《特別寄稿》

광파이버필터의 발전동향

손 정 영*· 이 채 욱**· 김 신 환**
(*KIST 응용전자연구실, **대구대학교 정보통신공학과)

■ 차 례 ■

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 광파이버필터의 기본개념
Ⅲ. 광파이버필터의 기술동향
Ⅳ. 결 론

Ⅰ. 서 론

光의 특징인 高速性, 廣帶域性, 竝列性 등의 뛰어난 성질을 이용한 光信號處理回路는 장래의 광통신, 광컴퓨터분야등에 광범위한 응용이 기대되어 활발한 연구가 이루어지고 있다. 최근에는 레이다신호처리, 映像처리 시스템 등 방대한 데이타를 빠른 시간에 처리해야 하는 분야 특히 光周波數分割多重方式(Optical FDM)에서는 수십 GHz단위의 高周波신호에 대한 실시간 필터링처리가 요구되고 있다. 그러나 종래의 고주파신호에 대한 필터링에 대해서는, 彈性表面波素子를 遲延素子로 이용하는 탄성표면파 필터(SAW Filter)가 널리 알려져 있고 또한 가장 많이 이용되고 있지만, 다음 표에서 보는 바와같이 SAW Filter는 1 GHz 이상의 고주파에 대해서는 Propagation attenuation이 커지기 때문에 적당하지 못하다[1].

	Frequency in GHz			
	0.01	0.1	1.0	10
Acoustic Waves	10^{4}	10^{2}	1	100
Coax RG-19 / U	—	5	28	125
X-band Waveguide	—	—	—	30
Optical Fiber	0.4	0.4	0.4	0.4

표 1Propagation attenuation for several delay materials (dB / μs)

한편 광파이버는 低損失, 廣帶域, 그리고 극히 작은 遲延(delay)도 정확하게 얻을 수 있기 때문에 고주가, 廣帶域신호의 高速信號處理에 적합한 遲延媒體로 주목받고 있다. 이와같은 배경으로 光의 廣帶域 性質을 적극적으로 이용하여 通過周波數帶域이 넓은 高速光信號의 處理를 그 목적으로 하여 광파이버를 지연소자(delay line)로 이용하는 광파이버필터가 주목받게 되었다.

광파이버를 지연소자로 이용할 것을 1976년에 Wilner와 van den Heuvel에 의해 최초로 제안되었으며[1], 레이다 신호처리에 대한 응용의 하나로서 Taylor등에 의해 광파이버필터에 대한 간단한 실험이 이루어졌다[2]. 그 다음 해인 1977년에 Ohlhaber와 Wilner에 의해 광파이버를 지연소자로 하는 pulse coding 실험에 성공한 [3]후, 광디바이스의 발전에 힘입어 상관계산, 부호기, buffer memory, gyroscope, 공진기 등 각종의 연산 및 신호처리를 고속으로 실행하는 분야에 대한 많은 논문들이 발표되었다[4][5][6][7]. 이러한 실험들은 光源(source)에 대해서는 시스템의 구성이 간단하다는 이유로 incoherent 광을 이용하고 있다. 그러나 incoherent 광으로는 광강도변조를 하기 때문에 원칙적으로 負의 신호는 취급할 수 없다. 이러한 문제점 때문에 최근 반도체 laser의 cohernce 향상에 힘입어 coherent 광통신에 대한 많은 연구가 이루어지고 있고 廣帶域이 요구되는 분야에서도 많은 관심을 끌고 있다[8].

특히 광파이버를 지연소자로 이용한 광파이버필터에 대해서도, 그 구성요소의 급격한 발전으로 광파이버의 전파 mode 종류가 多重모드(multi-mode)에서 單一모드(single moed)로, 그리고 光源(source)은 in-coherent 광원으로 부터 coherent 광원을 사용하게 되어, 초고주파신호 및 광대역신호에 대한 필터링처리를 고속으로 처리할 수 있게 되었다. 그리고 광이 발생하여 서비스 단말에 이르기까지 광의 상태로써만 전송, 중계, 신호처리 되는 完全 光通信(all-optical communication)의 요구가 최근 급격히 늘어나 이 분야에서 많은 주목을 받고 있다.

laser의 안정화와 狹스펙트럼제어기술 개발, 헤테로다인기술 개발 등 device의 기술적과제를 극복하면 coherent광을 이용한 광파이버필터는 임의의 계수를 표현할 수 있고, 고유의 결합손실도 없이 신호를 처리할 수 있다. 그리고 광파이버필터는 광변조신호를 광의 주파수영역에서 직접 처리하는 全光形필터로 상래의 高速, 廣帶域 광교환기 기술의 기초적인 연구과제로서 광교환 기술의 유력한 도구의 하나로 될 수 있으리라 기대된다. 최근 일본 NTT 교환시스템 및 광전송시스템 연구소에서 코히런트광을 이용하여 GHz 단위에서 저역통과 및 고역통과 주파수특성을 고속으로 실현하는 광파이버필터를 발표하여 많은 관심을 끌었다[9][10][11].

여기서는 광파이버를 지연소자로하는 광파이버필터에 대하여 그 기본적인 개념과 지금까지 발전해온 기술적인 내용에 대하여 간략하게 요약하고자 한다.

Ⅱ. 광파이버필터의 기본개념

광파이버필터의 구성요소와 그 기본적인 성질을 간단히 설명한다.

2.1 광파이버필터의 구성요소

2.1.1. 광파이버

광파이버의 길이를 적당히 결정함으로써 희망하는 單位遲延時間을 정확히 얻을 수 있다. 예를 들면 광파이버의 屈折率이 1.5일 경우 길이 1m의 광파이버로 얻을 수 있는 지연시간은 5 ns이다. 그리고 5 GHz의 대역폭(주기)을 가진 필터를 얻기 위해서는 단위지연선을 4cm로 설정하면 된다.

2.1.2 방향성결합기

광신호를 分岐·結合하는 기능을 갖고 있는 방향성결합기의 입출력관계는 다음과 같이 행렬을 이용하여 표시할 수 있다[4][7].

$$\begin{bmatrix} E_3 \\ E_4 \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix}$$

여기서(E1, E2)와 (E3, E4)는 각각 입력과 출력의 強度(intensities)를 나타낸다. 그리고 $r(0.9 \le r \le 1)$은 방향성결합기의 전폭전달계수(intensity transmission factor)이다. 특히, 대칭형 방향성결합기의 경우는

$$A = 1 - a,\ B = a,\ C = a,\ D = 1 - a$$

로 주어진다.

한편 coherent광원을 이용할 경우 (E1, E2)와 (E3, E4)는 각각 입력과 출력의 複素振幅으로 주어지고 대칭형 방향성결합기의 경우는

$$A = \sqrt{1-a},\ B = j\sqrt{a},\ C = j\sqrt{a},\ D = \sqrt{1-a}$$

로 주어진다. 여기서 $j(=\sqrt{-1})$는 결합된 신호에 대해 90° 位相 shift를 의미한다.

2.2 광신호처리

2.2.1 incoherent光에 의한 신호처리

광신호를 필터링하기 위한 일반적인 광신호처리

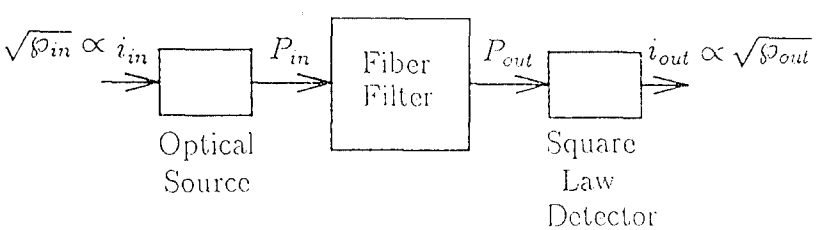


그림 1. Incoherent광에 의한 신호처리

시스템은 그림 1에서와 같이 광원, 광파이버필터 그리고 광수신기로 구성되어 있다[5]. 이러한 시스템은 선형이고 시불변 시스템이여야 하며 그 출력은 입력신호와 광파이버필터의 임펄스응답간에 convolution으로 표시된다.

2.2.2 coherent광에 의한 신호처리

coherent광이란 주파수와 위상이 충분히 안정된 광원으로 부터 발생되는 광으로서 그 진폭과 주파수 혹은 위상을 변조하여 정보를 보낼 수가 있다. 이러한 정보들을 광 heterodyne 혹은 광 homodyne 검파 등을 이용하여 고감도복조 조작에 의해 정보를 수신할 수 있다[8]. 현재 coherent광을 이용한 신호처리 시스템으로서는 그림 2와 같이 광원으로서는 HeNe 레이저를 사용하고, 광신호의 수신부에서는 beam splitter에 의한 국부발진기와 APD로 구성된 시스템등이 알려져 있다[12].

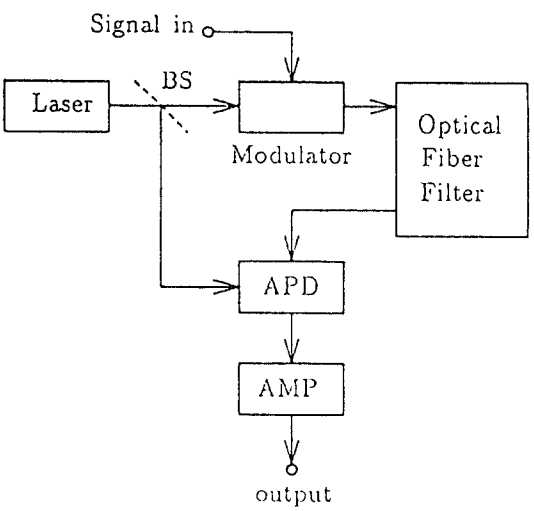


그림 2. Coherent광에 의한 신호처리

2.3 광파이버필터의 기본구조

광파이버필터의 구조중 대표적인 것으로 그림 3(a)와 같이 광파이버가 loop로 된 구조가 있다[5]. 이 구조는 그 자체가 부분적으로는 막혀있는 구조로 가장 간단한 필터링방식으로 알려져 있다. 한쪽 끝에서부터 입력된 신호는 loop를 돌면서 방향성결합기의 특성에 따라 출력된다. 예를 들어 incoherent 광원을 이용할 경우, 입력펄스가 P_0이면 n번째 출력펄스의 진폭은 다음과 같이 주어진다.

$$P_1 = aP_0,$$
$$P_n = (1-a)^2 a^{n-2} P_0,\ n = 2, 3, \cdots$$

여기서 a는 방향성결합기의 결합계수이다. 한편, 그림 3(b)에서와 같이 트랜스버셜형의 구조는 비재귀형의 경우로 입력된 신호가 연속적으로 표본화되고 계수를 결정하고 fiber-optic summer 등에 의해 incoherent적으로 합해지거나 아니면 검출 후에 전기적으로 결합된다.

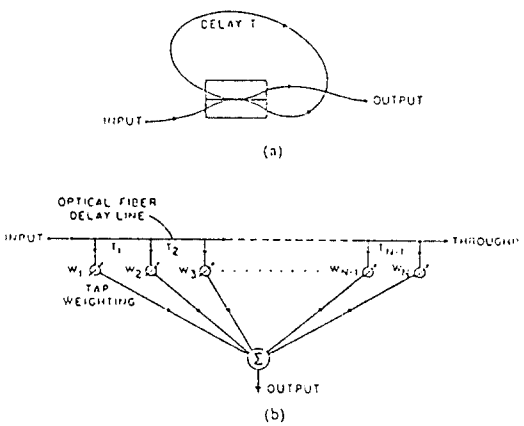


그림 3. 광파이버필터의 기본구조

coherent 광을 사용할 경우에는 신호광의 편파상태와 위상의 정합성이 중요하다. 그래서 필요에 따라 偏波制御器(polartisation controller)와 移相器(phase shifter)를 삽입한다. 예를 들어 광파이버필터의 구성요소로 지연은 도파로의 지연선으로, 승산은 가변분기기(tunable splitter)와 이상기로, 가산은 결합기(combiner)를 이용하여 지연선에 입력된신호는 지연선을 따라 방향성결합기의 성질에 따라 tap계수가 결정되어 coherent적으로 결합된다. tapping, weighting, 결합(combining)은 각각 디지탈 신호처리에서 sampling, 승산 그리고 가산에 대응한다. 이러한 관점에서 보아 승산, 가산을 기본연산으로 하는 디지탈필터의 기본구조를 그 대상으로하여 광파이버필터를 구성하는 설계법도 보고되어 있다[13][14][15].

Ⅲ. 광파이버필터의 기술동향

1976년 미국의 Naval Ocean System Center에서 광파이버를 지연소자로 이용한 광파이버필터를 최초로 발표하였다[2][16]. 그림 4와 같은 단순한 구조의 광파이버필터이다. 만일 가장 짧은 광파이버의 길이를 s라 하고, 광파이버간의 길이 차이를 L, 그리고 N을 광파이버의 갯수라 하면 각각의 파이버의 길이를 s, s+L,…, s+(N-1)L로 된다. 입력되는 광신호를 한 다발의 광파이버에 주입하면 각파이버의 길이의 차에 의해 필터링을 하는 원리이다. 이때 각 파이버에 입력되는 평균전력은 같아야 하고 분산이 없어야 한다. 이러한 구조로 협대역필터 혹은 matched 필터용의 신호처리로 사용할 수 있다.

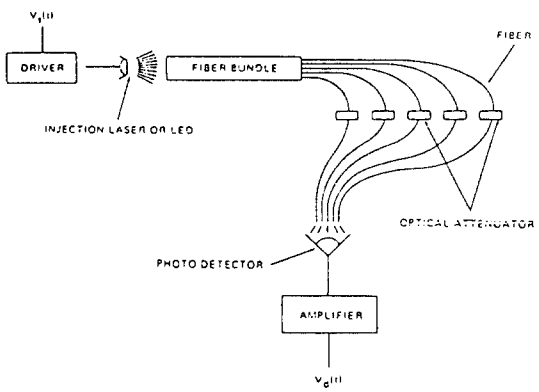


그림 4. 최초의 광파이버필터 구조

한편 1982년 Stanford 대학에서 광신호의 분배 및 결합을 위하여 방향성결합기를 사용하여 각종의 필터링처리를 실험, 보고한 후 광파이버를 지연소자로 이용하는 여러가지 광파이버필터에 대한 보고가 많이 발표되어 있다[17][18][19][20]. 특히, 방향성결합기를 사용한 대표적인 구조로는 그림 5와 같은 재귀형과 비재귀형 Lattice 구조를 들 수 있고[4], 또한 그림 4(b)에 표시되어 있는 트랜스버설형의 분기점 혹은 결합점에 방향성결합기를 사용하는 구조도 발표되어 있다.

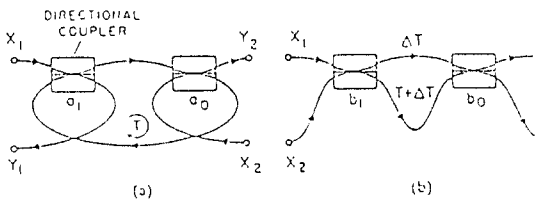


그림 5. Lattice형 광파이버필터 기본구조

이러한 기본구조를 多端으로 구성하여 보다 특성이 뛰어난 구조의 광파이버필터도 실현할 수 있고, 또한 상관계산, 부호기, 버퍼메모리, 자이로스코프, 공진기등 고주파 및 광대역신호의 고속처리를 대상으로 한 신호처리도 가능하다[4][5][6][7].

위에서는 광원을 incoherent 광을 이용하고 있다. incoherent 광을 이용한 경우 시스템 구성이 용이하고 취급하기 쉬운 반면, 광신호처리에서는 광 본래의 고주파의 성질 때문에 위상(phase)제어가 곤란하여 결국 광강도변조(Intensity Modulation)로 할 수 밖에 없는데, 이로 인하여 각 tap(방향성결합기로 구성)에 광신호의 진폭만을 가감(중첩)하기 때문에 위상의 정보는 이용할 수 없는 문제점이 있다. 그리고 원칙적으로 tap 계수가 負의 실수밖에 표현할 수 없다. 이러한 신호에 대해서는 필터 기능상 많은 제약이 따른다. 그리고 이러한 필터의 주파수 전달함수는 직류성분에 대하여 항상 최대치를 가지므로 고역통과 필터는 실현 불가능한 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 다수의 검출기를 사용하여 전기적으로 해결하려는 방법도 있으나[21] 이와같은 시스템에 대한 신호처리의 속도는 결국 검출기의 출력과 연결되어 있는 전기적인 장치에 의해 결정되기 때문에 좋은 방법이라고는 할 수 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 광파이버를 지연소자로 이용하는 광파이버필터의 시스템에 대하여 1984년 최초로 coherent 처리를 하는 실험이 보고되었다[22]. 이러한 시스템은, 그림 6과같이 단일 광파이버(지연선)에 따라 분배되어 있는 많은 변조기에 처리한 전기적인 신호가 나누어지게 되어있다. 그림 6에서 W는 tap계수이고 복소수일 수도 있다. M은 압전위상변조기로 +값은 $+\pi$로 -값은 $-\pi$로 두면 된다. 그러나 이 시스템의 신호처리 속도는 전기신호의 분배를 담당하는 전기적인 처리에 의하여 결정되기 때문에 결국 데이타율(data rate)이 제한되는 문제점이

있다.

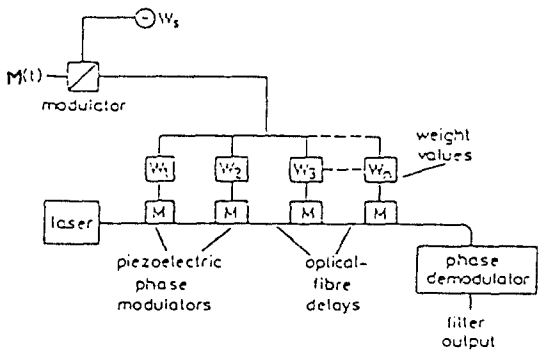


그림 6. 외부 변조기를 이용한 광파이버필터

한편 1986년 Stanford 대학에서 coherent 광원에서부터 광검출기(photo detector)까지를 하나의 광파이버로 입력과 출력을 구성하는 그림 7과 같은 全光回路시스템을 제안하였다[12]. 이러한 시스템은 외부환경에 영향을 받지만 높은 data rate를 얻을 수 있다는 점에서 크게 평가를 받고 있다.

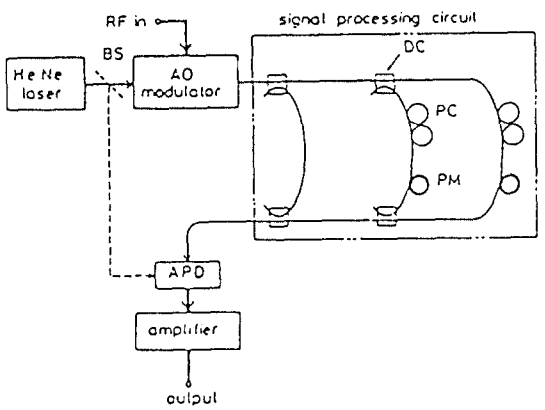


그림 7. Coherent 全光回路 시스템

여기서 DC는 directional coupler, PC는 polarisation controller, PM은 PZT phase modulator, BS는 beam splitter의 약자이다. 시스템의 구성은 지연시간은 15 ns로 하는 3개의 신호경로를 만들었다. 그러므로 이 시스템의 최대지연시간은 30ns인 것을 알 수 있다. 방향성결합기는 기계적으로 잘 연마된 evanescent 형이다[23]. 광원은 HeNe Laser(Tropel Model 100)를, 당파이버는 Corning single mode를 사용하였다. 먼저 신호처리할 신호를 acousto-optic Bragg cell을 가지는 광반송파(optical carrier)로 변조시킨다. 그리고 이러한 신호를 마이크로웨이브 스위치를 이용하여 먼저 1GHz(Bragg cell의 중심 주파수)의 전기적인 RF신호로 만들어준 후 변조기에 인가한다. 이때 광반송파의 정보(진폭과 위상)는 입력신호에 의하여 표시되고 tap의 계수는 간섭을 이용한 신호경로(signal path)에 관련하는 진축과 위상에 의하여 결정된다. 그 결과 그림 7과 같이 3개의 tap을 가진 시스템으로 66 Mbit / s의 속도로 간단한 matched filtering 연산의 실험에 성공하였다. 다만, 이러한 시스템으로 위상 coherence를 유지하기 위해서는 압력, 온도변화, 진동 그리고 특히 광원의 주파수 불안정에 의한 외부 환경에 유의를 하지 않으면 안된다.

그런데 최근 광원의 안전화, 挾스펙트럼제어기술 개발등 기술적인 문제가 많이 해결되어 광의 위상 간섭을 이용하여 임의의 tap 계수를 실현할 수 있는 coherent 광파이버필터가 보고되어 많은 주목을 받고 있다[9][10][11]. 일본 NTT 교환시스템 연구소에서 실험

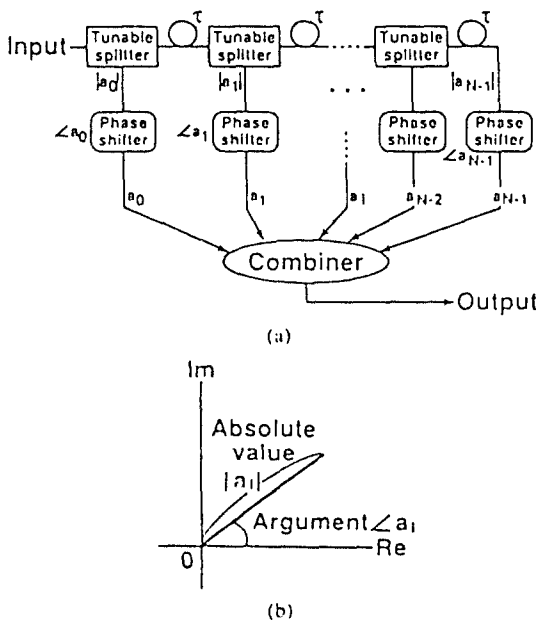


그림 8. Coherent transversal형 광파이버필터

에 성공한 coherent광을 이용한 트랜스버설형 광파이버필터는 coherent 처리를 하기 위하여 실리콘 基板上에 石英系薄膜導破路를 이용해서 monolithtic 集積化하였다. 그리고 희망하는 주파수 특성을 얻기 위하여 펄스에 의한 tap계수 설정법을 이용하였고, 可變分岐器(tunable splitter)와 移相器(phase shifter)의 소요전력을 결정하여 실제로 주파수특성을 측정 할 수 있게 하였다. 실제의 광트랜스버설 필터의 회로 구성과 원리를 살펴보자. 먼저 단위지연시간 τ 그리고 tap 숫자를 N으로 하는 트랜스버설형 광파이버필터의 회로구성을 그림 8에 표시한다.

여기서 TS는 tunable splitter, PS는 phase shifter를 의미한다. 지연선에 입력된 광신호는 지연선을 따라 같은 간격으로 배치된 tap에 분배되어 각각의 계수를 결정하고, coherent 결합을 하게된다. 각 처리요소의 기능을 광부품으로 표현하기 위하여 지연은 도파로의 지연선, 승산은 可變分岐器, 移相器, 가산은 결합기를 이용하고 있다. 구체적으로는 각 tap 계수의 절대치는 가변분기기를 이용하여 임의 비율로 분배된 광의 전계진폭으로 표현한다. 계수의 편각은 이상기에 위해 위상 시프터로 표현한다. 이와 같이 受動素子로는 직접 표현할 수 없는 승산을 等價的으로 표현하고 있다.

이때 tapping, weighting 그리고 결합(combining)은 통상의 디지탈 신호처리에서 샘플링, 승산, 가산에 각각 해당된다. τ를 짧게 함으로서 시간축상의 分解能이 높은 필터를 얻을 수 있으며, 또한 N을 크게 하면 주파수축상의 분해능이 높은 필터도 얻을 수 있다.

실험의 결과로는 4개의 tap으로 5 GHz의 주기구조(단위지연선 길이 4cm : 지연지간 200ps)를 가지는 차단특성이 양호한 필터가 얻어졌다. 그림 9와같이 tap을 설정함으로써 고역통과 특성을 실현하였다. 실제로 필터의 동작을 실험하기 위하여 2.4GHz와 150MHz에 대한 2개의 파형을 중첩한 광신호를 필터에 입력시켰다. 그 결과 광의 주파수영역에서 다중화된 변조신호를 광 그대로 필터에 光速으로 통과한 후 2.4GHz의 고주파성분만을 추출하는 필터링실험도 보여주고 있다(광 FDM 실험).

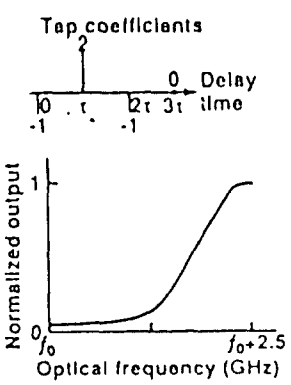


그림 9. 4 tap 고역통과필터의 주파수특성

또한 그림 10과같이 tap을 설정함으로써(지연시간 : 50 ps) 저역통과 특성을 실현하였다.

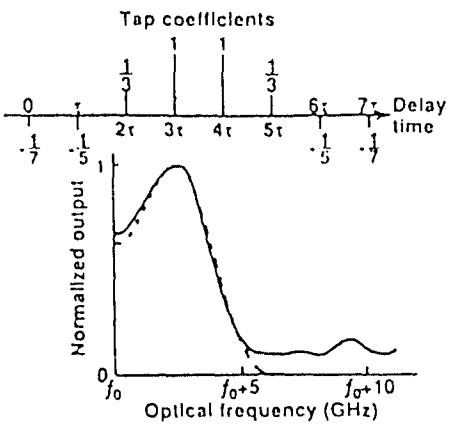


그림 10. 8 tap 저역통과필터의 주파수특성

이뿐만 아니라 광신호의 위상정보를 이용하여 tap 계수가 복소수표현이 가능하게 되면 여러가지 이점이 있다. 실수 계수만으로 필터의 주파수 특성을 설계할 때, 진폭특성과 위상특성을 동시에 희망하는 특성으로 실현하는 것은 곤란하다. 그러나 복소계수가 가능하다면 필터의 주파수 특성에 대한 설계는 자유도가 커지기 때문에 주파수특성을 동시에 실현하기가 용이하고 그 구성법에 관해서도 이점이 있다. 주어진 전달함수를 인수분해하여 각각의 인수를 광트랜스버설 필터로 多段 접속하면 어떠한 종속형 구성도 가능하기 때문이다. 즉, tap 계수가 복소수로 표현되기 때문에 임의의 인수분해가 가능하므로 복소수 연산을 활용한 새로운 영역의 필터도 구성이 가능하다. 그리고 이때의 삽입손실은 coherent 결합에 있어서는 원리적으로 손실이 없고, 도파로손실 및 입력파이버와의 결합손실이 있을 뿐이다.

앞으로는 광디바이스의 발전에 힘입어 광파이버를

이용한 지연소자와 方向性結合器를 구성단위로 하는 각종 광파이버필터의 이론적인 設計法의 확립과 실험을 통하여 주어진 조건을 만족시킬 수 있는 효율적인 광파이필터를 실현할 수 있도록 체계적인 연구가 필요하겠다.

Ⅳ. 결 론

동화상, 레이다 등 고속, 광대역의 신호처리 그리고 광 FDM 기술의 발달에 힘입어 GHz 단위의 좁은 채널 간격의 광신호를 FDM 다중화시키는 coherent 광통신방식의 실현에 많은 관심이 집중되고 있다. 이와 같은 수십 GHz단위의 고주파, 광대역신호의 필터링 처리를 위하여 광파이버필터의 연구가 활발히 진행되고 있다.

앞으로는 超高速, 高機能필터 회로의 실현을 위해 지연선의 단축화 그리고 多端 tap의 필터 구조에 대한 연구도 필요하게 될 것이다. 실제로 코히런트광을 이용할 경우 광신호를 전기적인 신호로 바꿀 필요도 없고 전기제어 신호도 없이 광신호를 처리할 수 있으므로 이러한 필터는 이론적으로 광반송파 주파수의 1/2인 대역폭을 가진다. 그러나 실제로는 광부품 특히 방향성결합기의 동작대역에 제한이 있기 때문에 현재의 導波回路製作技術로는 $\tau = 10$ ps, $N = 10$ 정도의 필터회로가 가능하여 고속으로 4THz정도의 대역폭을 가지는 필터를 완성할 수 있다. 향후 $\tau = 1$ ps, N이 수백 정도되는 필터회로의 구성을 목표로 연구를 추진하고 있다. 또한 coherent 광통신기술의 발전과 함께 光集積回路에 의한 신호처리도 현실적으로 다가오고 있다. 광파이버필터를 광집접회로化 함으로써 coherent 광을 이용한 광파이버필터는 고주파, 광대역신호처리 분야 뿐만 아니라 광변조신호를 광의 주파수영역에서 직접처리하는 초소형의 全光形필터로서 미래의 ISDN 개발에도 일익을 담당하게 될 것을 확신한다.

광교환시스템을 실현하기 위해서는 광소자기술 개발이 가장 중요한 관건이라고 보는데, 광소자기술 분야는 coherent성이 뛰어나고 신뢰성있는 광원, 방향성결합기, 광증폭기 등의 개발과 수신방식기술 개발등이 앞으로의 중요한 과제라 할 수 있다.

한편 국내의 코히런트 광통신 시스템 기술은 최근 시작된 정도이고, 특히 광파이버를 지연소자로 하여 신호처리를 수행하는 분야에 대한 연구및 발표는 찾아보기 어려운 실정이다. 앞으로 도래할 ISDN의 기반기술의 하나인 코히런트 광통신을 이용한 광교환 시스템 및 광파이버를 지연소자로 하는 신호처리에 대한 기술개발을 위하여 국가의 정책적인 지원아래 많은 연구인력의 지속적인 노력이 절실히 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. K.Wilner and A.P.vanden Heuvel : "Fiber optic delay lines for microwave signal processing," Proc. of IEEE, vol.64, No.5, pp.805-807, May 1976.
2. G.M.Dillard, H.F.Taylor and B.R.Hunt : "Fiber and integrated optics techniques for radar and signal processing," National Telecommunications Conference Record, vol.3, pp.37.5-1-37.5-5, 1976.
3. R.L.Chang, J.A.Cassaboom and H.F.Taylor : "Fiber optic delay line devices for pulse coding," Electro-optical syst., vol.9, pp.33-35, Feb. 1977.
4. B.Moslehi, J.W.Goodman, M.Tur and H.J.Shaw : "Fiber optic lattice signal processing," Proc. of IEEE, vol.72, No.7, pp.909-930, July 1984.
5. K.P.Jackson, S.A.Newton, B.Mosleighi, M.C.C.Cutler, J.W.Goodman and H.J.Shaw : "Optical fiber delay line signal processing," IEEE Trans Microwave Theory and Tech., vol.MTT-33, No.3, pp.193-208, March 1985.
6. R.A.Bergh, H.C.Lefevre and H.J.Shaw : "All single mode fiber optic gyroscope," Opt.Lett., vol.6, No.4, pp.198-200, April 1981.
7. L.F.Stokes, M.Chodorow and H.J.Shaw : "All single mode resonator," Opt.Lett. vol.7, No.6, pp.288-290, June 1982.
8. 島田, "コヒーレント光通信," 電子情報通信學會編 1988.
9. K.Sasayama, M.Okuno and K.Habara : "Coherent optical transversal filter using silica based single mode waveguides," Electron.Lett., vol.25, No.22, pp. 1508-1509, Oct. 1989.
10. K.Sasayama, M.Okuno and K.Habara : "Coherent optical transversal filter using silica based guides for high speed signal processing," IEEE Jounal of

Lightwave Technology, vol.9, No.10, pp.1225-1230, Oct. 1991.

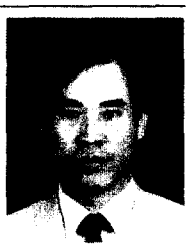
11. N.Takato K.Jinguji, M.Yasu, H.Toba and M.Kawachi : "Silica based single mode waveguides on silicon and their application to guided wave optical interferometers," IEEE Jounal of Lightwave Technology, vol.6, No.6, pp.1003-1010, June 1988.
12. K.P.Jackson, Guoginging Xiao and H.J.Shaw : "Coherent optical fiber delay line processor," Electron. Lett., vol.22, No.25, pp.1335-1337, Dec. 1986.
13. 李琛勗, 坂庭 好一 : "コヒ-レント光を用いた直接構成型光ファイバフィルタの一設計法," 電子情報通信學會論文誌(A), vol.J72-A No.11, pp. 1894-1901, 1989年 11月.
14. C.W.Lee, K.Sakaniwa : "A Design method for coherent optical fiber filters of direct form," Scripta Tech. Jounals in Electronics and Communication in Japan, vol.73, No.10, pp.36-45, Oct. 1990.
15. 이채욱, 김신환 : "광파이버와 방향성결합기에 의한 광대역필터 구성법에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, vol.17, no.6, pp.539-548, June 1992.
16. R.L.Chang, J.A.Cassaboom and H.F.Taylor : "Fiber optic delay line devices for R.F. signal processing," Electron. Lett., vol.13, No.22, pp.678-680, Oct. 1977.
17. S.A.Newton, J.E.Bowers and H.J.Shaw : "Single mode fiber recirculating delay line," SPIE. vol.326, 326-330, 1982.
22. D.E.N.Davies and G.W.James : "fiber optic tapped delay line filter employing coherent optical processing," Electron. Lett., vol.20, No.2, pp.95-97, Jan. 1984.
23. R.C.Youngquist, L.F.stokes and H.J.Shaw : "Effects of normal mode loss in dielectric waveguide directional couplers and interferometers," IEEE J. Ouant. Electron, pp.1888-1896, Dec. 1983.
pp.108-115, 1982.
18. J.E.Bowers, S.A.Newton, W.V.Sortin and H.J.Shaw : "Filter response of single mode fiber recirculating delay line," Electron. Lett., vol.18, No.3, pp. 110-111, Feb. 1982.
19. K.P.Jackson, S.A.Newton and H.J.Shaw : "1 Gbit / s code generator and matched filter using an optical fiber tapped delay line," Appl. Phys. Lett., vol.42, no.7, pp.556-558, Aprill 1983.
20. K.P.Jackson, J.E. Bowers, S.A.Newton and C.C.Cutler : "Microbend-optical fiber tapped delay line for gigahertz signal processing," Appl. Phys. Lett., vol. 41, No.2, pp.139-141, July 1982.
21. E.O.Rausch, R.B.Efurd and M.A.Corbin : "A fiber optic pulse compression device for hign resolution radars," IEE Conf. Radar, London, England, pp.

孫 廷 榮

• 韓國航空大學 航空電子工學科(學士)
• 空軍將交 / 將交教官 / 系劃擔當
• 韓國科學技術研究所 研究員
• 美國 테네시大學校 工科大學 電子工學(碩士)
• 美國 테네시大學校 工科大學 應用光學(博士)
• 美國 테네시大學校 航工宇宙센터 先任研究員
• 現 韓國科學技術研究院 責任研究員
主關心分野 : 光情報處理, 光센서 및 大氣光學

이 채 욱

• 1957年 12月 24日生
• 1980年 2月 : 韓國航空大學 通信工學科(工學士)
• 1987年 3月 : 東京工業大學 大學院 電氣電子工學科 (工學碩士)
• 1990年 3月 : 東京工業大學 大學院 電氣電子工學科 (工學博士)
• 1990年 3月～現在 : 大邱大學校 工科大學 情報通信工學科 助教授
主關心分野 : 디지탈 信號處理, 光通信시스템, 符號理論



김 신 환

• 1952年 4月 6日生
• 1975年 2月 : 韓國航空大學 通信工學科(工學士)
• 1983年 2月 : 全北大學校 大學院 電氣工學科(工學碩士)
• 1985年 4月～1988年 3月 : 日本 東京大學 大學院 電子工學科(工學博士)
• 1983年 3月～現在 : 大邱大學校 情報通信工學科 副教授
主關心分野 : 映像信號處理 및 映像通信 等