

자기 유사 트래픽을 이용한 ABR 혼잡제어 알고리즘의 성능분석

진성호* · 이태오** · 임재홍*** · 김동일****

*드림포트(주) · **동명정보대학교 정보공학부 컴퓨터공학과

한국해양대학교 전파·정보통신공학부 ·*동의대학교 정보통신공학과

Performance Analysis for ABR Congestion Control Algorithm using Self-Similar Traffic

Sung-Ho Jin* · Tae-oh Lee** · Jae-hong Yim*** · Dong-Il Kim****

*Dreamport Ltd. · **Dept. of Computer Engineering Tongmyong University

*** Division of Radio and Information Communication Engineering, Korea Maritime University

****Dept. of Information Communication Engineering, Donggeui University

E-mail : deodato@joins.com

요 약

네트워크를 설계하고 서비스를 구현하는데 있어서 중요한 변수중의 하나는 트래픽의 특성을 파악하는 것이다. 트래픽 특성에 관한 최근의 실험적 연구들은 기존의 모델들이 실제 트래픽의 특성을 제대로 나타낼 수 없다는 것을 지적해 왔고 최근 실제 트래픽 모델과 유사한 모델로서 자기 유사한 특성을 이용한 접근법이 대두되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 실제 트래픽과 유사한 자기 유사 데이터 트래픽을 백그라운드 부하로 발생시켜 기존의 ABR(Available Bit Rate) 혼잡제어 알고리즘 중 fairshare을 지원하는 대표적인 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm), ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance), NIST(National Institute of Standards and Technology) 스위치 알고리즘이 버스트한 트래픽에 대해 효율적으로 fairshare을 할당하는지를 알아 보았다.

키워드

ATM, ABR 서비스, ATM 혼잡제어 알고리즘, 자기 유사 트래픽

1. 서 론

ATM 망에서 ABR 서비스를 위한 전송율 기반의 혼잡 제어 스위치는 크게 명시율 피드백 스위치와 이진 피드백 스위치로 나눌 수 있다. 이진 피드백 스위치는 RM 셀의 CI(Congestion Indication) 비트를 이용하여 송신원에 혼잡의 발생과 해제를 알리게 된다. 송신원에서는 전달되어온 혼잡 상태의 유무에 대한 정보에 따라서만 전송율의 증감을 결정하게 된다. 이에 반해 명시율 피드백 스위치는 VC 간의 공평한 묶임 공평한 공유(fair share)와 입력 부하의 정도에 따라 망에서 허용할 수 있는 전송율을 결정하여 이를 RM 셀의 ER(Explicit Rate) 필드에 실어 송신원에 알리고 송신원은 이 값을 이용하여 전송율을 조정하게 된다. 현재까지 ATM 포럼을 통하여 제안된 대표적인 ER 피드백 스위치

의 예는 EPRCA 스위치와 혼잡 회피 방식을 사용하는 ERICA 스위치, NIST 스위치 알고리즘 등이 있다. 그러나 기존에 이러한 여러 가지의 스위치 알고리즘에 대한 성능분석의 연구 결과는 주로 트래픽 특성 모델링이 실제 운영중인 네트워크의 트래픽 특성과 많은 차이를 보인다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 실제 트래픽과 유사한 자기 유사한 트래픽을 백그라운드 부하로 발생시켜 기존의 ABR 알고리즘 중 어느 알고리즘이 버스트한 트래픽에 효율적으로 반응을 하는지를 ACR, 버퍼 사용율, 셀 폐기율, 전송효율 등으로 나누어 분석을 하였다.

문헌의 구성은 서론에 이어 II장에서 자기 유사한 트래픽의 특성과 ABR 전송제어 알고리즘에 대해 살펴보고, III장에서는 시뮬레이션 및 알고리즘에 따른 공평성에 대해 비교 분석한 후 IV장에서

결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 자기 유사 과정의 정의

일반적으로 정상 시계열 x 에 대해, m 군집된 시계열 $x^{(m)} = \{x_k^{(m)}, k=0,1,2,\dots\}$ 은 인접한 m 크기의 블록을 겹침없이 원래의 시계열을 합계함으로써 정의한다. 이에 대한 정의는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$x_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km}^{(m-1)} x_i \quad (1)$$

만약 식 (1)의 확률과정의 통계가 동일한 압축 사본을 간직하고 있다면, 자기 유사한 과정으로 다룰 수 있다. 확률과정 x 가 모든 $m=1,2,\dots$ 에 대해서 식 (2), (3)과 같다면 파라미터 $\beta(0 < \beta < 1)$ 에 대하여 정확하게 자기 유사하다고 한다.

$$Var(x^{(m)}) = \frac{Var(x)}{m^\beta} \text{ Variance} \quad (2)$$

$$R_{x^{(m)}}(k) = R_x(k) \text{ Autocorrelation} \quad (3)$$

파라미터 β 는 앞에서 정의했던 Hurst 파라미터 H 와 관련하여 $H=1-(\beta/2)$ 로 나타내어진다. $H=0.5$ 의 값은 자기 유사성의 부재를 나타내고, H 가 1에 가까울수록 지속성의 정도 또는 장기간 종속의 정도는 더욱 커진다. 확률과정 x 가 충분히 큰 모든 k 에 대해 식 (4), (5)와 같다면 근사적으로 자기 유사하다고 한다.[1][2]

$$Var(x^{(m)}) = \frac{Var(x)}{m^\beta} \text{ Variance} \quad (4)$$

$$R_{x^{(m)}}(k) \rightarrow R_x(k), \text{ as } m \rightarrow \infty \text{ Autocorrelation} \quad (5)$$

2. ABR 혼잡제어 알고리즘

가. EPRCA 스위치 알고리즘

EPRCA는 전송율 기반 혼잡제어 방식으로 EPRCA 스위치에서는 RM 셀의 CCR 값을 사용한 지수 가중 평균 계산 방법을 이용하여 식 (6)와 같이 MACR(Mean Allowed Cell Rate)을 구하고, 구해진 MACR을 이용하여 식 (7)과 같이 공평한 공유를 계산한다.[3]

$$MACR = (1 - AVF) \times MACR + AVF \times CCR \quad (6)$$

$$\text{Fair Share} = DPF \times MACR \quad (7)$$

나. ERICA 스위치 알고리즘

ERICA는 실제 입력율과 가용 대역폭에 목표 이용율을 고려한 목표 전송율의 비율인 부하 지수를 식 (8)과 같이 계산하여 ER 값의 계산에 이용하는 방식이다.

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Input Rate}}{\text{Target Cell Rate}} \quad (8)$$

ERICA 스위치 알고리즘은 순방향 RM 셀을 전송 받았을 때 VC 단위로 CCR 값을 저장하고, 부하에 근거한 ER 값을 식 (9)와 같이 계산한다.

$$\text{ER based on load} = \text{ERI} = \frac{\text{CCR}}{\text{Load Factor}} \quad (9)$$

그리고 VC들간의 공평성을 보장하기 위해 식 (10)과 같이 공평한 공유를 계산하고, 공평한 공유 값과 스위치에 인가된 부하에 근거하여 계산된 ER을 함께 고려하여 식 (11)과 같이 ER 값을 계산한다.[4]

$$\text{Fair Share} = \frac{\text{Target Cell Rate}}{\text{NumER of Active VCs}} \quad (10)$$

$$\text{ER} = \max(\text{fairshare}, \text{ERI}) \quad (11)$$

다. NIST 스위치 알고리즘

NIST 스위치 알고리즘에서는 EPRCA 스위치 알고리즘과 같이 계산된 MACR을 사용하여 ER 값을 계산하지만, 계산된 부하지수가 1보다 작을 경우에는 스위치를 저부하 상태로 판단하여 잉여 대역폭을 재할당한다. 즉, 식 (12)와 같이 MACR을 일정한 값만큼 증가시켜 링크 효율을 개선시켰다.

$$\text{MACR} = \text{MACR} + \text{MAIR} \quad (12)$$

그리고 큐 길이의 증감을 이용하여 빠르게 혼잡 상황을 파악할 수 있는 조기 혼잡 검출 방식을 사용하였다. 즉 스위치의 큐 길이가 임계치 Q_T 를 넘고 변화율이 양이면 혼잡 상태로 판단하고, 식 (13)과 같이 ER 값을 결정한다.

$$\text{ER} = \text{MACR} \times \text{MRF} \quad (13)$$

그리고 스위치가 혼잡 상태가 아닐 경우에는 ER 값은 식 (14)와 같이 설정된다[5].

$$\text{ER} = \text{MACR} \quad (14)$$

III. 시뮬레이션 환경 및 분석

그림 3-1는 자기 유사한 트래픽에 대해 각 송신지에서 전송율이 공평하게 수행되는지를 살펴보기 위해 구성된 네트워크 모델이다.

각 모델에서 링크의 전송속도는 155 Mbps이며 스위치와 스위치의 거리는 100 Km, 터미널과 스위치의 거리는 1 Km로 설정하였다. 표 3-1는 각 송신지별 발생하는 트래픽 양과 페어웨어 값이다.

그림 3-2(a)는 ABR 1에서 EPRCA 알고리즘을 적용한 경우로 H값의 변화에 상관없이 평균 전송율은 일정함을 보이고 있다. 하지만 유사한 방식을 사용하는 NIST 알고리즘과 비교하면 H값의 변화에 따라 전송율은 변화가 거의 없지만 진폭의 변화가 큼을 알 수 있다. 그 이유는 EPRCA 알고리즘은 극심한 혼잡 상황을 만나면 전송율을

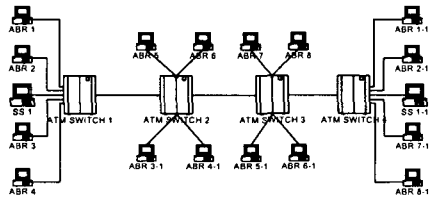


그림 3-1. 페어웨어 네트워크 모델

표 3-1. 페어웨어 네트워크 모델에서 각 송신지에서의 전송율

송신지	전송율	목적지	페어웨어 값
ABR 1	20 Mbps	ABR 1-1	20 Mbps
ABR 2	110 Mbps	ABR 2-1	30 Mbps
ABR 3	10 Mbps	ABR 3-1	10 Mbps
ABR 4	80 Mbps	ABR 4-1	50 Mbps
ABR 5	10 Mbps	ABR 5-1	10 Mbps
ABR 6	100 Mbps	ABR 6-1	50 Mbps
ABR 7	100 Mbps	ABR 7-1	30 Mbps
ABR 8	150 Mbps	ABR 8-1	30 Mbps
SS 1	40 Mbps	SS 1-1	40 Mbps

감소시키기 위해 모든 송신지에 대해 ACR을 MRF만큼씩 감소시키고, 이러한 순간적인 감소로 인해 스위치의 혼잡 상황이 해제되면 ACR은 PCR과 RIF의 곱만큼씩 증가되며 PCR값까지 가게 된다. 그러나 이러한 과정을 한 개의 송신지 만이 하는 것이 아니라 모든 송신지가 동일한 과정을 반복하므로 스위치의 혼잡은 빨리 이루어지며, 조기 혼잡 검출 방식이 아니므로 스위치내의 큐는 한계값까지 빠른 시간내에 도달함으로 전송율의 진폭 변화가 심해지게 된다. 또한 이러한 이유로 인해 페어웨어는 타 방식에 비해 버스트한 입력에 상관없이 충실하게 수행되고 있으나 NIST 알고리즘에 비해 스위치 내의 큐의 사용율이 높아져 셀의 폐기가 많이 일어나게 된다. 반면 NIST 알고리즘은 EPRCA 알고리즘과 같은 MACR을 사용

하고 있으나 전송율 증가 시 MAIR의 사용으로 인한 급격한 전송율의 증가가 아니므로 스위치내의 큐를 임계값까지 도달하게 하는 경우가 드물게 된다. 또한 큐의 길이의 증가를 이용, 빠르게 혼잡 상황을 파악할 수 있으므로 스위치의 혼잡에 대해 조기에 대처할 수 있으나 이로 인해 목적지로부터 거리가 먼 송신지의 경우 여러개의 스위치를 거치며, 혼잡의 정도를 판단하여 ER값을 결정할 때 오류가 생길 요소가 있다. (c)는 NIST 알고리즘을 적용한 경우이다. 트래픽의 버스트 강도가 클수록 ABR 1은 네트워크내의 혼잡을 잘못 인식하여 혼잡시 ACR을 감소하지 못한다. 이로 인해 H=0.5와 H=0.95의 경우 H=0.95는 버스트한 입력에 대처하지 못하게 됨을 알 수 있다. 그리고 페어웨어의 경우 H=0.95일 때 페어웨어 값에 충실함을 알 수가 있으나 이것은 네트워크 혼잡의 잘못된 판단에 의한 페어웨어이다. (b)는 ERICA 알고리즘을 적용한 경우이다. 버스트 강도에 따른 반응성을 살펴보면 ERICA 알고리즘의 ERICA 스위치는 VC 단위로 CCR값을 저장하여 ER값의 계산에 이용하므로 MACR을 사용하는 알고리즘에 비해 가용대역폭 변화에 따른 송신지의 ACR 변화가 빠르게 조정됨을 알 수 있다. (b)에서 H=0.5와 H=0.95일 경우 전송율의 차이가 난다. 그 이유는 가용대역폭의 증가시에 혼잡 지점으로부터 거리가 가까운 송신지가 거리가 먼 송신지에 비해 ACR의 증가가 빠르게 되는 문제점이 있고 또한 버스트한 트래픽이 유입될수록 이러한 문제점은 더 많이 발생되기 때문이다. 그림 3-3은 ABR 2에서 알고리즘별로 H값의 변화에 따른 ACR의 변화를 나타낸 것이다. (a)는 EPRCA 알고리즘을 적용한 경우로 트래픽의 버스트 강도가 클수록 적절히 반응함을 알 수 있다. 이에 따라 공평한 공유도 충실히 수행됨을 알 수 있다. 그림 (b), (c)는 ERICA, NIST 알고리즘을 적용한 경우이다. 입력율이 ABR 1보다 높지만 버스트 강도에 따른 페어웨어는 ABR 1과 동일한 특성을 보이고 있다. 그림 3-4는 ABR 3에서 알고리즘별로 H값의 변화에 따른 ACR의 변화를 나타낸 것이다. (a)는 EPRCA 알고리즘을 적용한 경우이다. 입력율이 작고 거리가 짧아 매우 혼잡한 상황을 만나지 않으므로 버스트한 강도에 상관없이 동일한 특성을 보이고 있다. 페어웨어에 대해서는 H=0.95일 때 입력되는 트래픽의 버스트 강도가 심해짐에 따라 약간 감소하였다. (b)는 ERICA 알고리즘을 적용한 경우로 버스트의 강도가 클수록 전송율이 떨어짐을 알 수 있다. 페어웨어도 이러한 이유로 인해 버스트의 강도가 클 경우 페어웨어가 충실히 수행이 되지 않음을 알 수 있다. (c)는 NIST 알고리즘을 적용한 경우로 송,수신지의 거리가 짧을 경우 입력되는 데이터의 버스트 강도에 상관없이 전송율 제어와 페어웨어가 충실히 수행됨을 알 수 있다. 그림 3-5는 ABR 4에서 알고리즘별로 H값의 변화에 따른 ACR의 변화를 나타낸 것이다. (a)는 EPRCA 알고리즘을 적용한 경우로 버스트 강도에 따른 반응성은 ABR 2와 유사한 특성을 보인다. 페어웨어에 대해서는 H=0.95일 때 입력되는 트래픽의 버스트 강도가 심해짐에 따라 약간 감소하였다. (b)는 ERICA 알고리즘을 적용한 경우로 버스트

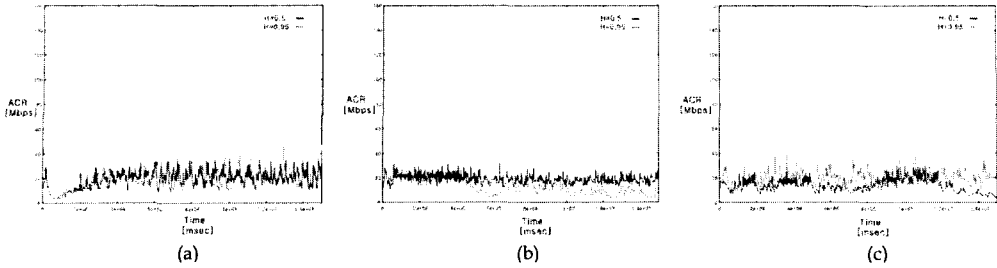


그림 3-2. 알고리즘에 따른 ABR 1의 ACR

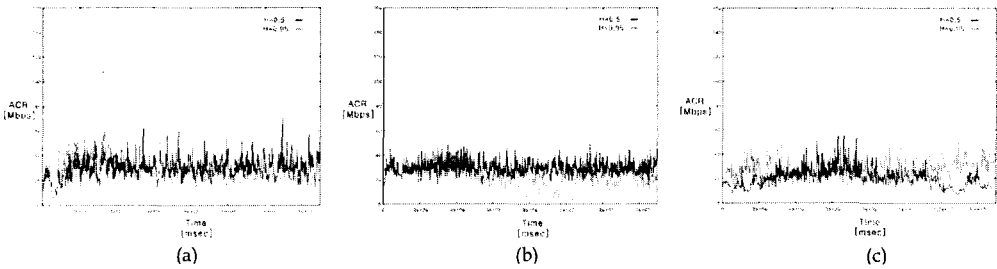


그림 3-3. 알고리즘에 따른 ABR 2의 ACR

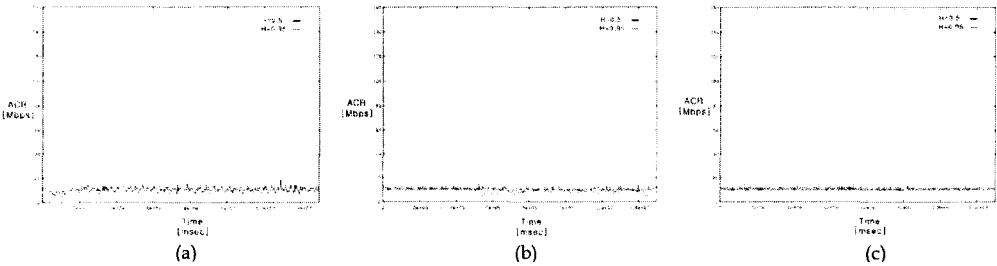


그림 3-4. 알고리즘에 따른 ABR 3의 ACR

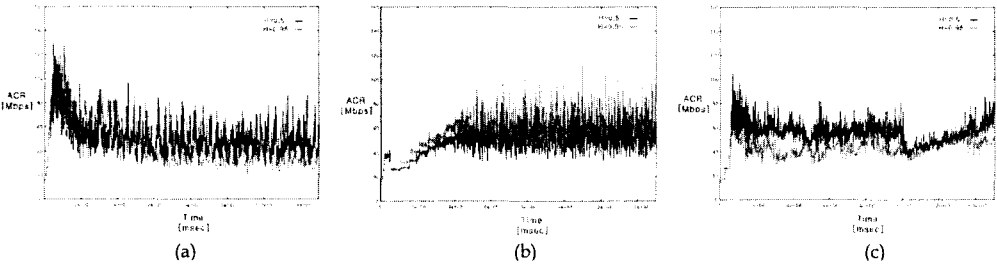


그림 3-5. 알고리즘에 따른 ABR 4의 ACR

트 강도가 클수록 너무 민감하게 반응하게 됨을 알 수 있다. 페어웨어에 대해 살펴보면 ACR 변화의 민감성으로 인해 입력되는 트래픽의 버스트 강도가 클수록 페어웨어가 충실히 수행이 되지 않음을 알 수 있다. (c)는 NIST 알고리즘을 적용한 경우로 버스트 강도가 클 경우 적절히 대처함을 알 수 있다. 페어웨어에 대해서도 적절한 전송율의 제어로 인해 페어웨어 값은 버스트 강도가 약할 때 보다 약간 떨어지지

만 충실히 수행됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 대표적인 ATM 스위치 알고리즘 중 EFCA, EPRCA, ERICA, NIST 스위치 알고리즘에 대해 자기 유사한 트래픽을 적용하여

반응을 분석하였다. 페어웨어에 대해서는 NIST EPRCA, ERICA, EFCI 알고리즘순으로 우수하게 나타났다. 이러한 분석으로 알고리즘의 성능은 스위치의 혼잡을 판단할 때에는 단순한 LF만을 사용하는 알고리즘보다 스위치의 큐 상태를 판단하여 혼잡의 정도를 판단하는 알고리즘이 버스트한 트래픽에 대한 반응이 우수하다는 것을 알 수가 있고, ACR의 변화를 줄 때 고정된 상수의 파라미터보다 동적인 파라미터의 값이 요구됨을 알 수 있으며, 기존의 포아송분포를 가지는 트래픽을 사용하였을 경우 실제 성능에는 많은 차이가 남을 알 수가 있었다.

참고 문헌

- [1] W. Willinger, Taqqu M., R. Sherman, "Self-Similarity Through High Variability", ACM/Sigcomm, pp. 100-113, 1995.
- [2] Leland, W., Taqqu, M., Willinger, W., Wilson, D., "On the Self-similar Nature of Ethernet Traffic(Extended Version)", IEEE/ACM Transaction on Networking, pp. 1-15, Feb, 1994.
- [3] Iftekhar Hussain, Kuldip Bains, "An Explicit Rate ABR Algorithm for New-generation ATM Switches", Int. J. Network Mgmt, Vol. 9, pp. 323-338, 1999.
- [4] Shivkumar Kalyanaraman, Raj Jain, Soria Fahmy, Rohit Goyal, and Bobby Vandalore, "The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 8, No. 1, pp. 87-98, Feb, 2000.
- [5] 진성호, 임재홍, "자기 유사한 트래픽을 이용한 ATM 스위치의 ABR 혼잡제어 알고리즘의 성능분석", 정보처리학회 논문지 C, 제 10-C권, 제1호, pp. 51-60, 2003, 2.