

논문 2006-43SD-11-3

광위상 변조기를 이용한 RSOD 개발

(Development of RSOD using optical phase modulator)

황대석*, 이영우*

(Daeseok Hwang and Young-Woo Lee)

요약

광간섭계는 물체의 기하학적 구조 및 의료 계측 등 다양한 분야의 광계측에서 매우 일반적으로 사용된다. 이러한 광간섭계에서 광지연단은 측정대상의 기준을 위해 사용되고, 광간섭계의 계측속도는 광지연단에 의해 제한된다. 본 논문에서는 고속 광지연단을 위해 기존의 기계적 방식을 배제하고, 광학적 방식의 광간섭계를 구성하였다. 고속 광간섭계의 구성은 1304nm의 10GHz 광원을 이용하였으며, 광지연단으로 광위상변조기와 광섬유를 이용하여 안정적이고 고속의 광간섭계를 구성하였다. 구성된 광간섭계는 광위상변조기의 변조전압, 변조주파수에 의해 광지연시간을 가변할 수 있으며, 10MHz 반복율에 대해 11ps의 광지연시간을 얻을 수 있었다.

Abstract

Optical interferometer is used for various optical measurement fields in optical metrology and biomedical measurements. In an optical interferometer, optical delay line has to change the optical path length of a reference arm to match with that of a sample arm, and its speed was limited by reference arm movement speed. In this paper, we proposed an all-fibered RSOD(Rapid Scanning-speed Optical Delay) without any mechanical movement, and we applied this system to optical interferometer. Experimental setup is consist of pulse laser source (center wavelength 1304nm, pulse width 30ps, repetition rate 10GHz), two phase modulators and dispersive shifted fiber. As experimental results, we obtain the maximum time delay of 11ps at 10MHz repetition rate, and it is easily tuneable the time delay by modulation frequency and modulation voltage.

Keywords : RSOD, High speed interferometer, Optical measurement

I. 서론

광간섭계는 광을 이용한 다양한 분야의 계측에서 필수적인 기술로, 의용계측, 광도량학, 시간 및 주파수 측정 등 광을 이용한 대부분의 계측에 사용된다. 다양한 분야의 광계측에서 요구되는 사항은 고속 계측을 위한 고속 광 지연 및 반복율, 고 정밀도 등이 요구되는 추세이다. 이러한 광간섭계에서 광지연단은 광측정단의 기

준으로 동작하며, 고속 광지연 및 반복율을 위해서는 고속 광지연단이 필수적이다

일반적으로 많이 사용되는 광지연단은 스테이지나 회전장치에 거울이 장착된 기계적 방식의 광지연단이 주로 사용된다. 기계적 방식에서의 최대 검출 속도는 40mm/s에 30Hz정도로, 구조적으로 매우 간단하며, 가간섭 길이가 길다는 잇점이 있으나, 이에 반해 검출 속도가 느린 단점이 있다^[1]. 기계적 검출 방식 검출 속도가 느린 단점을 보완하기 위해 Galvanometer나 PZT를 이용한 광지연단 방식이 사용되고 있다.

고속 검출 속도, 고반복율을 갖는 고속 계측을 위해 기계적 광지연단과 다른 방식인 푸리에 영역의 광지연단 기법들이 개발되고 있다. 대표적인 방법으로는 그레이팅을 이용한 고속 광지연단으로 광의 위상과 군속

* 정회원, 목원대학교 IT 공학 연구소
(The Research Institute of Advanced Multimedia Technology, Mokwon University)

** 정회원, 목원대학교 정보전자영상공학부
(Division of Information & Electronics & Imaging Engineering, Mokwon University)

접수일자: 2006년7월6일, 수정완료일: 2006년10월25일

도 지연율의 제어를 이용하는 방식으로 2kHz 반복율에서 최고 검출 길이는 3mm가 보고된 바 있다^[2-5]. 그러나 이러한 방식들은 고속의 검출이 가능하지만 이에 반해 낮은 위상 지연, 불안정한 도플러 천이 등 단점이 있다^[3].

본 논문에서는 기존의 기계적 방식 지연단의 단점인 저속의 검출 속도를 개선하여 고속동작이 가능하며, 동작 위치에서 외부 환경에 의한 영향을 최소화하여 안정적이고, 기계적 지연단과 달리 기계 부품의 유지 보수가 불필요한 고속 검출이 가능하도록 광위상변조기를 적용한 RSOD(Rapid Scanning-speed Optical Delay)를 제안한다.

II. 본 론

1. 광위상변조기를 이용한 RSOD의 이론

광위상변조기는 펄스변환 및 펄스 압축등에 주로 사용된다. 광위상변조기에 입사된 광의 주파수를 광위상변조기에 인가하는 전기장에 의해 주파수천이가 발생하게 된다.

그림 1에 광위상변조기를 이용한 광 지연단의 개념도를 보인다. 그림에서 첫 번째 광위상변조기는 입사된 광을 변조전압입력에 대해 파장이 천이 되고, 천이된 광은 DSF를 거치며 시간지연이 발생하게 된다. 시간지연이 발생한 광은 두 번째 광위상변조기를 거쳐 원래 파장의 복귀된다.

광위상 변조기에서 광 위상은 광위상 변조기에 인가된 변조전압 및 변조주파수에 대해 식 (1)과 같이 변화한다.

$$\phi = \pi \frac{V}{2V_{\pi}} \sin(2\pi f_m t) \approx \pi^2 \frac{V}{V_{\pi}} f_m t \quad (1)$$

f_m : 변조 주파수

V : 위상변조기의 peak to peak 전압

V_{π} : 위상변조기의 π 위상 변조를 위한 전압

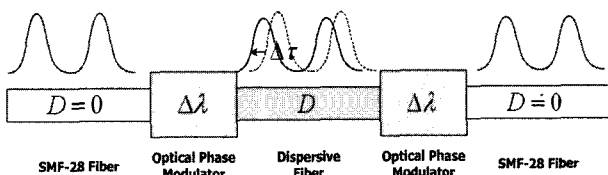


그림 1. 광위상 변조기를 이용한 광지연단의 개념도
Fig. 1. Concepts of optical delay line using optical phase modulators.

위상변조기에 입사된 광위상은 식 (2)와 같이 변화된다.

$$\Delta\omega = \frac{d\phi}{dt} = \pi^2 (V/V_{\pi}) f_m \quad (2)$$

식 (2)에 의해 광 주파수가 천이되며, 광파장은 식 (3)과 같이 광위상변조기를 거쳐 천이된다.

$$\Delta\lambda = \left(\frac{\lambda^2}{2\pi c} \right) \Delta\omega \quad (3)$$

이는 프리즘의 입사각의 변화에 의한 광파장 천이와 유사하게 광위상 변조기의 변조 전압의 조절에 의해 광 주파수가 천이되고 DSF를 지나면서 광파장이 천이됨을 알 수 있다.

천이된 파장은 식 (4)와 같이 분산값을 갖는 광섬유를 이용해 광지연을 얻어낼 수 있게 된다.

$$\Delta\tau = \Delta\lambda D \quad (4)$$

여기에서 광 지연시간의 결정은 파장천이도, 광섬유 지연 정도, 광위상 변조기 전압, 변조전압등에 의해 결정된다.

2. 광위상변조기를 이용한 RSOD 시스템 구성

그림 2는 광위상변조기를 이용한 RSOD의 장치도이다. 실험에 사용된 광원은 파장 1304nm, 펄스폭 30ps, 10GHz의 반복율을 갖는 초고속 광원(Calmar Optcom, GSL-01FFMJU11)을 사용하였다. 초고속광원에서 발생된 펄스열은 광결합기에서 Target단과 광지연단으로 분리된다. 광지연단(ODL)의 광위상 변조기(OPM)로 Sumitomo사의 T.PM 1.3-10-P-FN 위상변조기를 사용하였다. 광지연단에서 각각의 광위상 변조기1(OPM1)과 광위상 변조기2(OPM2)는 각각 π 만큼의 위상차를 갖고 위상 변조 드라이버 (1310SZ-EVB, Inphi Co.)에 의해 변조된다.

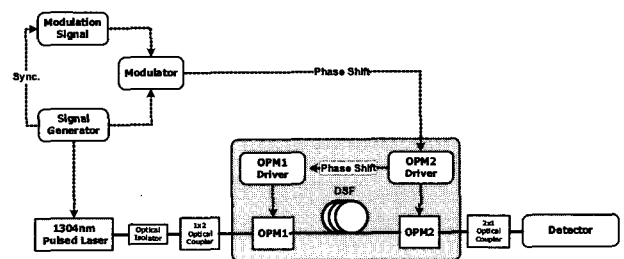


그림 2. 광위상변조기를 이용한 RSOD 시스템의 구성도
Fig. 2. System configurations of RSOD system using optical phase modulators.

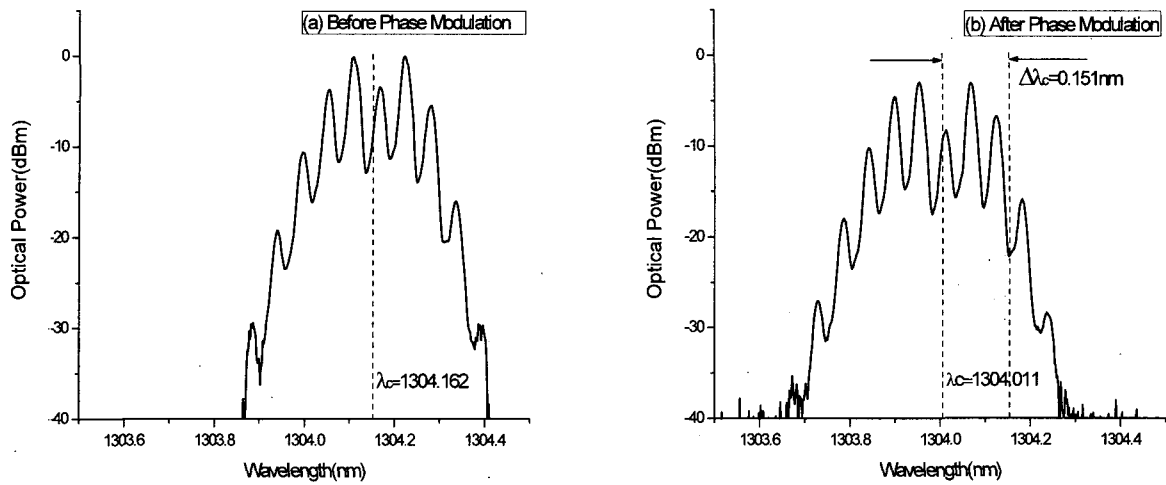


그림 3. 광위상변조기에 의한 광선이 스펙트럼
 (a) 광위상변조기에 입사된 광스펙트럼
 (b) 광위상변조기를 거친후 광스펙트럼

Fig. 3. Shifted optical Spectrum by optical phase modulator.
 (a) Optical spectrum into the optical phase modulator
 (b) Optical spectrum after optical phase modulator

2. 광위상변조기를 이용한 RSOD 실험

레이저광원 및 광위상 변조기의 신호 주파수로 10GHz의 전기 신호를 인가하고, 변조주파수로 10MHz의 신호를 인가하였다. 광위상 변조기에 입사되기 전 광과 입사된 후 천이된 광의 스펙트럼을 그림 3에 보인다. 광스펙트럼은 ANDO 6312B 광스펙트럼 분석기를 사용하여 획득하였으며, 광위상변조기를 거치기전 1304.162nm의 파장을 갖고 있음을 알 수 있다. 광위상 변조기에서 4V의 입력전압을 가했을 때 식(3)에서와 같이 광 스펙트럼이 1304.011nm로 천이되었음을 알 수 있다. 광 스펙트럼의 천이도는 식(3)에서 보듯이 광위상변조기에 가해진 변조 전압, 변조 주파수, 광위상변조기의 특성에 따라 결정된다.

광위상변조기에서 천이된 광은 DSF에 입사되며 식(4)에서와 같이 원광원 펄스열에 대해 광위상변조기에 가해진 전압값에 대해 시간지연이 발생하게 된다. 그림 4는 주파수 천이에 대한 시간 지연을 보여준다. 그림 4에서 초기 0V에서는 시간지연이 발생하는것을 보이지 않으나 입력전압이 높아짐에 따라 식(4)와 같이 선형적인 지연시간이 발생함을 알 수 있다. 본 실험에서는 최고 전압으로 4V를 인가하였는데 최고 변조 전압에서 최대 11ps의 시간 지연을 얻을 수 있었다. 실제적으로

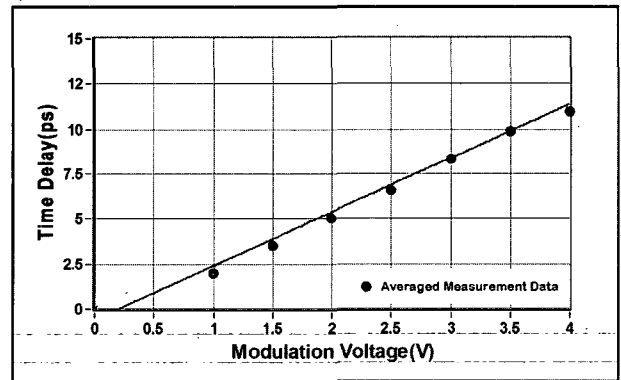


그림 4. 변조 전압 입력에 대한 시간 지연
 Fig. 4. Time delay versus modulation voltage input.

지연시간은 변조 전압을 변화하고, 필요에 따라 DSF를 변화함에 따라 임의로 조정이 가능하게 된다.

그림 5는 광위상변조기를 이용한 RSOD의 간섭신호 획득을 위한 장치도이다. 기본적인 구동 장치는 그림 2와 같으며 대물렌즈를 장착하여 유리판에서의 간섭신호를 획득하였다.

그림 6은 그림 5의 실험 장치를 이용하여, 1.35mm 두께의 유리판에 45°각도로 입사하여 측정된 간섭신호이다. 간섭신호의 FWHM은 약 250μm로 측정이 가능하였으며, 제안된 시스템이 충분한 고속 측정이 가능하였

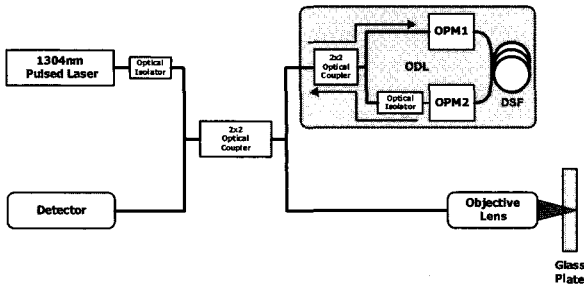


그림 5. 간섭신호 측정을 위한 장치도
 Fig. 5. System setup for measuring the fringe signal.

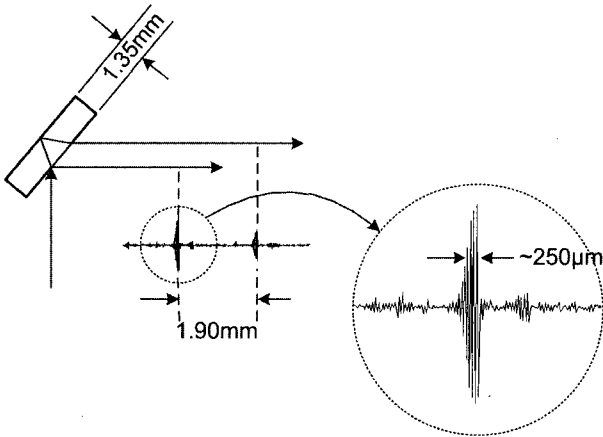


그림 6. 유리판 측정에 의한 간섭신호
 Fig. 6. Interference signal by glass plate thickness measurement.

고, 광원 및 광위상변조기의 최적화를 통해 정밀 계측을 할 수 있을 것으로 예상된다.

III. 결 론

본 논문에서는 기존의 기계적 방식 지연단을 대신하여 광위상변조기를 광지연단을 적용한 고속 광간섭계를 제안하였다. 이를 위해 기존의 기계적 방식의 지연단을 배제한 광위상변조기를 이용한 광지연단을 구성하였고, 고속 광간섭계에 대한 시스템 실험 하였다. 실험 장치는 중심파장 1304nm, 반복율 10GHz의 초고속 광원, 위상변조기를 사용하여 구성하였다. 구성된 광간섭계는 광섬유형태로 기존의 기계적방식 지연단의 경우 검출 속도가 느리며, 외부 환경에 민감하며, 또한 기계 부품의 유지 보수가 필요한데 반에 광위상변조기를 적용한 광간섭계의 경우 고속의 검출 및 지연시간의 가변이 매우 용이한 장점이 있다. 실험 결과 변조 전압의 조정에 의해 지연시간의 조정이 가능하며, 최대 11ps의 광지연 시간을 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Pan, E. Lanckenau, J. Welzel, R. Birngruber, and R. Engelhardt, "Optical coherence-gated imaging of biological tissues," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 2, pp. 1029 - 1034 (1996).
- [2] A. M. Rollins, M. D. Kulkarni, S. Yazdanfar, R. Ung-arunyawee, and J. A. Izatt, "In vivo video rate optical coherence tomography", *Opt. Express* vol. 3, pp. 219-229 (1998)
- [3] G. J. Tearney, B. E. Bouma, and J. G. Fujimoto, "High-speed phase and group-delay scanning with a grating-based phase control delay line", *Opt. Lett.*, vol. 22, pp. 1811-1813 (1997)
- [4] X. Liu, M. J. Cobb, and X. Li, "Rapid scanning all-reflective optical delay line for real-time optical coherence tomography", *Opt. Lett.*, vol. 29, pp. 80-82 (2004)
- [5] A. L. Oldenburg, J. J. Reynolds, D. K. Marks, and S. A. Boppart, "Fast-Fourier-Domain Delay Line for in vivo Optical Coherence Tomography with a Polygonal Scanner", *Appl. Opt.*, vol. 42, pp. 4606-4611 (2003)

저 자 소 개



황 대 석(정회원)

1998년~2000년 목원대학교
대학원 전자공학과
석사 졸업

2000년~2002년 (주)코닉스 기술
연구소 연구원

2002년~2006년 목원대학교
IT공학과 박사 졸업

2006년 현재 목원대학교 부설 IT 공학 연구소
책임연구원

<주관심분야 : 광통신 및 광계측>



이 영 우(정회원)

1985년 경희대학교 대학원
전자공학과 석사

1990년 일본 Keio University
전기공학과 박사

1990년~1992년 독일 Max-
Planck 연구소 연구원

1992년~현재 목원대학교 정보전자영상공학부
교수

<주관심분야 : Biomedical Photonics>