

## 탠덤크로스포인트 멀티캐스트 ATM 스위치 연구

김 홍 렬\*

### A Study on Multicast ATM Switch with Tandem Crosspoints

Kim-Hong Ryul \*

#### 요 약

본 논문에서는 출력 버퍼형 탠덤크로스포인트 멀티캐스트 ATM 스위치인 MICOS 스위치를 제안한다. MICOS 스위치는 라우팅 구조가 간단한 다수의 크로스포인트 스위치 패브릭으로 구성된 TCSF와 효율적 멀티캐스팅을 위한 집중화기 출력 버퍼로 구성된다. TCSF는 셀프 라우팅 크로스바 스위치가 갖는 셀 지연 편차 문제를 개선하고, 또한 하나의 입력에서 다수 출력 포트들로 다수의 동시 경로를 제공하며, 간단한 소프트웨어적 설정을 통해 다중 채널 스위칭을 제공하며, 확장성, 고성능, 모듈화 특성을 갖는다. MICOS에서 제공되는 공유 트래픽 집중화 및 출력 큐잉 방식은 다양한 멀티캐스트 트래픽에 대해 낮은 셀 손실율과 낮은 지연시간을 보인다. 또한 동일 Knockout 집중화율을 달성하기 위해 SCOQ와 Knockout 멀티캐스트 스위치 보다 낮은 하드웨어 복잡도를 갖는다. 해석적 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 임의의 트래픽에 대해 제안된 스위치가 높은 성능을 달성할 수 있음을 보였다.

#### Abstract

This paper proposes a new output-buffered multicast ATM switch with tandem crosspoints switching fabric, named the MICOS(Multicast Tandem Crosspoint Output-buffered Switch). The MICOS consists of multiple simple crosspoint switch fabrics, named TCSF(Tandem Crosspoint Switch Fabric), and concentrated output buffers for efficient multicasting. The TCSF resolves the cell delay deviation problem which the self-routing crossbar switches inherently have. Further, it offers multiple concurrent paths from one input to multiple output ports. It also provides multi-channel switching by easy software configuration and has several desirable characteristics such as scalability, high performance, and modularity. A shared traffic concentration and output queuing strategies of the MICOS results in lower cell loss as well as lower cell delay time over a wide range of multicast traffic. Furthermore, it has lower hardware complexity than that of the SCOQ and Knockout multicast switch to achieve the same Knockout concentration rate as the conventional switches. It is shown that the proposed switch can be easily applied to design high performance for any multicast traffic by analytic analysis and computer simulation.

▶ Keyword : 멀티캐스트 스위치(multicast switch), 셀 손실율(cell loss rate), 스위치 패브릭 (switch fabric), 버스티 트래픽(bursty traffic)

---

• 제1저자 : 김홍렬  
• 접수일 : 2005.11.10, 심사완료일 : 2005.12.02  
\*동서울대학 컴퓨터정보과 조교수

## I. 서론

실시간 멀티미디어 서비스와 비디오 스트리밍, 원격 화상 회의(teleconferencing) 등의 멀티캐스트 트래픽의 처리를 위해 ATM 스위치에서 데이터 패킷 멀티캐스팅(multicasting) 기능이 필연적이다. ATM 스위치의 멀티캐스팅 기능은 한 발신측(source)의 셀을 다수 수신측(destination)으로 동시에 빨리 효율적으로 전송하는 것이다. 멀티캐스트 ATM 스위치를 설계할 때 1) 효율적 셀 복사 방식, 2) 복사 셀의 효율적 라우팅을 위한 어드레싱 구조, 3) 멀티캐스팅으로 인한 스위치 성능저하 방지 방안, 4) 복사 및 라우팅에서의 셀 순서(cell sequence) 유지 및 향후 용이한 확장을 위한 모듈화 방안 등이 반드시 고려되어야 한다.

셀 복사 및 라우팅 방식에 따라 공유 메모리(shared memory), 공유 매체(shared medium) 및 공간 분할(space division) 형태의 다수 멀티캐스트 스위치들이 제안되었으나 공유 메모리형 및 공유 매체형은 모든 입력 트래픽들이 의 N 배 입력 라인 속도로 멀티플렉싱 되어야 하므로 스위치 크기 확장에 제한이 있고, 트래픽의 중앙 집중 제어가 요구되는 단점이 있다.

이에 비해 공간 분할 스위치는 입출력 간에 입력라인 속도와 동일한 다수 동시 경로가 제공되며, 스위치 패브릭을 통해 트래픽의 분산 제어가 가능한 장점이 있다[1]-[5][7][8].

본 논문에서는 내부 버퍼가 없고 유니캐스트/멀티캐스트 트래픽 제어능력과 간단한 제어 로직으로 구성된 새로운 매트릭스 형태의 공간분할 스위칭 패브릭인 TCSF(Tandem Crosspoint Switch Fabric)와 TCSF를 스위칭 모듈로 한 브로드캐스트 형 공간분할 멀티캐스트 ATM 스위치인 MTCOS(Multicast Tandem Crosspoint Output-buffered Switch)를 제안하고 해석적 방법 및 시뮬레이션을 통해 성능을 평가한다.

II장에서는 스위칭 패브릭인 TCSF와 출력 버퍼형 멀티캐스트 ATM 스위치인 MTCOS를 제안한다. III장에서는 해석적 분석과 시뮬레이션을 통해 제안된 MTCOS 스위치 성능을 평가한다. IV장에서는 결론과 향후 과제에 대해 기술한다.

## II. MTCOS 스위치 구조

제안된 MTCOS 스위치 (그림 1)는 입력 셀 복사를 위한 부가 하드웨어 없이 멀티캐스트 셀 복사 및 복사된 셀들의 라우팅 및 출력 경합제어의 분산 제어가 가능한 출력 버퍼형 공간 분할 멀티캐스트 ATM 스위치이다.

MTCOS의 스위칭 패브릭인 TCSF의 스위칭 소자(CSF)는 균일하고 규칙적으로 상호 연결되는 구조로 라우팅 동기화와 멀티캐스트 셀의 복사 및 라우팅의 분산 제어가 가능하며, Knockout 및 SCOQ 스위치보다 낮은 하드웨어 복잡도로 동일한 비율의 N:L 입력 트래픽 집중화가 가능하다.

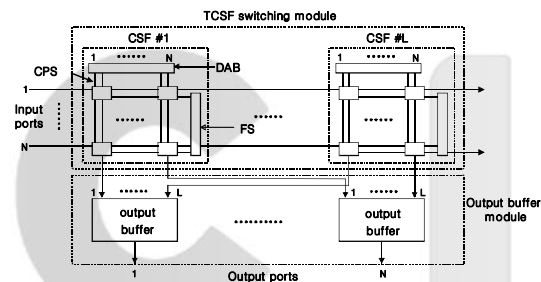


그림 1. MTCOS 스위치 구조  
Fig. 1. MTCOS switch structure

(그림 1)과 같이  $N \times N$  MTCOS 스위치는 멀티캐스트 셀의 효율적 복사 및 라우팅을 위한  $N \times N$  CPS를 갖는 L 개 탠덤 CSF와 N 개의  $L \times 1$  출력 버퍼 모듈로 구성된다. 각 CSF 수평 출력 링크(horizontal output links)들은 다음 단(stage) CSF 입력과 연결되고, 각 수직 출력 링크(vertical output links)들은 해당 출력 버퍼와 연결된다. 단 마지막 단의 수평 출력 링크들은 종단(termination) 된다.

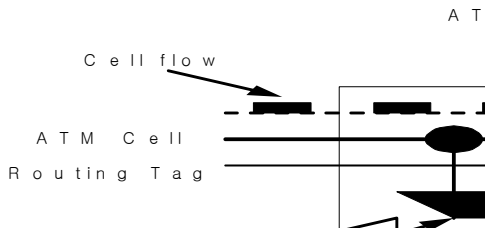


그림 2 크로스포인트스위치 상태  
Fig. 2 The states of Crosspoint Switch

입력 셀의 복사 셀 생성 및 라우팅은 각 CSF 내의 CPS (Crosspoint Switching element) 매트릭스에서 이루어지며, 동일 열(column) 내 최고 상위(top) CPS의 우선 순위가 가장 높은 고정 우선 순위 출력경합제어(output contention resolution) 알고리즘에 의해 각 셀 시간 슬롯(cell time slot) 마다 (그림 2)와 같이 오직 하나의 스위치만 크로스 상태 (cross state)를 유지하여 셀을 출력포트로 전송하고, 나머지 스위치들은 바 상태(bar state)를 유지한다.

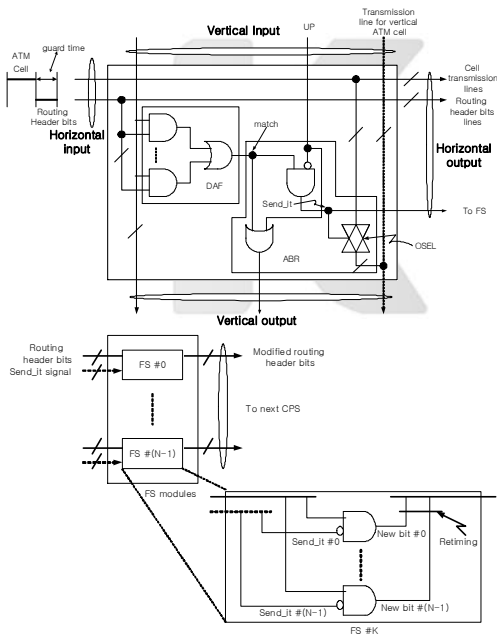


그림 3 CPS 내부의 ABR구조 및 FS 구조  
Fig 3. Structure of the ABR in the CPS, and FS

FS(Fanout Splitter)는 현재 단 CSF에서 라우팅 되지 못한 멀티캐스트 복사 셀들이 다음 단 CSF에서 라우팅 되도록 라우팅 비트 맵들을 수정하는 기능을 수행한다.

DAB(Dynaamic Address Broadcast)는 N 개의 N 비트 레지스터로 구성되며, 각 레지스터 출력은 CSF 모듈의 각 CPS 상태 결정을 위한 입력으로 전달된다. 동적으로 DAB의 각 레지스터들의 소프트웨어적 세팅이 가능하므로, 트래픽이 집중되는 출력 채널을 위한 출력 경로를 다수 할당할 수 있어, [6]과 같은 채널 그룹핑(channel grouping) 기능을 용이하게 제공할 수 있다[1].

TCSF에서는 입력 셀의 복사 및 멀티캐스팅을 위해 (그림 4)와 같은 N 비트 맵 어드레싱을 사용한다. 각 멀티캐스트 라우팅 헤드는 N 비트로 구성되며, 각 태그 비트는 전송될 목적지 멀티캐스트 출력포트를 가리키며, 이들 비트는 CSF 내 각 CSE에서 셀 전송 경로 설정 정보로 사용되며, 각 CSF를 통과하면서 셀 전송 경로 설정 어부에 따라 각 CSF 출력단의 FS에서 수정되면서 다음 단 CSF로 전송된다.

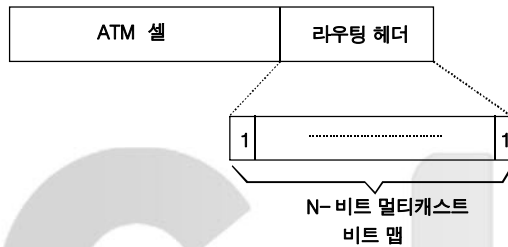


그림 4. 멀티캐스트 라우팅 헤더  
Fig 4. multicast routing header

TCSF에서는 셀프-라우팅 크로스바 스위치의 임의 입력 i 와 출력 j 간의 경로 설정 시, 입출력 간 위치에 따라  $(i+j)(t+P)-P$  (여기서, t 는 크로스바 간에 헤더 전송시간, P 는 각 크로스바에서의 헤더 처리시간)의 지연 편차(delay variation)가 발생되므로, 이러한 셀 도착 지연 편차 제어를 용이하게 하고, 스위치 상태 제어 및 셀 전송 시간을 줄이기 위해 제안된 MTCOS 스위치에서는 (그림 5)과 같은 2-phase 셀 전송 알고리즘을 사용한다.

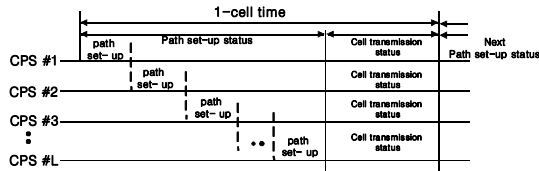


그림 5. 2 단계 셀 전송 알고리즘  
Fig 5. 2-phase cell transmission algorithm

경로설정 단계(setup phase)에서는 스위치 입력 셀의 복사 및 라우팅을 위한 멀티캐스트 경로 설정을 위해 [1]에서와 같이 라우팅 비트만 헤더 비트 라인을 통해 TCSF로 전달되고, 각 CSF의 동일 열 스위치들은 고정 우선순위 출력 경향 알고리즘에 의해 경로를 설정한다. 각 CSF의 FS는 현재 단의 CSF에서 라우팅된 헤더 비트를 리셋(reset) 한 후에 다음 단의 CSF로 헤더 비트를 전송한다. L 단의 경로설정 후, 셀 전송 단계(cell transmission phase)에서 각 입력포트는 TCSF의 셀 전송 라인을 통해 멀티캐스트 마스터 셀을 동기적으로 브로드캐스트 한다.

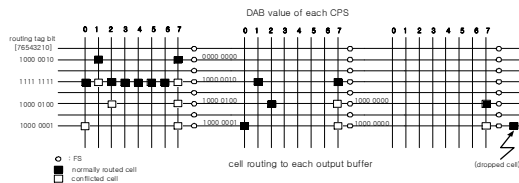


그림 6 TCSF에서의 멀티캐스트 셀 라우팅  
Fig 6. Multicast cell routing at TCSF

(그림 6)는 3 단 CSF를 갖는 8x8 TCSF에서의 멀티캐스트 셀 라우팅의 예이다.

MTCOS의 TCSF 스위칭 모듈은 Knockout 및 SCOQ 스위치의 N:L 출력 집중화기(output concentrator)와 같이 모든 출력포트들의 공유 트래픽 집중화기 역할을 수행한다. MTCOS의 출력버퍼는 스위칭 모듈에서 집중화된 L 개 셀 출력들을 동시에 처리하기 위해 통계적 다중화기(statistical multiplexer)를 갖는 출력 버퍼를 사용한다.

제한한 MTCOS 스위치는 분산 Knockout 스위치[3]와 같이 Knockout 스위치[4]에 비해 동일 셀 손실 및 지연 특성을 갖으면서 셀 필터 수와 출력포트 집중화기 하드웨어 복잡도가  $O(N^2)$ 에서  $O(N)$ 로 크게 개선되고, 각 출력포트로의 라우팅 링크 수도 N 개에서 L 개로, 전체 수직 라우팅 링크 수를  $N^2$ 에서  $L \times N$  개로 크게 줄였다. 그러나, 스위칭 소자 개수는  $L \times N^2$ 으로 증가하므로 스위치 크기의 확장이 어려운 단점이 있다. 그러나, 이러한 스위칭 소자 개수의 증가는 고정 우선 순위 제어 방식을 사용하여 개선 가능하다.

L 단의 TCSF에서 첫 번째 단계에서는 첫 번째 행이 우선순위가 가장 높기 때문에 입력되는 임의의 개수의 복사 수를 갖는 멀티캐스트 셀을 모든 출력포트로 동시에 전송할 수 있다.

따라서, 두 번째 단으로 전달되는 미 전달 셀이 없기 때문에 두 번째 CSF의 첫 열에 존재하는 N 개의 스위칭 소자와 FS 소자 및 첫 번째 CPSF에서 최상위 FS 소자가 불필요하다.

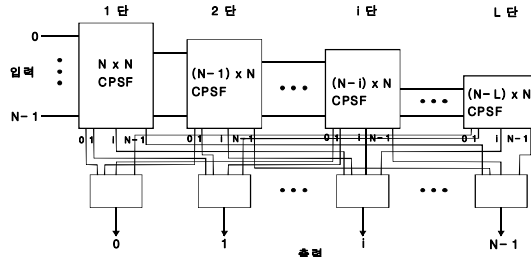


그림 7. 개선된 TCSF 구조  
Fig 7. new TCSF architecture

따라서, (그림 7)과 같이 계단형의 CSF 스위칭 소자로 구성 가능하다.

이 구조는 (그림 1)의 구조에 비해  $\frac{L(L-1)N}{2}$  개의 스위칭 소자와  $\frac{L(L-1)}{2}$  개의 FS 소자를 줄일 수 있다.

### III. 성능 평가

제한한 MTCOS 스위치는 출력 버퍼형 멀티캐스트 스위치로 1) TCSF 스위칭 모듈, 2) 출력 버퍼 모듈에서 셀 손실(cell loss)이 발생된다.

TCSF 스위칭 모듈에서의 셀 손실은 CSF의 수(L)와 입력 부하(offered load)  $\rho$ 의 함수이며, 각 출력 버퍼 모듈에서의 셀 손실은 입력 부하  $\rho$ 와 각 출력포트 버퍼 크기(B)의 함수이다. 따라서, 주어진  $\rho$ 에 대해 일정 수준 이하의 셀 손실 유지를 위해서는 L과 B를 적절히 선택해야 한다. 특히, 셀 손실은 먼저 TCSF 스위칭 모듈에서 발생되므로 L을 충분히 크게 하는 것이 중요하다. 멀티캐스트 스위치에서는 다수의 입력 셀들이 동시에 동일 출력포트로 라우팅되므로 스위치 내부의 자원 제약(resource limitations), 즉, CSF 수(L) 및 출력 버퍼 수(B) 제한으로 인해 약간의 셀 손실이 발생 된다.

MTCOS의 성능 평가를 위해 본 장에서는 독립 균일 멀티캐스트 트래픽(independent uniform multicast traffic)과 버스티 멀티캐스트 트래픽(bursty multicast traffic)에 대해 해석적인 방법과 시뮬레이션을 통해 B와 L 값에 따른 평균 셀 손실률(average cell loss ratio), 평균 셀 지연율(average cell delay ratio)을 평가한다.

독립 균일 멀티캐스트 트래픽은 각 입력포트에서 멀티캐스트 마스터 셀 도착율(arrival rate)이 다른 입력포트 도착율에 독립적(independent)이고, 도착 마스터 멀티캐스트 셀의 복사 셀들은 모든 출력포트로 균일하게(uniformly) 전달된다고 가정한다.

$$E [M_i | X_i = 1] = \begin{cases} \frac{(1-p^N)}{(1-p)} & , 0 \leq p < 1 \\ N & , p = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

각 입력에서 멀티캐스트 마스터 셀의 평균 도착율(average arrival rate)  $\rho$  는 어떤 셀 시간 슬롯에 한 입력포트에 멀티캐스트 셀이 도착 할 확률이다. 또한, 각 멀티캐스트 셀의 평균 복사 수는 식 (1)과 같은 truncated 기하분포를 갖는다고 가정한다. 따라서, 각 입력포트에서의 멀티캐스트 마스터 셀 도착율은 파라미터  $\rho$  를 갖는 베르누이 프로세서(Bernoulli process)로 가정한다.

버스티 멀티캐스트 트래픽은 스위치 각 입력 라인에 도착하는 셀들이 랜덤 길이(random length)를 갖는 버스트(burst) 형태로 각 버스트 내의 모든 셀들은 동일한 출력 포트에 향하는 시간 영역(time domain) 상관(correlation)을 갖는 트래픽이다[6]. 버스티 트래픽은 [4][5]와 같이 각 입력포트에서 버스티 셀의 활성 주기(또는 버스트(burst)) 및 휴지 주기(idle period)가 geometrically distributed duration 을 갖는 uniform geometrically bursty traffic 모델을 적용한다.

활성 주기동안 동일출력으로 향하는 멀티캐스트 셀이 일련 시간 슬롯동안 연속적으로 나타나며, 입력 셀이 활성 주기(버스트)의 마지막 셀일 확률을  $p$ , 새로운 버스트가 시작될 확률을  $q$ 라고 정의하면, 버스티 입력부하(offered load)  $\rho B$  는 식 (2)와 같다.

$$\rho_B = \frac{\frac{1}{p}}{\frac{1}{p} + \frac{(1-q)}{q}} \dots\dots\dots (2)$$

MTCOS 의 스위칭 모듈은 각 입력 멀티캐스트 셀들을  $L$  개의 TCSF를 통해 복사하여 해당 출력포트로 라우팅 하므로,  $N$  개의 출력포트가 공유하는  $N:L$  집중화기( $N:L$  shared concentrator) 이다. 스위칭 모듈의 임의 입력포트에서 독립 균일 멀티캐스트 셀 평균 도착률이  $\rho$  평균 복사 수  $M$  특

정 시간 슬롯에  $k$  개 셀이 임의 포트에 향한 확률을  $A_k$  라 하면, 모든 출력 버퍼 모듈의 각  $L$  입력에서의 평균 셀 도착률이  $q$  일 때 TCSF 스위칭 모듈에서의 멀티캐스트 셀 손실률  $P_{l-TCSF}$  은 식 (3)과 같다

$$P_{l-TCSF} = \left[ 1 - \frac{L}{\rho M} \right] \left[ 1 - \sum_{k=0}^L \frac{(\rho M)^k e^{-\rho M}}{k!} \right] + \frac{(\rho M)^L e^{-\rho M}}{L} \dots\dots\dots (3)$$

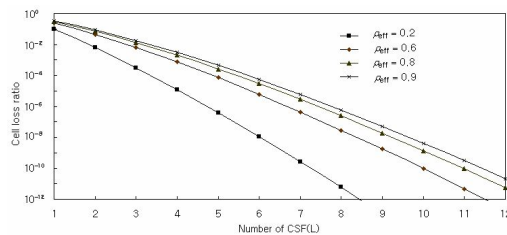


그림 8 TCSF 셀 손실률(N=32, M=5)  
Fig 8. Cell loss rate at TCSF(N=32, M=5)

(그림 8)은  $N=32, M=5$  인 독립 균일 멀티캐스트 셀들의  $\rho_{eff}$  와  $L$  의 변화에 따른 TCSF 스위칭 모듈에서의 셀 손실률에 대한 해석적 성능평가 결과로 도착 독립 균일 멀티캐스트 트래픽의 복사 수( $M$ )가 같고 유효 입력부하( $\rho_{eff}$ )가 4.5배 증가하더라도 동일 비율의 셀 손실률을 얻기 위해서는 단지 2배 정도의 CPSF 증가가 요구된다. 따라서,  $N=32$  이고 유효 입력부하가 0.9이면 TCSF에서의 셀 손실률이  $10^{-6}$ 이하가 되게 하려면 8 개의 CSF가 필요하다.

MTCOS 스위치의 각 출력 버퍼 크기가  $B$  인 경우, 각 셀 시간 슬롯에 스위칭 모듈을 통해 라우팅 되는 셀 도착률( $b_k$ )과 각 시간 슬롯에서의 버퍼 상태에 따라 스위칭 모듈을 통해 집중화된 버퍼 도착 셀들의 손실이 발생된다. 정상 상태(steady-state)에서 출력 버퍼에  $j$  개의 셀이 존재할 확률이  $P_j$  일 때 출력 버퍼에서 버퍼 오버플로로 인한 셀 손실률  $P_{l-buffer}$ 은 식 (4)와 같다.

$$P_{l-buffer} = \sum_{i=(B+2-L)}^B P_i \sum_{j=B+2-i}^L b_j \dots\dots\dots (4)$$

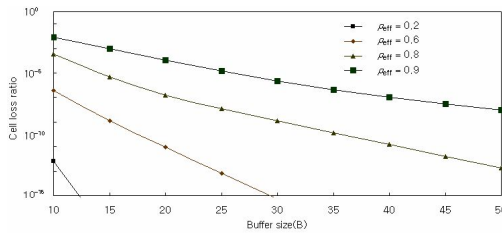


그림 9. 독립 균일 멀티캐스트 트래픽에 대한 출력버퍼 셀 손실률(N=32, M=5)

Fig. 9. Cell loss rate of output buffer about independent uniform multicast traffic against  $\rho_{eff}$  (N=32, M=5)

(그림 9)는 N=32이고 독립 균일 멀티캐스트 트래픽의 유효 입력부하  $\rho_{eff}$  변화에 따른 출력 버퍼에서의 버퍼 오버플로에 의한 셀 손실률을 나타낸다

$\rho_{eff}=0.9$  인 경우 출력 버퍼 크기(B)가 45 셀 정도이면 10-6 이하의 셀 손실률을 얻는다.

출력 버퍼에서는 각 셀 시간 슬롯마다 스위칭 모듈로부터 최대 L 개 셀들이 동시에 도착할 수 있다. 따라서, MTCOS 출력 버퍼는 (그림 10)과 같이 배치 도착(batch arrival) 특성을 갖는 단일-서버(single-server)로 모델링 한다.



그림 10. 출력버퍼의 큐잉모델  
Fig 10. Queuing model for the output buffer

따라서, n 시간 슬롯에 도착한 배치 도착 셀 내 특정 셀의 출력 버퍼에서 지연은, 1) 특정 셀 도착 시 버퍼 내에 기존에 있는 셀들의 전송에 따른 대기 시간(waiting time) wt1, 2) 특정 셀과 함께 도착한 배치 도착 내 다른 셀들의 전송으로 인한 대기 시간 wt2 에 의해 발생된다. 출력 버퍼에서 각 셀들을 출력 라인으로 전송은 1 셀 시간 슬롯이 소요된다. 출력 버퍼에서 총 지연시간 wt는 wt1+wt2 이고 wt1 과 wt2 는 서로 독립이므로 정상상태 평균 지연시간 wt 는 식 (5)와 같다.

$$\overline{wt} = \sum_{k=1}^B kP_k + \frac{\sum_{k=1}^L k^2 b_k - \sum_{k=1}^L k b_k}{2 \sum_{k=1}^L k b_k} \dots\dots\dots (5)$$

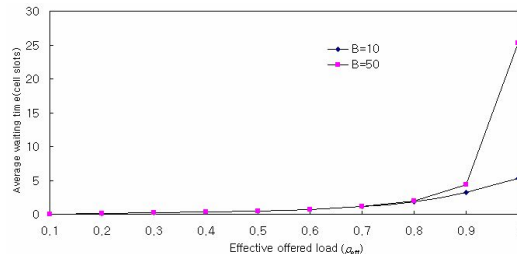


그림 11 출력버퍼에서의 평균지연시간(N=32, M=5)  
Fig 11. Average delay time at output buffer N=32, M=5

(그림 11)은 출력 버퍼의 크기(B) 10, 50 셀 크기 일 때 평균 지연시간에 대한 해석적 성능 평가결과이다.  $\rho_{eff} = 0.8$  인 경우 평균 지연시간(wt)은 1.86(B=10), 1.93(B=50) 셀 시간 슬롯(cell time slot)이고,  $\rho_{eff} = 0.9$  인 경우에도 5셀 시간 슬롯 이하임을 확인 할 수 있다.

다음은 제한된 MTCOS 스위치의 TCSF에서의 셀 손실율과 출력버퍼의 셀 손실율 및 평균지연시간에 대한 시뮬레이션 결과이며, 각 시뮬레이션은 SUN-Sparc 20 에서 1,000,000 셀 시간 슬롯(cell time slot) 수행하였다.

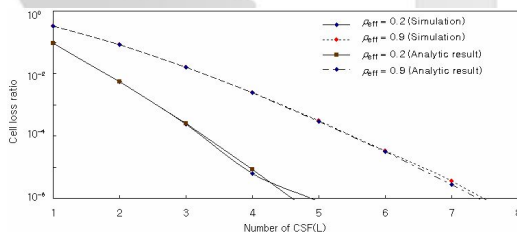


그림 12. rho\_eff 와 L에 따른 독립균일 트래픽에 대한 TCSF에서의 셀 손실율

Fig 12. The cell loss rate in the TCSF for independent uniform multicast traffic with various  $\rho_{eff}$  and L(N=32, M=5)

(그림 12)는 N=32, M=5 인 독립 균일 멀티캐스트 셀들의  $\rho_{eff}$  와 L 의 변화에 따른 스위칭 모듈에서의 셀 손실률에 대한 시뮬레이션 평가 결과는 (그림 5)의 해석적 결과와 거의 일치한다.

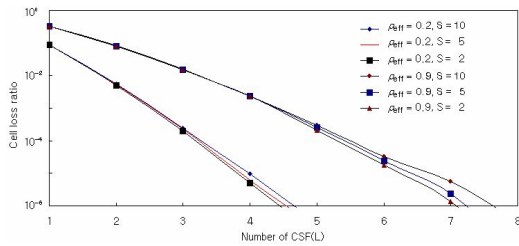


그림 13.  $\rho_{eff}$  와 L에 따른 버스티 멀티캐스트 트래픽의 셀 손실을  
Fig 13. Cell loss rate of bursty multicast traffic at the TCSF against  $\rho_{eff}$  and L(N=32, M=5)

버스티 멀티캐스트 트래픽 입력에 대해서는 N=32 인 경우,  $\rho_{eff} = 0.2$  이면 L=5,  $\rho_{eff} = 0.9$  인 경우는 L=8 이면 셀 손실률이  $10^{-6}$  이하가 된다

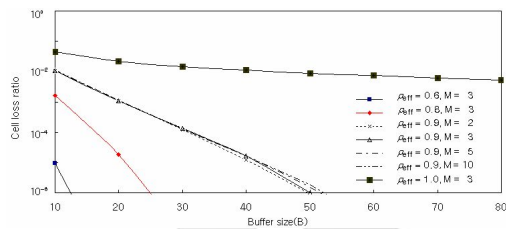


그림 14.  $\rho_{eff}$  에 따른 버스티 멀티캐스트 트래픽에 대한 출력 버퍼의 셀 손실률(N=32)  
Fig 14. Cell loss rate of output buffer against bursty multicast traffic depend on  $\rho_{eff}$  (N=32)

(그림 14)는 N=32 인 경우 독립 균일 멀티캐스트 트래픽 입력부하와 TCSF에서 생성되는 복사 셀 변화에 따른 출력 버퍼에서의 버퍼 오버플로에 의한 셀 손실률이다. 각 입력부하에 따른 출력 버퍼에서의 셀 손실률은 버퍼의 크기(B)에 크게 의존하고 복사 셀 개수(M)에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.  $10^{-6}$  이하의 셀 손실률 달성을 위해서는  $\rho_{eff} = 0.9$  인 경우 B=50 셀,  $\rho_{eff} = 0.8$  인 경우 B=25 셀 크기의 버퍼가 요구됨을 알 수 있다.

(그림 15)는 N=32, M=3 이고 유효 입력부하와 평균 버스트 길이(S)가 변할 때 독립 균일 트래픽과 달리 버스티 트래픽의 경우 버퍼에서 셀 손실률은 평균 버스트의 길이에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

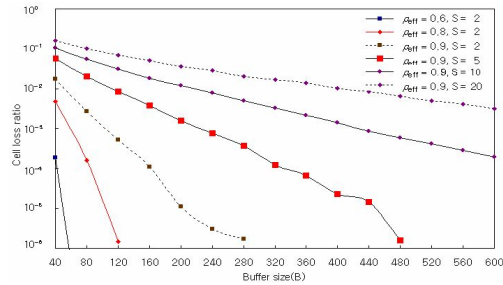


그림 15.  $\rho_{eff}$  에 따른 버스티 멀티캐스트 트래픽에 대한 출력 버퍼의 셀 손실률(N=32, M=3)  
Fig 15. Cell loss rate of output buffer about bursty multicast traffic depends on  $\rho_{eff}$ (N=32, M=3)

$10^{-6}$  이하의 셀 손실률 달성을 위해서는  $\rho_{eff} = 0.9$  인 경우 S=2 인 경우 B=300 셀, S=5 인 경우 B=600 셀 크기의 버퍼가 요구된다. 따라서, 버스티 트래픽의 경우 출력 버퍼에서의 셀 손실률을 작게 하려면 매우 큰 버퍼 크기가 요구됨을 알 수 있다.

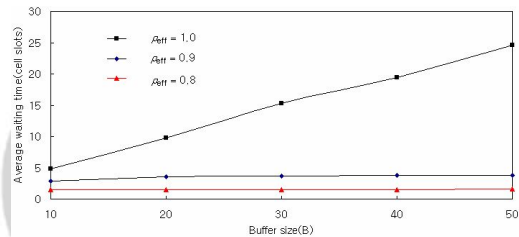


그림 16.  $\rho_{eff}$  에 따른 독립균일 멀티캐스트 트래픽에 대한 출력 버퍼에서의 평균 지연시간(N=32, M=3, L=3)  
Fig 16. Average delay time of output buffer about independent uniform multicast traffic depend on  $\rho_{eff}$  (N=32, M=3, L=3)

(그림 16)은 N=32, M=8, L=3 인 경우 독립 균일 멀티캐스트 트래픽의 유효 입력 부하에 따른 시뮬레이션 결과로 유효 입력 부하  $\rho_{eff} = 0.9$  이하인 경우는 출력 버퍼 크기와 무관하게 출력 버퍼에서 평균 셀 지연은 5 셀 시간 슬롯 이하임을 알 수 있다.

(그림 17)은 N=32, M=3 인 경우 버스티 트래픽의 버스트 길이에 따른 출력 버퍼에서의 셀 지연에 대한 시뮬레이션 결과이다. 버스티 트래픽의 버스트 길이 S=2 인 경우  $\rho_{eff} = 0.9$  이하인 경우는 출력 버퍼 셀 지연은 20 셀 시간 슬롯 이하이며 동일한 유효 입력 부하에 대해 버스트 길이가 증가함에 따라 출력 버퍼 셀 지연은 크게 증가함을 알 수 있다.

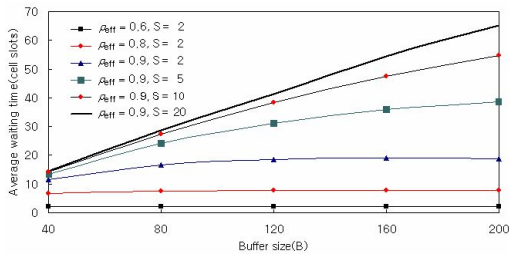


그림 17.  $\rho_{eff}$  와 S 에 따른 독립균일 멀티캐스트 트래픽에 대한 출력 버퍼에서의 평균 지연시간(M=32, S=8, M=3)  
 Fig 17. Average delay time of output buffer about bursty multicast traffic against  $\rho_{eff}$  and burst length SIM=32, S=8, M=3

버스티 트래픽의 경우에도 버퍼의 크기가 증가함에 따라 출력 버퍼에서의 셀 손실은 (그림 17)과 같이 크게 줄어들지만 상대적으로 버퍼의 셀 처리 능력 제한으로 인해 지연 시간이 크게 증가함을 알 수 있다.

제한된 MTCOS 스위치의 하드웨어 구현 복잡도 평가를 위해 Knockout 집중화를 이용한 브로드캐스트 타입 출력 버퍼형 멀티캐스트 스위치인 Knockout 멀티캐스트 스위치[9] 및 SCOQ 멀티캐스트 스위치[7]와 N=1024 이고 N:L=(1024:8)트래픽 집중화를 달성을 위한 주요 하드웨어 요소들의 복잡도를 비교하였다.

표 1. 하드웨어 복잡도(N=1024, L=8)  
 Table 1. Hardware complexities(N=1024, L=8)

Switches Elements	Knockout	SCOQ	MTCOS
packet filters	1,048,576+(3,072×1,024)	8,192+1,024	8*(1,024+1,024)-28,672
1-bit delay elements	4,456,448+(6,072+4,852)	0	0
contention elements (2×2 switch)	8,192,896	0	0
TNT(RAM)	3,072×10bits	1,024	0
sorting element (2×2 switch)	0	28,160	0
copy element (2×2 switch)	0	5,120	0
adder nodes	0	5,120	0
interval encoder	0	1,024	0

<표 1>과 같이 제안된 MTCOS 스위치는 같은 집중화와 셀 손실률을 위해 요구되는 하드웨어 복잡도가 기존의 Knockout 및 SCOQ 멀티캐스트 스위치에 비해 크게 개선되었다.

## VI. 결론 및 고찰

본 논문에서는 단순하고 규칙적 구조를 갖는 크로스포인트 스위칭 소자들로 하드웨어 복잡도가 크게 개선된 TCSF 스위치 패브릭과 TCSF를 스위칭 모듈로 한 브로드캐스트형 공간분할 멀티캐스트 ATM 스위치인 MTCOS 를 제안하고 해석적 방법 및 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였다.

TCSF는 기존의 셀프-라우팅 크로스바 스위치의 단점인 셀 지연 편차를 개선하였고, MTCOS 는 낮은 하드웨어 복잡도로 Knockout 및 SCOQ 멀티캐스트 ATM 스위치와 동일한 N:L Knockout 집중화가 가능하고, 셀 복사를 위한 부가 하드웨어 없이 셀 복사 및 라우팅의 분산 처리가 가능하며 소프트웨어 조작으로 멀티 채널링 지원이 가능한 구조를 갖는다.

해석적 모델 및 시뮬레이션에 의한 성능 평가 결과 스위치 크기의 증가와 입력 트래픽 특성이 변하더라도 트래픽 집중화 성능이 우수하고, 출력 버퍼의 평균 셀 지연이 5 셀 슬롯 이하임을 확인하였다. 따라서, 제안된 TCSF 및 MTCOS 스위치는 낮은 하드웨어 복잡도로 멀티캐스트 트래픽의 복사 및 라우팅의 분산 제어가 가능하고, 스위칭 모듈 및 출력 버퍼에서 낮은 셀 손실률을 갖으며 낮은 셀 지연 특성을 갖으며 또한 입력 트래픽의 공유 집중화 기능이 우수함을 확인하였다.

## Acknowledgements

본 연구는 동서울대학 산업기술연구소 지원으로 이루어짐.

### 참고문헌

- [1] H. R. Kim, and S. Y. Cho, "Multicast Output-buffered ATM Switch with Tandem Crosspoints", Proc. ITC-CSCC '03, vol. 2, pp. 1503-1506, July. 2003.
- [2] W. Wang, L.Dong and W.Wolf, "A Dynamic Switch with Dynamic Load-balancing and Parallel Input-Queued Crossbars for Terabit Switch Fabrics, Proc. INFOCOM'02, pp. 352-361, June. 2002.
- [3] J. Turner, "Terabit Burst Switching", Jour. of High Speed Network, 1999.
- [4] H.J. Chao, "A Novel Architecture for Queue Management in the ATM Network," IEEE Trans. JSAC, vol. 9, no. 7, pp. 1110-1118, Sep. 1991.
- [5] K.L.E. Law, "Large Scale ATM Switching Systems," Ph.D. Thesis, Univ. of Toronto, FL, July 1995.
- [6] F.A. Tobagi, T. Kwok and F.M. Chiussi, "Architecture, Performance, and Implementation of the Tandem, Banyan Fast Packet Switch," IEEE Trans. JSAC, vol. 9, no. 8, pp. 1173-1193, Oct. 1991.
- [7] D.X. Chen and J.W. Mark, "Multicasting in the SCOQ Switch," Proc. INFOCOM'94, vol. 1, pp. 290-297, 1994.
- [8] 윤석현, "ATM망에서 트래픽 특성에 의한 셀 셰이핑", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 9권 3호, pp. 195-200, 2004.
- [9] 서인석, "PRRA로 제안된 ATM Switch 설계", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 7권 2호, pp. 1-9, 2002.
- [10] K.Y. Eng, M.G. Hluchyj and Y.S. Yeh, "Multicast and Broadcast Services in a Knockout Packet Switch," Proc. INFOCOM'88, pp. 29-34, Mar. 1988

### 저자 소개



**김 홍 렬**

1997년 8월 한양대학교  
전자공학박사  
1988년 1월 ~ 2000년 2월  
현대전자산업(주)  
정보통신연구소 책임연구원  
2000년 3월 ~ 현재 : 동서울대학  
컴퓨터정보과 조교수  
<관심분야> 멀티미디어통신,  
멀티미디어 영상처리

