

고래 휘슬음 추출을 위한 MCA-CFAR 탐지기 설계

박근호, 안종민, 김완진, 이상국, 이동훈

국방과학연구소

ghpark57935@add.re.kr, leedhun@add.re.kr

A Design of MCA-CFAR Detector for Extraction of Cetacean Whistle Contours

Park Geun-Ho, Ahn Jongmin, Kim Wanjin, Lee Sangkug, Lee Donghun

Agency for Defense Development

요약

본 논문은 수중 해양 포유동물인 고래가 발생하는 휘슬음의 주파수 추출용 탐지기 설계 방법을 제안한다. 휘슬음 추출 시 고려해야 할 사항은 두 가지로, 첫 번째는 다수의 휘슬음이 동시에 발생하는 상황에서 각 휘슬음을 탐지할 수 있어야 한다. 두 번째는 휘슬음과 클릭음이 혼재하는 상황에서 휘슬음만 탐지하는 것이다. 이러한 점을 고려하여, 시간-주파수 영역에서 주파수 축으로 윈도우를 설계하고 MCA-CFAR (minimum cell averaging-constant false alarm rate) 탐지기를 개선하였다. 제안한 탐지 방법을 실제 데이터에 적용하여 휘슬음 탐지에 효과적임을 보인다.

I. 서론

수중 해양 포유류인 고래는 수중에서 다양한 음향 신호를 발생시킨다. 돌고래나 고래가 생성하는 소리는 크게 두 종류로, 반향정위 클릭음 (echolocation click)과 휘슬음(whistle)이 있다. 클릭음은 광대역 임펄스 신호로서 먹이 탐색 등에 활용된다. 휘슬음은 비선형 주파수 변조 신호로, 고래 개체 간 식별이나 의사소통에 사용되는 것으로 알려져 있다[1]. 이외에도 일부 종은 코다 (coda), 순간과열음 (burst-pulsed call) 등 연속적이고 때로는 부호화된 임펄스 신호를 발생시킨다[1].

최근에는 이러한 고래의 소리를 활용하는 생체 모방 통신 기술이 발전하고 있다[2]. 생체 모방 통신은 휘슬음과 클릭음을 주로 모방하며, 고래 음향 신호에 CSS (chirp spread spectrum), OFDM (orthogonal frequency division multiplexing), FSK (frequency shift keying) 등의 변조 방식을 적용한다[2]. 생체 모방 통신은 은밀성이 중요하므로, 생체 신호에 대한 모방도는 중요한 지표가 된다.

생체 모방 통신에서 모방도를 최대화하기 위해서는 많은 수의 데이터로부터 고래 음향 신호가 가진 특징을 추출하는 과정이 필요하다. 특히 휘슬음의 경우에는 시간에 따른 주파수 정보가 중요하다. 수신 신호에 대한 STFT (short-time Fourier transform)는 시간에 따른 휘슬음의 주파수를 확인할 수 있는 방법 중 하나로, 휘슬음이 STFT의 주파수 축에서 극댓값을 형성하므로 CFAR (constant false alarm rate)를 통해 탐지할 수 있다.

STFT에 탐지기를 적용하여 휘슬음의 주파수를 추출할 때 두 가지를 고려해야 한다. 첫 번째는 휘슬음과 클릭음이 혼재하는 상황이다. 이 경우 최대한 클릭음을 탐지하지 않고 휘슬음만 탐지하도록 탐지기를 설계하여야 한다. 클릭음은 임펄스 신호이므로 시간 대역에서 휘슬음과 분리하여 탐지하는 것이 더 효과적이다. 두 번째는 다수의 휘슬음이 존재하는 상황이다. 해당 문제는 다수의 돌고래가 휘슬음을 동시에 발생할 때 나타난다.

본 논문에서는 MCA-CFAR (minimum cell-averaging CFAR) 기반의 휘슬음 추출 방안을 제안한다. 제안하는 방법은 기존 MCA-CFAR를 변형한 방식으로, 다수의 돌고래가 동시에 휘슬음을 발생시킬 때 적용하기

에 적합하다. 그리고, 제안하는 방법은 클릭음 탐지를 회피할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

II. 탐지기 설계

본 논문에서는 휘슬음 추출을 위해 주파수 축에 대한 1D MCA-CFAR 탐지기를 제안한다. 제안하는 방법은 서론에서 언급한 두 가지를 고려하여 설계하였다. 첫 번째로 클릭음을 탐지하지 않기 위해서 주파수 축으로 기준(reference) 셀을 설계하였다. 클릭음은 주파수 대역에서 에너지가 분산되므로, 탐지기가 클릭음을 잡음과 같이 판단한다. 두 번째로 다수의 휘슬음 탐지를 위해 기준 셀에서 잡음 추정 시 신호 크기가 큰 셀을 제거하는 MCA-CFAR 방식을 적용하였다. MCA-CFAR는 step-size 설정을 통해 기준 셀에서 큰 값을 제거한 후 잡음을 추정한다[3]. 하지만, 이 탐지기는 step-size에 대응되는 주파수 간격으로 두 개의 극댓값이 형성되면 임계값이 크게 증가하는 문제가 있다.

따라서, 본 논문에서는 두 개의 MCA-CFAR 임계값을 동시에 활용하도록 하였다. 이 방식은 하나의 임계값이 증가하더라도 다른 임계값이 휘슬음을 탐지할 수 있도록 보완하는 성질을 가진다.

구체적으로, 제안하는 방법은 다른 두 개의 step-size에 대해 MCA-CFAR를 유도한 후 각 셀에 대해 최소값 연산을 수행하여 최종적인 임계값을 얻는다. 두 개의 step-size를 각각 d_1 과 d_2 , 각 step-size에 대한 MCA-CFAR 탐지기의 임계값을 $T_1(n)$ 와 $T_2(n)$ 라 하면, 본 논문에서 제안하는 탐지기의 임계값 $T(n)$ 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$T(n) = \min\{T_1(n), T_2(n)\}. \quad (1)$$

III. 휘슬음 탐지 결과

제안한 방법의 성능은 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 제공하는 데이터[4]를 활용하여 검증하였다. 그림 1은 휘슬음 다수가 중첩되는 상황에서의 탐지 결과이며, 그림 2에는 다수의

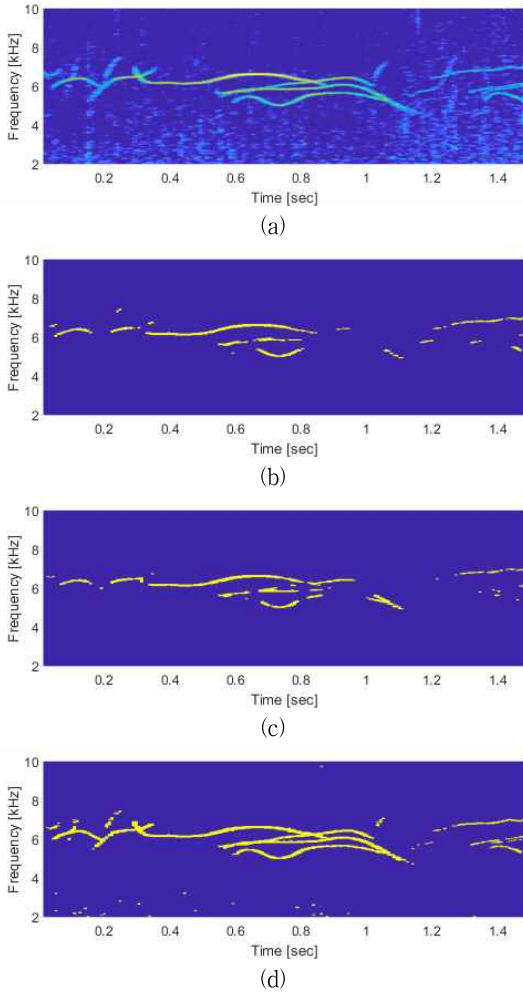


그림 1. 휘슬음 탐지 결과 1, (a) STFT, (b) CA-CFAR, (c) MCA-CFAR, (d) 제안하는 MCA-CFAR.

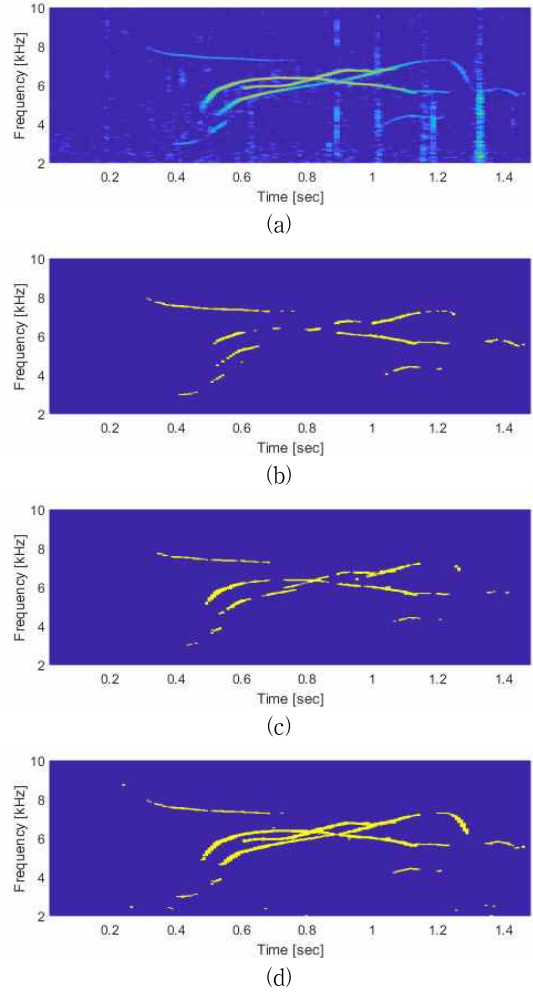


그림 2. 휘슬음 탐지 결과 2, (a) STFT, (b) CA-CFAR, (c) MCA-CFAR, (d) 제안하는 MCA-CFAR.

휘슬음과 클릭음이 혼재하는 상황의 탐지 결과를 나타내었다. 그림 1과 2의 (a)는 STFT, (b), (c), (d)는 각각 CA-CFAR, MCA-CFAR, 제안하는 MCA-CFAR의 탐지결과이다. CA-CFAR의 오탐지 확률은 10^{-6} , 가드셀 크기와 기준 셀 크기는 각각 6과 22로 설정하였다. (c)는 MCA-CFAR 탐지 결과로, 기준 셀 크기와 step-size는 각각 24와 14로 설정하였다. (d)는 제안한 방법의 탐지 결과로, 기준 셀 크기는 {24, 82}, step-size는 {14, 66}으로 설정하였다.

그림 1과 2에서 확인할 수 있듯이, 제안하는 방법은 CA-CFAR와 MCA-CFAR에서 미탐지로 나타나는 부분까지 탐지하는 것을 확인할 수 있다. 모든 탐지기는 주파수 축으로 기준 셀을 설정하였으므로, 그림 2 (a)의 0.9~1.4초 사이에서 확인할 수 있듯이 클릭음에 대해서는 탐지하지 않는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다수의 휘슬음과 클릭음이 혼재하는 상황에서 휘슬음의 주파수를 탐지할 수 있는 MCA-CFAR 탐지기를 제안하였다. 실제 데이터에 적용한 결과, 휘슬음이 중첩되더라도 탐지 결과가 유효하게 나타나는 것으로 확인하였고, 클릭음이 탐지되지 않는 것을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임(915084201).

참고 문헌

- [1] Young Geul Yoon, *et. al.*, "Study of Acoustic Characteristics of Common Dolphins *Delphinus delphis* in the East Sea," *KFAS*, vol. 50, no. 4, pp. 406-412, 2017.
- [2] Seungwhan Seol, *et. al.*, "Research trends of biomimetic covert underwater acoustic communication," *The Journal of the Acoust. Soc. of Korea*, vol. 41, no. 2, pp. 227-234, 2022.
- [3] T. Kim, *et. al.*, "Implementation of Threshold Calculation for Target Signal Detection in Radar Systems," *KIISE Trans. Computing Practices*, vol. 26, no. 12, pp. 567-572, Dec. 2020.
- [4] NOAA National Centers for Environmental Information (2017). *Passive Acoustic Data Collection*. Asheville, NC: NOAA National Centers for Environmental Information. doi: 10.25921/PF0H-SQ72.