

# 광 인터리버를 이용한 부반송파 다중화된 광 레이블 검출

정희원 신 종 덕\*, 학생회원 이 문 환\*, 정희원 김 부 군\*

## Detection of Subcarrier-Multiplexed Optical Label Using Optical Interleavers

Jong-Dug Shin\* *Regular Member*, Moon-Hwan Lee\* *Student Member*,  
and Boo-Gyoun Kim\* *Regular Member*

### 요 약

본 논문에서는 광 인터리버를 이용하여 부반송파 다중화 (subcarrier multiplexed; SCM)된 레이블을 광학적인 방법으로 검출할 수 있는 새롭고 간단한 광 레이블 검출 기술을 제안하였다. 광 레이블 검출기로 사용한 광 인터리버의 통과포트 (through-pass port)로는 부반송파가 억압되어 기저대 패킷 신호만 출력되며, 광 부반송파 추출포트 (optical SCM extraction port)에서는 기저대 패킷 신호가 억압되기 때문에 부반송파에 실린 레이블만 출력된다. 제안된 구조는 종래의 광 레이블 검출기 구조들에 반드시 필요한 광 서큘레이터를 사용하지 않기 때문에 삽입 손실이 작아 파워 페널티가 낮고, 광 인터리버의 주기적인 전달함수 특성 때문에 파장 다중화된 입력 신호로부터 다수 개의 부반송파 채널들을 동시에 추출할 수 있다. 10-GHz SCM 광 레이블 검출기를 제작하여 155-Mb/s ASK 변조된 9.79-GHz 부반송파 신호를 성공적으로 검출하였으며, 광 스펙트럼과 BER 측정을 통해 이를 확인하였다.

Key Words : Optical Label Switching, Optical Interleaver, Optical Subcarrier Multiplexing

### ABSTRACT

In this paper, we propose a novel and simple optical technique for the detection of subcarrier-multiplexed(SCM) labels using optical interleavers. Optical-baseband packet signals with suppressed subcarriers appear at the through-pass port of the optical interleaver and SCM labels with suppressed optical carrier exit from the optical SCM extraction port. Since it does not require optical circulators, this structure shows less insertion loss than the previously proposed optical label detectors. The periodic nature of the interleaver transfer function makes it possible to detect multiple SCM channels simultaneously from an incoming wavelength-multiplexed signal stream. Detection of a 155-Mb/s ASK modulated 9.79-GHz subcarrier using a 10-GHz SCM optical label detector has been performed successfully and verified through optical spectra and bit-error-rate measurements.

### 1. 서 론

광 레이블 스위칭 (optical label switching; OLS)은 광 코어 네트워크에서 패킷에 부착된 짧은 길이의 레이블을 광학적으로 처리하기 때문에, IP 패킷을 초고속으로 라우팅/포워딩 (forwarding)할 수 있는 기술로서 차세대 테라비트급 광 인터넷 망을 위한 효과적인

교환 방식으로 대두되고 있다<sup>1,2)</sup>. 광 코어 네트워크의 ingress 에지 라우터에서는 egress 에지 라우터 주소, QoS 등의 동일한 속성을 갖는 IP 패킷들을 모아서 보다 긴 길이의 패킷을 조립한다. 조립된 패킷을 egress 에지 라우터로 포워딩하기 위해서 제어 정보를 포함하는 짧은 길이의 레이블을 생성하여 패킷과 함께 다음 노드로 전송한다. 긴 길이의 패킷을 만들어

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (jdshin@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-08-128, 접수일자 : 2004년 8월 2일

※본 연구는 광주과학기술원 초고속망네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

전송하기 때문에 얻을 수 있는 첫 번째 효과는 중간 노드의 광 스위치 패브릭을 IP 패킷 단위로 동작시킬 필요가 없어 스위칭 패브릭에 과도한 부하가 걸리지 않으며, 두 번째는 트래픽 재성형 (traffic reshaping) 을 통해 IP 트래픽의 자기 유사성 (self-similarity) 때문에 중간 노드에서 발생하는 패킷 손실을 감소시킬 수 있다<sup>1)</sup>. 중간 노드에서는 레이블을 추출하여 판독한 후, 그 제어 정보에 따라 광 스위치 패브릭의 경로를 설정하므로써 해당 광 패킷을 광/전/광 변환 없이 다음 노드로 포워딩하기 때문에 노드 레이턴시가 낮게 된다. egress 에지 라우터에서는 레이블을 제거한 후, 수신된 패킷을 원래의 IP 패킷들로 분리하여 이들을 IP 네트워크의 목적지로 라우팅한다. 레이블의 코딩 방식에는 패킷과 동일한 파장을 사용하는 레이블을 시간상 먼저 전송하는 방식과 레이블을 부반송파와 다중화(subcarrier multiplexing; SCM)하여 전송하는 방식이 있다. 레이블을 패킷에 앞서 전송하는 방식은 채널 이용률이 낮기 때문에, 채널 이용률을 높일 수 있고 잘 발달된 마이크로웨이브 소자들을 활용할 수 있는 장점을 갖고 있는 SCM 레이블 코딩 방식이 각광을 받고 있으며, SCM 코딩된 레이블을 광학적으로 추출, 교환하는 방법들에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

현재까지 제안된 대표적인 광 레이블 검출기 구조들은 광섬유 고리 거울<sup>3)</sup>, 그리고 광섬유 브래그 격자를 이용한 여과기<sup>4)</sup> 구조가 있다. 편광 유지 광섬유로 구성된 고리 거울 구조는 광섬유 고리 거울의 광 전치 여과(optical pre-filtering) 현상 때문에 광섬유 분산으로 인한 SCM 신호의 페이딩이 없고, 다채널 SCM 레이블을 동시에 검출할 수 있는 장점을 갖지만, 2 × 2 광섬유 결합기의 정확한 결합비 균형 및 환경에 따른 광섬유 고리 거울의 안정성, 그리고 부반송파 주파수들과 거울 노치 주파수들의 일치가 요구되며, 서클레이터 사용으로 인해 광 기저대 신호 출력포트의 손실이 SCM 추출포트의 손실보다 높은 단점이 있다. 광섬유 브래그 격자를 사용하는 구조는 간단하지만 노치의 기울기가 완만하고 대역폭이 넓기 때문에 부반송파 추출시 누화를 줄이기 위해서는 기저대와 부반송파간의 주파수 간격이 최소 10 GHz 이상이 되어야 하며, 또한 서클레이터의 삽입 손실로 인한 파워 페널티가 발생하게 된다. 다채널 SCM 레이블 스위칭 시스템의 중간 노드에 적용할 경우에는 사용하는 부반송파 개수만큼 광섬유 브래그 격자가 요구되며, 각 격자의 브래그 파장 제어가 필요하다. 공통적으로 이들 광 레이블 검출기 구조는

통상 1 dB 이상의 삽입 손실을 갖는 광 서클레이터를 반드시 사용하여야 한다.

본 논문에서는 광섬유 마하-젠더 간섭계로 구성된 광 인터리버를 사용한 새로운 광 SCM 레이블 검출기를 제안하였다. 이 구조는 광 서클레이터가 필요하지 않기 때문에 삽입 손실이 작아 기존의 구조들보다 파워 페널티가 작으며, 주파수 전달함수의 주기적 특성 때문에 다채널 광 SCM 레이블 스위칭 시스템에 적용이 가능하고, 기저대 패킷과 부반송파 간의 주파수 간격이 비교적 작은 경우에도 광 레이블 검출이 용이한 장점을 갖고 있다. 제 II장에서는 광 인터리버를 이용한 광 SCM 레이블 검출기의 동작 원리에 대하여 간단히 설명하였고, 제 III장에서는 제작된 10-GHz SCM 광 레이블 검출기의 성능을 광 스펙트럼과 BER (Bit Error Rate)측정을 통해 검증하였고, 마지막으로 제 IV장에서 연구 결과를 요약 정리하였다.

## II. 광 인터리버를 이용한 광 SCM 레이블의 검출 원리

광 코어 네트워크의 중간 노드에 입력되는 기저대 패킷 신호와 부반송파 코딩된 레이블 신호로부터 광 인터리버를 이용하여 레이블 신호를 추출하는 원리는 그림 1과 같다. 광 인터리버는 그림 1과 같은 마하-젠더 간섭계 구조로 이루어져 있으며, 간섭계 양 팔의 길이 차이로 인해 통과 (through-pass) 포트와 OSCM 추출 (optical subcarrier extraction) 포트 출력에 서로 90°의 위상 차이를 갖는 주기적인 노치 스펙트럼이 나타나게 된다. 따라서, 광 반송파와 광 부반송파의 주파수 차이를 인터리버의 채널 간격에 일치시키면, 통과포트로는 SCM 레이블이 억압된 광 기저대 패킷 신호가 통과되며, OSCM 추출포트로는 광 반송파가 억압된 광 SCM 레이블 신호만 나타나, 광학적으로 기저대 패킷과 레이블을 분리하여 추출할

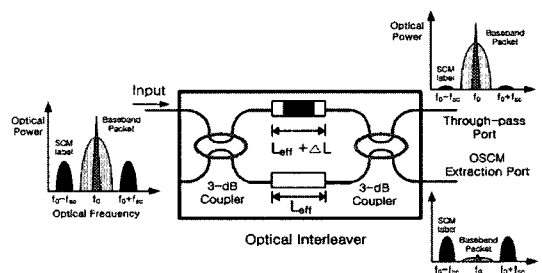


그림 1. 광 인터리버를 이용한 OSCM 레이블 검출 원리

수 있다. 또한, OSCM 추출포트로 광 반송파가 억압되어 나타나기 때문에 수신감도를 개선시킬 수 있는 이점이 있다<sup>5)</sup>. 제안된 구조는 기존의 광 SCM 레이블 검출기들과 달리 광 서클레이터가 필요하지 않아 삽입손실이 작으며, 전달 함수의 주기적 특성 때문에 다채널 SCM 레이블 검출이 가능하다.

### III. 실험 및 분석

본 논문에서는 10-GHz 부반송파에 실린 레이블 신호를 10-GHz 광 인터리버를 사용하여 검출한 실험 결과를 발표하고자 한다. 그림 2는 중간 노드로 입력되는 10-GHz 부반송파 변조된 광 레이블 신호를 광 인터리버로 검출하는 실험 구성도이다.

9.79-GHz RF 부반송파는  $2^{15}-1$  PRBS (pseudo-random binary sequence)의 NRZ ASK 155-Mb/s 레이블에 의해 믹서에서 변조된 후, 10-GHz 대역통과 여파기와 RF 증폭기를 통과한 다음 10-Gb/s LiNbO<sub>3</sub> 마하-젠더 광 변조기에 입력된다. 광 변조기에 입력되는 광 반송파의 발진 파장은 수신 노드에 사용한 광 인터리버의 통과포트 주파수 전달 함수가 최대 값을 갖는 파장들 중의 하나인 1534.448 nm를 선택하였고, 이 광 반송파는 RF 레이블 신호에 의해 변조된 다음 EDFA를 통해 전송되었다.

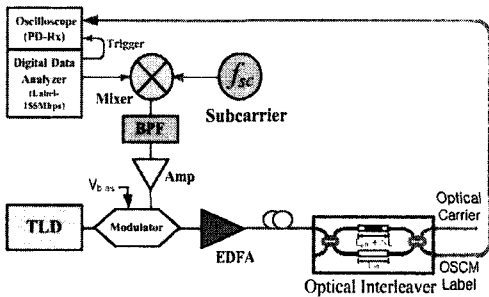


그림 2. 광 SCM 레이블 검출 실험 구성도

실험에 사용된 광 변조기의  $V_{\pi}$ 는 3.83V이며, 선형 동작을 위해 quadrature 바이어스를 인가하였다.

그림 3은 파장 분해능이 0.01 nm인 광 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정된 EDFA의 출력 스펙트럼이다. 광 반송파 주파수에서( $f_0$ ) 파워는 -1.85 dBm, 그리고 광 부반송파 주파수에서 파워는 각각  $-24.74$  dBm ( $f_0 + f_{sc}$ )과  $-24.57$  dBm ( $f_0 - f_{sc}$ )으로 측정되었다. 그림에서 볼 수 있듯이 레이블 신호 인가에 따른 비선형 성분들이 나타나지 않았다.

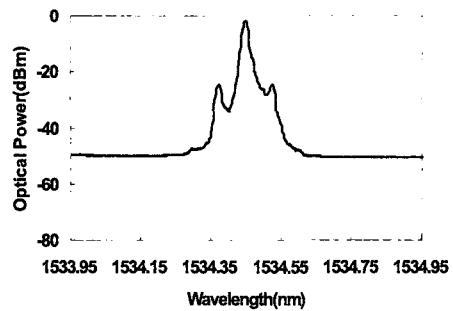


그림 3. EDFA 출력 스펙트럼

노드에 수신되는 광 신호는 그림 4와 같은 주기적인 전력 전달 함수를 갖는 광 인터리버에 입력된다. 광 인터리버의 통과포트에서 측정된 스펙트럼은 실선으로 나타내었고, OSCM 추출포트의 스펙트럼은 점선으로 나타내었다. 채널 간격은 9.79-GHz, 3-dB 대역폭은 8.41-GHz, 삽입손실은 0.45 dB, 그리고 억압비는 26.25 dB로 측정되었다. 광 반송파 ( $f_0$ )는 통과포트 출력 전력이 최대가 되는 파장에 위치하기 때문에 통과포트로 손실이 거의 없이 통과되며, 레이블 정보가 실려 있는 부반송파들은 광 반송파를 중심으로 양 쪽에 9.79-GHz 떨어진 주파수 ( $f_0 \pm f_{sc}$ ) 즉, OSCM 추출포트의 출력 파워가 최대이고, 동시에 통과포트의 출력 파워가 최소인 파장에 위치하여, OSCM 추출포트로 레이블 신호가 검출되게 된다. 광 인터리버는 온도를 일정하게 유지시켜 특성 변화를 최소화하여야 한다. 실험에서는 온도조절기를 사용하여 온도를 72°C로 유지시켰다.

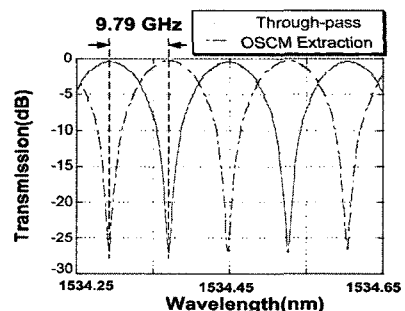


그림 4. 광 인터리버의 투과 스펙트럼

그림 5는 광 인터리버 통과포트에서 측정된 스펙트럼이다. 광 반송파 중심 주파수( $f_0$ )의 파워는 -2.38 dBm으로 측정되어, 광 인터리버 삽입손실인 0.45 dB에 근접한 0.53 dB의 손실을 보였지만, 부반송파 주

파수  $f_0 + f_{sc}$  에서의 파워는 -35.48 dBm, 그리고 다른 부반송파 주파수  $f_0 - f_{sc}$  에서는 -33.21 dBm으로 입력 파워보다 각각 10.74 dB와 8.64 dB 억압되어 나타났다.

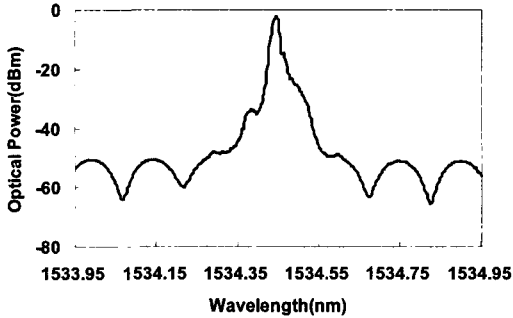


그림 5. 광 인터리버 통과포트의 출력 스펙트럼

그림 6은 통과포트에서 측정된 아이 다이어그램으로서 레이블 신호는 통과포트로 투과되지 않음을 알 수 있다.

그림 7은 광 인터리버의 OSCM 레이블 추출포트에서 측정된 스펙트럼이다.

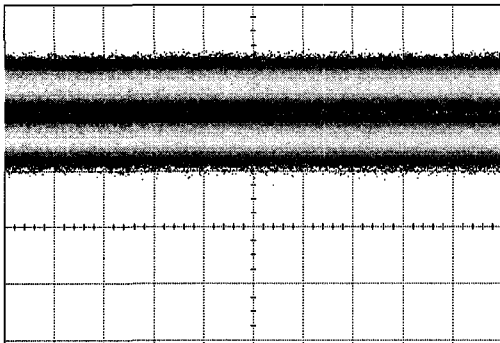


그림 6. 광 인터리버의 통과포트에서 측정된 아이 다이어그램 (1ns/div)

광 반송파 주파수  $f_0$  에서 파워는 약 -27.23 dBm으로, 입력보다 25.38 dB 억압되어 출력되었다. 반면에, 부반송파 주파수  $f_0 + f_{sc}$  에서는 -25.33 dBm, 그리고  $f_0 - f_{sc}$  에서는 -25.18 dBm으로 측정되어 삽입손실이 각각 0.59 dB와 0.61 dB로 나타났다. 따라서, OSCM 추출포트로 부반송파에 실린 레이블이 검출되는 것을 알 수 있다.

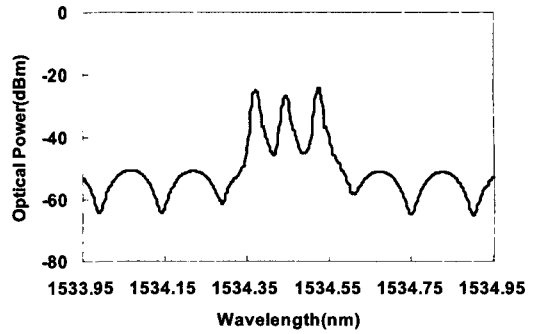


그림 7. 광 인터리버의 OSCM 레이블 추출포트에서 측정된 스펙트럼

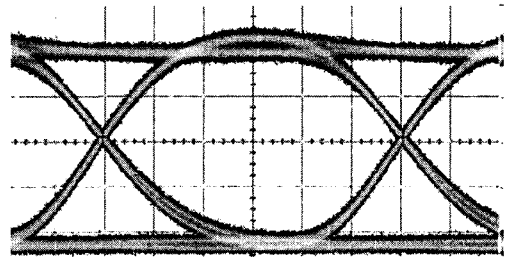


그림 8. 광 인터리버의 OSCM 레이블 추출포트에서 측정된 아이 다이어그램 (1ns/div)

그림 8은 광 인터리버 OSCM 추출포트에서 광 검출기를 사용하여 광전 변환 후 측정된 레이블 신호의 아이 다이어그램이다. 그림에서 보듯이 OSCM 레이블 추출포트로 잡음이 거의 없는 레이블 신호가 검출되고 있다.

표 1에는 광 인터리버 입력포트, 통과포트, 그리고 OSCM 추출포트에서 측정된 광 반송파 주파수( $f_0$ )와 부반송파 주파수( $f_0 \pm f_{sc}$ )의 파워 레벨을 정리하였다.

표 1. 광 인터리버 입출력 포트에서 광 반송파와 부반송파의 전력

파워(dBm) \ 주파수	$f_0 - f_{sc}$	$f_0$	$f_0 + f_{sc}$
광 인터리버 입력포트	-24.74	-1.85	-24.57
통과포트	-35.48	-2.38	-33.21
OSCM 추출포트	-25.33	-27.23	-25.18

또한, 레이블 신호의 BER (Bit Error Rate) 특성을 알아 보기 위해 OSCM 추출포트에서 측정된 레이블 신호의 BER을 그림 9에 도시하였다. 그림에 삽입된

아이 다이어그램은 BER이  $10^{-10}$  인 경우이다. 광 레이블의 파워가 약 -24.59 dBm일 때,  $10^{-9}$ 의 BER이 측정되었다.

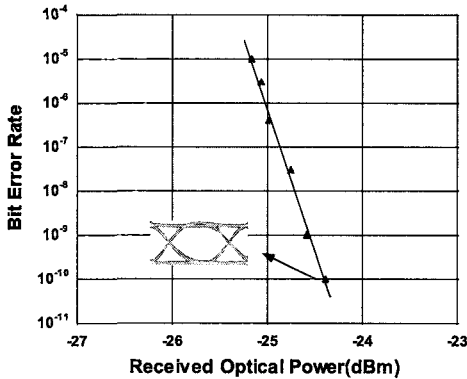


그림 9. 155-Mb/s 레이블의 BER 곡선

#### IV. 요약

본 논문에서는 광 레이블 스위칭 네트워크에서 마하-젠더 간섭계 구조를 갖는 광 인터리버를 광 레이블 검출기로 제안하였으며, 9.79-GHz 부반송파에 실린 155 Mb/s NRZ ASK 레이블 신호의 검출을 광 스펙트럼과 BER 측정을 통해 실험적으로 증명하였다. 실험 결과 광 인터리버의 통과 포트로는 입력 광 반송파가 약 0.53 dB 감소되어 검출되었으나 부반송파들은 각각 10.74 dB와 8.64 dB 억압되어 나타났으며, OSCM 추출포트로는 부반송파가 약 0,6 dB 감소되어 출력되고, 광 반송파는 25.38 dB 억압되어 나타났다. 또한, 광 레이블의 파워가 -24.59 dBm일 때,  $10^{-9}$ 의 BER이 측정되었다.

제안된 검출기 구조는 기존의 광 레이블 검출기 구조들에서 반드시 요구되는 광 서클레이터가 필요하지 않기 때문에 삽입 손실이 작아 파워 페널티를 줄일 수 있으며, 주기적인 전달함수 특성을 이용하여 다채널 광 부반송파 레이블 스위칭 시스템에 활용할 수 있고, 또한 기저대 패킷과 부반송파 간의 주파수 간격이 비교적 작은 경우에도 광 레이블의 검출이 용이한 장점을 갖고 있다.

#### 참고 문헌

[1] S. J. B. Yoo, X. Fei, Y. Bansal, J. Taylor, Z.

Pan, J. Cao, M. Jeon, T. Nady, G. Goncher, K. Boyer, K. Okamoto, S. Kamei, and V. Akella, "High-Performance Optical-Label Switching Packet Routers and Smart Edge Routers for the Next- Generation Internet," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 21, no. 7, pp. 1041-1051, Sept. 2003.

[2] D. J. Blumenthal, B. E. Olsson, G. Ellinas, T. E. Dimmick, L. Rau, M. Masanovic, O. Lavrova, R. Doshi, O. Jerphagnon, J. E. Bowers, V. Kaman, L. A. Coldren, and J. Barton, "All-Optical Label Swapping Networks and Technologies," *J. Lightwave Technol.*, vol. 18, pp. 2058-2075, Dec. 2000.

[3] 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. 897-899, July 2000.

[4] 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. 13, no.6, pp. 635-637, June 2001.

[5] R. Hui, B. Zhu, R. Huang, C. T. Allen, K. R. Demarest, and D. Richards, "Subcarrier Multiplexing for High-Speed Optical Transmission," *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, no. 3, pp. 417-427, March 2002.

