DBpia

논문 99-24-11A-15 한국통신학회논문지 '99-11 Vol.24 No.11A

ATM망에서 랜덤 혼잡검출 방식을 이용한 효율적 ABR 트래픽 제어 알고리즘

정회원 이 은 봉*, 이 재 용**

An Efficient Available Bit Rate traffic Control Algorithm using Random Congestion Detection in ATM Networks

Eun-bong Lee*, Jae-yong Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 ATM망에서 ABR (Available Bit Rate) 트래픽 혼잡 제어를 위한 새로운 ER 피드백 제어 알고리즘인 RCDCA (Random Congestion Detection Control Algorithm)을 제안한다. RCDCA는 기존의 ABR 혼잡 제어 알고리즘으로 알려진 EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)[1]와 MMRCA(Max-Min Rate Control Algorithm)[2], DMRCA(Dynamic Max Rate Control Algorithm)[3]에서 큐 길이에 따라 혼잡과 혼잡 해제를 일괄적으로 선언하여 큐 길이와 ACR 값이 심하게 변동하게 되는 문제점을 해결하였다. RCDCA를 사용하는 ATM 스위치에서는 셀이 도착할 때마다 큐 길이에 따라 선형적인 확률로 혼잡을 선언하게 되어 송신원들에서의 송신률인 ACR(Allowed Cell Rate)이 통계적으로 다중화되는 특성을 보이고 있다. 이러한 동작특성의 도출로 큐 길이의 심한 변동을 미연에 방지할 수 있었다. 시뮬레이션에 의하여 다양한 망 환경에서 RCDCA 방식이 큐 길이를 기반으로 혼잡 판단을 하는 기존 ER방식보다 ACR 값과 큐 길이의 변동폭이 크게 감소되고, 또한 파라미터의 변경에도 덜 민감한 동작 특성을 나타내어 ATM망에서 ABR 트래픽 제어에 우수한 성능을 나타냄을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new ABR congestion control algorithm which is a kind of ER feedback control in ATM networks called Random Congestion Detection Control Algorithm (RCDCA). The RCDCA algorithm solves the problems of the traditional EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Rate algorithm), MMRCA(Max-Min Rate Control Algorithm), DMRCA(Dynamic Max Rate Control Algorithm) in which the queue length and ACR (Available Cell Rate) fluctuate seriously because the decision of congestion and non-congestion are made simultaneously for all traffic flows in ATM switches. In the RCDCA, congestion decision is made randomly by using the linear probability function of the queue length in the ATM switches whenever cells arrive at ATM switches. So, the serious fluctuation of the queue length in ATM switches is prevented in advance by the statistical multiplexing property because each ACR value of traffic flows varies in somewhat random fashion. By simulation, we show that the variation of ACR and queue length are greatly reduced in the RCDCA for various traffic condition and ATM network environments. Also, the RCDCA is less sensitive to the change of control parameters than the EPRCA. Thus, the RCDCA is one of the efficient ABR congestion control algorithm in ATM networks

* 충남대학교 정보통신공학과 데이터통신실(eblee@datacom.chungnam.ac.kr)
** 충남대학교(jylee@datacom.chungnam.ac.kr)
논문번호 : 99022-0121, 접수일자 : 1999년 1월21일

www.dbpia.co.kr

I. 서 론

ATM 포럼을 중심으로 대역폭 예약형 서비스인 CBR (Constant Bit Rate) 과 VBR (Variable Bit Rate) 트래픽이 사용하고 남은 링크의 가용 대역폭을 최대한 활용하여 데이터를 전송하기 위한 ABR (Available Bit Rate) 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 최근에는 ATM 포럼에서 트래픽 관리 규격 (Traffic Management Specification) 4.0[4]을 승인함으로써 전송률 기반의 ABR 흐름 제어를 위한 송신원과 수신원의 동작에 관한 규격이 확정되었다. 그러나, 스위치의 동작 방식은 개발자들이 선택하도록 하고 있다.

ABR 서비스를 위한 스위치 알고리즘들은 데이터 셀 헤더의 EFCI (Explicit Forward Congestion Indication) 비트를 이용하여 혼잡을 알리는 EFCI 기반 알고리즘[5]과, 망의 상태에 따라 RM (Resource Management) 셀의 CI(Congestion Indication)나 NI(No Increase) 비트를 스위치에서 체크하여 혼잡 상황을 알리는 RR(Relative Rate) 기반 알고리즘 그리고, 망에서 현재 제공할 수 있는 전송률인 ER (Explicit Rate) 값을 계산하여 송신원에 전달함으로써 혼잡을 제어하는 ER 기반 알고리즘으로 구분할 수 있다. EFCI 기반 스위치에서는 짧은 경로일수록 더 많은 대역폭을 분배하게 되는 bit-down 현상이 나타나고, 혼잡 정보가 수신원을 거쳐 송신원에 도달되므로 빠르게 네트워크의 상황에 대처하지 못하게 되어 ACR의 변동폭과 큐 길이 변동이 심하다[5]. 하지만 ER 기반 스위치에서는 현 네트워크의 정보를 되돌아가는 RM셀에 실어 보내기 때문에 위 문제들을 어느 정도 해결하고 있다.

지금까지 논의된 ER 기반 스위치 알고리즘은 크게 혼잡판단 기준과 스위치에 연결된 모든 VC 정보의 유지여부에 따라 구분하고 있다. 혼잡판단 기준으로는 큐 길이와 입력률의 변화값이 쓰이고 있다. 큐 길이만을 조사하여 혼잡을 판단하는 알고리즘으로는 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)와 MMRCA(Max-Min Rate Control Algorithm), DMRCA (Dynamic Max Rate Control Algorithm) 등이 제안되고 있고, 입력률을 주기적으로 관측하여 혼잡을 미리 회피하고자 하는 알고리즘으로는 ERICA (Explicit Rate Indication For Congestion Avoidance)[6], CAPC (Congestion Avoidance using Proportional Control)[7], NIST 스위치 알고리즘[8]등이 제안 되어 있다. ER 스위치에서는 네트워크의 가용대역폭을 최대한 공정하게 각 VC에게 분배하기 위해서, 각 VC에게 공정하게 제공할 수 있는 대역폭, 즉 공정 대역폭 (Fairshare)을 계산하여 되돌아가는 RM셀에 실어 송신원으로 보낸다. 이때 모든 VC의 정보를 유지하여 그 정보를 이용하여 계산하는 알고리즘으로는 ERICA, MIT Scheme[9], ERAA(Efficient Rate Allocation Algorithm)[10] 등이 제안되고 있다. 이 알고리즘들은 현 네트워크 정보를 보다 신속 정확하게 송신원에 알려주는 장점이 있는 반면 VC 의 증가에 따른 해당 정보유지 공간 증가, 해당 정보의 변경 체크와 같은 고려사항이 많아져 스위치가 ABR 트래픽 처리를 위해서 복잡해지는 단점이 있다. 반면 VC별 해당정보를 유지하지 않는 경우의 알고리즘으로는 EPRCA, MMRCA, DMRCA, CAPC 등이 있다. 이 알고리즘들은 각 VC의 해당 정보의 유지와 관리가 필요 없으므로 스위치에 구현하기 쉽고 공정 대역폭도 어느 정도 근사하게 구해져서 네트워크 상황을 송신원에 빠르게 반영하여 ABR 트래픽 제어를 효과적으로 수행한다.

제안된 방식들 중 EPRCA, MMRCA, DMRCA 은 앞에서 설명했듯이 구현이 간단하며, 혼잡 상황에 빨리 대처하고, 경로의 길이에 관계없이 공정하게 대역폭을 분배하여 ABR 서비스 트래픽을 효과적으로 전송하는 알고리즘으로 앞으로 많이 구현되어 사용될 것으로 예상된다. 하지만, 큐길이를 기반으로 혼잡을 판단하는 ER 알고리즘인 EPRCA, MMRCA, DMRCA에서는 송신원에서 수신원에 이르는 거리가 비교적 짧거나 동거리에 있는 VC가 많은 경우, 혼잡 판단을 일괄적으로 수행하게 되어, 비슷한 혼잡상황정보가 송신원에 도착하게 되어 ACR 값이 동기를 맞추어 동시에 증가 감소를 하게 된다. 이 결과, 큐 길이 변동이 심해져 버퍼의 크기에 따라 셀이 폐기되는 현상이 쉽게 발생한다. 또한 ABR 파라미터(RIF, MRF, ERF등) 값의 변화에 따라 알고리즘이 민감한 특성을 나타낸다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 스위치 노드에서 큐 길이가 임계치에 위치하게 되면 큐 길이에 따른 선형적인 확률 함수로 스위치의 혼잡 상태를 랜덤하게 판단하여 각 VC에게 피드백 함으로서 EPRCA에서 나타나는 동기화로 인한 문제점을 해결할 수 있는 랜덤혼잡검출 방식의 ABR 트래픽 제어 알고리즘을 제안하고, 이 알고리즘 성능의 우수성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

www.dbpia.co.kr

본 논문은 2장에서 전송률 기반 방식의 ABR 제어 알고리즘에 대하여 기술하고, 기존에 제안된 알고리즘에 대해 설명하며, 3장에서는 제안한 RCDCA에 대하여 자세히 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 기존의 큐 길이를 기반으로 혼잡을 판단하는 ER방식의 알고리즘과 제안한 RCDCA 제어 방식의 성능을 비교 분석하고, 끝으로 제 5장에서 결론과 향후 과제에 대하여 기술한다.

Ⅱ. 전송률 기반 ABR 혼잡 제어와 기존 알고리즘

본 장에서는 ATM 포럼에서 표준화한 전송률 기반 ABR 혼잡 제어에 관해 설명하고, 기존에 제안된 ABR 제어 알고리즘에 관해 살펴본다.

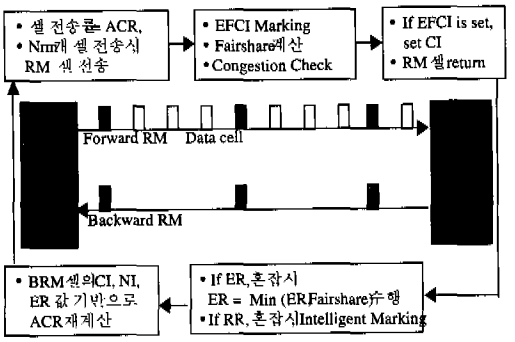


그림 1. ABR 서비스를 위한 전송률 기반 흐름 제어

ATM 포럼에서는 ABR 트래픽의 흐름 제어 수행을 위하여 전송률 기반 혼잡제어 방식을 채택하였다. 전송률 기반 혼잡 제어 방식은 그림 1과 같이 송신원에서 전송되는 데이터의 속도를 종단간에서 직접 제어할 수 있는 방식으로 빠른 데이터 전송이나 버스트성이 큰 데이터 전송에 적합하다. 종단간 직접 제어를 위하여 RM 셀을 이용하고 있으며 송신원과 수신원의 동작은 다음과 같이 설명할 수 있다.

- 송신원에서는 일정한 수의 데이터 셀을 전송할 때마다 하나의 순방향 RM (Resource Management) 셀을 망으로 전송한다.
- 수신원과 스위치에선 네트워크 상황 정보를 역방향 RM셀의 ER (Explicit Cell Rate), CI (Congestion Indication), NI (No Increase) 필드에 실어 송신원으로 되돌려보낸다.
- 되돌아온 RM 셀의 정보에 따라 송신원은 자신의 전송률인 ACR을 표1 같이 계산하여 ACR 속도로 데이터를 망으로 보낸다.

표 1. 송신원의 ACR 계산

NI	CI	ACR값 계산
0	0	ACR←Min (ER, ACR + RIF x PCR, PCR)
0	1	ACR←Min (ER, ACR - ACR x RDF), ACR←Max (ACR, MCR)
1	0	ACR←Min (ER, ACR)
1	1	ACR←Min (ER, ACR - ACR x RDF), ACR←Max (ACR, MCR)

한편 효과적인 ABR 트래픽 제어를 위해서 각 스위치에서는 현재의 네트워크 상태를 신속히 파악하여 정확한 정보를 RM 셀에 실어보내야 한다. 이를 위하여 기존에 여러 가지 알고리즘이 제안되고 있는데, 일반적으로 알려진 알고리즘으로는 EFCI와 EPRCA, MMRCA, DMRCA가 있다.

2.1 EFCI 방식

EFCI 스위치는 망의 현재 혼잡 여부만을 가지고 ABR 트래픽을 제어하는 방식이다. 스위치에 데이터 셀이 도착하게 되면 데이터 셀의 헤더에 있는 EFCI 비트를 이용하여 스위치가 혼잡인지 아닌지를 구분하는 두 가지 상태만을 수신원에게 알리게 된다. 즉, 큐 길이가 혼잡판단 기준치(THhigh)를 넘어설 경우, 또는 혼잡해제 기준치(THlow) 아래로 내려갈 경우에 대하여 각각 혼잡 선언과 해제 정보를 EFCI 비트에 체크한다. 수신원은 도착하는 데이터 셀의 EFCI 비트를 조사하여 해당 VC의 EFCI 상태를 테이블에 저장한 후, 순방향 RM 셀을 수신하면 테이블의 상태에 따라 역방향 RM 셀의 CI 비트를 이용하여 송신원에게 혼잡 발생과 해제를 알린다.

이 방식은 구현은 간단하지만, 경로가 길어질수록 혼잡 상황이 일어날 확률이 많아져 망 대역폭 할당을 덜 받게되는 VC 간 불공정성을 초래하고 혼잡 관련 정보가 수신원을 거쳐 송신원에 도착하게 되므로 지연 시간이 길어져서 신속하게 망 상태에 적응하지 못하는 문제점이 있다[5].

2.2 ER 방식

이러한 VC간 불공정성을 해결하고자, 현재 망에서 사용할 수 있는 대역폭을 계산하여 송신원에 전

www.dbpia.co.kr

달해 주는 ER 기반방식의 여러 알고리즘이 제안되고 있다. ER 기반 알고리즘 중 구현이 복잡하지 않으면서 ABR 흐름을 적절하게 제어하는 EPRCA, MMRCA, DMRCA은 앞으로 많이 사용될 것으로 보인다.

1) EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Rate algorithm)

EPRCA에서는 ATM 망의 혼잡 여부를 판단하기 위해 큐의 임계치 (TH_{high}, TH_{low})를 사용하고 심각한 혼잡 상황을 판단하기 위해 DQT를 두고 있다. 망이 혼잡상태가 아닌 경우에는 역방향 RM셀을 그대로 상향방향으로 보내며, 혼잡 상태인 경우에는 역방향 RM셀의 ER값과 공정대역폭(Fairshare)를 비교하여 작은 값을 ER값으로 바꾸어 보내며, 혼잡이 아주 심한 경우에는 되돌아가는 모든 역방향 RM셀의 ER값을 MRF (Major Reduction Factor)를 이용하여 MACR×MRF 값으로 감소시켜 보낸다. 여기서 MACR (Mean Allowed Cell Rate)은 평균 ACR 값으로 식 (1)과 같이 순방향 RM 셀의 CCR (Current Cell Rate) 값에 의해 계산된다.

$$MACR=(1-a)\times MACR+a\times CCR\ (a=1/16) \quad (1)$$

이와 같이 EPRCA[1]에서는 현재 망에서 제공할 수 있는 대역폭을 역방향 RM셀에 실어 보내게 되어 네트워크 상황에 빠르게 대처할 수 있는 장점이 있다. 그림2는 EPRCA의 의사코드를 나타낸 것이다. 그러나, EPRCA를 사용하고 있는 스위치에서는 큐 길이가 임계치(threshold)를 넘어서면 모든 VC의 혼잡 판단을 일괄적으로 수행하여 똑같은 망의 혼잡 정보가 각 VC의 송신원들에게 도착하게 된다.

```
If (receive ABR cell)
    Congestion Check  <그림 3, (a) 참조 >
    If (ABR cell == FRM cell)
      MACR = (1-a)MACR + a * CCR (a = 1/16)
      Fairshare = MACR * ERF (ERF = 0.875)
      Else (ABR cell == BRM cell)
       If (severe_congestion)
          ER = MACR * MRF
       Else (congestion)
          ER = Min (ER, Fairshare)
```

그림 2. EPRCA의 의사코드

따라서 송신원들의 전송률인 ACR값이 동시에 증감하게 되어, 스위치의 큐 길이가 크게 증감을 반복하게 되고, 버퍼크기가 작을 경우 데이터 손실이 유발되므로, 큰 버퍼 크기가 필요하게 되고, ABR 제어 파라미터의 작은 변화에도 매우 민감한 특성을 나타내는 단점을 가지게 된다.

2) MMRCA (Max-Min Rate Control Algorithm)

최대 전송률(Maximum Rate)과 최소 전송률(Minimum Rate)을 기반으로 selective marking을 사용하는 MMRCA 을 소개한다.

MMRCA은 혼잡 상황을 간파하기 위해 QT와 혼잡이 심각한 상태를 파악하기 위해 DQT의 임계치를 두고 있다. 스위치에서는 스위치에 연결된 모든 연결중 최대 전송률 값(MAX)와 최소 전송률 값(MIN)을 유지하며 또한 해당 연결의 MAX_VC와 MIN_VC의 VC 번호를 유지한다. 최대 전송률과 최소 전송률 그리고 해당 VC 번호는 해당 VC로부터의 RM셀이 도착할 경우에만 변경이 된다.

MMRCA의 의사 코드는 그림3과 같다. 큐 길이가 임계치 QT를 넘어서게 될 경우 스위치는 네트워크가 혼잡 상황이라 여긴다. 이때 스위치는 최소 전송률 MIN 값보다 큰 전송률로 전송되는 모든 연결들에 대하여 IPF(Increase Pressure Factor)를 사용하여 선별적으로 혼잡 상황을 알린다.

```
IF(DIR==0) {
    IF(ID==MAX_VC) {
        MAX=CCR
        IF(MAX>0.0)
            MAX_Timeout = 1.0/MAX*Nrm*2
        ELSE
            MAX_Timeout = 0
    }ELSE {
        IF(CCR>MAX) {
            MAX=CCR
            MAX_VC=ID
            IF(MAX>0.0)
               MAX_Timeout = 1.0/MAX*Nrm*2
            ELSE
               MAX_Timeout = 0
        }
    }
    IF(CCR >=  Beta*MAX)
        A_MAX = (1-Alpha) * A_MAX +   Alpha*CCR
}ELSE IF(DIR==1)
    IF(QL >= DQT) {
        CI = 1
        ER = min(ER, MRF*A_MAX)
    }ELSE IF(QL>=QT) {
        Marking_Threshold = A_MAX *    Fn (Queue_Length)
        IF (CCR >= Marking_Threshold) {
            CI =1
            ER = min(ER,  Marking_Threshold)
        }
    }
}
```

그림 3. MMRCA 의사 코드

www.dbpia.co.kr

즉, 전송률이 MIN×IPF 보다 큰 경우의 연결들에 대하여서만 해당 전송률을 줄이도록 하고 있다. 반면, 최대 전송률과 최소 전송률의 차이가 크고 전송률이 MIN*IPF 보다 작을 경우에 대해서만 전송률을 높이도록 하고 있다. 큐 길이가 DQT를 넘어설 경우에는 모든 VC의 전송률을 감소시킨다. 그리고 임계치가 QT이하로 내려갈 경우 혼잡 상황이 해제되었다 판단하여 MAX_VC를 제외한 모든 VC의 전송률 증가를 허용한다. 이러한 알고리즘의 특성으로 EPRCA보다 빠르게 공평값에 빠르게 수렴하는 특성을 보이고 있다.

3) DMRCA (Dynamic Max Rate Control Algorithm)

DMRCA는 EPRCA[11]에서 CCR 값의 잘못된 입력으로 공평 수치가 부정확해지는 단점을 보안하였다. DMRCA에서는 ABR VC중 최대 전송률 값을 가지는 VC 최대 전송률과 스위치의 큐 길이를 사용한다. VC중 최대 전송률을 사용하고자 함은 최대 전송률이 빠르게 올라가고 공평몫 위에 있고 평형상태에 있어서 공평몫으로 수렴한다 (최대 전송률을 사용하는 공평몫은 EPRCA에서의 MACR과 다르다). 최대 전송률은 공평몫에 항상 overestimation 이므로 공평몫에 수렴성을 향상시키기 위하여 감소인자(reduction factor)가 사용된다. DMRCA의 의사 코드는 그림 4와 같다. 스위치는 모든 ABR VC중 최대 전송률 MAX를 모니터하는데, 선별 인수(Beta)를 사용하여 A_MAX 값을 갱신한다. A_MAX (Adjusted Maximum rate) 계산은 다음 식과 같이 수행한다.

```
MAX_VC : Current connection with maximum rate
MIN_VC : Current connection with minimum rate
MAX : Current maximum rate of all connections
MIN: Current minimum rate of all connections
CCR: Current Cell Rate of connection I

If Queue Length  = DQT              // Switch is highly congested
Then decrease rate of connection I
Else
    If Queue Length  = QT  // Switch is congested
    Then
        If CCR(I)  =  MIN * IPF
        Then decrease rate of connection I
        Else
                If  MAX - MIN  = MAX_MIN_DIFF
                Then
                        If connection I = MAX_VC connection
                        Then increase rate of connection I
                        Else decrease rate of connection I
                Else decrease rate of connection I
    Else
        If Queue Length     QT // Switch is uncongested
        Then
                If connection I = MAX_VC connection
                Then increase rate of connection I
Else do not touch connection I
```

그림 4. DMRCA 의사 코드

$$A_MAX = (1-Alpha) \times A_MAX + Alpha \times MAX$$

그림 4의 의사 코드에서는 지능형 마킹을 수행하는 수치는 다음식에 의해 계산된다.

$$Marking\ threshold = A_MAX \times Fn(Queue\ Length)$$

함수 Fn(Queue Length)는 이산 함수이며 큐 길이에 non-increasing의 특성을 갖는 함수이다. 이 알고리즘은 간단한 선형 확률을 이용하여 동작한다. 다른 네트워크 환경에서 성공적으로 사용될 수 있다.

표 2. DMRCA에서 사용하는 Fn 함수

Queue Size	Function Value
TH_{high}	0.75
TH_{high} + 200	0.7
TH_{high} + 400	0.65
TH_{high} + 600	0.6

표 2에서는 DMRCA 에서 사용되는 Fn 함수를 정의한 부분이다. 큐 길이가 TH_{high} 보다 크게 되면 Fn 값이 0.75가 되고 TH_{high} + 200보다 크면 Fn 값이 0.7이 된다. 시뮬레이션1에서 시뮬레이션 3까지 Fn 함수는 표 2와 같은 값을 사용하였다.

DMRCA에서는 임계치 QT와 DQT를 사용하여 혼잡 상황을 체크한다. 큐 길이가 임계치 QT를 넘어설 경우 스위치는 혼잡 상황이라고 여겨 intelligent marking을 수행한다. 혼잡 상황이 계속되어 임계치 DQT를 넘어설 경우, 스위치는 매우 혼잡하다고 판단하여 모든 ABR VC의 전송률을 감소시킨다. 전송률을 감소시키기 위하여 MRF (Major Reduction Factor)를 사용하여 RM셀의 ER 필드에 A_MAX×MRF값으로 치환한다.

DMRCA에서 사용되는 MRF 수치는 다른 알고리즘에서 사용되는 MRF 수치보다 작게 설정해 놓았다 (MRF =0.3).

이 DMRCA는 구현 복잡도가 낮고, 공평몫으로의 수렴성이 좋고 CCR 값에 따라 덜 민감한 반면 특정 파라미터(RIF, RDF 등)에 민감하게 반응한

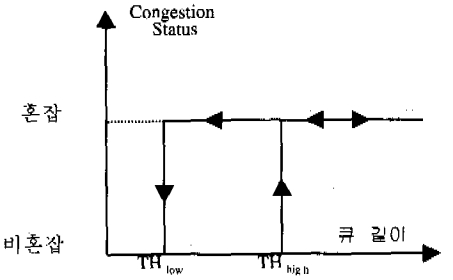
www.dbpia.co.kr

다. 즉 RIF값이 높게 설정될 경우 잠재적인 unfairness를 유발할 수 있다. 따라서 이 알고리즘이 효과적이고 올바르게 수행되려면 작은 RIF 값을 골라써야 한다.

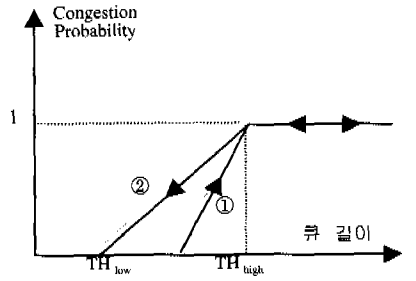
Ⅲ. 랜덤혼잡검출 제어 알고리즘 (RCDCA)

본 논문에서 제안한 RCDCA (Random Congestion Detection Control Algorithm)도 혼잡 판단 수행을 큐 길이를 기반으로 하는 알고리즘이다.

RCDCA에서는 큐 길이가 임계치에 이르렀을 때 일괄적으로 혼잡 판단과 혼잡 해제를 선언하는 EPRCA, MMRCA, DMRCA와는 달리, 현재 큐 길이에 따른 선형적인 확률로 각 VC의 혼잡 판단을 랜덤하게 수행하여 각 VC의 전송률이 동기화되어 행동하는 것을 방지함으로써 큐 길이의 급격한 변화를 미연에 방지시키는 특성을 나타낸다. 다시 말하면 ATM 스위치에서 ABR 제어 알고리즘이 모든 VC에 대해 일괄적으로 혼잡과 혼잡해제 판단을 수행하면 각 VC의 송신원의 전송률이 동기되어 큐 길이의 변동폭은 커지게 된다.



(a) EPRCA, MMRCA, DMRCA에서 혼잡판단방식



(b)RCDCA에서 혼잡판단방식

그림 5. EPRCA, MMRCA, DMRCA와 RCDCA의 혼잡판단방식

따라서 큐 길이에 따른 선형적인 확률로 랜덤하게 혼잡 판단을 수행하게 되면, 큐 길이가 커짐에 따라 혼잡 확률은 증가하지만 송신원의 동기화를 예방하게 되어 일괄적인 혼잡 판단을 수행시 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 예방이 가능해진다.

그림 5는 EPRCA, MMRCA, DMRCA와 RCDCA의 혼잡 판단 방식을 도식화 한 것이다. 그림에서와 같이 EPRCA, MMRCA, DMRCA에서는 큐 길이가 임계치 (threshold)를 넘어서면 혼잡 판단을 일괄적으로 수행함을 볼 수 있다. 반면 RCDCA에서는 큐 길이에 따른 선형적인 확률로 랜덤하게 혼잡 판단을 수행하고 있음을 볼 수 있다. 즉, 현재 스위치가 혼잡 상황이 아니고 큐 길이가 혼잡 상황 판단의 기준이 되는 임계치 THhigh와 THlow의 중간값과 THhigh 사이에 위치할 경우, 그림 5 (b)의 직선 과 같은 선형적인 확률로 랜덤하게 혼잡 상황을 선언한다. 그리고 스위치가 혼잡 상황이며 스위치 큐 길이가 THhigh 와 THlow 사이에 있을 경우에는 그림 5 (b)의 직선 와 같은 선형적인 확률로 랜덤하게 혼잡 상황을 해제한다.

예를 들어 설명하면 다음과 같다. THlow = 1000이고 THhigh = 2000이라고 가정하자. 현재 스위치가 혼잡 상황이 아닌 상태에서 큐 길이가 1500에 이르면 0의 확률로, 1750에 이르면 0.5의 확률로 2000에 이르면 1.0의 확률로 랜덤하게 각 VC의 혼잡 상태임을 선언한다. 반면 스위치가 혼잡 상황인 경우에 큐 길이가 2000에 이르면 0의 확률, 1500에 이르면 0.5의 확률, 1000에 이르면 1.0의 확률로 랜덤하게 각 VC의 혼잡 해제를 선언한다.

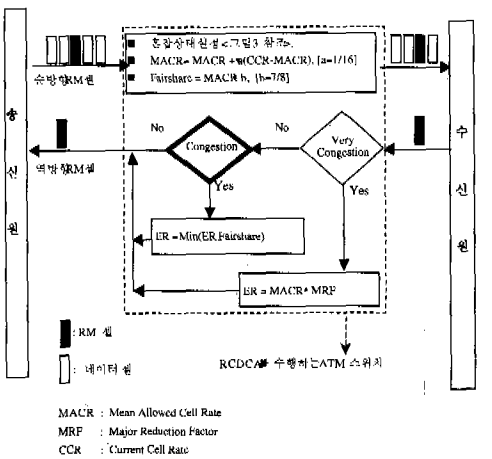


그림 6. 제안한 RCDCA의 흐름도

www.dbpia.co.kr

그림 6은 전송률 기반 방식에서 제안한 RCDCA 방식의 전반적인 제어를 나타낸 것이다. 점선으로 선택되어진 부분이 RCDCA를 수행하는 ATM 스위치를 나타내며, 점선으로 선택된 부분 중에 Congestion 판단하는 부분에서 그림 5의 (b)에 근거한 실질적인 혼잡 판단을 수행한다

Ⅳ. 시뮬레이션에 의한 성능 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통해, 제안한 RCDCA와 EPRCA, MMRCA, DMRCA의 ACR 변화, 큐 길이 변화치를 통해서 성능을 비교 분석한다. 다양한 망 환경에서 성능 분석을 위해 VBR 트래픽을 고려하지 않은 경우와 VBR 트래픽을 고려한 경우에 대하여 실험하였다. 또한 여러 ABR 제어 파라미터 변경에 따른 동작 특성도 관측하였다.

모든 시뮬레이션 구성에서 송수신원과 스위치와의 거리는 10 km로 가정하였고, 스위치간 거리는 100km로 설정하였고, 각 링크의 전송률은 155 Mbps로 가정하였다. 시뮬레이션 tool로는 NIST (National Institute of Standard & Technology)에서 개발한 NIST ATM Simulator[11]를 사용하였다.

4.1 ATM 스위치간 거리가 100km일 때 ABR 트래픽만 존재하는 경우 (Simulation 1)

기존 ER 스위치 방식과 RCDCA 스위치 방식의 ABR 트래픽 혼잡 제어의 성능을 분석하기 위하여 그림 7과 같이 6개의 ABR VC와 6개의 스위치로 구성된 ATM망 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션에 사용될 ABR 파라미터는 표3과 같이 설정하였다. PCR (Peak Cell Rate)은 최대 전송률, MCR (Minimum Cell Rate)은 최소 전송률, ICR (Initial Cell Rate)은 초기 전송률, Nrm (Number of Cells/RM)은 RM 셀당 전송되는 데이터 셀 수, RIF (Rate Increase Factor)는 전송률 증가치, RDF (Rate Decrease Factor)는 전송률 감소치를 나타내며, ERF (Explicit Rate Factor)는 공정 대역폭 (Fairshare)을 구할 때 사용되는 파라미터이며, MRF (Major Reduction Factor)는 심각한 혼잡 상태인 경우 ER을 계산할 때 사용되는 파라미터이다.

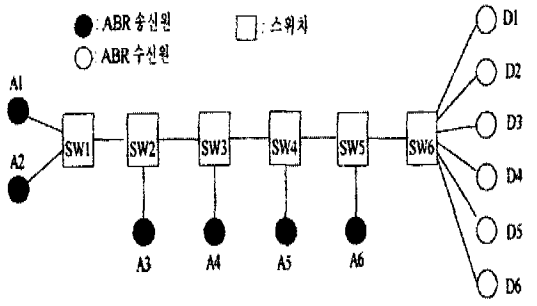


그림 7. ABR 트래픽만 존재하는 경우의 시뮬레이션을 위한 ATM 망 구성 모델

표 3. 시뮬레이션 1에서 설정한 ABR 제어 파라미터

파라미터 (송신원)	설정값	파라미터 (스위치)	설정값
PCR	150 Mbps	Buffer Size	3000
MCR	1.49 Mbps	THlow	1500
ICR	7.49 Mbps	THhigh	RCDCA:2000, 기존 ER : 1800
Nrm	32	DQT	2500
RIF	0.02	ERF	0.875
RDF	0.0625	MRF	0.75, DMRCA: 0.3

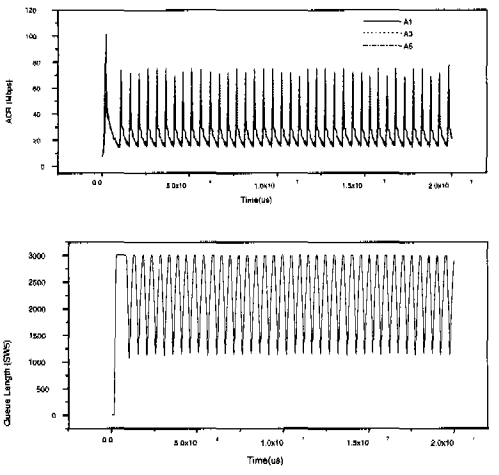


그림 8. 시뮬레이션 1에서 EPRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

www.dbpia.co.kr

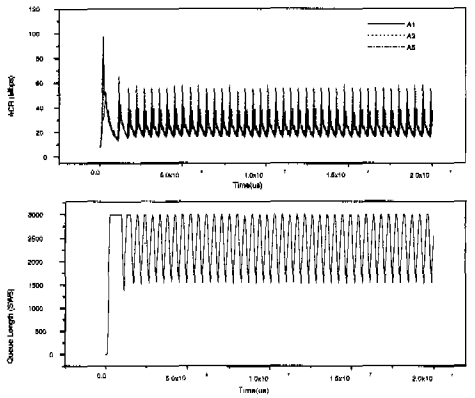


그림 9. 시뮬레이션 1에서 MMRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

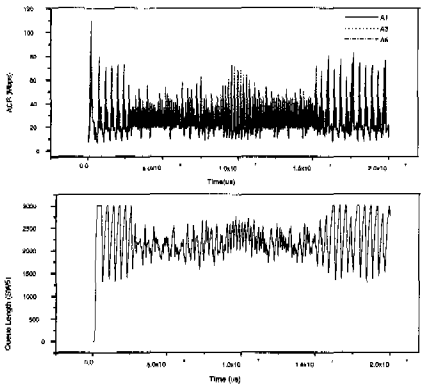


그림 10. 시뮬레이션 1에서 DMRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

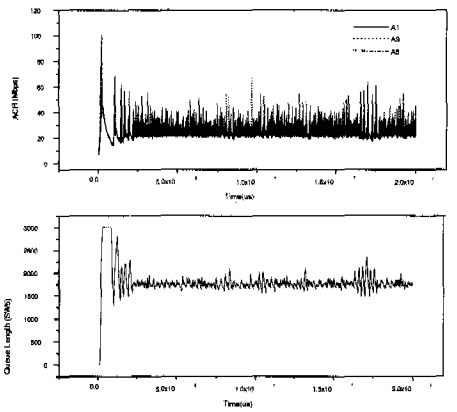


그림 11. 시뮬레이션 1에서 RCDCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

그림 8, 그림 9, 그림 10 그리고, 그림 11은 EPRCA, MMRCA, DMRCA와 RCDCA를 각각 사용하였을 때 송신원들에서의 ACR 변화와 혼잡 지점이 되는 ATM 스위치(SW5)에서의 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에 나타난 것처럼 RCDCA 방식은 평형 상태에서 송신원들이 동기를 맞추어 ACR 수치를 증가시키거나 감소시키는 동작 특성을 미연에 방지하여 ACR 변동폭이 적고 안정적인 우수한 성능을 보이고 있다. 또한 큐길이 변동을 비교해 볼 때 기존 ER 방식을 사용하였을 경우에는 송신원의 ACR이 동기화되어 큐 길이 변동이 심하게 나타나 셀 손실도 많이 일어나고 있지만, RCDCA 방식을 사용하였을 때의 큐 길이는 거의 안정적으로 유지되는 동작 특성을 보이고 있다. 또한 ACR의 수치가 비교적 같게 나타나고 있는 것으로 공평성 (Fairness)도 어느 정도 보장되고 있음을 확인할 수 있다.

4.2 ATM 스위치간 거리가 100km 일 때 ABR과 VBR 트래픽이 동시에 존재하는 경우 (Simulation 2, 3)

가용 대역폭이 동적인 ATM 망에서, 제안한 RCDCA 성능 측정을 하기 위하여 VBR 트래픽을 포함한 ATM 망 구성을 그림 12와 같이 설정하고 여러 가지 ABR 제어 파라미터를 바꾸어 가며 다양하게 시뮬레이션을 수행하였다. 이 실험에서 사용된 VBR 트래픽은 On-Off 소스로 동작시켰으며, 버스트간 간격은 500ms로 하고 버스트 길이는 각각 1000ms, 500ms로 설정하여 실험하였다. 이 실험에서 설정한 제어 파라미터는 표 4와 같고, 기술되지 않은 파라미터는 표3와 동일하다.

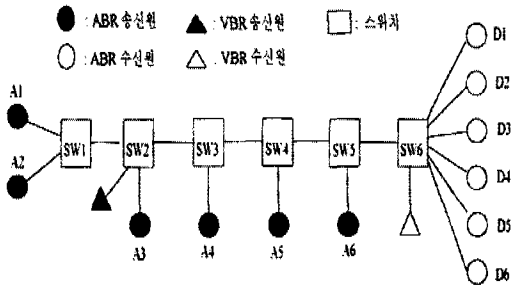


그림 12. ABR 트래픽과 VBR 트래픽이 동시에 존재하는 경우의 시뮬레이션을 위한ATM 망 구성 모델 (시뮬레이션 2, 3)

www.dbpia.co.kr

표 4. 시뮬레이션 2, 3에서 설정한 ABR 제어 파라미터

	시뮬레이션2		시뮬레이션3	
파라미터	EPRCA	RCDCA	EPRCA	RCDCA
RIF	0.01	0.02	0.01	0.01
VBR 최대생성률	90Mbps	90Mbps	90Mbps	90Mbps
버스트길이	1000ms	1000ms	500ms	500ms
버스트간길이	500ms	500ms	500ms	500ms
MRF	0.75	0.75	0.6	0.6

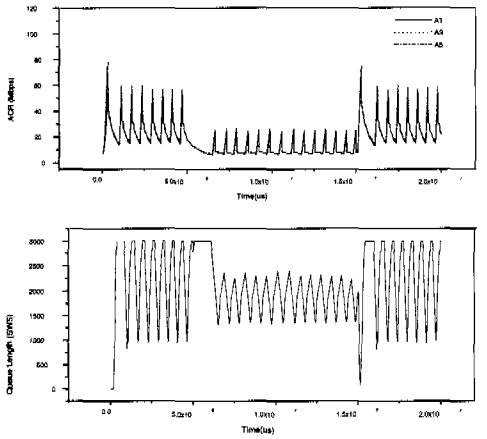


그림 13. 시뮬레이션2에서 EPRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

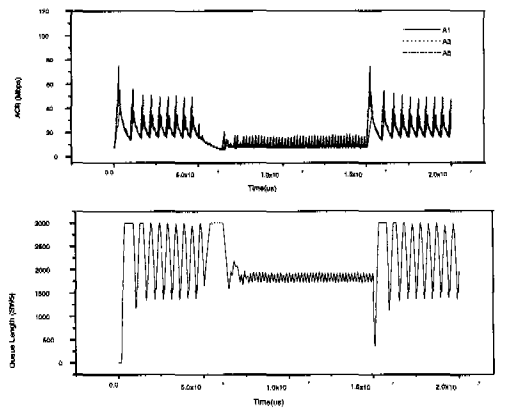


그림 14. 시뮬레이션2에서 MMRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

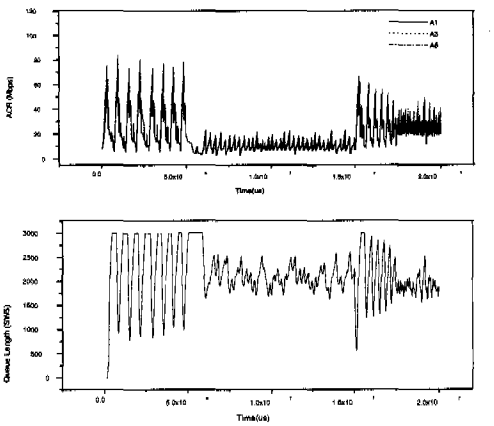


그림 15. 시뮬레이션2에서 DMRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

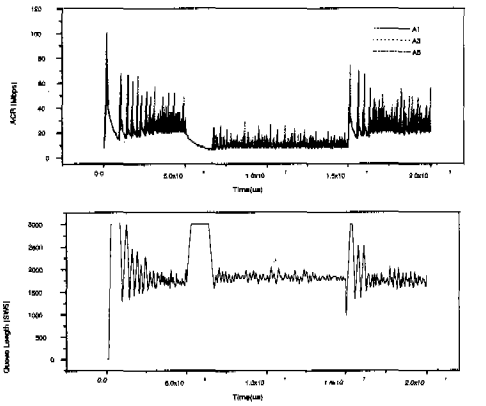


그림 16. 시뮬레이션2에서 RCDCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

그림 13은 시뮬레이션2 조건에서 EPRCA, 그림 14는 MMRCA, 그림 15는 DMRCA를 이용한 경우의 ACR 변화와 큐 길이 변화를 나타내고, 그림 16은 같은 조건에서 RCDCA사용한 경우의 ACR 변화와 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. 대용량의 VBR 데이터가 네트워크로 유입되는 시점에서는 EPRCA, MMRCA, DMRCA 그리고 RCDCA에서 셀 손실이 많이 발생함을 볼 수 있다. RCDCA 방식을 사용한 경우, VBR 트래픽 존재 할 경우와 존재하지 않을 경우에 무관하게 큐 길이 변동폭이 일정하게 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 기존 ER 제어 알고리즘에서는 VBR 트래픽 유무에 따라 변동폭이 달라져 큐 제어가 힘들며, 심각한 손실이 주기적으로 계속되고 있다. 일반적으로 RIF 수치가

www.dbpia.co.kr

를 경우엔, 망의 가용대역폭이 클 때 빠르게 대처해 링크의 가용 대역폭을 최대한 이용할 수 있는 장점이 있는 반면, ACR 변동폭이 커져 큐 변동폭이 커질 우려가 있다. 시뮬레이션 2에서는 다른 알고리즘들의 RIF 수치는 0.01로 RCDCA는 0.02로 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 수행결과 RCDCA는 기존 ER 알고리즘인 EPRCA, MMRCA, DMRCA보다 RIF 수치가 2배임에도 불구하고 큐 길이 변화가 안정된 특성을 나타내었다. 이번 시뮬레이션 결과로 RCDCA는 망의 가용대역폭도 신속하게 잘 이용하는 좋은 링크 가용폭 특성을 보임과 ABR 트래픽 제어에 우수한 특성을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

EPRCA, MMRCA, DMRCA와 RCDCA 방식에서 심각한 혼잡 상황인 경우에는 역방향 RM 셀의 ER값을 MACR MRF로 계산하여 송신원으로 보내게 된다. 시뮬레이션2에서는 MRF 값을 0.75로 실험하였는데 이 수치로는 갑자기 대용량의 트래픽이 망으로 유입되어 발생하는 심각한 혼잡 상태에서 벗어나기까지 상당한 시간이 소요되었다. 그래서 시뮬레이션3 조건에서는 MRF값을 0.6로 낮추어 빠르게 혼잡상황을 벗어나도록 조건을 설정하였다.

그림 17은 시뮬레이션3에서 EPRCA, 그림 18은 MMRCA, 그림 19는 DMRCA를 이용한 경우의 ACR 변화와 큐 길이 변화를 나타낸 것이고, 그림 20은 같은 조건에서 RCDCA를 사용한 경우의 ACR 변화와 큐 길이의 실험 결과를 나타낸 것이다. 기존 ER 방법을 사용하였을 경우, 정상 상태로의 복귀가 늦고, 큐 길이의 oscillation이 심하여 셀 손실이 계속적으로 존재하고 있다.

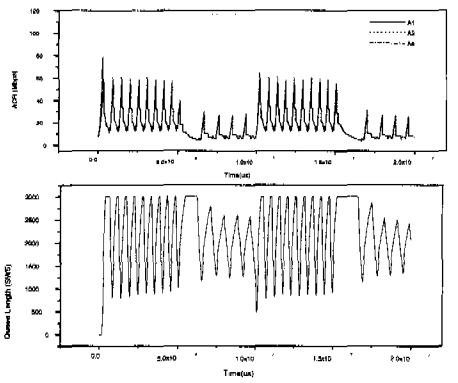


그림 17. 시뮬레이션3에서 EPRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

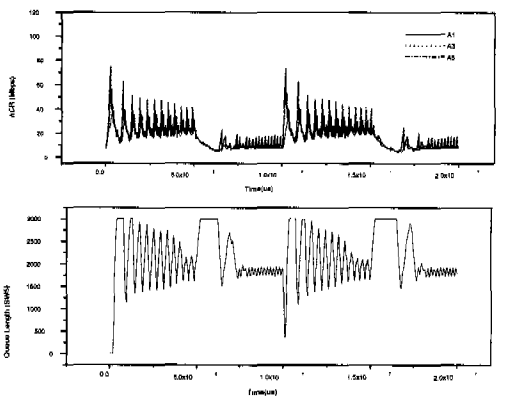


그림 18. 시뮬레이션3에서 MMRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

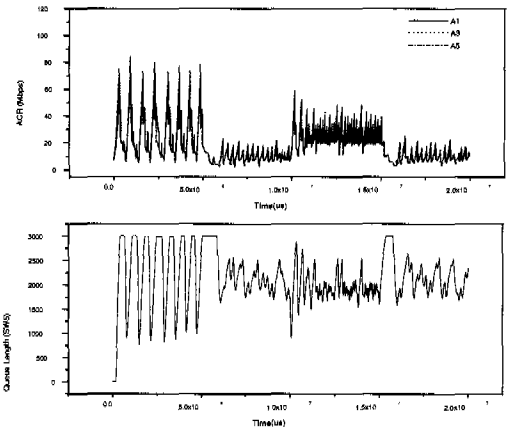


그림 19. 시뮬레이션3에서 DMRCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

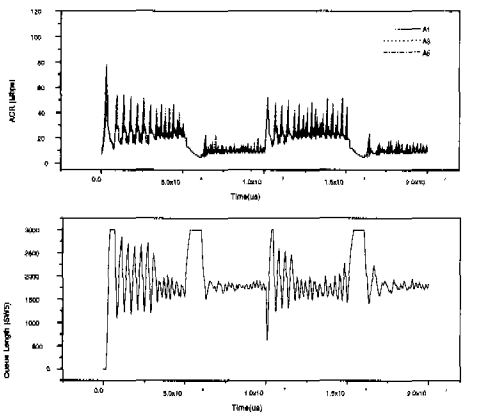


그림 20. 시뮬레이션 3에서 RCDCA의 ACR 변화와 큐길이 변화

반면 RCDCA 방법을 사용하였을 경우, 정상 상태로의 복귀가 빨라 셀 손실이 적으며, 정상 상태로

www.dbpia.co.kr

의 복귀 후에도 큐 길이 진동현상이 거의 일어나지 않고 있다. 위와 같이 수행되어진 시뮬레이션의 결과등을 통해, 제안된 RCDCA가 ACR 변화율, 큐 길이의 변동폭, link utilization 등에서 기존 ER 알고리즘보다 좋은 특성을 나타내고 있음을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 RCDCA를 사용하는 스위치에서 랜덤하게 혼잡을 검출하여 송신원에 알림으로써, 송신원들로부터의 데이터 전송률이 통계적 다중화되었기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 ATM 망에서 ABR 트래픽 제어를 위한 효율적인 ER 기반 스위치 알고리즘인 RCDCA 알고리즘을 제안하고, 다양한 시뮬레이션을 통해 기존 알고리즘과의 성능을 비교 분석하여 성능의 개선을 보였다.

EPRCA, MMRCA, DMRCA에서는 큐 길이가 임계치를 지날 경우 혼잡의 판단과 해제를 모든 VC에 일괄적으로 수행하여 각 송신원들이 동일한 혼잡 정보에 근거하여 ACR 값이 동기를 맞추어 증감하는데, 이 결과로 큐 길이 변동폭이 커지는 문제점을 나타내고 있다. 그러나 제안한 RCDCA 알고리즘은 큐 길이가 두 개의 혼잡 판단 임계치 사이에 이를 경우 큐 길이에 따른 선형적인 확률로 랜덤하게 혼잡 검출을 수행하여 각 VC의 송신원의 전송률이 동기화 되는 것을 방지하여 통계적 다중화를 통해 우수한 제어 특성을 나타내었다. 이러한 동작 방식으로 기존 ER 방식에서 각 송신원이 동기화 되어 ACR 값이 증감함으로 발생하는 여러 문제점을 해결하였다. 이 결과로 큐 길이가 안정적으로 유지되었으며, ACR의 변동폭도 많이 감소되는 특성을 나타내었다. 또한 파라미터 변경에도 덜 민감하고, VBR 트래픽이 있는 환경이나 피드백 지연 시간이 큰 환경에서도 빠르게 네트워크 환경에 대응하여 큐 길이가 안정적으로 유지됨을 보여, ABR 트래픽 제어 알고리즘으로 우수한 특성을 나타내었다.

앞으로 본 알고리즘의 랜덤 혼잡 검출 방식을 이진 피드백 스위치 알고리즘과 다른 ER 피드백 스위치 알고리즘인 NIST, ERICA 등과 EFCI에 적용하여 ABR 제어 성능을 개선하는 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] L. Roberts, "Enhanced Proportional Rate-Control Algorithm", *ATM Forum/94/0735R1*, Aug. 1994.

[2] 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. ICC96, June 1996

[3] F. Chiussi, Y. Xia, and V.P. Kumar, Dynamic "Max Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks", *Proc. GLOBECOM 96*, pp. 2108-2117, Nov. 1996.

[4] The ATM Forum Technical Committee, "Traffic Management Specification Version 4.0", *ATM Forum af-tm-0056.000*, Apr. 1996

[5] J. C. Bennett and G. T. des Jardins, "Comments on the July PRCA Rate Control Baseline", *ATM Forum/94-809*, Sep. 1994.

[6] Raj Jain, Shivkumar Kalyanaraman, Rohit Goyal, Sonia Fahmy, Ram Viswanathan, "ERICA Switch Algorithm: A Complete Description," *ATM Forum/96-1172*, August 1996

[7] A. W. Barnhart, "Explicit Rate Performance Evaluations", *ATM Forum/94-0983*, Oct. 1994.

[8] N. Golmie, Y. Chang and D. Su, "NIST ER Switch Mechanism", *ATM Forum/95-0695*, June, 1995.

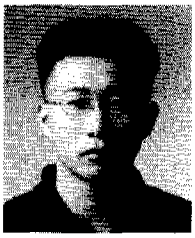
[9] A. Charny, "An Algorithm for Rate Allocation in a packet-switching network with feedback", *Tech. Rep. MIT/TR-601*, MIT, Cambridge, Massachusetts, May, 1994.

[10] L. Kalampoukas, A. Varma, and K. K. Ramakrishnan, "An Efficient Rate Allocation Algorithm for ATM Networks providing Max-Min fairness", *in HPN95, IFIP*, Sept. 1995.

[11] N. Golmie, Mark Corner, Yves Saintillan, Alfred Koenig, Y. Chang and D. Su, "The NIST ATM/HFC Netowork Simulator V3.0", March, 1998.

www.dbpia.co.kr

이 은 봉(Eun-Bong Lee) 학생회원



1997년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 졸업
1999년 9월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
<주관심 분야> 광대역 통신

이 재 용(Jae-Yong Lee) 정회원

1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1990년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 석사
1995년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 박사
1995년 9월 ~ 충남대학교교수
<주관심 분야> 광대역 통신

www.dbpia.co.kr