
ABR 서비스를 위한 예측 트래픽 제어모델

오창윤*, 임동주*, 배상현*

Predictive Traffic Control Scheme of ABR Service

Chang-Yun Oh, Dong-Ju Im, Sang-Hyun Bae

요 약

ATM은 비동기 시분할 다중화와 통계적 다중화 특성을 기존의 데이터 통신분야에 도입함으로써 데이터와 음성, 영상과 같은 멀티미디어 등의 다양한 통신들을 유연하게 서비스할 수 있다. ATM 서비스는 트래픽 특성과 요구되는 서비스 품질에 따라 CBR, VBR, UBR, ABR로 구분하는데 그 중 ABR 서비스는 최소의 대역폭을 보장하고 가용 대역폭을 최대 셀 전송률까지 높여 트래픽을 전송할 수 있으며, 셀 손실을 줄이기 위해 피드백 정보를 활용하여 트래픽을 제어한다.

본 논문에서는 피드백 정보를 위한 예측제어 알고리즘을 제시한다. ATM 스위치에서 발생한 피드백 정보가 역 방향 노드에 도착하기 위해 긴 지연시간을 갖는 경우에, ATM 스위치에서 큐 길이의 증가로 인한 혼잡상황이 발생할 수 있으며 또한 큐 길이의 시간 대비 변화량이 크게 된다. 이 논문에서 제시한 예측제어 알고리즘들은 예시적인 피드백 제어방식으로 시간 대비 큐 길이함수의 기울기와 이전의 큐 변화량을 이용하여 미래의 큐 길이를 예측하려 하였으며, 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘은 효과적임이 증명되었다.

ABSTRACT

Asynchronous transfer mode(ATM) is flexible to support the various multimedia communication services such as data, voice, and image by applying asynchronous time-sharing and statistical multiplexing techniques to the existing data communication. ATM service is categorized to CBR, VBR, UBR, and ABR according to characteristics of the traffic and a required service qualities. Among them, ABR service guarantees a

* 조선대학교 전산통계학과

접수일자 : 1999년 11월 19일

minimal bandwidth and can transmit cells at a maximum transmission rate within the available bandwidth. To minimize the cell losses in transmission and switching, a feedback information in ATM network is used to control the traffic.

In this paper, predictive control algorithms are proposed for the feedback information. When the feedback information takes a long propagation delay to the backward nodes, ATM switch can experience a congestion situation from the queue length increases, and a high queue length fluctuations in time. The control algorithms proposed in this paper provides predictive control model using slop changes of the queue length function and previous data of the queue lengths. Simulation shows the effectiveness result of the proposed control algorithms.

I. 서 론

Available bit rate(ABR) 서비스는 데이터 트래픽의 특성에 의한 예측할 수 없는 폭주현상에 대해서 적절한 제어를 사용함으로써 원하는 데이터 서비스의 품질을 보장할 수 있도록 한다. 그러므로 네트워크의 현재 상태에 따라 각 전송 소스의 ABR 전송률을 동적으로 조정하기 위해 피드백 메커니즘을 사용한다[2]. ABR 흐름제어는 모든 ABR 사용자에게 가역 대역폭을 공정하게 분배할 수 있도록 하며 셀 손실을 줄일 수 있도록 고안되었다[2]. 즉, 망 상태에 따라 적응적으로 대처함으로써 보다 나은 패킷 손실률 및 주어진 자원의 공평한 공유를 유지하게 해 주어야 한다. ABR 서비스를 위해 수행되는 피드백 제어 메커니즘에서 트래픽 제어정보를 전달하기 위해 ATM 셀 중에서 정체관리 셀인 RM(resource management) 셀을 사용하는데 RM 셀은 망 상태에 따르는 제어정보에 대한 자세한 사항을 기술하여 소스로 전달하고 소스는 이 RM 셀을 이용하여 현재의 네트워크부하로부터 적합한 셀 전송률을 조정하게 된다[2].

ABR 서비스의 트래픽 제어를 위한 표준으로 ATM 포럼에서는 TM 4.0이 승인되어 ABR 서비스 파라미터, RM 셀 구조, 스위치와 송수신 단말기의 동작 등에 대한 기본 규정을 확정하였고 피드백 트래픽 제어알고리즘에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[2][4]. 특히 ABR 트래픽 제어를 위한 피드백 제어 알고리즘에 대한 대부분 연구는 ATM 스위치내부의 큐의 임계치를 이용한 제어알고리즘에 초점을 맞추고 있다[2]. 그러나 이와 같

이 기존에 제시된 알고리즘들은 소스와 목적지 사이에 발생한 폭주에 대해서, 스위치에서 소스로 전달되는 역방향 RM 셀의 전송 시간 지연이 길어지는 경우에 효과적인 제어가 불가능하거나, 스위치에서의 요구되는 큐길이가 더 많이 요구될 수 있으며, 그리고 스위치에서의 큐길이의 변화가 시간에 따라 가변성을 갖게 된다[8][11][12]. 큐길이의 가변성이 심하면 효율적인 ATM 트래픽 제어를 방해하는 요인이 된다. 위에서 언급한 피드백 정보 전송지연은 망의 혼잡상황 이나 물리적인 전송시간이 긴 경우가 다 포함된다.

본 논문에서는 ABR 서비스를 위한 동적인 연결이 설정된 이후에 서비스에 대한 타임아웃 시간 내에 효과적인 제어를 위한 제어함수 및 피드백 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 방법은 피드백 정보의 지연으로부터 야기되는 문제들을 해결하기 위한 것이다. 스위치에서 구현되는 알고리즘으로서 큐 길이의 미래 값을 예측하여 피드백 지연으로 발생하는 문제를 미리 해결한다. 즉, 스위치에서 미래의 큐 길이를 예측하고 혼잡상황이 발생할 수 있으면 미리 소스의 전송률을 감소시키면서 피드백 정보로 활용한다.

미래 큐 길이의 예측을 위해서 스위치의 셀 입력율과 큐 길이에 대해서 주기적으로 모니터링하고, 정규화된 최소제공평균(NLMS) 알고리즘[6][7]을 사용하여 미래 큐 길이 예측함수를 주기적으로 최적값에 적응시킨다. 이 미래 큐 길이 예측함수와 더불어 기존의 임계값을 이용한 피드백 알고리즘을 이용하여 새로운 소스의 전송률을 구하도록 하였다. NLMS 방식은 미래 큐 길이 예측함수로 큐

상태 예측을 하게 된다.

피드백 제어모델과 예측제어기 및 ER 알고리즘에 대해서는 다음 2장에서 설명하고, 3장에서는 개선된 ER 피드백 방식과 제안된 피드백 방식을 조합 수행한 모의실험 결과를 제시하고 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 모델과 알고리즘

1. 모델

제안된 피드백 예측 제어모델의 기본적인 큐잉 모델은 그림 1에 나와 있다. 그림에서와 같이 N 개 소스는 단일 스위치로 패킷 데이터 셀을 전송하고, 스위치에서의 셀 전송율은 일정하며 큐의 상태는 정기적으로 모니터링 된다. 여기서 소스와 스위치 사이의 패킷 데이터의 전송지연시간은 d_i 이고 소스들이 랜덤하게 ABR 서비스를 위해 추가 또는 삭제된다고 가정한다. 네트워크 상태는 스위치 노드에 있는 큐 길이 $Q(n)$ 에 의해 시간 n 에 따라 명시되어진다. 주어진 ABR 트래픽 처리 버퍼에 대해서 큐 길이의 상한 임계치를 T_H , 하한 임계치를 T_L 이라 한다.

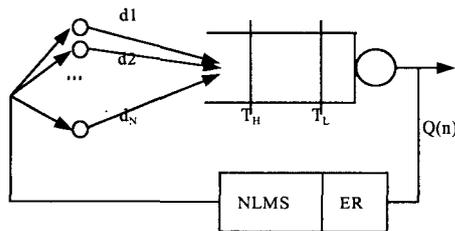


그림 1. 피드백 제어모델
Fig 1. Feedback Control Model

제안된 피드백 제어모델에서는 예측함수(predictive control function)를 사용한다. 예측함수는 큐 길이의 시간에 따르는 변화량에 반응하여 미래 큐 길이 값을 계산한다.

2. 예측제어기

만일 미래의 예측된 큐의 크기가 상한 임계치

T_H 를 초과할 경우, 스위치는 폭주 상황이 발생될 것을 고려하여 소스의 전송률을 감소시키기 위해 스위치로 전송되는 역방향 RM 셀에 ER(Explicit Rate)값을 계산하여 보낸다. 그러나, 버퍼크기가 상한 임계치 T_H 보다 작은 경우는 ER 값 대신에 비폭주 상황을 소스에게 알리기 위해 소스가 ACR (Available Cell Rate) 값을 계산하여 소스 전송률을 바꾸도록 한다. 그림에서 예측제어기는 현재 버퍼크기와 시간 n 에서의 가중인자(기울기)를 가지고 다음 k 단계의 버퍼의 버퍼크기를 추정한다.

$Q(n)$ 이 시간 n 에서의 버퍼크기라 하면 k 단계의 예측제어기는 다음과 같이 주어진 식에서 k 단계의 버퍼크기를 $Q(n)$ 로부터 추정한다.

$$Q(n+k) = a^k(n) Q(n) \dots\dots\dots(1)$$

여기서 $a(n)$ 은 n 시간에 추정된 가중인자이고, $k = 1, 2, \dots, t$ 는 최대 예측구간이다. 시간 n 에서의 예측오차는

$$e(n) = Q(n) - \hat{Q}(n) \dots\dots\dots(2)$$

이고,

여기서 $\hat{Q}(n) = a(n-1)Q(n-1)$ 이다.

예측 계획에서는 각 시간단계에서 가중인자를 수정하기 위해 에러를 사용합니다. 가중인자 $a(n)$ 은 소스가 추가 또는 제거되거나 소스의 활동단계가 변화되는 것에 영향을 받는다. 그래서 본 논문에서는 가중인자를 추정하는 것에 문제를 삼고 정규화된 최소제곱평균오차(NLMS) 선형 예측 알고리즘을 사용한다. 초기값이 $a(0) = 0$ 로 주어지면 가중인자 값은 다음과 같이 수정된다.

$$a(n) = a(n-1) + \frac{\mu e(n) Q(n-1)}{|Q(n-1)|^2} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 μ 는 상수이며 $Q(n)$ 이 정점일 경우, $a(n)$ 은 최적해로서 평균제곱에 수렴하며, 정규화된 최소제곱평균오차 NLMS는 인자 3μ 에 별로 영향을 받지 않은 것으로 알려졌다. 각 시간단계에서 가중인자 $a(n)$ 은 실제 버퍼크기 $Q(n)$ 과 추정된 버퍼크기 $\hat{Q}(n)$ 의 차이인 잔차 $e(n)$ 에 의해 버퍼크기가 증가 또는 감소되었는가에 대한

함수 변화 방향을 지시한다.

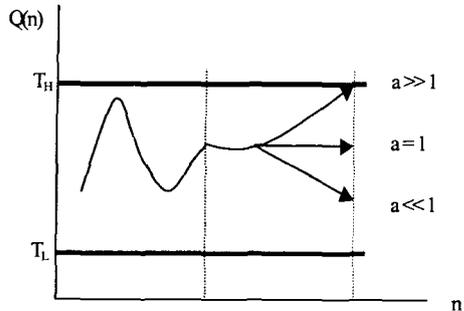


그림 2. 예측계획
Fig 2. The Prediction Scheme

그림 2는 본 논문에서 제시하는 예측계획을 나타낸다. $a \gg 1$ 이라면, 예측된 버퍼크기는 $Q(n+k) = a^k(n)Q(n)$ 식에 의해 증가되며 T_H 에 일치한 시간 k 는 시간 n 에서 명시된 $Q(n)$ 과 $a(n)$ 을 사용하여 미리 예측될 수 있다.

3. ER 알고리즘

본 논문에서는 해당 시간 전에 k 단계의 버퍼크기를 예측하기 위해 NLMS 알고리즘을 사용한다. 시간 n 으로 부터 예측된 버퍼크기 $\hat{Q}(n+k)$ 값을 바탕으로 ER 값은 스위치에서 다음과 같이 계산된다.

- 1) 어떤 폭주상황도 감지되지 않을 경우에 $\hat{Q}(n+k)$ 값은 상한 임계치 T_H 보다 더 크지 않으며 $\hat{Q}(n+k) > T_L$ 이면, 소스에 대한 ER 값은 ATM Forum 표준에 명시된 선형증가 알고리즘에 의해 스위치에서 계산된다.
- 2) 어떤 폭주상황도 감지되지 않고 $\hat{Q}(n+k) < T_L$ 이면, 소스에 대한 ER 값은 스위치에서 지수함수적으로 증가된다. 만약 폭주 상황이 예측한 큐길이 $\hat{Q}(n+k)$ 의 시간 n 에서 감지된다면, ER 값은 다음과 같이 계산된다.

$ER = Fair_Share \times Explicit_Reduction_Factor$, 여기서,

$$Fair_Share = \frac{Link_speed_at_switch}{Number_of_sources} \text{ 이다.}$$

III. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 환경

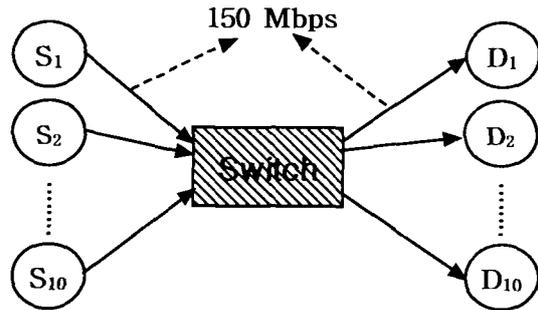


그림 3. 시뮬레이션 모델
Fig 3. Simulation Model

본 논문에서 제시한 제어알고리즘의 시뮬레이션 모델은 그림 3에서와 같이 스위치의 링크속도를 150 Mbps로 하고 스위치에 링크되는 N 개 각각의 소스에 대한 링크속도는 $150Mbps/N$ 으로 하였으며 5000개와 1000개의 셀에 대해 상한 임계치와 하한 임계치 버퍼를 가진 단일 병목현상 스위치에 대해 Visual C++을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용되는 매개변수 값은 PCR(Peak Cell Rate)을 150 Mbps으로 하고 AIR(Additive Increase Rate)을 0.1 Mbps, ERF(Explicit Reduction Factor)을 4/5로 가정하며, 여러 가지 패킷 데이터셀 생성 시간을 가진 10개의 소스를 시뮬레이션에 사용하였다. 변화되는 상태를 실험하기 위해, 소스에 갑작스런 변경을 주었다. {2, 4, 6, 9, 11, 13, 16, 20, 21, 23} 내의 숫자는 시간단위 n 에서 소스로부터 스위치로의 시간지연 d_i 를 나타내며 시간단위 1000에서, 각 소스에 대한 시간지연 d_i 는 {14, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 30}을 가진다고 가정한다.

2. 시뮬레이션 결과

그림 4에서는 본 논문에서 제안한 NLMS 예측

알고리즘과 ER 알고리즘을 조합한 경우와 ER 알고리즘에 대해 각각의 스위치 버퍼크기의 변화를 나타낸 것입니다. 그림에서, 상한 임계치를 5000으로 하고 하한 임계치를 1000으로 한다. 그림에서 시간 1000 변환점 이후에 버퍼크기 $Q(n)$ 의 변동이 심한 것은 다른 소스에 비해 더 오래 지연시간을 갖는 소스가 스위치에 도달함으로써 발생된 것이며, 이로 인해 버퍼크기가 최고 임계치를 초과하게 된다.

그림 4에서 NLMS 계획을 사용했을 경우 시간 단위 1000 이전에 버퍼크기는 ER 알고리즘만을 사용했을 때와 비교해서 상한 임계치보다 훨씬 작고 버퍼크기의 변동도 그리 심하지 않음을 알 수 있다. 그러나 시간 변환점 이후에 다른 소스보다 더 오랜 시간 동안 지연된 소스에 의한 버퍼크기의 변동이 예측방법을 사용함에도 불구하고 변환점 이전보다 더 심한 변동이 발생하고 있다. 또 다른 알고리즘에 대한 모의실험 결과에서도 버퍼크기는 NLMS 알고리즘과 유사하게 변동이 심하며, 오히려 버퍼크기가 예측 알고리즘을 사용한 경우보다 그 변동의 폭이 크게 된다.

시뮬레이션 결과부터 버퍼크기를 예측하기 위해 ER 알고리즘만을 사용한 경우와 조정된 NLMS 예측알고리즘을 사용한 경우에 대한 성능 비교표는 <표 1>와 같다. 표에서도 나타난 바와 같이 본 논문에서 제시한 NLMS 예측알고리즘이 ER 알고리즘만을 사용한 경우보다 훨씬 더 버퍼크기의 변화가 안정적임이 입증되었다.

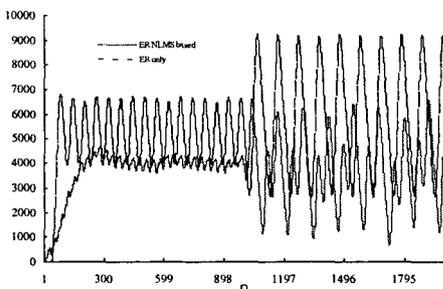


그림 4. ER과 NLMS 방법에 대한 $Q(n)$ 비교
Fig 4. Comparison of $Q(n)$ for ER only and ER with NLMS

<표 1> ER과 NLMS 방식의 성능 비교표

<Table 1> Performance comparison of ER only with ER and NLMS

순서	지연 시간	ER 버퍼값	NLMS 버퍼값	순서	지연 시간	ER 버퍼값	NLMS 버퍼값
1	2	300	300	11	14	5,345	3,849
2	4	5,134	1,915	12	16	5,666	1,772
3	6	6,459	3,700	13	17	5,987	2,765
4	9	4,183	4,393	14	19	6,308	5,950
5	11	5,203	3,992	15	20	6,629	2,658
6	13	6,565	3,816	16	22	6,950	4,606
7	16	4,061	3,763	17	23	7,270	1,670
8	20	5,274	3,895	18	26	7,592	3,159
9	21	6,459	3,825	19	28	7,913	5,830
10	23	4,131	3,762	20	30	8,234	3,423

IV. 결 론

본 논문에서는 폭주 상황을 스위치에서 감지하기 전에 폭주 상황을 미리 예상하고 버퍼크기를 예측하여 트래픽을 제어하는 연구를 하였다. 특히, 정규화된 최소평균제곱오차(NLMS)를 사용하여 k 단계 이후의 버퍼크기를 예측하고자 하였다. NLMS 예측계획에 근거를 둔 예측 알고리즘은 ER 알고리즘을 기반으로 하여 제어 알고리즘을 적용하였으며 NLMS 알고리즘을 사용하지 않은 ER 알고리즘과 비교하였을 때 버퍼크기 변동에 더욱 효과적임을 증명하였다. 그러나 예측 알고리즘을 기반으로 한 제어 알고리즘이 다른 ER 제어알고리즘보다 더 효과적인지에 대한 비교 실험 연구와 함께 더 오랜 지연시간을 갖는 소스에 의한 버퍼크기 $Q(n)$ 의 변동을 최대한 감소시킬 수 있는 알고리즘에 대한 더 많은 연구가 요구된다.

Acknowledgement

본 연구는 조선대학교 부설 수송기계부품공장 자동화연구센터의 지원에 의한 것임.

Reference

[1] Adas, A., "Supporting Real Time VBR Video Using Dynamic Reservation Based on Linear Prediction," Infocom 1996.

[2] ATM Forum, Traffic Managment v.4.0 Aug. 1996.

[3] Benmohamed, L. and S.M. Meerkov, "Feedback Control of Congestion in Packet Switching Networks: The Case of a Single Congested Node," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol. 1 No.6, Dec. 1993.

[4] Black, Uyless., ATM Volume I Foundation for Broadband Networks, New Jersey: Prentice Hall PTR, February, 1999.

[5] Fendick, K.W., M.A. Rodrigues and A. Weiss, "Analysis of a Rate-based Feedback Control Strategy for Long Haul Data Transport," Perf. Eval., 16, 1992.

[6] Hayes, M.H, "Statistical Signal Processing and Modeling," John Wiley & Sons, 1996.

[7] Haykin, S., "Adaptive Filter Theory," Prentice Hall, 1991.

[8] Jang, B., B. G. Kim and G. Pecelli "A Prediction Algorithm for Feedback Control Models with Long Delays" IEEE BSS 1997.

[9] Keshav, S., "A Control-Theoretic Approach to Flow Control," Sigcomm 91, 1991, 3-15.

[10] Li, Chengzhi, Amitava Raha, and Wei Zhao "Stability in ATM Networks" IEEE Infocom 1997.

[11] Mascolo, S., D. Cavendish and M. Gerla, "ATM Rate Based Congestion Control Using a Smith Predictor: an EPRCA Implementation," Infocom 1996.

[12] Ritter, M., "Network Buffer Requirements of the Rate-based Control Mechanism for ABR Services," Infocom 1996.

[13] <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/papers.html>

[14] Zurada, J.M, "Introduction to Artificial Neural Systems", WEST, 1992.



임 동 주

1985년 전남대학교 영문학과 졸업(문학사)

1993년 미국뉴욕주립대학교 전산학과(이학석사)

1994년~1999년 대불대학교 근무
1999년 조선대학교 대학원 전산통계학과(이학박사)

※관심분야 : 컴퓨터네트워크, 멀티미디어, 소프트웨어엔지니어링, 데이터베이스 등



오 창 윤

1992년 조선대학교 전산통계학과 졸업(이학사)

1994년 조선대학교 대학원 전산통계학과 (이학석사)

1994년~1996년 (주)아시아자동차 근무

1996년~2000년 조선대학교 대학원 전산통계학과 (이학박사)

※관심분야 : 컴퓨터네트워크, 영상처리, 전문가시스템, 멀티미디어 등



배 상 현

1982년 조선대학교 전기공학과 (공학사)

1984년 조선대학교 대학원 전기·전자공학과 (공학석사)

1988년 일본 동경도립대학 전자정보통신공학부 (공학박사)

1984년~1985년 일본동경공대 객원연구원

1995년~1996년 일본 NAIST 초빙교수

1999년~현재 조선대학교 자연과학대학 전산통계학과 교수

※관심분야 : 대규모 지식베이스, 인공지능경망, 퍼지시스템, GIS, 전문가시스템, 지식처리