

DCF내의 여러 모드를 이용한 새로운 Tunable Fiber-Optic Microwave Filter

A Novel Tunable Fiber-Optic Microwave Filter using Multi Modes in DCF

¹이광현*, ¹최우영, ²최상수, ²오경환

¹연세 대학교 전기 전자공학과

²광주 과학 기술원 정보 통신 공학과

Abstract

We demonstrate a novel tapped delay line fiber-optic microwave filter which consists of a four-mode dispersion compensation fiber (DCF) and a light source. The phase difference of taps is produced by the velocity difference between modes in DCF. The difference can be easily controlled by tuning the incident light wavelength.

1. Introduction

최근 큰 대역폭(Bandwidth), 큰 동작 영역(Dynamic Range), low loss 등의 장점을 지닌 광섬유 지연선(Delay Line)을 이용하여 시간 지연을 얻는 다양한 방법이 제시되고 있다. 신호간의 시간 지연은 Optically Controlled Phased Array Antennas, 또는 Photonic Analog to Digital Converter와 같이 다양한 응용 분야에 이용된다. 마이크로파 광 필터(Microwave Fiber-optic Filter) 역시 광섬유 지연선을 이용하는 중요한 응용 분야 중 하나이다.

기존의 필터를 구성하는 방법에는 여러 개의 매우 긴 High Dispersive Fibers(HDF)를 이용하는 방법 [1], 여러 개의 광원과 하나의 HDF를 이용하는 방법 [2], 그리고 여러 개의 광원과 하나의 광섬유 격자(Fiber Bragg Grating)를 이용하는 방법 [3] 등이 있다. 그러나 이 방법들은 필터를 구성하는 탭의 수만큼의 광원 또는 매우 큰 분산 광섬유가 필요하다는 단점을 지닌다. 본 논문에서는 하나의 광원과 하나의 짧은 분산 보상 광섬유(DCF)를 이용하여 여러 개의 탭을 구성하는 새로운 방법[4-5]을 제시하고, 그 특성을 simulation과 실험을 통해 검증한다.

2. Theory & Experimental results

기본적으로 필터는 신호의 파워를 조절하는 부분과 신호의 위상을 조절하는 부분으로 구성된 tap이 여러 개 모여 이루어진다. 광 필터에서는 일반적으로 attenuator를 이용해 신호의 파워를 조절하며, 신호의 위상은 길이가 다른 fiber를 이용하여 조절한다. 따라서 tap수 만

큼 fiber와 attenuator가 필요하다. 본 논문에서는 광섬유에 존재하는 여러 개의 모드를 이용해 tap을 구성하였다.

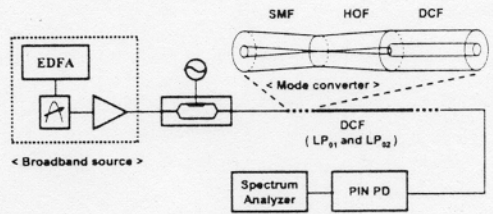


그림 1 Experimental setup

[그림 1]은 experimental setup을 나타내고 있다. EDFA의 ASE와 tunable 필터를 이용하여 0.4nm 이상의 선폭을 갖는 광원을 만들었다. 이는 광검출기에 도달하는 모드들간의 coherence를 깨트리기 위해서이다. 본 실험에 사용된 DCF는 광원의 파장이 C-Band (1.53um~1.57um)내에 있는 경우, LP01, LP11, LP21, LP02의 네 개의 모드를 가진다. 그러나 LP11모드와 LP21모드로는 광섬유의 기본 모드인 LP01모드와의 mode orthogonality 특성에 의해 LP01모드가 지닌 신호의 파워가 전달되지 않는다. 따라서 DCF내에 존재하는 LP01과 LP02모드로만 신호의 파워가 전달되며, 이때 각각의 모드에 전달되는 파워의 비율은 중공 광섬유의 중공 반경에 의해 결정된다 [6]. DCF내의 LP01모드와 LP02모드는 서로 다른 group index를 갖게 되고, 그 결과 두 모드는 서로 다른 속도로 DCF를 진행하게 된다. DCF의 길이를 L로 정의하면, 두 모드간에 발생한

Time Delay는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta T = \left(\left(\frac{d\beta}{d\omega} \right)_{LP02} - \left(\frac{d\beta}{d\omega} \right)_{LP01} \right) L$$

[그림 2]는 DCF내부에 존재하는 LP01모드와 LP02 모드간의 Time Delay를 wave equation과 boundary condition을 적용하여 수치적으로 구한 것이다. DCF를 통과한 두 모드는 다시 모드 변환기를 통해 단일 모드 광섬유에 맞는 기본 모드로 Coupling 되어 PD로 들어가게 된다. 이때 PD에서 검출된 신호의 Power는 DCF내의 LP01모드와 LP02 모드로 전달된 Power Ratio가 50:50이고, 두 모드간의 Time Delay가 ΔT 일 경우, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P \propto \cos(\pi \Delta T L f)^2$$

[그림 3]은 서로 다른 파장에 대한 주파수 응답의 측정 결과이다. 이 때 DCF 길이는 46m이며, dip의 크기가 작은 이유는 LP01과 LP02 mode로 전달된 power ratio가 약 3:2 정도이기 때문이다. 이 결과를 보면 광원의 파장이 1527nm 일 경우 두 모드간의 time delay는 약 20.5ns, 1541nm 일 경우는 약 23.6ns의 값을 알 수 있다. 즉 두 모드의 time delay는 광원의 파장을 변화시켜 쉽게 조절할 수 있다.

3. Conclusion

본 논문에서는 하나의 광원과 하나의 짧은 DCF로 Two Tap Microwave Filter를 구성하였다. 제안된 필터는 기존의 방법과 달리 짧은 광섬유를 이용했으며, 하나의 광섬유로 두 개의 tap을 구성하였다. 또한 광원의 파장을 변화시킴으로써 쉽게 tuning 할 수 있고, 만약 더 많은 mode를 갖는 DCF를 이용한다면, 두 개 이상의 tap을 구성하여 원하는 특성의 filter를 만들 수 있다.

References

[1] Michael Y. Frankel *et al.*, "Fiber-Optic Tunable Microwave Transversal Filter," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 7, no. 2, pp.191-193, 1995.
 [2] D. Norton *et al.*, "Tunable Microwave Filtering Using High Dispersion Fiber Time Delays," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol.6, no. 7, pp. 831-832, 1994.
 [3] Jose Capmany *et al.*, "New and Flexible Fiber-Optic Delay-line Filters Using Chirped Bragg

Gratings and Laser Arrays," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 7, pp. 1321-1326, 1999.

[4] 최우영, 이광현 "고차모드를 이용한 광동조 마이크로웨이브 필터," 대한민국 특허, 10-2002-0014441, 2002.

[5] 이광현, 최우영, 최상수, 오경환. "DCF내의 여러모드를 이용한 Tunable Photonic Microwave Filter," COOC 2002, ThD3-2.

[6] S. Choi *et al.*, "Higher-Order-Mode Dispersion Compensation Technique Based on Mode Converter using Hollow Optical Fiber," *OFC '02(2002)*, WA.6.

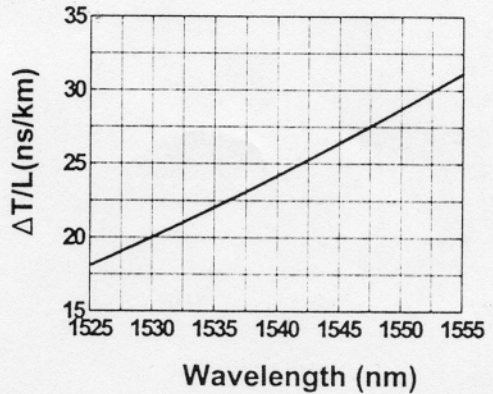


그림 2 파장에 따른 DCF내에서의 LP01과 LP02모드간의 Time Delay

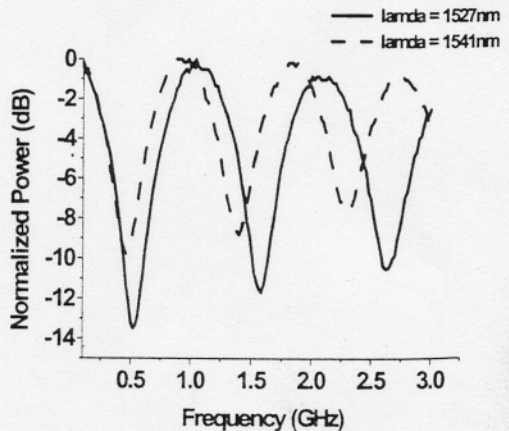


그림 3 Fiber-optic microwave filter 특성