

DCF내의 여러 모드를 이용한 새로운 Tunable Photonic Microwave Filter

A Novel Tunable Photonic Microwave Filter using Multi Modes in DCF

¹이광현*, ¹최우영, ²최상수, ²오경환

¹연세 대학교 전기 전자공학과

²광주 과학 기술원 정보 통신 공학과

Abstract

We propose a novel tapped delay line photonic 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

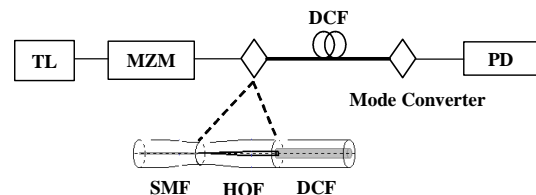
최근 큰 대역폭(Bandwidth), 큰 동작 영역(Dynamic Range), low loss 등의 장점을 지닌 광섬유 지연선(Delay Line)을 이용하여 시간 지연을 얻는 다양한 방법이 제시되고 있다. 신호간의 시간 지연은 Optically Controlled Phased Array Antennas, 또는 Photonic Analog to Digital Converter와 같이 다양한 응용 분야에 이용된다. 마이크로파 광 필터(Microwave Fiber-optic Filter) 역시 광섬유 지연선을 이용하는 중요한 응용 분야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

2. Theory & Simulation

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.



TL: Tunable Laser
MZM: Mach-Zehnder Modulator
HOF: Hollow Optical Fiber

그림 1 Photonic Microwave Filter

[그림 1]은 광원과 광 변조기, 모드 변환기, 광 검출기 그리고 DCF로 구성된 마이크로파 필터를 나타내고 있다. 본 논문에서 고려한 DCF는 코어의 직경이 6.8um이며, 코어와 클래딩의 굴절률 차이가 2.02%인 Step 구조이다. 이런 구조에서 광원의 파장이 C-Band(1.53um~1.57um) 내에 있는 경우, DCF는 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 [5]. 만약 LP01과 LP02모드로의 전달 파워 비를 50:50으로 가정할 경우, 중공 반경이 대략 0.6um가 되어야 한다. 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.

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

[그림 2]는 DCF내부에 존재하는 LP01모드와 LP02 모드간의 Time Delay를 wave equation과 boundary condition을 적용하여 수치적으로 구한 것이다. 이 결과에서 볼 수 있듯이, 1550nm 파장에서 DCF의 길이가 대략 14m정도이면 1ns의 Time Delay를 얻을 수 있다. 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 응답이며, 이 때 DCF 길이는 14m로 가정하고 있다. 본 결과에서 주파수 응답의 주기는 Time Delay의 역수이며, 이 값은 광원의 파장을 변화시켜 조절할 수 있음을 알 수 있다.

3. Conclusion

본 논문에서는 하나의 광원과 하나의 짧은 DCF로 Two Tap Microwave Filter를 제안하였다. 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] S. Choi *et al.*, "Higher-Order-Mode Dispersion Compensation Technique Based on Mode Converter using Hollow Optical Fiber," *OFC '02(2002)*, WA6.

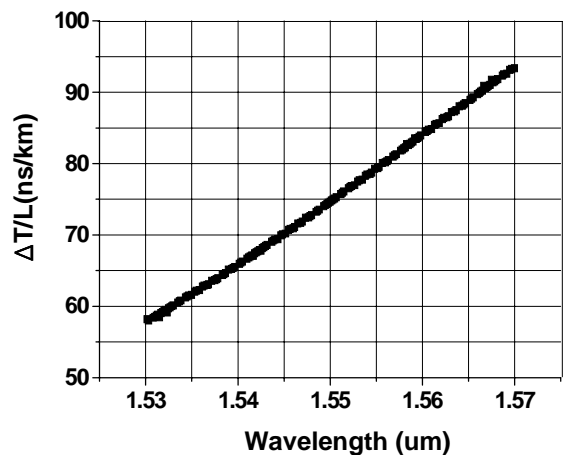


그림 2 파장에 따른 DCF내에서의 LP01과 LP02모드간의 Time Delay

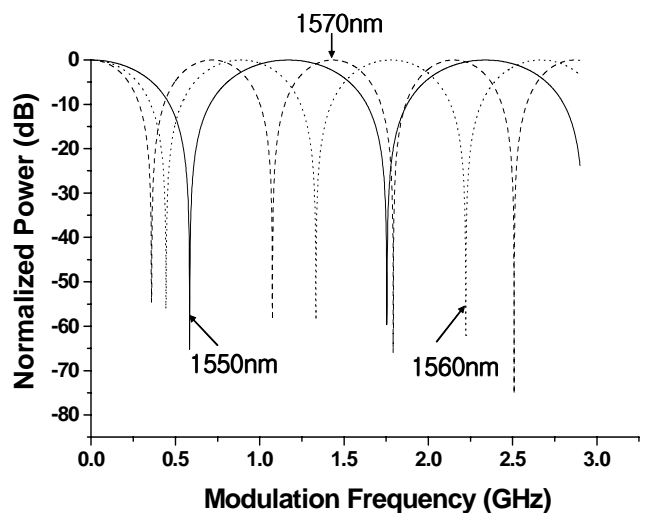


그림 3 주파수 응답