

칼만 필터를 이용한 초음파 신호의 해상력 향상
우 팔방, 남 상필, 신 등호, 진 영민, 이 성모
연세대학교 대학원 전기공학과

Resolution Improvement of Ultrasound Signal Using Kalman Filter

Kwang B. Woo, Sang E. Nam, Dong H. Shin, Young M. Chin, Sung M. Lee
Dept. of Electrical Eng., Yonsei University

Abstract.

This study deals with a kind of signal processing, Kalman filtering techniques, which are applied to ultrasound signal to improve resolution capability. The main advantage of Kalman filter algorithm for the analysis of reflected ultrasound signal is its recursive structure which can be easily adapted to time-varying system.

In state-space description of the system, the 6th order system produces the best spectral approximation to the source pulse.

As a result of spectrum analysis, 6th order estimator for two closely spaced (0.5mm) reflectors enhance resolution by 4dB -10dB. By using this result, the possibility to detect even minute tumor is found.

I. 서 론

간과 같은 연성 조직에서 반사되는 초음파 신호는 일반적인 화면 구성에 사용되는 것 보다는 더 많은 병리학적인 정보를 포함하고 있다. 이와 같은 반사 신호에 대한 정교한 신호 처리, 즉 Kalman 필터링 기법을 이용하여 해상력을 향상시키는 것이 본 연구의 목적이다.

Kalman 필터링 알고리즘은 기존의 워너 필터 알고리즘과는 달리 시변 체계에 쉽게 적용할 수 있는 순환 구조의 장점을 가지고 있다. Kalman 필터링 기법을 적용하기 위해서는 신호 발생 모델과 이에 해당하는 상태 공간 표현이 구체적으로 검토되어야 한다.

II. 신호 발생 모델

- 1) 간과 같은 연성 조직은 저주파역 통과 필터의 특성을 갖기 때문에 전파를 시간에 따라 계속 변화시킨다. Kalman 필터의 순환 형식은 이와 같은 시변 체계를 모델화하는 데 적절하기 때문에 전파를 (Propagating Pulse) 시스템으로 명하는 편이 편리하다.
- 2) 반사 계수는 일어나는 시간과 크기가 랜덤한 임펄스로 나타나므로 Kalman 필터를 적용하기 위한 상태 공간 형태의 모델로는 어려운 점이 있다.

$$z(k) = \hat{y}(k) + v(k) \quad (1)$$

$$\hat{y}(k) = \sum_{j=1}^k w(j) \cdot p(k-j) \quad (2)$$

여기서, $z(k)$: 측정치, $v(k)$: 잡음,
 $p(k)$: 기본파 (Source Pulse)
 $w(k)$: 반사 계수, $\hat{y}(k)$: 반사파.

전단 초음파에서는 음향 에너지와 조직과의 관계는 선형적이라 생각할 수 있기 때문에 선형 체계를 이론을 이용하여 임력과 시스템을 바꾼 상태에서도 같은 출력을 얻을 수 있다. 다음의 식을 사용한다.

$$\hat{y}(k) = \sum_{j=1}^k p(j) \cdot w(k-j) \quad (3)$$

반사 계수 추정기의 블록 선도는 그림 1. 과 같다.

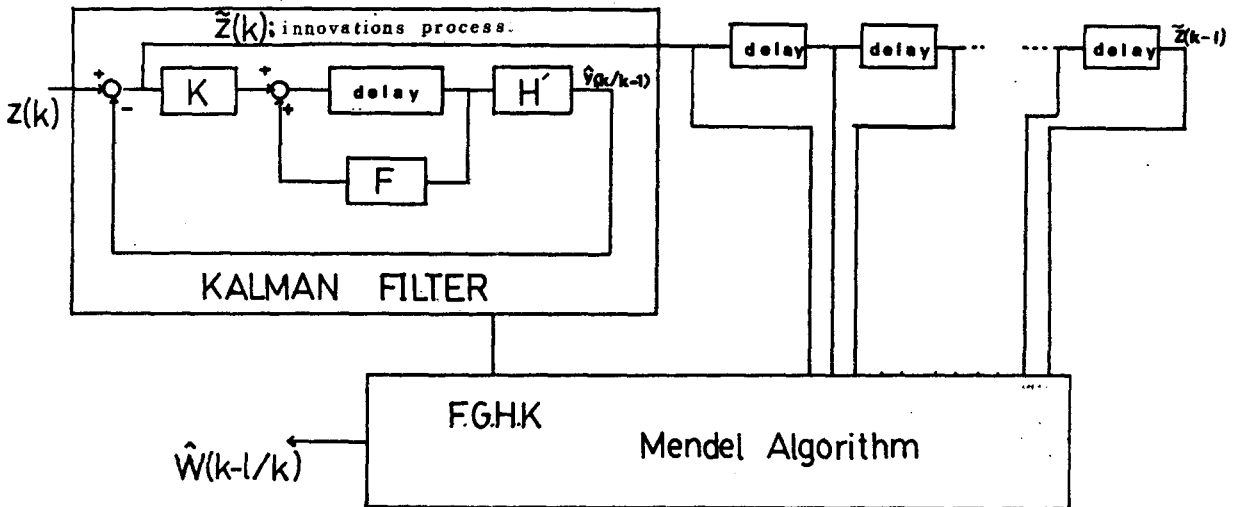


그림 1. 반사 계수 추정기의 블록 선도

III. 시스템에 대한 상태 방정식 구성

Kalman 필터를 적용키 위해 시스템의 상태 공간 표현이 필요하며, 다음 식으로 가정한다.

$$x(k+1) = Fx(k) + Gw(k) \quad (4)$$

$$z(k) = y(k) + v(k) = H'x(k) + v(k) \quad (5)$$

여기서, F 는 시스템의 동태 (Dynamics)를 나타내는 상태 변이 행렬이며, G 는 입력 배분 벡터이고, H' 는 상태 변수를 스케일하는 출력 벡터이다.

그림 2.는 시스템에 대한 상태 공간 모델의 블록 선도를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 2차, 4차, 6차 시스템 모델에 대한 임펄스 응답의 해석 방정식중 6차 시스템으로 충분함을 알 수 있었고, 그 식은 다음과 같다.

$$P_6(kT) = \{ A_2(kT)^2 + A_1(kT) + A_0 \} e^{-\alpha kT} \sin \omega kT \quad (6)$$

시스템 모델의 유도후 반사 계수 $w(k)$ 와 감쇠 $v(k)$ 에 대한 다음의 가정이 필요하게 된다.

$$\begin{aligned} E\{w(i) \cdot w(j)\} &= Q\delta_{ij} \\ E\{v(i) \cdot v(j)\} &= R\delta_{ij} \\ E\{w(i) \cdot v(j)\} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

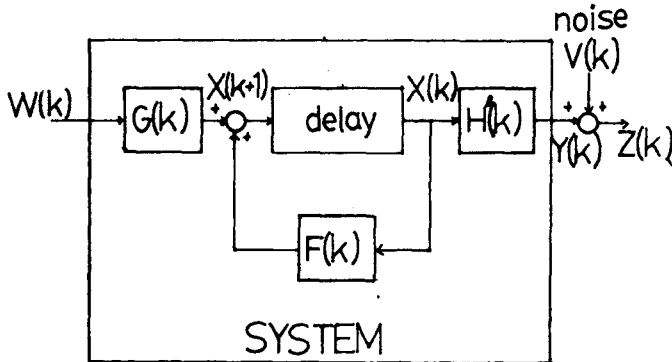


그림 2. 상태 공간 모델의 블록 선도

IV. 실험 및 결과 고찰

본 연구에 사용된 초음파 기기는 연세 의료원 압센터에 있는 Toshiba Model SAC-10A=2 (Compound type) 을 사용하였다. 자료의 추출을 위해 2.25 MHz 의 Transducer 를 사용했고, 20 MHz 로 Sampling 했다.

첫 번째 실험은 단일 반사물에서 얻은 반사파를 2 차, 4 차, 6 차 시스템 모델의 반사 계수 추정기에 대한 입력으로 하여 이에 대한 출력을 스펙트럼 분석 하였는데, 6 차에서는 중심 주파수 부근에서 거의 일정한 상수값을 갖아 이상적인 단일 반사물의 반사 계수 스펙트럼이 모든 주파수 범위에서 상수값을 갖음을 알 수 있다. (그림 3.)

두 번째 실험은 6 차 반사 계수 추정기의 해상력 정도를 살펴기 위해 간격이 좁은 (0.5 mm) 이중 반사물에 투사하여 측정된 반사파를 6 차 추정기에 입력으로 하여 출력을 스펙트럼 분석 하였는데, 1.5 MHz 정도 사이를 두고 2 개의 봉우리 모양이 생긴다.

0.5 mm 간격을 갖는 이중 반사물의 실제 반사 계수는 약 13 개의 샘플치들 (0.65 μ s 에 해당) 사이에 두고 2 개의 피크 값을 갖는다. 본 연구에서는 6 차의 추정기를 거친 출력이 입력보다 3.9 MHz 부근에서 해상력이 4 dB 정도 향상되었음을 알 수 있다. (그림 4.)

V. 결 론

- 1) 0.5 mm 간격을 갖는 이중 반사물에서 얻은 반사파의 경우 이 기법을 적용한 결과 해상력이 4 dB 정도 향상 되었다.
- 2) 단일 반사물에서 얻은 반사파를 분석한 결과 S/N 비가 6.4 원 래 시스템의 차수는 6 차가 적당하였다.
- 3) 간과 같은 연성 조건의 저주파역 통과 필터 특성을 갖는 신호 발생 모델을 구상하는 데에 Kalman 필터의 장점인 순환 형식을 적용할 수 있었다.
- 4) 고속 알고리즘을 사용함으로써 증례의 알고리즘 보다 계산 시간이 단축되었다.

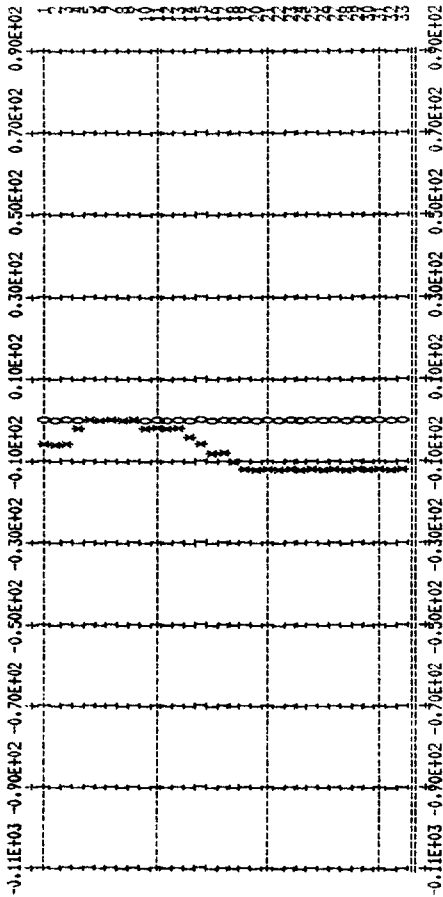


그림 3. 6차 추정기의 출력 스펙트럼.

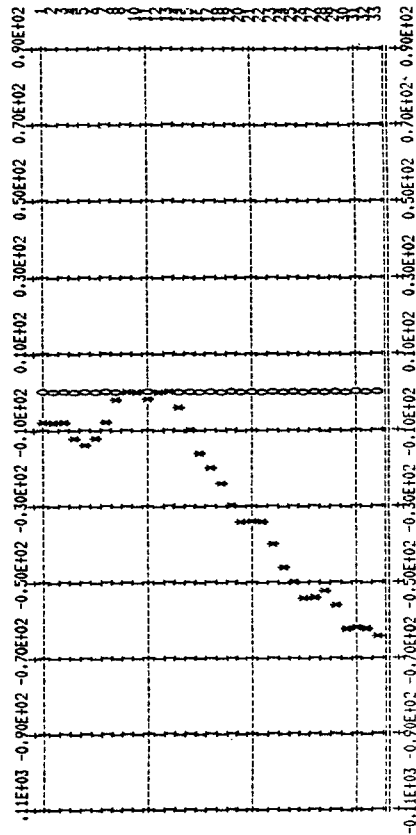


그림 4. 이송 반사율에 대한 추정기를 가진 출력의 스펙트럼.

Reference.

1. Mendel, J.M., White-noise estimators for seismic data processing in oil exploration, IEEE Trans. Auto. Control AC-22, 694-706 (1977).
2. Eckart E.H and Elmer, A., Digital processing of ultrasonic data by Deconvolution, IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. Su27, No.5, pp.249-252 (1980).