

무선 ATM망에서 무선채널의 특성을 고려한 ABR 전송률 제어 방안

(An ABR Rate Control Scheme Considering Wireless
Channel Characteristics in the Wireless ATM Network)

이 경 주 [†] 민 구 ^{**} 최 명 환 ^{***}

(Kyungjoo Yi) (Koo Min) (Myungwhan Choi)

요 약 에러율이 높은 무선채널 상에서 낮은 CLR(cell loss ratio)을 보장하는 ATM(asynchronous transfer mode) ABR(available bit rate) 서비스를 지원하기 위해서는 재전송이 요구된다. 무선 ATM에서는 ATM계층 하에 DLC(data link control)계층을 두어 DLC계층이 무선채널 상의 에러로 인해 요구되는 재전송과 재배열을 수행하도록 하여 높은 에러율을 갖는 무선채널의 특성이 낮은 에러율을 가정하여 설계된 ATM계층으로 전파되는 것을 막는다.

본 논문에서는 무선채널 상에서의 높은 에러율에 의한 전송률 감소를 반영하는 ABR 전송률 제어 방안을 제안함으로써 근원지의 전송률을 무선채널 상에서의 전송률에 보다 가깝게 맞추어 AP(access point)에서 발생할 수 있는 버퍼 오버플로우에 의한 셀손실을 줄였다. 채널의 상태를 ATM계층에 알리는 DLC계층을 가정한 모의실험을 통하여 제안하는 방안이 무선채널 상에서 기존의 방법보다 작은 크기의 ABR 큐를 사용하여 낮은 CLR을 보장함을 보였다. 또한 채널의 상태에 따라 전송률을 조정하는 DLC계층을 사용함으로써 무선 ATM에서 귀중한 자원인 무선링크를 보다 효율적으로 사용할 수 있음을 보였다.

Abstract Retransmissions on the DLC layer are essential to ABR service providing the low CLR (cell loss ratio) over the unreliable wireless channel with high bit error rate. In the wireless ATM, the DLC layer below ATM layer performs the retransmission and reordering of the cells to recover the cell loss over the wireless channel and by doing so, the effect of the wireless channel characteristics with high bit error rate can be minimized on the ATM layer which is designed under the assumption of the low bit error rate.

We propose, in this paper, the schemes to reflect the changes of the transmission rate over the wireless channel on the ABR rate control. Proposed scheme can control the source rate to the changes of the transmission rate over the wireless channel and reduce the required buffer size in the AP (access point).

In the simulation, we assume that the DLC layer can inform the ATM layer of the wireless channel quality as good or bad. Our simulation results show that the proposed schemes require the smaller buffer size compared with the existing scheme, enhanced dynamic max rate control algorithm (EDMRCA). It is also shown that the scheme with the intelligent DLC which adjusts the rate to the wireless channel quality not only provides the low CLR with smaller buffer requirement but also improves the throughput by utilizing the wireless bandwidth more efficiently.

1. 서론

파일전송과 같이 셀손실에 매우 민감한 데이터의 전송을 위하여 고안된 ABR 서비스는 CBR(constant bit rate), VBR(variable bit rate) 서비스가 사용하고 남은 대역폭을 사용함으로써 데이터를 보다 경제적으로 전송할 수 있다. 데이터 전송은 전송시간보다는 정확한 전달이 중요하므로 ATM Forum은 ABR 서비스에 대해 전

· 이 논문은 1998년도 한국과학재단의 특정기초연구비에 의해 연구됨.

[†] 비 회 원 : (주)삼성전자 통신연구소 연구원

kjyi@telecom.samsung.co.kr

^{**} 비 회 원 : 한국통신 통신망연구소 연구원

minkoo@ht.co.kr

^{***} 종신회원 : 서강대학교 컴퓨터학과 교수

mchoi@ccs.sogang.ac.kr

논문접수 : 1999년 8월 17일

심사완료 : 2000년 3월 9일

송지연에 대한 제한은 정의하고 있지 않으나 낮은 CLR을 보장하도록 정의하고 있다[1].

에러가 많이 발생하는 무선망에서 낮은 CLR을 보장하기 위해서는 재전송이 요구된다. 유선망에서 에러는 무작위적으로 발생하는 데 비해 무선망에서 에러는 페이딩 등으로 인해 연속적으로 발생한다. 이러한 특성으로 인해 무선채널의 에러들은 순간적으로 많은 재전송을 유발시켜 실제 ABR 연결들에 제공하는 전송률을 급격히 떨어뜨리게 된다. 이는 높은 우선 순위 트래픽의 증가와 마찬가지로 버퍼 오버플로우에 의한 셀손실을 유발할 수 있다. 그러므로 무선 ATM에서 낮은 CLR을 보장하는 ABR 서비스를 지원하기 위해서는 ABR 큐의 크기 설정 시 높은 우선 순위 트래픽의 증가뿐만 아니라 에러에 의한 가용대역폭의 감소도 고려하여야 한다.

에러율이 높아 상태가 좋지 않은 무선채널 상에서의 전송은 성공할 가능성이 적으며 이는 귀중한 자원인 대역폭의 낭비를 초래한다. ABR 서비스는 전송지연에 대한 제한이 없으므로 채널의 상태가 좋지 않을 때 전송을 수행하지 않고 채널의 상태가 좋아질 때를 기다려 전송을 수행하여도 서비스의 품질(QoS)은 저하되지 않는다. 그러므로 채널의 상태가 좋지 않은 연결들에 할당된 대역폭을 채널의 상태가 좋은 연결들이 사용하도록 하여 성공적으로 전송되는 셀의 수를 증가시킴으로써 무선링크를 보다 효율적으로 사용할 수 있다. [2,3]에서는 무선채널의 상태를 고려하여 전송을 수행함으로써 무선망의 처리율을 높이는 방법들을 제안한 바 있다. 편의상 무선채널의 에러율이 높을 때 채널이 불량(bad) 상태에 있다 하고 에러율이 낮을 때 채널이 양호(good) 상태에 있다고 하자. 채널의 상태를 고려한 전송은 채널이 불량상태일 때 근원지의 전송률을 감소시킴으로써 낮은 CLR을 보장하며 이를 위해서는 보다 큰 ABR 큐가 요구된다.

기존의 ABR 전송률 제어 방법들은 낮은 에러율을 갖는 유선망에서의 사용을 목적으로 만들어져 에러율이 높고 가변적인 무선망에 그대로 적용하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 CBR, VBR과 같은 높은 우선순위 트래픽의 변동뿐만 아니라 무선채널의 상태도 ABR 전송률 제어에 고려함으로써 채널이 불량상태로 전이됨으로서 실제 연결에 제공할 수 있는 전송률의 급격한 감소를 근원지에 빨리 전달하여 근원지의 전송률을 무선채널 상에서의 가용대역폭에 가깝게 맞추어 작은 크기의 ABR큐를 사용하면서도 낮은 CLR을 보장하는 전송률 제어 방법을 제안하고자 한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서

는 기존 연구들에 대해 간략히 언급하고 3장에서는 제안하는 무선채널 상에서의 ABR 전송률 제어 방안에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 모의실험을 통하여 성능 평가 및 분석을 수행한 후 5장에서 결론을 맺겠다.

2. 기존 연구

2.1 무선 ATM

현재까지 대용량의 전송률을 지원하는 고속 무선 ATM에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다[4-6]. 일반적으로 무선 ATM에 관한 연구들은 ATM계층의 하위 계층으로서 무선링크를 공유하기 위한 MAC(media access control)계층과 무선채널에서의 에러로 인해 요구되는 재전송과 재배열을 수행하는 DLC계층을 두어 높은 에러율을 갖는 무선채널의 특성이 낮은 에러율을 가정하여 설계된 ATM계층으로 전파되는 것을 막는다. Magic WAND(Wireless ATM Network Demonstrator)에서 제시하고 있는 무선부에서는 유선 ATM망에서와는 달리 물리(physical)계층과 ATM계층 사이에 MAC계층과 DLC계층이 있다[6]. Magic WAND 프로젝트의 하나로 진행된 [7]은 채널이 불량상태로 전이함으로써 인해 재전송이 필요할 때 재전송을 위한 시간간도(timeout interval)를 채널이 불량상태에 머무는 기간을 반영한 값으로 설정한 go-back-N ARQ(automatic repeat request)를 사용하는 DLC를 제안하였다. 여기서 제안한 DLC는 채널이 불량상태로 전이했을 때 시간간도 동안 전송을 수행하지 않고 채널이 양호상태로 전이할 때까지 기다렸다가 전송을 재개함으로써 채널의 상태가 양호한 다른 연결들이 조금 더 많은 대역폭을 사용하도록 한다.

NEC는 1995년에 실제로 무선모형을 구현하여 ABR 서비스를 실험하였다[5]. 구현된 WATMnet(Wireless ATM Networks)의 DLC계층은 채널의 상태를 고려하지 않고 전송을 수행하며 재전송을 통하여 zero CLR을 보장한다.

편의상 WATMnet의 DLC와 같이 채널의 상태에 상관없이 전송기회가 주어질 때마다 전송을 수행하는 DLC를 평범한(plain) DLC라 하고 [7]과 같이 채널의 상태에 따라 전송률을 조정하는 DLC를 지능형(intelligent) DLC라고 하자. [5]와 [7]에서 ATM계층의 ABR 전송률 제어는 높은 에러율이 고려되지 않은 유선망에서의 ABR 전송률 제어 방법과 동일하게 구현되었다.

2.2 ABR 전송률 제어 방법

ABR 전송률 제어 방법은 크게 두 가지로 나눌 수

있다. 하나는 링크의 공평분배량(fair share)과 부하(load)를 정확히 측정하여 각 연결의 가용대역폭을 계산하는 방법으로 ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance)[8], CAPC(Congestion Avoidance using Proportional Control) 등이 이에 해당된다. 이러한 방법들은 주기적으로 ABR의 가용대역폭과 링크의 부하를 측정하고 각 연결에 대한 정보를 유지해야 하므로 구현의 복잡도가 높다.

다른 하나는 큐의 길이에 의존하여 링크의 공평분배량과 부하를 예측하는 방법으로 이진피드백 제어 방법과 이의 변형들이 여기에 속한다. 가용대역폭보다 많은 개수의 셀이 교환기로 들어온다면 큐의 길이는 커지고 가용대역폭보다 적은 개수의 셀이 교환기로 들어오면 큐의 길이는 감소하게 된다. 이진피드백 제어 방법은 CI(congestion indication), NI(no increase)를 사용하는 방법으로 큐의 길이가 기 지정된 높은 임계치를 초과하면 CI를 1로 변경하여 근원지가 자신의 ACR(allowed cell rate)을 줄이도록 하고 큐의 길이가 기 지정된 낮은 임계치 미만으로 줄어들면 CI를 그대로 둬으로써 근원지가 ACR을 늘리도록 한다. 이진피드백은 ABR의 가용대역폭이 높은 우선 순위 트래픽의 증가에 의해 갑자기 큰 폭으로 줄었을 때 BRM(backward resource management)셀의 CI를 1로 변경하여 근원지의 전송률을 $ACR \times RDF(\text{rate decrease factor})$ 만큼 줄이도록 한다. 이 경우 문제점은 $RDF=0$ 인 경우 근원지가 전송률을 현재의 가용대역폭에 비슷한 값으로 낮추는 데까지 많은 수의 BRM셀이 근원지에 전송되어야 한다는 점이다. 이 결과 근원지는 전송률을 현재의 가용대역폭에 가까운 값으로 즉시 낮추지 못하므로 교환기의 큐에는 많은 수의 셀이 쌓이게 된다. 그러나 정확한 가용대역폭을 계산하는 제어 방법은 BRM셀의 ER(explicit rate)필드값을 줄여 큰 대역폭으로 변경하여 한번의 피드백으로 근원지가 전송률을 크게 낮춤으로써 큐의 길이가 이진피드백에서와는 달리 커지지 않는다. 일반적으로 정확한 가용대역폭을 계산하는 제어 방법이 요구되는 큐의 크기와 반응 시간 면에서 이진피드백보다 뛰어나지만 링크의 상태를 측정하고 각각의 연결에 대한 정보를 유지해야 하는 부담이 있다[9]. ATM Forum은 교환기의 효율적인 구현을 위하여 특정 전송률 제어 방법을 표준으로 정의하지 않았다.

에러율이 매우 낮아 에러로 인한 재전송을 수행하지 않는 유선 링크의 경우 전송률이 각 연결의 가용대역폭과 동일하므로 근원지의 전송률을 가용대역폭으로만 맞추면 된다. 반면 무선링크의 경우 에러에 의한 재전송

로 인해 전송률이 각 연결의 가용대역폭과 동일하지 않을 뿐만 아니라 MAC계층으로 인해 실제 전송에 사용될 수 있는 대역폭 또한 고정적이지 않기 때문에 유선망에서와 같이 각 연결의 전송률을 구하기 위해 가용대역폭만을 이용하여 계산하는 방법은 적합하지 못하며 고정된 전체 대역폭에서 높은 우선 순위 트래픽을 빼는 단순한 방법으로 ABR의 가용대역폭도 구할 수 없다. 그러므로 무선 ATM에 정확한 가용대역폭을 계산하는 제어 방법을 적용시키는 것은 구현 시 유선망에서 보다 훨씬 큰 복잡도를 요구할 것이다.

3. 무선채널의 특성을 고려한 ABR 전송률 제어 방안

이 장에서는 본 연구의 결과가 적용될 무선 ATM망 구성에 대해 먼저 설명한 후에 그 구성에 맞게 무선채널의 특성을 고려하는 ABR 전송률 제어 방안을 제시하고자 한다.

3.1 무선 ATM망 구성

본 논문에서 연구 대상으로 고려하는 무선 ATM망의 구성은 다음의 그림 1과 같다.

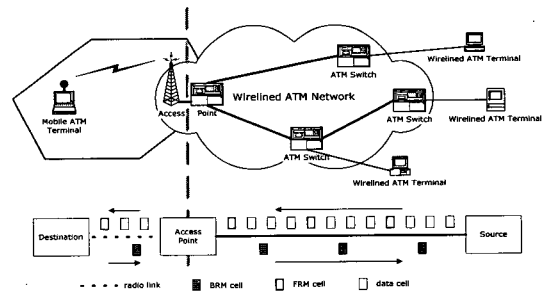


그림 1 무선 ATM망 구성도

그림 1에서 볼 수 있듯이 유선 ATM 단말에서 전송된 ATM 셀은 ATM 망의 교환기와 AP를 거쳐 무선 ATM 단말에 도착하게 된다. 이때 AP는 근원지로 되돌아가는 BRM셀의 필드값을 조정함으로써 해당 무선망에서 서비스를 제공받는 모든 무선 ATM 단말들이 설정한 연결의 전송률을 제어할 수 있다.

AP는 각 연결의 채널상태가 서로 독립적이며 불량상태와 양호상태 사이를 오간다는 특성을 이용하여 각 연결의 전송률을 조정한다. 예를 들면, 한 연결의 무선채널상태가 불량상태로 전이하는 경우 AP는 [7]에서와 같이 DLC계층에게 잠시 동안 전송을 중단하도록 명령하고 그 시간 동안 채널의 상태가 양호한 다른 연결의

전송을 수행할 수 있을 것이다. 또한 불량상태에서는 셀의 손실과 재전송으로 인하여 실질적인 가용대역폭의 감소가 발생하므로 근원지의 전송률을 저하된 가용대역폭 만큼 낮춰주어 AP의 ABR 큐의 크기가 필요이상으로 증가하는 것을 방지할 수 있을 것이다.

그림 1의 하단부에 블록으로 도시한 것이 이러한 AP의 역할을 나타낸다. AP는 채널상태의 전이나, 높은 우선 순위를 갖는 트래픽의 변화로 인해 발생하는 가용대역폭의 변화를 BRM셀을 이용하여 근원지에 알림으로서 근원지의 전송률을 빠른 시간 내에 실제 가용대역폭에 가깝도록 조정하며 또한 이를 통해 규격이와 같이 요구되는 자원의 양을 감소시킬 수 있어야 한다.

3.2 Access Point(AP) 구성

AP를 구성하는 주요 요소인 DLC와 ATM계층에 대해 간단히 설명한다.

3.2.1 DLC계층 가정

무선 ATM에서 ATM계층은 DLC계층을 통하여 셀을 전송한다. DLC계층은 MAC계층을 통하여 셀을 전송하고 수신지로부터 ACK 또는 NACK를 받아 전송 성공 여부를 판단하므로 채널의 에러발생빈도를 알 수 있다. 본 논문에서는 무선채널의 특성을 ABR 전송률 제어에 반영하기 위하여 ATM계층이 DLC계층을 통하여 셀 전송뿐만 아니라 채널의 상태도 전달받을 수 있다고 가정한다.

DLC계층은 채널의 상태를 불량과 양호 두 가지로 나누어 채널의 상태가 변할 때 이를 ATM계층에 보고하며 ABR 서비스를 지원함에 있어서 낮은 CLR를 보장하기 위하여 에러발생 시 재전송을 수행한다.

DLC계층은 에러 발생 여부를 알 수 있으므로 연속적으로 많은 에러가 발생하여 에러율이 일정값 이상으로 높아지면 채널이 불량상태로 전이했음을 알 수 있고 에러율이 일정값 이하로 낮아지면 채널이 양호상태로 전이했음을 알 수 있다. 채널의 상태를 판단하는 하나의 방법으로 카운터를 두어 에러발생 시 일정값 만큼 증가시키고 전송성공 시 일정값 만큼 감소시켜 임계치를 넘어가면 채널의 상태를 불량으로 판단하는 방법이 사용될 수 있다.

본 논문에서 DLC계층은 ABR 서비스를 지원함에 있어서 낮은 CLR을 보장하기 위하여 에러발생 시 재전송을 수행한다. 무선채널 상에서 0보다 큰 MCR (minimum cell rate)을 보장하는 ABR 서비스를 지원하기 위해서는 아직 해결해야 할 과제들이 많다. 만약 낮은 CLR과 0보다 큰 MCR을 동시에 보장해야 한다면 높은 우선순위 트래픽이 사용하고 남은 대역폭을 사용하는

ABR 서비스가 MCR 이상의 대역폭을 예약해야 하는 문제가 발생한다. 재전송과 대역폭에 상관없이 0보다 큰 MCR을 갖는 ABR 서비스를 지원하기 위해 DLC계층은 ABR 큐에서 MCR이상의 셀들이 전송되도록 해야 하는 추가적인 부담이 발생한다. 일반성을 잃지 않는 하에서 본 연구에서는 DLC계층이 상위계층인 ATM계층에 MCR이상의 전송률을 제공한다고 가정한다.

3.2.2 ATM계층 가정

3.2.1절에서 언급한 바와 같이 ATM계층은 하위 DLC계층으로부터 현재의 해당 연결에 대한 채널의 상태를 보고 받을 수 있다. AP는 채널상태에 대한 정보를 사용하여 각 연결의 전송률을 조정할 수 있다.

각 연결에 대한 채널의 상태는 서로 독립적이므로 채널상태의 전이로 인해 해당 연결의 전송률을 조정해야 할 필요가 있을 때에는 전송률 조절이 해당 연결에 대해서만 이루어져야 한다. 이를 위해서는 하나의 연결에 하나의 큐를 두는 Per-VC Queueing이 ATM계층 설계에 구현되어야 한다.

Per-VC Queueing은 각 서비스계층마다 공동의 큐를 두는 유선 ATM 망의 교환기에서는 구현상의 어려움으로 인해 아직 받아들이기 힘든 가정이다. 반면에 무선망에서는 각 연결에 대해 핸드오프가 필요하고 ABR의 경우 각 연결 당 대역폭이 분배되므로 무선 ATM에서는 자연스럽게 받아들여질 수 있는 가정이다. 특히 각 연결마다 DLC를 두어 재전송과 재배열을 수행하도록 하는 무선 ATM에서 Per-VC Queueing은 필수적이다[5,6].

3.3 ABR 전송률 제어 방법

3.3.1 기본 ABR 전송률 제어 방법

정확한 가용대역폭을 계산하는 제어 방법은 무선망 구현 시 큰 복잡도를 요구하므로 본 논문에서는 큐의 길이만을 사용하는 이진피드백의 한 변형인 EDMRCA (Enhanced Dynamic Max Rate Control Algorithm)[10]를 기본적인 ABR 전송률 제어 방법으로 사용한다. EDMRCA는 DMRCA(Dynamic Max Rate Control Algorithm)[11]에 Per-VC Queueing을 적용한 것으로 정확한 가용대역폭을 계산하는 제어 방법과 비슷한 성능을 보이지만 알고리즘의 시간복잡도와 공간복잡도 모두 $O(1)$ 이라는 장점이 있다[14].

EDMRCA는 EQT(low threshold), EDQT(threshold) 두개의 임계치를 사용한다. EDMRCA는 큐잉되어 있는 ABR 셀의 수를 두 임계치 사이에서 유지되도록 근원지의 전송률을 제어하는 알고리즘이다. EDMRCA가 가정하는 ABR 큐의 구조는 다음의 그림 2와 같다.

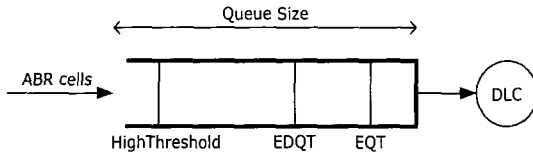


그림 2 EDMRCA가 가정하는 ABR 큐의 구조

EDMRCA는 모든 연결의 CCR값에서 MCR을 뺀 값 중 최대값을 지수가중평균(exponential weighted average)한 값인 A_MAX를 계산한다. A_MAX는 일반적으로 공평분배량보다 높은 값을 갖지만 공평분배량에 대한 근사값으로 사용된다. EQT는 EDQT 보다 작은 값을 가지며 큐의 길이가 EQT보다 작으면 BRM셀의 CI를 변경하지 않음으로써 ACR이 증가되도록 한다. 만약 큐의 길이가 EDQT보다 크면 RM셀의 CI를 1로, ER을 $A_MAX \times MRF$ (major reduction factor)에 MCR을 더한 값으로 변경하여 ACR이 한번에 큰 폭으로 줄도록 한다. MRF는 0과 1사이의 값으로 일반적으로 7/8을 갖는다. 큐의 길이가 EQT와 EDQT 사이일 경우 A_MAX 값에 큐의 길이에 반비례하는 함수 $F_n[\text{queue length}]$ 을 곱하여 RM셀의 CCR에서 MCR을 뺀 값과 비교한다. 만약 모든 연결에 공평한 대역폭이 주어질 때 공평분배량보다 높은 CCR 값을 갖는 연결은 자신이 사용할 수 있는 대역폭보다 더 많은 셀들을 전송하는 것이고 이로 인해 큐의 길이가 증가하므로 이에 반비례하여 $F_n[\text{queue length}]$ 의 값이 줄어든다. CCR에서 MCR을 뺀 값이 $A_MAX \times F_n[\text{queue length}]$ 값보다 크거나 같다면 공평분배량보다 많은 대역폭을 사용한다고 판단하여 CI를 1로 바꾸고 그렇지 않다면 CI를 그대로 둔다. 이를 통해 공평분배량보다 많은 대역폭을 사용하는 연결들은 자신의 ACR을 줄이게 된다. EDMRCA는 1차식의 형태를 갖는 F_n 함수에 대해서도 잘 동작함이 밝혀져 있다.

3.3.2 무선채널의 특성을 고려한 ABR 전송률 제어 방안

ABR 큐의 길이는 가용대역폭의 감소폭, 전송률 제어 방법, RDF, 최대 ACR값 등의 영향을 받으며 가용대역폭의 감소폭이 클수록 증가한다[12]. 그리고 ABR 서비스층은 데이터 전송을 주 목적으로 설계되었기 때문에 낮은 CLR 보장이 요구된다.

ATM 상위계층의 데이터가 ATM계층을 통해 전송될 때에는 상위계층의 패킷들의 크기는 대개의 경우 ATM 셀의 크기보다 크다. 따라서 셀손실이 발생하는 경우 손실된 셀이 연관된 패킷의 정보도 손실되게 되며, 이 패킷전송에 쓰인 셀의 개수만큼 대역폭의 낭비가 발생하

게 된다[15]. AP에서 발생하는 셀손실은 무선채널의 상태에 따라 생기는 경우를 제외하면 ABR 큐에서 오버플로우가 발생할 때 생기는 경우이며 따라서 AP의 ABR 큐에 큐잉되는 셀의 수를 큐가 수용할 수 있는 셀의 개수 이하가 되도록 제어하는 방안이 요구된다. 이는 제안하는 방안이 [2]에서 제안한 방안과 다른 점이다. [2]에서는 무선링크에서 손실된 패킷을 재전송을 통해 근원지의 재전송을 방지하는 반면에, 제안하는 방안은 CLR을 0에 가깝게 유지시키기 위해 근원지에 피드백을 보낸다.

무선 ATM에서 DLC계층이 수행하는 무선링크 상에서의 에러로 인한 재전송은 가용대역폭의 감소폭을 증가시켜 AP에서 보다 큰 ABR 큐의 사용을 요구한다. 그러나 ATM계층이 채널의 상태를 알 수 있다면 채널이 불량상태로 전이하여 큐의 길이가 급격히 증가할 때 이를 반영한 피드백을 BRM셀을 통해 근원지로 전달하여 근원지의 전송률을 큰 폭으로 낮춤으로써 무선채널의 특성으로 인해 발생하는 AP에서의 큐길이 증가를 감소시킬 수 있다.

이후 절에서는 첫째, 채널상태의 전이로 인한 AP에서의 큐길이의 변화를 예측하여 근원지 전송률 제어를 위해 어떠한 방법으로 BRM셀을 스케줄링 할 것인가와, 둘째, 이렇게 제시된 방안을 바탕으로 변형된 전송률 제어 알고리즘을 제안하고자 한다.

3.3.2.1 근원지 전송률 제어를 위한 BRM셀 스케줄링 방안

ATM Forum에 의하면 교환기에서도 필요한 경우 초당 10개 이하의 BRM셀을 생성하여 전송할 수 있으며 교환기가 ER값을 정할 수 있다[1]. 생성된 BRM셀은 NI가 1로 설정되며 전송률의 증가는 근원지에게 전달할 수 없다.

일반적으로 불량상태에서는 가용대역폭의 저하가 발생하므로 AP로 돌아오는 BRM셀 간의 간격이 양호상태일 때보다 커지게 되어 채널의 상태를 반영한 피드백이 근원지에 빨리 전달되지 못한다. 하지만 제안하는 방안에서는 불량상태에서 이동국으로부터 BRM셀이 도착하기 전에 큐의 길이가 일정 값인 RMInterval 만큼 증가하면 AP가 ER값이 $BadFn[\text{queue length}] \times A_MAX + MCR$ 인 BRM셀을 생성하여 근원지로 전송하도록 함으로써 근원지의 ACR을 빠른 시간 내에 무선채널의 가용대역폭에 맞게 낮출 수 있다(그림 3 참조). $BadFn[\text{queue length}]$ 은 0과 MRF사이의 값을 갖는 큐의 길이에 반비례하는 함수로 제안하는 ABR 전송률 제어 방안인 변형된 EDMRCA(그림 4 참조)에서 채널이

불량상태로 전이했을 때 ACR을 고정된 값인 MRF에 의해 줄이지 않고 큐의 길이에 반비례하는 값으로 줄여 가용대역폭의 변동이 근원지의 전송률에 잘 반영되도록 하였다.

```

RMInterval: The predetermined amount of queue
growth since the latest BRM cell arrival under Bad
State
NextRM(i): Queue length at which BRM cell will be
generated under Bad State
HighThreshold: Queue length at which BRM cell with
MCR is generated under Bad state
When Bad State begins
  if (queue length ≥ HighThreshold)
    Generate a BRM cell /* severe congestion: */
    Set NI as 1 /* overflow might be incurred */
    Set ER as MCR
    NextRM(i) = queue size + 1 /* choke down the source at MCR */
    /* no more BRM cell will be */
    Send the BRM cell /* generated */
  else
    NextRM(i) = max(EDQT, min(queue length +
    RMInterval, HighThreshold))
When a cell arrives under Bad State
  if (queue length = NextRM(i))
    Generate a BRM cell
    Set NI as 1
    Set ER as BadFn(queue length) × A_MAX + MCR
    NextRM(i) = max(EDQT, min(queue length +
    RMInterval, HighThreshold))
    Send the BRM cell
When a BRM cell arrives (regardless of the ch. state)
  set CI and ER fields as described in modified
  EDMRCA(그림 4)
  if (queue length < HighThreshold)
    NextRM(i) = max(EDQT, min(queue length +
    RMInterval, HighThreshold))
  else
    NextRM(i) = queue size + 1
    Send the BRM cell
    
```

그림 3 근원지 전송률 제어를 위한 BRM셀 스케줄링 알고리즘

RMInterval 값을 작게 두면 불량상태로 전이 시 근원지의 ACR을 무선채널의 가용대역폭에 보다 빠르게 맞출 수 있어 좋지만 AP는 초당 10개 이하의 BRM셀만을 생성할 수 있다는 점을 고려해야 한다. 또한 RMInterval 값이 [근원지 ACR의 감소폭] × RTT(근원지와 AP간의 round trip time) 보다 작을 경우에는 BRM셀이 근원지에 전달되어 ACR을 낮추기도 전에 AP에서 새로운 BRM셀을 생성하기 때문에 불필요한 BRM셀이 생성될 수 있다.

본 연구에서는 마지막으로 BRM셀이 전송되었을 때의 큐길이에 RMInterval을 더한 값인 NextRM을 사용하여 큐의 길이가 NextRM이 되면 AP가 BRM셀을 생

성하도록 하였다. NextRM은 BRM셀이 전송될 때마다 $min(\text{큐의 길이} + \text{RMInterval}, \text{HighThreshold})$ 와 EDQT 중 큰 값으로 바뀌므로 NextRM이 EDQT보다 클 경우 불량상태에서 큐의 길이가 NextRM이 되었다는 것은 큐의 길이가 RMInterval만큼 증가할 동안 한 개의 BRM셀도 근원지로 전송되지 않았음을 의미한다. NextRM이 EDQT보다 작을 경우, 즉 큐의 길이가 BRM셀 없이 RMInterval만큼 증가하여도 그 길이가 EDQT보다 작은 경우 BRM의 CI가 1로 바뀌지 않음으로써(그림 4 참조) ACR이 증가될 수 있는 경우에는 BRM셀의 생성을 지연시키기 위해 NextRM을 EDQT로 설정하였다. 만약 이렇게 BRM의 생성을 지연시키지 않았을 때 큐의 길이가 EDQT보다 작은 경우에는 CI가 0인 BRM셀이 근원지로 피드백될 수 있다. 하지만 현재 채널의 상태가 불량이고 가용대역폭이 감소하였음에도 불구하고 근원지의 ACR이 이러한 BRM셀로 인해 증가될 수 있기 때문에 이러한 경우가 발생되지 않도록 하였다.

BRM셀이 근원지에게 전달되어 전송률을 감소시켜 그 결과가 AP의 큐에 나타나기까지는 RTT만큼의 시간이 걸리므로 AP의 ABR 큐에 큐잉되어 있는 셀의 개수는 큐가 최대한 수용 가능한 셀의 수에서 [가용대역폭의 감소폭] × RTT를 뺀 값보다 항상 작게 유지되어야만 오버플로우에 의한 셀손실을 막을 수 있다. 제안된 방안에서는 큐의 크기보다 작은 HighThreshold(그림 2 참조)를 설정하여 불량상태에서 큐의 길이가 HighThreshold 이상이 되면 즉시 ER값이 MCR인 BRM셀을 생성하여 전송함으로써 근원지의 ACR을 MCR로 낮추었다. HighThreshold를 큐가 최대한 수용 가능한 셀의 수에서 가용대역폭의 최대 감소폭 × RTT를 뺀 값으로 설정하면 불량상태에서의 셀손실을 완전히 막을 수 있다. 이는 큐의 길이가 HighThreshold 이상일 때 ACR을 MCR로 만들어 더 이상 전송률 감소에 의한 큐길이의 증가를 막기 때문이다. 큐의 길이가 HighThreshold이상일 경우 BadFn의 함수값은 모두 0으로 큐의 길이가 HighThreshold 이상일 때 이동국에서 AP로 전송되어지는 BRM셀의 ER필드는 모두 MCR로 설정되어 근원지로 전송된다.

그림 3에서는 NextRM 계산 시 계산된 값이 HighThreshold를 넘으면 NextRM을 HighThreshold로 설정하도록 하였다. 따라서 큐의 길이가 HighThreshold 이상이 되면 즉시 BRM셀을 생성하도록 하였으며 큐의 길이가 HighThreshold이상이 되어 BRM셀을 전송한 경우 더 이상의 피드백은 무의미하므로 NextRM을 큐

의 크기보다 큰 값으로 정해 더 이상 BRM셀이 생성되지 않도록 하였다.

3.3.2.2 채널상태에 적응하는 ABR 전송률 제어 알고리즘

본 논문에서 기본 ABR 전송률 제어 방법으로 사용하는 EDMRCA는 전송률이 감소하였을 때 CI를 사용하여 근원지의 ACR을 단계적으로 줄이는 이진피드백 제어 방법의 하나이다. 이진피드백 제어 방법의 문제점은 채널이 불량상태로 전이했을 때 ACR을 한번에 충분히 큰 폭으로 낮추지 못하여 AP의 ABR 큐의 길이가 크게 증가하는 점이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 앞의 3.3.2.1절에서 제시한 BRM셀 스케줄링 방안을 바탕으로 무선채널 상태에 따라 BRM셀의 ER값을 조절하여야 한다. 본 연구에서는 기본 ABR 전송률 제어 방안으로 EDMRCA를 택하고 앞의 절에서 제시한 방안을 바탕으로 채널상태에 적응하는 변형된 EDMRCA(그림 4)를 AP에서의 ABR 전송률 제어 방안으로 제시한다. 이러한 변형 방법을 사용하면 AP에서 어떠한 이진피드백 알고리즘이 사용된다 하더라도 채널상태에 적응하는 알고리즘을 제시할 수 있다는 장점이 있다.

채널상태에 적응하는 알고리즘으로 제시하는 변형된 EDMRCA 알고리즘에서는 채널이 불량상태로 전이하여 가용대역폭의 급격한 감소가 예상될 때 RM셀의 ER필드를 통해 ACR을 큰 폭으로 감소시킴으로써 AP상의 ABR 큐에 큐잉되는 셀의 개수를 줄이고자 한다. 변형된 EDMRCA는 큐의 길이가 EDQT보다 크고 채널이 불량상태인 경우 BRM셀이 도착하면 ER을 $MRF \times A_MAX + MCR$ 로 변경하는 대신 $BadFn[queue\ length] \times A_MAX + MCR$ 로 변경하여 전송한다. 즉, 기존 EDMRCA에서는 가용대역폭의 급격한 감소로 큐의 길이가 매우 증가하였을 때에도 근원지의 ACR을 A_MAX에 대한 일정한 비율(MRF)로만 낮추어 셀손실을 유발할 수 있지만 제안하는 변형된 EDMRCA에서는 BadFn함수를 이용하여 근원지의 ACR을 급격히 감소시킴으로써 AP의 ABR 큐에서 발생할 수 있는 오버플로우로 인한 셀손실을 방지한다. 또한 양호상태에서 불량상태로 일시적으로 전이하였다가 양호상태로 전이하는 경우 큐의 길이가 크게 증가하지 않는다. 불량상태에서도 큐의 길이에 따라 근원지 ACR의 감소폭이 서로 다르기 때문에 이 경우 BadFn함수를 통해 결정되는 근원지 ACR값의 감소폭도 크지 않으므로 필요이상의 전송률 감소에 의한 AP의 ABR 큐의 언더플로우를 방지할 수 있다.

```

Algorithm modified_EDMRCA
Variables
MAX: Current maximum rate above MCR among all
connections
A_MAX: Current adjusted maximum rate of all
connections
MAX_VC: Current connection with maximum rate
MAX_Timeout: Time interval used to timeout MAX
MRF: Major Reduction Factor for heavy congestion
alpha: Averaging factor for A_MAX (e.g., alpha =
1/16)
CCR(i): Current Cell Rate in RM cell of connection i
ER(i): ER Field in RM cell of connection i
CI(i): CI bit in RM cell of connection i
MCR(i): MCR Field in RM cell of connection i
Fn(x): Discrete non-increasing function,  $0 \leq Fn(x) \leq 1$ 
BadState(i): Channel state of connection i
BadFn(x): Discrete non-increasing function,  $0 \leq$ 
BadFn(x)  $\leq$  MRF, BadFn(EDQT) = MRF,
BadFn(HighThreshold) = 0

if (Forward RM Cell of connection i)
then
update MAX, MAX_VC and MAX_Timeout;
if (connection i = MAX_VC) and (MAX > 0.0)
then
A_MAX = (1 - alpha) * A_MAX + alpha * MAX;

if (Backward RM Cell of connection i)
then
if (queue length  $\geq$  EDQT)
/* Switch is heavily congested */
then
CI(i) = 1; /* Decrease rate of connection i */
if (BadState(i)) /* Under Bad State */
ER(i) = min(ER(i), BadFn(queue length)
* A_MAX + MCR(i))
else /* Under Good State */
ER(i) = min(ER(i), MRF * A_MAX + MCR(i))
else
if (queue length  $\geq$  EQT) /* Switch is congested */
then /* Intelligent marking */
if (CCR(i)-MCR(i)  $\geq$  A_MAX * Fn(queue length))
then
CI(i) = 1;

```

그림 4 제안된 ABR 전송률 제어 방안(변형된 EDMRCA)

4. 모의실험

4.1 모의실험 모델

무선채널의 높은 에러율이 AP의 ABR 큐에 미치는 영향을 알아보기 위한 모의실험이므로 우선망에서는 병목현상이 없으며 ABR의 근원지는 자신에게 주어진 ACR로 항상 셀을 생성할 수 있는 것(greedy source)으로 가정하였다. 그림 5에서와 같이 10개의 ABR 연결을 가정하였으며 ABR의 전체 가용대역폭을 10초 주기로 10Mbps에서 5Mbps로, 5Mbps에서 10Mbps로 바뀌어 CBR, VBR과 같은 높은 우선 순위 트래픽의 변동을 고려하였다.

무선채널 모델로는 5.2GHz의 주파수를 사용하여 20Mbps의 대역폭을 지원하는 Magic WAND의 FSRCM(Finite State Radio Channel Model)[13]을 사용하였다. 채널의 특성은 단말기마다 다르므로 각 단말

기에 하나의 FSRCM을 두었으며 AP에서 단말기로 전송되는 셀들은 각 연결의 FSRCM 상태에 따라 성공적으로 전달될 수도 있고 전달되지 않을 수도 있다. AP의 각 DLC는 셀 전송 후 ACK를 받음으로써 전송 성공 여부를 알 수 있다.

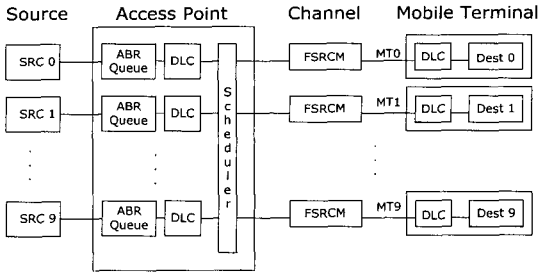


그림 5 모의실험 모델

하나의 무선채널은 그림 6에서와 같이 16개의 상태로 표현되며 한 상태에서 인접한 다른 상태로 전이한다. 한 상태에 머무르는 시간은 차수 2, 평균 13 ms의 Erlang 분포를 따르며 각 상태마다 평균 SNR(signal-to-noise ratio)값에 따라 다른 CER(cell error rate)을 갖는다. 평균 SNR값이 낮을수록 높은 CER을 가지며 16개의 상태 중 상태 0의 CER이 가장 높고 점차 CER이 낮아져 상태 15는 가장 낮은 CER을 갖는다.

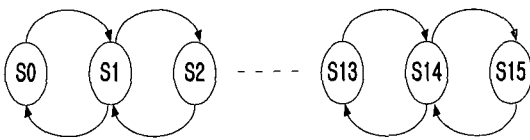


그림 6 무선채널(FSRCM)의 상태 전이도

본 모의실험에서는 무선채널의 높은 에러율이 AP의 ABR 큐에 큐잉되는 셀의 개수에 미치는 영향을 알아보기 위해 평균 SNR값을 36dB의 낮은 값으로 두어 높은 CER상에서 ABR 큐의 최대 길이를 측정하였다. 36dB은 최대 셀 지름 50m인 Magic WAND에서 반경 24m에 있는 단말기들의 평균 SNR값으로 이 경우 각 상태의 CER은 표 1과 같다. 표 1의 CER은 Magic WAND의 54 바이트 무선 셀을 기준으로 한 것으로 Magic WAND에서와 같이 에러가 있는 셀은 ATM계층으로 전달되지 않고 제거된 것으로 간주하여 손실로 본다.

표 1 평균 SNR이 36dB일 때 각 상태의 CER

State	CER	State	CER
0	0.44	8	0.0001
1	0.25	9	0.00001
2	0.14	10	0.000001
3	0.065	11	0.0000007
4	0.041	12	0.00000001
5	0.020	13	0.000000001
6	0.007	14	0.0000000001
7	0.001	15	0.00000000001

낮은 CLR의 보장과 0보다 큰 MCR의 보장은 서로 상반되는 특성을 지닌다. 제한된 대역폭을 사용하여 0보다 큰 MCR을 갖는 ABR 서비스를 지원하기 위해서는 재전송을 제한해야 되며 이는 CLR를 증가시키기 때문이다. ABR서비스는 낮은 CLR의 보장이 중요한 데이터 전송을 위하여 고안된 서비스이므로 모의실험에서 DLC 계층은 에러가 발생한 셀을 전송이 성공할 때까지 재전송하며 모든 연결의 MCR은 0으로 설정하였다. 스케줄러는 각 연결의 DLC에 round robin 방법으로 전송기회를 부여하므로 스케줄러는 가용대역폭을 모든 ABR 연결에 공평하게 할당한다. ABR 전송률 제어 파라미터는 표 2와 같고 각 연결은 표 3과 같이 다양한 RTT(근원지와 AP간)를 갖는다.

표 2 ABR 전송률 제어 파라미터

PCR: 10 Mbps	RIF: 1/128	Fn(x): 1-x/1000
MCR: 0 Mbps	RDF: 1/16	EQT: 10
NRM: 32	MRF: 7/8	EDQT: 50

표 3 각 연결의 RTT

source	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RTT (ms)	0.3	0.5	0.8	1.0	1.4	2	3	4	8	12

3.2절에서 밝힌 것처럼 DLC계층이 무선채널의 상태를 ATM계층에 알려주기 위해서는 DLC계층은 무선채널의 CER을 알고 있어야 한다. 본 모의실험에서는 채널의 CER이 0.25 이상의 상태(State 0, 1)로 전이하면 채널이 불량상태로 전이하였음을 DLC계층이 ATM계층에 알리고 불량상태에서 CER이 0.041 이하의 상태

(State 4~15)로 전이하면 양호상태로 전이하였음을 ATM계층에 알린다.

채널은 거의 비슷한 확률로 두 인접상태로 전이하기 때문에 CER이 0.25인 상태에서 일시적으로 0.14 또는 0.065인 상태로 전이했다가 다시 0.25인 상태로 전이할 수 있다. 만약 CER이 0.25 이상인 상태만을 불량상태로 본다면 가까운 기간 내에는 불량상태에 머물러 있을 확률이 큰 채널을 양호상태로 전이하였다고 판단할 가능성이 있다. 그러므로 본 모의실험에서는 양호상태로 전이하였음을 판단하는 CER로 0.25보다 작은 값인 0.041을 사용하였다.

평범한 DLC를 나타내는 pDLC는 채널의 상태와 상관없이 스케줄러에 의해 전송기회가 주어질 때마다 전송을 수행하며 지능형 DLC를 나타내는 iDLC는 채널이 불량상태에 있을 때 전송을 수행하지 않는다. 두 가지 DLC 모두 윈도우 크기로 40셀을 갖는 selective-reject ARQ를 사용하며 무선채널 상에서의 에러 이외의 요인으로는 셀손실이 발생하지 않는다고 가정한다. RM-Interval은 NRM과 동일한 32로 설정하였다. 모의실험은 event-driven 방식의 OPNET을 사용하였으며 각 경우에 대해 500초를 수행하였다.

4.2 모의실험 결과 및 분석

모의실험에서는 무선망에서만 병목현상이 일어나는 것으로 가정하였으므로 각 연결의 ACR값은 무선채널 상에서의 전송률에 의해 정해진다. ABR 전체 가용대역폭이 10Mbps일 때 pDLC의 경우 각 연결은 스케줄러에 의해 1Mbps, 전체 가용대역폭이 5Mbps일 때 0.5Mbps의 대역폭을 할당받는다.

표 4는 pDLC를 사용하였을 경우 각 연결의 최대 큐 길이와 처리율을 나타내며 처리율은 [성공적으로 전송

표 4 pDLC 사용 시 최대 큐 길이와 처리율

최대 큐 길이	EDMRCA (무선링크: 에러발생없음)	EDMRCA (무선링크: 에러발생함)	제한된 방안 (무선링크: 에러발생함)
연결 0	225	259	224
연결 1	224	270	218
연결 2	221	277	216
연결 3	223	270	236
연결 4	228	282	241
연결 5	225	254	244
연결 6	228	232	230
연결 7	225	260	250
연결 8	228	258	239
연결 9	230	249	243
처리율	1.0000	0.9799	0.9801

된 셀의 수] / [전송된 전체 셀의 수]이다.

에러가 발생하지 않는 경우 최대 큐 길이는 각 연결의 가용대역폭이 1Mbps에서 0.5Mbps로 줄어든 때 발생하며 가장 큰 값은 230이다. 무선채널의 최대 CER은 0.44로 가용대역폭의 감소율 0.5보다 작으므로 가용대역폭이 일정할 때 채널이 불량상태로 전이하여 가용대역폭이 감소하여도 큐의 길이가 가용대역폭의 변화에 의한 큐의 길이보다 커지지는 않는다. 그러므로 최대 큐 길이도 가용대역폭이 줄어든 때 발생하며 이때 채널이 불량상태로 전이하면 에러에 의한 재전송으로 인하여 가용대역폭의 감소폭이 0.5보다 커지게 된다. 이러한 경우에 발생하는 최대 큐 길이는 모든 연결의 큐 길이들 중에서 가장 큰 값이 된다. 따라서 AP에서 요구되는 ABR 큐의 크기는 에러가 발생하지 않는 경우에서의 큐의 길이, 즉 가용대역폭의 감소에 의해서만 생기는 큐의 길이보다 커야 낮은 CLR을 보장할 수 있다.

모의실험에서는 pDLC를 사용하는 경우 BadFn 함수로 (50,7/8)과 (230,0)을 지나는 1차식($BadFn(x) = 161/144 - 7x/1440$)을 사용하였다. (50, 7/8)에서 50은 EDQT 값이고 7/8은 MRF 값과 동일한 값이다. (230,0)에서 230은 HighThreshold와 동일한 값이다. 즉 채널이 불량상태로 전이되었을 때 ABR 큐에 큐잉되는 셀의 개수에 반비례하여 근원지의 전송률을 정하며, 셀의 개수가 HighThreshold값인 230을 넘어서게 되면 오버플로우가 발생할 확률이 높으므로 AP는 근원지의 전송률을 0으로 조정한다.

DLC계층에서는 pDLC를, ATM계층에서는 제안된 전송률 제어 방안을 사용한 경우 최대 큐의 길이는 표 4에서와 같이 EDMRCA를 사용한 경우 보다 작아졌다.

그림 7은 채널이 불량상태인 구간을 검은 막대 그래프 형태로 나타낸 것으로 가용대역폭의 변화가 일어나는 170초대에 채널이 불량상태로 전이하였다. EDMRCA를 사용한 경우는 그림 8과 같이 불량상태에서도 CI만을 사용하여 ACR을 조금씩 낮추므로 큐의 길이가 그림 9와 같이 270으로 크지만 제안된 방안을 사용한 경우는 그림 10과 같이 ACR을 BadFn 함수에 의해 큰 폭으로 낮추므로 그림 11과 같이 큐의 길이가 크게 증가하지 않았다. 그리고 큐의 크기를 250으로 제한하고 제안한 방안을 사용하는 경우에는 CLR가 모두 0이지만 EDMRCA를 사용한 경우에는 CLR이 0 이상인 경우가 발생함을 관찰하였다.

iDLC를 사용한 경우 무선채널 상에서 각 연결의 최대 큐 길이와 처리율은 표 5와 같이 pDLC를 사용한 경우보다 크다. 이는 iDLC가 불량상태에서 전송을 중지하

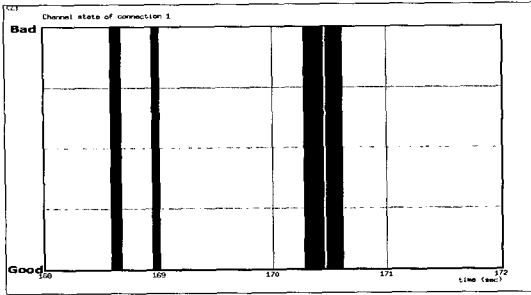


그림 7 채널이 불량상태에 머무는 구간 (연결 1)

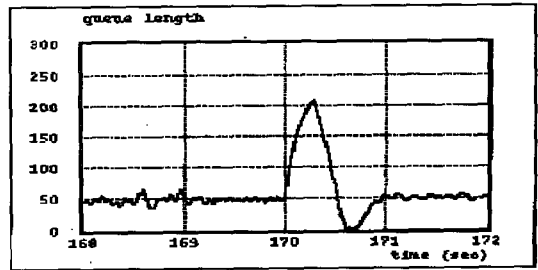


그림 11 pDLC 사용 시 제안된 방안의 큐길이가 변화

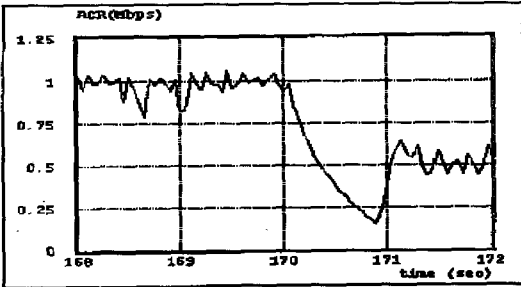


그림 8 pDLC 사용 시 EDMRCA의 ACR 변화

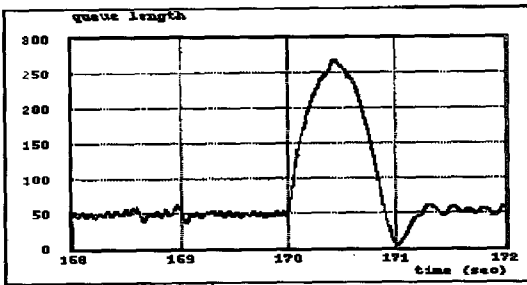


그림 9 pDLC 사용 시 EDMRCA의 큐길이가 변화

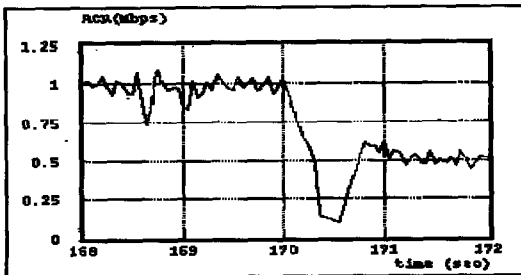


그림 10 pDLC 사용 시 제안된 방안의 ACR 변화

여 가용대역폭이 0이 되므로 채널이 불량상태로 전이했을 때 가용대역폭의 감소폭이 pDLC 보다 크기 때문이다. 또한 채널이 불량상태에 머무는 동안은 전송이 이루어지지 않아 BRM셀도 AP로 돌아오지 않으므로 피드백이 AP로부터 근원지로 전달되지 못하므로 근원지의 ACR이 줄어들지 않게 된다. 그러므로 DLC계층에서 iDLC를 사용하는 경우 최대 큐길이는 가용대역폭이 감소한 때가 아닌 채널이 불량상태에 오래 머무는 순간에 발생한다. 또한 이때의 가용대역폭의 감소폭이 pDLC 경우에서의 감소폭보다 크기 때문에 최대 큐길이도 DLC계층에서 pDLC를 사용한 경우의 최대 큐길이보다 크게 된다.

처리율은 iDLC를 사용한 경우 스케줄러가 불량상태에서 전송을 중지하고 양호상태에 있는 다른 연결들에게 round robin방법으로 전송 기회를 부여하여 양호상태의 연결이 불량상태의 연결보다 많은 대역폭을 할당받도록 하므로 pDLC를 사용한 경우 보다 높다.

모의실험을 통해 측정된 불량상태에서의 pDLC의 셀 전송 성공 확률은 0.774정도인데 비해 위에서 언급한 iDLC와 같이 채널이 불량상태에서는 전송을 중지하고 채널의 상태가 양호한 다른 연결들에게 전송기회를 부여할 때의 다른 연결들에 대한 전송 성공 확률은 0.989로 측정되었다. 따라서 pDLC를 사용하는 것보다 iDLC를 사용할 때 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있을 것이다.

표 4와 표 5의 처리율을 비교해 볼 때 pDLC와 iDLC의 처리율간에 큰 차이가 없는 이유는 그림 7과 그림 12에서 볼 수 있듯이 채널이 불량상태에 머무는 구간이 전체 구간에 비해 짧기 때문이다. 만약 불량상태에 머무는 구간이 전체 구간에 비해 상당한 범위를 차지하는 동시에 불량상태에서의 CER과 양호상태의 CER간에 많은 차이가 있다면, iDLC를 사용하는 것이 처리율 향상에 도움이 될 것이라고 예상할 수 있다.

표 5 iDLC 사용 시 최대 큐길이와 처리율

최대 큐길이	EDMRCA	제안된 방안
연결 0	1733	289
연결 1	1470	354
연결 2	1462	349
연결 3	1459	294
연결 4	1036	297
연결 5	1292	284
연결 6	2989	351
연결 7	1283	334
연결 8	1241	308
연결 9	1362	347
처리율	0.9902	0.9904

iDLC를 사용하는 경우 채널의 상태가 양호한 연결들은 불량상태의 연결들이 사용하지 않는 대역폭을 사용하게 되므로 pDLC를 사용하는 경우와는 달리 할당받는 대역폭이 고정적이지 않다. 즉 평형상태에 머무는 것이 아니라 항상 변동한다. 이 경우 ACR은 평형상태에서처럼 가용대역폭에 가깝게 맞춰지기 힘들며 따라서 큰 폭의 대역폭 감소가 일어나는 경우 큐의 길이는 평형상태에서 동일한 대역폭의 감소가 일어나는 경우의 큐의 길이보다 클 수 있다. 즉 모의실험에서 iDLC를 사용할 경우 가용대역폭 감소에 의해 발생할 수 있는 큐의 길이가 230보다 클 수 있다. 그러므로 모의실험에서는 iDLC를 사용할 경우 BadFn함수로 (50,7/8)과 (300,0)을 지나는 1차 함수($BadFn(x) = 21/20 - 7x/2000$)를 사용하였다.

그림 12는 채널이 불량상태인 구간을 검은 막대그래프 형태로 나타낸 것으로 6초 전후에 채널이 불량상태로 전이한 것을 나타내고 있다. 이때 EDMRCA를 사용한 경우는 그림 13과 같이 불량상태에서 ACR이 줄지 않아 큐의 길이가 그림 14와 같이 큰 폭으로 증가되었지만 제안된 방안을 사용한 경우는 그림 15와 같이 AP가 BRM셀을 생성하여 근원지의 ACR을 줄임으로써 그림 16과 같이 큐길이의 증가폭이 줄어들었다.

큐의 크기를 400으로 제한하고 CLR를 관찰한 결과 제안된 방안을 사용한 경우 모두 0이지만 EDMRCA를 사용한 경우는 버퍼 오버플로우에 의한 셀손실로 인하여 CLR이 매우 높다. 무선 ATM에서 큐길이는 가변적인 무선채널에 많은 영향을 받으므로 0.3ms~12ms의 RTT를 사용한 모의실험에서 RTT에 따른 큐길이의 변화는 일어나지 않았다.

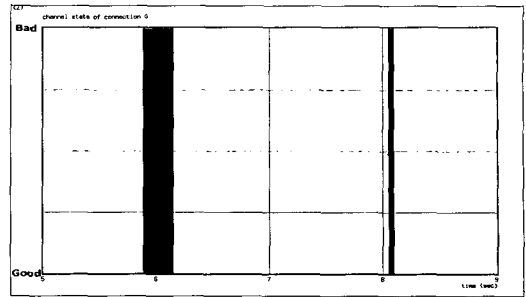


그림 12 채널이 불량상태에 머무는 구간 (연결 0)

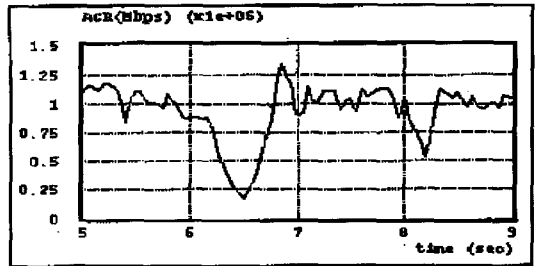


그림 13 iDLC 사용 시 EDMRCA의 ACR 변화

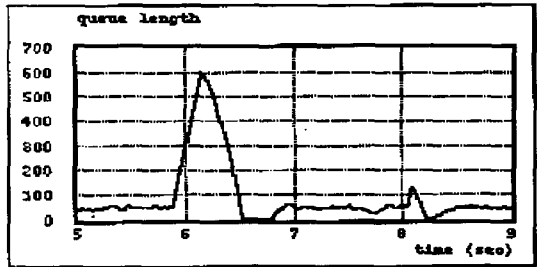


그림 14 iDLC 사용 시 EDMRCA의 큐길이가 변화

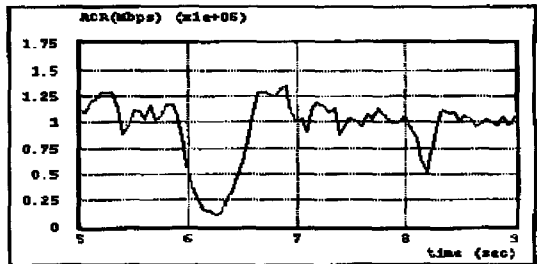


그림 15 iDLC 사용 시 제안된 방안의 ACR 변화

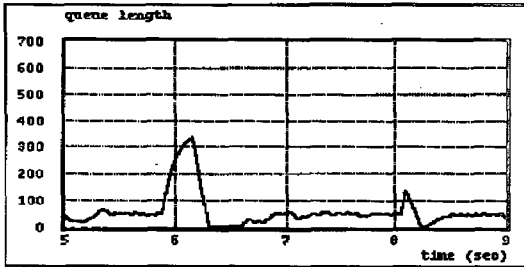


그림 16 iDLC 사용 시 제안된 방안의 큐길이가 변화

5. 결론

에러율이 높은 무선채널 상에서 낮은 CLR을 보장하는 ABR 서비스를 지원하기 위한 재전송은 ATM계층에서 버퍼 오버플로우에 의한 셀손실을 유발할 수 있다. 본 논문에서는 채널의 상태를 ATM계층에 알리는 DLC 계층을 가정하여 무선채널의 상태를 고려한 ABR 전송률 제어 방안을 제안함으로써 낮은 CLR을 보장하기 위한 ABR 큐의 크기를 줄이고 셀손실을 방지할 수 있었다. 또한 전송 지연에 대한 제한이 없는 ABR 서비스의 경우 채널의 상태에 따라 전송률을 조정하는 지능형 DLC를 사용하여 채널의 상태가 좋은 연결들이 더 많은 대역폭을 사용하게 함으로써 무선 ATM의 처리율을 높일 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] ATM Forum, *ATM Traffic Management Specification Version 4.0*, Apr. 1996. Available through <http://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0056.000.ps>

[2] P. Bhagwat, P. Bhattacharya, A. Krishna and S. Tripathi, "Using Channel State Dependent Packet Scheduling to Improve TCP Throughput over Wireless LANs," *Wireless Networks*, vol. 3, no. 1, 1997.

[3] C. Fragouli, V. Sivaraman and M. Srivastava, "Controlled Multimedia Wireless Link Sharing via Enhanced Class-Based Queueing with Channel-State-Dependent Packet Scheduling," *Proc. IEEE Infocom 98*, Mar. 1998.

[4] P. Agrawal, E. Hyden and P. Kryzanowski, "An Experimental Indoor Wireless Network, SWAN: A Mobile Multimedia Wireless Network," *IEEE Personal Communications*, Apr. 1996.

[5] D. Raychaudhuri, L. French and R. Siracusa, "WATMnet: A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communication," *Proc. IEEE*

ICC 96, June 1996.

[6] "Magic WAND: Wireless ATM Network Demonstrator," available at <http://www.tik.ee.ethz.ch/~wand/>

[7] J. Meierhofer, "Data Link Control for Indoor Wireless ATM Networks," *Proc. Wireless 98*, Jul. 1998.

[8] R. Jain et al., "ERICA Switch Algorithm: A Complete Description," *ATM Forum Contribution 96-1172*

[9] F. Hartleb, "A Simulation Study of ABR Protocols in ATM Networks," *Proc. IEEE ATM 97*, May 1997.

[10] F. Chiussi and Y. Wang, "An ABR Rate-Based Congestion Control Algorithm for ATM Switches with Per-VC Queueing," *Proc. IEEE Globecom 97*, Nov. 1997.

[11] F. Chiussi, Y. Xia and V. Kumar, "Dynamic Max Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *Proc. IEEE Globecom 96*, Nov. 1996.

[12] M. Ritter, "Network Buffer Requirements of the Rate-Based Control Mechanism for ABR Services," *Proc. IEEE Infocom 96*, Apr. 1996.

[13] J. Meierhofer, U. Bernhard and T. Hunziker, "Finite State Radio Channel Model for Indoor Wireless ATM Networks," *Proc. ICT 98*, Jun. 1998.

[14] A. Arulambalam, X. Chen and N. Ansari, "Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *IEEE Communications Magazine*, Nov. 1996.

[15] A. Romanow and S. Floyd, "Dynamics of TCP Traffic over ATM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no.4, May 1995.



이 경 주

1997년 2월 서강대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 1999년 2월 서강대학교 컴퓨터학과 졸업(석사). 2000년 3월 ~ 현재 삼성전자 통신연구소. 관심분야는 유무선 ATM, 이동통신망, 인터넷



민 구

1998년 2월 서강대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 2000년 2월 서강대학교 컴퓨터학과 졸업(석사). 2000년 3월 ~ 현재 한국통신 통신망연구소 전임연구원. 관심분야는 유무선 ATM망, Traffic Engineering, 인터넷

**최 명 환**

1978년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1989년 University of Massachusetts, Amherst 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1989년 ~ 1991년 미국 Integrated Network Corp. 연구원. 1980년 ~ 1984년, 1991년 ~ 1993년 삼성전자 수석연구원. 1993년 9월 ~ 현재 서강대학교 컴퓨터학과 부교수. 관심분야는 네트워크 및 이동통신망 성능분석