

양방향 Path Switched WDM Ring의 장점 및 이의 구현에 관한 연구

정회원 박 영 일*

The Advantages of 4-fiber Bidirectional Path Switched WDM Ring and Its Implementation

Youngil Park* *Regular Member*

요 약

WDM Ring의 경우 지금까지 UPSR/2나 BLSR/4 만 고려되어 왔었다. 그러나 본 논문에서는 WDM 장치의 상위 계층인 SDH의 보호측면 및 optical SNR의 측면에서 기존의 BLSR/4보다 장점이 많은 4-fiber bidirectional path switched ring을 제안하였다. 또한 이를 구현할 수 있는 2가지 방법에 대해 살펴보고, 감시제어채널을 사용하지 않고도 제안된 보호/절체 구조를 구현할 수 있는 distributed control scheme에 대해 제시하였다.

ABSTRACT

A bidirectional 4-fiber path switched WDM ring is proposed, which provides 1:1 system protection for a digital client layer such as SONET system. It can provide better optical SNR than usual bidirectional line switched ring. Two implementation schemes are proposed and especially, a distributed control scheme is found to be feasible in simple structure with good performance even without supervisory channel.

I. 서 론

급증하는 통신수요에 대처하기 위해 지난 수년간 설치되어 온 WDM 광전송장치는 주로 장거리 점대점의 연결을 위한 것에 국한되어 왔었다. 그러나 최근 들어서 늘어나고 있는 대도시 주변의 다양한 종류의 데이터 형태, 즉, 동기식 트래픽, IP, ATM 등을 함께 수용하기 위해 Metro 형의 WDM 장치에 대한 수요가 발생하고 있고, 특히 Metro형 WDM 환형장치에 관한 관심이 늘고 있다^[1]. 환형장치는 망의 보호 및 대역폭의 효과적인 활용 등의 장점으로 인해 기존의 동기식 장치에 많이 적용되어 왔다. 동기식 장치의 경우 노드의 개수가 적고 트래픽이 한 개의 노드에 집중되는 경우엔 주로 2-fiber

Unidirectional Path Switched Ring(UPSR/2)을 이용하며, 트래픽이 분산되거나 노드의 개수가 많아지는 경우엔 4-fiber Bidirectional Line Switched Ring(BLSR /4)을 적용하는 것이 유리하다^[2]. 이 2가지 망의 구조는 WDM 환형망의 경우에도 동일하게 적용되어 왔다^[3]. 그러나 동기식 장치의 경우와는 달리 WDM 장치의 경우엔 BLSR/4의 경우 사고시 line switching을 하면 optical SNR이 나빠지는 단점이 있다. 또한 디지털 장치의 고장시엔 이를 파악하여 보호장치의 절체를 해 주어야 하는데 이의 구조가 path switching에 비해 매우 복잡해진다. 따라서 본 논문에서는 위의 두 가지 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 4-fiber Bidirectional Path Switched WDM Ring (BPSR/4-WDM)을 제안하고 이의 구현방법을 설명하였다.

* 국민대학교 전자공학부 광통신연구실 (ypark@kmu.kookmin.ac.kr)
논문번호 : 00098-0317, 접수일자 : 2000년 3월 17일

※ 본 연구는 1999년도 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었음.

II. WDM Ring의 Optical SNR 비교

WDM Ring의 각 노드는 W-ADM 및 전송손실을 보상하기 위한 광증폭기로 구성되어 있다. 동기식 Ring에서는 광증폭기의 위치에 광증폭기가 있어서 신호의 특성이 나빠지지 않지만 WDM Ring의 경우 광증폭기를 지날 때마다 ASE 잡음이 누적되고^[4] 이로 말미암아 신호의 optical SNR은 점점 나빠지게 되며, 이러한 잡음은 전송 거리를 제한하는 주된 요소가 되고 있다. Bidirectional WDM Ring의 경우 정상 상황에서는 두 개의 노드간 짧은 거리로 통신이 이루어지기 때문에 Unidirectional Ring의 경우보다 좋은 optical SNR을 유지할 수 있다. 그러나 선로사고의 경우 사고지점 전후의 노드에서 선로의 loop-back이 발생하기 때문에 신호의 전송거리는 Unidirectional Ring보다 최대 50%까지 멀어질 수 있으며, 그만큼 optical SNR은 나빠지게 된다. 보호/절체의 종류에 따라서 두 개의 노드간 전송을 위해 지나게 되는 노드의 개수를 표 1에 나타내었다. 표에서 N은 총 노드 개수를 의미한다.

표 1. WDM ring에서 사고 복구를 위한 최대 hop수

Ring 종류	보호방식	최대 hop 개수	
		정상	사고
ULSR	line	N-1	2N-2
UPSR	path	N-1	N-1
BLSR	line	$\lfloor N/2 \rfloor$	$(N-1) + \lfloor N/2 \rfloor$
BPSR	path	$\lfloor N/2 \rfloor$	N-1

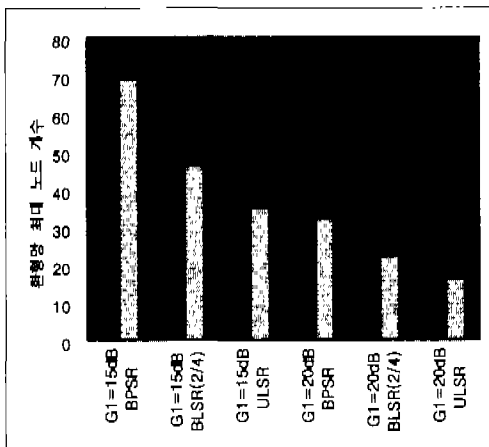


그림 1. 보호구조에 따른 환형망 최대 노드 개수

Left bar: 신호 세기 1 mW, Right bar: 신호 세기 2 mW, G1= 전단 광증폭기 이득 (=노드간 손실), nsp=1.5(전단), 1.4(후단)

그림 1은 노드간 전송손실 및 각 노드에 위치한 W-ADM에 의한 손실이 각각 G1 및 15 dB이며, 이를 보상하기 위해 각 노드에서 ADM 전 후단에 이득이 G1 및 15 dB, spontaneous-emission factor가 1.5 및 1.4 인 광증폭기를 두었다고 가정하였을 경우 발생하는 ASE 잡음을 고려할 때 전송 가능한 최대 노드의 개수를 계산한 결과이다^[5]. 이 계산에서는 SNR의 여유 분을 고려하여 optical SNR의 기준을 20 dB로 하였다. 위의 표와 그림에서 볼 수 있듯이 전송 가능한 노드 개수 면에서 BPSR이 BLSR 구조에 비해 장점이 있음을 알 수 있다

III. 4-fiber WDM Ring의 보호/절체 구조 비교

Gps급 이상의 전송에 있어서는 사고가 미치는 영향이 너무 크고 광범위하므로 동기식장치의 경우 1:1 (혹은 1+1) 보호/절체가 사용되고 있다. WDM 장치는 이러한 동기식 장치의 보호/절체 구조를 무명하게 수용할 수 있어야 한다. 그런데, BLSR/4-WDM 장치의 경우 선로의 사고에 대해서는 선로의 loop-back으로 쉽게 처리할 수 있으나, 장치사고의 경우엔 처리가 용이하지 않다. 이 경우 선로사고와 장치사고를 분리해서 각각 다르게 처리해야 하며, 장치사고의 경우 source 노드에 일리기 위해 감시제어 채널을 사용해야 한다. 한편, BPSR/4-WDM을 이용하는 경우 사고가 발생 시(어떤 종류의 사고이든) 서비스 채널과 예비 채널이 함께 전송되고 수신단에서는 두 신호 중 좋은 신호를 선택할 수 있도록 해주는 일종의 1+1 보호/절체 구조를 쉽게 구현할 수 있다. 따라서 보호/절체의 관점에 있어서는 BPSR/4-WDM이 BLSR/4-WDM에 비해 장점을 가지고 있다. 그러나 이 경우 UPSR/2-WDM과는 달리 예비 선로는 여러 트래픽이 공유해야 하므로 정상 상태에서 어떤 한 트래픽에 의해 독점될 수 없으며, 따라서 모든 채널이 동시에 1:1 보호/절체를 이용할 수는 없다.

IV. BPSR/4-WDM의 구현 방법

그림 2에서는 5개의 노드를 갖는 BPSR/4-WDM의 연결 형태를 보여주고 있다. 그림에서는 편의상 2개 노드의 상위 디지털 장치만을 보여주고 있다. 또한 그림 3에서는 그림 2의 5개 노드를 full mesh

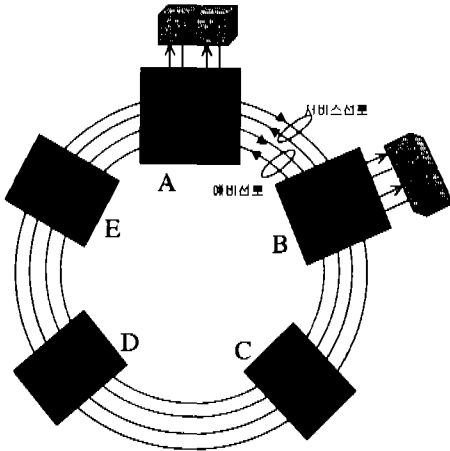


그림 2. BPSR/4-WDM RING의 상위 디지털 장치 연결

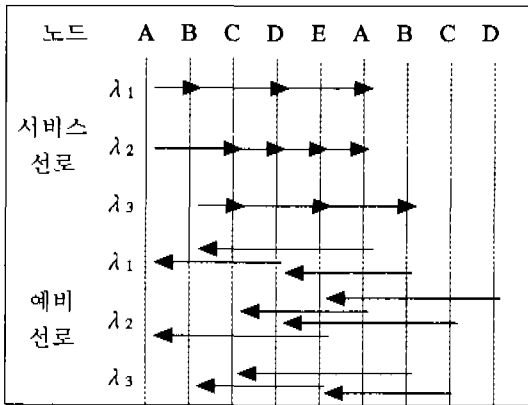


그림 3. 양방향 WDM ring의 파장 할당

형태로 연결한 경우의 파장 할당 예를 보여주고 있다. 서비스 채널의 경우 그림 3과 같이 working fiber에서 두 개 노드간의 짧은 경로를 선택하여 전송하는데, 그림에 보이지 않는 반 시계 방향의 서비스 채널 전송은 시계 방향의 경우와 같은 파장을 사용한다. 양방향 전송의 경우 서비스 선로에서는 그림과 같이 파장을 재사용하기 때문에 그렇지 못한 단방향 전송의 경우보다 효율적인 파장 사용이 가능하다. 한편 예비 채널의 경우 예비선로를 따라 노드간 긴 경로를 선택하여 전송하기 때문에 그림과 같이 파장이 중복되고 있다. 따라서 사고 시 예비 채널이 원하는 노드에서 이용되도록 하기 위해서는 각 W-ADM은 해당 파장에 대해서 통과 혹은 분기될 제어하는 기능을 가지고 있어야 한다. 이 점은 BLSR/4-WDM의 경우도 마찬가지이다. 그림 2

에서 볼 수 있듯이 선로 혹은 장치사고의 발생 시 반대 방향의 예비 선로를 통해 예비 장치가 전송을 하게 되며 이러한 점에서 양방향 전송의 효율성을 가지고 있으면서도 path switching을 하게 된다. 본 연구에서는 이러한 BPSR/4-WDM을 구현하는 방식으로 다음의 2가지를 제안한다.

5.1 광 감시채널을 이용한 중앙집중 제어방

이 방식에서는 모든 종류의 사고가 1510 nm 부근의 광 감시채널을 통해 중앙의 제어장치에 보고되도록 한다. 또한 각 노드에서는 그림 4와 같이 광 스위치가 송신 및 수신부에 각각 연결되어 있고, 광 감시채널을 통해 제어되도록 함으로써 사고 시 송신단에서는 예비 송신장치도 예비 선로에 연결되도록 하고, 수신부에서는 예비 신호도 수신단에 입력되게 함으로써 디지털 장치의 1:1 (혹은 1+1) 보호/절체가 그대로 이용될 수 있도록 한다. 이 방식에서는 네트워크를 효율적으로 운용할 수 있는 장점이 있지만, 감시채널의 운용이 복잡하고 시간이 많이 걸리며, 중심 노드가 고장난 경우 서비스의 복구가 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 다음 분산제어 방식을 제안한다.

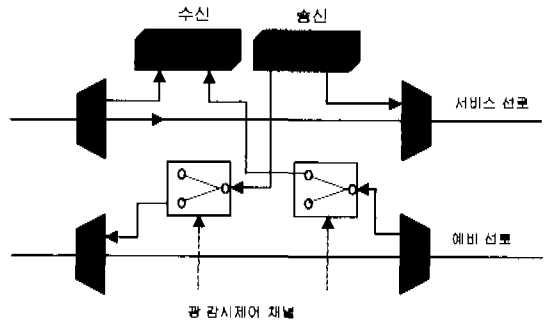


그림 4. 광 감시채널을 이용한 중앙집중 제어 방식

5.2 분산 제어 방식

이 방식에서는 그림 5와 같이 분산된 제어기들 각 노드에 위치하여 위에서 설명한 사고 복구될 수 행하도록 한다. 따라서 이 방식에서는 중앙집중 제어 방식에서 요구하는 광 감시채널을 필요로 하지 않으며, 스위칭 구조가 단순하고 따라서 스위칭 시간도 단축된다. 송신 및분기는 그림과 같이 각 노드의 제어기에 의해 결정되는데, 이 때 제어기의 입력으로는 서비스 신호 및 보호 신호의 성능이 이용된다. 신호 성능은 동기식 장치의 B1 byte,

optical SNR, 혹은 소광비 등이 이용될 수 있다. 사고 시 수신 노드, 송신 노드 및 기타 노드의 제어기 역할을 다음과 같이 나누어서 살펴본다.

5.2.1 수신 노드

이 노드에서는 서비스 신호가 불량으로 판정 시, 예비 신호가 분기되어 디지털 장치에 입력될 수 있도록 광 스위치를 동작해야 한다. 이 때, ADD 신호는 차단함으로써 송신 노드가 사고를 판단할 수 있도록 한다. 따라서 그림 5의 광 스위치의 동작은 다음과 같아야 한다.

SW1 --> CROSS (for DROP)

SW2 --> BAR (prevent ADD)

그림 2의 경우 노드 A에서 노드 B로의 전송에 장애가 발생하면 예비 선로를 통해 전송되어온 신호를 노드 B에서 DROP시키고, 노드 B에서는 같은 파장으로 예비 선로를 통해 노드 D로 송신하는 신호의 ADD를 막는다.

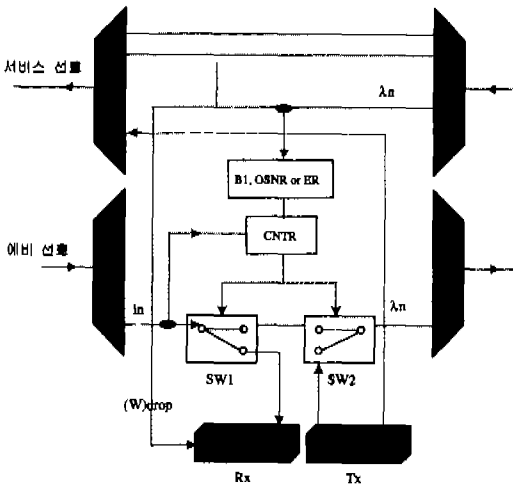


그림 5. 분산제어 방식을 이용한 BPSR/4-WDM 구현

5.2.2 송신 노드

이 노드에서 서비스 선로를 통해 목적 노드로 전송한 신호의 성능이 나쁘기 때문에 전송신호가 예비 선로를 통해서도 송신될 수 있도록 해 주어야 한다. 또한 예비 선로는 사고 시 하나의 전송에 독립적으로 이용되도록 이 노드에서는 DROP을 막는다. 따라서 송신 노드에 위치한 광 스위치의 동작은 다음과 같아야 한다.

SW1 --> BAR (prevent DROP)

SW2 --> CROSS (for ADD)

5.2.3 기타 노드

송신 및 수신 노드를 제외한 기타 노드의 경우에는 신호의 ADD 혹은 DROP을 막고, 입력되는 신호를 통과시키는 역할만을 해 주어야 한다. 따라서 이 노드에서의 광 스위치의 동작은 다음과 같아야 한다.

SW1 --> BAR (prevent DROP)

SW2 --> BAR (pass Protection)

위 세 가지 노드의 광 스위치 동작을 표 2에 정리하였다. 또한 이와 같은 스위치의 동작은 그림 6과 같이 간단하게 구현된다. 그림에서 광 스위치는 5 volt가 가해졌을 때 cross-state가 되는 것으로 가정하였다. 이와 같이 광 스위치를 동작하는 경우 선로 혹은 장치에 사고 발생 시 수신 노드에는 서비스 신호와 예비 신호가 둘 다 분기되며, 이들은 각각 WDM 장치의 상위 SDH 시스템의 서비스 및 예비 수신기에 입력되어 둘 중 좋은 성능을 가진 신호가 선택되는 1+1 보호/결체 구조를 지원해줄 수 있다.

표 2. 분산 제어 방식에서의 광스위치 동작

(W)drop	(P)in	SW1	SW2	노드
0	x	cross	bar	수신노드
1	0	bar	cross	송신노드
1	1	bar	bar	기타노드

o : bad/신호없음 1 : good/신호존재 x : dont care

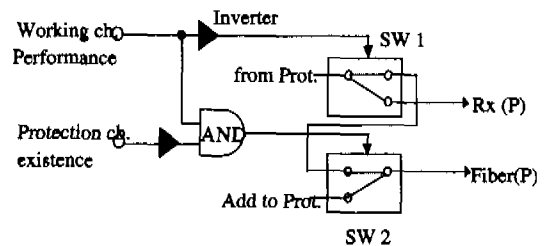


그림 6. BPSR/4-WDM RING에서 각 W-ADM 노드의 광스위치 동작

V. Discussion

본 논문에서 제안한 환형망 구조는 양방향 및 단방향 전송의 장점들을 함께 가지고 있다. 즉 full mesh 연결을 위해 필요한 파장의 개수는 BLSR/4-WDM의 경우와 같이 $(N^2-1)/8$ ($N \sim$ 홀수) 혹은 $N^2/8$ ($N \sim$ 짝수) 으로 나타낼 수 있으므로 $N(N-1)/2$ 개가 필요한 UPSR/2의 경우보다 효율이 좋다. 또한 사고시 수신단까지의 거리는 BLSR/4-WDM의 경우보다 줄어들게 되므로 노드의 개수만큼 증가할 수 있다. 또한 상위 디지털 시스템이 요구하는 1:1 혹은 1+1 보호/절체 구조에도 적합하다.

한편, 제안된 구조는 스위칭 시간에 있어서도 동기식 장치의 규격을 만족한다. 분산 제어 방식의 경우, 모든 채널이 잘 동작하는 경우 SW1 및 SW2는 모두 BAR 상태에 있다가 사고가 발생하면 수신 노드의 SW1과 송신 노드의 SW2가 각각 CROSS 상태가 된다. 따라서 2개의 광 스위치가 차례로 동작하며, 12개 노드를 갖는 총 길이 480 km RING의 경우 최대 스위칭 시간은 다음과 같이 계산된다.

Switching 시간 = {서비스 신호 성능감시+제어} × (총 노드 개수) + 2 × (광 스위칭) + (신호 전송) = $\{0.1ms+0.1ms\} \times 12 + 2 \times (1ms) + 2.4ms = 6.8ms$ 따라서, 위의 경우 WDM 장치에서 소모되는 스위칭 시간은 동기식 장치에서 요구되는 50 ms보다 훨씬 짧다.

결론으로, 본 논문에서는 양방향 4-fiber path 스위칭 WDM 환형망구조가 제안되고 이의 구현 방법이 연구되었다. 특히 본 연구에서는 분산제어 방식을 이용할 경우 별개의 감시제어 채널이 없이도 단순한 구조를 통해 스위칭이 가능함을 보였다. 제안된 망 구조는 노드의 개수가 많고 트래픽이 분산되어 있으며, 좋은 생존성이 요구되는 WDM 환형망에 이용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] F. Arecco, F. Casella, E. Ianone, a. Mariconda, S. Merli, F. Pozzi, and F. Veghini, "A transparent, all-optical, metropolitan network experiment in a field environment: The PROMETEO self-healing ring", *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 15, pp. 2206-2213, Dec. 1997.

[2] T. Wu, *Fiber network service survivability*, Artech House, 1992.
 [3] H. Toba, K. Oda, K. Inoue, K. Nosu, and T. Kitoh, "An optical FDM-based self-healing ring network employing arrayed waveguide grating filters and EDFAs with level equalizers", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 14, pp. 800-813, June 1996.
 [4] G. Walker, N. Walker, R. Steele, M. Creaner, and M. Brain, "Erbium-doped fiber amplifier cascade for multichannel coherent optical transmission", *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol. 9, Feb. 1991, pp182-193.
 [5] 박영일, 채창준, "ASE 잡음과 보호구조를 고려한 WDM SHR의 노드확장 한계", 한국통신학회 논문지, Vol. 25, no. 1B, 2000 1월, pp. 56-61.

박 영 일(Youngil Park) 정희원
 1987년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
 1989년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)
 1995년 5월 : Texas A&M University 전기공학과 졸업 (공학박사)
 1995년 8월~1999년 2월 : 한국통신 가입자망연구소 선임연구원
 1999년 3월~현재 : 국민대학교 전자공학부 전임강사 <주관심 분야> WDM 광전송장치, 광가입자망, 광 센서