

MFCC 특징 벡터를 이용한 수중 천이 신호 식별

정희원 임태균*, 배건성*, 황찬식*, 이형욱**

Classification of Underwater Transient Signals Using MFCC Feature Vector

Tae-Gyun Lim*, Keun-Sung Bae*, Chan-Sik Hwang*, Hyeong-Uk Lee** *Regular Members*

요약

일반적으로 천이 신호의 식별은 지진학이나 상태 모니터링 분야, 특히 수중 음향 신호 처리 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 수중 환경에서 발생하는 천이 신호로는 돌고래와 같은 해양 생물이 내는 천이 신호와 선박, 잠수함 등에서 발생하는 인위적인 천이 신호 등이 있으며, 수중 감시 체계에서 이러한 수중 천이 신호를 식별하는 문제는 매우 중요한 연구 주제이다. 본 논문에서는 음성 인식 분야에서 우수한 인식 성능을 보이는 MFCC(Mel Frequency Cepstral Coefficient)를 기반으로, 천이 신호로 탐지된 입력 신호에 대하여 분석 프레임 단위로 MFCC 특징 벡터를 추출하고, 식별하고자 하는 데이터베이스에 있는 모든 참조 신호들의 MFCC 특징 벡터와의 유클리디언 거리(euclidean distance)를 계산한 후, 가장 작은 값을 갖는 참조 신호로 입력 프레임들을 사상(mapping)시킴으로써 사상이 가장 많이 된 참조 신호로 탐지된 수중 천이신호를 식별하는 프레임 기반의 식별 알고리즘을 제안한다.

Key Words : Underwater transient signal classification, MFCC

ABSTRACT

This paper presents a new method for classification of underwater transient signals, which employs frame-based decision with Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC). The MFCC feature vector is extracted frame-by-frame basis for an input signal that is detected as a transient signal, and Euclidean distances are calculated between this and all MFCC feature vectors in the reference database. Then each frame of the detected input signal is mapped to the class having minimum Euclidean distance in the reference database. Finally the input signal is classified as the class that has maximum mapping rate in the reference database. Experimental results demonstrate that the proposed method is very promising for classification of underwater transient signals.

I. 서론

수중 음향 신호 처리 분야에서는 수중 환경에서 발생하는 돌고래와 같은 해양 생물이 내는 천이 신호와 선박, 잠수함 등에서 발생하는 인위적인 천이 신호를 탐지하고 식별하기 위한 연구가 활발하게

이루어지고 있다^{[1][2][3]}. 그러나, 일반적으로 천이 신호는 수 십 밀리 초에서 수 초에 이르는 짧은 지속성과 비정상성(non-stationary) 등의 성질로 인하여 식별에 많은 어려움이 있다.

수중 천이 신호의 짧은 지속성과 강한 비정상성 때문에 수중 천이 신호를 분석하고 식별하기 위해

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(ksbae@mirbbs.knu.ac.kr, semic@ee.knu.ac.kr) (° : 교신저자)

** 국방과학연구소 수중탐지체계부

논문번호 : KICS2007-02-077, 접수일자 : 2007년 2월 21일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 24일

서 일반적으로 시간-주파수 분석 기법이 널리 이용된다. 따라서 수중 천이 신호를 해석하고 식별하기 위하여 웨이블릿(wavelet) 변환이나 위그너-빌 분포함수(Wigner-Ville distribution)와 같은 시간-주파수 분석 기법들이 많이 연구되고 있다^[6].

음성 인식 분야에서는 멜 스케일(mel-scale)과 첵스트럼(cepstrum)을 기반으로 한 MFCC를 인식을 위한 특징 파라미터로 많이 사용하는데, 일반적으로 우수한 인식 성능을 보이는 것으로 알려져 있다^{[6][7]}. 따라서 본 연구에서는 음성 인식 분야에서 우수한 인식성능을 보이는 MFCC를 특징 벡터로 사용하여 수중 천이 신호를 식별하는 알고리즘을 제안하고 실험하였다.

수중 천이 신호는 일반적으로 소음원이 다양하면서 비정재성과 시변성을 가지므로 천이 신호의 특성상 신호 전체를 하나의 기준패턴으로 모델링하기가 어렵다. 그리고, 수 백 밀리 초에서 수 초의 지속 시간을 가지는 수중 천이 신호 전체를 해석하는 것은 매우 많은 양의 데이터를 처리하여야 하므로 더욱 모델링이 어렵다고 할 수 있다. 따라서, 참조 신호들의 집합으로 이루어지는 데이터베이스는 각 참조 신호들의 MFCC 특징 벡터를 프레임 단위로 나열해 놓은 형태로 구성된다. 식별 과정에서는, 수중 천이 신호로 탐지된 입력 신호에 대하여 분석 프레임 단위로 MFCC 특징 벡터를 추출한 후, 식별하고자 하는 데이터베이스에 있는 모든 참조 신호들의 MFCC 특징 벡터와의 유클리디언 거리를 프레임 단위로 계산하고, 유클리디언 거리가 가장 작은 참조 신호로 입력 프레임들을 사상시킴으로써 탐지된 수중 천이 신호는 사상이 가장 많이 된 참조 신호로 식별되게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 MFCC 특징 파라미터 추출 알고리즘에 관하여 설명하고, III장에서는 제안한 MFCC 특징 벡터를 이용한 수중 천이 신호 식별 알고리즘에 관하여 설명한다. IV장에서는 제안한 알고리즘을 이용한 수중 천이 신호의 식별 결과를 제시하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. MFCC 특징 파라미터 추출

인간이 음성을 인지할 때 각 주파수 성분을 선형적으로 인지하지 않고 멜 스케일로 음성을 인지한다. 멜 스케일은 사람이 인지하는 톤의 변화를 측정하는 단위로, 사람의 청각 특성을 반영하고 있다. 따라서 멜 스케일과 첵스트럼을 적용한 MFCC 특

징 파라미터를 음성 인식 시스템에서 많이 사용하고 있다.

식 (1)은 멜-주파수 선형 변환 수식을 나타내며, 표 1은 8kHz 샘플링 주파수에 대해 멜 스케일을 기반으로 하는 19개 필터 बैं크의 중심 주파수를 나타낸다. 필터 간 경계 부분의 불연속성을 줄이기 위하여 일반적으로 삼각형 필터를 중첩시켜 사용하며, 각 필터 बैं크의 폭은 이전 필터 बैं크의 중심 주파수에서 다음 필터 बैं크의 중심 주파수까지로 설정한다.

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

표 1. 각 필터 बैं크의 중심 주파수(Hz)

No.	F _c	No.	F _c
1	139.18	11	1378.11
2	218.84	12	1575.36
3	306.05	13	1791.32
4	401.54	14	2027.79
5	506.10	15	2286.71
6	620.57	16	2570.19
7	745.92	17	2880.59
8	883.16	18	3220.45
9	1033.43	19	3592.56
10	1197.96	20	4000.00

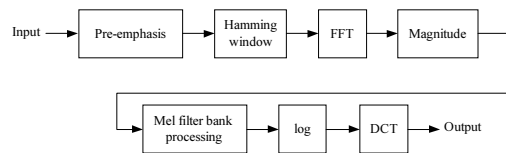


그림 1. 멜 첵스트럼 변환 흐름도

그림 1은 멜 첵스트럼 변환의 전반적인 과정을 나타내며, 세부적인 절차를 요약하면 다음과 같다.

- ① 입력된 신호의 프레임에 대하여 식 (2)를 이용한 pre-emphasis 과정과 해밍 윈도우를 거친 후, FFT를 수행한다.

$$x(n) = x_w(n) - \alpha x_w(n-1) \quad (2)$$

여기서 $x_w(n)$ 은 해밍 윈도우가 적용된 신호이고, α 는 일반적으로 0.95 - 0.98의 값을 갖는다.

- ② 식 (3)과 같이 FFT의 파워 스펙트럼에 표 1의 중심 주파수를 갖는 19개의 필터로 이루어진 멜 단위의 필터 बैं크와 로그를 계산한다.

$$\hat{x}_i = \log\left(\sum_k f_i(k)|X(k)|^2\right) \quad (3)$$

여기서, f_i 는 i 번째 필터 뱅크의 삼각형 윈도우 함수이며, $X(k)$ 는 k 번째 주파수 빈을 나타낸다.

③ DCT(Discrete Cosine Transform)를 수행하여 13차의 계수를 추출한다.

III. MFCC 특징 벡터를 이용한 수중 천이 신호 식별 알고리즘

본 논문에서는 수중 천이 신호의 특성상 신호 전체를 하나의 기준 패턴으로 모델링하기가 어렵기 때문에 프레임 단위로 천이 신호를 탐지하여, 특징 벡터를 추출하고 식별한다. 수중 천이 신호를 식별하기 위한 특징 벡터로 음성 인식 분야에서 많이 사용되고 있는 13차의 MFCC 특징 파라미터 중에서 에너지를 제외한 12차의 MFCC 특징 파라미터를 사용한다. 일반적으로 식별 기법은 기준 신호와의 유사성을 기반으로 이루어지므로 기준 신호의 특징 벡터를 획득하여 데이터베이스에 저장하여야 한다.

그림 2는 식별하고자 하는 기준 수중 천이 신호에 대하여 MFCC를 기반으로 특징 벡터를 추출하여 데이터베이스를 생성하는 흐름도를 나타낸다.

수중 천이 신호의 식별은 그림 2와 같은 절차를 거쳐 데이터베이스에 저장된 기준 신호들의 특징 벡터와 탐지된 수중 천이 신호의 특징 벡터와의 유클리디언 거리를 계산하여 각 클래스 별로 프레임 사상도를 구함으로써 수행된다.

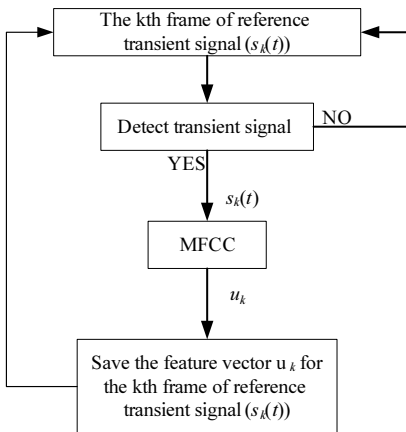


그림 2. MFCC 특징 벡터 추출 흐름도

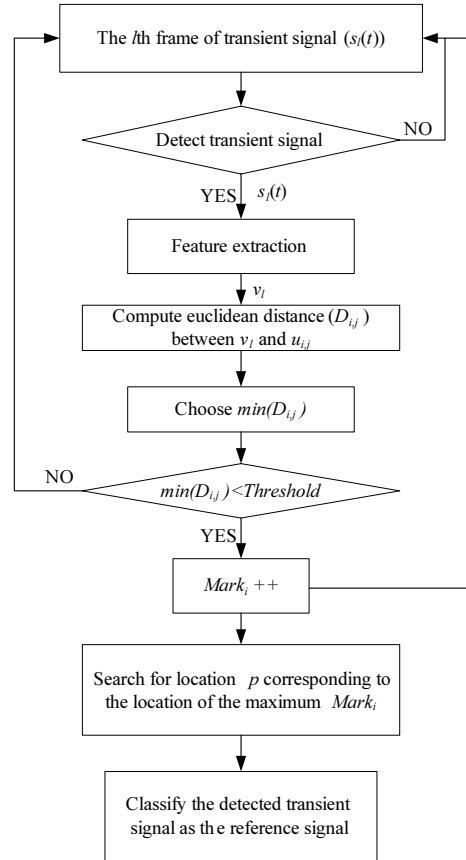


그림 3. 제한한 수중 천이 신호 식별 과정의 흐름도

그림 3은 본 연구에서 제안한 수중 천이 신호의 식별을 위한 흐름도를 나타내며, 세부적인 식별 절차는 다음과 같다.

- ① 모든 기준 신호에 대하여 프레임 사상도 $Mark_i$ 를 0으로 초기화한다. 여기서 $Mark_i$ 는 i 번째 기준 신호에 대한 프레임 사상도를 나타낸다.
- ② 현재 프레임이 천이 신호의 마지막 프레임이면 단계 5로 이동하고, 그렇지 않으면 단계 3로 이동한다.
- ③ 입력 프레임의 12차의 MFCC 특징 벡터 v_l 를 추출하여 모든 i, j 에 대하여 $u_{i,j}$ 와의 유클리디언 거리 $D_{i,j}$ 를 계산한다. 여기서 $u_{i,j}$ 는 i 번째 기준 신호의 j 번째 프레임의 12차 MFCC 특징 벡터를 나타낸다.
- ④ 가장 작은 유클리디언 거리 $\min(D_{i,j})$ 를 선택하여 특정 문턱 준위보다 작다면 $Mark_i$ 를

1 증가시키고, 단계 2로 이동한다.

- ⑤ 모든 i 에 대하여 $Mark_i$ 에서 가장 큰 값의 위치 p 를 찾고, 탐지된 천이 신호를 데이터베이스의 p 번째 기준 신호로 식별한다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘을 실험하기 위하여, 참조 신호를 만들기 위한 데이터베이스는 실험에 사용한 표 2의 수중 천이 신호 중에서 클래스 1_1, 클래스 2, 클래스 3, 클래스 4, 클래스 5_1의 수중 천이 신호로 구성하였다. 표 2는 실험에 사용한 수중 천이 신호의 종류를 나타내며, 그림 4는 각 신호의 파형을 나타낸다. 클래스 1과 클래스 5는 각각 다른 3 종류의 참고래 소리 신호와 토피도 발사관 소리 신호로 구성되어 있다. 샘플링 주파수는 8kHz, 양자화 레벨은 16비트이고, 배경 잡음은 해양 환경 잡음 특성과 유사하다고 알려진 브라운 잡음을 적용하였다. 프레임 크기는 160 샘플(20ms), 신호대잡음비는 3dB이고, MFCC 특징 파라미터는 에너지를 제외한 12차를 사용하였다.

표 2. 실험에 사용된 수중 천이 신호

	음원 종류
클래스 1_1	참고래1
클래스 1_2	참고래2
클래스 1_3	참고래3
클래스 2	쿠신고래
클래스 3	흑등고래
클래스 4	잠수함 해치 스크
클래스 5_1	토피도 발사관1
클래스 5_2	토피도 발사관2
클래스 5_3	토피도 발사관3

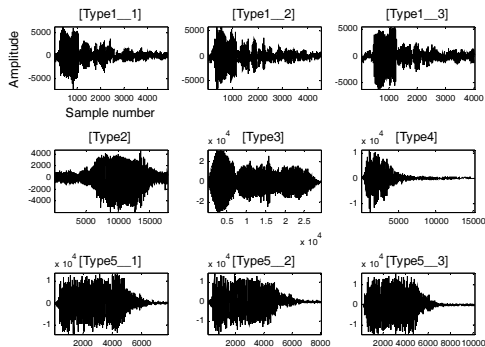


그림 4. 실험에 사용된 수중 천이 신호의 파형

표 3. 제안한 식별 알고리즘의 실험 결과 (특정 클래스로 사상된 프레임 수 / 탐지된 총 프레임 수)

클래스 입력신호	클래스1_1	클래스2	클래스3	클래스4	클래스5_1
클래스1_1+3dB 브라운 잡음	31/32	0/32	1/32	0/32	0/32
클래스1_2+3dB 브라운 잡음	29/30	1/30	0/30	0/30	0/30
클래스1_3+3dB 브라운 잡음	26/27	1/27	0/27	0/27	0/27
클래스2+3dB 브라운 잡음	0/113	112/113	0/113	1/113	0/113
클래스3+3dB 브라운 잡음	0/176	3/176	172/176	1/176	0/176
클래스4+3dB 브라운 잡음	0/27	0/27	1/27	26/27	0/27
클래스5_1+3dB 브라운 잡음	0/41	0/41	0/41	0/41	41/41
클래스5_2+3dB 브라운 잡음	0/31	2/31	0/31	0/31	29/31
클래스5_3+3dB 브라운 잡음	0/44	2/44	1/44	1/44	40/44

표 3은 제안한 알고리즘을 이용한 수중 천이 신호 식별 결과를 보인 것이다. 입력 신호에서 탐지된 수중 천이 신호의 전체 프레임 수에 대하여 데이터베이스의 특정 기준 신호로 사상된 프레임 수를 나타낸 것으로, 예를 들어 3dB의 갈색 잡음이 첨가된 클래스 5_3 신호가 입력되면 총 44 프레임이 탐지되고, 그 중에서 4 프레임은 데이터베이스의 다른 클래스로 사상되고 40 프레임은 데이터베이스의 클래스 5_1로 사상되므로 클래스 5_1인 토피도 발사관으로 식별이 된다. 이러한 식별 결과를 통해 본 논문에서 제안한 수중 천이 신호 식별 알고리즘의 성능이 우수함을 확인할 수 있으며, 또한 MFCC 특징 벡터는 일반적으로 시간-주파수 분석 기법으로 많이 이용되는 위그너-빌 분포 함수를 이용한 특징 벡터와 비교하여도 대등하거나 우수한 인식 성능을 보였다⁸⁾.

V. 결론

본 논문에서는 음성 인식 분야에서 많이 사용되는 MFCC 특징 벡터를 이용한 새로운 수중 천이 신호 식별 알고리즘을 제안하였다. 데이터베이스는 기준 신호들의 프레임들에 대한 에너지를 제외한 12차의 MFCC 특징 벡터로 구성된다. 탐지된 수중 천이 신호의 12차 MFCC 특징 벡터와 기준 신호들의 12차 MFCC 특징 벡터 사이에서 유클리디언 거리를 프레임 단위로 계산하여, 프레임 사상도를 구함으로써 수중 천이 신호를 식별한다. 실험을 통하여 제안한 수중 천이 신호 식별 알고리즘의 성능이

우수함을 확인하였다. 앞으로 해양에서 실제로 측정된 천이 신호를 대상으로 제안한 식별 알고리즘의 성능을 분석하고 향상 시킬 수 있는 방법과 프레임 간의 시간적인 변화를 고려하여 식별 성능을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Dragana Carevic, "Adaptive window-length detection of underwater transients using wavelets," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 117, no. 5, pp. 2904-2913, May 2005.

[2] Simon Tucker. and Guy J. Brown, "Classification of transient sonar sounds using perceptually motivated features," *IEEE J. Ocean Engineering*, vol. 30, no. 3, pp. 588-600, July 2005.

[3] Stefanos K. Goumas, Michael E. Zervakis, and G. S. Stavrakakis, "Classification of washing machines vibration signals using discrete wavelet analysis for feature extraction," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 51, no. 3, pp. 497-508, June 2002.

[4] N. Yen, "Time and frequency representation of acoustic signals by means of the Wigner distribution: Implementation and interpretation," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 81, no. 6, pp. 1841-1850, June 1998.

[5] Boualem Boashash and Peter O'Shea, "A methodology for detection and classification of some underwater acoustic signals using time-frequency analysis techniques," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 38, no. 11, pp. 1829-1841, November 1990.

[6] J. R. Dellar, J. G. Proakis, and J. H. L. Hansen, *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, Macmillan Publishing Company, a division of Macmillan Inc., 380-397, 1993.

[7] K. Sri Rama Murty and B. Yegnanarayana, "Combining Evidence From Residual Phase and MFCC Features for Speaker Recognition," *IEEE Signal processing*

Letters, vol. 13, no. 1, pp. 52-55, January 2006.

[8] Taegyun Lim, Siho Kim, Keunsung Bae, Chansik Hwang, "Classification of Some Underwater Transient Signals Using Wigner-Ville Distribution Function," *The 9th Western Pacific Acoustics Conference*, pp. 173, June 2006.

임 태 균 (Tae-Gyun Lim)

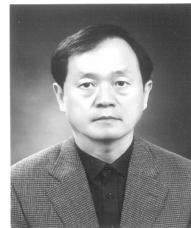
정회원



2001년 2월 : 경북대학교 전자공학
학과 졸업
2003년 2월 : 경북대학교 전자공학
학과 석사
2003년 3월~현재 : 동대학원 전
자공학과 박사 과정
<관심분야> 수중음향신호처리,
디지털신호처리, 영상신호처리, 영상 통신 등

배 건 성 (Keun-Sung Bae)

정회원



1977년 2월 : 서울대학교 전자공
학과 졸업
1979년 2월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학과 석사
1989년 5월 : University of Florida
공학박사
1979년 3월~현재 : 경북대학교 전

자전기컴퓨터학부 교수
<관심분야> 음성분석 및 인식, 디지털 신호처리, 디지
털 통신, 음성 부호화, 웨이브렛 이론 등

황 찬 식 (Chan-Sik Hwang)

정회원



1977년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업

1979년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사

1996년 2월 : 동대학원 전기및전자공학과 박사

1979년 3월~현재 : 경북대학교 전

자전기컴퓨터학부 교수

<관심분야> 수중음향신호처리, 디지털신호처리, 영상신호처리, 영상 통신 등

이 형 옥 (Hyeong-Uk Lee)

정회원



1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업

1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사

2005년 2월 : 동대학원 전자공학과 박사

1989년~현재 : 국방과학연구소

수중탐지체계부 책임연구원

<관심분야> 수중음향신호처리, 디지털신호처리, 웨이브렛 이론 등