《연구논문》 Korean Journal of Optics and Photonics, Volume 23, Number 4, August 2012
DOI: http://dx.doi.org/10.3807/KJOP.2012.23.4.143

반도체 광 증폭기를 이용한 전광 데이터 추출

이지석[1] · 정 미[1] · 이혁재[1] · 이택진[1] · 전영민[1] · 이 석[1] · 우덕하[1] · 이주한[2] · 김재헌[1†]

[1]한국과학기술연구원 센서시스템연구센터
㉾ 136-791 서울특별시 성북구 하월곡동 39-1

[2]서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과
㉾ 130-743 서울특별시 동대문구 시립대길 13

(2012년 7월 2일 받음, 2012년 7월 13일 수정본 받음, 2012년 7월 13일 게재 확정)

본 논문에서는 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier)의 교차 진폭 변조 현상을 이용하여 광 컴퓨팅이나 광통신에서 데이터의 패킷 교환, 데이터 리셋 혹은 추가나 제거에 필수적인 전광 데이터 추출을 시뮬레이션하고 실험적으로 구현하였다. 전광 데이터 추출의 실험적 시뮬레이션에는 상용 프로그램인 VPI Tool을 사용하였으며 기본적으로 두 개의 반도체 광 증폭기(SOA)를 사용하여 AND 논리를 구성한 후 이를 이용하여 데이터를 추출하였다. 또한 높은 집적성과 효율로 고속으로 연산할 수 있는 가능성을 확인하였다.

All-optical Data Extraction Based on Optical Logic Gates

Ji Sok Lee[1], Mi Jung[1], Hyuk Jae Lee[1], Taek Jin Lee[1], Young Min Jhon[1], Seok Lee[1], Deok Ha Woo[1], Ju Han Lee[2], and Jae Hun Kim[1†]

[1]*Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Hwarangno 14-gil 5, Seongbuk-gu, Seoul 136-791, Korea*
[2]*School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul, 13 Siripdae-gil, Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Korea*

(Received July 2, 2012; Revised manuscript July 13, 2012; Accepted July 13, 2012)

All-optical data extraction, one of the key technologies for all-optical computing and optical communication to perform add-drop, packet switching, and data reset, etc., is experimentally demonstrated by using cross-gain modulation (XGM) of semiconductor optical amplifiers (SOAs). Also, all-optical data extraction based on numerical simulation is performed by using the VPI simulation tool. In this paper, the suggested optical system based on SOAs shows the potential for high speed, and highly integrable and low power optical data computing.

Keywords: Cross gain modulation, Semiconductor optical amplifier, All-optical logic gate, Data extraction
OCIS codes: (060.4510) Optical communications; (190.4360) Nonlinear optics, devices; (200.4660) Optical logic; (230.3750) Optical logic devices

I. 서 론

현재 사용되고 있는 전자기반의 신호처리 시스템들은 계속적인 속도 및 용량 증가에 대한 요구사항이 높아짐에 따라 점차 처리 속도의 한계에 도달하고 있다. 이를 극복하기 위한 대안으로 전광 논리 기능을 이용한 광통신과 광 컴퓨팅이 제시되고 연구되고 있는 추세이다. 높은 집적도와 파장 독립성[1-4] 등의 이점을 가진 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier: SOA)는 이러한 수요를 충족시키기 위한 광소자 중 하나로서, 높은 잠재성을 가지고 있다. SOA의 비선형 특성인 교차 이득 변조(Cross-Gain Modulation:XGM)와 교차 위상 변조(Cross-Phase Modulation:XPM)는 AND, OR, NOR, XOR, XNOR 그리고 NAND 등의 전광 논리 회로의 구현에 널리 쓰이고 있다[4-9]. 그러나 개별 또는 복합 광논리 소자의 구현 등에는 많은 연구가 진행되었으나, 그 외의 시스템 및 응용 연구는 아직 구현되지 않거나 많이 미진한 경향을 보이고 있다. 그 예로 광통신과 광 컴퓨팅에는 패킷 스위칭, 데이터 리셋 등 많은 필수 기능들이 필요한데, 아직까

†E-mail: jaekim@kist.re.kr

지는 실제 시스템에 적용 가능한 기술들의 충분한 확보가 미흡한 실정이다[10-13]. 데이터 추출도 이러한 기술 중 하나로서 신호의 추가 및 제거에 반드시 필요하다.

본 논문에서는 SOA를 기반으로 하여 광통신 및 광컴퓨터에 필수적인 전광 데이터 추출 기술을 10 Gbps에서 성공적으로 구현하였다.

II. 동작 특성

기본적으로 전광 AND 논리소자를 기반으로 하는 전광 데이터 추출 기술의 동작 특성은 그림 1과 같이 표현된다. 높은 광세기를 가지는 펌프 신호가 SOA로 입사될 시, SOA는 운반자 고갈 (carrier depletion)현상에 의해 입사 신호로 들어오는 신호는 교차 이득 변조를 겪게 되는데, 본 실험에서는 이와 같은 원리를 이용한다. 원래 데이터 신호는 조사 신호로 쓰이고 추출하고자 하는 데이터의 위치를 지정하는 신호(이후 '추출 위치 신호'라 칭함)는 펌프 신호로 사용되어 SOA에 주입된다. 우선 추출하고자 하는 비트의 위치에 있는 신호를 '1'로 변환한 다음 16비트의 클락 신호와 함께 각각 펌프 신호 (SOA의 역 방향으로 입사)와 조사 신호 (SOA의 정 방향으로 입사)로 구분하여 SOA-1에 입사하게 된다. 그 결과, SOA의 XGM 현상 때문에, 원래 데이터 중에서 추출하고자 하는 위치의 신호들은 모두 '0'인 상태로 바뀌어 출력된다. SOA-1의 출력 신호는 추출 위치 신호가 '1'인 비트 외의 다른 비트들은 출력되기 전과 같은 상태로 남아 있게 되는데, 이러한 신호는 펌프 신호 형식으로 SOA-2로 입사되게 된다. 또한, SOA-2에 입사되는 데이터 신호는 SOA-1로 입사되는 원래 데이터 신호와 동일하다. 그 결과, 추출하고자 하는 데이터 신호는 펌프 신호가 모두 '0'이기 때문에 SOA를 지나며 단순히 증폭되며, 그 외 다른 신호들은 XGM 현상으로 인해 모두 '0'으로 바뀌게 된다. 따라서, SOA-2에서 나오는 결과값은 추출하고자 하는 데이터 신호와 동일하기 때문에, 기본적으로 전광 AND 논리에 의해 추출됨을 알 수 있다. 추출 위치 비트의 신호를 '1'로 변환하면 바로 해당되는 데이터를 추출할 수 있기 때문에, 데이터 비트의 수를 넘지 않는 한도에서 자유롭게 어떤 데이터든 추출할 수 있다는 것이 본 기술의 장점이다. 따라서, 광섬유 기반의 시스템과 비교하였을 때, 두 개의 SOA를 이용한 간단한 구조로 동작할 수 있고 빠른 속도로 동작할 수 있는 장점을 가지고 있다.

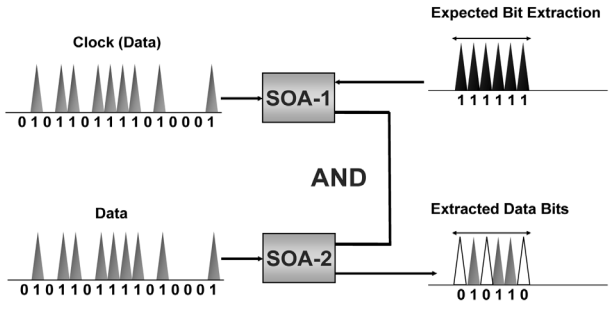

FIG. 1. Operation principle of all-optical data extraction.

III. 시뮬레이션 및 실험 결과

전광 데이터의 효과적 추출을 위해 우선, 'VPI Component Maker' 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 1의 실험 구성과 동일한 방식으로 시뮬레이션 되었으며, 시뮬레이션 결과는 그림 2와 같다. 그림 2 (a)에서 보여지듯이 [01101101011101]로 구성된 14비트 신호 A(데이터 신호)와 [111110000000000]의 14비트 신호 B(추출 위치 신호)는 SOA-1로 입사된다. SOA-1의 출력 신호는 신호 $A\overline{B}$, 그리고 SOA-2의 출력값은 광 AND 신호로 나타나고, 그림 2 (b)와 같이 [000001111111111]과 [011010000000000]의 패턴을 가지게 된다. SOA-2에서 출력되는 값은 출력하고자 하는 위치의 신호, 즉 데이터 신호의 처음 5개 비트와 같으므로, 전광 데이터 추출이 성공적으로 이루어 졌음을 알 수 있다.

전광 데이터 추출 시스템의 실험적 구성도는 그림 3과 같으며, 여기에서는 두 개의 SOA들을 사용하였다. 실험을 수행하기 위해 신호 A(데이터 신호)를 조사 신호로, 신호 B(추출 위치 신호)를 펌프신호로 사용하여 SOA-1에 입사시켰다. SOA-2에 입사되는 신호로는 신호 A가 데이터 신호로 동일하게 쓰이고 SOA-1의 출력 신호인 신호 $\overline{B}$가 펌프 신호로 사용되었다. SOA 내에서 충분한 이득 포화를 얻기 위해서 각각의 SOA에 입사되는 펌프 신호는 어븀 첨가 광섬유 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier:EDFA)에 의해 증폭되었다.

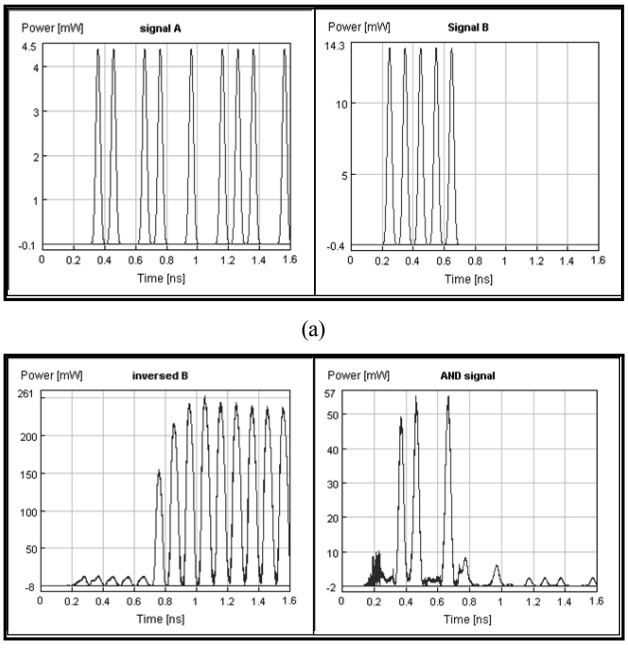

FIG. 2. Simulation results of an all-optical data extraction. (a) Input signals(data = A, expected bit extraction = B and Clock), (b) Output signals ($\overline{B}$ and extracted data bits).

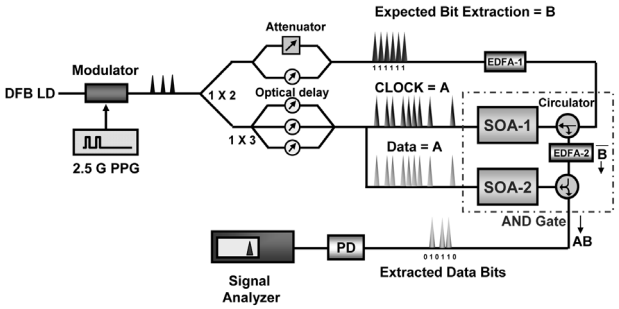

FIG. 3. Experimental setup for all-optical data extraction.

10 Gbps의 데이터 신호와 추출 신호를 얻기 위해, 분포 되먹임 (Distributed Feed-back:DFB) 레이저 다이오드와 2.5 Gbps 펄스 패턴 생성기(Pulse Pattern Generator:PPG)를 사용하여 광 변조기를 구성하였다. 데이터 신호 생성 과정은 DFB 다이오드와 PPG를 사용하는데, 일정한 비트 패턴을 입력함으로써 RZ신호 [1010100000000000]을 발생시키고 발생된 패턴 신호를 광 신호로 변환시키기 위해 DFB 다이오드를 이용하여 변조시키는 과정을 거친다. 데이터 신호와 기대하는 추출 신호는 각각의 과정이 필요하다. 추출 위치 신호를 생성하기 위해 [1010100000000000] 형식으로 생성된 패턴 신호를 1×2 분파기로 나누어 준다. 나뉘어진 한 신호는 1비트 지연시키고 광 감쇠기와 2×1 결합기로 각각 감쇠와 결합 과정을 거쳐 그림 4 (a)와 같이 16비트의 추출 위치 신호 [1111110000000000]를 생성하였다. 데이터 신호의 경우에는 1×3 분파기와 3×1 결합기, 세 개의 광 지연기와 광 감쇠기를 사용하여 5비트와 8비트 지연된 신호를 만든 뒤 더하여 16비트의 불규칙적인 데이터 신호 [0101101111010001]를 얻었다(그림 4.(b)).

신호 A [0101101111010001]와 신호 B [11111100000000] 는 각각 조사 신호와 펌프 신호 형식으로 SOA-1에 입사되었다. 입사 신호들은 그림 5 (첫째 열은 데이터 신호이고, 두 번째 열은 추출 위치 신호)와 같이 오실로스코프를 통해 확인되었다. SOA-1의 출력 신호로써 Boolean $A\overline{B}$를 얻게 되고 그 결과, 추출하고자 하는 비트가 모두 '0'으로 변환된 [0000001111010001]의 패턴을 얻었다. 신호 $A\overline{B}$ [0000001111010001]를 펌프 신호로 사용하고 신호 A[0101101111010001]는 조사 신호로 사용하여 SOA-2로 입사시킨 후 추출하고자 하는 비트의 위치에 있는 데이터의 정보값, 즉, 처음 입력 신호들의 AND 신호인 AB [0101100000000000]를 얻었다. 따라서, 데이터 추출 기술이 실험적으로 구현되는 것을 확인할 수 있었다(그림 5).

본 실험에서는 캐리어 회복 시간이 10 Gbps에 맞춰진 SOA들을 사용하였고 따라서 10Gbps 또는 그 이하의 동작 속도에 한정되어 있다. 하지만, SOA-MZI(Mach-Zehnder Interferometer), 긴 길이의 SOA 혹은 양자점 SOA[12-14] 등과 같은 소자들을 이용하여 보다 많은 캐리어를 확보하거나 캐리어 회복 시간을 단축시킴으로써, 100 Gbps 이상의 빠른 동작을 구현할 수 있다.

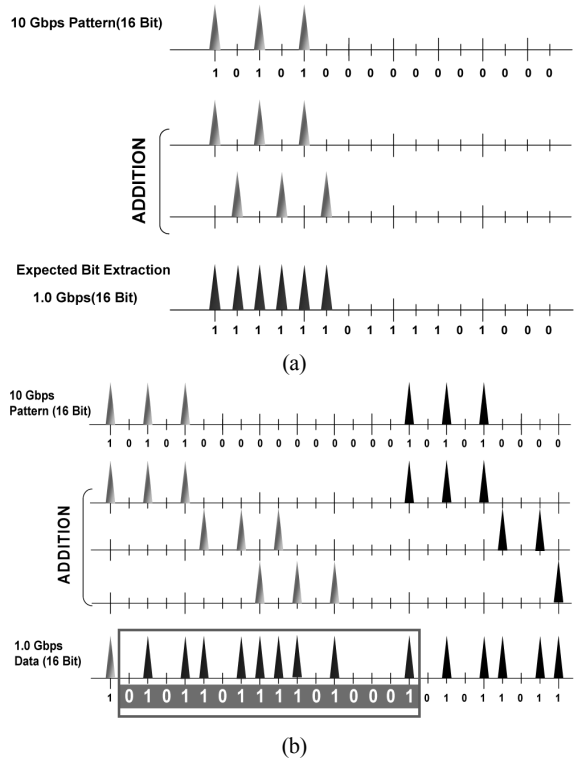

FIG. 4. Make input signals (a) expected bit extraction signal (b) Data signal.

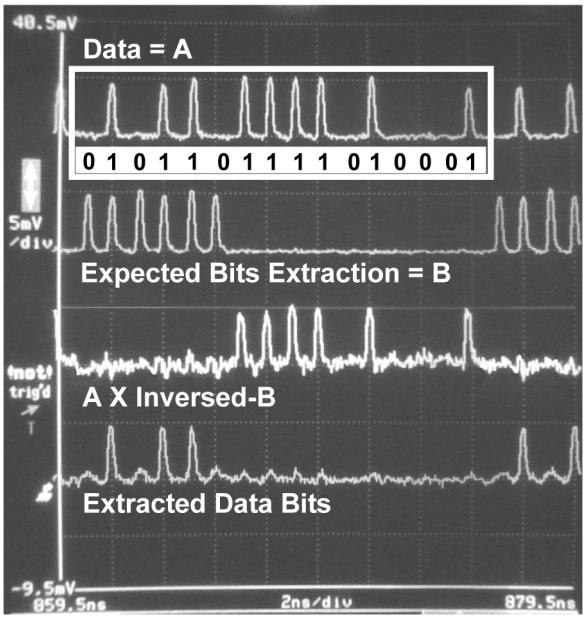

FIG. 5. Oscilloscope traces of experimental result.

IV. 결 론

본 논문에서는 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier)의 교차 이득 변조 현상을 이용하여 데이터 연산

처리에 필수적인 전광 데이터 추출을 시뮬레이션하고 실제로 구현하였다. 상용 프로그램인 VPI Tool을 사용하여 실험적인 시뮬레이션 결과를 도출하였고 두 개의 반도체 광 증폭기(SOA)를 사용하여 전광 데이터 추출을 구현하여 실험적으로 동작이 가능함을 확인하였다. 본 시스템은 추출 위치 비트의 신호를 '1'로 변환하면 바로 해당되는 데이터를 추출할 수 있기 때문에, 데이터 비트의 수를 넘지 않는 한도에서 자유롭게 어떤 데이터든 추출할 수 있다는 것이 장점이다. 따라서, 광섬유 기반의 시스템과 비교하였을 때, 두 개의 SOA를 이용한 간단한 구조로 동작할 수 있고 빠른 속도로 동작할 수 있는 장점을 가지고 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업 (2010-0020796), 미래유망 융합기술 파이오니어사업 (2012-0004799, 2010-0019313)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. M. J. Adams, D. A. O. Davies, M. C. Tatham, and M. A. Fisher, "Nonlinearities in semiconductor laser ampifiers," Opt. Quantum Electron. **27**, 1-13 (1995).
2. A. D. Ellis, D. M. Patrick, D. Flannery, R. J. Manning, D. A. O. Davies, and D. M. spirit, "Ultra-high-speed OTDM networks using semiconductor amplifier-based processing nodes," J. Lightwave Technol. **13**, 761-770 (1995).
3. D. Nesset, T. Kelly, and D. Marcenac, "All-optical wavelength conversion using SOA nonlinearities," IEEE. Comm. Magazine. **36**, 56-61 (1998).
4. S. H. Kim, J. H. Kim, B. G. Yu, Y. T. Byun, Y. M. Jeon, S. Lee, D. H. Woo, and S. H. Kim, "All-optical NAND gate using cross-gain modulation in semiconductor optical amplifiers," Electron. Lett. **41**, 1027-1028 (2005).
5. A. Sharaiha, J. Topomondzoa, and P. Morela, "All-optical logic AND-NOR gate with three inputs based on cross-gain modulation in a semiconductor optical amplifier," Opt. Commun. **265**, 322-325 (2006).
6. T. Fjelde, D. Wolfson, A. Kloch, B. Dagens, A. Coquelin, I. Guillemot, F. Gaborit, F. Poingt, and M. Renaud, "Demonstration of 20 Gbit/s all-optical logic XOR in integrated SOA-based interferometric wavelength converter," Electron. Lett. **36**, 22 (2000).
7. Q. Wanga, H. Donga, G. Zhua, H. Suna, J. Jaquesb, A. B. Piccirillib, and N. K. Dutta, "All-optical logic OR gate using SOA and delayed interferometer," Opt. Commun. **260**, 81-86 (2005).
8. L. Wang, M. Zhang, Y. P. Zhao, and P. D. Ye, "Performance analysis of the all-optical XOR gate using SOA-MZI with a differential modulation scheme," Microwave Opt. Technol. Lett. **40**, 173-177 (2004).
9. H. Sun, Q. Wang, H. Dong, and N. Dutta, "XOR performance of a quantum dot semiconductor optical amplifier based Mach-Zehnder interferometer," Opt. Express **13**, 1892-1899 (2005).
10. T. Papakyriakopoulos, K. Vlachos, A. Hatziefremidis, and H. Avramopoulos, "Optical clock repetition-rate multiplier for high-speed digital optical logic circuits," Opt. Lett. **24**, 717-719 (1999).
11. K. E. Stubkjaer, "Semiconductor Optical amplifier-based all-optical gates for high-speed optical processing," IEEE Quantum Electron. **6**, 1428-1435 (2000).
12. J. M. Martinez, F. Ramos, and L. Marti, "All-optical packet header processor based on cascaded SOA-MZIs," Electron. Lett. **40**, 894-895 (2004).
13. S. Nakamura, Y. Ueno, and K. Tajima, "168-Gb/s all-optical wavelength conversion with a symmetric-Mach-Zehnder-type switch," IEEE Photon. Technol. Lett. **13**, 1091 (2001).
14. T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen, S. L. Danielsen, and K. E. Stubkjaer, "All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers," J. Lightwave Technol. **14**, 945 (1996).