

서바이버블 광 메쉬망에서 다중 장애에 강인한 오일러 투어 기반 보호 복구 방식

손민한* · 이태진** · 정민영*** · 추현승***

요약

대용량 정보 전달 능력을 가지는 광 네트워크에서의 장애 발생은 수많은 사람들의 서비스 중단과 경제적 손실을 유발시킨다. 기존 연구에서 이러한 손실을 막기 위해 장애 발생시 보호 복구(Protection/Restoration)를 하기위한 알고리즘은 많으나 다중 오류(Multiple Failure) 발생시의 보호 복구 알고리즘은 거의 존재하지 않는다. 오일러 투어(Eulerian Tour)를 사용하면 단일 장애(Single Failure)에 대해 보호 복구를 할 수 있다고 알려져 있다. 본 논문에서는 복수개의 오일러 투어를 사용해 다중 오류에 대해 보호 복구를 할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에 의하면 일반적인 경우 두 개의 장애 발생시 매우 효과적인 복구를 수행하고, 종합적인 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 의하면 90% 이상의 복구율을 보인다.

Protection and Restoration Scheme Based on Eulerian Tours in Survivable Optical Mesh Networks

Minhan Shon* · Tae-Jin Lee** · Min Young Chung*** · Hyunseung Choo***

ABSTRACT

Failures in optical networks that have huge transmission capability provoke service discontinuity and thus large economical damage. Even though many algorithms are proposed for protection and restoration on a single failure, there are few algorithms for multiple failures. Eulerian tour is known to be effective to protect and restore a single failure in the literature. This paper proposes an algorithm that can perform efficient protection and restoration for multiple failures based on combined Eulerian tours. The proposed one is very effective on protection and restoration in general cases with two failures, and the comprehensive computer simulation shows that the restoration rate increases up to about 90%.

키워드 : 광 네트워크(Optical Networks), 보호(Protection), 복구(Restoration), 싸이클(Cycle), 오일러 투어(Eulerian Tour), 다중 오류(Multiple Failure)

1. 서론

최근 인터넷에 접속하는 호스트, 사용자 및 서비스 종류의 기하급수적인 증가는 광 네트워크 등을 기반으로 하는 초고속 네트워크 기술의 필요성을 증대시키고 있다. 특히, 데이터 트래픽은 인터넷에 의해 매년 100% 이상씩 급증하고 있으며 [1], 데이터 통신 트래픽이 기존의 음성 트래픽을 추월하고 있는 현실에서, 기존 네트워크로는 차세대 데이터 용량 및 수요에 대응하기가 용이하지 않다. 따라서, 초고속으로 대용량의 데이터 전송을 효과적으로 실현할 수 있는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술을 이용한 광 네트워킹 기술의 연구는 필연적이라 할 수 있다. 즉, IP over WDM을

사용하는 광 네트워크는 IP가 갖는 범용성, 확장성과 WDM이 갖는 풍부한 전송 대역폭을 결합함으로써 폭발적으로 증가하고 있는 인터넷 데이터 트래픽을 효과적으로 수용하는 것이 가능하므로 미래의 초고속, 멀티미디어 데이터 및 정보통신 서비스를 지원할 수 있는 차세대 통신망으로 기대되고 있다.

이와 같이 대용량의 데이터를 전송해야 하는 네트워크에서의 결합 및 장애 발생 등으로 인한 수많은 사용자의 서비스 중단 및 경제적 손실 규모는 점점 더 커지게 될 것이다. 이러한 문제를 최소화하기 위해서 대용량 네트워크는 일반적으로 99.999% 이상의 신뢰성(1년에 5분 이내의 서비스 중단에 해당)을 유지하도록 요구된다. 이를 충족하기 위해서 네트워크 자체적인 보호 및 복구 기능을 갖게 하는 것은 필수적이다. 즉, 네트워크상의 링크 및 기기 등의 결합 때문에 생기는 문제로부터 사용자들의 트래픽을 보호하기 위해 다양한 형태의

※ Dr. H. Choo is corresponding author.
* 준 회원 : 성균관대학교 대학원 정보통신공학부
** 정 회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
*** 중신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
논문접수 : 2003년 7월 14일, 심사완료 : 2004년 7월 19일

보호 및 복구 방법을 제공함으로써 네트워크의 필요사항을 충족할 수 있다. 향후 광 인터넷망을 효율적이고 안정적으로 사용하기 위해서는 네트워크에서의 문제 발생시 IP패킷의 이동경로 변경 등을 포함한 네트워크 레벨에서의 보호뿐만 아니라 실제로 광 신호가 전달되는 광계층(Optical layer)에서의 보호 및 복구 방법이 정립될 필요가 있다.

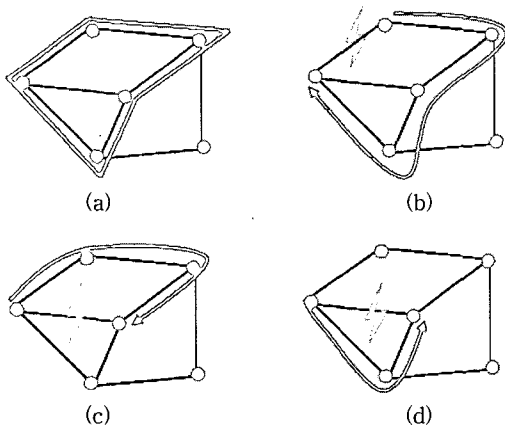
현재 연구되고 있는 보호 복구 방법은 네트워크를 설정할 때 미리 복구 경로를 정해놓는 P-Cycle(Preconfigured Protection Cycle) 방법[2-6], 별도의 Cycle을 이용하는 방법[7-10], 경로 보호 방식(Path Protection/Restoration)과 에지 보호 방식(Link Protection/Restoration) 방식을 응용한 SLSP (Short Leap Shared Protection)[11-13] 방법, 가상의 그래프를 이용하는 방법[14, 15] 등이 있다. 본 논문은 Cycle을 이용하는 알고리즘 중 오일러 투어 알고리즘과 P-Cycle 알고리즘에 기반하여 다중 장애 보호 및 복구 방법을 제안한다.

본 논문은 2장에서 오일러 투어와 P-Cycle에 대한 기존 연구를 설명한다. 3장에서 다중 장애를 복구하기 위한 다중 오일러 투어 방식을 제안한다. 4장에서는 랜덤 네트워크에서의 다중 장애에 대한 복구율을 성능 평가를 통해 분석하고 마지막으로 결론을 5장에서 서술한다.

2. 관련 연구

2.1 P-Cycle(Preconfigured Cycle)

이 방식은 메쉬 네트워크(Mesh Network)상에서 복구 경로가 정해지기 전에 미리 Cycle을 형성한 뒤 그 Cycle을 기반으로 보호 복구를 하는 방식이다[2-6]. 링 보호 복구 방식(Ring Protection/Restoration)에서는 한 방향의 복구 경로가 형성되지만 P-Cycle 방식을 사용하면 두 방향의 복구 경로를 얻을 수 있다. P-Cycle 방식은 두 개의 복구 경로를 기반으로 하여 다중 장애에 대한 복구가 가능하며, 메쉬 보호 복구 방식의 장애 복구 효율을 유지하면서 링 보호 복구 방식과 유사한 빠른 장애 복구 시간을 가진다.



(그림 1) P-Cycle을 이용한 복구 예

(그림 1)(a)는 네트워크에 존재하는 하나의 P-Cycle 예를 나타내고 있으며, (b)는 P-Cycle상에 위치한 임의의 특정 링크 장애 발생에 따른 복구 경로를 나타내고 있다. 이 경우에는 하나의 복구 경로만이 형성된다. (c)와 (d)는 P-Cycle 이외의 하나의 에지에서 장애가 발생하였을 때 P-Cycle을 이용하여 형성된 두개의 복구 경로를 나타내고 있다.

2.2 오일러 투어

오일러 투어의 정의는 연결된 그래프(Connected graph) 상에서 모든 에지(Link)를 한번씩 거쳐 링 혹은 Cycle을 형성하는 것을 말한다. 하나의 오일러 투어가 성립되기 위해서는 그래프에서 노드 degree가 홀수인 노드가 존재하지 않거나 두 개여야만 한다. 모든 노드의 degree가 짝수일 경우에는 어떤 노드에서 시작하던지 시작한 노드에서 끝이 나게 되고, 노드 degree가 홀수인 노드가 두개일 때는 한 노드는 시작점, 다른 하나의 노드는 끝나는 점이 된다. 본 논문에서는 모든 노드에서 degree가 2 이상인, 이중연결 그래프인 경우만 고려한다. 모든 에지를 거친다는 말은 연결된 그래프에서 모든 노드를 지난다고도 할 수 있다. 이 성질을 이용하면 단일 에지의 장애에 대하여 100% 복구가 가능하다.

모든 에지를 거치는 오일러 투어를 그리기 위해서 원래의 네트워크를 가상 네트워크로 변환하는 과정이 필요하다[7]. 가상 네트워크를 그리기 위해서 홀수 degree인 노드들을 원소로 가지는 problem 노드 집합을 구성한다. problem 노드는 degree의 개수가 홀수인 노드를 의미하고 terminal 노드는 problem 노드와 연결되어 있는 노드 중에서 degree의 개수가 홀수인 노드를 의미한다. 각각의 problem 노드에서는 terminal 노드들로 가는 경로를 가능한 한 모두 찾게 된다. 찾은 경로와 경로가 지나가는 에지, problem 노드와 terminal 노드의 정보는 테이블에 저장한다[7]. problem 노드에서 임의로 한 terminal 노드를 선택하여 그 terminal 노드로 가는 에지들을 지워줌으로써 두 노드에서 모두 degree가 짝수가 되도록 만들어 준다. 이 과정을 모든 problem 노드가 없어질 때까지 반복해준다. 이렇게 에지들을 지워줌으로써 오일러 투어를 그릴 수 있는 가상의 그래프를 얻는다.

3. 제안하는 다중 장애 보호 및 복구 방식

3.1 다중 오일러 투어를 이용한 보호복구

본 절에서는 다중 장애에 대비하는 보호 복구 방법을 기술한다. 제안된 방법에서는 다른 오일러 투어가 존재하지 않을 때까지 하나 이상의 오일러 투어를 그려서 다중 장애에 대한 보호를 한다. 오일러 투어 상의 에지에서 장애가 나지 않고 다른 에지에서 장애가 날 때는 앞 절에서 설명한 바와 같이 다중 장애에 대하여 보호가 가능하다. 이와 같은 특성을 기반으로 하여 다수의 오일러 투어를 작성할 때 에

지가 오일러 투어끼리 최대한 중복되지 않게 작성한다면 다중 장애에 대하여 보호를 할 확률이 높아지게 된다. 제안된 방법의 알고리즘은 다음 절차에 따라 동작한다.

3.1.1 단계 1

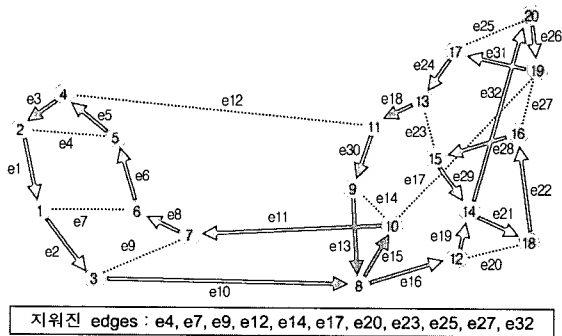
기존의 네트워크에서 한 개의 오일러 투어를 구성한다. 오일러 투어를 작성하기 위해 모든 노드에서 degree가 짝수가 되도록 가상의 그래프를 만들어주고, 이때 지워지는 에지들을 테이블에 표시한다.

3.1.2 단계 2

또 다른 오일러 투어를 그린다. 단계 1에서 오일러 투어를 그릴 때 작성한 테이블에서 표시된 에지들을 지양한 다른 에지들 중에서 임의로 선택하여 지움으로써 새로운 가상 그래프를 만들어 준다. 이전에 쓰이지 않은 에지를 선택했을 때 오일러 투어가 형성되지 않으면 이전의 오일러 투어를 작성할 때 사용되었던 에지를 다시 사용한다.

3.1.3 단계 4

단계 2를 반복하여 여러 개의 오일러 투어를 그린다.



(a)

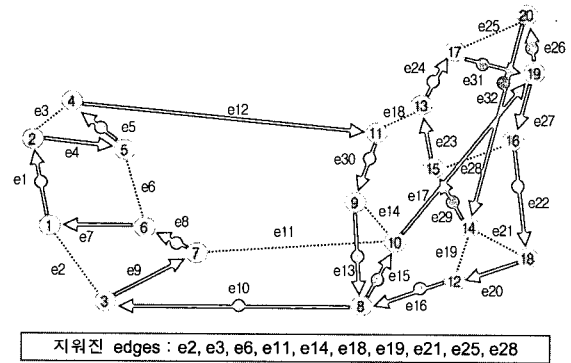
Problem node	edges	terminal node	Problem node	edges	terminal node
1	e1	2	7	e11, e17, e26	20
	e7 ¹	6		e11, e17, e27	16
	e2	3	9	e30	11
2	e3	4		e14, e17, e31	17
	e4 ¹	5		e14, e17, e26	20
3	e9 ¹	7		e14 ¹ , e17 ¹ , e27 ¹	16
	e10, e13	9		e14, e15, e16	12
	e10, e16	12	11	e18	13
	e10, e15, e11	7	12	e20 ¹	18
	e10, e15, e14	9		e19, e21	18
	e10, e15, e17, e26	20		e19, e29	15
	e10, e15, e17, e31	17		e19, e32	20
	e10, e15, e17, e27	16	13	e23 ¹	15
4	e5	5		e24	17
	e12 ¹	11	15	e28	16
5	e6	6	16	e22	18
6	e8	7		e27, e26	20
7	e11, e14	9		e27, e31	17
	e11, e15, e13	9	17	e31, e26	20
	e11, e15, e16	12		e25 ¹	20
	e11, e17, e31	17			

(b)

(그림 2) 단계 1을 수행한 후의 그래프와 테이블

단계 1은 2.2절에서 설명한 방법과 유사하며 (그림 2)에서 단계 1을 수행한 후의 그래프와 테이블을 볼 수 있다. (그림 2)(a)의 굵은 표시되어있는 에지들이 오일러 투어를 그리기 위해 사용된 에지들이다.

(그림 2)(a)는 첫 번째 오일러 투어를 나타내는 그래프이고 (b)는 이 오일러 투어를 작성한 후의 테이블을 나타내고 있다. 단계 2에서는 (그림 2)(b) 테이블에서 위 첨자 1이 붙여진 에지, 즉 오일러 투어를 그리기 위해 지워준 에지를 지양하고 남은 에지들 중에서 선택을 한다. 선택된 에지들을 그래프에서 지워주면 (그림 3)(a)와 같은 두 번째 오일러 투어를 얻게 된다(단계 2).



○ 14개 : 겹치는 edge의 수

(a)

Problem node	edges	terminal node	Problem node	edges	terminal node
1	e1	2	7	e11, e17, e26	20
	e7 ¹	6		e11, e17, e27	16
	e2	3	9	e30	11
2	e3	4		e14, e17, e31	17
	e4 ¹	5		e14, e17, e26	20
3	e9 ¹	7		e14 ¹ , e17 ¹ , e27 ¹	16
	e10, e13	9		e14, e15, e16	12
	e10, e16	12	11	e18	13
	e10, e15, e11	7	12	e20 ¹	18
	e10, e15, e14	9		e19 ² , e21 ²	18
	e10, e15, e17, e26	20		e19, e29	15
	e10, e15, e17, e31	17		e19, e32	20
	e10, e15, e17, e27	16	13	e23 ¹	15
4	e5	5		e24	17
	e12 ¹	11	15	e28	16
5	e6	6	16	e22	18
6	e8	7		e27, e26	20
7	e11 ² , e14 ²	9		e27, e31	17
	e11, e15, e13	9	17	e31, e26	20
	e11, e15, e16	12		e25 ¹²	20
	e11, e17, e31	17			

(b)

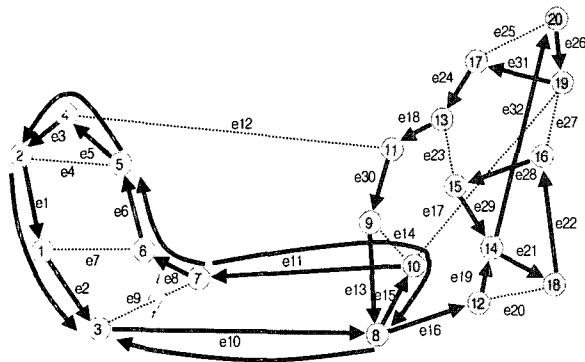
(그림 3) 단계 2일 때의 그래프와 테이블

(그림 3)(a)에서 에지상의 동그란 점은 첫 번째 오일러 투어와 두 번째 오일러 투어가 중복되는 것을 표시하고 있다. (그림 3)(b)는 두 번의 오일러 투어를 그린 다음의 테이블을 나타낸다. 단계 3에서는 (그림 3)(b)에서 위 첨자 1이 붙여진 에지들은 최대한 지양하면서 선택하고 또 다른 오일러

투어를 그리게 된다. 단계 3에서는 다른 오일러 투어가 존재할 때까지 단계 2를 반복한다.

이와 같이 서로 다른 여러 개의 오일러 투어를 생성한 후에는 각각의 오일러 투어를 사용하여 다중 장애에 대해 복구를 한다. 본 논문에서 보호를 하는 방법은 p-cycle(pre-configured cycle)[3]의 성질 중에서 보호 경로를 두 개로 나누는 성질을 오일러 투어에 적용한다.

(그림 4)는 노드 7과 3 사이의 에지 e9에서 장애가 발생하였을 때, 보호가 되는 경로를 보여주는 것이다. p-cycle의 성질에 따라 이런 경우, 노드 7-10-8-3과 7-6-5-4-2-1-3을 경유하는 두 개의 보호 경로가 생성이 된다.



(그림 4) 오일러 투어에서의 보호

여기서 만약 노드 2와 노드 1사이의 에지 e1에서 장애가 발생하였을 때 7-10-8-3의 경로를 이용해서 7과 3사이의 에지에 대해 보호를 실행할 수 있다. 곧 다중 장애에 제한적으로 복구가 가능하다. 하지만 오일러 투어상의 에지에서 장애가 발생하였을 때에는 복구 경로가 하나이므로 단일 장애에 대해서만 보호가 가능하다. 따라서, 단일 장애에 대해서는 100% 보호를 할 수 있지만 다중 장애에 대해서는 보호를 할 수 있는 경우가 적어진다. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 다중 장애에 대비하여 하나 이상의 오일러 투어를 사용하는 다중장애 보호 및 복구 방법을 제안한다. 복구를 하는 방식은 우선 첫번째 형성한 오일러 투어를 사용하여 장애 에지의 복구를 시도하고 복구가 실패했을시, 두번째 오일러 투어를 사용하여 복구를 시도한다. 이러한 방식으로 다중 장애에 대하여 복구를 한다.

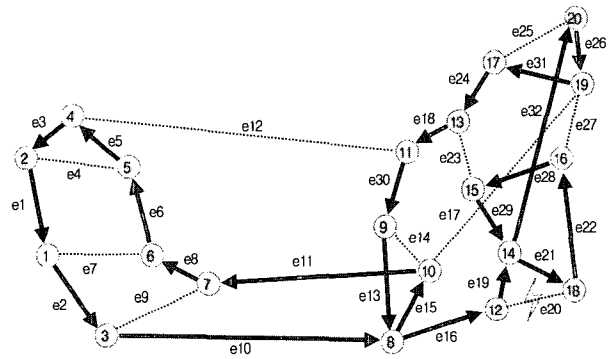
오일러 투어를 형성할 때 한번 방문한 노드를 다시 방문할 수도 있는데 이 경우에는 두 개 이상의 도메인(Domain)이 형성될 수 있다. 여기서 도메인은 투어를 구성할 때 형성되는 하나의 Cycle을 말한다. 두 개 이상의 도메인이 존재하는 경우에는 복구율이 그렇지 않을 때와 비교해서 더욱 높아진다.

그 이유는 한 도메인상에 두 개 이상의 에지에 장애가 없다면 그 네트워크는 오일러 투어를 사용하여 도메인별로 복구를 할 수 있기 때문이다.

3.2 도메인간의 에지에 대한 보호

오일러 투어를 생성할 경우에 지역적으로 생기는 도메인간을 연결하는 에지를 인터 도메인 에지(inter-domain edge)라 한다. 이 에지에 대해서 보호를 하는 방법은 도메인과 도메인이 만나는 노드에서는 광계층에서 보호 경로설정이 어느 쪽으로 되어야 할지를 알지 못하기 때문에 일반적인 에지에 대한 방법과는 다르게 처리해야 한다. 따라서 이 경우에는 미리 보호 경로를 설정해 놓는 P-Cycle 방식을 따르게 된다. 이런 에지들에 대해 미리 보호 경로를 설정해 놓는다면 네트워크 자원 효율성이 줄어들지만 빠른 보호를 할 수 있다는 장점이 있다.

(그림 5)에서 에지 e20이 {14-18-16-15-14}의 도메인과 {14-20-19-17-13-11-9-8-10-7-6-5-4-2-1-3-8-12-14}의 도메인간의 인터 도메인 에지가 된다. 이러한 경우 12-14-18의 경로와 18-16-15-14-20-19-17-13-11-9-8-10-7-6-5-4-2-1-3-8-12의 경로 두 가지로 보호 경로를 미리 설정을 해놓게 된다. 이러한 방법을 사용하면 인터 도메인 에지에 대해서도 다중 장애에 대하여 보호를 할 수 있게 된다.



(그림 5) 인터 도메인 에지

4. 성능 평가

4.1 실험환경

성능 평가는 NSFNET과 랜덤하게 생성한 네트워크를 사용하였다. 네트워크를 생성한 후에는 에지에 랜덤하게 장애를 발생시켜서 복구 성능 평가를 하였다. 시뮬레이션 횟수는 각각의 경우에 1,000번씩 수행하였으며 장애가 발생하는 에지의 수는 2~6개로 하였다. 각각의 경우에 대하여 복구율로써 비교를 하였으며 여기서 복구율이란 네트워크에서 장애가 발생시 그 네트워크가 제안 방법에 의해 문제없이 트래픽을 전달할 수 있는가를 알아보는 수치이다. 즉 장애가 발생한 에지가 복구 경로를 통해 모두 복구가능하면 복구가 성공한 것으로 간주하여 성공 시뮬레이션 횟수를 전체 시뮬레이션 횟수로 나눈 값이다.

랜덤 네트워크는 n(네트워크에서의 노드 수)과 Pe(노드들 간에 에지가 있을 확률)를 파라미터로 받아 성립된다. 네트워크

토폴로지는 연결된 그래프이어야 하므로 랜덤 그래프는 적어도 하나의 스패닝(spanning) 트리를 가지고 있어야 한다. 그래서 첫째로 랜덤 스패닝 트리를 생성한다. 우선 노드가 3개 이상일 때의 상황을 고려한다. 1번 노드와 2번 노드를, 그리고 2번 노드와 3번 노드가 항상 연결되는 스패닝 트리를 먼저 생성한다. 제안하는 방식에서는 이 트리를 초기화 트리로서 사용한다. 초기화 트리를 기본으로 다른 에지들을 P_e 를 이용해서 랜덤하게 발생시켜 최종 스패닝 트리를 생성한다.

4.2 NSFNET에서의 결과

노드가 14개이고 에지가 21개인 NSFNET에서 실험해 본 결과 두개의 다른 오일러 투어가 생긴다. 두개의 오일러 투어를 이용해서 보호복구를 할 때 다중 장애에 대한 복구율은 <표 1>과 같다.

<표 1> NSFNET일 때 복구율

장애 개수 \ 오일러 투어 횟수	1	2	3
2	0.54	0.83	0.84
3	0.30	0.51	0.51
4	0.15	0.29	0.29
5	0.08	0.12	0.12
6	0.06	0.07	0.07

한 개의 오일러 투어를 사용했을 때와 두개의 오일러 투어를 사용했을 때의 복구율은 최대 30%까지 개선된다. 여기서 세 개의 오일러 투어를 사용했을 때는 두 개의 오일러 투어를 사용해서 나온 결과와 거의 동일하다. 즉, 두 개의 다른 오일러투어가 생성됨을 알 수 있다.

4.3 랜덤 네트워크일 때의 결과

<표 2>, <표 3>은 노드가 14개, 에지가 23개(<표 2>)와 노드 20, 에지 32개(<표 3>)인 랜덤 네트워크에서의 결과를 나타내고 있다.

<표 2> 랜덤 네트워크일 때 복구율 (노드 14, 에지 23)

장애 개수 \ 오일러 투어 횟수	1	2	3
2	0.78	0.95	1
3	0.59	0.77	0.86
4	0.44	0.6	0.71
5	0.33	0.49	0.57
6	0.22	0.31	0.36

장애 에지의 개수가 두 개일 경우 세 개의 오일러 투어를 사용하여 보호 복구를 한다면 100%의 복구율을 얻을 수 있다. 장애 개수가 두 개 이상일 경우 다중 오일러 투어 방식

을 사용하면 단일 오일러 투어 사용시보다 최대 50%까지 복구율이 향상됨을 볼 수 있다. <표 2>와 <표 3>에서 오일러 투어는 세 번까지 작성됨을 확인할 수 있다.

<표 3> 랜덤 네트워크일 때 복구율 (노드 20, 에지 32)

장애 개수 \ 오일러 투어 횟수	1	2	3
2	0.73	0.87	1
3	0.47	0.72	0.97
4	0.29	0.5	0.71
5	0.18	0.26	0.45
6	0.12	0.18	0.28

5. 결론

본 논문은 네트워크 상에서 장애 발생시 단일 장애와 다중 장애에 대해 다중 오일러 투어를 사용하여 복구하는 방법을 제안하였다. 단일 오일러 투어를 보호 복구 방법으로 이용하게 되면 단일 장애에서는 100% 복구가 가능하지만 다중 장애에서는 복구율이 낮다. 그러나 제안된 다중 오일러 투어 방법을 사용하면 다중 장애에 대해서 단일 오일러 투어에 비해 최대 50%까지 복구율을 향상시킬 수 있다. 향후 임의의 랜덤 네트워크에서 사이클 방식을 이용해서 다중 장애에 대해 더욱 효과적인 보호 복구 알고리즘에 대한 연구가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 김재근, 이동호, 노장래, "IP over WDM 기술", Telecommunications Review, 제11권 제2호, pp.202-217, 2001.
- [2] D. A. Schupke, C. G. Gruber and A. Autenrieth, "Optimal Configuration of p-Cycles in WDM Networks," Proc. of ICC, Vol.5, pp.2761-2765, 2002.
- [3] G. Ellinas and A. G. Hailemariam and T. E. Stern, "Protection Cycles in Mesh WDM Networks," IEEE JSAC, Vol.18, No.10, pp.1924-1937, Oct., 2000.
- [4] D. A. Schupke, C. G. Gruber and A. Autenrieth, "Optimal Configuration of P-Cycles in WDM Networks," Proc. of ICC, Vol.5, pp.2761-2765, 2002.
- [5] H. Zhang and O. Yang, "Finding Protection Cycles in DWDM Networks," Proc. of ICC, Vol.5, pp.2756-2760, 2002.
- [6] W. D. Grover and D. Stamatelakis, "Cycle-oriented Distributed Preconfiguration: Ring-like Speed with Mesh-like Capacity for Self-planning Network Restoration," Proc. of ICC, Vol.1, pp.537-543, Jun., 1998.
- [7] A. Sen, B. Hao, B. H. Shen and G. Lin, "Survivable Routing in WDM Networks-Logical Ring in Arbitrary Physical Topology," Proc. of ICC, Vol.5, pp.2771-2775, 2002.
- [8] H. Huang and J. Copeland, "Hamiltonian Cycle Protection: A Novel Approach to Mesh WDM Optical Network Protec-

- tion," Workshop on High Performances Switching and Routing, pp.31-35, 2001.
- [9] H. Huang and J. A. Copeland, "Multi-Domain Mesh Optical Network Protection Using Hamiltonian Cycles," Workshop on High Performances Switching and Routing, pp.83-87, 2002.
- [10] H. Hwang, S. Ahn, Y. Yoo and C. S. Kim, "Multiple Shared Backup Cycles for Survivable Optical Networks," Proc. of ICCCN, pp.284-289, 2001.
- [11] P.-H. Ho and H. T. Mouftah, "A Framework of a Survivable Optical Internet Using Short Leap Shared Protection(SLSP)," Proc. of IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, pp.21-25, 2001.
- [12] P.-H. Ho and H. T. Mouftah, "A Framework for Service-Guaranteed Shared Protection in WDM Mesh Networks," IEEE Communication Magazine, Vol.40, pp.97-103, Feb., 2002.
- [13] P.-H. Ho and H. T. Mouftah, "SLSP : a new path protection scheme for the optical Internet," Optical Fiber Communications, Mar., 2001.
- [14] W. D. Grover, "Design of Meta-Mesh of Chain Subnetworks : Enhancing the Attractiveness of Mesh-Restorable WDM Networking on Low Connectivity Graphs," IEEE JSAC, Vol.20, No.1, pp.47-61, Jan., 2002.
- [15] W. D. Grover and J. Doucette, "Increasing the Efficiency of Span-restorable Mesh Networks on Low-connectivity Graphs," Proc. of International Workshop on DRCN, pp.1-9, Oct., 2001.



손민한

e-mail : 95minari@hanmail.net
 2002년 강남대학교 산업전산전자공학부 (학사)
 2004년 성균관대학교 정보통신공학부 (공학석사)
 관심분야 : 광 네트워크, 보호/복구 알고리즘, Routing Protocol 등



이태진

e-mail : tjlee@ece.skku.ac.kr
 1989년 연세대학교 전자공학과(학사)
 1991년 연세대학교 전자공학과(석사)
 1995년 University of Michigan, Ann Arbor, EECS(석사)
 1999년 University of Texas at Austin, ECE(박사)
 1999년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원
 2001년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수
 관심분야 : 무선 개인/근거리 네트워크 및 통신시스템, 무선 인터넷, Ad-hoc 네트워크 등



정민영

e-mail : mychung@ece.skku.ac.kr
 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (학사)
 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
 1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (박사)
 1999년~2002년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2002년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수
 관심분야 : 인터넷, 이동통신, Ad-hoc 네트워킹 기술 등



추현승

e-mail : choo@ece.skku.ac.kr
 1988년 성균관대학교 수학과(학사)
 1990년 University of Texas at Dallas, 컴퓨터공학(석사)
 1996년 University of Texas at Arlington, 컴퓨터공학(박사)
 1997년 특허청 심사관(사무관)
 1998년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
 관심분야 : 광네트워크, 이동컴퓨팅, 라우팅 프로토콜, 그리드 컴퓨팅 등