

A-mode의 분해능향상을 위한 디지털 신호처리

최 종 호* · 최 종 수*

=Abstract=

Digital Signal Processing for Improvement of Resolution in A-mode

Jong-Ho Choi*, Jong-Soo Choi*

In this paper, we describe the digital signal processing for ultrasonic echo signals for the improvement of range resolution. The problem is to find the magnitude of analytic signals that are consistent with the arrival-rate of energy. It is also based upon the fact that the shapes of echo signals do not change, although the amplitudes and widths of the echo signals become smaller and wider than those of the transmitted signals.

We have made the improvement in range resolution by using the quadrature-low pass filter and the area filter which are made on the basis of the theory discussed above.

1. 서 론

펄스에코 영상의 분야에서 경계면을 보다 더 정밀하게 표현하고 보다 많은 셀(cell)들을 표현할 수 있도록 해상도를 높이는 일 및 조직의 정량화로 향한 반사계수의 추정법은 매우 중요한 관심사이다. 그러나 이러한 연구분야는 펄스 길이, 빔폭, 에코강도의 변화 다중반사 등의 요인에 의한 신호의 중첩현상으로 많은 제약을 받고있다. 따라서 이러한 난점을 개선하기 위한 방법으로서 D.F.T 및 F.D.F.T(Fast Discrete Fourier Transform) 알고리즘에 근본을 둔 스펙트럼 해석 방법이 제안되어 있으나, 반복에 따른 막대한 계산량 때문에 수렴속도가 늦음으로 인해 문제가 있으므로 실시간 영상법에 관계되는 디지털 신호처리 기법에 대한 연구가 상당한 비중을 차지하고 있으며 최근의 연구동향이 되고 있다.

본 논문에서는 해석신호(analytic signal)의 크기는

<1985. 5. 30. 접수>

* 중앙대학교 공과대학 전자공학과
Dept. of Electronic Eng., Chung-Ang University

에너지의 도달율에 관계된다는 이론과 맥락을 전파한 에코신호는 입사파에 비해 진폭이 작아지고 펄스폭은 넓어지나 입사파의 모양은 그대로 유지된다는 이론으로부터 구성된 케적(quadrature)-저역통과필터와 영역(area) 필터를 적용하여, 반사면에 관한 정보를 극소점(dip point)으로 나타낸다. 극소점은 모델신호와 에코신호와의 차분을 일정한 폭만큼 이동시키면서 적분한 필터 응답특성에 의해서 결정된다. 매질특성의 변화에 따르는 모델신호의 모양은 창(window)폭과 크기를 변화시킴에 의해서 결정되며 실험적인 관찰의 측면이 강하다. 제안된 경계면의 추정법은 trade-off현상 및 실시간 영상법, 화질의 측면에서 양호한 결과를 얻을 수 있음을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 확인하였다.

2. 분해능 향상법

에코신호($y(t)$)는 입사신호($x(t)$)와 전파 방향에서의 반사계수에 대응되는 함수($h(t)$)와의 합성(convolution)으로 쓸 수 있다¹⁾.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t-\tau)h(\tau)d\tau \quad (1)$$

다음의 가정 하에서 임펄스응답 $h(t)$ 는 식(2)로써 표

현된다.

1. 각각의 매질층은 음향학적 특성의 측면에서 균일하다.
2. 생체조직 사이의 임피던스 차는 크지 않으므로 3차 이상의 다중반사는 무시한다.
3. 음속의 분산(dispersion)은 무시한다.

$$h(t) = \sum_{i=1}^N a_i \delta(t - \tau_i) \quad (2)$$

수신된 에코신호는 식(2)를 적용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y(t) = \sum_{i=1}^N a_i x(t - \tau_i) + n(t) \quad (3)$$

단, a_i 는 진폭을, τ_i 는 반사에 대응되는 지연요소이며 $n(t)$ 는 잡음성분이다.

주방향 분해능 향상을 위한 기법으로 에코신호로부터 진단에 유효한 반사면의 정보를 추출하기 위하여 다음의 필터응답 특성을 이용한다.²⁾

$$F(\tau) = \int_{I_x} |x(t - \tau) - y(t)| dt \quad (4)$$

단, I_x 는 입사신호의 구간을 나타낸다. 식(4)로 주어진 필터응답 특성은 에코신호의 구간에 걸쳐서 입사신호를 폭 τ 만큼 이동시키면서 입사신호와 에코신호와의 차분을 구간 I_x 에 걸쳐서 적분함으로써 결정된다. 조음파 에너지가 일부조직을 전파할 때 전파경이에 따르는 감쇠 및 주파수 의존감쇠의 영향으로 펄스의 진폭은 감쇠하고 펄스폭은 넓어지나 입사파의 모양을 그대로 유지한다. 이러한 이론으로부터 필터응답은 입사신호의 첨두치(peak)가 에코신호의 첨두치와 일치

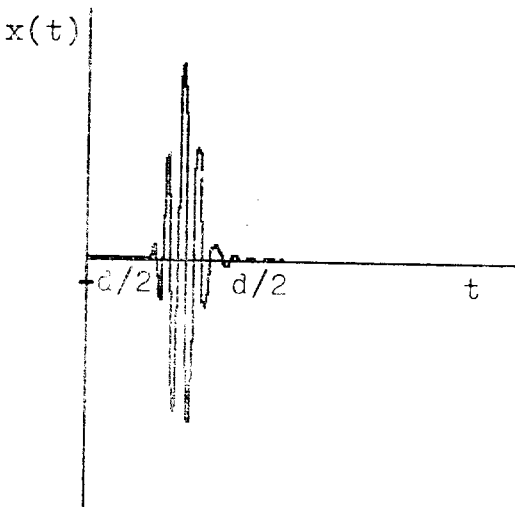


Fig. 1. Transmitted signal

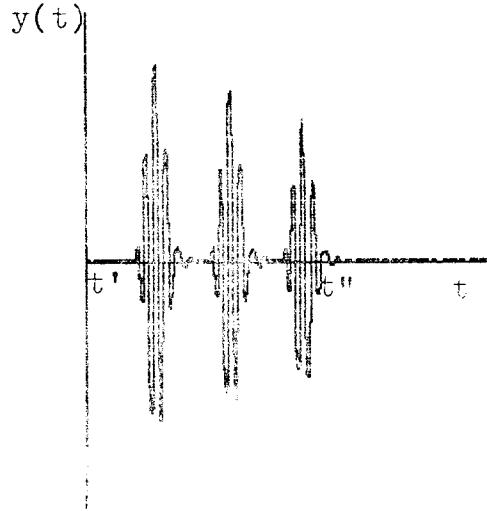


Fig. 2. Echo signal

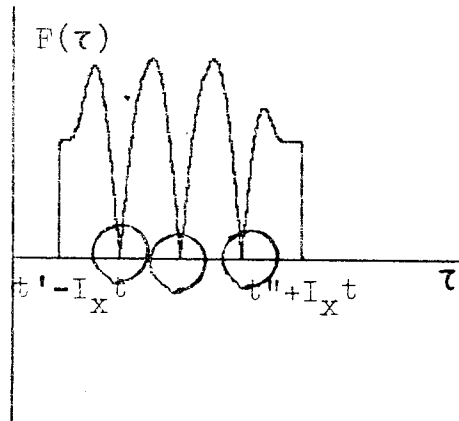


Fig. 3. Filter responses

하는 부분에서 반사면의 정보를 나타내는 극소점을 갖게 된다. 필터응답에 의해 구해진 극소점은 지연요소 τ_i 에 대응되는 요소이며 합성이론으로부터 나타나는 입사파의 위치를 나타낸다.

그림 3은 이상적인 필터응답을 나타내는 것으로 반사면의 위치를 나타내는 극소점이 지연요소 τ_i 즉 에코신호의 첨두치에 정확하게 대응된다.

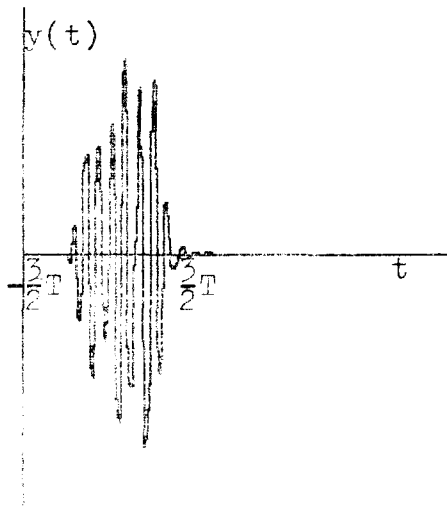


Fig. 4 Echo signal for $d > T$

그러나 초음파가 생체조직을 전파할 경우 에코신호는 매질의 두께가 입사파의 구간보다 작을 경우 지연 시간이 짧음으로 인해 간섭현상에 의한 중첩현상이 발생한다. 이러한 두께의 영향에 대하여 임피던스 차에 의한 반사계수 및 감쇠의 영향등이 고려되어야 한다. 만약 입사파의 구간이 각각의 반사면사이의 거리와 비교하여 작을 경우에는 진폭 및 반사면의 위치에 대응되는 지연요소를 구한다는 것은 아주 쉬운 일이다. 그러나 그림 4와 같이 입사파의 구간이 경계면 사이의 거리보다 클 경우에는 다음에 기술될 과정에 의한 디지털 신호처리가 요구된다.

그림 4와 같이 중첩된 에코신호로부터 반사면에 관한 정보를 추출하기 위한 첫번째 과정은 제적-저역통과 필터의 적용이다. 제적필터는 해석신호의 크기는 에너지의 도달율에 직접 비례한다⁶⁾는 이론으로부터 극소점 측정의 전처리 과정의 한 단계로서 이용된다.

저역필터의 적용은 Hilbert 변환에 의한 in-phase component, quadrature-phase component에 잡음제거 및 다중전파영향의 감소를 목적으로 적용된다. 다음의 과정은 미분과정으로 에코신호에 대해서는 첨예도와 해상도의 증가를 목적으로 사용되며 입사신호에 대해서는 모델신호의 결정을 위해서 사용된다. 마지막 과정으로 극소점의 측정을 목적으로 영역필터의 적용 및 비선형 데이터처리 방식인 point by point square를 행한다.³⁾

1. 제적-저역필터

해석신호의 크기와 에너지도달율과의 관계로부터 해석신호의 크기를 이용함은 에코신호에 대한 분해능 향상 전처리과정으로써 사용될 수 있다. 실시간 영상법에 관련지어 제적필터의 저역통과필터를 동시에 적용하여 잡음제거 및 다중전파영향의 감소, 반사면에 관한 정보를 증가시킬 수 있다.

에코신호를 $y_R(t)$ 로 하고 해석신호를 $z(t)$ 라 하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$z(t) = y_R(t) + jy_I(t) \quad (5)$$

식 (5)로부터 $y_R(t)$ 와 $y_I(t)$ 는 Hilbert 변환의 관계를 갖는다.⁴⁾

$$y_I(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} y_R(t') \frac{dt'}{t-t'}$$

$$y_I(t) = \frac{1}{\pi t} * y_R(t)$$

$$Y_I(\omega) = -j \operatorname{sgn}(\omega) \cdot Y_R(\omega) \quad (6)$$

식 (6)의 관계와 Hamming window를 사용하여 그림 5와 같이 제적-저역 통과 필터를 적용한다.

2. 미분 및 Point by Point Square

해상도 및 첨예도의 증가를 목적으로 미분연산자를 이용하여 미분을 수행한다.

$$H(p) = H(a, \tau) = H(a_1, \dots, a_N, \tau_1, \dots, \tau_N)$$

$$\frac{\partial H(p)}{\partial p_i} = [H((p_i + \Delta p_i) - H(p_i - \Delta p_i)] / 2\Delta p_i \quad (7)$$

미분과정 후의 에코신호에 비선형 데이터처리방식인 point by point square를 적용한다.

$$F'(\tau) = [|F(\tau)|]^2 \quad (8)$$

3. 모델신호의 구성

이상적인 조건하에서 그림 3과 같이 입사신호를 모델신호로 하여 영역필터를 적용하였으나 매질의 두께

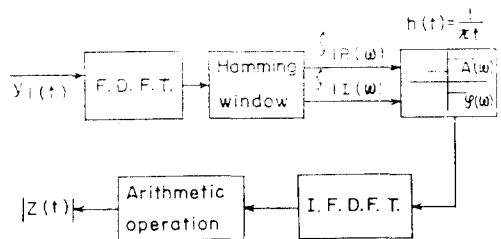


Fig. 5. Block diagram of quadrature-low pass filter

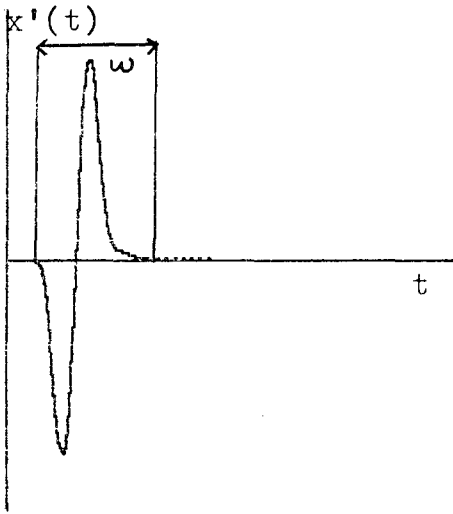


Fig. 6. Determination of model signal w : width of model signal

및 임피던스차에 의한 반사계수를 고려할 경우 필터 응답특성 식 (4)는 다음과 같이 변형되어야 한다.

$$F(\tau) = \int_{I_m} m(t-\tau) - y(t) dt \quad (9)$$

여기서 $m(t)$ 는 모델신호로써 창 의 폭과 크기에 따라서 극소점의 정확도를 좌우한다. 모델신호는 입사파를 근거로 창 의 폭과 크기를 결정할 수 있으나 중첩된 신호일수록 점예도가 큰 신호가 요구됨으로 그림 6과 같이 입사파의 미분파형을 근거로 실험과 관찰의 방법에 의해서 결정됨이 바람직하다.

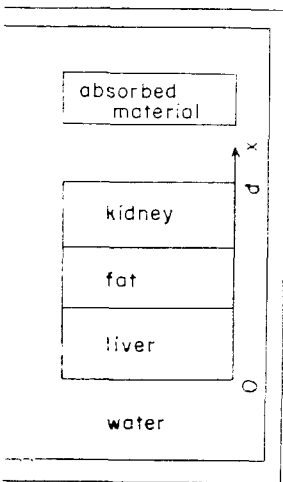


Fig. 7. Tissue model

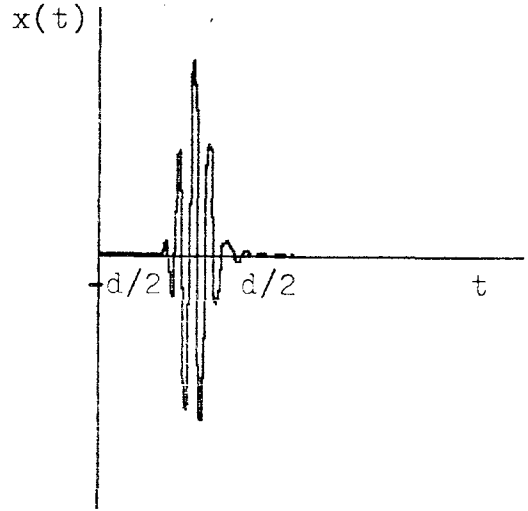


Fig. 8. Transmitted signal

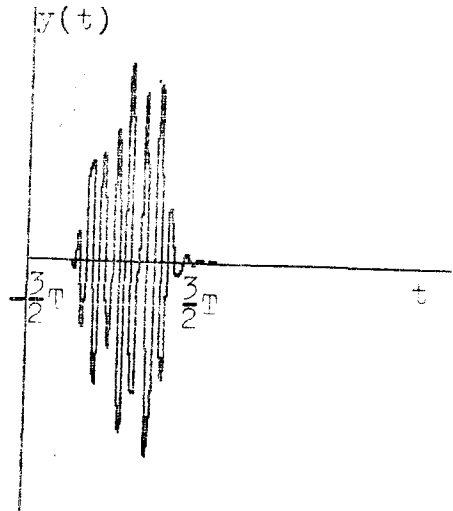


Fig. 9. Echo signal

3. 컴퓨터 모의실험

제안된 분해능향상법의 유용성을 검토하기 위하여 컴퓨터 모의실험에 사용된 생체모델은 다음과 같다.

합성이론으로부터 합성된 에코신호는 그림 9와 같이 나타난다.

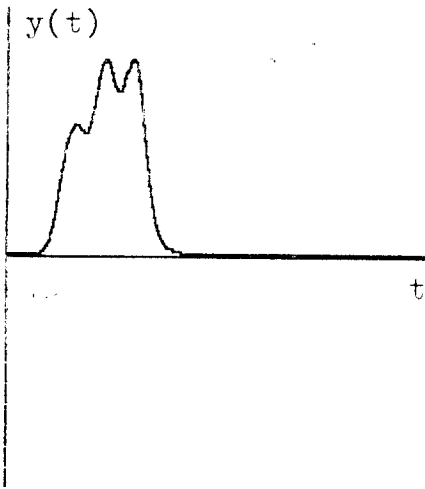


Fig. 10. Conventional A-mode by smoothing

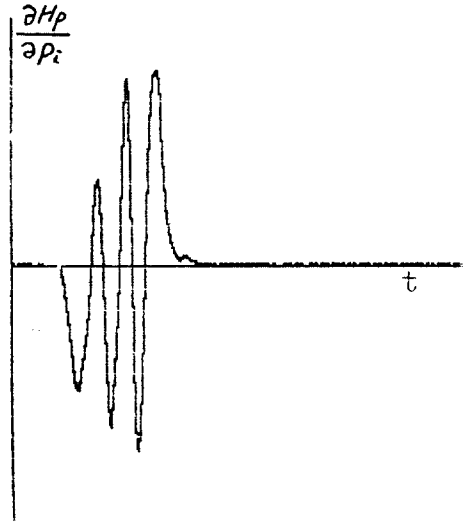


Fig. 12. Differentiated signal

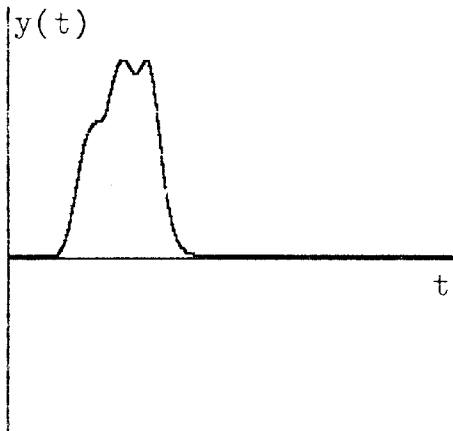


Fig. 11. A-mode after quadrature low pass filtering

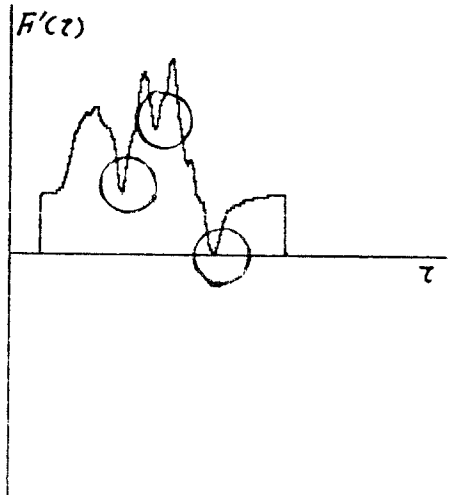


Fig. 13. Result after area filtering and square-

그림 9와 같이 중첩된 신호에 대하여 제안된 방법의 과정 및 결과는 다음의 일련의 그림에 의해서 볼 수 있다.

본 방법이 분해능 향상을 위한 신호처리 기법으로써 타당한 것인가의 여부를 확인하기 위하여, 가정된 생체모델을 근거로 컴퓨터 모의실험을 행하여 종래의 방법과 비교하여 보았다. 그림 11과 13은 본 방법에 의해서 향상된 결과를 보인다. 그림 13에서 극소점에 해당되는 원에 주목한다면 종래의 방법과 비교해서

상당한 분해능향상을 가져왔음을 알 수 있다.

4. 결 론

에코신호로부터 측방향 분해능향상법에 관한 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 그 결과 종래의 방법보다 상당히 향상되었음을 알 수 있었다. 그러나 본 방법은 모델신호의 결정방법에 관한 한 실험 및 관찰의 측면에서 행하였으므로 임상응용의 측면에서 불리하다고 생

각함으로 보다 더 검토를 가하고 싶다.

본 방법에 관련된 앞으로의 연구방향은 기지의 지연 요소를 이용하여 보다 더 간결한 방법에 의해서 반사 계수를 결정하는 법에 기울어져야 할 것이다.

감사의 말

본 논문의 구성에 많은 조언을 해주신 정보처리연구실의 권준식, 허 준, 전용태 연구원에게 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 1) Papoulis, A., "A new algorithm in spectral analysis and band-limited extrapolation", *IEEE Trans. Circuits and Systems*. Vol. CAS-22, No. 9, September, 1975.
- 2) Rui J.P. Figuciredo, Andress Gerber, "Separation of superimposed signals by a cross correlation method", *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal processing*, Vol. ASSP, No. 5, October, 1984.
- 3) Jiapu Pan, Willis J. Tompkins, "A real-time QRS detection algorithm", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. BME-32, No. 3, March, 1985.
- 4) Papoulis, A., "Signal analysis", McGraw-Hill, New York, 1977.
- 5) C.N. Liu, Mostafa Fatemi, R.C. Waag, "Digital processing for improvement of ultrasonic abdominal images", *IEEE Transactions on medical imaging*, Vol. MI-2, No. 2, June 1983.
- 6) 최중수, "감쇠보상 및 해석신호 크기를 이용한 A-모드의 분해능향상", 전자공학회지, 제21권 제 6호, 1984.