

광섬유 인터리버를 이용한 10-GHz 광 단측파대/양측파대 레이블 검출

학생회원 박 경 득*, 종신회원 신 중 덕*, 김 부 군*

Detection of 10-GHz Optical Single-/Double-Sideband Labels Using Fiber-Optic Interleavers

Kyoung-Deuk Park* *Student Member*, Jong-Dug Shin*, Boo-Gyoun Kim* *Lifelong Members*

요 약

광 부반송파 다중화 방식을 사용하는 광 레이블 교환망에서, 광섬유 마하-젠더 간섭계로 구성된 인터리버를 사용하여 광 레이블 신호를 검출하였다. 이중 전극 마하-젠더 광 변조기로부터 발생된 10-GHz 광 단측파대신호 또는 양측파대 신호를 광 부반송파 레이블로 사용하여 검출 실험을 수행하였다. 인터리버의 레이블 추출 출력에서 광 스펙트럼을 측정된 결과, 단측파대 신호의 경우에 상측파대가 하측파대보다 약 16.8 dB 정도 억압되는 것을 확인하였다. 양측파대 입력 신호의 경우에는 인터리버의 레이블 추출 출력에 양측파대가 모두 같은 파워 레벨을 갖고 나타났으며, 손실은 거의 발생하지 않았다. 위상 천이 방법으로 단측파대 신호를 발생하였기 때문에, 단측파대 출력 신호 레벨이 양측파대 신호 보다 약 3 dB 정도 높게 나타났다.

Key Words : Optical Single-Sideband, Optical Double-Sideband, Phase-Shift Method, Dual-Electrode Intensity Modulator, Interleaver

ABSTRACT

Optical subcarrier-multiplexed (OSCM) labels in optical label switching networks have been detected using interleavers composed of fiber-optic Mach-Zehnder interferometer. 10-GHz optical single-/double-sideband signals generated from dual-electrode Mach-Zehnder intensity modulator have been used as the OSCM labels. In the case of single-sideband signals, the upper-sideband was observed to be suppressed about 16.8 dB compared with the lower-sideband from the optical spectrum measured at the label extraction output. For the case of double-sideband signals, both sidebands appeared with small insertion loss at the interleaver output. Since we used the phase-shift method to generate single-sideband signals, the power level of the single-sideband was higher by 3 dB than that of the double-sidebands.

I. 서 론

차세대 Internet Protocol (IP) 망에서 테라비트급 전송 속도를 갖는 초고속 패킷 라우팅 및 포워딩

기술이 필요하다. 따라서, 기존의 IP 라우팅 방식과는 달리 광 네트워크의 Ingress 노드로 입력되는 IP 패킷에 짧은 레이블을 부착하여 전송하면 중간 노드에서 IP 헤더를 처리하는 것이 아니라 레이블 정

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비와 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2003-000-10231-0, R01-2006-000-11342-0) 지원으로 이루어졌습니다.

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (jdshin@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS 2007-04-186, 접수일자 : 2007년 4월 23일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 2일

보만을 광학적 계층 (optical layer)에서 처리하여 네트워크의 Egress 노드로 IP 패킷을 고속 포워딩하는 광 레이블 교환(Optical Label Switching; OLS)에 관한 연구가 진행되고 있다.^[1,2] OLS에서 광 레이블 코딩 방식 중 serial coding 방식은 레이블과 페이로드사이에 Guard-Band를 두기 때문에 오버헤드가 크게 되어 네트워크 자원의 활용도가 낮게 된다. 따라서, 레이블을 RF 부반송파 변조시켜 IP 패킷과 다중화시키므로써 오버헤드를 없앨 수 있는 광 부반송파 다중화 (Optical Subcarrier Multiplexing; OSCM) 방식이 주목을 받고 있다. 이 방식은 각 노드에서 레이턴시가 작고, 망 제어가 간단하며, 부반송파 다중화 (SCM)된 레이블만을 검출하여 처리하기 때문에 IP 패킷의 종단간 (end-to-end) 투명성을 유지할 수 있다.^[3]

OSCM 방식은 광 양측파대 (Optical Double Sideband; ODSB) 방식과 광 단측파대 (Optical Single Sideband; OSSB) 방식으로 나뉜다. ODSB의 경우에는 상측파대와 하측파대 주파수 차이로 인해 광섬유 색분산 특성이 다르게 나타나서 RF 주파수에 따른 RF 신호의 소멸 현상이 발생한다. OSSB 방식은 단측파대만 전송되기 때문에 광섬유의 색분산에 따른 영향이 ODSB 보다 적으며, 대역폭 효율이 높기 때문에 선호되고 있다.

OSCM 레이블을 노드에서 복조하는 검출기의 구조로는 편광 유지 광섬유를 조합한 광섬유 루프 거울^[4], 광섬유 패브리-페롯 여파기^[5], 또는 광 서클레이터와 광섬유 브래그 격자를 이용한 여파기^[6] 등이 제안되었다. 편광 유지 광섬유로 구성된 루프 거울은 분산으로 인한 SCM 신호의 페이딩이 없지만 2×2 결합기의 정확한 결합비 균형과 측파대 주파수를 좁은 노치 주파수 대역에 일치시켜야만 한다. 패브리-페롯 여파기는 광 레이블 검출이 쉬우나 정교한 SSB-SCM 송신기를 필요로 하며, 광섬유 브래그 격자는 작은 손실로 광 레이블 검출이 비교적 간단하지만 좁은 대역폭 특성을 얻기가 어렵다. 이들 구조는 공통적으로 광 서클레이터를 사용하여야 하기 때문에 손실이 크며, 광 여파기들의 대역폭이 넓기 때문에 페이로드와 레이블의 주파수 차이가 작을 경우에는 레이블과 페이로드의 분리 검출이 쉽지 않다. 본 논문에서는 2×2 마하-젠더 간섭계로 구성된 광섬유 인터리버만을 사용하여 OSCM 광 레이블을 검출한 결과를 발표하고자 한다. 이 구조는 광 서클레이터가 필요하지 않기 때문에 손실이

작고, 페이로드와 부반송파 간의 주파수 차이가 작아도 부 반송파에 실린 레이블을 용이하게 검출할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 이중 전극 광 변조기를 이용하여 OSSB와 ODSB 신호를 발생시키는 원리에 대하여 설명하였다. 제 III장에서는 광섬유 인터리버를 이용하여 기저대 페이로드와 부반송파 다중화된 레이블 신호의 검출 원리에 대하여 간단히 설명하였고, 제 IV장에서는 페이로드와 레이블의 주파수 차이가 9.79-GHz인 ODSB와 OSSB 신호를 발생시키고, 이를 광섬유 인터리버를 이용하여 검출한 실험 결과에 관하여 논의하였다. 마지막으로 제 V장에서는 본 논문의 연구 결과를 요약하였다.

II. 광 단측파대/양측파대 신호 생성

이중 전극 마하-젠더 광 변조기는 각 전극에 인가되는 신호의 진폭이 같을 경우, 두 개의 병렬 위상 변조기로 해석할 수 있다. 전극 하나는 접지시키고, 다른 하나는 V_{dc} 를 인가하며, 입력 RF 포트간의 위상 차이 θ 가 존재한다면, 변조기 출력은 다음 식과 같이 표현된다.^[7]

$$E(t) = \frac{A}{2} [\cos(\omega_0 t + \gamma\pi + \alpha\pi\cos\omega_{sc}t) + \cos(\omega_0 t + \alpha\pi\cos[\omega_{sc}t + \theta])] \quad (1)$$

$\gamma = (V_{dc}/V_{\pi})$ 는 바이어스 전압의 정규화된 진폭, V_{π} 는 마하-젠더 변조기의 반파전압 (half-wave voltage), V_{dc} 는 바이어스 전압, $\alpha = (V_{ac}/V_{\pi})$ 는 구동 전압의 정규화된 진폭, V_{ac} 는 RF 신호의 진폭이다.

$e^{j\beta\cos\omega_{sc}t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (j)^n J_n(\beta) e^{jn\omega_{sc}t}$ 과 Bessel 함수의 성질, 즉 n 이 짝수인 경우에는 $J_n(\beta) = J_n(\beta)$, n 이 홀수인 경우에는 $J_n(\beta) = -J_n(\beta)$ 를 이용하여 위 식을 전개하여 1차 항까지 정리하면,

$$E(t) = \frac{A}{2} [J_0(\alpha\pi)(1 + \cos\gamma\pi)\cos\omega_0 t - J_0(\alpha\pi)\sin\gamma\pi\sin\omega_0 t - J_1(\alpha\pi)\cos\gamma\pi[\sin(\omega_0 - \omega_{sc})t + \sin(\omega_0 + \omega_{sc})t] - J_1(\alpha\pi)\sin\gamma\pi[\cos(\omega_0 - \omega_{sc})t + \cos(\omega_0 + \omega_{sc})t] - J_1(\alpha\pi)[\sin[(\omega_0 - \omega_{sc})t - \theta] + \sin[(\omega_0 + \omega_{sc})t + \theta]] \dots]$$

이 된다. 만약 $\gamma = \frac{1}{2}$, 즉 quadrature 바이어스를 인

가하고,

1) RF입력 포트들 간의 위상 차이가 $2n\pi$ 이면,

$$E(t) = \frac{A}{2} [J_0(\alpha\pi)\cos\omega_0 t - J_0(\alpha\pi)\sin\omega_0 t - J_1(\alpha\pi)[\cos(\omega_0 - \omega_{sc})t + \cos(\omega_0 + \omega_{sc})t] - J_1(\alpha\pi)[\sin(\omega_0 - \omega_{sc})t + \sin(\omega_0 + \omega_{sc})t] \dots]$$

2) RF입력 포트들 간의 위상 차이가 $(2n + 1)\pi$ 이면,

$$E(t) = \frac{A}{2} [J_0(\alpha\pi)\cos\omega_0 t - J_0(\alpha\pi)\sin\omega_0 t - J_1(\alpha\pi)[\cos(\omega_0 - \omega_{sc})t + \cos(\omega_0 + \omega_{sc})t] + J_1(\alpha\pi)[\sin(\omega_0 - \omega_{sc})t + \sin(\omega_0 + \omega_{sc})t] \dots]$$

3) RF입력 포트들 간의 위상 차이가 $\pm \frac{\pi}{2}$ 이면,

$$E(t) = \frac{A}{2} [J_0(\alpha\pi)\cos\omega_0 t - J_0(\alpha\pi)\sin\omega_0 t - 2J_1(\alpha\pi)\cos(\omega_0 \pm \omega_{sc})t + \dots]$$

가 된다.

1), 2)의 경우, 광 반송파 주파수 ω_0 와 상측파대 $\omega_0 + \omega_{sc}$ 그리고 하측파대 $\omega_0 - \omega_{sc}$ 가 모두 존재하게 되나, 3)의 경우에는 광 반송파 주파수 ω_0 와 상측파대 $\omega_0 + \omega_{sc}$, 또는 하측파대 $\omega_0 - \omega_{sc}$ 가 존재한다. 따라서, 1), 2)의 경우는 ODSB 신호가 발생하며, 3)의 경우에는 OSSB 신호가 발생된다.

III. 광섬유 인터리버

그림 1은 2×2 광섬유 마하-젠더 간섭계로 구성된 인터리버를 사용하여 OSCM 레이블을 검출하는 개념도를 나타내고 있다.

양 팔의 경로 차이가 ΔL 인 인터리버의 출력 파워는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out,1} &= \sin^2(\beta\Delta L/2)P_{in,1} \\ P_{out,2} &= \cos^2(\beta\Delta L/2)P_{in,1} \end{aligned} \quad (2)$$

$P_{in,1}$ 은 입력 포트 1의 광 파워, $P_{out,1}$ 과 $P_{out,2}$ 는 출력 포트 1과 2의 광 파워, $\beta(=2\pi n_{eff}/\lambda)$ 는 모드 전파상수, n_{eff} 는 광섬유의 유효 굴절률, λ 는 입력 광 신호의 파장이다. 이 식들에서 만약 $\frac{\beta\Delta L}{2} = \frac{\pi}{2}$ 이면, 즉 기저대 페이로드와 부반송파의 주파수 간격

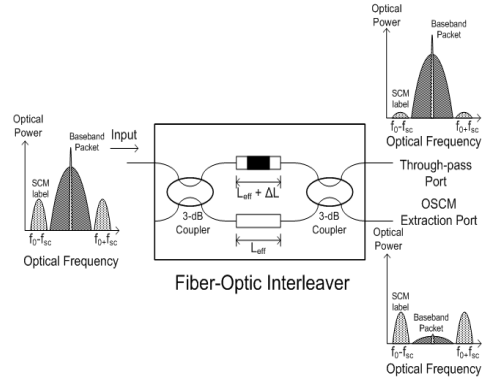


그림 1. 2×2 마하-젠더 간섭계로 구성된 광섬유 인터리버를 이용한 OSCM 레이블 검출 개념도

이 $\Delta f = f_{sc} = \frac{c}{2n_{eff}\Delta L}$ 일 때, 페이로드는 Through-pass 포트, 그리고 레이블은 OSCM Extraction 포트에 분리되어 출력된다.

광섬유 인터리버는 간섭계 구조이기 때문에 온도 변화에 민감하다. 따라서 온도 조절기를 사용하여 온도에 따른 변화를 최소화시켰다. 본 실험에서는 88°C 로 고정시켰다. 실험에 사용된 인터리버의 투과 스펙트럼은 그림 2와 같고 Through-pass 포트와 OSCM Extraction 포트의 주파수 간격은 9.79 GHz (파장 간격 0.076 nm)으로 측정되었다.

그림 3은 OSSB 발생 및 검출 시스템의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

이중 전극 마하-젠더 변조기의 한 쪽 RF 포트에는 RF 부반송파 (f_{sc})와 레이블 신호를 믹싱한 후 페이로드를 합한 신호를 인가하고, 다른 하나의 포트에는 부반송파와 레이블 신호의 위상을 90° 천이시켜 인가하면 광 변조기 출력으로 OSSB 광 신호가 나타난다. 즉, 페이로드 신호의 중심 주파수는

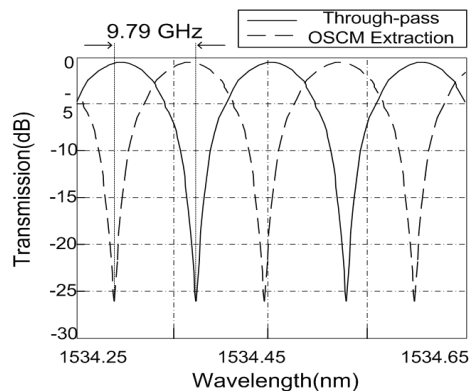


그림 2. 10-GHz 광섬유 인터리버의 투과 스펙트럼

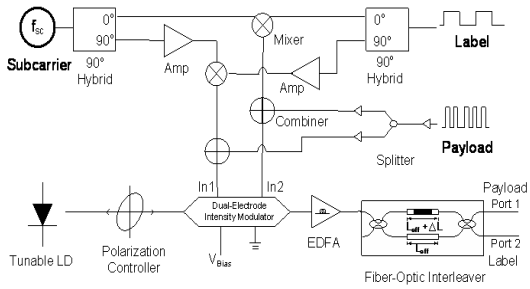


그림 3. OSSB 발생 및 검출 시스템 블록 다이어그램

f_o , 부반송파 다중화된 레이블 신호의 중심 주파수는 위상 천이가 $+90^\circ$ 인 경우에는 $f_o + f_{sc}$ 에 나타나며, -90° 일 때에는 $f_o - f_{sc}$ 에 나타난다.

이 광 신호가 수신 노드에 입력되어 주파수 간격이 f_{sc} 인 광섬유 인터리버 여파기를 통과하면 Through-pass 포트로는 페이로드 신호가, OSCM Extraction 포트로는 레이블 신호가 분리되어 출력되므로 레이블을 광학적으로 추출할 수 있게 된다.

IV. 실험 및 분석

본 논문에서는 레이블과 페이로드 신호는 인가하지 않고, 부반송파만 사용하여 OSSB/ODSB 신호를 발생한 후, 수신부에서 광섬유 인터리버로 부반송파를 검출하는 실험을 하였다. 그림 4는 10-GHz OSSB/ODSB 신호의 발생 및 검출을 위한 실험 구성도를 나타내고 있다. RF 부반송파는 광섬유 인터리버의 주파수 간격과 일치시키기 위해서 9.79-GHz를 사용하였다. OSSB-SCM 신호를 발생하기 위해서는 10-Gb/s 이중 전극 광 변조기 (Sumitomo사의 T-DKH1.5-10APD-ADC-S)의 RF 입력 포트 사이에 8-10 GHz의 동작 주파수 범위를 갖는 10-비트 위상 천이기 (PMI사의 PS-360-DC-IR)를 사용하여 위상 차이를 90° 로 유지시켰다. 광 변조기의 V_π 는 3.6 V로 측정되었으며, 실험을 위해서 quadrature 바이

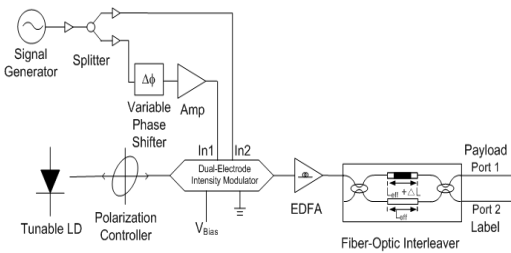


그림 4. OSSB/ODSB 신호 발생 및 검출 실험 구성도

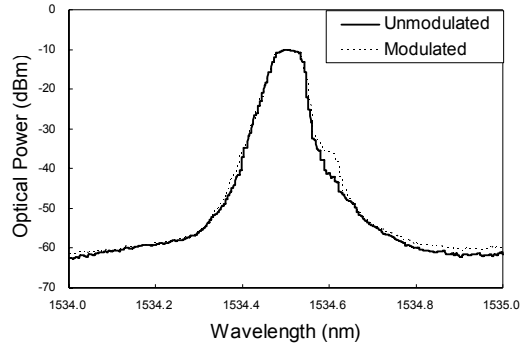


그림 5. ODSB 신호의 스펙트럼

어를 사용하였다. 가변 파장 광원의 중심 파장은 1534.45 nm를 사용하였다. ODSB 신호를 발생하기 위해서는 위상 천이기와 RF 증폭기를 제거하고 실험하였다.

그림 5의 점선은 광 변조기 출력에서 측정된 ODSB 신호의 스펙트럼을 나타내고 있다. 비교를 위해 광 반송파만을 측정된 스펙트럼을 굵은 실선으로 나타냈다. 본 실험에 사용한 광 스펙트럼 분석기의 최소 분해능이 0.07 nm이기 때문에 그림과 같이 광 반송파와 부반송파의 구분이 명확하지 않다. 특히, 좌측의 하측파대는 거의 보이지 않았다. 본 논문에서는 하측파대는 광 반송파의 왼쪽, 상측파대는 오른쪽에 나타나는 스펙트럼을 의미한다고 정의하였다.

그림 6은 광섬유 인터리버로 ODSB 신호가 수신되는 경우에 인터리버의 출력 스펙트럼을 나타내고 있다. 실선(Port 1)은 인터리버 출력 포트 1의 파형으로서 광 반송파 주파수에서는 손실이 거의 없이 통과한다. 반면 점선(Port 2)은 출력 포트 2의 출력 파형으로서, 광 반송파 주파수에서 약 18.1 dB 정

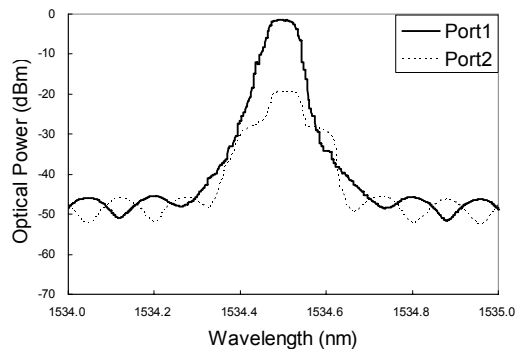


그림 6. ODSB-SCM 신호 입력시 광섬유 인터리버의 출력 스펙트럼

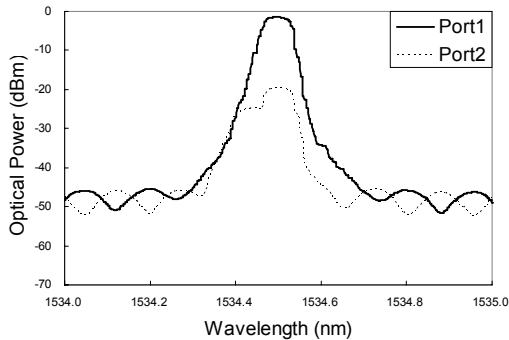


그림 7. OSSB 신호 입력시 광섬유 인터리버의 출력 스펙트럼

도 억압되었으나, 광 반송파 좌우측의 부반송파들은 거의 손실없이 통과되었다. 포트 1과 2의 스펙트럼들에서 잡음 바닥에 주기적으로 교차하며 나타나는 파형은 인터리버의 투과 특성에 기인한 것이다.

그림 7은 OSSB 신호를 입력시켰을 때, 광섬유 인터리버 여파기의 출력 스펙트럼을 나타낸다. OSSB 신호 발생 후 광섬유 인터리버 여파기의 입력 스펙트럼은, 스펙트럼 분석기의 분해능 때문에 ODSB 스펙트럼과 거의 구별이 되지 않았다. 포트 1의 스펙트럼은 ODSB의 경우와 동일하게 보이지만, 포트 2에서는 상측파대(1534.53 nm)가 하측파대 (1534.37 nm)보다 약 16.8 dB 억압된 OSSB 스펙트럼을 명확하게 나타내고 있다. OSSB에서는 위상 천이 방법으로 단측파대 신호를 발생하기 때문에 상측파대는 180° 위상 차이로 인해 서로 소멸이 되고, 하측파대는 위상 차이 없이 더해져서, OSSB 하측파대 신호의 파워 (약 -25.16 dBm)가 ODSB 신호의 양측파대 신호 (약 -28.35 dBm)들 보다 약 3-dB 높게 나타났다.

V. 결론

본 연구에서는 광 레이블 교환망을 위해, 마하-젠더 간섭계로 구성된 광섬유 인터리버를 사용한 광 레이블 검출기를 제안하였고, OSSB 및 ODSB 광 레이블을 성공적으로 검출할 수 있음을 실험적으로 증명하였다. 이중-전극 마하-젠더 광 변조기로부터 발생된 10-GHz 광 단측파대와 양측파대 신호를 광 부반송파 레이블로 사용하였으며, 단측파대 입력 신호의 경우에는 인터리버 출력에서 상측파대가 하측파대보다 약 16.8 dB가 억압되어 나타났다. 이것은 또한 양측파대 신호 입력시 인터리버 출력으로 나타나는 상측파대 신호와 비교하면 약 13.4 dB로

억압된 것이다. 제안된 광 레이블 검출기 구조는 광 서클레이터를 필요로 하지 않기 때문에 기존의 검출기 구조들 보다 손실이 작으며, 페이로드와 레이블 간의 주파수 차이가 작은 경우에도 레이블 검출이 용이한 장점을 갖고 있다.

참고 문헌

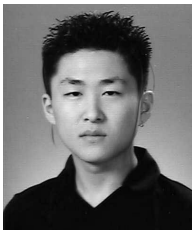
- [1] W. Wang, L. G. Rau, and D. J. Blumenthal, "160 Gb/s Variable Length Packet/10 Gb/s-Label All-Optical Label Switching With Wavelength Conversion and Unicast/Multicast Operation," *J. Lightwave Technol.*, vol. 23, pp.211-218, Jan. 2005.
- [2] Z. Pan, H. Yang, J. Yang, J. Hu, Z. Zhu, J. Cao, K. Okamoto, S. Yamano, V. Akella, and S. J. B. Yoo, "Advanced Optical-Label Routing System Supporting Multicast, Optical TTL, and Multimedia Applications," *J. Lightwave Technol.*, vol. 23, pp.3270-3281, Oct. 2005.
- [3] B. Meagher, G. K. Chang, G. Ellinas, Y. M. Lin, W. Xin, T. F. Chen, X. Yang, A. Chowdhury, J. Young, S. J. Yoo, C. Lee, M. Z. Iqbal, T. Robe, H. Dia, Y. J. Chen, and W. I. Way, "Design and Implementation of Ultra-Low Latency Optical Label Switching for Packet-Switched WDM Networks," *J. Lightwave Technol.*, vol. 18, no. 12, pp.1978-1987, Dec. 2000.
- [4] G. Rossi, O. Jerphagnon, B. E. Olsson, and D. J. Blumenthal, "Optical SCM Data Extraction Using a Fiber-Loop Mirror for WDM Network Systems," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 7, pp.1088-1090, June 2000.
- [5] Y. M. Lin, W. I. Way, and G. K. Chang, "A novel optical label swapping technique using erasable optical single-sideband subcarrier label," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp.1088-1090, August 2000.
- [6] H. J. Lee, S. J. B. Yoo, V. K. Tsui, and S. K. H. Fong, "A Simple All-Optical Label Detection and Swapping Technique Incorporating a Fiber Bragg Grating Filter,"

IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, pp.1088-1090, June 2001.

- [7] Graham H. Smith, Dalma Novak, and Zaheer Ahmed, "Overcoming Chromatic-Dispersion Effects in Fiber-Wireless Systems Incorporating External Modulators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 8, pp.1410-1415, August 1997.

박 경 득 (Kyoung-Deuk Park)

학생회원



1997년~2004년 백석대학교 정보통신학부 (공학사)
 2004년~현재 숭실대학교 대학원 정보통신공학과
 <관심분야> OLS, 광 센서 신호처리

신 증 덕 (Jong-Dug Shin)

종신회원



1976년~1981년 연세대학교, 전자공학과(공학사)
 1984년~1988년 University of Texas at Austin, 전기 및 컴퓨터 공학과(공학석사)
 1988년~1991년 Texas A&M University, 전기공학과(공학박사)

1980년~1983년 대영전자공업 (주) 개발부

1991년~1995년 한국전자통신연구소, 선임연구원

2001년~2002년 Alcatel USA 방문교수

1995년~현재 숭실대학교, 정보통신전자공학부 교수

<관심분야> OBS, OPS, OLS, 광 실시간 지연선로 빔 성형망, 광 센서 신호처리

김 부 균 (Boo-Gyoun Kim)

종신회원

통신학회 논문지 제29권 제12A호 참조