

IEEE 802.17 기반의 Resilient Packet Ring 기술과 표준화 동향

이재훈 (동국대학교 정보통신공학과)

요약

현재의 인터넷은 가입자 액세스 망, 기업 망, 메트로 망, 그리고 백본 망으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 이러한 망 중에서 가입자 액세스 망과 기업 망, 그리고 백본 망은 현재의 폭발적으로 증가하고 있는 인터넷 트래픽을 효율적으로 수용할 수 있도록 고도화되어 있으나, 메트로 망은 기존의 회선 교환 방식의 SONET/SDH 기반 망을 이용함으로써 비효율적이고 또한 비싸다는 단점을 가지고 있다. 이러한 메트로 망에서 효율적으로 인터넷 트래픽을 전송할 수 있는 RPR(Resilient Packet Ring) 기술이 IEEE 802.17 위원회에서 표준화되었다. RPR에서는 메트로 망에서의 필수 요소인 망 보호 메커니즘이 정의되어 있으며, 토폴로지 발견 메커니즘을 제공함으로써 인터넷의 고유 성질인 plug-and-play를 유지할 수 있어서 새로운 노드의 추가가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 링 형태의 각 노드들 간에 공평하게 망을 이용할 수 있기 위한 알고리즘도 정의되어 있다. 이 논문에서는 IEEE 802.17 위원회에서

정의된 RPR 기술 및 현재의 표준화 동향에 대해서 다루고자 한다.

1. 개요

인터넷은 21세기 정보화 사회의 핵심 인프라로 자리잡고 있으며, 인터넷을 통하여 전송되는 트래픽도 과거의 텍스트 모드의 트래픽에서 음성과 이미지, 그리고 영상을 포함하는 멀티미디어 트래픽으로 변화하였다. 인터넷 사용의 보편화와 더불어 이러한 멀티미디어 트래픽의 증가로 인하여 인터넷을 통하여 전송되는 트래픽의 양은 매 6개월마다 2배씩 증가하고 있으며 이러한 증가 추세는 앞으로도 지속될 전망이다. 따라서 이와 같은 인터넷 트래픽의 급격한 증가를 효율적으로 수용할 수 있는 인터넷 인프라의 구축이 필수적이라 할 수 있다.

인터넷은 가입자 액세스 망, 기업 망, 메트로 영역 망, 그리고 백본 망으로 구분할 수 있다. 백본 망에서는 많은 양의 인터넷 트래픽을 처리하기 위하여 IP over WDM (IPoWDM)이나 TSR(Terabit Switched Router)과 같은 기

가비트/테라비트 급의 초고속 라우팅/스위칭 기술이 사용되어 왔다. 또한 가정에서는 xDSL이나 케이블 망, 또는 FTTH와 같은 인터넷 접속 기술이 개발되어 가정에서도 적은 비용으로 수 Mbps 이상의 속도로 인터넷을 이용할 수 있게 되었다. 회사 내에서 사용하는 근거리 통신망의 경우에는 이전의 10 Mbps 이더넷에서 100 Mbps, 그리고 1 Gbps로 속도가 증가하였으며, 또한 이더넷 스위치가 보편적으로 사용됨으로써 기업 망 이용자에게 이전보다는 훨씬 더 많은 대역폭을 제공할 수 있게 되었다. 즉, 근거리 통신망을 기반으로 하는 기업 망과 가정 가입자 액세스 망, 그리고 인터넷 백본 망은 현재의 폭증하는 인터넷 트래픽을 처리할 수 있는 기술력을 가졌다고 할 수 있다. 그렇지만 대도시 내의 로컬 사이트들과 인터넷 백본 망을 연결해주는 네트워크인 메트로 영역 망(MAN: Metro Area Network)은 여전히 기존의 TDM(Time Division Multiplexing) 기반의 SONET/SDH(Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy) 방식의 링 망으로 구축되어 있어서 전체 인터넷 성능의 병목이 발생하고 있으며 전체 네트워크 구조에 있어서 속도의 불균형이 발생하고 있다.

SONET/SDH 망은 원래 음성 트래픽 전송에 적합하게 설계되어진 망으로써 회선 교환 방식으로 이루어져 있다. 따라서 SONET에서는 두 노드 간에 회선이 미리 설정되며 설정된 회선은 두 노드 간에 독점적으로 사용되기 때문에 SONET 망에서는 통계적 다중화 이득을 얻을 수 없다. 따라서 SONET 망에서는 인터넷 트래픽과 같은 버스티한 특성을 가진 데이터의 전송에는 비효율적이며 또

한 비싼 이용 요금을 지불해야 한다는 단점을 가지고 있다. SONET 방식의 링 망에서 멀티캐스트/브로드캐스트 트래픽을 전송하기 위해서는 소스 노드는 하나의 데이터를 모든 목적지마다 각각의 여러 개의 복사본을 만들어야 한다. 또한 SONET 방식의 링 망에서는 전체 대역폭 중에서 절반 정도가 링의 관리를 위해서 사용된다. MAN에서 링의 관리를 굉장히 중요한 요소이다. 그렇지만 SONET에서는 이러한 링 관리를 효율적으로 사용하지 못하고 상당히 많은 양의 대역폭을 그냥 낭비하고 있다. 이러한 메트로 망에서의 SONET의 단점을 보완하기 위하여 메트로 이더넷 기술이 제안되었다.

SONET에 비해 이더넷의 장점을 살펴보면, 이더넷은 패킷 교환 방식이므로 링크의 대역폭을 공유할 수 있기 때문에 효율적으로 망 자원을 사용할 수 있다. 즉, 여러 사용자들이 전송하는 프레임들을 하나의 링크를 통해 통계적 다중화 함으로써 링크 당 가용 사용자의 수가 전용 회선을 제공하는 SONET 망에 비해 매우 많기 때문에 대역폭 당 비용이 저렴하다. 또한 이더넷은 LAN 시장에서 대단히 성공한 기술로서 이미 대량 생산 시스템 속에서 생산, 관리되어 있다. 따라서 이더넷과 관련된 칩과 장비의 가격이 싸다. 그리고 이더넷은 관리 및 운용이 용이하며 오랫동안 LAN 영역에서 사용되어 오면서 망 관리자에게 매우 익숙해져 있으며 이미 LAN의 95% 이상이 이더넷이므로 MAN, WAN을 이더넷 기반으로 구축하면 프로토콜 변환 등의 네트워크 오버헤드가 제거된다는 장점이 있다. 그렇지만 이러한 이더넷 기술도 이더넷 고유의 특징 때문에 현재의 MAN에 그대로 적용

하기에는 어려운 문제점들이 발생하게 된다. 가장 큰 단점 중의 하나는, 이더넷은 point-to-point 또는 메쉬 토폴로지에 적합하게 설계되어 있으나 현재의 대부분의 MAN이 링 토폴로지의 형태를 취하고 있기 때문에, SONET 방식의 링 망에서 제공하는 빠른 망 복구 메커니즘을 이더넷에서는 제공하지 못한다는 단점이 있다. 또한 이더넷은 링의 대역폭을 공유함에 있어서 전체적으로 망을 공평하게 이용하기 위한 메커니즘의 구현이 어렵다.

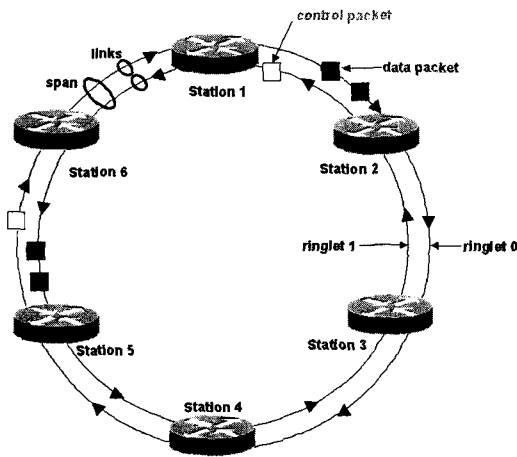
이와 같이 SONET은 링 토폴로지의 이점을 가지나 트래픽을 효율적으로 처리하지 못하기 때문에 많은 대역폭을 낭비하고 있으며, 이더넷은 데이터 트래픽에는 적합하지만 링 형태의 메트로 영역에서는 많은 단점을 가지고 있다. 즉, SONET이나 이더넷 그 자체로는 링 형태의 MAN에서의 데이터 트래픽을 처리하는데 비효율적이라 할 수 있다. 이러한 SONET과 이더넷의 장점을 살려 MAN에서 효율적으로 데이터 트래픽을 전송할 수 있는 기술이 RPR(Resilient Packet Ring)이다. RPR은 광섬유를 이용한 링의 형태를 가지고 있으며 링 형태에 적합한 MAC 프로토콜이 정의되어 있다. RPR의 특징을 살펴보면 다음과 같다. RPR에서는 링을 구성하고 있는 링크나 노드에 고장이 발생하더라도 통신이 계속 유지될 수 있다는 것이다. 대역폭 측면에서 본다면 소스 노드로부터 전송된 프레임은 목적지 노드에서 제거되어, 그만큼의 대역폭을 다른 노드들이 사용할 수 있어서 대역폭을 “공간적 재사용”할 수 있기 때문에 훨씬 효율적으로 대역폭을 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 멀티캐스트나 브로드캐스트 트래

픽의 경우에는 소스 노드가 하나의 프레임만 생성해서 링을 통하여 전송하면 그 프레임이 전체 링을 순환하는 동안 목적지에 해당하는 노드들이 수신하고, 다시 그 프레임이 소스 노드에 도착하면 링에서 제거되므로 대역폭의 사용이 효율적이다. RPR에서 정의되는 “토폴로지 발견” 메커니즘을 이용하면 이더넷의 고유 성질인 “plug-and-play”를 유지할 수 있어서 새로운 노드의 추가가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 RPR에서는 3 단계의 서로 다른 우선순위를 갖는 트래픽을 전송할 수 있으며, 링의 노드들 사이에 공평성을 제공함으로써 모든 노드들이 전체 대역폭을 골고루 효율적으로 나누어 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. RPR은 2004년 7월에 표준이 완료되었으며, 현재에는 브리지 기반의 RPR에서의 성능 향상을 위한 표준화가 IEEE 802.17 위원회에서 진행 중에 있다.

이 논문에서는 MAN에서 효율적으로 데이터 트래픽을 전송할 수 있는 RPR 기술에 대해서 살펴보고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 RPR의 구조에 대해서 살펴보고, III장에서는 RPR에서의 공평성 제공 알고리즘에 대해서 살펴본다. IV장에서는 토폴로지 발견 메커니즘과 링을 구성하고 있는 노드나 링크에 고장이 발생하는 경우의 망 보호 메커니즘에 대해서 살펴본다. V장에서는 현재 IEEE 802.17에서의 표준화 동향을 살펴보고, IV장에서 결론을 맺는다.

II. RPR 구조

RPR은 그림 1에 나타나 있는 것과 같이 각 각이 단 방향 링크로 구성된 두 개의 링으로



〈그림 1〉 RPR 네트워크 토폴로지.

구성되어 있다. RPR을 구성하고 있는 노드는 바깥쪽 링 (ringlet 0)이라고 하는 하나의 링을 통하여 시계 방향으로 트래픽을 전송할 수 있으며, 또한 안쪽 링 (ringlet 1)이라고 하는 또 다른 링을 통하여 시계 반대 방향으로 트래픽을 전송할 수 있다. 물론, 두 개의 링 중의 어느 하나를 이용하더라도 소스 노드는 목적지 노드로 트래픽을 전송할 수 있다. 소스 노드는 두 개의 링 중에서 목적지 노드까지의 최단 경로를 갖는 링을 이용하여 트래픽을 전송한다. 멀티캐스트나 브로드캐스트 트래픽의 경우에는 두 링을 통하여 동시에 전송될 수 있다.

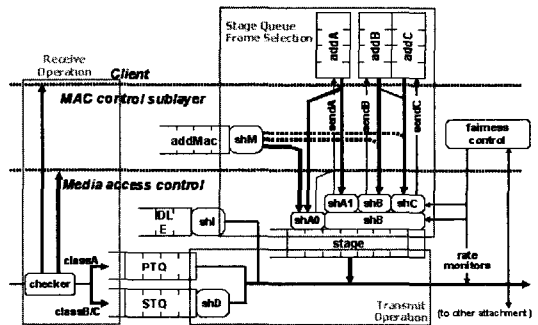
소스 노드로부터 전송된 프레임은 중간 노드를 거쳐서 목적지 노드에 도착하게 된다. 프레임이 목적지 노드에 도착하게 되면, 목적지 노드는 프레임에 있는 목적지 주소가 자신의 주소와 같은지를 확인하고 또한 프레임을 수신한 링과 프레임의 헤더 필드에 있는 RI (ring indicator) 값이 동일한지를 확인하여 만일 같으면 프레임을 수신하고 또한 망에서 삭제한다. 이러한 방식을 공간적 재

사용 (spatial reuse)이라고 하며, 링의 자원을 downstream 노드들이 재사용할 수 있기 때문에 망의 효율성이 증가하게 된다. 노드나 링크의 고장으로부터 망을 보호하기 위하여 RPR에서는 고장이 발생하면, 고장을 감지한 노드들은 뒤에서 설명할 망 보호 메커니즘을 구동하여 자신의 상태를 wrap 상태로 만들어 하나의 링으로부터 수신한 프레임을 다른 링을 통하여 다시 전송할 수 있다. 이러한 경우에는 목적지 노드에서 목적지 주소 정보만을 이용하여 프레임을 수신하면 프레임 내에 있는 데이터가 순서에 어긋나게 목적지에 도착할 수 있으며, 또한 브로드캐스트/멀티캐스트 트래픽의 경우에는 수신 노드에서 중복해서 이러한 트래픽을 수신할 가능성이 있다. 이러한 문제점을 방지하기 위해서 목적지 노드에서는 목적지 주소뿐만 아니라 프레임의 헤더 필드에 있는 RI 값도 확인하여 그 노드가 수신한 링과 프레임의 RI 값이 동일한지를 확인하여 만일 동일하면 프레임을 수신하고, 그렇지 않은 경우에는 바로 다음 노드로 전송한다. 만일 전송되는 프레임이 브로드캐스트/멀티캐스트 프레임인 경우에는 소스 노드는 두 개의 링 중의 하나를 선택하거나 또는 두 개의 링 모두를 이용하여 프레임 전송한다. 만일 이러한 프레임이 하나의 링을 통하여 전송되는 경우에는, 링을 구성하고 있는 다른 노드들은 수신된 프레임의 RI 값과 자신이 수신한 링이 동일한지를 확인하여 만일 동일하면 수신된 프레임을 복사한 후에 다시 출력 링크로 전송한다. 이러한 방식으로 브로드캐스트/멀티캐스트 프레임은 모든 노드를 거쳐서 다시 소스 노드에 도착하게 된다. 소스 노드는 수신된 프레임의

소스 MAC 주소와 RI를 확인하여 만일 MAC 주소가 자신의 주소와 동일하고 또한 프레임 을 수신한 링과 프레임 내에 있는 RI가 동일 하면 그 프레임을 망에서 제거한다. 만일 브 로드캐스트/멀티캐스트 트래픽이 두 개의 링 모두를 통해서 전송되는 경우에는 소스 노드 는 RPR을 구성하고 있는 다른 노드들 중에서 하나의 노드라도 트래픽을 중복되게 받지 않 도록 프레임의 헤더에 있는 TTL (Time-to-live) 값을 조정해서 전송해야 한다.

RPR MAC은 상위 계층에게 Class A, Class B, 그리고 Class C의 세 가지의 서비스 클래스를 제공한다. Class A는 낮은 전송 지연과 전송을 보장을 요구하는 트래픽을 전송하기 위한 서비스로서 우선순위가 가장 높다. RPR MAC에서 Class A는 subclass A0과 subclass A1의 두 개의 서브 클래스로 다시 나눌 수 있으며, subclass A0은 다른 서비스 클래스에 의해 재사용될 수 없도록 하고 subclass A1 은 재사용될 수 있도록 함으로써 링의 성능 을 향상시킬 수 있도록 하였다. Class B 서비 스는 지연에는 민감하지 않지만 대역폭 보장을 필요로 하는 트래픽을 수용하기 위한 서 서비스이다. RPR MAC은 상위 계층으로부터 들어오는 Class B 트래픽이 미리 설정된 협 약 전송율(CIR : Committed Information Rate)을 준수하는지를 감시해서, CIR을 준수 하는 트래픽의 경우에는 Class A 트래픽에 비해서 우선순위는 낮지만 Class A와 유사한 서비스를 제공한다. 반면 CIR을 위반한 Class B 트래픽은 Class B - EIR (Excess Information Rate) 트래픽이라고 하며, Class C 트래픽과 동일하게 처리된다. Class C 서 서비스는 지연이나 대역폭 보장이 없는 최선형

트래픽 (Best Traffic)을 제공하기 위한 서비 스이다. 한 노드에서 망으로 전송될 수 있는 Class C 트래픽과 Class B - EIR 트래픽은 뒤 에서 설명할 RPR 공평 메커니즘에서 결정되 는 비율로 서비스된다. 또한 subclass A0을 위하여 할당된 대역폭을 제외한 나머지 대역 폭들은 우선순위가 높은 서비스 클래스의 서 서비스 보장에 영향을 미치지 않는 한도 내에 서 낮은 우선순위를 갖는 서비스 클래스들에 의해서 재사용될 수 있다.



<그림 2> 이중 경유 버퍼 경우의 MAC 데이터 경로

RPR MAC은 이와 같은 세 개의 서로 다른 우선순위를 갖는 트래픽을 전송하기 위하여 그림 2에 나타나 있는 것과 같이 Class A 전 송 버퍼, Class B 전송 버퍼, 그리고 Class C 전송 버퍼를 가지고 있다. 각 버퍼에 있는 트 래픽들은 Token Bucket 방식에 의해서 전송 이 제한되며, 일단 전송이 결정된 트래픽들 은 stage queue에 저장되어 전송을 기다린 다. 또한 RPR MAC에서는 노드들이 링 형태 로 구성되기 때문에, 한 노드는 소스 노드가 전송하는 트래픽을 다른 목적지 노드로 전달 하기 위한 경유 노드의 역할도 수행해야 한 다. 이를 위하여 RPR MAC에서는 이러한 경

유 트래픽을 처리하기 위하여 단일 경유 버퍼를 사용하는 방식과 이중 경유 버퍼를 사용하는 방식의 두 가지 방식이 정의되어 있다. 그림 2는 이중 경유 버퍼의 예를 보여준다. 단일 경유 버퍼를 사용하는 경우에는 upstream 노드들로부터 들어오는 모든 서비스 클래스의 트래픽들은 PTQ (Primary Transit Queue)를 사용하여 전송된다. 이중 경유 버퍼를 사용하는 경우에는 upstream 노드들로부터 들어오는 트래픽 중에서 Class A 트래픽은 PTQ를 이용하여 전송되며, Class B와 Class C 트래픽은 STQ (Secondary Transit Queue)를 통하여 전송된다. 즉, RPR에서는 다른 노드들과의 전송률 동기를 맞추기 위한 idle 프레임을 저장하기 위한 Idle Queue, 상위 계층으로부터 들어오는 트래픽을 저장하기 위한 Stage Queue, 그리고 PTQ와 STQ의 네 가지 버퍼가 정의되어 있으며 다음과 같은 순서로 전송된다. 먼저 Idle Queue에 있는 프레임이 가장 먼저 전송된다. 그리고 뒤에서 설명할 공평 프레임과 같은 RPR 제어 프레임이 그 다음 순서로 전송된다. 그런 후에는 PTQ에 있는 프레임이 전송된다. 그리고 STQ에 있는 프레임의 수가 `stqFullThreshold`를 초과했는지를 확인해서, 만일 초과하면 STQ에 있는 트래픽을 전송한다. 그렇지 않으면 Stage Queue에 있는 상위 계층 트래픽이 전송된다.

III. RPR 공평 알고리즘

링 구조를 가지는 기존의 방식인 Token Ring이나 FDDI는 링의 액세스를 제어하기 위하여 토큰을 이용한다. 반면 RPR은 토큰을

사용하지 않기 때문에 링을 구성하고 있는 각각의 노드들이 망의 자원을 공평하게 이용할 수 있도록 하기 위한 메커니즘이 필요하다. 이를 위하여 RPR 노드는 공평 알고리즘 (RPR-fa : RPR fairness algorithm)이라는 분산 트래픽 전송 제어 알고리즘을 구동한다. 앞에서 설명한 것과 같이 upstream 노드들로부터 (특히 Class B와 C) 트래픽이 전송되면, 이 트래픽들은 STQ를 통하여 전송될 것이고, 이 STQ에 있는 트래픽의 양이 임계치를 넘게 되면 상위 계층으로부터 전송되고자 하는 트래픽보다 우선순위가 높게 된다. 즉, 링 방식의 망에서는 현재 전송 중인 트래픽이 버퍼 overflow로 인한 손실을 방지하기 위하여 upstream 노드에게 전송의 우선순위가 주어지게 되어, 상대적으로 downstream 노드가 전송의 불이익을 겪을 수 있다. 이를 방지하기 위하여 RPR-fa는 upstream 노드로부터 전송되는 트래픽의 양을 제어함으로써 노드들이 공평하게 망 자원을 이용할 수 있도록 한다. 그러면서도 링의 “공간적 재사용” 성질을 최대한 이용함으로써 최적으로 망을 이용할 수 있는 기능을 제공한다. 이를 위하여 노드는 MAC 클라이언트가 전송하는 트래픽과 upstream 노드들로부터 전달되는 트래픽을 모니터링함으로써 망을 공평하게 사용하고자 한다. RPR-fa는 MAC 클라이언트로부터 들어오는 트래픽 중에서 Class B의 EIR 과 Class C 트래픽에 대해서만 적용되며, 이러한 두 가지 트래픽들을 FE (Fairness eligible) 트래픽이라고 한다.

RPR에서 정의된 공평 메커니즘은 다음과 같은 특징을 갖는다. 먼저, 혼잡이 발생하여 각 노드의 트래픽의 전송율을 제한하고자 할

때, 각 노드들에게 할당된 가중치에 비례해서 트래픽의 양을 제한할 수 있다. 또한 subclass A1과 Class B - CIR 서비스를 위하여 일정 양의 대역폭이 미리 할당되었지만 사용되고 있지 않을 경우에는 FE 트래픽이 재사용할 수 있도록 하였다. 그리고 공평 알고리즘은 기본적으로 혼잡이 가장 심하게 발생한 하나의 노드를 single-choke라고 지정하고, 링의 모든 노드들이 혼잡이 발생한 노드에 의해서 전송될 수 있는 전송을 만큼만 전송할 수 있도록 하였다. 그러나 이 방법은 혼잡이 심하지 않은 부분에서는 대역폭의 낭비를 유발하는 문제점을 가진다. RPR에서는 이러한 대역폭의 낭비를 막기 위해 링의 일부 또는 모든 노드들을 multi-choke로 지정하고, 각각의 노드들의 전송율을 다른 모든 노드들이 기록/유지하여 목적지까지의 경로 상에 있는 노드들 중에서 가장 혼잡이 심한 노드에 트래픽의 양을 맞추어 보냄으로써 혼잡이 발생하지 않으면서도 대역폭의 사용을 극대화할 수 있도록 하였다. Multi-choke 방식은 MAC client에서 수행되는 기능이며 RPR MAC에서는 동작이 정의되지 않는다.

RPR의 공평 메커니즘은 클라이언트로부터 전송되는 트래픽과 upstream 노드로부터 전송되는 트래픽을 제어하기 위하여 다음과 같은 파라미터를 가지고 있다.

- addRate : 한 노드의 클라이언트에 의해 링으로 전송되어지는 FE (classC와 Class-EIR) 트래픽 양.
- addRateCongested : 한 노드의 클라이언트로부터 전송되는 FE 트래픽 중에서 혼잡이 발생한 노드 이후의 downstream

노드에게 전송되는 FE 트래픽 양.

- allowedRateCongested : upstream 노드가 혼잡이 발생한 노드 이후의 downstream 노드에게 전송할 수 있는 최대 FE 트래픽 전송율. 망이 혼잡하지 않은 경우에 이 값은 주기적으로 증가하며, FULL_RATE가 이 값의 최대값이 된다.
- fwRate : 한 노드의 STQ 버퍼를 경유해 전송되는 FE 트래픽의 양. 즉, upstream 노드들로부터 전송되어져 와서 STQ 버퍼를 경유해 downstream으로 전송되어지는 FE 트래픽의 양.
- fwRateCongested : 한 노드의 STQ 버퍼를 경유해 전송되고 혼잡이 발생한 노드 이후의 downstream 노드에게 전송되는 fwRate 트래픽의 양.
- nrXmitRate : 한 노드에서 subclass A0 트래픽을 제외하고 전송되어지는 전체 트래픽(non-reserved traffic)의 양.

앞에서 언급한 것과 같이 RPR 노드는 이중 경유 버퍼나 단일 경유 버퍼로 구현될 수 있다. 이중 경유 버퍼를 이용하는 경우의 노드는 (1) 그 노드의 STQ에 저장되어 있는 트래픽의 양이 미리 설정된 stqLowThreshold 값을 초과하거나 (2) 그 노드에 의해서 전송되는 전체 트래픽 중에서 subclass A0를 제외한 트래픽의 양이 링 전체 대역폭에서 subclass A0를 위하여 할당된 대역폭을 제외한 나머지 대역폭보다 많은 경우에 혼잡이 발생했다고 간주한다. 그리고 단일 경유 버퍼를 이용하는 경우에는, 노드는 (1) 평균 nrXmitRate 값이 미리 설정된 rateLowThreshold 값을 초과하거나, (2) Class B 또는 Class C 트래픽이 일

정 시간동안 RPR 링을 통하여 전송되지 못하고 버퍼에 계속 저장되어 있는 경우 혼잡이 발생했다고 간주한다. 위와 같은 방법으로 한 노드가 혼잡이 발생했다고 간주하면, 그 노드는 공평 메시지라고 하는 RPR에서 정의된 하나의 제어 메시지에 자신이 계산한 (다음에 설명할) 공평 전송율과 자신의 MAC 주소를 담아 upstream 노드들에게 전송한다. Downstream 노드로부터 공평 메시지를 수신한 노드는 공평 메시지 내에 있는 공평 전송율을 자신의 allowedRateCongested 값으로 설정한다. 이 이후부터 공평 메시지를 수신한 upstream 노드들은 일정 시간동안 혼잡이 발생한 노드의 downstream 노드로 전송하는 FE 트래픽의 양이 수신한 공평 전송율을 초과하지 않도록 해서 혼잡이 발생한 노드가 혼잡으로부터 벗어나도록 한다.

RPR 공평 메커니즘에서 혼잡이 발생한 노드에 의해서 광고되는 공평 전송율을 계산하는 방법은 “aggressive”와 “conservative”의 두 가지 모드 중 한 가지를 사용한다. Aggressive 모드에서 공평 전송율은 혼잡이 발생한 노드가 일정 시간동안 자신이 전송한 addRate(즉, Class C와 Class B -EIR)의 양으로 설정한다. 즉, upstream 노드로부터 전송되는 많은 트래픽으로 인하여 한 노드가 전송하는 addRate의 양이 감소되면, 그 노드는 자신의 addRate를 공평 전송율로 설정한 후 공평 메시지를 이용하여 upstream 노드에게로 광고한다. 이러한 공평 전송율을 수신한 upstream 노드들은 수신한 공평 전송율을 초과하지 않도록 자신의 전송율을 낮추게 되고, upstream 노드로부터 들어오는 트래픽이 줄어들면 혼잡이 발생했던 노드의 addRate

는 다시 증가하게 되어 혼잡이 해결되는 방식으로 공평 알고리즘이 구동된다. 혼잡이 발생했던 노드가 혼잡에서 벗어나게 되면, 그 이후의 공평 전송율은 혼잡이 발생하지 않았음을 나타내는 Full_Rate 값을 가진 공평 전송율을 upstream 노드들에게 광고하고, 이 Full_Rate의 공평 전송율을 수신한 노드들은 자신의 전송량을 서서히 증가시킨다. Conservative 모드에서는 모든 노드들이 일정 시간마다 자신에게 트래픽을 전송하는 upstream 노드들의 개수를 지속적으로 측정한다. 만일 하나의 노드에서 혼잡이 발생하게 되면, 그 노드는 링 전체 대역폭에서 subclass A0를 위해서 할당된 대역폭을 제외한 나머지 대역폭의 양을 일정 시간동안 트래픽을 전송한 노드의 가중치의 합으로 나누고, 그 값을 공평 전송율로 하여 upstream 노드에게로 전송한다. 노드가 혼잡에서 벗어나게 되면 aggressive 모드에서와 마찬가지로 Full_Rate 값의 공평 전송율을 광고하여 자신이 혼잡으로부터 벗어났음을 알린다.

Conservative 모드에서는 일정 시간동안 단 하나의 프레임을 전송한 노드의 경우에도 노드 수의 계산에 포함되기 때문에 노드가 트래픽을 버스티하게 보내는 경우에는 성능이 나빠지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 [13]에서는 혼잡이 발생한 노드로부터 전송되는 addRate 값과 upstream 노드로부터 들어오는 FE 트래픽의 양을 이용하여 유효 노드 수를 계산하고, 이 유효 노드 수를 이용하여 공평 전송율을 계산한다.

IV. RPR 토폴로지 발견과 망 보호 알고리즘

RPR에서는 서로 다른 방향으로 동작하는 두 개의 링을 사용함으로써 트래픽을 전송할 때 두 개의 링 중에서 더 효율적인 링을 선택하여 전송할 수 있으며, 망에 장애가 발생하는 경우에 50msec 이내에 장애를 감지하고 복구할 수 있는 기능을 제공한다. 이를 위하여 RPR에서는 “토폴로지 발견” 프로토콜과 “망 보호” 프로토콜을 사용한다. RPR 토폴로지 발견 프로토콜은 링의 모든 노드들에게 링은 다른 노드들의 개수와 위치에 대한 정보를 제공한다. 이러한 정보는 각각의 노드들이 브로드캐스팅 하는 TP (topology and Protection) 프레임에 의해서 전달되어지는데, 각 노드들은 다른 모든 노드들로부터 수신된 TP 프레임의 정보를 이용하여 전체 링에 대한 토폴로지 이미지를 만들어 토폴로지 데이터베이스에 저장한다. 망 보호 프로토콜은 RPR 망에 문제가 발생하였을 때 50msec 이내에 적절한 망 보호 방법을 취할 수 있도록 하는 것으로서 토폴로지 발견 프로토콜과 마찬가지로 TP 프레임에 의해 수신되어 토폴로지 데이터베이스에 저장된 정보를 이용한다. RPR 망을 구성하고 있는 노드들은 토폴로지 발견 프로토콜을 사용함으로써 자동적으로 스스로를 초기화할 수 있기 때문에 plug-and-play 기능을 수행할 수 있고, 다른 노드들의 개수와 위치에 대해서 알 수 있으며, 토폴로지의 변화를 감지할 수도 있다. 또한, 망 보호 프로토콜을 사용함으로써 망 내에 장애가 발생했을 때 데이터 프레임을 중복이나 순서 어긋남 없이 전송할 수 있으며, 더불어 50msec 이내로 링을 복구할 수 있다.

1. 토폴로지 발견 프로토콜

토폴로지 발견 프로토콜은 각각의 노드들이 RPR 링에서 TP 프레임과 ATD(Attribute discovery) 프레임을 브로드캐스트 함으로써 RPR 망에 있는 모든 노드들이 관리자의 관리 없이 망 내에 있는 변화를 감지할 수 있도록 하는 프로토콜이다. 각 노드들은 링 선택 등의 여러 가지 RPR 메커니즘을 위하여 수신한 TP 프레임과 ATD 프레임의 정보를 가지고 토폴로지 이미지를 만들어 토폴로지 데이터베이스에 저장한다. TP 프레임은 링마다의 각각의 노드의 MAC 주소, hop 수에 대한 정보, edge 상태, 망 보호 상태, 그리고 노드의 정보를 전송하기 위하여 사용된다. 또한 ATD 프레임은 시간에 민감하지 않은 부가적인 정보들을 전송하는데 사용된다.

토폴로지 발견 프로토콜의 동작은 다음과 같다.

(가) 초기화

하나의 노드가 초기화 되면, 토폴로지 이미지는 자신의 노드 하나만을 포함한다. 그리고 초기화가 되자마자 그 노드는 TP 프레임을 모든 링으로 브로드캐스트 함으로써 망의 다른 모든 노드들에게 자신의 존재를 알린다. TP 프레임을 수신한 RPR 망의 모든 노드들은 토폴로지 이미지에 변화가 생겼음을 감지하고 변화된 정보를 이용하여 토폴로지 데이터베이스를 갱신한 후, 변화된 정보를 담은 TP 프레임을 브로드캐스트 한다. 초기화된 노드는 다른 노드들로부터 전송되는 TP 프레임을 모두 받음으로써 토폴로지 이미지를 생성하여 토폴로지 데이터베이스에 저장한다.

(나) 노드 추가

RPR 망에 한 노드가 추가 되었을 때 그 노드는 초기화 과정과 똑같은 과정을 거친다. 즉, 추가된 노드는 자신의 정보만을 가지고 있는 토폴로지 이미지를 만들고 TP 프레임을 브로드캐스팅 한다. 이 노드의 이웃들은 자신의 이전 이웃과 다른 MAC 주소를 가진 노드가 자신의 이웃이 되었음을 감지하고 토폴로지 데이터베이스 정보를 수정한 후, 변화된 정보를 저장한 TP 프레임을 브로드캐스팅 한다. 이와 같은 과정으로 모든 노드들이 새로운 노드에 대한 정보를 TP 프레임을 통하여 수신하고 자신의 토폴로지 데이터베이스 정보를 수정한다.

(다) 노드의 제거

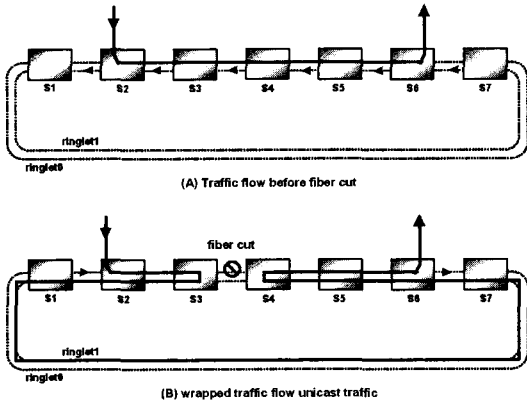
RPR 망에서 노드가 제거되는 것은 다른 노드와의 연결이 끊어지는 경우와 노드가 passthrough 모드로 동작하는 경우이다. 한 노드가 이웃 노드와 연결이 끊어지게 되면 연결에 장애가 발생했음을 감지한 두 노드는 망 보호 상태에 들어가게 된다. 반면 노드가 passthrough 모드로 동작하는 경우 그 노드는 수신된 프레임들을 전달하는 역할을 하기 때문에 그 노드의 이웃들은 망에 변화가 발생했음을 전혀 알지 못한다. 그러므로 그 노드의 이웃들은 주기적으로 전달되는 TP 프레임을 수신함으로써 자신의 이웃이 바뀌었음을 인식하고 로컬 토폴로지 데이터베이스를 갱신한 후, 수정된 정보를 포함하는 TP 프레임을 브로드캐스팅 한다.

2. 망 보호 프로토콜

RPR에서는 소스에서 목적지까지 두 개의 경로를 지원하기 때문에 망에 장애가 발생하여 하나의 경로를 사용하지 못하게 되더라도 다른 경로를 이용하여 데이터를 전송할 수 있는데, 이러한 기능을 제공하기 위해 망 보호 프로토콜을 사용한다. 망 보호 프로토콜이 지원하는 메커니즘은 steering 방식과 wrapping 방식이 있는데, RPR 망을 구성하고 있는 모든 노드들은 기본적으로 steering 방식을 지원하고 있으며, wrapping 방식은 옵션으로 지원할 수 있다. 단, 동일한 RPR을 구성하고 있는 모든 노드들은 동일한 망 보호 방식을 사용해야 하며, 이것은 TP 프레임의 wc(wrap capability) 필드를 이용하여 설정된다.

Steering 메커니즘은 장애를 감지한 노드가 TP 프레임을 사용하여 RPR 망의 다른 모든 노드들에게 망 상태의 변화를 보고한다. 이 TP 프레임을 수신한 모든 노드들은 자신의 토폴로지 데이터베이스를 갱신하고, 프레임을 전송할 링을 다시 선택하여 프레임이 장애가 발생한 지점을 넘어서 전송되지 않도록 한다. Steering 방식을 사용하는 경우에는 장애가 발생한 시점부터 노드들이 망 상태의 변화를 감지하는 시점까지 장애가 발생한 지점을 지나가야 하는 모든 프레임들은 손실된다는 단점이 있다. 그림 3은 steering 메커니즘의 예를 보여준다. 그림 3 (a)에서 노드 2는 노드2->노드3->노드4->노드5->노드6의 방향으로 ringlet 0을 통하여 트래픽을 전송한다. 그러다가 그림 3 (b)와 같이 망에 장애가 발생하면, 노드 2는 자신의 토폴로지 데이

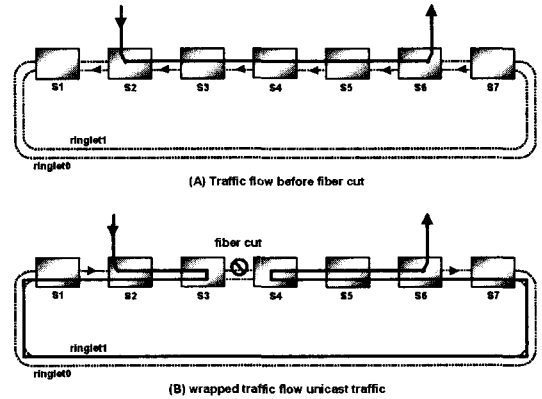
터베이스를 수정하고, ringlet 1을 통하여 노드2->노드1->노드7->노드6의 방향으로 프레임 전송한다.



〈그림 3〉 Steering 기반의 망 보호 동작의 예

Wrapping 방식은 장애를 감지한 노드가 TP 프레임을 사용하여 RPR 망의 다른 모든 노드들에게 망 상태가 변화했음을 알리는 것과 동시에 장애가 발생한 지점을 지나는 프레임들을 제거하지 않고 다른 링을 통하여 전송함으로써 프레임들이 손실 없이 목적지까지 전달될 수 있도록 한다. 이 방식을 사용하는 경우 각 노드들이 프레임의 전송 방향을 변화시키지 않고 계속 wrapping 상태를 유지하여 프레임을 전송할 수도 있고, steering 방식을 복합적으로 사용함으로써 각 노드들이 다시 링을 선택하여 장애가 발생한 지점을 지나야 하는 프레임들을 다른 링을 이용하여 전송할 수도 있다. 그림 4는 wrapping 방식을 이용한 망 보호 메커니즘의 예를 보여준다. 그림 4(a)에서 노드 2는 ringlet 0을 통해 노드2->노드3->노드4->노드5->노드6의 방향으로 트래픽을 전송한다. 만일 그림 4(b)와 같이 망에 장애가 발생하

면, 노드 3과 노드 4는 각각 wrapping 상태에 들어가게 되고, 노드 2로부터 전송된 트래픽은 노드2->노드3->노드2->노드1->노드7->노드6->노드5->노드4->노드5->노드6의 방향으로 처음에는 바깥쪽 링을 통하여 전송된 트래픽이 노드 3에 의해서 wrap되어 안쪽 링으로 전송되고, 안쪽 링을 통하여 전송된 트래픽은 또다시 노드 4에 의해서 wrap되어 바깥쪽 링으로 전송된 후에 노드 6에 도착하게 된다.



〈그림 4〉 Wrapping 기반의 망 보호 동작의 예

RPR에서는 링크에 장애가 발생했는지, 링크가 장애로부터 복구되었는지, 또는 망 관리자에 의해서 망 보호 메커니즘이 시작되는 지를 다음과 같은 6 가지 타입의 신호를 이용하여 알려준다. FS (Forced switch)는 예를 들어 새로운 노드가 망에 추가되고자 하는 경우에 사용되며, 망 관리자가 특정한 링크에 보호 메커니즘을 구동하고자 할 때 사용된다. SF (Signal Fail)은 링크의 단절이나 RPR keepalive 수신 실패 등이 발생하는 경우에 사용된다. SD (Signal Degrade)는 링크는 단절되지 않았지만 예러가 임계치를 초과

하여 선로의 품질에 이상이 감지되는 경우에 사용된다. MS (Manual switch)는 FS와 비슷하지만 우선순위가 낮다. 이것은 현재 동작하는 링크를 망 관리자가 관리를 위해서 shutdown 하지만, 만일 심각한 고장이 감지되면 바로 동작할 수 있는 상태이다. WTR (Wait to Restore)는 링크가 고장으로부터 바로 복구되지 않고 일정시간 기다린 후에 복구되기 위하여 사용된다. 마지막으로 idle은 정상적인 상태를 나타낸다.

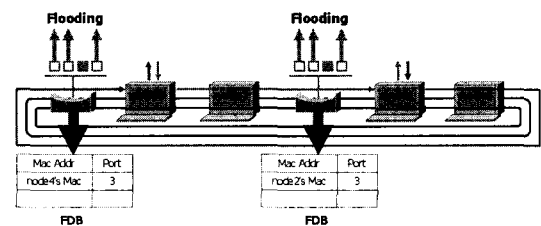
V. RPR 관련 표준화 동향

RPR과 관련된 기본 프로토콜은 IEEE 802.17 위원회에서 2004년 7월에 표준화가 완료되었다. 그리고 현재에는 802.17a에서 RPR과 802.1D 브리징과의 연동 관련 표준화가 거의 완성단계에 와 있다. 802.17b에서는 RPR 노드가 브리징 모드로 동작하는 경우에 발생할 수 문제점을 파악하고 해결책을 제시하기 위하여 2004년 10월에 만들어졌다.

RPR은 메트로 망에서 주로 사용되기 위해 개발된 프로토콜이기 때문에 다른 여러 개의 LAN을 연결하여 백본 망으로 전달하기 위한 전달 망의 기능을 제공할 수 있어야 한다. 따라서 RPR 망의 각 노드는 다른 여러 종류의 LAN들과 연동할 수 있는 브리징 기능을 제공할 수 있어야 하는데, RPR 망의 여러 특성으로 인하여 브리징 프로토콜을 지원할 경우 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다. RPR 망에서 브리징 기능을 연동할 경우 문제가 발생할 수 있는 첫 번째 시나리오는 비대칭 트래픽 시나리오이다. 비대칭 트래픽 시나리오는 그림 5에서와 같이 노드 2와 노드 5가 동일한

ringlet을 이용하여 트래픽을 주고받는 경우를 의미한다. 이와 같은 경우에 브리지로써의 기능을 수행하는 중간 노드인 노드 4는 처음에 송신지 주소가 2이고 목적지 주소가 5인 트래픽을 수신하게 되면 일반적인 브리지의 동작을 수행한다. 즉, 노드 4는 우선 송신지 주소를 보고 자신의 FDB (Forwarding DB)에 없는 정보라면 FDB에 송신지 주소와 트래픽을 수신한 포트를 저장한 후, 목적지 주소를 FDB에서 검색한다. 만일 FDB에 목적지 주소가 저장되어 있다면 해당 포트만 트래픽을 전송하게 되지만, 저장되어 있지 않다면 수신한 포트를 제외한 다른 모든 포트에 프레임들을 flooding한다. 그런데, 노드 2는 노드 5에게 계속 하나의 ringlet을 이용하여 트래픽을 전송하고 노드 5는 노드 2에게 동일한 ringlet을 이용하여 트래픽을 전송하면, 노드 4는 송신지 주소 2에 대한 정보는 FDB에 저장할 수 있지만 목적지 주소 5에 대한 정보는 알 수가 없기 때문에 계속 노드 2로부터 수신된 프레임을 브리지인 노드 4와 연결된 외부의 다른 모든 망으로 flooding하게 되는 문제점을 가진다.

RPR 망에서 브리징 기능을 연동할 경우 문제가 발생할 수 있는 두 번째 시나리오는 리모트 트래픽 시나리오이다. 이 시나리오는



〈그림 5〉 비대칭 트래픽 시나리오

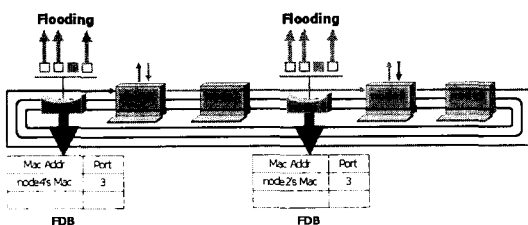
그림 6에 나타나 있는 것과 같이 RPR 망이 아닌 외부 망에 있는 스테이션 1로부터 목적지 주소가 3인 프레임이 전송되었을 경우, 그 프레임은 노드 3으로 전달되어 제거될 것이다. 이때, 스테이션 1로부터 패킷을 수신한 노드 1로부터 목적지 노드인 노드 3까지의 경로 상에 있는 브리지들은 모두 외부망의 노드인 스테이션 1에 대한 정보를 FDB에 저장하지만, 그 경로 상에 있지 않은 브리지들은 스테이션 1에 대한 정보를 알 수가 없다. 따라서 외부 망에 있는 스테이션 1로부터 프레임을 수신한 목적지 노드 3이 스테이션 1에게 응답을 보내려고 하는 경우 스테이션 1은 외부망에 접속되어 있기 때문에 응답 패킷을 RPR 망 전체에 브로드캐스트하게 된다. 이 경우 스테이션 1에 대한 정보를 FDB에 저장하고 있는 브리지들은 저장된 정보에 따라 수신한 프레임을 제거하거나 적절한 포트로 전달하게 되지만, 스테이션 1에 대한 정보를 FDB에 저장하고 있지 않은 브리지들은 그 패킷을 RPR 망을 제외한 다른 모든 포트에 브로드캐스트하게 된다. 따라서 만일 스테이션 1과 노드 3이 지속적으로 통신을 하게 된다면, 노드 3으로부터 스테이션 1로 전송되는 프레임은 스테이션 1에 대한 정보를 FDB에 저장하고 있는 않은 브리지 노드들에 의

해 계속 다른 망으로 flooding되는 문제점을 가지고 있다.

RPR에서는 브리지를 연동하는데 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 외부 망으로부터 들어오는 트래픽에 대해서는 RPR 망 내의 모든 브리지 노드들이 수신할 수 있도록 프로드캐스팅하도록 하고 있다. 이것은 RPR 망에서 외부 망의 호스트에게 프레임을 전달할 경우 RPR 망과 연결된 다른 망에 과도하게 발생하는 부하를 줄이기 위해 제안된 메커니즘이다. 그러나 RPR은 메트로 망이기 때문에 RPR을 구성하고 있는 대부분의 노드는 외부 망과 연결하는 브리지가 될 것이고, RPR 망을 지나가는 대부분의 프레임들이 외부 망으로부터 발생하는 많은 패킷들이 들어올 때마다 브로드캐스팅하는 것은 RPR 망에 과도한 부하를 가지고 오는 문제점이 있다. IEEE802.17b는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 소위원회이며, "spatial aware" 브리징 기능을 정의하기 위한 표준화를 진행 중에 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 한 가지 방법으로써 cache table을 이용하는 효율적인 브리징 연동 메커니즘이 제안되었다.^[14]

VI. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.17의 RPR 기술에 대해서 살펴보았다. RPR은 현재의 인터넷에서 병목 현상을 유발할 수 있는 SONET 기반의 메트로 영역 망을 고도화시키기 위한 기술이다. RPR은 패킷 교환 방식으로 이루어져 있어서 인터넷 트래픽에 적합한 망이다. 또한 메트로 망에서 필수적인 요소인 망에 고장이 발생하는 경우에 50msec 이내에 망의



〈그림 6〉 비대칭 트래픽 시나리오

단절 현상을 해결할 수 있는 망 복구 메커니즘을 제공한다. 또한 RPR은 링의 구조로 이루어져 있기 때문에 각각의 노드가 효율적으로 망을 이용할 수 있도록 하기 위하여 목적지 노드에서 트래픽을 제거할 수 있는 “공간적 재사용” 기능을 제공하며, 또한 공평 알고리즘을 이용하여 노드들이 망 자원을 공평하게 이용할 수 있는 기능을 제공한다. 이러한 RPR 기술을 이용하면 현재의 인터넷에서 병목 현상이 발생할 수 있는 SONET 기반의 메트로 영역 망을 고도화시킬 수 있을 것이다. 따라서 현재의 SONET 망을 이용함으로써 발생하는 문제점을 해결하여 망을 효율적으로 이용할 수 있도록 함으로써 가입자에게 적은 비용으로 고속의 망을 이용할 수 있도록 한다.

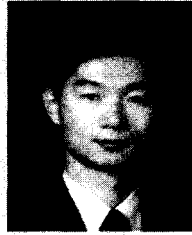
참고 문헌

1. D.Tsiang, G.Suwala, “The Cisco SRP MAC Layer Protocol”, RFC 2892, 2000.
2. 손장우, 정우영 “차세대 MAN(Metro Area Network) 구축기술 분석”, 전자공학회지, 제 27권 10호, 2000년 10월, pp.83-94
3. Resilient Packet Ring Alliance white paper, “An Introduction to Resilient Packet Ring Technology”, 2001. (<http://www.rpralliance.org/articles/ACF16.pdf>)
4. APPIAN Communications white paper, “IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Networks”, 2001. (http://www.applancom.com/RPR_Strategy.pdf)
5. Cisco white paper, “Spatial Reuse Protocol Technology”, 2000. (http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/wnty/dpty/tech/srpm_c_wp.pdf)
6. Corrigent Technical Note, “Resilient Packet Ring Technology Overview”, 2001. (<http://www.corrigent.com/pdfs/RPRoverview.pdf>)
7. IEEE Draft P802.17/D3.3, Draft Standard for Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer Interface, and Management Parameters in RPR, April, 24, 2004.
8. ANSI, “Synchronous Optical Network (SONET) Basic Description including Multiplex Structure, Rates and Formats” ANSI T1.105-1995.
9. ITU-T Recommendation G.707, “Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy”, 1996.
10. Nortelnetwork white paper, “A tutorial

handbook of advanced SONET networking concepts”http://www.nortelnetworks.com/products/01/sonet/collateral/sonet_101.pdf

11. IEEE Std. 802.3ae, “Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10Gb/s Operation”, 2002
12. 10Gigabit Ethernet Alliance(10GEA) white paper, “10 Gigabit Ethernet Technology Overview White Paper”, 2002.
13. 이동현, 허지영, 이재훈, 이형섭, “RPR에서 효율적인 대역폭 할당을 위한 유효 로드 수 기반의 새로운 공평 메커니즘”, 한국정보과학회논문지(IN) 게재 예정.
14. Jiyoung Huh, Donghun Lee, Jaehwoon Lee, Hyeongsu Lee and Sanhyun Ahn, “An Efficient Bridging Support Mechanism Using the Cache Table in the RPR-based Metro Ethernet”, AsiaSim 2004, LNAI 3398, pp. 635-642, 2005.

저자소개



이재훈

1985년 2월 한양대학교 전자공학과 학사
 1987년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
 1995년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
 1987년 3월 - 1990년 4월 : (주) 데이콤 연구원
 1990년 9월 - 1999년 2월 : 삼성전자 정보통신부문
 선임연구원
 1999년 3월 - 현재 동국대학교 정보통신공학과 조교수
 주관심 분야 초고속통신, 다중 액세스 프로토콜, 인터넷 프로토콜