

다공질 압전 초음파 센서를 이용한 물체변위에 무관한 3차원 수중 물체인식

조현철¹⁾ · 이기성²⁾ · 이수호³⁾ · 박정학⁴⁾ · 사공간⁵⁾

경북전문대학 전자과¹⁾ · 홍익대 전자전기공학부²⁾ · 영월공전대 전기과³⁾ · 특허청 사무관⁴⁾ · 동아대 전기공학과⁵⁾

3-D Underwater Object Recognition Independent of Translation Using Porous PZT Ultrasonic Sensor

Hyun-Chul Cho¹⁾ · Keeseong Lee²⁾ · Su-Ho Lee³⁾ · Jung-Hak Park⁴⁾ · Geon Sa-Gong⁵⁾

Kyung Pook Junior College¹⁾ · Hong-Ik Univ²⁾ · Young Wol Junior College³⁾ · KIPO⁴⁾ · Dong-A Univ.⁵⁾

Abstract-In this study, 3-D underwater object recognition using ultrasonic sensor fabricated with porous piezoelectric ceramics and SCL(Simple Competitive Learning) neural networks are presented. The recognition rates for the training data and the testing data were 96 and 93%, respectively.

수중용 초음파 센서로서의 응용 가능성을 검토하였다.

2. 수중 물체인식 기법

수중 물체에 대한 3차원 정보를 초음파 센서에 의해 획득하고 이를 이용하여 물체변위에 무관한 불변 모멘트 벡터를 추출한다. 그리고 추출된 이 벡터를 신경회로망의 학습정보로 신경회로망에 입력·학습시켜 수중의 물체를 인식한다.

1. 서 론

학습에 의한 정보획득과 정보의 분산표현을 특징으로 하는 신경회로망 기법을 이용한 3차원 물체인식은 수중탐사 분야에서 매우 중요하다. 3차원 물체인식에는 센서에서 물체까지의 거리정보를 이용하는 데, 거리정보 추출에는 CCD카메라, 레이더 및 초음파 센서를 이용하는 방법이 제안되고 있으나 사용환경에 따라 능률은 달라진다. 특히 수중은 혼탁하고 심해에서는 햇빛도 투과되지 않는 암흑상태이기 때문에 CCD카메라의 시야는 1~6m로 제한되며, 또한 레이더 장치로는 수중의 물체를 탐지하지 못한다 [1]. 이에 반해 음파는 물속에서도 통과되므로 수중의 물체인식 등 수중 음파시스템에 널리 사용되고 있으며, 이러한 수중용 인식시스템에 사용되는 초음파 센서는 수중물체의 위치이동에 관계없이 동일 물체로 인식할 수 있어야 한다.

2.1 불변모멘트 벡터

물체의 위치이동에 관계없이 동일물체로 인식하기 위해서는 물체의 특징점을 추출해야 하는데, 이를 위해 컴퓨터 비전기법의 불변 모멘트 벡터를 이용하였다. 일반적으로 입력패턴을 2진수로 고려하면 모멘트는 식(1)과 같다.

$$M_{jk}(s) = \sum_{(x,y) \in S} x^j y^k \quad (1)$$

물체의 이미지인 S의 무게 중심 (\bar{x}, \bar{y}) 는 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{x} = \frac{M_{10}(S)}{M_{00}(S)}, \quad \bar{y} = \frac{M_{01}(S)}{M_{00}(S)} \quad (2)$$

식(2)의 무게 중심을 사용하여 위치이동에 불변하는 모멘트를 구하면 다음과 같다..

$$U_{jk} = \sum_{(x,y) \in S} (x - \bar{x})^j (y - \bar{y})^k \quad (3)$$

또한 회전에 불변인 모멘트는 식(4)와 같다.

$$\eta_{jk} = \frac{U_{jk}}{U_{00}^\gamma} \quad \text{여기서 } \gamma = \frac{j+k}{2} + 1 \quad (4)$$

이것으로부터 M.K. Hu는 다음의 7가지 물체변위에 불변하는 함수를 정의한다[2].

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \psi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \end{aligned}$$

일반적으로 음파의 송·수신이 가능한 초음파 센서의 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 PZT소자로 자체 제작된 초음파 센서를 신경회로망과 연계하여 물체변위에 무관한 3차원 수중 물체인식 실험에 사용해 봄으로써

$$\begin{aligned}
\psi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\
\psi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\
\psi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 \\
&\quad - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \\
&\quad [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
\psi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
&\quad + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\
\psi_7 &= 3(\eta_{21} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 \\
&\quad - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \\
&\quad [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (5)
\end{aligned}$$

2.2 SCL 신경회로망

SCL(Simple Competitive Learning)신경회로망은 비교적 처리시간이 빠르고 인식률이 좋으며 목표값을 지정해 줄 필요 없이 자율적으로 학습하는 경쟁학습 알고리즘의 형태로서 입력벡터와 가장 유사한 weight 벡터를 선정하여 자율적으로 학습하는 알고리즘이다. SCL 신경회로망의 학습알고리즘은 다음의 식 (6), (7)과 같으며, 여기서 $\omega_r(t)$ 는 시간 t 에서 r 번째 weight 벡터, $\alpha(t)$ 는 학습계수, $V(t)$ 는 시간 t 에서의 입력 벡터를 나타낸다[3].

$$\omega_r(t+1) = \omega_r(t) + \alpha(t) [V(t) - \omega_r(t)] \quad (6)$$

$$\alpha(t) = 0.9 \left(1 - \frac{t}{\text{Number of iteration}} \right) \quad (7)$$

3. 실험방법 및 측정

3.1 초음파 센서 제작

PbO, ZrO₂, TiO₂를 출발원료로 사용하여 상조성 경계(MPB)를 갖는 PZT[Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃] 분말을 용융염합성법으로 합성하였다. 다공질 PZT 세라믹스의 기공 형성을 위해 플라스틱 구체로서 74~88(μ m)의 크기를 갖는 PVA를 사용하였다. PZT와 PVA 중량비를 92.5 : 7.5(wt.%)로 건식 혼합하여 20,000(psi)로 등압 성형하고, 1,150($^{\circ}$ C)에서 1시간 소결하여 다공질 압전 PZT시편을 제조하였다[4].

제조된 다공질 PZT 세라믹스를 진동자로 사용하여 수중 초음파 센서용 탐촉자를 제작하였다. 이 탐촉자는 음향임피던스가 비교적 큰 동파이프를 사용하였으며, 내경은 15[mm]이다. 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.

3.2 3차원 수중 물체인식 실험방법

표 1의 실험장치와 자체 제작한 다공질 초음파 센서를 사용하여 센서 중심을 기준으로 먼저 y축으로 1cm간격으로 16 step이동 시킨 후 x축으로 1cm이동 시키는 동작을 반복하여 한 픽셀의 크기가 x축으로 1cm, y축으로 1cm인 16 \times 16픽셀의 실험물체 거리정보를 획득하였다. 작업영역의 가로, 세로, 높이는 16cm \times 16cm \times 7.5cm이다.

표 1. 실험장치

실험장치명	모델명	회사명
수 조	upk-T	PhysicalAcoustic Co.
Pulse Receiver	1010PR	ACCU-TRON Inc.
Software	Testpro System	Infomatics Inc.

본 실험에서 x, y좌표 값은 초음파 센서 중심의 고정된 값이므로 초음파 센서는 직진성만 가진다고 가정하여 측정범위에서 벗어난 물체정보들은 제거하였다. 물체의 거리정보는 초음파 센서에 가해진 임펄스 전기신호에 의한 음파의 비행시간을 검출하여 계산하였으며, 거리정보 검출방법으로는 one-pulse echo mode를 이용하였다. 실험에 사용된 물체는 정사각형[cm](W5 \times L5 \times H2), 직사각형[cm](W4 \times L5 \times H2), 원통[cm](D5 \times H2), 정삼각형[cm](L5 \times H2) 4종류이다.

물체의 위치이동에 관계없이 동일물체로 인식하기 위하여 전처리된 물체정보와 불변모멘트 기법을 이용하여 물체의 특징점이 되는 불변모멘트 벡터를 추출한다. 이때 물체변위 패턴을 위하여 각 실험물체를 중심점을 기준으로 하여 상, 하, 좌, 우 4[cm]이 동시켰다. 물체당 5개의 이동패턴과 패턴당 10개의 데이터로 총 20개의 패턴에 대한 200개의 3차원 물체정보를 초음파 센서로 획득하고, 이를 각각 식 (5)에 적용시켜 7개의 불변모멘트 벡터를 계산하였다. 200개의 데이터에 대한 불변모멘트 벡터 중에서 120개를 분류 신경회로망인 SCL신경회로망의 학습(training)데이터로 이용하였고, 나머지 60개는 시험(testing)을 위해 사용하였다. SCL 신경회로망은 정사각형, 직사각형, 원통형, 정삼각형 4개의 물체입력을 분류하기 위해 출력 neuron space를 4 \times 10, 입력벡터 V를 7차원으로 구성하고 50회 반복학습시켰다.

4. 실험결과 및 고찰

표 2는 PZT와 PVA의 중량비 92.5 : 7.5(wt.%)로 제작된 다공질 압전 초음파 트랜스듀서의 제특성을 나타내었다. 본 연구에서 제작한 다공질 초음파 센서는 수중 초음파 센서의 요구조건[5]을 비교적

잘 만족하고 있다.

표 3은 원통형 물체의 위치변화에 따른 불변모멘트 벡터 $\psi_1 \sim \psi_7$ 의 값인데, 이를 보면 기준점에서의 물체 모멘트 벡터와 거의 일치하므로 불변모멘트 벡터는 물체를 구별할 수 있는 특징이 됨을 알 수 있었다.

불변모멘트 벡터를 학습데이터로 이용한 SCL 신경 회로망의 학습후 수중 물체인식률은 학습데이터의 경우는 96%, 시험데이터는 93%로서 물체의 위치 이동에 관계없이 동일 물체로 인식하는 높은 인식률을 나타내었다. 여기서 오인식의 원인으로는 실험환경의 온도변화에 따른 초음파 센서 검출데이터의 불변 모멘트 영향으로 생각된다

표 2. 다공질 압전 초음파 트랜스듀서의 제특성

특 성	측 정 값
밀 도	6.6(g/cm ³)
압전정수 d ₃₃	350 (×10 ⁻¹² C/N)
기계적 품질계수 Q _m	5.8
두께방향 결합계수 K _t	0.57
탄성컴플라이언스 S ₃₃ ^U	22.3 (×10 ⁻¹² m ² /N)
수중음향 임피던스	17.8(Mrayl)
성능지수 d _h · g _h	2242(×10 ⁻¹⁰ m ² /N)

표 3. 원통형 수중 물체의 불변 모멘트 벡터

불변 모멘트 벡터	original	4cm left	4cm right	4cm up	4cm down
ψ_1	0.159144	0.158790	0.154195	0.156273	0.156875
ψ_2	0.000209	0.000915	0.0	0.000249	0.000172
ψ_3	0.000082	0.0	0.0	0.000075	0.000052
ψ_4	0.0	0.0	0.0	0.000001	0.000002
ψ_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ψ_6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ψ_7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4. 결 론

다공질 압전소자로 제작된 초음파 센서를 이용한 수중 물체인식 실험에서 물체의 변위에 관계없이 동일 물체로 인식하는 인식률은 학습데이터인 경우에는 96%, 시험데이터는 93%의 높은 값으로 나타난다. 이는 본 연구에서 제작된 초음파 센서가 낮은 밀도를 가짐으로써 음향 임피던스 정합이 개선되었고, 성능지수가 커져 송·수신특성이 향상되었기

때문으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 제작된 다공질 PZT 초음파 센서는 수중용 초음파 센서로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

(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] M.K. Hu, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE Trans. Information Theory, Vol.8, pp. 179-187, Feb. 1962.
- [3] J. Dayhoff, "Neural Network Architecture", Van Nostrand Reinhold, pp. 10-13, 1990.
- [4] 박정학, 이수호, 사공건, 배진호, "수중청음기 응용을 위한 다공질 PZT 세라믹스의 압전특성", 대한전기학회논문지, Vol. 45, No. 4, pp. 558~561, 1996.
- [5] S.Y. Lynn and R.E. Newnham and K.A. Killer and K. Rittenmyer and A. Safari and W.A. Schulze, "Ferroelectric Composites for Hydrophone", Ferroel., Vol. 38, pp. 955~958, 1982.