

다중 링 구조를 이용한 WDM 통신망 복구 및 자원 예약

황호영

안양대학교 디지털미디어공학과
hyhwang@aycc.anyang.ac.kr

WDM Network Restoration and Spare Resource Planning using Multiple Ring-Cover

Hoyoung Hwang
Dept. of Digital Media Engineering, Anyang University

요 약

본 논문에서는 논리적인 다중 링 구조에 의한 WDM 통신망 복구 기법을 제안한다. 이 방법은 링 토폴로지의 특성을 이용해 빠르고 간단한 복구 동작을 제공하며, 지역적인 복구를 수행한다. 동시에 다중 링 구성을 통하여 대체 경로의 분산과 공유 정도를 높이고 단위 링크당 예약되어야 하는 예비 광파장의 수를 줄임으로써 전체 통신망 자원 이용의 효율성을 높일 수 있다.

1. 서 론

현대 사회에서 통신망과 통신 기술에의 의존성은 갈수록 심화되고 있으며, 인터넷의 급속한 보급은 이를 더한층 가속화시키고 있다. 그러므로 고속 통신망에서의 장비 또는 기능의 일시적인 장애로 인한 통신 서비스 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.

본 논문에서는 대용량 WDM 광통신망에서 장애가 발생하였을 경우 이를 효율적으로 복구할 수 있는 기법에 대해 연구하였으며, 보다 적은 통신망 자원을 이용해 높은 복구율을 얻을 수 있도록 복구 기술의 효율성을 극대화하는 것과 다중 장애 발생시의 복구 견고성을 향상시키는 것을 연구의 중점 목표로 하였다. 복구 방법의 효율성은 목표로 하는 복구율을 얻기 위해 필요한 예비 자원의 양에 의해 결정되며, 효율성을 높이기 위한 기본적인 방법은 예비 자원의 공유이다. 이를 위해서 복구용 대역폭의 공유뿐만 아니라 복구 경로의 공유를 통해 자원 이용의 효율성을 증가시킬 수 있는 기법을 제안한다.

본 논문에서는 논리적인 다중 링 구조에 의한 복구 기법을 제안한다. 이 방법은 정적인 대체 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 대체 경로를 설정하지 못하고 자원 이용의 효율성이 낮아진다는 단점이 있다. 제안된 논리적 다중 링 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 대체 경로를 동시에 공유하며, 다중 링을 이용하여 단일 링에 비하여 대역폭의 공유 정도를 높임으로써 가능하다. 즉 복구되어야 하는 링크의 전체 광파장 전송 용량을 보다 작은 단위로 나누어 여러 개의 복구용 링들을 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 링 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 대체 경로를 구성할 수 있다는 사실이다. 즉, 복구되어야 하는 서비스 연결과 이를 복구하기 위한 대체 경로는 항상 논리적인 링 형태를 이루며, 이 링에는 서비스 연결의 목적지 노드와 출발지 노드가 포함되어 정상상태의 서비스 경로와 대체 경로 사이의 경계를 이루게 된다. 이러한 논리적인 링 구조에서 손실된 링크는 링의 나머지 부분을 대체 경로로 이용하여 복구될 수 있으며 이 경우 해당 링크만을 대체하는 지역적인 복구로

수행한다. 링 토폴로지의 특성상 손실된 연결에서 대체 경로로의 트래픽 교환이 매우 간단하고 빠르게 수행될 수 있으며, 동시에 하나의 링을 구성하는 모든 링크와 노드들은 해당 링 토폴로지에서 예비 대역폭 뿐만 아니라 대체 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 링 구조(Single ring-cover)라고 하며 이러한 단일 링 구조를 이용한 복구 기법이 연구되어 왔다[1][2]. 단일 링 구조에 의한 복구 기법은 설계 및 동작이 간단하다는 장점이 있는 반면에 비효율적인 자원 효율성을 보여준다. 대부분의 단일 링 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 링 구조와는 다른 논리적인 링 구성방법으로서 이중 링 구조가 있다. 이중 링 구조(Cyclic Double Cover: CDC)란 토폴로지 그래프에서 모든 링크가 각각 정확히 두개의 링에만 속하도록 설계된 논리적인 링의 집합을 말한다. 통신망 복구를 위한 기존의 연구에서 이중 링 구조를 이용한 방법에 제시되었으며[3], 이 방법에서는 하나의 링이 손실된 링크의 한쪽 트래픽을 복구한다. 즉 손실된 링크를 포함하는 두개의 링이 각각 손실된 링크의 한 방향씩 양방향의 복구를 수행한다. 이중 링 구조를 이용한 통신망 복구는 정확하게 50%의 통신망 대역폭을 복구할 위해서 사용하며, 따라서 예비 대역폭 비율은 100%가 된다[4].

제안된 다중 링 구조는 통신망 토폴로지 상의 모든 링크들이 같은 갯수의 링에 포함될 수 있도록 구성된 논리적인 링의 집합을 말한다. 즉 각각의 링크는 M개의 논리적인 복구용 링에 포함되도록 할당되며, 각각의 링은 손실된 링크의 대역폭중 1/M 만큼을 양방향으로 복구하게 된다. 따라서 하나의 링크에 할당된 논리적인 링의 갯수 M이 커질수록 링 하나당 복구해야 하는 대역폭의 할당량은 적어지게 된다. 이때 하나의 링크에 할당된 논리적인 링의 갯수 M을 다중도라고 하며, 링크 대역폭을 1로 가정했을 때 링 하나가 복구해야 하는 링크 대역폭의 양 1/M을 다중 링 구조에서의 복구 단위라고 한다. 그림 1.은 간단한 이물망 형태의 토폴로지에서 M=2일 경우의 논리적인 다중 링 구조의 예를 보여준다. 물리적인 링크는 실선으로 나타내어졌으며 점선으로 나타낸 부분이 논리적인 링의 구성이다. 모두 5개의 논리적인 링이 사용되었으며 각각의 링크는 두개의 링에 포함되어 있다. 각 링크의 대역폭은 반으로 나누어져 각각 하나의 복구용 링에 할당되며, 각각의 복구용 링은 하나의 복구 단위, 즉 링크 대역폭의 1/2을 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 링 경로 (2-1-4-5)를 통해 복구되며, 나머지 하나의 복구 단위는 오른쪽의 링 경로 (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.

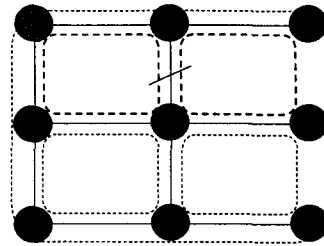


그림 1. 다중 링 구조의 예 (M=2)

다중 링 구조를 이용한 통신망 복구는 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 다중 링 구조는 매우 간단한 통신망 복구 기법의 설계와 관리를 가능하게 한다. 통신망 설계 단계에서 토폴로지 정보만을 가지고 다중도 M을 만족시키는 논리적인 링 구조를 구성할 수 있으며, 실제 노드간 트래픽 요구 사항이나 시간의 변화에 따른 트래픽의 동적인 변화를 고려하지 않아도 된다. 다중 링 구조의 변화는 토폴로지의 변화에만 영향을 받는다.

둘째, 다중 링 구조는 복구를 위한 예비 대역폭의 할당을 편리하게 한다. 링크당 대역폭이 같다고 가정하면 복구용 링에 할당되어야 하는 예비 대역폭의 양은 복구 단위인 1/M의 정수배가 되며 1/M, 2/M, ..., M/M 중의 한 값을 가지게 된다. 이는 필요한 예비 대역폭의 단위를 예측할 수 있도록 하므로, 일정하지 않은 예비 대역폭 할당을 요구하는 기존의 기법에 비해 작업을 단순화시킨다.

세째, 다중 링 구조는 좋은 확장성을 가진다. 그림 1.의 예에서 알 수 있듯이 적은 수의 논리적인 링을 통해 모든 통신망 링크의 복구를 위한 대체 경로를 구성할 수 있다. 이는 복구를 위한 대체 경로의 공유 정도를 다중 링 구조를 통해 크게 증가시킬 수 있기 때문이다. 복구에 필요한 논리적 링의 수와 예비 자원은 통신망의 크기와 사용자 수의 증가에 비해 완만한 증가를 보인다.

네째, 다중 링 구조는 예비 자원 이용의 효율성을 증대시킨다. 논리적인 복구용 링에 할당된 예비 대역폭과 대체 경로는 해당 링에 속한 모든 링크들 사이에 공유되며, 동시에 하나의 링크에 할당된 예비 대역폭이 여러 개의 복구용 링들 사이에 공유될 수 있다. 또한 다중 링 구조를 이용하여 하나의 링에 요구되는 예비 대역폭의 양을 손실된 링크의 전체 대역폭이 아닌 1/M로 줄임으로써, 통신망에서 링크당 평균적으로 예약되어야 하는 예비 대역폭의 양이 작은 단위로 줄어들며 결과적으로 통신망 전체의 예비 대역폭 비율이 크게 향상될 수 있다.

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

복구 단위의 일부는 높은 견고성을 가질 수 있다.

3. 다중 링 구성 및 자원 예약

다중 링의 구성에 있어 효율적인 예비 자원의 사용을 위해서는 링 간의 공유 링크의 수가 최소화 되어야 하며, 링의 길이가 최소화 되어야 한다. 이러한 목표를 가지고 표 1.과 같은 알고리즘을 고안하였으며 이를 이용해 토폴로지 정보만을 가지고 다중 링 구성을 할 수 있다.

표 1. 다중 링 구성을 위한 Heuristic Algorithm.

0. 주어진 토폴로지 그래프 $G = (N, E)$ 의 모든 링크에 대하여 링의 집합 S 를 구하기 위해 다음의 과정을 수행한다.
1. 토폴로지 그래프 G 에서 링크 e 를 제거한다. 그 결과 갱신된 토폴로지 그래프 $G' = (N, |E-1|)$ 이 생성된다.
2. 갱신된 그래프 G' 상에서 제거된 링크 e 의 양쪽 종단 노드들 사이에서 k -shortest paths의 집합 P_e 를 찾는다.
3. 링크 e 에 대한 복구 경로가 될 수 있는 논리적인 링의 집합 C_e 는 링크 e 와 P_e 를 조합함으로써 얻어진다.
4. C_e 에서 상호간의 공유 링크의 수가 가장 적은 순서대로 M 개의 링을 선택하여 링크 e 를 복구하기 위한 M 개의 링의 집합 C_M 을 구성한다.
5. 만약 단계 4.에서 C_e 내에 상호 독립적인 링이 M 개 이상 존재할 경우에는 이미 S 에 속해있는 링을 우선적으로 선택하여 C_M 을 구성한다.
6. 만약 단계 5.에서 C_M 의 조건을 만족시키는 링이 M 개 이상 존재할 경우에는 총 길이의 합이 가장 작은 M 개의 링을 C_M 으로 선택한다.
7. 만약 단계 4-6.에서 C_M 의 조건을 만족시키는 링이 M 개 이하일 경우에는 링의 길이가 짧은 순서대로 C_e 에 속한 링을 한번 이상 선택한다.

각 링크에 필요한 예비 대역폭의 할당은 링크 위험 공유 집단, 즉 SRLG (Shared Risk Link Group)[5] 개념에 기반하여 수행된다. 같은 SRLG에 속한 링크는 동시에 손실될 위험이 있다는 것을 뜻하며, 임의의 링크에 할당되어야 하는 예비 대역폭은 해당 링크의 SRLG들의 대역폭 요구량 중 최대값으로 결정된다.

4. 성능 실험 결과

다중 링 구조의 성능 실험을 위해 10개의 실제로 사용되는 메쉬 형태의 토폴로지를 가지고 시뮬레이션을 수행하였으며, 이때 각 링크는 일반용 및 복구용 트래픽을 수용하는 두 쌍의 양방향 광섬유로 구성되어 있고 각 광섬유는 60개의 광파장을 수용한다고 가정하였다. 표 2.는 다중 링 구조의 다중도(M)에 따른 예비 대역폭의 비율을 보여준다. 예비 대역폭 비율은 단일 링크의 손실을 100% 복구하는데 요구되는 광파장의 예약 비율을 말한다. 단일 링 구조($M=1$)에서 요구되는 평균 예비대역폭 비율이 90% 이상인데 비해 다중 링 구조에서는 이 비율이 60% 미만으로 줄어든다. 이 결과를 통하여 다중 링 구조를 이용한 복구 방법이 단일 링 구조에 비하여 월등한 대역폭

효율성을 제공함을 확인할 수 있고, 이는 특히 통신망의 밀도가 높을수록 뚜렷하다. 여기서 밀도란 노드당 평균 링크 수(degree)를 말하며, 높은 밀도에서 다중 링 구조의 장점인 복구 경로의 분산과 예비대역폭의 공유 효과를 최대화할 수 있다. 다중도 M 이 4 이상이면 더 이상 대역폭 효율성이 증가하지 않는데 이는 실제적인 토폴로지에서 4개 이상의 복구 경로를 찾기 어렵기 때문이다. 따라서 다중도 M 이 2 또는 3일 경우 대부분의 토폴로지에서 최적의 대역폭 사용을 보이며 이는 다중 링 구조의 설계에 지나치게 많은 링이 사용될 필요가 없음을 뜻한다. 예비 대역폭의 감소는 결과적으로 같은 수의 광파장을 가지고 보다 많은 트래픽의 수용을 가능하게 한다.

표 2. 다중도 M 에 따른 예비 대역폭 비율

Network Topology				Capacity Overhead (%)			
No.	노드	링크	밀도	M=1	M=2	M=3	M=4
1	10	22	4.40	91.9	50.0	39.4	36.3
2	11	23	4.18	82.6	63.0	55.1	55.4
3	12	21	3.00	90.5	59.5	68.3	75.0
4	14	28	3.73	96.4	57.1	54.8	59.8
5	20	32	3.20	93.8	50.0	56.3	65.6
6	28	47	3.55	97.9	62.8	58.9	62.7
7	20	31	3.10	96.8	71.0	69.9	67.7
8	30	59	3.93	93.2	53.4	45.2	51.2
9	53	79	2.98	98.7	75.3	76.8	80.3
10	100	180	4.00	100	52.2	41.5	56.1
평균				94.2	59.4	56.6	61.0

5. 결론

이 논문에서는 논리적인 링 토폴로지의 구성을 통한 신속하고 효율적인 WDM 광통신망 복구기법을 제안하였다. 제안된 다중 링 구조는 복구 경로와 예비 대역폭의 공유를 최대화 하여 자원의 효율성을 향상시킨다는 목적에 매우 적합하며, 동시에 간단한 설계 기법을 제공한다.

참고문헌

- [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. Hjalmtysson, J. Yates, Control of Lightpaths in an Optical Networks, In Optical Internetworking Forum OIF 2000.04. Jan. 2000