

ATM 멀티플렉서에서의 우선순위 메카니즘에 관한 연구

準會員 尹 星 濤* 正會員 朴 光 採** 正會員 李 在 昊*

A Study on the Performance of Priority Mechanisms in ATM Multiplexer

Sung Ho Yoon*, Kwang Chae Park**, Jae Ho Lee* *Regular Members*

要 約

ATM망의 스위칭 노드나 ATM멀티플렉서에서는 셀의 헤더내에 있는 1-비트의 CLP(Cell Loss Priority)를 사용하여 우선순위 제어를 함으로써 대역폭의 사용효율을 높인다.

본 논문에서는 기존 공간 우선순위 제어(space priority control) 메카니즘들의 단점들을 보완하고 높은 우선순위 셀의 손실 확률을 줄이기 위한 혼합형 메카니즘을 제안하며 이 메카니즘에 대한 성능을 셀 손실 확률면에서 분석하였다.

제안한 혼합형 메카니즘의 성능 평가는 우선순위 제어가 없는 메카니즘, 축출 메카니즘 및 부분버퍼공유 메카니즘에 대한 셀 손실 확률을 비교하였다.

셀 손실 확률은 M/D/1/N모델링과 2-state MMPP/D/1/N모델링을 사용하여 해석하였으며 이 두 가지 모델링에 대한 비교도 병행하였다.

각 메카니즘에 대한 해석값은 PC의 SIMSCRIPT II.5를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션으로 검증하였다.

ABSTRACT

In a switching node or an ATM multiplexer of the ATM network, a good bandwidth utilization can be achieved by the priority control using the 1-bit CLP(Cell Loss Priority) in ATM cell header.

In this paper, the mixed mechanism is proposed to make up for shortcomings of existing space priority control mechanisms and to decrease the loss probability of high priority cell and its performance is analyzed about the cell loss probability.

To estimate the performance of proposed mixed mechanism, its cell loss probability is compared with those of non-priority mechanism, push-out mechanism and partial buffer sharing mechanism.

The cell loss probability is analyzed using a M/D/1/N modeling and a 2-state MMPP/D/1/N modeling and also comparison between two modelings is made.

To verify this result of numerical analysis, the computer simulation is performed for each mechanism using the simulation language, SIMSCRIPT II.5.

*光云大學校 電子通信工學科
Dept. of Electronic Communication Eng.,
Kwang Woon Univ.

**朝鮮大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Eng., Cho Sun Univ.
論文番號 : 93-78

I. 서론

현재 광대역 ISDN의 구현을 위한 최적의 전송모드로 CCITT에서는 새로운 정보 전달 체계인 ATM (Asynchronous Transfer Mode)방식을 채택하고 있다^[1].

ATM은 음성, 화상, 데이터등 어떠한 트래픽이라도 셀(cell)이라고 하는 53바이트로 고정된 길이의 패킷(Packet)에 실어 전송하게 된다. 그리고 트래픽 특성을 살펴보면 교신성 데이터와 비디오 신호같이 Bursty한 특성을 갖는 VBR(Variable Bit Rate)과 큰 화일정보와 같은 continuous한 CBR(Constant Bit Rate)이 있고, 시간간연에는 민감하면서 손실에는 덜 민감한 음성과 화상같은 신호가 있는 반면 실시간 전송은 요구되지 않으나 손실에는 매우 민감한 데이터와 같은 신호도 있다^[2].

이런 다양한 트래픽들을 쉽게 수용하면서 대역폭의 사용효율을 증대시키기 위해 통계적 다중화(statistical multiplexing)방식을 채택하게 되었으며 우선순위 제어를 사용함으로써 대역폭의 사용효율을 더욱 더 높일 수 있게 되었다^{[3][4]}.

우선순위 제어 메카니즘에는 시간 우선순위(Time priority)제어와 공간 우선순위(Space priority 또는 Loss priority)제어 메카니즘이 있고 본 논문에서는 공간 우선순위 제어 메카니즘에 대하여 고찰하였다.

공간 우선순위 제어 메카니즘에는 경로분리(Route-separation)메카니즘, 부분버퍼공유(Partial Buffer Sharing)메카니즘, 축출(Push-Out)메카니즘등이 있다^[5].

본 논문에서는 부분버퍼공유 메카니즘과 축출 메카니즘의 단점들을 보완하고 높은 우선순위 셀의 손실확률을 더욱 더 줄여주기 위한 알고리즘을 제안하고 기존의 메카니즘들과 셀 손실확률면에서 성능을 평가하였다.

모델링 방법으로는 M/D/1/N 모델링과 MMPP/D/1/N 모델링 방법을 사용했으며 이두가지 모델링에 대한 비교, 검토도 병행하였다.

II. 트래픽 제어 모델

1. ATM 트래픽 제어 모델

본 논문에서 사용한 ATM 트래픽 제어 모델은 그림 1과 같다^[2].

ATM망은 VBR셀과 CBR셀을 수용하게 되고 이

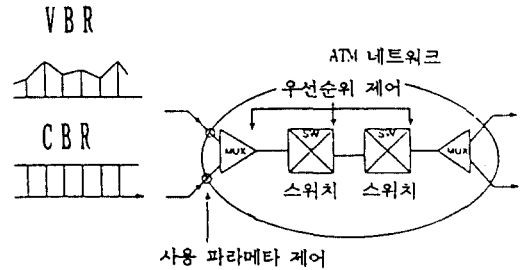


그림 1. ATM 트래픽 제어 모델

셀들을 멀티플렉서, 스위칭 노드, 디멀티플렉서(Demultiplexer)들을 경유하는 각각의 루트(Route)를 통하여 목적지 터미널까지 전송시키게 된다.

트래픽 제어 기능은 호 처리 레벨(Call process level)과 셀 전송 레벨(Cell transfer level)의 2레벨로 수행된다. 호 처리 레벨에서는 셀이 전송되기 전에 각 호에 대하여 가상채널을 설정하기 위한 연결 승인 제어(Connection Admission Control; CAC)가 행해지게 된다. 만약 루트상의 링크가 유저(User)가 요구하는 서비스 품질(Quality of Service)을 만족시키기 위한 충분한 채널 용량을 갖고 있지 않은 경우에 이 호는 블럭킹(Blocking)되고 그렇지 않은 경우에는 호를 수용하게 된다. 그리고 셀 전송 레벨은 가상 채널이 설정(Set up)된 후에 행해지게 되고 여기에는 사용파라메타 제어(Usage Parameter Control; UPC)와 우선순위 제어(Priority control)가 있다.

사용 파라메타 제어는 네트워크의 액세스(Access)점에서 입력 트래픽이 호설정 단계에서 결정된 트래픽 파라메타를 위반하는 지를 감시하고 위반 셀을 제어하게 된다.

우선순위 제어는 셀 헤더의 CLP(Cell Loss Priority)비트를 사용하여 여러 등급의 서비스 클래스를 수용하기 위해 사용된다. 따라서 서로 다른 우선순위를 갖는 트래픽 흐름이 가능하게 되었고 대역폭의 사용 효율도 높일 수 있게 되었다^[1].

2. 우선순위 제어 메카니즘

ATM망에서는 ATM스위치나 멀티플렉서에서 우선순위를 사용한 트래픽 제어방법에 의해 대역폭의 사용효율을 높여게 된다.

우선순위를 부여하는 방법에는 시간 우선순위 제어와 공간 우선순위 제어의 2가지 방법이 있으며 시간 우선순위 제어는 버퍼내에서 우선순위가 높은 셀

을 먼저 전송해 줌으로써 우선순위가 높은 셀의 큐잉 지연 시간을 줄이는 방법이나 큐잉지연 시간이 전체 지연시간에 미치는 영향은 셀 처리 지연시간, 전파 지연시간등에 비해 매우 작고 셀들의 순서(sequence)유지가 보장되지 않으므로 ATM망 환경에서 유용하게 적용되기에는 문제점이 있다고 지적되고 있다^[6]. 따라서 우선순위가 높은 셀의 손실확률을 줄이기 위한 공간 우선순위 제어 방법이 검토중에 있으며 이 방법에는 축출(Push-Out)메카니즘과 부분버퍼공유(Partial Buffer Sharing)메카니즘, 경로분리(Route Separation)메카니즘 등이 있다.

망 제어신호와 같은 정보 혹은 영상정보의 골격을 나타내는 정보나 손실에 민감한 데이터 정보 등에 대해서는 0에 가까운 셀 손실확률을 보장해 주어야 한다. 반면에 음성정보 등은 어느 정도의 손실에서도 일정 수준의 서비스 품질을 획득할 수 있다. 이에 따라 각 셀들을 높은 우선순위와 낮은 우선순위로 구분하여 트래픽에 대한 우선순위 제어를 행하게 된다.

일반적으로 높은 우선도 셀에 대한 셀 손실확률은

10^{-10} 보다 작아야 하고 낮은 우선도 셀에 대한 셀 손실확률은 10^{-6} 정도로 유지시켜 주어야 한다^[5].

축출 메카니즘은 그림 2(a)와 같이 셀을 버퍼가 차 때까지 모두 받아 들이다가 버퍼가 차고 난 뒤에는 도착하는 우선순위가 낮은 셀은 버리고 도착하는 우선순위가 높은 셀은 버퍼내에 우선순위가 낮은 셀이 있을 경우에 이것을 밀어내고 들어가는 방법이다.

부분버퍼공유 메카니즘은 그림 2(b)와 같이 threshold T 까지는 버퍼를 공유하다 큐의 길이가 T를 넘어서면 우선순위가 높은 셀만을 받아 들이는 방법이다.

이 2가지 방법은 각각 장·단점을 갖고 있는데 축출 메카니즘은 버퍼 전체를 공유하기 때문에 부분버퍼공유 메카니즘에 비해 효율은 좋지만 버퍼관리의 복잡성으로 인해 processing delay가 길어지고 부분버퍼공유 메카니즘은 threshold를 고정 시켰을 때에는 별 문제가 없으나 대역폭 사용효율의 증대를 위해 입력 트래픽에 대응하여 동적(dynamic)인 threshold를 할당할 경우 최적의 threshold를 찾기 위한 processing delay가 길어 진다는 단점이 있다^[6]. 이러한 단점을 보완하고 높은 우선순위 셀의 손실확률을 줄여주기 위해 본 논문에서는 축출 메카니즘과 부분버퍼공유 메카니즘의 혼합형(그림 2(c))을 제안한다.

이 혼합형은 threshold를 $T_1[\text{cells}]$, $T_2 = N[\text{cells}]$ 으로 하고 현재의 큐 길이를 L 이라고 할때 $L < T_1$ 이면 우선순위가 높은 셀과 낮은 셀을 모두 받아 들이고 $T_1 \leq L < T_2$ 에서는 우선순위가 높은 셀만 받아 들이며 $L = T_2$ 이면 축출 메카니즘으로 전환하여 T_1 이하에 있는 낮은 우선순위 셀을 밀어내어 높은 우선순위 셀로 대체하는 방식으로 셀 순서(sequence)유지를 위한 메카니즘도 행하게 된다. 이 혼합형 메카니즘의 잇점은 다음과 같다.

첫째로 이 혼합형 메카니즘은 기존 메카니즘들과 비교해 볼 때 높은 우선순위 셀의 손실확률을 더욱 더 줄여줄 수 있게 된다. 그리고 예를 들어 $N = 40[\text{cells}]$ 이고 $T_1 = 32[\text{cells}]$, $T_2 = 40[\text{cells}]$ 이라 할 때 축출 메카니즘에서는 버퍼크기 전체 $40[\text{cells}]$ 에 대하여 버퍼관리를 해 주어야 하지만 혼합형에서는 T_1 이하 즉 $32[\text{cells}]$ 에 대해서만 버퍼관리를 해 줌으로써 버퍼관리 영역을 줄여 주게 되고, threshold를 $T_1[\text{cells}]$ 에 고정시킴으로서 해서 최적의 threshold를 찾기 위한 processing delay가 길어지는 부분버퍼공유 메카니즘의 단점을 제거시킬 수 있게 된다. 이 혼합형에 대한 셀 손실확률 분석은 다음의 III장에서

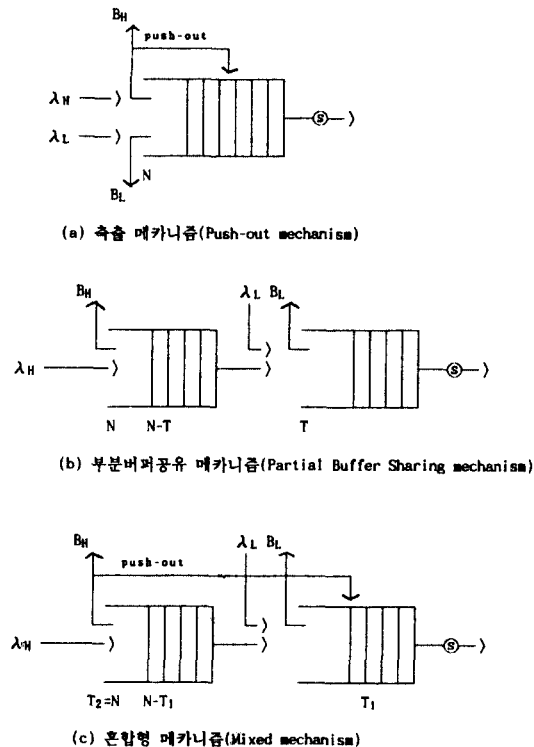


그림 2. 공간 우선순위(Space priority) 제어 메카니즘

분석하였다.

III. 트래픽 모델링 및 해석

1. M/D/1/N 모델⁸⁾¹⁰⁾

Threshold를 T_1 [cells], $T_2=N$ [cells]으로 하고 현재의 큐 길이를 L 이라고 할 때 $L < T_1$ 이면 우선순위가 높은 셀과 낮은 셀을 모두 받아 들이고 $T_1 \leq L < T_2$ 에서는 우선순위가 높은 셀만 받아 들이며 $L = T_2$ 이면 축출 메카니즘으로 전환하는 방식이 제안 모델이다.

해석에는 embedded markov chain을 사용하였으며 우선순위가 높은 셀의 도착률을 λ_H , 우선순위가 낮은 셀의 도착률을 λ_L 이라 하면 전체 도착률 λ 는 다음과 같다.

$$\lambda = \lambda_H + \lambda_L \quad (1)$$

레벨 k 에서 j 로 천이 한다고 가정할 때 2개의 embedded point(departure point)사이(셀의 서비스 시간)에서 n_1 개의 셀이 도착함으로써 $k \leq T_1$ 에서 $j \leq T_1$ 으로 천이할 확률은 다음과 같다. 여기서 $h(t)$ 는 53 byte로 고정되어 있으므로 deterministic한 분포를 갖는다¹⁰⁾.

$$q_1(n_1) = \int_0^{\infty} \frac{(\lambda t)^{n_1}}{n_1!} \exp(-\lambda t) h(t) dt \quad (2)$$

$k > T_1$ 에서 $j > T_1$ 으로 n_2 개의 셀(high priority cell)이 도착함으로써 천이할 확률은 다음과 같다.

$$q_2(n_2) = \int_0^{\infty} \frac{(\lambda_H t)^{n_2}}{n_2!} \exp(-\lambda_H t) h(t) dt \quad (3)$$

그리고 셀이 도착함으로써 $k \leq T_1$ 에서 $j > T_1$ 으로 천이할 확률은 다음과 같다.

$$q_{12}(n_1, n_2) = \sum_{n=n_1+n_2}^{\infty} q_1(n) \left[\frac{\lambda_H}{\lambda} \right]^{n_2} \left[\frac{\lambda_L}{\lambda} \right]^{n-n_1-n_2} \quad (4)$$

53 byte로 셀의 길이가 고정되어 있으므로 서비스 시간 분포는 deterministic하게 된다. 그러므로 (2)와 (3)식을 정리하면 다음과 같다.

$$q_1(n_1) = \frac{\rho^{n_1}}{n_1!} \exp(-\rho), \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \lambda: \text{arrival rate} \\ \mu: \text{departure rate}$$

$$q_2(n_2) = \frac{\rho_1^{n_2}}{n_2!} \exp(-\rho_1), \quad \rho_1 = \frac{\lambda_H}{\mu} \quad (5)$$

윗 식에 의해 우선순위제어 메카니즘을 사용하지 않는 경우의 천이확률 매트릭스 Q_1 은 식(6)과 같이 구할 수 있다¹⁰⁾.

$$Q_1 = \begin{bmatrix} q_1(0) & q_1(1) & q_1(2) & \dots & 1 - \sum_{j=0}^{N-2} q_1(j) \\ q_1(0) & q_1(1) & q_1(2) & \dots & 1 - \sum_{j=0}^{N-2} q_1(j) \\ 0 & q_1(0) & q_1(1) & \dots & 1 - \sum_{j=0}^{N-3} q_1(j) \\ 0 & 0 & q_1(0) & \dots & 1 - \sum_{j=0}^{N-4} q_1(j) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 - q_1(0) \end{bmatrix} \quad (6)$$

그리고 부분버퍼공유 메카니즘에 대한 천이확률 매트릭스 Q_2 는 식(7)과 같다¹⁵⁾.

$$Q_2 = \begin{bmatrix} q_1(0) & q_1(1) & \dots & q_1(T-1) & q_{12}(T,0) & q_{12}(T,1) & \dots \\ q_1(0) & q_1(1) & \dots & q_1(T-1) & q_{12}(T,0) & q_{12}(T,1) & \dots \\ 0 & q_1(0) & \dots & q_1(T-2) & q_{12}(T-1,0) & q_{12}(T-1,1) & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ 0 & 0 & \dots & q_1(1) & q_{12}(2,0) & q_{12}(2,1) & \dots \\ 0 & 0 & \dots & q_1(0) & q_{12}(1,0) & q_{12}(1,1) & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & q_2(0) & q_2(1) & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots \\ q_{12}(T, N-T-2) & 1 - \sum_{j=0}^{T-1} q_1(j) - \sum_{j=0}^{N-T-2} q_{12}(T,j) & & & & & \\ q_{12}(T, N-T-2) & 1 - \sum_{j=0}^{T-1} q_1(j) - \sum_{j=0}^{N-T-2} q_{12}(T,j) & & & & & \\ q_{12}(T-1, N-T-2) & 1 - \sum_{j=0}^{T-2} q_1(j) - \sum_{j=0}^{N-T-2} q_{12}(T-1,j) & & & & & \\ \vdots & \vdots & & & & & \\ q_{12}(2, N-T-2) & 1 - \sum_{j=0}^1 q_1(j) - \sum_{j=0}^{N-T-2} q_{12}(2,j) & & & & & \\ q_{12}(1, N-T-2) & 1 - q_1(0) - \sum_{j=0}^{N-T-2} q_{12}(1,j) & & & & & \\ q_2(N-T-2) & 1 - \sum_{j=0}^{N-T-2} q_2(j) & & & & & \\ \vdots & \vdots & & & & & \\ q_2(1) & 1 - \sum_{j=0}^1 q_2(j) & & & & & \\ q_2(0) & 1 - q_2(0) & & & & & \end{bmatrix} \quad (7)$$

$\pi_{i,k}(0 \leq k \leq N-1, i=1,2)$ 를 embedded point (departure point)에서 시스템내에 k 개의 셀이 존재할 확률이라고 하면 확률 벡터 $\Pi_i = [\pi_{i,0}, \pi_{i,1}, \dots, \pi_{i,N-1}]$ 를 정의할 수 있고 stationary equation은 다음과 같다.

여기서 $i=1$ 은 우선순위 제어를 하지 않는 경우이고, $i=2$ 는 부분버퍼공유 메카니즘의 경우이다.

$$\Pi_1 = \Pi_1 \cdot Q_1, \Pi_1 \cdot e = 1 \quad (8)$$

$$\Pi_2 = \Pi_2 \cdot Q_2, \Pi_2 \cdot e = 1 \quad (9)$$

$$\bar{e} = [1, 1, \dots, 1]^T$$

$$\sum_{k=0}^{N-1} \pi_{i,k} = 1$$

무한시간간격에서 셀의 실효 도착률(Effective arrival rate)은 실효 departure율과 같다. 따라서 임의의 시간에 대해서 시스템내에 k 개의 셀이 존재할 확률을 $y_{i,k}(0 \leq k \leq N, i=1,2)$ 이라 하면 우선순위 제어를 하지 않는 경우와 축출 메카니즘의 경우에 다음과 같은 식이 만족된다.

$$\lambda(1-y_{1,N}) = \mu(1-y_{1,0}) \quad (10)$$

부분버퍼공유 메카니즘의 경우에는 다음과 같다.

$$\lambda_H(1-y_{2,N}) + \lambda_L(1-\sum_{k=T}^N y_{2,k}) = \mu(1-y_{2,0}) \quad (11)$$

그러므로 우선순위 제어를 하지 않는 경우와 축출 메카니즘의 경우 임의의 시간에 대해서 시스템내에 k 개의 셀이 존재할 확률은 식(10)에 의해 다음과 같이 된다^[13].

$$y_{1,k} = \pi_{1,k}(\pi_{1,0} + \rho)^{-1} \quad (0 \leq k \leq N-1) \quad (12)$$

부분버퍼공유 메카니즘의 경우에는 식(11)에 의해 다음과 같다^{[8][9]}.

$$y_{2,k} = \begin{cases} \pi_{2,k}(\pi_{2,0} + \rho)^{-1} & (0 \leq k \leq T) \\ \frac{\lambda}{\lambda_H} \pi_{2,k}(\pi_{2,0} + \rho)^{-1} & (T < k \leq N-1) \end{cases} \quad (13)$$

유한 버퍼내에서 셀 손실확률은 버퍼가 꽉 차있을 확률과 같다.

따라서 우선순위제어를 하지 않는 경우의 셀 손실 확률 $y_{1,N}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_{1,N} &= 1 - \sum_{k=0}^{N-1} y_{1,k} \\ &= 1 - (\pi_{1,0} + \rho)^{-1} \\ &\sum_{k=0}^N y_{1,k} = 1 \end{aligned} \quad (14)$$

부분버퍼공유 메카니즘의 경우의 셀 손실확률 $y_{2,N}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_{2,N} &= 1 - \sum_{k=0}^{N-1} y_{2,k} \\ &= 1 - (\pi_{2,0} + \rho)^{-1} \left(\sum_{k=0}^T \pi_{2,k} + \frac{\lambda}{\lambda_H} \sum_{k=T+1}^{N-1} \pi_{2,k} \right) \\ &\sum_{k=0}^N y_{2,k} = 1 \end{aligned} \quad (15)$$

축출 메카니즘에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률을 P_{loss1} , 낮은 우선순위 셀의 손실확률을 P_{loss2} 라 하면 각 우선순위 셀의 손실확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{loss1(push-out)} &= y_{1,N} - R_1 \\ P_{loss2(push-out)} &= y_{1,N} + R_2 \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,

R_1 : 축출하면서 감소하는 높은 우선순위 셀의 셀 손실확률

R_2 : 축출되면서 증가하는 낮은 우선순위 셀의 셀 손실확률

$$R_1 = R_2 \quad (17)$$

그러므로,

$$\begin{aligned} P_{loss1(push-out)} &= y_{1,N} - y_{1,N}(1-y_{1,N}) = (y_{1,N})^2 \\ P_{loss2(push-out)} &= y_{1,N} + y_{1,N}(1-y_{1,N}) = 2y_{1,N} - (y_{1,N})^2 \end{aligned} \quad (18)$$

그리고 부분버퍼공유 메카니즘에 대한 각 우선순위 셀의 손실확률은 다음과 같다.

$$P_{loss1(PBS)} = y_{2,N} \quad (20)$$

$$P_{\text{loss2(PBS)}} = \sum_{k=T_1}^N y_{2,k} \quad (21)$$

따라서 $T=T_1$ 이라 하면 본 논문에서 제안한 혼합형에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률 B_1 과 낮은 우선순위 셀의 손실확률 B_2 는 다음과 같다.

$$B_{1(\text{mixed})} = y_{2,N} - y_{2,N} \left(1 - \sum_{k=T_1}^N y_{2,k}\right) = y_{2,N} \sum_{k=T_1}^N y_{2,k} \quad (22)$$

$$B_{2(\text{mixed})} = \sum_{k=T_1}^N y_{2,k} + y_{2,N} \left(1 - \sum_{k=T_1}^N y_{2,k}\right) \quad (23)$$

2. MMPP/D/1/N 모델

고속 트래픽과 저속 트래픽, VBR과 CBR이 혼재한 경우 이 도착 과정은 고속 트래픽을 IPP로 모델링하고 저속 트래픽을 포아송으로 근사시킬 때 이 중첩된 트래픽의 도착과정을 그림3과 같이 two-state MMPP(Markov Modulated Poisson Process)로 근사시킬 수 있으며 Q^* 와 Λ 로 나타낼 수 있다^{[11][12]}.

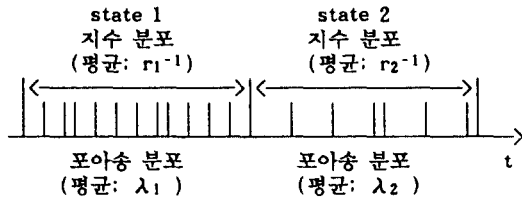


그림 3. MMPP 모델

$$Q^* = \begin{bmatrix} -r_1 & r_1 \\ r_2 & -r_2 \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\lambda_1 = \lambda_{1H} + \lambda_{1L}, \quad \lambda_2 = \lambda_{2H} + \lambda_{2L} \quad (25)$$

여기서,

- λ_{1H} : state 1 에서의 높은 우선순위 셀의 도착률
 - λ_{1L} : state 1 에서의 낮은 우선순위 셀의 도착률
 - λ_{2H} : state 2 에서의 높은 우선순위 셀의 도착률
 - λ_{2L} : state 2 에서의 낮은 우선순위 셀의 도착률
- 이다.

Q^* 의 stationary 확률벡터 Θ 는 다음에 의해 구할 수 있다.

$$\Theta \cdot Q^* = 0$$

$$\Theta \cdot \bar{e} = 1, \quad \bar{e} = (1, 1)^T \quad (26)$$

그러므로

$$\Theta = (1/(r_1 + r_2))[r_2, r_1] \quad (27)$$

이 된다.

여기서 실효 도착률(effective arrival rate) λ^* 는 다음과 같다.

$$\lambda^* = \Theta \Lambda \bar{e} = \frac{r_1 \lambda_2 + r_2 \lambda_1}{r_1 + r_2} \quad (28)$$

Two-state MMPP에서 state 1에 있을 확률 P_1 과 state 2에 있을 확률 P_2 는 다음과 같다.

$$P_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \quad (29)$$

$$P_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

따라서 state 1에서의 실제 도착률 λ_1^* 과 state 2에서의 실제 도착률 λ_2^* 는 다음과 같다.

$$\lambda_1^* = \frac{\lambda_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (30)$$

$$\lambda_2^* = \frac{\lambda_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

위의 λ_1^* 과 λ_2^* 에 대해 식(8)(9)를 이용하여 $\Pi_i = (\bar{\pi}_{i,0}, \bar{\pi}_{i,1}, \dots, \bar{\pi}_{i,N-1})$ 을 구할 수 있으며, 여기서

$$\bar{\pi}_{i,k} = [\pi_{i,k,1}, \pi_{i,k,2}] \quad (0 \leq k \leq N-1) \quad (31)$$

$$\pi_{i,k,1} = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{L_n = k, \text{ state} = 1\} \quad (32)$$

$$\pi_{i,k,2} = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{L_n = k, \text{ state} = 2\}$$

이다. 그리고 임의의 시간에 대해서 시스템 내에 k 개의 셀이 존재할 확률은 다음과 같고 부분버퍼공유 메카니즘에 대한 경우도 다음 식을 사용하여 근사시킬 수 있다^{[8][9]}.

$$\bar{Y}_{i,0} = \frac{-\bar{\pi}_{i,0}(Q^* - \Lambda)^{-1}}{[1/\mu - \bar{\pi}_{i,0}(Q^* - \Lambda)^{-1}e]} \quad (33)$$

- $i = 1$: No control
- $i = 2$: 부분버퍼 공유
- $Y_{i,0}$: 벡터값(state 1, state 2)

$$\bar{Y}_{i,k} = \frac{1}{[1/\mu - \bar{\pi}_{i,0}(Q^* - \Lambda)^{-1}e]} \left[\bar{\pi}_{i,0}Q^*(Q^* - \Lambda)^{-2} \right. \\ \left. [\Lambda(\Lambda - Q^*)^{-1}]^{k-1} + \sum_{j=1}^{k-1} \bar{\pi}_{i,j}(Q^* - \Lambda)^{-1}Q^*(Q^* - \Lambda)^{-1} \right. \\ \left. [\Lambda(\Lambda - Q^*)^{-1}]^{k-j-1} - \bar{\pi}_{i,k}(Q^* - \Lambda)^{-1} \right] \\ (0 < k \leq N-1) \quad (34)$$

$$Y_{i,N} = 1 - \sum_{k=0}^{N-1} \bar{Y}_{i,k} \bar{e} \quad (35)$$

따라서 우선순위 제어를 하지 않는 경우의 셀 손실 확률은 다음과 같다.

$$P_{loss} = Y_{1,N} \quad (36)$$

축출 우선도 경우의 각 우선도 셀에 대한 셀 손실 확률은 다음과 같다.

$$P_{loss1(Push\ out)} = Y_{1,N} - Y_{1,N}(1 - Y_{1,N}) = (Y_{1,N})^2 \quad (37)$$

$$P_{loss2(Push\ out)} = Y_{1,N} + Y_{1,N}(1 - Y_{1,N}) = 2Y_{1,N} - (Y_{1,N})^2 \quad (38)$$

부분버퍼공유 메카니즘에 대한 각 우선도 셀의 셀 손실확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q^* = \begin{bmatrix} -r_1 & r_1 \\ r_2 & -r_2 \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \text{ for } L \leq T \quad (39)$$

$$Q^* = \begin{bmatrix} -r_1 & r_1 \\ r_2 & -r_2 \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{1H} & 0 \\ 0 & \lambda_{2H} \end{bmatrix} \text{ for } T_1 < L \leq N$$

$$P_{loss1(PBS)} = Y_{2,N} \quad (40)$$

$$P_{loss2(PBS)} = \sum_{k=T}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} + Y_{2,N} \quad (41)$$

그리고 제안한 알고리즘에 대한 각 우선도 셀의 셀 손실확률은 다음과 같이 구할 수 있다(B_1 : 높은 우선도 셀의 손실확률, B_2 : 낮은 우선도 셀의 손실확률).

$$B_{1(mixed)} = Y_{2,N} - Y_{2,N}(1 - \sum_{k=T_1}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} - Y_{2,N}) \\ = Y_{2,N}(\sum_{k=T_1}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} + Y_{2,N}) \quad (42)$$

$$B_{2(mixed)} = \sum_{k=T_1}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} + Y_{2,N} + Y_{2,N}(1 - \sum_{k=T_1}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} - Y_{2,N}) \\ = \sum_{k=T_1}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} + 2Y_{2,N} - Y_{2,N}(\sum_{k=T_1}^{N-1} \bar{Y}_{2,k} \bar{e} + Y_{2,N}) \quad (43)$$

IV. 수학적 해석과 시뮬레이션 결과

1. 수학적 해석 결과(M/D/1/N 모델, MMPP/D/1/N 모델)

본 논문에서는 제안한 혼합형에 대하여 입력 트래픽을 포아송과 MMPP로 근사시켰고 전송률은 367k [cells/sec]로 하였으며 한 셀의 평균 서비스 시간은 2.725[micro-sec]로 가정하였다. 그리고 시스템 상태 확률 값은 임의로 초기치를 설정한 다음 식(8)(9)을 사용하여 2000회 반복계산으로 얻었다.

다음의 그림들에서 PBS는 부분버퍼공유 메카니즘을 나타낸다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 버퍼크기 변화에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률은 혼합형이 가장 작았고, 버퍼 전체를 공유하는 축출 메카니즘, 부분버퍼공유 메카니즘, 그리고 우선도 제어를 하지 않는 경우 순으로 증가함으로 볼 수 있었다.

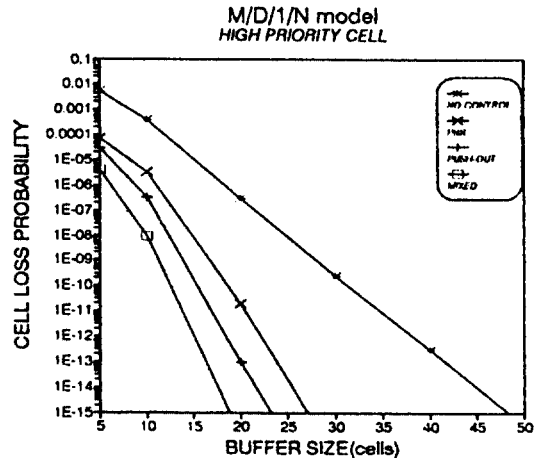


그림 4. 버퍼크기에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률 ($\rho=0.7, T_1=T=$ 전체버퍼의 80%, $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)
 Fig. 4. Loss probability of high priority cell for buffer size ($\rho=0.7, T_1=T=80\%$ of total buffer size, $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)

그림 5에서는 버퍼크기에 대한 낮은 우선순위 셀의 손실확률을 나타냈는데 우선도 제어를 하지 않는 경우가 가장 작았고 혼합형이 가장 컸으나 별 큰 차이는 없었다. 따라서 이 혼합형은 높은 우선도 셀의 손실확률을 거의 0에 가깝게 해 주어야 한다는 ATM트래픽 특성면에서 의미가 있다고 볼 수 있다.

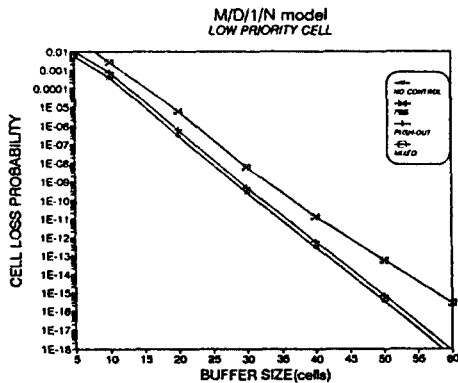


그림 5. 버퍼크기에 대한 낮은 우선순위 셀의 손실확률
 ($\rho=0.7$, $T_1=T=$ 전체버퍼의 80%, $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)
 Fig. 5. Loss probability of low priority cell for buffer size
 ($\rho=0.7$, $T_1=T=80\%$ of total buffer size,
 $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)

그림 6과 7은 트래픽 세기에 대한 셀 손실률을 나타낸 것으로 높은 우선도 셀의 경우 혼합형이 가장 작았고 낮은 우선도 셀의 경우 다른 메카니즘보다 약간 크게 나타났다.

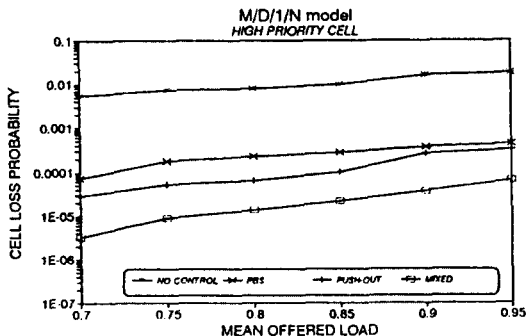


그림 6. 트래픽 세기에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률

(Buffer size=5[cells], $T_1=T=3$ [cells],
 $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)

Fig. 6. Loss probability of high priority cell for traffic intensity
 (Buffer size=5[cells], $T_1=T=3$ [cells],
 $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)

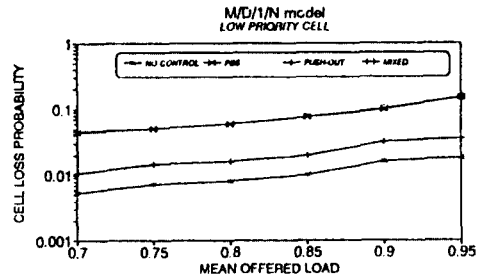


그림 7. 트래픽 세기에 대한 낮은 우선순위 셀의 손실확률
 (Buffer size=5[cells], $T_1=T=3$ [cells],
 $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)
 Fig. 7. Loss probability of low priority cell for traffic intensity
 (Buffer size=5[cells], $T_1=T=3$ [cells],
 $\lambda_H:\lambda_L=2:8$)

그림 8와 9는 전체 셀 중에 높은 우선도 셀이 차지하는 비율에 따른 셀 손실확률을 나타낸 것으로 높은 우선도 셀이 차지하는 비율이 커질수록 높은 우선도 셀의 손실확률과 낮은 우선도 셀의 손실확률이 증가함을 볼 수 있었다.

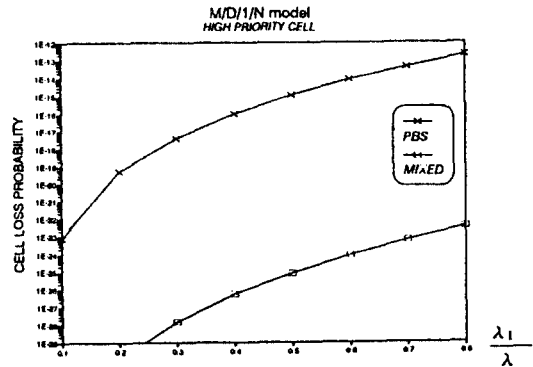


그림 8. 높은 우선순위 셀의 비율에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률
 ($\rho=0.7$, $N=40$, $T_1=T=32$)

Fig. 8. Loss probability of high priority cell for ratio of high priority cell
($\rho=0.7, N=40, T_1=T=32$)

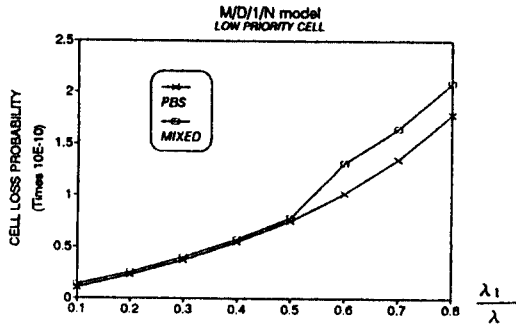


그림 9. 높은 우선순위 셀의 비율에 대한 낮은 우선순위 셀의 손실확률
($\rho=0.7, N=40, T_1=T=32$)

Fig. 9. Loss probability of low priority cell for ratio of high priority cell
($\rho=0.7, N=40, T_1=T=32$)

그림 10부터 그림 14까지는 입력 트래픽을 MMPP로 모델링 한 경우의 해석 값이다.

그림 10과 그림 11은 버퍼크기 변화에 대한 셀 손실확률을 보인 것이며 $N=20$ 이하에서는 큰 폭으로 감소하지만 $N=20$ 이상에서는 거의 변화가 없음을 볼 수 있었다. 이것은 MMPP가 좀 더 실제 입력 트래픽을 잘 반영하는 해석 값으로 인해 $N=20$ 에서 $N=70$ 까지의 차이는 셀 손실확률의 변화에 큰 영향을 미치지 못하며 N 이 더욱 더 큰 폭으로 증가할 때 어느 임계점이 되는 버퍼크기에서 셀 손실확률의 현저한 감소가 나타날 것으로 예상된다. 본 논문에서는 PC의 제한된 매트릭스 계산 때문에 $N=70$ 까지로 제한했다.

그림 12는 state1 체류시간 r_1^{-1} 을 고정시키고 state2 체류시간 r_2^{-1} 을 증가시킴으로써 더욱 bursty하게 했을 때의 셀 손실확률을 나타낸 것이다. 즉 천이율 r_2 가 증가할 수록 r_2^{-1} 은 감소함으로써 덜 bursty하게 된다. 따라서 셀 손실확률은 감소하게 된다. 결론적으로 트래픽이 bursty할 수록 셀 손실확률이 증가하게 된다.

그림 13과 그림 14에서는 MMPP 모델링의 경우 트래픽 세기 변화에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률을 나타냈는데 혼합형의 셀 손실률이 가장 작게 나

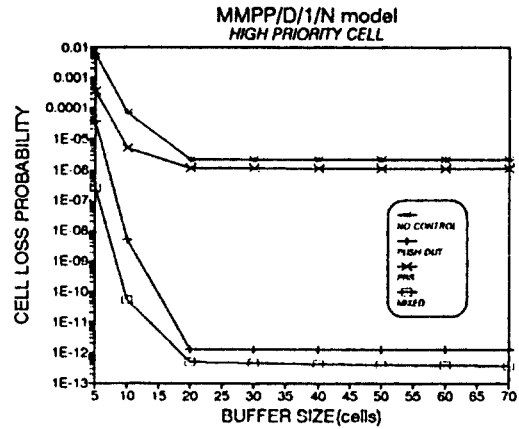


그림 10. 버퍼크기에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률
($\lambda^*=0.7, T_1=T=$ 전체버퍼의 80%, $r_1^{-1}=350$ ms, $r_2^{-1}=650$ ms, $\lambda_{1H}:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$)

Fig. 10. Loss probability of high priority cell for buffer size
($\lambda^*=0.7, T_1=T=80\%$ of total buffer size, $r_1^{-1}=350$ ms, $r_2^{-1}=650$ ms, $\lambda_{1H}:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$)

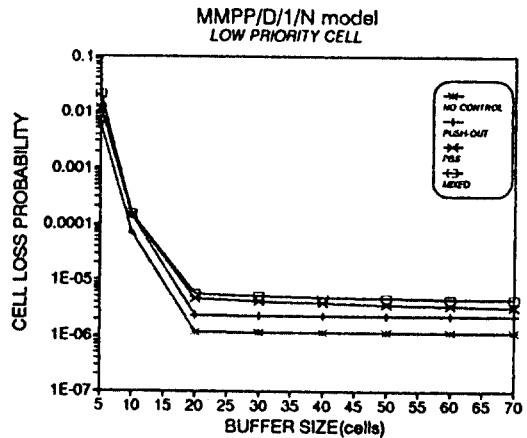


그림 11. 버퍼크기에 대한 낮은 우선순위 셀의 손실확률
($\lambda^*=0.7, T_1=T=$ 전체버퍼의 80%, $r_1^{-1}=350$ ms, $r_2^{-1}=650$ ms, $\lambda_{1H}:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$)

Fig. 11. Loss probability of low priority cell for buffer size
($\lambda^*=0.7, T_1=T=80\%$ of total buffer size, $r_1^{-1}=350$ ms, $r_2^{-1}=650$ ms, $\lambda_{1H}:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$)

타남을 볼 수 있었고 그림 15는 낮은 우선순위 셀의 손실확률을 나타낸 것으로 혼합형이 약간 크게 나타났다.

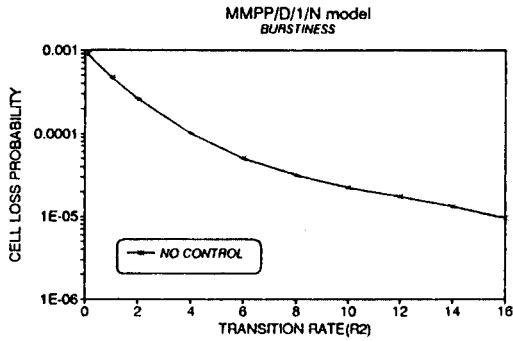


그림 12. Burstiness에 대한 셀 손실확률
 ($\lambda_1=200k$ [cells/sec], $\lambda_2=258k$ [cells/sec],
 $r^{-1}=50ms$, $N=10$, $\lambda_{1H}:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$)
 Fig. 12. Cell loss probability for burstiness
 ($\lambda_1=200k$ [cells/sec], $\lambda_2=258k$ [cells/sec],
 $r^{-1}=50ms$, $N=10$, $\lambda_{1H}:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$)

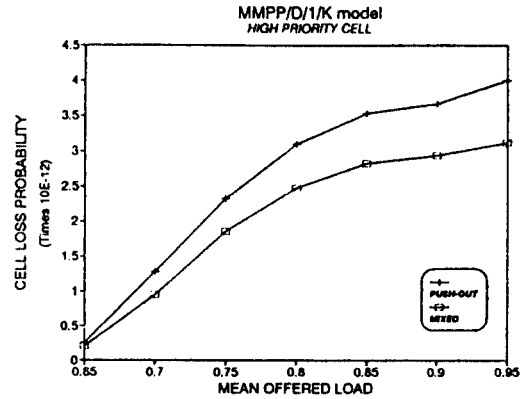


그림 14. 트래픽 세기에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률
 (Buffer size=40[cells], $T_1=T=32$ [cells], λ_{1H}
 $:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$, $r_1^{-1}=350ms$, $r_2^{-1}=650ms$)
 Fig. 14. Loss probability of high priority cell for traffic
 intensity
 (Buffer size=40[cells], $T_1=T=32$ [cells], λ_{1H}
 $:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$, $r_1^{-1}=350ms$, $r_2^{-1}=650ms$)

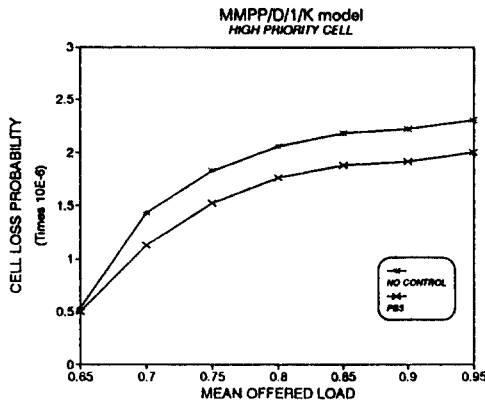


그림 13. 트래픽 세기에 대한 높은 우선순위 셀의 손실확률
 (Buffer size=40[cells], $T_1=T=32$ [cells], λ_{1H}
 $:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$, $r_1^{-1}=350ms$, $r_2^{-1}=650ms$)
 Fig. 13. Loss probability of high priority cell for traffic
 intensity
 (Buffer size=40[cells], $T_1=T=32$ [cells], λ_{1H}
 $:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$, $r_1^{-1}=350ms$, $r_2^{-1}=650ms$)

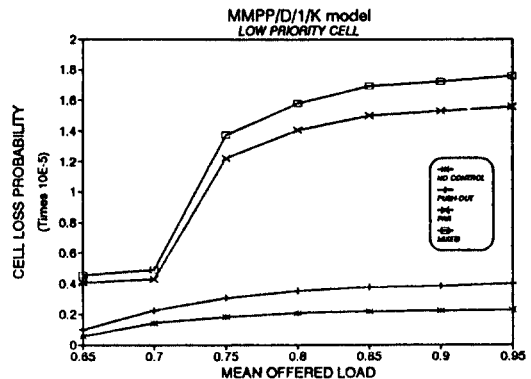


그림 15. 트래픽 세기에 대한 낮은 우선순위 셀의 손실확률
 (Buffer size=40[cells], $T_1=T=32$ [cells], λ_{1H}
 $:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$, $r_1^{-1}=350ms$, $r_2^{-1}=650ms$)
 Fig. 15. Loss probability of low priority cell for traffic
 intensity
 (Buffer size=40[cells], $T_1=T=32$ [cells], λ_{1H}
 $:\lambda_{1L}=\lambda_{2H}:\lambda_{2L}=2:8$, $r_1^{-1}=350ms$, $r_2^{-1}=650ms$)

2. 시뮬레이션 결과

M/D/1/N모델에서 사용한 성능해석 방법의 타당성을 검증하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하였다. 본 논문에서 사용한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램은 시뮬레이션 전용언어인 SIMSCRIPT II.5로 작성하였다. 시뮬레이션 프로그램은 각 메카니즘들, 즉 우선순위 제어를 하지 않는 경우, 부분버퍼공유 메카니즘의 경우, 축출 메카니즘의 경우, 혼합형 메카니즘의 경우에 대해서 프로그램을 작성하였으며 그 시뮬레이션 결과는 그림 16부터 그림 23까지 나타났다.

시뮬레이션은 버퍼크기 변화와 트래픽 세기(Traffic intensity)변화에 대하여 각각 4가지 메카니즘들의 시뮬레이션을 행하였다.

그림 16부터 그림 19까지는 트래픽의 세기를 0.7로 고정한 상태에서 버퍼크기를 변화시켰으며 그림 20부터 그림 23까지는 버퍼크기를 5, Threshold를 3으로 고정한 상태에서 트래픽의 세기를 변화시켰다.

그리고 시뮬레이션 수행에서 발생시킨 전체 셀의 수는 약 $4E+7$ [개/1회 시뮬레이션]이며 이중 높은 우선도 셀의 수와 낮은 우선도 셀의 수의 비율은 2:8이 되도록 프로그램 하였다.

시뮬레이션 결과는 수치해석 결과와 마찬가지로 각 파라메타에 대해서 높은 우선도 셀의 손실확률은 혼합형 메카니즘이 가장 작게 나타났고, 낮은 우선도 셀의 손실확률은 부분버퍼공유 메카니즘보다 약간 크게 나타났다.

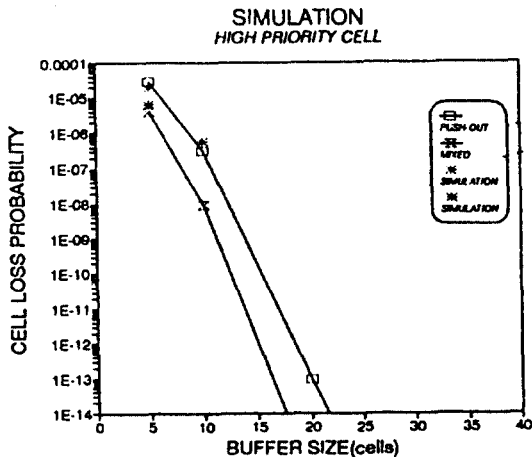


그림 16. 버퍼크기에 대한 시뮬레이션 결과(높은 우선순위 셀)
Fig. 16. Simulation results for buffer size(high priority cell)

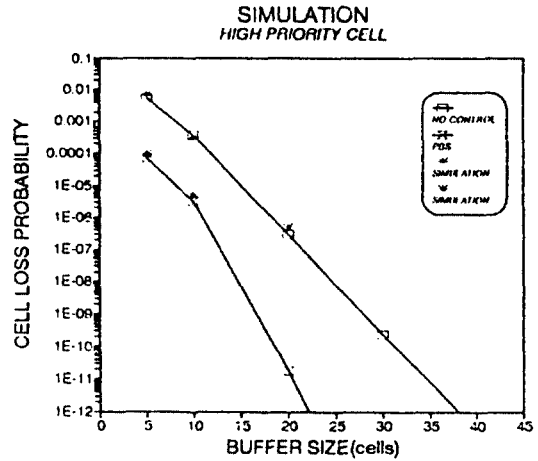


그림 17. 버퍼크기에 대한 시뮬레이션 결과(높은 우선순위 셀)
Fig. 17. Simulation results for buffer size(high priority cell)

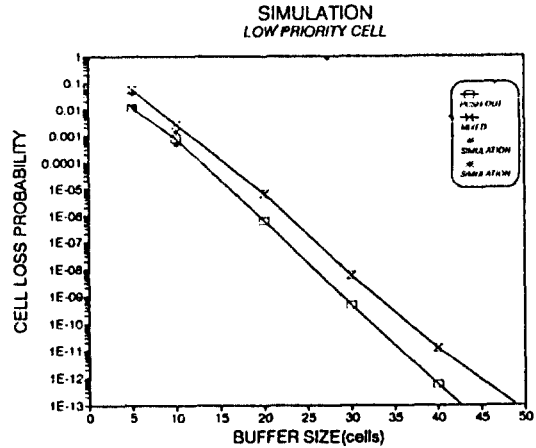


그림 18. 버퍼크기에 대한 시뮬레이션 결과(낮은 우선순위 셀)
Fig. 18. Simulation results for buffer size(low priority cell)

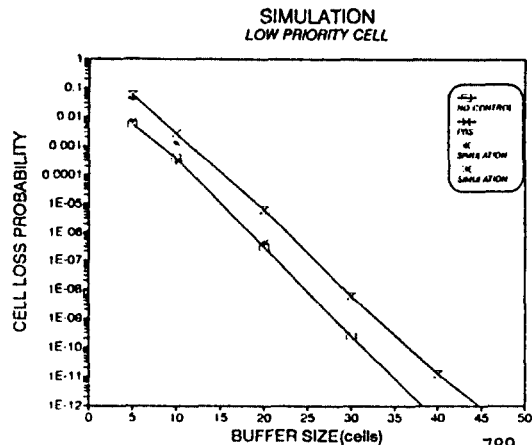


그림 19. 버퍼크기에 대한 시뮬레이션 결과(낮은 우선순위 셀)
 Fig. 19. Simulation results for buffer size(low priority cell)

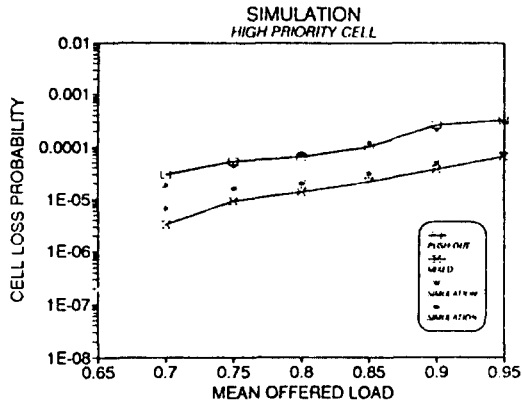


그림 20. 트래픽 세기에 대한 시뮬레이션 결과(높은 우선 순위 셀)
 Fig. 20. Simulation results for traffic intensity(high priority cell)

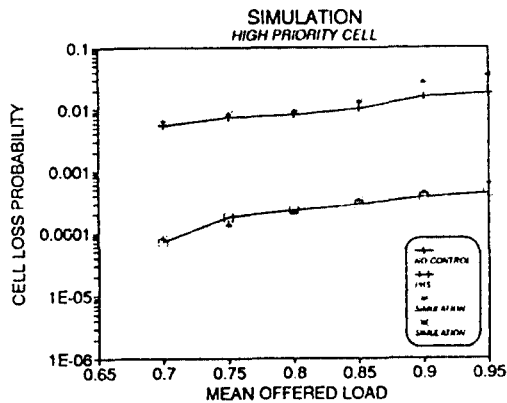


그림 21. 트래픽 세기에 대한 시뮬레이션 결과(높은 우선 순위 셀)
 Fig. 21. Simulation results for traffic intensity(high priority cell)

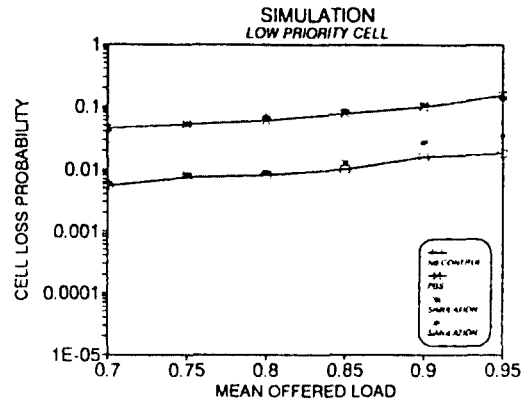


그림 22. 트래픽 세기에 대한 시뮬레이션 결과(낮은 우선 순위 셀)
 Fig. 22. Simulation results for traffic intensity(low priority cell)

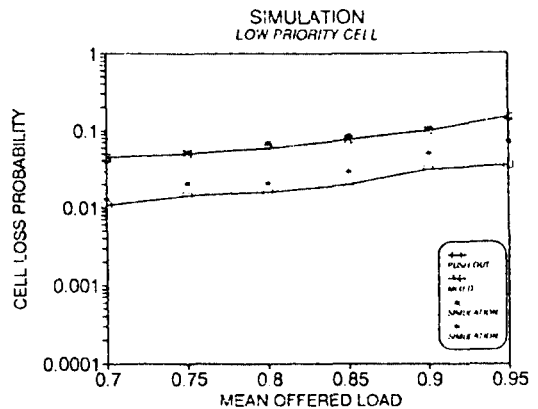


그림 23. 트래픽 세기에 대한 시뮬레이션 결과(낮은 우선 순위 셀)
 Fig. 23. Simulation results for traffic intensity(low priority cell)

V. 결 론

본 논문에서는 기존 공간 우선순위 제어 메카니즘의 단점을 보완하고 높은 우선순위 셀의 손실확률을 더욱 더 줄여주기 위한 혼합형 알고리즘을 제안하였다. 이 제안모델의 입력 트래픽은 포아송과 MMPP로 모델링하였으며 기존 메카니즘들에 대한 성능비교를 셀 손실확률면에서 분석하였고, 제안한 메카니즘의 성능과 해석 방법에 대하여 시뮬레이션 검증도

행하였다. 또한 모델링 성능평가도 병행하였다.

수치해석과 시뮬레이션은 각각 4가지 메카니즘(우선순위 제어를 하지 않는 경우, 축출 메카니즘, 부분 버퍼공유 메카니즘, 혼합형 메카니즘)들에 대해 행하였다.

혼합형의 성능은 다른 메카니즘들과 비교해 볼 때 높은 우선순위 셀의 손실 확률면에서 현저한 감소를 보였으며 반면에 우선순위 셀의 손실 확률면에서는 미세한 증가를 나타냈다. 이 결과는 ATM 트래픽 특성상 높은 우선순위 셀의 손실 확률을 거의 0에 가깝게 해 주어야 한다는 면에서 의미가 있다고 볼 수 있다. 그리고 이 혼합형 메카니즘은 임계치(T_1)를 전체 버퍼의 80%정도로 고정시킴으로써 최적의 임계치를 찾기 위한 처리지연을 줄여 줄 수 있고 버퍼관리 영역을 축출 메카니즘 경우의 전체 버퍼에 낮은 우선순위 셀이 존재하는 임계치(T_1)이하로 줄여 줄 수 있다. 그러나 두 가지 메카니즘 혼합한 알고리즘으로 인하여 하드웨어적으로 제작을 할 때 다소 복잡해 질 수도 있지만, 실제 마이크로 프로세서로 처리할 때 버퍼관리 영역을 줄여 주게 되고 최적의 임계치를 찾을 필요가 없이 단지 임계치를 기준으로 메카니즘만 전환하면 되기 때문에 프로세싱에 의한 지연은 감소되리라 예상된다.

본 논문에서는 2개의 우선순위 레벨에 대하여 고찰했지만 RES비트를 사용하여 2개 이상의 우선순위 레벨로 확장시키는 것에 대한 연구도 필요하겠다.

참 고 문 헌

1. CCITT Draft Recommendation I-series, 1990.
2. H.Suzuki, T.Murase, S.Sato, T.Takeuchi, "A burst traffic control strategy for ATM network", IEEE GLOBECOM 90, pp.874-878, 1990.
3. G.Gallassi, G.Rigolio, L.Fratta, "Bandwidth assignment in prioritized ATM network", IEEE GLOBECOM 90, pp.852-856, 1990.
4. Karl Rothermel, "Priority mechanisms in ATM network", IEEE GLOBECOM 90, pp.847-851, 1990.
5. H.Kroner, G.Hebuterne, P.Boyer, A.Gravey, "Priority management in ATM switching nodes", IEEE JSAC, pp.418-427, April., 1991.
6. 장재신, 신병철, "우선순위 기능을 가진 ATM 스위치의 성능분석", 추계 종합학술발표회 논문집, pp.141-144, 1991.
7. A.Gravey, G.Hebuterne, "Analysis of priority queue with delay and/or loss sensitive customers", Proceedings 7th ITC seminar, 1990.
8. C.Blondia, "The N/G/1 finite capacity queue", commun. ststist.-stochastic models, 1989.
9. V.Ramaswami, "The N/G/1 queue and its detailed analysis", Adv. appl. prob., 1980.
10. H.Kobayashi, "Modeling and Analysis", Addison-Wesley, 1978.
11. Efathios D.Sykas, Konstantionos M.Vlajos, Emmanuel N.protonotarios, "Mathematical tools for analysis of ATM systems", Proceeding 13th ITC seminar, pp.781-786, 1991.
12. San-qili, Hong-dah sheng, "Discrete queueing analysis of multimedia traffic with diversity of correlation and burstiness properties", IEEE INFOCOM 90, pp.368-381, 1990.
13. Donard Gross, Carl M.Harris, "Fundamentals of queueing theory," John Wiley & Sons, Inc., 1985.



尹 星 濂(Sung Ho Yoon) 正會員
 1991年 2月:光云大學校 工科大學
 電子通信工學科(工學
 士)
 1993年 2月:光云大學校 工科大學
 大學院 電子通信工學
 科(工學碩士)
 1993年 3月~現在:電子部品綜合
 技術研究所 研究員

※主關心分野:Data 통신, Computer Network, B-ISDN
 (ATM), DQDB, FDDI.



朴 光 塚(Kwang Chae Park)正會員
 1951年 2月 27日生
 1975年 2月:朝鮮大學校 電子工學
 科(工學士)
 1981年 2月:朝鮮大學校 大學院 電
 子工學科(工學碩士)
 1992年 8月:光云大學校 大學院 電
 子通信工學科 博士課
 程 修了

1975年 2月~現在:朝鮮大學校 工科大學 電子工學科 教授



李 在 昊(Jae Ho Lee) 정회원
 1934년 5월 26일생
 1968년 2월:광운대학교 통신공학
 과(공학사)
 1978년 2월:단국대학교 대학원 전
 자공학과(공학석사)
 1988년 8월:경희대학교 대학원 전
 자공학과(공학박사)

1970년~현재:광운대학교 전자통신공학과 교수
 1985년~현재:광운대학교 통신과학 연구소 소장
 1980년~1992년:한국통신학회 이사 역임
 1990년~현재:한국전산원 전산통신표준화 연구위원회 위원
 1980년~현재:한국전기통신공사 협회 하도급 분쟁조정위
 위원
 ※주관심분야:데이터 통신및 망, 통신망 제어, 디지털 교
 환기