

論文97-34D-8-7

충돌제어 기능을 갖는 광 패킷 스위칭 시스템 연구

(A Photonic Packet Switching System with Contention Resolution Capability)

李基喆*, 李成鐵*, 李誠根**, 鄭智采***, 姜哲熙*, 朴鎮雨*

(Kicheol Lee, Sungchul Lee, Sungkun Lee, Jichai Jeong, Chulhee Kang, and Jinwoo Park)

요 약

본 논문에서는 능동분과 구조의 패킷 라우터, 출력 충돌 제어기로서 travelling 형태의 광버퍼 그리고 전자 제어기로 구성되는 새로운 구조의 $N \times N$ 광 패킷 스위칭 시스템을 제안하였다. 제안한 광 패킷 스위칭 시스템의 성능은 사용되는 스위치의 채널 누화과 광증폭기의 ASE 잡음에 대한 BER 결과식을 유도하여 분석하였다. 또한 제안된 광 패킷 스위칭 시스템의 동작 성능을 입증하기 위하여 $1.55 \mu\text{m}$ 파장에서 동작하는 2×2 스위칭 시스템을 구성하고 실험하였다.

Abstract

In this paper it is proposed a new architecture for $N \times N$ optical packet switching system. It consists of active-splitter type of packet router, travelling type of optical buffer memory for packet contention resolution and an electronic controller. The BER performance of the proposed switching system is analyzed with respect to channel crosstalks and amplified spontaneous emission noise from switching elements and optical amplifiers respectively. Operational validity of the proposed switching system is also experimentally proved by realizing 2×2 optical packet switching system.

I. 서 론

향후 B-ISDN이 구축되어 다양한 광대역 서비스가 제공될 시점에는 종래의 전자식 교환기로 미래의 통신

망에서 요구되는 다양한 서비스 및 처리속도를 충족시키는데 한계가 있으므로 기간 전송망인 광섬유 통신망과 직접 연동이 가능하며 Tbps 급의 처리속도와 유연성, 그리고 우수한 확장성을 갖는 광교환 시스템이 개발되어야 한다.^{[1] [2] [3]} 세계 각국에서 시분할, 공간분할 그리고 파장분할 광교환에 대한 연구가 진행되고 있으며 국내에서는 ETRI에서 4×4 시분할/공간분할 혼합형 광교환 시스템을 개발하였다.^[4]

광교환은 광의 고유 특성인 광대역성, 고속성 뿐만 아니라 손실이 적고 고밀도 병렬접속이 가능하며 상호 간섭성이 없다는 장점을 교환기능에 활용하는 방식으로 구현되고 있으며 실제적인 광교환 방식으로 회선교환과 패킷 혹은 ATM 교환 방식이 있다.^{[5] [6]}

이중 광 패킷 스위칭 시스템은 데이터를 패킷이라는

* 正會員, 高麗大學校 電子工學科

(Department of Electronics Engineering, Korea University)

** 正會員, 韓國通信 研究開發本部

(Korea Telecom R&D Group)

*** 正會員, 高麗大學校 電波工學科

(Department of Radio Science and Engineering, Korea University)

接受日字:1997年1月27日, 수정완료일:1997年7月2日

단위로 교환하는 방식으로 신호의 경로를 지정하는 패킷 라우팅부와 패킷간의 충돌을 해결하는 출력 충돌 제어부, 그리고 패킷 라우팅과 출력 충돌 제어를 전기적으로 제어하는 전자 제어부로 구성된다. 패킷 라우팅부는 패킷의 출력 주소에 따라 신호의 경로를 지정하여 출력부로 패킷을 전송하는 기능을 수행한다. 일반적으로 패킷 라우팅부는 2×2 광 스위치로 구성되는 공간분할 스위치(space-division switch)와 1:N 분파기 등으로 구현된다. 출력 충돌 제어부는 2개 이상의 패킷이 같은 출력 주소를 가지고 동시에 스위칭 시스템에 입력되었을 때 출력부에서 발생하는 패킷간의 충돌을 해결하는 기능을 갖는다. 충돌 해결 방식에는 드로핑(dropping), 버퍼링(buffering) 등이 있는데 일반적으로 2×2 스위치와 광섬유 지연선으로 구성되는 광버퍼를 사용한다. 광버퍼에는 궤환 지연을 갖는 루프 형태와 travelling 형태가 있다.^[7]

본 논문에서는 능동분파(active splitter) 구조의 패킷 라우팅부와 광섬유 지연선과 2×2 스위치로 구성되는 travelling 형태의 출력 충돌 제어부 그리고 전자 제어부로 구성되는 새로운 구조의 N×N 광 패킷 스위칭 시스템을 제안하였다. 그리고 2×2 단위 스위치에서 발생하는 누화성분과 광증폭기에서 발생하는 ASE 잡음을 고려하여 BER 결과식을 유도함으로써 제안 구조의 성능을 평가하였다. 또한 제안한 구조를 갖는 광 패킷 스위칭 시스템을 구현하여 패킷 라우팅과 광버퍼링을 실험함으로써 광 패킷 스위칭 시스템의 기능을 구현 및 분석하였다.

II. 광 패킷 스위칭 시스템

광 패킷은 헤더(header)와 페이로드(payload)로 구성된다. 헤더는 패킷의 출력 주소(output address), 우선순위(priority) 등으로 구성되는데 광 패킷 스위칭 시스템은 패킷의 헤더를 처리하여 아래와 같은 기능을 수행한다.

첫째, 패킷 헤더내의 출력 주소를 인식하여 시스템으로 입력된 패킷을 올바른 출력으로 라우팅한다. 둘째, 시스템 내에서 발생할 수 있는 패킷간의 충돌을 해결한다.

따라서 광 패킷 스위칭 시스템은 그림 1과 같이 위의 두 가지 기능을 수행할 수 있는 기능 블록으로 구성되어야 한다.

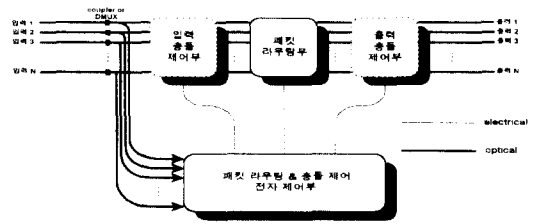


그림 1. 광 패킷 스위칭 시스템의 기능 블록
Fig. 1. Block diagram of photonic packet switching system.

1. 광 패킷 코딩 방식

패킷내의 페이로드는 망내의 source, destination에 의해서만 처리되는 데이터, 패킷 번호, 소스 주소(source address) 등의 정보를 포함하고 있다. 반면 헤더는 도착지 주소(destination address), 우선순위, 패킷 길이 등의 스위칭 시스템에 의해서만 처리되는 정보를 포함한다.

패킷 코딩 방식은 크게 bit-serial, out-of-band-signaling, bit parallel의 세 범주로 구분될 수 있다. Bit-serial 방식중 혼합속도 패킷 코딩은 헤더 정보를 페이로드보다 늦은 속도로 전송하여 헤더를 전기적으로 처리하도록 제안된 방식이다. 이 방식은 전기적인 처리속도의 한계로 인한 데이터 전송의 한계를 해결하기 위한 방식으로 헤더의 속도는 느린 반면 페이로드는 고속으로 전송할 수 있는 장점이 있다. 그리고 out-of-band-signaling 방식은 제어 채널을 데이터 채널과 분리된 주파수 또는 파장 영역에서 전송하는 방식인데 SCM (subcarrier multiplexing) 방식과 dual wavelength 방식 등이 있다. Bit parallel 방식은 패킷 내의 각 비트를 서로 다른 파장으로 코딩하여 전송하는 방식으로 파장을 다중화하여 전송하므로 각 파장마다 빠른 데이터 속도를 가질 수 있지만 사용 가능한 파장의 수에 한계가 있으므로 실제 적용에는 어려움이 따른다.^[8]

2. 패킷 라우팅(Packet Routing)

패킷 라우팅부는 일반적으로 도파로 형태의 스위치나 InP 등의 반도체로 만들어진 온-오프(on-off) 게이트 스위치로 제작된 1×2 또는 2×2 단위 스위치를 연결하여 집적시킨 공간분할 스위치에 의해 수행된다.^[9] 공간분할 스위치를 설계함에 있어 고려해야할 사항은 블로킹 특성, 각 단위 스위치에 의한 삽입손실, 신호대 잡음비 그리고 공간분할 스위치를 구성하는 단

위 스위치의 수 등이다.

이러한 사항들을 고려하여 crossbar, double crossbar, n-stage planar, Benes, dilated Benes 그리고 AS/AC(active splitter/active combiner) 등의 공간분할 스위치가 제안되었다.^{[10] [11]} 이중 Benes 구조는 재배열 넌-블록킹(rearrangeable non-blocking) 구조로써 가장 적은 단위 소자수, 작은 경로손실 등의 장점을 갖지만 루핑(looping) 알고리즘이라는 복잡한 라우팅 알고리즘이 필요하고 입·출력수 증가에 따라 신호대 잡음비가 급격히 열화된다는 문제점이 있다.

반면 AS/AC 구조는 완전 넌-블록킹 구조로써 Benes 구조에 비해 많은 단위 스위치를 필요로 하지만 라우팅 알고리즘이 간단하고 높은 신호대 잡음비, 작은 경로손실을 가지므로 미래 대용량 스위칭 시스템에 적용함에 있어 Benes에 비해 선호된다.^[12]

3. 출력 충돌 제어(Output Contention Resolution)

광 패킷 스위칭 시스템에서 두 개 이상의 패킷이 같은 출력주소를 가질 때 시스템의 출력부에서 패킷간의 충돌이 발생하게 되는데 이것은 데이터 손실의 원인이 된다. 따라서 이러한 광 패킷간의 충돌을 해결해야 한다.

현재 패킷간의 충돌을 해결하는 가장 효과적인 광처리 방법은 패킷 주기, T_p 의 정수배의 길이를 갖는 광섬유 지연선과 2×2 스위치로 구현되는 광버퍼를 사용하는 것이다. 일반적으로 광버퍼는 루프 형태와 travelling 형태로 구분된다. 루프 형태의 광버퍼는 하나의 단위 스위치로 여러 길이의 지연을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

그러나 이 구조에는 2×2 스위치에서 발생하는 손실을 보상하기 위해 광 증폭기를 사용해야 하는데, 이 경우 전형적으로 광증폭기에서 발생하는 ASE 잡음에 의해 시스템 성능이 열화되며, 이것은 최대 지연시간에 한계를 가져오게 된다.

Travelling 형태의 광버퍼는 직렬구조와 병렬구조로 구분된다. 병렬구조 버퍼는 삽입손실이 작고 제어가 간단하다는 장점을 갖지만 패킷 지연에 필요한 광섬유의 양이 많다는 문제점을 갖는다. 반면에 직렬구조의 버퍼는 병렬구조에 비해 적은 광섬유로 많은 패킷 지연을 수행할 수 있지만 광이 거치는 스위치가 많으므로 삽입손실이 크다는 단점이 있다.

III. 제안된 $N \times N$ 광 패킷 스위칭 시스템 구조

1. $N \times N$ 광 패킷 스위칭 시스템의 구조

본 논문에서는 패킷 라우팅부로서 능동분과 구조를 사용하고 travelling 형태의 광버퍼로 구현되며 bit-serial 패킷 코딩 방식을 이용한 광 패킷 스위칭 시스템의 구조를 제안하였다. 제안한 $N \times N$ 광 패킷 스위칭 시스템의 구조를 그림 2에 나타내었다.

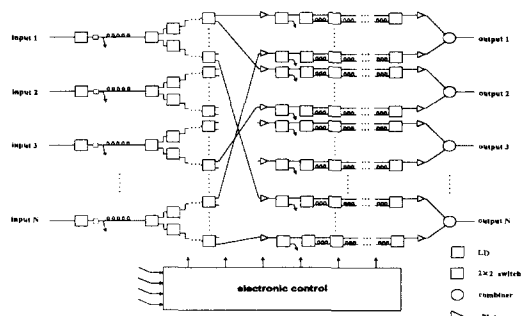


그림 2. 제안한 $N \times N$ 광 패킷 스위칭 시스템의 구조

Fig. 2. Proposed Architecture of $N \times N$ photonic packet switching system.

제안한 광 패킷 스위칭 시스템의 동작을 살펴보면 시스템으로 입력된 N 개의 입력은 커플러에 의해 10%의 광 전력을 전자 제어부로 분배한 후 패킷 라우팅부로 입력된다. 이때 전자 제어부에서 헤더를 처리하여 출력 주소를 인식하는데 시간 지연이 발생하므로 패킷 라우팅부 앞단과 광버퍼 앞단에 광섬유 지연선을 사용하여 패킷을 지연시킨다.

패킷 라우팅부에 입력된 패킷은 전자 제어부에서 발생된 제어신호를 통해 라우팅된 후 각 출력으로 전송된다. 만일 라우팅된 패킷중 두 개 이상의 패킷이 같은 출력으로 향하게 되면 광버퍼를 통해 패킷간의 충돌을 해결한다. 충돌이 해결된 패킷들은 결합기를 거쳐 각 출력으로 전송된다.

그러나 광버퍼에 입력되는 패킷의 수가 버퍼링할 수 있는 패킷의 수를 초과하게 되면 광버퍼 내부에서 패킷간의 충돌이 발생하게 된다. 따라서 광버퍼 앞 부분에 설치한 1×2 스위치를 이용하여 입력되는 패킷들을 드롭핑(dropping) 함으로써 광버퍼내에서 발생하는 패킷간의 충돌을 해결한다. 또한 스위칭 시스템의 입·출력 수가 많아지면 단위 스위치의 수가 증가하고 광

섬유의 길이가 길어지게 된다. 이것은 광 경로 손실을 증가시키게 되므로 광 증폭기를 사용하여 광 경로손실을 보상해야 한다.

2. 제안구조의 특성

패킷 라우팅부에 사용된 능동분과 구조는 전술한 공간분할 스위치 중에서 AS/AC 구조의 앞 부분에 해당한다. 능동분과 구조는 완전 년-블록킹 특성을 가지며 $N(N-1)$ 개의 적은 단위 스위치 소자를 필요로 한다. 여기서 N 은 입·출력의 수이다. 이 구조는 하나의 입력이 모든 출력과 연결되어 있는 완전 셔플 구조로서 패킷의 출력 주소에 따라 자기-라우팅(self-routing)이 가능하며 각 단위 스위치의 동시 제어가 가능하다. 예를 들어 8×8 스위칭 시스템에서 패킷이 110(7번 출력)의 출력 주소를 가지고 입력되었다고 하면 패킷 라우팅부의 각 단(stage)의 단위 스위치를 크로스('1')-크로스('1')-바('0') 상태로 변환하면 패킷은 7번 출력으로 전송된다. 또 출력 주소가 010(3번 출력)이면 각 단위 스위치를 바('0')-크로스('1')-바('0')로 변환하면 된다. 따라서 간단한 구조로 고속의 스위칭이 가능한 장점이 있다.

기존에 제안된 대부분의 스위칭 시스템에서 패킷 라우팅은 분파기로 입력 패킷을 분파한 후 온-오프 게이트 스위치를 구동함으로써 이루어진다. 이러한 방식은 헤더의 출력 주소를 논리회로를 통해 인식하여 게이트 스위치를 구동해야 하므로 제어 신호 발생에 일정한 시간이 걸린다. 그러나 제안한 방식에서 패킷 라우팅은 출력 주소의 각 비트가 '1' 인지 '0' 인지만을 판단하여 이루어 지므로 기존의 방식들에 비해 고속의 패킷 라우팅이 가능하다.

제안한 구조는 travelling 형태의 광버퍼를 출력 충돌 제어부로 사용하였다. 이 광버퍼는 2×2 단위 스위치와 광섬유 지연선으로 구현된다. 광섬유 지연선은 앞단에서부터 $2T$, $4T$, $6T$, ... 의 지연시간을 갖도록 하였다. 여기서 T 는 한 패킷의 시간 길이를 나타낸다. 전자 제어부는 패킷의 헤더를 인식하여 패킷 라우팅부와 출력 충돌 제어부를 전기적으로 제어한다. 커플러를 통해 분배된 광 전력은 광/전 변환되어 출력 주소를 인식한 후 논리회로에 의해 패킷 라우팅 제어 신호와 광버퍼 제어 신호를 발생시킨다. 제안한 구조의 광 패킷 스위칭 시스템은 입력되는 패킷의 속도에 관계없이 스위칭을 수행할 수 있는 장점이 있다.

3. BER 성능분석

제안한 구조를 구성하는 2×2 단위 스위치가 상태를 변환(크로스↔바)할 때 발생하는 누화과 광증폭기에서 발생하는 ASE 잡음은 제안한 광교환 시스템의 주요 성능 열화 성분들이다. 본 논문에서는 이 두 성분을 고려하여 BER 식을 분석함으로써 제안 시스템의 성능을 평가하였다.^[13]

입력되는 패킷의 길이는 일정하고 N 개의 모든 입력이 특정 출력으로 라우팅 된다고 가정하였다. 그리고 최악의 전송조건을 가정하여 분석하고자 하는 신호를 제외한 나머지 $N-1$ 개의 신호는 모두 데이터 '1'을 갖는다고 가정하였으며 $N-1$ 개 채널의 데이터 '1'에 의해 발생하는 누화 성분과 ASE 잡음이 분석하고자 하는 신호에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 모든 입력은 동일한 확률의 버퍼링 우선 순위를 갖는다고 가정하였다.

특정 출력단의 결합기 출력은 식 (1)로 표현된다.

$$\begin{aligned} P_{combiner,1/0} &= P_{1/0,out} + P_{ASE} + P_{crosstalk} \\ &= P_{1/0} \cdot G^2 + (G-1)n_{sp}h\nu \cdot G \\ &\quad + (P_1 + P_{ASE}^o) \cdot m^3 \cdot (N-1) \cdot G \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $P_{1/0,out}$ 은 신호 전력, P_{ASE} 는 ASE 잡음 전력, $P_{crosstalk}$ 는 누화전력, G 는 광증폭기 이득, N 은 입력의 수 그리고 m 은 누화비(crosstalk ratio)를 나타낸다.

수신단에서 열잡음, 산탄잡음, 누화에 의한 잡음 그리고 ASE 잡음이 Gaussian 분포를 갖는다고 가정하면 Gaussian 근사화에 의해 단일 채널에서 발생하는 BER은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} BER &= \frac{1}{2} [P(0|1) + P(1|0)] \\ &= \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{S_1 + S_{ASE} + S_{crosstalk} - T_{opt}}{2\sqrt{N_1}} \right) \right. \\ &\quad \left. + \operatorname{erfc} \left(\frac{T_{opt} - S_0 - S_{ASE} - S_{crosstalk}}{2\sqrt{N_0}} \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

입력신호는 우선순위(priority)에 따라 0에서 $2(N-1)$ 번까지의 지연을 겪는다. 따라서 모든 경우를 고려한 BER 결과식은 식 (3)과 같다.

$$P_e = \sum_{n=0}^{2(N-1)} BER \cdot P_{b_n}, \quad n=0,2,4,\dots,2(N-1) \quad (3)$$

여기서 $S_{1/0}$, S_{ASE} , $S_{crosstalk}$ 는 수신기에서 신호전력, ASE 잡음 전력, 누화 잡음에 대응하는 전류이고 Pb_n 은 신호가 nT의 지연을 거칠 확률로써 입력 신호들의 우선순위 발생확률이 같다고 가정하면 $1/N$ 으로 표현된다. T_{opt} 는 BER을 최소로 하는 임계치이다. 그리고 N_0 , N_1 은 입력 데이터가 '0'일 때와 '1'일 때의 전체 잡음 전력으로 식 (4)로 표현된다.

$$N_{1/0} = N_{thermal} + N_{shot,1/0} + N_{crosstalk} + N_{ASE-ASE} + N_{sig,1/0-ASE} \quad (4)$$

여기서 $N_{thermal}$, $N_{shot,1/0}$, $N_{crosstalk}$ 는 각각 열잡음과 산탄잡음 그리고 누화에 의한 잡음을 나타낸다. 그리고 $N_{ASE-ASE}$, $N_{sig,1/0-ASE}$ 는 각각 ASE 잡음간의 비트 잡음, 신호와 ASE 잡음사이의 비트 잡음을 나타낸다.

표 1. BER 성능 평가에 사용한 변수

Table 1. Parameters for evaluation of BER performance.

채널 당 Bit Rate	Rb	2.5 Gbps
Extinction ratio	r	0.01
수신기 대역폭	BW	1.75 GHz
열 잡음	ith	5.0×10^{-12}
파장	λ	1550 nm
Spontaneous Emission Factor	nsp	1.5
수신기 응답도 (Responsivity)	R	1.2
버퍼 크기	Nbuf	62

식 (3)을 이용하여 제안한 구조의 BER 성능을 평가하였다. 성능평가에 사용한 변수의 대표적인 값을 표 1에 나타내었다. 그림 3은 광 증폭기 이득증가에 따른 BER 성능을 나타낸다. 광증폭기 이득이 증가할수록 ASE 잡음이 증가하므로 BER은 열화된다. 이 결과에서 16×16 스위치에서 10^{-9} 의 BER을 얻기 위해서는 광증폭기 이득이 29 dB 이하여야 한다. 그림 4는 시스템 입력 전력 증가에 따른 BER 특성을 나타낸다. 입력 전력이 증가할수록 BER 성능이 개선되는데 16×16 스위치에서 10^{-9} 의 BER을 얻기 위해서는 입력 전력이 7dBm 이상이어야 한다. 그림 5는 2×2 단위 스위치의 누화비 증가에 따른 BER의 열화 정도를 나타낸다. 제안한 구조의 경우 누화 잡음이 10^{-12} 이하이므로 시스템 성능에 영향을 주지않는다. 따라서

누화비가 증가하여도 BER 특성은 변하지 않음을 알 수 있다. 이것은 travelling 형태의 광버퍼가 m^3 의 작은 누화성분을 갖기 때문이다. 그러나 광버퍼로 루프 형태를 사용할 경우 $m \cdot (P_1 + P_{ASE}^0)$ 의 누화 성분을 가지므로 travelling 형태에 비해 큰 누화성분을 갖는다. 따라서 누화비 증가에 따라 BER은 열화된다. 누화비가 -28 dB 이상일 경우 travelling 형태의 광버퍼를 사용한 구조가 루프 버퍼를 사용한 구조에 비해 개선된 BER 성능을 갖는다. [14]

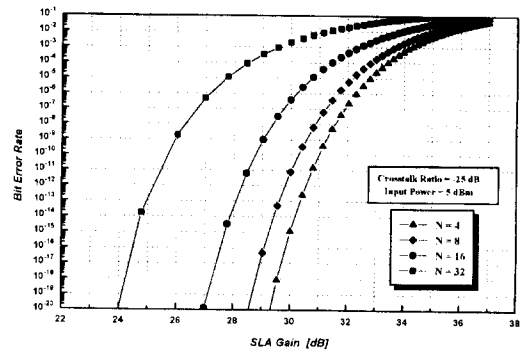


그림 3. 광증폭기 이득 증가에 따른 BER 특성
Fig. 3. BER performance with increasing optical amplifier gain.

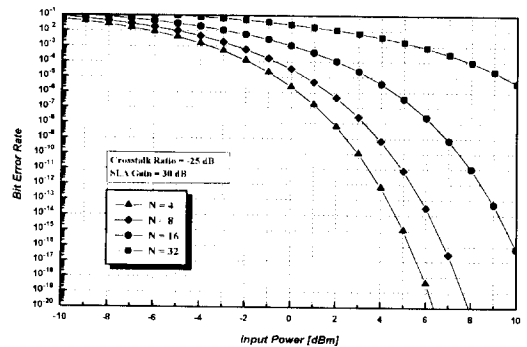


그림 4. 시스템 입력 전력 증가에 따른 BER 특성
Fig. 4. BER performance with increasing input power.

IV. 광 패킷 스위칭 시스템의 구현 및 실험

본 논문에서는 제안한 광 패킷 스위칭 시스템을 2×2 구조로 구현하였다. [15] 구현한 2×2 광 패킷 스위칭 시스템은 패킷 발생 및 광 전송부, 패킷 라우팅부, 광버퍼 그리고 전자 제어부로 구성된다. 구현한 2×2 광 패킷 스위칭 시스템의 구조를 그림 6에 나타

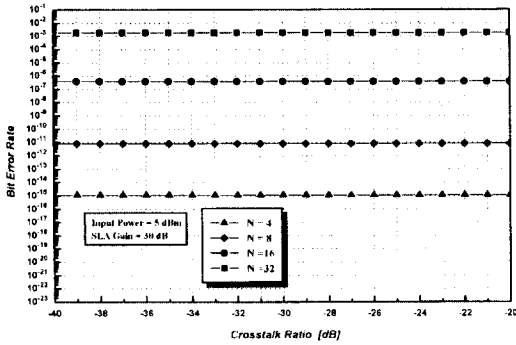


그림 5. 2×2 스위치의 누화비 증가에 따른 BER 특성
 Fig. 5. BER performance with increasing cross-talk ratio of 2×2 switch.

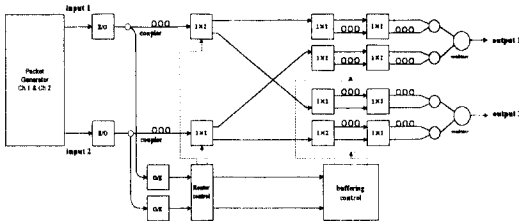


그림 6. 구현한 2×2 광 패킷 스위칭 시스템의 구조
 Fig. 6. Scheme of realized 2×2 photonic packet switching system.

내었다. 구현한 스위칭 시스템의 동작 특성은 3장에서 기술한 바와 같다.

1. 패킷의 구성

일반적으로 패킷은 가변 길이(수십 바이트에서 수천 바이트)를 갖는다. 그러나 현재 연구되고 있는 광 전송, 광 교환 등에 있어서 광 패킷의 길이는 표준으로 정해져 있지 않다. 만일 광 패킷의 길이가 가변일 경우에는 헤더내에 있는 패킷 길이 비트를 인식하여 제어에 활용하게 된다. 그러나 패킷의 길이가 가변일 경우에는 스위칭 시스템을 제어하는데 많은 시간이 걸리므로 고속의 광 스위칭 시스템의 구현에 한계를 갖는다. 따라서 본 논문에서는 제어의 고속화를 위해 하드웨어만으로 시스템을 제어할 수 있도록 패킷의 길이를 일정하다고 가정하였다. 그리고 패킷의 구성을 단순화하여 패킷 시작 비트, 출력 주소 비트 그리고 데이터 비트의 bit-serial한 4 비트로 구성하였다. 패킷 시작 비트는 전자 제어부에서 발생하는 제어신호간의 동기를 맞추는데 사용된다. 그리고 출력 주소 비트는 패킷

라우팅부, 광버퍼부 제어신호 발생에 사용된다.

전술한 바와 같이 광 패킷 스위칭 시스템은 패킷 라우팅과 패킷 버퍼링의 두가지 주요 기능을 갖는다. 이러한 기능을 실험적으로 구현하기 위해 '0'과 '1'의 출력 주소를 번갈아 갖는 패킷과 출력 주소 '1'만을 갖는 두 가지 형태의 패킷을 발생시켰다.

2. 패킷 라우팅부 및 광버퍼 제어

광 번조되어 스위칭 시스템에 입력된 패킷 신호는 10:90 커플러를 통해 10%의 광 전력이 전자 제어부로 분배된다. 분배된 광 패킷은 광/전 변환되어 제어 회로에 의해 처리된다. 그림 7은 헤더처리를 위한 전자 제어부의 블록도를 나타낸다.

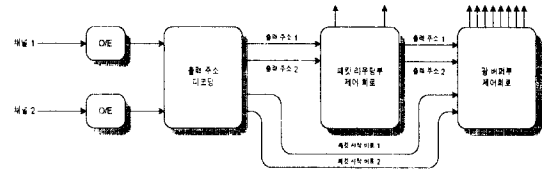


그림 7. 헤더처리를 위한 전자 제어부의 블록도
 Fig. 7. Block diagram of electronic controller for header processing.

1) 패킷 라우팅부 제어

광 수신기에서 광/전 변환되어 ECL 레벨로 바뀐 신호는 패킷 라우팅 제어부로 입력된다. 패킷 라우팅 제어부에서는 우선 패킷 헤더의 출력 주소를 인식한 후 출력 주소에 따라 패킷 라우팅부의 2×2 스위치 제어신호를 발생시킨다. AS 구조는 전술한 바와 같이 출력 주소에 따른 자기-라우팅이 가능하므로 특정 알고리즘없이 단지 패킷 헤더내의 출력 주소 비트만을 인식함으로써 패킷 라우팅부 제어신호를 발생시킨다. 즉, 패킷의 출력 주소가 '0'이면 바(bar) 신호를 '1'이면 크로스(cross) 신호를 발생시킴으로써 패킷을 각 출력으로 라우팅할 수 있다. 그림 8은 전자 제어부로 입력되는 패킷의 형태에 따른 패킷 라우팅부 제어신호이다. 첫번째 신호는 출력 주소 '0'과 '1'을 번갈아 갖는 패킷 신호에 따른 제어신호이고 두번째 신호는 출력주소 '1'을 갖는 패킷 신호에 따른 제어신호이다.

2) 광버퍼부 제어

스위칭 시스템에 입력되는 두 개 채널의 패킷들이 같은 출력 주소를 갖게 되면 패킷간의 충돌이 발생된다. 그리고 광버퍼내에 이미 지연되고 있는 패킷이 있을 경우 뒤따라 입력되는 패킷에 의해 패킷간의 충돌

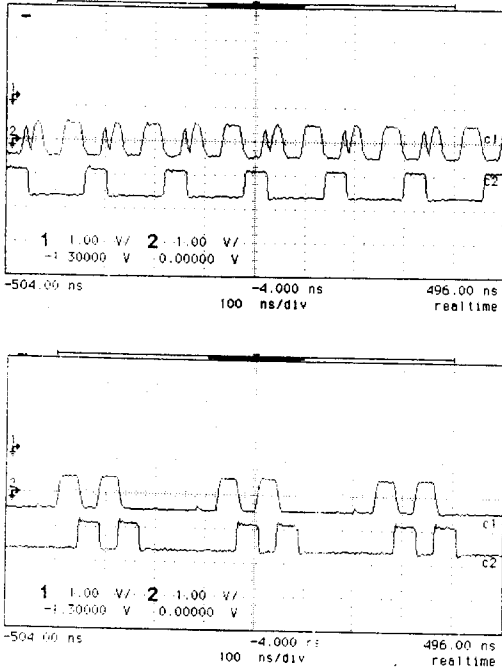


그림 8. 입력되는 패킷에 따른 패킷 라우팅부 제어 신호
 Fig. 8. Packet router control signal with input packets.

이 발생하므로 광버퍼를 통하여 이러한 충돌을 해결해야 한다.

본 논문에서는 travelling 형태의 광버퍼를 이용하여 패킷간의 충돌을 해결하였다. 광버퍼 제어 방식에는 고정 우선 순위 방식(fixed priority method)을 사용하였다. 즉 1번으로 입력되는 패킷은 지연없이 전송하고 2번으로 입력되는 패킷은 2T의 지연을 시킨 후 전송하는 방식이다. 3개의 패킷들이 각 채널로 동시에 입력될 때 0T에서 6T까지의 지연을 줌으로써 패킷간의 충돌을 해결할 수 있다. 본 연구에서는 패킷의 주소와 광버퍼내의 패킷 유무를 인식하여 광버퍼를 제어하였다. 광 버퍼내의 패킷 유무는 광 버퍼의 상태를 나타내는 신호(버퍼내에 패킷이 있으면 '1', 없으면 '0')를 발생시켜 다음 패킷이 들어올 때까지 그 신호를 지연시켜 입력 패킷들의 출력 주소와 지연된 신호를 비교하여 버퍼 제어 신호를 발생시킨다.

출력 주소 '1'을 갖는 두 채널의 광 패킷이 스위칭 시스템으로 동시에 입력될 경우 출력 2에서 충돌이 발생한다. 따라서 출력 2의 광버퍼를 동작시켜 충돌을

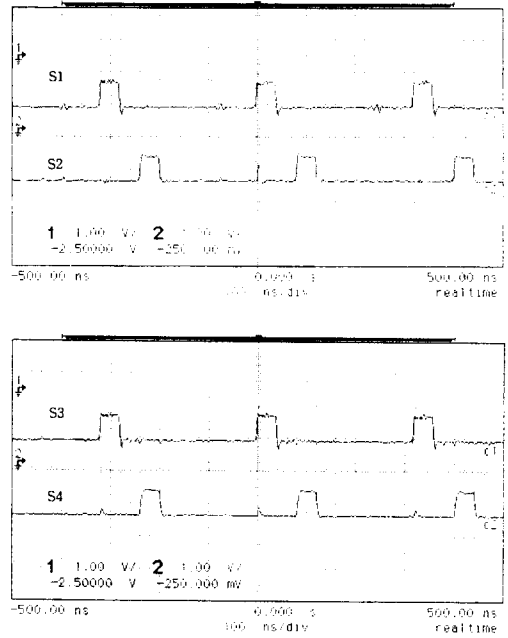


그림 9. 출력 2의 광버퍼 구동 신호
 Fig. 9. Optical buffer control signal at output 2.

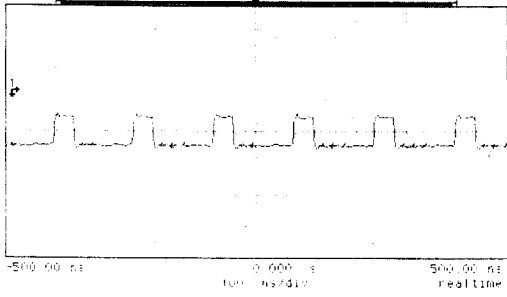
해결한다. 그림 9는 출력 2의 광버퍼로 인가되는 스위치 구동 신호이다.

3. 패킷 라우팅부 및 광버퍼부 구성

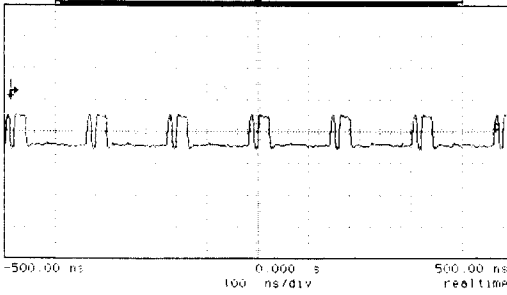
패킷 라우팅부와 광버퍼부는 2×2 스위치와 광섬유 지연선을 이용하여 구성하였다. 구현한 광 패킷 스위칭 시스템이 2×2이므로 패킷 라우팅부에는 하나의 스위치만을 사용하였다. 2×2 단위 스위치는 2×2 LiNbO₃ interferometric 스위치를 사용하였다. 광버퍼는 2개의 단위 스위치와 커플러, 광섬유 지연선을 사용하여 구성하였다. 사용한 광버퍼는 전송한 바와 같이 travelling 형태로써 입력되는 패킷을 6T까지 지연시킬 수 있다. 광섬유 지연선의 길이는 각각 패킷 길이의 정수배 즉, 2T와 4T 만큼을 지연시킬 수 있도록 설계하였다. 광버퍼 출력은 2개의 커플러를 거쳐 출력된다.

4. 패킷 라우팅(Packet Routing)

스위칭 시스템 입력부의 10 : 90 커플러에서 전력 분배된 광 패킷은 광섬유 지연선을 거쳐 패킷 라우팅부로 입력된다. 구현한 2×2 스위칭 시스템에서 각 채널의 패킷 라우팅부는 하나의 2×2 광 스위치로 구성된다. 광 스위치에 입력되는 광 신호는 패킷 라우팅



(a)



(b)

그림 10. 수신된 라우팅된 패킷 (a) 출력 1 (b) 출력 2
Fig. 10. Routed packets (a) output 1 (b) output 2.

제어부에서 동시에 입력되는 제어신호에 따라 출력 1 또는 출력 2로 라우팅된다.

그림 10은 출력 주소 '0'과 '1'을 번갈아 갖는 패킷이 구현한 스위칭 시스템에 입력되었을 경우 출력 1과 출력 2에서 수신된 패킷 신호이다. 그림 10(a)는 출력 1에서 수신된 패킷 신호로써 출력 주소 '0'을 갖는 패킷들만이 수신되었다. 그리고 그림 10(b)는 출력 2에서 수신된 패킷 신호로써 출력 주소 '1'을 갖는 패킷들만이 수신되었다. 이를 통해 스위칭 시스템에 인가된 패킷들은 출력 주소에 따라 각각의 출력부로 라우팅됨을 알 수 있다.

5. 출력 충돌 제어(Output Contention Resolution)

전술한 바와 같이 두번째 형태의 패킷 신호가 각 채널로 입력되면 출력 단에서 패킷간의 충돌이 발생하게 된다. 광버퍼부에서는 광버퍼 제어부에서 발생된 제어신호에 따라 패킷들을 지연시킴으로써 패킷간의 충돌을 해결한다. 이에 따라 2T에서 4T까지 지연된 패킷들은 충돌 없이 50 : 50 커플러에서 T의 간격을 가지고 결합된 후 출력 2로 전송된다.

그림 11은 출력 주소 '1'을 갖는 두채널의 패킷들이 시스템으로 동시에 입력되었을 때 출력 2에서 수신된 패킷 신호이다. 시스템에 입력되는 패킷들은 모두 출력 주소 '1'을 가지므로 광버퍼링을 거치지 않으면 출력부에서 패킷간의 충돌이 발생하게 된다. 따라서 전자 제어부에서 발생된 그림 9의 광버퍼 제어신호를 스위치에 인가시켜 패킷들을 지연시킴으로써 충돌을 해결한다. 그림 11은 같은 출력 주소를 갖는 패킷간의 충돌이 해결된 결과를 보이고 있으며 이를 통해 광 패킷 스위칭 시스템의 광버퍼링 기능을 실험적으로 구현하였다.

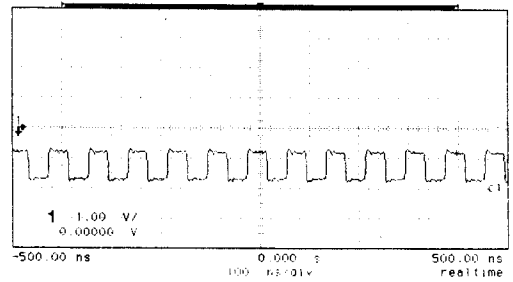


그림 11. 출력 2에서 수신된 버퍼링된 패킷 신호
Fig. 11. Contention resolved packets receiving at output 2.

구현한 광버퍼는 두 입력으로 각각 3개의 패킷이 동일한 출력 주소를 가지고 연속적으로 입력될 경우 버퍼링을 할 수 있다. 그러나 3개 이상의 패킷들이 입력될 경우 광버퍼내에서 패킷간의 충돌이 발생한다. 이러한 과도한 충돌현상은 지연부의 개수를 증가시키거나 광버퍼 입력부에 1×2 스위치를 연결하여 패킷을 선별적으로 드롭핑시킴으로써 해결할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 능동분파 구조의 패킷 라우팅부와 travelling 형태의 광버퍼를 갖는 N×N 광 패킷 스위칭 시스템의 구조를 제안하였다. 능동분파 구조는 출력 주소에 따른 자기-라우팅 기능과 스위치 동시제어 기능을 가지므로 고속의 스위칭이 가능하다.

제안한 구조를 구성하는 2×2 스위치에서 발생하는 누화과 광증폭기의 ASE 잡음을 고려하여 BER 결과식을 유도, 분석함으로써 스위칭 시스템의 성능을 평가하였다. 16×16 스위치에서 10⁻⁹의 BER을 얻기 위

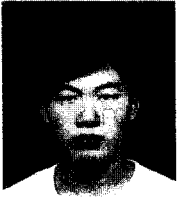
해서는 광증폭기 이득이 29 dB 이하여야 하며 입력 전력은 7 dBm 이상이어야 한다. 그리고 제안한 구조는 누화 잡음에 영향을 받지 않는다.

제안한 구조를 갖는 2×2 광 패킷 스위칭 시스템을 구현하였다. 2×2 광 패킷 스위칭 시스템은 2×2 스위치로 구성되는 패킷 라우팅부, 2×2 스위치와 커플러 그리고 광섬유 지연선으로 구성되는 광버퍼 그리고 패킷 라우팅부와 광버퍼부를 전기적으로 제어하는 전자 제어부로 구현된다. 구현한 시스템에서 패킷은 패킷 시작 비트, 출력 주소 비트 그리고 데이터 비트의 4 비트로 구성된다. 패킷 라우팅과 광버퍼링 기능 실험을 위한 두 가지 형태의 패킷을 발생시켰다. 출력 주소 '0'과 '1'을 번갈아 갖는 패킷 신호를 스위칭 시스템에 입력하여 전자 제어부에서 출력 주소를 인식하고 제어신호를 발생시켜 2×2 스위치를 구동함으로써 출력 주소에 따른 패킷 라우팅 기능을 실험적으로 검증하였다. 그리고 출력 주소 '1'을 갖는 패킷 신호를 두 개의 입력으로 동시에 인가시켜 광버퍼에서 2T, 4T의 지연을 시킴으로써 패킷간의 충돌을 해결하였다.

참 고 문 헌

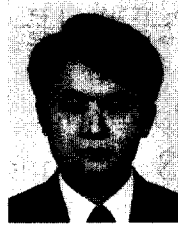
- [1] D. J. Blumenthal, et al., "Photonic Packet Switches : Architectures and Experimental Implementations," Proc. of the IEEE, vol. 82, no. 11, pp. 1650-1667, November 1994.
- [2] Piero Gambini, et al., "Photonic Packet Switching Based on Fiber Memories," 1996 International Topical Meeting on Photonics in Switching, vol. 1, pp. 2-3, April 1996.
- [3] J. E. Midwinter, et al., "Photonics in Switching II," Academic Press, Inc., 1993
- [4] "광교환 기술 선형 연구," ETRI, 1995. 12.
- [5] S. Kuroyanagi, et al., "A Photonic ATM Switching System Using Wavelength Routing Cell Selector and Optical Fiber Travelling-Type Buffer Memory," in Proc. Photon. Switching/European Conf. Optic. Commun., ECOC' 94, vol. 2, pp. 545-548.
- [6] Wen De Zhong, et al., "Terahipass : A Modular and Expandable Terabit/second Hierarchically Multiplexing Photonic ATM Switch Architecture," in Proc. Photon. Switching/European Conf. Optic. Comm., ECOC'94, vol. 2, pp. 541-544.
- [7] R. Langehorst, et al., "Fiber Loop Optical Buffer," IEEE Jour. of Lightwave Tech., vol. 14, no. 3, pp. 324-335, March 1996.
- [8] D. J. Blumenthal, et al., "Multihop 2×2 Photonic Packet Switch with Header Reinsertion," OFC '94 Technical digest, pp. 237-238.
- [9] Ryoza Kishimoto, et al., "Optical Self-Routing Switch Using Integrated Laser Diode Optical Switch," IEEE Jour. on Selected Area in Comm, vol. 6, no 7, pp. 1248-1254, August 1988.
- [10] Ron A. Spanke, "Architectures for Guided-Wave Optical Space Switching Systems," IEEE Comm., Mag., vol. 25, no. 5, pp. 42-48, May 1987.
- [11] C. C. LU, et al., "The Double-Layer Network Architecture for Photonic Switching," IEEE Jour. of Lightwave Tech., vol. 12, no. 8, pp. 1482-1489, August 1994.
- [12] C.J. Smyth, "Nonblocking Photonic Switch Networks," IEEE Journal on Selected Area in Comm., vol. 6, no. 7, pp. 1052-1062, August 1988.
- [13] Y. D. Jin, et al., "Performance Degradation due to Crosstalk in Multiwavelength Optical Networks Using Dynamics Wavelength Routin," IEEE Photonics Tech. Lett., vol. 7, no. 10, pp. 1210-1212, October 1995.
- [14] 이기철, 이성철, 이상록, 이강호, 박진우, "출력 버퍼 메모리를 갖는 광 패킷 교환 시스템의 성능 평가," 한국통신 학회 하계학술발표회 논문집, vol. 15, no. 1, pp. 307-310, 1996. 7
- [15] 이기철, 이성철, 이상록, 이강호, 박진우, "광버퍼를 갖는 2×2 광 패킷 스위칭 시스템의 구현," 1996 Photonics Conference, pp. 141-142, 1996. 11

— 저 자 소 개 —



李 基 喆(正會員)

1995년 2월 고려대학교 전자공학과 학사. 1997년 2월 고려대학교 전자공학과 석사. 1997년 3월 ~ 현재 고려대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 광고환 시스템, 광 교환 소자 등



李 成 鐵(正會員)

1994년 2월 고려대학교 전자공학과 학사. 1996년 2월 고려대학교 전자공학과 석사. 1996년 3월 ~ 현재 고려대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 광고환, 광전송망 등

李 誠 根(正會員)

1997년 항공대학교 전자공학과 학사. 1987년 벨기에 브뤼셀대학교 전자공학과 석사. 1997년 2월 고려대학교 전자공학과 박사. 1980년 ~ 1984년 한국전자통신연구소 연구원. 1986년 ~ 1987년 벨기에 BTM사 연구원. 1984년 ~ 현재 한국통신 연구개발 본부 책임연구원



鄭 智 采(正會員)

1980년 고려대학교 전자공학과 학사. 1982년 한국과학기술원 석사. 1988년 카네기 멜론 대학교 박사. 1995년 3월 ~ 현재 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수

姜 哲 熙(正會員)

1975년 와세다 대학 전자통신학과 학사. 1977년 와세다 대학 전자통신학과 석사. 1980년 와세다 대학 전자통신학과 박사. 1980년 8월 ~ 1994년 한국전자통신연구소 연구실장, 연구부장, 연구단장. 1995년 3월 ~ 현재 고려대학교 전기전자전파공학부 정교수

朴 鎭 雨(正會員) 第 33卷 A編 第 2號

1979년 고려대학교 전자공학과 학사. 1983년 클렘슨 대학교 전기 전자공학과 석사. 1987년 11월 버지니아 주립공과대학교 전기 및 전자공학과 박사. 1989년 3월 ~ 현재 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수. 주관심분야는 광전송망, 광 교환, 통신 시스템 등