

# 다중점 연결의 원거리 수신원에 대한 효율적인 ABR 트래픽 제어를 제공하는 스위치 동작 방식

이 숙 영<sup>†</sup> · 이 미 정<sup>††</sup>

## 요 약

매우 버스티한 특성을 갖는 데이터 트래픽을 지원하는 ABR (Available Bit Rate) 서비스 클래스는 피드백을 이용하여 트래픽을 제어한다. 이에 관한 연구는 점-대-점 연결에 적용하기 위한 것으로 시작되어 최근에는 멀티캐스트 서비스를 요구하는 트래픽 전송이 증가함에 따라 점-대-다중점에 적용하는 연구로 확장되고 있다. 그런데 피드백에 의하여 트래픽을 제어하는 경우 전파지연이 클수록 제어의 효율성이 떨어지게 된다. 특히 멀티캐스트의 경우에는 원거리 수신원은 근거리 수신원에 비하여 피드백의 적시성이 더 떨어져 경로 상황 및 수신원 능력이 동일함에도 불구하고 더 낮은 서비스를 받는 불공정성이 발생할 수 있다. 따라서 멀티캐스트의 경우에는 전파지연으로 인한 피드백 부적시성을 수정하는 것이 더 중요하다. 본 논문은 EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)에 의하여 ABR 멀티캐스트 트래픽을 제어하는 스위치들이 자신의 능력이 허용하는 경우 동적인 셀 스케줄링을 이용하여 하단의 폭주에 일시적으로 반응하는 방식을 제안함으로써 원거리 수신원에 대한 제어를 효율적으로 해 줄 수 있는 스위치 동작에 대하여 살펴보았다. 제안한 스위치는 VC (Virtual Circuit) 마다 피드백되는 역방향 RM (Resource Management) 셀에 의하여 동적인 셀 스케줄링을 하므로 VC 마다 버퍼를 두는 구현상의 복잡성이 있으며, 버퍼 점유율이 높아지는 오버헤드가 있다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 스위치 동작을 멀티캐스트 연결에 적용하여 본 결과 원거리와 근거리 모든 수신원에서의 셀 손실율이 낮아질 뿐 아니라 두 수신원간의 셀 손실율의 차를 감소시킬 수 있음을 볼 수 있었다.

## A Switch Behavior Supporting Effective ABR Traffic Control for Remote Destinations in a Multiple Connection

SookYoung Lee<sup>†</sup> · MeeJeong Lee<sup>††</sup>

### ABSTRACT

The ABR service class provides feedback based traffic control to transport bursty data traffic efficiently. Feedback based congestion control has first been studied to be applied to unicast connections. Recently, several congestion control algorithms for multicast connections have also been proposed as the number of ABR applications requiring multicast increases. With feedback based congestion control, the effectiveness of a traffic control scheme diminishes as propagation delay increases. Especially for a multicast connection, a remote destination may suffer unfair service compared to a local destination due to the delayed feedback. Amelioration of the disadvantages caused by feedback delay is therefore more important for remote destinations in multicast connections. This paper proposes a new switch behavior to provide

\* 이 논문은 1996년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : LG 정보통신, 연구원

†† 정 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과, 조교수

논문접수 : 1998년 1월 15일, 심사완료 : 1998년 5월 7일

effective feedback based traffic control for remote destinations. The proposed switches adjust the service rate dynamically in accordance with the state of the downstream, that is, the congestion of the destination is immediately controlled by the nearest upstream switch before the source to ramp down the transmission rate of the connection. The proposed switch has an implementation overhead to have a separate buffer for each VC to adjust the service rate in accordance with a backward RM cell of each VC. The buffer requirement is also increased at intermediate switches. Simulation results show that the proposed switch reduces the cell loss rate in both the local and the remote destinations and also ameliorates the unfairness between the two destinations.

## 1. 서 론

ATM (Asynchronous Transfer Mode) 상에서 지원되는 서비스 클래스중 하나인 ABR은 트래픽 생성이 매우 버스티하고 지연에 민감하지 않은 데이터 트래픽을 지원한다. 이러한 ABR 트래픽의 특성때문에 연결 설정시 필요한 자원을 망에 정적으로 예약하는 예방적 방법은 비효율적이므로 연결 설정 시 최소 보장 셀을만을 설정하고 망의 폭주 상황에 따라서 전송율을 조정하는 적응적 방법이 채택되었다[1,2]. ABR 트래픽 제어 알고리즘은 울 기반 방식을 근간으로 점-대-점 연결에 적용하기 위한 연구가 시작되어 현재 EPRCA가 제안되기에 이르렀다[2,3]. 또한, 최근에는 데이터나 비디오 트래픽 전송을 요구하는 응용들 중 다중점 연결 전송을 요구하는 응용이 증가하고 있어 ABR 트래픽 제어 알고리즘은 점-대-다중점에 적용하기 위하여 확장되고 있다[2].

그런데 피드백을 사용하여 적응적으로 트래픽을 제어하는 방식은 전파지연에 의하여 그 효율성이 크게 좌우된다. 전파지연이 클수록 제어의 효율성이 떨어지게 되는데 이에 관해서는 이미 몇 연구 논문에서 언급된바 있다[4-7]. [4]에서는 무시할 수 없는 전파지연 가정하에서 피드백을 사용하는 폭주 제어 방식의 효과를 분석적으로 연구하였고, [5]에서는 시뮬레이션을 통하여 왕복 전파지연이 큰 경우 효과적인 대역폭 할당 기법을 제시하였다. [6]에서는 피드백을 사용하는 적응적 폭주 제어를 적용할 경우에 서로 다른 거리에 있는 다수의 송신자를 서비스하는 한 중간 스위치에서 송신자간 불공정성이 발생할 수 있음을 분석적으로 연구하였다. 반면에 [7]에서는 점-대-다중점 연결의 경우에 수신자들의 전파지연 차이로 인하여 수신자간 불공정성이 발생할 수 있음을 분석적으로 보여주었다. 단일 수신원의 폭주 상황만을 고려하던 점-대-점의 송신원과는 달리 점-대-다중점의 송신원은 여러 수신원으로부터 전송된

다양한 폭주 정보를 받게 되는데 송신원이 이러한 다양한 폭주 상황을 효과적으로 반영하여 전송율을 조정하는 것이 점-대-다중점에서 고려해야할 가장 중요한 문제들 중 하나이다. 그런데 각 수신원의 다양한 폭주 정보들은 서로 다른 전파지연을 두고 송신원에 도착하기 때문에 수신원의 능력과 수신원까지의 경로 상황 및 부하가 동일한 정도임에도 불구하고 수신원들이 서로 다른 질의 서비스를 받는 결과를 초래할 수 있다.

ATM 포럼에서는 송신원과 수신원 사이의 전파지연이 큰 경우 효과적인 ABR 트래픽 제어를 위하여 VS/VD (Virtual Source/Virtual Destination) 스위치를 사용하여 하나의 ABR 연결을 여러개의 독자적인 ABR 세그먼트로 제어할 것을 제안하였다[2]. 본 논문에서도 전파지연에 의한 피드백 부적시성을 수정할 수 있는 스위치 동작을 제안하고 특히 이 방식을 수신원들 간의 전파지연 차가 큰 멀티캐스트 연결에 적용하였을 때의 효과를 살펴보았다. 제안한 스위치는 수신원으로부터 송신원까지의 전파지연으로 인한 피드백 부적시성을 수정하기 위하여 멀티캐스트 트리의 하단 시스템으로부터 폭주 정보를 받게 되면 자신의 버퍼 상황을 고려하여 여유가 있다면 전송율을 즉시 조정한다. 본 논문의 제안한 스위치 시스템을 적용할 경우, 수신원에서 발생한 폭주는 송신원이 전송율을 낮출때까지 기다리지 않고 중간 스위치들에 의하여 즉각적으로 제어될 수 있기 때문에 전체적인 폭주 반응이 빨라지게 된다. 또한, 전파지연에 의한 피드백 부적시성을 수정함으로써 수신원간의 전파지연 차로 인한 불공정성도 줄일 수 있다.

제안하는 스위치를 ATM 포럼의 VS/VD 스위치와 비교하여 보면 다음과 같은 점에서 차이가 있다. 우선, 제안한 스위치는 피드백 정보의 흐름에는 관여하지 않는다. 즉, VS/VD 처럼 순방향 RM 셀을 생성하거나 역방향 RM 셀을 제거해야하는 부담이 없으며 따라서 전체적인 피드백 루프가 중간 스위치들에 의하여 분리

되지 않는다. 또한 제안한 스위치는 하단의 역방향 RM 셀의 폭주 정보에 따라서 무조건적으로 셀 출력율을 조정하는 것이 아니라 자신의 버퍼 상황을 고려하여 여유가 있는 경우에만 출력율을 조절함으로써 버퍼 부담량을 제어한다.

[8]에서도 본 논문에서 제안한 스위치와 마찬가지로 스위치의 동적인 셀 스케줄링을 이용한 올기반 폭주 제어 방법인 HBH (Hop-By-Hop) 방식을 제안하였다. HBH 방식에서는 EPRCA 같은 종단간 피드백 흐름 제어는 없으며 단지 인접한 하단 스위치로부터 전송된 버퍼 상황 정보에 대하여 셀 출력율을 조정해줌으로써 전체적인 망의 성능을 향상시키는 방법이다. 그러나, 제안한 스위치는 종단대종단의 피드백 흐름 제어인 EPRCA 기법을 기반으로 하되 송신원으로 피드백되는 역방향 RM 셀의 폭주정보에 따라서 버퍼 상황이 허용되는 스위치에 한하여 동적으로 셀 출력율이 조정되는 제어 방법이다.

제안하는 스위치 동작의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션을 통하여 기존의 이진 피드백 스위치 동작과 제안한 스위치 동작에 의하여 각각 얻어지는 수신원에서의 셀 손실율을 비교하였고 제안한 방식의 주 비용인 스위치에서의 버퍼 요구량도 측정하였다. 결과적으로 제안한 스위치가 다중 수신원들의 개별적인 셀 손실율을 줄일 뿐 아니라 전파지연의 부정적 역할을 감소시킴으로써 송신원과의 거리차로 인한 수신원들 사이의 서비스 불공평성도 줄여주는 것을 볼 수 있었다.

제안한 스위치는 각 VC 마다 피드백되는 역방향 RM 셀의 정보를 이용하여 해당 VC의 셀 출력율을 동적으로 조정하게 되므로 VC 마다 버퍼를 두어야 하는 버퍼 구현의 오버헤드가 있다. 또한, 하단의 폭주에 반응하여 셀 출력율을 낮추고 일정기간 동안 상단으로부터 전송되는 셀들을 버퍼링해야 하므로 버퍼 점유율이 증가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ATM 포럼의 표준안을 바탕으로 제안하는 방식에 적용한 ABR 멀티캐스트 트래픽 제어의 구성 요소 및 파라미터들을 설명하고 3장에서는 제안하는 스위치 동작을 설명한다. 4장에서는 제안한 스위치의 성능을 기존의 이진 피드백 스위치와 비교·평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 점-대-다중점에서의 ABR 트래픽 제어

본 장에서는 ATM 포럼의 TM (Traffic Management) 표준안 4.0에서 제시된 멀티캐스트 환경에서의 각 ABR 트래픽 제어를 위한 구성 요소 동작들에 대하여 설명하고, 이들 구성 요소들이 사용하는 파라미터들 중 본 논문에서 사용되는 것들에 대하여 설명한다[2].

### 2.1 RM 셀의 구조와 ABR 서비스 파라미터

망 상황에 관한 정보를 송신원에게 알려주기 위하여 RM이라는 제어 셀이 사용된다. RM 셀은 전송되는 방향에 따라서 수신원을 향하는 순방향 RM 셀과 송신원을 향하여 피드백되는 역방향 RM 셀의 두가지 종류가 있으며 이는 RM 셀 내의 DIR (Direction) 필드에 표시된다. 이외에 망 상황을 나타내는 CI (Congestion Indication) 필드와 최소 전송율을 의미하는 MCR (Minimum Cell Rate) 필드 등과 함께 예비영역을 포함하여 RM 셀이 구성된다.

송신원은 망과의 연결 설정시에 PCR (Peak Cell Rate), MCR, ICR (Initial Cell Rate)의 세가지 파라미터들을 협상한다. PCR은 송신원이 전송 가능한 최대 전송율이고, MCR은 망으로부터 보장 받는 최소 전송율을 의미하며, ICR은 망 상황을 알 수 없는 초기 전송시나 비활성화 기간 후의 초기 셀 전송율을 나타낸다. 송신원은 ICR로 전송을 시작하여 최소 MCR 이상, 최고 PCR을 넘지 않는 범위내에서 망으로부터 전송된 역방향 RM 셀의 정보를 이용하여 자신의 전송율을 조정한다. 이 때 현재의 셀 전송율을 나타내는 파라미터가 ACR (Allowed Cell Rate)이다.

송신원에서는 ACR의 증가량과 감소량을 계산하기 위하여 RIF (Rate Increase Factor)와 RDF (Rate Decrease Factor) 파라미터가 사용된다. 이외에도 송신원은 망으로 투입하는 순방향 RM 셀의 수를 제어하기 위한 파라미터로써 Nrm (Number of cells/RM)과 Trm (Time interval/RM)을 사용한다. 또한 망으로부터 받은 역방향 RM 셀 없이 전송할 수 있는 최대 순방향 RM 셀 수를 나타내는 CRM (Missing RM Cell Count) 파라미터가 있다. 송신원이 이러한 파라미터들을 위반하면서 순방향 RM 셀을 전송하고자하는 경우에 ACR을 조정하기 위하여 CDF (Cutoff Decrease Factor)와 ADTF (ACR Decrease Time Factor) 파라미터가 사용된다. 이러한 파라미터들이

알고리즘에 적용되는 구체적인 방법에 대해서는 다음절의 송신원의 동작에서 설명한다.

2.2 각 제어 시스템의 동작

멀티캐스트 환경에서의 ABR 피드백 제어는 송신원과 수신원 그리고 중간 스위치와 분지점 스위치의 동작으로 구성된다. 송신원과 수신원 그리고 중간 스위치의 동작은 유니캐스트 환경에서와 같으며 분지점 스위치의 동작에 대해서는 ATM 포럼에 의하여 기본적인 동작만이 정의된 상태이다. 본 장에서는 ATM 포럼의 표준안에 근거하여 본 논문에서 사용된 각 구성 요소들의 동작에 대하여 설명한다.

(1) 송신원의 동작

송신원은 망으로 부터 전송된 폭주 정보를 이용하여 전송율을 PCR과 MCR 사이에서 조정한다. 비활성 시기 후에 보내는 첫 번째 셀은 반드시 RM 셀이며 Nrm 개의 데이터 셀을 전송할 때 마다 다시 순방향 RM 셀을 전송한다. 또한 RM 셀의 전송시기를 Nrm 파라미터에만 의존하지 않고 역방향 RM 셀들사이의 비활성시기를 고려한 Trm 파라미터를 함께 사용하였다. 이 파라미터는 마지막으로 RM 셀을 전송한 후 Nrm 개의 데이터 셀을 전송하지 않았을 경우에도 Trm 만큼의 시간이 경과하면 다시 RM 셀을 전송하도록 한다. 또한 그 경과한 시간이 만일 ADTF 파라미터 값을 초과하는 경우에는 ACR을 ICR로 낮춘다. 송신원이 전송율 ACR을 조정하게 되는 시기는 이외에도 다음의 두 가지 경우가 있다. 첫 번째 경우는 마지막으로 역방향 RM 셀을 받은 이후 다음 역방향 RM 셀을 받기 전에 CRM 개의 순방향 RM 셀을 전송한 경우로 이 때는 CDF 파라미터에 의하여 ACR을 낮춘다. 또한 전송된 역방향 RM 셀의 CI 필드 값에 따라서 RDF와 RIF 파라미터를 이용하여 식 (1)과 (2)에서와 같이 ACR을 낮추거나 높여준다.

$$ACR = \max(ACR - ACR \times RDF, MCR) \quad (1)$$

$$ACR = \min(ACR + PCR \times RIF, PCR) \quad (2)$$

(2) 수신원의 동작

수신원은 순방향 RM 셀을 받을 때 마다 자신의 버퍼 상황에 따라 폭주 여부를 결정하고 이를 역방향 RM 셀에 기록하여 송신원으로 되돌려 보낸다.

(3) 중간 스위치의 동작

송신원과 수신원 사이의 경로 상에 존재하는 스위치들의 동작은 폭주 감지 기법과 전달 기법에 따라서 그 종류가 다양하며 크게 이진 (Binary) 스위치와 ER (Explicit Rate) 스위치로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 이진 스위치 기법을 사용하며, 스위치들은 UCTH (Upper Congestion THreshold)와 LCTH (Lower Congestion THreshold)의 두 가지 임계치를 이용하여 폭주를 인지한다. 큐의 길이가 UCTH를 넘으면 폭주가 발생한 것으로 인식하기 시작하여 다시 큐의 길이가 LCTH 이하로 떨어질때까지 계속하여 폭주로 간주한다. 스위치가 송신원에게 폭주 정보를 알리는 방법으로는 BECN (Backward Explicit Congestion Notification)을 사용하였다(9). BECN 방식은 중간 스위치가 감지된 폭주를 역방향 RM 셀의 CI 필드에 표시하여 즉시 송신원에게 알리는 방법으로, 스위치의 폭주 정보가 수신원을 거치지 않고 바로 송신원으로 전송되므로 전파지연을 감소시킬 수 있다.

(4) 분지점의 동작

ATM 포럼에서 제시한 분지점의 기본적인 동작은 크게 순방향과 역방향으로 나눌 수 있다. 순방향에서 필요한 기능은 기본적인 멀티캐스팅 기능으로써 멀티캐스트 트리의 루트인 송신원을 출발하여 상단으로부터 전달된 각 데이터 셀과 RM 셀을 자신에게 연결된 하단 지점의 수 만큼 복사하여 전달한다. 역방향으로는 다중 하단의 수신원으로부터 전송된 RM 셀들의 폭주 정보를 종합하여 이를 다시 상단으로 전달하는 역할을 한다. 분지점에서 다중 하단의 역방향 RM 셀들을 통합하는 알고리즘에 대해서는 95년 8월에 Robert가 제시한 프로토콜을 시작으로 다양한 논문들이 등장하고 있다(10-15). CI 필드의 값을 결정하는 방법도 구원에 따라 여러 가지 변형된 형태의 알고리즘이 가능하며, 분지점에서도 자신의 버퍼 상태에 따라서 선택적으로 역방향 RM 셀을 생성할 수도 있다(2). 본 논문에서는 [10]에서 제안한 다음과 같은 RM 셀 통합 방법을 가정하였다. 분지점 스위치는 각 하단의 수 만큼 플래그 변수를 두고 새로운 역방향 RM 셀이 들어 올때마다 해당 플래그 변수를 세트하면서 각 하단의 최신 폭주 정보들을 누적하여 기록한다. 모든 플래그가 세트되면 마지막으로 도착한 역방향 RM 셀에 그 시점까지 누적된 폭주 정보를 기록하여 상단으로 릴레이한다. ATM

포럼에서 제안한 방식대로 하단 중 하나라도 폭주를 표시하였으면 상단으로 릴레이하는 역방향 RM 셀의 CI 필드를 1로 지정하여 폭주 정보를 나타낸다.

### 3. 효율적인 원거리 수신원 지원을 위한 스위치 동작

제안하는 스위치는 동적인 셀 스케줄링을 통하여 하단의 폭주에 즉시 반응한다. 한 VC에 대하여 하단 시스템으로부터 전송된 역방향 RM 셀의 폭주 정보에 따라서 셀 전송율을 동적으로 조정하기 위해 VC 마다 셀 전송율을 나타내는 SACR (Switch ACR)을 유지한다. 하단에서 폭주 표시가 없는 동안 SACR은 스위치가 ABR 트래픽에 제공할 수 있는 최대 가용 전송율인 SPCR (Switch PCR)과 같다. 스위치는 하단에서 폭주를 표시하는 역방향 RM 셀이 도착하면 이를 상단으로 릴레이함과 동시에 자신의 버퍼 상황을 검사하여 상황이 허락되면 SACR을 하향 조정한다. 스위치가 역방향 RM 셀을 보고 SACR을 하향 조정하면 송신원으로부터의 셀율이 낮아지기 전에 미리 스위치의 출력율을 낮추는 결과가 되므로 스위치의 버퍼가 급격히 증가할 수 있다. 따라서 스위치는 자신의 버퍼 요구량을 제어하기 위하여 SACR을 하향 조정하기 전에 우선 자신의 버퍼에 현재 그럴만한 여유가 있는지를 판단하여야 한다. 이를 위하여 스위치는 USTH (Upper Scheme THreshold)와 LSTH (Lower Scheme THreshold)의 두 파라미터를 둔다. 스위치는 현재의 큐 길이를 LSTH와 비교하여 현재 큐 길이가 LSTH보다 더 적다면 아래와 같은 식 (3)에 의하여 송신원에서의 유사한 방법으로 SACR을 하향 조정한다. 다음 식의 SRDF와 SMCR은 각각 송신원의 RDF와 MCR에 해당하는 파라미터들이며 RDF는 RM 셀의 예비영역을 이용하여 송신원으로부터 스위치로 전달된다.

$$SACR = \max(SACR - SACR \times SRDF, SMCR) \quad (3)$$

이렇게 하향 조정된 SACR은 하단으로부터 CI=0인 역방향 RM 셀이 도착하여 하단의 폭주가 해소되었음을 알게되거나, 아직 하단의 폭주가 해소되었음을 연락 받지 못한 경우라도 스위치의 큐 길이가 USTH를 넘게 되면 다시 SPCR로 복구된다. 그림 1은 데이터 혹은 RM 셀을 보내고 받는 스위치의 동작을 정리한 의사코

드이다.

제안한 방식을 실행하는 스위치는 VC 마다 별도의 SACR을 조정하기 위해 분리된 버퍼를 두어야하므로 기존의 공통 버퍼를 사용하는 EPRCA 방식에 비하여 스위치의 버퍼 구현 방식이 복잡해지는 단점이 있으며 스위치에서의 버퍼 점유율 또한 높아지게 된다. 그러나, 한 VC에 해당하는 버퍼 요구량은 LSTH와 USTH의 두 임계치에 의하여 제어된다. 각 스위치들은 하단 시스템으로부터 폭주를 인지하면 자신의 현재 버퍼량이 임계치 LSTH 보다 적을 경우에 한하여 즉시 전송율을 낮추고 상단으로부터 전송되는 셀들을 버퍼링하기 시작한다. 이러한 버퍼링은 스위치의 버퍼량이 임계치 USTH에 이를 때까지 계속된다. 즉, 각 스위치는 자신의 버퍼량이 임계치 LSTH와 USTH 값에 의해 여유있는 경우에 한해서만 하단의 폭주에 동적으로 반응함으로써 버퍼 요구량을 제어하게 된다. 또한, 이러한 각 스위치의 동작은 폭주 정보가 송신원에 도착할 때 까지 연속적으로 이루어지므로 임의의 한 수신원에서 발생한 폭주는 송신원과 그 수신원 사이에 위치하는 스위치들이 공동으로 제어하게 된다. 그러므로 폭주가 발생한 수신원으로부터 송신원 사이에 존재하는 스위치들이 수신원의 폭주를 제어하기 위한 버퍼 부담량을 함께 공유하게 된다.

## 4. 시뮬레이션 모델과 결과 분석

본 장에서는 제안한 스위치 동작의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 시뮬레이션은 기존의 이진 스위치 동작과 본 논문에서 제안한 스위치 동작에 대하여 각각 수행하였다.

### 4.1 시뮬레이션 모델

#### (1) 망 모델

본 시뮬레이션은 그림 2와 같은 망 모델을 기반으로 하여 수행된다. 이 모델은 하나의 송신원과 두 개의 수신원 그리고 3개의 스위치들로 구성된다. 두 수신원은 각각 스위치3과 스위치2에 연결되어 있으며 스위치1이 분지점 스위치의 역할을 한다. 이와 같은 망 모델을 통하여 송신원과 두 수신원 사이에 놓인 두 개의 스위치가 하단 수신원의 폭주를 공동으로 제어하는 과정을 시뮬레이션을 통하여 보여주게 된다. 송신원으로부터 근거리 수신원과 원거리 수신원 사이의 거리는 각각 45km

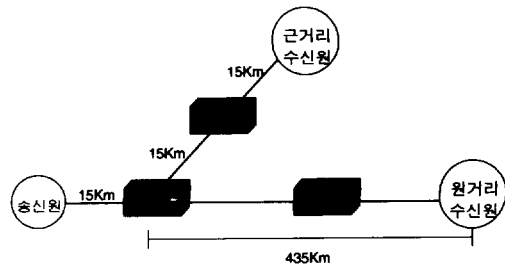
```

<Receive>
if receive RM (DIR=forward, CI, MCR, RDF) or data cell {
    if QueueIsFull
        CellLoss++:
        return:
    Add to Queue:
    if switch's buffer size >= UCTH then sw_efci = 1:
    if switch's buffer size >= USTH then SACR = SPCR:
}
else if receive RM (DIR=backward, CI, MCR, RDF) {
    SRDF = RDF:    SMCR = MCR:
    if (CI == 1) and (buffer size <= LSTH)
        SACR = SACR - SACR * SRDF:
        SACR = max (SACR, SMCR):
    else
        SACR = SPCR:
    efci = OR (efci, CI):
    set the flag variable for this VC:
}
if all flags are set {
    efci = OR (efci, sw_efci):
    send RM (DIR=backward, CI=efci):
    efci = 0:
}

<Send>
if (now >= time_to_send) {
    get a data cell from queue and send it:
    if switch's buffer size <= LCTH then sw_efci = 0:
    time_to_send = time_to_send + 1/SACR:
}
    
```

(그림 1) 제안한 스위치 동작의 의사 코드  
(Fig. 1) Pseudocode of the proposed switch behavior

와 450km로 이는 대략 서울에서 수원, 서울에서 부산사이의 거리에 해당하는 값이다. 송신원과 스위치1, 스위치1과 스위치3, 스위치3과 근거리 수신원 사이의 거리는 각각 15km를 가정하였으며 이는 76.275 $\mu$ s의 전파 지연에 해당된다. 또한 스위치1로부터 원거리 수신원 사이의 거리는 435km이고 원거리 수신원으로부터 스위치2 사이의 거리를 15km, 150km, 285km, 420km로 변형시켜가면서 시뮬레이션을 수행하였다. 그러므로써 말단 스위치와 수신원 사이의 거리에 따른 하단 수신원의 폭주에 대한 망의 반응 속도의 변화를 시뮬레이션을 통하여 살펴본다.



(그림 2) 시뮬레이션 망 모델  
(Fig. 2) Simulation network model

(2) 입력 트래픽

송신원은 IPP (Interrupted Poisson Process)에 의하여 입력 트래픽을 생성한다. IPP의 로드( $\rho$ )는 0.047로 약 20Mbps의 응용에 해당한다. IPP의 활동 (active) 상태에서 셀이 생성될 확률인  $\alpha$ 는 0.9로 하고 버스티한 정도를 나타내는  $C^2$  (squared coefficient of variation)는 10으로 하였다. 이러한 파라미터 들로부터 활동 상태에서 계속하여 활동 상태를 유지할 확률  $p$ 와 휴식 (idle) 상태에서 계속하여 휴식 상태를 유지할 확률인  $q$  값을 다음 식 (4)에 의하여 결정할 수 있다[16].

$$p = \frac{\alpha C^2 + 3\alpha\rho - 2\rho^2 - \alpha}{\alpha C^2 - \alpha\rho + 2\rho^2 - \alpha}$$

$$q = \frac{\alpha C^2 - 3\alpha\rho + 2\rho^2 - \alpha + 2\rho^2}{\alpha C^2 - \alpha\rho + 2\rho^2 - \alpha} \quad (4)$$

(3) 외부 트래픽

두 수신원의 버퍼 상태를 시간의 흐름에 따라 독립적으로 변화하도록 하기위하여 각 수신원에 독립된 외부 트래픽을 첨가한다. 외부 트래픽 셀들은 지수 분포의 시간 간격으로 지속되며 번갈아 가며 셀을 생성하는 두 개의 포아송 (Poisson) 프로세스에 의하여 발생된다. 두 개의 포아송 프로세스의 각 도착율은  $\lambda = 3.29 \times 10^{-7}$ 과  $\lambda = 1.83 \times 10^{-7}$ 이다. 이는 가정한 링크의 최고 용량인 155Mbps의 각각 90%와 50%에 해당하는 139.5Mbps와 77.5Mbps를 나타낸다. 이 두 프로세스가 각각 지속되는 기간은 평균이 50ms인 지수 분포를 따른다.

(4) 서비스 분포

송신원은 1/ACR을 서비스 시간으로하는 고정시간 서버 (deterministic server)에 의하여 큐의 셀들을 서비스한다. 스위치 큐 역시 고정시간 서버를 이용하며 스위치에서 송신원의 트래픽을 서비스하는 최대 전송율은 45Mbps이다. 단, 기존 스위치의 서비스율은 주어진 시점에서의 최대 서비스율로 고정되지만 제한한 스위치는 최대 전송율을 상한 값으로 하면서 현재의 SACR에 따라 서비스율이 동적으로 조정된다. 두 수신원의 큐는 항상 고정된 155Mbps의 서비스 율로 지수 서버 (exponential server)에 의하여 송신원으로부터

받은 셀과 외부 트래픽 셀들을 서비스한다.

(5) 송신원, 수신원, 스위치에서의 버퍼

송신원의 버퍼 용량은 무한인 것으로 가정하였다. 두 수신원의 버퍼는 모두 300셀을 가정하고 폭주를 감지하고 해제하기 위한 LCTH와 UCTH를 각각 버퍼 용량의 3분의 2와 3분의 1에 해당하는 값인 100셀과 200셀로 결정하였다. 각 스위치들의 버퍼 용량은 제안한 스위치와 기존 이진 스위치 방법에서 모두 1500셀의 같은 크기로 가정하였으며, 스위치의 LCTH와 UCTH는 각각 200셀과 800셀로 설정하였다. 또한 제한한 스위치 동작을 적용하기 위한 LSTH와 USTH도 각각 200셀과 800셀로 하였다. 모든 버퍼는 FCFS (First Come First Serve) 방식으로 서비스되며 출력 버퍼 링으로 구현된다.

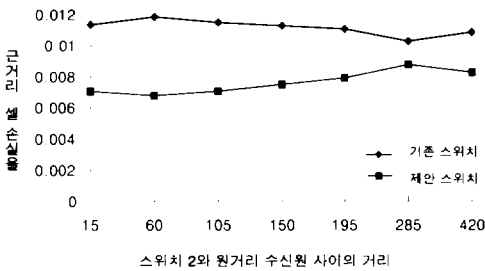
(6) 트래픽 제어 파라미터

송신원의 트래픽 제어를 위한 파라미터들은 다음과 같은 값으로 설정하였다. 최고 전송율 PCR은 링크의 최대 용량인 155Mbps로하였으며 망이 보장하는 최소 전송율 MCR은 PCR의 100분의 1에 해당하는 1.55Mbps로 하였다. 또한 ICR은 PCR의 0.05%에 해당하는 7.75Mbps로 하여 초기 전송율을 제어하도록 하였다. 매번 32개의 데이터 셀을 전송한 후 순방향 RM 셀을 전송하도록 Nrm을 32로하였고 전송율의 증·감을 계산하기 위한 RIF와 RDF는 모두 0.0625로 하였다. 나머지 Trm, CDF, ADTF 파라미터의 값들은 ATM 포럼에서 제시하는 디폴트 값인 2초, 0.0625, 0.5초로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 스위치에서의 트래픽 제어를 위한 파라미터인 SRDF와 SMCR은 RM 셀의 예비영역을 이용하여 각각 송신원의 RDF와 MCR 파라미터 값을 전달해서 이용하도록 하였으며, SPCR은 45Mbps로 설정하였다.

4.2 시뮬레이션 결과 분석과 송신원에서의 처리율

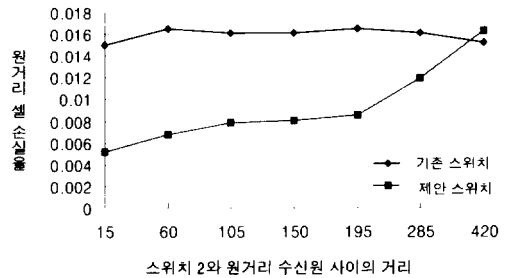
제한한 스위치의 성능을 알아보기 위하여 근거리와 원거리 두 수신원에서의 셀 손실율과 소요된 평균 버퍼 크기를 조사하고 이를 기존의 이진 스위치로 구성된 시스템의 성능과 비교하였다. 그림 3과 그림 4는 각각 근거리 수신원에서의 셀 손실율과 원거리 수신원에서의 셀 손실율을 보여주고 있다. 그림 3을 보면 직관적으로 예상할 수 있듯이 제한한 스위치와 기존의 이진 스위치

방식 모두 근거리 셀 손실율은 원거리 경로에서의 스위치2의 위치에 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 그리고 송신원으로부터 근거리 수신원까지는 전파지연이 크지 않아 원거리 경로에 비하여(그림 4 참조) 제안한 스위치에 의한 보완의 효과가 적지만 역시 제안한 스위치를 사용하는 시스템이 기존 스위치를 사용하는 경우보다 근거리 수신원에서의 셀 손실율이 낮음을 볼 수 있다.



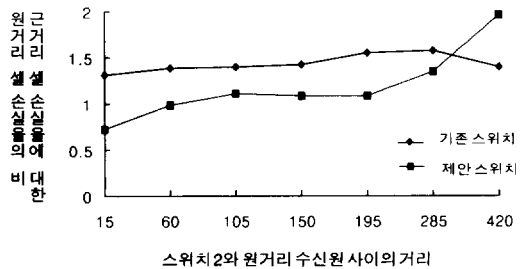
(그림 3) 두 스위치 방식에 의한 근거리 수신원에서 셀 손실율의 비교  
(Fig. 3) Comparison of cell loss rates by two switch schemes at the local destination

그림 4는 원거리 수신원에서의 셀 손실율에 대하여 두 스위치 방식을 비교한 것이다. 기존 스위치를 사용하는 시스템에 비하여 제안한 스위치를 사용하는 시스템이 원거리 수신원의 셀 손실율을 줄여 줌을 볼 수 있다. 또한 그림 3과 비교하여 보면, 송신원으로부터 원거리 수신원까지의 전파지연이 크기 때문에 중간 스위치의 거리가 폭주 근원지에 가까운 경우, 즉 스위치 2의 위치가 원거리 수신원에 가까운 경우에는 제안한 스위치에 의한 보완 효과가 더 큼을 알 수 있다. 즉, 제안한 스위치를 사용함으로써 원거리 수신원에서의 셀 손실율을 더 많이 낮추어 줄 수 있다. 이는 그림 4에서 보듯이 본 시뮬레이션에서 실험해 본 경우들 중에서는 스위치2와 원거리 수신원 사이의 거리가 195Km 미만인 경우에 해당한다. 그러나 스위치2가 송신원으로 가까이 감에 따라 제안한 스위치 동작으로 작동하는 중간 스위치에 의한 폭주 반응 효과가 감소되어 원거리 수신원에서의 셀 손실율이 높아지고 결국은 기존 시스템의 성능 정도 혹은 그 이하로 퇴보하는 것을 볼 수 있다.



(그림 4) 두 스위치 방식에 의한 원거리 수신원에서의 셀 손실율 비교  
(Fig. 4) Comparison of cell loss rates by two switch schemes at the remote destination

그림 5는 기존 스위치를 사용하는 시스템과 제안한 스위치를 사용하는 시스템 각각에 대하여 근거리 수신원의 셀 손실율에 대한 원거리 수신원의 셀 손실율의 비를 보여주고 있다. 기존 스위치를 사용할 경우 이 비율이 항상 1보다 큼을 볼 수 있다. 즉 원거리 수신원은 근거리 수신원과 동일한 능력의 시스템임에도 불구하고 송신원과의 전파지연으로 인하여 기존 스위치를 사용하는 시스템에서는 항상 더 낮은 서비스를 받는 것이다.



(그림 5) 두 스위치 방식에 의한 근거리 수신원의 셀 손실율에 대한 원거리 수신원의 셀 손실율의 비  
(Fig. 5) Comparison of cell loss rate ratios for two switch schemes

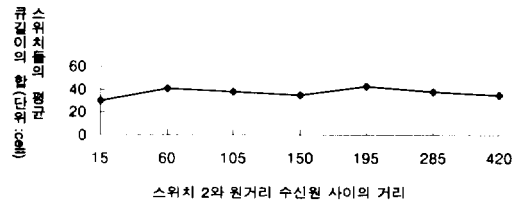
그러나 제안한 스위치를 사용하는 시스템은 스위치가 폭주 근원지에 충분히 가까이 있는 경우, 원거리 수신원을 효과적으로 지원할 수 있기 때문에 이 비율이 1에 가까움을 볼 수 있다. 즉 멀티캐스트 트래픽 제어에서 원거리 수신원이 근거리 수신원에 비하여 더 낮은 서비스를 받는 불공정성이 현저히 감소되었다.



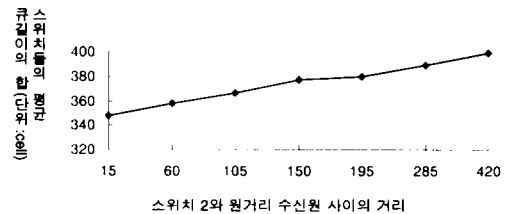
그림 6과 그림 7은 각각 기존 스위치를 사용하는 시스템과 제안한 스위치를 사용하는 시스템에 대하여 시스템내 모든 스위치들의 평균 큐 길이의 합을 보여 주고 있다. 즉 시스템 전체에서의 평균 버퍼 사용량을 나타낸다. 큐 길이를 측정하는 단위는 셀의 개수이다. 그림 6을 보면 기존 스위치를 사용하는 시스템의 경우 이 값이 30정도로 거의 일정하고, 그림 7을 보면 제안하는 스위치를 사용하는 시스템의 경우 스위치2의 위치가 원거리 수신원으로부터 멀어짐에 따라 약간 증가하며 그 값이 대략 300에서 400사이에서 이른다. 스위치2의 거리가 수신원에서 멀어질수록 그 위치가 송신원에 가까워지기 때문에 수신원에서 폭주 발생시 송신원이 셀 전송을 늦추기 전에 스위치2가 자신의 셀 전송을 늦춘 상태로 기다려야 하는 시간이 줄어들어 버퍼 요구량을 낮추는 측면이 있지만, 스위치2가 수신원의 폭주에 점점 더 신속히 대처하지 못하게 되기 때문에 수신원이 폭주를 표시하는 역방향 RM 셀을 더 많이 발생시키게 되고 결과적으로 스위치2가 전송을 먼저 늦추고 송신원이 전송을 늦추기를 기다리는 횟수는 더 많아진다. 이 두가지의 버퍼 요구량을 낮추고 높이는 요인들간의 상호 작용으로 인하여 본 시뮬레이션 실험의 경우에는 제안한 스위치를 사용하는 시스템에서 스위치2의 위치가 수신원으로부터 멀어짐에 따라 평균 큐 길이의 합이 약간 증가하는 추세를 보인다.

**5. 결 론**

본 논문에서는 EPRCA에 의하여 ABR 멀티캐스트 트래픽을 제어하는데 있어서 원거리 수신원에 대한 트래픽 제어를 효율적으로 하기 위하여, 스위치들이 버퍼에 여유가 있는 경우 동적인 셀 스케줄링을 통하여 하단의 폭주에 일시적으로 반응하는 방식을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 스위치 동작에 의하여 원거리와 근거리 모든 수신원에서의 셀 손실율이 낮아질 뿐 아니라 두 수신원간의 셀 손실율의 차가 감소됨을 볼 수 있었다. 제안한 방식을 지원하는 스위치는 VC마다 버퍼를 두어야 하는 구현 상의 복잡성과 버퍼 점유율이 증가하는 오버헤드가 있다. 그러나, 중간 스위치가 하단의 폭주에 대하여 일시적인 완충 역할을 하도록 함으로써 수신원으로부터 송신원까지의 전과지연에 의한 피드백 부적시성으로 발생하는 셀 손실을 감소시킬 수 있었다.



(그림 6) 기존 스위치를 사용하는 시스템에서의 평균 버퍼 사용량  
(Fig. 6) Average buffer occupancy for the traditional binary switch scheme



(그림 7) 제안한 스위치를 사용하는 시스템에서의 평균 버퍼 사용량  
(Fig. 7) Average buffer occupancy for the proposed switch scheme

**참 고 문 헌**

- [1] D. Hughes and K. Hooshmand, "ABR Stretches ATM Network Resources," Data Communications, April 1995.
- [2] The ATM Forum Technical Committee. "Traffic Management Specification Version 4.0," ATM Forum af-tm-0056.000, April 1996.
- [3] F. Bonomi and K. W. Fendick, "The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit Rate ATM Service," IEEE Network, Vol.9, No.2, March/April 1995.
- [4] Y. T. Wang and B. Sengupta, "Performance Analysis of a Feedback Congestion Control Policy Under Non-Negligible Propagation Delay," Proc. of the SIGCOM '91, 1991.
- [5] M. Abdelaziz and I. Stavrakakis, "Study of an Adaptive Rate Control Scheme under Unequal Propagation Delays," Proc. of the ICC, 1995.

[6] 이미정, "멀티캐스트 연결에 적용하는 피드백에 근거한 울 제어 기법의 공정성에 관한 성능 분석," 한국통신학회 논문지, 제21권, 제11호, 1996.

[7] T. Sudo, M. Okuda, K. Nakamichi, T. Ishihara and H. Yamashita, "Analysis of ABR Behavior Over ATM-Based Broadband Access Networks", IEEE Global Telecommunications Conference, pp.16-21, Nov. 1996.

[8] Partho Pratim Mishra, Hemant Kanakia and Satish K. Tripathi, "On Hop-by-Hop Rate-Based Congestion Control." IEEE/ACM Transactions On Networking, Vol.4, No.2, Apr. 1996.

[9] P. Newman, "Backward Explicit Congestion Notification for ATM Local Area Networks," Proc. IEEE Globecom '93, pp.719-723, Dec. 1993.

[10] W. Ren, K.-Y. Siu, and H. Suzuki, "On the Performance of Congestion Control Algorithms for Multicast ABR Service in ATM." IEEE ATM Workshop, San Francisco, Aug. 1996.

[11] W. Ren, K.-Y. Siu, and H. Suzuki, "Multipoint-to-Multipoint ABR Service in ATM," submitted to IEEE Journal on Selected Areas in Communications: Protocol Architectures For 21st Century Applications.

[12] J. Bennett and G. Tom Des Jardins, "Comments on the July PRCA rate control baseline," ATM Forum Contribution 94-0682, July 1994.

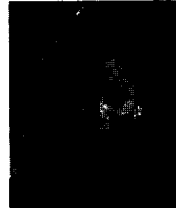
[13] L. Roberts., "Rate Based Algorithm for Point to Multipoint ABR Service," ATM Forum Contribution 94-0772R1, Nov. 1994.

[14] D. Cavendish, S. Mascolo, and M. Gerla, "Rate Based Congestion Control for Multicast ABR Traffic," IEEE Global Telecommunications Conference, pp.1114-1118, Nov. 1996.

[15] K.-Y. Siu and H.-Y. Tzeng, "Congestion Control for Multicast ABR Service in ATM Networks," Proceedings of the IEEE Globecom, Singapore, Nov. 1995. Journal version to appear in the IEEE Journal on Selected

Areas in Communications.

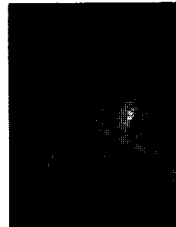
[16] Raif O. Onvural, Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues, Artech House, 1994.



### 이 속 영

1991년~1995년 이화여자대학교 컴퓨터학 학사.  
1995년~1997년 이화여자대학교 컴퓨터학 석사.  
1998년~현재 LG정보통신 중앙 연구소 교환연구단 고속 교환실 연구원.

관심분야 : 고속 통신 프로토콜 설계 및 성능 분석, ATM 연동 프로토콜, ATM Signalling 프로토콜



### 이 미 정

1983년~1987년 이화여자대학교 컴퓨터학 학사.  
1987년~1989년 University of North Carolina at Chapel hill 컴퓨터학 석사

1990년~1994년 North Carolina State University 컴퓨터공학 박사.

1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과 조교수.

관심분야 : 고속 통신 프로토콜 설계 및 성능 분석, 고속통신망을 통한 멀티미디어 트래픽 전송, ATM 연동 프로토콜, 멀티캐스트 전송과 QoS 지원 프로토콜