

ATM 스위치에서 셀 처리량 개선을 위한 팽창 복사 네트워크

정회원 이 옥 재*

A dilated copy network for improving cell throughput in ATM switch

Ok-Jae Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 대규모 ATM 멀티캐스트 스위치에 적합한 팽창 복사 네트워크를 제안한다. 합산기, 분배기, 가상 주소 부호기, 방송 네트워크로 구성된 복사 네트워크는 방송 네트워크가 팽창 네트워크로 구성되기 때문에 한정된 스위칭 자원으로서 많은 량의 셀을 복사할 수 있는 구조이다. 실질적으로 셀을 복사하는 스위칭 소자의 상호 연결은 스테이지 번호가 증가함에 따라 스위칭 링크의 팽창계수도 증가하기 때문에 멀티캐스팅 특성에 적합하다. 분석 결과 제안된 구조는 모든 입력 부하에서 셀 처리량이 확연히 개선됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, a dilated copy network is proposed which is suitable to the large scale ATM multicast switch. The dilated copy network is composed of running adder network, distributor, dummy address encoder, and broadcasting network respectively. Broadcasting network being composed of dilated network is superior to the possibility of the cell copy in limited switching resources. As a result of simulation, the proposed dilated copy network is improved in cell throughput according to all input loads of copy network.

I. 서 론

멀티캐스팅(multicasting)은 ATM(asynchronous transfer mode) 광대역 망에서 제공하는 중요한 서비스 중 하나이다. 화상회의, 화상 오락물, 가상 교육 등과 같은 멀티미디어 서비스들은 한 지점에서 다수의 지점으로 경로 설정을 필요로 하며, 이를 수행하는 핵심적인 요소는 멀티캐스트 ATM 스위치이다.

멀티캐스트 스위치는 셀을 복사하는 복사 네트워크(copy network)와 복사된 셀을 목적지까지 전송할 수 있는 점 대 점 스위치(point-to-point switch)의 조합으로 구성된다.^[1] 복사 네트워크는 입력된 셀을 다수의 셀로 복사하여 점 대 점 스위치의 입

력단으로 전달하는 역할을 수행한다. 복사 네트워크는 최종 목적지 주소에 관계없이 빠른 동작으로 셀을 복사할 수 있는 메커니즘을 가져야 하며 입력에서 요구한 전체 셀 복사 수가 출력포트 수를 초과하여 발생한 오버플로우(overflow) 문제를 해결할 수 있어야 한다. 또한 출력 경쟁으로 인한 셀 지연 및 손실, 복잡도, 오버플로우가 발생한 후 이들을 공정하게 처리할 수 있는 입력의 공정성 등을 효율적으로 해결할 수 있어야 한다.^[2]

스위칭 노드에서 셀 손실 및 지연과 입력 공정성을 개선시킬 수 있는 스위치가 제안되었지만 오버플로우가 발생될 경우 이들은 부분적인 해결은 되지만 근본적인 해결책은 되지 못하며, 대규모 시스

* 원광보건대학 정보통신과(oilee@sky.wkhc.ac.kr)

논문번호: T00040-0916, 접수일자: 2000년 9월 16일

* 본 논문은 2000년도 원광보건대학 교내연구비 지원에 의하여 이루어짐.

템으로 확장될 경우 높은 번지로 입력된 셀은 상대적으로 대기 시간이 늘어나 HOL(head of line) 경쟁에 의한 셀 지연이 발생한다.^[3-5]

따라서 본 논문에서는 이전에 제안하였던 ATM 스위치^[6-8]보다 셀 지연율 및 오버플로우 발생확률이 감소되고 banyan 구조^[9]보다 셀 처리율 및 복잡도가 개선된 새로운 구조의 고성능 복사 네트워크를 제안한다. 제안된 복사 네트워크에서는 방송 네트워크(broadcasting network)가 각 스테이지마다 팽창(dilation)계수가 다른 dilated-banyan^[10] 구조로 구성되기 때문에 banyan 구조보다 오버플로우 발생 확률이 감소되고 셀 지연 및 손실이 감소되어 스위치의 셀 처리량이 향상된다.

II. 팽창 복사 네트워크

팽창 복사 네트워크는 멀티캐스트 되어야 할 목적지 수만큼 셀을 복사하는 네트워크로서 합산 네트워크(RAN: running adder network), 분배기(distributor), 가상 주소 부호기(DAE: dummy address encoder), 방송 네트워크(BN: broadcasting network)로 구성된다. 합산 네트워크는 입력된 셀들의 요구 복사 수(RCN: requested copy number)를 누적 합산하여 분배기로 보내며 분배기는 방송 네트워크의 전체 링크 수를 고려하여 셀들을 분배하고 집중화한다. 분배된 셀들은 가상 주소 부호기에서 부호화되고 방송 네트워크에서 셀이 복사되는 복호화 과정을 거쳐 최종 목적지로 전송된다. 그림 1에서 팽창 복사네트워크를 개략적으로 보여주고 있다.

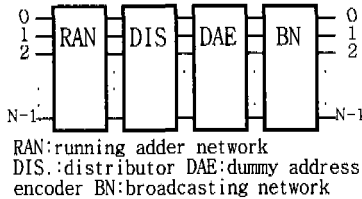


그림 1. 팽창 복사네트워크의 구조

1. 방송 네트워크의 구조

실질적으로 셀 복사를 수행하는 방송 네트워크는 fat-banyan 특성을 가지고 있는 dilated-banyan 네트워크를 이용하며 입력과 출력포트가 $N \times N$ 일 경우 $\log_2 N$ 스테이지(stage)와 $N/2 \log_2 N$ 개의 스위칭 노드로 구성된다. 각 스테이지에 있는 스위칭 소자간을 상호 연결하는 링크의 팽창(dilation)계수는 입

력단에서 출력단 방향으로 점차 증가하는 형태를 취한다. i 번째 스테이지에 있는 스위칭 소자의 팽창계수를 D_i 라고 하면, 8×8 인 경우에는 왼쪽부터 D_1, D_2, D_3 의 서로 다른 팽창계수를 갖는 3 스테이지의 방송망이 구성된다. $D_1=2, D_2=3, D_3=4$ 인 경우를 그림 2에서 보여주고 있다.

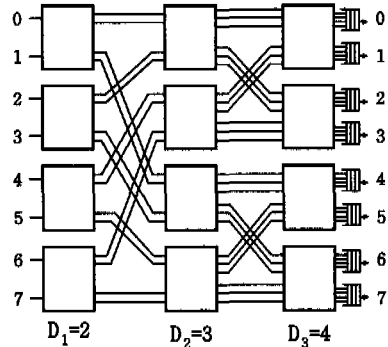


그림 2. dilated-banyan 구조의 방송네트워크(8x8)

dilated-banyan 네트워크의 스위칭 소자의 팽창계수는 입력단에 도착하는 셀의 수와 복사 요구수의 트래픽 패턴에 따라 결정할 수 있으며 버퍼를 가지고 있는 스위칭 소자보다 더 효율적으로 동작한다. 버퍼를 가지고 있는 스위칭 소자보다 dilated-banyan 스위칭 소자의 장점은 스위칭 소자 내부에서 큐(queue) 지연이 발생하지 않는 점이다. 또한 균일 트래픽 환경에서 버퍼를 가지고 있는 스위칭 소자보다 셀 처리량이 우수하고 팽창계수로 인한 전체 스위치의 복잡도(complexity)가 감소한다.

2. 스위칭 소자의 구조 및 동작

스위칭 소자(switching element)의 입력과 출력을 각각 K, L , 소자의 출력단 팽창계수를 d 라고 하면 각 입력단의 링크는 출력단의 상단과 하단의 집중화기(concentrator)로 연결되어 해당 주소 비트가 0인 경우에는 상단, 1인 경우에는 하단으로 라우팅(routing)된다. 상단과 하단의 집중화기는 $K \times d$ 구조로 집중화하기 때문에 d 배의 팽창 경로를 가지고 있어 banyan 구조보다 $1/d$ 배의 복잡도가 감소된다. 스위칭 소자를 그림 3에서 표현하고 있다.

그림 3의 스위칭 소자에서 입력포트의 수를 K , 출력포트의 수를 L , 출력포트의 팽창 링크 수를 d 라고 하면 스위칭 소자는 3가지 파라미터의 함수, 즉, $SE(K, L, d)$ 로 특성화 될 수 있다. 임의의 단위 클럭 사이클 동안에 하나의 입력포트로 셀이 입력

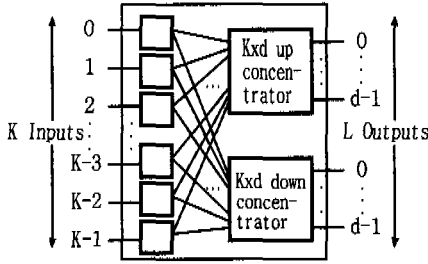


그림 3. 스위칭 소자의 구조

될 확률을 p 라고 하고 K 개의 입력포트로 i 개의 셀이 도착할 확률을 $q(i)$ 라고 하면 그 값은 식 (1)과 같다.

$$q(i) = \binom{K}{i} (p)^i (1-p)^{K-i} \quad (1)$$

i 개의 셀이 도착하여 그 중에서 j 개의 셀이 스위칭 소자의 출력포트로 향할 수 있는 확률을 $p(i, j)$ 라고 하면 그 값은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$p(i, j) = \binom{i}{j} (1/L)^j (1-1/L)^{i-j} \quad (2)$$

여기에서 모든 입력 셀들이 임의의 출력포트로 향할 수 있는 확률은 $1/L$ 이고, 특정 출력포트에 도착할 수 있는 셀의 수는 $\min(j, d)$ 이다. 즉, $j > d$ 일 경우에는 $(j-d)$ 개의 셀은 손실되어 d 개의 셀만 도착하고, 반대의 경우에는 j 개의 셀 모두가 도착된다. 이때 매 클럭 사이클 동안 스위칭 소자에 도착한 i 개의 셀들이 출력포트에 성공적으로 도착할 수 있는 기대값(expected number)을 $E(i)$ 라고 하면 그 값은 식 (3)과 같다.

$$E(i) = L \sum_{j=0}^i p(i, j) \min(j, d) \quad (3)$$

따라서 매 클럭 사이클 동안 스위칭 소자의 출력 포트에 도착될 셀들의 평균치(mean number)는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$E = \sum_{i=0}^K E(i) q(i) \quad (4)$$

3. 부호화와 셀 복사

RAN에서 누적 복사 합(RS: running sum)을 연산하는 이유는 방송네트워크에서 원하는 목적지 주소 수만큼 셀을 복사하기 위하여 가상적인 목적지 주소를 부호화 하기 위함이다. 가상 주소 부호화는

입력포트에서 요구한 복사 수만큼 가상적인 주소로 할당하는 새로운 셀 헤더(header)를 형성하는 과정이며 할당된 주소는 가상 주소 간격(dummy address interval)으로 표현된다. 이 간격은 최소(min) 주소와 최대(max) 주소로 부호화 되며 방송 네트워크의 출력이 N 일 경우 n -bit ($n = \log_2 N$)의 $(\max - \min + 1)$ 개의 이진 주소의 집합으로 구성된다. 방송 네트워크의 전체 출력포트의 수가 N 이라고 가정하면 부호화는 0번 포트에서 시작하여 $N-1$ 번 포트까지 N modulo 형태로 부호화 하여 \min, \max 의 이진 비트 시퀀스를 발생한다. i 번째 포트의 누적 복사 합을 $RS(i)$ 라고 하면 \min_i 는 인접한 $i-1$ 번째의 누적 복사 합인 $RS(i-1)$ 이 되고 \max_i 는 i 번째 누적 복사 합인 $RS(i)$ 에서 1을 뺀 값인 $RS(i)-1$ 이 된다. 이와 같은 절차로 0번지에서 $N-1$ 번지까지 부호화를 하면 $(\min_0, \max_0), (\min_1, \max_1), \dots, (\min_{N-1}, \max_{N-1})$ 값이 다음과 같이 형성된다.

$$\begin{aligned} & \{ 0, RS(0)-1 \} \text{ modulo } N, \\ & \{ RS(0), RS(1)-1 \} \text{ modulo } N, \\ & \vdots \\ & \{ RS(N-2), RS(N-1)-1 \} \text{ modulo } N \end{aligned} \quad (5)$$

셀 복사 과정은 가상 주소 부호기에서 가상 목적지 번지를 부여하기 위하여 생성된 \min 과 \max 사이의 이진 비트를 상호 비교함으로써 행하여지고 최종적으로 실질적인 목적지 주소로 번역되어 전송된다. 셀 복사 과정을 구체적으로 살펴보기 위하여 방송 네트워크의 출력 수를 N , 스테이지 수를 $n (= \log_2 N)$ 이라고 한다. 이 때 \min 과 \max 는 각각 $m_1 m_2 \dots m_{n-1} m_n, M_1 M_2 \dots M_{n-1} M_n$ 이라 하고 k 번째 스테이지에서의 \min 과 \max 값을 각각 $\min(k), \max(k)$ 라고 가정한다. 방송네트워크의 $(k-1)$ 번째 스테이지 노드로부터 가상 목적지 주소 간격을 \min 과 \max 로 표현한 셀이 k 번째 스테이지에 있는 노드로 입력되었다면,

- i) $m_k = M_k = 0$ 이면, 셀은 링크 0으로 전송
- ii) $m_k = M_k = 1$ 이면, 셀은 링크 1로 전송
- iii) $m_k = 0$ and $M_k = 1$ 이면 셀을 0,1 두 링크로 복사하여 전송

$m_i = M_i (i=1, 2, \dots, k-1)$ 이면 셀은 $(k-1)$ 번째 스테이지까지 계속 한 곳으로 전송되기 때문에 $m_k = 1$ 이고 $M_k = 0$ 경우는 발생하지 않는다. iii)의 경우처럼 셀의 복사가 이루어질 경우, 셀 헤더는 정보의 변환이 발생되는데, 이 과정은 단순히 원래의 목적지 주소 간격을 더 작은 규모의 목적지 주소 간격으로 분리하는 것이다. 셀이 분리된 후 셀 헤더의 min과 max를 새롭게 형성하는 과정을 살펴 보면 k 번째 스테이지에서 min과 max의 값은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \min(k) &= m_1 \cdots m_{k-1} 0 m_{k+1} \cdots m_n \\ \max(k) &= M_1 \cdots M_{k-1} 1 M_{k+1} \cdots M_n \end{aligned} \quad (6)$$

이 경우 셀은 링크 0과 1로 복사되고 min과 max는 분리되어 각각 새로운 값을 형성한다. 이 때 링크 0으로 연결될 셀의 min 값은 원래의 값과 동일하고 max값만 새로 형성되며, 링크 1로 연결될 셀의 max 값은 원래의 값과 동일하고 min 값만 새롭게 형성된다. 따라서 링크 0으로 복사되어 연결될 셀의 min과 max의 값은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \min(k+1) &= m_1 \cdots m_{k-1} 0 m_{k+1} \cdots m_n \\ \max(k+1) &= M_1 \cdots M_{k-1} 0 1 \cdots 1 \end{aligned} \quad (7)$$

한편, 링크 1로 연결될 셀의 min과 max값은 식 (8)과 같으며 $(k+1)$ 번째 스테이지로 전송되어 반 복된 과정을 수행한다.

$$\begin{aligned} \min(k+1) &= m_1 \cdots m_{k-1} 1 0 \cdots 0 \\ \max(k+1) &= M_1 \cdots M_{k-1} 1 M_{k+1} \cdots M_n \end{aligned} \quad (8)$$

8x8 방송네트워크에서 요구 복사 수(RCN: requested copy number)가 0번 포트에서 7번 포트 까지 각각 {3,2,4,3,2,7,2,6}와 같이 입력될 때 누적 복사 합(RS: running sum)은 {3,5,9,12,14,21,23,29}이 되며 (min,max)는 {(0,2),(3,4),(5,0),(1,3),(4,5),(6,4),(5,6),(7,4)}이 된다.

3번째 (min,max)의 집합 {5,0}의 경우 실제 복사 되어야 할 목적지 주소를 이진 번지수로 표현하면 {101,110,111,000}와 같은 주소 집합으로 표현된다. 이와 같은 경우에 방송 네트워크에서 실제로 셀이 복사되는 과정을 그림 4에서 보여 주고 있다.

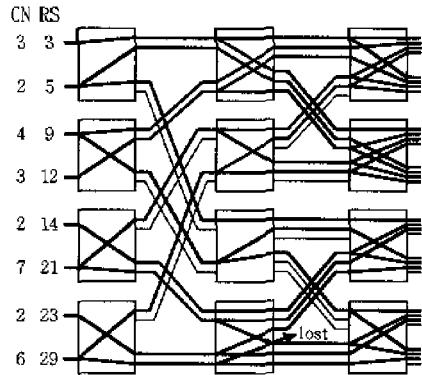


그림 4. 방송 네트워크에서 셀 복사 과정

III. 분석 및 결과

본 장에서는 제안된 팽창 복사네트워크에 대한 분석과 성능 평가를 실시한다. 한 지점에서 다수의 지점으로 경로 설정을 필요로 하는 멀티캐스팅 스위치는 하나의 입력포트에서 복수개의 출력포트로 셀이 복사되기 때문에 복사된 셀의 수가 출력포트의 수를 초과하는 오버플로우 발생확률이 높은 트래픽 특성을 가지고 있다. 제안된 팽창 복사네트워크는 각 스테이지마다 팽창계수가 서로 다른 dilated-banyan 구조로 구성되기 때문에 한정된 스위치 자원으로서 많은 양의 셀을 복사할 수 있는 장점을 가지고 있어 멀티캐스팅 스위치에 적합한 구조이다.

셀 처리율 및 손실율 분석은 팽창계수가 $D_1=2, D_2=3, D_3=4$ 인 8x8 구조에서 실시한다. 셀 처리율은 네트워크 입력 부하에 따라 모든 입력 포트에 복사될 마스터 셀이 평균 복사수를 가지고 입력될 때 출력포트에 성공적으로 도착되는 비율을 분석한다. 즉, 8x8 구조의 모든 입력포트에 평균 RCN이 1에서 8까지 변화될 때 모든 출력포트에 복사된 셀들이 무사히 도착하는지 여부를 측정한다. 이때 임의의 수단급 복사된 셀이 출력포트에 도착하지 못할 경우에는 손실된 것으로 가정한다. 분석을 간단히 하기 위하여 제안된 네트워크에 입력된 셀들은 모든 입력포트에 균일하게 분포되며, 각 입력포트에 입력되는 셀들의 프로세스는 도착 시간 s 를 가지고 있는 지수분포 분포에 따른다고 가정한다. 또한 입력 버퍼의 크기를 무한하다고 가정하고 멀티캐스트 셀의 RCN은 입력 버퍼의 HOL(head of line)위치에서 포아송(Poisson) 분포를 갖는 독립적

인 랜덤 변수라고 가정한다. 셀 처리율을 분석하는 시뮬레이션은 입력 부하 변동에 따라 10^6 시간 슬롯 동안 동작시키며 입력 부하 ρ 는 셀이 도착되는 평균 도착 시간의 역인 도착률에 의하여 주어진다. 입력 부하 $\rho=0.2, 0.3, 0.4$ 인 경우 각 입력포트에서 평균 RCN을 1에서 8까지 변화시킬 때 결과가 그림 5에 표현되어 있다. $\rho=0.2$ 의 경우에는 각 입력포트에 평균 RCN이 3 즉, 모든 출력포트에 도달하는 평균 셀 수가 24까지는 100%의 처리율을 보여주고 있으며 입력포트에서 평균 RCN이 8 즉, 출력포트에서 도착할 셀 수가 64일 경우에는 96.65%의 처리율을 보여주고 있다. $\rho=0.3$ 인 경우에는 RCN이 1일 경우에는 100%, 4인 경우에는 99.82%, 8인 경우에는 91.94%의 처리율을 각각 보여주고 있다.

그림 6은 $\rho=0.5, 0.6, 0.7$ 인 경우의 처리율을 표현한 것으로서 RCN이 1인 경우에는 모든 입력부하에서 100%의 처리율을 보여주고 있다. $\rho=0.6$ 의 경우는 네트워크의 과부하 상태라고 볼 수 있으며 RCN이 4일 때 셀 처리율은 99.15%를 보여주고 있어 양호한 성능을 보여주고 있다. $\rho=0.7$ 의 경우 RCN 값이 각각 4, 8일 경우 98.11%, 69.01%의 처리율을 보여주고 있다.

$\rho=0.8, 0.9, 1$ 의 경우에는 상당한 과부하 상태라고 볼 수 있으며 이는 거의 매 시간 슬롯마다 복사될 셀이 입력되는 경우에 해당된다. 이 경우에도 모든 입력 부하에서 RCN이 1인 경우에는 100%의 처리율을 보여주었으며 $\rho=0.8$ 의 경우 RCN이 4인 경우에는 96.85%, 8인 경우에는 63.31%의 처리율을 보여주고 있다. RCN이 4와 8일 경우 $\rho=0.9, 1$ 의 경우를 각각 비교해 보면 4일 경우에는 95.13%, 92.43%, 그리고 8일 경우에는 55.80%, 50.09%를 보여 입력 부하와 RCN이 증가될수록 처리율이 감소됨을 알 수 있다.

그림 8은 모든 입력 부하 조건 $\rho=0.1 \sim 1$ 에서 평균 RCN 값이 1~8로 입력될 경우 각각의 셀 손실 확률을 표현한 그림이다. 따라서 그림 8의 셀 손실 확률은 앞의 셀 처리율을 표현한 그림들과 동일한 입력 부하와 RCN 조건에서 상호 trade-off 관계가 성립한다. 그림에서 RCN 값이 1일 경우에는 점 대 점 스위칭 방식과 동일한 조건이다. 또한 입력 부하가 1일 경우에는 매 시간 슬롯 동안 복사할 셀이 입력되는 경우이고 이 때 RCN 값이 8인 경우에는 매 시간 슬롯 동안 출력포트 수만큼 복사할 셀이 모든 입력포트로 입력되는 가장 극한 상황으로 볼 수 있다. 이와 같은 조건에서도 제안된 멀티캐스트 스위

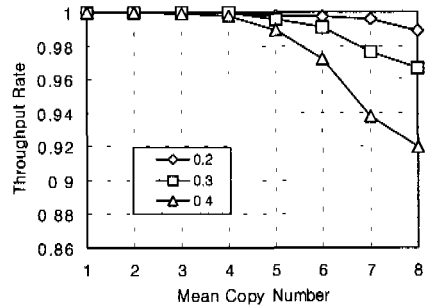


그림 5. 방송네트워크에서 셀 처리율($\rho=0.2, 0.3, 0.4$)

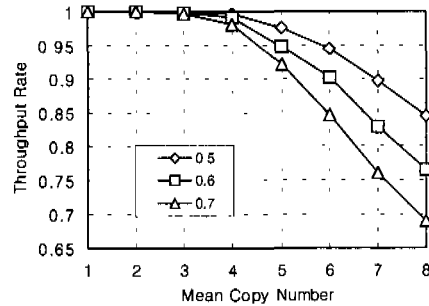


그림 6. 방송네트워크에서 셀 처리율($\rho=0.5, 0.6, 0.7$)

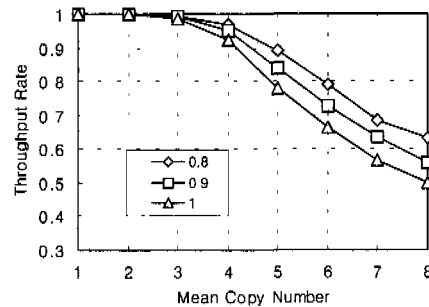


그림 7. 방송네트워크에서 셀 처리율($\rho=0.8, 0.9, 1$)

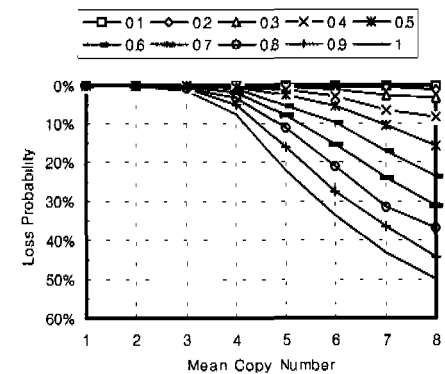


그림 8. 모든 입력 부하에서 셀 손실 확률

치는 셀 손실 확률이 49.90%로서 어떠한 트래픽 조건에서도 셀 처리율이 50% 이상임을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 ATM 멀티캐스트 스위치에서 필요한 팽창 복사 네트워크를 제안하였다. 복사 네트워크의 성능은 복사를 요구한 셀의 복사 합이 복사 네트워크의 출력포트의 수보다 많을 경우 발생하는 오버 플로우에 영향을 받는다. 기존 스위치들은 복사된 셀을 처리하는 방법에 따라 입력포트에서 복사될 셀들을 처리하는 방법에 따라 일률적으로 제어하는 방법과 복사 네트워크 내부 스위칭 노드에 버퍼를 설치하여 이를 해결하는 방법으로 구분되었다. 입력포트에서 제어하는 방법은 주로 입력단 버퍼에서 셀 지연율이 발생하였고, 스위치 내부에서 해결하는 방법은 출력 경쟁에 의한 셀 지연율이 문제가 되었다. 제안된 복사 네트워크는 입력단에서 일률적으로 제어하는 방법을 취하면서 한정된 스위칭 자원으로서 대규모 셀을 복사할 수 있는 구조로서 처리율을 향상시킨 구조이다. 성능 분석은 입력 포트에서 입력 부하 변동에 따라 평균 복사 요구 수를 변화시키면서 셀 처리율을 비교 분석하였다. 분석 결과 기존 구조보다 제안된 구조가 모든 입력 부하 변동 범위에서 셀 처리율이 확연하게 개선됨을 알 수 있었다.

앞으로 연구되어야 할 사항은 실제 시스템 환경 하에서 일어날 수 있는 비 균일 트래픽 환경에서 셀 처리율 분석이 이루어져야 하고, 오버플로우 발생을 경감하기 위한 적절한 팽창계수를 결정하기 위하여 셀 복사 요구 수의 트래픽 분포가 분석되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Guo MH, Chang RS, "Design issues for multicast ATM switches," *Computer Communications*, V.22 N.9, pp. 771-777, 6. 1999.

[2] Jae W. Byun and Tony T. Lee, "The design and analysis of an ATM multicast switch with adaptive traffic controller," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 2, no. 3, pp. 288-298, June 1994.

[3] H. Jonathan Chao and Byeong-Seog Choe, "Design and Analysis of a large-scale multicast

output buffered ATM switch," *IEEE ATM Development and Applications Selected Readings*, pp. 121-133, 1996.

[4] M. Alimuddin, H. M. Alnuweiri and R. W. Donaldson, "Efficient Multicast Copy Network," *IEEE international Workshop on Broad-band Switching Systems*, pp. 169-172, 12. 1997.

[5] Andrzej jajszyk and Wojciech Kabacinski, "A Growable ATM Switching Fabric architecture," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, no. 3, Mar. 1995.

[6] 정진태, 이옥재, 전병실, "ATM 교환 시스템의 성능 향상을 위한 새로운 셀 스위치 구조 연구," *전자공학회 논문지-S*, 제34권, S편, 제3호, 3. 1997.

[7] 이옥재, 전병실, "ATM 멀티캐스트 스위치에서 복사 네트워크의 셀 분배 알고리즘," *전자공학회 논문지-S*, 제35권, S편, 제8호, 8. 1998.

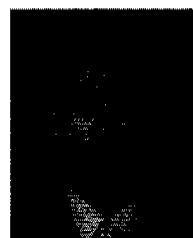
[8] 이옥재, "ATM 멀티캐스트 스위치의 지연을 개선 위한 모듈 구조의 복사 네트워크," *한국통신학회 논문지*, 제24권, 제12T호, 12. 1999.

[9] Jae W. Byun and Tony T. Lee, "The design and analysis of an ATM multicast switch with adaptive traffic controller," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.2, no. 3, pp. 288-298, June 1994.

[10] E. T. Bushnell and J. S. Meditch, "Dilated multistage interconnection networks for fast packet switching," *IEEE INFOCOM*, pp. 1264-1273. 1991.

이 옥 재(Ok-Jae Lee)

정희원



1986년 2월: 전북대학교
전자공학과(공학사)

1994년 8월: 전북대학교
전자공학과(공학석사)

1998년 2월: 전북대학교
전자공학과(공학박사)

1986년 8월~1999년 3월: 군산대학교

1999년 4월~현재: 원광보건대학 정보통신과(전임강사)

<주관심 분야> ATM Switching Network, ATM LAN, VPN