

# ABR 트래픽의 공정성 및 시스템 효율성 증대를 위한 방안제시

정상준, 권태경, 송주석  
연세대학교 컴퓨터과학과

## A Scheme for Increasing Fairness and System Utilization in ABR Traffic

Sang Joon Jung, Tae Kyoung Kwon, Joo Seok Song  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

ABR은 ATM의 서비스 중에서 가장 최근에 추가된 것으로서 트래픽 소스의 전송률을 제어하기 위해서 피드백 메커니즘을 사용한다. ABR 서비스의 성능은 스위치를 통해서 피드백되는 RM 셀에 의해서 결정적인 영향을 받는다. ATM 표준에는 EPRCA, CAPC, ERICA 등의 알고리즘을 다루고 있다. 하지만 이러한 스위치 알고리즘에 대한 성능평가 및 분석은 자세히 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 현재 사용중인 ABR 스위치 알고리즘 중 단순히 큐의 길이에 의해 폭주를 판단하는 EPRCA 방법에 대해서 자세히 분석하고 EPRCA의 단점을 극복하기 위해서 큐의 길이 뿐만이 아니라 새로운 변수 즉, 평균, 분산 및 표준편차를 이용해서 각 송신원의 공정성을 높이고 시스템의 효율성을 증대시키는 방안을 제시한다.

### 1. 서 론

고속 LAN 간의 데이터 트래픽은 매우 버스티하며 최대 전송률이 높고 예측할 수 없는 변화 특성을 가진다. 이러한 불예측성 때문에 연결 수락 제어(CAC)나 사용 파라미터 제어(UPC) 등의 예방적인 트래픽 제어만으로는 효과적인 폭주 제어가 어렵다. 그리고 데이터 특성에 따라 셀 지연에 민감하지는 않지만 하나의 셀 손실이 수많은 셀의 재전송을 초래하는 특징을 가지는 데이터 유형도 있다. 따라서, 이러한 특성을 갖는 고속 데이터를 대역폭 예약형 서비스가 사용하고 남은 링크의 가용 대역폭을 최대한 활용하여 전송하기 위한 ABR(Available Bit Rate) 서비스에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. ABR 서비스는 최소 셀 전송률(MCR)에 대한 보장만 하고 링크의 상태에 따라 최대 셀 전송률(PCR)까지 동적으로 가용 대역폭을 활용하여 데이터를 전송하는 방식이기 때문에, 셀 손실을 줄이기 위해서는 피드백에 의한 폭주 제어가 필수적으로 요구된다.[1]

본 논문에서는 ATM 포럼에서 표준으로 채택된 ABR 트래픽 제어 방식 중 EPRCA 기법을 자세히 분석하고 공정성 및 시스템의 효율성을 높이는 새로운 기법을 제안하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 ATM 서비스 종류 및 특성에 대해서 알아보고, 3절에서는 EPRCA 기법을 자세히 분석한다. 4절에서는 새로운 기법을 제안하고 5절에서 시뮬레이션을 통해서 결과를 분석한 후, 6절에는 결론을 맺도록 하겠다.

### 2. ATM 서비스 종류 및 특성

ATM 계층에서 제공되는 멀티미디어 서비스에 대해서는 다양한 QoS의 제공이 필요하다. 예를 들어, 음성은 손실보다는 지연에 민감한 특성을 지니지만, 데이터는 지연보다는 손실에 민감하다. 그 외에도 지연과 손실, 둘 다에 영향을 받는 트래픽도 있다. 이러한 다양한 트래픽을 효율적으로 관리하기 위해 ATM의 트래픽은 다음의 다섯 가지 서비스 클래스로 구성된다. [4-5]

#### ① CBR 서비스

연결 시간 동안 Constant Cell Rate를 요구하며, 따라서 셀 지연과 지연 번이가 엄격히 제한된다. 음성, 화상, circuit emulation 등이 여기에 속한다.

#### ② rt-VBR 서비스

엄격하게 제한된 지연과 지연번이를 요구하는 실시간 응용 서비스를 위한 것으로, Variable Cell Rate로 전송된다. 통계적 다중화(Statistical Multiplexing)의 결과로 망 자원의 효율적인 이용을 도모할 수 있다. 압축 화상 등이 이에 속한다.

#### ③ nrt-VBR 서비스

버스티(Bursty)한 트래픽 특성을 가지며, Variable Cell Rate로 전송된다. 지연 특성에 큰 영향을 받지 않아 셀 지연만이 제한되고 낮은 셀 손실률을 요구한다. 통계적 다중화와 버스티한 특성으로 망 자원의 효율적 이용이 가능하다.

#### ④ UBR 서비스

셀 지연, 지연번이 및 셀 손실의 어느 것도 제한되지 않으며, 남은 대역폭을 사용한다. 비실시간 응용 서비스인 파일 전송, 전자우편(email) 등이 속한다.

#### ⑤ ABR 서비스

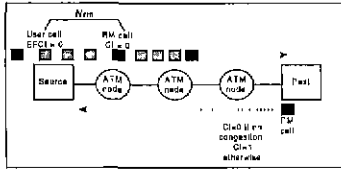
ABR은 연결 설정 후에 일어나는 변화로서, 셀 지연, 지연 번이 및 셀 손실을 최소화하기 위해 피드백(feedback)을 이용해 소스의 전송률을 제어한다. 이 피드백 제어를 위한 정보들은 RM 셀이라 불리는 특정 제어 셀을 통해 소스에 전달된다. ABR 서비스는 주어진 접속에서 지연이나 지연번이의 제한을 요구하지 않으므로 실시간 응용 서비스는 지원하지 않는다. 데이터 전송, remote procedure call, 분산 파일 서비스 등이 이에 해당한다.

### 3. 기존 ABR 과잉밀집 제어 알고리즘

ATM 포럼에서 다양한 트래픽 제어 알고리즘들이 제안되었다. 본 글에서는 표준으로 채택된 전송률을 기반으로 한 대표적인 ABR 트래픽 제어 알고리즘 중에서 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)에 대해서 자세히 알아 보도록 하겠다.

3.1 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)

ABR 트래픽에서 송신원은 매 Nrm개의 사용자 셀마다 하나의 RM 셀을 만들어서 순방향으로 보낸다. 이렇게 보내어진 RM 셀은 수신단말을 통해서 송신원에게로 피드백 루프(feedback loop)를 형성한다. [그림 1]은 EPRCA에서 셀의 흐름을 나타낸다. RM 셀에는 DIR과 CI 필드를 두어서 종침간의 폭주 정보를 가진다.



[그림 1] EPRCA에서 셀의 구조

RM 셀 페이로드(payload)에는 RM 셀이 순방향으로 보내어질 것인지 역방향으로 보내어 질 것인지를 결정하는 DIR 필드와 폭주가 발생했는지 아닌지를 알려주는 CI 필드가 있다. 모든 RM 셀은 송신원에서 CI 필드의 값이 0으로 설정되어서 순방향으로 보내어진다. 수신원은 만약 이전에 받은 사용자 셀이 EFCI=1이라고 새겨되어 있으면 CI=1로 설정하고 되돌려 보낸다. 또한 중간 노드들도 CI=0 인 RM 셀을 역방향으로 돌려보낼 때 순방향 쪽에 폭주가 발생했을 경우에는 CI=1로 바꿀 수 있는 권한을 가진다. 송신원은 RM 셀이 CI=0 일 때만 전송률을 증가시킬 수 있다. 그 이전에 송신원은 지속적으로 급격하게 전송률을 감소시킨다. ABR 점속에서 적당한 전송률을 계산할 수 있도록 RM 셀에는 명확한 전송률(ER)이 있다. 이 값은 초기에는 PCR로 설정된다. ABR 서비스 파라미터인 ACR(Allowed Cell Rate)은 송신원 전송률의 최대값에 해당하며 송신원은 이 값 이하로 전송해야 한다. ER 값은 송신원의 트래픽 양이 빨리 감소하기를 원하는 중간 노드에 의해 값이 감소될 수 있다. 정보를 제공할 목적으로 사용되는 ACR 필드는 망에 의해서는 변경되지 않지만 송신원이 RM 셀을 받은 후 ER이 ACR보다 적은 경우 ACR을 ER까지 감소시키게 된다. EPRCA 방법에서 스위치는 공정성을 계산하고 필요하다면 되돌아오는 RM 셀의 ER 필드를 감소시킨다. 스위치는 exponential weighted average를 사용해서 mean allowed cell rate(MACR)을 계산한다. 다음 식은 MACR을 계산한 식이다.[3]

$$MACR = (1 - \alpha) \cdot MACR + \alpha \cdot CCR$$

$$Fair Share = SWDPF \times MACR$$

(여기서  $\alpha$ 는 exponential average factor, SWDPF는 1보다 작은 multiplier, CCR(Current Cell Rate),  $\alpha=1/16$ , SW\_DPF=7/8)

스위치는 큐의 길이가 임계점(QT) 이상을 넘어가면 되돌아오는 RM 셀의 CI bit을 세팅한다. 이 때 송신원은 계속해서 자신의 전송률을 매 셀마다 감소시킨다. 이때 새롭게 계산되는 ACR은 다음과 같다.

$$ACR = ACR \times RDF \quad (RDF는 reduction factor)$$

송신원이 되돌아오는 RM 셀을 받을 때 전송률 증가가 허락되어진다면 AIR(Additive Increase Rate) 양만큼 전송률을 증가시킨다. 만약 CI=0 이면 새로운 ACR은

$$ACR = MIN(ACR + AIR, ER, PCR)$$

로 값이 바뀌고 CI=1이면 ACR의 값은 변화하지 않는다. 하지만 이러한 방법에는 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 스위치는 폭주를 감지할 때 큐의 길이에 의존한다. 큐의 길이가 일정한 범위(QT)를 넘어가면 폭주 상태라고 정의하고 큐의 길이가 이보다 더 높은 임계점(DQT)을 넘어가면 심한 폭주 상태로 간주하게 된다.[3] 만약 스위치 큐의 길이가 QT를 넘어가게 되면 PCR을 만족하는 송신원은 자신의 전송률을 지수

적으로 감소시키는 메시지를 RM 셀로부터 받게되고 PCR을 만족하지 못하는 송신원은 자신의 전송률을 선형적으로 증가 시키라는 메시지를 RM 셀로부터 받는다. 만약 스위치 큐의 길이가 DQT를 넘어가게 되면 모든 송신원은 자신의 전송률을 지속적으로 감소시키라는 메시지를 RM 셀로부터 받게된다.

4. 제안 알고리즘

3 절에서 제시된 EPRCA방법에서는 모든 송신원에게 자원을 공정하게 분배하는데 문제점을 가지게 된다. 즉, 뒤늦게 자원을 할당받는 송신원은 더 빨리 자원을 할당받는 송신원에 비해서 매우 낮은 처리율(throughput)을 낸다. 이를 해결하기 위해서 EPRCA 방법을 변형시켜서 각 송신원이 공정하게 자신의 전송률을 조절하도록 하고, 시스템의 효율성을 증대시키는 방법을 생각하도록 하겠다. 이를 위해서 기존의 EPRCA 방법에 전송률의 평균, 편차, 그리고 표준편차를 추가해서 공정성 및 시스템의 효율성을 높이도록 한다.

```

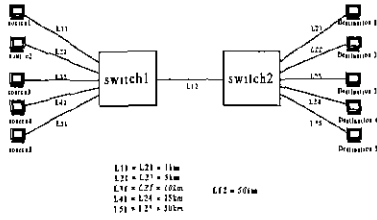
if(QueueLength < QT)
    linearly_increase();
else if( (QueueLength > QT) && (QueueLength < DQT))
{
    if(cellrate < PCR)
        linearly_increase();
    else
        cellrate = cellrate/2;
}
else
{
    if( (deviation > 0) && (deviation - standarddeviation) >= 0)
        && (MCR <= meancellrate) )
        cellrate = meancellrate
    }
    
```

[표 1] 제안 알고리즘의 pseudo-code

제안하는 방법에서도 폭주 상태를 스위치에 있는 큐의 길이에 의존한다. 큐가 임계점(QT)을 넘어가면 폭주 상태라고 정의하고, 다른 임계점(DQT)을 넘어가게 되면 심한 폭주 상태로 간주한다. 큐가 임계점(QT)을 넘어갈 경우에는 EPRCA와 같은 방법으로 처리를 해주지만 또 다른 임계점(DQT)을 넘어가게 되면 다음과 같은 방법으로 처리를 한다. 먼저 스위치는 각 송신원으로부터 받은 RM 셀을 통해서 전달되는 각 송신원의 가장 최근의 전송률을 가지고 있다. 스위치는 이들의 평균, 편차, 표준편차를 계산한다. 각 송신원의 전송률에서 평균 전송률을 뺀 경우 편차가 음의 값이 나올 경우에는 이 송신원은 자신의 전송률을 그대로 유지하라는 신호를 RM 셀에 실어서 보낸다. 만약 편차가 양이고 이 편차가 전송률의 표준편차보다 크거나 같을 경우, 그리고 송신원의 MCR(Minimum Cell Rate)이 평균 전송률보다 작거나 같을 경우에는 각 송신원은 자신의 전송률을 평균전송률에 맞추어서 보내라는 신호를 RM 셀에 실어서 보낸다. 이런 경우에는 뒤늦게 자원을 할당받는 송신원이라든 자신의 처리율을 상당부분 보장받는다. 이렇게 함으로써 모든 송신원이 공평하게 자원을 할당 받을 수 있다. 그리고 각 송신원이 자신의 전송률을 지속적으로 감소시키지 않기 때문에 시스템의 효율성을 상당히 높일 수 있다.

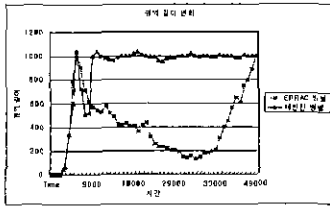
5. 분석

기존의 방법과 제안한 방법을 시뮬레이션을 통해서 비교 분석하도록 하겠다. 먼저 시뮬레이션 환경 변수는 다음과 같이 주어진다. 각 링크의 용량은 155Mbps이고, PCR(Peak Cell Rate)은 링크 용량의 100%, MCR(Minimum Cell Rate)은 링크 용량의 1%이다. 그리고 ICR(Initial Cell Rate)은 링크 용량의 5%로 주어진다. RIF(Rate Increase Factor)는 링크의 용량의 1%씩 증가하라는 상수이고 RDF(Rate Decrease Factor)는 1/2로써 현재 전송률을 반으로 줄이라는 상수이다. 그리고 큐의 크기는 5000으로 정하고 초기 임계점(QT)은 큐의 길이의 50으로 설정하고 후기 임계점(DQT)은 큐의 길이의 1000으로 설정하였다.



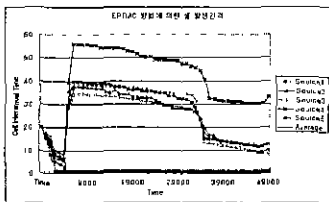
[그림 2] 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 [그림 2]에서 보면 알 수 있듯이 송신원 5개, 수신원 5개 그리고 두 개의 스위치로 구성되어있다. 송신원과 스위치 사이의 거리, 스위치 간의 거리, 스위치와 수신원 사이의 거리는 [그림 2]에 자세히 나타나 있다. 큐의 길이 변화는 [그림 3]과 같이 나타난다. EPRCA 방법에서는 큐가 후기 임계점(DQT)을 지나게 되면 모든 송신원이 자신의 전송률을 지속적으로 줄이기 때문에 전송률이 급격하게 떨어지게 된다. 그러므로 큐의 길이가 계속해서 감소하게 된다. 하지만 후기 임계점 아래로 떨어지게 되면 각 송신원은 자신의 셀 전송률을 선택적으로 증가시키기 때문에 점점 더 셀 전송률이 늘어나게 된다. 그래서 큐의 길이가 점점 더 늘어나게 된다.



[그림 3] 큐의 길이 변화

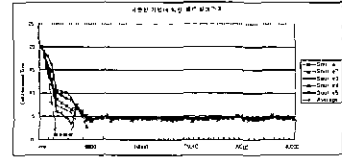
제안한 방법에서는 큐가 후기 임계점을 지나게 되면 송신원의 MCR(Minimum Cell Rate)이 평균 전송률보다 작거나 같은 경우에는 각 송신원은 자신의 전송률을 평균전송률에 맞추어서 보내기 때문에 거의 일정한 셀 전송률로 셀이 전송이 된다. 앞 부분에 큐의 길이가 급격하게 떨어지는 이유는 평균보다 셀 전송률이 아주 높은 송신원이 평균전송률의 전송률로 셀을 전송하기 때문에 급격하게 큐의 길이가 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 공정성이 어느 정도 확보되고 나면 큐 길이의 변동 폭이 매우 작게 나타나는 것을 알 수 있다



[그림 4] EPRCA 방법에 의한 셀들의 발생간격

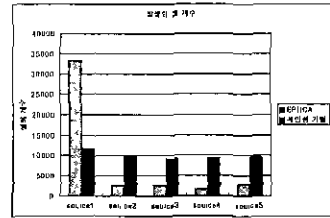
[그림 4]는 EPRCA 방법에서 각 송신원의 셀 발생간격을 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 처음에는 각 송신원들이 ICR로 셀을 전송하기 때문에 같은 셀 발생간격을 가진다. 하지만 송신원1이 먼저 자원을 할당 받기 때문에 PCR에 가깝게 셀을 전송한다. 이에 반해서 다른 송신원은 상대적으로 적은 자원을 할당받기 때문에 낮은 처리율을 낼 수 밖에 없다. 이를 해결한 방안으로서 제안된 기법에서 셀의 발생간격은 [그림 5]와 같이 나타난다. [그림 5]에서 볼 수 있듯이 제안한 방법에서는 송신원1이 먼저 자원을 할당받아도 편차가 표준편차보다 매우 크기 때문에 평균 셀 전송률로 셀을 전송하라는 메시지를 RM 셀에 넣

어서 보내기 때문에 셀의 발생 간격이 갑자기 늘어난다. 그렇기 때문에 모든 송신원은 평균적으로 거의 같은 셀 전송률로 셀을 전송하게 된다. 이렇게 함으로써 모든 송신원이 공평하게 자원을 할당받을 수 있다.



[그림 5] 제안 기법에 의한 셀들의 발생간격

EPRCA 기법을 사용했을 경우 각 송신원이 생성한 셀의 개수에 대해서 알아보기로 하자. [그림 6]은 각각의 송신원이 몇 개의 셀을 생성했는지 알아보는 그림이다. EPRCA 방법에서는 송신원1이 먼저 자원을 할당받기 때문에 엄청난 양의 셀을 발생시키는 것을 볼 수 있다. 이에 비해서 제안되는 기법에서는 모든 송신원에서 평균적으로 비슷한 수의 셀이 생성된 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 시간동안 생성된 셀의 개수를 보면 EPRCA 방법에서는 모두 43331개의 셀이 생성되었다. 이에 비해 제안되는 기법에서는 같은 시간동안 모두 49355개의 셀이 생성된 것을 알 수 있다. 이를 비교해 보면 평균적으로 13% 정도 많은 셀을 생성시킨 것을 볼 수 있다. 그만큼 시스템의 효율이 높아졌다는 것을 알 수 있다.



[그림 6] 각 송신원이 생성한 셀의 개수

## 6. 결론

지금까지 EPRCA 기법과 제안된 기법에 대한 비교를 해 보았다. 기존의 EPRCA 기법에서는 모든 송신원에게 자원을 공정하게 분배하는데 문제점을 가진다는 사실을 시뮬레이션을 통해서 알아보았다. 뒤늦게 자원을 할당받는 송신원은 더 빨리 자원을 할당받는 송신원에 비해서 매우 낮은 처리율(throughput)을 낸다. 하지만 제안된 기법에서는 링크의 효율이 높아졌고 송신원간의 공정성 문제도 많이 해결되었다. 하지만 MCR이 평균 전송률보다 클 경우에는 문제가 발생한다. ABR 트래픽은 MCR을 보장을 해야 하기 때문에 MCR이 평균 전송률보다 클 경우에는 제안되는 기법에서는 셀의 손실이 발생할지도 모른다. 이를 해결하기 위해서 후기 임계점을 지날 경우에 각 송신원의 MCR에 가중치를 두어서 셀 전송률을 줄이는 방법을 생각하는 것도 좋은 연구가 될 것이다.

## [참고문헌]

- [1] 조유제, "ABR 서비스를 위한 폭주 제어 동향", 텔레콤 제 11권 1호, 1995
- [2] R.Jain et al, "Source Behavior for ATM ABR Traffic Management An Explanation", IEEE Communication Magazine, Nov. 1996.
- [3] Ambalavanar Arulambalam, "Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks", IEEE Communication Magazine Nov. 1996
- [4] ATM Forum "ATM Traffic Management Specification Version 4.0", Apr.1996
- [5] R. Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and A Survey", Computer Networks and ISDN Systems, Oct. 1996, also ATM Forum/95-0017, Feb.1995