

멀티캐스트 연결에 적용하는 피드백에 근거한 율 제어 기법의 공정성에 관한 성능 분석

正會員 이 미 정*

A Performance Study on the Fairness of a Feedback-based Rate Control Scheme Applied to a Multicast Connection

Meejeong Lee* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는, 두 계층(이진)의 간단한 적응적(adaptive) 율 제어를 원거리 목적지와 근거리 목적지를 모두 포함하고 있는 있는 멀티캐스트(점-대-다중점) 연결에 적용하는 경우 원거리 및 근거리 경로에서의 성능을 개별적으로 동시에 평가할 수 있는 큐잉 모델을 제시하고 이를 분석하였다. 가정된 율 제어 기법은 점-대-점 연결을 위한 이진 율 제어 기법을 단순하게 멀티캐스트 연결에 적용한 것이다. 원거리 및 근거리 목적지에서의 개별적인 셀 손실 율을 효율적으로 계산할 수 있는 방법을 개발하였고 이 방법을 사용하여 수치적 결과를 얻어 본 결과, 같은 거리의 경로만으로 이루어지는 멀티캐스트 연결에 적용할 경우 공정한 율 제어 방법이, 경로 별 거리차가 있는 멀티캐스트 연결에 대해서는, 원거리 경로가 근거리 경로에 비하여 불리한 대우를 받는 불공정성을 드러냄을 볼 수 있었다.

ABSTRACT

A queueing model is developed and analyzed to evaluate the performance of a local and a remote destination of one multicast connection subject to a simple two-level(binary) feedback-based adaptive rate control scheme. The rate control scheme is a simple extension of the one for point-to-point case. Individual cell loss probabilities at the local and remote destinations are obtained to study the fairness of the adaptive rate control scheme. Numerical results show that this simple adaptive rate control scheme, which is fair when it is applied to a multicast connection consisting of destinations with equal propagation delays, bears bias against remote destination.

*이화여자대학교 공과대학 전자계산학과
論文番號:96222-0723
接受日字:1996年 7月 23日

I. 서 론

전반적으로 이제까지 ATM망을 위한 폭주제어 방식으로는 예방적(preventive) 방식이 널리 받아들여져 왔다^[1]. 그런데 최근, 망 활용을 개선하기 위하여, 사용되지 않고 있는 대역폭을 동적으로 지정할 수 있도록 해 주는 적응적(adaptive) 방식이나 이 두가지를 혼합한 율 제어 기법이 제안되고 있다^{[2][3]}. ATM Forum은 새로운 서비스 클래스인 ABR(Available Bit Rate)을 최근 정의하였는데, ABR은 적응적인 율 제어를 사용하여 지연에 관대한 트래픽 소스들에게 동적으로 망의 남아 도는 자원(대역폭)을 할당하는 서비스이다^[4]. ABR 서비스는 먼저 유니캐스트 연결을 대상으로 정의되었으며 멀티캐스트 연결을 위하여 이를 확장하는 작업이 진행 중이다^[5].

유니캐스트의 경우 단일 경로의 폭주 정도를 반영하여 트래픽 소스의 전송 율을 제어하면 되는데 반해 멀티캐스트 경우에는 하나의 소스(source)가 멀티캐스트 연결을 구성하고 있는 다양한 경로의 폭주 정도를 동시에 지원해 주어야 한다. 따라서, 이들 경로를 공정하게 다룰 수 있는 율 제어 기법이 요구되는데, 이때, 공정성이란 동일한 멀티캐스트 연결에 속하는 서로 다른 경로들이 경로의 가용한 대역폭과 목적지 시스템의 용량이 동일한 경우 동등한 성능 측정을 성취할 수 있다는 의미로 정의된다. 즉, 소스가 이들 경로의 폭주 정도를 자신의 출력률에 동등하게 혹은 공정하게 반영한다는 의미로 볼 수 있다. 그런데 적응적 율 제어의 효율성은 전파 지연에 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로, 여러 경로가 하나의 소스의 출력률을 피드백에 의하여 함께 제어하려고 할 때, 경로 별 전파 지연의 차이로 인하여 불공정성이 발생할 수 있다.

ATM 환경에서 전파 지연이 적응적 율 제어에 미치는 영향은 [6]과 [7] 등에서 수학적 분석에 의하여 연구된 바 있다. [6]은 목적지가 현재 자신의 버퍼 수준을 특정 임계치에 비교하여 피드백을 생성하고 이 피드백에 따라 소스가 출력률을 조정하는 형태의 적응적 율 제어하에서 얻게 되는 손실 율(loss probability)과 처리 양(throughput)을 전파지연과 버퍼 크기의 함수로써 구하였다. [6]이 보여준 결과에 의하면, 그들이 가정한 것과 같은 단순한 피드백에 근거한 폭주 제어

는 전파 지연과 전송 시간의 비율이 너무 크지 않을 때만 유용하다. [7]에서는 지리적으로 널리 분산되어 있는 ATM 망에서 현저하게 다른 거리에 있는 여러 소스들이 동일한 망 접근 노드(network access node)를 사용하는 경우 발생하게 되는 불공정성을 연구하였다. [7]은, 동일한 거리에 있는 소스들에 적용했을 경우 공정한 망 접근 노드의 버퍼 운용 방법이 원거리 소스에 대해서 불공정성을 보인다는 것을 수치적 결과를 통하여 보여주고 있다.

본 논문에서는 다양한 거리에 목적지를 둔 하나의 멀티캐스트 연결에 대하여, [6][7]에서 점-대-점연결에 적용하였던, 피드백에 근거한 단순한 이진 율 제어를 사용하는 경우 발생할 수 있는 불공정성의 정도를 연구하기 위한 큐잉 모델을 개발하였다. 불공정성을 측정하기 위하여, 이 큐잉 모델은 하나의 소스를 공유하는 멀티캐스트 트리의 각 목적지의 성능을 독자적으로 분석할 수 있도록 하였다. II장에서는 본 논문에서 분석 대상으로 가정한 적응적 율 제어 방식을 제시하였고, III장에서는 경로 별 성능을 구하기 위한 큐잉 모델 분석 방법을 설명하였다. IV장에서는 수치적 결과들을 보여주었고, 마지막으로 V장에서 결론 및 향후 연구 과제들을 제시하였다.

II. 적응적인 율 제어

그림 1은 본 논문에서 고려한 모델을 보여 주고 있다. 이 모델은, 여러 소스들이 하나의 망 노드로 트래픽을 보내는 경우에 발생하는 전파 지연에 의한 불공정성을 분석한 [7]의 모델과 대칭적형태이다. 분석의 단순성을 위하여 적응적 율 제어를 적용하는 멀티캐스트 연결은 고정된 하나의 소스와 원거리 및 근거리 두 개의 목적지만으로 구성되었다고 가정한다. 여기에서, 원거리 및 근거리 목적지는 실제로 멀티캐스트 종단 시스템일수도 있고 중간 노드일 수도 있겠다. 소스로부터 원거리 목적지까지의 왕복 전파 지연은 T_r 이고, 근거리 목적지까지의 왕복 전파 지연은 T_n 이다. 근거리 목적지와 원거리 목적지는 크기가 각각 Q'_{max} 과 Q'_{max} 인 유한 버퍼와, 서비스 율이 μ 인 서버로 이루어진다. 소스는 λ_{low} 와 λ_{high} 두가지의 율로 트래픽을 생성할 수 있는 트래픽 생성기이다.

적응적 율 제어 방식하에서는, 조정할 트래픽 디스

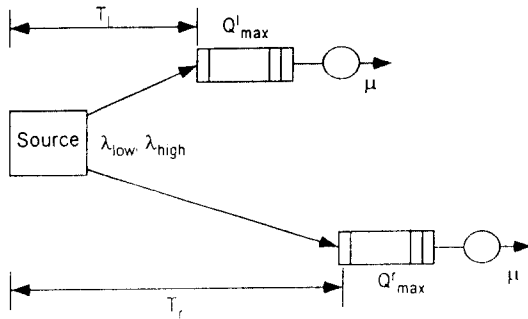


그림 1. 멀티캐스트 연결 모델
Fig 1. Multicast connection model

크립터(예를 들어 소스의 출력률)를 결정하고 소스가 그 값을 망의 여건에 따라 동적으로 맞추게 된다. 망의 상태는 미리 정해진 상태 디스크립터(예를 들어 부하량이나 버퍼 점유율)에 의하여 결정된다. 이러한 상태 디스크립터 값을 임계치에 비교하므로써, 현재의 망 상태가 과부하 상태인지 저부하 상태인지를 판별하게 된다.

본 논문에서는 [7]에서 가정한 것과 동일한 단순 형태의 이진율 제어 기법을 가정한다. 즉, 각 목적지는 망의 상태를 정기적으로 T_u 인터벌에 한 번씩 소스에 보고 하며, 이것을 수정 인터벌이라 부르기로 한다. 수학적 분석을 가능하게 하면서 공정성에 대한 통찰을 할 수 있도록 하기 위하여, 두 종류의 목적지의 수정 인터벌이 동일하고, $T_u = T_r$ 이라고 가정하였다. 매 수정 인터벌의 종료시에 목적지들을 자신의 상태(망 상태)를 소스에 전달한다. 망 상태 정보를 받은 소스는 이에 따라 미리 정의된 트래픽 디스크립터를 조정하는데, 본 논문에서는 소스의 출력률을 조정하는 것으로 가정한다. 즉, 망 상태 정보가 과부하 상태를 표시하고 있으면 저출력률(λ_{low})로 출력하고, 저부하 상태를 표시하고 있다면 고풍출력률(λ_{high})로 출력한다.

III. 성능분석

이 장에서는, 원거리와 근거리 두 종류의 목적지에서의 개별적인 성능을 알아보기 위한 이산 큐잉 분석을 설명하기로 한다. 본 논문에서는 [7]의 분석 방법을 응용, [7]에서 제시하고 있는 큐잉 모델과 대칭적인 본 논문의 모델을 분석하였다. 시간은, 단위 크기가 한 셀 전송 시간에 해당하는 슬롯으로 나뉘어지

며, 수정 인터벌의 길이 T_u 는 원거리 목적지까지의 왕복 전파 지연 T_r 과 동일하다고 가정한다. 또한, 원거리 목적지까지의 왕복 전파 지연인 T_r 은 근거리 목적지까지의 왕복 전파 지연 T_l 의 정수배라고 가정한다. 즉, $T_r = M \times T_l$, $M \in Z^+$ 이며, Z^+ 는 양 정수 집합이다. 시간은 길이가 T_r 인 프레임으로 나뉘어지며, 각 프레임은 다시 $2M$ 개의 부 프레임으로 나뉘어진다고 보기로 한다. 이 때, 각 부 프레임의 길이는 $T_l/2$ 이 되겠다.

소스는 두 가지의 가능한 출력률에 따라 셀을 출력하므로, 소스의 출력 프로세스는 두 가지 상태로 이루어지는 합성(aggregate) 프로세스이며, 이 프로세스를 $\{s\}$ 라 부르기로 한다. 출력 프로세스 $\{s\}$ 의 상태 영역 $S_s = \{0, 1\}$ 이고, 이 프로세스가 상태 i , $i \in \{0, 1\}$,에 있을 때에, 한 슬롯에 출력되는 셀의 개수에 대한 확률 밀도 함수는 $f_i(k)$ 로 표기하기로 한다. 소스 출력 프로세스의 상태는, 두 가지의 멀티캐스트 목적지가 보내는 망 상태 정보에 의하여 두 레벨의 적응적 율제 방식에 따라 전이된다.

근거리 목적지와 원거리 목적지는 각각 크기가 Q_{max}^l 과 Q_{max}^r 인 유한 버퍼를 가지고 있다고 가정한다. $\{q_k^l\}_{k \geq 0}$ ($\{q_k^r\}_{k \geq 0}$)는 부프레임 경계에 임베드된(embedded) 근거리(원거리) 목적지에서 버퍼 점유 프로세스이다. 프로세스 $\{q_k^l\}$ ($\{q_k^r\}$)의 상태 영역 S_q^l (S_q^r) = $\{0, 1, \dots, Q_{max}^l$ (Q_{max}^r))이다. q_{th}^l 과 q_{th}^r 은 각각 근거리와 원거리 목적지에서의 망 상태가 과부하 ($q^l \geq q_{th}^l$, $q^r \geq q_{th}^r$)인지 저부하 ($q^l < q_{th}^l$, $q^r < q_{th}^r$)인지를 판단하는 임계치이다.

부프레임 경계에 임베드된 마르코프 프로세스(Markov process)에 의하여 전개되는 시스템 상태 표시를 구하기 위하여, $\{I_k\}_{k \geq 0}$, $\{C_k^l\}_{k \geq 0}$, $\{P_k\}_{k \geq 0}$ 네 가지의 인디케이터 프로세스를 사용하기로 한다. $\{I_k\}_{k \geq 0}$ 은 부프레임 k 의 인덱스, 즉, 현재 프레임 내에서의 위치를 표시하는 인디케이터 프로세스이다. 이 프로세스의 상태 영역 $S_I = \{0, 1, \dots, 2M-1\}$ 이다. $\{C_k^l\}_{k \geq 0}$ ($\{C_k^r\}_{k \geq 0}$)은 부프레임 경계에 임베드된 인디케이터 프로세스로서, 현재 프레임의 시작 경계에서의 근거리(원거리) 목적지 버퍼 상태를 현재 프레임의 마지막까지 보관해 나간다. 즉, 이 프로세스의 값은 각 프레임의 두 번째 부프레임에서만 바뀔 수 있고, 나머지 $(2M-1)$ 개의 부프레임에서는 그 값이 수정될 수 없다. 프로

세스 $\{C_k^l\}_{k \geq 0}$ 과 $\{C_k^r\}_{k \geq 0}$ 의 상태 영역 $S_c = \{0, 1\}$ 이다. $\{P_k\}_{k \geq 0}$ 역시 부프레임 경계에 임베드된 인디케이터 프로세스로서, 현재 프레임의 시작 경계에서의 원거리 목적지 버퍼 상태를 다음 프레임의 $(M+1)$ 번째 부프레임까지 보관해 나간다. 즉, 이 프로세스의 값은 각 프레임의 $(M+2)$ 번째 부프레임에서 바뀌게 되고 그 이외의 부프레임에서는 그 값이 수정될 수 없다. 구체적으로, 이 네 가지의 인디케이터 프로세스들은 다음과 같이 전개되어 나간다:

$$I_{k+1} = (I_k + 1) \bmod M$$

$$C_{k+1}^l = \begin{cases} 1 & \text{if } I_k = 0, q_k^l < q_{th}^l \\ 0 & \text{if } I_k = 0, q_k^l \geq q_{th}^l \\ C_k^l & \text{if } I_k \neq 0 \end{cases}$$

$$C_{k+1}^r = \begin{cases} 1 & \text{if } I_k = 0, q_k^r < q_{th}^r \\ 0 & \text{if } I_k = 0, q_k^r \geq q_{th}^r \\ C_k^r & \text{if } I_k \neq 0 \end{cases}$$

$$P_{r+1} = \begin{cases} C_k^r & \text{if } I_k = M \\ P_k & \text{if } I_k \neq M \end{cases}$$

그림 2는, 각 프레임에서 멀티캐스트 목적지들이 망 상태 정보를 보내는 시점과 소스가 이를 출력물에 반영하게 되는 시점 및 소스의 출력률 변화가 각 목적지에 영향을 미치는 시점을 상대적으로 보여 주고 있다. 각 목적지는 매 프레임의 시작 경계에 망 상태 정보 피드백을 소스에게 보내는데, 전과 지연의 차이로 인하여 프레임 시작 경계에 근거리 목적지가 보낸 피드백은 프레임의 첫 번째 부프레임 경과한 후 소스에 도착하게 되고, 원거리 목적지로부터의 정보는 M 개의 부프레임이 지난 후 소스에 도착하게 된다. 즉, 두 목적지로부터의 망 상태 정보 피드백에 의하여, 소스의 출력률은 한 프레임 내에서 두 번 변화하게 된다. 역시 전과 지연의 영향으로 인하여, 근거리 목적지는 소스의 출력률이 변한 뒤, 한 개의 부프레임이 경과한 후에 그 영향을 받는 반면, 원거리 목적지는 M 개의 부프레임이 경과한 후 소스의 새로운 출력률에 의하여 트래픽이 도착하게 된다.

그림 2에 의하여, 어떤 프레임의 $k, 0 \leq k \leq 2M-1$, 번째 부프레임에, 근거리(원거리) 목적지에 도착하는 트래픽의 도착 프로세스 $\{s_k^l\}(\{s_k^r\})$ 을 다음과 같이

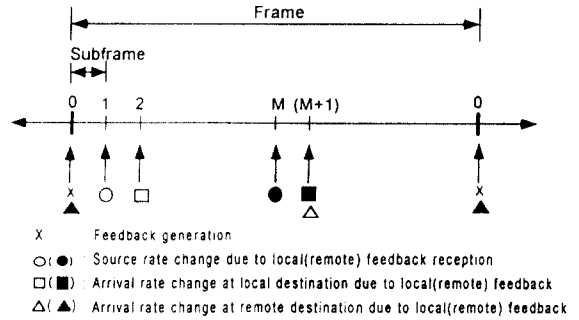


그림 2. 임의의 프레임 내에서의 망 상태 피드백 발생과 소스 출력률 변화 시점

Fig. 2. Time relation between the feedback generation and the source rate changing points in a frame

결정할 수 있다. 이 프로세스의 상태 영역은 프로세스 $\{s\}$ 와 마찬가지로 S_s 이다.

$$s_k^l = \begin{cases} C_k^l & \text{if } 2 \leq k \leq M \\ C_k^r & \text{if } (M+1) \leq k \leq (2M-1) \\ P_k & \text{if } k=0, 1 \end{cases}$$

$$s_k^r = \begin{cases} P_k & \text{if } 0 \leq k \leq M \\ C_k^l & \text{if } (M+1) \leq k \leq (2M-1) \end{cases}$$

위 식에 의하여, 부프레임 k 에, 근거리 목적지에서의 트래픽 도착율이 i 이고, 원거리 목적지에서의 트래픽 도착율이 j 라고 결정되면, 근거리 및 원거리 목적지의 유한 큐(finite buffer)는 부프레임 k 동안 각각 확률 밀도 함수가 f_i 와 f_j 인 독립적이고 동일하게 분포된(independent, identically distributed) 도착 프로세스에 의하여 전개될 것이다. 따라서, 부프레임 경계에 임베드된 스토캐스틱 프로세스 $\{I_k, C_k^l, C_k^r, P_k, q_k^l, q_k^r\}_{k \geq 0}$ 의 유한 상태 마르코브 체인을 구축할 수 있다. 이 프로세스의 상태 영역 $S_m = \{\{I_k, C_k^l, C_k^r, P_k, q_k^l, q_k^r\} : I_k \in \{0, 1, \dots, 2M-1\}, C_k^l, C_k^r, P_k \in \{0, 1\}, q_k^l \in \{0, 1, \dots, Q_{max}^l\}, q_k^r \in \{0, 1, \dots, Q_{max}^r\}\}$ 이며, 상태 영역의 크기는 $16 \times M \times Q_{max}^l \times Q_{max}^r$ 이다. 이러한 다차원 상태의 영역은 사전식 대응에 의하여 일차원 상태의 영역 I_n 으로 바꾸어 줄 수 있다. 그런데, I_k 는 정기적으로 그 값이 회전하는 성격을 가지므로, 일 차원 프로세스 I_n 의 트랜지션 행렬 P 는 다음에서 보는 것과 같이 정기

적 마르코브 체인의 형태를 가지며 이 마르코브 체인의 기간은 $2M$ 이다.

$$P = \begin{bmatrix} 0 & P_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & P_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{2M-2} \\ P_{2M-2} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

이 행렬에서 $P_i, i \in \{0, \dots, 2M-1\}$ 는 상태 $(i, \cdot, \cdot, \cdot, \cdot, \cdot)$ 에서 상태 $(j, \cdot, \cdot, \cdot, \cdot, \cdot), j = (i+1) \bmod 2M$, 로의 상태 전환에 해당한다. 각 P_i 의 크기는 $m \times m, m = 8 \times Q_{\max}^i \times Q_{\max}^r$ 이다. 프로세스 $\{l_n\}$ 의 스테이션너리(stationary) 확률 $\pi(l_n) (= \pi(I_k, s_k^i, s_k^r, q_k^i, q_k^r, C_k))$ 은 다음과 같이 $2M$ 개의 크기 m 인 선형 시스템을 풀므로써 구할 수 있다. $\Pi \cdot P = \Pi$ 이고, $\Pi = [\Pi_0, \Pi_1, \dots, \Pi_{2M-1}]$ 라고 하자. 여기에서 $\Pi_i, 0 \leq i \leq 2M-1$ 는 크기가 m 인 벡터이다. 그러면,

$$\begin{aligned} \Pi_i \cdot P_i &= \Pi_{i+1}, 0 \leq i \leq (2M-2) \\ \Pi_{2M-1} \cdot P_{2M-1} &= \Pi_0. \end{aligned} \tag{1}$$

따라서, $\Pi_0 \times P_0 \times P_1 \times \dots \times P_{2M-1} = \Pi_0$ 이고, 이 식에서 Π_0 를 구할 수 있다. 그리고, 식 (1)을 사용하여 $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{2M-1}$ 을 차례로 구해나갈 수 있다. 이와 같이, P 의 정기적이 성격으로 인해, 크기가 $16 \times M \times Q_{\max}^i \times Q_{\max}^r$ 인 하나의 큰 선형 시스템을 푸는 대신 $2M$ 개의, 크기 $m = 8 \times Q_{\max}^i \times Q_{\max}^r$ 인 선형 시스템을 풀면 되는 것이다. 이것은 분석에 요구되는 메모리와 컴퓨터이션 양이 근거리와 원거리의 전파 지연 비율, $M = T_r/T_l$ 에 무관하다는 것을 의미한다. 또한, 이 마르코브 프로세스는 부프레임 경계에 임베드된 것이므로 메모리 및 컴퓨터이션 복잡도는 T_l 에도 역시 무관하다.

위와 같은 방법으로 구한 프로세스 $\{l_n\}$ 의 스테이션너리 확률을 이용하여, 다음과 같이 근거리 및 원거리에서의 손실 확률 L' 과 L'' 을 각각 구할 수 있다. 먼저, 부프레임의 시작 경계에서의 근거리(원거리) 큐 길이가 $i_1(i_2)$ 이고 도착 프로세스가 상태 $j_1(j_2)$ 에 있다고 주어졌을 때, 그 부프레임이 경과하는 동안 근거리(원거리) 목적지에서 격계되는 평균 총 손실 횟수를 $w^i(i_1, j_1) (w^r(i_2, j_2))$ 이라고 정의한다. 그러면,

$$\overline{w^i(i_1, j_1)} = \overline{w_0^i(i_1, j_1)} + \overline{w_1^i(i_1, j_1)} + \dots + \overline{w_{T_l-1}^i(i_1, j_1)}.$$

위 식에서 $\overline{w_n^i(i_1, j_1)}, 0 \leq n \leq T_l-1$ 은 부프레임의 첫 번째 슬랏에서의 근거리 큐 길이와 도착율이 각각 i_1, j_1 이라고 가정했을 때, 부프레임의 n 번째 슬랏에서 격계되는 평균 손실 횟수로 정의되며, 근거리 목적지에서의 도착 프로세스 s_k^i 와 서비스 프로세스에 의하여 결정된다. 마찬가지로 방법으로 $w^r(i_2, j_2)$ 도 구할 수 있다.

이제, $L_k^i(L_k^r)$ 을 임의의 프레임의 k 번째 부프레임에서 격계되는 근거리(원거리) 목적지의 손실 확률로 정의하고, 다음과 같이 그 값을 구한다.

$$L_k^i = \frac{\sum_{C^i, C^r, P \in \{0, 1\}, q^i(q^r) \in \{0, 1, \dots, Q_{\max}^i(Q_{\max}^r)\}} \pi(k, C^i, C^r, P, q^i, q^r) \cdot \overline{w^i(s_k^i, q^i)}}{\sum_{C^i, C^r, P \in \{0, 1\}, q^i(q^r) \in \{0, 1, \dots, Q_{\max}^i(Q_{\max}^r)\}} \pi(k, C^i, C^r, P, q^i, q^r) \cdot a_{s_k^i} \cdot T_l}$$

위 식에서, $\overline{w^i}$ 은 근거리 목적지의 도착 프로세스가 s_k^i 일 때, 한 슬랏의 평균 도착 횟수이며, 이것은 $f_{s_k^i}$ 에 의하여 결정된다. 마찬가지로 방법으로 L_k^r 도 구할 수 있다. 끝으로, $L^i = \frac{\sum_{k=0}^{2M-1} L_k^i}{2M} \left(L^r = \frac{\sum_{k=0}^{2M-1} L_k^r}{2M} \right)$ 에 의하여, 근거리(원거리)에서의 손실 확률을 구할 수 있다.

IV. 수치적 결과

수치적 결과들을 얻기 위하여, 소스의 출발 프로세스는 상태가 0인 경우는 파라미터가 λ_{low} , 상태가 1인 경우에는 파라미터가 λ_{high} 인 바이노미얼(Binomial) 분포를 따른다고 가정하였다. 또한, 근거리 및 원거리 목적지의 서버는 동등한 서버이고 평균 서비스 시간이 $1/\mu$ 인 지오메트릭(geometric) 서버라고 가정하였다.

그림 3은 M 의 값, 즉 근거리 왕복 전파 지연에 대한 원거리 왕복 전파 지연의 비율이 증가함에 따른 근거리와 원거리 목적지의 손실 확률의 변화를 보여 주고 있다. 여기에서 사용한, $\lambda_{low}, \lambda_{high}, \mu$ 의 값은 각각 0.2, 0.7, 0.8이며, 근거리와 원거리의 버퍼 크기 (Q_{\max}^i, Q_{\max}^r)는 동일하게 8이고, 근거리와 원거리의

버퍼 임계치 (q_{th}^l, q_{th}^r) 역시 동일하게 5이다. 이 그래프는, 원거리 목적지와 근거리 목적지가 동등한 용량(capacity)의 멀티캐스트 목적지이고 소스가 이들 목적지의 피드백에 동등하게 반응하지만, 전파 지연의 차이로 인하여 이들 목적지가 서로 다른 성능, 즉 손실 확률을 경험하는 것을 보여 주고 있다.

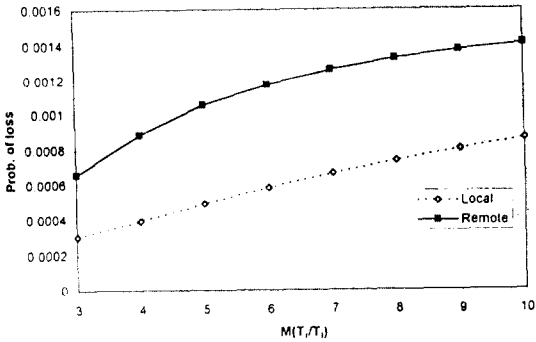


그림 3. 근거리 및 원거리 목적지의 손실 확률 비교
Fig 3. Probability of loss at the local and the remote destinations

그림 4는 세 가지의 서로 다른 λ_{low} 값의 경우($\lambda_{low} = 0.1, 0.2, 0.3$), M이 증가함에 따른 근거리 손실 확률에 대한 원거리 손실 확률의 비율을 보여주고 있다. 여기에서 사용한, λ_{high}, μ 의 값은 각각 0.7과 0.8이며, 근거리와 원거리의 버퍼 크기 (Q_{max}^l, Q_{max}^r)는 동일하게 8이고, 근거리와 원거리의 버퍼 임계치 (q_{th}^l, q_{th}^r) 역시 동일하게 5이다. 이 그래프로부터 두 가지 사실을 볼 수 있는데 첫째는, M이 어떤 임계치를 넘어서면 근거리 원거리간 손실 확률 비가 여전히 1보다 크기는 하지만, 줄어 든다는 것이다. 이것은 분석의 용이성을 위하여 가정한 피드백 스킴의 한계성에서 기인한다. 본 논문에서 가정한 피드백 스킴의 피드백 인터벌은 원거리 목적지의 왕복 전파 지연과 동일하다. 따라서, 고정된 T_l 값에 대하여 M값을 늘려 나가면 결과적으로 피드백 인터벌이 커지게 된다. M이 어떤 임계치를 넘은 후 근거리 원거리간 손실 확률 비가 줄어드는 것은, 피드백 인터벌의 증가로 인하여 피드백에 근거한 울 제어의 효율성 자체가 적어져 근거리 원거리간의 차이를 없애 주기 때문이다. 둘째로, λ_{low} 의 값이 적을수록 근거리 원거리간 손실 확률

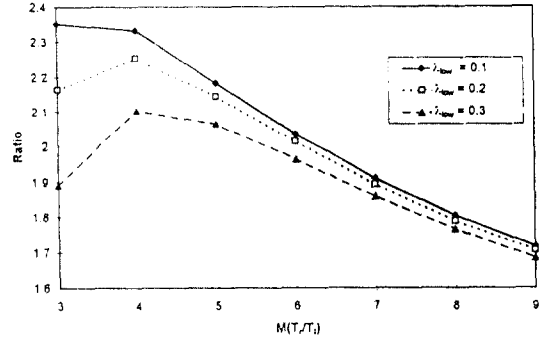


그림 4. 근거리 손실 확률에 대한 원거리 손실 확률의 비율과 λ_{low}
Fig 4. Ratio of the remote loss probability to the local loss probability for differing λ_{low}

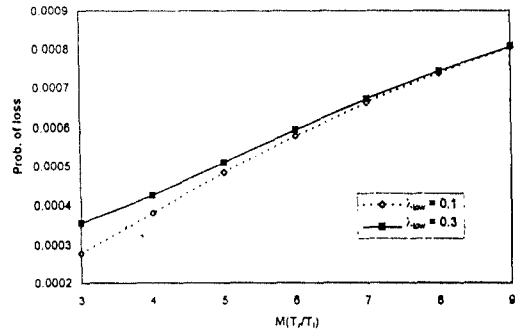


그림 5. 근거리 손실 확률과 λ_{low}
Fig 5 Local loss probability for differing λ_{low}

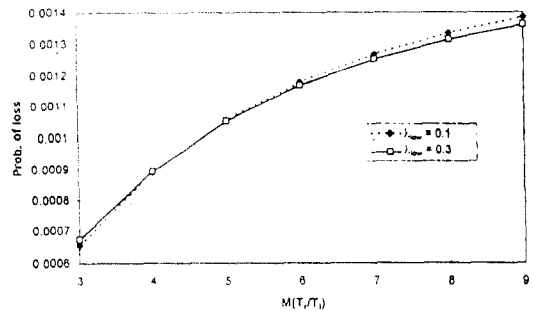


그림 6. 원거리 손실 확률과 λ_{low}
Fig 6. Remote loss probability for differing λ_{low}

비가 커짐을 볼 수 있는데, 그 이유는 그림 5와 그림 6에서 볼 수 있다. 그림 5는 λ_{low} 가 0.1과 0.3인 경우의 근거리 손실 확률을 보여주고, 그림 6은 동일한 λ_{low} 값들에 대해서 원거리 손실 확률을 보여준다. 이 두 그림에서, 근거리 목적지는 적응적 율 제어에 민감하여서 λ_{low} 값이 적을 수록 폭주 발생 시에 출력율을 더 많이 낮추어 주는 혜택을 보는 반면, 원거리 목적지는 이러한 이득을 보지 못하고 둔감한 것을 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는, 두 계층(이진)의 단순한 적응적(adaptive) 율 제어를 원거리 목적지와 근거리 목적지를 모두 포함하고 있는 있는 멀티캐스트 연결에 적용하는 경우 원거리 및 근거리 경로에서의 성능을 개별적으로 동시에 평가할 수 있는 큐잉 모델을 제시하고 이를 분석하였다. 원거리 및 근거리 목적지에서의 개별적인 셀 손실 율을 효율적으로 계산할 수 있는 방법을 개발하였고 이 방법을 사용하여 수치적 결과를 얻어 본 결과, 같은 거리의 경로만으로 이루어지는 멀티캐스트 연결에 적용할 경우 공정한 율 제어 방법이, 경로 별 거리차가 있는 멀티캐스트 연결에 대해서는, 원거리 경로가 근거리 경로에 비하여 불리한 대우를 받는 불공정성을 드러냄을 볼 수 있었다. 이후 연구 과제로, 이러한 불공정성에 영향을 미치는 적응적 율 제어의 특성 및 파라미터들을 파악하고 그 상관 관계를 연구하여, 다양한 거리에 있는 목적지들을 공정하게 지원할 수 있는 멀티캐스트 연결을 위한 적응적 율 제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

1. J. Bae and T. Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks," Proc. of the IEEE, pp 170-189, 1991.
2. A. Atai and J. Hui, "Rate-based Feedback Traffic Controller for ATM Networks," Proc. of the ICC '94, pp 1605-1615, New Orleans, USA, 1994.
3. P. Skelly, G. Pacifici, and M. Schwartz, "A Cell and Burst Level Control Framework for Integrated Video and Image Traffic," Proc. of the INFO-

- COM'94, pp 346-354, Tronto, Canada, 1994.
4. 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.
5. "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0," Draft Specification ATM Forum/95-0013R11, ATM Forum, March 1996.
6. 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.
7. M. Abdelaziz and I. Stavrakakis, "Study of an Adaptive Rate Control Scheme under Unequal Propagation Delays," Proc. of the ICC'95, 1995.



이 미 정(Lee, Meejeong) 정회원
1983년~1987년 : 이화여자대학교 전자계산학과 학사.
1987년~1989년 : University of North Carolina at Chapel Hill 전자계산학과 석사.

1990년~1994년 : North Carolina State University 컴퓨팅공학 박사.
1994년~현재 : 이화여자대학교 공과대학 전자계산학과 조교수.
※주관심분야 : 고속 통신 프로토콜, 통신 프로토콜 성능 분석, ATM 망을 통한 데이터와 비디오 전송.