

論文 96-33B-5-7

# ATM 트래픽의 지연 및 손실 우선순위 제어를 위한 버퍼 관리 기법

## (A Buffer Management Scheme for ATM Traffic with Delay and Loss Priorities)

李文鎬\*, 文榮成\*, 金炳基\*

(Moonho Lee, Youngsong Mun, and Byung-gi Kim)

### 요 약

다양한 서비스 품질을 요구하는 광범위한 응용들을 통합적으로 지원하기 위한 ATM 네트워크는 ATM 노드의 버퍼에서 각 트래픽의 셀 손실 또는 전송 지연의 우선순위에 의거하여 버퍼 점유 또는 전송순위를 결정한다. 특히 여러가지 다른 종류의 트래픽이 혼재된 경우에는 셀 손실 요구사항과 지연 요구사항을 동시에 만족시킬 수 있는 버퍼관리 기법이 필요하다. 본 논문에서는 실시간 ATM 트래픽의 손실 및 지연 요구사항을 만족시키며, 동시에 이중의 비실시간 트래픽에 대해서도 두가지 클래스의 셀 손실 성능을 만족시킬 수 있는 지연-손실 우선순위 기법을 제안하고 여러가지 종류로 구성된 입력 트래픽 각각을 마코프 변조 도착과정으로 모델링하고 해석적 방법을 이용하여 이 버퍼관리 기법의 성능을 분석하였다.

### Abstract

The broadband ISDN will transport the traffics for a wide range of applications with different quality-of-service(QOS) requirements and the priority control mechanism is an effective method to support multiple classes of services. This paper proposes a new mechanism to satisfy simultaneously the different levels of cell loss performance for the two classes of heterogeneous nonreal-time ATM traffics as well as the delay and loss requirements of real-time traffics. Its performance is analyzed using the stochastic integral approach with the cell arrivals of input streams modeled as Markov Modulated Poisson Processes.

### I. 서 론

ATM 네트워크는 다양한 서비스 품질을 요구하는 광범위한 응용들을 효과적으로 지원하기 위하여 ATM 노드에서 트래픽들을 셀 손실율과 지연 요구사항에 의거하여 분류하여 차별적으로 버퍼에 수용하거나 전송순위를 결정한다. 예컨대 음성 및 대화형 비디오와 같은 실시간 서비스의 경우 지연 특성이 성능에 중대한 영향을 주는 반면 대량의 화일 전송, 원격 제어와 같은 비실시간 서비스의 경우 어느 정도의 지연은 허용되지

지만 셀 손실율이 중요하다<sup>[1]</sup>.

우선순위에 따라 선택적으로 버퍼를 할당하기 위한 선택적 폐기 방법(selective discarding)으로서 H. Kroner, A. Gravey 등은 축출 기법(push-out mechanism)과 부분버퍼 공유 기법(partial buffer sharing mechanism)을 제안하고 입력 트래픽 모델로 포아송 도착과정(Poisson arrival process)을 가정하여 해석적인 방법에 의해 성능을 평가하였다<sup>[2-3]</sup>. S. Suri 등은 부분 버퍼 공유기법과 축출기법을 절충한 임계적 축출 기법(threshold push-out mechanism)을 제안하고 Bernoulli 도착과정을 사용하여 성능을 평가하였다<sup>[4]</sup>. 트래픽을 지연 요구사항에 따라서 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽으로 분류하여 전송순위를 결정하는 우선순위 스케줄링 방법(priority scheduling)으로는

\* 正會員, 崇實大學校 電子計算學科

(Department of Computer Science, Soongsil University)

接受日字:1995年3月28日, 수정완료일:1996年3月22日

HOL(Head Of Line), MLT(Minimum Laxity Threshold), QLT(Queue Length Threshold) 등이 제안되었다<sup>[5]</sup>. 한편 [6]에서는 셀 손실 요구사항과 셀 전송 지연 요구사항을 동시에 만족시키기 위한 방법으로 두개의 버퍼를 사용하며 선택적 폐기 기법과 우선순위 스케줄링 기법을 혼합한 NTCD/MB (Nested Threshold Cell Discarding with multiple buffers)을 제안하고 IPP (Interrupted Poisson Process) 도착모델을 적용하여 시뮬레이션에 의해 성능을 분석하였다. [7]에서는 NTCD/MB를 유체흐름(fluid flow) 모델을 사용하여 성능을 분석하였다. 그러나 NTCD/MB는 여러 클래스의 비실시간 트래픽에 대해 여러 수준의 셀손실 성능을 고려하지 않았다.

본 논문에서는 실시간 ATM 트래픽의 손실 및 지연 요구사항을 만족시키며 동시에 이중의 비실시간 트래픽에 대해서도 두가지 클래스의 셀 손실 성능을 만족시킬 수 있는 지연-손실 우선순위 기법을 제안하고 각 입력 트래픽을 마코프 변조 도착과정으로 모델링하여 이 방법의 성능을 평가한다. 본 논문은 모두 5 장으로 구성된다. 우선 II 장에서는 제안하는 지연-손실 우선순위 기법과 이 기법의 성능 분석을 위해 사용하는 입력 트래픽 모델을 기술하며 III 장에서는 확률 통계적 분 (stochastic integral) 방법을<sup>[8-9]</sup> 사용하여 정상상태에서의 대기열 길이의 확률분포를 구하고 이를 바탕으로 하여 지연-손실 우선순위 기법의 셀 손실율과 지연시간을 계산한다. IV 장에서는 수치분석 결과를 적용하여 지연-손실 우선순위 기법이 서비스 품질에 미치는 영향을 분석한다. 끝으로 V 장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

## II. 지연-손실 우선순위 기법

### 1. 우선순위 제어

지연-손실 우선순위 기법은 트래픽 클래스를 지연 요구사항에 따라서 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 두 종류로 나누어 각기 실시간 버퍼와 비실시간 버퍼에 저장한다. 한편 이와 같이 각 버퍼에 선택적으로 저장된 셀들은 하나의 공통 서버에 의해 서비스되는데 두 개의 버퍼 모두에 셀이 있으면 각 버퍼에 대해 미리 결정되어 있는 대역폭을 제공하며 어느 한 버퍼가 비어 있는 경우에는 비어 있지 않은 버퍼에 전체 대역폭을 할당한다. 이와 같은 기능에 의하여 실시간 트래

픽과 비실시간 트래픽 모두가 출력 링크중 일정한 대역폭을 보장받게 되어 결과적으로 요구하는 성능을 만족시키도록 한다. 즉 실시간 트래픽에 대해서 출력링크 대역폭중  $\alpha\mu$  ( $0 < \alpha < 1$ )만큼, 비실시간 트래픽에 대해서는  $(1-\alpha)\mu$ 만큼 보장하며 이것은 NTCD/MB와 유사하다. 그뿐만 아니라 비실시간 트래픽에 대하여 두 가지 레벨의 셀 손실 성능을 제공할 수 있도록 하기 위하여 그림 1과 같이 비실시간 버퍼와 실시간 버퍼 모두에 부분버퍼 공유 기법을 적용하여 각 도착 셀의 버퍼 수용여부를 결정한다.

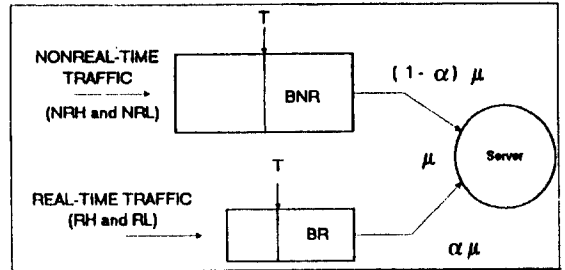


그림 1. 지연-손실 우선순위 기법  
Fig. 1. The delay-loss priority mechanism.

### 2. 입력 트래픽

ATM 네트워크에 입력되는 트래픽은 지연에 민감한 실시간 트래픽과 어느 정도의 지연은 허용할 수 있는 비실시간 트래픽으로 크게 분류할 수 있으며 이들 트래픽 각각을 허용되는 셀손실율에 의거하여 각각 높은 순위의 트래픽과 낮은 순위의 트래픽으로 세분한다. 즉 실시간 높은 순위(real-high), 실시간 낮은 순위(real-low), 비실시간 높은 순위(nonreal-high), 비실시간 낮은 순위(nonreal-low)의 네가지 트래픽으로 세분한다. 한편 우선순위 기법의 성능을 정확히 평가하기 위해서는 입력 트래픽의 도착과정을 정확히 모델링하여야 하는데 도착 셀간의 시간(cell inter-arrival time)들이 서로 상관성(correlation)이 없는 경우인 이상적인 데이터 트래픽에 대해서는 포아송 과정이나 geometric 과정으로 모델링할 수 있다<sup>[10-11]</sup>. 그러나 실시간 음성 및 비디오 신호는 시간 측면에서 상관성이 크기 때문에 포아송 과정으로 모델링하는 경우에는 성능 평가에 커다란 오차를 초래한다<sup>[12-13]</sup>. 이러한 오차를 줄이기 위해 여러가지 트래픽 모델이 제안되었다<sup>[10-11][14]</sup>.

본 논문에서는 여러개의 상이한 도착 흐름 각각을

마코프 변조 포아송 과정(MMPP : Markov Modulated Poisson Process)으로 모델링한다. MMPP는 doubly stochastic 포아송 과정으로서, 포아송 과정들의 전송율들로 이루어지는 전송율 과정(rate process)이 연속적 마코프 연쇄(continuous time Markov chain)의 상태에 의해 결정된다. 두개의 상태만을 갖는 MMPP 모델의 경우 총 도착과정(aggregate arrival process)의 특성은, 교차하여 나타나는 두 개의 상태들에 의해 결정된다. 각 상태의 지속시간은 이산 시간의 경우 기하분포, 연속시간의 경우 지수분포를 따르며 각 상태에서의 셀 도착율은 Bernoulli 분포 또는 포아송 과정을 따른다<sup>[11-12]</sup>.

또한 각 입력 트래픽이 혼재하는 트래픽의 모델은 개별 트래픽에 대한 모델을 중첩함으로써 구할 수 있으며 개별 프로세스 모델로서 MMPP를 사용할 경우 중첩 모델은 더 큰 상태 공간을 갖는 MMPP로 나타낼 수 있다<sup>[18][14]</sup>.

### III. 시스템 모델

II 장에서 제시한 시스템에 대한 모델을 결정하기 위하여 다음을 가정한다.

- 실시간 트래픽 버퍼(BR)와 비실시간 트래픽 버퍼(BNR) 크기는 각각  $K_R-1$ ,  $K_N-1$ 임
- 두개의 실시간 도착 흐름 A, B와 두개의 비실시간 트래픽 C, D가 각 버퍼에 들어옴
- 각 흐름의 셀에 대한 서비스 시간은 평균  $\mu$ 의 지수분포임
- 표기 기호

스트림	스트림 상태	도착율	상태 전이율
A	$Y_A(t)=g$ ( $g=1,2$ )	$\lambda_g$	$\gamma_{12}, \gamma_{21}$
B	$Y_B(t)=h$ ( $h=3,4$ )	$\lambda_h$	$\gamma_{34}, \gamma_{43}$
C	$Y_C(t)=i$ ( $i=5,6$ )	$\lambda_i$	$\gamma_{56}, \gamma_{65}$
D	$Y_D(t)=j$ ( $j=7,8$ )	$\lambda_j$	$\gamma_{78}, \gamma_{87}$

한편  $Z_R(t)$  ( $0 \leq Z_R(t) \leq K_R$ ),  $Z_N(t)$  ( $0 \leq Z_N(t) \leq K_N$ )를 시간  $t$ 에서의 각 버퍼에 있는 셀의 수  $q_R, q_N$ 으로 표현되는 시스템 상태라 하면, 흐름 상태와 시스템 상태의 조합에 의해 이루어지는 마코프 과정  $\{Y_A(t), Y_B(t), Y_C(t), Y_D(t), Z_R(t), Z_N(t)\}$ 의 극한분포는 정상 상태 확률  $\pi(g, h, i, j, q_R, q_N)$ 으로 표현된다. 이 정상 상태 확률을 구하고 이를 기초로 하여, 흐름 A와

B, 흐름 C와 D 각각이 시스템의 상태  $q_R, q_N$ 를 불확률  $P_A(q_R), P_B(q_R), P_C(q_N), P_D(q_N)$ 을 계산하고 이것을 이용하여 각 트래픽의 셀 손실 확률을 구한다.

먼저 흐름 A의 도착 셀이 시스템 상태  $q_R$ 을 불확률은 마팅게일(martingale) 이론에 의하면 식 (1)로 표현된다<sup>[8-9]</sup>.

$$P_A(q_R) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{N_A(t)} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t u_{q_R}(s) dN_A(s) \quad (1)$$

$$u_{q_R}(t) = \begin{cases} 1 & Z_R(t) = q_R \text{ 일 경우} \\ 0 & \text{그 이외의 경우} \end{cases}$$

이때 식 (2)는 흐름 A의 평균 도착율이 된다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_A(t)}{t} = \frac{\lambda_1 \frac{1}{r_{12}} + \lambda_2 \frac{1}{r_{21}}}{\frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{21}}} = \frac{\lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{12}}{\gamma_{12} + \gamma_{21}} \quad (2)$$

식 (1)의 다른 항은 다음과 같이 구해진다<sup>[8]</sup>.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t u_{q_R}(s) dN_A(s) = \lambda_1 \pi(1, q_R) + \lambda_2 \pi(2, q_R) \quad (3)$$

식 (1), (2)와 (3)에서 다음 식을 얻는다.

$$P_A(q_R) = \frac{(\gamma_{12} + \gamma_{21})(\lambda_1 \pi(1, q_R) + \lambda_2 \pi(2, q_R))}{\lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{12}} \quad (4)$$

흐름 B, C, D에 대해서도 유사한 과정을 이용하면 다음 식을 얻는다.

$$P_B(q_R) = \frac{(r_{34} + r_{43})(\lambda_3 \pi(3, q_R) + \lambda_4 \pi(4, q_R))}{\lambda_3 \gamma_{43} + \lambda_4 \gamma_{34}} \quad (5)$$

$$P_C(q_N) = \frac{(r_{56} + r_{65})(\lambda_5 \pi(5, q_N) + \lambda_6 \pi(6, q_N))}{\lambda_5 \gamma_{65} + \lambda_6 \gamma_{56}} \quad (6)$$

$$P_D(q_N) = \frac{(r_{78} + r_{87})(\lambda_7 \pi(7, q_N) + \lambda_8 \pi(8, q_N))}{\lambda_7 \gamma_{87} + \lambda_8 \gamma_{78}} \quad (7)$$

다음으로 임의의 실시간 트래픽이 시스템 상태  $q_R$ 을 불확률은 다음과 같다.

$$P(q_R) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{N_R(t)} \int_0^t u_{q_R}(s) dN_R(s) \quad (8)$$

$N_R(t) = N_A(t) + N_B(t)$ 이므로 다음 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_R(t)}{t} &= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_A(t)}{t} + \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_B(t)}{t} \\ &= \frac{\lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{12}}{\gamma_{12} + \gamma_{21}} + \frac{\lambda_3 \gamma_{43} + \lambda_4 \gamma_{34}}{\gamma_{34} + \gamma_{43}} \end{aligned} \quad (9)$$

또한 다음 식이 성립한다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t u_{q_R}(s) dN_R(s) = \lambda_1 \pi(1, q_R) + \lambda_2 \pi(2, q_R) + \lambda_3 \pi(3, q_R) + \lambda_4 \pi(4, q_R) \quad (10)$$

식 (9)와 (10)을 (8)에 대입하여 다음 식을 얻는다.

$$P(q_R) = \frac{(\gamma_{12} + \gamma_{21})(\gamma_{34} + \gamma_{43})(\lambda_1 \pi(1, q_R) + \lambda_2 \pi(2, q_R) + \lambda_3 \pi(3, q_R) + \lambda_4 \pi(4, q_R))}{(\lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{12})(\gamma_{12} + \gamma_{21}) + (\lambda_3 \gamma_{43} + \lambda_4 \gamma_{34})(\gamma_{34} + \gamma_{43})} \quad (11)$$

비실시간 트래픽에 대해서도 유사한 과정을 거쳐 다음 식을 얻을 수 있다.

$$P(q_N) = \frac{(\gamma_{56} + \gamma_{65})(\gamma_{78} + \gamma_{87})(\lambda_5 \pi(5, q_N) + \lambda_6 \pi(6, q_N) + \lambda_7 \pi(7, q_N) + \lambda_8 \pi(8, q_N))}{(\lambda_5 \gamma_{65} + \lambda_6 \gamma_{56})(\gamma_{56} + \gamma_{65}) + (\lambda_7 \gamma_{87} + \lambda_8 \gamma_{78})(\gamma_{78} + \gamma_{87})} \quad (12)$$

식 (4), (5), (6), (7), (11), (12)의 확률을 얻기 위해서는 마코프 과정의 정상상태 확률  $\pi(g, h, i, j, q_R, q_N)$ 을 구하고 이로부터

$$\pi(g, q_R) = \sum h \sum i \sum j \pi(g, h, i, j, q_R, q_N), \quad \pi(h, q_R) = \sum g \sum i \sum j \pi(g, h, i, j, q_R, q_N), \quad \pi(i, q_N) = \sum g \sum h \sum j \pi(g, h, i, j, q_R, q_N), \quad \pi(j, q_N) = \sum g \sum h \sum i \pi(g, h, i, j, q_R, q_N)$$

을 계산한다.

지연-손실 우선순위 시스템의 순간전이율 행렬(instantaneous transition rate matrix)은 다음과 같이 주어진다.

$$Q(g, h, i, j, q_R, q_N) \rightarrow (g', h', i', j', q_R', q_N')$$

$$\gamma_{gg'} \text{ if } g' \neq g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, q_N' = q_N$$

$$\gamma_{hh'} \text{ if } g' = g, h' \neq h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, q_N' = q_N$$

$$\gamma_{ii'} \text{ if } g' = g, h' = h, i' \neq i, j' = j, q_R' = q_R, q_N' = q_N$$

$$\gamma_{jj'} \text{ if } g' = g, h' = h, i' = i, j' \neq j, q_R' = q_R, q_N' = q_N$$

$$\lambda_g + \lambda_h \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R + 1, q_N' = q_N, q_R < \theta_R$$

$$\lambda_g \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R + 1, q_N' = q_N, q_R \geq \theta_R$$

$$\lambda_i + \lambda_j \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, q_N' = q_N + 1, q_N < \theta_N$$

$$d \lambda_i \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, q_N' = q_N + 1, q_N \geq \theta_N$$

$$a \mu \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R - 1, 0 < q_N' = q_N$$

$$\mu \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R - 1, q_N' = q_N = 0$$

$$(1-a)\mu \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, 0 < q_R' = q_R, q_N' = q_N - 1$$

$$\mu \text{ if}$$

$$g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R = 0, q_N' = q_N - 1$$

$$-\gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_h - \lambda_i - \lambda_j$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R = q_N' = q_N = 0$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_h - \lambda_i - \lambda_j$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, 0 \leq q_R < \theta_R,$$

$$q_N' = q_N, 0 < q_N < \theta_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_h - \lambda_i - \lambda_j$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, 0 < q_R < \theta_R$$

$$q_N' = q_N, 0 \leq q_N < \theta_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_i$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, \theta_R \leq q_R < K_R$$

$$q_N' = q_N, \theta_N \leq q_N < K_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_h - \lambda_i$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, 0 \leq q_R < \theta_R$$

$$q_N' = q_N, \theta_N \leq q_N < K_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_i - \lambda_j$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, \theta_R \leq q_R < K_R$$

$$q_N' = q_N, 0 \leq q_N < \theta_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_i - \lambda_j$$

$$\text{if } g' = g, h' = h, i' = i, j' = j, q_R' = q_R, q_R = K_R$$

$$q_N = q_N, 0 \leq q_N < \theta_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_i$$

$$\text{if } g = g, h = h, i = i, j = j, q_R = q_R, q_R = K_R$$

$$q_N = q_N, \theta_N \leq q_N < K_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g - \lambda_h$$

$$\text{if } g = g, h = h, i = i, j = j, q_R = q_R, 0 \leq q_R < \theta_R$$

$$q_N = q_N, q_N = K_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj} - \lambda_g$$

$$\text{if } g = g, h = h, i = i, j = j, q_R = q_R, \theta_R \leq q_R < K_R$$

$$q_N = q_N, q_N = K_N$$

$$-\mu - \gamma_{gg} - \gamma_{hh} - \gamma_{ii} - \gamma_{jj}$$

$$\text{if } g = g, h = h, i = i, j = j, q_R = q_R, q_R = K_R$$

$$q_N = q_N, q_N = K_N$$

여기서 흐름을 나타내는 첨자  $g, h, i, j$ 에 부가되는 프라임(') 기호는 각 흐름의 전이상태를 나타내는 기호이다.  $\alpha$ 는 서버가 실시간 트래픽을 서비스하는 시간 비율로서 비실시간 트래픽에 대한 서비스 시간 비율은  $(1-\alpha)$ 이다.  $\theta_R$  과  $\theta_N$ 은 각각 실시간 버퍼의 임계치(threshold)와 비실시간 버퍼의 임계치를 의미한다

위의 순간 전이율 행렬이 결정되면 우선순위 시스템에 대한 정상상태 방정식은  $\pi Q = 0$  이 된다.  $\pi = \{\pi(1, 3, 5, 7, 0, 0), \pi(1, 3, 5, 8, 0, 0), \dots, \pi(2, 4, 6, 8, K_R, K_N)\}$ 이며  $\pi e = 1$ 조건을 함께 적용하면  $g, h, i, j, q_R, q_N$ 의 각 값에 대한 정상상태 확률  $\pi(g, h, i, j, q_R, q_N)$ 을 구할 수 있다. 이 정상상태 확률을 이용하여 각 흐름에 대한 셀 손실율을 다음 식과 같이 얻을 수 있다. 이 식들은 실시간 트래픽인  $A, B$  흐름과 비실시간 트래픽인  $C, D$  흐름에 대한 것으로  $A$  흐름이  $B$  흐름보다,  $C$  흐름이  $D$  흐름보다 우선순위가 높은 경우이다.

$$P_{loss}(A) = \frac{(\gamma_{12} + \gamma_{21})(\lambda_1 \pi(1, K_R) + \lambda_2 \pi(2, K_R))}{\lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{12}}$$

$$P_{loss}(B) = \frac{(\gamma_{34} + \gamma_{43})(\lambda_3 \sum_{q_N=\theta_N}^{K_R} \pi(3, q_R) + \lambda_4 \sum_{q_N=\theta_N}^{K_R} \pi(4, q_R))}{\lambda_3 \gamma_{43} + \lambda_4 \gamma_{34}}$$

$$P_{loss}(C) = \frac{(\gamma_{56} + \gamma_{65})(\lambda_5 \pi(5, K_N) + \lambda_6 \pi(6, K_N))}{\lambda_5 \gamma_{65} + \lambda_6 \gamma_{56}}$$

$$P_{loss}(D) = \frac{(\gamma_{78} + \gamma_{87})(\lambda_7 \sum_{q_N=\theta_N}^{K_N} \pi(7, q_N) + \lambda_8 \sum_{q_N=\theta_N}^{K_N} \pi(8, q_N))}{\lambda_7 \gamma_{78} + \lambda_8 \gamma_{87}}$$

실시간 트래픽과 비실시간 트래픽에 대한 평균 지연은 Little의 정리를 이용하여 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$E(T_R) = \frac{E(n_R)}{\lambda_R}, E(T_N) = \frac{E(n_N)}{\lambda_N}$$

여기서  $\lambda_R, \lambda_N$ 은 각각 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 평균 도착율이며 식 (2)에 의해 얻을 수 있다.  $E(n_R), E(n_N)$ 은 각 버퍼의 평균 대기열 길이이며 정상상태 확률로부터 구할 수 있다.

#### IV. 성능분석

본 장에서는 III 장에서 언급한 상태방정식에 대해 몇가지 표본값과 Gauss Seidel 근사화법을 적용함으로써 얻은 수치 값을 근거로하여 지연-손실 우선순위 시스템의 성능을 분석한다. 이때 적용된 흐름의 특성값은 다음과 같다.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0.24, \lambda_5 = \lambda_6 = \lambda_7 = \lambda_8 = 0.18$$

$$\gamma_{12} = \gamma_{21} = \gamma_{34} = \gamma_{43} = 0.4, \gamma_{56} = \gamma_{65} = \gamma_{78} = \gamma_{87} = 0.2$$

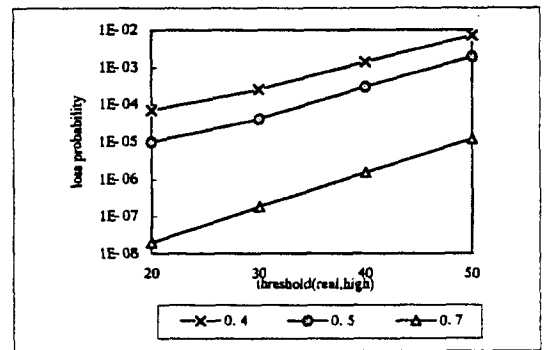


그림 2. 임계치에 따른 실시간 셀 손실율 변화(높은 우선순위 셀)

Fig. 2. Loss probability of real-time high priority traffic versus threshold.

그림 2, 3, 5의 그래프에 표시된 범례와 숫자는  $\alpha$  즉 실시간 트래픽에 대해 보장되는 출력대역폭의 비율(ca-

capacity fraction)이 각각 0.4, 0.5, 0.7인 경우를 의미하며 그림 4의 범례는 각각 부분버퍼공유 기법을 적용하지 않은 셀, 손실 우선순위가 높은 셀, 손실 우선순위가 낮은 셀에 대한 값임을 의미한다.

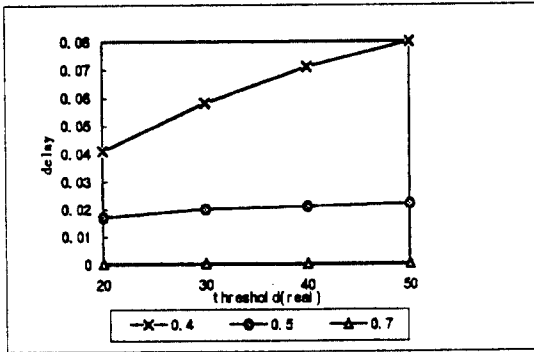


그림 3. 임계치에 따른 실시간 셀 손실을 변화(낮은 우선순위 셀)  
Fig. 3. Loss probability of real-time low priority traffic versus threshold.

그림 2와 그림 3은 실시간 트래픽에 보장되는 출력 링크 대역폭의 비율  $\alpha$ 와 실시간 버퍼의 임계치가 실시간 트래픽의 셀 손실율에 미치는 영향을 보인다 ( $K_R=50, K_N=20, \rho_R = 0.34$ 인 경우). 이 그림에서 주목할 것은 보장 대역폭 비율(capacity fraction)  $\alpha$ 가 셀 손실에 미치는 영향은 매우 크며  $\alpha$ 가 0.4 이하인 경우 임계치의 변경이 손실 우선순위가 낮은 셀의 손실율에 미치는 영향은 매우 작아진다는 점이다.

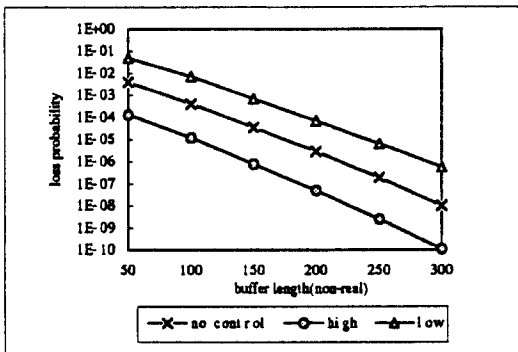


그림 4. 비실시간 버퍼 길이에 따른 비실시간 셀 손실율의 변화  
Fig. 4. Loss probability of nonreal-time traffic versus nonreal-time buffer length.

그림 4는 비실시간 버퍼의 길이와 부분버퍼 공유 기법의 적용여부가 비실시간 트래픽의 셀손실에 미치는 영향을 보여준다. ( $\rho_N=0.6, \alpha=0.7$ ) 이 때 부분버퍼 공유 기법의 임계치는 버퍼 길이의 70%로 하였다. 이 그림에서는 비실시간 트래픽 버퍼의 길이를 300 정도로 할 경우 부분버퍼 공유 기법을 적용함으로써 두 클래스의 비실시간 트래픽에 대해  $1 \times 10^{-6}$ 이하의 범위에서도 차등적인 셀 손실 성능을 제공할 수 있음을 알 수 있다.

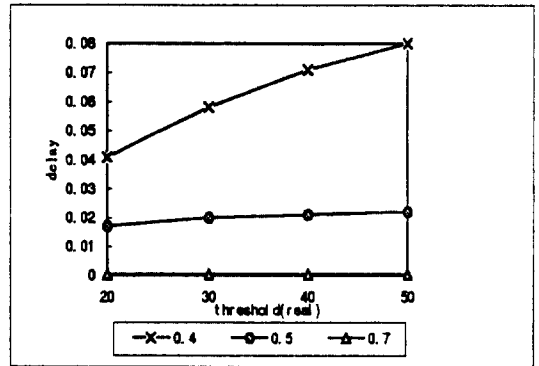


그림 5. 실시간 높은 우선순위 셀에 대한 지연특성  
Fig. 5. Delay of real-time high priority cell versus threshold.

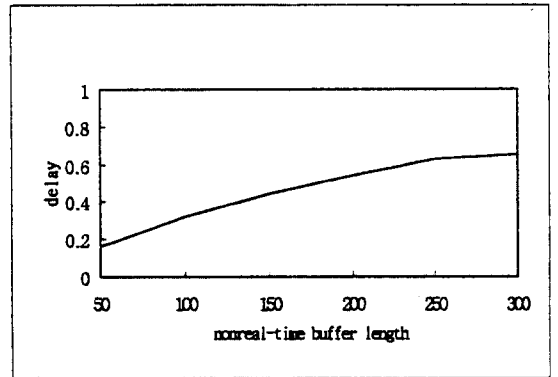


그림 6. 비실시간 셀에 대한 지연특성  
Fig. 6. Delay of nonreal-time cell versus nonreal-time buffer length.

그림 5는 실시간 높은 우선순위 셀에 대한 지연특성을 보여준다. 지연시간에 대한 그림에서 알 수 있듯이  $\alpha$ 가 크면 실시간 버퍼에서의 지연은 실시간 버퍼의 임계치에 무관하게 무시할 수 있으나  $\alpha$ 가 작으면 임계치에 따라 상당히 좌우된다. 실시간 낮은 우선순위 셀의

지연은, 낮은 우선순위 셀에 대한 버퍼의 실제 길이가 높은 우선순위 셀에 대한 버퍼의 실제 길이보다 더 작기 때문에, 두 가지의 부하가 동일할 경우 그림 5의 값보다 약간 더 작다.

그림 6은 비실시간 버퍼 길이의 변화에 따른 비실시간 셀의 평균 지연시간을 나타낸다.

## V. 결 론

본 논문에서는 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽에 대해 셀 손실 요구사항과 지연 요구사항을 동시에 만족시킬 수 있는 지연-손실 우선순위 기법을 제안하고 해석적인 방법에 의해 성능을 평가하였다. 성능 평가를 위해 상이한 트래픽 각각을 MMPP로 모델링하고 이들이 혼재된 트래픽에 대해 확장된 마코프 변조 도착 과정을 적용하였으며 확률 통계적 적분(stochastic integral) 방법을 이용하여 정상상태에서의 대기열 길이의 확률 분포를 구하고 이를 바탕으로 셀 손실율과 지연시간을 계산하였다. 성능분석 결과에 의하면 지연-손실 우선순위 기법은 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽에 대해 적절한 출력 대역폭을 보장함으로써 실시간 트래픽의 지연 요구사항을 만족시킬 수 있으며 실시간 트래픽 뿐아니라 비실시간 트래픽 모두에 대해서도 부분버퍼 공유 기법을 적용함으로써 두 가지 클래스의 셀 손실 성능을 차등적으로 제공할 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] R.O. Onvural, *Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues*, Norwood, MA: Artech House, 1994.

[2] H. Kröner, G. Hebuterne, P. Boyer and A. Gravey, "Priority Management in ATM Switching Nodes," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. SAC-9, No. 3, pp. 418-427, Apr. 1991.

[3] H. Kröner, "Comparative Performance Study of Space Priority Mechanisms for ATM Networks," *Proceedings of INFOCOM '90*, pp. 1136-1143.

[4] S. Suri, D. Tipper and G. Meempat, "A Comparative Evaluation of Space Priority Strategies in ATM Networks," *Proce-*

*dings of INFOCOM '94*, pp. 516-523.

- [5] R. Chipalkatti, J.F. Kurose and D. Towsle, "Scheduling Policies for Real-Time and Nonreal-Time Traffic in a Statistical Multiplexer," *Proceedings of INFOCOM '89*, pp. 774-783.
- [6] P. Yegani, M. Krunz and H. Hughes, "Congestion Control Schemes in Prioritized ATM Networks," *Proceedings of ICC '94*, Vol. 2, pp. 1169-1173, May 1994.
- [7] M. Krunz, H. Hughes and P. Yegani, "Design and Analysis of a Buffer Management Scheme for Multimedia Traffic with Loss and Delay Priorities," *Proceedings of GLOBECOM '94*, pp. 1560-1564.
- [8] J.J. Bae and T. Suda, "Analysis of Individual Packet Loss in a Finite Buffer Queue with Heterogeneous Markov Modulated Arrival Processes: A Study of Traffic Burstiness and Priority Packet Discarding," *Proceedings of INFOCOM '92*, pp. 0219-0229.
- [9] K.S. Meier-Hellstern, "The Analysis of a Queue Arising in Overflow Models," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 37, No. 4, pp. 367-372, Apr. 1989.
- [10] J.J. Bae and T. Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 79, No. 2, pp. 170-188, Feb. 1991.
- [11] V.S. Frost and B. Melamed, "Traffic Modeling for Telecommunications Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 70-81, Mar. 1994.
- [12] H. Heffes and D.M. Lucantoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. SAC-4, No. 6, pp. 856-868, Sept. 1986.
- [13] A. Baiocchi, N.B. Melazzi, M. Listani, A. Roveri and R. Winkler, "Loss Performance Analysis of an ATM Multiplexer Loaded with High-Speed ON-OFF So-

urces," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. SAC-9. No. 3, pp. 388-393, Apr. 1991.

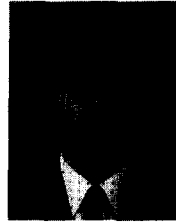
[14] H. Saito, *Teletraffic Technologies in ATM Networks*, Norwood, MA: Artech House, 1994.

— 저 자 소 개 —



李文鎬(正會員)

1977년 서울대학교(공학사). 1993년 숭실대학교 정보과학대학원 전산공학과(공학석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전산학과 박사과정 수료. 1979년 ~ 1984년 한국전자통신연구소. 1985년 ~ 1991년 현대전자(주). 현재 숭실대학교 강사. 관심분야는 ATM, 이동 및 개인휴대 통신, 병렬처리



文榮成(正會員)

1983년 연세대학교 전자공학과(공학사). 1986년 University of Alberta, 전자공학(공학석사). 1993년 University of Texas at Arlington, 전산학(박사). 1987년 ~ 1994년 한국통신연구원. 1994년 ~ 현재 숭실대학교, 조교수. 관심분야는 고속 컴퓨터 네트워크, 광대역 통신망, 이동 및 개인휴대 통신



金炳基(正會員)

1977년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1979년 한국과학기술원 전산학과(이학석사). 1979년 ~ 1982년 경북대학교 전자공학과 전임강사. 1982년 ~ 현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수. 관심분야는 ATM, 이동 데이터통신, 컴퓨터 구조