

논문 2008-45CI-5-16

멀티클래스 서비스 환경에서 Active-WRED 기반의 혼잡 제어 메커니즘 및 성능 분석

(Performance Analysis of a Congestion cControl Mechanism Based on
Active-WRED Under Multi-classes Traffic)

김 현 중*, 김 종 찬*, 최 성 곤**

(Hyun Jong Kim, Jong Chan Kim, and Seong Gon Choi)

요 약

본 논문은 다양한 서비스 클래스가 제공되는 BcN (Broadband convergence Network) 환경에서 상위 우선순위 서비스의 품질을 보장하기 위한 능동 큐 관리 메커니즘 (Active-WRED)을 제안한다. 네트워크 혼잡 상황에서 제안된 메커니즘은 상대적으로 낮은 우선순위를 갖는 서비스의 drop 확률을 증가시키고 이에 따라 상위 우선순위 서비스의 drop 확률을 감소시킴으로써 상위 우선순위 서비스에 대해 패킷 손실로부터 품질을 보장할 수 있다. 제안된 능동 큐 관리 메커니즘의 성능을 분석하기 위해 이산 시간 큐잉 시스템의 통계적 분석 방법을 도입하였다. 두 서비스 클래스 (GS: Guaranteed Service, BS: Best Effort Service)만을 고려하여 제안 방안의 성능 분석을 위해 MMBP-2 (two-state Markov-Modulated Bernoulli arrival Process) 트래픽 소스 모델과 2차 이산시간 Markov 체인을 도입하였다.

Abstract

In this paper, we propose active queue management mechanism (Active-WRED) to guarantee quality of the high priority service class in multi-class traffic service environment. In congestion situation, this mechanism increases drop probability of low priority traffic and reduces the drop probability of the high priority traffic, therefore it can improve the quality of the high priority service. In order to analyze the performance of our mechanism, we introduce the stochastic analysis of a discrete-time queueing systems for the performance evaluation of the Active Queue Management (AQM) based congestion control mechanism called Weighted Random Early Detection (WRED) using a two-state Markov-Modulated Bernoulli arrival process (MMBP-2) as the traffic source. A two-dimensional discrete-time Markov chain is introduced to model the Active-WRED mechanism for two traffic classes (Guaranteed Service and Best Effort Service) where each dimension corresponds to a traffic class with its own parameters.

Keywords: QoS, 혼잡 제어, 품질 보장, 멀티클래스 서비스

I. 서 론

* 학생회원, 충북대학교 전파공학과
(Dept. of Radio Science & Engineering, Chungbuk
Nation University)

** 평생회원, 충북대학교 전기전자및컴퓨터공학부
(School of Electrical & Computer Engineering,
Chungbuk Nation University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대
학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(IITA-2008-(C1090-0801-0036))

접수일자: 2008년8월20일, 수정완료일: 2008년9월9일

인터넷의 급속한 발전과 함께 혼잡 제어 기술은 빠르
게 증가하는 다양한 유형의 서비스들을(VoIP, IPTV,
VoD 등) 수용하기 위해 현재의 네트워크에서 중요한
이슈가 되었다. BcN 통합망 환경에서 제공되는 서비스
들이 다양해짐에 따라, 각 서비스의 특성에 맞는 QoS
수준 역시 다양해졌다. 이에 따라 통합망 환경에서 제

공되는 다양한 서비스들의 QoS를 보장하기 위해 차별화된 패킷 처리 방안이 요구된다.^[9~10]

기존 최선형 서비스와 달리 멀티미디어 서비스(VoIP, IPTV 등)는 네트워크 성능(지연, 지터, 손실 등)에 민감하기 때문에 이를 보장하기 위한 다양한 AQM(Active Queue Management) 방안들이 연구되고 있으며, 네트워크 및 서비스 사업자들은 다양해진 서비스에 대해 차별화된 품질로 서비스를 제공함으로써 소비자들의 요구 수준을 만족시키려 노력하고 있다.^[1, 11]

기존 IP 네트워크에서 QoS 제공을 위한 기술로 IETF의 DiffServ가 대표적이며 이 DiffServ 구조는 인터넷 상에서 서비스의 중요도에 따라 서비스를 차별화하여 처리함으로써 종단 서비스 이용자에게 QoS를 제공할 수 있다. 하지만, 이용자의 액세스 네트워크에서의 패킷 분류만으로 QoS를 보장하기에는 한계가 있으며 이를 보완하기 위해 코어 망에서의 AQM(Active Queue Management) 방안이 연구되고 있다.^[10, 14]

서비스별 QoS를 보장하기 위한 AQM으로 DWRED(Dynamic WRED) 방안이 연구되었으나 이 방안은 각 클래스별 패킷의 drop 확률을 결정하기 위해 혼잡회피를 위한 윈도우의 크기를 이용하기 때문에 TCP 기반의 서비스만을 대상으로 한다는 한계가 있어 UDP를 사용하는 실시간 멀티미디어 서비스에는 적용할 수 없다.^[4] 이런 이유로 본 논문은 상위 우선순위 서비스 클래스의 품질 보장을 위해 Active-WRED라 불리는 AQM 방안을 제안한다. 이 방안은 코어 망의 접속 라우터에 구현될 수 있으며 서비스별 패킷 drop 확률을 현재 큐의 상태만을 고려하여 결정하기 때문에 TCP 및 UDP를 이용하는 모든 서비스를 대상으로 할 수 있다. 이 메커니즘은 네트워크 혼잡 상황에서 하위 우선순위 서비스 트래픽의 drop 확률을 증가시킴으로써 보다 중요한 서비스의 트래픽을 drop으로 부터 보호하게 된다. 이런 과정을 통해 상위 우선순위 서비스는 패킷 손실에 의한 품질저하로부터 QoS를 보장받을 수 있다.

제안 방안의 성능을 분석하기 위해 기존의 멀티미디어 서비스에 대한 AQM 성능 분석 모델을 참조하였다. 성능 분석의 간소화를 위해 두 종류의 서비스 클래스(GS: Guaranteed Service, BS: Best Effort Service)만을 고려하였으며 MMBP-2(two-state Markov Modulated Bernoulli arrival Process) 소스 모델을 도입하였다.^[3, 5~6]

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 다양

한 AQM 방안의 연구 동향을 살펴보고 III장에서는 제안된 방안(Active-WRED)의 동작 특성과 효과에 대해 설명하였다. IV장에서는 제안 방안의 성능을 분석하기 위한 MMBP-2 모델을 소개하며, V장은 제안 방안의 성능 분석 결과를 제시한다. 끝으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

이 장에서는 다양한 AQM 방안에 대한 연구 동향을 살펴보고 이 방안들의 성능 분석을 위해 도입된 성능 분석 모델에 대해 살펴본다.

1. 혼잡 회피 메커니즘

네트워크의 혼잡 회피를 위해 제안된 많은 메커니즘들은 RED(Random Early Detection) 메커니즘을 기반으로 하고 있다.^[12~15] 이들 방안의 차이점은 주로 파라미터 조절 방법에 있으며, 네트워크 상황에 따른 drop 확률의 적용을 위한 그들의 메커니즘에도 차이가 있다. 이 절에서는 이들 큐 관리 방안에 대해 간략히 설명할 것이며, 그 대표적인 메커니즘은 Drop-tail, RED^[11], DRED^[12~13], WRED^[17], DWRED^[4]가 있다.

Drop-tail에 대해 도착 패킷들은 큐에서 오버플로우가 발생할 경우 패킷 drop이 수행된다. Drop-tail은 혼잡이 발생한 링크에서 커다란 큐 길이 및 높은 패킷 drop 확률을 발생시킨다. 특히, 병목 링크에서 다량의 TCP 플로우들이 경쟁을 할 경우 Drop-tail은 글로벌 동기화(global synchronization) 현상을 유발시킨다. 하지만, Drop-tail은 그의 간단한 동작 특성으로 인해 가장 널리 사용되고 있는 방안 중 하나이다.

RED(Random Early Detection)은 Drop-tail의 단점을 개선한 큐 관리 방안으로 RED의 drop 확률은 큐 길이에 의해 결정된다. 도착 패킷은 큐가 가득 차기 전에 임의의 패킷에 대해 drop이 발생한다. 여기서, 링크 혼잡이 발생하기 전에 미리 혼잡 상황을 감지하고 회피하기 위해 큐 길이에 따라 패킷 drop 확률을 증가시킨다.^[11]

DRED(Dynamic Random Early Detection) 방안은 warning line라는 새롭게 도입된 파라미터를 사용하여 게이트웨이에서 증가된 패킷의 양에 대해 보다 빠른 조기 응답을 수행한다. 또한 패킷의 최대 drop 확률은 이전 RED 방안보다 향상된 성능을 보여준다. 이 방안은 RED 방안의 문제점이 되었던 글로벌 동기화 현상을 회

피할 수 있으며 실제 큐 크기 변화의 파동 현상을 현저히 감소시킬 수 있다.^[13]

Dynamic WRED는 기존 WRED의 AQM 메커니즘을 주로 이용한 방안으로 TCP 전송에서 혼잡회피를 위해 구현된 윈도우 크기에 따라 큐의 threshold인 \min_{th} 와 \max_{th} 를 적절하게 조절하여 TCP 플로우의 throughput을 향상시킨다. 그러나 TCP 기반의 플로우만을 대상으로 하기 때문에 UDP를 이용하여 전송되는 실시간 멀티미디어 서비스에 적용이 불가능하다는 단점이 있다.^[4]

앞서 살펴본 바와 같이 다양한 메커니즘들이 연구되고 제안되어 왔지만, RED와 DRED는 drop 확률이 네트워크 상황에 따라 고정적으로 적용되기 때문에 상위 우선순위를 갖는 서비스에 대해 QoS를 보장하기에는 다소 부족하며 DWRED는 실시간 멀티미디어 서비스에 적용할 수 없다는 한계를 지니고 있다. 이에 우리는 다양한 멀티미디어 서비스들이 혼재한 네트워크 상황에서 상위 우선순위를 갖는 서비스 트래픽에 대해 상대적으로 낮은 drop 확률을 적용함으로써 패킷 drop으로부터 품질을 보장할 수 있는 방안을 제안한다.

2. DiffServ 네트워크 환경에서의 AQM

인터넷 환경에서 다양한 응용 서비스들이 제공됨에 따라 다양한 수준의 서비스 품질이 요구되고 있다. 인터넷 환경에서 서비스의 QoS를 제공하기 위해 DiffServ (Differentiated Services) 방안이 많은 연구가 진행되고 있다. DiffServ 구조는 액세스 네트워크에서 다양한 서비스 레벨 패킷을 처리함으로써 서비스의 QoS를 지원할 수 있는 확장성 있는 구조이다. 하지만, 액세스 네트워크에서의 패킷 분류에 의한 차별화 처리만으로 종단간 QoS를 지원하기 힘들기 때문에 이에 코어망에서의 AQM 방안과의 결합을 통한 종단간 QoS 지원 방안이 연구되고 있다.^[5, 7~8, 10]

패킷 drop 선호 레벨을 갖는 MRED(Multi-level RED)는 RED의 확장 구조로 세 종류의 차별화된 drop 확률을 갖는다. 다중 큐는 동일한 서비스 클래스간의 공정성(fairness)을 향상시키기 위해 각 서비스 클래스별로 할당된다. 서비스 클래스별 큐의 수는 설계자에 의한 선택 사항이며 라우터의 큐 관리 능력에 의해 결정된다.^[7]

HRED (Hybrid RED) 방안은 기존 RED의 단점을 향상시킨 방안으로 수정된 AQM은 적절하게 제공된 네트워크에서 drop 확률을 확실할 뿐만 아니라 패킷 보호

및 링크의 허용 한계를 개선할 수 있다. 또한, AQM 큐 모델링을 위한 새로운 프레임워크로 RED 네트워크에 DiffServ 구조를 적용한 DiffRED가 제안되고 있으며 이것은 기존 WRED와 유사한 알고리즘이다.^[8, 10]

이처럼 최선형 서비스 구조를 갖는 인터넷 환경에서 다양한 서비스의 QoS 보장을 위한 다양한 방안들이 연구되고 제안되고 있다. 하지만, 이들 방안을 통해 능동적으로 상위 우선순위 서비스에 대한 품질 보장은 한계가 있다.

3. AQM의 성능 분석을 위한 모델

인터넷 환경에서 다양한 멀티미디어 트래픽에 대한 소스 모델 및 성능 분석 모델을 위해 다양한 종류의 트래픽 모델 및 연합된 접근 방법들이 제안되어 왔다. 최근, Markov-modulated arrival 모델은 패킷 기반의 네트워크 환경에서 AQM 방안들의 성능 분석을 위한 모델로 많이 도입되고 있다.

많은 논문들은 다양한 서비스들이 혼재된 네트워크 환경에서 AQM의 성능 분석을 위해 MMBP-2 (two-state Markov Modulated Bernoulli Process) 모델을 도입하였다. 이 모델을 이용할 경우 다양한 서비스에 대한 성능 분석이 가능하기 때문이다. 우리도 이 논문에서는 성능 분석의 간소화를 위해 두 종류의 서비스(GS, BS)만을 고려하여 MMBP-2 소스 모델을 도입하여 제안 방안의 성능을 분석한다.^[3, 5~6]

III. Active-WRED 메커니즘

제 III장에서는 제안 메커니즘과 그 동작에 대해 설명한다.

1. Active-WRED 메커니즘

기존의 WRED (Weighted Random Early Detection) 방안은 서비스 클래스에 따라 고정된 threshold를 가지고 있었다. 이것은 서비스 트래픽이ダイナ믹하게 변하는 인터넷 환경에서 상위 우선순위 서비스의 품질을 보장하기에는 적합하지 못하다. 이에 우리는 상대적으로 상위 우선순위 서비스 클래스의 품질을 보장할 수 있는 방안을 제안한다.

그림 1에서 보여지는 바와 같이 이입되는 트래픽은 DiffServ의 DSCP에 의해 분류되고 각 트래픽의 arrival rate과 큐의 상태(큐 길이)를 확인한다. 제안된 시스템

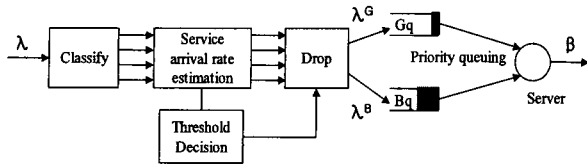


그림 1. 큐 구성도
Fig. 1. The figure of queue configuration.

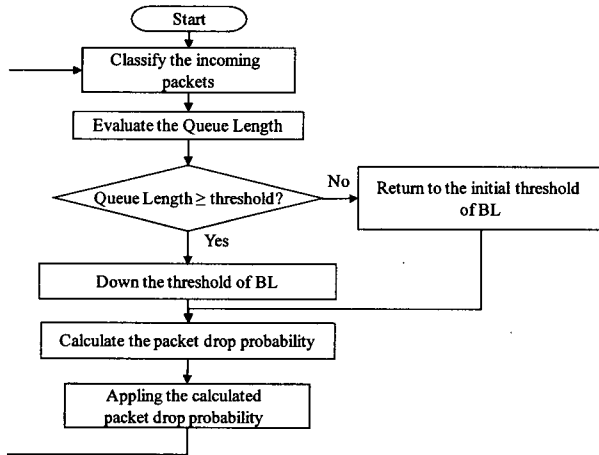


그림 2. Active-WRED 알고리즘
Fig. 2. The algorithm of Active-WRED.

은 버퍼에 할당된 threshold에 따라 클래스별 drop 확률을 결정하게 된다.

보다 자세한 동작 구성은 그림 2와 같다. 이입된 패킷을 분류하고 각 서비스 클래스의 패킷들이 차지하고 있는 큐의 길이를 계산한다. 이렇게 계산된 값이 큐에 할당된 threshold를 넘지 않는지를 확인한다. 여기서, 누적된 패킷의 양이 threshold 보다 작으며 초기에 설정된 drop 확률을 적용하게 된다. 이와 달리 만약 누적된 패킷의 양이 할당된 패킷의 양을 초과한다면 본 시스템은 낮은 우선순위 서비스 클래스의 하위 threshold를 감소시킨다. 이런 과정을 통해 새롭게 계산된 drop 확률을 각 서비스 트래픽에 적용함으로써 상위 우선순위 서비스 클래스 트래픽을 drop으로부터 보호할 수 있다.

2. 제안 방안의 효과

그림 3은 두 threshold를 갖는 싱글 버퍼를 나타낸다. 여기서 GS(Guaranteed Service)와 BS(Best Effort Service)에 대해 각각의 threshold를 갖는다. MMBP-2 소스 모델로부터 생성된 패킷은 N개의 패킷을 수용할 수 있는 큐로 전달이 되며 각 서비스 클래스에 대해 두 종류의 threshold를 갖는다. 그림 3에서 보여지는 바와

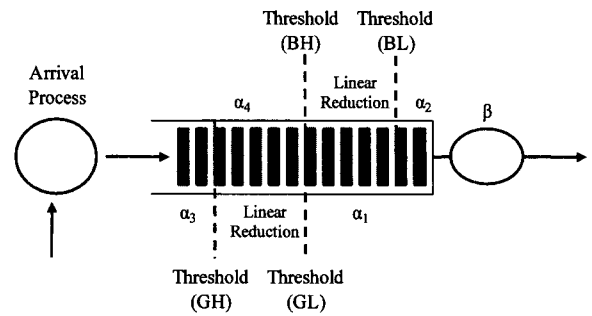


그림 3. 각 차원의 Markov 체인에서 두 threshold(GH, GL과 BH, BL)를 갖는 싱글 버퍼
Fig. 3. Single buffer with two thresholds in each dimensional Markov chain (GH, GL and BH, BL).

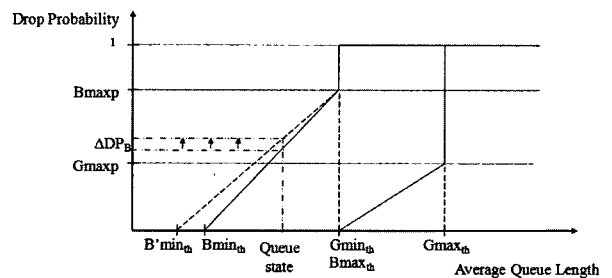


그림 4. Active-WRED의 패킷 drop 확률 결정
Fig. 4. Packets drop probability decision of Active-WRED.

같이 GS에 대해 GH와 GL, BS에 대해 BH와 BL을 갖는다. 큐에 이입되는 패킷은 FIFO (First In First Out) 서비스 방식으로 처리가 된다.

BS(GS)에 대해 시스템에 도착하는 패킷의 수가 첫 threshold인 BL(GL)에 도달하기 전까지 패킷이 도착할 확률은 $\alpha_2(\alpha_1)$ 라 하자. 그리고 시스템에 도착하는 패킷의 수가 두 번째 threshold인 BH(GH)를 넘어서게 되면 패킷 도착 확률 $\alpha_4(\alpha_3)$ 은 0으로 감소한다. 여기서 도착 패킷 수가 BL(GL)과 BH(GH) 사이에 있다면 패킷 도착 확률은 선형적으로 감소하게 된다. 그래서 각 패킷의 drop 확률은 0에서 1까지 변화된다. 그리고 이 시스템의 패킷 처리 확률은 β 로 일정하다고 가정한다.

그림 4는 각 패킷의 drop 확률 결정 알고리즘을 보여준다. 그림과 같이 우리가 제안하는 Active-WRED는 기존 AQM과 달리 low threshold가 고정되지 않고 큐의 상태에 따라 우선순위가 낮은 서비스의 low threshold를 변경하여 상위 우선순위 서비스의 drop 확률을 조정하게 된다. 그림 4와 같이 Bminth를 B'minth로 낮추게 되면 BS의 drop 확률이 ΔDP_B 만큼 증가하는 것을 볼 수 있다. 현재 점유하고 있는 패킷 중 우선

순위가 낮은 패킷에 대하여 보다 높은 drop 확률을 적용함으로써 상위 우선순위 서비스는 drop으로부터 보호 받을 수 있다. 이렇게 낮은 우선순위 서비스의 패킷을 보다 많이 drop 시킴으로써 GS의 QoS를 패킷 손실로부터 보장할 수 있다.

IV. 제안 방안의 성능 분석

이 논문에서 제안된 Active-WRED 방안의 성능을 분석하기 위해 [3, 5, 6]에서 사용한 분석 방법을 제안 방안에 맞게 변경하여 인용하였다.

1. MMBP-2: 소스 모델

본 논문에서 제안 방안의 성능 분석을 위해 [3, 5, 6]에서 사용된 MMBP 소스 모델을 참조하였다. 또한 성능 분석을 간소화하기 위해 두 서비스 클래스(GS, BS)만을 고려하였다.

소스 모델로 사용된 MMBP-2는 명확히 구분된 두 가지 상태를 가지며 상태_1에서는 GS 트래픽을 발생시키고 상태_2에서는 BS 트래픽을 발생시킨다. 패킷 도착 과정이 시간 k 에서 상태_1에 있을 경우 arrival rate_1 (α_1)을 발생시키고 확률 p 를 갖고 다음 시간인 $(k+1)$ 에서 상태_1을 유지하게 된다. 이와 유사하게 패킷 도착 과정이 시간 k 에서 상태_2에 있을 경우 arrival rate_2 (α_2)를 발생시키고 확률 q 를 갖고 다음 시간인 $(k+1)$ 에서 상태_2를 유지하게 된다. 상태_1에서 상태_2로 변환될 확률은 $(1-p)$ 이고 상태_2에서 상태_1로 변환될 확률은 $(1-q)$ 를 갖는다. 그래서 패킷의 도착 확률은 two-state Markov 프로세스에 의해 변화되는 파라미터 (α_1, α_2)를 갖는 Bernoulli 프로세스를 따르며, 패킷 도착 분포에는 독립적이다. 그래서 MMBP-2는 변환 행렬 P 와 도착 확률의 대각 행렬 Λ 에 의해 특정 지을 수 있으며, 다음과 같이 주어진다.

$$P = \begin{bmatrix} p & 1-p \\ 1-q & q \end{bmatrix} \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 \\ 0 & \alpha_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

각 상태에 대한 정상상태 확률은 two-state 체인에 대한 균형 방정식으로부터 유도할 수 있으며 다음과 같다.

$$GS = (1-q)/2 - p - q \quad (2)$$

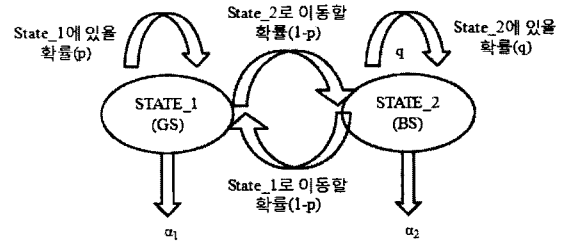


그림 5. GS와 BS를 위한 MMBP-2 모델
Fig. 5. MMBP-2 model for GS and BS.

$$BS = (1-p)/2 - p - q \quad (3)$$

그림 5와 같이 묘사된 모델은 잘 알려진 On/Off 모델이다. On/Off 모델은 상위 우선순위를 갖는 서비스 클래스 상태(GS)와 이보다 낮은 우선순위의 서비스 클래스 상태(BS)에 적용할 수 있다. 더욱이 위 모델에서 α_1 과 α_2 는 각각 1과 0으로 표현할 수 있다면, 이 모델은 On/Off 모델이 될 수 있다.

2. 성능 분석

정상상태 확률 분포를 구하기 위해 큐 상태를 3 가지로 분류하여 접근한다. 큐는 유입되는 패킷 및 그 패킷의 처리에 의해 큐의 상태를 arrivals, departures 및 remaining으로 나눌 수 있다. 각 체인 마다 두 threshold를 가지며 Markov 체인 상태는 세 벡터 $[\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i',j')}$, $[\mu]_{(i,j) \rightarrow (i',j')}$, $[R]_{(i,j) \rightarrow (i',j')}$ 를 이용하여 정의할 수 있으며, 여기서 i 와 j 는 변환 상태를 나타낸다.

가. Arrivals의 변환 확률

$[\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i',j')}$ 은 이차원 Markov 체인에서 arrivals의 변환 확률을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$[\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i',j')} = \begin{cases} [\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i,j+1)}, & i=1,2 \text{ and } 0 \leq j \leq N \\ [\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j)}, & i=1 \text{ and } 0 \leq j \leq N \\ [\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i-1,j+1)}, & i=2 \text{ and } 0 \leq j \leq N \end{cases} \quad (4)$$

여기서 세 입력 요소는 입력 파라미터인 α_{ij}, β, p, q 로 표현할 수 있다.

$$[\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i,j+1)} = \begin{cases} \alpha_i p, & i=1 \text{ and } j=0 \\ \alpha_j (1-\beta) p, & i=1 \text{ and } 1 \leq j \leq N \\ \alpha_j q, & i=2 \text{ and } j=0 \\ \alpha_j (1-\beta) q, & i=2 \text{ and } 1 \leq j \leq N \end{cases} \quad (4a)$$

$$[\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j)} = \begin{cases} \alpha_i (1-p), & i=1 \text{ and } j=0 \\ \alpha_j (1-\beta)(1-p), & i=1 \text{ and } 1 \leq j \leq N \end{cases} \quad (4b)$$

$$[\Lambda]_{(i,j) \rightarrow (i-1,j+1)} = \begin{cases} \alpha_i(1-q), & i=2 \text{ and } j=0 \\ \alpha_j(1-\beta)(1-q), & i=2 \text{ and } 1 \leq j \leq N \end{cases} \quad (4c)$$

나. Departures의 변환 확률

$[\mu]_{(i,j) \rightarrow (i',j')}$ 는 이차원 Markov 체인에서 departures의 변환 확률을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$[\mu]_{(i,j) \rightarrow (i',j')} = \begin{cases} [\mu]_{(i,j) \rightarrow (i,j-1)}, & i=1,2 \text{ and } 0 \leq j \leq N \\ [\mu]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j-1)}, & i=1 \text{ and } 0 \leq j \leq N \\ [\mu]_{(i,j) \rightarrow (i-1,j-1)}, & i=2 \text{ and } 0 \leq j \leq N \end{cases} \quad (5)$$

여기서 세 입력 요소는 입력 파라미터인 α_{ij} , β , p , q 로 표현할 수 있다.

$$[\mu]_{(i,j) \rightarrow (i,j-1)} = \begin{cases} \beta(1-\alpha_j)p, & i=1 \text{ and } 1 \leq j \leq N \\ \beta(1-\alpha_j)q, & i=2 \text{ and } 1 \leq j \leq N \end{cases} \quad (5a)$$

$$[\mu]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j-1)} = \beta(1-\alpha_j)(1-p), \quad i=1 \text{ and } 1 \leq j \leq N \quad (5b)$$

$$[\mu]_{(i,j) \rightarrow (i-1,j-1)} = \beta(1-\alpha_j)(1-q), \quad i=2 \text{ and } 1 \leq j \leq N \quad (5c)$$

다. 동일한 상태에 남을 변환 확률

$[R]_{(i,j) \rightarrow (i',j')}$ 은 이차원 Markov 체인에서 동일한 상태를 계속 유지할 변환 확률을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$[R]_{(i,j) \rightarrow (i',j')} = \begin{cases} [R]_{(i,j) \rightarrow (i,j)}, & i=1,2 \text{ and } 0 \leq j \leq N \\ [R]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j)}, & i=1 \text{ and } 0 \leq j \leq N \\ [R]_{(i,j) \rightarrow (i-1,j)}, & i=2 \text{ and } 0 \leq j \leq N \end{cases} \quad (6)$$

여기서 세 입력 요소는 입력 파라미터인 α_{ij} , β , p , q 로 표현할 수 있다.

$$[R]_{(i,j) \rightarrow (i,j)} = \begin{cases} (1-\alpha_i)p, & i=1 \text{ and } j=0 \\ p[\alpha_j\beta + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=1 \text{ and } 1 \leq j \leq N-1 \\ p[\alpha_j + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=1 \text{ and } j=N \\ (1-\alpha_i)q, & i=2 \text{ and } j=0 \\ q[\alpha_j\beta + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=2 \text{ and } 1 \leq j \leq N-1 \\ q[\alpha_j + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=2 \text{ and } j=N \end{cases} \quad (6a)$$

$$[R]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j)} = \begin{cases} (1-\alpha_i)(1-p), & i=1 \text{ and } j=0 \\ (1-p)[\alpha_j\beta + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=1 \text{ and } 1 \leq j \leq N-1 \\ (1-p)[\alpha_j + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=1 \text{ and } j=N \end{cases} \quad (6b)$$

$$[R]_{(i,j) \rightarrow (i+1,j)} = \begin{cases} (1-\alpha_i)(1-q), & i=2 \text{ and } j=0 \\ (1-q)[\alpha_j\beta + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=2 \text{ and } 1 \leq j \leq N-1 \\ (1-q)[\alpha_j + (1-\alpha_j)(1-\beta)], & i=2 \text{ and } j=N \end{cases} \quad (6c)$$

라. Arrival rates

식 (4) - (6)에 있어서, arrival rate α_{ij} 은 아래 식 (7)과 같이 계산할 수 있으며 두 threshold에 대해 GL(BL)보다 작은 상태이거나 GH(BH)보다 큰 상태에 대해서는 독립적으로 arrival rate가 적용되지만, GL과 GH(또는 BL과 BH) 사이에 큐의 상태가 존재를 한다면 선형적으로 감소된 drop 확률을 적용한 arrival rate가 사용된다. 여기서, drop 확률은 그림 4에 의해 결정되며 arrival rate는 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} \alpha_i, & i=1, 0 \leq j \leq GL-1 \text{ or } i=2, 0 \leq j \leq BL-1 \\ \alpha_i[1 - (G \max p(j-GL)/(GH-GL))], & i=1, GL \leq j \leq GH-1 \\ \alpha_i[1 - (B \max p(j-BL)/(BH-BL))], & i=2, BL \leq j \leq BH-1 \\ \alpha_{i+2}, & i=1, GH \leq j \leq N \text{ or } i=2, BH \leq j \leq N \end{cases} \quad (7)$$

시스템의 정상상태 분석을 수행하기 위해 우리는 이차원 Markov 체인을 사용하며 이것은 다음 식을 만족한다.

$$\pi = \pi P \quad \text{and} \quad 1 = \sum_i^N \pi_i \quad (8)$$

여기서 P는 변환 확률 행렬이며, π_i 는 정상상태 확률 분포를 나타낸다.

평균 큐 점유 길이(MQL: Mean Queue Length)은 평형 결합 확률인 P_i 를 이용하여 다음 식을 통해 계산할 수 있다.

$$L = \sum_{i=0}^N i P_i \quad (9)$$

유한 크기의 큐에 대한 Little의 공식을 이용하여 큐에서 발생하는 평균 지연시간을 계산할 수 있으며 다음과 같다.

$$W = \frac{L}{S} \quad (10)$$

여기서 S는 이산시간에 대한 평균 throughput을 나타내며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S = (1 - P_o) \times \beta \quad (11)$$

전체 패킷 손실 확률 D_L 은 각 서비스 트래픽의 패킷 손실 확률의 합으로 표현할 수 있으며 다음과 같다.

$$D_L = D_{L_1} + D_{L_2} \quad (12)$$

여기서 D_{L_1} 과 D_{L_2} 는 GS와 BS의 서비스 트래픽에 대한 패킷 손실 확률을 각각 나타낸다.

$$D_{L_1} = \sum_{j=GL}^{GH-1} P_{1j} D_{1j} + \sum_{GH}^N P_{1j} \quad (12a)$$

$$D_{L_2} = \sum_{j=BL}^{BH-1} P_{2j} D_{2j} + \sum_{BH}^N P_{2j} \quad (12b)$$

여기서, $D_{ij}=1-a_{ij}$, $i=1, GL \leq j \leq GH-1$ or $i=2, BL \leq j \leq BH-1$ 이며, 이차원 Markov 체인에서 $P_i = P_{ii} + P_{i(j+1)i}$, $j=1, 2; 0 \leq i \leq N$ 으로 표현할 수 있다.

V. 성능 분석 결과

이 장에서는 MMBP-2 소스 모델을 적용하여 Active-WRED의 성능 계산 결과를 제시하고 기존 WRED의 성능과 비교를 하였다. 비교 대상은 MQL(Mean Queue Length), 시스템 throughput, 지연 및 패킷 손실률에 초점을 맞췄으며, Active-WRED의 성능과 기존 WRED 방안과의 성능을 비교하기 위해 WRED는 BL=5, BH=10, GL=10, GH=15로 고정하였다.

식 (8) - 식 (11)을 이용하여 성능 분석 결과를 그림 6 - 10처럼 BL 및 GH의 변화에 따라 MQL, throughput, delay와 패킷 손실 확률을 얻을 수 있었다. 각 수식에 적용된 시스템 상수는 다음과 같이 $a_{1j}=0.8$, $a_{2j}=0.5$, $p=q=0.9$, $\beta=0.5$ 로 고정하였다.

그림 6과 같이 일반적으로 BL 값이 클수록 큐 내에 누적되는 패킷이 양이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 곧 패킷의 큐잉 딜레이에 영향을 미쳐 평균 큐 길이 그래프와 전체 큐잉 딜레이의 그래프(그림 7)가 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 특징을 기존 WRED와 비교했을 때 GH가 전체 큐 길이의 3/4을 넘거나 BL이 전체 큐 길이의 1/4 이상일 경우 기존 WRED보다 큰 큐잉 지연시간을 발생시킨다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 BL을 증가시킬수록 전체 패킷 drop 확률

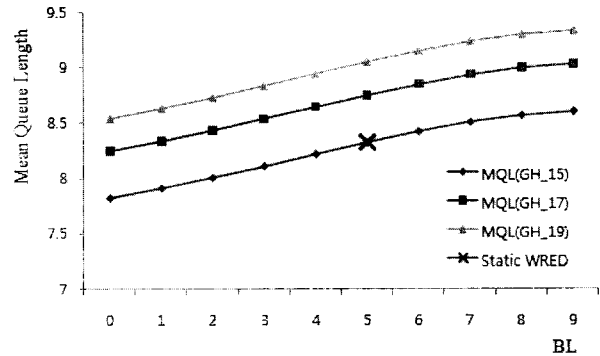


그림 6. GH와 BL에 따른 시스템 MQL
Fig. 6. The system MQL according to GH and BL.

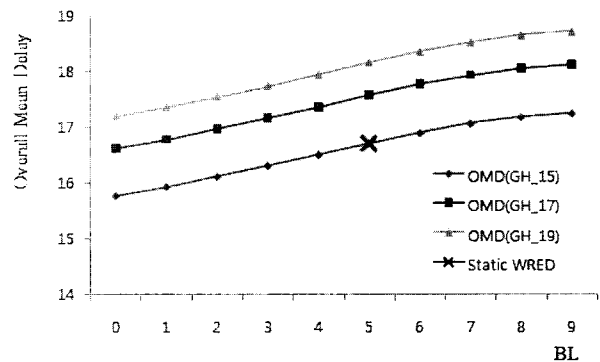


그림 7. GH와 BL에 따른 큐잉 지연시간
Fig. 7. Queueing delay according to GH and BL.

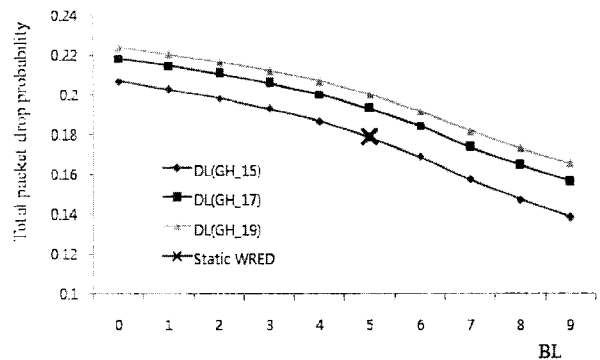


그림 8. GH와 BL에 따른 전체 패킷 손실률
Fig. 8. Total packet drop probability according to GH and BL.

이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 큐 길이가 BL에 도달할 때까지 패킷 drop이 발생하지 않고 BL을 넘어가는 순간부터 선형적으로 drop 확률이 증가하기 때문이다.

그림 9와 10은 우리가 제안하는 Active-WRED를 이용하여 상위 우선순위 트래픽의 QoS를 보장할 수 있음을 보여준다. BS의 drop 확률이 증가할수록 GS의 drop

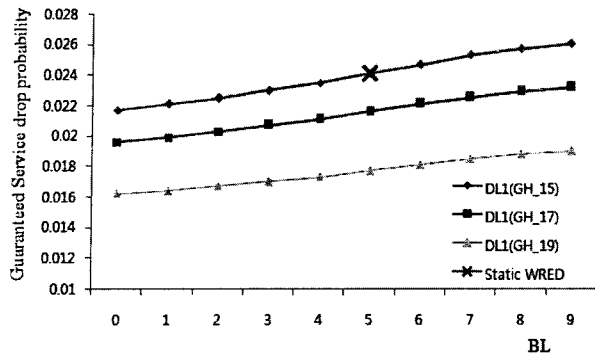


그림 9. GH와 BL에 따른 GS의 패킷 손실 확률 변화

Fig. 9. GS packet drop probability according to GH and BL.

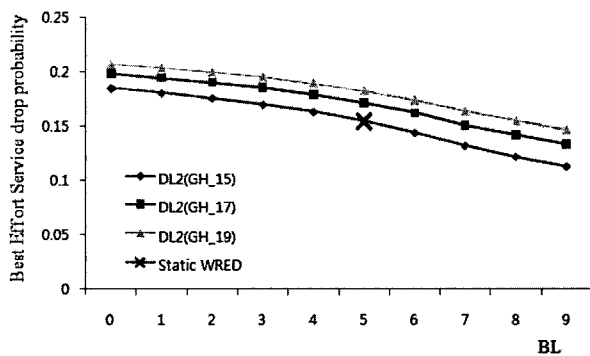


그림 10. GH와 BL에 따른 BS의 패킷 손실 확률 변화

Fig. 10. BS packet drop probability according to GH and BL.

확률은 감소하는 것을 볼 수 있으며 이것은 GS에 대한 QoS 보장을 능동적으로 보장 가능함을 보여준다. 그러나 상위 우선순위 서비스를 보호하기 위해 BL의 값을 과도하게 증가시킬 경우 전체 패킷 drop 확률이 기존의 WRED 보다 크게 나타날 수 있기 때문에 시스템 및 네트워크 환경에 따라 적절히 선택되어야 한다.

VI. 결 론

이 논문은 상위 우선순위 서비스의 QoS를 보장하기 위한 방안인 Active-WRED를 제안하고 있으며, 이 제안 방안의 성능을 분석하기 위해 MMBP-2 소스 모델을 이용하였다. 처음 기대했던 바와 같이 WRED에서 큐 threshold의 min값과, max값을 큐 길이 상태에 따라 적절히 선택하여 기존의 고정된 WRED보다 제안 방안이 상위 우선순위 서비스를 drop으로부터 보호할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이것은 인터넷 환경에서 전송 프로토콜(TCP, UDP)에 상관없이 상위 우선순위 서비

스의 QoS 보장이 가능하다는 것을 의미하며 서비스 및 네트워크 사업자들이 BcN 통합망 환경에서 다양한 품질의 서비스를 제공할 수 있다는 가능성을 보여준다.

앞으로 통합망 환경에서의 혼잡 제어를 위해 다양한 멀티미디어 서비스 트래픽이 제공되는 네트워크 환경에서 각각의 서비스 트래픽들의 상관관계 및 burstiness에 관한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Sai S. Oruganti, Michael Devetsikiotis, "A study of robust active queue management schemes for correlated traffic," *Computer Communications*, Vol.28, Issue1, January 2005, pp.1-11.
- [2] Thomas Bonald, Martin May, Jean-Chrysostome Bolot, "Analytic Evaluation of RED Performance," *INFOCOM2000*, Vol.3, March 2000, pp.1415-1424.
- [3] L. Guan, I.U. Awan, M.E. Woodward and Xingang Wang, "Discrete-time performance analysis of a congestion control mechanism based on RED under multi-class bursty and correlated traffic," *Journal of Systems and Software*, Vol.80, Issue10, October 2007, pp.1716-1725.
- [4] Christos Bouras, Afrodite Sevasti, "Performance enhancement of an AF service using TCP-aware marking and dynamic WRED," *ISCC 2005*, June 2005, pp. 642-647.
- [5] L. Guan, M. E. Woodward, I.U.Awan, "Stochastic Approach for Modeling Multi-Class Congestion Control Mechanisms Based on RED in TCP/IP Networks," *HET-NETS'04*, July 2004.
- [6] C.-H. Ng, L. Yuan, W. Fu and L. Zhang, "Methodology for traffic modeling using two-state Markov-modulated Bernoulli process," *Computer Communications*, Vol.22, Issue13, August 1999, pp.1266-1273.
- [7] Hideyuki Shimonishi, Ichinoshin Maki, Tutomu Murase and Masayuki Murata, "Dynamic Fair Bandwidth Allocation for DiffServ Classes," *ICC2002*, Vol.4, April 2002, pp.2348-2352.
- [8] Changhee Joo, Jaesung Hong and Saewoong Bahk, "Assuring drop probability for delay-insensitive traffic in a differentiated service network," *CCNC2005*, January 2005, pp.515-520.
- [9] Xiaolong Jin, Geyong Min, "Performance analysis of priority scheduling mechanisms under

- heterogeneous network traffic," Journal of Computer and System Sciences, Vol.73, Issue8, December 2007, pp.1207-1220.
- [10] Alhussein A. Abouzeid, Sumit Roy, "Modeling random early detection in a differentiated services network," Computer Networks, Vol.40, Issue4, November 2002, pp.537-556.
- [11] Sally Floyd, Van Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," Networking IEEE/ACM Transactions on Vol.1, Issue4, August 1993, pp.397-413.
- [12] Dong Lin, Robert Morris, "Dynamics of Random Early Detection," ACM, Computer Communication Review, Vol.27, No.4, October 1997.
- [13] A. A. Akintola, G. A. Aderounmu, L. A. Akanbi, and M. O. Adigun, "Modeling and Performance Analysis of Dynamic Random Early Detection (DRED) Gateway for Congestion Avoidance," In SITE2005, June 2005.
- [14] Bing Zheng, Mohammed Atiquzzaman, "DSRED: An Active Queue Management Scheme for Next Generation Networks," LCN2000, November 2000, pp.242-251.
- [15] Hussein Abdel-Jaber, Mike Woodward, Fadi Thabtah, Amer Abu-Ali, "Performance evaluation for DRED Discrete-time queueing network analytical model." Journal of Network and Computer Applications, September 2007.
- [16] R. Makkar, I.Lambadaris, J.H.Salim, N.Seddigh, B.Nandy, J.Babiarz, "Empirical Study of Buffer Management Schemes for DiffServ Assured Forwarding PHB," ICCCN2000, October 2000, pp.632-637.
- [17] Mark Wurtzler, "Analysis and Simulation of Weighted Random Early Detection (WRED) Queues," EECS891 Project, 2002.

저 자 소 개



김 현 중(학생회원)
 2006년 충북대학교 정보통신
 공학과 학사졸업.
 2008년 충북대학교 전파공학과
 석사수료
 2008년 3월 동대학원 박사 과정

<주관심분야 : Traffic Measurement, QoS/QoE, Interworking 등>



최 성 곤(평생회원)-교신저자
 1999년 한국정보통신대학교
 대학원 공학석사
 2004년 한국정보통신대학교
 대학원 공학박사
 1992년 9월~1998년 2월 LG 정보
 통신 이동통신 기술연구소
 2004년 9월~현재 충북대학교 정보통신공학과
 조교수 재직

<주관심분야 : 광대역통신망, 이동성, MPLS 등>



김 중 찬(학생회원)
 2006년 충북대학교 정보통신
 공학과 학사졸업.
 2008년 충북대학교 전파공학과
 석사과정

<주관심분야 : 서비스 이동성, 이
 동성 관리, 광대역통신망 등>