

Mach-Zehnder 광섬유 간섭계를 이용한 Heterodyne 검파 방법

정규철^o, 송정태, 이경식
 성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터 공학부

All-fiber heterodyne interferometer with phase modulation

Kyu Cheol Jeong, Jung Tae Song, Kyung Shik Lee
 School of Electrical and Computer Eng., Sungkyunkwan Univ.

Abstract -We have proposed and demonstrated a novel method of heterodyne detection using all-fiber Mach-Zehnder interferometer. The method is characterized by the phase modulation with a sawtooth waveform instead of a frequency modulation in true heterodyne. The experimental results will be compared with the expected results.

1. 서 론

광섬유 간섭계를 이용한 측정 시스템에서 사용되는 검파 방법으로는 크게 homodyne 방식과 heterodyne 방식이 있다.

Heterodyne 방식은 주로 작은 위상변화를 측정하는데 많이 이용되었다[1]. 그러나 homodyne 방식의 경우 drift에 의한 신호의 강도가 시간적으로 변화하는 현상(fading)이 발생한다. Heterodyne 방식의 경우에는 이러한 현상에 영향을 받지 않는 장점이 있다 [2]. 본 연구에서는 위상변조 방법을 이용하여 지금까지 제안된 합성 heterodyne 방법 [3,4]의 신호처리과정을 보다 간단히 할 수 있는 방법을 제시하고 실험을 통하여 알아보았다.

2. 신호검출 원리 및 실험결과

2.1 신호검출 원리

일반적인 heterodyne 방식은 각주파수가 각각 ω_1 , $\omega_2(=\omega_1+\Delta\omega)$ 인 두 광원을 이용하여 여기서 발생하는 간섭을 이용하는 방식이다. 이때 간섭계의 신호는 $\cos(\Delta\omega + \phi_s(t))$ 로써 신호가 출력신호의 위상성분에 포함되는 형태를 가지고 있다. 벌크형태의 경우 Bragg cell 등을 이용하여 두 빔에 일정한 주파수 차를 만들어 줄 수 있으나, 전 광섬유 간섭계 형태에서는 이러한 주파수 변조를 이용할 수가 없다. 그래서 본 연구에서는 전 광섬유 간섭계에서 heterodyne방식을 구현하

기 위해서 주파수 변조가 아닌 위상변조를 이용하는 방법을 제안하였다. Mach-Zehnder 간섭계의 출력은 양 경로간의 위상차가 $\Delta\phi$ 이면 $\cos(\Delta\phi)$ 가 된다. 이때 위상차가 시간에 따라서 일정한 형태로 변하게 되면 출력되는 신호는 위상변화에 대한 신호가 된다. 간섭계의 한쪽 경로에 위상변조기를 설치하고 스트레인 $e(=\Delta L/L)$ 가 인가될 때 위상변화는 다음 식과 같다.

$$\Delta\phi = k_{eff}Le \quad (1)$$

여기서 k_{eff} 는 광섬유 내에서 빛의 유효전파 상수, L 은 스트레인이 인가된 부분의 길이이다. 위상변조기에서 인가되는 스트레인 e 가 인가 전압에 대하여 비례할 경우의 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\alpha(t) = \alpha V(t) \quad (2)$$

여기서 α 는 비례상수, $V(t)$ 는 위상변조기에 가하는 전압신호이다. 위상변조기에 인가하는 전압의 파형을 톱니파로 하면 다음과 같다.

$$V(t) = V_p \left(\frac{t}{T_m}\right) t = V_p f_m t \quad (0 \leq t < T_m) \quad (3)$$

여기서 T_m 은 톱니파의 한 주기, V_p 는 최대 전압이다. 그러므로 톱니파 인가시 위상변화는 다음과 같다.

$$\phi_m(t) = \phi_m f_m t \quad (0 \leq t < T_m) \quad (4)$$

외부에서 톱니파 변조신호 이외의 다른 신호가 가해지지 않은 경우 간섭계 출력은 $\omega_m = \phi_m f_m$ 인 정현파를 얻을 수 있다. 이렇게 위상변조 되고 있는 간섭계에 또 다른 스트레인에 의한 위상변화 $\phi_s(t)$ 가 가해지면 간섭계에서 나오는 최종 출력 $S(t)$ 는 다음의 식(5)와 같이 나타나며, 톱니파 형태의 위상변조를 이용하게 될 경우 간섭계의 출력이 주파수 변조를 통한 heterodyne 방식과 동일한 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러므로 FM복조 방법을 이용하여 $d\phi_s(t)/dt$ 를 얻을 수 있다.

$$S(t) = \cos(\omega_m t + \phi_s(t)) \quad (5)$$

2.2 실험 및 결과

본 실험의 구성은 그림1과 같다. 여기서 FC는 광섬유 커플러, PM은 위상변조기, PC는 편광조절기, FG는 function generator, ST는 스트레인 변환기이다. 위상변조를 하기 위하여 간섭계의 기준경로에 원통형 PZT에 광섬유를 감아서 위상변조기를 만들었으며, 감지경로에도 신호를 인가하기 위하여 스트레인 변환기로 원통형 PZT를 부착하였다. 그리고 신호를 검출하기 위해서 신호처리 전자회로(SPE)에는 PLL을 이용한 FM복조회로로 구성되었다. PZT의 주파수 특성 때문에 위상변조기에 톱니파를 인가한 경우 하강시간이 매우 짧기 때문에 간섭계의 출력신호의 주파수가 불안정 하였다. 이러한 이유로 톱니파를 대신하기 위해서 그림2.에서와 같은 duty cycle이 80%인 비대칭적인 삼각파를 만들어 위상변조기에 인가하였다. 이 경우 그림2에서 상승시간 동안에는 주파수가 매우 안정적이고 깨끗한 신호를 보였다. 반면 하강시간 동안에는 높은 주파수의 신호가 만들어져 신호 검출시 오차를 발생시켰다. 변조기에 인가한 변조신호의 전압은 $20V_{p-p}$, 주파수는 160Hz였으며, 변조기에 입력되는 변조신호의 상승시간 동안 간섭계에 출력된 신호의 주파수는 2KHz였다. 그림3은 위상변화폭이 0.6458π (rad.)이고 주파수가 195Hz인 정현파 신호를 감지경로에 인가 했을 경우 FM복조회로의 출력을 오실로스코프를 이용하여 본 그림이다. 아래쪽은 감지경로에 인가한 신호이며 위쪽은 FM복조회로를 통해 검출한 신호이다. 그림4는 위상변화폭 0.6458π (rad.)이고 주파수 290Hz인 정현파 신호를 감지경로에 인가한 경우이다. 그림3과 4의 결과로부터 검출된 신호와 인가한 신호를 보았을 때 $\pi/2$ 만큼의 위상차가 보이며 이는 FM복조회로 검출 신호가 $d\phi_s(t)/dt$ 이기 때문이다. 본 실험결과를 통하여 본 연구에서 제안된 방법에서 예상되던 출력형태가 잘 나타나고 있음을 확인하였다. 그러나 복조된 신호가 저역통과필터(Low Pass Filter)의 성능이 완전하지 않은 이유로 고주파 잡음이 매우 크게 나타나고 있음도 볼 수 있었다.

3. 결 론

Mach-Zehnder 광섬유 간섭계에서 톱니파를 이용한 위상변조를 이용하여 heterodyne 검파 방법을 구현하였다. 실험결과 본 연구에서 제안된 예상 출력을 실험결과를 통하여 얻을 수 있었다. 고주파 잡음이 문제점으로 발견되었으나 이는 위상변조기와 저역통과필터의 성능을 향상 시킨다면 개선할 수 있다. 본 연구에서 제안한 위상변조를 이용한 heterodyne 방법은 신호처리가 간단하면서

오차 없이 스트레인을 측정할 수 있는 실용성 있는 새로운 방법이 될 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] D. A. Jackson, A. Dandridge, and S. K. Sheem, "Measurement of small phase shifts using a single-mode fiber interferometer", Optics Lett., Vol. 5, No. 4, pp. 139-141, 1980
- [2] D. A. Jackson, R. Priest, A. Dandridge, and A. B. Tveten, "Elimination of drift in a single-mode optical fiber interferometer using a piezoelectrically stretched coiled fiber", Applied Optics, Vol. 19, No. 17, pp. 2926-2929, 1980
- [3] James H. Cole, Bruce A. Danver, and Joseph A. Bucaro, "Synthetic-Heterodyne Interferometric Demodulation", IEEE J. of Quantum Electron., Vol. 18, No. 4, 1982
- [4] S. Huang, P.-A. Nicati, K. Toyama, B.Y. Kim, and H. J. Shaw, "Synthetic heterodyne in a fiber-optic ring-laser gyro", Optics Lett., Vol. 18, No. 1, pp. 81-83, 1993

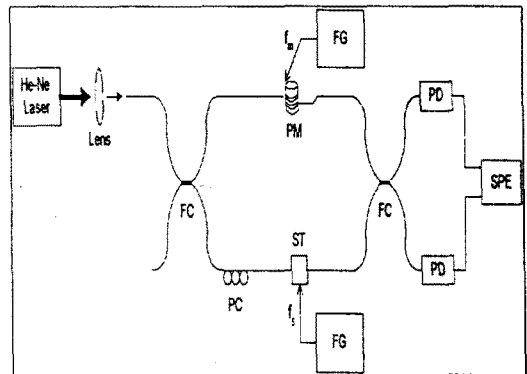


그림 1 위상변조를 이용한 all-fiber Heterodyne Interferometer의 구성도

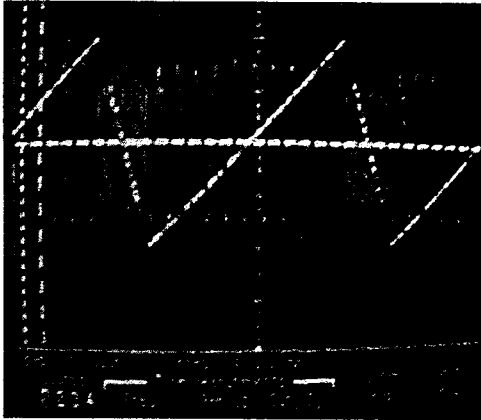


그림 2 위상변조에 의한 간섭계 출력 신호

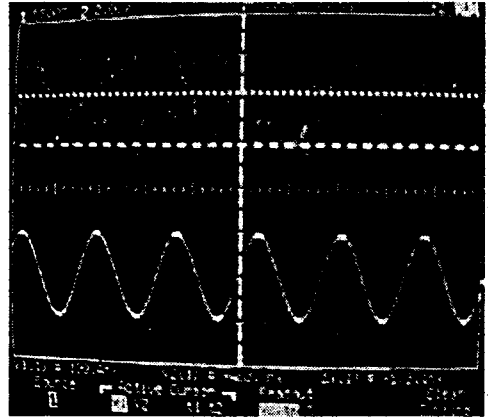


그림 4 톱니파 위상변조를 이용한 heterodyne
검파 방법을 이용한 출력 결과 (입력신호 :
 $0.6458\pi\sin(\omega t)$, $\omega=290\text{Hz}$)

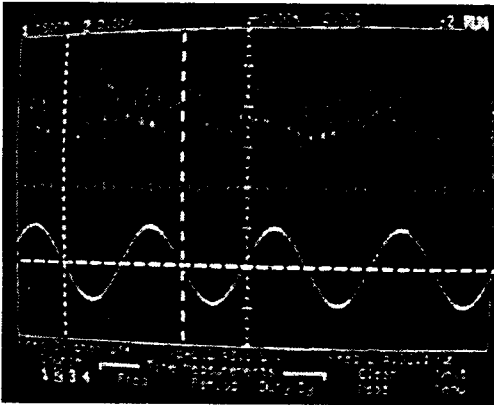


그림 3 톱니파 위상변조를 이용한 heterodyne
검파 방법을 이용한 출력 결과 (입력신호 :
 $0.6458\pi\sin(\omega t)$, $\omega=195\text{Hz}$)