

# WDM 광통신망에서 우선순위를 고려한 다중링크 손실 복구기법

황 호 영

안양대학교 디지털미디어공학과  
hyhwang@aycc.anyang.a.kr

## Priority-based Recovery Assurance for Double-link Failure in WDM Optical Networks

Hoyoung Hwang

Dept. of Digital Media Engineering, Anyang University

### 요 약

대부분의 통신망 복구기법에서는 예상되는 손실에 대한 망 복구를 설계한다. 예를 들어 가장 자주 발생하는 단일 링크 손실의 경우에 대하여 100%의 복구를 보장하는 형태이다. 그러나, 예상되지 않은 손실, 즉 다중 링크의 손실과 같은 경우에는 미리 준비된 예비 자원을 가지고는 설계한대로 100% 복구를 수행할 수 없다. 이 경우에는 남아있는 예비 자원을 이용하여 손실된 트래픽의 일부만이라도 복구하여야 한다. 본 논문에서는 두 개의 링크가 동시에 손실된 경우에 트래픽의 우선순위에 기반하여 여러 단계의 계층적인 복구 견고성을 제공하며, 최상위 우선순위의 트래픽에 대해서는 100%에 가까운 복구율을 제공하는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 단일 링크의 손실에 대비한 예비 자원만을 할당하여 다중 링크 손실의 경우에도 높은 우선순위의 트래픽에 대하여 복구 견고성을 제공한다는 점에서 그 실효성이 크다.

### 1. 서 론

현대 사회에서 통신망과 통신 기술에의 의존성은 갈수록 심화되고 있으며, 인터넷의 급속한 보급은 이를 더한층 가속화시키고 있다. 그러므로 고속 통신망에서의 장애 또는 기능의 일시적인 장애로 인한 통신 서비스의 중단은 전사회적으로 부정적인 파장을 미칠 수 있으며, 통신망의 고속화 및 광대역화 경향은 통신 서비스 중단으로 인한 피해를 이전과는 비교할 수 없을 정도로 크게 하고 있다. 따라서 대용량 데이터 전송을 수행하는 WDM 기반의 차세대 광통신망에서는 장애를 신속하게 복구하여 사용자에게 지속적인 서비스의 제공을 보장하는 통신망 보호 또는 복구 기술은 설계와 구현에 있어 필수적인 요소이다. 고속통신망의 복구 기법에 대한 연구에서는 보다 적은 통신망 자원을 이용해 높은 복구율을 얻을 수 있도록 복구 기술의 효율성을 극대화하는 것과 다중 장애 발생시의 복구 견고성을 향상시키는 것을 연구의 중점 목표가 되어왔다.

본 논문에서는 논리적인 다중 링크 구조에 의한 복구 기법을 제안한다. 이 방법은 정적인 복구 경로 설정과 지역적 복구를 수행한다. 일반적으로 지역적 복구 기법은 손실이 발생한 부분의 지역적인 정보만을 이용하므로 통신망 장애의 영향이 넓은 범위로 확산되는 것을 제한하며 소량의 정보를 이용하여 빠른 복구를 수행한다는 장점이 있지만, 동시에 전역적인 통신망 정보를 활용하지 못하므로 최적의 복구 경로를 설정하지 못하고 자원 이용의 효율성이 낮아진다는 단점이 있다. 제안된 논리적 다중 링크 구조는 지역적 복구를 수행하면서도 전역적 정보를 이용하는 중단간 복구와 같은 정도의 자원 효율성을 제공한다. 이러한 효율성의 증가는 링 토폴로지의 특성을 이용하여 예비 대역폭 뿐 아니라 복구 경로를 동시에 공유하며, 다중 링크를 이용하여 단일 링크에 비하여 대역폭의 공유 정도를 높임으로써 가능하다. 즉 복구되어야 하는 링크의 전체 광파장 전송 용량을 보다 작은 단위로 나누어 여러 개의 복구용 링크를 통해 복구함으로써 단일 복구 경로가 아닌 다중 복구

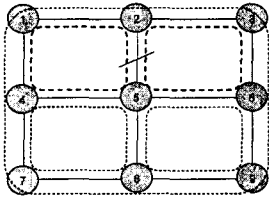
경로를 이용하는 효과가 있으며, 예비 자원도 다중 경로상에 분배되므로 복구 경로의 단위 링크당 예약되어야 하는 예비 대역폭 파장의 수를 줄일 수 있다.

### 2. 논리적 다중 링크 구조에 의한 망 복구

논리적인 링에 기반한 복구 기법의 기본적인 동기가 되는 것은 논리적인 링 형태, 즉 사이클(Cycle) 형태만이 토폴로지를 나타내는 그래프 상에서 원래의 서비스 연결을 복구할 수 있는 복구 경로를 구성할 수 있다는 사실이다. 논리적인 링 구조에서 손실된 링크는 링의 나머지부분을 복구 경로로 이용하여 복구될 수 있으며 이 경우 해당 링크만을 대체하는 지역적인 복구를 수행한다. 링 토폴로지의 특성상 손실된 연결에서 복구 경로로의 트래픽 교환이 매우 간단하고 빠르게 수행될 수 있으며, 동시에 하나의 링을 구성하는 모든 링크와 노드들은 해당 링 토폴로지상에서 예비 대역폭뿐만 아니라 복구 경로 자체를 공유할 수 있다. 그러므로 요구 사항을 잘 고려하여 설계된 링 형태의 복구 경로 구성은 복구의 실시간성 및 효율성을 만족시킬 수 있는 방법이다.

통신망 토폴로지 그래프에서 하나의 링크가 단 하나의 링에만 포함되도록 설계된 논리적인 링의 집합을 단일 링크 구조(Single ring-cover)라고 하며 이러한 단일 링크 구조를 이용한 복구 기법이 연구되어 왔다[1][2]. 단일 링크 구조에 의한 복구 기법은 설계 및 동작이 간단하다는 장점이 있는 반면에 비효율적인 자원 효율성을 보여준다. 대부분의 단일 링크 구조를 이용한 복구 기법은 전체 통신망의 총 대역폭 중 약 50%를 복구를 위해서 사용한다. 이 경우 정상적인 통신 서비스에 사용되는 대역폭의 총량과 비교한 예비 대역폭 비율은 약 100%가 된다. 단일 링크 구조와는 다른 논리적인 링 구성방법으로서 이중 링크 구조가 있다. 이중 링크 구조(Cyclic Double Cover: CDC)란 토폴로지 그래프에서 모든 링크가 각각 정확히 두 개의 링에만 속하도록 설계된 논리적인 링의 집합을 말한다. 통신망 복구를 위한 기존의 연구에서 이중 링크 구조를 이용한 방법에 제시되었으며[3], 이 방법에서는 하나의 링이

손실된 링크의 한쪽 트래픽을 복구한다. 즉 손실된 링크를 포함하는 두개의 링크가 각각 손실된 링크의 한 방향씩 양방향의 복구를 수행한다. 이중 링크 구조를 이용한 통신망 복구는 정확하게 50%의 통신망 대역폭을 복구를 위해서 사용하며, 따라서 예비 대역폭 비율은 100%가 된다[4].



<그림 1> 다중 링크 구조의 예 (M=2)

제한된 다중 링크 구조는 통신망 토폴로지 상의 모든 링크들이 같은 수의 링크에 포함될 수 있도록 구성된 논리적인 링크의 집합을 말한다. 즉 각각의 링크는 M개의 논리적인 복구용 링크에 포함되도록 할당되며, 각각의 링크는 손실된 링크의 대역폭 중 1/M 만큼을 양방향으로 복구하게 된다. 따라서 하나의 링크에 할당된 논리적인 링크의 개수 M이 커질수록 링크 하나당 복구해야 하는 대역폭의 할당량은 적어지게 된다. 이때 하나의 링크에 할당된 논리적인 링크의 개수 M을 다중도라고 하며, 링크 대역폭을 1로 가정했을 때 링크 하나가 복구해야 하는 링크 대역폭의 양 1/M을 다중 링크 구조에서의 복구 단위로 한다. <그림 1>은 간단한 그룹망 형태의 토폴로지 에서 M=2일 경우의 논리적인 다중 링크 구조의 예를 보여준다. 물리적인 링크는 실선으로 나타내어졌으며 점선으로 나타낸 부분이 논리적인 링크의 구성이다. 모두 5개의 논리적인 링크가 사용되었으며 각각의 링크는 두개의 링크에 포함되어 있다. 각 링크의 대역폭은 반으로 나누어져 각각 하나의 복구용 링크에 할당되며, 각각의 복구용 링크는 하나의 복구 단위, 즉 링크 대역폭의 1/2를 복구한다. 그림 1.에 보인 것과 같이 통신망 장애로 인하여 링크 (2-5)가 손실된 경우 손실된 링크 대역폭의 1/2인 복구 단위 하나는 왼쪽의 링크 (2-1-4-5)를 통해 복구되며, 나머지 하나의 복구 단위는 오른쪽의 링크 (2-3-6-5)를 통해 복구된다. <그림 1>에서는 M=2인 경우의 예를 보였지만, M이 2보다 큰 수를 가질 경우로 쉽게 확장될 수 있다.

다중 링크 구조를 이용한 복구 기법은 여러 개의 장애 발생에 대한 견고성에 대하여 새로운 시각을 제공한다. 단일 링크 구조는 하나의 링크 안에서 2개 이상의 손실이 발생하면 정상적인 서비스 경로와 복구용 경로가 동시에 손실될 수 있으므로 대부분의 서비스가 복구될 수 없지만, 다중 링크 구조에서는 하나의 링크 상에 2개의 손실이 발생하더라도, 해당 링크를 사용하는 1/M의 복구 단위에만 영향을 주며 나머지 대역폭은 다른 링크를 통해 복구될 가능성이 남아있다. 따라서 여러 개의 장애가 발생한 경우에도 복구 단위의 일부는 높은 견고성을 가질 수 있다.

### 3. 우선순위에 기반한 복구 견고성의 차별적 지원

실제로 사용되는 통신망에서는 링크의 장애가 가장 흔하게 일어나는 장애의 종류이다. 그러므로 기존의 많은 복구 기법들이 단일 링크 장애에 대한 100%의 복구율을 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 많은 복구 기법들이 두 개 이상의 링크에 동시에 장애가 발생되었을 경우 100%의 복구율을 제공하지 못한다. 그 이유는 다중 링크 장애로 인하여 정상적인 서비스 경로와 복구용 경로가 함께 손실될 가능성이 있기 때문

이다. 따라서 다중 손실의 경우에도 높은 복구율을 제공하는 복구 기법은 견고성이 높다고 할 수 있으며, 높은 견고성의 제공은 복구 기법 설계의 중요한 요구 사항이다.

다중 링크 구조를 사용한 복구 기법이 다중 장애에 대하여 전체적으로 높은 견고성을 제공하지는 못한다. 그 이유는 기존의 단일 링크 구조나 단일한 중단간 복구 경로에 비하여 많은 수의 복구 경로 활성화가 일어나기 때문이다. 예를 들어 단일 링크 구조에서 하나의 링크 장애는 하나의 복구 경로를 활성화 시키지만 다중 링크 구조에서는 하나의 링크 장애는 M개의 복구 경로를 활성화 시킨다. 즉 K개의 다중 장애 발생시 다중 링크 구조에서 활성화되어야 하는 복구 경로의 수는 (K x M)개가 된다. 그러므로 다중 장애 발생의 경우 다중 링크 구조는 단일 링크 구조에 비하여 활성화 되어야 하는 복구용 링크에 더 많은 충돌이 발생할 수 있고, 충돌이 발생한 링크에는 공유되는 추가 대역폭에 대한 경쟁이 일어나게 되어 일부 링크를 이용한 복구를 어렵게 한다.

반면에 다중 링크 구조에 의한 복구 기법은 견고성에 관하여 기존의 기법과는 다른 측면의 고려 사항을 제공한다. 단일 링크나 단일한 중단간 복구 경로를 가지는 복구 기법에서는 손실된 링크의 대역폭 전부가 하나의 복구 경로를 통해 복구된다. 그러므로 다중 장애 발생으로 인하여 정상적인 경로와 복구 경로가 동시에 손실될 경우, 장애가 발생한 링크의 정상적인 대역폭이 전혀 복구될 수 없다. 이에 비하여 다중 링크 구조를 사용하는 복구 기법의 경우, 손실된 링크의 대역폭은 여러 개의 복구 단위로 분할되어 서로 다른 M개의 복구 경로를 이용해 복구 되므로 두 개 이상의 장애가 발생되더라도 복구 경로 중의 일부만 정상적인 경로와 동시에 손실되며, 장애가 발생한 링크의 정상적인 대역폭 중 일부는 안전한 나머지 링크를 이용한 복구 경로를 통해 복구가 가능하다. 따라서 링크의 대역폭 중 일정 부분의 복구 단위에 대해서는 다중 장애 발생시에도 보다 높은 견고성을 제공할 수 있다.

다중 링크 구조의 견고성에 대한 위의 고찰은 우선순위에 기반한 계층적인 견고성의 지원을 가능하게 한다. 통신망을 이용해 전송되는 각각의 서비스는 서로 다른 신뢰성 요구 사항을 가지고 있다. 기본적으로 단일 장애에 대한 100%의 복구를 보장해야 하지만, 다중 장애 발생에 대하여는 신뢰성 요구사항에 따라 서로 다른 우선순위를 할당하고 이에 따른 복구를 제공할 수 있다.

이를 위하여 다중 링크 구조를 이용한 복구 기법에서 복구용 링크마다 서로 다른 M단계의 우선순위를 할당한다. 임의의 링크의 대역폭은 서로 다른 M단계의 우선순위를 가지는 복구 단위로 분할되며 각각의 복구 단위는 동일한 단계의 우선순위를 가지는 복구용 링크에 할당된다. 두 개 이상의 장애 발생시 활성화된 복구용 링크의 충돌과 경쟁이 발생하였을 경우, 높은 우선순위의 링크가 경쟁에서 승리하여 추가 대역폭을 사용하게 된다. 우선순위가 낮은 링크는 추가 대역폭을 사용할 수 없는 경우 복구에 실패하게 된다. 현실적으로 다중 장애에 대한 완벽한 복구를 보장하기는 어려우므로 우선순위에 기반한 계층적인 복구는 고속통신망에서 효과적인 견고성 지원 방법을 제시한다. 또한 계층적인 QoS 및 신뢰성을 지원하는 통신망이나 통신 서비스에 적합한 실용적인 해결 방법이 될 수 있다.

다중 링크 구조에서 복구 단위별로 서로 다른 계층적 우선순위를 할당하는 방법은 본 논문의 범위를 벗어난다. 다만 다음의 두 가지 방법을 실용적인 가능성으로 고려할 수 있다. 1) 링크의 대역폭 전체가 항상 통신 서비스에 사용되지 않으므로 통신망의 작업 부하와 링크의 사용율에 따라 현재 사용중인 대역폭과 사용을 기다리는 대역폭이 있을 수 있다. 이러한 경우, 사용중인 서비스의 복구율을 높이기 위하여 사용중인 대역폭 비율이 높은 복구 단위에 높은 우선순위를 할당하고 비사용중인

대역폭 비율이 높은 복구 단위에 낮은 우선순위를 할당한다. 2) 처음부터 M개의 복구용 링과 복구 단위에 계층적인 우선순위를 할당하고, 서비스 연결의 요청시 신뢰성이나 QoS 요구사항에 따라 적합한 우선순위를 가진 복구 단위의 대역에 할당한다. 이 경우, 통신망 링크마다 우선순위에 따라 서로 다른 전송 대역이 사전에 결정되어야 한다.

4. 실험 결과

제한된 기법의 다중 링크 손상에 대한 복구 견고성의 평가를 위해 ARPANET, NSF Network 등 실제로 망구성에 사용되고 있는 10가지의 토폴로지를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 통신망에서 각 링크는 양방향 서비스를 제공하기 위하여 정상적 서비스를 위한 반대 방향의 광섬유 쌍과 복구용 광섬유 쌍을 4개의 광섬유로 구성되며, 하나의 광섬유는 60개의 광파장을 수용한다고 가정하였다.

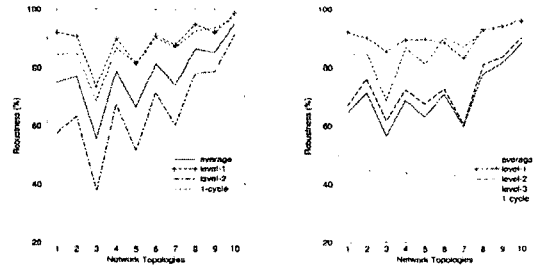
다중 링 구조가 계층적인 우선순위에 따른 견고성을 지원함을 확인하기 위하여 먼저 단일 링크 손실에 대한 복구를 수행할 수 있는 최소한의 예비 대역폭을 가진 경우에 두 개의 링크가 동시에 손실되었을 때 복구의 견고성을 측정하였다.

<그림 2>의 두 개의 그래프는 각각 M이 2, 3일 때 우선순위에 따른 복구 견고성을 나타낸다. 두 그래프에서 모두 높은 우선순위의 링과 낮은 우선순위의 링은 평균 견고성을 기준으로 확연한 복구 성능의 차이를 보이며 따라서 우선순위에 기반한 복구 서비스의 차별화가 분명함을 알 수 있다. 또한 최상위 우선순위의 링은 단일 링을 사용한 복구의 경우보다 높은 견고성을 보임을 확인할 수 있고, 오른쪽의 M=3인 경우에는 두 번째 우선순위의 링까지 평균보다 높은 견고성을 제공한다.

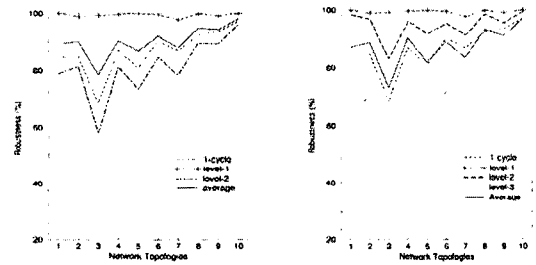
<그림 3>의 두 개의 그래프는 WDM망의 복구용 광섬유에 속한 광파장들이 모두 예비 대역폭으로 사용되었을 때의 견고성을 나타낸다. 이 경우에는 100%의 예비 대역폭이 제공된다고 할 수 있다. 이들 그래프를 통해 정상적인 서비스용 대역폭과 예비 대역폭의 비율이 1:1인 경우에는 다중 링 구조를 이용한 평균 견고성도 단일 링을 이용한 복구의 견고성보다 높음을 확인할 수 있다. 단일 링을 사용한 경우는 예비 대역폭 비율의 증가에도 불구하고 위의 그림과 비교하여 견고성의 향상을 보이지 않는다. 그 이유는 단일 링의 경로상에서 두 개의 링크 손실이 발생하면 예비 대역폭의 증가에 상관없이 복구의 견고성을 가질 수 없기 때문이다. 다중 링 구조에서는 특히 최상위 우선순위의 링의 경우 두 개의 링크 손상에 대하여 보장된(100%) 복구 견고성을 보인다. 그래프 상에서 일부 100% 미만으로 나타난 결과는 두 개의 링크 손실이 해당 토폴로지를 독립적인 두 부분으로 완전히 분할(partition)하여 복구가 수행될 수 없는 경우를 반영한다. 이러한 분할 형태의 다중 손실의 발생은 복구 불가능성이 연구되었다[6,7].

5. 결론

논리적인 다중 링 토폴로지의 구성을 통한 WDM 광통신망 복구 기법이 제안되었다. 제안된 기법은 다중 링크 손실의 경우에 우선순위에 기반한 차별적인 복구 견고성을 지원한다. 이러한 복구 견고성은 단일 링크 손실을 가정하고 미리 예약·할당된 예비대역폭을 그대로 사용하여 얻은 결과이며, 추가적인 대역폭의 할당이 필요 없다는 점에서 높은 실효성을 갖는다. 특히 복구용 광섬유가 존재하여 정상적인 서비스용 광파장과 예비 광파장의 비율이 1:1일 경우에는 이중 링크 손실의 발생 경우에도 높은 우선순위의 트래픽에 대하여 100%의 복구 견고성을 제공한다.



<그림 2> 우선순위에 따른 여러 단계 링의 복구 견고성: 단일 링크 손실을 가정한 최소 예비 대역폭 할당의 경우. (왼쪽은 M=2, 오른쪽은 M=3)



<그림 3> 우선순위에 따른 여러 단계 링의 복구 견고성: 복구용 광섬유 사용의 경우 (왼쪽은 M=2, 오른쪽은 M=3)

참고 문헌

[1] S. Ahn, A Fast VP Restoration Scheme using Ring-Shaped Sharable Backup VPS, In Proceedings of Globecom'97, pp.1383-1387, Nov. 1997  
 [2] L. M. Gardner, et al., Techniques for Finding Ring-Covers in Survivable Networks, In Proceedings of Flobecom'94, pp.1862-1866, Nov. 1994  
 [3] G. Ellinas, A. G. Hailemariam, T. E. Stern, Protection Cycles in Mesh WDM Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 10, pp.1924-1937, Oct. 2000  
 [4] T. E. Stern, K. Bala, Multiwavelength Optical Networks, Addison Wesley, 1999  
 [5] S. Chaudhuri, G. Hjalmytsson, J. Yates, Control of Lightpaths in an Optical Network, In Optical Internetworking Forum OIF 2000.04. Jan. 2000  
 [6] S. Lumetta, M. Merdard, Toward a Deeper Understanding of Link Restoration Algorithms in Mesh Networks, In Proceedings of Infocom'01, pp.367-375, Mar. 2001  
 [7] S. Lumetta and M. Merdard, Classification of Two-Link Failures for All-Optical Networks, In Proceedings of OFC'01, Mar. 2001