

소프트웨어 쿼드러춰 검출기를 이용한 영상개선

(Image Enhancement using Software Quadrature Detector)

高大植*, 金賢**, 田啓石**

(Daesik Ko, Hyun Kim, and Kyesuk Jun)

요 약

본 연구에서는 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파영상 시스템의 성능개선과 소프트웨어 쿼드러춰 검출기의 구현방법을 제시하였다. 쿼드러춰 검출기는 기존의 초음파 영상 시스템에 이용되고 있는 포락선 검출기에 비하여 민감하기 때문에 초음파현미경의 콘트라스트를 개선시킬 수 있다. 하드웨어 쿼드러춰 검출기는 데이터 획득을 고속으로 처리할 수 있으나 하드웨어가 복잡하기 때문에 본 논문에서는 최소한의 하드웨어로 소프트웨어 쿼드러춰 검출기를 구현하였다. 소프트웨어 쿼드러춰 검출기의 성능을 확인하기 위하여 초음파 신호처리 시스템을 구성하고 표면결합이 있는 알루미늄 시료로부터 반사된 신호를 A/D변환하였다. 실험결과, 쿼드러춰 검출기에 의한 영상이 콘트라스트가 포락선 검출기의 콘트라스트 보다 양호함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we proposed method of performance enhancement of the ultrasonic imaging system using quadrature detector and implementation of the software quadrature detector. Since the quadrature detector is more sensitive than the envelope detector of the conventional ultrasonic imaging system, we are able to achieve the contrast enhancement. Although hardware quadrature detector is able to process high speed data acquisition, its hardware has complexity. Then we implemented software quadrature detector can avoid the complexity of the hardware. In order to show the performance of the software quadrature we have constructed ultrasonic signal processing system and obtained the reflected signal from the aluminum specimen using A/D convertor. Our experimental results showed that image of the quadrature detector is better than that of the envelope detector.

I. 서 론

SAM(Scanning acoustic microscope), SLAM(Scanning Laser Acoustic Microscope) 그리고 STAM(Scanning Tomographic Acoustic Microscope)시스템과 같은 초음파 영상처리 시스템에 있어서 수신신호의 검출 및 데이터 획득장치는 매우 중요

한 요소이다^[1,2,3]. 초기의 SAM과 SLAM시스템에서는 포락선검파기와 같은 진폭정보검출기가 이용되었으나 STAM시스템에서는 토모그래픽 영상처리에 필요한 위상정보 검출을 위하여 쿼드러춰 검출기만을 사용하고 있다^[4,5].

쿼드러춰 검출기는 기본적으로 협대역 대역통과 신호의 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분을 분리하여 검출하는 장치로서 쿼드러춰 검출기를 하드웨어로 구성할 경우, 고속의 데이터 획득이 가능한 장점이 있지만 회로 자체가 복잡하고 더군다나 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분을 동시에 디지털 데이터로 획득하기 위해서는 2 채널 이상의 A/D변환기가 요구되어지며 무엇보다도 동작주파수의 변환범위가 매우 제한적이라는 단점이

* 正會員, 牧園大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Mokwon Univ.)

** 正會員, 慶熙大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyunghee Univ.)

接受日字: 1997年5月13日, 수정완료일: 1998年4月28日

있다^[6]. 만약 하드웨어의 복잡성을 피하기 위하여 1 채널 A/D변환기만을 이용한다면 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분을 시간과 공간적으로 서로 다르게 획득해야 하기 때문에 각종 에러의 발생과 처리시간의 지연을 피할 수 없다^[7].

그러므로 본 연구에서는 초음파영상처리 시스템의 포락선검출기를 쿼드러춰로 대체하는 방법 특히 하드웨어 쿼드러춰 검출기를 소프트웨어로 구현하는 방법을 제안하였다. 이를 위하여 쿼드러춰 검출기의 구조와 동작원리를 고찰하였고 데이터 획득시의 에러요인을 분석하였으며 소프트웨어 쿼드러춰 검출기를 설계하였다. 구현된 쿼드러춰 검출기의 성능실험을 위하여 10MHz에서 동작하는 초음파 신호처리 시스템을 구성하였고 결함이 있는 알루미늄 시료의 표면으로부터의 반사되는 초음파신호를 A/D변환한 후, 포락선검출기와 제안된 쿼드러춰 검출기에 의한 영상처리하여 얻어진 각각의 결과영상을 비교분석하였다.

II. 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파현미경 시스템

1. 쿼드러춰 검출기를 이용한 데이터 획득

그림 1은 SAM시스템의 수신신호검출을 쿼드러춰 검출기로 대체하여 구성한 초음파영상시스템의 블록선도를 보여주고 있다.

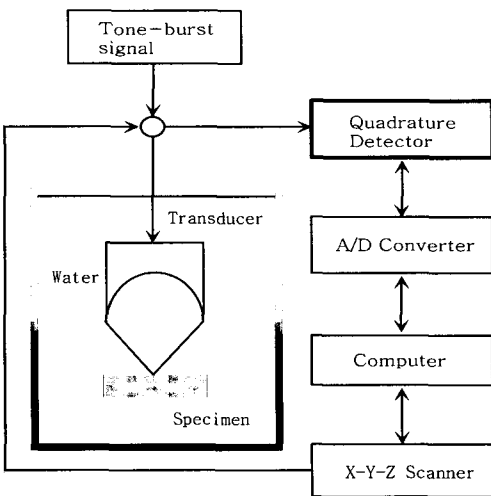


그림 1. 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파 현미경 시스템의 블록선도

Fig. 1. Schematic diagram of acoustic microscope system using quadrature detector.

그림 1에서 초음파변환기에 인가된 전기적인 신호는 초음파로 변환되어 시료까지 전파되고 이 초음파는 시료의 물리적성질(밀도,속도,탄성계수)의 변화에 따라서 서로 다른 반사를 일으킨다. 이 반사파는 초음파변환기에서 다시 전기적인 신호로 변환되고 원하는 부분의 신호가 쿼드러춰 검출기로 입력된다. 쿼드러춰 검출기의 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분은 A/D변환기를 거쳐 디지털 신호로 변환되며 이 두 성분을 이용하여 진폭과 위상정보를 구할 수 있다. 포락선 검출기를 이용한 기존의 SAM시스템은 참고문헌^[2,3] 등에 자세히 소개 되었다. 한편 SLAM과 STAM시스템은 SAM과는 달리 투과모드에서 동작하며 수신도 레이저광을 이용한다. 즉 초음파를 시료로 투과시키고 시료 내부를 투과한 초음파의 변화에 비례하는 시료 표면의 변위를 레이저와 포토다이오드에 의하여 검출하게 된다. SLAM은 레이저 스캔을 이용하기 때문에 SAM에서는 불가능한 실시간 영상처리가 장점이지만 고가격이고 더군다나 SLAM에서는 포락선 검출기를 사용하였기 때문에 토모그래픽 영상처리가 불가능하였다. 이에 SLAM시스템에 쿼드러춰 검출기를 이용하고 토모그래픽 영상처리 소프트웨어를 이용하여 박막의 다층구조물에 대한 토모그래픽 영상처리에 좋은 성능을 갖는 STAM을 개발하기에 이르렀다^[46].

쿼드러춰 검출기의 동작을 좀 더 자세히 알아보기 위하여 영상처리하고자 하는 평면인 $z=z_0$ 에서 수신된 초음파신호를 식(1)과 같다고 하자.

$$u(t, z_0) = A(t) \cos(\omega t + \psi_1)$$

$$\omega = 2\pi f_0 = 2\pi \sin \frac{\theta}{\lambda}$$
(1)

여기서 λ 는 초음파 파장이고 θ 는 초음파의 입사각도이다. $A(t)$ 는 신호의 포락선 값이고 ω 는 중심주파수 ψ_1 은 초기 위상값이다. 식(1)에 $\cos(\omega t + \psi_2)$ 를 곱하면 식(2)와 같다.

$$S(t) = A(t) \cos(\omega t + \psi_1) \cos(\omega t + \psi_2)$$

$$= \frac{A(t)}{2} \cos(\psi_1 - \psi_2) + \frac{A(t)}{2} \cos(\psi_1 + \psi_2 + 2\omega t)$$
(2)

식(2)에서 믹싱된 기준신호의 초기위상 ψ_2 을 0° 와 90° 만큼 위상차이를 주고 곱한 후 저역통과 필터를 통과 시키면 식(3)과 같이 나타내어 질 수 있고 이는 기저신호의 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분으로 검출되어 진다.

$$i(t) = S_i(t) = \frac{A(t)}{2} \cos(\psi_1)$$

$$q(t) = S_q(t) = \frac{A(t)}{2} \cos(\psi_1 - \frac{\pi}{2}) = \frac{A(t)}{2} \sin(\psi_1) \quad (3)$$

그러므로 식(3)은 식(4)의 관계를 가지며 쿼드러춰 검출기의 출력은 식(5)에서 진폭값으로 구할 수 있다^{1, 8,9,10,11}.

$$u_a(t; z_0) = i(t) + jq(t) \quad (4)$$

$$a(t) = \sqrt{i(t)^2 + q(t)^2}$$

$$\theta(t) = \tan^{-1}(\frac{q(t)}{i(t)}) \quad (5)$$

만약, 1 채널 A/D변환기를 사용하여 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분을 검출하고자 한다면 먼저 영상처리하려는 시료 부분을 2차원 공간적으로 스캐닝하면서 인페이즈성분 데이터를 A/D 변환하고 이어서 동일한 시료부분을 스캐닝하면서 쿼드러춰 성분을 획득하여야 하는데 이때 동일한 위치를 제어하기가 힘들고 위치エラー가 발생하였다면 쿼드러춰 성분은 식(6)과 같이 변화될 것이다.

$$q(t) = \text{Imag}(u(t + d; z_0)) = \sin(2\pi f_0(t + d)) = \sin(2\pi f_0 t + \beta) \quad (6)$$

여기서 d는 환과장 보다 작은 미소 위치에러이며 $\beta = 2\pi f_0 d \ll \frac{\pi}{2}$ 로서 주어진다. 그러므로 위치에러로 인한 진폭오차는 식(7)과 같이 구해진다.

$$e(t) = \sqrt{1 + 2\beta \cos(2\pi f_0 t) \sin(2\pi f_0 t) + \beta^2 (\cos(2\pi f_0 t))^2} \quad (7)$$

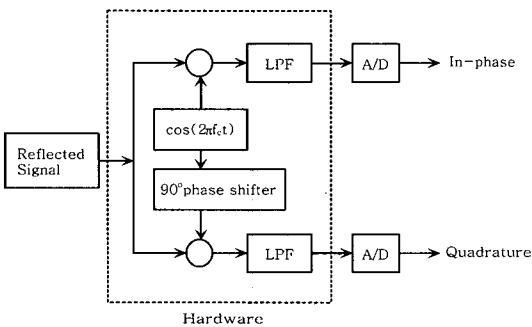


그림 2. 쿼드러춰 검출기의 블록선도
Fig. 2. Schematic diagram of the quadrature detector.

그림 2는 현재 STAM에서 사용하고 있는 하드웨어 쿼드러춰 검출기의 구조이다^[2,7]. 그림 2와 같은 하드웨어 쿼드러춰 검출기를 구현하기 위해서는 발진

기, 위상지연기, 믹서 및 저역통과 필터 그리고 2채널 A/D변환기등이 필요하기 때문에 시스템의 동작주파수를 변경하고자 할 때마다 하드웨어상의 문제점이 있음을 알 수 있다. 더군다나 쿼드러춰 검출기를 이용한 데이터 획득시에는 여러 가지 에러 요인이 포함되어 있다. 즉 인페이즈와 쿼드러춰 채널사이의 위상, 진폭, 샘플링 지연오차를 비롯하여 각종 잡음이 실험상에서 나타나게 된다. 실제로 STAM시스템등에서 채택하였던 쿼드러춰 검출기의 경우, 1채널 A/D변환기를 이용하였기 때문에 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분을 분리하여 얻어야 했다. 결국 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분의 공간적인 불일치로 인하여 식(6)과 같은 오차가 발생하게 되었고 이를 보상하기 위한 많은 노력이 필요했다.

2. 소프트웨어 쿼드러춰 검출기

만약 영상처리 하고자 하는 신호가 포함된 시간영역의 초음파신호 전체를 A/D변환한 후, 믹서, 위상지연기, 저역통과필터 등의 모든 처리과정을 소프트웨어로 대체한다면 처리시간이 증가하는 단점이 있지만 하드웨어는 단지 1 채널 A/D변환기로 매우 간단해질 것이다. 그러므로 본 연구에서는 그림 3과 같은 소프트웨어 쿼드러춰 검출기를 설계하였다.

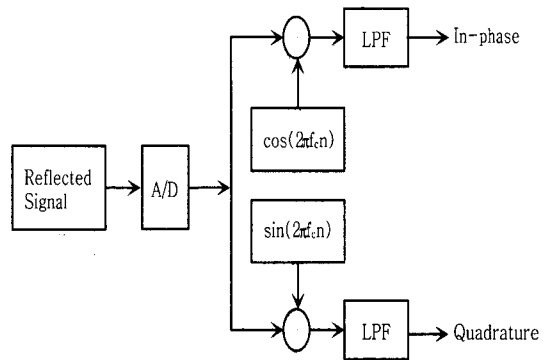


그림 3. 제안된 소프트웨어 쿼드러춰 검출기
Fig. 3. Proposed software quadrature detector.

그림 3의 쿼드러춰 검출기는 기존의 하드웨어 쿼드러춰 검출기와는 달리 반사신호를 그대로 A/D변환시키고 나머지 과정은 모두 소프트웨어로 처리하기 때문에 하드웨어가 간단해지고 데이터 획득시 발생할 수 있는 시간적, 공간적인 에러 요인이 최소화된다. 소프트웨어 쿼드러춰 검출기는 우선 기준신호와 반사신호

를 곱셈하는 믹서와 저역통과필터로 구성된다. 반사신호가 믹서를 통과하면 기준신호와 반사신호와의 곱의 결과인 합과 차주파수 성분을 나타내게 되는데 시료 한 지점당 하나의 데이터만을 필요로하기 때문에 합주파수인 높은 주파수성분을 가능한 직류 데이터로 바꾸어야하므로 저역통과 필터를 통과시킨다.

III. 실험 및 고찰

소프트웨어 검출기의 유용성을 확인하기 위하여 제안된 소프트웨어 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파 신호처리 실험장치를 그림 4와 같이 구성하였다.

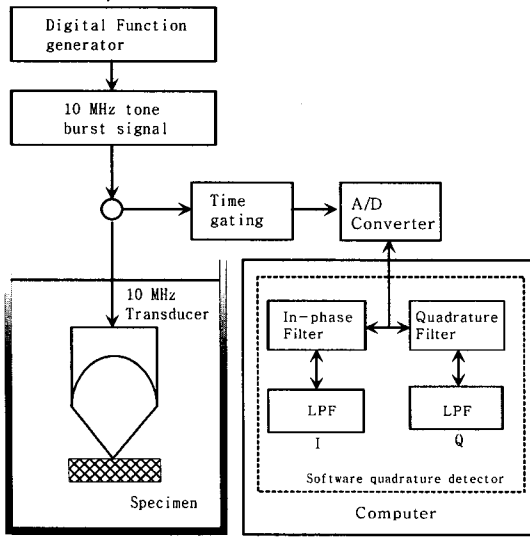


그림 4. 실험 시스템의 블록선도
Fig. 4. Block diagram of the experimental system.

그림 4에서 초음파변환기의 중심주파수는 10MHz이고 초점거리는 1인치이었으며 입력신호는 디지털 함수발생기(function generator)를 이용하여 발생시킨 톤버스트로 초음파변환기의 대역폭과 S/N비를 고려하여 펄스폭을 조정하였다. 반사신호의 A/D변환은 HP5402 디지털오실로스코프와 GPIB보드를 이용하여 시료의 한지점에서 500개의 데이터를 샘플링하였으며 쿼드러춰 검출기는 컴퓨터의 내부에서 소프트웨어로 처리하였다.

그림 5는 시료의 표면으로부터 얻어진 반사신호 데이터중 하나이다. 톤버스트와는 초음파변환기의 주파수 응답 특성과 물속에서의 감쇠 때문에 펄스형태가 가우시안 형태로 변환되어 나타났으나 펄스폭을 더욱 크게

하거나 입력진폭을 크게 하면 펄스형태를 유지할 것이다.

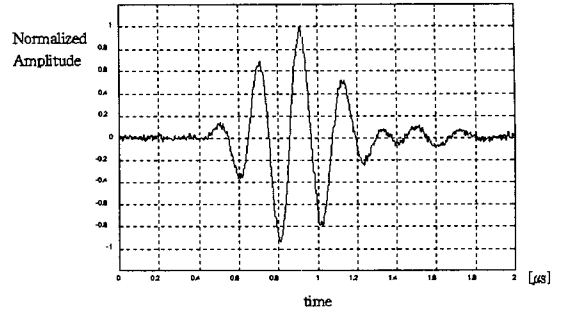
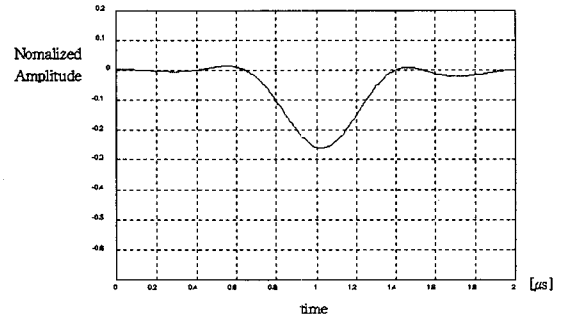
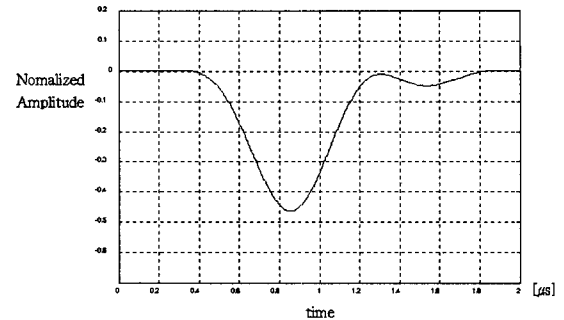


그림 5. 시료의 표면으로부터 얻어진 반사 신호
Fig. 5. Reflected signal obtained from the specimen.



(a)

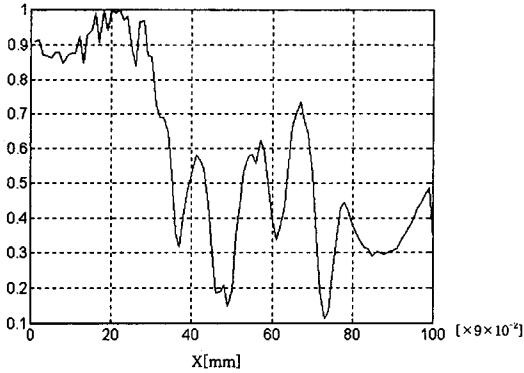


(b)

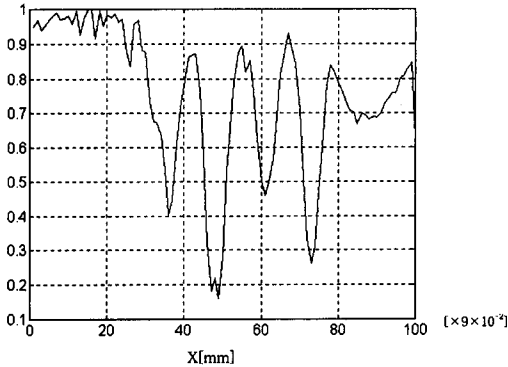
그림 6. (a) 반사 신호의 인페이즈 성분 (b). 반사 신호의 쿼드러춰 성분
Fig. 6. (a) In-phase component of reflected signal (b) Quadrature component of reflected signal.

그림 6-(a)와 (b)는 그림 5의 반사신호를 믹서와 저역통과 필터를 통과 시켰을 때 얻어진 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분이다. 물론 믹싱은 소프트웨어에 의하여 처리된 것이며 변조된 신호의 중심주파수는 20 MHz이므로 저역통과 필터에 의해서 고주파성분을 제거

시키면 인페이즈 성분과 쿼드러춰 성분의 포락선이 얻어지며 그중 중간값인 250번째 값을 시료 한 지점의 데이터로 취하였다.



(a)



(b)

그림 7. 1 라인 스캔 데이터 비교 (a) 포락선 검출기를 이용한 1 라인 스캔 데이터. (b) 쿼드러춰 검출기를 이용한 1 라인 스캔 데이터.

Fig. 7. Comparison of 1 line scanned data. (a) 1 line scanned data using envelope detector. (b) 1 line scanned data using quadrature detector.

그림 7-(a)와 (b)는 시료의 한 라인을 라인 스캐닝하여 얻어진 100개 지점에 대한 데이터로 그림 7-(a)는 포락선 검출기를 이용한 경우이고 7-(b)는 쿼드러춰 검출기를 통과시켜 얻어진 것이다. 이때 시료의 표면에 임의로 가공된 결함은 1mm간격으로 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm 그리고 0.6mm의 폭을 갖도록 하고 깊이는 0.1mm로 동일하도록 하였다. 그림 7의 실험결과에서 결함의 제작시 정확하지 못하여 오차가 발생하였기 때문에 본 실험결과에서는 결함의 깊이나 폭을 해석하는데 다소 문제가 있지만 동일한 시료에서 얻어진 그림 7-(a)와

(b)를 볼 때 쿼드러춰 검출기에 의한 데이터변화가 포락선 검출기에 의한 데이터 변화에 비하여 크게 나타남을 볼 수 있다. 즉 그림 7-(a)에서는 결함부분에서의 변화가 0.2에서 0.6 사이에서 나타나고 있는 반면에 그림 7-(b)의 쿼드러춰 검출기에서는 0.2에서 0.9 사이까지 커다란 변화를 보이고 있다. 따라서 초음파 영상의 콘트라스트는 쿼드러춰 검출기를 사용함으로써 개선할 수 있다.

그림 8은 쿼드러춰 검출기를 이용한 영상개선 효과를 관찰하기 위하여 실험에서 얻어진 그림 7의 1차원 데이터를 2차원적으로 확대한 후 선형적인 256그레이 레벨로 영상처리 한 것이다. 그림 8에서 쿼드러춰 검출기를 이용한 경우의 콘트라스트가 포락선 검출기를 이용한 경우에 비하여 양호함을 알 수 있다.

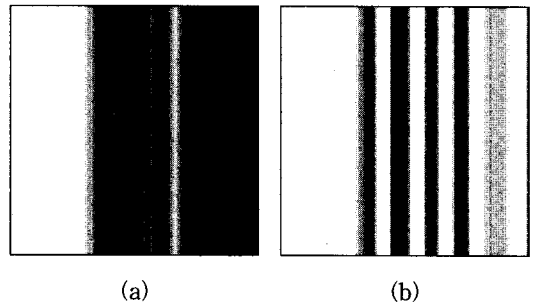


그림 8. 추가적인 영상처리 이후의 2차원 영상 비교 (a) 포락선 검출기를 이용한 2차원 확장 영상 (b) 쿼드러춰 검출기를 이용한 2차원 확장 영상

Fig. 8. 2-dimension images comparison after additional image processing. (a) 2-dimension image using envelope detector. (b) 2-dimension image using quadrature detector.

IV. 결 론

본 연구에서는 초음파 영상처리 시스템의 성능을 개선하기 위하여 기존의 포락선 검출기를 소프트웨어 쿼드러춰 검출기로 대체하는 방법을 제시하였다. 쿼드러춰 검출기는 디지털 신호처리 기술을 이용하여 소프트웨어로 구현이 가능하고 기계적인 스캐닝시 발생하는 오차를 최소화할 수 있으며 하나의 A/D 변환기로 데이터획득이 가능한 장점이 있기 때문에 기존의 초음파영상 시스템들에 유용한 기술이 될 수 있음을 확인하였다.

표면 결함을 갖는 알루미늄 시료를 이용한 실험결과에서도 쿼드러춰 검출기에 의한 영상의 콘트라스트

가 포락선 검출기의 경우보다 양호하게 나타났다. 데이터 획득을 위한 처리시간의 증가와 방대한 데이터의 처리로 인한 단점이 있지만 초음파영상 시스템의 검출기로 유용성이 있으며 앞으로 위상정보 검출에 관한 연구가 계속되어야 하겠다.

참 고 문 헌

[1] L. W. Kessler and D. E. Yuhas, "Acoustic Microscopy - 1979," *Proc. IEEE*, Vol. 67, no. 4, pp. 526-536(1979).

[2] L. W. Kessler, P. R. Palermo, and A. Korpel, "Recent Developments with the Scanning Laser Acoustic Microscope," *Acoustical Imaging*, vol. 5, P. S. Green, Ed. New York: Plenum Press. pp. 15-23(1974).

[3] 고대식, 문건, 전계석, 황금찬, "저주파대 음향현미경의 구성과 그 응용에 관한 연구," 대한전자공학회 25권 5호, pp. 108-113(1988)

[4] D. S. Ko and A. Meyyappan, "Scanning Tomographic Acoustic Microscopy using Shear Waves" *IEEE. Transaction on UFFC*, Vol.44, No.2, pp.425-430, March(1997).

[5] Stephen F. Levinson, "Phase Detection in Acoustic Microscopy," *Ultrasonic*

Imaging, Vol 12, pp 292-308(1990).

[6] R. Y. Chiao, Signal processing and image reconstruction for scanning tomographic acoustic microscopy, Ph.D. Dissertation of University of Illinois at Urbana-Champaign, 1990.

[7] S. Levy, A. Meyyappan and G.Wade, "Quadrature-Detector Errors in Scanning Tomographic Acoustic Microscopy," *IEEE Ultrasonic Symposium*, pp. 737-740(1991).

[8] S. Haykin, *Communication Systems*, 3/e, John Wiley & Sons, Inc. 1995.

[9] <http://www.asf.alaska.edu/calval/reports/sigi/5.html>

[10] Seong Ho Chang, Song Bai Park, Gyu Hyoung Cho, "Phase-Error-Free Quadrature Sampling Technique in the Ultrasonic B-Scan Imaging System and Its Application to the Synthetic Focusing System", *IEEE trans. on ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL*, VOL.40, NO.3, 1993.

[11] 김 현, 강민수, 전계석 "초음파현미경에서 위상 검출장치 구성", 경희대학교 대학원 고황논집 제 18권, 1996

저 자 소 개



高大植(正會員)

1982년 2월 경희대학교 전자공학과 졸업 공학사. 1987년 8월 경희대학교 전자공학과 졸업 공학석사. 1991년 2월 경희대학교 전자공학과 졸업 공학박사. 1995년 2월 ~ 1996년 2월 캘리포니아주립대학(UCSB), Post-Doc. 1989년 9월 ~ 현재 목원대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 멀티미디어통신(인터넷), 신호처리, 입체음향



金 賢(正會員)

1968년 2월 8日生. 1990년 2월 경희대학교 전자공학과 (공학사). 1992년 2월 경희대 전자공학과(공학석사) 1992년 2월~현재 : 경희대 전자공학과 박사
사과정. 주관심분야는 비파괴검사, 초음파 신호처리 및 영상처리, 광-음향현미경, 안테나 등임

田 啓 石(正會員)

1946년 9월 3일생. 1976년 광운대전입강사. 1979년 경희대 조교수 1984년 미국 스탠포드대 객원교수. 1988년 경희대 정교수. 1988년 ~ 1991년 경희대 학생처장. 1992년 미국 오레곤 주립대 객원교수. 1995년 ~ 1997년 통신학회 상임이사. 주관심분야는 비파괴검사, 안테나, 전송선로, 초음파신호처리 및 영상처리, 광음향 현미경 등임