

멀티미디어 서비스를 지원하는 적응적 분리 큐잉 ATM 스위치의 성능분석

임 철 수[†] · 박 병 섭^{††}

요 약

본 논문은 광대역 종합정보통신망(B-ISDN)의 핵심이 되는 ATM 망에 적합한 다중 출력링크를 갖는 ATM 스위치 구조를 적용하여, 멀티미디어 트래픽을 효과적으로 지원할 수 있는 적응적 분리 큐잉 방식의 ATM 스위칭 모델을 제안한다. 제안된 모델에서는 서로 다른 유형의 트래픽 처리에 대한 전반적인 서비스 품질(QoS)을 높이기 위해 출력버퍼에서 두 종류의 셀(즉, 실시간/비실시간 서비스 트래픽) 처리시 동적으로 분리된 버퍼링 매카니즘을 사용한다. 또한 여기에 적용할 ATM 스위치는 배처·베니안 망을 기본으로 하지만, 셀 충돌문제를 해결하기위해 이와는 다른 위상과 다른 제어기법을 사용하고 있다. 제안된 동적 분리 큐잉 매카니즘의 성능 평가를 위해 분석적 모델링과 함께 시뮬레이션을 수행하였으며, 제시된 성능분석 결과는 제안된 큐잉전략이 다중출력 링크를 갖는 ATM 스위치에 매우 적합하며, 멀티미디어 트래픽에 대한 QoS 요구사항을 보장할 수 있음을 보여준다.

Performance Analysis of Adaptive Separated-Queueing ATM Switch for Multimedia Services

Cheol-Su Lim[†] · Byoung-Seob Park^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose the adaptive separated-queueing ATM switching model for the effective processing of the various types of multimedia traffic by virtue of ATM switching network with multiple outlets which is the essential part of B-ISDN. This proposed model employs the dynamically separated buffering mechanism in the processing of two classes of cell, realtime service traffic and non-realtime service traffic, at the output buffer to enhance the overall QoS(Quality of Service). The adopted ATM switch architecture has Batched-banyan based network, but it uses different topologies and control techniques to resolve the cell contention. For the performance evaluation of our proposed method, we have done both analytical modeling and simulation. The both results show that our proposed queueing strategy is quite appropriate to the ATM switch with multiple outlets and can guarantee the QoS requirements of the incoming multimedia traffic.

* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 서경대학교 컴퓨터공학과 교수

†† 정 회 원 : 국방정보체계연구소 선임연구원

논문접수 : 1998년 6월 23일, 심사완료 : 1998년 10월 28일

1. 서 론

초기의 많은 ATM 트래픽 모델을 위한 스위치 구조 연구들은 하나의 트래픽 유형, 즉, 순수한 데이터 셀(cell, 또는 패킷)에 관한 고속 스위칭 패브릭에 대한 것에 집중되어있다[1]. 그러나, 통합된 서비스를 지원하기 위해서는 고속의 ATM 스위치는 서로 다른 서비스의 요구사항을 수용해야 함으로 실시간 및 비실시간 트래픽을 가진 멀티미디어 응용을 지원할 수 있어야 한다. 예를 들면, 대화형의 음성 같은 실시간 서비스(realtime services)는 그것이 어느 정도의 셀 손실을 가져오더라도, 매우 엄격한 지연과 지연 변화 요구사항을 충족 시켜야 한다. 텍스트 데이터와 같은 비-실시간 서비스(non-realtime services)는 엄격한 셀 손실 요구사항을 가져야하지만 어느 정도의 지연은 허용한다. 다음 표들은 ITU-T에서 정의한 QoS(Quality of Service) 기준값으로써, <표 1>은 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 셀 손실률(CLR : Cell Loss Rate) 목표값들을 나타내고, <표 2>는 비디오 서비스에 대한 지연(delay) 요구사항을 나타낸다[2].

<표 1> 멀티미디어서비스 CLR 요구사항
(Table 1) CLR Requirements of Multimedia Services

응 용	비트율	셀손실률*
비디오폰**	64Kbps-2Mbps	10^{-8}
비디오폰***	2Mbps	10^{-8}
화상회의***	5Mbps	4×10^{-9}
TV 분배***	20-50Mbps	10^{-10}
MPEG 1***	1.5Mbps	10^{-8}
MPEG 2***	10Mbps	2×10^{-9}

*AAL에서 에러 제어 없음, **CBR, ***VBR

<표 2> 양방향 음성/비디오 지연요구사항
(Table 2) Delay Requirements of Bidirectional Audio and Video Services

멀티미디어 서비스	지연(ms)
64Kbps 화상회의	300
1.5Mbps MPEG 비디오	5
20Mbps HDTV 비디오	0.8
16Kbps 압축 음성	30
256Kbps MPEG 음성	7

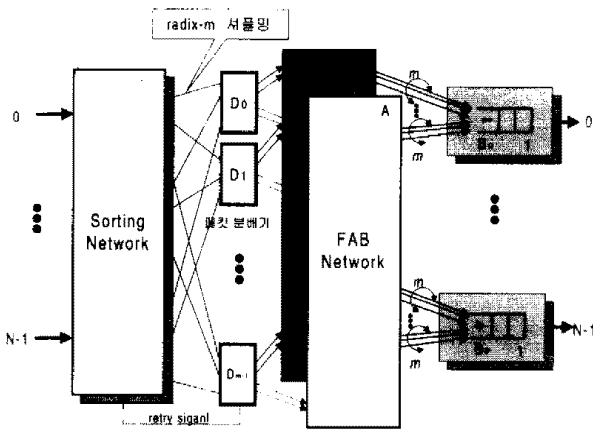
위와 같은 다양한 멀티미디어 데이터 유형의 셀들에 우선 순위를 도입하여 QoS를 유지하는 방법을 사용하여 왔다[3]. 많은 스위치 중에서 ATOM 스위치[4]가 통합된 데이터를 서비스하기 위해서 이러한 우선순위 기법을 사용하였다. 진술한 것처럼 멀티미디어 서비스는 광대역 서비스 특성을 필요로 하기 때문에 스위치의 높은 처리율을 요구하게 된다. 최근에 ATM 스위치 구조에 관한 활발한 연구에 따라 입력 및 출력 큐잉을 결합하여 적당한 스위칭 스피드업(speedup)이 처리율(throughput) 및 지연 성능의 향상을 가져올 수 있다는 사실이 입증되었다[5]. 이러한 ATM 스위치에서 입력 및 출력 큐잉을 다루는 문제는 많은 연구가 되어 왔는데, 특히, [6]에서는 균일 및 비균일 트래픽에 대해 출력 큐를 CP(Complete Partitioning), CS(Complete Sharing), PS(Partial Sharing), SMA(Sharing with Minimum Allocation) 기법의 4가지 다른 전략을 사용하여 분석하였다. 그러나 이 연구에는 ATM 트래픽에 대한 분석은 포함되지 않았다.

본 논문에서는 [7]에서 제안된 ATM 스위치 구조를 사용하여, 멀티미디어 트래픽 처리를 위한 적응적 분리 큐잉 전략(adaptive separated-queueing strategy)을 제시한다. 본 논문에서 적용할 ATM 스위칭 모델은 한 타임 슬롯안에 다수개의 셀이 동시에 출력 링크에 도달할 수 있는 다중 출구(multiple outlets)를 갖는 구조이기 때문에, 스위칭 처리율을 향상시킬 수가 있다. 그러나 많은 셀이 동시에 출력 버퍼에서 도착하여 버퍼 오버플로우의 발생으로 셀이 손실되는 경우가 일어날 수 있다. 따라서 적절한 셀 손실률과 지연시간 요구사항을 만족해야하는 멀티미디어 트래픽 처리에 있어서는 제한된 출력 버퍼 풀(buffer pool)을 효과적으로 관리해야한다. 이러한 근거에서, 본 논문에서 제안된 적응적(동적) 분리 큐잉 모델은 제한된 출력 버퍼 영역을 트래픽 유형에 따라 동적으로 할당함으로써 데이터의 손실률과 전송지연에 관한 멀티미디어 데이터의 QoS 요구사항을 효과적으로 만족시킨다고 할 수 있다.

2. 멀티미디어 서비스를 지원하는 스위치 구조

대용량의 멀티미디어 트래픽 처리시 스위치 처리율 및 스피드업을 향상시키기 위한 전략으로 다중 출구형

대를 갖는 많은 스위치들이 제안되어 왔다[7, 8]. 그러나 이러한 스위칭 구조들은 여러 개의 셀을 동일한 목적지로 전송하기 위해 많은 수의 베니안 망(banyan network)을 병렬, 또는 직렬로 연결하는 방법을 취해 왔다. 본 논문에서 적용할 ATM 스위칭 모델은 (그림 1)과 같은 구조를 가지며, 위에서 언급한 문제들에 적절히 대처할 수 있는 기능적 구조를 가지고 있다[7]. 이 스위치는 입력 제어기(input controller), 배치 정렬기(Batcher sorter), radix- m (m =그룹핑 크기) 이중-셔플망(double shuffle network), m -패킷 분배기(packet distributor), FAB(Fat Banyan network) 망, 그리고 출력 MUX 및 버퍼로 구성된다. (그림 1)은 $2m$ 개의 셀을 동시에 동일한 출력라인으로 전송할 수 있으며, H/W 비용이 저렴한 FBSF(FAB Banyan Switching Fabrics) 스위치 구조를 보여주고 있다. 스위치 앞단은 셀을 목적지 주소순으로 정렬하는 기능을 갖는 배치-정렬기가 있고, 정렬된 셀들은 radix- m 셔플망과 패킷 분배기를 통해 다음에 연결된 FAB(Fat Banyan) 망에서 블럭킹없이 목적지로 라우팅할 수 있다.



(그림 1) 멀티미디어 트래픽을 지원하는 광대역 ATM 스위칭 모델
(Fig. 1) Broadband ATM Switching Model for Multimedia Traffic

3. 적응적 분리 큐잉 모델

3.1 멀티미디어 트래픽 유형

트래픽 유형은 ATM의 트래픽 분류에 따라서 실시간 서비스(class 1)를 요구하는 CBR(Constant Bit Rate)과 rt-VBR(real-time Variable Bit Rate), 그리고 비-실시간 서비스(class 2)인 nrt-VBR(non-real time

VBR)과 UBR(Unspecified Bit Rate)으로 구분하며[2], 도착하는 각 셀들은 서로 독립적이어서 상호간에 연관성이 없는 것으로 가정한다. CBR 트래픽 모델은 분명한 대역폭 보장과 최소의 셀 손실과 셀 지연시간 차이가 일정하게 보장되므로, 실시간 응용인 음성 정보나 지속적인 비트율이 요구되는 화상 정보등을 전송하는데 적당하며, 항등 셀 스트림을 생성하기 위해 AAL1에 의해서 처리된다. 일반적으로 VBR은 rt-VBR과 nrt-VBR로 세분할 수 있는데, rt-VBR은 휴지 기간(silence period)를 지닌 정보인 음성이나 화상 정보를 제공할 때 사용할 수 있는 트래픽 모델이다. nrt-VBR은 전송 지연에 다소 영향을 덜 받는 트랜잭션 데이터의 전송을 위해 개발된 트래픽 모델이다. 따라서 VBR은 BoD(Bandwidth on Demand), 트래픽의 지연변화 같은 응용을 운용하는데 적당하다. 일반적으로, UBR 트래픽 모델은 셀 손실과 지연시간 차이에 대한 보장이 없는 트래픽을 처리하는 모델로 CBR과 VBR 트래픽에서 사용하지 않는 트렁크 대역폭의 나머지 양을 사용할 수 있도록 설계된 트래픽 모델이다. 이 모델은 네트워크 트래픽 밀집에 대한 피드백이 불가능한 개방 루프(open loop) 서비스를 제공한다. 또한 스위치에 오버로드가 발생하면 셀을 단순히 버리는 Leaky Bucket[2]으로 설계된 트래픽 모델이므로 예상되는 셀 손실률이 높아 처리량의 성공률이 50% 이하로 떨어질 수 있다.

본 논문에서의 고려할 트래픽 중 class 1은 엄격한 지연 요구사항을 갖는 실시간 트래픽을 포함하며, class 2는 어느 정도의 지연은 허용하지만, 셀 손실 확률에 대한 엄격한 요구사항을 갖는 트래픽으로 고려한다. class 1 트래픽은 지연에 민감하며, 종단(end-to-end)간에 D(Deadline) 시간단위 이상의 지연을 갖는 셀이 없음을 보장해야 한다. 한편 class 2 트래픽은 데이터와 같은 셀 손실에 민감한 트래픽으로, 순수한 데이터 전송은 고도의 신뢰성이 보장되어야 한다($\leq 10^{-11}$). 음성도 어느 정도의 셀 손실률이 유지되어야 하며($\leq 10^{-4}$), 압축된 비디오는 음성과 데이터 사이의 범위에서 손실 허용율을 갖는다($\leq 10^{-9}$)[2].

3.2 버퍼제어 및 트래픽 모델링

출력버퍼에서는 다른 유형의 트래픽이 동적으로 분리되도록 하는 버퍼 메커니즘을 사용한다. 출력 포트에

식 실시간의 음성 셀은 높은 우선 순위가 주어지므로 새로이 도착한 음성 셀은 현재 서비스중인 데이터 셀을 인터럽트하여, 선점 우선순위(preemptive priority) 전략을 만들 수가 있다. 비-실시간 셀은 낮은 셀 손실률을 유지하기 위해 충분한 버퍼 용량이 주어져야 한다. 출력 포트 i 의 전체 버퍼 크기가 b_i 라면, 비-실시간 셀을 위해서는 b_i^n (비-실시간 버퍼영역), 실시간 셀을 위해서는 b_i^r (실시간 버퍼 영역) 크기로 할당한다. p_i^r 을 입력되는 셀이 i -번째 출력포트로 향하는 실시간 셀일 확률이라고 정의하면, $1-p_i^r(=p_i^n)$ 은 비-실시간 셀에 대한 확률값을 나타낸다. 따라서 $p_i^r=0$ 일 때, $b_i^r=0$, $b_i^n=b_i$ 이고, $p_i^n=0$ 이면, $b_i^r=b_i$, $b_i^n=0$ 이다. 따라서 전술한 것과 같은 버퍼 할당 기법을 사용할 수 있다. 한 시간 슬롯에 i -번째 출력 포트(또는 i -번째 출력 버퍼)로 향하는 셀이 정확히 k 개가 존재할 확률은 pgf(probability generating function), $A_i(z) \equiv \sum_{k=0}^N a_k \cdot z^k$ 를 갖는 이항분포로 식(1)과 같이 계산된다;

$$a_k = \binom{N}{k} \left(\frac{\rho}{N}\right)^k \left(1 - \frac{\rho}{N}\right)^{N-k} \equiv B(N, k, \frac{\rho}{N}) \quad (1)$$

여기서 N 은 망 크기이고, ρ 는 입력 부하(traffic load)이다. 그리고 A_i^r 과 A_i^n 를 각각 태그된 출력 포트 i 에 도달한 비-실시간 및 실시간 셀 수라고 하면, i -번째 출력 버퍼로 최대한 전송할 수 있는 셀 수는 $2m$ 개이므로, 출력 포트에 도달한 k 개 셀 중에서 비-실시간 셀 수 및 실시간 셀 수는 식 (2)와 같다;

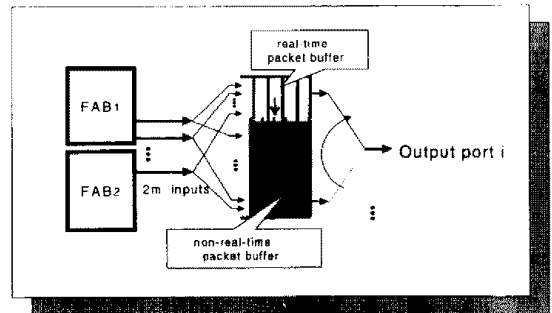
$$\begin{aligned} A_i^r(k) &= \sum_{j=k}^{2m} a_j \cdot \binom{j}{k} (P_i^r)^k (1 - P_i^r)^{j-k} \\ A_i^n(k) &= \sum_{j=k}^{2m} a_j \cdot \binom{j}{k} (1 - P_i^r)^k (P_i^r)^{j-k} \end{aligned} \quad (2)$$

먼저 셀 손실에 민감한 비-실시간 데이터를 고려한다. 비-실시간 버퍼가 한 타임 슬롯내에 최대 b_i^n 개까지의 셀을 수용할 수 있다고 가정하면, b_i^n 보다 더 많은 셀의 도착으로 인하여 출력 버퍼에서 손실되는 비-실시간 셀의 평균 수는 식 (3)과 같이 계산된다;

$$E_i^n = \delta \cdot \left[\sum_{k=b_i^n+1}^{2m} (k - b_i^n) A_i^n(k) \right] \quad (3)$$

여기서 $\delta(=P_i^r(0)A_i^r(0))$ 는 더 이상 서비스할 비-실시간 셀이 없어 서버가 실시간 큐로 전환될 확률이다. 순수한 데이터의 셀 손실률을 10^{-11} 이하로 하는 매개변수 $p_i^r(=1-p_i^n)$ 값을 결정하여 셀 손실에 민감한 비-실시간 트래픽을 위한 버퍼 크기를 먼저 결정한다. 버퍼할당 전략을 위해, $\Psi_i^r = \{\min p_i^r | E_i^n \leq 10^{-11}\}$ 함수를 정의하며, 각 트래픽에 따른 적정량의 버퍼 크기는 $b_i^r = (1 - \Psi_i^r)^n \cdot b_i$, $b_i^n = b_i - b_i^r$ 로 결정한다.

따라서 버퍼 할당 전략을 결정하는데 있어서, α 를 설계 매개변수로 사용할 수 있으며, 실시간 및 비-실시간 셀의 성능 요구사항에 따라 이 값을 조정할 수 있다. (그림 2)는 적응적 분리 버퍼 할당 전략을 그림으로 도시한 것이다.



(그림 2) 출력 버퍼 풀 b_i 의 동적 분할
(Fig. 2) Dynamic Split of Output Buffer Pool b_i

3.3 적응적 분리 버퍼의 큐잉 분석

$q_i^r(t)$ 와 $q_i^n(t)$ 를 t -타임 슬롯의 끝에서 각각 실시간 큐와 비-실시간 큐에 있는 셀의 갯수라고 하면, 실시간 셀의 높은 우선 순위에 의해 각 큐의 갯수는 다음 식(4)와 같은 순환식으로 부터 구한다.

$$\begin{aligned} q_i^r(t) &= \min \{b_i^r, \max \{0, q_i^r(t-1) + A_i^r - 1\}\} \\ q_i^n(t) &= \begin{cases} \min \{b_i^n, \max \{0, q_i^n(t-1) + A_i^n - 1\}\}, & \text{if } q_i^r(t-1) = 0, A_i^r = 0; \\ \min \{b_i^n, q_i^n(t-1) + A_i^n\} & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4) \end{aligned}$$

시스템 상태, $(q_i^r(t), q_i^n(t))$ 는 다음 식 (5)와 같은 상태전이확률을 갖는 2-차원 마코프-체인을 구성한다;

$$\begin{aligned} \pi(j, w, i, v) &\equiv \Pr\{q_i^r(t) = j, q_i^n(t) = w \mid q_i^r(t-1) \\ &= i, q_i^n(t-1) = v\} \end{aligned} \quad (5)$$

따라서 안정상태 분포 $P(j, w) = \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{q_i^r = j, q_i^n = w\}$ 은 다음의 식(6)과 같은 상태 균형 방정식을 사용하여 구할 수 있다;

$$\begin{aligned} P(j, w) &= \sum_{i=0}^{b_i^r} \sum_{v=0}^{b_i^n} \pi(j, w, i, v) P(i, v), \\ \sum_{j=0}^{b_i^r} \sum_{w=0}^{b_i^n} P(j, w) &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)의 선형 상태 방정식을 풀어서, $P(j, w)$ 을 구한 후에, 식 (7)과 같은 실시간 큐와 비-실시간 큐의 안정 상태 큐 길이 분포, $P_i^r(j)$, $P_i^n(w)$ 를 구한다;

$$P_i^r(j) = \sum_{w=0}^{b_i^n} P(j, w), \quad P_i^n(w) = \sum_{j=0}^{b_i^r} P(j, w) \quad (7)$$

4. 성능 분석

이 절에서는 멀티미디어 트래픽의 성능 모델링시, QoS 요구사항을 가장 잘 반영할 수 있는 성능 척도로써 평균 큐 대기시간(average waiting time)과 셀 손실률(cell loss rate)을 실시간 트래픽과 비-실시간 트래픽으로 구분하여 분석한다. 한 셀이 출력 큐에서 출력 트렁크로 전송되는 데는 한 타임 슬롯이 소요된다고 가정한다.

4.1 실시간 큐의 분석

실시간 큐의 평균 큐 길이는 식 (8)과 같이 구할 수 있다;

$$\overline{Q_i^r} = \sum_{j=1}^{b_i^r} j \cdot P_i^r(j) \quad (8)$$

태그된 하나의 실시간 셀의 평균 대기 시간은 다음과 같은 두 개의 독립적인 항목으로 구성된다. 첫 번째는 이미 실시간 버퍼에 존재하는 셀의 전송에 기인하여 대기하는 시간, 즉 $\overline{Q_i^r}$ 이고, 또 다른 항목은 동일한 시간에 도착되는 여러 실시간 셀중의 하나가 임의 순서로 버퍼에 입력될 때, 다른 셀의 전송에 기인하여 생기는 대기시간, 즉 식 (9)와 같다;

$$\overline{T_i^r} = \frac{\sum_{k=2}^{2m} k(k-1)A_i^r(k)}{2 \sum_{k=1}^{2m} kA_i^r(k)} \quad (9)$$

따라서 평균 대기시간은 식 (10)과 같이 구할 수 있다;

$$\overline{W_i^r} = \overline{Q_i^r} + \overline{T_i^r} \quad (10)$$

또한 실시간 셀 손실률도 위에서 구한 비-실시간인 경우와 유사하게 구할 수 있다;

$$E_i^r = \sum_{k=b_i^r+1}^{2m} (k-b_i^r)A_i^r(k) \quad (11)$$

4.2 비-실시간 큐의 분석

비 실시간 큐의 평균 큐 길이와 셀 손실률은 실시간인 경우와 같은 방법으로 구할 수 있다. 먼저 평균 큐 길이는 식 (12)와 같고,

$$\overline{Q_i^n} = \sum_{w=1}^{b_i^n} w \cdot P_i^n(w) \quad (12)$$

셀 손실률은 식 (13)과 같다;

$$E_i^n = \xi \cdot \left[\sum_{k=b_i^n+1}^{2m} (k-b_i^n)A_i^n(k) \right] \quad (13)$$

여기서 $\xi (= P_i^r(0)A_i^r(0))$ 는 더 이상 서비스할 실시간 셀이 없어 서버가 비-실시간 큐로 전환될 확률이다. 태그된 비-실시간 셀의 대기 시간은 세가지 항목으로 구성된다; 첫 번째 항목은 태그된 비-실시간 셀이 도착하였을 때, 실시간 큐와 비-실시간 큐에 이미 존재하는 셀의 전송에 기인하는 시간으로, $\overline{W_{i,1}^n} = \overline{Q_i^r} + \overline{Q_i^n}$ 이다. 두 번째 항목은 현재 슬롯에 동시에 도착한 셀중에서 실시간 셀의 전송과 태그된 비-실시간 셀이 도착하기 전에 서비스를 받고있는 비-실시간 셀에 기인하며, 이 시간은 식 (14)와 같다;

$$\overline{W_{i,2}^n} = \sum_{k=1}^{2m} kA_i^r(k) + \frac{\sum_{k=2}^{2m} k(k-1)A_i^n(k)}{2 \sum_{k=1}^{2m} kA_i^r(k)} \quad (14)$$

식 (14)에서, 첫 번째 항 $\sum_{k=1}^{2m} kA_i^r(k) \equiv \rho_r$ 은 하나의 타임 슬롯에 도착하는 평균 실시간 셀의 수이고, 두 번째 항은 다른 비-실시간 셀의 동시도착에 따른

대크된 비-실시간 셀의 평균 대기시간이다. 세 번째 항목은 대크된 비-실시간 셀이 큐에서 기다리는 동안 도착한 실시간 셀의 전송에 기인한다. 이 시간은 Little의 공식에 의해, $\overline{W}_{i,3} = \rho_r \overline{W}_i^n$ 가 된다. 따라서 비-실시간 셀의 평균 대기시간 \overline{W}_i^n 는 식 (15)와 같다:

$$\overline{W}_i^n = \left(\overline{Q}_i^r + \overline{Q}_i^n + \rho_r + \frac{\sum_{k=2}^{2m} k(k-1)A_i^n(k)}{2 \sum_{k=1}^{2m} kA_i^n(k)} \right) / (1 - \rho_r) \quad (15)$$

ρ_r 은 ρ_i^n 이 커질 때 증가되므로, 비-실시간 셀의 평균 대기시간은 ρ_i^n 가 증가될 때, 늘어난다.

4.3 적응적 분리 출력 큐의 성능평가결과

본 논문에서 고려되는 트래픽 서비스의 종류는 실시간 서비스인 class 1 트래픽과 비-실시간 서비스인 class 2 트래픽이며, 입력 트래픽은 다시 크게 실시간(CBR, rt-VBR) 및 비-실시간(nrt-VBR, UBR) 트래픽으로 분류하였다. 동적 분리 큐의 성능을 분석하기 위해서 수치적 분석(numerical analysis)과 COMNET III[9]를 통한 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 수치적 결과 분석을 위해 그룹핑 크기인 m 값을 4, 그리고 전체 버퍼 크기 b_i 를 50으로 가정하였다. 분리된 각 버퍼 풀의 크기는 각 트래픽에 대한 성능 요구사항을 만족하는 Ψ_i^n 와 α 에 의해서 결정된다. 다음 <표 3>은 $\alpha=0.15$ 일 때, Ψ_i^n 값 변화에 따른 버퍼 할당 결과를 보여준다.

<표 3> Ψ_i^n 에 따른 버퍼의 분할

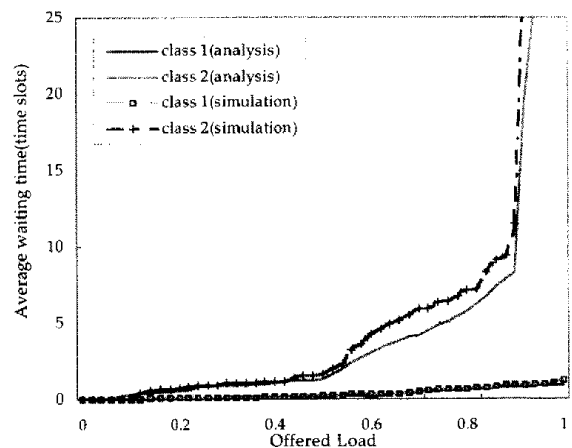
<Table 3> Buffer Split based on Ψ_i^n

Ψ_i^n	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
b_i^r	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b_i^n	49	48	47	46	45	44	43	42	41

COMNET III 시뮬레이터의 상위 레벨 모듈은 입력 트래픽 모델링 부분(Source), 트래픽 처리 부분(Proc Node), 배치-정렬기 모듈(Batcher), 패킷 분배기 모듈(P/D), 2개의 FAB 모듈(FAB1&2), 그리고 출력 버퍼를 포함하는 출력 모듈(Sink node)등으로 구분된다. 각

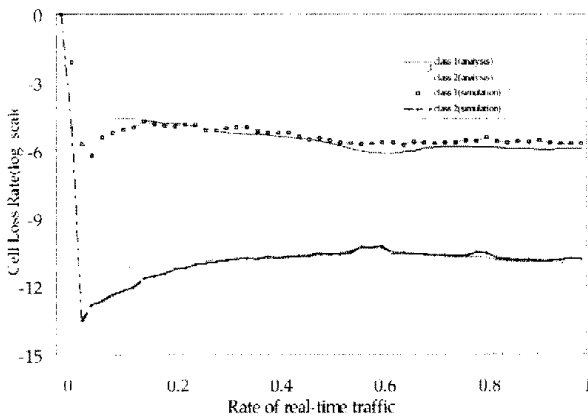
각의 기능은 앞절에서 설명한 각 스위치 구성 요소의 기능을 수행하는 모듈이다. 스위치의 기본 요소인 스위칭 소자(Switching Element)는 2x2 크로스바(cross bar)로 COMNET III의 C&C(Computer & Communication) 노드를 사용하여 모델링 한다. 특히 CBR과 VBR은 연결-지향형 트래픽이므로 COMNET III의 세션 소스(session source)를 사용하며, UBR은 비연결-지향 트래픽이므로 메시지 소스(message source)를 사용하여 모델링 한다. 각 트래픽 생성기에서 트래픽 처리 노드로의 연결과 스위치 마지막 단에서 싱크 노드로의 연결은 OC-3(155Mbps) 링크를 가정한다. 각 CBR의 셀 도착율은 지수 분포를 가정하며, 메시지 크기는 항등 확률 분포를 사용하여 결정한다. CBR은 항등 비율 트래픽 스트림을 생성하기 위해 AAL 1 매개변수를 사용한다. VBR의 경우, nrt-VBR은 rt-VBR보다 더 높은 MBS(Maximum Burst Size)로 설정한다. VBR은 ON-OFF 모델을 사용하여 모델링한다. VBR의 경우 수송 프로토콜하에서 기본 프로토콜 매개변수는 AAL 3/4 매개변수 값을 적용하였다. UBR 트래픽을 모델링하기 위해서는 COMNET III의 메시지 소스를 사용하는데, 메시지 소스의 매개변수는 셀 도착간격, 메시지의 목적지를 결정한다. UBR 모델링을 위해 AAL5 매개변수를 적용하였다.

(그림 3)은 적응적 분리 큐잉 기법 적용시 실시간 트래픽 비율(Ψ_i^n)에 대한 셀 손실률을 로그 단위(log scale)로 보여준다. 먼저 수치적 분석 결과에 따르면, 전체 트래픽중에서 실시간 트래픽 양인 Ψ_i^n 가 30% 이



(그림 3) 적응적 분리 큐잉 전략에서의 평균 대기 시간 (Fig. 3) Average Waiting Time in Adaptive Separated-Queueing

상일 때, 각 트래픽 유형에 대하여 실시간 규의 셀 손실률은 10^{-3} 보다 작고, 비 실시간의 경우에는 10^{-11} 이하임을 알 수 있다. 시뮬레이션 수행 결과는 초기 스위치 부하가 적을 때는 더 낮은 셀 손실률을 보이다가 어느 정도의 부하(≤ 0.35)에 이르면 두 트래픽 모두에 대하여 수치적 결과보다는 다소 높은 셀 손실률을 보여 주었다. 한편 전체 트래픽을 하나의 통합된 트래픽으로 보고 순수한 출력 큐잉정책을 사용했을 때의 셀 손실률은 약 10^{-6} (입력 부하=0.8, 버퍼크기=50, $m=4$ 일 경우)으로 산출되었는데[7], 이 결과로 보아 다양한 멀티미디어 트래픽의 QoS 요구사항을 만족시켜야 하는 경우 순수한 출력 큐잉 보다는 동적인 분리 큐잉 정책이 더 효율적임을 알 수 있다.



(그림 4) 적응적 분리큐에서 실시간트래픽 Ψ_1^r 에 대한 셀손실률

(Fig. 4) Cell Loss Rate of Ψ_1^r in Adaptive Separated-Queueing

(그림 4)의 그래프는 $\alpha=0.15$, $\Psi_1^r=45\%$, 그리고 버퍼 크기=50일 때, 두 트래픽의 평균 대기 시간을 비교한 것이다. 이 그래프에서 보듯 class 1 트래픽인 실시간 트래픽은 출력 큐에서의 지연 시간이 매우 작음 반면 class 2 트래픽인 비-실시간 트래픽은 부하 증가시 커다란 지연시간을 갖는다. 이것은 출력 트렁크에 대한 class 1의 상대적인 높은 우선 순위가 기인하여 출력 트렁크로 빠른 시간 내에 출력이 가능하기 때문이다. 또한 전체 트래픽을 하나의 통합된 트래픽으로 보고 순수한 출력 큐잉 전략을 사용했을 때의 평균 대기 시간은 약 2.6 time slots(입력 부하=0.8, $m=4$ 일 경우)으로 측정 되었으며[7], 이것을 두 개의 트래픽을 나누

었을 때는 입력 부하 0.8정도에서 실시간 트래픽이 약 0.15 time slots, 비 실시간 트래픽이 약 5.86 time slots 으로 측정되었다.

한편 실시간 트래픽의 경우는 부하가 증가하여도 큐에서의 대기시간 변화가 적었으나, 비-실시간 트래픽의 경우, 0.9 이상의 트래픽 부하를 주었을 경우 거의 기하급수적으로 증가하였다. 이러한 전체적인 분석 결과로 볼 때, 평균 큐 대기 시간도 통합된 단일 출력 버퍼 관리보다는 분리된 버퍼에 의한 적응적 분리 큐잉정책이 더 효과적임을 알 수 있다.

5. 결 론

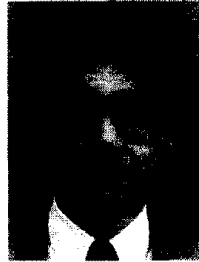
본 논문에서는 멀티미디어 응용 서비스에 적합한 다중 출구를 갖는 ATM 스위칭 모델을 적용하여, 다양한 서비스 트래픽의 성능을 분석하였다. 적용한 ATM 스위칭 모델은 한 시간슬롯내에 다수 개의 셀을 동시에 출력 버퍼로 전송할 수 있는 능력을 가진다. 또한 입력 트래픽의 적절한 QoS 요구사항을 반영하기 위해서 스위치의 출력 큐를 동적으로 관리하는 적응적 분리 큐잉 정책을 제안하였다. 제안된 버퍼링 전략은 입력 트래픽의 유형에 따라 제한된 버퍼 풀을 셀 손실률 및 지연시간 요구사항에 적합하게 두 개의 버퍼 영역으로 나누는 방식이다. 적용한 ATM 스위칭 모델이 평대역 트래픽을 수용할 수 있는 모델이므로, 이러한 버퍼 풀 관리 정책이 성능 측면에서 매우 효과적임을 수치적 분석과 COMNET III을 통한 시뮬레이션을 통하여 입증 하였다. 이에따라 분석된 결과는 제안된 적응적 분리 큐잉 전략을 적용한 ATM 스위치가 실시간 및 비-실시간 트래픽 유형에 대한 적절한 QoS 요구사항을 보장하며, 다양한 형태의 멀티미디어 트래픽을 효과적으로 지원 가능함을 보여준다.

참 고 문 헌

[1] P. Newman, "ATM technology for corporate networks," *IEEE Communication, Mag.*, pp.90-101, Apr. 1992.
 [2] ITU-T IVS Baseline Document, SG XVIII-R, Jun. 1992.
 [3] S.Z. Shaikh, M. Schwqrts, and T.H. Szymanski,

"Analysis, Control and Design of Crossbar and Banyan Network based Broadband Packet Switches for Integrated Services," *IEEE ICC'90*, pp.761-765, 1990.

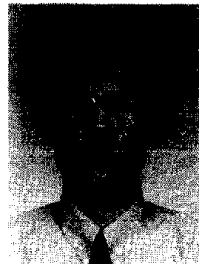
- [4] R. Fan, H. Suzuki, K. Yamada, and N. Matsuura, "Expandable ATOM switch architecture (XATOM) for ATM LANs," *IEEE ICC'94*, 1994.
- [5] M.J. Karol, M.G. Hluchyj, and S.P. Morgan, "Input Versue Output Queueing on a Space-Division Packet Switch," *IEEE Trans. on Communication*, Vol.COM-35, No.12, pp.1347-1356, Dec. 1987.
- [6] B.R. Collier and H.S. Kim, "Efficient Analysis of Shared Buffer Management Strategies in ATM Networks under Non-Uniform Bursty Traffic," *IEEE ICC'96*, pp.671-678, 1996.
- [7] ByoungSeob Park and SungChun Kim, "FBSF : A New Fast Packet Switching Fabric based-on Multistage Interconnection Network with Multiple Outlets," *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol.E80-D, No.9, pp.847-853, 1997.
- [8] T. Hanawa, H. Amano, and Y. Fujikawa, "Multistage Interconnection Networks with Multiple Outlets," *ICPP*, pp.I-1~I-8, 1994.
- [9] CACI Co., COMNET III, Release 1.3, 1996.



임철수

e-mail : cslim@bukak.seokyeong.ac.kr
 1985년 서울대학교 계산통계학과 (학사)
 1988년 Indiana University(석사)
 1995년 서강대학교 대학원 전자계산학과(박사)

1985년~1986년 (주)DACOM 연구원
 1989년~1993년 (주)아시아항공 선임연구원
 1994년~1996년 (주)신세기통신 선임과장
 1997년~현재 서경대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 멀티미디어 시스템, ATM 스위치 설계



박병섭

e-mail : pbs@idis.or.kr
 1989년 충북대학교 공과대학 컴퓨터공학과(학사)
 1991년 서강대학교 대학원 전자계산학과(석사)
 1991년 9월~1997년 서강대학교 대학원 전자계산학과(박사)

1997년~현재 국방정보체계연구소 선임연구원
 관심분야 : ATM망 성능평가, ATM 스위치 설계, 무선 ATM