

ATM 스위치에서의 QoS을 위한 효율적인 스케줄링 기법에 관한 연구

이상태*, 김남희*, 노기용*, 김대찬*, 전병실**

*한국표준과학연구원, **전북대학교

대전 유성우체국 사서함 102호

A Study on Efficient Scheduling Scheme for QoS in ATM Switch

Sang-Tae Lee*, Nam-Hee Kim*, Gi-Yong Noh*, Dae-Chan Kim*, Byoung-Sil Chon**

*Korea Research Institute of Standards and Science, **Chonbuk National University

102, Yusung, Taejon 305-600 KOREA

Abstract

In this paper, we propose a new cell discarding and scheduling scheme which reduce cell loss rate by measuring, in real time, the number of discarded cells in the queuing system with a different loss priority for each class of service such that each class of service meets its cell loss rate requirements and reduce average delay rate for the traffic that is sensitive in cell delay in output buffer of the ATM switch.

Throughout the computer simulation, the existing scheduling scheme and proposed scheme are compared with respect to cell loss rate and average delay time.

I. 서론

ATM 망에서는 셀을 통계적 다중화(statistical multiplexing)하여 전송하기 때문에 여러 가지 다른 특성의 서비스들을 유연하게 수용할 수 있고 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있다. 그러나 대역폭의 과다 사용은 버퍼에서의 셀 지연이나 셀 손실률과 같은 서비스의 질(QoS : Quality of Service)을 저하시킨다.^[1]

그리고, 호가 셋업(setup) 될 때 각 서비스는 지연 우선 순위와 손실 우선순위에 따라 서비스 등급이 할당된다.

이렇듯 트래픽의 종류가 다양해짐에 따라 각 서비스마다 요구하는 서비스 품질이 다르므로 이를 만족시키기 위해서는 과밀시에 셀 손실을 요구치가 낮은 서비스에 속한 셀들을 우선적으로 폐기시키고, 전송지연 요구치가 엄격한 서비스의 셀을 먼저 처리해 줄 필요성이 있으며, 이러한 필요성을 만족시켜줄 수 있기 위해서는 효율적인 셀 폐기 및 지연을 고려한 스케줄링 기법을 통해 제어할 하는 것이다.^[2,3] 이러한 서비스 종류에 따른 셀 손실이나 지연의 요구사항을 만족시키기 위해서 많은 기법들이 제안되어 왔는데 이는 크게 셀 손실에 민감한 트래픽을 효율적으로 처리하기 위한 손실우선순위 제어와 셀 지연에 민감한 트래픽을 위한 지연우선순위로 나누어 볼 수 있다. 그러나 기존의 우선순위 기법들은 지연 우선순위에 손실 우선순위의 둘중 한 기법에만 치중되어 왔고, 비디오 신호와 같이 지연과 손실 모두에 민감한 데이터를 처리하는 데 있어서는 많은 문제점이 있다.^[4,5]

따라서, 본 논문에서는 트래픽의 각 클래스별 셀 손실율의 비율로 셀을 폐기 할 수 있는 셀 폐기 제어 기법 및 지연에 민감한 트래픽에 대해서 지연율을 줄일 수 있는 새로운 셀 스케줄링 제어방식을 제안하였다.

제안된 셀 폐기 및 스케줄링 제어방식에서는 공통버퍼

를 두어 각 클래스별로 독립된 버퍼를 사용함으로써 발생되는 버퍼의 효율성의 저하를 개선하여 버퍼의 효율성을 높였으며, 또한 idle 어드레스 버퍼를 두어 공통버퍼의 주소를 관리할 수 있도록 하였다.

또한, 제안한 셀 폐기 기법을 사용하여 각 클래스별로 다양한 셀 손실율을 계산함으로써 기존의 단순히 손실율에 있어 셀을 우선순위가 높고, 낮음으로서 구분해서 폐기하는 여러 기법들에 비해 매우 엄격하게 셀 폐기율을 결정함으로써 다양한 트래픽의 셀 손실율을 만족시킬 수 있도록 하였다. 셀 스케줄링에 있어서는 기존의 버퍼에 진입한 셀에 타임스탬프를 붙여 셀이 서비스 받을 시점의 시간에서 셀이 버퍼에 진입할 때의 시간의 차에다 그 셀의 지연 민감도를 나타내는 urgency time을 더하여 지연율을 계산하는 EDD 기법을 수정하여, 좀더 지연율을 정확히 계산해서 셀을 서비스 할 수 있는 셀 스케줄링 기법을 제안하여 셀 서비스 시 지연 요구사항에 엄격한 셀을 먼저 서비스 받을 수 있도록 하였다.

제안된 셀 폐기 및 스케줄링 기법의 성능을 평가하기 위하여 기존의 우선순위 제어 방식들과 시뮬레이션을 통하여 비교함으로써 제안된 기법의 제어방식을 검증하였다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서 다양한 트래픽의 셀 손실 및 지연율 등의 트래픽 특성을 만족시켜 줄 수 있는 새로운 셀 폐기 및 스케줄링 제어 기법을 제안하였다. 그리고 3장에서는 시뮬레이션을 통한 제안된 모델의 성능을 평가하기 위해 트래픽 발생 패턴 및 시뮬레이션 결과를 분석하여, no priority, fixed priority, front-end priority control scheme과 셀 손실 및 셀 지연율에 대한 비교 및 제안한 셀 스케줄링 제어기법만을 대상으로 알고리즘 I(알고리즘 I)을 적용시켰을 때와 알고리즘 II(알고리즘 I 포함)을 적용시켰을 때의 셀 손실율과 셀 지연율을 비교·분석하였다. 그리고, 끝으로 4장에서는 결론을 기술하였다.

II. 제안된 셀 폐기 및 스케줄링 기법

1. 제안된 셀 폐기 및 스케줄링을 위한 제어 구조

본 논문에서 제안한 제어기법의 구조는 그림 I과 같다. 제안한 구조는 입력 셀 제어부(input cell controller), 3개의 주소버퍼(address buffer)와 각 어드레스 버퍼에 대한 셀 카운터(cell counter) 및 타이머(timer), 유휴 주소버퍼(idle address buffer), 공통버퍼(common buffer) 및 셀 스케줄링 제어부(cell scheduling controller)로 구성되어 있다. 입력 제어부는 ATM 스위치를 통해 출력 버퍼에 도착한 셀을 헤더부분의 클래스 정보에 따라 각 클래스에 해당하는 버퍼에 저장한다. 본 구조에서는 각각 독

립된 3개의 주소 버퍼를 두어 물리적인 셀은 공통 버퍼에 저장하고 그 주소에 해당하는 주소만을 각각의 클래스 별로 주소 버퍼에 저장한다.

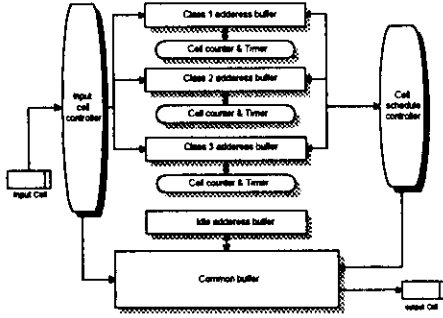


그림 1. 제안된 셀 스케줄링 제어 구조

그리고 각 어드레스 버퍼에는 셀 카운터와 타이머를 두어 버퍼에 진입한 셀에 대한 셀 개수 및 셀이 버퍼에 진입하여 서비스 받을 시점까지의 시간을 계산할 수 있도록 하였다. 셀 스케줄링 제어부는 클래스 3개에 해당하는 각각의 어드레스 버퍼의 가장 앞단에 있는 셀의 지연 우선순위를 고려해 셀을 서비스 할 수 있도록 하는 모듈로서 각 어드레스 버퍼에 쌓여 있는 셀의 수 및 셀이 버퍼에 진입하여 서비스 받을 시점까지의 시간 및 각 클래스에 대한 지연 민감도를 고려하여, 서비스 받을 셀을 공통 버퍼에서 꺼내 출력링크로 전송할 수 있도록 하였다.

또한, 해당 셀이 지연 허용도를 초과한 셀에 대해서는 폐기를 할 수 있도록 하였다. 유류 어드레스 버퍼는 공통 버퍼에서 서비스 받는 셀에 대한 주소를 관리하는 버퍼로서 공통버퍼에서 셀이 서비스를 받게 되면 그 셀의 주소를 다시 입력셀이 이용할 수 있도록 하여 공통셀에 대한 전체적인 주소를 관리 할 수 있도록 하였다. 공통버퍼는 크기를 256으로 하여 셀 스케줄링 제어부에서의 물리적인 셀 저장을 할 수 있도록 하였다.

2. 제안된 셀 폐기 정책

본 논문에서 제안한 셀 폐기 기법은 클래스 등급에 따른 셀 손실율에 따라서 셀 폐기를 할 수 있는 그림 2 및 그림 3의 알고리즘 I, II를 제안하였으며, 제안한 셀 폐기 알고리즘에 대한 흐름도 및 설명은 다음과 같다.

제안한 알고리즘을 설명하기 전에 알고리즘에 나오는 용어에 관해 간략하게 요약하면 클래스 1(H), 클래스 2(M), 클래스 3(L)의 목표 셀 손실율을 각각 T_H, T_M, T_L 이라고 하고, 제안된 알고리즘에서 측정된 셀 손실율을 M_H, M_M, M_L 이라고 하면 본 논문에서 제안한 셀 폐기 알고리즘은 선택적으로 셀을 폐기시킴으로서 측정치 값인 $M_M/M_H, M_L/M_H$ 이 목표치인 $T_M/T_H, T_L/T_H$ 의 값에 접근하게 함으로서 각 클래스의 셀 손실율을 만족시킬 수 있도록 하는 제어 방식이다.

여기에서,

$$Loss\ weight\ M = \frac{T_M}{T_H} \times \frac{\rho_M}{\rho_H}$$

$$Loss\ weight\ L = \frac{T_L}{T_H} \times \frac{\rho_L}{\rho_M}$$

과 같이 정의하고, Loss weight 값은 weighted round robin 서비스에서의 대역폭과 같은 개념이다. ρ_H, ρ_M, ρ_L 은 각 클래스 1(H), 클래스 2(M), 클래스 3(L)의 부하량으로 가정한다. 그러므로 전체적인 부하량은 $\rho = \rho_H + \rho_M + \rho_L$ 과 같다고 할 수 있다.

예를 들면 $T_L = 10^{-6}, T_M = 10^{-8}, T_H = 10^{-9}$ 이고

$\rho_L = \rho_M = \rho_H$ 이라면 Loss weight $M = 10, Loss\ weight\ L = 1000$ 과 같다. 이는 클래스 3(L)의 셀이 1000개 폐기될 때, 클래스 2(M)의 셀은 10개가 폐기되고, 클래스 1(H)의 셀이 1개 폐기되는 것과 같은 의미이다. 이와 같은 방식으로 셀을 폐기함으로써 기존의 셀 폐기방식들이 가졌던 단점들을 개선하여 각각의 클래스의 셀 손실율을 정확하게 폐기시킬 수 있다는 장점이 있고, 제어방식은 그림 2, 3의 알고리즘과 같다.

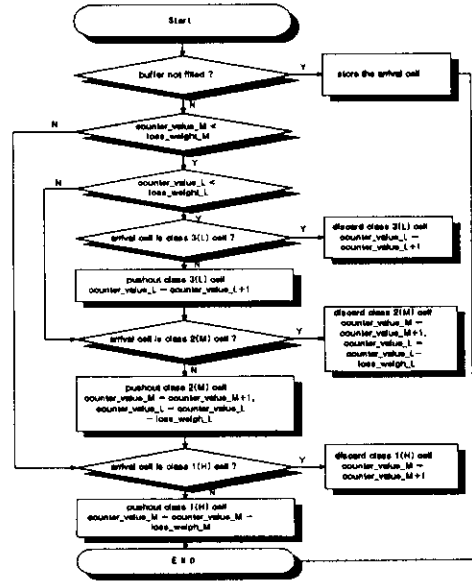


그림 2. 제안된 셀 폐기 알고리즘 I의 흐름도

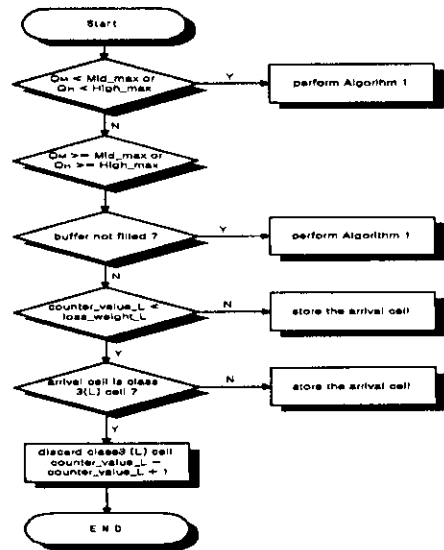


그림 3. 제안된 알고리즘 II의 흐름도.

알고리즘 I은 클래스에 대한 부하율이 같을 때 적용시킬 수 있고 각 클래스에 대한 부하율이 달라질 경우에는 특히, 클래스 1과 클래스 2의 셀 부하량이 많아지게 되면 폐기가 되기 전에 버퍼의 대부분을 클래스 1과 클래스 2의 셀이 점유하게 되어 클래스 1, 2의 셀 손실이 급격히

증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 셀 손실에 민감한 클래스 즉, 본 논문에서는 클래스 1과 클래스 2의 셀들에 대한 버퍼내의 저장용량을 확보할 필요성이 있다. 이를 위해서 알고리즘 II를 두어 클래스의 부하량이 변화할 때 이에 대응하여 셀 손실율을 제어할 수 있도록 하였다. 즉, ρ_H, ρ_M 의 비율이 ρ_L 의 비율에 비해 상당히 높아질 때 $\rho_H/\rho_L = 10$ 이라면 상대적으로 클래스 1과 클래스 2의 셀들이 버퍼를 점유하게 됨으로서 버퍼가 찼을 때 도착하는 셀이 클래스 1 또는 클래스 2의 셀일 경우 이미 버퍼에 클래스 1과 클래스 2의 셀로 점유되어 있을 경우이므로 도착한 클래스 1, 2의 셀이 버퍼에 도착했을 때 버퍼가 거의 클래스 1과 클래스 2의 셀로 점유되어 있어 도착한 셀들은 폐기되어 알고리즘 I에서와 같은 셀의 비율에 따른 폐기 제어가 어렵게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 제안한 알고리즘으로 클래스 1과 클래스 2에 대한 버퍼내의 셀 저장 용량을 정해 줌으로서 문제를 해결 할 수 있다. 알고리즘 II에서는 High_max, Mid_max의 매개변수를 사용해서 제어를 하였다. 이 값들은 버퍼가 차기 전에 버퍼안에서의 클래스 1셀과 클래스 2셀에 대한 최대값을 의미하고, Q_H, Q_M 은 현재 버퍼에 들어있는 클래스 1과 클래스 2의 셀의 수를 의미한다. 제안한 셀 폐기 알고리즘 II는 다음과 같은 방법으로 제어된다. 현재 버퍼에 들어있는 클래스 1의 셀수 (Q_H)와 클래스 2셀 (Q_M)의 셀수가 모두 최대값인 High_max, Mid_max 보다 작을 때는 알고리즘 I과 같은 방식으로 수행하고, 두 값중 하나라도 최대값을 넘어서면, 버퍼가 차지 않았을 경우에 도착하는 셀이 클래스 3의 셀이면 폐기시키고 counter value L의 값을 증가시킨다. 그리고, 도착하는 셀이 클래스 1이나 클래스 2의 셀이면 셀을 버퍼로 진입시킨다. 이와 같은 방식으로 셀을 받아들이다가 counter value L의 값이 Loss weight L의 값을 넘어서면 들어오는 모든 셀을 클래스에 관계없이 받아들이다가 버퍼가 차면 다시 알고리즘 I과 같은 방법으로 수행한다.

3. 제안된 셀 스케줄링 정책

셀 스케줄링은 각 클래스별로 할당되어 있는 주소 버퍼의 가장 앞단에 있는 셀의 지연 우선순위를 고려하여 지연이 가장 오래된 것부터 우선순위를 적용해 서비스를 한다. 또한, 각 클래스별 어드레스 버퍼의 가장 앞단의 서비스 받을 셀의 지연 한계치가 넘어선 셀에 대해서는 폐기를 시키는 방식으로 제어를 하게 되는데 제어 방법은 다음과 같다. 각 클래스의 어드레스 버퍼에는 셀 카운터와 타이머가 있어 셀이 버퍼에 진입하게 되면 셀이 들어온 시점의 시간과 또한 서비스 받을 시점의 시간을 알면 셀이 버퍼에서 어느 정도의 지연이 되었는가를 알 수 있다. 또한, 셀 카운터를 이용함으로써 현재 각 클래스의 어드레스 버퍼에 어느 정도의 셀이 저장되어 있는가를 알아봄으로서 셀의 전체적인 지연정도를 알 수 있다.

그리고, 클래스에 따른 셀의 지연정도를 각기 다르게 때문에 이에 해당하는 각 클래스별로 다른 매개변수를 주어 제어 할 수 있도록 하였다. 클래스 1의 경우는 지연과 손실에 모두 민감하면서 지연면에서도 클래스 3에 비해 민감하므로 매개변수 값을 크게 하고, 클래스 2의 경우는 손실에는 민감하고 지연에는 그다지 민감하지 않으므로 매개변수 값을 낮게 한다. 클래스 3의 경우는 손실에는 민감하지 않은 반면 지연에 민감하나 클래스 1 보다는 지연에 민감하지 않으므로 지연에 대한 매개변수 값을 클래스 2보다는 크고 클래스 1보다는 낮은 값을 준다.

위와 같은 여러 요소를 고려하면 다음과 같은 식으로 지연율의 민감도를 표현할 수 있다. 지연율 = $[(E_i - S_i) + N_i + U_i]$ 로 표현이 가능하다. 여기서 E_i 는 셀이 서비스 받을 시점의 시간을 나타내고, S_i 는 셀이 버퍼에 도착한 시간, N_i 는 각 어드레스 버

퍼에 저장되어 있는 셀의 수이고, U_i 는 각 클래스의 셀에 대한 지연 민감도를 나타낸다. 이 식을 이용하여 셀 스케줄링 제어부에서는 각 클래스별로 나누어진 각 어드레스 버퍼의 가장 앞단에 있는 셀에 대한 지연 민감도를 계산하여 그 값이 가장 큰 값을 먼저 서비스하도록 하였다.

III. 시뮬레이션 및 성능평가

1. 트래픽 소스 모델링

본 논문에서는 비디오(Class 1)의 통화유량으로는 2 state MMPP(Markov Modulated Poisson Process)를 따른다고 가정하였으며, 비디오 신호는 손실과 지연에 있어 민감한 특성이 있고, 통화유량원의 정보송출속도는 가변이므로, 고속 20Mbps, 저속 10Mbps의 2가지 전송속도를 가정하고, 각각의 지속시간의 평균은 지수분포를 따른다. 각 구간에서는 고속에서 0.021ms, 저속에서 0.042ms의 평균을 갖는 포아송 분포로 셀이 발생된다고 가정하여 트래픽을 발생시켰고, 데이터(Class 2)의 통화유량은 손실에는 민감하지만 지연에는 민감하지 않은 특성이 있으며 PP(Poisson Process)를 따른다고 가정하고, 데이터 단말기의 데이터 생성속도는 1200bps로 가정하고, 셀의 평균 도착시간 간격은 평균이 0.353s인 지수분포를 따른다.^[7,8]

음성(Class 3)의 통화유량으로서 IPP(Interrupted Poisson Process)를 가정하였다. 음성은 지연에 민감하지만 손실에는 민감하지 않은 특성이 있으며, 음성통화유량원은 발음구간과 묵음구간으로 구성된 패턴을 생성하며, on-off 구간이 각각 평균 α^{-1}, β^{-1} 을 갖는 지수분포이고 λ 는 트래픽 발생률, λ_p 는 비디오 트래픽 발생률, T는 도착주기를 나타낸다. 발음구간에 대해서는 32Kbps의 코딩을 가정하여, 13.25ms 마다 셀이 균등한 간격으로 발생된다고 가정하여 트래픽을 발생하였다.^[9]

2. 시뮬레이션 및 결과분석

본 절에서는 제안한 제어 기법과 no priority, fixed priority control, front-end priority control 기법간에 각 클래스 별로 셀 손실율과 평균지연을 클래스 1에 대해서만 비교·분석하고, 제안한 셀 스케줄링 제어기법만을 대상으로 알고리즘 I만을 적용시켰을 때와 알고리즘 II(알고리즘 I 포함)를 적용시켰을 때의 셀 손실율과 셀 지연율을 비교·분석하였다. 그림 4는 class 1에 대한 제안한 기법과 no, fixed, front-end 기법간의 셀 손실율을 비교한 그림으로 손실율이 가장 낮은 것은 fixed 우선순위 제어 방식이다. 이와 같은 원인은 fixed 우선순위는 제어방식 특성상 지연에 민감한 클래스의 셀을 순서적으로 서비스하는 방식으로, 클래스 1의 셀을 서비스하고, 클래스 1의 서비스가 완전히 끝나면, 즉 클래스 1에 해당하는 버퍼에 셀이 하나도 없을 경우에 클래스 3의 버퍼에 있는 셀을 서비스한다. 그리고 no priority 기법은 셀 손실율이 높음을 알 수 있는데 이는 no priority는 셀이 버퍼에 진입하는 순서대로 서비스를 하게 된다. 즉, 먼저 버퍼에 먼저 들어오는 순서대로 셀을 서비스를 하게 되므로 버퍼에 진입하는 셀이 비스듬한 경우는 셀 손실이 많고, 그렇지 않은 경우에는 셀 손실이 적다. 제안한 기법의 경우는 다른 비교 대상에 비해 부하에 따라 커다란 영향 없이 선형적으로 증가함으로써 안정된 셀 손실율을 보여주고 있으며 각 클래스의 셀 손실율과 부하에 따른 일정한 비율로 셀이 폐기되고 있으므로 한정된 자원에서 가장 효율적인 서비스를 할 수 있고, 지연 및 손실 우선순위를 만족시키고 있다. Front-end 기법의 경우 셀 손실율면에서는 class 1과 class 3에서는 성능이 다른 기법들에 비해 손실이 많이 되고 있는데 이는 class 2에서 셀 손실에 대한 보상이 상당히 이루어지고 있기 때문이며 지연에 따른 영향으로 보여진다. Fixed 기법은 지나친 클래스 1셀의 손실로 셀 손실로 인해 지연 우선순위를 만족할 수 있으나

손실 우선순위는 만족시킬 수 없는 단점이 있다.

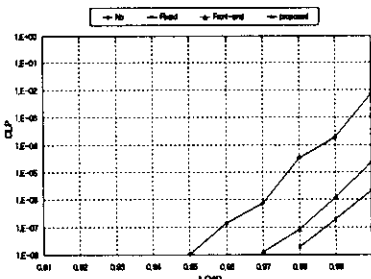


그림 4. Class 1의 셀 손실율

그림 5는 제안한 셀 스케줄링 제어기법만을 대상으로 평균 셀 지연율을 비교한 그림으로 지연율의 경우는 클래스 3의 지연율이 가장 낮고, 다음으로 클래스 1의 지연율이 클래스 3에 비해 큰 차이는 없지만 약간의 지연율이 낮음을 알 수 있고, 다음으로 클래스 2의 경우는 지연율 면에서 다른 두 클래스보다 현저히 낮음을 알 수 있다.

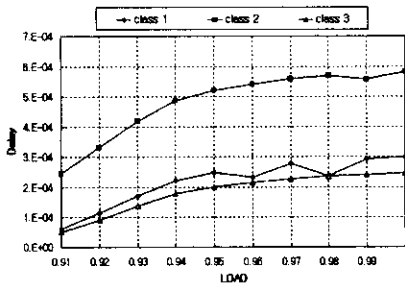


그림 5. 제안한 우선순위 제어에서 class 1, 2, 3의 평균지연율

그림 6은 제안된 우선순위 제어 모델에서의 셀 폐기 알고리즘인 알고리즘 I과 알고리즘 II(I을 포함)의 성능을 평가한 것이다.

알고리즘 II는 클래스 1과 클래스 2의 부하가 증가하거나 버스티한 데이터가 발생될 때 버퍼에 셀 손실에 민감한 클래스의 셀들로 채워지므로, 셀 손실에 민감하지 않은 클래스 3의 셀을 버퍼가 채워지기 전에 폐기시키는 알고리즘이다. 즉, 알고리즘 2를 사용함으로써 셀 손실에 민감한 클래스의 부하가 증가함에 따라 부분버퍼 기법의 이점을 살릴 수 있다. 제안된 우선순위 기법은 부하 변동에 따라 안정된 우선순위 제어를 수행할 수 있다.

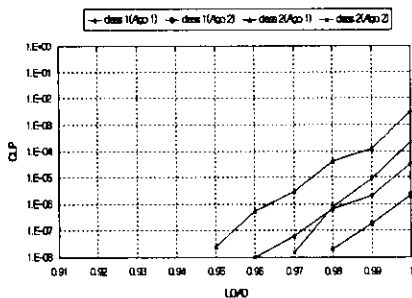


그림 6. 셀 손실면에서의 제안한 알고리즘 I, II의 비교

IV. 결 론

본 논문에서는 ATM 스위치의 출력버퍼에서 각 트래픽의 등급에 따라 다양한 손실율과 지연율을 갖는 트래픽에 대하여 실시간으로 폐기되는 셀의 비율을 측정하여, 셀 손실율의 비율을 제어함으로써 손실에 민감한 트래픽의 손실율을 줄이고, 지연에 민감한 트래픽에 대하여 지연율을 감소시킬 수 있는 새로운 셀 폐기 및 스케줄링 기법을 제안하였다. 기존의 셀 손실율의 제어에 있어 각 클래스 별로 셀 폐기율을 단순히 높고, 낮음의 두 가지로 구분하였던 이로 인해 서비스 등급별로 다른 셀 폐기율을 만족하지 못하는 문제점을 해결하기 위해 트래픽의 각 클래스별 셀 손실율의 비율을 제어하여 셀을 폐기할 수 있는 셀 폐기 제어 알고리즘 및 지연에 민감한 트래픽에 대해서는 평균지연율을 줄일 수 있도록 하고, 공통버퍼를 두어 각 클래스별로 독립된 버퍼를 사용함으로써 발생되는 버퍼의 효율성의 저하를 개선하여 버퍼의 효율성을 높였으며, 또한 유류 어드레스 버퍼를 두어 공통버퍼의 주소를 관리할 수 있도록 하였다. 그리고, 본 제안된 셀 폐기 알고리즘 및 스케줄링 기법의 성능을 평가하기 위하여 기존의 우선순위 제어 방식과 제안된 방식을 셀 손실율과 평균지연율을 시뮬레이션용 통하여 비교하였고, 제안한 셀 폐기 및 스케줄링 제어기법을 대상으로 알고리즘 I만을 적용시켰을 때와 알고리즘 II(알고리즘 I 포함)를 적용시켰을 때의 셀 손실율과 평균지연율을 비교·분석하였다. 시뮬레이션을 통한 분석결과 제안된 기법의 효율성을 검증하였으며, 앞으로의 연구과제로는 제안한 방식에 대한 셀 폐기율 및 평균지연율 대기행렬 모델에서 수리적인 분석을 할 필요성이 있다.

참고 문헌

- [1] Parviz Yegani, Marwan Krunz, and Herman Hughes, "Congestion Control Schemes in Prioritized ATM Networks," *ICC'94*, pp. 1169-1173. 1994.
- [2] Okada. T. H. Ohnishi and N. Morita, "Traffic Control in ATM." *IEEE Communication Magazine*. Sep. 1991.
- [3] A. Y. Lin and J. A. Silvestre, "Priority queueing strategies and buffer allocation protocols for traffic control at an ATM intergrated broadband switching system," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, no. 9, pp. 1524-1536, Dec. 1991
- [4] D. W. Petr and V. S. Frost, "Priority cell discarding for overload control in B-ISDN/ATM networks," *Intl. J. of Digital and Analog Commun.*, vol. 9, no. 3, pp. 418-427, Apr. 1991.
- [5] J. R. Jackson, "Some problems in queueing with dynamic priorities," *Naval Res. Logist. Quart.*, vol. 7, no. 3, 1960.
- [6] T. Yang, and J. Pan, "On optimality of a measurement-based loss scheduling scheme," *IEEE INFOCOM'96*, 1996.
- [7] Takashi Okuda, Haruo Akimaru, Kazunori Nagai, "Performance Evaluation for Multiclass Traffic in ATM Systems," *IEEE ICC '92*, 1992.
- [8] Aurel A. Lazer, etc. "Real Time Traffic Management on Magnet II," *IEEE JSAC Vol.8*, No.3, Apr,1990
- [9] Shem Tov Levi, Ashok K. Agrawala, "Real-Time System Design," Mc Graw-Hill, 1990.