

광굴절 필터를 이용한 전광 패킷 헤더 인식

양병춘, 이형일, 서승우, 이병호
 국가지정 홀로그래피기술 연구실, 서울대학교 전기공학부

All optical packet header detection using photorefractive optical filter

Byungchoon Yang, Hyoung-Il Lee, Seung-Woo Seo, and Byoungho Lee
 National Research Laboratory of Holography Technologies, School of EE, Seoul National University

Abstract - A new method of all optical packet header recognition scheme using a photorefractive hologram filter is presented. Wavelength encoded packet that has the header of a specific wavelength is assumed and the photorefractive filter can detect the wavelength. Concatenated electronics drives the optical switch to route the λ -encoded optical packet. The delay time at the switched signals are measured and compared with the original data stream.

1. 서 론

각종 멀티미디어와 인터넷의 비약적 확산과 함께 발전한 광통신에서 주요 문제 중 하나는 전광(electro-optic), 광전 변환에서 일어나는 스위칭 시간 지연이다. 이 스위칭 시간 지연을 줄이기 위해 궁극적으로는 전광(all-optical) 스위칭 기술에 많은 관심이 집중되고 있다.

특히 미래의 고성능 광 네트워크에서는 광 데이터 패킷이 전광 광 스위치 소자에 의해 빠르게 라우팅될 것이다. 단순히 신호를 일부 분리하여 이를 전기적으로 분석하는 방식을 취할 수도 있으나 이는 높은 비트레이트(bit rate)를 가지는 패킷에 대해서 전기적으로 구현하기 힘들게 된다. 전송 중에 라우팅 결정이 동시에 일어날 수 있도록 헤더(header) 비트들을 광학적으로 분석하는 것이 더 빠른 방식이 될 것이다. 이를 위해 광섬유 정합 필터, 비선형 광섬유 거울을 이용하는 방식 등이 제안된 바 있다[1,2].

본 연구에서는 광굴절 결정에 기록된 홀로그램을 통신 영역 파장의 필터로 이용한 패킷 헤더 인식기를 제작하고 그 특성을 측정하였다. 광굴절 홀로그래픽 필터는 가시광 레이저의 간섭으로 제작되며 이를 Bragg각의 조절을 통해 1550nm 파장의 통신 파장 영역에서 좁은 선폭을 가지는 필터로 제작하였다. 이렇게 제작된 광 필터를 광 스위치와 함께 연동하여 통신 파장대의 광 신호를 파장에 따라 분리하여 인식하고 이를 스위칭하였으며 스위칭 시간 지연을 측정하였다.

2. Photorefractive filter

광굴절 필터를 광 통신 영역의 파장에서 사용하기 위한 연구는 상당히 오랜 역사를 가지고 있다. 1994년 V. Leyva에 의해 LiNbO₃ 결정에 통신 파장대인 1547.82 nm의 광신호를 필터링 한 결과가 제안된 이후 이를 실제 광통신에 이용하기 위해 광굴절 광섬유 등을 이용하기 위한 실험이 시도된 바 있다[3,4]. 그러나 광섬유와 광굴절 결정 및 필터링된 신호를 다시 광섬유로 입사시키는데 정밀한 정렬이 필요하고, 광 손실이 큰 단점이 실용화하기에 큰 제약으로 지적되고 있으며, 광섬유 코어에 직접 굴절을 격자를 생성할 수 있는 광섬유 Bragg 격자(Fiber Bragg Grating: FBG) 및 우수한 성능을 보이는 배열 광도파로 격자(Arrayed Waveguide Grating: AWG) 등이 실제로 더 많이 사용되고 있는 실정이다.

특히 FBG의 경우 모두 광섬유로 이루어져 있어 기존의 광섬유 네트워크에 접속 시 손실이 적고 필터 특성이 우수한 것으로 알려져 있다.

광굴절 필터의 가장 큰 장점은 재구성 할 수 있다는 점이다. 비슷한 구조의 필터를 실시간으로 동작하게 하기 위해 액정 및 동작속도가 빠른 강유전성 액정(Ferro-electric Liquid Crystal: FLC)을 사용한 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator: SLM)을 이용한 필터도 제안된 바가 있지만, 아직 실용화되지는 않고 있다[5].

광굴절 결정에 기록된 격자는 시간에 따라 저절로 소거되는 단점이 있으나 이 경우 소거시간을 줄이기 위해 후열 처리를 통하여 기록된 격자의 소거 시간을 지연시킬 수 있으며, 만들어진 격자를 의도적으로 소거 후 재기록이 가능한 장점이 있다. 본 실험에 사용되는 광굴절 홀로그래픽 필터는 가시광 영역의 레이저를 이용하여 홀로그램을 기록하게 되고 이를 적정한 Bragg 각도를 맞춤으로서 통신 파장대인 1550nm 영역에서 필터로서의 특성을 갖출 수 있도록 설계되었다. 현재 기록물질인 LiNbO₃ 결정의 흡수 특성상 근적외선 영역의 빛은 흡수가 되지 않아 홀로그램 격자를 형성할 수 없기 때문이다.

다른 파장으로 기록된 홀로그램을 재생할 때 기본적으로 Bragg 회절각을 일치시켜야 한다. 기록 파장과 재생 파장, 그리고 각각의 기록, 재생 각 간의 관계는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\sin \theta_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_w} \sin \theta_w \quad (1)$$

여기에서 θ_w , λ_w , θ_r , λ_r 는 각각 기록빔의 입사각, 기록빔의 파장, 재생빔의 입사각, 재생빔의 파장을 나타내고 있다. 재생 파장이 장파장측으로 갈수록 홀로그램을 재생시 빔의 입사각도도 커져야 함을 알 수 있다. 이 조건으로 필터링 할 신호의 중심 주파수 파장에 따라 신호빔을 광굴절 필터에 입사시켜야 할 정확한 각을 알 수 있다. 여기서의 기록빔 및 재생빔은 광굴절 결정 내의 값이다.

기록되는 빔의 입사각에 따라 광굴절 결정 내에 형성되는 격자의 주기를 바꿀 수 있으므로, 입사각을 조정함으로써 필터의 중심 주파수 뿐 아니라, 통과대역폭을 가변적으로 설계할 수 있게 된다. 이에 대한 수치 해석 결과가 그림 1에 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 통과대역은 기록빔의 입사각도가 커질수록 좁아진다.

광굴절 홀로그래픽 필터를 설계할 때 요소로서 회절각(θ), 기록되는 굴절을 격자의 간격(Λ), 기록 광 파장(λ)을 들 수 있다. 이런 세 요소에 의해서 필터를 통과하여 회절되어 나오는 광신호의 특성을 예측할 수 있다. 기록 시 고정 광파장의 레이저를 사용하는 경우 기록빔 간의 각도에 따라 필터의 중심 주파수가 변하게 되는데

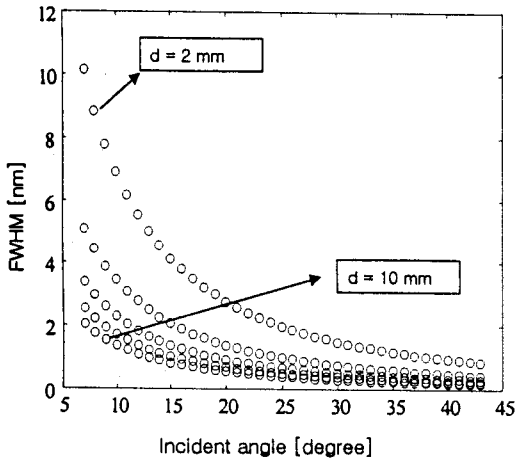


그림 1. 기록빔의 입사각과 회절격자의 길이에 따른 필터의 통과대역 변화. 격자가 기록된 길이가 길수록, 기록빔간의 각도가 클수록 통과대역은 좁아진다. 유효회절 격자 길이(d)가 2, 4, 8, 10 mm의 경우를 그림으로 나타내었다.

이는 광굴절 결정 내에 기록되는 홀로그래프의 격자 간격이 달라지기 때문이다. 아울러 달라지는 기록각도에 따라 투과 파장의 선폭도 변화하게 된다. 이는 좀더 복잡한 다음의 식 2로 표현되는데, 이는 결합 모드 방정식을 격자 해석에 적용하여 얻을 수 있다. 두 식에서 알 수 있듯이 필터의 특성을 결정하는 Bragg 조건과 결합 모드 이론을 함께 적용하면 균일한 통과 선폭을 지니고 투과 효율이 균일한 격자를 광굴절 필터로 설계할 수 있게 된다[6].

$$\Delta\lambda_f = \frac{\lambda_f^2 \cos \theta_i}{2 n d \sin^2 \theta_i} \quad (2)$$

여기에서 λ_f 는 선택하려는 파장, θ_i 는 매질 내에서의 재생빔의 입사 반각, n 은 기록 물질의 굴절율, d 는 격자의 유효작용 길이이다.

이러한 설계 요소를 모두 감안하여 제작된 광굴절 필터는 1550 nm를 중심 주파수로 하여 선폭이 약 4nm 정도의 특성을 보였다. 본 실험에서는 고정밀 마이크로 정렬계를 이용하였으나, 실제로 더 이상 좁은 선폭의 필터를 제작하기 위해서는 더욱 정밀한 정렬 및 결정 내에서의 굴절율 변조장을 이론값에 더욱 가깝게 일치시켜야 할 것으로 보인다. 두 파장의 빔을 다중화시키는 경우 그 회절 효율은 더 감소하게 된다.

3. All optical header recognition

궁극적으로는 전광(all optical) 스위칭 및 라우팅의 방향으로 기술이 발달해 갈 것으로 예상되나, 우선 그 전 단계로서 전광 헤더 인식을 우선적으로 고려할 수 있다. 특히 DWDM 광통신 네트워크에서는 좁은 간격으로 파장 다중화된 패킷을 어떻게 지정된 주소로 라우팅하는가 중요한 문제가 된다. 기존에는 광 패킷을 전기 신호로 변환하고 이를 처리한 후, 다시 광신호로 바꾸는 과정을 통해 파장 다중화된 데이터 패킷을 처리해 왔다.

일반적인 DWDM 신호는 연속되는 광 패킷으로 이루어져 있고, 각각 패킷 패이로더는 다시 실제 데이터를 가지는 데이터 비트 부분과 이 패킷이 라우팅될 정보를 가지는 헤더부분으로 나누어지게 된다. 헤더 부분에는

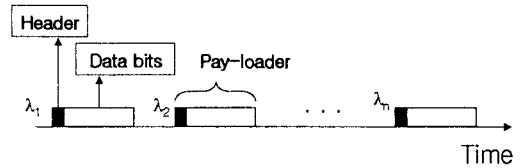


그림 2. 파장 부호화된 광 패킷 전송 스트림의 예.

패킷이 전해져야 할 주소 뿐 아니라 경우에 따라 필요한 파장 정보, 패킷 길이, 데이터 구조 등의 정보가 포함되게 된다. 특히 파장 다중화된 전송 시스템에서는 각 패킷들이 각각 다른 파장으로 전송이 된다고 가정할 때 이 패킷 자체가 파장 정보를 가지고 있게 된다.

그림 2에 DWDM 네트워크에서의 데이터 패킷의 구조를 나타내었다. 본 실험에서는 그림 3과 같은 데이터 패킷의 구조를 가정하고 이 패킷들이 스위칭될 때 그 스위칭 시간을 측정하였다. 패킷의 파장을 인식하기 위해 광굴절 필터를 이용하였고, 이렇게 인식된 패킷의 파장에 따라 라우팅될 노드에서 패킷이 스위칭 되기 위해 광 스위치를 구동하는 신호로 이용되었다. 비록 인식된 패킷을 스위칭하기 위해서는 광전 변환이 일어나지만 인식 단계에서는 광으로 이루어지므로 그 인식 속도 면에서 기존의 모든 광전 변화가 필요한 라우팅 시스템에 비해서 상당히 개선됨을 알 수 있다.

이를 정량적으로 표현하기 위해 라우터에 입력되는 패킷 신호와 광 스위치에서 스위칭되어 나오는 패킷 신호간의

지연시간을 측정하였다.

그림 3은 본 실험을 하기 위한 실험 구성도이다. 1550nm 파장 영역의 좁은 선폭을 가지는 가변 레이저 다이오드 광원을 이용하였고, 이 빛은 광섬유 결합기를 거쳐 한쪽은 광굴절 필터로 입사되고 입사된 후 필터에 의해 길러진 특정 파장의 신호는 광검출기에서 전기적 신호로 바뀌어 2x2 광 스위치를 구동하게 되고 이렇게 스위칭된 신호는 다시 광 검출기로 검출되어 원래의 신호와 비교하여 지연시간을 측정할 수 있었다.

그림 4와 그림 5에 두 채널로 측정된 신호가 나타나 있다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 처음 10 kHz 펄스열로 입사된 광신호는 트리거된 후에 약 4 μ sec의 지연시간을 가지는 것으로 측정되었다. 그러나 다시 100 Hz의 변조신호로 실험한 결과 거의 시간지연이 나타나지 않음을 그림 5에서 알 수 있었다. 두 값이 차이가 난 원인은 실험에 사용된 광스위치의 동작속도의 보장 범위가 10 msec 이내 이기 때문으로 추정된다. 광검출기는 고속 광검출기를 사용하여 동작속도가 약 수십 psec 이므로 검출기에서의 시간 지연은 무시할 수 있을 것으로 본다.

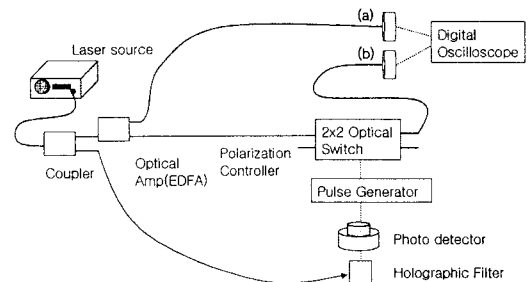


그림 3. 패킷 라우팅 실험을 위한 구성도.

4. 결 론

본 연구에서는 광굴절 결정에 기록된 홀로그래프를 통신 영역 파장의 필터로 이용한 패킷 헤더 인식을 제작하고 그 특성을 측정하였다. 파장을 인식하는 데 걸리는 시간은 주로 광검출기의 동작 속도에 의존하며, 파장에 따른 회절에 의해 파장의 선택이 이루어지므로 인식 자체는 거의 실시간으로 이루어진다고 볼 수 있다. 광 검출기에서 출력된 신호로 광 스위치를 구동시 스위치의 특성에 따라 약간의 지연시간이 발생함을 알 수 있었다. 이 기술의 장점은 회절에 의해 공간적인 파장 분산을 통해 이루어지므로 파장 분할 전송 시스템(WDM)에서 효과적인 다채널 동시 분리 및 패킷 인식이 가능하고 가변성(reconfiguring) 및 확장성(scalability) 면에서 우수한 특징을 가진다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. Shin, M. Jeon, and C. Kang, "Fiber-optic matched filters with metal films deposited on fiber delay-line ends for optical packet address detection," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, pp. 941-943, 1996
- [2] I. Glesk, J. P. Solokoff, and P. R. Prucnal, "All-optical address recognition and self-routing in a 250Gbit/s packet-switched network," *Electron. Lett.*, vol. 30, pp. 1322-1323, 1994.
- [3] V. Leya, G. A. Rakulic, and B. O'Conner, "Narrow bandwidth volume holographic optical filter operating at the Kr transition at 1547.82 nm," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 65, no. 9, pp. 1079-1081, 1994.
- [4] F. Yu and S. Yin, "Holographic storage and interconnection using a (Ce: Fe: Doped LiNbO3) photorefractive crystal fiber with a tunable visible-light diode laser," *Photorefractive Materials, Effects, and Applications, Critical Review*, SPIE Book, July 1993.
- [5] H. Yamazaki and M. Yamaguchi, "Multi-channel non-blocking holographic switching with a ferroelectric liquid crystal spatial light modulator," pp. 492-493, Proceedings of LEOS annual meeting, 1993.
- [6] R. T. B. James, C. Wah, K. Iizuka, and H. Shimotahira, "Optically tunable optical filter," *Appl. Opt.*, vol. 34, no. 5, pp. 8230-8235, 1995.

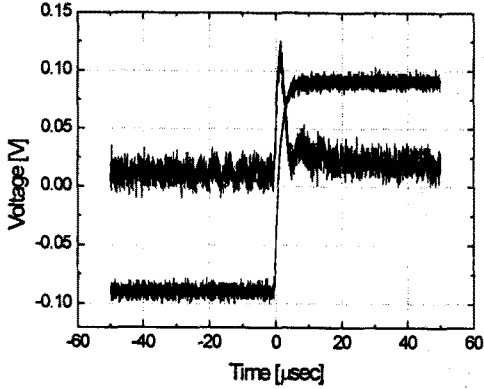


그림 4. 10 kHz 로 변조된 신호에서의 지연시간.

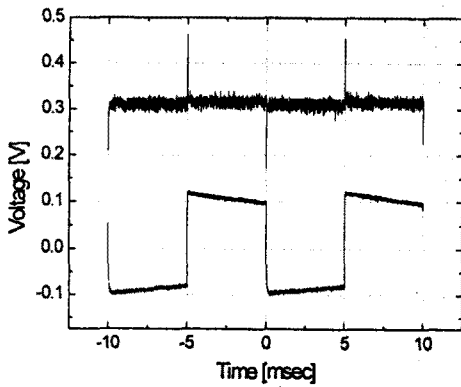


그림 5. 100 Hz로 변조된 신호에서의 지연시간.