에서 제안된 QoS 제어 알고리즘과 유기적으로 결합된 형태로 작동한다.

이 논문에서 제안된 방식들의 가장 큰 특징은 제안된 각 알고리즘들이 상호 유기적으로 결합된 구성되어 있고, 실시간 온라인 기법을 바탕으로 적절하게 네트워크 성능이 균형을 이루도록 설계되었다는 점이다. 네트워크의 성능을 평가하는 각 메트릭들은 상호 상충(trade off) 적인 특징이 있으므로 각 성능 메트릭간에 균형을 통해 안정적인 네트워크를 운용하는 것은 매우 중요한 사항이다.

기존에 제안된 오버레이 네트워크 관리방법으로는 RMI[3] 방식과 ALBCA[4] 방식이 있다. 시뮬레이션을 통해 네트워크 관리를 위해 기존에 존재하던 타 방법들과 성능을 비교, 분석하였고, 본 논문에서 제안된 방법이 요구되는 QoS와 전체 네트워크의 성능을 향상시키는 것을 확인 할 수 있었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 네트워크 관리기법에 대하여 자세히 살펴보고, 이를 통한 QoS 보장 기법을 기술한다. 3장에서는 시뮬레이션을 통하여 제시된 기법의 우수성을 검증하며, 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 논의한다.

2. 제안된 QoS 제어 알고리즘

2.1 대역폭 예약기법

본 논문에서는 현재의 네트워크 트래픽 상황을 고려해서 적응적으로 예약될 대역폭을 조절할 수 있도록 설계된 온라

인 대역폭 예약 알고리즘을 제안하였다. 주어진 시간에 현재 네트워크의 트래픽 상황을 고려하여 최적화된 대역폭 예약량을 유지하기 위해 트래픽 윈도우 ($W_{class, I}$)를 정의한다. 트래픽 윈도우는 각 네트워크에서 핸드오프가 일어나는 상황을 시간순으로 기록하여 유지한다. 본 논문에서는 시간을 단위시간 ($unit_time$)으로 나누고 트래픽 윈도우의 크기는 단위시간의 정수배로 설정하는데, 현재 각 네트워크의 핸드오프 실패률 (Call Dropping Probability: CDP)에 기초하여 조절한다. 따라서, 트래픽 윈도우의 크기 $[t_c - t_{win, I}, t_c]$ 는 현재 시간 (t_c)과 class I 트래픽을 위한 윈도우 길이 $t_{win, I}$ 로 정의되는데, 현재 네트워크의 CDP가 미리 설정된 목표치 $P_{target, I}$ 보다 큰 경우 트래픽 윈도우의 크기는 단위시간의 크기만큼 증가한다. 그 반대의 경우에는 단위시간의 크기만큼 감소한다. 이 트래픽 윈도우를 이용하여 대역폭의 예약 기대값 (RES_B)을 산출한다. 이 값은 트래픽 윈도우의 범위 동안 핸드오프 서비스의 발생비율에 의해 결정되며 그 값은 다음과 같이 식 (1)으로 구할 수 있다.

$$Res_B = \sum_{i \in W_{class, I}} (B_i \times N_i) \quad (1)$$

N_j, B_j (N_k, B_k)는 요청된 class I (class II) 데이터 핸드오프 서비스의 갯수와 각 서비스에서 요청한 대역폭을 의미한다. 따라서, 대역폭 예약이후 네트워크 상황이 변화하게 되어도 적응적으로 트래픽 윈도우의 크기를 조절하여 대역폭의 량을 조절해 나간다.

2.2 온라인 버퍼관리 기법

실시간 (class I) 데이터 서비스에 비해 비실시간 (class II) 데이터 서비스는 시간 제약성에 대해 탄력적이기 때문에 대역폭 예약을 통한 QoS 보장기법 보다는 혼잡제어 (congestion control) 기법이 적절하다[8,9]. 본 논문에서 제안된 QoS 제어 알고리즘은 class I 서비스와 class II 서비스를 분리하여 관리하는데, 우선 순위가 높은 class I 서비스는 대역폭 예약을 통해 QoS 를 관리하고 class II 서비스는 최선형 (better effort) 서비스 기법으로 관리한다.

네트워크 혼잡제어 문제를 효율적으로 극복하기 위해 본 논문에서는 큐 관리 메커니즘을 제안한다. 이 기법은 네트워크의 전역 동기화 문제가 발생하지 하도록 큐의 길이가 일정 수준을 유지하도록 설계되었다. 따라서 트래픽 과부하 상태에서는 네트워크 라우터에 입력되는 데이터 패킷들을 확률적으로 랜덤하게 탈락 (drop) 시킨다. 이와 같은 혼잡제어를 위한 패킷 손실과 함께, 네트워크간 핸드오프가 발생하는 상황에서도 패킷 손실이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제를 효율적으로 극복하기 위해서 본 논문에서는 온라인 버퍼관리 (Online Buffer Management : OBM) 메커니즘을 제안하였다.

효율적인 버퍼관리를 위해, OBM 메커니즘은 두 개의 파라미터 - 큐길이 (Q_r)와 패킷 탈락확률 (M_p) - 를 설정하고 이 값을 온라인 기법으로 조절한다. Q_r 는 패킷 버퍼링을 위한 임계치이고, M_p 는 큐의 길이가 갑자기 증가하는 것을 방지하기 위해 입력되는 class II 데이터 패킷을 랜덤하게 탈락시키는 확률로 사용한다. 효율적인 대역폭의 할당을 위해 데이터 패킷이 Q_r 에 이르기까지 버퍼링을 허용한다. 본 논문에서는 Q_r 는 Res_B 와 동일하게 설정되기 때문에 현재 네트워크 상황에 따라 매 단위시간마다 적응적으로 Q_r 값을 결정하게 된다. 제안된 OBM 메커니즘은 Q_r 값의 설정과 함께 M_p 값도 적응적으로 조절한다. 미래의 트래픽 상황을 정확히 예측하기는 사실상 불가능하므로 최적화된 M_p 값을 설정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 M_p 결정문제를 온라인 문제로 취급하여 이 값의 적절한 설정을 위해 세개의 시스템 파라미터 - 최대 큐길이 (ML), 현재 큐길이 (L), 그리고 Q_r - 를 사용하여 M_p 값을 식 (2) 처럼 구한다.

$$M_p = \frac{L - Q_r}{ML - Q_r} \quad (2)$$

매 단위시간마다 M_p 의 값은 현재 큐의 상태를 고려해서 적절하게 조절한다. 만약 L의 값이 최대 버퍼 사이즈 (T)보다 크다면 현재 버퍼가 유입되는 패킷을 더 이상 수용할 수 없는 상황을 나타낸다. 따라서, 모든 입력되는 모든 class II 데이터 패킷들은 탈락되어야 한다 ($M_p = 1$). 만약 L이 Q_r 값보다 작다면 ($0 < L < Q_r$), 네트워크 상황은 트래픽 혼잡상황이 아니라고 판단되어 유입되는 패킷들은 탈락되지 않는다 ($M_p = 0$). 만약 L이 Q_r 보다 크지만 최대 버퍼 사이즈 (T)보다 작다면 ($Q_r < L < T$), 우리는 M_p 값을 식 (2)에서 정의한 대로 설정하여 이 확률값에 의해 패킷을 임의적으로 탈락시킨다.

2.3 온라인 통신 프로토콜 (Online Transmission Control Protocol)

인터넷 통신 프로토콜(TCP)은 현재 널리 사용되는 통신 규약이지만 이 방식은 유선 네트워크를 위해 설계되었기 때문에 무선통신 환경에서는 적절하지 않은 경우가 많이 발생한다[10].

본 논문에서는 핸드오프에 의한 잠정적인 단절 문제를 해결하도록 온라인 통신 프로토콜 (OTCP)을 제안한다. 재전송 타임아웃 (Retransmission TimeOut: RTO)과 라운드 트립 타임 (Round Trip Time: RTT)은 네트워크의 연결상황을 결정하는 중요한 제어 파라미터들이다[11]. 따라서, RTO와 RTT 값의 적절한 결정은 오버레이 네트워크에서 OTCP 기법이 패킷을 효율적으로 전달하는데 큰 영향을 미친다. RTO 값은 RTT의 샘플링 값에 기초하여 예측되는데,

패킷이 네트워크 연결을 통해 전송되어질 때, 송신자는 이 패킷들이 응답 (acknowledge) 되는 순서대로 라운드 로빈 샘플링 시퀀스 ($r_{S_n} : r_{S1}, r_{S2}, r_{S3}, \dots, r_{S_n}$)를 생성한다[11]. 이 시퀀스를 바탕으로 OTCP 기법은 RTT 값을 식 (3) 처럼 가중평균을 구한다.

$$RTT_{n+1} = \alpha \times RTT_n + (1 - \alpha) \times r_{S_n} \quad (3)$$

RTT_n 은 현재 측정된 RTT 값이며 RTT_{n+1} 은 적응적으로 예측된 다음 단위시간의 RTT이다. 파라미터 α 는 현재와 과거의 RTT 상황에 대한 가중평균 계수이다. 현재 네트워크의 RTT_n 값을 가지고 RTO_n 값을 식 (4)을 이용해 구한다.

$$RTO_n = \beta \times RTT_n \quad (4)$$

β 값은 네트워크 처리율(network throughput)과 대역폭 효율성 (bandwidth efficiency) 사이에 적절한 균형을 이룰 수 있도록 결정해야 한다.

다양한 트래픽 환경하에서, 고정된 α 와 β 값은 네트워크의 동적인 변화에 적절하게 대응할 수 없다. 본 논문에서 제안된 방법에서는 매 단위시간별로 α 와 β 값을 온라인 기법에 기초하여ダイナミク하게 조절하여 현재 네트워크의 상황에 적응적으로 대응하도록 설계하였다. 본 논문에서 α 값을 결정하는 방법은 앞장에서 설명한 트래픽 윈도우의 크기를 결정하는 방식과 동일하게 설계되었다. 만약 현재 네트워크의 RTT가 미리 설정된 목표치 (RTT_p)보다 크다면 (작다면), 이것은 현재 네트워크의 전송지연이 예상치보다 크(작은) 경우이므로 α 의 값은 감소(증가)되어야 한다. β 값도 α 의 값을 결정하는 방식과 동일하게 설계되었다. 만약 현재의 재전송률 (retransmission ratio: R_c)이 미리 설정된 목표치 (R_p)보다 큰 경우에는 현재 송신기에서 타임아웃이 너무 빨리 발생하여 필요 이상으로 많은 패킷들이 비효율적으로 재전송되어지는 상황이기 때문에 이러한 경우에는 β 값이 증가되어야 한다. 만약, R_c 이 R_p 보다 작은 경우에는 β 값이 감소되어야 한다. 이처럼 OTCP 방법에서는 현재 네트워크 상황을 적절히 고려해서 α 와 β 값을 적응적으로 결정하도록 설계 되었다.

3. 성능 평가

이 장에서는 본 논문에서 제안한 온라인 대역폭 관리 방법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존에 존재하는 타 기법들과 비교, 분석하였다. 시뮬레이션 모델을 위해 가정한 멀티미디어 오버레이 네트워크의 시스템 환경은 다음과 같다.

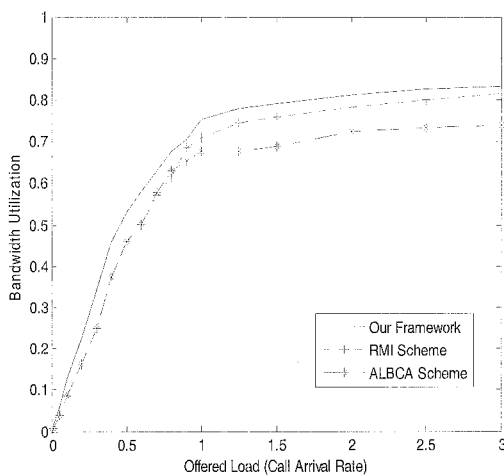
- 셀룰러 네트워크는 7개의 매크로 셀로 구성되며 각 셀에는 5 또는 6개의 무선랜이 존재한다.
- 네트워크 성능은 각 네트워크에 초당 발생하는 신규 서비스 요청 비율 ($\lambda = \text{calls/s/cell}$)을 기준으로 하여 평가되며 이러한 가정을 기준으로 단위시간 (*unit_time*)은 1초 (one second)로 설정한다.
- 서비스 요청 비율 (λ)은 포아송 분포를 따르며 이 요청 비율은 모든 네트워크에서 균등하다. 제안된 λ 는 0 에서 3의 범위 ($0 \leq \lambda \leq 3.0$)에 있다고 가정한다.
- 셀룰러 네트워크의 셀의 반경은 1Km이며 각 네트워크는 30Mbps의 대역폭을 가지고 있다.
- 사용자의 이동속도는 3가지 경우 - 빠른 이동 (120km/h), 느린 이동 (40km/h), 정지상태 (0km/h) - 중 랜덤하게 설정되며 이동방향은 동일한 확률분포로 선택된다.
- 다양한 형태의 멀티미디어 데이터들은 요구되는 QoS와 대역폭 그리고 접속시간 등에 따라 총 8개의 서로 다른

애플리케이션들로 가정되며 각각은 동일한 비율로 생성된다.

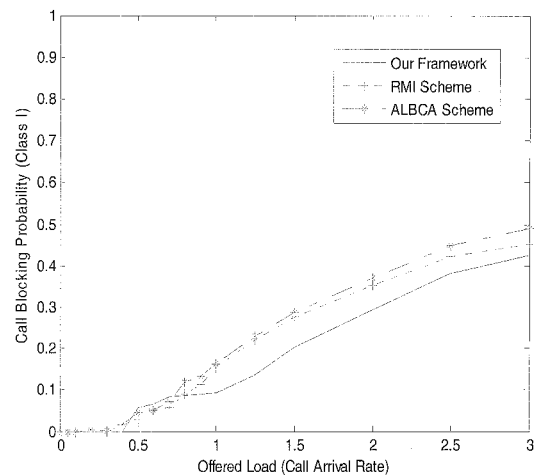
- 각 서비스의 접속시간은 각 애플리케이션마다 서로 다른 평균값의 지수분포를 따른다.

네트워크 성능평가를 위한 매트릭에는 최초로 시스템에 진입하고자 하는 서비스 요청이 실패할 확률인 신규 서비스 실패율 (Call Blocking Probability : CBP), 사용자가 다른 셀로 이동하고자 하는 요청이 실패할 확률인 핸드오프 서비스 실패율 (Call Dropping Probability : CDP), 시스템 전체의 대역폭 사용률(Bandwidth utilization) 그리고 네트워크 처리율 (Network throughput)등이 있다.

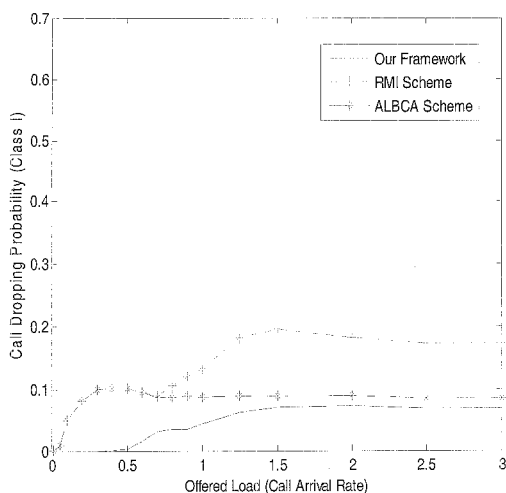
<그림 1> 에서 <그림 4>까지는 네트워크에서 신규 서비스 요청비율(λ)이 0에서 3까지 변할 때 각 성능 매트릭에 대해 여러 대역폭 관리 기법들의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. <그림 1>은 시스템의 대역폭 사용률을 나타낸다.



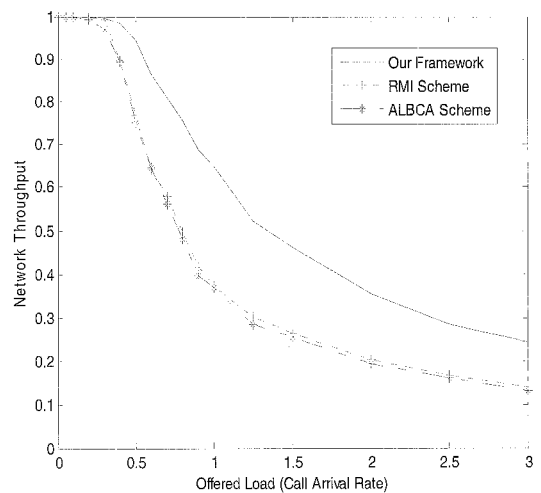
(Fig. 1) Bandwidth utilization



(Fig. 2) Call Blocking Probability (class 1)



(Fig. 3) Call Dropping Probability (class 1)



(Fig. 4) Network throughput

네트워크상 트래픽 부하가 적을 때는 ($\lambda \leq 0.5$), 모든 방법이 거의 동일한 성능을 나타낸다. 그러나 λ 의 값이 점점 증가할수록 본 논문에서 제안된 방법이 기존에 존재하던 다른 방식들에 비해 높은 대역폭 사용률을 가진다. <그림 2>와 <그림 3>은 class I 데이터 서비스의 신규 서비스 실패율 (CBP)과 핸드오프 서비스 실패율 (CDP)을 나타낸다. 시스템의 대역폭 사용률과 마찬가지로 트래픽 부하가 적을 때는 ($\lambda \leq 0.5$), 모든 방법이 차이가 없이 거의 동일한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 각 셀에 충분한 가용 대역폭 존재하기 때문에 사용자의 서비스 요구를 모두 수용할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나, λ 의 값이 점점 증가할수록 가용 대역폭이 점점 줄어들게 되어 신규 서비스 요청이 실패하는 비율이 증가하게 되므로 CBP가 증가하게 된다. 그러나 대역폭 예약기법에 의해 CDP는 일정 구간부터 안정화되는 것을 알 수 있다. <그림 4>는 네트워크 처리율 (throughput) 을 나타낸다. 지금까지 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 제안된 온라인 네트워크 관리기법이 다이나믹한 멀티미디어 오버레이 네트워크 상황에 적응적으로 대응하여, 다양한 트래픽 분포에서 효율적으로 네트워크를 관리하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

최근, 이동 네트워크 환경에서 멀티미디어 데이터를 지원하는 프로토콜 및 효율적인 QoS 제어 알고리즘을 개발하는 것이 필수적으로 요구되고 있다. 본 논문에서는 멀티미디어 오버레이 네트워크 환경에서 서로 다른 QoS를 요구하는 다양한 형태의 멀티미디어 데이터를 지원하는 온라인 기법의 네트워크 관리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법들은 실시간 제어를 기반으로 처리되도록 설계되었기 때문에 시스템 오버헤드를 크게 줄일 수 있고, 실제 네트워크 상황에 적용하기가 용이하다. 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교, 분석해본 결과, 다양한 네트워크 트래픽 상황에서, 제안된 방법이 타 기법에 비하여 여러 성능 메트릭에서 좋은 결과를 가지는 것을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Mark Stemm, Randy H. Katz, "Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks," *ACM Mobile Networking (MONET)*, Vol.3, number 4, pp.335-350, 1998.
 [2] Hakini Badis, and Khaldoun Al Agha, "An Efficient Mobility Management in Wireless Overlay Networks," *PIMRC 2003*, Vol.3, pp.2500-2504, Sep., 2003.
 [3] Wei Song, Hai Jiang, Weihua Zhuang, and Xuemin Shen,

"Resource management for QoS support in cellular/WLAN interworking," *IEEE Network*, Vol.19, No.5, pp.12-18, 2005.
 [4] T. Dahlberg and J. Jung, "Survivable Load Sharing Protocols: A Simulation Study", *Wireless Networks* 7, No.3, pp.283-296, 2001.
 [5] Sungwook Kim and Pramod K. Varshney, "An Integrated Adaptive Bandwidth Management Framework for QoS sensitive Multimedia Cellular Networks," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, pp.835-846, May, 2004.
 [6] Sungwook Kim and Pramod K. Varshney, "An Adaptive Bandwidth Allocation Algorithm for QoS guaranteed Multimedia Networks," *Computer Communications* 28, pp.1959-1969, October, 2005.
 [7] Yossi Azar, *Online Algorithms The State of the Art*, Springer, 1998.
 [8] W. Feng, D. Kandlur, D. Saha, K. Shin, "Blue: An Alternative Approach To Active Queue Management," *Proc. of NOSSDAV 2001*, pp.41-50, June, 2001
 [9] James Aweya, Michel Ouellette, Delfin Y. Montuno, Alan Chapman, "Enhancing TCP performance with a load adaptive RED mechanism," *International Journal of Network Management*, Volume 11, Issue: 1 pp.31-50, 2001
 [10] Gustavo M. T. Da Costa, Harsha Sirisena, "Freeze TCP with timestamps for fast packet loss recovery after disconnections," *Computer Communications* 26(15), pp.1792-1799, 2003.
 [11] P. Karn and C. Partridge, "Improving Round Trip Time Estimates in Reliable Transport Protocols," *ACM Transactions on Computer Systems*, 9(4), pp.364-373, November, 1991.

김 승 욱



e-mail : swkim01@sogang.ac.kr

1993년 서강대학교 전자 계산학과 학사

1995년 서강대학교 전자 계산학과 석사

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

2005년 중앙대학교 공과대학

컴퓨터공학부 전임강사

2006년~현재 서강대학교 공학부 컴퓨터학과 조교수

관심분야: 온라인 알고리즘, 멀티미디어 통신, QoS, 실시간 제어처리, 셀룰러 네트워크 자원관리.

김 성 천



e-mail : ksc@mail.sogang.ac.kr

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 분산 구조