

쿼드러춰 검출기를 이용한 SLAM의 진폭과 위상 영상 복원

황기환, 김현, 송대건, 전계석
경희대학교 전자공학과

The Reconstruction of Amplitude and Phase Images of SLAM by using Quadrature Detector

Kihwan Hwang, Hyun Kim, Deagun Song, Kyesuk Jun
Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University

본 논문은 1996-1997년도 한국과학재단 핵심연구과제 연구비 지원에 의해 연구되었음

요 약

본 연구에서는 기존의 SLAM에서는 불가능한 진폭과 위상 정보를 동시에 검출할 수 있는 쿼드러춰 검출기를 설계 제작하여 SLAM을 구성하고 진폭과 위상영상을 복원하여 기존의 SALM 영상과 비교분석하였다. 실험을 위하여 동작주파수가 10MHz인 쿼드러춰 검출기를 제작하여 SLAM시스템을 구성하고 시편으로는 다른 패턴을 갖는 두 개의 층으로 이루어진 평면구조물을 알루미늄으로 가공하여 실험하였다. 실험결과 다층구조물에 대한 진폭과 위상 영상을 복원할 수 있었고 기존의 SLAM 영상과 비교하여 양호한 분해능과 콘트라스트를 나타냈으며 특히 기존에 방법으로는 얻을 수 없었던 위상영상을 얻을 수 있었다.

I. 서 론

SLAM(Scanning Laser Acoustic Microscope) 시스템은 음향-광을 이용한 투과모드로 동작되는 영상처리장치로 대표적인 실시간 비파괴 검사장비이다. SLAM 시스템은 시료 내부를 투과한 초음파의 세기에 대응하는 전기적 신호의 진폭변화를 영상처리하여 그림자 영상을 복원한다. 그러나 다층구조를 갖는 검사체에 대한 SLAM 영상 복원시 영상이 중첩되어 나타나는 단점이 갖는다 [1,2]. 그러므로 이를 극복하기 위하여 미세하거나 복잡한 다층구조를 갖는 시료에 대하여 각 층마다 분리된 영상을 복원할 수 있는 토모그래픽 영상처리가 연구되어져 왔다. 토모그래픽 영상을 복원하기 위해서는 검사체를 투과하는 초음파의 진폭과 위상정보가 필요하다[3,4,5,6]. 따라서 본 연구에서는 진폭과 위상 정보를 동시에 검출할 수 있는 쿼드러춰 검출기를 부가한 SLAM 시스템을 구성하여 진폭과 위상영상을 복원하고 기존의

SALM 영상과 비교분석 한다. 실험을 위하여 동작주파수가 10MHz인 쿼드러춰 검출기를 제작하여 SLAM 시스템을 구성하고 시편으로는 다른 패턴을 갖는 두 개의 층으로 이루어진 평면구조물을 알루미늄으로 가공하여 실험하였다.

II. 쿼드러춰 검출기를 이용한 SLAM의 진폭과 위상영상 복원

그림1은 SLAM의 기본 동작을 보여 주고 있다. 시편 아래의 초음파변환기에 전기적인 입력신호를 인가하면 초음파변환기에 의해서 음향파로 변환되고 시편으로 발진된다. 음향파는 시편을 투과하여 시편 위에 위치한 커버슬립의 배면에 도달되어 표면변위의 변화를 발생시킨다.

이러한 표면변위 변화는 시편에 대한 초음파의 투과 개수에 따라 다르게 나타나며 레이저빔을 표면변위에 입사시키면 표면변위의 변화에 따른

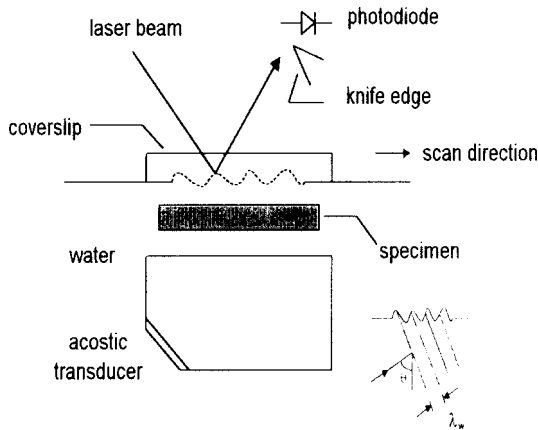


그림 1. SLAM 시스템의 기본동작

반사되는 빔에 대한 강도가 변화된다. 즉 표면변위에 발생하는 리플의 크기에 따라 수신강도가 변화하게 되며 광-다이오드를 이용한 광검출기에 의해서 표면변위 정보를 획득할 수 있다[1,6]. 이러한 정보는 영상처리를 통하여 디스플레이 상자로 출력되어진다. SLAM 영상은 투과모드에서 동작되기 때문에 시료 내부의 정보를 포함하게 된다. 한편 2차원 영상 데이터를 얻기 위해서는 2차원적으로 스캔되어야 하며 실시간 처리를 하기 위해서는 고속의 주사장치를 사용한다. 그러나 SLAM 시스템으로부터 진폭과 위상 정보를 얻기 위해서는 출력단에 위상 검출기를 부가해야 한다. 이를 위하여 본 연구에서 쿼드러처 검출방법을 사용하였으며 쿼드러처 검출기의 블록선도는 그림 2와 같다.

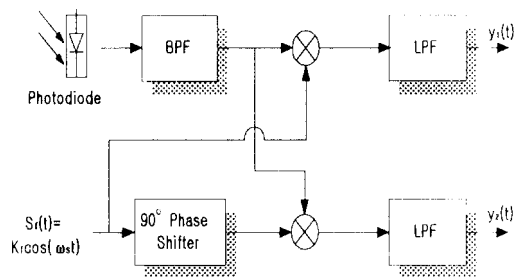


그림 2. 쿼드러처 검출기의 블록선도

쿼드러처 검출법은 초음파변환기의 입력되는 기준신호에 대하여 90° 위상차를 갖는 두 기준신호를 사용하여 전자회로를 구성한다. 시료내부

에 대한 원하는 초음파정보는 광-다이오드에 수신신호에 대한 도플러 천이된 주파수성분을 가지므로 내역통과 필터를 사용한다. 블럭선도에서 내역통과필터를 통과한 도플러 천이주파수성분 즉, 쿼드러처 검출기의 입력신호 $s(t)$ 는 다음식과 같다[1].

$$s(t) = K_s B(vt) \cos((\omega_s - \omega_d)t + \phi(vt)) \quad (1)$$

여기서 K_s 는 광-다이오드와 필터의 비례상수이다. 광-다이오드에 수신된 입력신호 $s(t)$ 에 초음파 변환기에 입력되는 기준신호 $s_r(t) = K_r \cos(\omega_s t)$ 와 90° 위상차를 갖는 기준신호를 각각 곱하여 광 다이오드에 수신되는 초음파신호의 복소수성분에 대한 실수부(동위상성분)와 허수부(쿼드러처 성분)를 얻는다. 쿼드러처 검출기의 입력신호와 동위상 기준신호에 대한 믹서의 출력신호는 다음식과 같다

$$s(t)s_r(t) = K_s K_r B(vt) \cos((\omega_s - \omega_d)t + \phi(vt)) K_r \cos(\omega_s t) \quad (2)$$

이를 저역필터에 통과시켜 얻은 실수부에 대한 출력신호는 다음식과 같다.

$$y_1(t) = \frac{K_s K_r B(vt)}{2} \cos(\omega_d t - \phi(vt)) \quad (3)$$

또한 쿼드러처 검출기의 입력신호와 90° 위상차를 갖는 기준신호 $s_r(t) = K_r \sin(\omega_s t)$ 를 믹서시키고 저역통과필터를 이용한 허수부의 출력신호는 다음식과 같다.

$$y_2(t) = \frac{K_s K_r B(vt)}{2} \sin(\omega_d t - \phi(vt)) \quad (4)$$

시간신호를 공간신호로 변환시키면 다음식과 같다.

$$y_1(x) = \frac{K_s K_r B(x)}{2} \cos(2\pi f_s x - \phi(x)) \quad (5)$$

$$y_2(x) = \frac{K_s K_r B(x)}{2} \sin(2\pi f_s x - \phi(x)) \quad (6)$$

위 식(5)와 식(6)로부터 진폭과 위상정보를 획득

할 수 있다[1]. 따라서 기존의 SLAM 시스템에 쿼드러처 검출기를 구성하여 시료 내부의 초음파 정보에 대한 실수부와 허수부 데이터를 획득함으로써 시료에 대한 진폭과 위상 영상처리에 필요한 진폭정보와 위상정보를 획득할 수 있다.

III. 실험결과 및 고찰

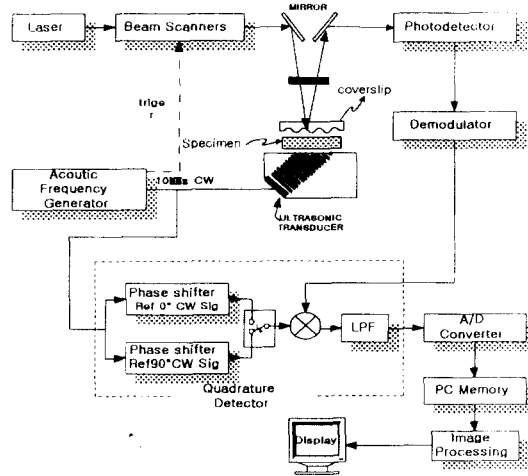
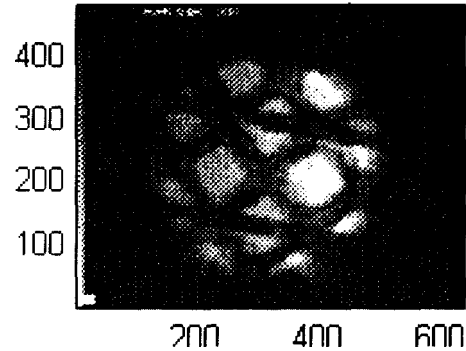


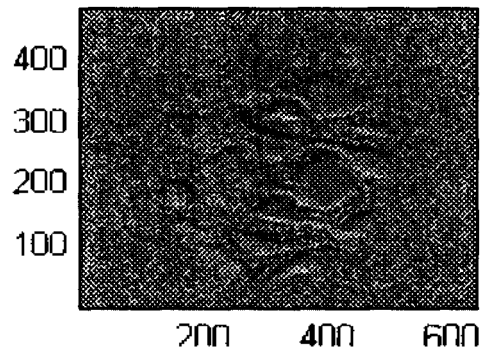
그림 3. 쿼드러처 검출기로 구성된 SLAM 시스템의 블록선도

그림 3에서 주파수 발전기의 전기적인 신호는 초음파변환기에 인가되어 연속적인 평면파를 얻는다. 시료를 투과한 초음파는 커버슬립 배면에 진파되어 표면변위를 발생시키며 커버슬립에 레이저 빔을 사각으로 조사시켜 배면에서 반사된 빔을 나이프-에지 뒤에 위치한 광-다이오드에 수신되어 전기적신호로 변환된 후 쿼드러처 검출기에 입력된다. 쿼드러처 검출기의 출력신호 중, 실수부와 허수부 데이터를 A/D 변환기를 사용하여 메모리에 저장시킨 후 이를 영상처리함으로써 진폭과 위상 영상을 얻는다. 실험을 위하여 시료는 알루미늄 재질로 두 층의 다른 패턴을 갖는 평면 구조물을 가공하였으며 기존의 SLAM 시스템에 제작한 쿼드러처 검출기를 구성하여 동작주파수가 10MHz인 평면형 초음파변환기를 사용하였다.

그림 4는 쿼드러처 검출기를 부가한 SLAM 시스템으로부터 획득한 실수부와 허수부를 이용하여 복원한 진폭과 위상 영상이다. 이때 영상의 이미지 필드는 640×480이다.



(a) 진폭영상



(b) 위상영상

그림 4. 쿼드러처 검출기를 이용한 SLAM 영상

그림 5는 기존의 SLAM 시스템으로부터 얻은 SLAM 영상이다.

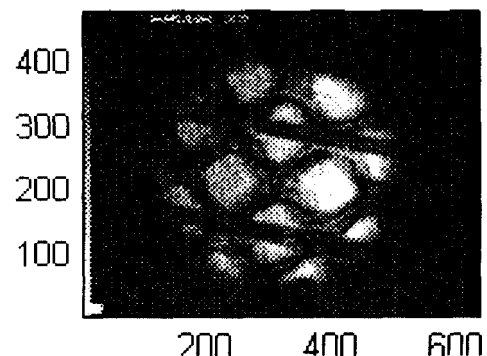


그림 5. SLAM 영상

그림 4의 진폭 영상과 그림 5의 SLAM영상을 비교하여 보면 쿼드러처 검출기의 사용한 경우에도 기존의 SLAM 영상에 비교하여 양호한 분해능과 보다 나은 영상 콘트라스트를 갖는 영상이 복원되어졌다. 또한 기존의 SLAM 시스템에서 얻을 수 없었던 위상 영상도 복원이 가능함을 확인하였다. 따라서 쿼드러처 검출기를 이용한 SLAM 시스템으로부터 진폭과 위상 영상을 얻음으로써 본 연구에서 제작한 쿼드러처 검출기는 초음파를 이용하여 토모그래픽 영상을 복원시키기 위한 시스템에 이용할 수 있음을 알 수 있었다.

IV. 결 론

토모그래픽 영상처리를 위해서는 진폭과 위상 정보가 요구되나 기존의 SLAM 시스템으로부터는 이들 정보를 얻을 수 없다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위하여 진폭과 위상 정보를 동시에 검출할 수 있는 쿼드러처 검출기를 설계 제작하여 SLAM을 구성하고 진폭과 위상영상을 복원하여 기존의 SALM 영상과 비교분석하였다. 실험을 위하여 동작주파수가 10MHz인 쿼드러처 검출기를 제작하여 SLAM시스템을 구성하고 시편으로는 다른 패턴을 갖는 두 개의 층으로 이루어진 평면 구조물을 알루미늄으로 가공하여 실험하였다. 실험결과 다층구조물에 대한 실수부와 허수부 데이터를 획득하여 진폭과 위상 영상을 복원할 수 있었고 기존의 SLAM 영상과 비교하여 양호한 분해능과 콘트라스트를 나타냈으며 특히 기존의 방법으로는 얻을 수 없었던 위상영상을 얻을 수 있었다.

본 연구결과 쿼드러처 검출기를 부가한 SLAM 시스템을 이용하여 진폭과 위상 영상을 복원함으로써 토모그래픽 영상을 복원하기 위한 토모그래픽 영상시스템 개발에 활용 되어지리라 기대된다.

참고문헌

[1] 황기환, 전계석, "SLAM 영상을 이용한 크랙 깊이 측정", 한국음향학회 논문집, Vol. 16, No. 3, PP. 51-56, 1997.
 [2] L. W. Kessler and D. E. Yuhas, "Acoustic Microscopy-1979", Proc. IEEE, Vol. 67, No. 4, PP. 526-536, April 1979.

[3] Z. Lin, H. Lee, and G. Wade, "Data Acquisition in Tomographic Acoustic Microscopy", IEEE Ultrason. Symp., PP. 627-631, 1983.
 [4] R. Y. Chiao, H. Lee, "Multiple-Frequency and Multiple-Angle Tomography with the Scanning Tomographic Acoustic Microscope" IEEE. PP. 891-894, 1990.
 [5] B. L. Douglas, S. D. Kent, H. Lee, "Parameter Estimation and the Importance of Phase in Acoustic Microscopy", Ultrasonic Symposium, PP. 715-718, 1992.
 [6] R. L. Whitman and A. Korpel, "Probing of Acoustic Surface Perturbations by Coherent Light," Applied Optics, Vol. 8, No. 8, PP. 1567-1576, Aug. 1969.