

NOLM과 피드백 루프에 의해 구현된전광 WDM 버퍼 시스템

이 승 우*, 윤 경 모**, 이 용 기***, 정희원 엄 진 섭****

All-Optical WDM Buffer System realized by NOLM and Feedback Loop

Seungwoo Yi*, Kyeong-mo Yoon**, Yong-gi Lee***, Jinseob Eom**** *Regular Member*

요 약

WDM 네트워크에서 WDM 버퍼는 전광 패킷 스위칭 시스템을 구현하기 위한 핵심적인 요소 기술이다. 본 논문에서는 단일 루프형 전광 WDM 버퍼 구조를 제안하였으며, 이를 실험적으로 확인하였다. 제안된 구조는 NOLM과 피드백 루프로 구성되며, 제어 광 신호 (1553nm, 펄스 폭: 30ns)에 의해 버퍼로부터 출력되기까지 단일 입력 펄스 (1550nm, 펄스 폭: 20ns)를 약 40회 이상 버퍼링 (20μs 이상)할 수 있었다.

Key Words : Optical Buffer, NOLM, XPM

ABSTRACT

In WDM network, a WDM buffer is one of essential elements for realizing all-optical packet switching system. In this paper, we propose and demonstrate a single loop type all-optical WDM buffer system. The proposed one consists of NOLM and feedback loop, and provides more than 40 turns buffering (more than 20μs) for single input pulse (1550nm, width: 20ns) before selected by control signal pulse (1553nm, width: 30ns).

1. 서 론

광 패킷 스위칭은 초고속 대용량 스위칭을 가능케 하므로써 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술에 기반을 둔 차세대 광 전달망의 구현을 앞당긴다. 이는 광 패킷 스위칭 관련기술들이 WDM 기술에 바탕을 두어야 함을 의미한다. 광 패킷 스위칭 구현을 위한 요소기술로서는 각 패킷을 올바른 출력으로 연결하는 파장 라우팅 기술과 동일한 출력으로 동시에 향하는 여러 패킷들의 충돌을 막기 위한 광 메모리 기능 등이 있다. 그러나 광 메모리 기능을 수행할 수 있는 방법은 현재

로서 전광 버퍼링 기술이 유일한 대안이며, 전광 버퍼도 WDM 패킷들을 처리할 수 있도록 구성되어야 한다.

가까운 미래에 광 패킷 스위칭 시스템은 테라급 (Tbps) 이상의 용량을 처리할 수 있어야하며, 이러한 용량의 증가는 광 패킷 스위칭 노드에서 광 패킷간의 충돌문제 해결을 중요한 이슈로 부각시키고 있다^{[1][2]}. 따라서 효과적인 전광 WDM 버퍼 시스템은 전광 패킷 스위칭 시스템 (또는 광 버스트 스위칭 시스템) 구현을 위한 핵심기술이다. 이는 그림 1에서와 같이 각 노드의 입력단 또는 출력단에 동시에 (패킷들이 동기화 되었다는 가정하에서) 입력된

* 강원대학교 전자공학과 광통신 실험실 (spartan@korea.com), ** KT 기술연구소 (kmyoon@kt.co.kr),

*** KT 기술연구소 (leeyg@kt.co.kr), **** 강원대학교 전자공학과 (jeom@kangwon.ac.kr)

논문번호 : 030455-1014, 접수일자 : 2003년 10월 14일

※ 본 연구는 광주과학기술원의 초고속 광 네트워크 센터와 KT 기술연구소, 강원대학교 BK21 그리고 강원대학교 정보통신 연구소의 일부 지원에 의해 수행되었습니다.

므로 궁극적으로 광 신호가 SOA를 통과하며 겪게 되는 굴절률의 변화는 시계방향과 반시계방향 그리고 제어 광 신호의 존재유무 등의 4가지 경우의 조합으로 나눌 수 있다.

시계방향과 반시계방향의 광 신호가 Δx 에 의한 시간지연을 가지고 각각 SOA를 통과할 때 일어나는 두 방향간의 위상차를 식 (1)에 나타내었다.

$$\Delta\phi_{SOA} = k_0 \Delta n l \tag{1}$$

위 식에서 k_0 와 l 은 각각 공기 중에서의 웨이브 벡터 (wavevector)와 SOA 칩의 길이를 나타낸다. Δn 은 시계방향과 반시계방향의 광 신호가 서로 다른 시간에 SOA를 통과하면서 겪게 되는 굴절률의 차를 나타내며, SOA의 굴절률이 시간에 따라 변한다면 이 역시 시간의 함수가 된다.

광 신호가 루프 미러에 인가된 후에 2x2 3dB 광섬유 커플러의 오른쪽으로 출력되는 정도를 나타내는 투과율 T 는 다음과 같이 표시된다⁵⁾.

$$T = \frac{1}{2} [1 + V \cos(\Delta\phi_{total})]$$

$$\Delta\phi_{total} = \pi + \Delta\phi_{SOA} - \varepsilon \tag{2}$$

여기서 $\Delta\phi_{total}$ 은 루프미러내에서 양방향 광 신호간의 총 위상차를 나타낸다. V 는 간섭계의 visibility를 나타내며 1보다 작거나 같은 양수이다. ε 은 루프의 광섬유내에서 일어나는 양방향간의 위상차와 관련된다. $\Delta\phi_{SOA}$ 는 SOA내에서 야기되는 두 방향간의 위상차로서 식 (1)에 나타내었다. V 와 ε 은 광섬유의 복굴절과 광 신호의 편광에 따라 변하는 값이며, $\Delta\phi_{SOA}$ 역시 편광의 함수이다. 그러나 $\Delta\phi_{SOA}$ 값에 의해 출력이 대부분 결정되고 ε 은 이로부터 약간의 변화를 가져온다. 따라서 본 연구에서는 큰 잘못이 없는 범위내에서 해석의 간편을 위하여 편광에 따른 $\Delta\phi_{SOA}$ 값의 변화만을 고려하고 ε 값의 변화는 무시하도록 하였다.

SOA의 이득회복 시간은 SOA를 사용하는 제반 광 시스템에서 통과될 수 있는 데이터 속도를 제한하게 된다. 그러나 요즘은 SOA의 성능이 많이 개선되어 이를 이용한 10Gbps 나아가서는 40Gbps 시스템들이 발표되고 있다. 따라서 40Gbps까지의 패킷 데이터 속도에 대하여는 동작에 있어서 크게 문제가 되지 않는다.

제안된 구조의 동작 원리를 설명하면 다음과 같다. 루프 미러내로 입력된 각 WDM 광 신호들은 2x2 3dB 광섬유 커플러를 통과한 후에 각각 시계방향과 반시계방향으로 나뉘어 진행하게 된다. 시계방향 신호는 1xM WDM DEMUX에서 각 파장별로 나누어진 후 각각의 SOA를 통과하지만 반시계방향의 신호는 시계방향보다 Δx 에 의한 시간 지연만큼 늦게 각각의 SOA를 통과하게 된다. 따라서 루프 미러내에서 동시에 출발한 양방향 신호는 SOA를 통과하는 시점이 서로 다르기 때문에 각각의 신호는 SOA 통과시점의 SOA 굴절률에 따르는 위상변화 (XPM)를 겪게 된다.

파장별로 분리된 광 신호들 중에서 해당 SOA내로 제어 광 펄스가 펌핑되지 않은 광 신호들은 NOLM내에서 양방향 신호간의 위상차가 없으므로 2x2 3dB 광섬유 커플러를 통과한 후 써큘레이터를 지나 피드백 루프를 돌면서 버퍼링되기 시작한다. 버퍼링시에 루프내에서 손실된 광 파워를 보상하기 위하여 피드백 루프내에 EDFA를 설치하였다. 그러나 EDFA는 피드백 되는 광 신호뿐만 아니라 ASE까지도 증폭을 시키게 되어 ASE의 불필요한 발진을 일으키기도 한다. 즉, 전체 루프내에 존재하는 ASE가 너무 많으면 루프내에서 레이저처럼 자체적인 발진을 일으키게 되어 버퍼링되는 광 신호가 받아야할 증폭을 빼앗는 결과를 초래한다. 그러나 반대로 전체 루프내의 ASE 양이 너무 제한되면 버퍼링되는 광 신호의 손실이 증폭보다 크게 되어 버퍼링 가능 시간이 짧아지게 된다. 따라서 제안된 구조에서는 버퍼링 가능 시간을 최대화하기 위하여 전체 루프내의 ASE 양을 잘 조절할 필요가 있다. 이를 위하여 피드백 루프내에 ASE 필터와 편광기 (Polarizer)를 설치하였으며, 입력 광 파워, EDFA와 SOA의 이득, 그리고 편광제어기들을 조절하여 루프내의 ASE 양을 조절할 수 있었다.

반면에 해당 SOA내로 제어 광 펄스가 펌핑된 광 신호는 NOLM내에서 양방향 신호간에 위상차를 겪게 되어 2x2 3dB 광섬유 커플러를 통과한 후에 버퍼의 외부로 출력된다. 이로서 해당 패킷은 충돌을 방지하기 위해 요구되었던 지연시간만큼 버퍼링된 후에 해당 목적지로 출력되게 된다.

III. 결과

그림 3은 실험 구성도로서 그림 2에서 제안된 전 광 WDM 버퍼 시스템 구조의 가능성을 확인하기

위해 단일 파장의 광 펄스에 대한 실험을 수행하였다. 입력 신호가 단일 파장의 광 펄스 (1550nm, width: 20ns)이므로 그림 2에서 보여진 버퍼 시스템 구성도에서 NOLM 구조내의 1×M WDM MUX/DEMUX를 제거하였으며 SOA (Alcatel, A 1901 SOA)는 1개만을 사용하였다. 출력 포트 1에서는 루프내에서 버퍼링되고 있는 신호를 측정하였고, 3dB 커플러 (#3)를 통하여 SOA로 제어 광 신호가 펌핑될 때 버퍼 외부로 인출되는 광 신호는 출력 포트 2를 통하여 측정하였다.

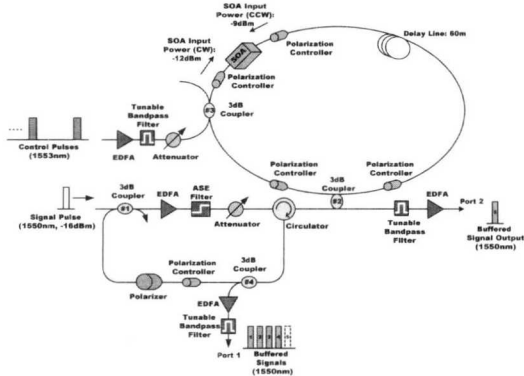


그림 3. 단일 펄스를 이용한 버퍼 시스템 실험도

그림 3에서 단일 광 펄스가 버퍼 시스템으로 입력되면 EDFA에 의해 증폭되어지고 서큘레이터를 거친 후 2×2 3dB 커플러 (#2)에 의해 시계방향과 반시계방향으로 나누어져 루프미러내에서 양방향으로 진행하게 된다. 만일 외부에서 펌핑되는 제어 광 신호가 없다면 이는 2×2 3dB 커플러 (#2)를 통하여 출력된 후 서큘레이터를 통해 피드백 루프로 보내지게 되어 버퍼링이 시작된다.

그림에서는 4개까지의 버퍼링 신호 파워중 일부가 출력 포트 1로 출력되었고 5번째 버퍼링을 위하여 나머지 파워의 광 신호 펄스가 피드백 루프를 지나 NOLM으로 입력되고 있음을 보여준다. 그리고 제어 광 신호 (1553nm, width: 30ns)가 시계방향의 5번째 버퍼링 광 펄스에 동기를 맞추어 SOA로 펌핑되면 5번째 버퍼링 광 펄스는 출력 포트 1로 출력되지 않고 출력 포트 2로 향함을 보여주고 있다. 이때 전체 루프내의 EDFA 및 SOA에 의한 ASE의 양을 조절하기 위해 피드백 루프내에 ASE 필터와 편광자를 사용하였으며, 출력 포트 1과 출력 포트 2에 각각 EDFA와 가변 파장 필터를 두어 원

하는 광 신호를 증폭 및 필터링하였다.

그림 4에서는 입력된 단일 광 펄스에 대하여 버퍼 시스템내에서 계속 버퍼링되고 있는 광 신호를 처음 것부터 약 40번째까지를 보여주고 있으며, 여전히 펄스 상태가 양호함을 알 수 있다. 첫 광 펄스가 평균 -16dBm의 광 파워를 가지고 3dB 커플러 (#1)을 통과하면 -19dBm이 되고 EDFA에 의해 22dB의 증폭을 얻은 후에는 3dBm의 광 파워가 된다. ASE 필터와 광 감쇄기 (Optical Attenuator)를 통과하게 되면 감쇄되어 -8dBm이 된다. 이어서 서큘레이터를 통과하여 -9dBm의 파워로 NOLM에 입력이 되어지면 출력 또한 -9dBm이 되도록 SOA의 이득을 조정한다.

다시 서큘레이터를 통과하면 -10dBm이 되고 3dB 커플러 (#4)를 지나게되면 약 -13dBm이 된다. 이때 출력 포트 1에서는 첫 번째 버퍼링 신호가 EDFA와 가변 파장 필터를 통과한 후 출력이 되고 3dB 커플러 (#4)의 다른 방향으로 두 번째 버퍼링을 위한 광 신호가 3dB 커플러 (#1)를 통해 다시 루프 구조로 입력된다. 이때 한번 버퍼링되어 3dB 커플러 (#1)로 다시 입력이 되어지는 광 파워는 약 -16dBm으로서 첫 입력 광 펄스의 파워와 비슷한 파워로 입력이 되어진다.

두 번째 입력 광 펄스가 계속 버퍼링되기 위해서는 매 순환마다 발생하는 파워 손실이 EDFA와 SOA에 의해 보상이 되어야 한다.

그러나 이때 버퍼링되는 광 신호와 함께 ASE도 같이 증폭이 되므로 ASE 필터를 루프내에 위치시켜 ASE 피크 대역인 1530nm 대역에서의 ASE 자체 발진모드 생성을 억제시키므로써 버퍼링 광 신호가 충분히 증폭을 얻도록 한다. 그리고 랜덤한 편광을 가지는 ASE가 루프내에서 감쇄되도록 편광기를 사용하므로써 다른 대역에서도 발진모드가 생성되지 않도록 하였다.

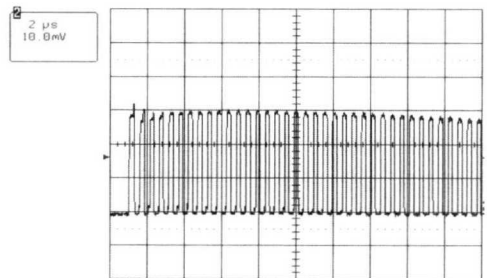
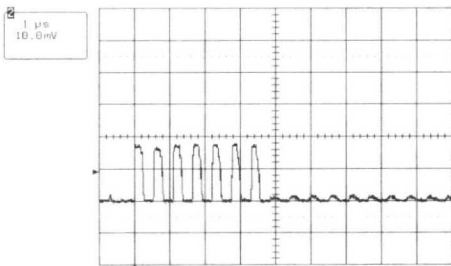
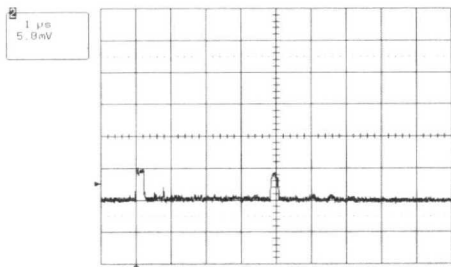


그림 4. 출력 포트 1에서 측정된 버퍼링 신호

그림 5는 제어 광 신호 (1553nm, width: 30ns)를 버퍼링중에 있는 광 펄스에 동기를 맞추어 SOA로 펌핑하였을 때 광 펄스가 출력 포트 2로 배출됨을 보여주고 있다. 이때 펌핑 광 파워는 3dB 커플러 (#3)로 입사되기 전 -17.9dBm이었으며, SOA 바이어스 전류는 90mA로 조정하였다. 그림 5 (a)는 출력 포트 1에서 측정된 버퍼링이 진행중인 7개의 광 신호를 보여주고 있으며, 8번째 버퍼링되려던 신호는 SOA내에서 제어 광 펄스와 매칭이 되어 그림 5 (b)에서와 같이 출력 포트 2로 출력이 되며 16.9dB의 출력 소광비를 보여주고 있다.



(a) 7개의 버퍼링 진행중인 광 신호



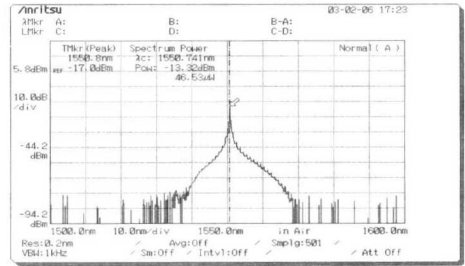
(b) 배출된 버퍼링 완료 광 신호

그림 5. 포트 1에서 측정된 버퍼링 진행 광 신호 및 포트 2에서 측정된 출력신호.

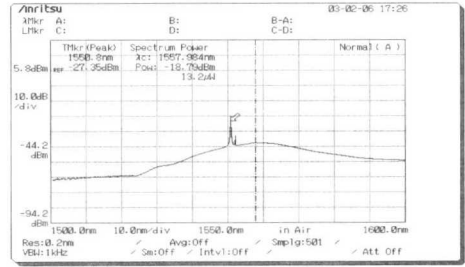
그림 5 (b)에서 첫 번째 나타나는 신호는 피드백 루프를 돌지 않고 바로 출력된 (즉 버퍼링이 없이) 광 신호로서 편광제어기의 조절에도 불구하고 항상 출력되고 있다. 이는 첫 입력 광 펄스의 경우 NOLM에서 피드백 루프로의 완전한 스위칭이 일어나지 않고 있음을 의미한다. 그 이유로는 첫 입력 광 펄스의 경우 나중에 루프내에서 버퍼링되는 광 신호에 비하여 EDFA에서 더 많은 파워 이득을 얻기 때문에 그 파워가 매우 강하게 된다. 이 경우에 SOA로 입사되는 양방향 광 펄스간에 존재하는 광 파워 및 편광의 차이로 인하여 SOA내에서 양방향

간에 굴절률 차이로 인한 위상변화가 발생하고 이로 인하여 NOLM의 두 출력으로 광 펄스가 모두 출력되기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 이는 전체 루프내에 보통 여러개의 WDM 광 신호들이 이미 버퍼링되고 있다는 실제의 상황에서는 큰 문제 없이 해결될 수 있을 것이다.

그림 6의 (a)는 출력 포트 2에서 측정된 버퍼링 완료 광 신호의 스펙트럼으로서, 입력신호의 스펙트럼과 일치함을 보여준다. (b)는 버퍼링중인 광 신호와 제어 광 신호의 스펙트럼을 보여주며 출력 포트 1에서 측정되었다.



(a)



(b)

그림 6. (a) 출력신호 스펙트럼, (b) 루프내에서의 입력신호와 제어 신호의 스펙트럼.

IV. 결론

본 논문에서는 광섬유 루프 미러와 피드백 루프로 구성된 단일 루프형 전광 WDM 버퍼 시스템을 제안하였고, 단일 파장의 광 펄스를 이용하여 그 가능성을 실험적으로 확인하였다.

제안된 구조의 버퍼링 가능 시간을 최대화 하기 위해서는 전체 루프내의 ASE의 양을 적절하게 조정하는 것이 필수적이다. 루프내에 ASE의 양이 너무 많거나 또는 너무 적으면 이는 궁극적으로 버퍼링되는 광 펄스가 증폭되는 것을 방해하여 광 펄

스의 빠른 소멸을 초래한다.

따라서 루프내에 ASE 필터와 편광기를 사용하였고, 입력 광 파워, EDFA와 SOA의 이득, 그리고 편광제어기 등의 조절을 통하여 ASE를 적당한 양으로 유지하였다.

단일 광 펄스 신호 (1550nm, width: 20ns)와 제어 광 신호 (1553nm, width: 30ns)를 사용한 실험을 통하여 약 40회 (20 μ s) 이상의 버퍼링 성능을 얻었으며, 출력 광 신호의 소광비로서 16.9dB를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] A.E. Willner, M.C. Cardakli, O.H.Adamczyk, Y.N. Sung and D. Gurkan, "Key buildingblocks for all-optical networks", *IEICE TRANS. COMMUN.*, Vol. E83_B, No.10, pp 2166-2177, Oct. 2000.
- [2] R.S. Tucker, W.D. Zhong, "Photonic packet switching: an over view", *IEICE TRANS. COMMUN.*, Vol. E82_B, No.2, pp 254-264, Feb. 1999.
- [3] S. Amstutz, "Burst switchong-an introduction", *IEEE COMMUN. Magazine*, Vol. 21, pp 36-42, Nov. 1983.
- [4] M. Yoo and C. Qiao, "Just-enough-time(JET):a high speed protocol for bursty traffic in optical networks", in Digest of *IEEE/LEOS Summer Topical Meetings on Technologies for a Global Information Infrastructure*, pp. 26-27, Aug. 1997.
- [5] Ho Jin Jeong, "Polarization Reciprocity of Mode Locked Fiber Laser Gyroscope with Sagnac Loop Mirror", Doctorial Dissertation, *KAIST*, 1996.

이 승 우 (Seungwoo Yi)



1992년 2월 : 강원대학교
물리학과 졸업 (이학사)
1997년 8월 : 강원대학교
대학원 물리학과 (이학석사)
2004년 3월 : 강원대학교
대학원 전자공학과
(공학박사)

<관심분야> 광통신, 광고환, 광소자

E-mail : spartan@korea.com

윤 경 모 (Kyeong-mo Yoon)

1994년 2월 : 강원대학교



공과대학 전자공학과
(공학사)

1996년 2월 : 강원대학교
대학원 전자공학과
(공학석사)

1996년~1998년 : 한국통신
교환기술연구소 광고환 연구

팀 선임 연구원

1998년~현재 : KT 기술연구소 전광통신망 연구실
선임 연구원

<관심분야> 광 네트워킹 기술, 초장거리 DWDM
광통신 기술, 광고환 기술

E-mail : kmyoon@kt.co.kr

이 용 기 (Yong-gi Lee)

1981년 2월 : 경북대학교
공과대학 전자공학과
(공학사)

1985년 2월 : 경북대학교
대학원 전자공학과
(공학석사)

1996년 2월 : 일본 동북대학

공과대학 공학연구과 (공학박사)

1985~현재 : KT 기술연구소 전광통신망 연구실
실장

<관심분야> 파장분할 광통신 및 디바이스 기술, 광
테스트 베드 구축기술, 광 인터넷 기술

E-mail : leeyg@kt.co.kr

엄진섭 (Jinseob Eom)

정회원



1982년 2월 : 서울대학교

전자공학과 (공학사)

1984년 2월 : 서울대학교

대학원 전자공학과

(공학석사)

1990년 12월 : 미국 Texas

A&M University

전기공학과 (공학박사)

1985년~1987년 : 한국통신 전임연구원

1991년~1992년 : 한국통신 선임연구원

1992년~현재 : 강원대학교 전기전자정보통신공학부

정교수

<관심분야> 광통신, 광교환, 광소자

E-mail : jeom@cc.kangwon.ac.kr