초음파 영상장치에서 해상도 향상에 관한 연구

°이 후 정*, 김 영 길*, 이 행 세*

* 아주 대학교 전자공학과

A Study on the improvement a Resolution of the Ultrasound Imaging System

Hoo-Jeong Lee*, Young-Kil Kim*, Haing-Sei Lee*

* Dept. of Electronic Eng. Ajou University

ABSTRACT

In this paper, a new focusing method, to be called the sampled delay focusing (SDF), is proposed. This method improves the lateral resolution in ultrasound imaging system. In SDF, the analog delay lines are no longer necessary because sampling sum process can replace the conventional delay sum process. Also, this method offers continuous dynamic focusing on the resolution pixel basis if the maximum delay time is less than the sampling interval. Second order sampling is adopted in order to extend the sampling interval.

I. 서 론

초음파를 이용한 영상 시스템이 최근 많이 개발되고 있는데 그러한 시스템의 성능은 해상도(resolution)에 의해서 결정된다. 해상도는 축방향(axial) 해상도와 측방향(lateral) 해상도로 분리할수 있는데 축방향 해상도는 초음파 펄스의 대역폭(bandwidth)에 의하여 결정되고 측방향 해상도는 beamwidth 에 의해 영향을 받는다. 그러므로 축방향 해상도는 초음파 변환기의 주파수를 높이면 향상이 되고 측방향 해상도는 beam을 집속(focusing) 시킴으로써 보상할수 있다. 실시간(real time)으로 측방향 해상도의 향상을 위해서 각 element들의 round-trip time의 차를 보상하여 주는 dynamic focusing은 수신 집속시에 사용된다.

종래의 집속 방법으로는 그림1과 같이 analog delay line을 이용하는 방법이 있으나 이 방법은 부피가 크고 복잡하며 impedance mismatching과 삽입손실등의 단점이 있고 multiplexer의 switching속도의 제한때문에 pixel basis resolution대신 zone basis resolution만 가능하다는 제한이 있다.

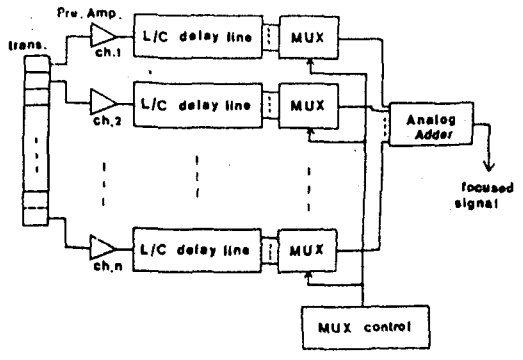

그림1 L/C 지연소자를 사용한 집속

해상도를 향상시켜주는 다른 방법으로는 digital memory를 사용하는 synthetic focusing method[1]가 있으나 digital회로가 커지고 각 array channel사이의 acquisition time의 차이 때문에 motion blur가 발생하는 단점이 있다. 본 논문에서는 측방향 해상도를 향상시키기 위하여 pixel basis focusing이 가능한 Sampled Delay Focusing(SDF)을 제시하고 H/W를 구성하여 SDF동작을 확인한다.

II. Sampled-Delay-Focusing Method

변환기에서 받아들여지는 반사된 신호는 각 element에 따라서 다음식과 같은 delay time을 갖는다.

$$td = (SQRT(x^2 + (nd)^2) - x)/v \quad \text{------- (1)}$$

여기서 x는 resolution cell의 위치이고 n은 element의 수, d는 element의 간격, v는 초음파의 속도이다. 집속을 하기위해 널리 사용되는 방법인 delay sum sampling 방법을 그림2에 나타내었다.

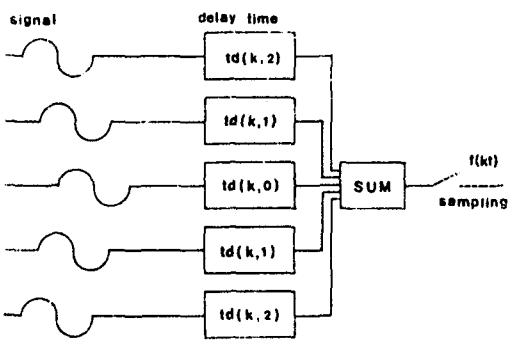

그림2 Delay-Sum-Sampling Method

집속된 신호를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$f(kt) = \sum_{n=-N/2}^{N/2} xn(T-td)\ \delta(kt) \quad \text{------- (2)}$$

T는 sampling주기이고, N는 element의 총수이다. (2)식에서 sampling주기T가 최대 지연 시간 보다 크다면 delay term과 sampling처리 term을 서로 교환해도 결과는 같으므로 다시 정리하면 (3)식과 그림3으로 나타낼수 있다.

$$f(kt)=\sum_{n=-N/2}^{N/2} xn(t)\ \delta(kT-td) \quad \text{-------- (3)}$$

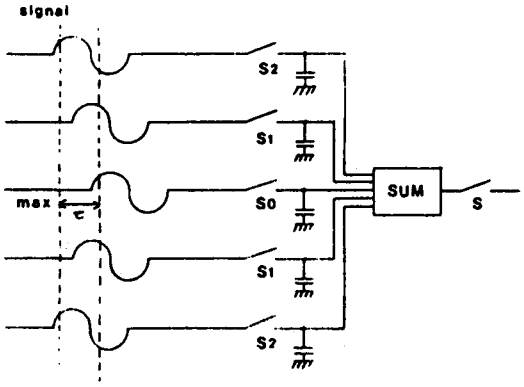

그림3 Sampled-Delay-Focusing Method

위의 SDF 방법은 sampling간격보다 더 긴 지연시간을 갖는 신호는 처리할수 없다는 단점이 있다. 즉, 변환기에 가까이 있는 부분의 반사신호를 처리하는데는 어려움이 있다. 이것은 bandwidth sampling technique을 이용하여 sampling rate를 B+2f에서 B로 줄임으로써 해결할수 있다.

integer band sampling, analytic sampling, quadrature sampling, second order sampling[2]등 여러 sampling방법 중에서 second order sampling방법을 사용하여 sampling rate를 B로 줄였다. 반사된 신호 f(t)를 second order sampling을 하면 그림4와 같이 두 부분의 sequence로 나눌수 있다. 두 sequence를 식으로 표시하면 (4)식과 같다.

$$f(t)=A(t)\cos(wt+\tau)$$
$$f1(kT)=f(t)III(t/T)=(-1)^{kL}Ai(kT) \quad \text{--------(4)}$$
$$f2(kT)=f(t)III((t-\tau)/T)=(-1)^{kL}Aq(kT)$$

여기서 III(.)은 주기 T를 갖는 sampling 함수이고 τ는 두 sequence의 delay time이다. τ는 1/4f, 1/T=2f/L>B에 의해 얻을수 있고 L은 대역폭과 주기의 관계에 의해 결정되는 정수이다. (4)식에서 τ는 90°이므로 두 sequencee는 carrier주파수가 서로 90°차이가 나고 Ai(t)와 Aq(t)는 각각 A(t)의 in-phase와 quadrature-phase 항이 된다. 그러므로 두 sequence를 제곱하고 더한후 square root를 취하면 반사파의 포락선을 얻을수 있다. 그림4에 second order sampling을 나타내었다.

$$A(kT) = SQRT[f1^2(kT) + f2^2(kT-\tau)] \quad \text{------- (5)}$$

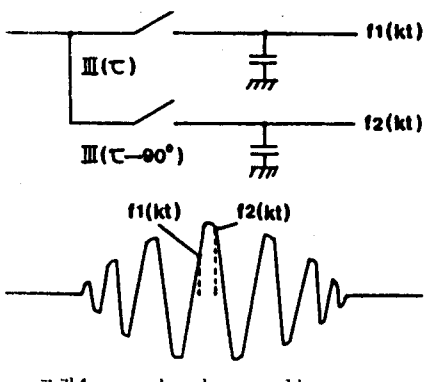

그림4 second-order sampling

III. 장치의 구성

System은 second order sampling을 위한 2group의 Sample/Hold array와 S/H를 구동시키기위한 clock generator및 envelope detection을 위한 부분으로 구성되어 있다. System전체를 digital회로로 구성하면 부피가 커지고 hardware가 복잡해지는 단점을 가지고 있으므로 A/D변환과 D/A변환이 한 chip에 내장되어 있는 high speed converter를 사용하여 S/H를 하고 second order sampling을 위하여 analog multiplier와 root회로로 구성하였다.

전체적인 system block diagram과 sampling time이 그림5및 그림6에 나타나있다. 그림5에서는 transducer array및 Variable Sampling Clock Generator(VSCG)대신에 signal및 clock generator와 analog delay line을 사용함으로써 실험상 필요한 input과 그에따른 clock을 대신하였다.

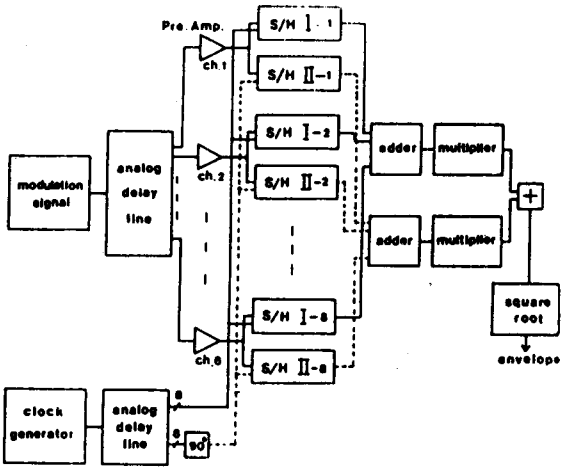

그림5 system block diagram

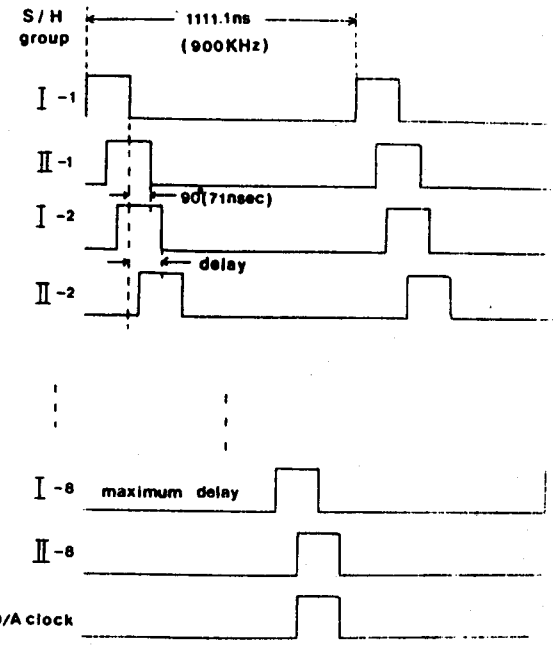

그림6 sampling time

실험에 사용한 S/H는 falling edge에서 동작하므로 그림6에서 falling부분에 대한 sampling time을 나타내었다. 여기서 sampling clock 900KHz에 대한 점과점의 간격이 0.87mm 이므로 거의 comtinuous한 focusing 으로 볼수있다.

Ⅳ. 실험 및 결과

실험에서 carrier는 3.5MHz, sampling frequence는 900KHz로 하였다. 그림7과 그림8은 100KHz envelope를 갖는 continuous한 반사파의 포락선 검파를 나타내고 있다. 그림7은 여러 trace를 잡은 신호이고 그림8은 검파된 신호중 1trace만을 나타낸 것이다.
그림9에 두점 집속에 대한 개략도가 있다. x는 변환기로부터 3cm거리이고 y는 100KHz에대한 0.783cm 후인 3.783cm후의 점이다.

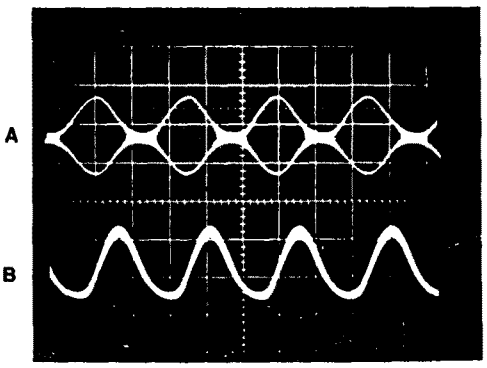

그림7 A: 변조신호 B: 복조신호

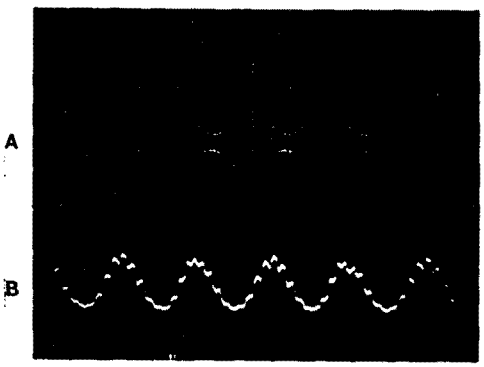

그림8 A: 변조신호 B: 복조신호중 1trace

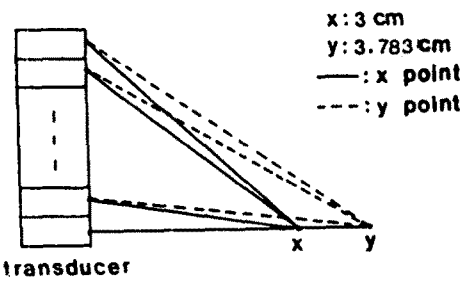

그림9 두점에서의 집속

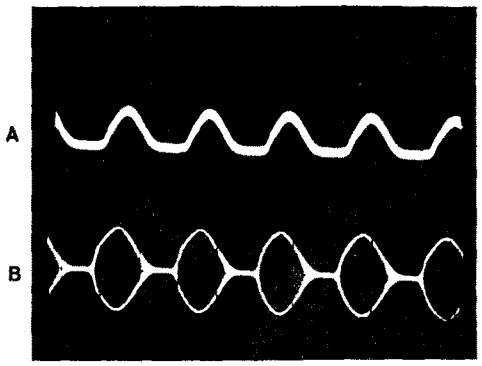

그림10 3cm에서의 정현pulse A: 복조신호, B: 변조신호

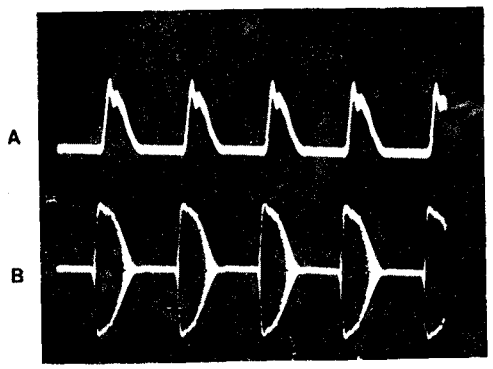

그림11 3cm에서의 변형된 pulse A: 복조신호 B: 변조신호

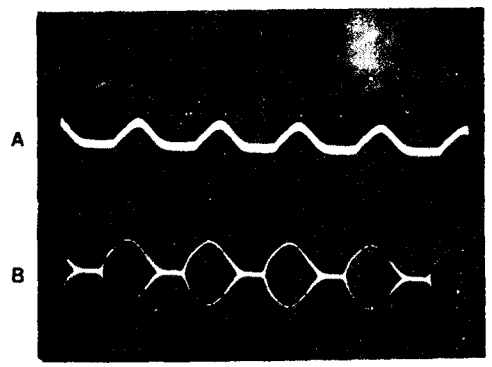

그림12 3.783cm에서의 정현pulse A: 복조신호 B: 변조신호

그림10과 그림12는 정현파를 100KHz로 변조시킨후 pulse로 하여 검출한 신호이고 그림11은 변형된 pulse파의 포락선을 검출한 신호이다. 그림10과 11은 변환기로 부터 3cm, 그림12는 0.783cm후인 3.783cm에서의 반사된 pulse를 나타낸 것이다. 또한 실제로 사용되는 초음파의 반사 pulse는 random한 형태의 모양인 것이므로 그림11과 같은 변형된 pulse의 envelope를 검출해 봄으로써 실제로 초음파 선형 스캐너에 적용할수 있음을 알수있다.

Ⅴ. 결론

SDF 원리에 의하여 초음파 영상장치에서 측방향 해상도가 향상될수 있다는 것을 이론및 실험적으로 보였다. 또한 0.783cm 간격의 point에서의 반사 pulse를 검출해 봄으로써 25cm의 측정길이를 갖는 선형 스캐너 에서는 32개 (25cm/0.783cm)의 focal point를 만들수 있다는 것을 실험적으로 보였으며 차후의 과제는 사용하는 analog device들의 동작 주파수를 높여서 900 KHz 즉, 0.87mm간격의 focal point를 만들어서 거의 continuous하게 focal point를 얻을수 있다는 것을 보이는 것이다.

참고문헌

[1] D.K.Peterson and G.S.Kino,"Real time image reconstruction."IEEE Tran.Sonics Ultrason., SU-31,No.4,pp.337-351(1984).

[2] R.E.Crochiere and L.R.Rabiner,"Multirate digital signal processing." Prentice-Hall (1983).

[3] R.G.Pridham and R.A.Mucci,"Digital interpolation beamforming for lowpass and bandpass signals." Proc.IEEE,vol.67,No.6, pp.904-919(1979)

[4] Min Hwa Lee,"A study on performance improvements in the ultrasound B-scan system." KAIST.Ph.D.Thesis(1986)

[5] M.H.LEE.S.B.PARK,"New continuous dynamic focusing technique in ultrasound imaging." Electronics letters. vol. 21, No.17,15th August(1985)

[6] 김 병 철, 김 영 길, 이 승 우, 이 민 화, "초음파 선형 스캐너의 측방향 해상도 향상에 관한 연구" 의용전자 및 생체공학 연구회 학술발표회 논문집, vol.10,No.3,pp.15-19(1986)