

다중 링 구조를 이용한 WDM 통신망 복구 및 자원 예약 기법

황 호 영[†] · 임 성 수^{**}

요 약

본 논문에서는 대용량 WDM 광통신망에서 장애가 발생하였을 경우 이를 효율적으로 복구할 수 있는 기법에 대해 연구하며, 특히 보다 적은 통신망 자원을 이용해 높은 복구율을 얻을 수 있도록 복구 기술의 효율성을 극대화하는 것을 연구의 중점 목표로 한다. 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. 제안된 기법은 논리적인 다중 링 구조에 의한 통신망 복구 기법으로 링 토폴로지의 특성을 이용해 빠르고 간단한 복구 동작을 제공하며, 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. 성능 분석 결과 제안된 기법은 목표로 하는 복구율을 보장하는 동시에 통신망 자원 이용의 효율성을 크게 증가시킬 수 확인할 수 있었다.

키워드 : 통신망 복구, WDM 광통신망, 다중 링 구조, 예비 대역폭, 효율성

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

Hoyoung Hwang[†] · Sungsoo Lim^{**}

ABSTRACT

This paper studies network recovery methods for WDM optical mesh networks, concentrating on improving spare resource utilization. The resource efficiency can be obtained by sharing spare resources needed for network recovery. To improve the sharability of spare resources in WDM networks, methods to share backup paths as well as spare capacity should be studied. The proposed method in this paper uses multiple ring-covers and this method provides fast and simple recovery operation by exploiting the characteristics of logical ring topology, and also provides efficient resource utilization by using multiple distributed backup paths to improve the sharability of overall spare resources in the networks. This method can provide layered reliability to network service by enabling hierarchical robustness against multiple failures. The performance results show that the proposed method provide improved resource efficiency for single failure and enhanced robustness for multiple failures.

Key Words : Network Restoration, WDM Network, Multiple Ring-cover, Spare Capacity, Efficiency

1. 서 론

고속 통신망에서의 일시적인 장애로 인한 통신 서비스의 중단은 사회적으로 부정적인 파장을 미칠 수 있다. 여기서 통신망의 장애란 물리적인 손실과 기능적인 손실을 포함하며 이는 통신망의 연결성을 감소시켜 손실된 장비를 사용하던 서비스 연결의 중단으로 결과지어진다. 통신망의 장애는 토폴로지상의 링크 또는 노드의 전체적인 손실에서 비롯될 수 있

고 이는 통신망 토폴로지의 변형으로 나타내어진다. 또한 통신망의 장애가 링크의 일부분이나 노드 장비의 부분적인 손실로 나타날 수도 있으며, 이는 통신망상의 전송 용량 및 교환 능력의 변화로 나타내어진다. 두 경우 모두 통신 서비스의 중단이란 결과를 초래하며 이에 따르는 사회적인 피해를 일으킨다.

초고속 통신망과 인터넷 백본망으로 사용되고 있는 WDM 망의 경우 광파장 분할 기술을 이용해 단일 광섬유에 수용할 수 있는 채널을 늘임으로써 추가적인 케이블의 가설이 없이도 통신 대역폭을 확장할 수 있는 경제적인 수단을 제공한다. 광전송 기술의 발전으로 인해 수백개의 광파장을 통시 전송

[†] 종신회원 : 안양대학교 디지털미디어공학과 조교수

^{**} 정 회 원 : 국민대학교 컴퓨터학부 전임강사

논문접수 : 2005년 5월 31일, 심사완료 : 2005년 9월 14일

하는 기술이 연구되고 있으며 현재까지 개발된 기술은 하나의 광섬유 케이블에 약 160개까지의 서로 다른 광파장 채널을 수용할 수 있고 각각의 광파장은 약 40Gbps까지의 전송속도를 가질 수 있다[1]. 따라서 WDM 망에서는 단일 링크의 손실만으로도 초당 수 테라 비트의 데이터 전송을 중단시킬 수 있으며 이는 상위 계층인 SONET, ATM, IP 계층으로 전파되어 이전과는 비교할 수 없이 많은 수의 통신 서비스와 사용자에게 악영향을 미치게 된다. 그러므로 통신망의 장애를 신속하게 복구하여 사용자에게 지속적인 서비스의 제공을 보장하는 통신망 보호 또는 복구 기술은 초고속 통신망의 설계와 구현에 있어 필수적인 요소이다. 통신망의 고속화 및 광대역화 경향은 장애로 인한 피해 규모를 더 크게 하고 있으며 따라서 보다 향상된 통신망 보호 또는 복구 기능을 요구한다. 초고속 통신망의 설계에서 장애 극복을 위한 보호 및 복구 기술은 자원의 효율성(resource efficiency), 견고성(robustness), 실시간성(realtime recovery), 투명성(transparency), 토폴로지 일반성(general topology) 및 확장성(scalability) 등의 요구 사항을 갖는다[12].

본 논문에서는 초고속 통신망에서 장애가 발생하였을 경우 이를 신속하고 효율적으로 극복할 수 있는 분산적인 통신망 복구 기법을 제안한다. 제안된 기법은 실제적인 통신망에의 적용에 일반성을 가질 수 있도록 그물망 구조의 토폴로지에서 동작하도록 설계하며, 이는 물리적인 링 토폴로지를 포함하여 모든 노드간 두 개 경로 이상의 연결성을 가진 모든 토폴로지에서 동작함을 의미한다. 또한 제안된 기법은 투명성, 보장성, 실시간성 등의 제반 요구 사항을 만족시킬 수 있어야 한다. 특히 본 연구에서는 한정된 통신망 자원을 가지고 목적인 복구율을 얻을 수 있도록 복구 기법의 예비 자원 할당의 효율성을 극대화하는 것에 1차적인 목표를 둔다.

통신망의 복구를 위해서는 복구용 대체 경로, 여분의 대역폭 등 예비적인 망 자원이 필요하며 이는 정상적인 상황에서는 사용되지 않는 자원으로 결과적으로 통신망 설계의 총 비용을 증가시키게 된다. 따라서 목표로 하는 복구 성능을 만족시키는 범위에서 예비 자원의 사용을 최소화해야 한다. 자원 이용의 효율성은 정상적인 통신 서비스에 사용되는 총 대역폭과 비교하여 복구를 위해서 사용되는 예비 대역폭의 총량의 비율로 측정되며 이를 예비 대역폭 비율(Spare Capacity Ratio: SCR)이라고 하고 다음과 같이 나타내어진다.

$$\bullet \text{ Spare Capacity Ratio(SCR)} = C_{\text{spare}}/C_{\text{normal}}$$

- C_{spare} : 복구를 위한 예비 대역폭의 총량

- C_{normal} : 정상 서비스에 사용되는 대역폭의 총량

복구 기법 설계의 중요한 목표는 원하는 복구율을 보장하면서 이를 위해 요구되는 예비 대역폭 비율을 줄여 통신망 자원 이용의 효율성을 최대한으로 높이는 것이다. 자원 이용의 효율성을 높이기 위한 기본적인 방법은 복구를 위한 예비 대역폭을 공유하는 것이다. 이를 위해서 대체 경로에 의해 예약되는 복구용 대역폭의 공유뿐만 아니라 대체 경로 자체의

공유를 통해 자원 이용의 효율성을 증가시키는 방법이 필요하다.

WDM 망에서는 하나의 광섬유를 통과하는 광파장을 여러 개로 분할하여 각각의 파장이 독립적인 데이터를 전송하므로 경로 설정과 대역폭 할당 방법에서 IP 망이나 ATM 망과는 큰 차이가 있다. WDM 망에서의 경로 설정은 출발지 노드와 목적지 노드 사이의 적합한 링크들을 따라 단일한 광파장을 할당함으로써 수행된다. 이때 단일한 광파장으로 설정된 연결을 Lightpath라 하며, Lightpath의 경로 설정과 대역폭 할당은 떨어질 수 없는 하나의 과정을 이루고 있으며 RWA(Routing and Wavelength Assignment) 문제로서 동시에 수행된다[2]. WDM 망에서는 이러한 특징을 고려한 다양한 통신망 복구 방법들이 연구되어졌다[1]-[5]. WDM 망에서는 경로 설정과 대역폭 할당이 동일한 과정을 이루고 있으므로 IP 망이나 ATM 망과는 달리 대역폭 할당 없이 Lightpath의 경로만을 설정할 수 없다. 따라서 복구 기법에서 광파장의 효율적인 공유를 위해서는 예비 대역폭과 대체 경로의 공유가 동시에 이루어져야 하며 이는 본 논문의 주요 연구 목적이다.

제안하는 방법은 논리적인 다중 링 구조에 의한 복구 기법으로서 정적인 대체 경로 설정과 지역적 복구를 수행한다. 일반적으로 지역적 복구 기법[6, 7]은 지역적으로 제한된 정보만을 이용하므로 통신망 장애의 영향이 보다 넓은 범위로 확산되는 것을 제한하며 적은량의 정보를 이용하여 빠른 복구를 수행한다는 장점이 있지만, 동시에 전역적인 통신망 정보를 활용하지 못하므로 최적의 대체 경로를 설정하지 못하고 자원 이용의 효율성이 낮아진다는 단점이 있다.

논리적 다중 링 구조를 이용한 기법에서는 지역적 복구를 수행하면서도 높은 통신망 사용률 상태에서는 중단간 복구[8]와 같은 정도의 자원 효율성을 제공한다. 이러한 효율성의 증가는 링 토폴로지의 특성을 이용하여 대역폭 뿐만 아니라 대체 경로를 동시에 공유하며, 다중 링을 이용하여 단일 링에 비하여 대역폭의 공유 정도를 높임으로써 가능하다. 즉 복구되어야 하는 링크의 전송 용량을 보다 작은 단위로 나누어 여러개의 복구용 링 구성을 통해 복구함으로써 단일 복구 경로가 아닌 다중 복구 경로를 이용하는 효과가 있으며 예비 자원도 다중 경로상에 분배되므로 복구 경로의 단위 링크당 예약되어야 하는 예비 대역폭의 양을 줄일 수 있다.

2. 논리적 링 구조에 의한 복구 및 관련 연구

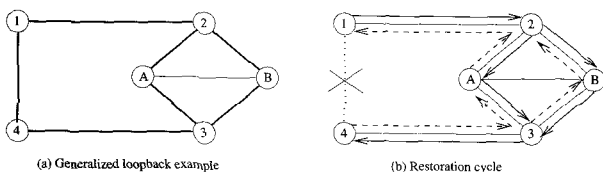
이 장에서는 물리적으로 그물망 형태의 토폴로지를 가진 망에서 논리적인 링 형태의 복구 경로를 이용한 통신망 복구 기법을 기술한다. 논리적인 링에 기반한 복구 기법의 기본적인 동기가 되는 것은 논리적인 링 형태, 즉 사이클(Cycle) 형태만이 토폴로지를 나타내는 그래프 상에서 원래의 서비스 연결을 복구할 수 있는 대체 경로를 구성할 수 있다는 사실이다. 즉, 복구되어야 하는 서비스 연결과 이를 복구하기 위한 대체 경로는 항상 논리적인 링 형태를 이루며, 이 링에는 서비스 연결의 목적지 노드와 출발지 노드가 포함되어 정상

상태의 서비스 경로와 대체 경로 사이의 경계를 이루게 된다.

이러한 논리적인 링 구조에서 손실된 링크는 링의 남아있는 부분을 대체 경로로 이용하여 복구될 수 있으며 이 경우 해당 링크만을 대체하는 지역적인 복구를 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 토폴로지상에서 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.

토폴로지 그래프에서 하나의 링크가 단 하나의 링에 포함되도록 설계된 논리적인 링의 집합을 단일 링 구조(Single ring-cover)라고 하며 이러한 단일 링 구조를 이용한 복구 기법이 연구되어 왔다[9, 10]. 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 통신망 대역폭의 약 50%를 복구를 위해서 사용한다. 이 경우 정상적인 통신 서비스에 사용되는 대역폭의 총량과 비교한 예비 대역폭 비율은 약 100%가 된다.

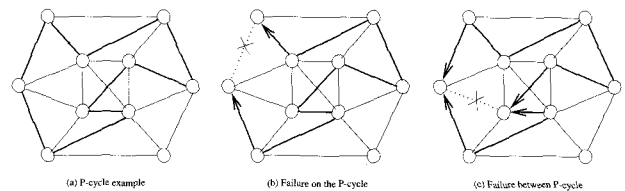
단일 링 구조와는 다른 논리적인 링 구성방법으로서 이중 링 구조가 있다. 이중 링 구조(Cyclic Double Cover: CDC)란 토폴로지 그래프에서 모든 링크가 각각 정확히 두 개의 링에만 속하도록 설계된 논리적인 링의 집합을 말한다. 통신망 복구를 위한 기존의 연구에서 이중 링 구조를 이용한 방법에 제시되었으며[11], 이 방법에서는 하나의 링이 손실된 링크의 한쪽 트래픽을 복구한다. 즉 손실된 링크를 포함하는 두개의 링이 각각 손실된 링크의 한 방향씩 양방향의 복구를 수행한다. 이중 링 구조를 이용한 통신망 복구는 정확하게 50%의 통신망 대역폭을 복구를 위해서 사용하며, 따라서 예비 대역폭 비율은 정확하게 100%가 된다[2].



(그림 1) Generalized Loopback을 이용한 복구

보다 향상된 논리적 링 기반의 통신망 복구 기법으로서 Generalized loopback[12] 기법과 P-cycle[13] 기법이 제안되었다. Generalized loopback 방법은 (그림 1) (a)에서 보이는 바와 같이 임의의 링크의 손실을 복구할 수 있는 링을 구성할 수 있도록 복구용 Loopback 경로를 구성한다. 임의의 링크가 손실되었을 경우 (그림 1) (b)에서와 같이 Loopback 경로의 남아있는 부분을 통해 양방향으로 복구가 수행된다. 이 방법의 특징은 토폴로지 내의 모든 링크가 전부 논리적인 링의 구성에 포함될 필요가 없다는 점이다. (그림 1) (b)에서 노드 A와 노드 B사이의 링크는 Loopback 경로의 구성에 포함되지 않았으나 해당 링크의 손실이 발생한 경우 보이는 것과

같은 Loopback 경로를 이용해 복구가 가능하다. 논리적인 링 구조에 포함되지 않는 링크에는 복구를 위한 예비 대역폭이 할당되지 않으므로 이 방법은 이중 링 구조보다 효율적인 대역폭 사용을 보이며, 예비 대역폭 비율이 100% 미만으로 상당히 줄어들 수 있다. 예비 대역폭 비율은 Loopback 경로에 포함되지 않는 링크가 늘어날수록 더 줄어들 수 있다. 또한 이 방법은 하나 이상의 대체 경로를 제공할 수 있으므로 여러 개의 링크나 노드 손실의 경우에 대비한 높은 견고성을 제공할 수 있다. 그러나 이 방법이 제공하는 효율성과 견고성은 상호 대칭적인 관계를 가진다. 즉, Loopback 경로에 포함되지 않는 링크가 늘어날수록 견고성은 줄어든다. 효율성의 향상은 견고성의 감소를 가져오게 되고 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 따라서 실제 통신망에의 적용시 신뢰성 요구 사항에 따라 효율성과 견고성간의 대칭적인 상관관계가 조정되어야 한다[12].



(그림 2) P-cycle을 이용한 복구

P-cycle 방법은 (그림 2)에서 보이는 바와 같이 토폴로지 상의 여러 노드와 링크가 포함되는 논리적인 링을 구성하게 되며, 이를 이용해 복구를 수행한다. 즉, P-cycle은 지역적 복구를 위한 대체 경로로써 사용된다. 이 방법은 논리적인 링의 구성에 포함된 링크의 손실뿐만 아니라 논리적인 링의 경계에 걸쳐있는 링크의 손실도 복구할 수 있다는 점이 특징이다. 즉, (그림 2) (b)의 경우와 같이 P-cycle상의 링크 손실은 P-cycle상의 나머지 부분을 이용하여 복구될 수 있으며, (그림 2) (c)의 경우와 같이 P-cycle의 경계에 걸친 링크의 손실은 P-cycle에 의해 두 가지 복구 경로로 복구될 수 있다. P-cycle은 매우 효율적인 대역폭 사용을 보여주며, 지역적인 복구를 수행함에도 불구하고 종단간 복구에서와 같은 예비 대역폭 비율을 제공할 수 있다[13].

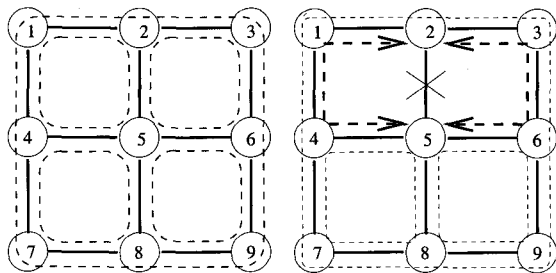
3. 논리적인 다중 링 구조

3.1 다중 링 구조의 특성

다중 링 구조는 통신망 토폴로지 상의 모든 링크들이 같은 수의 링에 포함될 수 있도록 구성된 논리적인 링의 집합을 말한다. 즉 각 링크는 M개의 논리적인 복구용 링에 포함되도록 할당되며, 각각의 링은 손실된 링크의 대역폭 중 1/M 만큼을 양방향으로 복구하게 된다. 따라서 하나의 링크에 할당된 논리적인 링의 갯수 M이 커질수록 링 하나당 복구해야 하는 대역폭의 양은 적어지게 된다. 이때 하나의 링크에 할당된 논리적인 링의 수 M을 다중도라고 하며, 링크 대역폭을 1로 가정했을 경우 링 하나가 복구해야 하는 링크 대역폭의

양 $1/M$ 을 다중 링 구조에서의 복구 단위라고 한다.

(그림 3)은 간단한 그물망 형태의 토폴로지에서 $M=2$ 일 경우의 논리적인 다중 링 구조의 예를 보여준다. 물리적인 링크는 실선으로 나타내어졌으며 점선으로 나타난 부분이 논리적인 링의 구성이다. 총 5개의 논리적인 링이 사용되었으며 각각의 링크는 두 개의 링에 포함되어 있다. 각 링크의 대역폭은 반으로 나누어져 각각 하나의 복구용 링에 할당되며, 각각의 복구용 링은 하나의 복구 단위, 즉 링크 대역폭의 $1/2$ 을 복구한다. (그림 3)에 보인 것과 같이 통신망 장애로 인하여 링크 (2-5)가 손실된 경우 손실된 링크 대역폭의 $1/2$ 인 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 3)에서는 $M=2$ 인 경우의 예를 보였지만, M 이 2보다 큰 수를 가질 경우에도 쉽게 확장될 수 있음을 알 수 있다. 다중 링 구조를 이용한 통신망 복구는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.



(그림 3) 논리적 다중 링을 이용한 복구 ($M=2$)

첫째, 다중 링 구조는 매우 간단한 통신망 복구 기법의 설계와 관리를 가능하게 한다. 통신망 설계 단계에서 토폴로지 정보만을 가지고 다중도 M 을 만족시키는 논리적인 링 구조를 구성할 수 있으며, 실제 노드간 트래픽 요구 사항이나 시간의 변화에 따른 트래픽의 동적인 변화를 고려하지 않아도 된다.

둘째, 동시에 다중 링 구조는 복구를 위한 예비 대역폭 할당을 편리하게 한다. 링크당 대역폭이 같다고 가정하면 복구용 링에 할당되어야 하는 예비 대역폭의 양은 복구 단위인 $1/M$ 의 정수배가 된다. 이는 필요한 예비 대역폭의 단위를 예측할 수 있도록 하므로, 일정하지 않은 양의 다양한 예비 대역폭 할당을 요구하는 기존의 복구 기법에 비해 할당 작업을 단순화시킨다.

셋째, 다중 링 구조는 확장성의 요구 조건을 만족시킨다. (그림 3)의 예에서 알 수 있는 것처럼 상당히 작은 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.

네째, 다중 링 구조는 예비 자원 이용의 효율성을 증대시킨다. 논리적인 복구용 링에 할당된 예비 대역폭과 대체 경로는 해당 링에 속한 모든 링크들 사이에 공유되며, 또한 하나의 링크에 할당된 예비 대역폭이 여러개의 복구용 링들 사이에 공유될 수 있다.

다섯째, 다중 링 구조를 이용한 복구 기법은 여러 개의 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 안에서 2개의 손실이 발생하더라도 해당 링을 사용하는 $1/M$ 의 복구 단위에만 영향을 주며 나머지 대역폭은 다른 링을 통해 복구될 가능성이 남아있다. 따라서 여러 개의 장애 발생 경우에도 복구 단위의 일부는 높은 견고성을 가질 수 있다.

3.2 다중 링 구조를 이용한 대체 경로의 설정

이 절에서는 통신망 복구를 위한 논리적인 다중 링 구조의 구성 방법에 대해 기술한다. 통신망 복구 기법을 요구하는 토폴로지 그래프 $G=(N, |E|)$ 가 주어진다 가정한다. 여기서 N 은 노드의 수이며, E 는 링크의 집합이다. 다중 링 구조는 주어진 토폴로지 그래프에 대해 설계 과정에서 단 한번만 구성되며, 이후 토폴로지의 변화가 수반되지 않는 한에는 재구성될 필요가 없다.

M 개의 복구 링을 가지는 다중 링 구조 구성의 첫번째 목표는 각 링크가 적어도 M 개의 링에 포함될 수 있도록 논리적인 링의 집합을 구하는 것이다. 효율적인 예비 대역폭의 할당을 위해서는 하나의 링크가 포함된 M 개의 논리적인 링이 가능하면 서로 완전히 독립적이거나, 불가피한 경우에는 경로상에 최소한의 상호 공유 링크를 가져야 한다. 그 이유는 대체 경로에 예약되어야 하는 예비 대역폭의 단위를 줄이기 위함이다. 그러므로 이러한 사실을 반영하여 하나의 링크에 할당된 M 개의 논리적인 링 사이의 공유 링크를 최소화 할 수 있도록 하여야 한다. 또한 복구의 속도 및 예비 대역폭의 할당을 고려하여 보다 짧은 길이의 링이 긴 길이의 링보다 우선적으로 선택되어야 한다. 이는 복구의 성능뿐만 아니라 통신망에서 신호가 전달될 수 있는 물리적인 거리의 한계를 고려하기 위해서도 필요한 조건이다. 이러한 고려 사항을 만족시킬 수 있도록 다중 링 구조를 구성하기 위해서는 다음의 조건을 만족시켜야 한다.

- 토폴로지에서 임의의 링크는 적어도 M 개의 논리적인 링에 포함되어야 한다.
- 각 링크는 상호 완전히 독립적이거나 경로상에서 상호 공유하는 링크의 수가 가장 적은 M 개의 논리적인 링에 포함되어야 한다.
- 각 링크는 위의 두 조건을 만족시키는 논리적인 링 중에서 가장 짧은 길이의 M 개의 링에 포함되어야 한다.

주어진 통신망 토폴로지가 평면그래프로 표현될 수 있는 경우에는 $M=2$ 인 경우의 다중 링 구조를 구성하기 위해 앞에서 설명한 이중 링 구조(CDC)를 구성하는 방법과 동일한 방법이 사용될 수 있다[11]. 즉 평면 그래프상에서 링크로 둘러싸인 폐곡선을 이루는 부분마다 폐곡선의 경계를 따라 논리적인 링을 구성하며 최종적으로 평면 그래프의 가장 바깥쪽 링크를 따라 논리적인 링이 구성된다. 이 방법은 매우 간단하

나 크기가 큰 통신망에서는 가장 바깥쪽의 링크를 따라 구성된 링이 너무 길어진다는 단점이 있다. 이렇게 긴 링은 복구 속도, 예비 대역폭 할당, 그리고 견고성 면에서 불리하며 신호 전달의 물리적인 한계로 인한 어려움도 따른다. 또한 이 방법으로는 평면 그래프로 나타낼 수 없는 통신망 토폴로지의 경우 적용이 어렵고, M이 2가 아닌 다른 다중도를 가질 경우에는 적용할 수 없다.

그러므로 보다 일반적인 망에 적용될 수 있으면서 임의의 M값을 가지는 다중 링 구조의 구성을 위한 휴리스틱 알고리즘을 <표 1>에 기술하였다. 기술된 알고리즘에서는 먼저 복구의 대상이 되는 링크를 토폴로지 그래프에서 제거한 후, 남은 그래프상에서 제거된 링크의 양 종단 노드간에 K개의 순차적 최단 경로(k-shortest paths)를 찾아 제거된 링크와 결합하면 복구를 위한 논리적인 링들이 구성된다. 이 링들중에서 앞에서 기술한 세 가지 조건을 만족시키는 M개의 링을 선택하여 해당 링크의 복구 경로로 할당한다. 이 과정에서 조건을 만족시키는 링이 M개 이상 찾아질 경우에는 대체 경로의 공유 정도를 높이기 위하여 이미 다중 링 구조에 포함된 링을 우선적으로 선택하며, 조건을 만족시키는 링이 M개 이하일 경우에는 예비 자원의 소비를 최소화 할 수 있도록 조건을 만족시키는 링 중에서 가장 길이가 짧은 링을 한번 이상 사용한다.

<표 1> 다중 링 구조 구성을 위한 휴리스틱 알고리즘

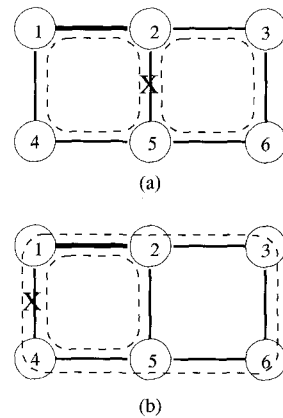
- | |
|---|
| <p>0. 다중 링 구조를 위한 논리적 링 집합 $S = \{ \}$. 주어진 그래프 $G = (N, E)$의 모든 링크 e에 대하여 다음의 과정을 수행한다.</p> <p>1. 그래프 G에서 링크 e를 제거한다. 그 결과 갱신된 그래프 $G' = (N, E -1)$이 생성된다.</p> <p>2. 갱신된 그래프 G'상에서 제거된 링크 e의 양쪽 종단 노드들 사이에서 k-shortest paths의 집합 P_e를 찾는다. $P_e = \{P_e^1, P_e^2, \dots, P_e^k\}$;</p> <p>3. 링크 e에 대한 복구 경로가 될 수 있는 논리적인 링의 집합 C_e^k는 링크 e와 P_e를 조합함으로써 얻어진다. $C_e^k = e \text{ join } P_e^k, C_e = \{C_e^1, C_e^2, \dots, C_e^k\}$;</p> <p>4. C_e에서 상호간의 공유 링크의 수가 가장 적은 순서대로 M개의 링을 선택하여 링크 e를 복구하기 위한 M개의 링의 집합 C_M을 구성한다.</p> <p>5. 만약 단계 4에서 C_e내에 상호 독립적인 링이 M개 이상 존재할 경우에는 이미 S에 속해있는 링을 우선적으로 선택하여 C_M을 구성한다.</p> <p>6. 만약 단계 5에서 C_M의 조건을 만족시키는 링이 M개 이상 존재할 경우에는 총 길이의 합이 가장 작은 M개의 링을 C_M으로 선택한다.</p> <p>7. 만약 단계 4~6에서 C_M의 조건을 만족시키는 링이 M개 이하일 경우에는 링의 길이가 짧은 순서대로 C_e에 속한 링을 한번 이상 선택한다.</p> <p>8. 다중 링 구조의 링 집합 S를 갱신한다. $S = S \cup C_M$</p> |
|---|

3.3 예비 대역폭 할당

다중 링 구조에서 복구에 필요한 예비 대역폭의 할당은 손실위험 공유집단(Shared Risk Group: SRG)[14, 15] 개념을 이용하여 수행된다. 통신망에서 특정 링크를 공동으로 포함하는 서비스 연결들은 해당 링크에 장애가 발생하였을 경우 동시에 손실될 수 있다. 이렇게 단일 장비의 장애로 인하여 동시에 손실될 가능성이 있는 연결들은 손실 위험을 공유한다고 말한다. 망 복구에서 같은 손실 위험 공유 집단에 속한다는 것은 해당 서비스 연결들이 동시에 복구되어야 함을 의미한다. 그러므로 같은 손실 위험 공유 집단에 속한 서비스 경로들은 대체 경로 및 예비 대역폭을 공유할 수 없고, 효율적인 자원의 이용을 위해서는 이들이 서로 다른 대체 경로를 이용하도록 분산되어야 한다.

다중 링 구조를 이용한 복구 기법에서는 대체 경로와 복구해야 하는 링크가 동일한 논리적 링상에 위치한다. 따라서 하나 이상의 링크를 공유하는 링은 같은 손실 위험 공유 집단에 속한다고 볼 수 있고, 이들은 단일 링크의 손실로 인해 동시에 대체 경로로서 활성화되어 복구를 수행할 수 있다. 다중 링 구조에서 링크 e 를 포함하는 임의의 손실 위험 공유 집단 SRG_e^i 은 다음과 같이 정의된다.

- SRG_e^i : 링크 e 를 포함하며 최소한 하나 이상의 링크를 경로상에 공유하는 논리적인 링들의 집합.



(그림 4) SRG 개념을 이용한 예비 대역폭 할당

예를 들어 (그림 4)의 토폴로지에서 (a)와 같이 링크 (2-5)가 손실되었을 경우, 링크 (1-2)는 하나의 활성화된 대체 경로 (2-1-4-5)에 의해 이용되며 따라서 링크 (1-2)상에서 예비 대역폭은 하나의 복구 단위만이 사용된다. 그러나 (b)에서 보이는 것과 같이 링크 (1-4)가 손실되었을 경우, 링크 (1-2)는 두개의 활성화된 대체 경로 (1-2-5-4)와 (1-2-3-6-5-4)에 의해 동시에 이용된다. 따라서 이 경우에는 링크 (1-2)에 예비 대역폭으로 두개의 복구 단위가 필요하다. 이는 (b)의 경우에 링크 (1-2)상에서 활성화 된 두개의 링이 같은 손실 위험 공유 집단에 속하기 때문이다. 즉, 링크 (1-2)에 할당되어야 하는 예비 대역폭의 총량은 동시에 활성화되어 대체 경로로 사용되어질 수 있는 링의 최대 수에 의해 결정된다.

일반화시켜서 기술하면, 다중 링 구조를 이용하는 통신망에서 하나의 링크에 할당되어야 하는 예비 대역폭의 양은 해당 링크를 포함하는 링들의 손실 위험 공유 집단 중 가장 많은 링을 가진 집단에 의해 결정된다. 즉, 링크 e를 포함하는 임의의 손실 위험 공유 집단 SRG_e^i 의 예비 대역폭 요구량을 $R(SRG_e^i)$ 라 할때, 링크 e에 할당되어 예약되어야 하는 예비 대역폭의 양은 다음과 같이 결정되어진다.

$$R(e) = \text{Max}(R(SRG_e^1), R(SRG_e^2), \dots, R(SRG_e^N))$$

통신망에서 링크당 사용가능한 대역폭이 1이라고 가정하면 임의의 링크 e에 대하여 모든 $R(SRG_e^i)$ 의 값은 기본 복구 단위인 $1/M$ 의 정수배가 된다. 이 경우 다중 링 구조를 이용하는 통신망에서 하나의 링은 일정한 $1/M$ 의 예비 대역폭 요구를 가지며, 통신망 전체의 예비 대역폭 비율은 최소 $100/M\%$ 에서 최대 100% 의 범위를 가지게 된다. 최소값인 $100/M\%$ 의 예비 대역폭 비율은 모든 링크가 상호 독립적인 M개의 복구용 링을 가지는 토폴로지에서 얻어질 수 있으며, 이는 연결성이 아주 높은 지역망이나 또는 하이퍼 큐브나 토러스 망과 같이 특수한 토폴로지의 경우에 해당된다. 최대값인 100% 의 예비 대역폭 비율은 모든 링크의 예비 대역폭 할당 요구가 $M \times (1/M) = 1$ 인 경우, 즉 복구용 링중에 상호 독립적인 경우가 전혀 없는 경우의 토폴로지에서 얻어지며, 물리적인 링 토폴로지가 이에 해당한다.

3.4 망 복구 절차

다중 링 구조를 이용한 복구 기법은 손실된 링크만을 대체하는 지역적 복구를 수행한다. 다중 링 구조는 매우 간단한 통신망 복구 동작을 가능하게 한다. 복구를 위한 대체 경로는 통신망 설계시에 논리적인 링을 통해 구성될 수 있고, 예비 대역폭은 각 링에 대해 복구 단위를 기준으로 사전에 할당, 예약될 수 있다. 복구 감지후에 수행되어야 할 작업은 다중 링 구조를 이용해 대체 경로를 활성화시키고, 손실된 트래픽을 대체 경로로 전환하는 것 뿐이다.

복구용 링을 이용한 대체경로의 활성화는 손실된 링크의 인접 노드 사이에 한방향의 메시지 전송을 통해 이루어진다. 손실된 링크의 하위 노드로부터 상위 노드로의 복구 메시지의 전달이 복구용 링을 통해 이루어지며, 메시지 전달시에 수행되는 기본적인 동작은 손실된 링크를 제외한 링의 나머지 부분을 대체 경로로 활성화 시키기 위한 중간 노드의 연결 교환 작업이다. 즉 대체 경로를 연결하기 위하여 노드의 해당되는 입력 단자와 출력 단자 사이의 연결이 이루어지며 예약된 예비 대역폭이 할당되어진다. 이러한 작업은 복구용 링을 따라 모든 중간 노드에서 수행되며 활성화 작업이라고 부른다. 통신망에서 노드 A와 노드 B사이의 링크가 손상된 경우, 손실된 트래픽 (A to B)를 복구하기 위하여 링크 (A-B)에 할당된 M개의 링에서 다음과 같은 절차가 진행된다.

1. 노드 B는 손실된 경로의 출력 단자와 복구용 링으로부터의 입력 단자를 연결하는 활성화 작업을 수행한다. 이후 노드

B는 복구 메시지를 생성하고 이를 복구용 링상의 인접노드로 전송한다. 전송되는 메시지는 활성화 되어야 할 복구용 링의 ID와 손실된 링크의 ID, 그리고 복구의 출발지 및 목적지인 노드 A와 B의 주소를 포함하고 있어야 한다.

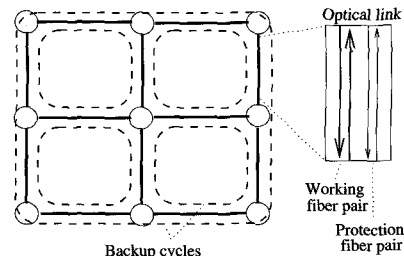
2. 복구용 링상의 중간 노드에서는 복구 메시지를 받은 후 복구용 링의 입력 단자와 출력 단자 사이에 활성화 작업을 수행하고 다음 인접노드로 메시지를 전송한다.

3. 노드 A는 복구 메시지를 받으면 손실된 경로의 입력 단자와 복구용 링으로의 출력단자 사이에 활성화 작업을 수행하고, 중단되었던 서비스의 트래픽을 대체 경로로 교환하여 재개한다.

위에서 기술한 하위 노드에서 상위 노드로의 한방향 메시지 전송은 손실된 링크의 양방향으로 각각 수행되며 동일한 논리적 링 토폴로지의 대체 경로를 이용해 양방향 모두 손실된 링크의 복구가 이루어진다.

3.5 WDM 망에의 적용

본 논문에서 WDM 망의 링크는 (그림 5)과 같이 4개의 광섬유로 구성되어 있다고 가정한다. 양방향 전송을 위하여 서로 다른 방향의 두개의 광섬유가 하나의 쌍을 이루며, 정상 서비스 경로를 위한 광섬유 쌍(Working fiber pair)과 복구 서비스를 위한 광섬유 쌍(Protection fiber pair)으로 구분된다. 각각의 광섬유가 수용하는 광파장 채널의 수는 같다고 가정한다. 이러한 두 쌍의 광섬유는 널리 사용되고 있는 WDM 링크 구성의 기본 단위이며, 이는 기본 단위의 배수의 광섬유를 갖는 링크의 경우로 쉽게 확장될 수 있다.



(그림 5) WDM 망에서의 링크 구성

WDM 망에서는 하나의 링크에 수십 또는 수백 개 이상의 광파장을 이용해 서로 다른 채널들을 수용한다. 이러한 망에서 링 구조를 이용한 망 복구를 위해서는 하나의 링크에 포함되는 채널들이 여러 개의 복구 단위로 분리되어야 한다. 하나의 링크에 의해 전송되는 광파장들을 M개의 복구 단위로 분리하는 일은 간단하지 않은 작업이나, 다음과 같은 방법을 고려할 수 있다.

- 하나의 링크가 여러 개의 광섬유를 이용한 다중 광섬유 링크로 구성되어 있을 경우에는 각각의 광섬유가 하나의 복구 단위가 될 수 있다. 다중 광섬유 링크를 이용한 WDM 망의 설계는 실제 광통신망에서 자주 사용되는 방법이다[1].

- 이종 계층의 광파장 다중화 기술이 사용되는 WDM 망에서는 광파장 집단 또는 광파장 대역 (waveband) 개념을 이용해 M개의 복구 단위를 구성할 수 있다. 광파장 집단 또는 광파장 대역은 광파장 관리의 편의성을 위해 ATM 망의 VP/VC의 개념과 같은 계층적이고 집단적인 경로 설정을 WDM 망에서 구현할 수 있는 방법으로서 연구되고 있다[16, 17].
- 최근에 사용되고 있는 인터리버(interleaver)를 이용한 WDM 망에서는 하나의 링크를 지나는 홀수 번호의 광파장 채널과 짝수 번호의 광파장 채널을 분리하여 M=2인 다중 링 구조를 구성할 수 있다. 인터리버란 하나의 링크에 수용할 수 있는 광파장의 수를 늘리기 위하여 광파장 간의 간격을 좁혀 두개의 광파장 집단을 오버랩시키는 기술을 말한다[1]. 이 경우 하나의 광파장 집단은 홀수의 채널 번호를, 다른 하나의 광파장 집단은 짝수의 채널 번호를 부여받는다.

이러한 광파장 분할 기법을 이용하여 전송 링크의 광파장은 M개의 복구 단위로 분할되며, 복구용 링마다 하나의 복구 단위에 해당하는 수의 예비 광파장이 할당되어야 한다.

4. 실험결과 및 분석

다중 링 구조를 이용한 복구기법의 성능 평가를 위해 <표 2>에 설명된 10개의 그물망 토폴로지를 이용하였다.

<표 2> 실험에 사용된 통신망 토폴로지의 특성

토폴로지	노드 수 (N)	링크 수 (E)	평균연결성 (degree)
Net.1	10	22	4.40
Net.2	11	23	4.18
Net.3	14	21	3.00
Net.4	15	28	3.73
Net.5	20	32	3.20
Net.6	28	47	3.35
Net.7	20	31	3.10
Net.8	30	59	3.93
Net.9	53	79	2.98
Net.10	100	180	3.60

실험에 사용된 토폴로지는 NSFNET, ARPANET 등 실제 지역망 및 광역망 구성에 사용되고 있는 토폴로지를 반영하였으며 다양한 크기와 연결성을 가지고 있다. 본 논문의 연구 내용이 복구를 위한 대체 경로의 설정방법에서 기존의 연구와 많은 차이를 가지므로 다양한 토폴로지 상에서의 성능을 비교 분석해 본다. 실험에서 통신망의 각 링크는 동일한 서비스 대역폭을 가지며, 하나의 광섬유는 60개의 광파장을 수용할 수 있다고 가정한다.

4.1 다중 링 구조 구성 결과

<표 3>에 각각의 토폴로지에서 다양한 다중도 M에 대하여 구성된 다중 링 구조의 논리적 링의 수를 보였다. 이 결과

를 통해 다중 링 구조에 의한 복구 경로의 구성이 매우 높은 대체 경로의 공유 정도를 가짐을 알 수 있다. 대부분의 토폴로지에서 (링크수)×M 값에 비하여 훨씬 작은 수의 링만으로 복구를 수행한다.

<표 3> 다중 링 구조를 위한 싸이클 수

토폴로지	M=1 (E ×M)	M=2 (E ×M)	M=3 (E ×M)
Net.1	13 (22)	19 (44)	26 (66)
Net.2	12 (23)	21 (46)	30 (69)
Net.3	8 (21)	15 (42)	24 (63)
Net.4	12 (28)	22 (56)	35 (84)
Net.5	13 (32)	21 (64)	42 (96)
Net.6	18 (47)	33 (94)	64 (141)
Net.7	28 (31)	21 (62)	39 (93)
Net.8	28 (59)	47 (118)	86 (177)
Net.9	27 (79)	48 (158)	80 (237)
Net.10	81 (180)	113 (360)	288 (540)

4.2 자원 이용의 효율성

<표 4> 단일 링크 장애시 예비 대역폭 비율

토폴로지	degree	M=1	M=2	M=3	M=4	M=5
Net.1	4.40	90.9	50.0	39.0	36.3	39.0
Net.2	4.18	82.6	63.0	55.1	54.5	59.1
Net.3	3.00	90.5	59.5	68.3	75.0	79.0
Net.4	3.73	96.4	57.1	54.2	59.8	64.2
Net.5	3.20	93.8	50.0	55.6	65.6	71.8
Net.6	3.35	97.9	62.8	58.2	62.8	67.6
Net.7	3.10	96.8	71.0	69.9	67.6	70.9
Net.8	3.93	93.2	53.4	45.2	51.3	57.9
Net.9	2.98	98.7	75.3	76.0	80.3	82.5
Net.10	4.00	100.0	52.2	41.5	56.1	64.8
평균	3.59	94.2	59.4	56.3	59.9	66.3

<표 4>는 다양한 M 대하여 예비 대역폭 비율의 결과를 나타낸다. 여기서 예비 대역폭 비율은 해당 토폴로지에서 임의의 단일 링크 장애에 대한 100%의 보장된 복구를 수행하기 위해 요구되는 예비 대역폭의 비율이다. M=1인 경우는 단일 링 구조와 같으며 이 경우 나타난 바와 같이 평균 약 94%의 높은 예비 대역폭 비율을 가진다. M=2일 경우 예비 대역폭 비율은 토폴로지의 특성에 따라 50%에서 75%까지의 분포를 보이며 평균 약 59%의 예비 대역폭 비율을 보인다. M=3일 경우는 39%에서 76%까지의 분포와 평균 약 56%의 예비 대역폭 요구를 갖는다.

이러한 60% 이하의 예비 대역폭 비율은 비록 직접적인 비교는 무리가 있으나 트래픽이 많은 경우에는 중단간 대체 경로를 사용하는 복구 기법의 대역폭 효율성과 유사한 것으로 다중 링 구조를 이용한 복구 기법이 지역적 복구를 수행하면서도 매우 높은 대역폭 효율성을 제공한다는 것을 알 수 있다. 이는 이종 링 구조(CDC)를 사용한 복구 기법[11]이 100%의 예비 대역폭 비율을 보인다는 것과 비교하면 더욱 그 효율성이 높음을 알 수 있다. 이러한 효율성의 증가는 다중 링 구조의 특성상 복구 경로의 분산과 경로당 요구되는 복구 단위의 감소를 통하여 예비 대역폭의 공유 정도를 크게 높였기 때문에 가능하다.

M이 4, 5일 경우의 평균 예비 대역폭 비율은 각각 약 60%와 66%를 보인다. 즉 다중도 M이 4 이상으로 증가하면 더 이상의 예비 대역폭 비율 감소가 나타나지 않으며 오히려 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 현실적인 통신망 토폴로지의 연결성의 제약으로 인해 하나의 링크에 대하여 서로 다른 4개 이상의 상호 독립적인 복구용 링을 구성하기가 어려우므로 다중 링 구조가 제공하는 예비 대역폭의 분산과 링크당 복구 단위의 감소로 인한 이득이 줄어들기 때문이다. M값의 증가에 따른 예비 대역폭의 변화는 통신망 토폴로지의 특성에 크게 의존하며 Net.1과 같이 연결성이 높은 토폴로지에서는 추가적인 효율성의 증가를 발견할 수 있다. 그러므로 대형 하이퍼큐브나 토러스와 같이 연결성이 매우 높은 특수한 토폴로지에서는 높은 다중성을 가지는 다중 링 구조를 이용하여 매우 효율적으로 복구를 수행할 수 있다. 예를 들어 대형 토러스와 4차원 하이퍼큐브 망에서는 약 33%의 예비 대역폭만을 가지고 단일 링크 장애에 대한 복구를 보장할 수 있다.

이 실험에서 가정한 광통신망 구조에서, 예비 대역폭 비율의 감소는 복구용 광섬유 쌍에서 필요로 하는 대역폭의 감소를 의미하며 따라서 복구용 광섬유의 나머지 대역폭을 통해 추가적인 트래픽을 수용할 수 있다. 즉 M이 2 또는 3인 경우 복구용 광섬유에서는 60% 이하의 광파장만이 복구를 위한 목적으로 사용되며 나머지 40% 이상의 광파장을 통해 추가적인 채널을 수용할 수 있다. 따라서 정상적인 서비스용 광섬유에서 제공하는 60개의 광파장 채널의 약 40%인 24개의 채널이 더 제공될 수 있으며 이는 광파장당 40 Gbps의 전송 속도를 가정할 경우 초당 약 1 테라 비트에 가까운 트래픽을 추가로 수용할 수 있음을 의미한다. 이러한 추가적인 트래픽의 수용은 광통신망에서의 광파장의 활용도를 증가시키므로 Lightpath 설정시 연결 실패율(Blocking Probability)를 낮출 수 있는 요인이 된다. 만약 한 쌍이 아닌 여러 쌍의 광섬유가 서비스용 경로로 사용되는 다중 링 구조를 사용한다면, 대역폭 효율성의 증가는 복구용으로 가설되어야 하는 광섬유 수의 감소로 연결될 수 있다.

4.3 복구의 견고성

<표 5>는 다양한 M값에 대한 복구 링 구조의 견고성을 나타낸다. 여기서 견고성은 통신망 토폴로지서 임의의 두 개의 링크가 동시에 손실되었을 경우의 복구 비율로서 측정하였다. 이 표에서 나타낸 결과는 모든 조합 가능한 한 쌍의 링크 손실에 대하여 측정한 견고성을 평균한 값이다.

결과를 보면 M이 증가할수록 다중 링 구조는 복구의 견고성을 떨어뜨리는 것을 알 수 있다. 이는 M이 증가할수록 점점 더 많은 수의 복구용 링이 사용되어지므로 대체 경로간의 충돌이 발생하여 필요한 예비 대역폭에 대한 경쟁이 심해지기 때문이다. 그럼에도 불구하고 <표 5>의 결과는 다중 링 구조가 다른 링 기반의 복구 기법에 비하여 높은 견고성을 제공함을 알려준다. 이중 링 구조 (CDC) 방식의 복구 기법은 Net.2, Net.5, Net.6에서 각각 79%, 60%, 65%의 견고성을 제공한다[11]. 같은 토폴로지서 다중 링 구조는 더 높은 견고

성을 제공하며 이는 약 60% 미만의 예비 대역폭 비율을 가진 상황에서의 결과이므로 100%의 예비 대역폭을 요구하는 CDC 기법보다 견고성이 높음을 확인할 수 있다.

<표 5> 이중 링 구조 장애시 복구 견고성

토폴로지	degree	M=1	M=2	M=3	M=4	M=5
Net.1	4.40	88.8	87.8	83.6	72.3	77.7
Net.2	4.18	90.7	86.2	84.2	83.0	83.1
Net.3	3.00	81.4	73.3	74.5	78.3	76.2
Net.4	3.73	92.6	89.4	82.9	81.1	78.4
Net.5	3.20	89.9	81.7	76.8	75.5	70.6
Net.6	3.35	95.0	90.6	79.4	72.5	73.7
Net.7	3.10	93.2	85.7	75.1	67.7	70.5
Net.8	3.93	95.3	93.0	86.1	82.9	80.8
Net.9	2.98	97.1	92.5	88.9	85.5	83.8
Net.10	4.00	97.9	97.7	91.3	93.9	92.6
평균	3.59	92.2	87.8	82.3	79.3	78.8

4.4 효율성과 견고성의 상호 관계

여기서는 다중 링 구조의 효율성과 견고성 간의 상관 관계를 고찰한다. (그림 6)과 (그림 7)의 그래프는 각각의 Net.2, Net.6의 토폴로지서 다중도 M의 변화에 따른 예비 대역폭 비율과 견고성을 동시에 표시하고 있다. 이들 그래프를 통해 알 수 있듯이 M이 증가할수록 자원 이용의 효율성은 증가하지만 동시에 견고성은 나빠지는 대립적인 관계가 있음을 알 수 있다.

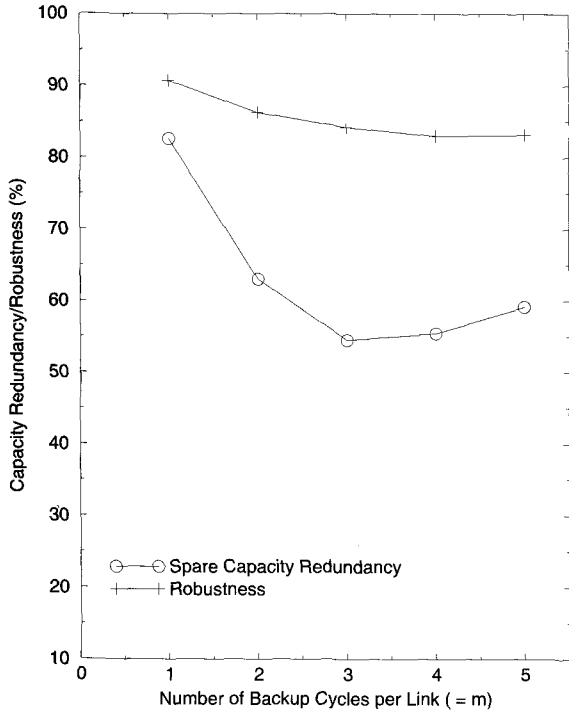
따라서 각 토폴로지의 특성과 성능 요구사항에 따라 효율성과 견고성 사이의 대립적 관계를 고려한 최적의 다중도 M을 선택할 수 있다. M이 4 이상이면 효율성도 나빠지는 경우가 많으므로 대부분의 망 토폴로지서 2 또는 3의 다중도가 가장 적당하다고 볼 수 있다.

5. 결 론

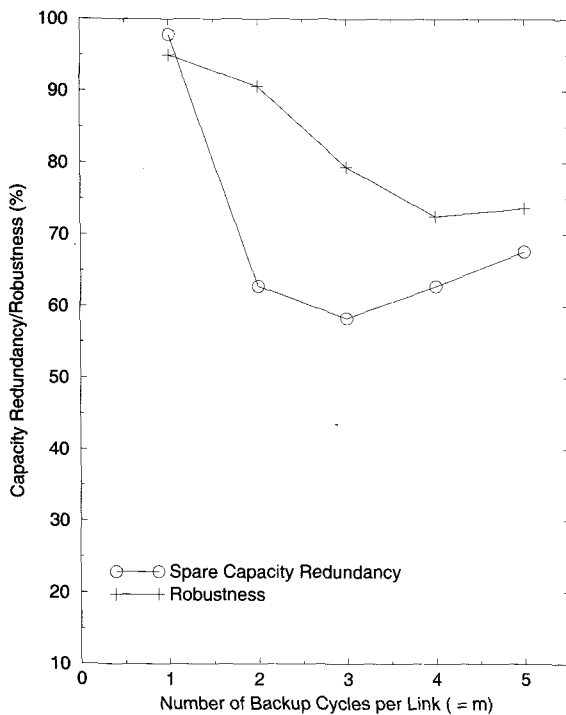
본 논문에서는 대용량 WDM 광통신망 환경에 적합한 망 복구 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 신속한 복구 속도와 자원 이용의 효율성을 모두 제공할 수 있는 분산식 복구 방법에 기반한다. 자원 이용의 효율성은 예비 자원 사용의 공유를 통해 얻어질 수 있으며 이를 위해 예비 대역폭뿐만 아니라 대체 경로 자체를 공유하는 방법이 요구된다.

구체적인 복구 기법으로서 논리적인 다중 링 구조를 이용한 복구 기법을 제안하였으며, 새로운 대체 경로 설정 방법이 중점적으로 제시되었고 예비 대역폭의 할당 방법과 복구 알고리즘도 기술되었다. 성능 평가를 위하여 다양한 특성을 갖는 여러개의 실제적인 토폴로지의 광파장 분할 다중화(WDM) 망에 적용한 시뮬레이션을 수행하고 그 성능을 분석하였다. 다중 링 구조를 이용한 복구 기법은 지역적인 복구를 수행함에도 불구하고 10개의 서로 다른 토폴로지서 평균 60% 이하의 예비 대역폭 비율을 가지고 단일 링크 장애에 대한 복구를 보장할 수 있다. 이는 중단간 복구 기법의 예비 대역폭 비율과 같은 효율성으로서 이를 통해 다중 경로를 이

용한 예비 대역폭의 분산과 공유가 매우 높은 비율로 이루어짐을 확인할 수 있다. 이러한 예비 대역폭 비율의 감소는 추가적인 서비스의 수용을 가능하게 함으로써 통신망 전체의 연결 실패율(Call Blocking Probability)의 감소로 나타난다. 실험결과는 대부분의 망 토폴로지에서 2 또는 3의 다중도가 적당할 수 있음을 보여준다.



(그림 6) SCR vs. Robustness, Net.2



(그림 7) SCR vs. Robustness, Net.6

참 고 문 헌

- [1] K. Liu, J. Ryan, "All the Animals in the Zoo: The Expanding Menagerie of Optical Components", IEEE Communications Magazine, Vol.39, No.7, pp.110-115, Jul., 2001.
- [2] T. E. Stern, K. Bala, Multiwavelength Optical Networks, Addison Wesley, 1999.
- [3] S. Ramamurthy, B. Mukherjee, "Survivable WDM Mesh Networks, Part I-Protection", Proceedings of Infocom97, pp.744-751, Mar., 1997.
- [4] S. Ramamurthy, B. Mukherjee, "Survivable WDM Mesh Networks, Part II-Restoration", Proceedings of ICC97, pp.2023-2030, Jun., 1997.
- [5] M. Medard, S. Lumetta, "Architectural Issues for Robust Optical Access", IEEE Communications Magazine, Vol. 39, No.7, pp.116-122, Jul., 2001.
- [6] P. Veitch, D. Johnson, "ATM Network Resilience", IEEE Network, pp.26-33, Sep., 1997.
- [7] H. Sakauchi, Y. Nishinura, S. Hasegawa, "A Self-healing Network with an Economical Spare Channel Assignment", Proceedings of Globecom90, pp.438-443, Dec., 1990.
- [8] R. R. Iraschko, M. H. Macgregor, W. D. Grover, "Optimal Capacity Placement for Path Restoration in STM or ATM Mesh-Survivable Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.6, No.3, pp.325-336, Jun., 1998.
- [9] L. M. Gardner, et al., "Techniques for Finding Ring-Covers in Survivable Networks", Proceedings of Flobecom'94, pp.1862-1866, Nov., 1994.
- [10] S. Ahn, "A Fast VP Restoration Scheme using Ring-Shaped Sharable Backup VPs", Proceedings of Globecom 97, pp.1383-1387, Nov., 1997.
- [11] 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.
- [12] S. Lumetta, M. Medard, Y.-C. Tseng, "Capacity Versus Robustness: A Tradeoff for Link Restoration in Mesh Networks", IEEE Journal of Lightwave Technology,

Vol.18, No.12, pp.1765-1775, Dec., 2000.

- [13] W. D. Grover, D. Stamatelakis, "Cycle-Oriented Distributed Preconfiguration: Ring-like Speed with Mesh-like Capacity for Self-planning Network Restoration", Proceedings of ICC98, pp.537-543, Jun., 1998.
- [14] S. Chaudhuri, G. Hjalmtysson, J. Yates, "Control of Lightpaths in an Optical Networks", Optical Networking Forum OIF 2000.04. Jan., 2000.
- [15] R. Ramamurthy, et al., "Capacity Performance of Dynamic Provisioning in Optical Networks", IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol.19, Np.1, pp.40-48, Jan., 2001.
- [16] K. Harada, K. Shimizu, T. Kudou, T. Ozeki, "Hierarchical Optical Path Cross-Connect Systems for Large Scale WDM Networks", Proceedings of OFC99, pp. 356-358, Mar., 1999.
- [17] E. Ciaramella, "Introducing Wavelength Granularity to Reduce the Complexity of Optical Cross Connects", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.12, No.6, pp. 699-701, Jun., 2000.



황 호 영

e-mail : hyhwang@aycc.anyang.ac.kr

1993년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1995년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)

2003년 서울대학교 전기.컴퓨터공학부(공학박사)

2003년~현재 안양대학교 디지털미디어공학과 조교수

관심분야: 멀티미디어 정보통신, 광통신, 이동통신망 등



임 성 수

e-mail : sslim@kookmin.ac.kr

1993년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1995년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)

2002년 서울대학교 전기.컴퓨터공학부(공학박사)

1999년~2003년 팜팜테크(주) 개발이사

2004년~현재 국민대학교 컴퓨터학부 전임강사

관심분야: 임베디드시스템, 이동통신단말기, 컴퓨터구조, 실시간 시스템 등