

論文95-32B-11-13

광신호 에너지 최적화를 위한 IIR 격자형 광파이버필터 설계

(Optical IIR lattice fiber filter design for optimum of optical signal energy)

李 塚 昂 *, 金 臣 煥 *

(Chae-Wook LEE, and Shin-Hwan Kim)

요 약

광파이버는 저손실, 광대역으로 작은 지연도 정확하게 얻을 수 있기 때문에 고주파 및 광대역신호의 고속처리에 적합한 지연매체로 주목을 받고 있다. 특히 수십 GHz단위의 고주파 및 광대역신호의 고속 필터링이 요구되는 분야에 coherent 처리에 의한 광파이버필터가 관심을 끌고 있다. 본 논문에서는 광파이버를 이용한 지연소자와 방향성결합기를 구성단위로 하고 coherent광을 이용한 IIR 격자형 광파이버필터에 대하여 고찰하였다. 광파이버를 지연소자로 이용한 광파이버필터는 그 기본 구성요소인 방향성결합기의 결합계수가 취할 수 있는 값이 0과 1 사이의 값으로 한정되어 있다. 따라서 통상의 디지털필터와는 다른 설계공식을 확립시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 방향성 결합기의 제약조건을 고려하여, 주어진 전달함수에 대해 광신호의 에너지를 최대한 유효하게 사용하는 IIR 격자형 광파이버 필터의 설계법에 대하여 고찰하고 그 때의 설계공식과 실현조건등을 유도한다.

Abstract

Due to the low loss, broadband and accurate short time delay properties of optical fiber, it has attracted as a delay medium for high speed and broad-band signal processing. In this paper, we consider the coherent optical fiber filter of IIR lattice structure, which uses coherent light sources and consists of directional couplers whose coupling coefficients are restricted between 0 and 1. Considering restrictions of directional coupler, the design formulae and condition for reliability of optical fiber filter of IIR lattice structure which makes the optimal use of optical signal energy are derived.

I. 서 론

광파이버는 저손실, 광대역 그리고 작은 지연도 정확하게 얻을 수 있기 때문에 고주파 및 광대역신호의 고속처리에 적합한 지연매체로 주목받고 있다. 그러나 종래의 광신호처리는 광신호의 광도를 이용하는 incoherent 처리방식으로 부(minus)의 필터 계수는 실현하지 못하는 결점이 있다. 한편 광주파수 분할다중방식

(OFDM)에서는 수십 GHz단위의 고주파 및 광대역신호의 고속 필터링이 요구되어지고 있는데, 이러한 분야에 coherent 처리에 의한 광파이버필터가 많은 주목을 받고 있다^{[1][2]}.

필터는 이미 FIR 및 IIR 직접구성형 광파이버필터와 FIR 격자형 광파이버필터의 실현조건과 설계공식에 대하여 보고하였다^{[3][4][5]}. 본 논문에서는 광파이버를 이용한 지연소자와 방향성결합기를 구성단위로 하고 coherent광을 이용한 IIR 격자형 광파이버필터에 대하여 고찰한다. 격자형필터는 종속접속에 의한 규칙적이고 간단한 회로구성으로 각 격자구간이 독립성을 유지하고 안정성 문제도 간단하게 해결할 수 있는등

* 正會員, 大邱大學校 情報通信工學科

(Dept. of Computer and Communication, Taegu Univ.)

接受日字: 1995年1月7日, 수정완료일: 1995年11月8日

디지털 신호처리분야. 특히 유성분석 및 합성의 신호처리용으로 널리 이용되어지고 있다.

IIR 격자형 광파이버필터는 그 구성요소인 방향성결합기의 결합계수(= a)는 0 과 1 사이의 값만 취할 수 있다.

i) 입력신호는 광강도에 의해 처리되기 때문에 방향성결합기의 결합계수(= a)는 0 과 1 사이의 값만 취할 수 있다.

ii) 광의 분기소자로 이용할 경우 신호광은 \sqrt{a} 와 $\sqrt{1-a}$ 로 분배된다.

이와 같은 제약조건 때문에 IIR 격자형 광파이버필터는 통상의 디지털필터와는 다른 설계법을 확립시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 방향성결합기의 제약조건을 고려하면서, 광신호 전력을 최대한 효율적으로 이용하는 설계방법을 목표로 하여 IIR 격자형 광파이버필터의 실현조건과 설계공식을 유도한다.

II. 필터의 기본 구성요소

코히런트광에 의한 신호처리와 광파이버필터의 입력신호에 관한 상세한 기술은 참고문헌 [4]-[7]을 참조하기 바란다. 여기서는 지연소자, 가산·분기소자, 승산소자 등 IIR 격자형 광파이버필터의 기본 구성요소에 대해서만 간단히 기술한다.

1. 단위 지연소자

광파이버를 이용한 단위 지연소자를 그림 1과 같이 표시하기로 한다. 여기서 단위 시간지연을 z^{-1} 로 표시한다고 하면 이 소자의 입출력 관계는 다음과 같다.

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

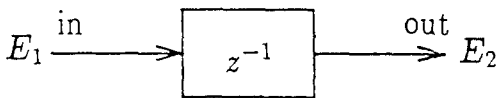


그림 1. 단위 지연소자
Fig. 1. Unit delay element.

2. 가산·분기 소자

방향성결합기를 그림 2와 같이 표시한다. 이때 입출력 관계는 다음과 같이 주어진다^[6].

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

여기서 $a(0 \leq a \leq 1)$ 는 방향성결합기의 결합계수이고, (E_1, E_2) 와 (E_3, E_4) 는 각각 입력과 출력의 전계진폭

이다. 그림 3에 표시한 바와 같이 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.

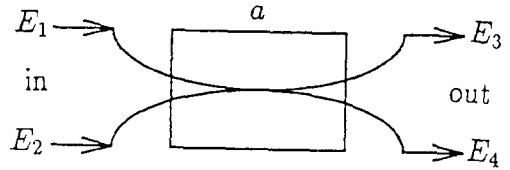
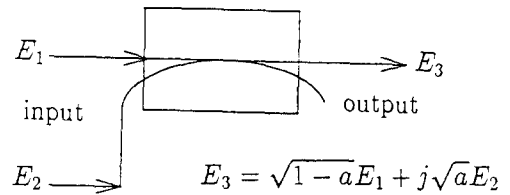
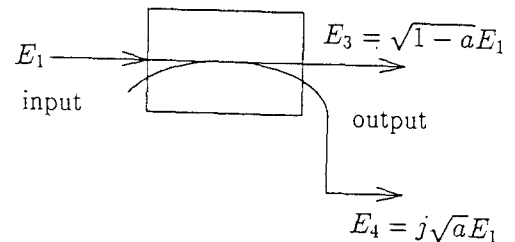


그림 2. 방향성결합기
Fig. 2. Directional coupler.



(a)



(b)

그림 3. 가산 및 분기소자
Fig. 3. Summing and branching element.

3. 승산 소자

방향성결합기를 2단 접속하게 되면 승산계수 A 의 범위는

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

와 같이 된다(문헌 [5] 참조). 본 논문에서는 승산소자를 간단히 그림 4와 같이 표시한다.

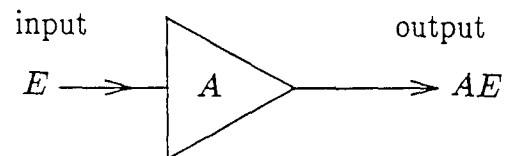


그림 4. 승산소자
Fig. 4. Multiplier element.

III. IIR 격자형 광파이버필터의 성질

격자형 디지털필터의 설계방법에 대해서는 이미 발표가 많이 되어 있다. 특히, IIR 격자형 디지털필터에 관해서는 가장 간단한(효율적인) 구성으로, 기본 격자 구간에서 2개의 승산소자를 사용하여 구성하는 것으로 일본의 板倉와 齊藤에 의해 최초로 제안된 후 음성분석등의 응용에 많이 사용되어지고 있다^{[8], [9]}. 본 논문에서는 참고문헌 [8]에 제안되어 있는 격자형구성에서 신호의 분기, 가산 및 승산을 실행하는 전기회로(디지털회로)를 II장에서 논한 각종의 광소자로 대신한 IIR 격자형 광파이버필터를 고찰의 대상으로 하여 그 설계의 실현조건 및 설계방법에 대하여 논한다.

그림 5에 본 논문에 이용한 격자형 광파이버필터의 단위회로를 표시한다. 단, 회로의 균일성을 고려하여 신호의 분기 및 가산에 이용하는 방향성결합기는 모두 동일한 것으로 하여 그 결합계수를 a 로 둔다. II장에서 논했듯이 결합계수 a 및 광승산기의 승산계수 A_m, B_m 은 각각

$$0 \leq a \leq 1, \quad -1 \leq A_m, B_m \leq 1 \quad (1)$$

의 조건을 만족하여야 한다.

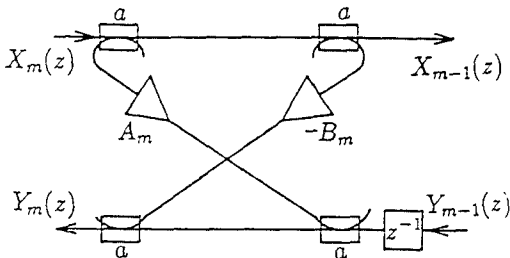


그림 5. IIR 격자형 광파이버필터의 단위회로
Fig. 5. Basic building block for IIR lattice fiber filter.

II장에서 논한 각 구성요소의 입출력 관계를 이용하면, 그림 5에 표시한 단위회로의 입력 $X_m(z), Y_{m-1}(z)$ 와 출력 $X_{m-1}(z), Y_m(z)$ 의 관계는

$$\begin{bmatrix} X_{m-1}(z) \\ Y_m(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1-a}{a\sqrt{1-a}B_m} & -a\sqrt{1-a}A_m z^{-1} \\ \frac{1-a}{a\sqrt{1-a}B_m} & [-a^2 A_m B_m + (1-a)] z^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m(z) \\ Y_{m-1}(z) \end{bmatrix}$$

로 주어진다. 위의 식을 $X_{m-1}(z), Y_{m-1}(z)$ 와 $X_m(z), Y_m(z)$ 으로 정리하면

$$\begin{bmatrix} X_m(z) \\ Y_m(z) \end{bmatrix} = \frac{1}{1-a} \cdot G_m \begin{bmatrix} X_{m-1}(z) \\ Y_{m-1}(z) \end{bmatrix} \quad (2)$$

로 주어진다. 단,

$$G_m \equiv \begin{bmatrix} \frac{1}{a\sqrt{1-a}B_m} & a\sqrt{1-a}A_m z^{-1} \\ \frac{1}{a\sqrt{1-a}B_m} & (1-a)^2 z^{-1} \end{bmatrix} \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

로 정의한다. 본 논문에서는 그림 5의 단위회로를 n 개 종속접속시켜서 얻어진 그림 6의 IIR 격자형 광파이버필터를 고찰의 대상으로 삼는다.

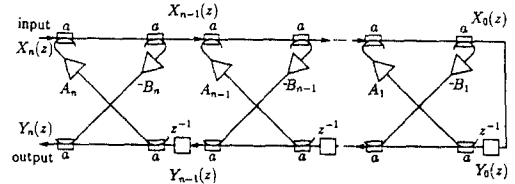


그림 6. IIR 격자형 광파이버필터
Fig. 6. Optical fiber filter of IIR lattice structure.

그림 6의 회로에서 입력신호 $X_n(z)$ 과 출력신호 $Y_n(z)$ 간의 입출력관계는 식(2)로부터

$$\begin{bmatrix} X_n(z) \\ Y_n(z) \end{bmatrix} = (1-a)^{-n} G_n \cdot G_{n-1} \cdots G_1 \begin{bmatrix} X_0(z) \\ Y_0(z) \end{bmatrix} \quad (4)$$

로 주어진다.

식을 간단히 하기 위하여, 그림 6에서 입력신호 $X_n(z)$ 와 $Y_0(z)$ 가 동일한 것을 이용하면,

$$C_m(z) \equiv (1-a)^m \frac{X_m(z)}{X_0(z)}, \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$D_m(z) \equiv (1-a)^m \frac{Y_m(z)}{Y_0(z)}, \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

로 둘 수 있다. 그러면 식(2)로부터

$$\begin{bmatrix} C_m(z) \\ D_m(z) \end{bmatrix} = G_m \begin{bmatrix} C_{m-1}(z) \\ D_{m-1}(z) \end{bmatrix}, \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$C_0(z) = D_0(z) = 1 \quad (8)$$

와 같은 관계식을 유도할 수 있다. 그리고 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{Y_m(z)}{X_m(z)} = \frac{D_m(z)}{C_m(z)} \quad (9)$$

이때, 다음 정리가 성립한다.

[정리 1] $0 \leq a \leq 1$ 이고 $A_k \neq 0, B_k \neq 0 (k=1, 2, \dots, m)$

일 때 $C_m(z)$ 과 $D_m(z)$ 은 z^{-1} 의 m 차 다항식이다. 그리고 z^{-1} 의 다항식 $C_m(z)$ 과 $D_m(z)$ 의 i 차 계수를 각각 $c_{m,i}, d_{m,i}$ 라 하면

$$C_m(z) = \sum_{i=1}^m c_{m,i} z^{-i} \tag{10}$$

$$D_m(z) = \sum_{i=0}^m d_{m,i} z^{-i} \tag{11}$$

이다. 이때

$$c_{m,0} = 1, \quad d_{m,m} = (1-a)^{2m} \tag{12}$$

로 된다. (증명) 식(2)를 전개하면 간단히 알 수 있다. (증명 끝) [정리 2] 그림 6의 회로에서, m 단 격자구간의 승산기 계수 A_m, B_m 과 $C_m(z), D_m(z)$ 의 관계 그리고 $C_m(z), D_m(z)$ 과 $C_{m-1}(z), D_{m-1}(z)$ 의 관계는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$A_m = \frac{c_{m,m}}{a\sqrt{1-a}d_{m-1,m-1}} \tag{13}$$

$$B_m = \frac{d_{m,0}}{a\sqrt{1-a}}$$

$$d_{m-1,m-1} = \frac{d_{m,m}}{(1-a)^2}$$

$$c_{m-1,i} = \frac{d_{m,m}c_{m,i} - d_{m,0}c_{m,m}}{d_{m,m} - d_{m,0}c_{m,m}} \quad i = 1, 2, \dots, m-1 \tag{14}$$

$$\frac{d_{m-1,i-1}}{d_{m-1,m-1}} = \frac{d_{m,i} - d_{m,0}c_{m,i}}{d_{m,m} - d_{m,0}c_{m,m}}$$

와 같은 관계를 가진다.

(증명) 식(7)로부터 $C_m(z), D_m(z)$ 과 $C_{m-1}(z), D_{m-1}(z)$ 의 관계는

$$\begin{bmatrix} C_m(z) \\ D_m(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a\sqrt{1-a}A_m z^{-1} \\ a\sqrt{1-a}B_m & (1-a)^2 z^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{m-1}(z) \\ D_{m-1}(z) \end{bmatrix}$$

로 주어진다. 식(10) ~ (12)를 참고하여 위의 식을 전개하면

$$C_m(z) = 1 + \sum_{i=1}^m c_{m,i} z^{-i}$$

$$= 1 + \sum_{i=1}^{m-1} (c_{m-1,i} + a\sqrt{1-a}A_m d_{m-1,i-1}) z^{-i} + a\sqrt{1-a}A_m d_{m-1,m-1} z^{-m} \tag{15}$$

$$D_m(z) = \sum_{i=0}^m d_{m,i} z^{-i}$$

$$= a\sqrt{1-a}B_m + \sum_{i=1}^{m-1} (a\sqrt{1-a}B_m c_{m-1,i} + (1-a)^2 d_{m-1,i-1}) z^{-i} + (1-a)^2 d_{m-1,m-1} z^{-m} \tag{16}$$

로 된다. 식(15), (16)에서 z^{-m} 의 양변 계수를 각각 비교하면

$$c_{m,m} = a\sqrt{1-a}A_m d_{m-1,m-1}$$

$$d_{m,0} = a\sqrt{1-a}B_m$$

$$d_{m,m} = (1-a)^2 d_{m-1,m-1}$$

로 되어 식(13) 및 식(14)의 첫번째 식이 성립하는 것을 알 수 있다.

한편 식(13)을 식(15)와 (16)에 대입하고, 양변의 계수를 비교하면

$$c_{m,i} = c_{m-1,i} + \frac{c_{m,m}d_{m-1,i-1}}{d_{m-1,m-1}}, \quad i = 1, 2, \dots, m-1$$

$$d_{m,i} = c_{m-1,i}d_{m,0} + \frac{d_{m,m}d_{m-1,i-1}}{d_{m-1,m-1}}$$

로 된다. 위의 식을 $c_{m-1,i}$ 와 $d_{m-1,i-1}/d_{m-1,m-1}$ 에 대하여 풀면 식(14)의 두번째 식과 세번째 식이 성립하는 것을 알 수 있다. (증명 끝)

이때 식(14)로부터

$$d_{m,m} - d_{m,0}c_{m,m} = 0 \tag{17}$$

의 경우에는 실현불가능한 것을 알 수 있다. 한편 식(14)의 두번째 식은 $i=0$ 에 대해서도, 또한 식(14)의 세번째 식은 $i=m$ 에 대해서도 형식적으로 성립하는 것을 알 수 있다.

IV. IIR 격자형 광파이버필터의 설계법

본 논문에서는 일반성을 잃지 않고 희망하는 전달함수 $H_d(z)$ 가

$$H_d(z) = \frac{\sum_{i=0}^n h_{n,i} z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n g_{n,i} z^{-i}}, \quad h_{n,n} > 0 \tag{18}$$

와 같이 주어지는 것으로 하여, 그림 6에서 보이는 IIR 격자형 광파이버필터로 주어진 전달함수의 정수배인 $aH_d(z)$ ($a > 0$)을 실현한다. 즉,

$$\frac{Y_n(z)}{X_n(z)} = \frac{D_n(z)}{C_n(z)} = aH_d(z) = \frac{\alpha \sum_{i=0}^n h_{n,i} z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n g_{n,i} z^{-i}} \tag{19}$$

혹은

$$\frac{c_{n,i}}{d_{n,i}} = \frac{g_{n,i}}{ah_{n,i}} \tag{20}$$

를 의미한다. 이때 광신호의 에너지를 최대에 이용하기 위하여 α 를 최대에 하는 설계공식을 유도한다. 이러한

면에서 본 논문의 설계법은 광신호의 에너지면에 있어서 최적설계라 할 수 있다.

우선 다음의 정리가 성립하는 것을 알 수 있다.

[정리 3] 희망 전달함수 $H_d(z)$ 에 대하여 식(19) (혹은 식(20))를 “형식적으로 실현하는” 그림 6의 IIR 격차형 광파이버필터를 고려하면, 각단의 전달함수 $D_m(z)/C_m(z)$ ($m=n, n-1, \dots, 0$) 에서

$$c_{m,i}, d_{m,i} (i=0, 1, \dots, m)$$

은 $H_d(z)$ 만으로 결정된다. 여기서, “형식적으로 실현한다”는 것은 승산기 계수 A_m, B_m 이 임의의 실수치를 취할 수 있는 경우를 말한다.

이하, 식(19) 혹은 식(20)을 기본식으로 하여, a 의 최대치 a_{\max} 를 제공하는 최적 결합계수 a_{opt} 와 그때의 a_{\max} 그리고 물리적 실현조건을 만족하는 승산기 계수 A_m, B_m 의 결정법을 논한다.

승산기 계수의 실현조건은

$$-1 \leq A_m, B_m \leq 1$$

이다. 실현조건 $|A_m| \leq 1$ 이 되기 위한 필요충분조건으로서, 식(13)의 첫번째 식으로부터

$$|A_m| = \left| \frac{c_{m,m}}{a\sqrt{1-aa_{m-1,m-1}}} \right| \leq 1$$

로 주어진다. 위의 식을 식(12)를 참고로 하면 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$\frac{K_m(a)}{C_m(a)} \geq \frac{|c_{m,m}|}{a(1-a)^{2m-3/2}}, \quad m=n, n-1, \dots, 1 \quad (21)$$

다음으로 $|B_m| \leq 1$ 의 필요충분조건으로서, 식(13)의 두번째 식으로부터

$$|B_m| = \left| \frac{d_{m,0}}{a\sqrt{1-a}} \right| \leq 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{d_{m,0}}{a\sqrt{1-a}d_{m,m}} \right| \leq \frac{1}{|d_{m,m}|}$$

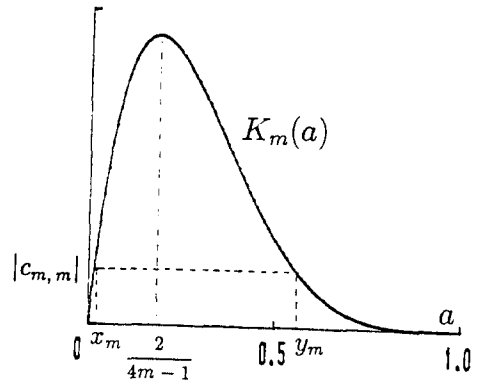
이 성립한다. 식(12)를 참고로 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{L_m(a)}{C_m(a)} \geq \frac{|d_{m,0}|}{|d_{m,m}|}, \quad m=n, n-1, \dots, 1 \quad (22)$$

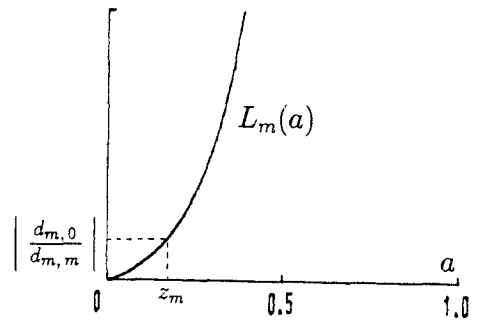
$$L_m(a) \equiv \frac{a}{(1-a)^{2m-1/2}}$$

여기서 식(21)과 (22)의 $c_{m,m}$ 과 $d_{m,m}/d_{m,0}$ 은 [정리 3]에서 알 수 있듯이 희망 전달함수 $H_d(z)$ 만으로 결정된다. 그리고 식(21)과 (22)의 조건은 그림 7과 같

이 표시할 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. $K_m(a)$ 와 $L_m(a)$ ($m=3$) 의 그래프
Fig. 7. Behavior of $K_m(a)$ and $L_m(a)$ ($m=3$)

그림 7로부터 알 수 있듯이, 식(21)과 (22)의 부등식이 성립하는 $a(0 \leq a \leq 1)$ 가 존재하기 위해서 $|c_{m,m}|$ 은

$$|c_{m,m}| \leq \max_{0 \leq a \leq 1} K_m(a) = \frac{2}{4m-1} \left(\frac{4m-3}{4m-1} \right)^{2m-3/2} \quad (23)$$

로 주어져야 한다. 역으로, 위의 식이 성립한다면 식(21)과 (22)를 동시에 만족하는 a 가 존재하기 위한 필요충분조건은

$$a_{\min} \leq a_{\max} \quad (24)$$

단,

$$a_{\min} \equiv \max_{1 \leq m, k \leq n} \{x_m, z_k\}$$

$$a_{\max} \equiv \min_{1 \leq m \leq n} \{y_m\} \quad (25)$$

로 주어진다. 이때 x_m, y_m 은

$$K_m(a) = a(1-a)^{2m-3/2} = |c_{m,m}|$$

의 (0,1)에서 2개의 근(root)을 의미하고, 두 근은

$$0 \leq x_m \leq \frac{2}{4m-1} \leq y_m \leq 1$$

의 관계가 있다. 그리고 z_m 은

$$L_m(a) = \frac{a}{(1-a)^{2m-1/2}} = \frac{d_{m,0}}{d_{m,m}}$$

을 의미하고, (0,1)에서 1개의 근만이 존재한다.

한편, 식(20)과 (12)로부터 $d_{n,n} = (1-a)^{2n} = ah_{n,n}$ 의 관계가 있으므로 $a(>0)$ 는

$$a = \frac{(1-a)^{2n}}{h_{n,n}} \tag{26}$$

로 주어진다. 따라서 a 를 최대화 하기 위해서는 $|A_m|, |B_m| \leq 1$ 의 조건을 만족하는 범위내에서 방향성결합기의 결합계수 a 를 최소로 하면 되는 것을 알 수 있다. 즉, a 의 최댓값 a_{\max} 를 제공하는 최적 결합계수 a_{opt} 는

$$a_{opt} = a_{\min} \tag{27}$$

로 된다. 그리고 이때 a_{\max} 는

$$a_{\max} = \frac{(1-a_{opt})^{2n}}{h_{n,n}} \tag{28}$$

로 주어진다. 마지막으로 각단의 승산기 계수 $A_m, B_m(m=n, n-1, \dots, 1)$ 은 [정리 2]의 식(13), (14)를 이용하여 순서대로 구하면 된다.

이상의 내용을 요약하면 다음과 같은 IIR 격자형 광파이버필터의 실현조건과 설계방법이 된다.

[실현조건]

희망 전달함수 $H_d(z)$ (식(18))에 대하여

- (i) $d_{m,m} - d_{m,0}c_{m,m} \neq 0$ 을 만족할 것.
- (ii) 식(23), (24)가 성립할 것.

[설계방법]

step 1: 식(27)과 식(28)로부터 a_{opt}, a_{\max} 를 구한다.

$a = a_{opt}, \alpha = a_{\max}$ 로 둔다. $m = n$ 으로 한다.

step 2: 식(12)로부터 $d_{m-1, m-1} = (1-a)^{2(m-1)}$ 로 하여 구하고, 식(14)로부터 $c_{m-1, i}, d_{m-1, i-1}$

($i=1, 2, \dots, m-1$)을 구한다.

식(13)으로부터 A_m, B_m 을 구한다.

$m = m-1$ 로 한다.

step 3: $m=1$ 이 될 때 까지 step 2를 반복한다.

끝으로 IIR 격자형 광파이버필터의 안정성에 대하여 논한다. IIR 디지털필터의 경우 안정한가, 불안정한가는 상당히 중요하다. 본 논문에서 취급하고 있는 광파이버필터는 능동소자를 포함하고 있지 않기 때문에 물리적으로 항상 안정하다고 할 수 있지만, 다음 정리는 IIR 격자형 광파이버필터의 실현조건으로부터 필터의 안정성을 수학적으로 증명한 것이다.

[정리 4] 주어진 전달함수가 IIR 격자형 광파이버필터로 실현가능하면, 그 회로는 항상 안정하다.

(증명) 안정성판별은 분자다항식과는 아무런 상관이 없다. 따라서 분자다항식 $D_n(z)$ 을 분모다항식 $C_n(z)$ 의 상반다항식, 즉

$$D_n(z) = z^{-n} C_n(z^{-1})$$

으로 두고 안정성판별을 하여도 무방하다. 이때 전달함수의 분모다항식

$$C_n(z) = 1 + c_{n,1}z^{-1} + c_{n,2}z^{-2} + \dots + c_{n,n}z^{-n}$$

에 대하여 식(14)의 두번째 식에서 주어지는 $C_{m-1}(z)$ 의 최고차 계수 $c_{m-1, m-1}$ ($m = n, n-1, \dots, 1$)은

$$c_{m-1, m-1} = \frac{c_{m,m-1} - c_{m,1}c_{m,m}}{1 - c_{m,m}} \tag{29}$$

로 된다.

한편 주어진 전달함수가 IIR 격자형 광파이버필터로 실현된다고 하면, 식(23)이 만족되어야 한다. 즉, 식(29)에서

$$|c_{m,m}| \leq 1, \quad m = n, n-1, \dots, 1$$

이 성립한다. 이 조건은 Schur-Cohn의 안정조건에 해당한다^[10]. 따라서 정리가 증명되었다. (증명 끝)
다음에 간단한 예를 들었다.

[설계예] 희망하는 전달함수 $H_2(z)$ 가

$$H_2(z) = \frac{0.2 + 0.1z^{-1} + z^{-2}}{1 + 0.09z^{-1} + 0.1z^{-2}}$$

와 같이 주어졌다고 하자. 각 계수는

$$c_{2,2} = 0.1, \quad d_{2,0}/d_{2,2} = 0.2, \quad c_{1,1} = 0.081, \quad d_{1,0}/d_{1,1} = 0.083$$

로 된다. 식(21),(22)로부터

$$K_2(a) = a^2(1-a)^{5/2} = 0.1, K_1(a) = a^2(1-a)^{3/2} = 0.081, \\ L_2(a) = \frac{a}{(1-a)^{3/2}} = 0.2, L_1(a) = \frac{a}{(1-a)^{1/2}} = 0.083$$

로 주어진다. 이때 식(25)에서 a_{min}, a_{max} 는

$$a_{min} = 0.16, a_{max} = 0.46$$

로 되어, $H_2(z)$ 은 IIR 격자형 광파이버필터의 실현조건을 만족한다.

설계방법의 step 1로부터

$$a_{opt} = 0.16, a_{max} = 0.4977$$

로 주어진다. 설계방법에 따라 각승산기의 계수를 구하면

$$A_2 = 0.9664, A_1 = 0.5523, B_2 = 0.6778, B_1 = 0.3993$$

로 주어진다. (설계에 끝)

위의 설계에는 IIR 직접형 구성으로도 실현가능하다¹³⁾. 그러나 직접형 구성으로는 $a_{max} = 0.3977$ 로 되어 신호의 에너지를 최대한 유효하게 사용하는 관점에서 보면 IIR 격자형구성이 유리하다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 초고주파, 광대역신호의 필터링처리를 염두에 두고 coherent광을 이용한 IIR 격자형 광파이버필터의 실현조건과 설계방법에 대하여 논하였다. 설계방침으로는 희망하는 전달함수를 광파이버필터로 실현할 때, 광의 신호에너지를 최대한 유효하게 사용할 수 있도록 하는 설계법으로 하였다.

한편 방향성결합기의 제조오차에 의한 감도문제를 고려해야 되지만, 제조 및 가공기술의 발전에 힘입어 제조오차는 거의 없다고 생각하고 본 논문에서는 이상적인 모델을 고찰의 대상으로 하였다. 실제로 광집적화 기술로 오차문제는 거의 문제가 되지 않고 있다.

앞으로의 과제는 i) 실험에 의한 실제 필터의 구성 ii) 各種 구성법의 비교 및 검토 iii) 보다 효율적인 구성형태에 대한 연구등 이다.

참 고 문 헌

[1] K. Nosu and T. Matsumoto. "Coherent light wave technologies toward future telecommunication networks". Proc. IEEE Globecom 87, pp 673-677, Nov. 1987.

[2] 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.

[3] 李 塚 昂, 坂庭 好一: "コヒー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.

[4] C.W.Lee and K.Sakaniwa: "A Design method for coherent optical fiber filters of direct form". Scripta Tech. Journals in Electronics and Communications in Japan, vol. 73, No.10, pp. 36-45, Oct. 1990.

[5] 이채욱, 문병현, 우홍제: "격자형 광파이버필터의 최적설계에 관한 연구", 대한전자공학회 논문지, 제30권 B편 5호, pp. 434-442, 1993년 5월

[6] 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.

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

[8] F.Itakura and S.Sato: "Digital Filtering techniques for speech analysis and synthesis". Proc. 7th Int. Cong. Acoust., Budapest, pp. 261-264, 1971.

[9] J.Makhoul: "A class of all zero lattice digital filters: properties and applications". IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 26, No. 4, pp. 304-314, Aug. 1978.

[10] E.I.Jury: "Sampled data control sys-

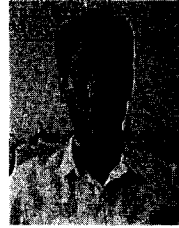
tems". John Wily & Sons. 1958.

[11] 이채욱: "IIR 격자형 광파이버필터의 설계법".

제7회 신호처리합동학술대회논문집, 제7권 1호, pp. 922-925, 1994년 10월.

저 자 소 개

李塚昂(正會員) 第 30卷 B編 第11號 參照
현재 대구대학교 정보통신공학과
부교수



金 臣 煥(正會員)
1952년 4월 6일생. 1975년 2월
한국항공대학 통신공학과 (공학
사). 1983년 2월 전북대학교 대학
원 전기공학과 (공학석사). 1985
년 4월 ~ 1988년 3월 일본동경대
학 대학원 전자공학과 (공학박사).
1983년 3월 ~ 현재 대구대학교 정보통신공학과 교수.
주관심분야는 영상신호처리 및 영상통신 등