2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20

# 1-3형 복합압전체 초음파센서와 불변모멘트를 이용한 3차원 수중 물체인식

조현철
경북전문대학 전자과

# 3-D Underwater Object Recognition Using Ultrasonic Sensor Fabricated with 1-3 type Piezoelectric Composites and Invariant moment

Hyun-Chul Cho
Kyungbuk College

**Abstract**-In this study, 3-D underwater object recognition using ultrasonic sensor fabricated with PZT-Polymer 1-3 type composites and invariant moment vector and SOFM(Self Organizing Feature Map) neural networks are presented. The recognition rates for the training data and the testing data were 99% and 93%, respectively.

## 1. 서 론

수중음파(sonar signal) 영상처리, 어군탐지 등 수중음파 시스템 및 지능로봇 제어 등에 응용되는 3차원 물체인식은 컴퓨터비전 분야에서 중요한 기술의 하나로 간주되고 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 그 능률은 달라진다.

일반적으로 수중음파 시스템은 송·수신 수중음파의 시간경과 및 왜곡을 분석하여 물체에 대한 중요한 정보를 획득하는데, 여기서 신호획득·잡음제거, 특징추출 및 분류기법으로 신경회로망이 이용되고 있다. R.P. Gorman 등[1]은 Backpropagation 신경회로망을 이용하여 수중음파 물체탐지 시스템을 연구하였고, D. Specht[2]는 통계적 신경회로망을 이용하여 잠수함을 탐지하는 연구를 수행하였다. 그러나 전자는 히든 층을 24개까지 경험적으로 선택하였으며, 후자는 잠수함의 경우 70%의 정확도를 나타내고 있다. 본 연구진 또한 잠수함 탐지 및 수중탐사 응용을 위한 수중 물체인식에 관한 연구를 수행하였다[3]. SOFM 신경회로망과 초음파 센서를 이용한 수중 물체인식 실험에서 수중 물체 인식율은 상당히 우수함을 보여주고 있으나 고정물체인식이라는 한계점을 가지고 있었다. 즉, 수중 물체의 인식시스템은 수중 물체의 위치이동에도 동일 물체로 인식하는 융통성 있는 인식 시스템이 요구되고 있으나 변위된 수중 물체의 인식에는 낮은 인식율을 보여주었다.

본 연구에서는 이의 한계를 극복하기 위해 물체의 특징점을 추출하고, 그를 신경회로망의 입력데이터로 활용함으로써 융통성 있는 수중 물체인식시스템을 검토한다. 여기서 특징점 추출에는 컴퓨터비전 기법인 불변모멘트 벡터를 이용하고, 수중 물체정보 획득에는 본 연구진이 자체 제작한 PZT-polymer 1-3형 composits 초음파센서(이하 1-3형 초음파센서라 칭한다)[4]를 이용한다.

## 2. 불변모멘트 벡터

물체의 위치이동 및 회전에 관계없이 동일물체로 인식하기 위해서는 물체변위에 무관한 물체의 특징점을 추출해야 하는데, 이는 패턴인식 분야에서 중요하다. 본 연구에서는 컴퓨터 비전기법의 불변 모멘트 벡터를 이용하여 물체변위에 무관한 수중 물체의 특징점을 추출한다. 일반적으로 입력패턴을 2진수로 고려하면 모멘트는 식(1)과 같다.

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

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

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

식 (2)의 무게 중심을 이용하여 평면이동에 불변하는 모멘트를 구하면 다음과 같다.

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

또한 회전에 불변인 모멘트는 식(4)와 같다.

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

이것으로 부터 M.K. Hu는 다음의 7가지 물체변위에 불변하는 함수를 정의한다[5].

$$\begin{aligned}
\phi_1 &= \eta_{20}+\eta_{02}\\
\phi_2 &= (\eta_{20}-\eta_{02})^2+4\eta_{11}^2\\
\phi_3 &= (\eta_{30}-3\eta_{12})^2+(3\eta_{21}-\eta_{03})^2\\
\phi_4 &= (\eta_{30}+\eta_{12})^2+(\eta_{21}+\eta_{03})^2\\
\phi_5 &= (\eta_{30}-3\eta_{12})(\eta_{30}+\eta_{12})[(\eta_{30}+\eta_{12})^2-3(\eta_{21}+\eta_{03})^2]+(3\eta_{21}-\eta_{03})(\eta_{21}+\eta_{03})\cdot\\
&\quad [3(\eta_{30}+\eta_{12})^2-(\eta_{21}+\eta_{03})^2]\\
\phi_6 &= (\eta_{20}-\eta_{02})[(\eta_{30}+\eta_{12})^2-(\eta_{21}+\eta_{03})^2]+4\eta_{11}(\eta_{30}+\eta_{12})(\eta_{21}+\eta_{03})\\
\phi_7 &= 3(\eta_{21}-\eta_{30})(\eta_{30}+\eta_{12})[(\eta_{30}+\eta_{12})^2-3(\eta_{21}+\eta_{03})^2]+(3\eta_{21}-\eta_{30})(\eta_{21}+\eta_{03})\cdot\\
&\quad [3(\eta_{30}+\eta_{12})^2-(\eta_{21}+\eta_{03})^2]
\end{aligned} \tag{5}$$

## 3. SOFM 신경회로망

수중의 물체를 분류하기 위해 사용된 SOFM 신경회로망은 다음과 같은 학습알고리즘을 가진다[3].

$$\omega r(t+1) = \omega r(t) + \alpha(t) \cdot hrs(t) \cdot [V(t) - \omega r(t)] \quad (6)$$

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

여기서 $\omega r(t)$는 시간 t에서 r번째 weight 벡터, $\alpha(t)$는 학습계수, $hrs(t)$는 근접 상호작용함수, $V(t)$는 시간 t에서의 입력 벡터를 나타낸다.

## 4. 실험장치 및 방법

### 4.1 1-3형 초음파 센서 제작

먼저 PbO, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ 및 $TiCl_4$ 수용액을 출발원료로 사용하여 PZT분말 및 PZT소결체를 제조한 후 이들과 고분자 매질(matrix)인 eccogel 1365-45와 20Vol.%의 체적비로 조합·경화시켜 1-3형 복합압전체 시편을 제조한다. 이들 시편의 양면에 상온용 은전극을 도포하여 30KV/cm의 전계로 10분간 분극처리를 행한다. 그리고 제조된 1-3형 복합압전체 소자를 진동자로 사용하여 초음파 센서를 제작하는데, 초음파 센서의 외관은 음향 임피던스가 비교적 큰 내경이 15㎜인 알루미늄 파이프를 사용한다. 그리고 파이프의 한 쪽은 진동자를 고정시키고 다른 한 쪽은 BNC 콘넥터를 부착하며 진동자 주위는 실리콘고무로 밀폐시킴으로써 수중에서의 각종 초음파 특성을 조사할 수 있는 구조로 제작한다[4].

제조된 시편의 유전특성은 LF Impedance Analyzer(HP4192A)로 측정하며, 압전특성은 Piezo $d_{33}$-Meter(Berlincourt), 공진특성은 Network Analyzer(HP4194A)와 X-Y Plotter(HP7475A)를 이용하여 측정한다. 그리고 이로부터 전기기계결합계수 및 음향임피던스 등을 계산한다.

### 4.2 실험장치 및 방법

표 1의 실험장치와 자체 제작한 1-3형 초음파 센서를 이용하여 센서 중심을 기준으로 먼저 y축으로 1cm간격으로 16 step이동 시킨 후 x축으로 1cm이동시키는 동작을 반복하여 한 픽셀의 크기가 x축으로 1cm, y축으로 1cm인 16×16픽셀의 수중 실험물체 거리정보를 획득하였다. 그림 1은 가로, 세로, 높이가 16cm×16cm×7.5cm인 작업영역을 나타낸다.

표 1. 실험장치

| 실험장치명 | 모 델 명 | 회 사 명 |
|---|---|---|
| 수 조 | upk-T | Physical Acoustic Co. |
| Pulse Receiver | 1010PR | ACCU-TRON Inc. |
| Software | Testpro System | Infomatics Inc. |

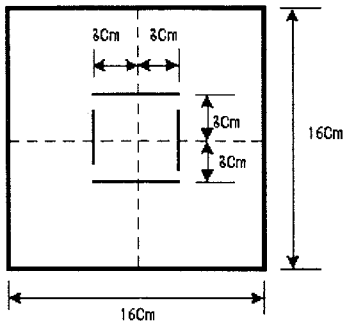


그림 1. 작업영역

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.

표 2. 실험물체의 크기와 평면이동 패턴

| 변위 / 실험물체 | 기준점 | 평면이동[cm] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 좌3 | 우3 | 상3 | 하 3 |
| 정사각기둥[cm] W7.3×L7.3×H2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 직사각기둥 [cm] W11×L8×H2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 원통 [cm] D8.5×H2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

( ○ : 패턴 유 x: 패턴 무)

수중 물체의 위치이동에 관계없이 동일물체로 인식하기 위해 전처리된 수중 물체정보와 불변모멘트 기법을 이용하여 수중 물체의 특징점이 되는 불변모멘트 벡터를 추출한다. 표 2는 실험에 사용된 물체와 이동의 패턴을 나타낸다. 수중 물체의 이동에 무관한 물체인식 실험을 위해 정사각기둥, 직사각기둥, 원통형의 각각 5개의 패턴을 만들어 총 15개 패턴을 만들고, 패턴당 10개의 데이터로 총 150개의 3차원 물체정보를 초음파 센서에 의해 획득한다. 그리고 이들을 각각 식 (5)에 적용시켜 7개의 불변모멘트 벡터를 계산한다. 150개의 데이터에 대한 불변모멘트 벡터 중에서 90개를 분류 신경회로망인 SOFM 신경회로망의 학습(training)데이터로 이용하였고, 나머지 60개는 시험(testing)을 위해 사용한다.

SOFM 신경회로망은 정사각기둥, 직사각기둥, 원통형 3개의 수중 물체입력을 분류하기 위해 출력 neuron space를 10×10, 입력벡터 V를 7차원으로 구성하고 30회 반복학습 시켰다.

## 5. 실험결과

표 3. 원기둥 수중 물체의 불변 모멘트 벡터

| 모멘트 벡터 | original | 하 3cm | 상 3cm | 우 3cm | 좌 3cm |
|---|---|---|---|---|---|
| $\phi_1$ | 0.162089 | 0.162685 | 0.160936. | 0.161022 | 0.160412 |
| $\phi_2$ | 0.000004 | 0.000120 | 0.000018 | 0.000045 | 0.000008 |
| $\phi_3$ | 0.000022 | 0.000015 | 0.000002 | 0.000130 | 0.000009 |
| $\phi_4$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_5$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_6$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_7$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

표 4. 직사각기둥 수중 물체의 불변 모멘트 벡터

| 모멘트 벡터 | original | 하 3cm | 상 3cm | 우 3cm | 좌 3cm |
|---|---|---|---|---|---|
| $\phi_1$ | 0.165419 | 0.166344 | 0.165419 | 0.166741 | 0.167615 |
| $\phi_2$ | 0.000234 | 0.000156 | 0.000234 | 0.000294 | 0.000168 |
| $\phi_3$ | 0.000004 | 0.000005 | 0.000004 | 0.000001 | 0.000007 |
| $\phi_4$ | 0.000002 | 0.000001 | 0.000002 | 0.000001 | 0.000001 |
| $\phi_5$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_6$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_7$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

표 5. 정사각기둥 수중 물체의 불변 모멘트 벡터

| 모멘트 벡터 | original | 하 3cm | 상 3cm | 우 3cm | 좌 3cm |
|---|---|---|---|---|---|
| $\phi_1$ | 0.176959 | 0.172650 | 0.172994 | 0.170862 | 0.171174 |
| $\phi_2$ | 0.003396 | 0.002678 | 0.002602 | 0.001463 | 0.002229 |
| $\phi_3$ | 0.000006 | 0.000010 | 0.000012 | 0.000001 | 0.000002 |
| $\phi_4$ | 0.000001 | 0.000002 | 0.000002 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_5$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_6$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\phi_7$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

표 3~5는 각 물체의 위치변화에 따른 불변모멘트 벡터 $\phi_1 \sim \phi_7$의 값을 나타낸 것인데, 표에서 보듯이 이 벡터들은 일정한 범위내의 값을 가짐으로 수중 물체를 구별할 수 있는 특징이 됨을 알 수 있었다. 표 6은 불변모멘트 벡터를 입력으로 사용한 SOFM 신경회로망의 학습 후 수중 물체인식률을 나타내는데, 학습데이터의 경우는 99%, 시험데이터는 93%로서 수중 물체의 평면이동에 관계없이 동일 물체로 인식하는 높은 인식률을 보였다. 여기서 오인식의 원인으로는 실험환경의 온도변화에 따른 초음파 센서 검출데이터의 불변 모멘트 영향으로 생각된다[6].

표 6. 30회 반복학습 후의 수중 물체인식률

| 인식률 / 수중 물체 | 학습데이터 | | 시험데이터 | |
|---|---|---|---|---|
| | 데이터 수 | 인식률 | 데이터 수 | 인식률 |
| 정사각기둥 | 30 | 100% | 20 | 95% |
| 직사각기둥 | 30 | 100% | 20 | 95% |
| 원 통 | 30 | 97% | 20 | 90% |

## 6. 결 론

본 연구에서는 수중 물체의 평면이동에 관계없이 동일물체로 인식하기 위해 7개의 불변모멘트 벡터를 SOFM 신경회로망의 입력으로 사용하였다. 간단한 입력데이터 처리와 짧은 학습 시간으로도 물체의 평면이동변화에 관계없이 동일 물체로 인식하는 높은 인식률을 보임으로써 융통성 있는 수중의 인식 시스템으로 응용할 수 있음을 보여 주고 있다. 또한 본 연구에서 제작한 1-3형 초음파 센서는 성능지수가 높아 거리검출 능력이 우수함을 확인하였다. 그러나 본 연구에서 제작된 1-3형 초음파 센서는 수중 물체의 검출거리가 제한되어 있어 먼거리의 검출도 가능한 초음파 센서의 개발에 대한 연구가 계속적으로 진행되어야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]


[1] R. Gorman and T. Sejnowski, "Analysis of Hidden Units in a Layered Neywork Trained to Classify Sonar Targets", Neural Networks, Vol.1, pp. 75~89, 1988.

[2] D. Specht, "Probabilistic neural networks and the polynomial adaline as complementary technigues for classification", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 1, pp. 111~121, 1990.

[3] 조현철, 이기성, "1-3형 복합압전체 초음파센서를 이용한 3차원 수중 물체인식", '99대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 560~562, 1999, 7.

[4] 조현철, 이기성, 최헌일, 사공건, "1-3형 복합압전체로 제작한 초음파트랜스듀서와 신경회로망을 이용한 3차원 수중 물체복원", 대한전기학회 논문지, Vol. 48, No. 6, pp. 456~461, 1999. 6.

[5] M.K. Hu, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE Trans. Information Theory, Vol.8, pp. 179-187, Feb. 1962.

[6] C.T. The and R.T. Chin, "On Digital Approximation of Moment Invariants", Computer Vision, Graphics, and Image Processing 33, pp. 318~326, 1986.