

무선 ATM망에서의 ABR 전송률 제어 알고리즘 응답성 개선 방안

(Responsiveness-Enhancing Scheme for ABR Rate Control Algorithms in Wireless ATM Networks)

민 구 * 최 명 환 **

(Koo Min) (Myungwhan Choi)

요약 Asynchronous Transfer Mode(ATM)에 기반한 광대역 멀티미디어 통신망에서 best effort 형태의 서비스 지원을 위해 Available Bit Rate(ABR) 서비스가 사용되고 있다. 이미 제안된 많은 수의 ABR 전송률제어 알고리즘들은 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘(exact fair rate calculation algorithm)과 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘(approximate fair rate calculation algorithm)의 두 분류로 크게 구분될 수 있다. 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘은 공정성과 응답성(responsiveness) 측면에서 장점을 갖는다. 하지만 무선ATM 환경 하에서는 무선링크의 가용대역폭이 무선채널의 오류특성으로 인해 시변(time-varying)하므로, 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘은 무선ATM 환경에 적용되기 어려우며 따라서 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘이 대신 사용될 수 있다. 이 경우에 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들의 응답성이 상대적으로 뒤떨어지는 특성으로 인해 가용대역폭이 시변하는 경우 알고리즘 성능의 저하가 발생될 수 있다. 본 논문에서는 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들을 위한 응답성 개선 방안을 제안하고 응답성이 개선된 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘의 한 예로 응답성이 개선된 EDMRCA 알고리즘을 제시한다. 모의 실험을 통해 제시하는 알고리즘이 EDMRCA보다 응답성 측면에서 상당히 개선되었음을 보인다.

Abstract The Available Bit Rate (ABR) service is used to support best effort type service in broadband integrated networks based on the Asynchronous Transfer Mode (ATM). A number of ABR rate control algorithms proposed in the literature can be classified into two groups: exact fair rate calculation algorithms and approximate fair rate calculation algorithms. Exact fair rate calculation algorithms have advantages in the aspect of fairness and responsiveness. In the wireless ATM environment, however, the capacity of a wireless link is time-varying due to error characteristics. Thus the exact fair rate calculation algorithms can be hardly applied and the approximate fair rate calculation algorithm can be used instead. However, the time-varying characteristics make approximate fair rate calculation algorithms perform poorly because of the lack of responsiveness. So, we propose a responsiveness-enhancing scheme and give a responsiveness-enhanced EDMRCA as an example for an approximate fair rate calculation algorithm. It is shown by simulation that the proposed algorithm gives quite improved responsiveness compared with the EDMRCA.

1. 서 론

ATM 망의 가장 구별되는 특징점은 가입자에게 차별적인 서비스를 제공할 수 있다는 점이며 이러한 서비스들은 ATM Forum에 의해 Constant Bit Rate(CBR), Variable Bit Rate(VBR), Available Bit Rate(ABR), Unspecified Bit Rate(UBR) 등으로 구분되고 있다. 가입자들은 Quality-of-Service(QoS)가 보장된 서비스들

* 1998년도 한국과학재단의 특정기초연구비에 의해 연구되었으며 서강대학교 산업기술연구소의 지원을 일부 받음.

† 비 회 원 : 한국통신 통신망연구소 연구원
minkoo@kt.co.kr

** 종신회원 : 서강대학교 컴퓨터학과 교수
mchoi@ccs.sogang.ac.kr

논문접수 : 1999년 11월 29일

심사완료 : 2000년 4월 14일

제공 받을 수 있으며, 이는 QoS에 기반한 호 수용 제어 (call admission control, CAC)나 Usage Parameter Control(UPC)과 같은 트래픽 관리(traffic management)에 의해 가능해진다. 따라서 이러한 차별적인 서비스를 제공할 수 없는 망에 비해 ATM망에서는 보다 복잡한 알고리즘들이 사용된다.

ABR 서비스는 상대적으로 적은 비용으로 ATM망을 통해 데이터를 전송하기 위해 제안되었다. ABR 서비스는 지연(delay)과 지연편차에 대한 제한을 요구하지 않는다. 이러한 특성은 파일 전송과 같은 데이터 전송을 위해 ABR 서비스가 가장 적합한 서비스로 간주되는 대표적인 이유가 된다. Traffic Management Specification 4.1[3]에서 정의된 바와 같이, ABR 트래픽의 QoS를 보장하기 위해 종단간(end-to-end) 전송률제어 방안이 사용된다. [3]에서는 ABR 서비스를 위한 근원지(source end system)와 목적지(destination end system)의 동작 메커니즘이 기술되었다. 전송률제어의 위치 측면에 있어서 ABR 서비스는 TCP와 같은 다른 전송률제어방안과 구별된다. [3]에 의하면, 연결의 중간에 위치한 노드도 근원지와 목적지처럼 전송률을 제어할 수 있다. 이러한 전송률제어방법은 해당 연결의 전송률정보를 담고 있는 Resource Management(RM)셀의 일부 필드값을 조정함으로써 가능해진다.

최근에는 무선환경까지 포함하는 광대역 통신망의 필요성이 제시되었으며, 이러한 무선환경에서도 차별적인 서비스를 제공하기 위해서 무선ATM(Wireless ATM, WATM)망이 제시되어 왔다[1, 10, 11]. WATMnet[11], Magic WAND[10], SWAN[1] 등은 WATM망의 선행 시스템으로 제시되었다. 이러한 대부분의 연구는 사용자등록과정(user registration procedure), 핸드오프를 위한 시그널링과정, 무선링크특성의 모형화, 연접(burstiness)오류특성을 갖는 무선링크에서의 Data Link Control(DLC)계층의 설계, WATM 이동국(Mobile Terminal, MT)의 Application Programming Interface(API) 설계 등을 중심으로 이루어져 왔다.

이 논문에서는 무선링크상의 가용대역폭의 시변성을 고려하는 적응적인 전송률제어 알고리즘을 제시한다. 2장에서는 고려하는 WATM망의 구성환경과 가정하는 무선링크의 특성에 대해 서술한다. 3장에서는 유선ATM망에서 사용되도록 설계된 전송률제어 알고리즘들이 무선ATM망에서 사용될 경우 발생할 수 있는 문제점들에 대하여 논의한다. 또한 WATM환경 하에서 발생할 수 있는 이러한 문제점들을 경감시키기 위해 전송률제어 알고리즘이 무선링크의 오류 특성을 고려하도록 하는

개선방안에 대해 서술한다. 4장에서는 제안하는 방안의 모의실험 결과를 제시함으로써 제안의 타당성을 입증한다. 5장에서는 결론을 제시한다.

2. 무선ATM 환경

WATM망 내의 무선링크는 유선ATM망 내의 다른 링크들보다 비교적 높은 Bit Error Rate(BER)를 가지며 무선링크상의 높은 BER값은 ATM계층에서의 높은 Cell Loss Ratio(CLR)로 나타난다. 그리고 ATM계층에서의 셀손실은 ATM계층 위에 위치한 프로토콜의 성능을 저하시킬 수 있다. 예를 들면, TCP over ATM ABR의 경우와 같이 ATM ABR 서비스 상에서 데이터를 전송하는 경우 상위계층의 프로토콜 성능의 저하를 야기할 수 있다[12]. 무선링크 상에서의 셀손실로 인해 야기되는 이러한 성능저하를 방지하는 동시에 QoS를 보장하기 위해, 대부분의 WATM 시나리오에서는 physical/Media Access Control(PHY/MAC)계층과 ATM계층 사이에 DLC계층을 둔다; DLC계층은 무선링크 상에서 손실된 셀을 재전송을 통해 복구하며, 이를 통해 DLC계층은 ATM계층에 매우 낮은 CLR을 제공할 수 있다. 이러한 프로토콜계층은 [4, 9, 11]에서 찾아볼 수 있다.

2.1 이동국(MT)과 Access Point(AP)의 구조

본 절에서는 WATM 구성에서 무선망 부분에 속하는 MT와 AP의 구조에 대해 정의한다. 1장에서 언급한 바와 같이, 이 논문은 WATM망에서 무선링크의 가용대역폭의 시변성을 고려하는 ABR 전송률제어 알고리즘을 개발하는 데에 초점을 맞추고 있다. 이러한 알고리즘을 개발하기 위해, MT와 AP의 구조를 정의하여야 하며, 그 중에서도 프로토콜계층의 구조를 명확히 하여야 한다.

본 연구에서 가정한 WATM 구성은 다음의 그림 1에서 볼 수 있다:

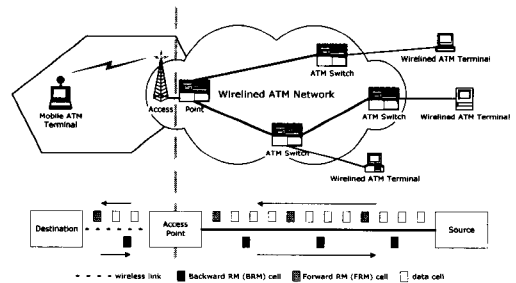


그림 1 가정한 무선ATM 구성도

그림 1에서 볼 수 있듯이, ABR 연결의 근원지는 ATM망의 유선부분에 속하는 반면에 목적지는 무선부분에 속한다. 이러한 연결은 중간에 AP를 거치게 되며, AP는 근원지로부터 전송된 셀을 무선링크를 통해 목적지인 MT로 넘겨주는 역할을 하게 된다. 목적지 MT와 AP의 프로토콜계층은 다음의 그림·2에서 볼 수 있다.

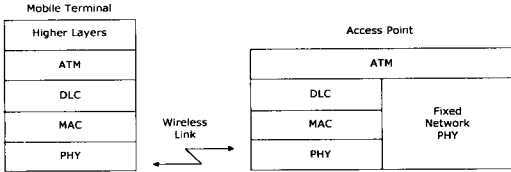


그림 2 이동국과 AP의 프로토콜계층 구성도

2.2 무선링크 특성

무선링크의 가용대역폭은 대개 물리계층과 MAC계층의 성능에 의해 좌우된다. 유선링크의 경우 매우 낮은 BER 값을 갖는 반면에 무선링크의 경우 상대적으로 높은 BER 값을 갖는다. 게다가, 무선링크가 BER이 낮은 상태에서 높은 BER 값을 갖는 상태로 전이하는 경우 유선링크에서의 경우와는 달리 높은 BER 값을 갖는 상태에서 비교적 오랜 시간 머물게 된다. 이는 무선링크의 페이딩 등의 특성으로 인해 발생하며, 결과적으로 무선링크는 오류특성의 연접성을 지니게 된다. 따라서, 무선링크의 가용대역폭은 시변하며, 이는 유선링크에서는 찾아보기 힘든 특성 중의 하나이다.

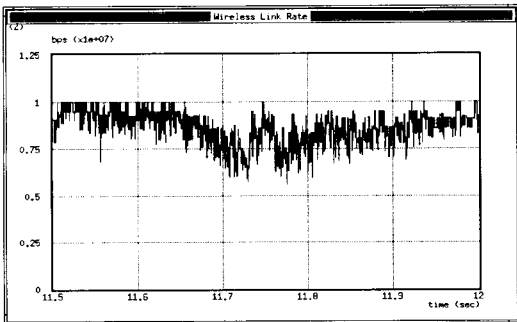


그림 3 전형적인 무선링크 가용대역폭의 시변성

그림 3은 무선링크의 가용대역폭의 전형적인 시변성을 보여주고 있다. 이는 4장에서 사용된 모의실험 환경에서 0.5초 동안 측정된 것으로서, PHY/MAC계층은 주어진 대역폭에서 최대 10 Mbps까지 제공할 수 있다고 가정하였다. 하지만 그림에서 볼 수 있듯이 CLR을 0으

로 만들기 위한 재전송으로 인해 최대 전송률인 10 Mbps를 실제로 얻을 수 없음을 볼 수 있다. 최악의 경우, 전체 10 Mbps에서 실제 데이터 전송을 위해서는 6 Mbps만이 사용될 수 있다.

3. WATM망에서의 ABR 전송률제어 알고리즘

이 장에서는 무선링크의 가용대역폭의 시변성을 고려하는 ABR 전송률제어 알고리즘을 설계할 때 고려되어야 할 점에 대하여 고찰하고, 무선환경에 적합한 새로운 알고리즘을 제시한다.

3.1 WATM망에서 사용될 전송률제어 알고리즘의 설계 시 고려되어야 할 점

알고리즘 성능 측면에서의 공정성과 알고리즘의 복잡도는 유선ATM망 내에서 사용되는 ABR 전송률제어 알고리즘을 설계하는 데 있어서 가장 중요한 고려 대상이다. 전송률제어 알고리즘들에 대한 포괄적인 해결을 [2]에서 찾아볼 수 있다; [2]에서는 이러한 알고리즘들을 크게 두 가지로 구분하는데, 하나는 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘이며, 다른 하나는 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘이다. Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance(ERICA)[8]는 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘의 대표적인 예이다. Enhanced Proportional Rate Control Algorithm(EPRCA)[13]과 Dynamic Max Rate Control Algorithm(DMRCA)[7]과 같은 몇몇 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들은 보다 적은 복잡도를 요구하면서도, 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘에 비해서도 손색없는 성능을 보여준다.

[2]를 통해 지적된 공정성 문제는 교환기나 AP상에서 동작하는 전송률제어 알고리즘에 per-VC 큐잉 방법을 적용, 개선함으로써 알고리즘 성능 측면에서의 공정성 문제가 해결될 수 있다. 예를 들면, 교환기의 처리용량이 모든 per-VC 큐에 동일하게 할당되며 각 per-VC 큐마다 교환기에 의해 처리되기를 기다리는 셀들이 쌓여 있어서 교환기가 work-conserving하게 각 큐에 대해 서비스를 제공할 수 있다면, 공정성 문제는 상당 부분 경감될 수 있다[6]. 또한, 가입자로부터의 핸드오프 요청과 같은 WATM 환경 하에서의 이동성 기능 등을 효과적으로 지원하기 위해서는 per-VC 큐잉이 요구된다[10, 11]. 따라서, 만약 per-VC 큐잉이 AP 내에서 구현된다면, WATM 환경 하에서 MT들에게 이동성을 지원할 수 있게 될 뿐만 아니라, ATM ABR 전송률제어 알고리즘의 공정성에 대한 요구까지 쉽게 충족시킬 수 있게 된다. 이러한 이유 때문에, 본 연구에서는

공정성 측면보다는 AP 내에서 요구되는 ABR 연결들에 대한 버퍼 크기에 대한 요구를 줄이는 것에 중점을 두고자 한다.

무선링크 환경 하에서는, ERICA와 같이 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘들이 AP 내에 구현되는 경우 기대되는 성능을 발휘하지 못한다. ERICA의 경우 전체 링크의 가용대역폭으로부터 CBR과 VBR과 같은 높은 우선 순위 트래픽들의 대역폭요구량을 제외한 후 ABR연결들이 사용할 수 있는 대역폭을 매 평균 기간(averaging interval)이 끝날 때마다 계산해 낸다. 그런 이후에 ERICA는 이렇게 계산된 대역폭을 바탕으로 이를 모든 ABR 근원지에 공평하게 분배한다. 따라서, ERICA는 링크의 가용대역폭이 시변하지 않으며 항상 일정 값으로 정해져 있는 유선ATM망과 같은 환경에 적합하다. 하지만, WATM망에서의 무선링크의 가용대역폭은 재전송 등의 이유로 인해 시간에 따라 다르므로, ERICA와 같이 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘을 AP 내에 구현하는 것은 매우 까다로운 작업을 요구한다. 따라서, per-VC 큐잉 개념을 현존하는 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘에 적용시켜 AP 내에 구현할 경우 정확하게 적정전송률을 계산하는 알고리즘을 AP 내에 구현할 때 얻어질 것으로 기대되는 공정성 측면에서의 성능에서 손색이 없을 것으로 기대된다. 하지만, 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들은 응답성 측면에서 문제를 갖고 있으며[2], 이러한 문제점은 링크의 가용대역폭이 매우 빠른 속도로 변화할 때 바람직하지 못한 성능상의 저하를 보여준다. 응답성이란 가용대역폭을 근원지로 하여금 빠르게 소진시키도록 만드는 동시에, 가용대역폭이 감소되었을 경우 이전 근원지에 할당된 대역폭을 빠른 시간 내에 감소시키는 것을 의미한다. 전자는 망 자원의 utilization을 증가시키며, 후자는 버퍼의 요구량을 감소시킨다.

만약 큐에 충분한 수의 셀이 있는 동시에 각 버퍼에 대한 처리가 work-conserving할 때 교환기 프로세서의 underutilization은 발생하기 어려울 것이다. 하지만, 가정하는 WATM 환경 하에서 가용대역폭의 급격한 감소가 발생할 경우 문제가 될 수 있다. 셀을 전송하는데 사용되는 가용대역폭이 시변한다는 사실을 상기해 보자. 만약 실제 셀전송에 사용될 수 있는 가용대역폭이 재전송으로 인해 급격하게 감소한다면, AP에서의 큐에 쌓이는 셀의 개수는 급격하게 증가할 것이다. 이러한 큐 길이의 증가를 완화시키기 위해서는 근원지의 전송률을 급격하게 낮추도록 해야 한다. 이 경우, 응답성은 근원지의 전송률과 무선링크의 가용대역폭이 근접하는 데

얼마나 많은 수의 Round-Trip Time(RTT)이 요구되는지를 의미한다.

실제의 경우, 교환기나 AP에 큐잉될 수 있는 셀의 개수는 한정되어 있다. 이는 큐 오버플로우로 인해 셀이 손실될 수 있는 가능성이 있음을 의미한다. 만약 어떤 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 근원지의 전송률을 평형 상태로 제어하는 데 더 많은 수의 RTT 시간을 요구한다면, 그 알고리즘이 더 많은 RTT 시간을 요구하는 만큼 큐의 길이는 더 증가할 것이다. 이 경우 시간이 길어질수록, 큐 오버플로우로 인한 셀손실 확률이 증가한다. 이러한 종류의 셀손실은 상위계층의 프로토콜 성능에 부정적인 영향을 미치므로 셀손실 확률이 최소화되도록 유도하여야 한다.

3.2 제안하는 알고리즘: 개선된 응답성(Responsiveness-Enhanced)을 갖는 EDMRCA

적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들을 무선링크의 가용대역폭 변화에 보다 빠르게 응답하도록 개선하는 것이 요구된다. 목표로 하는 응답성의 개선이란, AP 내의 알고리즘이 근원지의 전송률을 가능한 빠른 시간 내에 무선링크의 가용대역폭 변화량만큼 변화시켜야 한다는 것이다. 문제는 AP 내의 알고리즘이 어떻게 가용대역폭이 어떠한 양만큼 변화되었는가를 알아내는가 하는 점이다. 만약 링크의 가용대역폭의 정확한 추정이 가능하다면, AP 내의 알고리즘은 근원지로 무선링크의 가용대역폭에 대한 정보를 보내줄 수 있을 것이다. 예를 들면, 무선링크의 가용대역폭 감소로 인한 혼잡(congestion)이 발생한다면, AP 내의 ABR 전송률제어 알고리즘은 근원지에게 혼잡 상태임을 알리기 위해 Backward Resource Management(BRM)셀을 사용할 것이다. 이는 AP 내의 큐에 쌓이게 되는 셀의 개수를 줄이게 될 것이다. 또한 큐 오버플로우로 인해 발생할 수 있는 셀손실 확률을 낮추는 데에도 도움이 될 것이다.

문제는 무선링크의 가용대역폭의 변화가 발생하는 시점을 어떻게 판단하는가와, 변화가 발생했을 경우의 변화량을 측정하는 방법이다. 한 가지 가능한 방법은 알고리즘이 무선링크의 가용대역폭이 감소되는 시점을 무선링크 상에서 셀의 손실을 방지하기 위한 재전송 횟수가 많아지는 때로 판단하는 것이다. 재전송은 DLC계층에서 발생하므로, 이 경우 DLC계층에서 별개의 프로세스가 재전송의 횟수를 세어 ATM계층에 보고해야 한다. 그러면 ATM계층은 근원지에게 현재의 무선링크의 가용대역폭을 알리게 된다. 이와 유사한 방안이 [5]에서 "link status monitor"를 사용함으로써 이루어졌다.

이러한 접근 방법은 근원지의 전송률을 올바르게 조절하기 위해 DLC계층에서 얻어진 정보를 ATM계층으로 넘겨주어야 하는 과정을 요구한다. 게다가, 이 경우 무선링크의 가용대역폭의 변화량을 측정하는 것 또한 간단하지 않다. 이러한 계층간 간섭은 양쪽 계층 모두의 설계와 개발을 어렵게 만든다.

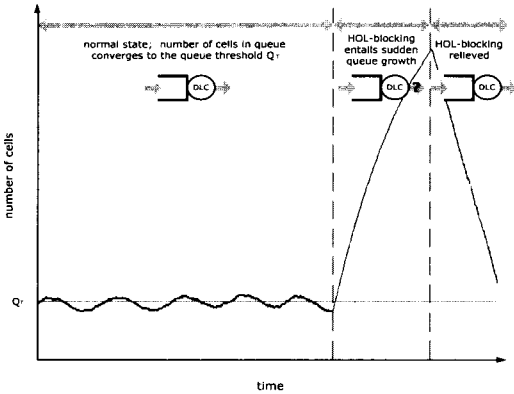


그림 4 채널상태에 따른 큐 내의 셀 개수의 변화

다른 방법으로는 무선링크의 가용대역폭의 감소를 AP 내의 ABR 큐의 쌓이는 셀의 개수의 증가를 바탕으로 판단하는 방법이다. 만약 무선링크의 가용대역폭이 감소하면, DLC계층에서 무선링크 상에서 손실된 셀들을 복구하기 위한 재전송을 수행하는 과정에서 Head-of-Line(HOL) 블록킹(blocking)[5]이 발생하며, 이러한 상황하에서는 AP 내의 큐에 쌓이는 셀의 개수는 급격하게 증가하게 된다. 이러한 상황에서는, AP의 셀처리율은 큐에 도착하는 셀들의 도달속도보다 낮은 상태가 된다. 이 방법 하에서는 무선링크의 가용대역폭의 변화를 판단해 내기 위해서 단순히 ATM계층에 있는 큐의 길이만 관찰하면 된다. 그림 4는 이러한 방법에 대해 서술하고 있다. 이 경우에는 만약 큐의 길이가 어떤 임계치를 넘으면 근원지는 전송률을 미리 정해진 만큼 줄이도록 해야한다.

위와 같은 방법들을 사용하더라도 근원지의 최적전송률을 결정하는 것은 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 근원지의 전송률을 해당 연결에 할당된 추정된 무선링크의 가용대역폭으로 조정하는 피드백 알고리즘이 제안되어야 한다. 제안된 알고리즘에서 가장 중요한 부분은 변화된 무선링크의 가용대역폭을 정확히 추정하는 부분이다. 이러한 추정은 AP의 ABR 큐 내의 셀 개수의 변화를 관측하는 것과 큐에 도달하는 셀의 속도를

추정하는 것으로 이루어질 수 있다; 만약 큐 안의 셀 개수가 급격히 증가한다면, 이는 무선링크의 가용대역폭이 재전송으로 인해 급격히 감소되었다고 해석될 수 있다. 만약 변화된 전송률 만큼을 근원지에 알릴 수 있다면, AP 내의 큐에 쌓이는 셀의 개수를 감소시킬 수 있다. 만약 셀의 개수가 완만히 증가한다면, 이는 근원지의 전송률과 무선링크의 가용대역폭이 거의 일치하거나 근원지의 전송률이 다소 높다고 볼 수 있다. 만약 AP의 큐 내의 셀의 개수가 감소한다면, 무선링크의 가용대역폭이 근원지의 전송률을 초과함을 의미한다.

위와 같은 논거를 바탕으로 할 때, 무선링크의 가용대역폭의 변화를 단지 ABR 큐에 쌓이는 셀의 개수의 변화를 관측하는 것만으로 추정해 낼 수 있다. MT로부터 전송 받는 BRM셀이 AP에 도달할 때마다 무선링크의 가용대역폭을 추정한다고 가정하자. 이는 어떠한 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘에서도 적용할 수 있는 가정이며 여기서는 시연 목적을 위해 per-VC 큐잉개념으로 확장된 DMRCA인 Enhanced Dynamic Max Rate Control Algorithm(EDMRCA)[6]을 AP에서의 기본 ABR 전송률제어 알고리즘으로 사용할 것이다. 다른 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들 대신에 EDMRCA를 쓰는 이유는 EDMRCA가 다른 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들보다 성능상 우위에 있기 때문이다[2]. 제안하는 방안은 그림 5에서 볼 수 있듯이 기존 알고리즘에서 약간의 수정만 있으면 된다. 여기서는 EDMRCA로 하여금 ABR 큐의 길이가 급격하게 증가하는 경우에 대응하도록 개선하였다. 예를 들면, MT로부터 돌아온 BRM셀이 AP로부터 근원지로 되돌려 보내진 순간부터 그 다음 BRM 셀이 AP에 도착하는 시간동안 ABR 큐에 있는 셀의 개수의 증감을 측정함으로써 무선링크의 가용대역폭의 변화를 계산해 낼 수 있다. 만약 셀의 개수가 증가한다면, 근원지의 전송률을 감소시키도록 유도할 수 있고, 만약 셀의 개수가 감소한다면, 근원지의 전송률을 증가시키도록 유도할 수 있다. 즉, 만약 AP가 중계하는 연결에 할당된 무선링크의 이전 가용대역폭을 알 수 있다면, 큐에 쌓이는 셀의 개수의 증감만을 관찰함으로써 무선링크의 현재 가용대역폭을 알아낼 수 있다.

다음 식은 무선링크의 가용대역폭을 추정하는 식으로서, ABR 큐에 쌓이는 셀 개수의 변화를 바탕으로 하고 있다.

$$Q_{Lurr}(i) - Q_{Lpre}(i) = [CWL_{pre}(i) - CWL_{Lurr}(i)] \times [T_{cur}(i) - T_{pre}(i)] \quad (1)$$

이고 여기서

$QL_{curr}(i)$: 현 시점에서 연결 i 의 ABR 큐에 있는 셀의 수

$QL_{prev}(i)$: 가장 최근의 BRM 셀이 AP를 떠날 때 연결 i 의 ABR 큐에 있는 셀의 수

$CWL_{curr}(i)$: 현 시점에서의 연결 i 의 무선링크용량

$CWL_{prev}(i)$: 가장 최근의 BRM 셀이 AP를 떠날 때 연결 i 의 무선링크용량

$T_{curr}(i)$: 연결 i 의 현재 시각

$T_{prev}(i)$: 연결 i 에서 가장 최근에 BRM 셀이 AP를 떠날 때의 시각

이다. 따라서 식 (1)은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$CWL_{curr}(i) = CWL_{prev}(i) - \frac{[QL_{curr}(i) - QL_{prev}(i)]}{[T_{curr}(i) - T_{prev}(i)]} \quad (2)$$

$CWL_{curr}(i)$ 은 연결 i 에 대한 현재의 무선링크의 가용 대역폭에 대한 추정값으로서, 근원지가 최대 $CWL_{curr}(i)$ 의 전송률로 셀을 전송할 수 있도록 AP는 이 값을 근원지에 알려야 한다. 이러한 피드백은 RM셀 내의 Explicit Rate(ER)필드를 사용하면 가능하다[3]. 무선링크의 가용대역폭의 변화량은 큐 길이의 변화량을 측정함으로써 추정할 수 있다. 따라서, 이렇게 가용대역폭의 변화를 추정하여 근원지에 알림으로써 알고리즘의 응답성 향상을 기대할 수 있으며 이를 모의실험을 통해 검증하였다. 그림 5는 AP에서 사용될 응답성이 개선된 EDMRCA 알고리즘의 의사코드(pseudocode)를 나타낸다.

그림 5에서 이태리체로 표시된 변수와 코드는 응답성이 개선된 EDMRCA 내에서 더 이상 사용되지 않음을 의미한다. 굵은 글자체로 표시된 변수와 코드는 응답성을 개선하기 위해 기존 알고리즘과 달리 수정되거나 추가된 부분을 의미한다. 알고리즘에서는 식 (2)에서와 달리 $CWL_{prev}(i)$ 대신에 변수 A_MAX 가 사용되었다. A_MAX 는 현재 AP를 지나가는 연결에 할당된 모든 전송률 중에서 최대전송률을 지수가중평균(exponential weighted average)한 값이며, Forward Resource Management(FRM)셀이 AP에 도착할 때마다 그 값이 갱신된다. 여기에서 $CWL_{prev}(i)$ 대신 A_MAX 를 사용하는 이유와 근거에 대해 설명하면 다음과 같다: $CWL_{prev}(i)$ 값을 구하기 위해서는 연결 i 에 대한 현재 전송률인 $CCR(i)$ 를 저장해 둘 필요가 있으며 이 값은 BRM셀이 도착할 때 무선링크의 용량($CWL_{prev}(i)$ 혹은 $CWL_{curr}(i)$)으로 사용될 수 있다. 그러나 이의 저장을 위한 부담은 연결의 수에 비례하여 늘어나게 된다. 따라서 제안된 알고리즘에서는 이러한 부담을 줄이기 위해 $CWL_{prev}(i)$ 대신 A_MAX 를 사용한다. [7]에서 언급된 바와 같이 A_MAX 는 공평분배량보다 항상 어느 정도

```

Algorithm Responsiveness-Enhanced EDMRCA
Global 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
Fn[x]: Discrete non-increasing function, 0 ≤ Fn[x] ≤ 1
alpha: Averaging factor for A_MAX (e.g., alpha=1/16)
MRF: Major Reduction Factor for VC connection
under heavy congestion
MAX_Timeout: Time interval used to timeout MAX
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
QL_curr(i): The number of cells in the ABR queue
of connection i at the current time
QL_prev(i): The number of cells in the ABR queue
of connection i at the time of the last BRM
cell departure
T_curr(i): The current time of connection i
T_prev(i): The saved last BRM cell departure time
of connection i

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
/* Update A_MAX */
A_MAX = (1 - alpha) × A_MAX + alpha × MAX;
if (Backward RM Cell of connection i)
then
if (queue length of connection i ≥ EDQT)
/* Switch is heavily congested */
then
CI(i) = 1; /* Decrease the rate of connection i */
ER(i) = min(ER(i), MRF × A_MAX + MCR(i))
if ((QL_curr(i) - QL_prev(i)) > 0)
then
ER(i) = min(ER(i), A_MAX -
(QL_curr(i) - QL_prev(i)) / (T_curr(i) - T_prev(i)) + MCR(i))
else
if (queue length ≥ EQT)
/* Switch is moderately congested */
then
/* Intelligent marking */
if (CCR(i) - MCR(i) ≥ A_MAX × Fn[queue length])
then
CI(i) = 1; /* Decrease the rate of connection i */
QL_prev(i) = QL_curr(i);
/* Save the current queue length */
T_prev(i) = T_curr(i);
/* and time for the next calculation */
    
```

그림 5 응답성이 개선된 EDMRCA 알고리즘

큰 값을 가지므로 식 (2)에서와 같이 $CLW_{prev}(i)$ 값 대신에 A_MAX 를 쓴다면 해당 연결의 최적전송률을 항상 실제보다 높게 추정할 가능성이 있다. 하지만 이것이 특별한 문제를 발생시키지는 않는다. 그 이유는 만약 근원지가 실제 최적전송률보다 약간 높은 전송률로 셀을 보내고 있다면, 이는 AP의 큐 내에 약간의 셀이 더 많이 쌓이는 것으로 나타날 것이며 이때 AP상의 알고리즘은 큐의 길이가 임계값 이하로 떨어질 때까지 근원지의 전송률을 낮추도록 피드백하기 때문이다. 따라서 $CLW_{prev}(i)$ 대신에 A_MAX 를 사용하더라도 바람직하지 못한 문제를 겪을 가능성은 희박하다고 말할 수 있다. 심지어 몇몇 연결이 무선링크가 아닌 다른 유선링크

상에서 병목현상을 겪어 A_MAX 값이 $CWL_{prev}(i)$ 값보다 매우 크다 하더라도 알고리즘은 올바르게 동작한다. 이 경우에 대한 검증은 4장에서 모의실험을 통해 보인다.

4. 모의실험 결과

4.1 무선환경 가정

모의실험 모델의 무선링크 채널모형으로 Finite State Radio Channel Model(FSRCM)을 사용한다. FSRCM은 Magic WAND[9, 10]의 결과물로 제시된 모형이다. 모의실험 환경에서 각 링크의 무선채널상태는 다른 링크의 무선채널상태에 대해 서로 독립적이라고 가정한다. 따라서 각 연결들은 무선링크 채널모형으로 각각의 FSRCM을 갖는다.

FSRCM은 그림 6에서와 같이 16개의 상태로 구성되어 있으며 한 상태에서 인접한 다른 상태로 전이한다. 한 상태에 머무르는 시간은 차수 2, 평균 13 msec의 Erlang 분포를 따르며 각 상태마다 평균 SNR (signal-to-noise ratio)값에 따라 다른 CER(cell error ratio)을 갖는다. 평균 SNR값이 낮을수록 높은 CER을 가지며 16개의 상태 중 상태0의 CER이 가장 높고 점차 CER이 낮아져 상태15는 가장 낮은 CER을 갖는다.

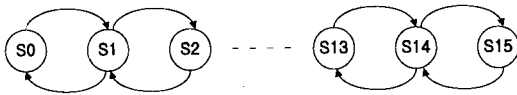


그림 6 Finite State Radio Channel Model

표 1 SNR이 30 dB일 때 FSRCM에서의 CER

| State | CER | State | CER |
|-------|-------|-------|------------|
| 0 | 0.89 | 8 | 0.020 |
| 1 | 0.80 | 9 | 0.007 |
| 2 | 0.62 | 10 | 0.001 |
| 3 | 0.44 | 11 | 0.0001 |
| 4 | 0.25 | 12 | 0.00001 |
| 5 | 0.14 | 13 | 0.000001 |
| 6 | 0.065 | 14 | 0.0000007 |
| 7 | 0.041 | 15 | 0.00000001 |

모의실험에서는 평균 SNR값을 30 dB로 설정하여 무선링크에서의 높은 CER이 ABR 전송률제어 알고리

즘의 성능에 어떠한 영향을 미치는가를 실험하고 큐에 쌓이는 셀의 개수 제어 측면에서 분석하였다. 각 상태에서의 CER 값을 표 1에서 나타내었다. 여기서는 무선링크를 통해 전송되는 셀의 크기를 MAC overhead를 포함한 값인 54 bytes로 설정하였다.

4.2 모의실험 모형

본 모의실험 모형은 그림 7과 같이 열 개의 ABR 근원지와 이에 따른 열 개의 목적지를 가지고 있다. 열 개의 근원지는 유선ATM단말 역할을 수행하며, 열 개의 목적지는 WATM망 내의 MT 역할을 수행한다. 각 MT는 무선링크 채널모형인 FSRCM에 의해 연결되어 있으며 FSRCM은 각 상태에 설정된 CER 값을 바탕으로 셀을 잃어버린다. 만약 AP가 무선링크를 통해 ATM 셀을 성공적으로 전송하면, AP는 셀을 수신하는 MT로부터 셀을 제대로 전송 받았다는 뜻으로 확인응답(acknowledgement)을 받는다. 만약 셀을 수신하는 MT가 셀을 제대로 전송 받지 못하면 AP는 MT로부터 부정응답(negative acknowledgement)을 수신하게 된다.

AP 내의 스케줄러(scheduler)는 모든 연결에 대해 라운드로빈(round-robin) 형태로 셀전송 기회를 부여한다. 따라서 만약 모든 큐가 work-conserving 형태로 셀전송 기회를 부여받는다면 스케줄러는 무선링크의 대역폭을 모든 연결에 대해 공평하게 나눠줄 수 있게 된다.

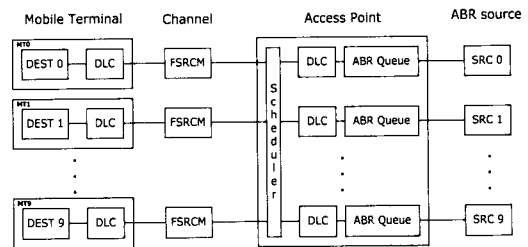


그림 7 모의실험 모형

비교를 위해 EDMRCA와 응답성이 개선된 EDMRCA 두 가지를 AP 상에서 구현한 후에 ABR 전송률제어에 사용하였다. 모의실험에서 전송률제어 알고리즘은 다음과 같은 매개 변수 값들을 사용하였다: $PCR = 10$ Mbps, $MCR = 0$ Mbps, $NRM = 32$, $RIF = 1/128$, $RDF = 1/16$, $MRF = 7/8$, $F_n(x) = 1-x/1000$, $EQT = 10$, $EDQT = 100$. 무선링크는 10 Mbps의 대역폭을 가지고 있으며 열 개의 ABR 연결은 이 대역폭을 고르게 할당받아야 한다. ABR 트래픽

보다 높은 우선 순위를 갖는 트래픽인 VBR 트래픽이 10초 간격으로 교대로 발생한다고 가정한다. 다시 말해 처음 10초 동안은 ABR 트래픽이 전체 10 Mbps를 사용할 수 있으나 다음 10초 동안은 VBR 트래픽으로 인해 5 Mbps까지 사용할 수 있고, 그 다음 10초 동안은 다시 10 Mbps까지 사용할 수 있다.

AP와 열 개의 ABR 근원지간의 RTT는 다음의 표 2와 같이 설정되었다.

표 2 각 연결의 RTT

| source | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| RTT (ms) | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |

AP와 MT간의 전파지연시간은 근원지와 AP간의 지

연시간에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있다고 가정한다. 가정하는 ATM망은 광대역통신망으로서, 연결#9의 경우, 셀은 RTT 시간의 반 동안 6,000 km를 지날 것이다.

4.3 모의실험 결과

4.2절에서 설명한 모의실험 모형을 바탕으로 100초간 모의실험을 수행하였다. 이후 그림을 통해 EDMRCA와 응답성이 개선된 EDMRCA를 사용했을 경우 얻어지는 큐 변화량에 대해 기술하고 비교한다. 그림 8은 각각의 RTT가 4ms, 20ms, 40ms인 연결#0, #5, #9의 큐 변화량을 관측한 결과이다. 그림의 가장 위쪽에는 연결#0의 무선채널의 CLR 특성이 나타나 있으며 다른 연결들도 유사한 CLR 특성을 가지고 있다. 그림 8의 좌측의 세 그림은 EDMRCA가 사용되었을 경우의 큐 변화량을 관

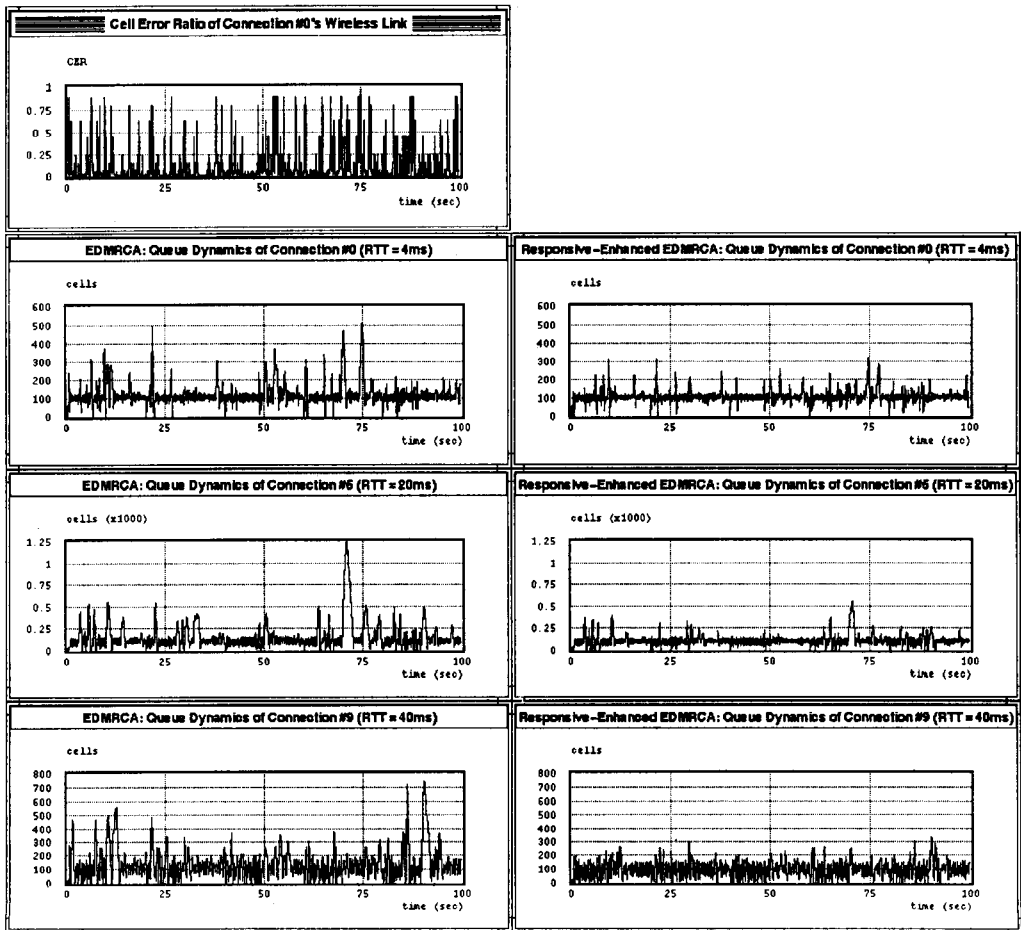


그림 8 각각의 RTT가 4ms, 20ms, 40ms인 연결#0, #5, #9의 큐 변화량

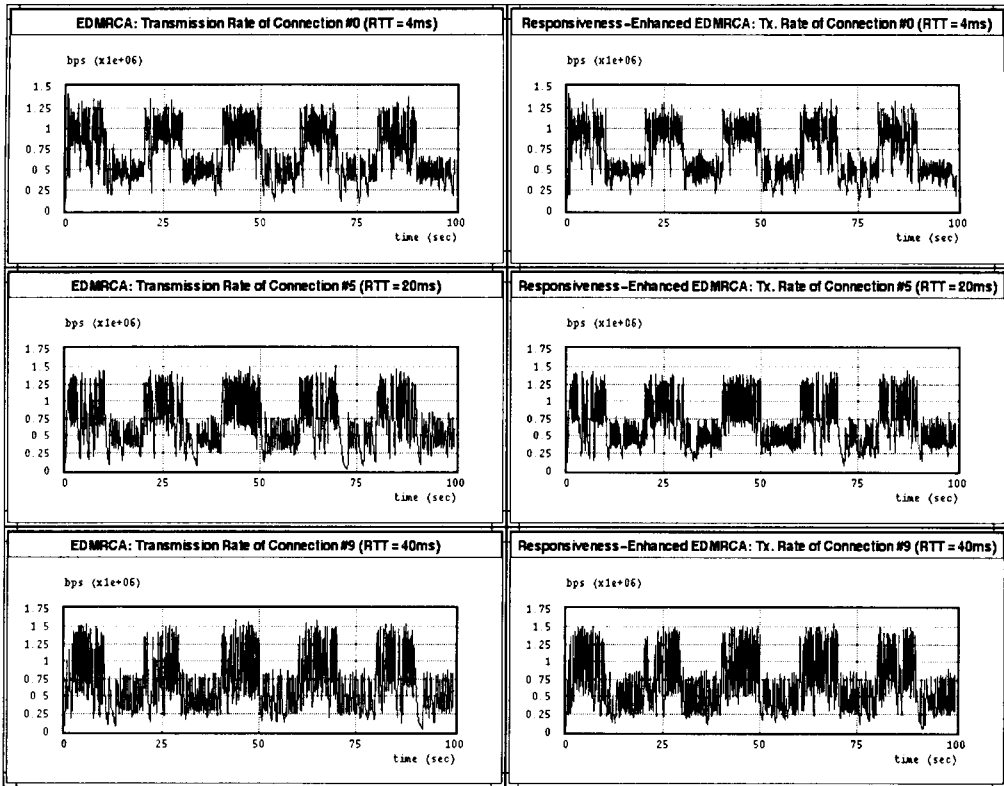


그림 9. 각각의 RTT가 4ms, 20ms, 40ms인 연결#0, #5, #9의 전송률

측한 것이며 우측의 세 그림은 제안하는 응답성 개선방안이 사용되었을 경우의 결과이다. 이 결과를 통해 제안하는 방안을 사용함으로써 응답성이 상당히 향상됨을 관찰할 수 있다. 그림으로 표시하지는 않았지만 다른 연결들도 마찬가지로 응답성이 향상됨을 관찰할 수 있다.

제안한 알고리즘과 EDMRCA 알고리즘의 성능을 유선 ATM망에서 비교하기 위하여 대역폭공평분배 성능과 ABR 전송률제어 성능을 비교하는 데 많이 사용되는 파킹롯 망구성(parking lot configuration)[6]을 갖는 유선 ATM망에(무선부분을 제외한 상황에서) 적용한 결과 두 알고리즘이 거의 동일한 결과를 보임을 확인하였으며 이는 제안한 알고리즘이 유선 ATM망에서 기존에 제안된 방식과 대등한 성능을 보이면서 무선링크의 상태변화를 효과적으로 반영함을 입증하는 것이다.

그림 9는 각각의 RTT가 4ms, 20ms, 40ms인 연결 #0, #5, #9의 전송률을 관측한 결과이다. 그림 9의 좌측의 세 그림은 EDMRCA가 사용되었을 경우의 전송률의 변화를 관측한 것이며 우측의 세 그림은 제안하는 응답성 개선방안이 사용되었을 경우의 결과이다. 이 결과를

표 3 각 ABR 큐에 쌓이는 셀의 최대 개수

| Connection number | Maximum number of cells in ABR queue | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------|
| | Original EDMRCA | Responsiveness-Enhanced EDMRCA |
| 0 | 506 | 312 |
| 1 | 706 | 482 |
| 2 | 642 | 442 |
| 3 | 583 | 326 |
| 4 | 772 | 463 |
| 5 | 1243 | 555 |
| 6 | 625 | 451 |
| 7 | 628 | 376 |
| 8 | 632 | 350 |
| 9 | 751 | 331 |
| Max. queue length over all connections | 1243 | 555 |

바탕으로 두 알고리즘 모두 ABR 연결들에 대해 가용대역폭을 공평하게 나눠준다는 사실을 알 수 있다.

또한 표 3에서는 모의실험 수행 중에 관측된 최대 큐 길이에 대해 기술하고 있다. 이 표에서 볼 수 있듯이,

EDMRCA와 응답성이 개선된 EDMRCA를 사용했을 경우 요구되는 최대 큐크기는 각각 1,243 과 555이다. 이는 버퍼 크기 측면에서 55%의 이득을 의미한다.

또한 $CWL_{prev}(i)$ 값 대신에 A_MAX 를 사용하더라도 제안하는 방안이 문제없이 동작함을 보이기 위한 모의실험도 수행하였다. 이러한 모의실험을 위한 환경을 만들기 위해, 그림 10에서 볼 수 있듯이 WATM망 설정을 하는 데 있어서 연결#5-9가 무선망 부분이 아닌 유선망 부분에서 0.5 Mbps로 전송률이 제한되도록 인위적인 병목노드를 만들었다. 그림 10에서 BN_i 는 연결 i 에 대한 병목노드를 의미한다. 만약 무선링크 상에서 ABR 트래픽들을 위해 10 Mbps가 사용 가능하다면(구체적으로 0초에서 10초까지, 20초에서 30초까지, 40초에서 50초까지 등등), 연결#0-4는 알고리즘에 의해 각각 1.5 Mbps를 할당받아야 하며 다른 연결#5-9는 각각 0.5 Mbps를 할당받아야 한다. 만약 무선링크 상에서 ABR 트래픽들을 위해 5 Mbps가 사용 가능하다면(구체적으로 10초에서 20초까지, 30초에서 40초까지, 50초에서 60초까지 등등), 모든 연결들은 각각 0.5 Mbps를 할당받아야 한다. 이러한 가정 하에서는 무선링크가 ABR 트래픽들에게 10 Mbps를 할당해 줄 수 있는 경우 A_MAX 는 $CWL_{prev}(i)$ 값에 비해 상대적으로 큰 값을 갖게 된다. 그림 11은 3.2절에서 밝힌 바와 같이 A_MAX 의 값이 $CWL_{prev}(i)$ 의 값보다 상당히 큰 값을 갖는 경우에 본 논문에서 제안하는 방안을 사용하더라도 ABR 전송률제어가 바람직하게 행해짐을 알 수 있다.

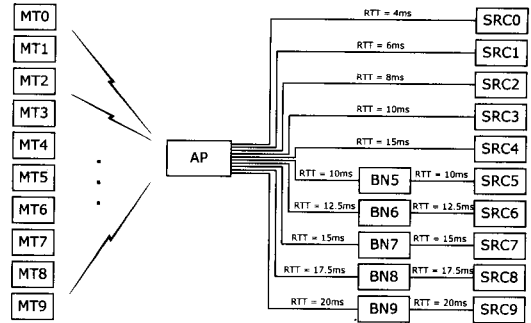


그림 10 병목 노드를 포함하는 망 구성도

5. 결론

현존하는 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들이 무선ATM 환경 하에서 사용될 경우 응답성 측면에서 문제가 발생함을 보이고 이 문제점을 해결하기 위한 응답성 개선방안을 제시하였다. 적정전송률의 근사치를 계산하는 알고리즘들 중에서 비교적 잘 알려진 EDMRCA에 제안하는 방안을 적용, 응답성이 개선된 EDMRCA를 제시하였으며 제안하는 방안의 타당성을 검증하기 위해 여러 환경 하에서 모의실험을 수행하고 응답성이 향상됨을 관찰하였다. 또한 제안하는 방안은 적정전송률의 근사치를 계산하는 다른 어떤 알고리즘에도 쉽게 적용될 수 있다. 따라서 제안하는 방안이 무선

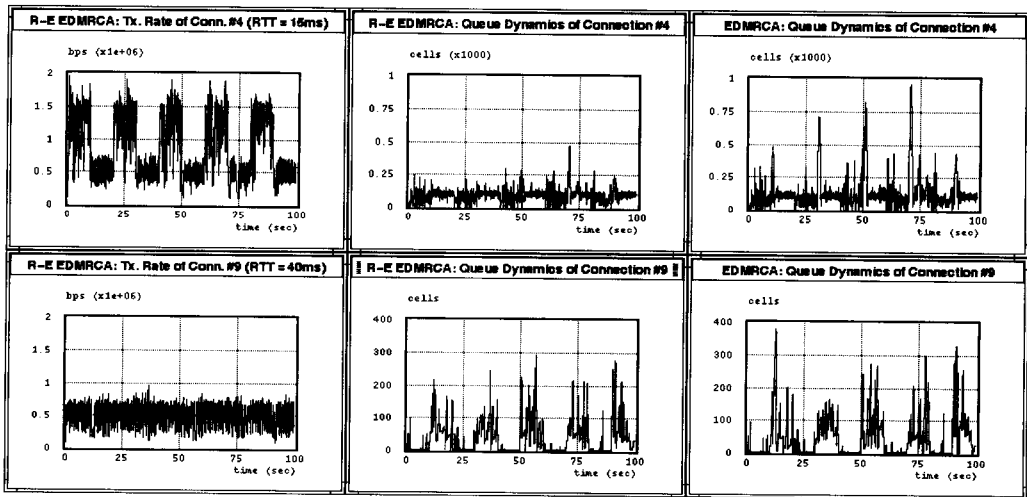


그림 11 연결 #5~9가 0.5 Mbps로 전송률이 제한될 때 측정된 큐 길이와 전송률

환경에서의 ABR 서비스를 위해 상당히 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

SIGCOMM, *Computer Communication Review*, Oct. 1994.

참 고 문 헌

- [1] P. Agrawal, E. Hyden and P. Kryzanowski, "An Experimental Indoor Wireless Network, SWAN: A Mobile Multimedia Wireless Network," *IEEE Personal Communications*, Apr. 1996.
- [2] A. Arulambalam, X. Chen and N. Ansari, "Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *IEEE Communications Magazine*, Nov. 1996.
- [3] ATM Forum, *ATM Traffic Management Specification Version 4.1*, Mar. 1999. Available through <ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0121.000.pdf>
- [4] ATM Forum, *Draft Baseline Text for Wireless ATM Capability Set 1 Specification/BTD-WATM-01.10*, Dec. 1998.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] F. Chiussi, Y. Xia and V. P. Kumar, "Dynamic Max Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *Proc. IEEE Globecom 96*, Nov. 1996.
- [8] R. Jain et al., "ERICA Switch Algorithm: A Complete Description," *ATM Forum Contribution 96-1172*
- [9] J. Meierhofer and U. Bernhard, "Link Quality Control for Wireless ATM Networks," *Proc. ICC '99*, Jun. 1999.
- [10] J. Mikkonen and J. Kruys, "The Magic WAND: A Wireless ATM Access System," *Proc. ACTS Mobile Communications Summit '96*, Nov. 1996. Available through <http://www.tik.ee.ethz.ch/~wand/>
- [11] D. Raychaudhuri et al., "WATMnet: A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communication," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no.1, Jan. 1997.
- [12] 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.
- [13] K. Siu and H. Tzeng, "Intelligent Congestion Control for ABR Service in ATM Networks," *ACM*

민 구

정보과학회논문지:정보통신
제 27 권 제 2 호 참조

최 명 환

정보과학회논문지:정보통신
제 27 권 제 2 호 참조