

# IP 기반 통신망의 멀티캐스팅 서비스를 위한 지수이동 가중평균을 이용한 전송률기반 폭주제어에 관한 연구

## A Study on Rate-Based Congestion Control Using EWMA for Multicast Services in IP Based Networks

최재하\*, 이승협\*, 추형석\*, 안종구\*, 신성욱\*

Jae-Ha Choi\*, Seng-Hyup Lee\*, Hyung-Suk Chu\*, Chong-Koo An\*, Soung-Wook Shin\*

### 요약

고속통신망에서 데이터 전송률의 결정은 폭주제어 기법을 갖는 되먹임 구조 통신망시스템의 안정성에 매우 중요한 요소이다. 비동기전송망에서, ABR 서비스는 하위 노드의 트래픽 정보를 전달할 수 있는 RM(resource management) 셀 기반의 되먹임 구조를 갖는다. 그러나 일반적인 IP 기반 통신망에서는 하위 노드 트래픽의 현재 상태가 각 전송원으로 바로 전달되어 질 수 없다. 본 논문에서는 고속통신망에서의 폭주 제어를 위해 지수이동가중평균(exponential weighted moving average: EWMA)을 이용한 전송률 기반의 효과적인 되먹임 통신망 제어 기법을 제안한다. 제안된 통신망 폭주 제어기법은 스위치 대기열의 안정성을 보장하고 보다 높은 통신망 활용 효율을 보인다. 또한, 제안된 폭주제어 기법은 통신망에서의 전송원의 수의 증가에 대하여 보다 유연성을 갖으며, 이를 통하여 망 확장성을 증가 시킬 수 있다.

### Abstract

In high speed communication networks, the determination of a transmission rate is critical for the stability of a closed-loop network system with the congestion control scheme. In ATM networks, the available bit rate (ABR) service is based on a feedback mechanism, i.e., the network status is transferred to the ABR source by a resource management (RM) cell. RM cells contain the traffic information of the downstream nodes for the traffic rate control. However, the traffic status of the downstream nodes can not be directly transferred to the source node in the IP based networks. In this paper, a new rate-based congestion control scheme using an exponential weighted moving average algorithm is proposed to build an efficient feedback control law for congestion avoidance in high speed communication networks. The proposed congestion control scheme assures the stability of switch buffers and higher link utilization of the network. Moreover, we note that the proposed congestion scheme can flexibly work along with the increasing number of input sources in the network, which results in an improved scalability.

**Keywords** : EWMA, rate-based, congestion control, communication networks

### I. 서론

일반적인 통신망에서 망 자원보다 더 많은 트래픽 수요 증가는 망의 폭주를 발생 시킨다[1]. 이러한 폭주 현상은 망 내부 대기열의 오버플로우와 데이터 손실 및 전송지연 시간과 같은 서비스 품질의 저하를 초래하고 결국 통신망 정체를 야기시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한

통신망 제어 모델들이 연구되어져 왔다[2-6].

그러나 이러한 대부분의 연구들은 최대-최소 공평성 기반의 제어모델로 한정되며, WAN(wide area networks) 환경에서의 적용으로 제한되어지는 단점을 갖는다. 또한, 최대-최소 모델기반의 방식들은 전송원의 전송능력을 고려하지 않음으로써 저부하상태에서 망자원 활용의 효율성을 저하시킨다[1-3]. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 전송원의 전송능력을 고려한 새로운 폭주제어 기법이 최근에 제시되어지고 있다[5],[6]. 그러나 이 방법은 트래픽 전송률을 조절하기 위하여 정확한 되먹임 정보를 전달받아야 하는 단점

\*울산대학교 전자공학과

논문 번호 : 2006-4-9 접수 일자 : 2006. 8. 31

심사 완료 : 2007. 1.12

을 갖는다. 이는 비동기 전송모드(asynchronous transfer mode; ATM) 망과 같은 회선교환방식의 전송망에 한정되어짐을 의미한다. 즉, 이러한 제어기법을 패킷교환망에 적용시키기 위해서는 하위노드들의 트래픽 정보가 송신원으로 즉시 전송되어야 한다. 비동기전송망에서, ABR 서비스는 하위 노드의 트래픽 정보를 전달할 수 있는 RM(resource management) 셀 기반의 되먹임 구조를 갖는다[6]. 그러나 일반적인 IP 기반의 망에서는 하위노드의 트래픽 정보가 직접적으로 상위 노드에 즉시 전달되어지지 않는다는 문제점을 갖는다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, IP 기반 통신망에서의 폭주노드들은 현재 망 내부의 폭주 상태를 전달할 수 있는 트래픽 추종기법이 적용되어야 한다. 또한, 단일 전송망에서의 트래픽 제어 기법 다중 전송 연결에서의 혼잡 제어를 단일전송 연결의 경우와는 달리 다중전송 세션에 있어 하나 이상의 수신자를 포함하고 있고, 수신자가 가지고 있는 이중 네트워크 상태를 전달해야하므로 복잡한 구조는 갖는다. 이에 본 논문에서는 IP 기반의 멀티캐스트 통신을 위한 지수이동가중평균(exponential weighted moving average; EWMA) 알고리즘[1]을 이용한 효율적인 전송을 기반 폭주제어 알고리즘을 제안한다. 모의실험을 통하여 이의 타당성과 이전 알고리즘을 비교한다.

II. 제안한 스위치 모델

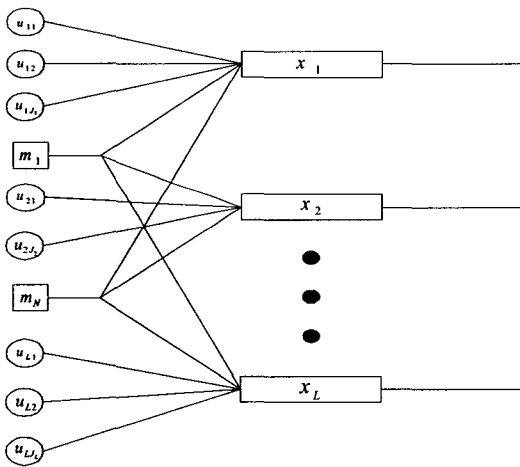


그림 1 멀티캐스트 스위치 모델.  
Fig. 1 A multicast switch model.

그림 1은 본 논문에서 고려된 스위치 구조를 나타낸다. 제시된 네트워크 모델에서 각 스위치는 가상 출력 버퍼 스위치라 가정한다. 즉, 각각의 출력 포트는  $1 \leq X < \infty$  크기의 가상 대기열을 갖는다. 또한, 각각의 입력포트는 입력 트래픽 처리를 위한  $1 \leq M < \infty$  크기의 입력 대기열을 갖는다. 출력버퍼로의 데이터 전송 순서를 보장하기 위하여 같은 흐름에서의 패킷들은 동일한 FIFO(First Input- First Output) 입력 대기열에 저장된다고 가정한다. 제시된 스위

치 모델에서  $u_{ij}$ 는  $j$ 번째 목적지를 갖는  $i$ 번째 단일전송원을 나타내며,  $m_i$ 는  $i$ 번째 멀티캐스팅 송신원을 나타내고,  $x_i$ 는  $i$ 번째 가상대기열의 점유율을 각각 나타낸다.  $x_i(n)$ 를  $n$ 번째 시간 슬롯에서의  $i$ 번째 폭주 링크에 대한 대기열 점유율이라 가정하면 다음과 같이 나타낸다.

$$x_i(n+1) = \max\{0, x_i(n) + f_i(n) - c_i\} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, L$$

여기서,  $c_i$ 는  $i$ 번째 폭주 링크의 가용 대역폭을 나타내며,  $f_i(n)$ 는  $[n, n+1)$  시간 동안  $i$ 번째 폭주링크의 대기열로 유입된 입력 데이터의 합이며 다음과 같다.

$$f_i(n) = \sum_{j=1}^{J_i} s_{ij}^u(n - \tau_{ij}^u) + \sum_{k \in M_i} s_k^m(n - \tau_k^m) \quad (2)$$

위 식에서  $j_i$ 는  $i$ 번째 폭주링크를 통한 단일전송 연결들의 수이고,  $M_i$ 는  $i$ 번째 폭주링크를 통한 멀티캐스팅 연결의 집합을 나타내며,  $\tau_{ij}^u$ 는  $i$ 번째 폭주링크와  $j$ 번째 단일전송 연결의 송신원의 왕복지연시간을 나타내며,  $\tau_k^m$ 는  $k$ 번째 멀티캐스팅 연결과 폭주 스위치의 분지점 사이의 왕복지연 시간을 나타낸다.  $s_{ij}^u$ 는  $i$ 번째 폭주링크로 연결되는  $j$ 번째 단일전송 연결의 전송률을 나타내며,  $s_k^m$ 는  $k$ 번째 멀티캐스팅 연결의 전송률을 각각 나타낸다. 여기서, 모든 전송률들은 폭주링크에서 계산된다.

III. 폭주제어 알고리즘

Nho[4]의 공평성에 기반하여 최소전송률을 고려하지 않은 각 송신원의 전송률은 다음과 같이 나타낸다.

$$s_{ij}^u(n) = \max\left(0, \min\left(r_{ij}, \frac{r_{ij}}{R_i} \left[B_i - \sum_{k \in \Theta_k} \min_{l \in \Theta_k} \left\{ \frac{c_l}{R_l} \right\} - \alpha_i(x_i(n) - \bar{x}_i)\right]\right)\right) \quad (3)$$

$$s_k^m(n) = \min_{l \in \Theta_k} \left\{ \frac{c_l}{R_l} \right\} \quad (4)$$

여기서  $\Theta_k$ 은  $k$ 번째 멀티캐스팅 연결 경로를 통하는 폭주 링크들의 집합을 나타내며,  $r_{ij}$ 는  $i$ 번째 폭주링크를 통한  $j$ 번째 단일 전송 연결 경로의 최대전송률을 나타내며,  $R_i = \sum_{j=1}^J r_{ij}$ 이다.  $R_l$ 은  $l$ 번째 연결에 대한 최대전송률의 합이며,  $c_l$ 은  $l$ 번째 연결의 현재 트래픽 전송률을 나타내

며,  $B_i$ 은  $i$ 번째 연결의 총 대역폭을 나타내고,  $\bar{x}_i$ 은 목표 대기열 레벨을 나타내고,  $\alpha_i$ 은 실험에 의하여 선택되어지는 제어 계수이다.

이에 되먹임 경로를 갖는 대기열 레벨은 다음과 같이 표현된다.

$$x_i(n+1) = x_i(n) - \alpha_i \sum_{j=1}^{J_i} [x_i(n - \tau_{ij}^n) - \bar{x}_i] + \tilde{c}_i - c_i \quad (5)$$

그러나, 이 모델은 통신망의 가용 대역폭( $c_i$ )이 하위 노드의 트래픽 상태에 따라서 변화하고, 트래픽 상태가 즉시 송신원에게 전달되어야 하기 때문에 패킷 교환망에서의 적용에는 한계를 갖는다. 이러한 문제를 해결하고, 통신망 상태의 진동현상을 막기 위하여 가용 통신망 대역폭을 추정하기 위한 EWMA 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘을 표현하면 다음과 같다.

$$\tilde{c}_i(n+1) = (1 - X)\tilde{c}_i(n) + X\Delta c_i \quad (6)$$

여기서  $\tilde{c}_i(n)$ 는  $[n, n+1)$ 동안의  $i$ 번째 연결의 추정되어진 가용 대역폭을 나타낸다. 식(6)에서  $\Delta c_i$ 는 왕복지연시간  $RTT$ 가 통신망의 가용 대역폭에 반비례하므로  $k \times \Delta RTT$ 로 표현된다. ( $k$ 는 실험적으로 설정되어지는 비례상수이다.) 왕복지연시간  $RTT$ 는 일반적으로 ICMP(internet control message protocol)에 의하여 전달되어진다. 이러한 접근 방식에 의하여, 현재의 트래픽 전송률  $c_i$ 는 가용 대역폭  $\tilde{c}_i$ 에 의하여 계산된다. 또한 이러한 구조는 통신망의 특성인 트래픽 진동현상을 개선시켜주는 효과를 가져올 수 있다. 이에 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$x_i(n+1) = x_i(n) - \alpha_i \sum_{j=1}^{J_i} [x_i(n - \tau_{ij}^n) - \bar{x}_i] \quad (7)$$

위식의 특성방정식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\Phi_i(z) = z^{D_i+1} - z^{D_i} + \alpha_i \sum_{j=1}^{J_i} z^{D_i - \tau_{ij}^n} \quad (8)$$

여기서  $D_i = \max_{j=1, \dots, J_i} \{\tau_{ij}^n\}$ 이다.

그림2는 단일 전송 연결의 예를 보여준다.  $\alpha_i$ 가 상수일 경우 대기열 레벨은 설정된 값에 도달할 수 없다. 이것은 정상상태 오차를 제거 할 수 없는 비례제어기 형태이기 때문이다. 목표 대기열 레벨에 도달하기 위하여(정상상태 오차를 제거하기 위하여)  $\alpha_i$ 는 비례-적분 제어기 형태로 선택되어져야 한다. 본 논문에 제안된 EWMA 알고리즘 기반의

폭주제어기는 개념적으로 비례-적분 제어기 형태를 취하고 있다.

식(8)에서, 시스템 안정을 위한 제어계수  $\alpha_i$ 의 범위는 다음과 같이 구할 수 있다[7].

$$0 < \alpha_i < \frac{2}{J} \sin\left(\frac{\pi}{4D_i + 2}\right) \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (9)$$

여기서  $J_i$ 는  $i$ 번째 폭주링크를 통한 단일 전송 연결의 수이다.

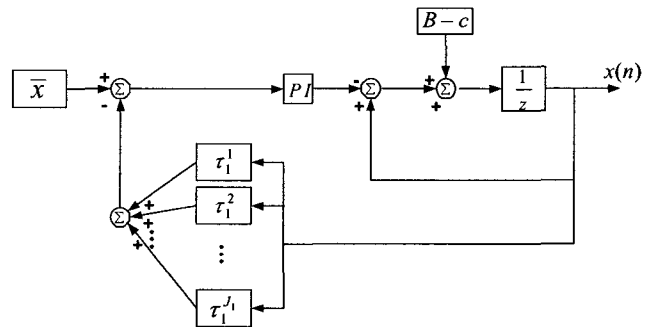


그림 2 단일전송 연결 모델.

Fig. 2 A unicast connection model.

#### IV. 시뮬레이션 시스템 및 실험결과

모의 실험을 위하여 그림 2와 같은 Mathworks사의 Simulink(Matlab Version6.5.0.180913a R13) 모델을 사용하였다. 그림3은 모의 실험을 위한 예제 통신망 모델이다. 여기서  $u_i$ 는 식(3)에 의하여 결정되는  $i$ 번째 단일 전송원을 나타내고,  $m_i$ 는 식(4)에 의한  $i$ 번째 멀티캐스트 전송원을 나타내며,  $Sw_j$ 는  $j$ 번째 폭주 스위치를 나타낸다. 폭주 스위치의 입력 트래픽은 표1과 같다.

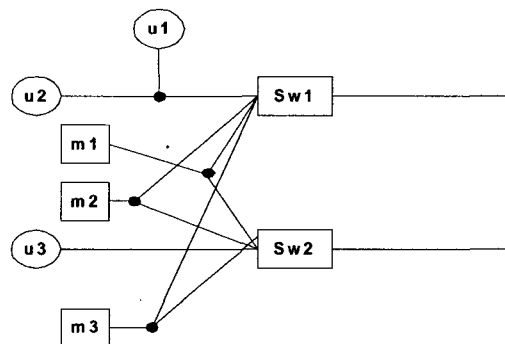


그림 3 모의실험을 위한 통신망 모델.

Fig. 3 An example network model for simulation studies.

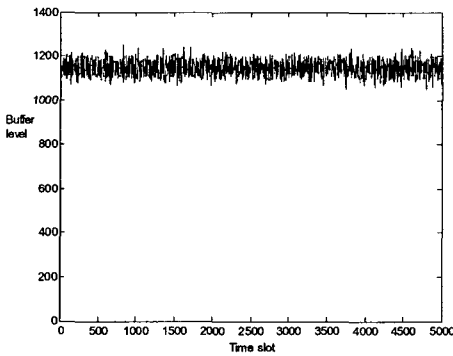
목표 대기열의 설정값은 400 [packets]이고 폭주 스위

치 Sw1의 총 대역폭은 1200 [packets/slot]이다. 표1은 모의실험을 위한 임의의 입력 트래픽 특성을 나타낸 것이다. 그림 4는 식(7)에 의한 폭주 스위치 Sw1에서의 대기열 레벨을 비교한 것이다. 본 논문에서 제안된 알고리즘이 하위 트래픽 상태를 고려하지 않은 모델에 대하여 보다 낮은 레벨을 유지함을 알 수 있다. 또한 폭주 링크에 대하여 설정 대기열의 값으로 유지됨을 알 수 있다. 그러나 하위 트래픽 상태를 고려하지 않은 경우 비례 제어 알고리즘에 의하여 정상상태 오차가 항상 존재하게 된다.

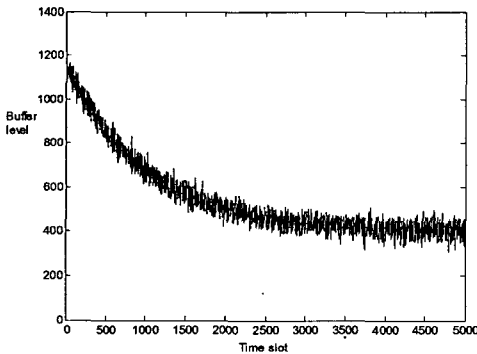
표1. 입력트래픽 특성

Table 1. Characteristic of input traffic

연결형태	단일연결전송원			다중연결전송원		
연결번호	1	2	3	1	2	3
최대전송률 (packets/slot)	500	400	200	300	200	100



(a) The congestion control scheme in [4].



(b) Proposed congestion control scheme.

그림 4 스위치 Sw1에서의 대기열 점유율 비교  
Fig. 4 Comparison of the buffer levels  
in the switch Sw1

통신망 제어 특성의 정량적 비교를 위하여 공평성 지수  $J_f$ [8]를 고려하면 다음과 같다.

$$J_f = \max_i \left( \frac{I_i - S_i}{I_i} \right) - \min_i \left( \frac{I_i - S_i}{I_i} \right) \quad (10)$$

$i \in [1, N]$ 이다.

여기서  $I_i$ 는  $i$ 번째 송신원의 입력 트래픽이고,  $S_i$ 는  $i$ 번째 송신원의 성공적인 데이터 전송을 나타내며,  $N$ 은 통신망에서의 전송원의 수를 나타낸다. 표2는 공평성 지수  $J_f$ 의 비교를 나타낸다. 이는 각 링크의 최대 전송률에 기반 공평성을 보여준다. 제안된 폭주제어 구조가 최대-최소 기반의 알고리즘 및 Nho의 알고리즘에 비하여 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘이 각 송신원에 대한 보다 효과적인 대역폭 할당을 통하여 데이터 손실을 줄인다는 것을 의미한다. 또한, 제안된 알고리즘이 WAN 환경에서도 보다 공평성 있는 자원 분배를 할 수 있음을 보여준다. 이는 본 논문에서 제시된 폭주제어 알고리즘이 보다 유연한 확장성을 보임을 의미한다.

표2. 공평성 지수  $J_f$ 의 비교

Table 2. Comparison of the measure of fairness  $J_f$

연결수	3	4	5	6
제안된 알고리즘	0.2489	0.3555	0.4127	0.5663
Nho 알고리즘[5]	0.6625	0.6140	0.6944	0.7002
최대-최소 공평성 모델[4]	0.7333	0.8423	0.8563	0.8733

## V. 결론

본 논문에서 다양한 연결구조에 따른 동적 트래픽 제어 기법이 제안되었다. 특히, 점대다중점 연결에서 EWMA 알고리즘에 기반한 트래픽 적응제어 기법을 통한 통신망 제어 기법이 보다 유연한 확장성과 보다 빠른 응답특성 및 데이터 손실을 감소시킬수 있음을 모의실험을 통하여 확인하였다. 이는 이러한 트래픽 제어 기법이 인터넷 환경에서의 실시간 영상 서비스와 같은 다양한 응용에서 사용될 수 있음을 의미한다.

## 참고문헌

[1] S. Tannenbaum, *Computer Networks*, NJ : Prentice Hall, 1996.  
 [2] D. Loguinov and H. Radha, "End-to-end rate-based congestion control: convergence properties and scalability analysis", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 11, no. 4, pp. 564-577, 2003.  
 [3] D. H. kim and Y. Z. Cho, "Impact of fast congestion notification function on multicast ABR branch point switch in ATM networks", *Proc. of IEEE Int. Conf. on*

Communication, pp. 1395-1400, New Orleans, 2000.

[4] J.-M. Nho and J.-T. LIM, "Congestion control with a new fairness criterion for multicast ABR service in ATM networks", *IEE Proc.-Comm.*, vol. 146, no. 3, pp.181-184, 1999.

[5] H.-Y. Tzeng and K.-Y. Siu, "On max-min fair congestion control for multicast ABR in ATM", *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. 15, no. 3, pp. 545-556, 1997.

[6] S. Deb and R. Srikant, "Congestion control for fair resource allocation in networks with multicast flows", *IEEE/ACM Trans., Netw.*, vol. 15, no. 2, pp. 274-285, 2004.

[7] K.-H. Shim and J.-T. LIM, "Extreme-point robust stability of a class of discrete-time polynomials", *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 15, pp.1421-1422, 1996.

[8] C. Douligeris and L. N. Kumer, "Access to a network channel: A survey in to the unfairness problem", *Proc. of ICC'92*, pp. 1184-1185, Chicago, U.S.A., 1992.



**안 중 구(Chong-Koo An)**

1977년 서울대학교 전기공학과 졸업  
1979년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)

1989년 Univ. of Texas at Austin (공학박사)

1979~1980년 현대중공업주식회사

1980~현재 울산대학교 전자공학과 교수



**신 성 옥(Soung-Wook Shin)**

2000년 울산대 전기공학과 졸업

2002년 울산대학교 전자공학과 (공학석사)

2006년 울산대학교 전자공학과 (공학박사)

2006년7월~현재 울산대학교 전자공학과 박사후연수과정



**최 재 하(Jae-Ha Choi)**

1976년 연세대학교 전기공학과 졸업

1978년 연세대학교 전기공학과

(공학석사)

1980~현재 울산대학교 전자공학과 교수



**이 승 협(Seng-Hyup Lee)**

1993년 경일대학교 전자공학과 졸업

2001년 울산대학교 정보통신대학원

(공학석사)

2001년~현재 울산대학교 전자공학과

박사과정



**추 형 식(Hyung-Suk Chu)**

1997년 울산대 전자공학과 졸업

1999년 울산대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 울산대학교 전자공학과 (공학박사)

2004년9월~현재 울산대학교 전자공학과 강의전담교수