하계학술대회
논문86-3-11

순 환 형 FIR 필 터

RECURSIVE FIR FILTERS FOR DISCRETE TIME-INVARIANT STATE-SPACE MODELS

권 오 규* 인하대학교 전기공학과

권 욱 현 서울대학교 제어계측공학과

ABSTRACT

In this paper an FIR(finite impulse response) filter and smoother are introduced for discrete time-invariant state-space models with driving noises. The FIR structure not only guarantees the BIBO stability and the robustness to parameter changes but also improves the filter divergence problem. It is shown that the impulse responses of the FIR filter and the smoother are obtained by Riccati-type difference equations and that they are to be time-invariant and reduced to very simple forms. For implementational purpose, recursive forms of the FIR filter and smoother are derived with each other used as the adjoint variable.

I. 서 론

유한기억추정법(limited memory filtering)은 칼만필터의 발산문제에 대한 대비책의 하나로 제시된 것으로서, 이 추정법을 이용하는 소위 유한기억필터로서는 Jazwinski[1], Schweppe [2], Buxbaum[3], Bierman[4], Bruckstein 과 Kailath[5] 등이 제시한 것들이 있다. 그런데 이 유한기억필터들은 발산문제에는 효과적이긴 하나, 안정도가 보장되지 않는다는 문제점을 지니고 있다.

유한기억필터들의 이러한 문제점을 해결하고자 통계적 FIR필터가 제시되었다[6,7]. 이 필터는, 신호처리분야에서 잘 알려진 바와 같이, FIR 구조로 인해 BIBO안정도와 계수변동에 대한 견실성(robustness)을 지니며, 또한 유한기억필터로서 발산문제에도 효과적이다.

본 논문에서는, 이산형 시불변 상태공간모델에 대한 FIR필터와 평활기 알고리즘을 제시하고, 시불변 시스템에 대해서는 이들도 시불변이 됨을 보이며, 실현상의 편의를 위해 이 필터에 대한 순환형 알고리즘을 제시한다.

II. 시 불 변 FIR 필 터

다음과 같은 이산형 시불변 상태공간 모델을 다루기로 한다.

$$\begin{aligned} x(i+1) &= Ax(i) + Bw(i) \\ z(i) &= Cx(i) + v(i) \end{aligned} \tag{2.1}$$

상태 $x(\cdot)$와 관측신호 $z(\cdot)$는 영평균 불규칙과정, 시스템잡음 $w(\cdot)$와 관측잡음 $v(\cdot)$는 영평균 백색잡음이고, $x(0)$와 $w(\cdot)$와 $v(\cdot)$는 서로 상관관계가 없으며, $E[x(0)x'(0)] = P_0$, $E[w(i)w'(j)] = Q\delta_{ij}$, $E[v(i)v'(j)] = I\delta_{ij}$ 라고 본다. 초기시간 i_0는 편의상 $i_0 = 0$로 취하기로 한다.

식(2.1)의 대상시스템에서 상태 $x(\cdot)$에 대한 FIR필터는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{x}(i|N) = \sum_{k=i-N}^{i} H(i,k;N)z(k) \tag{2.2}$$

$$J = E[x(i)-\hat{x}(i|N)]'[x(i)-\hat{x}(i|N)] \quad (2.3)$$

식(2.2)에서 $H(\cdot,\cdot;N)$는 FIR필터의 임펄스응답이며, N은 관측정보구간폭으로서 필터 $\hat{x}(\cdot|N)$와 $H(\cdot,\cdot;N)$는 N의 함수임을 나타낸 것이다.

선형최소분산추정자의 직교성 $[x(i)-\hat{x}(i|N)] \perp z(j)$, $i-N \le j \le i$ 에 의해 FIR필터의 임펄스응답은 다음의 관계식을 만족시킨다.

$$H(i,j;N)=P(i,j)C'-\sum_{k=i-N}^{i} H(i,k;N)CP(k,j)C' \quad i-N \le j \le i, \quad (2.4)$$

식(2.4)에서 $P(\cdot,\cdot)$는 $x(\cdot)$의 상호분산이다.

$$P(i,j) = \begin{cases} A^{i-j}P(j,j), & i \ge j \\ P(i,i)A'^{(j-i)}, & i \le j \end{cases} \quad (2.5)$$

$$P(i+1,i+1) = AP(i,i)A' + BQB', \quad P(0,0) = P_0 \quad (2.6)$$

식(2.4)의 유일해는 항상 보장되지만, 이것을 직접적인 방법으로 얻으려면 $z(\cdot)$의 차수가 q일 때, $q(N+1)\times q(N+1)$ 군행렬의 역행렬 연산을 행해야하므로 q^3N^3차수의 막대한 계산량을 필요로 한다. 그러나 $P(\cdot,\cdot)$가 식(2.5),(2.6)의 동특성을 지니므로 이것을 이용하면 계산상 효율적으로 해를 구할 수 있다.

정리 2.1 : 이산형 시불변 상태공간 모델 (2.1)에 대한 FIR필터(2.2)의 임펄스응답 $H(i,\cdot;N)$은 다음과 같이 구해진다.

$$H(i,j;n+1)=[I-R(i,n+1)C'C]AH(i,j;n), \quad (2.7)$$
$$H(i,j;N-i+j)=R(i,N-i+j)C', \quad N-i+j \le n \le N-1$$
$$R(i,n+1)=M(i,n)-M(i,n)C'[I+CM(i,n)C']^{-1}CM(i,n)$$
$$R(i,-1)=P(i-N-1,i-N-1), \quad -1 \le n \le N-1, \quad (2.8)$$

식(2.8)에서 $M(i,n) = AR(i,n)A' + BQB'$ 이다.

(증명) $H(i,\cdot;n)$을 다음과 같은 행렬방정식의 해로서 정의하면,

$$H(i,j;n)=P(i-N+n,j)C'-\sum_{k=i-N}^{i-N+n} H(i,k;n)CP(k,j)C', \quad i-N \le j \le i-N+n \le i, \quad (2.9)$$

필터의 임펄스응답 $H(i,j;N)=H(i,j;n)|_{n=N}$이고,

$$R(i,n) \triangleq P(i-N+n,i-N+n)-\sum_{k=i-N}^{i-N+n} H(i,k;n)CP(k,i-N+n) \quad 0 \le n \le N, \quad (2.10)$$

위와 같이 정의할 때, 다음과 같이 식(2.7)과 (2.8)이 유도되어 증명은 완료된다.

$$H(i,j;n+1)=[I-H(i,i-N+n+1;n+1)]AP(i-N+n,j)C' - \sum_{k=i-N}^{i-N+n} H(i,k;n+1)CP(k,j)C'$$
$$=[I-R(i,n+1)C'C]AH(i,j;n),$$
$$R(i,n+1)=[I-R(i,n+1)C'C][AR(i,n)A'+BQB'].$$

정리2.1에 의해 임펄스응답 $H(i,j;N)$을 산출하는 데에는 각각의 $j(i-N \le j \le i)$ 에 대해 $q\times q$ 역행렬 연산과 행렬곱 연산을 필요로 하므로, 소요 계산량은 q^3N차수가 되어 직접적인 방법에 비해 계산량이 훨씬 줄어듬을 알 수 있다.

식(2.8)의 $R(i,N)$은 FIR필터의 추정오차의 상호분산이 된다. 이것은 식(2.10)의 정의로부터 알 수 있다.

$$E[x(i)-\hat{x}(i|N)][x(i)-\hat{x}(i|N)]'$$
$$= E[x(i)-\sum_{k=i-N}^{i} H(i,k;N)z(k)]x'(i)$$
$$= P(i,i)-\sum_{k=i-N}^{i} H(i,k;N)CP(k,i)=R(i,N).$$

식(2.2)의 FIR필터는 시변필터로서, 매시점 i 에서 임펄스응답을 산출해야한다. 그런데, 상태 $x(\cdot)$가 정상과정이거나, $P(i,j)=P(i-j)$, 대상시스템이 완전관측가능하면 FIR필터는 시불변이 된다.

$$\hat{x}(i|N)= \sum_{k=i-N}^{i} H(i-k;N)z(k)= \sum_{k=0}^{N} H(k;N)z(i-k) \quad (2.11)$$

그러면 정상과정의 경우를 살펴보기로 한다.

따름정리 2.1: 식(2.1)의 이산형 시불변 상태공간모델에서 상태 $x(\cdot)$가 정상과정이면, FIR필터는 식(2.11)과 같이 시불변이 되며, 이때 필터의 임펄스응답은 다음과 같이 구해진다.

$$H(i;n+1)=[I-R(n+1)C'C]AH(i;n), \quad N-i \le n \le N-1$$
$$H(i;N-i)=R(N-i)C', \quad 0 \le i \le N, \quad (2.12)$$
$$R(n+1)=M(n)-M(n)C'[I+CM(n)C']^{-1}CM(n)$$
$$R(-1)=P(0), \quad -1 \le n \le N-1 \quad (2.13)$$

식(2.13)에서 $M(n)=AR(n)A'+BQB'$이고, $P(0)$는 Liapunov 대수 방정식 $AP(0)A'+BQB'=P(0)$의 해다.

이 결과는 정리 2.1로부터 쉽게 유도된다. 필터가 시불변이 되므로 임펄스응답을 한 구간 $[0,N]$ 에서만 산출하면 필터를 구성시킬 수 있다. 정상과정이 아닌 경우일지라도, 대상시스템이 완전가관측이면 FIR필터는 시불변이 된다.

따름정리 2.2 : 식(2.1)의 대상 시스템에서, A가 정칙이고, $\{A,C\}$가 완전가관측이면, $P(i-N-1, i-N-1)=\infty I$라고 가정할 때, 필터도 식(2.11)과 같이 시불변이 되며, 필터의 임펄스응답은 다음과 같이 구해진다.

$$H(i;N) = S^{-1}(N)L(i;N),\ 0\le i\le N,\ p\le N, \quad (2.14)$$
$$L(i;n+1) = \{A'^{-1}-A'^{-1}S(n)A^{-1}BQ^{1/2}[I+Q'^{1/2}B'\cdot A'^{-1}S(n)A^{-1}BQ^{1/2}]^{-1}Q'^{1/2}B'A'^{-1}\}L(i;n),$$
$$L(i;N-i) = C', \qquad N-i\le n\le N-1, \quad (2.15)$$
$$S(n+1) = A'^{-1}S(n)A^{-1}+C'C-A'^{-1}S(n)A^{-1}BQ^{1/2}\cdot[I+Q'^{1/2}B'A'^{-1}S(n)A^{-1}BQ^{1/2}]^{-1}Q'^{1/2}B'A'^{-1}\cdot S(n)A^{-1}, \qquad -1\le n\le N-1 \quad (2.16)$$
$$S(-1) = 0.$$

식(2.14)에서 p는 시스템의 차수이다.

이 결과는 $S(i,n) \triangleq R^{-1}(i,n)$, $L(i,j;n) \triangleq R^{-1}(i,n)H(i,j;n)$ 과 같이 정의하고 식(2.7), (2.8)을 적용하면, $S(i,n)=S(n)$, $L(i,j;n)=L(i-j;n)$ 이 되고, 각각 식(2.16), (2.15)를 만족시킴을 증명할 수 있다. 식(2.14)에서 $N\ge p$에 대한 $S(N)$의 정칙성은 시스템의 완전가관측성에 의해 보장되는데, 이것은 유한구간조정기에 대한 쌍대성이다[8,9].

$P(i-N-1,i-N-1)=\infty I$ 라는 가정은 $i-N-1$시점 이전의 상태 $x(\cdot)$에 대한 통계적정보를 전혀 모르거나, 또는 사용치 않는다는 것을 의미한다. 이 경우 식(2.16)에서 임의의 준정치 행렬 Q에 대해 $S(N)>0$ 이며, 시스템잡음이 없는 경우($Q=0$)일 때에도 이 성질이 성립함은 특기할 만하다.

III. 시불변 FIR 평활기

시불변상태공간모델 (2.1)에서 상태 $x(i-N)$에 대한 FIR평활기는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{x}_s(i-N|N) = \sum_{k=i-N}^{i} H_s(i-N,k;N)z(k) \quad (3.1)$$
$$J_s = E[x(i-N)-\hat{x}_s(i-N|N)]'[x(i-N)-\hat{x}_s(i-N|N)]$$

필터와 마찬가지로 평활기도 선형최소분산추정자로서 직교성을 지니므로 평활기의 임펄스응답 $H_s(i-N,\cdot;N)$는 다음의 관계식을 만족시킨다.

$$H_s(i-N,j;N)=P(i-N,j)C'-\sum_{k=i-N}^{i} H_s(i-N,k;N)C\cdot P(k,j)C',\ i-N\le j\le i \quad (3.2)$$

식(2.4)에서와 같이 식(3.2)에서도 유일해가 존재하며, 이 해를 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

정리 3.1 : 식(2.1)에 대한 FIR평활기 (3.1)의 임펄스응답은 다음과 같이 구해진다.

$$H_s(i-N,j;n+1)=H_s(i-N,j;n)-W(i,n+1)C'CA\cdot H(i,j;n),\quad N-i+j\le n\le N-1 \quad (3.3)$$
$$H_s(i-N,j;N-i+j)=W(i,N-i+j)C',$$
$$W(i,n+1)=W(i,n)A'[I+C'CM(i,n)]^{-1} \quad (3.4)$$
$$=W(i,n)A'\{I-C'[I+CM(i,n)C']^{-1}C\}$$
$$W(i,0)=R(i,0),\qquad 0\le n\le N-1.$$

식(3.4)에서 $M(i,n) = AR(i,n)A'+BQB'$ 이며 $H(i,j;n)$와 $R(i,n)$는 식(2.7), (2.8)로부터 구한다.

이 결과는 $H_s(i-N,\cdot;n)$을 다음 식의 해로서

$$H_s(i-N,j;n) = P(i-N,j)C'-\sum_{k=i-N}^{i-N+n} H_s(i-N,k;n)C\cdot P(k,j)C',\ i-N\le j\le i-N+n, \quad (3.5)$$

정의하고, $W(i,\cdot)$을 다음과 같이 정의하면

$$W(i,n) \triangleq P(i-N,i-N+n)-\sum_{k=i-N}^{i-N+n} H_s(i-N,k;n)C\cdot P(k,i-N+n),\quad 0\le n\le N \quad (3.6)$$

정리 2.1의 증명과 유사한 방법으로 유도된다.

FIR 평활기도 대상시스템이 정상적이거나 완전가관측이면 시불변이 된다.

$$\hat{x}_s(i-N|N) = \sum_{k=i-N}^{i} H_s(i-N-k;N)z(k) \quad (3.7)$$

각 경우의 임펄스응답을 구하는 알고리즘은 정리 3.1로부터 다음과 같이 유도된다.

따름정리 3.1: (정상과정의 경우)

$$H_s(i-N;n+1) = H_s(i-N;n)-W(n+1)C'CAH(i;n),$$
$$H_s(i-N;N-i)=W(N-i)C',\ N-i\le n\le N-1, \quad (3.8)$$
$$W(n+1)=W(n)A'\{I+C'C[AR(n)A'+BQB']\}^{-1}$$
$$W(0)=R(0),\qquad 0\le n\le N-1. \quad (3.9)$$

따름정리 3.2 : 대상시스템이 완전가관측이고 시스템행렬 A가 정칙일 때, $P(i-N-1,i-N-1)=\infty I$라고 가정하면,

$$H_s(i-N;N) = \Omega(N)S^{-1}(N)V(i-N;N),\ 0\le i\le N,\ p\le N \tag{3.10}$$

$$V(i-N;n+1) = A'^{-1}V(i-N;n)+C'C[S(n+1)-C'C]^{-1} \cdot [A'^{-1}V(i-N;n)-L(i;n+1)] \tag{3.11}$$

$$V(i-N;N-i) = C', \quad N-i\le n\le N-1,$$

$$\Omega(n+1) = \Omega(n)A'^{-1}\{I-BQ^{\frac{1}{2}}[I+Q'^{\frac{1}{2}}B'A'^{-1}S(n)A^{-1} \cdot BQ^{\frac{1}{2}}]^{-1}Q'^{\frac{1}{2}}B'A'^{-1}S(n)A^{-1}\} \tag{3.12}$$

$$\Omega(0) = I, \qquad 0\le n\le N-1.$$

이 결과는 $\Omega(i,n) \triangleq W(i,n)R^{-1}(i,n)$, $V(i-N,j;n) \triangleq W^{-1}(i,n)H_s(i-N,j;n)$ 라고 정의하고 정리 3.1과 정리 2.1의 결과를 적용시키면 유도해낼 수 있다.

IV. 순환형 시불변 FIR 필터

앞절에서 다룬 FIR필터와 평활기는 대상시스템이 정상적이거나 완전가관측일 때, 시불변이 되어 형태가 매우 간단해짐을 보였다. 그런데, 이 필터와 평활기는 비순환형으로서, 관측정보구간폭 N이 매우 큰 경우에는 계산상 비효율적이라고 할 수 있다. 그러면 이들에 대한 순환형 알고리즘을 유도해보기로 한다.

정리 4.1 : 대상시스템(2.1)이 정상적이며, 시스템행렬 A가 정칙이고, 행렬쌍 $\{A,BQ^{\frac{1}{2}}\}$이 완전제어가능이면, 식(2.11)과 식(3.7)의 시불변 FIR필터와 평활기는 다음과 같이 시불변 순환형으로 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\hat{x}(i+1|N)\\ \hat{x}_s(i+1-N|N)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}M_1 & M_1H(N;N)CM_2\\ -H_s(-N;N)CA & M_3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\hat{x}(i|N)\\ \hat{x}_s(i-N|N)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}H(0;N), & -M_1H(N;N)[I+CM_2H_s(0;N)]\\ H_s(-N;N) & -M_3H_s(0;N)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}z(i+1)\\ z(i-N)\end{bmatrix} \tag{4.1}$$

계수행렬 M_1, M_2, M_3는 다음과 같다.

$$M_1=[I-H(0;N)C]A, \quad M_2=[I-H_s(0;N)C]^{-1},$$

$$M_3=\{[I-BQB'P^{-1}(0)]^{-1}A-H_s(-N;N)CAH(N;N)C\}M_2$$

(증명) 식(2.11)에서

$$\hat{x}(i+1|N) = \sum_{k=0}^{N-1} H(k+1;N)z(i-k)+H(0;N)z(i+1) \tag{4.2}$$

이고, 정상과정의 경우 식(2.4), (3.2)는 각각 다음과 같이 변형되는데,

$$H(i;N)=P(i)C'-\sum_{k=0}^{N} H(k;N)CP(i-k)C' \tag{4.3}$$

$$H_s(i-N;N)=P(i-N)C'-\sum_{k=0}^{N} H_s(k-N;N)CP(i-k)C' \tag{4.4}$$

식(4.3)으로부터

$$H(i+1;N)=P(i+1)C'-\sum_{k=0}^{N} H(k;N)CP(i+1-k)C'$$
$$=[I-H(0;N)C]AP(i)C'-\sum_{k=0}^{N-1} H(k+1;N)CP(i-k)C'$$
$$=[I-H(0;N)C]AH(i;N-1),\ 0\le i\le N-1, \tag{4.5}$$

이므로, 식(4.2)와 (4.5)를 결합시키면 다음의 관계를 얻게 된다.

$$\hat{x}(i+1|N)=[I-H(0;N)C]A\hat{x}(i|N-1)+H(0;N)z(i+1) \tag{4.6}$$

한편, 식(2.6), (4.3), (4.4)로부터

$$\hat{x}(i|N)= \sum_{k=0}^{N-1} H(k;N)z(i-k)+H(N;N)z(i-N), \tag{4.7}$$

$$H(i;N)-H(i;N-1) = -H(N;N)CA^{-1}[I-BQB'P^{-1}(0)] \cdot P(i-N-1)-\sum_{k=0}^{N-1}[H(k;N)-H(k;N-1)]CP(i-k)C'$$
$$= -H(N;N)CA^{-1}[I-BQB'P^{-1}(0)]H_s(i+1-N;N-1) \tag{4.8}$$

이고, 식(4.7)과 (4.8)을 결합시키면 다음의 관계를 얻게된다.

$$\hat{x}(i|N-1)=\hat{x}(i|N)+H(N;N)CA^{-1}[I-BQB'P^{-1}(0)] \cdot \hat{x}_s(i+1-N|N-1)-H(N;N)z(i-N) \tag{4.9}$$

FIR평활기에 대해서도, 이상과 유사한 방법으로, 식(2.11), (3.7), (4.3), (4.4)로부터 다음의 관계가 유도된다.

$$\hat{x}_s(i+1-N|N)=\hat{x}_s(i+1-N|N-1)-H_s(-N;N)CA\hat{x}(i|N-1) + H_s(-N;N)z(i+1) \tag{4.10}$$

$$\hat{x}_s(i+1-N|N-1)=[I-BQB'P^{-1}(0)]^{-1}A[I-H_s(0;N)C]^{-1} \cdot [\hat{x}_s(i-N|N)-H_s(0;N)z(i-N)], \tag{4.11}$$

식(4.6), (4.10)에 식(4.9), (4.11)을 대입시켜 정리하면 식(4.1)이 유도되어 증명은 완료된다. A의 정칙성과 $\{A,BQ^{\frac{1}{2}}\}$의 완전가제어성은 M_2와 $P(0)$와 $[I-BQB'P^{-1}(0)]$ 의 정칙성에 대한 전제조건이다.

식(4.1)에서 볼수있듯이, FIR필터와 평활기는 서로를 수반변수로 하여 순환형으로 구성되는데, 초기치는 다음과 같다.

$$\hat{x}(N|N) = \sum_{k=0}^{N} H(k;N)z(N-k) \tag{4.12a}$$

$$\hat{x}_s(0|N) = \sum_{k=0}^{N} H_s(k-N;N)z(N-k) \tag{4.12b}$$

식(4.1)과 초기치(4.12)에서 $H(\cdot;N)$과 $H_s(\cdot;N)$은 따름정리 2.1과 3.1에 의해 구한다.

그러면, 완전가관측 시스템에 대한 FIR필터와 평활기의 순환형 알고리즘을 살펴보기로 한다.

따름정리 4.1 : 대상시스템 (2.1)에서 시스템 행렬 A가 정칙이고 {A, C}가 완전가관측이면, $P(i-N-1,i-N-1)=\infty I$ 로 가정할 때, FIR필터와 평활기는 다음과 같은 시불변 순환형으로 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\hat{x}(i+1|N)\\ \hat{x}_s(i+1-N|N)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}M_1 & M_1H(N;N)CM_2\\ -H_s(-N;N)CA & M_4\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\hat{x}(i|N)\\ \hat{x}_s(i-N|N)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}H(0;N), & -M_1H(N;N)[I+CM_2H_s(0;N)]\\ H_s(-N;N) & -M_4H_s(0;N)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}z(i+1)\\ z(i-N)\end{bmatrix} \tag{4.13}$$

여기에서 $M_1=[I-H(0;N)C]A$, $M_2=[I-H_s(0;N)C]^{-1}$, $M_4=[A-H_s(-N;N)CAH(N;N)C]M_2$ 이며, $H(\cdot;N)$과 $H_s(\cdot;N)$ 은 따름정리 2.2와 3.2로부터 구한다.

이 결과는 따름정리 2.2와 3.2의 결과를 이용하여 정리 4.1의 증명과 유사한 방법으로 유도해낼 수 있다.

식(4.1)이나 (4.13)의 순환형알고리즘은 정상과정이나 완전가관측 시스템에 적용되는 것이만, 일반적인 선형시불변 상태공간모델에 대한 순환형알고리즘도 이와 유사한 방법으로 유도해낼 수 있다.

본논문에서 제시하고있는 순환형알고리즘은 Bruckstein 과 Kailath[5]의 순환형 유한기억 필터와 형태가 유사하다. 그런데 전자는 상태 $x(\cdot)$의 상호분산 $P(i-N-1,i-N-1)$가 유한한 경우에도 적용이 되지만, 후자는 그렇지 못하며, 따라서 전자의 적용대상 범위가 더 넓다.

이상으로 FIR필터의 순환형알고리즘을 유도하였는데, 이것들이 비순환형 알고리즘에 비해 계산상의 장점은 지니고 있으나, 모델링오차나 계수변동이 있을 시에 FIR필터로서의 특성을 상실할 우려가 있음에 유의해야한다.이다.

V. 결 론

본논문에서는 이산형 시불변 상태공간모델에 대한 FIR필터와 평활기 알고리즘을유도하였다.이 필터는 FIR필터의 일반적인 장점으로서, BIBO 안정도및 계수변동에 대한 견실성을 지니며, 또한 유한기억필터로서 발산특성이 개선됨을 알 수 있다. 또한 실현상의 편의를 위해 이 필터의 순환형알고리즘도 유도하였다.

이산형 시불변 상태공간모델에 대한 FIR필터와 평활기의 일반적인 알고리즘은 정리 2.1과 3.1로주어지며, 정상과정이나 완전가관측 시스템의 경우에는 따름정리 2.1, 2.1, 3.1, 3.2로써 주어지며, 시불변으로서 그형태가 매우 간단해짐을 보였다. 순환형 알고리즘은 정리 4.1과 따름정리 4.1로 유도됨을 보였다.

본논문에서는 대상시스템을 시불변시스템에 국한시켰으나, 이산형 시변시스템에 대해서도 용이하게 확장 적용시킬 수 있다. 이 필터와 기존의 유한기억필터와의 성능분석 비교 및 실제의 추정문제에의 적용 시험등이 남은 과제이다.

본논문의 일부는 한국과학재단의 연구지원에 의해 이루어진 것이다.

참 고 문 헌

[1] A.H. Jazwinski, " Limited memory optimal filtering," IEEE Trans. Automat. Contr., vol.AC-13, pp.558-563, Oct. 1968.

[2] F.C. Schweppe, Uncertain Dynamic System, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ,1973

[3] P.J. Buxbaum,"Fixed-memory recursive filters," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.IT-20, pp.113-115, Jan. 1974.

[4] G.J. Bierman,"Fixed memory least squares filtering," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.IT-21, pp.690-692, Nov. 1975.

[5] A.M. Bruckstein and T. Kailath," Recursive limited memory filtering and scattering theory," IEEE Trans. Inform.Th., vol.IT-31, pp.440-443, May. 1985.

[6] W.H. Kwon and O.K. Kwon,"Wiener FIR filters for continuous-time state-space models," Proc. 1985 ACC, vol.1, pp.189-194, June 1985.

[7] 권 오규,"유한구간 추정법 개관," 대한전기학회지, 34(12), 736-740, 1985.

[8] W.H. Kwon and A.E. Pearson,"A modified quadratic cost problem and feedback stabilization of a linear system," IEEE Trans. Automat. Contr., vol.AC-22, pp. 838-842, Oct. 1977.

[9] ———— ,"A modified quadratic cost problem and feedback stabilization of a discrete-time system," Brown Univ.,Div. Engr. Tec. Rep. AFOSR-75-2793 C/1, Sep. 1977.