

3-3형 복합압전체 초음파 센서를 이용한 3차원 수중 물체인식

조현철  
경북전문대학 전자과

3-D Underwater Object Recognition Using Ultrasonic Sensor  
Fabricated with 3-3 Type Piezoelectric Composites

Hyun-Chul Cho  
Kyungbuk College

**Abstract**-In this study, 3-D underwater object recognition using ultrasonic sensor fabricated with porous PZT-polymer 3-3 composites and SCL neural networks are presented. The recognition rates for the training data and the testing data were 100 and 94.6%, respectively.

여 3차원 수중 물체인식실험에 적용해 볼으로써 그 응용 가능성을 검토한다.

1. 서 론

수중음파 영상처리, 어군탐지 등에 이용되는 3차원 수중 물체인식은 지능제어분야 에서 중요한 기술의 하나이다. 이에 적용되는 지능제어 알고리즘으로는 퍼지, 신경 회로망 및 유전알고리즘 등이 있다.

3차원 물체인식에는 센서에서 물체까지의 거리정보를 이용하는데, 거리정보 추출에는 스테레오 비전과 레이저 거리센서를 이용한 광학적 방법, 레이더 등 전자파를 이용하는 방법 및 초음파를 이용하는 방법 등이 제안되고 있으나 사용환경에 따라 능률은 달라진다.

비전시스템은 빛의 영향으로 사용환경에 제한을 받으며, 투명물체의 인식은 어렵다. 그리고 수중의 염분은 빛의 에너지를 심하게 감소시켜 먼거리의 측정을 어렵게 한다[1]. 레이더 등의 전자파를 이용하는 방법은 전자파의 전파속도가 너무 빨라 근접한 거리의 검출은 어렵고 유리와 같은 투명물체는 투과하므로 검출이 불가능하다.

이들에 비하여 초음파 센서는 초음파의 비행시간을 이용하여 물체에 대한 정보를 획득하므로 검출물체의 제한이 없으며, 빛의 양과 방향 등의 영향을 받지 않아 카메라 사용이 적합하지 못한 환경에서도 물체인식이 가능하다. 그리고 해수에서는 염분에 의한 음파에너지의 감쇠가 적어 먼거리의 물체정보 획득이 가능하고, 데이터 처리가 간단하여 수중음파 영상처리, 깊이측정 및 어군탐지 등에 널리 사용되고 있다[2].

한편 초음파 재료로는 PZT 세라믹스가 널리 사용되고 있으나 PZT 단일상만으로 제작된 초음파 센서는 단일상이 갖는 한계성으로 인하여 수중에서는 성능지수가 낮아진다. 또한 밀도가 높아 수중 음향 임피던스 정합(matching)이 어렵기 때문에 수중에 적합한 저밀도이면서도 압전성이 우수한 새로운 소재의 초음파 센서 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 다공질 PZT-고분자 3-3형 복합압전체를 이용하여 초음파 센서(이하 3-3형 초음파 센서라 칭한다)를 제작한다[3]. 그리고 제작된 초음파 센서를 SCL(Simple Competitive Learning) 신경회로망과 연계하

2. SCL 신경회로망

정보처리시스템의 목적에 맞도록 각 뉴런사이의 연결강도를 조정하는 이른바 학습의 개념을 이용하는 신경회로망은 학습의 방법에 따라 지도학습과 자율학습으로 크게 분류된다. 본 논문에 적용된 SCL 신경회로망은 자율학습(unsupervised learning)의 기본적인 신경망으로서 각 뉴런에 대응하는 연결강도 벡터들이 해당데이터의 클러스터중심으로 찾아 들어가게 하는 특징이 있다. 또한 경쟁에서 승리한 승자뉴런만을 학습시키는 단순경쟁학습 즉, 승자독점(winner take all)학습을 수행한다. 그러나 이 알고리즘은 매번 승자뉴런만을 학습시키므로 초기 연결강도 벡터들의 분포에 따라 전혀 학습이 이루어지지 않는 출력뉴런들이 생기는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위한 여러 방법이 제안되고 있으나 본 논문에서는 연결강도 벡터들의 초기값으로 사용되는 임의의 값 대신에 입력패턴들 자체에서 sampling하여 사용한다. 식 (1), (2)는 이 회로망의 학습알고리즘을 나타내며, 여기서  $\omega_r(t)$ 는 시간 t에서 r번째 weight 벡터,  $\alpha(t)$ 는 학습계수,  $V(t)$ 는 시간 t에서의 입력 벡터를 나타낸다[4].

$$\omega_r(t+1) = \omega_r(t) + \alpha(t)[V(t) - \omega_r(t)] \quad (1)$$

$$\alpha(t) = 0.9 \left( 1 - \frac{t}{\text{Number of iteration}} \right) \quad (2)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 초음파 센서 제작

PbO, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>를 출발원료로 사용하여 상구조정계(MPB)를 갖는 PZT[Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>] 분말을 용융염 합성법으로 합성하였다. 다공질 PZT 세라믹스의 기공 형성을 위해 플라스틱 구체로서 74~88μm의 크기를 갖는 PVA를 사용하였다. PZT와 PVA 중량비를 92.5 : 7.5wt. %로 전식 혼합하여 20,000psi로 등압 성형하고, 1,150℃에서 1시간 소결하여 다공질 압전 PZT시편을 제조하였다. 압전정수 d<sub>33</sub>는 Berlincourt Piezo d<sub>33</sub>-

meter(Model CPDT 3300, Channel Products, Inc., OH 44022)로 측정하였고, 정수압 압전전압수  $g_h$ 는 pseudo dynamic  $g_h$  측정법에 의해 구하였다. LF 임피던스 분석기(HP4192A)를 사용하여 공진주파수 및 공진임피던스를 측정하여 음향임피던스를 계산하였고, 탄성컴플라이언스는 EMAS의 규정에 의해 구하였다.

제조된 다공질 PZT 세라믹스를 필러로 사용하고 고분자 매질로는 에폭시수지계(Eccogel 1365-25)를 사용, 70°C의 진공 건조기 중에서 8시간 동안 진공 함침시켜 경화시킴으로써 3-3형 복합압전체 시편을 제조하였다. 이 복합압전체를 진동자로 사용하여 수중 초음파 센서용 탐촉자를 제작하였다. 이 탐촉자는 음향 임피던스가 비교적 큰 동파이프를 사용하였으며, 내경은 15mm이다. 그리고 탐촉자의 한쪽은 진동자를 고정하였고, 다른 한쪽은 BNC 컨넥터를 부착하였다. 진동자 주위는 각종 초음파 특성을 조사할 수 있도록 실리콘 고무로 밀폐시켰다. 이때 진동자의 시효(aging)발생을 감소시키기 위하여 (+)전극을 안쪽으로 향하게 하였고, 신호선(signal line)은 은선(silver wire)을 사용하였다[3].

### 3.2 실험장치의 구성

3차원 수중 물체인식을 위한 실험장치는 수조, Pulse Receiver(1010PR, Accu-tron Inc.) 및 초음파센서 분석용 소프트웨어(Testpro System, Infomatics Inc.)로 구성한다. 그림 1은 실험장치 구성도를 나타내며 표 1은 수중 물체인식 실험에 사용된 물체의 종류와 크기를 나타낸다.

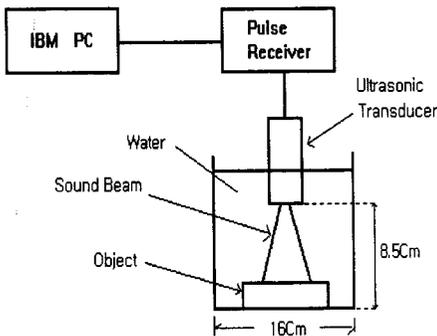


그림 1. 수중 물체인식 실험 장치도

표 1. 실험물체의 종류 및 크기

종 류	재 질	크 기
원 통	S45	D8.5cm×H2cm
직사각기둥	S45C	W11cm×L8cm×H2cm
정사각기둥	S45C	W7.3cm×L7.3cm×H2cm

### 3.3 실험방법

자체 제작된 3-3형 초음파 센서[3]의 중심을 기준으로 먼저 y축으로 1cm간격으로 16 step 이동 시킨 후 x축으로 1cm 이동시키는 동작을 반복하여 수조내의 물체의 거리정보를 픽셀당 x축으로 1cm, y축으로 1cm의 크기를 갖는 16×16픽셀로 획득한다.

본 실험의 x, y 좌표 값은 초음파 센서 중심의 고정된 값이므로 초음파 센서는 직진성만을 가진다고 가정하여 측정 범위에서 벗어난 수중 물체의 거리정보들은 제거한다.

수중 물체의 거리정보는 초음파 센서에 가해진 임펄스 전기신호에 의한 음파의 비행시간을 검출하여 계산하였으며, 거리정보 검출방법으로는 one-pulse echo mode를 이용한다.

실험장치로부터 획득된 원시데이터 16×16 픽셀의 3차원 수중 물체정보는 실험환경의 온도변화 등에 따른 noise를 포함하고 있어 이를 제거하고 물체정보를 일정한 픽셀로 전처리 한 후 이를 SCL 신경회로망의 입력으로 사용한다.

정사각기둥 30개, 직사각기둥 30개, 원통형 30개의 데이터인 총 90개의 원시데이터를 추출하여 일정한 픽셀로 전처리한다. 이 중에서 54개는 SCL 신경회로망의 학습(training) 데이터로 이용하고, 나머지 26개는 시험(testing)데이터로 사용한다.

SCL 신경회로망은 3-3형 초음파 센서에 의해 획득된 수중 물체의 거리와 위치정보들을 입력받아 3차원 수중 물체윤곽 특징을 추출하여 정사각기둥, 직사각기둥, 원통형인 3종류의 물체입력데이터를 분류한다.

본 실험에서는 SCL신경회로망의 출력 Neuron space 크기를 3×10, 입력벡터 V는 256(16×16)차원으로 구성하고 50회 반복학습 시킨다.

## 4. 실험결과

표 2은 그림 2의 작업영역 중심점 O에 고정된 수중 물체들에 대한 정보를 신경회로망의 출력 Neuron space가 3×10인 SCL 신경회로망에 입력하고 50회 반복학습시킨 후 수중의 각 실험물체에 대한 인식률을 나타낸 것이다.

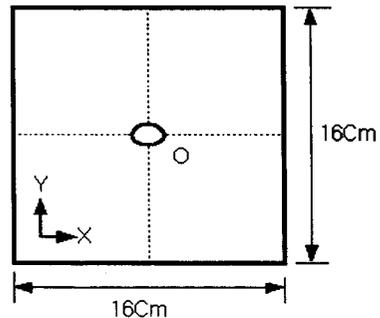


그림 2. 수중 물체인식 실험의 작업영역

표 2. 50회 반복학습 후의 수중 물체인식률

수중 물체	인식률		학습데이터		시험데이터	
	데이터 수	인식률	데이터 수	인식률	데이터 수	인식률
정사각기둥	18	100%	12	92%		
직사각기둥	18	100%	12	100%		
원 통	18	100%	12	92%		

본 연구에서 제안한 수중 물체인식 알고리즘은 표 2에서 보는 바와 같이 짧은 학습시간으로도 학습데이터는 100%, 실험데이터는 94.6%의 인식률을 나타내었다. 이는 경쟁학습규칙을 이용하는 SCL신경회로망은 데이터 분포 특성에 따라 히든 층을 변화시키는 Backpropagation 신경회로망[5]에 비해 학습시간이 적게 소요되었다.

한편 자체 제작된 3-3형 초음파 센서는 수중 음향임피던스 매칭이 좋고, 성능지수가 높은 성능을 가지고 있음을 이 실험을 통해 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 초음파 센서를 이용한 3차원 수중 물체인식 알고리즘으로서 SCL 신경회로망을 제안하고, 실험하였다. 그리고 이와 더불어 자체 제작된 3-3형 초음파의 성능을 실험하였다.

제안한 SCL 신경회로망은 학습 및 실험데이터 모두 높은 인식률을 나타내었다. 그리고 그의 학습시간은 공기 중의 물체인식에 이용된 Backpropagation 신경회로망[4]에 비해 훨씬 짧음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 신경회로망은 수중 물체인식 알고리즘으로서 유용할 것으로 생각된다.

이와 더불어 자체 제작된 다공질 PZT-고분자 3-3형 초음파 센서는 작은 음향임피던스 값을 가짐으로써 초음파의 송수신 특성이 향상되었고, 센서의 성능지수가 커져 수중 물체 검출능력이 우수함을 확인하였다. 그러나 본 연구는 인식 대상 물체의 수가 적으며, 센서 또한 거리검출이 제한되어 있다. 차후에는 본 연구의 인식알고리즘에 인식 대상 물체 수를 확대 적용하는 연구와 먼거리의 물체정보도 획득할 수 있는 초음파 센서의 개발이 진행되어야 한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] JERRY L. SUTTON, "Underwater Acoustic Imaging", Proceedings of the IEEE, Vol. 67, No. 4, pp.229~241, April 1979.
- [2] 김대수, "신경망 이론과 응용(II)", 하이테크정보, pp. 229~246, 1993.
- [3] 조현철, 이기성, 이수호, 김한근, 사공진, "PZT-고분자 3-3형 초음파센서를 이용한 3차원 수중 물체 복원", '97 대한전기학회하계학술대회논문집, pp. 1373-1375, 1997 7.
- [4] 조현철, 이기성, 사공진, "주차관리시스템응용을 위한 신경

회로망과 연계된 초음파센서의 3차원 물체인식과 복원", 조명전기설비학회 논문지, Vol. 9, No. 2, pp. 146-150, 1996.

- [5] S. Watanabe and M.Yoneyama, "An Ultrasonic Visual Sensor for Three Dimensional Object Recognition using Neural Network". IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 8, No. 2, pp. 240-249, 1992.