

광섬유와 방향성결합기를 이용한 제 II 사다리형 광섬유필터

정회원 이 채 욱*

An optical ladder filter II using optical fiber and directional coupler

Chae-Wook Lee* Regular Members

요 약

사다리형 디지털 필터는 모델의 형식에 따라 연분수 전개가 다르고, 주어지는 전달함수에 따라 실현 가능한 형식이 있고 불가능한 형식이 있다. 본 논문에서는 연분수 형태의 제 II 사다리형 디지털 필터를 모델로 하여 방향성 결합기와 광섬유를 이용한 사다리형 광섬유 필터의 실현조건과 설계방법을 논하였다.

ABSTRACT

The digital ladder filter has the different continued fractional expansions due to the types of ladder filter and it can or can not be realized by given transfer function. In this paper, considering the II type of ladder digital filter, we design formulae and condition of realizability for optical ladder filter using optical fibers and directional couplers.

I. 서 론

광의 특징인 고속성, 광대역성, 병렬성 등의 뛰어난 성질을 갖고 있는 광섬유는 고주파, 광대역신호의 고속처리에 적합한 지연매체로 주목받고 있다. 이미 광섬유를 지연선(delay line)으로 한 필터링처리는 각종 분야에서 응용되고 있다^[1,2,3,4,5]. 광섬유 필터에 대한 연구는 일본 NTT 전송 시스템 연구소에서 GHz 단위의 저역통과 및 고역통과 주파수특성의 실현을 시작으로^[4], GaAs 도파로상에서 지연선을 더욱 길게 하여 초고주파(microwave)를 사용하는 분야에도 광섬유필터가 응용 가능한 것을 보여 주고 있다^[6]. 그리고 광섬유를 지연선으로 하는 광섬유필터의 집적화가 더욱 진전되어^[7,8], 방향성결합기에 광증폭기를 한개 혹은 양쪽으로 2개를 동시에 설치하여 설계의 자유도를 높이는 실현방법 및 프

로그래밍이 가능한 광섬유필터도 발표되고 있다^[9,10,11,12].

한편 사다리형 디지털 필터는 그 설계공식도 확립되어 있고, 직접형 구성 혹은 종속형 구성과 비교하여 저감도로 되는 것으로 알려져 있다. 또한 사다리형 디지털 필터는 각각의 모델의 형태에 따라 연분수전개가 달라지고, 모델의 형태는 4가지 형식의 설계법으로 나누어져 있다^[13]. 주어진 전달함수에 따라 사다리형 디지털 필터는 일반적으로 4가지 형태로 나눌 수 있는데, 모두 형식으로 실현 가능할 수도 있고 특정한 형식의 모델로만 실현 가능할 수도 있다. 특히 제 I형과 제 II형은 사다리형 디지털 필터의 대표적인 형태로서 많이 일반적으로 많이 사용되고 있다. 저자는 이미 제 II 사다리형 디지털 필터를 모델로 하여 방향성결합기와 광섬유를 이용한 광섬유필터의 설계법을 확립하였다. 본 논문에서는 제 II 사다리형의 디지털 필터를 모델로 하여 방향

* 대구대학교 정보통신공학부 부교수(cwlee@biho.tagu.ac.kr)

※ 본 논문은 1997학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임
논문번호 : 98336-0803, 접수일자 : 1998년 8월 3일

성결합기와 광섬유를 이용한 광섬유필터를 제안하고 그 실현조건과 설계 방법을 논한다.

광섬유필터에서는 구성요소인 방향성결합기의 특성으로 입력신호는 광강도에 의해 처리되기 때문에 방향성결합기의 결합계수(= a)는 0 과 1 사이의 값만 취할 수 있고 광의 분기소자로 이용할 경우 신호 광은 \sqrt{a} 와 $\sqrt{1-a}$ 로 분배된다. 이와 같은 제약조건 때문에 광섬유필터는 통상의 디지털 필터와는 다른 설계법을 확립시킬 필요가 있다.

설계방법으로는 방향성결합기의 제약조건을 고려하면서, 광신호 전력을 최대한 효율적으로 이용하는 설계법을 목표로 하여 사다리형 광섬유필터의 실현조건과 설계공식을 유도한다.

II. 필터의 구성요소

광신호처리와 광섬유필터의 입력신호에 관한 상세한 기술은 참고문헌 [14,15] 그리고 [16]을 참조하기 바란다. 여기서는 지연소자, 가산·분기소자, 승산소자 등 사다리형 광섬유필터의 기본 구성요소에 대해서만 간단히 기술한다.

우선 단위 지연소자는 광섬유를 이용하여 표시하기로 한다. 단위 시간지연을 z^{-1} 로 표시한다고 하면 이 소자의 입출력 관계는 다음과 같다.

$$E_2 = E_1 z^{-1}$$

가산·분기 소자는 방향성결합기(그림 2)를 이용하여 만들 수 있다. 이때 입출력 관계는 다음과 같이 주어진다[1].

$$\begin{bmatrix} E_3 \\ E_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{1-a} & \sqrt{a} \\ \sqrt{a} & \sqrt{1-a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix}$$

여기서 $a(0 \leq a \leq 1)$ 는 방향성결합기의 결합계수이고, (E_1, E_2) 와 (E_3, E_4) 는 각각 입력과 출력의 전계진폭이다. 방향성결합기로부터 입력 (E_1, E_2) 와 출력 E_3 를 이용하여 광의 가산소자를 구성하고, 입력 $E_1(E_2=0)$ 과 출력 E_3, E_4 를 이용하여 광의 분기소자를 구성한다.

승산 소자는 방향성결합기를 그림 2(a) 혹은 2(b)와 같이 2단 접속하면 승산계수를 얻을 수 있다. 편의상 승산소자를 그림(c)로 표시한다. 여기서 승산계수를 A 라 하면, A 와 2개의 방향성결합기의 결합계수 a 는

$$a = 1 - A, \text{ for } 0 \leq A \leq 1$$

$$a = -A, \text{ for } -1 \leq A \leq 0$$

와 같은 관계가 있다. 이때 A 의 범위는

$$-1 \leq A \leq 1$$

와 같이 된다.

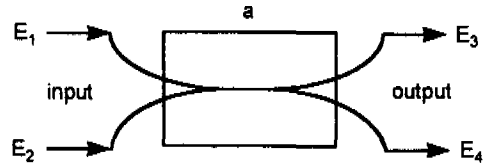


그림 1. 방향성결합기
Fig. 1 Directional coupler

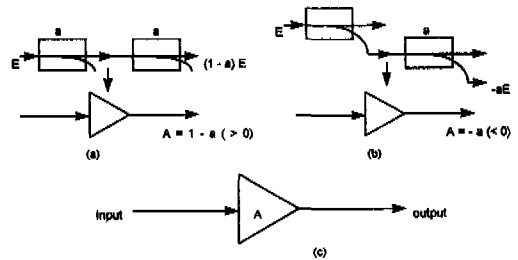


그림 2. 승산소자
Fig. 2 Multiplier element

III. 사다리형 광섬유필터의 설계

사다리형 디지털 필터의 설계방법에 대해서는 이미 알려져 있고 연분수의 형식에 따라 여러 종류의 회로구성으로 나누어진다[13]. 특히, 제 I형과 제 II형은 사다리형 디지털 필터의 대표적인 형태로서 많이 사용되고 있다. 제 III형과 제 IV형의 형태는 제 I형과 제 II형의 변형으로 볼 수 있다. 여기서는 Mitra의 논문중 제II형 사다리형 디지털 필터를 모델로 하여 방향성결합기와 광섬유를 이용한 광섬유필터의 설계법에 대하여 논하기로 한다.

신호의 분기, 가산 및 승산을 실행하는 전기회로(디지털회로)를 II장에서 논한 각종의 광소자로 대신한 사다리형 광섬유필터를 고찰의 대상으로 하여 그 설계의 실현조건 및 설계방법에 대하여 논한다. 단, 회로의 단순화를 고려하여 신호의 분기 및 가산에 이용하는 방향성결합기는 모두 동일하게 하여

그 결합계수를 a 로 한다.
희망하는 전달함수

$$F_{D,n}(z) = \frac{h_{n,0}z^n + h_{n,1}z^{n-1} + \dots + h_{n,n}}{g_{n,0}z^n + g_{n,1}z^{n-1} + \dots + g_{n,n}}$$

에 대하여 그 정수배 ($= a$), 즉

$$F_n(z) = aF_{D,n}(z) = \frac{a \sum_{i=0}^n h_{n,i} z^i}{\sum_{i=0}^n g_{n,i} z^i} \quad (1)$$

의 실현을 생각한다. 단, 광신호의 에너지를 최대한 유효하게 이용하는 것을 고려하여 $a(>0)$ 를 최대로 하는 설계법의 도출을 목표로 한다.

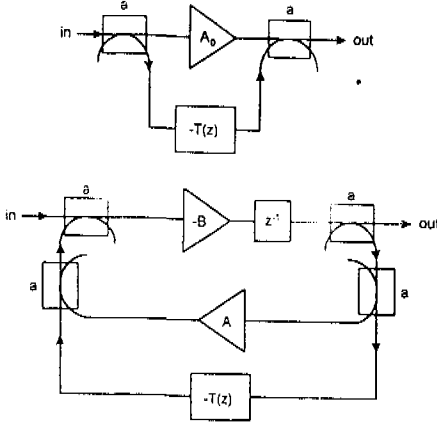


그림 3. 기본회로
Fig. 3 Basic building block

그림 3에 본 논문에 이용한 사다리형 광섬유필터의 기본회로를 표시한다. 각각의 전달함수는 다음과 같이 주어진다.

$$H_0(z) = (1-a)A_0 + aT(z) \quad (2)$$

한편 식(1)의 전달함수를 식(2)의 전달함수의 형태로 고쳐 쓰면 다음과 같이 된다.

$$F_n(z) = C_0 + \frac{1}{D_1 z + C_1 + \frac{1}{D_2(z) + C_2 + \frac{1}{\dots + \frac{1}{D_n z + C_n}}} \quad (3)$$

식(1)과 식(3)을 비교하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

[정리 1]

식(1)의 $F_n(z)$ 에 대하여 식(3)의 $C_i(i=0, 1, \dots, n)$ 와 $D_i(i=0, 1, \dots, n-1)$ 은 다음 점화식을 이용하여 축차적으로 구할 수 있다.

$$C_0 = \frac{ah_{n,0}}{g_{n,0}} \quad (4)$$

$$C_{2k-1} = \frac{g_{n-2k+1,0}}{ah_{n-2k+1,0}}, \quad k=1, 2, \dots, [(n+1)/2] \quad (5)$$

$$D_{2k-1} = \frac{g_{n-2k+2,0}}{ah_{n-2k+1,0}}$$

$$C_{2l} = \frac{ah_{n-2l,0}}{g_{n-2l,0}}, \quad l=1, 2, \dots, [n/2] \quad (6)$$

$$D_{2l} = \frac{ah_{n-2l+1,0}}{g_{n-2l,0}}$$

단,

$$g_{n-2k+1,j} = g_{n-2k+2,j+1} - \frac{g_{n-2k+2,0} h_{n-2k+1,j+1}}{h_{n-2k+1,0}},$$

$$h_{n-2k+1,j} = h_{n-2k+2,j+1} - \frac{h_{n-2k+2,0} g_{n-2k+2,j+1}}{g_{n-2k-2,0}}$$

$$j = 0, 1, \dots, n-2k+1 \quad (7)$$

$$g_{n-2l,j} = g_{n-2l+1,j+1} - \frac{g_{n-2l+1,0} h_{n-2l+1,j+1}}{h_{n-2l+1,0}},$$

$$h_{n-2l,j} = h_{n-2l+1,j+1} - \frac{h_{n-2l+1,0} g_{n-2l,j+1}}{g_{n-2l,0}}$$

$$j = 0, 1, \dots, n-2k+1 \quad (8)$$

이다. 그리고 $h_{m,l} = g_{m,l} = 0 (l > m)$ 으로 정의한다.

$F_n(z)$ 의 연분수 전개(식(3))를 실현하는 그림 4의 사다리형 광섬유필터의 승산기계수 $A_i(i=0, 1, \dots, n)$ 와 $B_i(i=1, 2, \dots, n)$ 는 식(2)와 (3)을 비교하면 방향성결합기의 계수 a 의 함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_0(a) = \frac{C_0}{1-a} \quad (9)$$

$$A_{2k-1}(a) = \frac{(1-a)C_{2k-1}}{a},$$

$$B_{2k-1}(a) = \frac{1}{a(1-a)D_{2k-1}}$$

$$k = 1, 2, \dots, [(n+1)/2] \quad (10)$$

$$A_{2l}(a) = \frac{(1-a)C_{2l}}{a^2}, \quad l=1,2,\dots,[n/2] \quad (11)$$

$$B_{2l}(a) = \frac{1}{(1-a)D_{2l}}$$

$$a \leq L_0(a), \quad \text{단 } L_0(a) \equiv \left| \frac{(1-a)g_{n,0}}{h_{n,0}} \right| \quad (12)$$

다음은 식(10)과 식(5)로부터 다음이 두 식이 나온다.

$$|A_{2k-1}(a)| = \left| \frac{(1-a)g_{n-2k+1,0}}{ah_{n-2k+1,0}} \right| \leq 1$$

$$|B_{2k-1}(a)| = \left| \frac{ah_{n-2k+1,0}}{a(1-a)g_{n-2k+2,0}} \right| \leq 1$$

위의 두 식이 성립하기 위한 필요충분조건은 다음과 같이 주어진다.

$$K_{2k-1}(a) \leq a (\leq L_0(a)),$$

$$\text{단, } K_{2k-1}(a) \equiv \left| \frac{(1-a)g_{n-2k+1,0}}{ah_{n-2k+1,0}} \right| \quad (13)$$

그리고

$$a \leq L_{2k-1}(a),$$

$$\text{단, } L_{2k-1}(a) \equiv \left| \frac{a(1-a)g_{n-2k+2,0}}{h_{n-2k+1,0}} \right| \quad (14)$$

같은 방법으로

$$|A_{2l}(a)| = \left| \frac{(1-a)ah_{n-2l,0}}{a^2g_{n-2l,0}} \right| \leq 1$$

$$|B_{2l}(a)| = \left| \frac{g_{n-2l,0}}{(1-a)ah_{n-2l+1,0}} \right| \leq 1$$

위의 두 식이 성립하기 위한 필요충분조건은 다음과 같이 주어진다.

$$a \leq L_{2l}(a),$$

$$\text{단, } L_{2l}(a) \equiv \left| \frac{a^2g_{n-2l,0}}{(1-a)h_{n-2l,0}} \right| \quad (15)$$

그리고

$$K_{2l}(a) \leq a (\leq L_0(a)),$$

$$\text{단, } K_{2l}(a) \equiv \left| \frac{g_{n-2l,0}}{(1-a)h_{n-2l+1,0}} \right| \quad (16)$$

그런데, 식(12) ~ (16)으로부터 회로가 실현가능하기(정수 a 가 존재하기) 위한 필요충분조건으로서 다음 식이 성립하여야 한다.

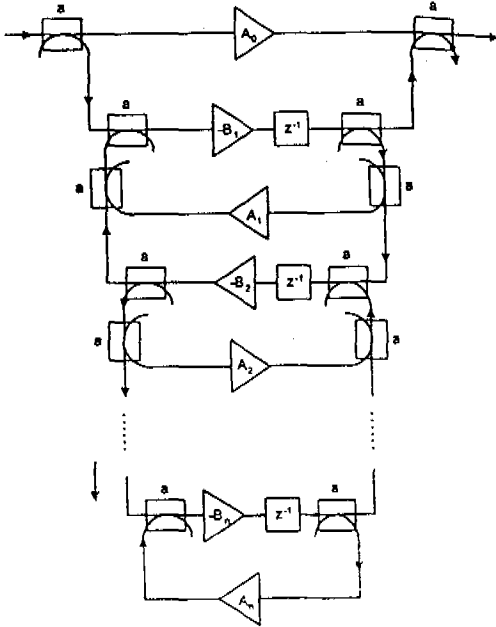


그림 4. 제II 사다리형 광섬유필터
Fig. 4 Optical fiber filter of ladder structure II

다음은 사다리형 광섬유필터의 실현조건에 대하여 검토한다. 주어진 전달함수가 안정하고 물리적으로 실현 가능하다고 하더라도 광섬유필터는 고유의 제약이 있기 때문에 항상 실현된다고는 할 수 없다. 사다리형 광섬유필터가 실현가능하기 위한 필요충분조건은 주어진 전달함수가 연분수전개가 가능해야 함은 물론이고, 필터의 모든 승산계수가 1과 -1의 사이에 있기 위한 방향성결합기의 계수 $a(0 \leq a \leq 1)$ 가 존재하여야 한다.

이하 본 논문에서는 전달함수가 연분수전개 가능한 것으로 하여 식(7)의 조건을 검토한다. 연분수전개가 가능하기 위한 조건에 대해서는 문헌^[13]과^[17]을 참조하기 바란다.

우선 $|A_0(a)| \leq 1$ 이 되기 위한 필요충분조건은 식(9)와 식(4)로부터

$$|A_0(a)| = \left| \frac{ah_{n,0}}{(1-a)g_{n,0}} \right| \leq 1$$

즉, 다음과 같이 주어진다.

$$K_i(a) \leq L_j(a), \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=0,1,\dots,n \quad (17)$$

$$a_{\min} \leq a_{\max} \quad (25)$$

위의 식을 a 에 대하여 정리하면

단,

1) $K_{2k-1}(a) \leq L_0(a)$ 로부터

$$a \geq \left| \frac{g_{n-2k+1,0} h_{n,0}}{g_{n,0} h_{n-2k+1,0}} \right| \equiv G_1(2k-1) \quad (18)$$

$$a_{\min} \equiv \max_{\substack{1 \leq k_1 \sim k_2 \leq [(n+1)/2] \\ 1 \leq l_1 \sim l_2 \leq [n/2]}}$$

$$\{ G_1(2k_1-1), \sqrt{G_3(2k_2-1, 2k_3-1)}, g_4(2k_4-1, 2l_1), \\ g_5(2l_2, 2k_5-1), \sqrt{G_6(2l_3, 2l_4)} \} \quad (26)$$

2) $K_{2l}(a) \leq L_0(a)$ 로부터

$$(1-a)^2 \geq \left| \frac{g_{n-2l,0} h_{n,0}}{g_{n,0} h_{n-2l+1,0}} \right| \equiv G_2(2l) \quad (19)$$

$$a_{\max} \equiv \min_{\substack{1 \leq k \leq [(n+1)/2] \\ 1 \leq l_1, l_2 \leq [n/2]}} \{ 1 - \sqrt{G_2(2l_1)}, \widehat{g}_5(2l_2, 2k-1) \} \quad (27)$$

3) $K_{2k_1-1}(a) \leq L_{2k_2-1}(a)$ 로부터

$$a^2 \geq \left| \frac{g_{n-2k_1+1,0} h_{n-2k_1+1,0}}{g_{n-2k_2+2,0} h_{n-2k_1+1,0}} \right| \equiv G_3(2k_1-1, 2k_2-1) \quad (20)$$

로 주어진다. 여기서 $g_4(2k-1, 2l)$ 은

$$\frac{a^3}{(1-a)^2} = G_4(2k-1, 2l)$$

4) $K_{2k-1}(a) \leq L_{2l}(a)$ 로부터

$$\frac{a^3}{(1-a)^2} \geq \left| \frac{g_{n-2k+1,0} h_{n-2l,0}}{g_{n-2l,0} h_{n-2k+1,0}} \right| \equiv G_4(2k-1, 2l) \quad (21)$$

가 구간 $(0, 1)$ 에 있는 근(1개 존재)을 표시한다. 그리고 $g_5(2l, 2k-1), \widehat{g}_5(2l, 2k-1)$ 은

$$a(1-a)^2 = G_5(2l, 2k-1)$$

5) $K_{2l}(a) \leq L_{2k-1}(a)$ 로부터

$$a(1-a)^2 \geq \left| \frac{g_{n-2l,0} h_{n-2k+1,0}}{g_{n-2k+2,0} h_{n-2l+1,0}} \right| \equiv G_5(2l, 2k-1) \quad (22)$$

가 구간 $(0, 1)$ 에 있는 근(2개 존재)하고,

$g_5(2l, 2k-1) \leq 1/3 \leq \widehat{g}_5(2l, 2k-1)$ 을 표시한다.

6) $K_{2l_1}(a) \leq L_{2l_2}(a)$ 로부터

$$a^2 \geq \left| \frac{g_{n-2l_1,0} h_{n-2l_2,0}}{g_{n-2l_2,0} h_{n-2l_1+1,0}} \right| \equiv G_6(2l_1, 2l_2) \quad (23)$$

여기서 식(18)~(23)에서 정의되는 $G(\cdot)$ 는 희망 전달함수 $F_{D,n}(z)$ 만으로 결정되어, 회로의 실현조건 ((24),(25),(26))은 $F_{D,n}(z)$ 만으로 판정 가능한 것을 알 수 있다.

다음은 a 의 최대값 a_{\max} 를 결정하는 최적 결합 계수 a_{opt} 와 그 때의 a_{\max} 값을 도출한다. 식(12), (14), (15)로부터 $a \leq \min_{0 \leq i \leq n} \{L_i(a)\}$ 이므로 a 의 최대값 a_{\max} 는

$$a_{\max} = \max_{a_{\min} \leq a \leq a_{\max}} \min_{0 \leq i \leq n} \{L_i(a)\} \quad (28)$$

로 된다. 이러한 부등식이 성립하는 $a(0 \leq a \leq 1)$ 가 존재하기 위해서는, 우선

- 1) $G_1(2k-1) \leq 1,$
 - 2) $G_2(2l) \leq 1,$
 - 3) $G_3(2k_1-1, 2k_2-1) \leq 1,$
 - 5) $G_5(2l, 2k-1) \leq 4/27,$
 - 6) $G_6(2l_1, 2l_2) \leq 1,$
- (24)

이 되어야 한다.

4)에 관해서는 임의의 $G_4(2k-1, 2l) \geq 0$ 에 대하여 부등식이 성립하는 $a \in (0, 1)$ 가 존재한다.

로 주어진다.

그런데 식(14), (15)로부터

한편, 식(24)가 성립할 때 식(17)을 만족하는 a 가 존재하기 위한 필요충분조건, 즉 1)~6)의 부등식을 동시에 만족할 $a \in (0, 1)$ 의 존재조건, 은 다음과 같이 주어진다.

$\min_{1 \leq k \leq [(n+1)/2]} \{L_{2k-1}(a)\}, \min_{1 \leq l \leq [n/2]} \{L_{2l}(a)\}$ 는 각각 $L_1(a) \sim L_n(a)$ 중에서 하나의 값으로 주어진다. 따라서

$$L_{2l-1}(a) \equiv \min_{1 \leq k \leq [(n+1)/2]} \{L_{2k-1}(a)\}$$

$$= \left| \frac{a(1-a)g_{n-2l+2,0}}{h_{n-2l+1,0}} \right| \quad (29)$$

$$L_{2l}(a) \equiv \min_{1 \leq k \leq [n/2]} \{L_{2k}(a)\} = \left| \frac{a^2 g_{n-2l,0}}{(1-a)h_{n-2l,0}} \right| \quad (30)$$

로 정의하면 a_{\max} 는

$$a_{\max} = \max_{a_{\min} \leq a \leq a_{\max}} \min \{L_0(a), L_{2l-1}(a), L_{2l}(a)\} \quad (31)$$

로 된다.

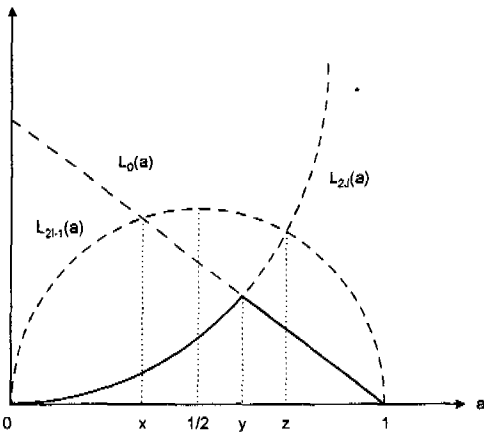


그림 5. 각 함수의 관계
Fig. 5 The relation between functions

$\min \{L_0(a), L_{2l-1}(a), L_{2l}(a)\}$ 의 관계로부터(그림 5 참조) $L_0(a)$ 와 $L_{2l-1}(a)$ 의 교점 $x(x \geq 0)$ 는

$$x = \left| \frac{h_{n-2l+1,0}g_{n,0}}{h_{n,0}g_{n-2l+2,0}} \right| \quad (32)$$

로 주어진다. 그리고 $L_0(a)$ 와 $L_{2l}(a)$ 의 교점 $y(y \in (0, 1))$ 는

$$y = \frac{1}{1 + \sqrt{\left| \frac{g_{n-2l,0}h_{n,0}}{g_{n,0}h_{n-2l,0}} \right|}} \quad (33)$$

로 주어진다. 또한, $L_{2l-1}(a)$ 와 $L_{2l}(a)$ 의 교점 $z(z \in (0, 1))$ 는

$$z = \frac{2 + \widehat{G}_{2l-1,2l} - \sqrt{\widehat{G}_{2l-1,2l}^2 + 4 \widehat{G}_{2l-1,2l}}}{2}, \quad (34)$$

$$\text{단, } \widehat{G}_{2l-1,2l} = \left| \frac{g_{n-2l,0}h_{n-2l+1,0}}{g_{n-2l+2,0}h_{n-2l,0}} \right|$$

와 같이 주어진다. 여기서 교점 x, y, z 의 관계가

$$x \left(\frac{1-y}{y} \right)^2 = \widehat{G}_{2l-1,2l} = \frac{(1-z)^2}{z}$$

즉,

$$\frac{(1-z)^2/z}{(1-y)^2/y} = \frac{x}{y}$$

가 성립한다. 그리고 $f(a) \equiv (1-a)^2/a$ 가 $a \in (0, 1)$ 의 구간에서 단순감소함수인 것을 고려하면 다음 관계가 성립한다.

- (1) $x \leq y \Rightarrow y \leq z$ ($\because x \leq y \leq z$)
- (2) $y \leq x \Rightarrow z \leq y$ ($\because z \leq y \leq x$)

여기서 x, y, z 의 대소 관계는 위의 (1),(2)의 2가지만 가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 위의 (1),(2)의 각각의 경우에 대하여 x, y, z 와 $a_{\min}, 1/2, a_{\max}$ 의 대소 관계에 관하여 가능한 모든 경우를 생각하여 a_{\max} 가 주어지는 최적의 방향성결합기의 결합계수 a_{opt} 를 구하면 다음과 같이 주어진다.

case-1-a : $x \leq y \leq z$ and $a_{\max} \leq y$ 의 경우

$$a_{opt} = a_{\max}, \quad a_{\max} = L_{2l}(a_{\max})$$

case-1-b : $x \leq y \leq z$ and $a_{\min} \leq y \leq a_{\max}$ 의 경우

$$a_{opt} = y, \quad a_{\max} = L_0(y) = L_{2l}(y)$$

case-1-c : $x \leq y \leq z$ and $y \leq a_{\min}$ 의 경우

$$a_{opt} = a_{\min}, \quad a_{\max} = L_0(a_{\min})$$

case-2-a : $z \leq y \leq x$ and $a_{\max} \leq z$ 의 경우

$$a_{opt} = a_{\max}, \quad a_{\max} = L_{2l}(a_{\min})$$

case-2-b : $z \leq y \leq x$ and $x \leq a_{\min}$ 의 경우

$$a_{opt} = a_{\min}, \quad a_{\max} = L_0(a_{\min})$$

case-2-c : $z \leq y \leq x$ and $z \leq a_{\max}$ and $a_{\min} \leq x$ 의 경우

$$A_{\max} \equiv \min \{x, a_{\max}\}, \quad A_{\min} \equiv \max \{z, a_{\min}\}$$

로 두면,

(i) $1/2 \leq A_{\min}$ 의 경우

$$a_{opt} = A_{\min}, \quad a_{\max} = L_{2l-1}(A_{\min})$$

(ii) $A_{\min} \leq 1/2 \leq A_{\max}$ 의 경우

$$a_{opt} = 1/2, \quad a_{\max} = L_{2l-1}(1/2)$$

(iii) $A_{\max} \leq 1/2$ 의 경우

$$a_{opt} = A_{\max}, \alpha_{\max} = L_{2l-1}(A_{\max})$$

이때 승산기계수

$A_i(a) (i=0, 1, \dots, n), B_i(a) (i=1, 2, \dots, n)$ 는 식 (9),(10) 그리고 (11)로부터 다음과 같이 주어진다.

$$A_0 = \frac{\alpha_{\max} h_{n,0}}{(1 - a_{opt}) g_{n,0}} \quad (35)$$

$$A_{2k-1} = \frac{(1 - a_{opt}) g_{n-2k+1,0}}{a_{opt} \alpha_{\max} h_{n-2k+1,0}} \quad (36)$$

$$B_{2k-1} = \frac{\alpha_{\max} h_{n-2k+1,0}}{a_{opt} (1 - a_{opt}) g_{n-2k+2,0}}$$

$$A_{2l} = \frac{(1 - a_{opt}) \alpha_{\max} h_{n-2l,0}}{a_{opt}^2 g_{n-2l,0}} \quad (37)$$

$$B_{2l} = \frac{g_{n-2l,0}}{(1 - a_{opt}) \alpha_{\max} g_{n-2l+1,0}}$$

로 주어진다. 이상의 내용을 요약하면 다음과 같은 사다리형 광섬유필터의 실현조건과 설계법을 얻는다.

[실현조건]

희망 전달함수 $F_{D,n}(z)$ 에 대하여 식(24),(25)가 성립할 것

[설계방법]

step 1: a_{opt}, α_{\max} 를 구한다(case-1-a ~ case-2-c).

$a = a_{opt}, \alpha = \alpha_{\max}$ 로 둔다.

식(4)로부터 C_0 를 구한다.

$i = 1$ 로 둔다.

step 2: 식(5) 및 (6)으로부터 C_i, D_i 를 구한다.

식(7)과 (8)로부터

$h_{n-i,j}, g_{n-i,j} (j=0, 1, \dots, n-i)$ 를 구한다.

$i = i+1$ 로 한다.

step 3: $i = n$ 이 될 때까지 step 2를 반복한다.

step 4: 식(35) ~ (37)로부터

$A_i (i=0, 1, \dots, n), B_i (i=1, 2, \dots, n)$ 를 구한다 (끝).

[설계에] 희망하는 전달함수 $H_d(z)$ 가

$$H_d(z) = \frac{0.05z^2 + 0.15z + 0.04}{0.5z^2 + 0.2z + 0.05}$$

와 같이 주어졌다고 하자. 식(12) ~ (16)으로부터

$$L_0(a) = 10(1-a), L_1(a) = \frac{0.5a(1-a)}{0.13},$$

$$L_2(a) = \frac{0.0324a^2}{0.035(1-a)}$$

$$K_1(a) = \frac{0.0653(1-a)}{0.13a},$$

$$K_2(a) = \frac{0.0324}{0.13(1-a)}$$

로 된다. 그리고 식(18) ~ (23)으로부터

$$G_1(1) = 0.05, G_2(2) = 0.092, G_3(1,1) = 0.13, G_4(1,2) = 0.542, G_5(2,1) = 0.064, G_6(2,2) = 0.269$$

로 주어진다. 따라서

식(24)가 성립하는 것을 알 수 있다. 이때 식(26)과 (27)로부터

$$a_{min} = 0.509, a_{max} = 0.6387$$

로 되어 $H_d(z)$ 은 실현조건을 만족한다. 한편, 식 (29)와 (30)에서

$$L_{2l-1}(a) = L_1(a), L_{2l}(a) = L_2(a) \text{ 이므로}$$

$x = 2.6, y = 0.766, z = 0.62$ 로 주어진다.

따라서 case-2-c-(i)의 경우에 해당되어

$$a_{opt} = z = 0.62$$

$$\alpha_{\max} = L_{2l-1}(0.62) = 0.906$$

로 된다. 설계방법 step 2,3으로부터

$$C_0 = 0.0906, D_1 = 4.238, C_1 = 0.5544,$$

$$D_2 = 3.624 C_2 = 0.978$$

로 주어진다. step 4로부터 승산기계수를

$$A_0 = 0.2384, B_1 = 1, A_1 = 0.3397,$$

$$B_2 = 0.726, A_2 = 0.9668$$

로 설정하면 $\alpha_{\max} H_d(z)$ 을 실현할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 초고주파, 광대역신호의 필터링처리를 염두에 두고 coherent광을 이용한 사다리형 광섬유필터의 실현조건과 설계방법을 유도하였다. 설

계방침으로는 광섬유필터로 희망하는 전달함수를 실현할 때, 광의 신호에너지를 최대한 유효하게 사용할 수 있도록 하였다. 그리고 사다리형 광섬유필터의 각 형식에 따라 그 실현조건이 다르다는 것을 알 수 있다. 예를 들면 여기서 보인 설계에는 제1형으로는 실현 불가능하다.

한편 방향성결합기의 제조오차에 의한 감도문제를 고려해야 되지만, 제조 및 가공기술의 발전에 힘입어 제조오차는 거의 없다고 생각하고 본 논문에서는 이상적인 모델을 고찰의 대상으로 하였다. 앞으로의 과제는 실험을 통한 필터의 특성 확인 그리고 각종 구성법의 비교, 보다 효율적인 구성형태에 대한 연구가 남아 있다.

참 고 문 헌

[1] K.P.Jackson, S.A.Newton, B.Mosleghi, M.C.C.Cutler and H.J.Shaw: "Optical delay line signal processing", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol.33, no.3, pp.193-208, March. 1985.

[2] 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.

[3] 심창섭: "HAN/B-ISDN에서의 광통신기술 및 선진 각국의 광통신시스템 개발현황", *한국통신학회 학회지*, 제21권 2호, pp.89-101, 1994년 2월.

[4] K.Sasayama, M.Okuno and K.Habara: "Coherent optical transversal filter using silica based guides for high speed signal processing", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol.9, no.10, pp.1225-1230, Oct. 1991.

[5] 손정영, 이채욱, 김신환: "광파이버필터의 발전 동향", *한국통신학회 학회지*, 제9권 7호, pp.69-77, 1992년 7월.

[6] R.R.Hayes and D.Yap: "GaAs spiral optical waveguides for delay line applications", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol.11, no.3, pp.523-527, Mar. 1993.

[7] B.Moslehi and J.W.Goodman: "Novel amplified Fiber optic recirculating delay line processor", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol.10, pp.1142-1147, 1992.

[8] J.Capmany and J.Cascon: "Direct form I fiber optic discrete time signal processors using optical amplifiers and embedded Mach-Zehnder structures", *IEEE Photon. Tec. Lett.*, vol.28, pp.1245-1246, Mar. 1993.

[9] B.Moslehi: "Fiber optic filters employing optical amplifiers to provide design flexibility", *Electron Lett.*, vol.28, no.3, pp.226-227, May. 1992.

[10] C.Vazquez, B.Vizoso, M.L.Amo and M.A.Muriel: "Single and double recirculating delay lines as fiber optic filters", *Electron Lett.*, vol.28, no.11, pp.1017-1019, May. 1992.

[11] B.Vizoso, C.Vazquez, R.Civera, M.L.Amo and M.A.Muriel: "amplified fiber optic recirculating delay lines", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol.12, no.2, pp.294-305, Feb. 1994.

[12] J.Capmany and J.Cascon: "Optical programmable transversal filters using fiber amplifiers", *Electron Lett.*, vol.28, pp.226-227, 1992.

[13] S.K.Mitra and R.J.Sherwood: "Canonic realization of digital filtering using the continued fraction expansion", *IEEE Trans. Audio & Electroacoustics*, vol.20, no.3, pp.185-194, Aug. 1972.

[14] 이채욱, 문병현, 우홍제: "격자형 광파이버필터의 최적설계에 관한 연구", *대한전자공학회 논문지* 제30권 B편 5호, pp.434-441, 1993년 5월.

[15] H.C.Lefevre: "Single mode fibre fractional wave devices and polarisation controllers", *Electron. Lett.*, 16, pp. 778-780, Sep, 1980.

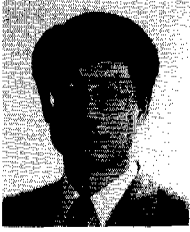
[16] K.P.Jackson, Guoginging Xiao and H.J.Shaw: "Coherent optical fiber delay line processor", *Electron. Lett.* pp.1335-1337, Dec. 1986.

[17] H.S.Wall: *Analytic theory of continued fractions*, Chelsea publishing company, Bronx, N.Y. 1948.

[18] 이채욱, "Canonic ladder digital filter 형태의 광섬유필터 설계, 1997년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, vol.20, no.1, pp.781-784, June, 1997.

이 채 욱(Chae Wook Lee)

정회원



1957년 12월 24일생
1980년 2월 한국항공대학 통신
공학과 졸업(공학사)
1987년 3월 동경공업대학 전기
전자공학과 졸업
(공학석사)
1990년 3월 동경공업대학 전기
전자공학과 졸업
(공학박사)

1997년 7월~1998년 7월 Penn state Univ. 교환교수

1990년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 부교
수

<연구분야> 디지털신호처리, 적응신호처리, 광통신시
스템