

## MZI를 이용한 전광 직렬-병렬 데이터 형식 변환기 구현과 활용 방안

이 성 철\*

### *Implementation of All-Optical Serial-Parallel Data Converters Using Mach-Zehnder Interferometers and Applications*

Lee, Sung Chul

#### 〈Abstract〉

All-optical signal processing is expected to offer advantages in speed and power consumption against over electronics signal processing. It has a potential to solve the bottleneck issues of ultra-high speed communication network nodes. All-optical serial-to-parallel and parallel-to-serial data converters would make it possible to easily process the serial data information of a high-speed optical packet without optical-to-electronic-to-optical data conversion.

In this paper, we explain the principle of simple and easily expandable all-optical serial-to-parallel and parallel-to-serial data converters based on Mach-Zehnder interferometers. We experimentally demonstrate these data converters at 10Gbit/s serial data rate. They are useful all-optical devices for the all-optical implementations of label decoding, self-routing, control of variable packets, bit-wise logical operation, and data format conversion.

Key Words : All-Optical, Serial-to-Parallel, Parallel-to-Serial, Data Converter, MZI

## I. 서론

유·무선 인터넷을 이용한 멀티미디어 서비스에 대한 사용자들의 수요가 급격히 증가함에 따라 초고속 및 대용량의 데이터를 처리할 수 있는 광통신망의 구축이 절실히 필요하며 국내외에서 연구가 활발히 진행되어왔다 [1-3]. 그리고 광통신망의 각 노드에서 대용량의 데이터를 처리하기 위해 전기적인 처리 방식의 속도한계를 극복할 수 있는 전광 신호처리 기술의 사용에 많은 관심이

모아지고 있다. 특히, 광통신망에서 광 신호를 전기적인 신호로 변환하지 않고 광신호 형태에서 고속으로 처리하기 위해 데이터 형식 변환, 다중화, 역다중화, 헤더 처리 그리고 논리 연산 등의 신호처리를 수행하는 전광 신호 처리기의 구현이 요구된다[4-6].

전광 신호처리기들 중 전광 (all optical) 데이터 형식 변환에 대한 연구로는 파장분할 다중화 (WDM : Wavelength Division Multiplexing)된 데이터 형식에서 시분할 다중화 (TDM : Time Division Multiplexing)된 데이터 형식으로의 변환과 역 변환, NRZ (Non-Return

\* 명지전문대학 정보통신과 부교수

to Zero) 데이터 형식에서 RZ (Return to Zero) 데이터 형식으로의 변환과 역 변환, 데이터 속도 또는 클럭 속도 변환, 그리고 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로의 변환 또는 역 변환에 대한 연구 결과들이 발표되었다. WDM-TDM 데이터 형식 변환에 대한 연구로 SOA(Semiconductor Optical Amplifier)의 XGM(Cross Gain Modulation) 현상을 이용하여 700 Mbit/s와 2 Gbit/s의 TDM 데이터 속도에서 낮은 데이터 속도의 여러 채널의 WDM 데이터로 변환한 실험 결과가 발표되었으며[7-8], NOLM(Nonlinear Optical Loop Mirror)을 이용하여 100 Gbit/s 및 33 Gbit/s의 WDM-TDM 데이터 변환 실험 결과도 발표되었다[5-6]. NRZ 데이터에서 inverted-RZ 데이터로의 변환과 RZ 데이터에서 NRZ 데이터로의 변환이 SLALOM/TOAD 구조를 사용하여 각각 2 Gbit/s와 10 Gbit/s의 데이터 속도에서 실험이 이루어졌다[9-10]. 데이터 속도 변환 및 클럭 속도 변환에 대한 연구로 역다중화 방식이나 인버터 기능을 가진 쉬프트 레지스터를 이용한 클럭 분할 방식을 이용한 실험 결과들이 발표되었다[11-13].

직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로의 변환은 SIAM (Sagnac Interferometer Amplitude Modulator)을 이용하여 100 Gbit/s의 직렬 데이터에서 12.5 Gbit/s의 병렬 데이터로 변환하는 실험 결과가 발표되었다[14]. 또한 직렬 데이터의 시간적인 정보를 병렬 데이터에서 파장 정보로 변환하는 실험과 공간 정보로 변환하는 실험 결과도 발표되었다[15-17].

이러한 데이터 형식 변환을 위한 방법들에서도 주로 광섬유의 비선형 특성이나 SOA의 비선형 특성을 이용하고 있어 동작 속도와 집적화 특성 등이 절충되어야 한다. SIAM을 이용한 데이터 변환기의 경우, 완전한 전광 동작이 아니고, 광섬유만으로 간섭계를 구성하는 경우 집적화가 어렵다. 직렬 데이터의 시간 정보를 병렬 데이터의 공간 정보로 변환하는 경우 각 비트를 별개로 정보처리에 이용해야 하는 경우에 부적합하다. MZI를 이용하는 변환기의 경우 집적화에 유리하고 병렬 데이터에서

비트 단위의 정보처리가 가능하다.

본 논문에서 광 통신망에서 전광 신호처리기를 구현하는데 핵심적인 역할을 담당할 기본 논리 소자로서 비트 단위의 연산 처리, 데이터 형식 변환, WDM-TDM 데이터 형식 변환, 다중화 및 역 다중화, 패킷 헤더 처리 등에 사용될 수 있는 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터로 또는 병렬 데이터 형식에서 직렬 데이터 형식으로 변환하는 변환기의 원리를 설명하였다. 그리고 이 데이터 형식 변환기들을 MZI를 이용하여 구현하였으며 10Gbit/s 직렬 데이터를 사용하여 데이터 변환 동작을 실험으로 입증하였다. 그리고 이러한 기능소자들을 전광신호처리 노드의 구현에 활용할 수 있는 방안을 설명하였다.

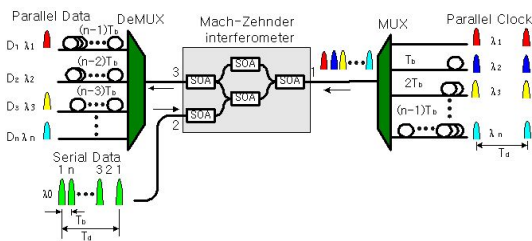
## II. 직렬-병렬 데이터 형식 변환기 구조와 동작원리

그림 1의 MZI를 이용한 전광 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로 변환하는 변환기의 구조는 WDM 다중화기, 역다중화기, SOA를 사용한 MZI, 그리고 광섬유 지연선으로 구성된다.

동작 원리는 다음과 같다. MZI의 오른쪽 포트로 입력되는 신호는 MZI 내부의 위와 아래 경로로 나뉘어 진행된다. 제어신호가 없는 경우 상하의 경로로 진행되는 신호가 왼쪽의 출력포트에서 상쇄간섭에 의해 신호가 출력되지 않도록 MZI의 위와 아래 경로의 SOA 전류를 조절하여 바이어스를 맞춘다. 제어 신호가 있을 경우 제어 신호가 SOA를 통과하면서 이득압축현상을 일으키며 이득 압축이 되면서 캐리어 밀도가 줄어들고 이는 SOA의 밀도변화를 가져온다. 따라서 이득이 압축되어 있는 동안에 오른쪽에서 입력된 신호가 SOA를 통과하면 SOA의 이득이 압축되어 있지 않은 경우에 비하여 위상변화가 발생된다. 이 위상 변화가  $\pi$ 가되면 왼쪽 출력포트에서 보강간섭에 의하여 신호가 출력된다.

입력되는 직렬 데이터와 병렬 클럭신호는 속도가 각

각  $R(=1/T_b)$  bit/s,  $R/n(=1/T_d)$  bit/s이고 펄스 폭은 같다. 각 병렬데이터 클럭신호 펄스는 WDM MUX의 출력에서 직렬 데이터 클럭신호의 형태로 정렬될 수 있도록  $T_b$ 의 정수배로 지연되며 각각의 파장은 서로 다르다. 그 후 각 클럭 펄스는 파장분할 다중화된다. 파장분할 다중화된 클럭 펄스들은 일렬로 정렬되어 MZI로 입력된다. 각 펄스들은 MZI에서 위쪽 경로로 진행되는 펄스와 아래쪽 경로로 진행되는 두 개의 펄스들을 만든다. 직렬 데이터 펄스는 왼쪽의 제어신호 입력을 위한 MZI 포트에 입력되어 제어신호로 동작한다. 제어 신호에 의해 SOA의 이득이 포화되어 있는 동안에 아래 경로로 클럭 신호가 통과하도록 두 신호간의 시간 동기를 맞춘다. 그러면 직렬 신호의 비트 패턴에 맞는 클럭 신호가 병렬 출력포트로 출력된다. 이때 WDM DeMUX (demultiplexer)를 통하여 각 병렬 데이터가 분리되며 적절한 시간 지연을 통하여 동시에 출력된다.

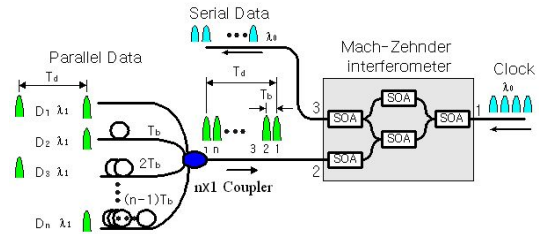


<그림 1> 전광 직렬에서 병렬로 데이터 형식 변환기 원리

그림 2는 MZI를 이용한 전광 병렬에서 직렬 데이터 변환기 구조이다. 이 구조는 한 개의  $n \times 1$  커플러, 그리고 SOA를 사용한 MZI 하나로 구성된다. 동작원리는 전광 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로 변환하는 변환기의 경우와 유사하다.

병렬 데이터는 MZI의 제어 신호 입력을 위한 왼쪽 포트에 입력된다. 여기서 병렬 데이터 속도가  $R/n(=1/T_d)$  bit/s 이면 직렬 데이터 속도는  $R(=1/T_b)$  bit/s 이고 파장변환을 위해 cw probe 신호 또는 클럭 신호를 사용한다. 병렬 입력 데이터 펄스들은  $n \times 1$  커플러로 입력

되며 각 펄스들은  $T_b$ 의 정수배로 지연되어 데이터 펄스들은 일렬로 정렬된다. 병렬 데이터에 의해 MZI의 아래쪽 경로의 SOA의 이득이 압축되어 있는 동안에 아래 경로를 지나는 probe 신호의 위상변화가  $\pi$ 가 되면 이 부분의 probe 신호는 직렬 데이터 형태로 되어 출력된다. 병렬 데이터와 probe 신호의 진행 방향이 반대이므로 광 필터 없이 직렬 데이터가 출력된다. 그리고 같은 파장의 병렬 데이터 대신에 다른 파장의 병렬 데이터를 사용하는 것이 가능하다. 이 경우에  $n \times 1$  광대역 커플러 대신에 WDM 다중화기를 사용할 수 있다.



<그림 2> 전광 병렬에서 직렬로 데이터 형식 변환기 원리

### III. 활용 방안

본 절에서는 앞에서 설명된 전광 직렬-병렬 데이터 형식 변환기가 광통신망의 노드에서 광 패킷 스위칭을 위해 활용될 수 있는 몇 가지 기존 연구 결과를 설명하고 향후 더 활용될 수 있는 방안에 대하여 설명한다.

현재의 기술로는 광 신호를 빛의 형태로 통신 시스템 속에 정지 상태로 저장할 수 없다는 점에서 구현에 제한이 있는 광 메모리를 전기적인 RAM과 전광 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로 변환하는 데이터 형식 변환기 및 전광 병렬 데이터 형식에서 직렬 데이터 형식으로 변환하는 데이터 형식 변환기를 결합하여 광 RAM을 구현하였다[18].

패킷 레이블의 직렬 데이터를 전광 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로 변환하는 데이터 형식 변환

기를 사용하여 병렬 형식의 데이터로 변환한 후 1x4 라우팅 스위치를 제어할 수 있는 신호를 생성하였다[19].

노드에서 초고속의 광 신호를 병목현상 없이 처리하기 위해 제어에 필요한 최소한의 헤더 정보만을 뽑아 라우팅 등의 제어에 활용해야 하므로 입력되는 광 신호에서 전광 신호처리를 통해 필요한 제어신호를 분리해야 한다. 그 후 초고속의 제어신호를 직접 사용하여 각종 신호처리를 하기에 무리가 있으므로 전광 직렬 데이터 형식에서 병렬 데이터 형식으로 변환하는 데이터 형식 변환기를 사용하여 병렬 데이터 형식으로 변환하는 것이 유리하다.

변경되는 제어 정보들이 있는 경우 패킷이 라우팅 되기 전에 헤더에 다시 삽입해야 하는데 이때 제어 정보들을 병렬 데이터 형식으로 생성하여 이를 직렬 데이터 형식으로 만들기 위해 전광 병렬 데이터 형식에서 직렬 데이터 형식으로 변환하는 데이터 형식 변환기를 사용할 수 있다.

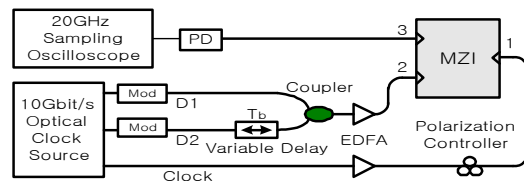
그리고 향후 가변 길이의 패킷 또는 고정 길이의 패킷들을 전기적인 신호로 변환하지 않고 초고속으로 처리하기 위한 제어 신호를 만드는 데도 이러한 전광 데이터 형식 변환기는 핵심 전광 신호처리기로 필요하다.

패킷을 라우팅하기 위한 신호는 헤더 정보를 뽑아내는 경우와 달리 광 스위치의 제어신호가 패킷 신호의 길이만큼 길어도 스위칭이 가능하므로 반드시 전광 스위칭이 아닌 전기적인 제어와 광 스위치가 결합된 형태로 활용도 가능하다.

#### IV. 실험 및 결과

MZI를 이용하여 5 Gbit/s의 전광 병렬 데이터를 10 Gbit/s의 직렬 데이터로 변환하는 실험을 하였으며 그림 3은 실험 구성도를 나타낸다. MZI로 Alcatel 1901 ICM을 사용하였고, 광섬유 모드록 레이저를 이용하여 평균 광 전력 -10 dBm의 펄스 폭 20 ps의 펄스를 이용하였다.

만들어진 데이터 패턴  $D_1$ 과  $D_2$ 는  $D_1$ 을 한 비트 주기만큼 지연시킨 후 결합하여 제어신호로 ICM에 입력되었다. 직렬 데이터로 변환될 직렬 클럭 펄스는 10 GHz의 광 신호를 사용하였으며 편광 조절기로 편광 상태를 맞추었다. 직렬 데이터로 변환된 출력 광 신호는 40 GHz까지 측정 가능한 오실로스코프로 측정되었다. 광섬유 모드록 레이저의 출력 광신호의 파장은 1548 nm이다.



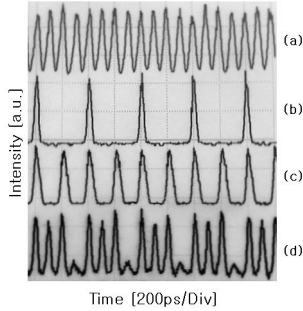
- EDFA : erbium doped fiber amplifier
- PD : photo detector
- Mod : LiNbO<sub>3</sub> modulator
- MZI : Mach-Zehnder interferometer

<그림 3> MZI를 이용한 5Gbit/s의 병렬데이터에서 10Gbit/s의 직렬데이터로 데이터 형식 변환 실험 구성도

먼저 클럭 입력 광신호가 MZI의 위와 아래 경로에서의 위상변화의 차이가  $\pi$ 가 되어 출력 광신호가 최소가 되도록 MZI의 내부 SOA에 인가되는 ICM의 전류  $I_1, I_2, I_3, I_4$ 를 각각 84 mA, 132 mA, 91 mA, 43 mA로 맞추었다. 그 후 데이터  $D_1$ 과  $D_2$ 가 결합되어 만들어진 제어신호가 인가되어 아래 경로에서  $\pi$ 의 위상 변화를 일으키도록 EDFA를 사용하여 제어신호를 증폭하고 ICM의 전류  $I_5$ 를 조절하였다. 이때 사용된 전류  $I_5$ 는 38 mA이다. ICM에 입력되는 제어신호의 평균 광 전력은 5.3 dBm 이었고 이때 출력되는 직렬 데이터의 측정된 평균 광 전력은 3.0 dBm이었다.

그림 4는 전광 병렬에서 직렬로의 데이터 형식 변환 실험의 측정된 데이터를 보이고 있다. 그림 4의 (a)의 파형은 입력되는 10GHz의 직렬 클럭 신호이고, (b)의 파형은 '10101010...' 데이터 패턴의 입력되는 5 Gbit/s의 병렬 데이터  $D_1$ , (c)의 파형은 '11111111...' 데이터 패턴의

입력되는 5 Gbit/s의 병렬 데이터  $D_2$  그리고 (d)의 파형은 '11101110...' 데이터 패턴의 변환된 10 Gbit/s의 직렬 데이터를 나타낸다.

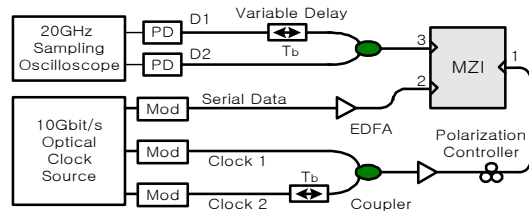


<그림 4> 병렬에서 직렬로 데이터 형식 변환 실험 결과

그림 5는 10 Gbit/s의 직렬 데이터를 두 개의 5 Gbit/s의 병렬데이터로 변환하는 MZI를 이용한 전광 직렬-병렬 데이터 형식 변환 실험 구성도이다. 실험에서 사용된 각 소자들은 전광 병렬-직렬 데이터 형식 변환 실험에서와 같으며 같은 파장의 데이터를 사용하므로 두 개의 데이터를 한꺼번에 분리하는 실험 대신 각각의 병렬 클럭 신호를 하나씩 인가하고 병렬데이터를 하나씩 측정하는 실험 진행을 하였다. 이것은 병렬 클럭 신호를 서로 다른 파장을 사용하면 해결되는 것으로 낮은 데이터 속도에서의 실험에서 입증하였다.

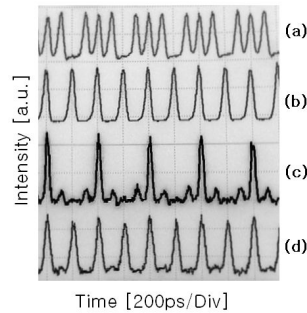
그림 6은 MZI를 이용한 전광 직렬에서 병렬로의 데이터 형식 변환 실험 결과로써 (a)는 '11101110...'의 데이터 패턴을 갖는 10 Gbit/s의 입력되는 직렬 데이터이고, (b)는 5 GHz의 병렬 클럭신호이고, (c)는 '10101010...'의 데이터 패턴을 갖는 변환된 5 Gbit/s의 병렬 데이터이고, (d)는 '11111111...'의 데이터 패턴을 갖는 변환된 5 Gbit/s의 병렬 데이터이다.

출력신호에서 데이터 '0'을 나타내는 부분에서 작은 피크신호를 볼 수 있으나 이것은 일정 광 전력 이하의 광 신호를 억제하는 소자를 사용하여 제거할 수 있다 [20].



EDFA : erbium doped fiber amplifier  
 PD : photo detector  
 Mod : LiNbO<sub>3</sub> modulator  
 MZI : Mach-Zehnder interferometer

<그림 5> MZI를 이용한 10Gbit/s의 직렬 데이터를 5Gbit/s의 병렬 데이터로 데이터 형식 변환 실험 구성도.



<그림 6> 직렬에서 병렬로 데이터 형식 변환 실험 결과

## V. 결론

본 논문에서는 MZI를 이용한 전광 직렬-병렬 데이터 형식 변환기 구조의 동작원리를 설명하였고, 이 데이터 형식 변환기 구조를 MZI를 이용하여 구현하였으며 10Gbit/s 직렬 데이터를 사용하여 데이터 변환 동작을 실험으로 입증하였다. 그리고 이러한 기능소자들을 전광 신호처리 노드의 구현에 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

이들 구조들은 간단하고 확장이 쉽고 효율적으로 동작하며 쉽게 구현될 수 있고, SOA를 사용하지 않고 광 섬유로만 루프를 구성하는 경우에 비하여 전파 지연시간

이 짧고 요구되는 제어 신호의 파워가 낮은 장점이 있다.

전광 직렬-병렬 데이터 형식 변환기는 전광 컴퓨터에서 주변 장치와의 인터페이스에 적용될 수 있으며, 시분할 다중화된 신호를 역다중화시키거나 시분할 다중화시키는데 사용될 수 있고, 전광 가산기에서 데이터를 비트 단위로 처리하는데 사용될 수 있으며, WDM-TDM 변환에도 이용이 가능하다. 특히 패킷 헤더 처리에 있어서 초고속의 광 신호를 처리하기에 용이한 저속의 병렬 데이터로 변환하고, 저속의 병렬 데이터로 만든 헤더 신호를 다시 초고속의 직렬 데이터로 만들어 삽입하며, 라우팅에 필요한 제어 신호를 만들기 위해 비트 단위의 연산이 필요한 경우 등에 유용하게 활용될 수 있다.

## 참고문헌

- [1] R. E. Wagner, et al., "MONET: multiwavelength optical networking," J. Lightwave Technol., vol. 14, no. 6, June 1996, pp. 1349-1355.
- [2] S. W. Seo, et al., "Transparent optical networks with time-division multiplexing," J. Selected Areas in Comm., vol. 14, no. 5, June 1996, pp. 1039-1051.
- [3] K. Sasayama, Y. Yamada, K. Habara, and K. Yukimatsu, "FRONTIERNET: frequency-routing-type time-division interconnection network," J. Lightwave Technol., vol. 15, no. 3, March 1997, pp. 417-429.
- [4] S. H. Song and E. H. Lee, "Parallel detection of WDM packet addresses by using three-dimensional planar integrated optics," IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 9, no. 1, January 1997, pp. 112-114.
- [5] K. Uchiyama, H. Takara, T. Morioka, S. Kawanishi, and M. Saruwatari, "100Gbit/s multiple-channel output all-optical demultiplexing based on TDM-WDM conversion in a nonlinear optical loop mirror," Electron. Lett., vol. 32, no. 21, October 1996, pp. 1989-1991.
- [6] M. R. Daza, H. F. Liu, M. Tsuchiya, Y. Ogawa, and T. Kamiya, "All-optical WDM-to-TDM conversion with total capacity of 33 Gb/s for WDM network links," J. Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 3, no. 5, October 1997, pp. 1287-1294.
- [7] J. P. R. Lacey, M. V. Chan, R. S. Tucker, A. J. Lowery, and M. A. Summerfield, "All-optical WDM to TDM transmultiplexer," Electron. Lett., vol. 30, no. 19, September 1994, pp. 1612-1613.
- [8] D. Norte and A. E. Willner, "All-optical data format conversions and reconversions between the wavelength and time domains for dynamically reconfigurable WDM networks," J. Lightwave Technol., vol. 14, no. 6, June 1996, pp. 1170-1182.
- [9] Hyuek Jae Lee, Kwangjoon Kim, Jee Yon Choi, Hae Geun Kim, and Chu Hwan Yim, "All-optical NRZ-to-inverted-RZ converter with extinction ratio enhancement using a modified terahertz optical asymmetric demultiplexer," IEICE Trans. Commun., vol. E82-B, no. 2, February 1999, pp. 387-389.
- [10] Hyuek Jae Lee, S. J. B. Yoo, and Chang Soo Park, "Novel all-optical 10 Gbps RZ-to-NRZ conversion using SOA-loop-mirror," in Optical Fiber Communication Conference 2001, MB7-1, March 2001.
- [11] R. J. Manning, A. J. Poustie, and K. J. Blow, "All-optical clock division using a semiconductor optical amplifier loop mirror with feedback," Electron. Lett., vol. 32, no. 16, August 1996, pp.

- 1504-1506.
- [12] S. Nakamura, Y. Ueno, K. Tajima, J. Sasaki, T. Sugimoto, T. Kato, T. Shimoda, M. Itoh, H. Hatakeyama, T. Tamanuki, and T. Sasaki, "168 Gbps error-free demultiplexing with hybrid-integrated symmetric Mach-Zehnder all-optical switch," in Optical Fiber Communication Conference 2000, ThF3-1, 2000.
- [13] Hyuek Jae Lee and Hae Geun Kim, "Polarization-independent all-optical clock division using a semiconductor optical amplifier/grating filter switch," IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 11, no. 4, April 1999, pp. 469-471.
- [14] M. L. Dennis, W. K. Burns, T. F. Carruthers, W. I. Kaechele, and I. N. Duling, III, "Photonic 100 Gb/s serial-to-parallel converter," in Optical Fiber Communication Conference 2000, paper ThV1, 2000.
- [15] N. Calabretta, M. Presi, G. Contestabile, and E. Ciaramella, "All-Optical asynchronous serial-to-parallel converter circuit for DPSK optical packets," IEEE Photon. Lett., vol. 19, no. 10, May 15, 2007, pp. 783-785.
- [16] R. Takahashi, T. Yasui, J. K. Seo, and H. Suzuki, "Ultrafast all-optical serial-to-parallel converters based on spin-polarized surface-normal optical switches," IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 13, no. 1, Jan. /Feb. 2007, pp. 92-103.
- [17] R. Takahashi and H. Suzuki, "1-Tb/s 16-b all-optical serial-to-parallel conversion using a surface-reflection optical switch," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 15, no. 2, Feb. 2003, pp. 287-289.
- [18] R. Takahashi, T. Nakahara, K. Takahata, H. Takenouchi, T. Yasui, N. Kondo, and H. Suzuki, "Photonic Random Access Memory for 40-Gb/s 16-b Burst Optical Packets," IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 16, no. 4, April 2004, pp. 1185-1187.
- [19] Ryo Takahashi, Tatsushi Nakahara, Hirokazu Takenouchi, and Hiroyuki Suzuki, "40-Gbit/s Label Recognition and 1×4 Self-Routing Using Self-Serial-to-Parallel Conversion," IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 16, no. 2, February 2004, pp. 692-694.
- [20] A. J. Poustie, K. J. Blow, A. E. Kelly, and R. J. Manning, "Temporal evolution of amplitude restoration and thresholding in an all-optical regeneration memory," J. Modern Opt., vol. 46, no. 8, 1999, pp. 1251-1254.

■ 저자소개 ■



이 성 철  
Lee, Sung Chul

2002년 9월~현재  
명지전문대학 정보통신과 부교수  
2002년 8월 고려대학교 전자공학과 (공학박사)  
1996년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
1994년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 광통신, 네트워크 보안  
E-mail : sclee@mail.mjc.ac.kr

논문접수일 : 2011년 5월 14일  
수 정 일 : 2011년 5월 28일(1차), 6월 8일(2차)  
계재확정일 : 2011년 6월 13일