

# MFCC를 이용한 수중소음원의 식별

황도진\* · 김재수\*

\*한국해양대학교 해양개발공학부

## Identification of Underwater Ambient Noise Sources Using MFCC

DO-JIN HWANG\*, JEA-SOO KIM\*

\*Division of Ocean Development Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Underwater Ambient Noise Sources 수중소음원, Endpoint Detection 끝점탐지, Feature Extraction 특징추출, Mel Frequency Cepstral Coefficient 멜-주파수 켈스트럴 계수

**ABSTRACT:** Underwater ambient noise originating from the geophysical, biological, and man-made acoustic sources contains much information on the sources and the ocean environment affecting the performance of the sonar equipments. In this paper, a set of feature vectors of the ambient noises using MFCC is proposed and extracted to form a data base for the purpose of identifying the noise sources. The developed algorithm for the pattern recognition is applied to the observed ocean data, and the initial results are presented and discussed.

### 1. 서 론

수중에 항상 존재하는 음파인 수중소음은 해양환경에 대한 많은 정보를 내포하고 있을 뿐만 아니라, 수중에서 운용되는 소나와 같은 탐지장비와 계측기기 및 통신장비 등의 성능에 거의 전적인 영향을 미치고 있다.

수중소음이 갖는 의미는 크게 기초과학분야, 산업분야 및 군사분야와 같이 3가지로 나누어 살펴볼 수 있는데 기초과학적인 측면에서의 수중소음은 해양의 지진활동 및 빙하활동, 고래나 물고기 새우 가재 바다사자 물개 등과 같은 해양생물학적인 활동, 바람과 그로인한 파도 및 강우 등과 같은 해양물리적인 환경과 밀접한 관련이 있다. 따라서 수중 소음원을 이용한다면 음원 기작(mechanism)의 요소(parameter)에 대한 관측과 역산에 활용될 수 있다. 또한, 수중 소음원은 산업적인 측면에서 해양계측장비에 영향을 줄 수 있는 어군탐지기, 측심기, 도플러 유속계, 측면주사소나 등의 설계 입력변수로서 활용된다. 군사적인 측면에서 주변소음은 탐지 능력의 척도인 신호대잡음비(SNR, Signal to noise ratio)를 결정하는데 큰 영향을 끼친다. 따라서 소음원의 시간 및 주파수영역에서의 특성을 파악하고 있다면,

을 통하여 신호대잡음비를 현저하게 개선할 수 있다.

본 연구의 목적은 수중에서 관측된 임의의 수중소음원을 탐지 및 식별하는 것으로 배경잡음이 존재하는 환경에서 수중소음원을 탐지하기 위해 영교차율(ZCR, Zero-crossing rate)과 구간 에너지 변화(Frame energy variation)를 이용하였고 탐지된 소음원과 참조 데이터(7종류, 20개)의 특징벡터를 구성하기 위하여 MFCC(Mel-frequency cepstral coefficient)를 적용하였으며 탐지된 소음원과 참조 데이터의 특징벡터 간의 유사도를 이용한 패턴비교과정을 통해 임의의 수중소음원을 식별하는 알고리즘을 구현하였다.

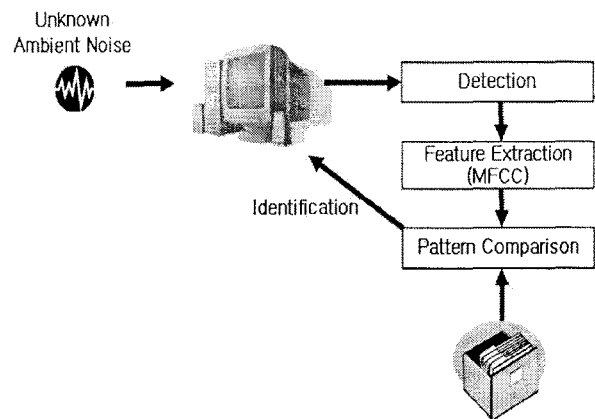


Fig. 1 Procedure of Identification

제 1저자 황도진 : 부산광역시 영도구 동삼 2동 한국해양대학교

051-410-4979 djhwang@bada.hhu.ac.kr

주변소음의 준위가 높은 경우에도 다양한 신호처리기법

## 2. 수중소음원의 탐지

배경잡음은 해양, 그 자체에서 발생하는 잡음을 말한다. 이는 해양 어디에서나 존재하며 무지향성 수신기에 의해서 수신되는 모든 주변소음의 일부분으로 수신기와 장비 등의 자체소음 및 소음원을 식별할 수 있는 모든 종류의 소음을 제외한 소음이다(조환래, 2003). 배경잡음이 섞인 미지의 수중소음원을 식별하는 것은 바람직하지 않으므로 수중소음원의 끝점을 탐지하여 배경잡음 구간을 제거해야 수중소음원을 식별하는데 좋은 결과를 얻을 수 있다. 에너지가 크고 주기적인 신호는 배경잡음과 잘 구분되지만 그렇지 않은 신호는 잡음과 비슷한 성질을 갖고 또한 에너지도 작아서 구분하기 쉽지가 않다. 특히 배경잡음의 레벨이 높으면 더욱 구분하기가 어려워진다.

신호의 끝점을 검출하는 알고리즘으로 음성인식에서 주로 쓰이는 영교차율과 구간 에너지 변화를 적용하는 방법을 들 수 있는데 시간 영역에서 간단하고 빠르게 끝점을 탐지할 수 있다.

본 논문에서는 영교차율을 적용하여 얻은 결과와 구간 에너지 변화를 적용하여 영교차율과 구간 에너지 변화율의 threshold를 정하고 변화율이 threshold를 넘나들면 끝점으로 탐지하게 하였고 영교차율과 구간 에너지 변화를 적용하여 얻은 결과가 동시에 만족하는 구간을 수중소음원 신호의 끝점으로 탐지하게 된다. 본 논문에서는 영교차율과 구간 에너지 변화율의 threshold를 각각  $\pm 0.3$ 과  $\pm 0.15$ 로 하였다.

### 2.1 영교차율

영교차율은 주어진 구간 내에 신호가 기준선인 0을 통과하는 횟수를 측정하는 것으로 이산 신호에서 연속 샘플링 값이 서로 다른 부호일 때 발생하는데 신호의 크기를  $s_i$ 라고 하고 샘플  $n$ 에 대한  $i$ 차 영교차율  $Z_i$ 는 다음과 같이 정의된다(반지혜, 2005).

$$Z_i = \sum_{n=1}^N \frac{|sgn(s_i(n)) - sgn(s_i(n-1))|}{2} \quad (1)$$

단, 여기서  $sgn|s_i(n)|$ 은 다음과 같다.

$$sgn|s_i(n)| = \begin{cases} 1 & s_i(n) > 0 \\ -1 & s_i(n) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

주파수가 서로 다른 수중소음원 신호와 배경잡음 신호가 합쳐지게 되면 그 구간에서는 영교차율 값의 변화가 발생하는데 이것을 통하여 신호의 끝점을 탐지할 수 있다.

### 2.2 구간 에너지 변화

일반적으로 배경잡음은 정재성(stationary)의 성질을 가지므로 미지의 수중소음원 신호가 탐지되면 신호의 구간(frame)별 에너지 변화가 일어나는 것을 이용하여 신호의 끝점을 탐지할 수 있다. 신호의 구간 에너지 변화  $E_v$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E_v = \sum_{n=1}^N M_t - \sum_{n=1}^N M_{t-1} \quad (3)$$

여기서  $M_t[n]$ ,  $M_{t-1}[n]$ 은 각각 현재의 프레임  $t$ 와 이전의 프레임  $t-1$ 에서 스펙트럼의 크기(magnitude)이다.

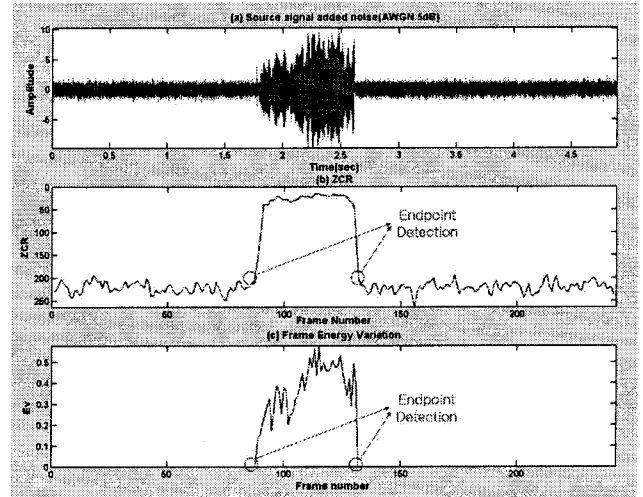


Fig. 2 Result of endpoint detection

- (a) Underwater ambient noise sources added noise(awgn 5dB)  
(b) ZCR (c) Frame Energy Variation

## 3. 특징추출 및 패턴비교

임의의 수중소음원을 식별하는데 신호 전체를 그대로 적용하는 것은 컴퓨터의 연산의 과다와 패턴비교에 필요한 계산량 등의 문제 때문에 효율적인 방법이라 할 수 없다. 이러한 이유로 수중소음원의 본질적인 특징을 잘 반영하는 특징벡터를 추출하여 필요한 정보로 압축하여 패턴비교를 수행하여야 한다.

### 3.1 특징추출

특징벡터는 음성 신호의 특성을 수치적으로 나타낸 것으로 다양한 음성신호의 분석과 정보 추출 알고리즘의 근본이 된다. 이 벡터는 전형적으로 하나의 고정된 차원을 가지므로 다차원 특징 공간에서는 하나의 포인트로써 생각할 수 있다(반지혜, 2005).

본 논문에서는 현재 음성 인식에서 널리 사용되고 있

는 특징추출 알고리즘인 MFCC를 이용하여 수중소음원의 특징벡터를 구성하였다.

수중소음원은 음성에 비하여 주파수 대역 및 그 특성 또한 다양하지만 음파라는 동일한 관점에서 수중소음도 기존의 음성인식 특징추출 방법들이 적용 가능하다.

MFCC는 인간의 귀가 저주파 영역에서 민감하고, 고주파 영역에서 둔감한 사실을 이용하여 Critical band filter(또는 Filter bank)를 통과시킨 것으로 음성인식 분야에서 우수한 성능을 보이고 있는 특징벡터이다.

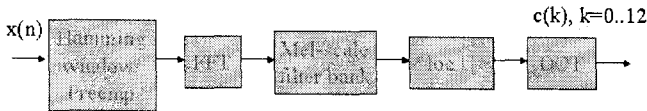


Fig. 3 Procedure of MFCC

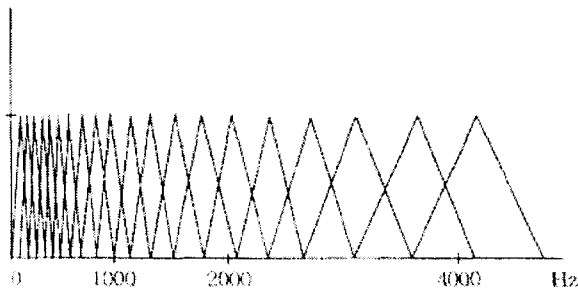


Fig. 4 Critical band filter

수중소음원은 소음원별 특징이 다양하고 변이가 심해 신호전체에 대해 특징벡터를 구성하여 식별하는 것은 바람직하지 않으므로 특징벡터를 구성하는 과정은 프레임 단위로 이뤄져야 한다.

Fig. 3은 MFCC를 구하는 과정을 Block diagram으로 나타낸 것이다. 시간영역 신호  $x(n)$ 이 입력되면 20ms의 프레임 단위로 분할한다. 이후 각 분할된 프레임을 50% overlap하면서 각 프레임에 Hamming window를 적용하고 FFT(Fast fourier transform)한 후 주파수 대역을 여러 개의 filter bank로 나누고 각 bank에서의 에너지를 구한다. 밴드 에너지에 로그를 취한 후 Discrete cosine transform(DCT)를 하면 최종적인 MFCC가 얻어진다. 필터뱅크의 모양 및 중심주파수의 설정 방법은 귀의 청각적 특성을 고려하여 결정된다. 본 논문에서는 Fig.4와 같이 삼각형 모양의 필터를 사용하였으며 중심주파수는 1kHz까지는 선형적으로 위치하고 그 이상에서는 mel단위로 분포하는 20개의 बैं크로 이루어져 있다. 여기서 mel단위와 Hz단위의 대응 관계는 다음과 같다.

$$F_{mel} = 2595 \log_{10} \left( 1 + \frac{F_{Hz}}{700} \right) \quad (4)$$

## 3.2 패턴비교

패턴비교(Pattern comparison)는 관측된 임의의 수중소음원에서 추출한 프레임별 특징벡터와 미리 구축해 놓은 참조 데이터의 프레임별 특징벡터 사이의 유사도(similarity measure)를 비교하는 것을 말한다.

유사도를 구하는 방법으로는 Euclidean distance, Mahalanobis distance, Itakura distance 등이 있는데 본 논문에서는 Euclidean distance를 적용하여 유사도를 구하여 패턴비교를 수행하였는데 일반적으로 다음과 같이 정의된다.

$$D = \| X - Y \| = \sqrt{(X - Y)'(X - Y)} \quad (5)$$

여기서 D는 Euclidean distance이고 X, Y는 각각 특징벡터를 나타낸다.

## 4. 실험 및 고찰

### 4.1 실험환경

본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 수중소음원 식별 실험을 수행하였다. 실험에서 사용한 참조 데이터는 인터넷 Website를 통해 수집한 7종류 20개의 수중소음원 자료를 사용하였으며 그 목록은 Table. 1과 같다.

Table. 1 List of underwater ambient noise sources

Type	Underwater ambient noise source data	Number of data
1	Atlantic croaker 1-2	2
2	Blackdrum 1-2	2
3	Blue whale 1-5	5
4	Humpback whale 1-3	3
5	Right whale 1-3	3
6	Snapping shrimp 1-2	2
7	Sonar 1-3	3

Table. 1과 같은 수중 소음원 자료에 대해 본 논문에서 제시한 방법대로 각 소음원에 대해 MFCC를 이용하여 특징벡터를 구성하였다. 또한 미지의 소음원으로 참조 데이터와 같은 종류로 각 1개씩을 추가로 수집하여 20개의 참조 데이터와 비교하게 하였다. 모든 소음원 자료의 샘플링 주파수는 11025Hz이고 신호대잡음비는 3dB, 프레임 크기는 20ms, 영교차율과 구간 에너지 변화율의 threshold를 각각  $\pm 0.3$ 과  $\pm 0.15$  그리고 AWGN

과 실측해양배경잡음으로 배경잡음환경을 모델링하였다.  
4.2 실험결과

Table. 2는 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 7개의 임의의 소음원에 대해 실험한 결과를 보여준다.

Underwater ambient noise source data	1st Identification	2nd Identification	3rd Identification
(Test)Atlantic croaker	Type_4 (37%)	Type_7 (31%)	Type_5 (12%)
(Test)Blackdrum	Type_5 (39%)	Type_2 (30%)	Type_3 (24%)
(Test)Blue whale	Type_3 (73%)	Type_2 (11%)	Type_5 (9%)
(Test)Humpback whale	Type_4 (45%)	Type_3 (13%)	Type_6 (10%)
(Test)Right whale	Type_5 (88%)	Type_2 (9%)	Type_4 (2%)
(Test)Snapping shrimp	Type_4 (58%)	Type_6 (20%)	Type_7 (14%)
(Test)Sonar	Type_7 (67%)	Type_4 (30%)	Type_2 (2%)

Table. 2에서 (Test)Atlantic croaker, (Test)Blackdrum 등의 7가지 데이터는 앞서 말한 참조 데이터와 종류가 같은 임의의 수중소음원 데이터이고 '1st Identification'은 가장 유사도가 높다는 것을 의미하며 '2nd Identification', '3rd Identification'은 각각 두 번째, 세 번째로 유사도가 높다는 것을 의미한다. 각 결과의 '%'수치는 임의의 수중소음원 데이터 각 프레임을 7가지의 Type의 모든 참조 데이터와 유사도를 측정하여 임의의 수중소음원이 7가지의 Type 중에서 어느 Type과 어느 정도 유사한지를 보여주고 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 영교차율과 구간 에너지 변화를 이용하여 잡음이 포함된 수중소음원 신호에서 신호의 끝점을 검출하고 MFCC를 이용하여 특징벡터를 추출하였으며 유클리드 거리를 적용하여 각 패턴간 유사도를 비교하여 임의의 수중소음원을 식별하는 알고리즘을 제안하였고 제안한 알고리즘을 수집한 데이터를 이용하여 성능을 실험해 보았다.

## 후 기

"이 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2005-202-D00589)"

## 참 고 문 헌

- 반지혜(2005). "Quick Audio Retrieval Using Multiple Feature Vector"
- 이성환(1994). "패턴인식의 원리 I권", pp 89-92
- 임태균, 배건성, 황창식(2006). "Classification of Some Underwater Transient Signals Using Wigner-Ville Distribution Function", Proc. of the 9th WESPAC.
- 조환래, 오선택, 오택환, 나정열(2003). "고차통계 기법과 웨이브렛을 이용한 수중 천이신호 탐지", 한국음향학회지, Vol 22, No 8. pp 670-679.
- 현동훈, 이철희(1998). "멜켵스트림의 성능 향상을 위한 critical band 필터의 최적화", 한국음향학회 학술발표대회 논문집, Vol 17, No 2(s).
- 황광봉(2004). "MFCC와 LPCC를 이용한 음성인식".