

Tandem Expanded 델타 네트워크에 기반한 재순환 멀티캐스트 스위치

정희원 서경희*, 이수미**, 김성천***

Recirculated Multicast Switch Based on Tandem Expanded Delta Network

Kyung-Hee Seo*, Su-Mi Lee**, Sung-Chun Kim*** *Regular Members*

요 약

주문형 비디오 시스템과 같은 고속 네트워킹 응용들은 매우 높은 멀티캐스트 부하를 지원할 수 있는 스위치를 필요로 한다. 과거에 연구된 스위치들은 멀티캐스트되는 패킷의 비율이 25~30% 정도에서 성능이 유지되었다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 85~90% 정도의 높은 멀티캐스트 부하에서도 성능이 저하되지 않는 TEDN 멀티캐스트 스위치가 제안되었다. 그러나 TEDN 멀티캐스트 스위치의 일련의 라우팅 망에는 사용되지 않는 라우팅 용량이 매우 많이 존재한다. 본 논문에서는 과도한 라우팅 용량을 절약하기 위하여 개선된 TEDN 멀티캐스트 스위치를 제안한다. 마지막 라우팅 망에서 패킷을 재순환시킴으로써, 기존의 스위치보다 더 적은 라우팅 망을 사용하여 허용 가능한 패킷 손실률을 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안된 스위치들이 더 적은 하드웨어 비용으로 허용 가능한 패킷 손실률을 얻을 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

High speed networking applications like video-on-demand require the support of switches that can handle very high multicast loads. Switches studied in the past can support multicast loads of 25~30%. To overcome this limitation, Tandem Expanded Delta Network(TEDN) multicast switch was proposed to support more higher multicast load by 85~90% without degradation in the performance. But there is tremendous routing capacity that is not used in the series of routing network blocks. This paper presents modified TEDN multicast switches to save the excessive routing capacity. By recirculating packets in last routing network, we can achieve the acceptable packet loss ratio with the smaller number of routing network blocks. Extensive simulations show that our proposed switches have the acceptable packet loss ratio with reduced hardware cost.

I. 서 론

최근 들어 B-ISDN에 근간이 되는 고속의 패킷 스위치에 관한 많은 연구가 이루어졌다^[1]. 여러 응용 분야들 중에서 특히, 화상 회의 시스템이나 원격 교육 시스템, 주문형 비디오 시스템은 정보의 전송이 하나의 근원지로부터 많은 사용자에게 동시에

이루어지는 멀티캐스트 전송을 특징으로 한다. 따라서 고속의 패킷 스위치는 통상적인 단일 전송(unicast)뿐 아니라 멀티캐스트 전송(multicast)이 필수적인 요소로 간주되어진다. 과거에 연구된 스위치들은 멀티캐스트 기능을 가지고 있지만, 멀티캐스트 패킷의 비율이 단일 전송 패킷에 비해 매우 높은 경우에는 현저한 성능의 저하를 보인다^[2]. 최근 통

* 성신여자대학교 컴퓨터정보학부 (Khseo@cs.sungshin.ac.kr),

** ITMobile Inc (smlee@itmobile.co.kr),

*** 서강대학교 컴퓨터학과 (ksc@arqlab1.sogang.ac.kr)

논문번호 020384-0907, 접수일자 2002년 9월 7일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 R01-2001-000-00356-0(2002) 지원으로 수행되었습니다

신망의 고속화 추세로 볼 때, 스위칭 망에 부과되는 부하는 점점 늘어날 것이며 따라서 높은 멀티캐스트 부하에도 견딜 수 있는 멀티캐스트 스위치의 개발이 요구된다

멀티캐스트 스위치들 중, 높은 멀티캐스트 부하를 처리하기 위하여 Tandem Expanded Delta Network (TEDN) 스위치가 제안되었다^[2]. 그러나 TEDN 멀티캐스트 스위치에는 사용되지 않는 라우팅 망 용량이 많고 라우팅 망 내에 사용되지 않는 스위칭 소자가 존재하는 등 하드웨어의 낭비를 초래하는 문제점이 있다 따라서 본 논문에서는 마지막 라우팅 망에서 패킷을 재순환시킴으로써 더 적은 라우팅 망을 사용하면서 패킷 손실률을 허용 가능한 정도로 낮출 수 있는 방법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다 2장에서는 패킷 스위칭 망에서 멀티캐스팅이 이루어지는 방법과 기존 연구에 관하여 살펴본다 3장에서는 본 논문에서 제안하는 재순환되는 TEDN의 구조를 보여주고, 재순환시 재순환 패킷이 입력되는 위치에 따라 서로 다른 세 가지 재순환되는 TEDN을 소개한다. 4장에서는 재순환되는 TEDN의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다

II. 멀티캐스트 스위치

일반적으로 멀티캐스트 스위치는 그림1과 같이 복사망과 라우팅 망의 직렬 연결로 이루어져 있다^[3-5]. 복사망에 진입한 입력 패킷이 복제된 후 라우팅 망을 통해 최종 목적지로 전송된다.

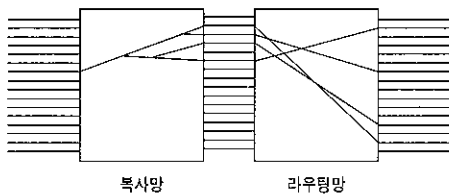


그림 1 멀티캐스트 스위치의 구조

이러한 구조를 기반으로 하는 스위치로는 Lee^[3]가 제안한 논블록킹 복사망(nonblocking copy network)이 있다. 이는 요청된 복사본을 복제할 때 충돌이 발생하지 않도록 설계되었는데, 복제 요청의 수가 스위치의 용량을 초과하면 오버플로우 현상이 일어날 수 있다는 문제가 있다. 또한 복사망의 입력과 출력에서 불공정성을 초래한다. 이러한 불공정성 문제를 해결하기 위하여 적응적 트래픽 제어를

사용한 ATM 멀티캐스트 스위치^[6]가 제안되었다. 이 스위치에서 사용되는 복사망은 원래의 복사망과 유사한 형태이며, CRAN(Cyclic-RAN)과 쉬프터(shiftter)를 채용한 것이 다르다. 복사망으로부터 출력된 패킷이 라우팅 망으로 진입할 때 쉬프터를 통해 골고루 분산됨으로써 출력 불공정성을 해소한다 그러나 하드웨어 비용과 트렁크 번호 변환기의 복잡도 때문에 스위치의 크기를 확장하는 것이 어렵다는 단점을 갖는다

하드웨어 비용을 줄이기 위해 사용되는 리사이클링 방법(recycling method)을 적용한 대표적인 구조로 리사이클링 다단계 망(recycling multistage network)^[7]을 들 수 있다 이것은 일반적인 복사망을 사용하지 않고 기본적인 라우팅 망으로 사용되는 베니안 망을 wrap-around 방식으로 연결하여 망내의 출력을 다시 입력 측으로 리사이클링하는 방법이다 그러나 이 기법은 패킷의 지연시간이 길어진다는 단점이 있으며, 여러 패스를 거치는 패킷은 다음 사이클에서 새로 도착한 패킷들과 경쟁하게 되어 서로 다른 멀티캐스트 패킷들 간에 발생하는 충돌을 해결하지 못한다

지금까지 연구된 대부분의 스위치에서는 패킷이 출력 링크에서 혼잡을 겪게 된다는 단점을 가진다. 이것은 $N \times N$ 스위치가 가진 고유한 특징 때문이다. Expanded Delta Network (EDN)^[8]은 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 다중 출구를 가지는 망 중의 하나이다. 또한 어떤 사이클에서 라우팅에 실패하여 다음 사이클로 진입할 때 새로 망에 도착한 패킷들과의 충돌을 피하기 위하여 제안된 방법으로 Tandem Banyan Switch Fabric(TBSF)^[9]이 있다 이 두 가지 방법을 결합하여, TBSF가 가진 장점을 취하면서 복사망과 라우팅 망으로 베니안망 대신 다중출구를 갖는 EDN망을 사용함으로써, $N \times N$ MIN이 지닌 구조적인 단점을 해결하고자 제안된 것이 TEDN^[2] 스위치이다.

TEDN 멀티캐스트 스위치는 허용 가능한 패킷 손실률을 성취하기 위하여 5-8개에 이르는 라우팅 망을 요구한다^[2] 그림 2는 팽창계수 EF를 4로, 멀티캐스트 부하를 0.8로 가정했을 때, 망의 크기 N 에 대한 TEDN 스위치의 각 라우팅 망에서 성공적으로 라우팅되는 패킷 처리율의 변화를 나타낸 것이다

첫 번째 라우팅 망에서 성공적으로 라우팅되는 패킷의 비율은 최소 43% ($N=256$)에서 최대 56% ($N=32$)에 이른다. 두 번째 망에서 라우팅되는 패킷

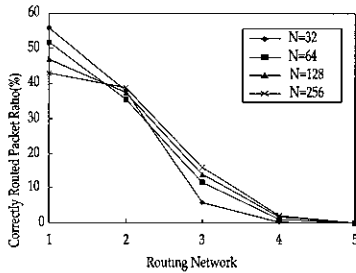


그림 2 각 라우팅 망에서 성공적으로 라우팅되는 패킷의 비율

의 비율은 36% (N=64)에서 39% (N=256)이다. 즉 첫 번째와 두 번째 라우팅 망을 통해 라우팅되는 패킷의 비율은 32노드, 64노드, 128노드, 그리고 256노드에서 각각 94%, 87%, 84%, 82%가 된다 실험의 결과를 통해, 첫 번째와 두 번째 라우팅 망을 제외한 다른 망들에서 라우팅되는 패킷의 비율은 매우 낮다는 것을 알 수 있다 따라서 첫 번째와 두 번째 라우팅 망이 라우팅에 주로 사용되며 나머지 라우팅 망은 효율적으로 사용되지 않고 있다 TEDN 멀티캐스트 스위치의 또 다른 문제점은 EDN 내에 사용되지 않는 스위칭 소자와 입력 링크가 존재한다는 것이다. 크기가 $N \times N$ 이고 $EF=2^k$ 이라고 할 때, EDN 내에서 사용되지 않는 스위칭 소자의 수는 $N(2^{k-1}-1)$ 이다¹⁸⁾

III. 재순환 TEDN 멀티캐스트 스위치

TEDN 멀티캐스트 스위치의 구조는 라우팅 망의 비효율적 사용을 초래한다는 문제가 있으므로 재순환하는 구조로 변형하여 이를 해결하고자 한다. 재순환되는 TEDN 멀티캐스트 스위치는 복사망과 라우팅 망, 재순환 버퍼(recirculation buffer)와 패킷 필터(packet filter), 그리고 선택기(selector)로 구성된다.

복사망은 요청되는 수만큼의 패킷을 복제하는데 사용된다 Running Adder 망, Dummy Address 생성기, EDN 복사망, 그리고 트렁크 번호 변환기로 구성 되어 있다 Running Adder 망은 각 패킷에 대한 복사망의 dummy 주소 범위를 생성해내는데, 이는 복사망을 언블러킹 망이 되도록 하기 위해 필요하다. 재순환 TEDN에서는 복제 요청된 총 패킷의 수가 $EF \times N$ 이상일 경우에만 버퍼링되므로 높은 멀티캐스트 부하에서도 Running Adder망의 입력에서 버퍼링될 확률이 매우 적어진다

Dummy address 생성기는 Running Adder 망에서 계산된 주소의 범위와 요청된 패킷의 복제 수를 사용하여 패킷의 새로운 헤더를 만들어낸다 헤더는 주소의 범위인 최소 값과 최대 값을 포함하고 있다 즉, Running Adder 망과 Dummy Address 생성기를 통과하면서 패킷의 새로운 헤더가 생성된 후 복사망으로 진입하게 된다 이 인코딩 과정을 거친 후, EDN 복사망을 통해 원하는 수만큼의 패킷이 복제된다 패킷을 복제할 때는 블리언 간격 분할 알고리즘¹⁴⁾이 적용되어 트리 모양으로 패킷이 복제된다 트렁크 번호 변환기는 EDN 복사망으로부터 복제된 패킷들의 카피 인덱스와 VCI를 이용하여 실제 주소를 얻는다 복사망으로 진입하기 전에 IR(index reference)는 주소 간격 중 최소 주소의 값으로 설정되며, 복사망을 통과한 후에, 출력 주소로부터 IR을 뺀 값을 카피 인덱스라고 한다. 이것은 복제된 동일한 패킷들을 서로 구별하기 위하여 사용된다. 출력 주소는 테이블에 저장되어 있으므로 주소 변환은 매우 빠르게 이루어진다

재순환되는 TEDN 멀티캐스트 스위치의 라우팅 망에 도착한 패킷의 헤더에는 misrouted bit, active bit과 더불어 마지막 라우팅 망에서 재순환된 횟수를 저장하기 위한 재순환 필드(recirculation field)가 포함된다. 기존 스위치의 헤더와 다른 점은, 제안된 구조의 헤더에는 재순환 필드가 추가된다는 것이다

패킷은 TEDN에서와 동일한 방식으로 라우팅된다 다만, 마지막 라우팅 망에 재순환 버퍼가 설치되어 있으며, 마지막 라우팅 망을 거친 패킷이 재순환 버퍼로 들어가기 바로 전에 패킷 필터에 의해 패킷이 폐기될 것인지 혹은 버퍼에 저장될 것인지 결정된다 재순환 버퍼가 마지막 라우팅 망의 입력 소자와 연결되는 위치에 따라, 다음과 같은 세 가지 개선된 TEDN을 제안한다: 입력 링크를 공유하는 재순환 기법, 사용되지 않는 EDN 스위칭 소자를 이용하는 재순환 기법, 그리고 라우팅 경로를 분할하는 기법이다.

1 입력 링크를 공유하는 재순환 기법

그림 3은 재순환되는 TEDN 멀티캐스트 스위치의 가장 간단한 구조이다 마지막 EDN 라우팅 망의 출력에 FIFO 재순환 버퍼를 두어 i번째 재순환 버퍼의 출력을 선택기에 의해 다시 마지막 라우팅 망의 입력 i에 연결한다. 재순환 버퍼에 저장된 패킷은 마지막 라우팅 망의 대응되는 입력 라인으로 삽입된다. 선택기는 입력 라인이 idle 인지 아닌지를

확인한다. 만일 이전 라우팅 망으로부터 패킷이 전달되어 입력 라인이 busy 상태라면 재순환 버퍼에 저장되어 있던 패킷은 진입이 차단된다.

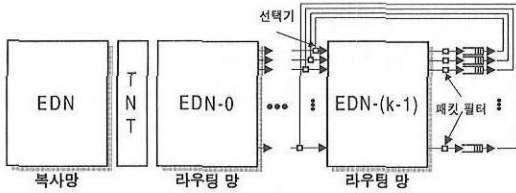


그림 3. 입력링크를 공유하는 재순환되는 TEDN 멀티캐스트 스위치의 구조

패킷은 미리 정해진 재순환 횟수동안만 재순환이 가능하며 이를 넘기면 폐기된다. 이것은 특정한 패킷이 라우팅 망에 계속 남아 혼잡을 일으키지 않도록 하기 위한 것이다. 스위치로 진입하기 전에 재순환 횟수를 재순환 필드에 기록한다. 마지막 라우팅 망을 통과한 패킷은 패킷 필터로 들어가서 폐기될 것인지 재순환 버퍼에 저장될 것인지가 결정된다.

2. 사용되지 않는 EDN 스위칭 소자를 이용하는 기법

입력 링크를 공유하는 재순환 기법에서는 이전 라우팅 망으로부터 미스라우트 패킷이 전달되는 동안에는 재순환 패킷이 라우팅 망으로 진입할 기회를 잃게 되어 재순환 패킷의 지연시간이 증가될 수 있다. 여기서 제안하는 재순환 기법은 EDN 망 내의 사용되지 않는 스위칭 소자와 입력링크를 이용하여 이전 라우팅 망으로부터 전달된 패킷과 재순환 패킷들 간에, 입력 스테이지에서 발생할 수 있는 충돌을 막아 재순환 패킷의 지연시간의 증가를 억제하는 방법이다.

그림 4는 EDN망 내의 사용되지 않는 스위칭 소자를 이용한 재순환 TEDN 멀티캐스트 스위치의 구조를 보인 것이다. 그림 5는 EF가 4인 4x4 EDN을 사용했을 때, 재순환 버퍼와 마지막 라우팅 망 입력간의 연결 상태를 자세히 보인 것이다. 입력 포트 0부터 (N-1)까지 이전 라우팅 망의 출력 포트와 연결되어 있으며, 입력포트 N부터 (2N-1)까지는 재순환 버퍼와 연결되어 있다.

재순환되는 패킷과 이전 라우팅 망에서 온 패킷이 서로 다른 입력 링크를 통해 진입하므로 입력 스테이지에서 두 부류의 패킷들 간의 충돌을 방지할 수 있다. 앞서 제안된 구조와 비교해 볼 때, 재순환되는 패킷이 망으로 삽입될 기회가 더 많아져

지연시간은 감소하는 반면, 라우팅되어야 하는 패킷의 수가 더 많아지기 때문에 마지막 라우팅 망 내의 혼잡이 증가되어 미스라우트 패킷의 수는 좀더 증가될 수 있다. 그러나 라우팅 망의 마지막으로 갈수록 패킷의 수가 점차 감소되기 때문에, 결과적으로 마지막 라우팅 망을 좀더 효율적으로 활용하는 방법이 된다.

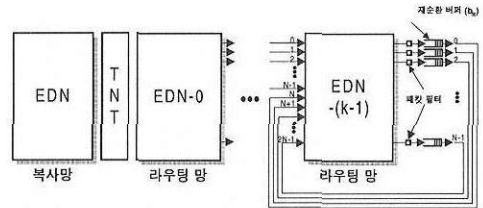


그림 4. 사용되지 않는 EDN 스위칭 소자를 이용한 재순환 TEDN 멀티캐스트 스위치의 구조

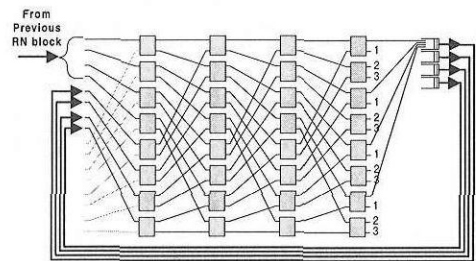


그림 5. 4x4 EDN을 사용했을 때 마지막 라우팅 망에서의 재순환 구조

그러나 이 기법에서는 망 내에서 두 부류의 패킷들이 충돌을 일으키는 경우가 발생할 수 있다. 예를 들어 앞선 망으로부터 목적지가 0인 패킷 A가 입력되고 목적지가 1인 재순환 패킷 B가 동일한 사이클 동안 입력된다고 하면 이들은 스테이지 2의 스위칭 소자 0에서 동일한 출력 링크를 요구한다. 이러한 상황을 나타낸 것이 그림 6이다. EDN은 다중 경로가 존재하는 MIN이므로 패킷 B는 목적지로의 대체 경로가 존재함에도 불구하고, 패킷 A와 동일한 출력 포트를 요구하여 두 패킷 중 하나는 다시 미스라우트 패킷이 된다.

3. 라우팅 경로를 분할하는 재순환 기법

사용되지 않는 EDN 스위칭 소자를 이용하는 기법에서 발생할 수 있는 내부 블럭킹을 막기 위하여 망 내의 경로를 분할하는 방법을 제안한다. 다중 경로를 갖는 MIN은 분할되는 성질을 내재하고 있다^{[10],[11]}. 그림 7과 그림 8은 EDN 망을 분할할 때, 두 부류의 패킷을 위한 각각의 라우팅 경로를 보여준

다. 입력 포트 0로부터 (N-1)로 진입하는 패킷은 스테이지 0의 스위칭 소자에서 상위 링크를 사용하게 하고, 입력 포트 N부터 (2N-1)의 패킷은 하위 링크를 사용하게 하면, 두 부류의 패킷들은 서로 다른 경로를 거쳐 라우팅된다. 이처럼 망 내의 경로를 분할함으로써 그림 6에서와 같은 충돌을 피할 수 있다.

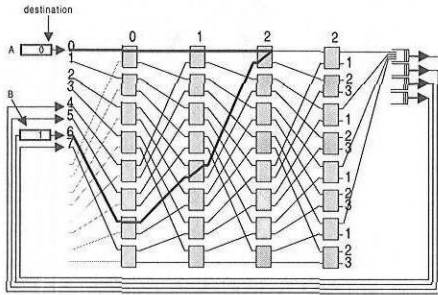


그림 6. 패킷 A와 B가 내부 충돌을 일으키는 예

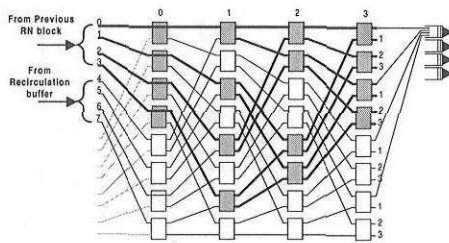


그림 7. 이전 라우팅 망에서 진입한 패킷을 위한 경로

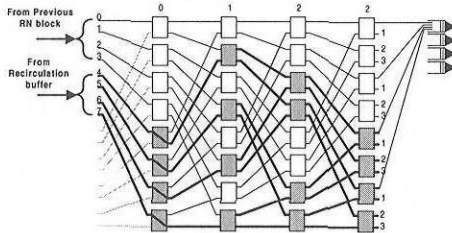


그림 8. 재순환된 패킷을 위한 경로

3.1 개선된 라우팅 알고리즘

라우팅 망의 경로를 분할하려면 라우팅 태그의 수정이 필요하다. 이전 라우팅 망에서 진입된 패킷은 스테이지 0의 스위칭 망에서 상위 링크로 출력되도록, 그리고 재순환된 패킷은 하위 링크로 출력되도록 라우팅 태그의 목적지 주소를 수정한다. 스테이지 수 $s = k + \log N$ 일 때 목적지 주소의 비트 패턴을 $d_0 d_1 \dots d_s$ 라 하면, 스테이지 0에서 상위 링크로 패킷이 라우팅되게 하려면 $d_0 = 0$ 로, 하위 링크로 라우팅되게 하려면 $d_0 = 1$ 로 변경한다. 다음은 멀티캐

스트 스위치의 라우팅 알고리즘에서 라우팅 태그의 목적지 주소를 변경하는 부분이다:

```

if (0 ≤ src < N) /*packet from the previous routing
network blocks*/
    { Set the routing tag to use upper output link }
if (N ≤ src < 2N) /*packet from the recirculation buffer*/
    { Set the routing tag to use lower output link }
    
```

IV. 성능평가

재순환되는 TEDN 멀티캐스트 스위치의 성능을 평가하기 위해, SES/Workbench를 사용하여 이산 사건 모델링으로 시뮬레이션을 수행하였다. 멀티캐스트 스위치는 32, 64, 128, 그리고 256 노드 등으로 크기를 달리하여 각각 시뮬레이터를 개발하였다. 스위칭 망의 성능 분석을 위해서 일반적으로 사용되는 중요한 성능 평가 요소는 패킷의 평균지연시간(average delay)과 패킷 손실률(packet loss ratio)이다. 본 논문에서는 패킷이 라우팅 망을 통과하는데 걸리는 시간을 평균지연시간에 포함시켰으며, 패킷 손실률은 모든 라우팅 망을 거친 후에도 라우팅에 실패한 패킷의 비율이다.

스위칭 망의 크기 N, 스테이지 수 S, 스테이지 사이클 C, 목적지에 도착한 총 패킷의 수 P, 패킷 i가 라우팅 망으로 진입한 시간 G_i , 그리고 패킷 i가 목적지에 도착한 시간 A_i 에 대해 평균지연시간은 다음과 같다:

$$Average\ Delay = \frac{\sum_{i=1}^P (A_i - G_i)}{SCP}$$

라우팅에 실패한 패킷의 총 수 $P_{misroute}$ 에 대해, 패킷 손실률은 다음과 같이 계산되며

$$Packet\ Loss\ Ratio = \frac{P_{misroute}}{P + P_{misroute}}$$

10^6 이하일 때, 허용 가능하다고 한다^[2]. 트래픽 모델은 2상태 유체 흐름 모델(two-state fluid-flow model)로 가정하였다. 패킷을 생성시키는 프로세서 모듈은 on 혹은 off의 두 상태 중 하나가 되며, on 상태일 경우에는 매 클럭마다 패킷이 생성되며, off 상태일 경우에는 패킷이 생성되지 않는다. on 상태의 기간은 9 클럭 주기를 평균으로 하는 지수분포를 따르며, off 상태의 기간은 클럭 주기를 평균으로 하는 지수 분포를 따른다고 가정한다.

재순환되는 TEDN 멀티캐스트 스위치에 대해서

멀티캐스트 부하를 0.8로 가정하고, 라우팅 망의 수가 하나 또는 두 개일 때 시뮬레이션을 수행하였다. 앞 절에서 살펴본 각 기법 중 입력링크를 공유하는 재순환 기법을 CIR, 사용되지 않는 EDN 스위칭 소자를 이용하는 재순환 기법을 EDN_SE, 그리고 라우팅 경로를 분할하는 재순환 기법을 PART라고 표현하였다. RN은 사용된 라우팅 망 블록의 수를 의미한다

그림 9는 32노드의 스위치에서 각 기법에 따른 패킷 손실률의 변화이다 RN이 1일 때, 패킷 손실률은 CIR에서 최고 3.85×10^{-2} 까지 감소하였지만, 어느 기법에서도 허용 가능한 패킷 손실률을 얻을 수 없었다. CIR에서 패킷 손실률이 가장 낮은 것은 이때에 망 내의 혼잡이 가장 덜 하기 때문이다 RN이 2일 때는 하나의 라우팅 망을 사용한 경우와 다르게 PART일 때 패킷 손실률이 더 많이 감소함을 볼 수 있다 세 가지 방법에서 모두 허용 가능한 패킷 손실률을 보이는데, 특히 PART의 경우 재순환 횟수 3만에 허용 가능한 손실률에 접근한다. 다른 방법에 비해 PART가 더 낮은 손실률을 보이는 것은 첫 번째 라우팅 망에서 전체의 약 56%의 패킷이 라우팅에 성공하므로 두 번째 망에서 망을 분할하여 재순환하는 것이 망의 성능을 높인 것이다.

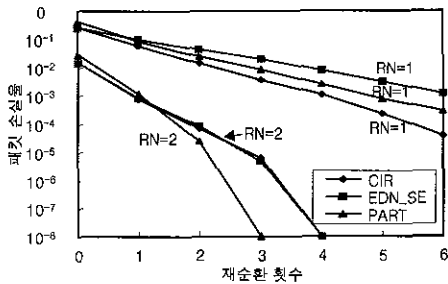


그림 9 패킷 손실률의 변화 (32노드)

그림 10은 256노드에서 패킷 손실률의 변화를 나타낸 것이다 RN이 1일 때, 라우팅 망내의 혼잡이 적은 CIR이 가장 낮은 패킷 손실률을 보인다. 재순환 횟수가 6일 때, CIR, EDN_SE, PART의 패킷 손실률은 각각 9.42×10^{-6} , 3.36×10^{-4} , 5.44×10^{-4} 이다 RN이 2일 때는 PART만 허용 가능한 손실률을 성취한다

그림 11은 32노드 스위치의 평균지연시간의 변화이다 RN이 1일 때, CIR은 재순환 횟수가 증가함에 따라 평균지연시간이 최고 73.4%까지 증가한다 반면에 EDN_SE와 PART의 경우 최고 13%, 17%

증가할 뿐이다. RN이 2일 때 평균지연시간은 기존의 방법에 비해 CIR, EDN_SE, PART에서 허용 가능한 손실률을 얻을 때, 각각 12.4%, 12.1%, 12.7%의 증가를 보였다 첫 번째 라우팅 망에서 라우팅에 실패한 패킷들 만 두 번째 라우팅 망으로 진입하기 때문에 재순환되는 패킷들과의 충돌에 의한 평균지연시간의 증가는 하나의 라우팅 망을 사용한 경우보다 미약하다

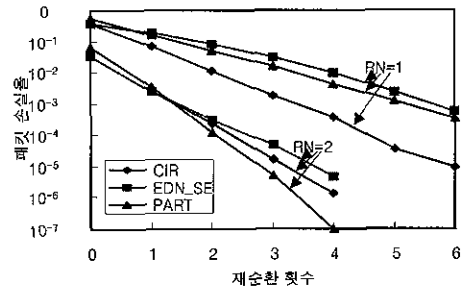


그림 10 패킷 손실률의 변화 (256노드)

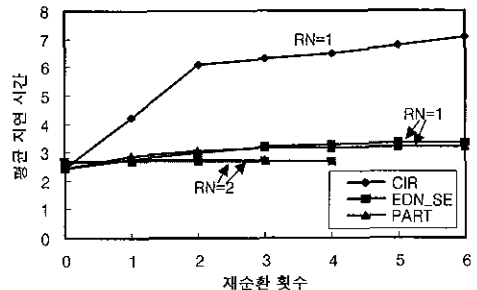


그림 11 평균지연시간의 변화 (32노드)

그림 12는 256노드 스위치에서 평균지연시간의 변화이다. RN이 1일 때, CIR은 평균지연시간의 증가율이 최고 42%로 가장 높다. PART는 입력 링크 수가 2N이므로 망으로 진입하는 시간이 CIR에 비해 적게 걸리므로 23%의 지연시간의 증가를 보였다 RN이 2일 때, PART만이 허용 가능한 패킷 손실률을 보이는데 이때의 평균지연시간은 기존의 스위치에 비해 823%가 증가했다.

하나의 라우팅 망으로 구성된 멀티캐스트 스위치 일 경우에는 패킷의 평균 지연 시간의 증가가 두드러졌지만, 두 개의 라우팅 망 블록을 사용하고 마지막 라우팅 망에서만 재순환 시키는 경우에는 평균 지연 시간도 많이 증가되지 않으면서 허용 가능한 패킷 손실률을 얻을 수 있었다 첫 번째 라우팅 망에서 적게는 약 43%(256 노드) 많게는 55.8%(32 노드)의 패킷이 올바르게 라우팅 되므로, 미스라우

