DBpia

논문 99-24-10B-4 한국통신학회논문지 '99-10 Vol.24 No.10B

완전 광전달망에서 BLSR/4 WDM/SHR의 설계 및 성능 분석

정회원 강 안 구*, 최 한 규*, 김 지 홍**, 김 광 현***, 김 호 건****, 조 규 섭***

Design and Performance Analysis of BLSR/4 WDM/SHR in All-Optical Transport Network

An-Goo Kang* Han-Kyoo Choi* Ji-Hong Kim** Kwang-Hyun Kim*** Ho-Gun Kim***
Kyu-Seob Cho*** *Regular Members*

요 약

논문에서는 WDM 기술을 사용하는 완전 광전달망에서 장애를 복구할 수 있는 양 방향 BLSR/4 WDM/SHR 구조의 네트워크를 설계하였다. 제안한 네트워크는 전기적 기능이 없는 완전 광소자를 사용하여 높은 수준의 투명성을 제공하고, BLSR/4 SHR 구조를 사용함으로써 장애 복구를 효율적으로 수행할 수 있다. 또한, 제안한 BLSR/4 WDM/SHR의 여러 장애에 대한 생존성을 분석하기 위한 모델을 제시하였으며, 전파 시간, 처리 시간, 절체 시간의 파라미터를 사용하여 복구 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

This paper proposed a network to implement all optical bidirectional BLSR/4 WDM/SHR allowing restoration in the event of a failure. The proposed network can provide a high degree of transparency using all-optical components with no electric implementation and an effective failure restoration due to BLSR/4 SHR architecture. This paper also presented a generic simulation model for the survivability analysis of the proposed BLSR/4 WDM/SHR under failure scenarios, the restoration performance of the proposed network is analyzed in terms of performance parameters such as propagation time, processing time, optical switch time.

Ⅰ. 서 론

광통신 기술은 단기간의 짧은 역사에도 불구하고 급속한 발전과 기술혁신으로 현재 가장 경제적이고 효율적인 초고속 정보통신망의 중요한 통신 수단이 되었다. 기존 전송 매체를 광섬유로 대체함에 따라 광 전송 기술을 활용하여 전체 통신망 시스템을 더욱 효율적으로 구축할 수 있게 되었고, 이를 바탕으로 광통신은 다양한 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 최첨단 기술로 자리 매김하고 있다. 또한, 전송로를 광섬유로 대체한다는 개념에서 더 나아가 광통신 기술을 충분히 활용하여 경제적이면서 대용량 정보를 처리할 수 있는 완전 광전달망이 출현하게 되었다. ITU-T는 WDM(Wavelength Division Multiplexing)을 이용하는 완전 광전달망을 기존 통신망에 도입하기 위하여 광 경로(optical path) 계층

* 주성대학
** LG 정보통신
*** 성균관대학교 전자공학과
**** 한국전자통신연구원 선임연구원
논문번호 : 99129-0402, 접수일자 : 1999년 4월 2일

www.dbpia.co.kr

으로 불리는 새로운 계층을 정의하였다[1]. 광 경로 계층은 SONET/ SDH(Synchronous Optical NETwork/ Synchronous Digital Hierarchy)의 계층과 비슷한 구조인 광 채널(OCH : Optical CHannel)계층, 광 다중화 구간(OMS : Optical Multiplexing Section)계층, 광 전송 구간(OTS : Optical Transmission Section) 계층으로 구성된다. 최상위 계층인 OCH는 광경로의 단대단 라우팅 기능을 수행하고, 완전 광전달망의 다중화 구간 또는 WDM노드 사이를 나타내는 OMS는 광 경로에 점대점 링크를 제공하며, OTS는 광 증폭기 구간을 나타낸다[1,2,4,7,9,10,14,15,16].

완전 광 전달망에서 장애는 서비스를 운용중인 많은 사용자에게 치명적인 영향을 줄 수 있으므로 장애를 스스로 복구할 수 있는 네트워크의 생존성이 필수적으로 요구된다. 본 논문은 이와 같은 완전 광 전달망에 적용할 수 있는 복구 구조를 설계, 제시하였다.

완전 광전달망의 복구 구조는 SONET/SDH 네트워크와 같이 DP(Diverse Protection), SHR(Self Healing Ring), 동적 복구의 구조로 구성할 수 있다. DP는 다른 경로상에 예비 광 케이블을 설치하여 장애를 자동적으로 복구하는 점대점 토폴로지 구조의 APS(Automatic Protection System)/DP 방식으로, 운용 링크와 복구될 수 있는 예비 링크의 수에 따라 1:N, N:M, 1:1의 구조를 갖는다. 소규모의 링 토폴로지에서 사용되는 SHR은 1:1 APS/DP 구조로 장애에 대하여 100%의 자동 복구 능력을 가지며, 일반적으로 노드는 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer)을 사용하여 광 신호를 삽입, 추출, 통과시킨다. 동적 복구는 큰 규모의 메쉬(mesh) 토폴로지에서 사용되는 구조로 OXC(Optical Cross-Connect)를 사용하며, 운용 용량보다 적은 예비 용량을 공유하여 장애를 복구한다. 이 방식은 네트워크의 상태 정보를 OXC의 데이터베이스에 저장하고, 제어장치가 OXC와 통신을 하므로 복구 시간이 많이 소요되고 노드의 구조는 복잡하게 된다. 일반적으로 네트워크 복구 시간은 물리 계층에서 50ms, 논리 계층에서는 수초 ~ 수분이 소요된다. 그러므로 높은 우선순위의 복구 요구는 DP 또는 SHR과 같은 물리 계층의 구조를 사용하고, 낮은 우선순위의 요구는 OXC와 같은 논리 계층의 구조를 일반적으로 사용한다[3,5,6,8,11,12,13,16].

본 논문에서는 소규모 지역에서 서비스의 투명성과 연속성을 실시간으로 제공하고, 간단하면서 경제적으로 구성할 수 있는 SHR 링 구조를 연구 대상으로 선정하였다. 이에 따라 본 연구에서 구성할 SHR은 WDM을 이용하는 WDM/SHR 구조가 된다. SONET/SDH네트워크에서 사용하는 ADM/SHR과 비교하면, WDM/SHR은 전기적 신호를 사용하지 않으므로 관리와 확장이 쉽고 초고속 전송이 가능하다. 즉, WDM/SHR구조는 OADM과 WDM을 통하여 광 케이블 뿐만 아니라 다중화 장비를 공유하므로 광 케이블, 광 다중화 장비, 재생 증폭기 등을 줄일 수 있고, 적은 비용으로 광 케이블 절단과 노드 장애에 대한 완전한 생존력을 제공할 수 있다.

완전 광전달망에서 경로 복구는 OCH 계층에서, 선로 복구와 스팬(span) 복구는 OMS 계층에서 수행될 수 있다. 또한, WDM/SHR을 트래픽의 라우팅과 복구 방식에 따라 단방향에서는 경로 복구의 USHR/P(Unidirectional Self Healing Ring/Path)와 선로 복구의 USHR/L(Line), 양 방향의 선로 복구에서는 4개 광 케이블의 BLSR(Bidirectional Line Switched Ring)/4와 2개 광 케이블의 BLSR/2로 구성할 수 있다. BLSR은 링의 가용 대역폭에 영향을 주지 않으면서 점대점 요구 용량을 갖는 새로운 트래픽을 쉽게 삽입하고 확장하기가 용이하며, USHR은 장애를 간단히 복구하나 BLSR은 장애를 처리하는 프로토콜이 복잡하다. 하지만 BLSR은 네트워크 상태를 모든 노드가 파악할 수 있으므로 네트워크의 융통성을 높일 수 있다. 또한, 비대칭적인 트래픽을 처리할 수 있는 BLSR은 초고속 광전달망에 가장 잘 어울리는 구조로 최소의 변화를 통하여 현재의 시스템과 함께 동작할 수 있다. WSI(Wavelength Slot Interchange)절체 방식의 BLSR/2는 복구 방식이 복잡하고, 가용 대역폭이 적으므로 BLSR/4보다 많은 파장 수가 요구된다. 일반적으로 BLSR/4가 노드 비용이 많이 요구되는 구조이지만, 메쉬 형태의 트래픽 구조에서는 가장 적은 비용이 요구된다[13]. 결론적으로 표 1과 같이 수용 용량, 시스템 복잡성, 복구 속도 등의 특성을 전체적으로 분석하면, 소규모의 SHR 링 구조에서는 BLSR/4가 다른 구조에 비해 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다[8,13,14,16].

이러한 배경하에 본 논문은 초기 완전 광전달망의 SHR 구조에서 많이 사용될 BLSR/4 WDM/SHR을 설계하고, 주요 장애에 대한 복구 방안을 제시하는 한편, 제안한 네트워크의 복구 성능을 분석하였다.

www.dbpia.co.kr

표 1. WDM/SHR 구조의 종류별 특성 비교

SHR 구조	노드 형태	수용 용량	노드 비용	프로토콜 교환	시스템 복잡성	OADM 예비	복구 속도
BLSR/4	OADM	많음	많음	필요	중간	가능	느림
BLSR/2	OADM/ WSI	많음/ 적음	중간	필요	복잡	불가능	느림
USHR/P	OAMD	적음	적음	필요	중간	불가능	느림
USHR/L	OAMD	적음	적음	불필요	간단	불가능	빠름

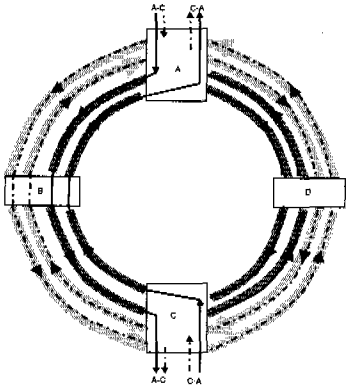
Ⅱ. BLSR/4 WDM/SHR 설계

1. 네트워크 모델

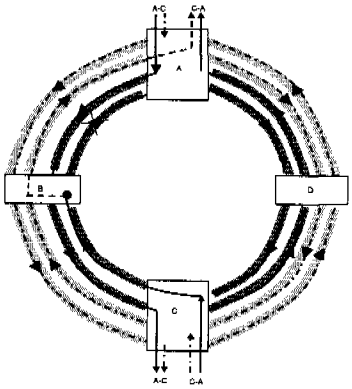
현재 완전 광전달망의 SHR 구조에 대한 표준화가 되어 있지 않으므로 SONET/SDH의 ADM/SHR 권고안(ITU-T G.841)[3]을 참조하여 BLSR/4 WDM/SHR을 설계하였다. 또한, 제안하는 WDM/SHR 설계는 OMS 계층의 링 구조로 한정하여 설계하였다[3,13,14]. 그림 1(a)는 정상 상태의 동작으로 2개의 운용 광케이블을 통하여 양 방향으로 데이터를 전달한다. 하나의 광 케이블이 절단된 경우는 그림 1(b)와 같이 스팬 절체로 네트워크를 복구하고, 노드 또는 링크의 모든 광 케이블에 장애가 발생한 경우는 그림 1(c)와 같이 루프백 절체로 네트워크를 복구한다. 본 연구에서 제안한 BLSR/4 WDM/SHR의 동작을 구체적으로 설계하면 다음과 같다.

○ 정상 동작
- 2개의 운용 광케이블을 사용하여 양 방향으로 트래픽을 전달
- 각 노드의 트래픽을 WDM으로 다중화하여 전달
- 노드의 복구 상태는 휴지(idle) 상태로 동작
- ADM/SHR의 권고안을 참조하여 노드 수를 최대 16개로 설정
- SONET/SDH의 상위 계층으로부터 수신되는 광 신호는 10Gbps 파장이며, WDM/SHR에서는 16개의 파장을 다중화하여 160Gbps 속도로 전달

○ 복구 동작
- 장애가 발생한 경우의 절체 시간은 상위 계층인 SONET/SDH 네트워크의 절체 허용 시간 50ms보다 적은 30ms로 설정
- 복구를 위한 프로토콜은 OMS 오버헤드의 K1, K2바이트를 이용하는 APS 프로토콜을 사용하고, 구체적인 프로토콜 동작은 Ⅲ.1의 장애별 복구 동작에서 제시
- 광케이블 하나에서 장애가 발생한 경우는 그림1(b)와 같이 스팬 예비 절체로 복구
- 인접 노드 사이의 모든 광케이블이 절단된 경우는 그림 1(c)와 같이 루프백 절체로 복구
- 노드 자체에서 장애가 발생한 경우는 루프백 절체로 복구
- 노드는 통과(pass -through) 또는 절체(switch) 상태로 변경하며 복구

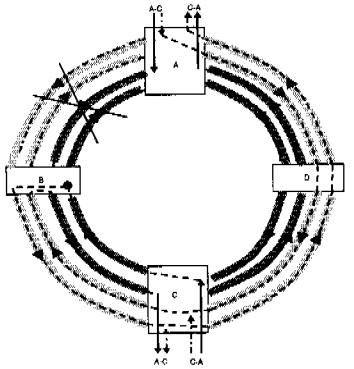


(a)정상 상태의 동작



(b) 스팬 복구의 동작

www.dbpia.co.kr



(c) 루프백 복구의 동작

그림 1. BLSR/4 WDM/SHR의 정상 동작과 복구 동작

o 처리 용량 능력

전체 용량을 C라 하고 노드 i의 트래픽 용량을 Ti로 할 경우, 각 운용 광케이블의 전체 트래픽 용량은 식 (1), (2)와 같다.

$$- \sum_{i=1}^{N} T_i \le C \quad \text{(시계 방향)} \qquad (1)$$

$$- \sum_{i=1}^{N} T_i \le C \quad \text{(반시계 방향)} \qquad (2)$$

2. 노드 모델

노드의 구성과 기능에 따라 네트워크를 여러 형태로 설계할 수 있는데, 본 논문에서는 16 개의 파장을 다중화하고, 광 신호를 삽입 또는 추출하는 OADM의 노드를 가정하였다. 즉, 상위 계층의 SDU(Service Data Unit)는 4개의 광 케이블로 연결되는 OADM을 통하여 삽입 또는 추출된다. 모든 노드는 동일한 링에 연결되어 동작하므로, 자신의 상태를 인접 노드에게 알려줄 뿐만 아니라 인접 노드의 상태를 항상 파악하고 있어야 한다. 이를 위해 K1, K2바이트의 APS 프로토콜을 사용한다.

SHR 노드의 정상 동작은 운용 광 케이블을 통하여 이루어지며, 이때 노드의 보호 동작은 휴지 상태이나 장애가 발생할 경우에 네트워크는 자체 생존성을 갖기 위하여 복구 동작을 수행한다. 즉, 노드는 네트워크의 장애를 분석하고 복구 프로토콜을 사용하여 정상 상태와 같이 서비스가 연속성있게 제공되도록 네트워크를 보호한다. 본 연구에서 제안하는 SHR의 노드 상태는 SONET/SDH의 권고안을 참조하여 네트워크의 장애에 따라 휴지 상태, 절체 상태, 통과 상태로 구분하였으며, 각 상태(휴지 상태(I:Idle), 절체 상태(S:Switch),통과 상태(P: Path))에 따른 노드의 주요 동작을 간단히 서술하면 다음과 같다. 연구에서는 각 상태간의 천이 동작 즉, I-P, I-S, S-S, S-P, P-P에 대한 동작을 구체적으로 설계하였으며, 3절의 장애별 복구 동작에서는 일부 상태의 천이 동작을 제시하였다.

1) 휴지 상태

브릿지 요구 메시지 K(K1,K2)바이트가 생성, 응답 또는 통과하지 않을 때의 노드는 휴지 상태이다.

- K바이트를 송신하는 휴지 상태
  휴지 상태의 노드는 양 방향으로 휴지 메시지 K바이트를 송신
- K바이트를 수신하는 휴지 상태
  휴지 상태의 노드가 양 방향으로부터 휴지 메시지 K바이트를 수신

2) 절체 상태

브릿지를 요구하거나 브릿지를 요구 받을 때의 노드는 절체 상태이다.

- K바이트를 송신하는 절체 상태
  절체 상태의 노드는 양 방향으로 브릿지 요구 메시지 K바이트를 송신
- K바이트를 수신하는 절체 상태
  절체 상태의 노드는 양 방향으로 브릿지 요구 응답 메시지 K바이트를 수신
- 브릿지 요구의 해제
  브릿지 및 절체를 수행중인 노드에게 브릿지 요구 메시지 K바이트가 더 이상 수신되지 않는 경우
- 절체 상태 노드의 고립
  - 장애를 감지한 양쪽의 인접 노드로부터 동시에 링 브릿지 요구 메시지 K바이트 수신
  - 양쪽 인접 노드의 운용과 예비 광 케이블으로부터 장애를 감지
  - 동일 방향으로 입력과 출력의 두 광 케이블에서 장애가 발생

3) 통과 상태

한 방향에서 수신한 K바이트를 변경 없이 다른 방향으로 전달할 때의 노드는 통과 상태이며, 완전 통과 상태와 K바이트 통과 상태의 두 상태로 구분된다.

www.dbpia.co.kr

- K 바이트 발생과 수신하는 통과 상태
  한 방향에서 수신한 K바이트를 다른 방향으로 전달
- 통과 상태의 유지
  통과 상태의 노드가 자신에 대한 장거리 경로의 링 브릿지 요구 메시지 K바이트를 수신하고, 동시에 다른 노드에 대한 장거리 경로의 링 브릿지 요구 메시지 K바이트를 수신하면 통과 상태를 유지

3. 장애 및 복구 모델 설계

본 절에서는 주요 장애 형태를 설정하여 제안 BLSR/4 WDM/SHR 구조의 장애별 절체 및 복구 동작과 노드의 상태 변화를 제안하였다. 장애 복구 동작은 장애 발생시의 절체 동작(T1)과 정상 상태로 돌아가는 복구 동작(T2, T3)으로 구분하여 설계하였으나 T2, T3의 복구 동작은 모든 장애에서 유사하므로, 단일 방향의 광 케이블 하나가 절단된 스팬 장애에 대해서만 T2, T3 동작을 분석하고, 다른 장애의 경우는 T1 동작만 제시하였다.

1) 하나의 광 케이블 스팬 장애(Uni_span)

휴지 상태인 노드F가 시간 T1에서 노드E로부터 운용 광 케이블의 장애(SF: Signal Failure)를 감지하면, 노드F는 절체 상태가 되어 양 방향으로 브릿지 요구를 전송한다(I-S #1a:F). 이 신호를 수신한 장거리 경로(long path)의 중간 노드(시계 방향으로 노드G D)는 K바이트 통과 상태로 된다(I-P #1:A,B,C,D,G). 단거리 경로(short path)에서 노드F로부터 브릿지 요구를 수신한 노드E는 스팬 브릿지를 실행하고, 장거리 경로와 단거리 경로로 응답 메시지를 전송한다.(I-S #1a,b:E). 단거리 경로에서 노드E와F로부터 브릿지 응답을 수신한 노드F와E는 스팬 브릿지 및 절체의 K바이트 메시지를 양 방향으로 전송한다.(I-S#1b:F,E)

시간 T2에서 스팬의 SF 조건이 해제되면, 노드F는 복구 대기(WTR: Wait-to-Restore)상태 메시지를 양 방향으로 전송한다.(S-S#3a:F). 단거리 경로에서 노드F로부터 WTR 브릿지 요구를 수신한 노드E는 단거리 경로와 장거리 경로로 WTR을 전송한다.(S-S #3b:E).

WTR이 끝나는 시간 T3에서 노드F는 스팬 절체가 해제되고 NR(No Request) 메시지를 전송한다(I-S #2:F). 단거리 경로에서 노드F로부터 NR을 수신한 노드E는 브릿지 및 절체를 해제하고 휴지 상태 메시지를 전송한다(I-S #2:E). 단거리 경로에서 노드E로부터 휴지 상태 메시지를 수신한 노드F는 브릿지를 해제하고 휴지 상태 메시지를 전송한다(I-S #2:F). 통과 상태의 모든 노드들은 연속적으로 휴지 상태가 된다(I-P #2:A,B,C,D,G).

2) 단일 방향의 링 장애(Uni_ring)

링의 초기 상태는 휴지 상태이다. 노드F가 시간 T1에서 노드E로부터 하나의 운용 광 케이블과 예비 광 케이블에 대하여 링 장애(SF)를 감지하면, 노드F는 절체 상태가 되고 양 방향으로 브릿지 요구를 전송한다(I-S #1a:F). 이 신호를 수신한 장거리 경로의 중간 노드(시계 방향으로 노드G D)는 K바이트 통과 상태로 된다(I-P#1:A,B,C,D,G). 단거리 경로에서 노드F로부터 브릿지 요구를 수신한 노드E는 장거리 경로로 SF 링 브릿지를 요구하고, 단거리 경로로 응답 메시지를 전송한다(I-S#1a,c:E). 장거리 경로를 통하여 노드F로부터 브릿지 요구를 수신한 노드E는 링 브릿지 및 절체를 실행하며, K바이트를 변경하여 양 방향으로 전송한다(I-S #1b:E). 장거리 경로에서 노드E로부터 응답을 수신한 노드F는 링 브릿지 및 절체의 K바이트 메시지를 양 방향으로 전송한다(I-S #1b:F).

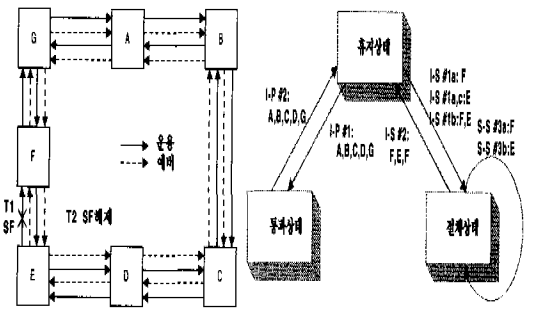


그림 2. BLSR/4 WDM/SHR의 운용 케이블에서 발생한 스팬 장애와 상태 천이도

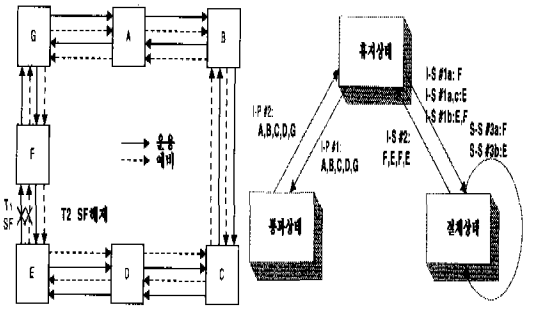


그림 3. BLSR/4 WDM/SHR의 단일 방향 링에서 발생한 장애와 상태 천이도

www.dbpia.co.kr

3) 양 방향의 링 장애(Bi_ring)

휴지 상태인 노드E와 F가 시간 T1에서 모든 링의 운용 광 케이블과 예비 광 케이블에서 링 장애(SF)를 감지하면, 노드E와 F는 절체 상태가 되고 양 방향으로 브릿지 요구를 전송한다 (I-S #1a:E,F). 이 신호를 수신한 장거리 경로의 중간 노드는 K바이트 통과 상태로 된다(I-P #1:A,B,C,D,G). 장거리 경로에서 노드F와E로부터 브릿지 요구를 수신한 노드E와F는 링 브릿지 및 절체의 K바이트 메시지를 양 방향으로 전송한다(I-S #1b:E,F).

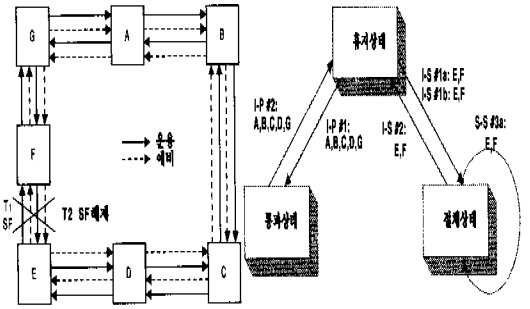


그림 4. BLSR/4 WDM/SHR의 양 방향 링에서 발생한 신호 장애와 상태 천이도

4) 노드 장애(Node_fail)

초기 휴지 상태인 노드E와 G가 시간 T1에서 모든 링의 운용 광 케이블과 예비 광 케이블에서 링 장애를 감지하면, 노드E와 G는 절체 상태가 되고 양 방향으로 브릿지 요구를 전송한다 (I-S #1a:E,G). 이 신호를 수신한 장거리 경로의 중간 노드는 K바이트 통과 상태로 된다(I-P #1:A,B,C,D). 장거리 경로에서 노드G와E로부터 브릿지 요구를 수신한 노드E와G는 링 브릿지 및 절체의 K바이트 메시지를 양 방향으로 전송한다(I-S #1b:E,G).

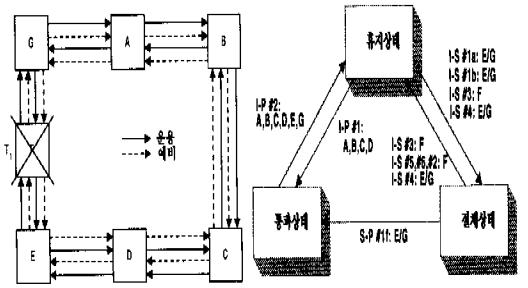


그림 5. BLSR/4 WDM/SHR의 노드에서 발생한 신호장애와 상태 천이도

Ⅲ. BLSR/4 WDM/SHR 네트워크의 구현

1. 환경 설정

본 연구에서 제안한 BLSR/4 WDM/SHR의 네트워크 모델과 노드 모델을 그림 6과 같이 MIL3사의 OPNET(Optimized Network Engineering Tools)에서 제공하는 라이브러리 함수를 사용하여 구현하였으며, II.3에서 설정한 네 종류의 장애 및 복구를 대상으로 성능 분석을 수행하였다.

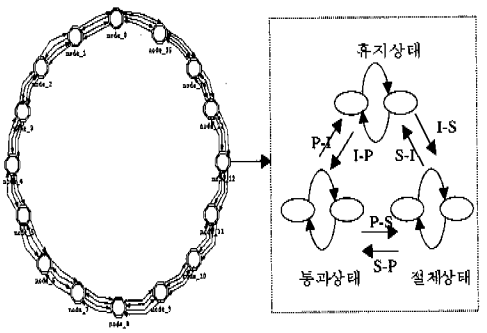


그림 6. 네트워크 모델

네트워크 모델은 그림 6과 같이 최대 16개의 노드를 갖도록 구현하였으며, 휴지 상태, 절체 상태, 통과 상태의 기능을 갖는 노드 모델은 그림 7과 같이 큐(queue)를 기준으로 4개의 광 케이블이 양 방향으로 연결되도록 구현하였다. 4개의 광 케이블 중 2개는 운용 경로로, 다른 2개는 예비 경로로 사용한다. 장애를 감지한 노드는 생성 프로세스(generator)에서 K바이트를 생성하여 단거리와 장거리의 인접 노드에게 양 방향으로 전송한다. 장애가 발생한 위치의 이전 노드는 싱크 프로세스(sink)에서 수신된 K바이트를 분석하여 장애를 감지하고 K바이트 응답 메시지를 생성한다. 그림 8의 큐 프로세스는 항상 휴지 상태(idle)로부터 도착상태(arrival), 서비스 상태(svc_sta)로 변화하는데, 서비스가 완료되어 송수신하는 데이터가 없는 경우는 휴지 상태를 유지한다. 초기 상태(init)의 큐에 사건(event)이 발생하지 않으면 휴지 상태로 이동하고, 사건이 발생하면 도착 상태 프로세스로 이동하여 서비스 상태에게 서비스를 요구하며, 서비스가 완료되면 즉, 데이터를 인접 노드로 전송하면, 서비스 완료 상태의 프로세스(svc_com)는 서비스 상태의 프로세스에게 데이터 전송이 완료되었음을 알려주고 휴지 상태로 돌

www.dbpia.co.kr

아 간다.

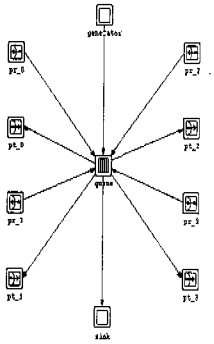


그림 7. 노드 모델

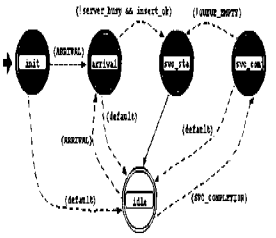


그림 8. 큐 프로세스 모델

가장 불리한 환경에서 복구 성능을 분석하기 위해 네트워크 모델을 다음과 같이 구성하였다. 하나의 광 케이블 스팬 장애는 그림 6의 node_15로부터 node_0 방향의 하나의 운용 광 케이블을 절단하고, 단일 방향의 링 장애는 node_15로부터 node_0 방향의 운용과 예비 광 케이블을 절단하고, 양 방향의 링 장애는 node_15와 node_0사이의 모든 광 케이블을 절단하고, 노드의 장애는 node_15의 장애 발생을 가정하여 node_0과 node_15, node_15와 node_14 사이의 모든 광 케이블을 절단하였다.

2. 성능 분석

BLSR/4 WDM/SHR의 복구 성능을 장애별로 분석하기 위하여 주요 파라미터를 표2와 같이 설정하였다.

제안하는 네트워크 모델의 노드 수는 4부터 16까지의 범위로 설정하였으며, 광 증폭기 없이 16개의 파장을 다중화하여 160Gbps로 전달하기 위한 노드 사이의 거리는 80km[17]보다 적은 75km로 가정하여 전체 링의 길이를 설정하였다. 광 신호의 전파 지연 시간은 1200km일 경우에 6ms가 소요[4]되므로 인접 노드 사이의 전파 지연 시간을 0.375ms로 설정하였다. 송신 노드와 수신 노드가 K바이트 메시지를 처리하는데 소요되는 시간은 하나의프레임 생성 시간과 동일하게 가정하였다[13]. 장애를 감지하는 시간은 ITU-T에서 2.3us 10us내로 권고하므로 장애 감지 시간을 2.3us로 설정하였으나[4], 본 연구의 성능 분석에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판정되었다. 일반적인 광 스위치의 절체 시간은0.15us 보다 적으나[13] 장애를 감지하고 예비 절체하는 광 스위치의 절체 시간은 1us 10us가 소요되므로 절체 시간을 10us로 설정하였다[4].

표 2. 성능 분석을 위한 주요 파라미터 값

파라미터	설정 값
전체 사용 노드 수	4 ~ 16
전체 링의 길이	1200km
K1, K2 바이트의 처리 시간(Tproc)	0.125ms
노드 사이의 전파 지연 시간(Tprop)	0.375ms
장애 감지 시간	2.3us
절체 시간(Tsw)	10us

II.3의 장애를 표2의 파라미터로 적용하여 전송 지연 시간과 절체 시간을 비교하면 그림 9와 같으며, 장애별로 산출한 절체 요구 시간을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

하나의 광 케이블 스팬 장애 경우에 장애를 감지한 노드 0은 그림 2와 같이 브릿지 요구 K바이트(I-S#1a)를 양 방향으로 전송한다. 이때 APS 프로토콜 방식을 사용하여 노드 0은 동일한 K바이트를 세 번 전송하고, 노드 15 는 수신된 K 바이트를 분석한다. 여기서 K바이트 하나의 전송 소요 시간은 (3Tframe + 2Tproc)[13]을 요구한다. 전체적으로 노드 15와 노드 0사이의 브릿지 요구(I-S#1a), 스팬 브릿지 요구(I-S#1a,b), 노드 0의 절체 응답(I-S#1b), 노드 15의 절체 응답(I-S#1b)을 위한 전체 K바이트 전송 소요 시간은 K바이트의 생성 및 처리시간 (3Tframe + 2Tproc) 4 와 노드 15와 노드 0사이의 스팬을 통한 K바이트의 전파 시간을 포함한다. 마지막으로 노드 15와 노드 0은 예비 광 케이블로 전송하기 위하여 절체 동작을 수행하므로 스팬 장애의 절체 시간은 식 (3)과 같다. 단일 방향의 링 장애는 그림 3과 같이 I-S#1a, I-S#1a,c, I-S#1b, I-S#1b의 K바이트가 네 번 생성되나, 노드 15의 I-S#1b가 노드15의 I-S#1a,c 전송 중에 수행되므로, 전체 절체 시간은 식 (4)와 같다.

양 방향의 링 장애 경우에 노드 15와 노드 0은 그림 4와 같이 I-S#1a, I-S#1b의 K바이트를 동시에 두번 생성하고, K바이트 전송은 장거리로 한번 요구되므로 절체 시간은 식 (5)와 같다.

노드 15에서 장애가 발생한 경우에 인접 노드 0과 노드 14는 그림 5와 같이 I-S#1a, I-S#1b의 K바이트를 동시에 두번 생성하고, K바이트 전송은 장거리로 한번 요구되므로 절체 시간은 식 (6)과 같다.

www.dbpia.co.kr

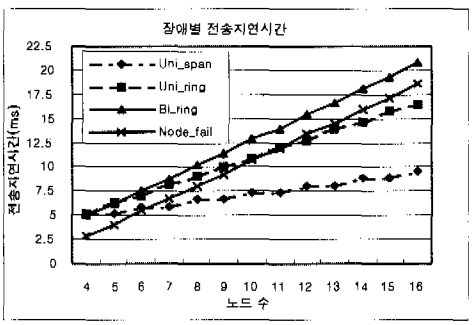
$$T=(T_{frame}+2*T_{proc})*4+3*T_{prop}+T_{sw} \quad (3)$$

$$T=(T_{frame}+2*T_{proc})*3+N*T_{prop}+T_{sw} \quad (4)$$

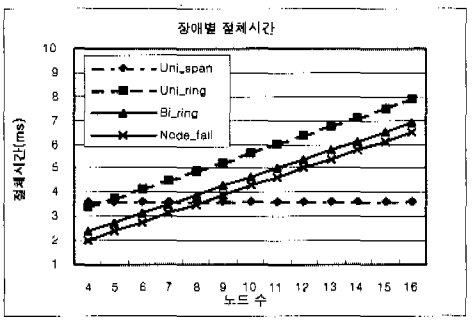
$$T=(T_{frame}+2*T_{proc})*2+(N-1)*T_{prop}+T_{sw} \quad (5)$$

$$T=(T_{frame}+2*T_{proc})+(N-2)*T_{prop}+T_{sw} \quad (6)$$

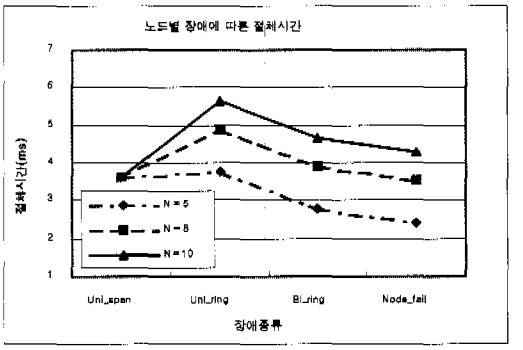
OPNET을 이용하여 구현한 네트워크 모델에 II.3의 장애를 발생시키고, 표2의 성능 파라미터를 적용하여 제안 네트워크의 복구 성능을 분석하였다. 장애가 발생한 시점부터 절체까지의 순수한 절체 시간을 분석하면, 그림9(b), 9(c)와 같이 노드 수가 증가하여도하나의광 케이블 스팬 장애는 네트워크에 큰 영향을 주지 않으나, 단일 방향의 링 장애에는 큰 영향이 미침을 알 수 있다. 또한, 장애에 따른 절체 시간은 완전 광전달망에서 요구되는 절체 시간 내에 절체됨을 알 수 있다. 절체한 후에 새로운 예비 경로를 통한 전송 지연 시간을 분석하면, 그림 9(a)와 같이 하나의 광 케이블 스팬 장애는 네트워크에 큰 영향을 주지 않으나, 양 방향의 링 장애는 네트워크에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. 장애별 절체 시간과 전송 지연 시간
(a) 장애별 노드에 따른 전송 지연시간.
(b) 장애별 노드에 따른 절체시간.
(c) 노드별 장애에 따른 절체 시간.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 기존 ADM/SHR의 권고안(ITU-T G.841)을 참조하여 완전 광전달망 BLSR/4 WDM/SHR을 설계하였다. 모든 가능한 장애 동작 중에서 주요 장애 경우를 설정하고 장애에 따른 제안 네트워크의 복구 성능을 분석하였으며, 모든 장애의 경우에 절체 허용 시간 30ms내에 복구가 완료될 수 있음을 증명하였다. 광 소자와 광 통신의 개발에 의하여 완전 광전달망의 SHR구조 중에서 제안한 BLSR/4 SHR 구조가 가장 경제적이며 효율적이지만, 네트워크의 구성 방식과 운용 방법에 따라 파장 수, LT(Line Terminal) 수, 트래픽 처리 능력 등의 여러 파라미터를 갖고 적절한 SHR 구조를 선택하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] *ITU-T Draft Rec. G.otn*, Architecture of Optical Transport Networks, 1997.

[2] Biswamath Mukherjee, *Optical Communication Networks*: McGrawHill, 1997.

[3] *ITU-T Rec. G.841*, Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures, 1995.

[4] R.Ramaswami and K.N.Sivarajan, *Optical Networks*: Morgan Kaufman Publishers, 1998.

[5] *ITU-T Rec. G.842*, Interworking of SDH Network Protection Architectures, 1997.

www.dbpia.co.kr

[6] *ITU-T Rec. G803,* Architectures of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH), 1993.

[7] H.Toba, K.Oda, K.Nakanishi, K.Nosu, and M.Fukuda, "*A 100-channel optical FDM transmission/distribution at 622 Mb/s over 50 km*", J.Lightwave Tech.,vol.8,No.9,pp.1396 1401,1990.

[8] Ching-Chir Shyur, Ying-Ming Eu, *A Capacity Comparing for SONET Self-Healing Ring Networks*", *IEEE GLOBECOM93*, pp.1574-1578, 1993.

[9] L. Wuttisittikulkij, M.J.OMahony, Design of an Efficient and Practical Algorithm for Wavelength Assignment in Multi-Wavelength Ring Transport Networks, *IEEE GLOBECOM97*, pp.571-575,1997.

[10] H.Obara, H.Masuda, K.Suzuki, K.Aida, Multifiber Wavelength-division multiplexed ring network architecture for Tera-bit/s throughput, *IEEE ICC98*, pp.921-925, 1998.

[11] T.H.Wu, D.J.Kolar, and R.H.Cardwell, High-speed self-healing ring architecture for future interoffice networks, *IEEE GLOBECOM89*, pp.801-807, 1989.

[12] A.F.Elrefaie, Multiwavelength Survivable Ring Network Architectures, *IEEE ICC93*, pp.1245- 1251, 1993.

[13] Tsong-Ho Wu, *Fiber Network Service Survivability:* Artech House, Boston, 1992.

[14] Tsong-Ho Wu, Noriaki Yoshikai, *ATM Transport And Network Integrity*:Academic Press, 1997.

[15] P.Gavignet, P.A.Perrier, S.Ruggeri, A.Noury, Towards photonic networking: experimental demonstration of a reconfigurable survivable WDM ring network, *IEEE INFOCOM96*, pp. 311-314, 1996.

[16] 김광현, 김지홍, 강안구, 조규섭, 박창수, 완전 광전달망에서 160Gbps WDM/SHR의 복구 알고리즘 설계, *한국통신학회 추계종합학술발표회*, pp.965-968, vol.18, 1998.

[17] 고제수, 김홍주, 박창수, 160Gb/s 광 다중전송 시스템 설계 및 구현, *한국통신학회 추계 종합학술발표회*, pp.957-960, vol.18, 1998.

강 안 구(An-Goo Kang) 정회원
한국통신학회 논문지, 제24권, 6B호, P.1058 참조
<주관심 분야>SI, 광 통신망, 네트워크

최 한 규(Han-Kyoo Choi) 정회원
한국통신학회 논문지, 제24권, 6B호, P.1058 참조
<주관심 분야> 전송시스템, 광 통신망

김 지 홍(Ji-Hong Kim) 정회원
1997년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업
1997년 3월 : 성균관대학교 전자공학과 석사
1999년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 석사 졸업
1999년 3월 ~ 현재 : LG 정보통신
<주관심 분야> ATM 네트워크, 광 통신망

김 광 현(Kwang-Hyun Kim) 정회원
1998년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업
1998년 3월~현재 : 성균관대학교 전자공학과 석사
<주관심 분야> 광통신망, 망관리, ATM 네트워크

김 호 건(Ho-Geon Kim) 정회원
1986년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 학사 졸업
1988년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 석사 졸업
1997년 8월 : 성균관대학교 전자공학과 박사 졸업
1988년 3월~현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원
<주관심 분야> 망관리, 광통신 시스템, TMN

조 규 섭(Kyu-Seob Cho) 정회원
한국통신학회 논문지, 제23권, 4호, PP.892 참조
<주관심 분야> 통신공학, 통신망, 광통신망

www.dbpia.co.kr