

표적신호 음향산란 특징파라미터를 이용한 패턴인식에 관한 연구

Pattern Recognition for the Target Signal Using Acoustic Scattering Feature Parameter

주재훈, 신기철, 김재수

ABSTRACT

Target signal feature parameters are very important to classify target by active sonar. Two highly correlated broadband pulses separated by time T have a time separation pitch(TSP) of $1/T$ Hz which is equal to the trough-to-trough or peak-to-peak spacing of its spectrum. In this study, TSP informations which represent feature of each target signal were effectively extracted by the FFT. The extracted TSP feature parameters were also applied to pattern recognition algorithm to classify target and to analyze their properties.

1. 서론

소나 시스템의 운용 목적은 첫째 표적을 탐지하고 나아가 표적에 대한 정보, 즉 표적의 종류, 크기, 운동상태 등을 분석하여 표적을 식별 또는 분류하는데 있다. 특히 능동소나를 사용하여 표적을 분류하려면 먼저 표적 반향음에 대한 특성을 분석하고, 이것에 대한 특징 파라미터(feature parameter) 추출 및 정량화 과정이 필수적이다. 수중 표적의 반향음은 여러 가지 복잡한 메커니즘에 의해 형성되고, 표적으로부터 수신된 신호는 여러 개의 반향음 성분에 의해 하이라이트(highlight)를 구성한다. 시간영역에서 두 개의 하이라이트가 T 의 시간 간격으로 떨어져 있을 때 스펙트럼에서 리플(ripple)들의 주파수 간격은 $1/T$ 와 같이 되는데 이와 같은 피치(pitch)를 TSP(Time Separation Pitch)라고 한다. 이러한 TSP 정보는 표적의 내부 및 외부 형상, 자세각, 종류 등에 따라 달라지는 축소표적 신호의 중요한 특징중의 하나일 뿐만 아니라 돌고래와 같이 음향으로 표적을 탐지, 식별하는 수중동물의 경우 TSP를 사용하여 표적의 크기, 종류 등을 알아낸다는 사실이 연구

되었다[2][3][4].

본 논문에서는 축소표적 반향음 실험으로 얻은 표적신호 데이터를 분석하고 TSP 특징 파라미터를 효과적으로 추출하여 최근 연구가 활발하게 진행되는 문자, 화상, 음성 인식 등의 패턴인식 알고리즘에 적용하여 그 결과를 분석하였다.

2. 표적의 음향산란 특성

2.1 축소표적 반향음 실험

패턴인식에 사용된 반향음 데이터는 3차례의 축소표적 반향음 실험을 통하여 얻었다. 실험에 사용된 표적의 종류는 Fig. 1에 나타난 4개의 표적을 사용하였으며, 송신 펄스는 Table 1에 설명된 펄스1과 펄스2를 사용하였다. 각각의 표적에 대한 반향음은 표적의 자세각을 변화시키면서 얻었는데, 표적1, 2번은 자세각 0도에서 90도까지 5도 간격으로, 표적3, 4번은 0도에서 180도까지 5도 간격으로 하였다. 자세각에 대한 정의 및 설명은 Fig. 2에 나타내었다[7].

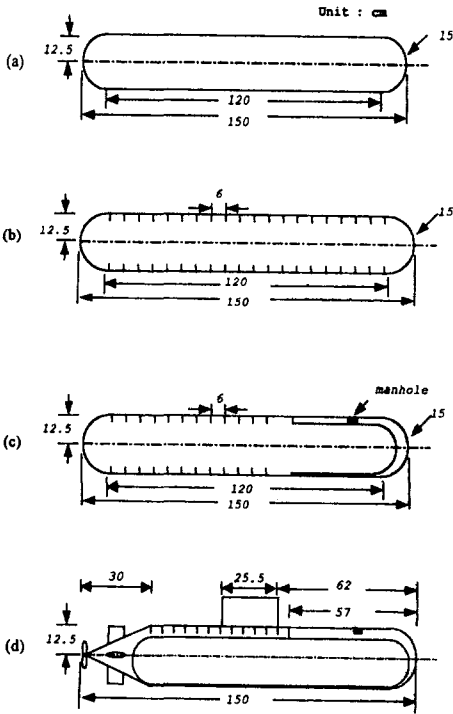


Fig. 1 반향음 실험에 사용된 표적 : (a) 표적1, (b) 표적2, (c) 표적3, (d) 표적4

| 펄스종류 | 펄스길이 | 중심주파수 | 대역폭 | 약칭 |
|------------|------------|--------|-------|-----|
| Tone Burst | 36 μ S | 420kHz | . | 펄스1 |
| Linear FM | 1.0ms | 420kHz | 30kHz | 펄스2 |

Table 1 반향음 실험에 사용된 송신펄스 종류

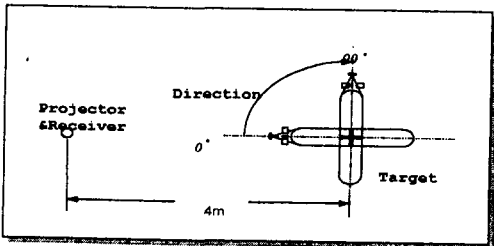


Fig. 2 자세각의 정의

2.2 축소표적 신호의 특징

축소모형 표적신호의 여러 가지 반향음 성분 중에서 주된 반향음 성분은 거울면 반사(specular reflection)이고, 또 다양한 반향음 형성요인에 의해 표적신호는 여러 개의 하이라이트로 구성된다[5][7]. 이렇게 여러 개의 하이라이트로 구성된 신호는 또한 스펙트럼에서 독특한 특징을 나타낸다. 다음은 음원신호와 상관성이 높은 두 개의 시간 지연된 복제파(replica)의 스펙트럼 특성에 대해 설명하였다.

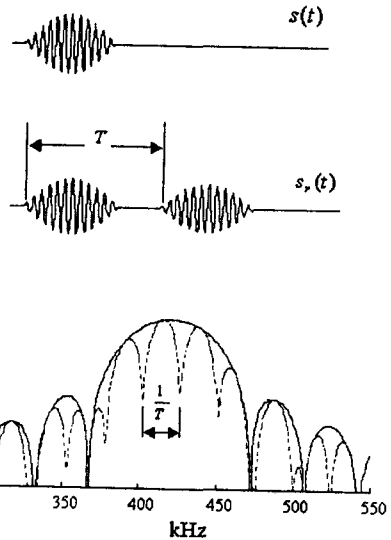


Fig. 3 시간 지연된 신호의 TSP

Fig. 3과 같이 시간 T 의 간격으로 지연된 복제파가 합쳐진 광대역 신호, 즉 두 개의 하이라이트로 구성된 신호는 식(1)로 표현된다.

$$s_r(t) = s(t) + as(t-T) \quad (1)$$

여기서 $s(t)$ 는 음원 신호이고 a 는 감쇠상수를 나타낸다. 식(1) $s_r(t)$ 의 푸리에 변환은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[s_r(t)] &= S_r(f) \\ &= S(f) + ae^{-j2\pi fT}S(f) \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)의 $S(f)$ 는 복소수이므로 실수부분과 허수부분으로 나눌 수 있으며, 지수(exponential) 항은 삼각함수에 의해 바꿀 수 있다. 따라서 $S_r(f)$ 는 식(3)과 같이 된다.

$$S_r(f) = \frac{[S_R(f) + jS_I(f)] \cdot [1 + a\cos(2\pi fT) - j\sin(2\pi fT)]}{(3)}$$

여기서 $S_R(f)$ 는 $S(f)$ 의 실수 부분, $S_I(f)$ 는 $S(f)$ 의 허수 부분을 나타낸다. 식(3)을 실수 부분과 허수 부분을 분리하여 정리하면, 다음의 식(4)를 얻는다.

$$S_r(f) = S_R(f)[1 + a\cos(2\pi fT)] + S_I(f)a\sin(2\pi fT) + j\{S_R(f)[1 + a\cos(2\pi fT)] - S_I(f)a\sin(2\pi fT)\} \quad (4)$$

따라서, 스펙트럼의 크기는 식(5)와 같이 된다.

$$|\mathcal{F}[s(t) + as(t-T)]| = \sqrt{1 + a^2 + 2a\cos(2\pi fT)} |S(f)| \quad (5)$$

스펙트럼에서 리플(ripple)의 간격은 식(5)의 $\cos(2\pi fT)$ 항에 의해 결정되며, 스펙트럼의 최고점(peaks)은 $\cos(2\pi fT) = 1$ 또는 식(6)과 같을 때 나타난다.

$$f = (n-1)\frac{1}{T}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

또한 스펙트럼의 골(troughs)은 $\cos(2\pi fT) = -1$, 또는 식(7)과 같을 때 나타난다.

$$f = \frac{(2n-1)}{2T}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

따라서 T 의 시간간격으로 분리된 두 개의 하

이라이트로 구성된 신호의 스펙트럼의 리플 간격, 즉 골과 골 사이 간격은 $1/T$ 이 된다[3][4].

3. 표적 특징파라미터(TSP) 추출

3.1 송신펄스 종류에 따른 TSP

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 송신펄스가 펄스1, 펄스2일 때 표적신호의 시계열과 스펙트럼을 나타내고 있다. 두 신호 모두 두 개의 하이라이트가 시간 간격 $139 \mu s$ 로 분리되어 있다. 시간 영역에서 하이라이트 분해능이 높은 펄스1을 송신펄스로 사용한 표적신호는 시계열에서 하이라이트를 구별할 수 있고, 스펙트럼의 리플(ripple) 간격도 시간 간격의 역수인 $7.2kHz$ 로 나타나고 있다. 펄스2를 송신펄스로 사용한 표적신호는 시간영역에서 하이라이트를 구별할 수 없지만, 스펙트럼에서는 펄스1을 송신펄스로 사용한 경우와 마찬가지로 TSP의 효과가 똑같이 나타나는 것을 알 수 있다.

3.2 TSP 특징파라미터 추출

앞에서는 두 개의 하이라이트에 대해 TSP를 분석하였다. 세 개 이상의 하이라이트가 나타나는 경우 TSP는 이러한 하이라이트들간의 시간 간격의 조합으로 더욱 더 복잡한 형태가 된다. 그리고 표적의 종류, 표적의 자세각에 따라 하이라이트가 나타나는 시간적인 위치나 하이라이트의 크기가 달라지게 되어 TSP 또한 이것에 따라 다른 특징을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 이렇게 복잡하고 각 표적마다 다르게 나타나는 TSP 정보를 효과적으로 추출하여 정량화 시켜 표적신호 식별에 특징 파라미터로 이용할 수 있도록 하는 체계적인 방법을 마련하였다. TSP 정보 추출방법은 표적신호의 진폭(modulus) 스펙트럼의 관심이 있는 대역, 즉 TSP 정보를 포함하고 있는 부분을 잘라내어 한번 더 FFT를 시행한 다음 TSP를 추출하는 것이다. 스펙트럼의 값을 다시 한번 더 푸리에 변환을 시키면 스펙트럼 리플의 진동(oscillation) 정보, 즉 TSP를 얻을 수 있다. 다음은 TSP 추출과 그에 대한 이론적인 관계에

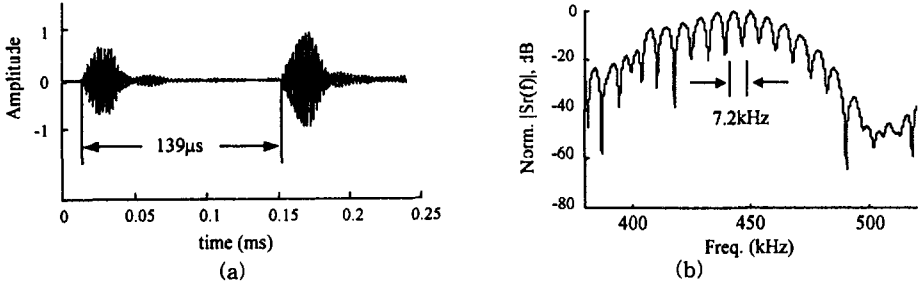


Fig. 4 송신펄스가 펄스1인 경우의 TSP (표적4 자세각 90°)

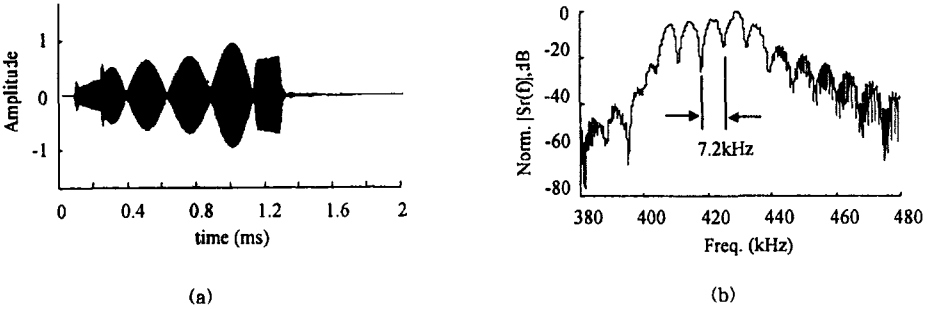


Fig. 5 송신펄스가 펄스2인 경우의 TSP (표적4 자세각 90°)

대한 설명이다.

먼저, 표적신호의 진폭 스펙트럼을 구한다. 이때 스펙트럼은 TSP의 정보를 가지고 있다. 즉 스펙트럼의 리플간의 간격이 TSP를 나타내고 있다. 표적신호는 광대역 송신신호를 사용하여 얻어진 신호를 사용하는 것이 효과적이다. 주파수 간격 Δf 는 FFT 포인트수 N 과 샘플링 주파수와 관계가 있다.

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} \tag{8}$$

두 번째 과정은 진폭 스펙트럼의 유효 대역만을 잘라내어 잡음과 스펙트럼의 부엽(side lobe)에 의한 오차의 영향을 줄이고, 이것을 다시 FFT를 거쳐 “시간분리(time separation)”를 구한다. 여기서 FFT를 거쳐 주파수영역으로부터 변환된 영역은 편의상 시간분리영역이라고 한다. 시간분리는 식(8)의 Δf 와 관계 있는 식(9)

의 TSR (Time Separation Rate)에 의해 결정된다. 그리고 시간분리 간격(interval)은 식(10)과 같이 된다.

$$TSR = \frac{1}{\Delta f} = \frac{N}{f_s} \tag{9}$$

$$\delta_b = \frac{TSR}{N'} \tag{10}$$

여기서 N' 는 두 번째 시행한 FFT 포인트수이다. δ_b 는 각 하이라이트 간격을 구분하는 범위 내에서 적절히 작은 값을 사용하여 특징벡터의 데이터량을 줄이는 것이 좋다. 거리분해능 δ_r 는 δ_b 와 음속 c 로부터 식(11)과 같이 된다.

$$\delta_r = \frac{c\delta_b}{2} \tag{11}$$

본 논문에서 δ_r 은 대략 2cm 이내로 하였다.
결국 시간분리는 식(12)로 구할 수 있다.

$$ts = (0, 1, 2, \dots, N' - 1) \times \delta_{ts} \quad (12)$$

샘플링 이론과 마찬가지로 여기서도 TSR은
최대 시간분리의 2배 보다 같거나 커야 한다.

$$TSR = \frac{N}{f_s} \geq 2ts_{max} \quad (13)$$

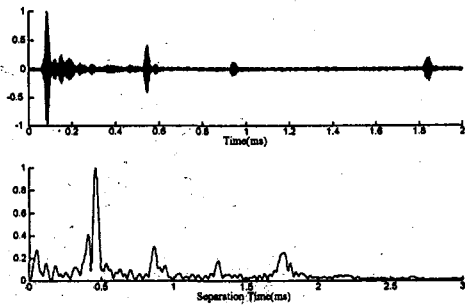


Fig. 6 송신펄스가 펄스1일 때 표적신호와 추출된 TSP (표적4 자세각 0°)

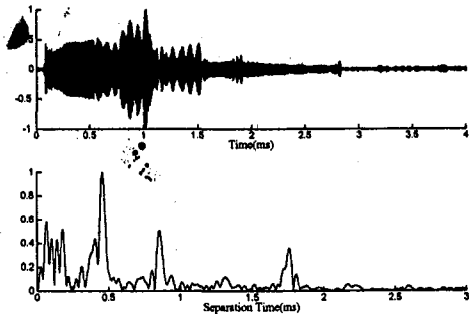


Fig. 7 송신펄스가 펄스2일 때 표적신호와 추출된 TSP (표적4 자세각 0°)

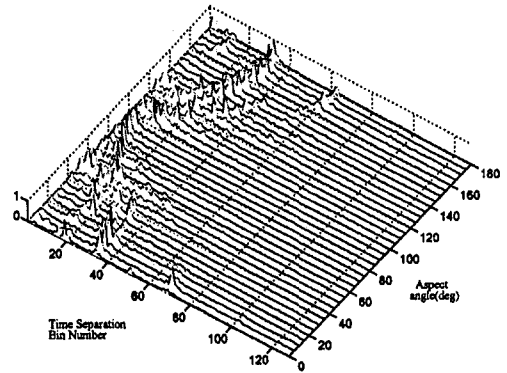


Fig. 8 송신펄스가 펄스1인 경우 표적4의 TSP 특징 파라미터

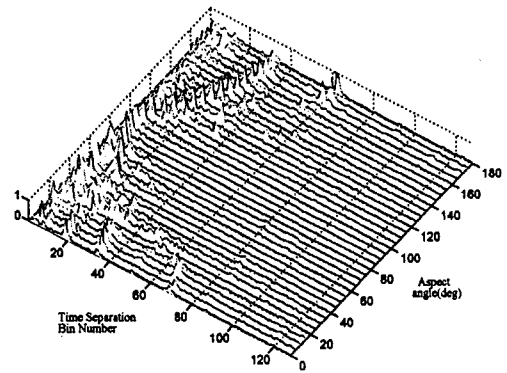


Fig. 9 송신펄스가 펄스2인 경우 표적4의 TSP 특징파라미터

Fig. 6과 Fig. 7은 송신펄스로 펄스1과 펄스2를 사용한 경우 표적4의 자세각이 0도인 반향음과 TSP 추출 결과를 보여주고 있다. 하이라이트를 구별할 수 있는 표적신호를 나타내는 Fig. 6에서 0.086ms, 0.546ms, 0.945ms, 1.842ms의 시간 위치에 4개의 하이라이트가 뚜렷이 나타나고, 첫 번째 하이라이트 부근에서는 에너지가 적은 여러 개의 하이라이트가 연속적으로 나타나고 있다. 하이라이트의 시간적 위치는 어느 정도 오차를 가지고 눈으로 읽어 기록한 값이다. 4개의 하이라이트 조합으로 얻을 수 있는 하이라이트간의 시간 간격은 0.460ms, 0.859ms, 1.756ms, 0.399ms, 1.443ms, 0.897ms로 6개이다.

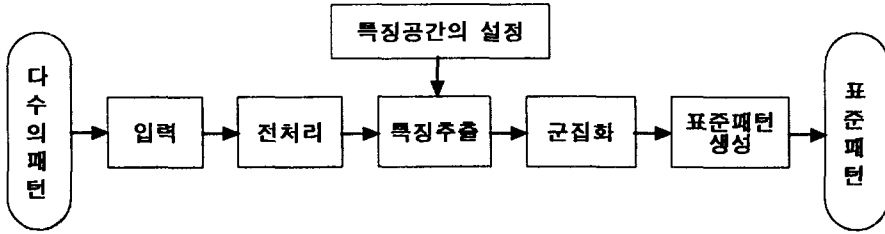


Fig. 10 표적 패턴분류 과정

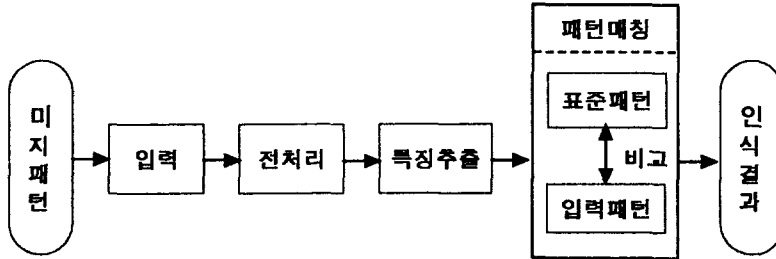


Fig. 11 표적 패턴인식 과정

Fig. 6과 Fig. 7에서 신호 대 잡음비(SNR)가 나쁜 세 번째 하이라이트와 네 번째 하이라이트에 의해 생기는 TSP를 제외한 5개의 TSP 정보가 0.460ms, 0.860ms, 1.755ms, 1.425ms로 거의 비슷하게 나타나고 있다. Fig. 8과 Fig. 9는 송신펄스가 펄스1, 펄스2일 때 자세각의 변화에 따른 표적4의 TSP 특징 파라미터를 나타내고 있다. 가로축은 TSP 정보가 들어있는 저장소(bin)의 번호이며, 세로축은 표적의 자세각을 나타낸다. 그림에서 보는 것과 같이 송신펄스가 다르더라도 자세각에 따른 특징 파라미터가 비슷한 패턴을 가지는 것을 알 수 있다.

4. 패턴인식 및 결과해석

4.1 패턴인식

패턴인식의 기본과정은 패턴분류(pattern classification) 과정과 패턴인식의 과정으로 나누어 생각할 수 있다. 능동소나 반향음에 대한 패턴분류 과정은 Fig. 10에서와 같이 몇 단계로 나누어진다[7]. 첫 번째로 입력 단계에서는 음향 수신기를 통해 연속신호로 받아드린 패턴에 대하여 A/D변환과 양자화를 수행하고, 전처리 단

계에서는 입력패턴의 크기 및 기울기를 조절(normalization)하거나 신호에 섞인 잡음성분을 제거하는 등의 처리를 수행한다. 특징공간의 설정단계에서는 입력패턴을 정확히 표현하고 데이터 량을 줄이기 위해 어떤 것들을 특징으로 삼아야 하는지를 결정하여 이 특징들을 축으로 하는 공간을 설정한다. 특징추출 단계에서는 각 특징값을 구하여 입력패턴을 특징공간으로 이동시킨다. 본 논문에서는 TSP정보를 추출하여 특징파라미터로 선택하여 패턴인식에 이용하였다. 다음은 군집화(clustering) 단계에서는 특징공간에 있는 입력패턴들을 몇 개의 군집으로 무리를 지운다. 마지막으로 표준패턴(reference data) 생성 단계에서는 각각의 군집에 속한 패턴들의 대표값으로 표준패턴을 생성한다[3][8].

패턴분류를 수행한 다음, 미지의 패턴(test data)이 입력되었을 때 그 패턴이 속하는 클래스 결정하는 인식(recognition) 처리를 수행하게 되며, 인식과정은 Fig. 11과 같이 몇 단계로 나누어 고찰할 수 있다. 여기서, 입력단계에서는 특징추출 단계까지는 패턴분류 과정과 같다. 패턴매칭(pattern matching) 단계에서는 입력패턴

| | | Reference Data | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|----------------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|
| | | 표적1 | | | | | 표적2 | | | | | 표적3 | | | | |
| | | 0° | 15° | 45° | 60° | 90° | 0° | 15° | 45° | 60° | 90° | 0° | 15° | 45° | 60° | 90° |
| T e s t d a t a | 표 적 1 | 0° | 75% | | | 20% | 5% | | | | | | | | | |
| | | 15° | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | 45° | | | 100% | | | | | | | | | | | |
| | | 60° | | | | 100% | | | | | | | | | | |
| | | 90° | | | | | 80% | | | | 5% | | | | | 15% |
| | 표 적 2 | 0° | 5% | | | | 55% | | | | | 40% | | | | |
| | | 15° | | 40% | | | | 60% | | | | | | | | |
| | | 45° | | | 50% | | | | 50% | | | | | | | |
| | | 60° | | | | 10% | | | | 80% | | | | | 20% | |
| | | 90° | | | | | 45% | | | | 50% | | | | | 5% |
| | 표 적 3 | 0° | | | | | | | | | | 100% | | | | |
| | | 15° | | | 20% | | | | 20% | | | | 60% | | | |
| | | 45° | | | | | | | | | | | | 100% | | |
| | | 60° | | | | 5% | | | | | 15% | | | | 80% | |
| | | 90° | | | | | 20% | | | | | 30% | | | | 50% |

Table 2 외부형상이 비슷한 표적의 패턴인식 결과

| | | Reference Data | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------|--|
| | | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | | |
| T e s t D a t a | 0° | 100% | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15° | | 80% | | | | | | | | | | 5% | | | |
| | 30° | 45% | | 55% | | | | | | | | | | | | |
| | 45° | | | 5% | 55% | 10% | | | 5% | 20% | 5% | | | | | |
| | 60° | | | | | 80% | | | 20% | | | | | | | |
| | 75° | | | | | | 50% | 5% | 45% | | | | | | | |
| | 90° | | | | | | | 100% | | | | | | | | |
| | 105° | | | | | | | 20% | 40% | 40% | | | | | | |
| | 120° | | 10% | | | | | | 20% | 70% | | | | | | |
| | 135° | | | | | | | | | 15% | | 85% | | | | |
| | 150° | | | | | | | | | | | | 100% | | | |
| | 165° | | | | | | | | | | | | | 100% | | |
| | 180° | | | | | | | | | | | | | | 35% 65% | |

Table 3 외부형상이 복잡한 표적4의 패턴인식 결과

에서 추출한 특징과 미리 정하여 놓은 표준패턴의 특징의 유사척도(similarity measure)를 비교하여 식별하는 것을 말한다. 이때 사용되는 유사척도에는 여러 가지가 있으나, 여기서는 유클리드 거리를 사용하여 입력 파라미터와 표준 파라미터의 유사척도를 비교하였다. 입력 파라미터를 E_i , 표준 파라미터를 $E_i(k)$, $i = 1, 2, \dots, N$ 라 하면 유클리드 거리는 다음의 식(14)과 같이 된다[2][3][4][8].

$$d_k = \sqrt{\sum_{i=1}^N [E_i - E_i(k)]^2} \quad (14)$$

여기서 k 는 저장된 표준 파라미터의 수, 즉 클래스의 수를 나타내며, d_k 가 가장 적은 것이 가장 유사한 표적을 나타낸다[3].

4.2 결과 분석

패턴인식은 '외부형상이 비슷한 표적'에 대한 표적 종류 구별 및 자세각 구별, '외부형상이 복잡한 표적'에 대한 자세각 구별로 나누어 시행하였다.

· 외부형상이 비슷한 표적의 패턴 인식

Table 2는 외부형상이 비슷하지만 내부 구조

가 다른 표적1, 2, 3에 대한 패턴 인식 결과를 나타내고 있다. 표준패턴은 각 표적의 자세각을 변화시켜가면서 여러 차례 획득한 표적 반향음으로부터 특징파라미터를 추출하고 이 특징 파라미터의 평균값으로 구성된 특징벡터이다. 입력패턴(test data)은 표준패턴과 비교하기 위해 각 표적의 자세각을 변화시켜 가면서 획득한 개개 반향음의 특징 파라미터이다. 패턴인식은 유사도 척도에 의해 16개의 반향음을 사용한 입력패턴이 기존에 저장된 표준패턴에 해당된 횟수의 비율을 나타내었다. 올바른 인식률은 표의 대각 항이 된다. 표적종류 인식에서 표적 1번의 인식률이 75%이상으로 가장 좋았고, 표적 2번과 3번은 50%이상 인식되었다. 그러나 여기에서 특정 표적을 올바르게 인식하지 못하지만 자세각은 비슷하게 인식하는 것을 알 수 있는데, 이것은 표적1, 2, 3번의 반향음이 특정 자세각에서 거의 비슷하게 나타나기 때문이다. 특히 표적2와 표적1의 반향음 특징이 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다.

· 외부형상이 복잡한 표적4에 대한 자세각인식

Table 3은 표적4에 대한 자세각 패턴인식 결과를 나타내고 있다. 표준패턴과 입력패턴은 앞의 '외부형상이 비슷한 표적의 패턴인식'과 같은 것을 의미하고, 입력패턴도 16개의 반향음을 사용하였다. 외부형상이 복잡한 표적의 경우 몇 가지 자세각을 제외하고는 인식률이 80%이상으로 나타났으며, 이것은 각각의 자세각마다 반향음이 독특한 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

능동소나를 이용하여 표적 분류를 위해서는 다양한 방법으로 얻어진 반향음 실험 데이터를 분석하여 이에 해당하는 특징파라미터를 추출하는 과정이 매우 중요하다. 본 논문에서는 축소표적의 반향음 특성을 잘 반영하고 있는 TSP 정보를 반향음의 스펙트럼으로부터 FFT를 이용하여 효과적으로 추출하고 분석하였다. 또한 추출한 TSP 특징파라미터를 패턴인식 알고리즘에 적용하여 표적을 분류하였다.

외부형상이 비슷하지만 내부 구조가 다른 표적들에 대한 패턴인식 결과들 가운데 표적종류 인식에서 표적 1번의 인식률이 75%이상으로 나타났고, 표적 2번과 3번은 50%이상 인식되었다. 하지만 특정표적을 올바르게 인식하지 못하지만 자세각은 비슷하게 인식되었는데, 이것은 표적1, 2, 3번의 반향음이 특정 자세각에서 거의 비슷하게 나타나기 때문이다. 외부형상이 복잡한 표적4에 대한 자세각인식에서는 몇 가지 자세각을 제외하고는 인식률이 80%이상으로 나타났으며, 이것으로부터 각각의 자세각마다 반향음이 독특한 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

[참고문헌]

1. Guillermo C. Gaunard, Donald Brill, Hanson Huang, "Signal processing of the echo signatures returned by submerged shells insonified by dolphin 'clicks': Active classification," J. Acoust. Soc. Am. 103(3), pp. 1547-1556, March 1998
2. Paul Chestnut, Helen Landsman, and Robert W. Floyd, "A sonar target recognition experiment," J. Acoust. Soc. Am. 66(1), pp. 140-147, July 1979
3. Whitlow W.L. Au, "The Sonar of Dolphins," Springer-Verlag, pp. 66-74, 1993
4. Martin D.W., and Au W.W.L., "An automatic target recognition algorithm using time-domain features," Animal Sonar: Process and Performance. New York: Plenum Press, pp. 829-833.
5. Scot F. Morse and Philip L. Marson, "High-frequency backscattering enhancements by thick finite cylindrical shells in water at oblique incidence: Experiments, interpretation, and calculations," J. Acoust. Soc. Am. 103(2), pp. 785-794, February 1998
6. Robert J. Urick, "Principles of Underwater Sound," McGraw-Hill Book Company, 3rd Edition, pp. 317-325, 1983
7. 신기철, 김재수 외, "수중 축소표적의 음향산란에 관한 연구 - 실험과 분석," 한국해양공학회지, 제12권 4호, pp. 92-100, 1998. 11
8. 오영환, "패턴인식론," 正益社, pp. 16-61, 1991