

WDM Mesh 네트워크에서 SLA 복구시간을 만족시키는 보호기법

홍기원*, 임태형*, 경연웅**, 박진우°

Protection Scheme Guaranteeing the Recovery Time Defined in Service Level Agreement in WDM Mesh Networks

Kiwon Hong*, Taihyong Yim*,
Yeonwoong Kyung**, Jinwoo Park°

요약

WDM 광 전달망에서 기존의 보호방식은 SLA에 명시된 복구 시간에 대한 고려 없이 모든 연결 요청에 대해 한 쌍의 경로를 설정함으로써, 네트워크 자원의 이용 효율이 감소하고 SLA 위반율이 높아진다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 예상 보호시간과 SLA에 명시된 복구시간을 비교하여 연결요청을 분류하고, 각 연결 요청 분류에 따른 최적의 망 보호방식 및 백업경로를 설정하는 보호기법을 제안한다. 제안 기법을 실험 망에 적용하여 기존 보호기법보다 높은 자원 효율성 및 낮은 SLA 위반율을 보임을 입증한다.

Key Words : Survivability, Protection, Service Level Agreement (SLA), Protection time, WDM mesh network

ABSTRACT

In this paper, we proposed a new protection

scheme of the WDM mesh networks that can utilize the network resources efficiently while satisfying with the recovery time defined in the SLA (service level agreement). The protection scheme and the backup path are selected based on the comparison of the expected protection time with the SLA recovery time. The superior performance of the proposed protection scheme was demonstrated by comparing with ones of the existing protection schemes.

1. 서론

WDM (Wavelength-Division Multiplexing) 광 전달망은 고속 데이터 전송을 목적으로 하기 때문에, 광 섬유, 광 증폭기, OXC (Optical Cross Connect) 등의 망 요소에서 짧은 시간동안 성능장애가 발생하더라도 막대한 정보손실을 초래한다. 따라서 빠른 시간 안에 장애로부터 복구할 수 있는 망 보호 기능은 필수적이다¹⁻⁵. 망 보호방식은 크게 복구 (restoration) 기법과 보호 (protection) 기법으로 분류한다. 장애 발생 이후에 백업 경로를 동적으로 설정하는 복구 기법은 보호 기법에 비해 자원 효율성이 높지만, 긴 복구시간을 가진다. 반면에 운용 경로와 링크가 서로 겹치지 않도록 백업 경로를 사전에 설정하는 보호 기법은 복구시간이 짧다. 보호 기법은 백업 자원의 공유 유무에 따라 전용 경로 (dedicated path) 보호 방식과 공유 경로 (shared path) 보호 방식으로 분류한다. 운용 경로 보호를 위해 백업 자원을 전용으로 할당하는 전용 경로 보호 방식은 백업 자원을 공유하는 공유 경로 보호 방식에 비해 자원 이용 효율성이 낮지만, 복구시간이 짧다는 장점을 가진다.

기존의 보호 기법은 모든 연결 요청에 대해 한 쌍의 경로를 설정하며, SLA에 명시된 복구 시간에 대한 고려가 없다⁶. 즉, 장애 발생 이후 복구를 진행하더라도 SLA 복구시간을 만족시킬 수 있어서 백업 경로의 사전 설정이 필요 없는 연결과 매우 짧은 복구 시간을 요구하는 연결 등에 대한 구분 없이 모든 연결에 대해 동일한 보호 방식 및 백업 경로를 적용하기 때문에, 비효율적인 네트워크 자원 사용 및 높은 SLA 위반율을 보이게 된다. 따라서 본 논문에서는 SLA에 명시된

※ 본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음

♦ First Author : 고려대학교 전기전자전파공학과 통신네트워크연구실, shalaman@korea.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : 고려대학교 전기전자전파공학과 통신네트워크연구실, jwpark@korea.ac.kr, 중신회원

* 고려대학교 전기전자전파공학과 통신네트워크연구실, autonome@korea.ac.kr, 정회원

** 고려대학교 전기전자전파공학과 통신네트워크연구실, ywkyung@korea.ac.kr

논문번호 : KICS2013-12-522, 접수일자 : 2013년 12월 2일, 심사일자 : 2013년 12월 16일, 최종논문접수일자 : 2014년 1월 8일

복구 시간을 만족하면서 동시에 자원을 효율적으로 사용하는 방법으로, 사전에 계산한 예상 보호시간을 바탕으로 연결 요청을 분류하고 각 연결 요청 분류에 최적인 망 보호 방식 및 백업 경로를 선택하는 보호 기법을 제안한다.

II. SLA에 명시된 복구 시간을 만족하는 보호 기법

2.1 네트워크 모델

제안하는 기법은 다음과 같은 WDM 광 전달망 모델을 가정한다. 물리적 네트워크 토폴로지는 $G=(N, L, W)$ 로 주어지며, 여기서 N 은 노드의 집합, L 은 링크의 집합이다. W 는 이용 가능한 파장의 수로 모든 링크에서 동일하다 가정한다. 모든 노드는 파장 변환 기능을 가지며, 모든 노드 쌍 $s-d$ 에 대해 링크가 서로 겹치지 않는 K 개의 경로를 포함한 경로 집합 $P_{s,d}$ 를 사전에 계산한다. $P_{s,d}$ 에 속하는 경로 중 홑 수가 가장 짧은 경로와 가장 긴 경로를 각각 $sp_{s,d}$, $lp_{s,d}$ 라 하며, 각각의 홑 수를 $h_{s,d}^{sp}$, $h_{s,d}^{lp}$ 라 정의한다. 연결 요청 집합 $T = \{t = \langle s_i, d_i, RT^t \rangle\}$ 은 근원지 노드가 s_i , 목적지 노드가 d_i , SLA에 명시된 복구 시간이 RT^t 인 연결 t 들의 집합으로 구성되어 있다. WDM 광 전달망에서 가장 지배적인 장애 유형인 단일 링크 장애만을 가정하며, F, D, P, C 는 각각 장애 링크 인접 노드에서의 장애 검출 시간, 노드에서의 메시지 처리 시간, 링크에서의 전파 지연 시간, OXC 재설정 시간으로 모든 노드 및 링크에서 동일하다 가정한다.

2.2 예상 보호시간의 계산

운용 경로 상의 중간 링크에서 가장 장애가 발생하 는 경우를 가정했을 때, 해당 가장 장애 발생 시점부터 백업 경로 상으로 정상적으로 트래픽이 전달되기 까지의 시간을 예상 보호시간이라 정의한다³⁾.

목적지 노드가 d_i 이고 RT^t 의 복구 시간을 요구하 는 연결 요청이 근원지 노드 s_i 에 입력되었을 때, s_i 는 경로 집합 $P_{s,d}$ 의 이용 가능한 경로 중 가장 짧은 홑 수 h_{s_i,d_i}^i 를 가지는 경로 p_{s_i,d_i}^i 를 운용 경로로 설정 한다. 공유 경로 보호에 의해 경로 sp_{s_i,d_i} , lp_{s_i,d_i} 를 각각 백업 경로로 설정하였을 때의 예상 보호시간인 $PT_{SPP}^{t,sp}$, $PT_{SPP}^{t,lp}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$PT_{SPP}^{t,sp} = PT_{wp}^t + PT_{sp}^t \quad (1)$$

$$PT_{SPP}^{t,lp} = PT_{wp}^t + PT_{lp}^t \quad (2)$$

여기서 PT_{wp}^t 는 보호 과정시 운용 경로 상에서 소 요되는 보호시간, PT_{sp}^t 와 PT_{lp}^t 는 보호과정 시 각각 경로 sp_{s_i,d_i} , lp_{s_i,d_i} 상에서 소요되는 시간이며, 다음과 같다.

$$PT_{wp}^t = F + \left\lceil \frac{h_{s_i,d_i}^i}{2} \right\rceil \times P + \left(\left\lceil \frac{h_{s_i,d_i}^i}{2} \right\rceil + 1 \right) \times D \quad (3)$$

$$PT_{sp}^t = 2 \times h_{s_i,d_i}^{sp} \times P + 2 \times (h_{s_i,d_i}^{sp} + 1) \times D + h_{s_i,d_i}^{sp} \times C \quad (4)$$

$$PT_{lp}^t = 2 \times h_{s_i,d_i}^{lp} \times P + 2 \times (h_{s_i,d_i}^{lp} + 1) \times D + h_{s_i,d_i}^{lp} \times C \quad (5)$$

2.3 연결 요청 분류

SLA에 명시된 연결 요청 t 의 복구 시간인 RT^t 와 계산한 예상 보호시간과의 비교를 통해 연결 요청을 다음의 3개 연결 요청 분류로 나누고, 각각의 분류에 따라 정해진 보호방식 및 백업 경로를 설정한다.

1) T_1 : RT^t 이내로 복구하기 위해서 전용 경로 보호를 통한 백업 경로의 설정이 필요한 연결 요청들로 써, 조건 (6)을 만족하는 연결 요청을 T_1 으로 분류한다. T_1 에 속하는 연결 요청은 운용 경로를 제외한 P_{s_i,d_i} 의 이용 가능한 경로 중 홑 수가 가장 짧은 경로를 전용 경로 보호를 통한 백업 경로로 설정한다.

$$RT^t \leq PT_{SPP}^{t,sp} \quad \forall t \in T_1 \quad (6)$$

2) T_2 : 공유 경로 보호를 통해서도 RT^t 이내에 복구가 이루어지는 연결 요청이다. 조건 (7)을 만족하면 서, 운용 경로를 제외한 P_{s_i,d_i} 의 이용 가능한 경로 중 조건 (8)을 만족하는 홑 수 $h_{s_i,d_i}^{i'}$ 의 경로 $p_{s_i,d_i}^{i'}$ 가 존재 하는 연결 요청을 T_2 로 분류한다. 조건 (7)을 만족하 지만 조건 (8)을 만족하는 경로가 존재하지 않는다면, 해당 연결은 T_1 으로 분류한다.

$$PT_{SPP}^{t,sp} \leq RT^t \leq PT_{SPP}^{t,lp} \quad \forall t \in T_2 \quad (7)$$

$$PT_{SPP}^{t,i'} \leq RT^t \quad \forall t \in T_2, i' \neq i \quad (8)$$

T_2 에 속하는 연결 요청은 조건 (8)을 만족하면서 새롭게 예약해야 하는 백업 자원의 수가 최소인 경로를 공유 경로 보호를 통해 백업 경로로 설정한다.

3) T_3 : 장애 발생 이후 복구를 진행하더라도 RT^t 를 만족할 수 있는 연결 요청으로써, 조건 (9)를 만족하는 연결 요청을 T_3 로 분류한다. T_3 에 속하는 연결 요청은 운용 경로만을 설정한 채, 연결 설정 과정을 종료한다.

$$RT^t \geq PT_{SPP}^{t,lp} \quad \forall t \in T_3 \quad (9)$$

III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 기법과 기존의 전용 및 공유 경로 보호에서의 네트워크 자원 사용률 및 복구 시간 만족률을 비교하기 위해 Pan-European test network COST239^[7]에 각각의 기법을 적용하였다. 네트워크 자원 사용률은 전체 연결 요청이 사용하는 네트워크 자원을 전체 네트워크 자원으로 나눈 값으로 정의하며, 복구시간 만족률은 임의의 단일 링크 장애 발생 시, SLA에 명시된 복구 시간을 만족하는 연결의 수를 전체 연결 요청의 수로 나눈 값으로 정의한다. 각 연결 요청은 동일한 확률로 25 ms, 50 ms, 100 ms 사이의 복구시간을 요구한다. K 는 4, W 는 16, F 는 10 ms, P 는 0.5 ms, D 는 1 ms, C 는 5 ms로 가정한다.

그림 1을 통해 전용 경로 보호는 100%의 복구 시간 만족률을 보이지만, 100개의 연결 요청을 수용하기 위해 99%의 자원을 사용함을 알 수 있다. 공유 경로 보호는 약 87%의 자원만을 사용하여 100개의 연결 요청을 수용하지만, 22%의 연결 요청이 SLA를 만족하지 못하는 결과를 보인다. 반면 제안하는 기법은 연결 요청이 요구하는 복구 시간을 만족하면서 네트워크 자원을 최소로 사용하는 백업 경로를 설정하거나, 운용 경로만을 설정해 주는 방식을 통해 100%의 복구 시간 만족률을 보이면서 100개의 연결 요청을 수용하기 위해 약 76%만의 자원만을 사용하는 결과를 보인다.

IV. 결론

본 논문은 SLA에 명시된 복구 시간을 만족하면서 자원을 효율적으로 사용하기 위해, 사전에 계산한 예상 보호시간을 통해 연결 요청을 분류하고, 각 연결 요청 분류에 최적의 망 보호방식 및 백업 경로를 설정하는 보호기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 100%의 복구시간 만족률을 보이면서 공유 경로 보호에 비해 자원 사용률을 최대 11%까지 감소시킴을 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

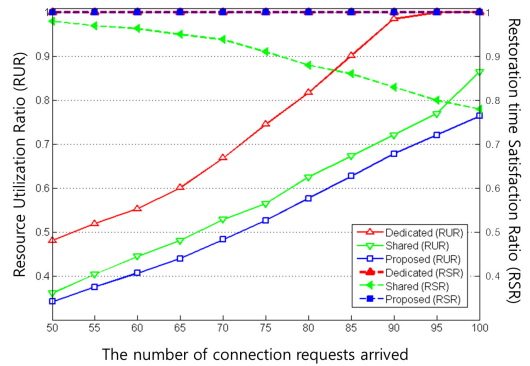


그림 1. 연결 요청 수에 따른 자원 사용률 및 복구시간 만족률

Fig. 1. Resource utilization ratio (RUR) and restoration time satisfaction ratio (RSR) versus the number of connection requests arrived

References

- [1] P. H. Ho and H. T. Mouftah, "A framework for service-guaranteed shared protection in WDM mesh networks," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 40, issue 2, pp. 97-103, Feb. 2002.
- [2] G. Maier, A. Pattavina, S. De Patre, and M. Martinelli, "Optical network survivability: protection techniques in the WDM layer," *Photonic Network Commun.*, vol. 4, issue 3-4, pp. 251-269, Jul. 2002.
- [3] S. Ramamurthy, L. Sahasrabudde, and B. Mukherjee, "Survivable WDM mesh networks," *J. Lightwave Tech.*, vol. 21, issue 4, pp. 870-883, Apr. 2003.
- [4] C. Ou, J. Zhang, H. Zang, L. H. Sahasrabudde, and B. Mukherjee, "New and improved approaches for shared-path protection in WDM mesh networks," *J. Lightwave Tech.*, vol. 22, issue 5, pp. 1123-1232, May 2004.
- [5] K. Hong, T. Yim, T. M. Nguyen, and J. Park, "OBPMBL algorithm for fast network protection in WDM network," in *Proc. KICS Int'l Conf. Commun. 2012(KICS ICC 2012)*, pp. 584-585, Pyeongchang, Korea, Feb. 2012.
- [6] W. Fawaz, et al., "Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, issue 1, pp. 36-43, Jan. 2004.
- [7] P. Batchelor, et al., "Study on the implementation of optical transparent networks in the European environment-Results of the research project COST 239," *Photonic Network Commun.*, vol. 2, no. 1, pp. 15-32, Mar. 2000.