

퍼지 로직을 이용한 ATM 망의 ABR 트래픽 제어

ABR Traffic Control Using Fuzzy Logic in ATM Networks

오 석 용, 박 동 조

(Seok-Yong Oh and Dong-Jo Park)

한국과학기술원 전기및전자공학과

Tel: 042-869-8038

Fax: 042-869-3410

e-mail: djpark@eekaist.kaist.ac.kr

ABSTRACT

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용하여 ATM 망의 ABR (Available Bit Rate) 트래픽 제어를 위한 효과적이고, 안정적인 피드백 제어 알고리즘을 제안한다. 기존 알고리즘들의 단점을 보완하면서, 망 내의 상황이 변하더라도 자가 학습 기능 (self-learning capability)을 이용하여 파라미터 값들을 상황에 맞게 변화시키는 퍼지 로직을 이용한 새로운 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 Projection algorithm을 이용하여, 과거의 데이터로부터 다음 순간의 ABR 버퍼의 크기를 예측하며 퍼지 제어기의 출력 함수 파라미터들은 성능함수를 최소화하도록 학습된다. 제안된 알고리즘은 안정성 (stability)이 보장되며, Upstream bottleneck 환경등의 특수하고, 제한된 상태에서도, 요구되는 QoS와 max-min fairness가 만족되고, 링크 효율을 극대화 할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 입증한다.

I. 서 론

ATM 내의 트래픽은 크게 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽으로 나눌 수 있으며, 실시간 트래픽은 시간 지연에 민감한 서비스 품질을 갖고, 비 실시간 트래픽은 셀 손실에 민감한 서비스 품질을 갖는다. 대표적인 실시간 트래픽에는 VBR (Variable Bit Rate), CBR (Constant Bit Rate) 등이 있고, VBR 은 화상이나 동영상을 실시간으로 전송할 때에 사용하고, CBR 은 주로 음성 데이터의 전송에 사용된다. ABR 트래픽은 대표적인 비실시간 트래픽으로써 망 내에 VBR 이나 CBR (Constant Bit Rate) 등의 트래픽이 존재할 때에 이들 트래픽에 우선적으로 대역 폭을 할당하고, 남은 대역 폭을 이용하여 데이터를 전송하게 된다. 따라서, 서비스 특성은 시간 지연에는 어느 정도 견딜 수 있고, 셀 손실에 민감한 비실시간 데이터 전송에 적합하다고 할 수 있다.

ATM Forum에서는 남은 망 자원을 효율적으로 사용하기 위해, ABR 서비스를 위한 트래픽 제어 방식으로 전송 속도 (source rate) 에 기초한 양 끝단간의 (end-to-end) 피드백

제어 방식을 표준 방식으로 채택한 바 있다. 중간 지점에 위치한 ATM 교환기에서는 ABR 셀 중에 Resource Management (RM) 셀이라고 하는 트래픽 제어를 목적으로 하는 특수한 셀 내의 Explicit Rate (ER) 필드를 이용하여 망에서 요구되는 전송 속도를 source 측과 destination 측에 알릴 수 있다. source 측에서 전송한 RM 셀이 교환기를 거쳐 destination에 도착하면, destination에서는 이를 다시 source 측으로 피드백 시키고, 중간 교환기에서 계산된 ER 값을 실은 RM 셀이 source 측에 도착하면, source는 망에서 요구되는 전송 속도로 바꾸어 셀들을 전송하게 된다. 이 때 망 내의 가용 자원이 셀 전송을 요구하는 모든 source 들에게 공정하게 분배되어야 하며 ATM Forum에서는 이러한 공정성을 max-min fairness 로 정의하였다. 이것은 망 내의 연결 (connection) 들 중, 가장 작은 전송 속도를 가질 수 밖에 없는 연결이 가능한 최대의 대역 폭을 할당 받을 수 있도록 하는 것을 의미한다. 공정성을 보장하면서 교환기의 전송 효율 (link-utilization)을 극대화 할 수 있는 효과적이고, ABR 트래픽에 요구되는 QoS를 만족시킬 수 있는 제어 알고리즘이 요구된다.

잘 알려진 ERICA (Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance) 알고리즘을 포함하여 지금까지, 많은 수의 ABR 트래픽 제어 알고리즘들이 제안되어 왔다. 그러나 이들 대부분의 알고리즘들은 알맞게 조절되지 않으면 공평한 대역 폭 할당에 문제를 일으키는 많은 수의 파라미터들을 갖는다는 것이 단점으로 지적되어 왔다. 또한, 어떤 알고리즘들은 특수하고, 제한된 상황에서 역시 max-min fairness의 기준을 충족시키지 못하는 문제점을 나타낸다는 것이 보고되어 왔다.

본 논문에서는 이들 알고리즘들의 단점을 보완하면서, 망 내의 상황이 변하더라도 자가 학습 기능 (self-learning capability)을 이용하여 파라미터 값들을 상황에 맞게 변화시키는 퍼지 로직을 이용한 새로운 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 안정성 (stability)을 수학적으로 분석하며, Upstream bottleneck 환경등의 특수하고, 제한된 상태에서도 제안된 알고리즘을 사용할 경우, 요구되는 QoS와 max-min fairness가 만족되고, 링크 효율을 극대화 할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 입증한다. 잘 알려진 ERICA 등의 다른 알고리즘과 시뮬레이션 결과를 비교하여 제안된 알고리즘의 우수성을 보인다.

II. ABR 서비스를 위한 트래픽 제어 알고리즘

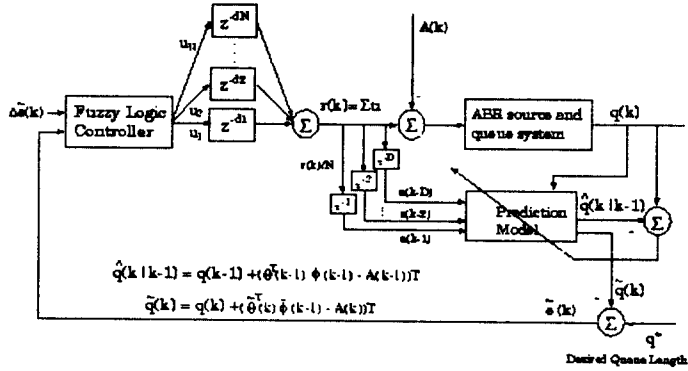
제안된 알고리즘은 그림 1과 같은 구조를 갖는다. Prediction Model 부분에서는 Projection algorithm을 이용하여, 과거의 데이터로부터 다음 순간의 ABR 버퍼의 크기를 예측한다. 망 내의 연결 상태와 ABR 버퍼 값, 링크 효율 등을 모니터하여 퍼지 로직 제어기의 입력으로 사용한다. 병목 노드에 도착하는 source 트래픽은 d 시간만큼 지연되어 도착한다. d 시간 지연된 후에 도착하는 source의 개수를 θ_d 라고 하면, 병목 노드에서의 버퍼의 크기는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\hat{q}(k) = S_0^Q \{q(k-1) + (\sum_{d=1}^D \theta_d(k)u(k-d) - A(k-1))T\}. \quad (1)$$

여기서 S_0^Q 는 버퍼의 최대 크기 Q와 최소치 0를 갖는 포화함수를 나타내고, A는 가용 대역폭을, T는 샘플링 주기를 의미한다. 이것을 벡터 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\hat{q}(k) = S_0^Q \{q(k-1) + (\theta^T(k) \phi(k-1) - A(k-1))T\}, \text{ 여기서,}$$

$$\theta^T(k)_{(D \times 1)} = [\theta_{1(k)} \theta_{2(k)} \dots \theta_{D(k)}], \phi^T(k-1) = [u(k-1)u(k-2) \dots u(k-D)] \text{ 이다. } \theta \text{ 값을}$$



찾기 위해 Projection Algorithm을 사용하면, θ 에 대한 다음과 같은 갱신 식을 얻는다.

그림 1. 제한된 ABR 트래픽 제어 방식의 블록 다이어그램

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{\phi(k-1)}{\phi^T(k-1)\phi(k-1)T}(q(k) - \hat{q}(k|k-1)) \quad (2)$$

여기서 $\hat{q}(k|k-1) = q(k-1) + (\theta^T(k-1)\phi(k-1) - A(k-1))T$ 이다.

식 (1)에서 분모가 0이 되는 것을 막기 위해 다음과 같이 변형된 식을 사용한다.

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \mu \frac{\phi(k-1)}{c + \phi^T(k-1)\phi(k-1)T}(q(k) - \hat{q}(k|k-1)) \quad (3)$$

이 때, 수렴성의 조건으로부터 $c > 0$, $0 < \mu < 2$ 의 범위를 갖는다.

퍼지 로직 제어기에서는 퍼지 추론 과정을 거쳐 현 상태에서 주어진 성능함수 (Performance Index)를 최소화하기 위한 전송 속도를 계산하고, 이렇게 계산된 값은 각 source 로부터의 RM 셀이 교환기에 도착할 때, RM 셀 내부의 ER 필드에 기록되게 된다. 퍼지 제어기의 출력 함수로는 입력값들의 선형 함수로 구성되는 Sugeno-type의 출력 함수를 사용한다. 이 때 출력 함수의 제어 파라미터들은 성능함수를 최소화하도록 학습된다. 정방향 RM 셀이 도착할 때, 스위치에서는 측정된 가용 대역 폭과 활성화 source 수로부터 fair share를 계산하고, 각 source들에 할당될 전송률을 결정한다. 이러한 과정은 다음 순간의 버퍼의 크기를 예측하는 것으로부터 시작된다.

$$\hat{q}(k+1|k) = q(k) + (\hat{\theta}(k)^T \phi(k) - A(k))T \quad (4)$$

퍼지 제어기의 출력 값은 다음의 성능 함수를 최소화 하는 방향으로 진행된다.

$$J(k+1) = [q_d - \hat{q}(k+1|k)]^2 = \hat{e}^2(k+1) \quad (5)$$

$\hat{e}(k+1)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{e}(k+1) &= q_d - \hat{q}(k+1|k) \\ &= q_d - \{q(k) + (\hat{\theta}(k)^T \phi(k) - A(k))T + \theta_1(k)u(k)T\} \\ &= q_d - \{q(k) + (\hat{\theta}(k)^T \phi(k) - A(k))T\} - \theta_1(k)T\Delta u(k) \\ &= \tilde{e}(k) - B \cdot \Delta u(k) \end{aligned} \quad (6)$$

이 때

$$\begin{aligned}
\bar{\theta}(k)_{(D-1) \times 1} &= [\theta_2(k) \theta_3(k) \cdots \theta_{D(k)}]^T \\
\bar{\phi}(k-1)_{(D-1) \times 1} &= [u(k-1) u(k-2) \cdots u(k-D+1)]^T \\
\bar{\theta}(k)_{(D-1) \times 1} &= [(\theta_1(k) + \theta_2(k)) \cdots \theta_D(k)]^T \\
\tilde{e}(k) &= q_d - \{q(k) + (\bar{\theta}^T(k) \bar{\phi}(k-1) - A(k))T\} \\
B &= \theta_1(k)T.
\end{aligned}$$

퍼지 제어기의 출력은 다음과 같다.

$$\Delta u(k) = F[\tilde{e}(k), \Delta \tilde{e}(k)] \quad (7)$$

여기서 F는 퍼지 출력함수를 뜻한다. 퍼지 규칙들은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
\text{Rule}_m: \text{ IF } \tilde{e}(k) \text{ is } A_m \text{ and } \Delta \tilde{e}(k) \text{ is } B_m \\
\text{ THEN } u_m(k) = a_m \tilde{e}(k) + b_m \Delta \tilde{e}(k).
\end{aligned}$$

source rate $u(k)$ 를 얻기 위해 다음과 같은 비퍼지화 방법을 사용한다.

$$F[\tilde{e}, \Delta \tilde{e}] = \frac{\sum_m v_m u_m(k)}{\sum_m v_m} \quad (8)$$

여기서 v_m 은 m 번째 규칙의 가중치를 의미하고, M 은 각 퍼지 집합의 소속 함수를 뜻한다.

식 (7)을 벡터형태로 나타내면 다음과 같고,

$$\Delta u(k) = w^T a(k) \tilde{e}(k) + w^T b(k) \Delta \tilde{e}(k) \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
\text{여기서, } w^T &= \left[\frac{v_1}{v_s} \frac{v_2}{v_s} \cdots \frac{v_R}{v_s} \right], v_s = \sum_m v_m, a^T(k) = [a_1(k) a_2(k) \cdots a_R(k)], \\
b^T(k) &= [b_1(k) b_2(k) \cdots b_R(k)]
\end{aligned}$$

식 (9)는 PI 제어기의 증분형으로써, $a(k), b(k)$ 는 다음과 같이 gradient 방법에 의해 갱신된다.

$$\begin{aligned}
a(k) &= a(k-1) - \eta z(k-1) \frac{\partial \tilde{e}(k)}{\partial a} \tilde{e}(k), \\
b(k) &= b(k-1) - \eta z(k-1) \frac{\partial \tilde{e}(k)}{\partial b} \tilde{e}(k).
\end{aligned}$$

$$z(k-1) = \begin{cases} 1, & \text{if } w^T a(k-1) - \eta w^T b(k-1) Y^2 \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y^2 = \left\| \frac{\partial \tilde{e}(k)}{\partial a} \right\|^2 + \left\| \frac{\partial \tilde{e}(k)}{\partial b} \right\|^2$$

$z(k-1)$ 은 전체적인 제어 시스템의 안정성을 위해 필요하다. 이것은 Lyapunov의 정리를 이용하여 증명할 수 있다. 역방향 RM 셀이 도착할 때, 위에서 계산된 u 값과 RM 셀의 ER field에 기록된 값을 비교하여 작은 값이 ER field에 기록된다. 링크 용량에 대한 총 입력 트래픽의 비율을 utilization factor로 정의하고, 이 값이 목표치보다 클 경우에는 fair share와 $u(k)$ 중 최소값을, 그렇지 않으면 최대값을 할당한다.

III. 모의 실험 결과

그림 2와 같은 upstream-bottleneck 모델을 가정한다.

각 링크 용량은 155 Mbps를 가정하고, 각각의 링크 길이는 1Km로 가정한다. 여기서 VC1은 VBR source이고, 나머지는 ABR source들이다. 처음의 링크에서의 제한 때문에 VC4는

ABR 트래픽에 할당된 대역폭의 1/3 로 제한된다. 따라서, VC5는 두 번째 링크의 2/3에 해

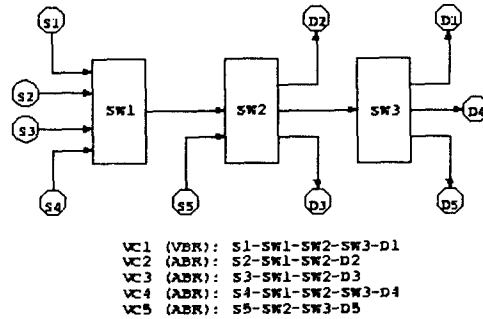


그림 2. Upstream-bottleneck model

당하는 대역폭을 할당받는다. VBR 트래픽의 발생은 Maglaris등에 의해 제안된 autoregressive 방법을 따른다. 발생한 VBR의 최대 셀 전송률은 80 Mbps, 평균 셀 전송률은 45Mbps이다. 성능 평가를 위해 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 잘 알려진 ERICA 방법의 결과와 비교한다. 그림 3은 이것을 나타낸다. 그림 3에서 보듯이 ERICA의 경우에 공정성이 지켜지지 않고, 링크 효율도 나쁜 결과를 얻게 되지만, 그림 4에 나타난 것과 같이 제안된 알고리즘을 사용할 경우에는 높은 링크 효율과 공정한 대역폭을 할당 받을 수 있었다.

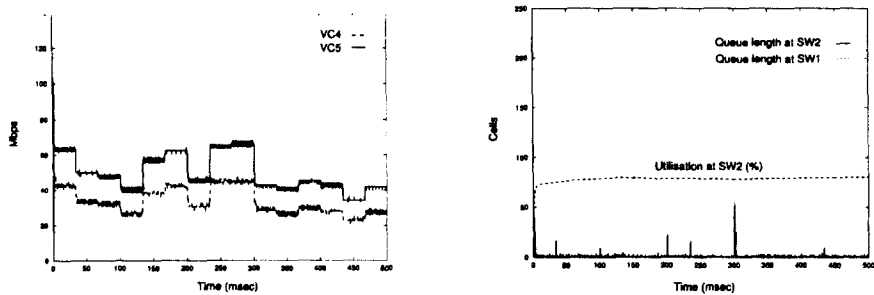


그림 3. 실험 결과 - ERICA

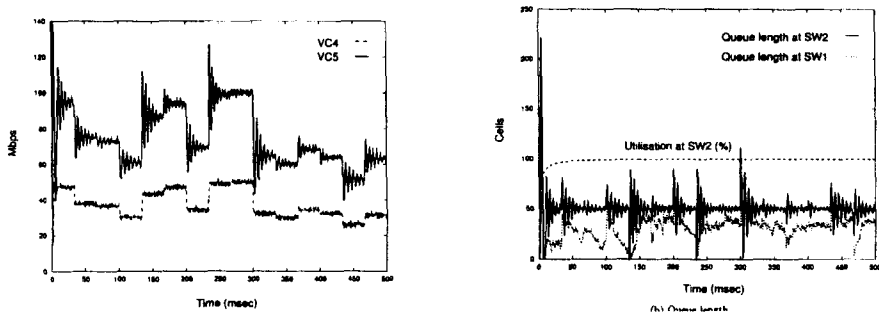


그림 4. 실험 결과 - 제안된 방법

IV. 결 론

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용하여 ATM 망의 ABR (Available Bit Rate) 트래픽 제어를 위한 효과적이고, 안정적인 피드백 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 Projection algorithm을 이용하여, 과거의 데이터로부터 다음 순간의 ABR 버퍼의 크기를 예측하며 망 내의 연결 상태와 ABR 버퍼 값, 링크 효율 등을 모니터링하여 퍼지 로직 제어기의 입력으로 사용한다. 퍼지 로직 제어기에서는 퍼지 추론 과정을 거쳐 현 상태에서 주어진 성능함수 (Performance Index)를 최소화하기 위한 전송 속도를 계산하고, 이렇게 계산된 값은 각 source 로부터의 RM 셀이 교환기에 도착할 때, RM 셀 내부의 ER 필드에 기록되게 된다. 퍼지 제어기 출력 함수의 제어 파라미터들은 성능함수를 최소화하도록 학습된다. 제안된 알고리즘은 안정성이 보장되며, Upstream bottleneck 환경의 특수하고, 제한된 상태에서조차 제안된 알고리즘을 사용할 경우, 요구되는 QoS와 max-min fairness가 만족되고, 링크 효율을 극대화 할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

참고 문헌

- [1] The ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0 <ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0056.000.ps>, Apr., 1996.
- [2] A. Charny, D. D. Clark, and R. Jain, "Congestion Control with Explicit Rate Indication," *Proc. of ICC'95*, June, 1995.
- [3] K. Y. Siu and H. Y. Tzeng, "Adaptive Proportional Rate Control for ABR Service in ATM Networks," *Proc. INFOCOM*, pp.529-535, 1995.
- [4] S. Muddu, F. M. Chiussi, C. Tryfonas and V. P. Kumar, "Max-min Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *Proc. ICC'96*, pp.569-576,
- [5] F. M. Chiussi, Y. Xia, and V. P. Kumar, "Dynamic Max Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *Proc. IEEE GLOBECOM*, vol. 3, pp.2108-2117, Nov, 1996.
- [6] A. Arulambalam, X. Chen, and N. Ansari, "Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.92-100, Nov, 1996.
- [7] A. Pitsillides, Y. A. Sekercioglu, and G. Ramamurthy, "Effective Control of Traffic Flow in ATM Networks Using Fuzzy Explicit Rate Marking(FERM)," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, No. 2, pp.209-225, Feb, 1997.
- [8] T. Takagi, and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and its Applications of Modeling and Control," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-15, pp. 116-132, 1985.
- [9] B. Mgalaris, D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson and J. D. Robbins, "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications," *IEEE Trans. Communications*, vol. 36, No. 7, pp. 834-843, 1988.