
Vernier 신호 분석에서 자기상관함수 기반의 후처리를 이용한 주파수선 음향징표 특징 강화

이정호* · 배건성**

Enhancement of Frequency Lines of Acoustic Signature in Vernier Analysis
Using the Autocorrelation-based Postprocessing

Jungho Lee* · Keunsung Bae**

이 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호: UD100002KD)

요 약

본 연구에서는 수동소나 신호의 분석에서 얻어지는 토널 성분, 즉, 주파수선의 하모닉 성분을 강화하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는, 먼저 스펙트럼의 일정 시간에 따른 주파수 빈별 평균값을 구하고, 평균값과의 차이를 이용하여 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선을 구별한다. 그런 다음 불안정한 주파수선에 자기상관함수와 S2PM을 적용하여 배경잡음을 줄이고 하모닉 성분을 강조하게 된다. 실제 어선에서 획득한 수중음향 데이터를 이용한 실험 결과를 분석하였고, 이를 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel method to enhance the harmonic components from the frequency lines of the passive sonar signals. For this, we first separate the stable frequency lines from unstable ones using mean and difference of spectral bins in the vernier analysis. Then we emphasize the harmonic components using autocorrelation-based postprocessing, and enhance them by reducing the background noise with the split-window two pass mean algorithm. Experimental results for real underwater acoustic data are presented with our discussions.

키워드

수중음향, 수동소나, 주파수선, Vernier 분석, S2PM

Key word

Underwater acoustics, Passive sonar, Frequency lines, Vernier analysis, Split-window two pass mean

* 정회원 : (주)LIG넥스원 (hionan@nate.com)
** 정회원 : 경북대학교(교신저자, ksbae@mir.knu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 10. 31
심사완료일자 : 2012. 11. 12

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.3.546>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

수중음향 환경에서는 표적을 탐지하고 식별하기 위하여 소나 장치를 사용한다. 소나 운용자는 소나 장치의 출력을 직접 소리로 듣기도 하고, 신호처리 과정을 거친 전시화면을 보고 소음원의 개별적인 특징을 규명한다. 신호처리를 통하여 추출된 수동소나 신호의 특징들을 음향징표라고 한다.

수동소나에서 음향징표를 추출하기 위하여 주로 LOFAR(Low Frequency Analysis and Recording), DEMON(Detection of Envelope Modulation On Noise), Vernier라고 하는 주파수영역에서의 협대역 스펙트럼 분석을 통하여 수행되는데, 추출되는 음향징표로부터 주기성을 갖는 하모닉 성분을 찾아내는 것은 표적식별 수행과정에서 함정의 동력장치 및 보조장비의 식별에 중요한 단서를 제공한다[1~3].

수동소나 표적의 식별에 있어서 협대역 성분은 주로 기계장치에 의한 성분으로 이루어지는데, 시간의 경과에 따라 주파수 변화가 없이 단일선 형태를 띠는 안정적인 주파수선(frequency line)과 시간의 경과에 따라 주파수 변화를 보이거나 갈끔하지 않은 형태의 넓은 선폭을 가지는 불안정한 형태로 나타난다. 일반적으로 모터나, 발전기 등과 같은 전기 장비에서 발생하는 신호는 안정적이며, 동력시스템과 프로펠러를 연결하는 클러치와 기어박스 등에 의해 발생하는 신호는 불안정하다.

본 논문에서는 다양한 소음원의 주파수선이 배경잡음과 함께 나타나는 Vernier 분석에서 자기상관함수 및 S2PM(Split-window Two Pass Mean) 알고리즘을 이용한 후처리 과정을 통하여 주파수선 음향징표의 특징을 강화하는 방법을 제안하였다[4]. 먼저 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선을 구분하고, 추출된 불안정한 주파수선에 대해 자기상관함수를 이용한 하모닉 성분의 강조와 배경잡음 추정 기법인 S2PM 알고리즘을 적용하여 주파수선 특징을 강화함으로써 소나 운용자가 많은 소음원이 존재하는 Vernier 분석에서 보다 수월하게 주파수선으로부터 하모닉 관계를 가지는 음향징표를 찾을 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Vernier 분석에서 나타나는 함정의 소음원에 대하여 간략하게 기술하고, Vernier 및 DEMON 분석에 대하여 설명한다. 이

어서 본 연구에서 제안한 Vernier 분석으로부터 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선의 구별과정과 자기상관함수와 S2PM을 이용한 불안정한 주파수선의 하모닉 성분 강화 기법에 대하여 3장에서 설명한다. 4장에서는 실제 해양 음원 데이터에 제안한 알고리즘을 적용한 실험결과를 제시하고 분석하며, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 함정 소음원 및 음향징표 추출을 위한 신호처리 기법

2.1. 함정 소음원의 종류

함정소음은 함정에서 방사되는 모든 소음을 총칭하여 말하며, 소나 운용자에게 주된 관심의 대상이다. 함정 소음에는 엔진 등에서 발생하는 기계류소음(machinery noise)과 프로펠러에서 발생하는 공동소음(cavitation noise) 및 유체소음(flow noise)이 주를 이룬다[5]. 본 논문에서 다루고 있는 Vernier 분석에서 주로 나타나는 대표적인 소음원에는 엔진소음, 결합시스템에 의한 소음, 보조 장비에 의한 소음과 공동소음이 있다.

엔진에서는 피스톤의 상하운동, 연료의 발화, 결합시스템 등에 의하여 진동소음이 발생되는데, 이를 총칭하여 엔진소음이라 할 수 있다. 엔진소음에서 크랭크축의 불균형으로 인해 발생하는 소음인자를 CSR(Crank Shaft Rate)이라 하며, 실린더 내의 연료 폭발에 의하여 발생하는 소음인자를 CFR (Cylinder Firing Rate)이라 한다. CSR과 CFR은 엔진의 행정 수에 따라 식 (1)의 관계를 갖는다.

$$CFR = \begin{cases} CSR & 2\text{행정 엔진} \\ CSR/2 & 4\text{행정 엔진} \end{cases} \quad (1)$$

1초 동안에 발생하는 전체 실린더의 폭발률을 EFR (Engine Firing Rate)이라고 하며, 실린더 수의 곱으로 식 (2)와 같이 정의된다. CSR 성분의 주파수선은 CFR의 하모닉 성분과 중첩되어 에너지가 강하게 나타나며, EFR 성분의 주파수선은 CFR과 CSR의 하모닉 성분과 중첩되어 에너지가 더욱 강하게 나타난다. 따라서 LOFAR 및 Vernier 분석을 통하여 디젤 엔진의 행정 수 및 실린더 수에 관한 정보를 추정할 수 있다.

$$EFR = \text{실린더의 수} \times CFR \quad (2)$$

공동소음은 프로펠러의 날개 회전에 의해 그 주위에서 발생하는 기포들이 만드는 소음으로 신호가 진폭 변조된 형태로 나타난다. 공동소음이 발생된 주파수 대역을 DEMON 분석하여 진폭변화의 반복률을 분석함으로써 프로펠러의 날개 수에 관한 정보를 얻을 수 있다. 프로펠러축의 회전으로 인한 소음인자를 PSR(Propeller Shaft Rate)이라고 하며 기본주파수와 하모닉 성분으로 이루어지는데, 식 (3)과 같이 정의된다.

$$PSR = \text{Shaft RPM} / 60 \quad (3)$$

진폭 변조되어 나타나는 공동소음은 프로펠러의 날개 수(NOBS, number of blade)에 따라 진폭변조의 형태가 달라진다. 프로펠러의 날개 수와 관련된 신호인자를 BR(Blade Rate)이라 하며, 식 (4)와 같이 PSR과 정수배의 관계를 가지고, BR의 하모닉 성분은 PSR의 하모닉 성분과 중첩되어 나타나기 때문에 BR 신호의 주파수 성분에서 에너지가 강하게 나타난다. 따라서 DEMON 분석을 통하여 BR과 PSR 주파수 성분을 탐지하면 프로펠러의 날개 수를 구할 수 있다.

$$BR = PSR \times NOB \quad (4)$$

결합시스템은 동력시스템과 프로펠러를 연결하는 것으로 클러치와 기어박스 등을 말한다. 결합시스템도 자신의 고유 신호를 발생시키며 함정이 기동을 시작할 때 클러치의 연결로 인하여 짧은 시간 동안 나타나는 천이소음이 발생되며, 감속기어는 주기적인 기어톱니의 마찰로 인하여 기어소음을 발생시키며 불안정한 형태

를 갖는다. 함정에 장착된 기계류 중에서 엔진 및 프로펠러를 제외한 대부분의 장치를 보조 장비라고 한다. 보조 장비는 대체로 추진시스템이 정지하여도 동작하기 때문에 지속적인 신호음을 발생시킨다. 특히, 모터나 발전기 등 전기 장비에서 발생하는 신호는 다른 소음원에 비해 안정적인 특징을 가진다.

2.2. 음향징표 추출을 위한 신호처리 기법

LOFAR 분석 창에서는 서로 다른 주파수 토널 성분이 인접하여 존재하는 경우 주파수 분해능이 낮아 분리되어 전시되지 않게 된다. 이러한 경우 관심 있는 주파수 대역을 확대하여 전시하는 방법으로 Vernier 신호처리 기법을 사용하며, 운용자가 선택한 중심주파수와 주파수 대역에 대해 고해상도를 갖는 주파수 스펙트럼을 얻을 수 있다.

Vernier의 전시화면을 구성하는 과정은 그림 1과 같이 전처리 과정, 탐지 및 적분과정, 후처리 과정으로 구성된다. 전처리 과정은 분석하고자 하는 주파수 대역을 기저대역(baseband)으로 옮겨서 처리하는 과정으로, 운용자가 지정한 중심주파수를 갖는 정현파를 입력신호에 곱하여 해석하고자 하는 주파수 대역을 기저대역으로 이동시킨다. 그런 다음, 고주파 잡음을 제거하기 위하여 저역 통과필터를 통과시키고, 운용자가 지정한 전시영역에 따라 decimation 비를 결정하여 LPF/decimation 과정을 반복하여 수행함으로써 주파수 분해능을 향상시킨다. 그리고 마지막으로 주파수 스펙트럼을 구하기 위한 FFT 과정을 거친다.

다음으로 탐지 및 적분과정은 FFT 출력으로부터 협대역 주파수선 스펙트럼을 탐지하고 적분하여 입력신호의 스펙트럼을 구하는 과정이다. 이때 갱신되는 스펙트럼을 N번 누적하여 STI(Short Time Integration) 평균값

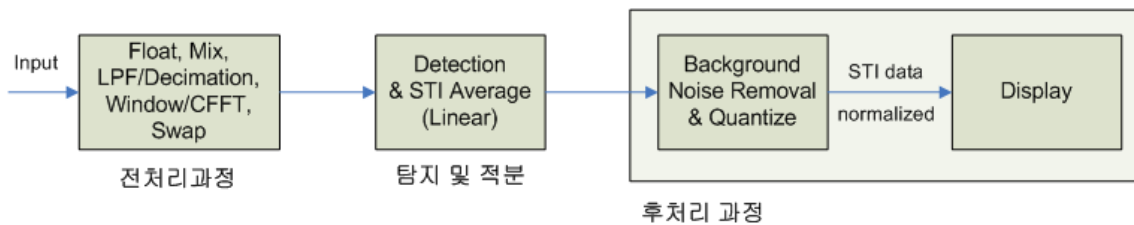


그림 1. Vernier 신호 분석 과정
Fig. 1 Block diagram for vernier analysis

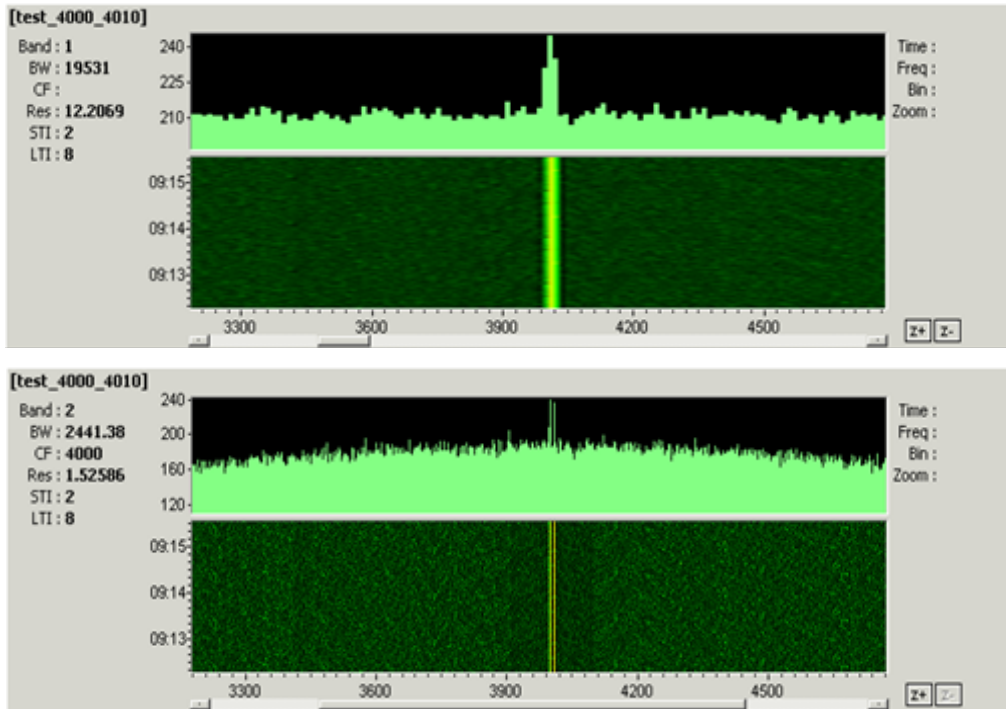


그림 2. LOFAR와 Vernier 분석 결과 예 (위: LOFAR 분석, 아래: Vernier 분석)
 Fig. 2 Examples of LOFAR and vernier analysis

을 구한 후, 후처리 과정을 거치게 된다.

후처리 과정은 STI 출력 주기마다 출력되는 주파수선 스펙트럼을 사용하여 전시화면을 구성하는 것이다. LOFAR의 경우 특정 시간의 데이터를 FFT하여 분석주파수 대역을 확인한다. 하지만 Vernier의 경우 LPF/decimation 과정을 통하여 LOFAR 분석보다 오랜 시간동안 데이터를 수집해서 분석, 전시함으로써 주파수 분해능이 향상되는 효과를 볼 수 있다.

그림 2에 LOFAR 및 Vernier 분석 예를 나타내었다. 그림 2에서 위쪽의 LOFAR 분석에서는 단일 주파수선처럼 나타나지만, 아래의 Vernier 분석에서는 주파수 분해능이 향상되어 이중 주파수선이 나타남을 볼 수 있다.

DEMON 분석은 진폭 변조된 공동소음에서 진폭변화의 반복률을 탐지하기 위한 것으로 Demodulated Noise라고 한다[5]. DEMON의 전처리 과정은 Vernier 신호처리 과정과 유사하게 광대역 고주파 잡음영역을 기저대

역으로 이동시킨다. 또한 광대역 고주파 잡음성분을 제거하기 위해 저역통과필터를 거치고 진폭 변조된 저주파 신호를 검출하기 위해 제곱근검출 방식으로 신호의 포락선을 검출한다. 운용자가 지정한 전시영역에 따라 decimation 비를 결정하여 LPF/decimation 과정을 반복한다. 이를 통하여 주파수선들의 하모닉 관계와 신호의 세기 및 선폭을 분석함으로써 프로펠러 정보를 얻을 수 있다.

III. 주파수선의 안정도 구분 및 하모닉 성분 강화 기법

3.1. 주파수선의 안정도 구분 기법

수동소나 신호 분석 방법인 Vernier 분석으로부터 생성된 신호의 주파수선들은 시간의 흐름에 따라 주파수 변화가 없는 안정적인 주파수선과 시간의 흐름에 따라

주파수 선폭의 변화가 있는 불안정한 주파수선들이 복잡하게 얽혀있는 형태를 보일 수 있다. 따라서 자기상관 함수를 이용한 후처리 과정을 통해 불안정한 주파수선 스펙트럼의

특징을 강화하기 위해서 먼저 주파수선의 안정도를 구분하여야 한다. 본 논문에서 제안한 주파수선의 안정도 구분 방법은 그림 3과 같다. 안정적인 주파수선은 시간의 흐름에 따라 주파수선이 고정되어 있으며 선폭이 비교적 좁은 특성을 가지지만, 불안정한 주파수선은 시간의 흐름에 따라 주파수선이 변화하는 형태를 가진다. 따라서 일정시간에 걸쳐 주파수 빈 별 평균값을 계산하면 안정적인 주파수선은 주변 주파수 빈보다 큰 값을 가지면서 좁은 선폭을 가지지만 불안정한 주파수선의 경우 함정의 속도가 변화함에 따라 주파수선이 움직이므로 평균값은 넓은 선폭을 가지며 주변 주파수 빈과 비교했을 때 서서히 그 값들이 변화하는 형태를 보인다. 그러므로 일정시간 동안에 전시되는 Vernier 분석의 전시영역에 대하여 주파수 빈 별 평균값과 각 주파수 빈과의 차이(difference) 값에 적절한 문턱값을 설정함으로써 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선을 구분할 수 있다.

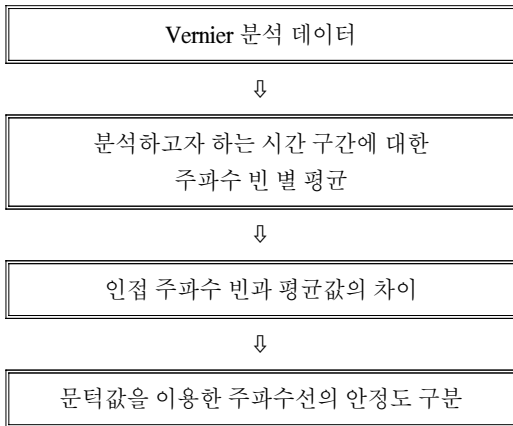


그림 3. 제안한 주파수선 안정도 구분 방법
Fig. 3 Proposed method for discrimination of stability of frequency lines

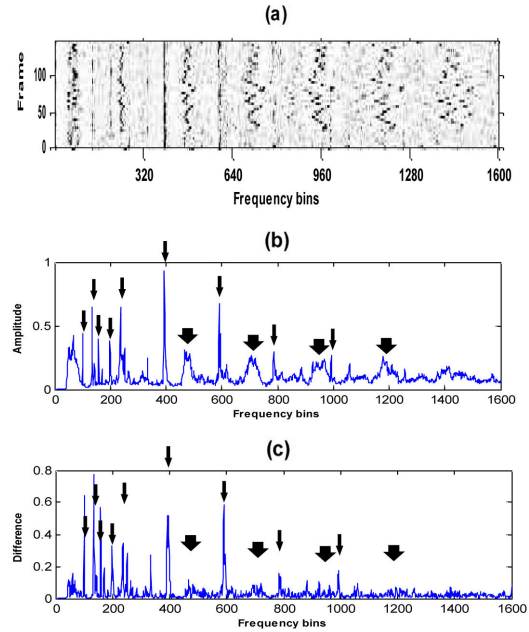


그림 4. Vernier 분석과 주파수 빈의 평균 및 평균의 차이
(a) Vernier 분석 (b) 주파수 빈의 평균
(c) 각 주파수 빈과 평균과의 차이
Fig. 4 Vernier analysis and magnitude difference of each frequency bin with its average
(a) Vernier analysis (b) Average of frequency bins
(c) Difference between average and each frequency bin

그림 4의 (a)는 Vernier 분석의 결과이며, (b)는 시간에 따른 주파수 빈의 평균을 보여주고 있다. 위 그림에서 가는 화살표가 가리키는 주파수 빈은 안정적인 주파수선이고 굵은 화살표가 가리키는 주파수 빈은 불안정한 주파수선을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 인접 주파수 빈과의 평균값 차이를 이용하여 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선을 구분한 결과를 그림 4(c)에서 보여주고 있다. 화살표의 위치는 이전에 보았던 평균값과 동일한 위치에 표시하였다.

안정적인 주파수선(가는 화살표)으로 판단되는 위치의 주파수 빈들은 높은 값을 유지하거나 다른 주파수 빈에 비해 커졌으며, 나머지 주파수 빈(굵은 화살표)들은 상대적으로 크기가 작아진 것을 볼 수 있다. 따라서 이 차이 값에 적절한 문턱값을 적용하여 그 이상이 되는 주파수 빈들은 안정적인 주파수선으로 추출해내고, 잔여

성분인 불안정한 주파수선에 대해서는 자기상관함수 및 후처리 기법을 적용함으로써 불안정한 주파수선들의 하모닉 성분을 강조하여 보다 수월하게 하모닉 관계를 확인할 수 있게 된다.

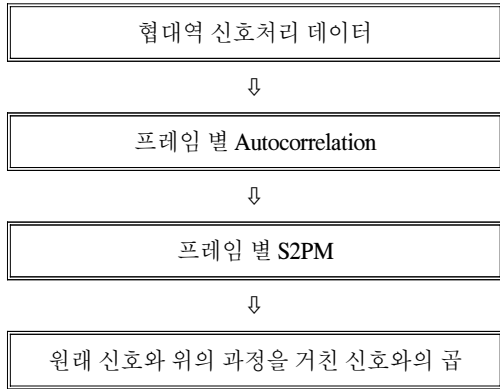


그림 5. 제안한 하모닉 주파수선 특징 강화 과정
Fig. 5 Proposed method for enhancement of harmonic frequency lines

3.2. 자기상관함수 기반의 후처리 기법

불안정한 주파수선으로 판정된 Vernier 분석에 대해 자기상관함수를 적용하여 주기성을 강조함으로써 잘 나타나지 않는 하모닉 특징을 강화하여 표시할 수 있다. 본 연구에서 제안한 하모닉 주파수선 특징을 강화하는 과정은 그림 5와 같다. 협대역 신호처리를 통해 얻어지는 신호는 시간에 따라 전력 스펙트럼을 연속적으로 전시하는 워터폴(water fall) 형태로 나타나게 되는데 이때 보이는 특정시간의 전력 스펙트럼을 하나의 프레임으로 간주하고 $X_i(k)$ 로 표현한다. 여기서 i 는 프레임번호, k 는 주파수 빈을 나타낸다. $X_i(k)$ 의 자기상관함수를 식 (5)와 같이 구할 수 있는데, I 는 한 프레임 내에 있는 전체 데이터의 수이다. 자기상관함수는 시간 지연 τ 가 변화함에 따라 서서히 값이 감소하는 형태를 나타내는데 주기적으로 반복되는 하모닉의 기본주파수 및 이의 정수배 되는 주파수에서 첨두값을 가지게 된다.

$$Y_i(k) = \frac{1}{I} \sum_{k=0}^{I-1} X_i(k) X_i(k+\tau), \quad \tau \geq 0 \quad (5)$$

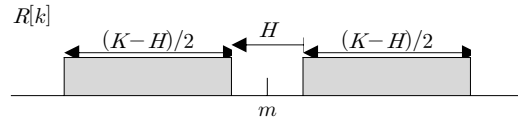


그림 6. S2PM에 사용되는 윈도우 구조
Fig. 6 Window structure for S2PM

$X_i(k)$ 로부터 하모닉으로 추정되는 주기성 성분의 첨두값을 강조하기 위해 $Y_i(k)$ 에 소나 신호의 협대역 신호처리에서 사용되고 있는 배경잡음 추정 알고리즘인 S2PM을 적용하였다[6]. 그림 6은 S2PM에서 사용되는 주파수 축에서의 윈도우를 보인 것이다. 배경잡음의 평균 $\overline{Y_i(k)}$ 는 식 (6)과 같이 계산되는데, 여기서 $R_N(k)$ 는 중심주파수가 k 인 윈도우에서 hole의 크기 H 를 제외한 영역이며, N 은 $R_N(k)$ 내의 데이터 수, m 은 $R_N(k)$ 의 주파수 빈을 나타낸다. 다음으로 식 (7)과 같이 크기가 큰 주파수 성분을 $\overline{Y_i(m)}$, 그렇지 않은 신호에 대해서는 $Y_i(k)$ 로 유지하여 첫 번째 배경잡음 평균 $Z_{i_1}(m)$ 을 구한다.

$$\overline{Y_i(k)} = \frac{1}{N} \sum_{m \in R_N(k)} Y_i(m) \quad (6)$$

$$Z_{i_1} = \begin{cases} \overline{Y_i(k)}, & \text{if } Y_i(k) \geq \overline{Y_i(k)} \\ Y_i(k), & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (7)$$

배경잡음 평균 $Z_{i_1}(m)$ 에 대하여 위 과정을 되풀이하여 최종 배경잡음의 평균 $Z_{i_2}(m)$ 를 추정함으로써 식 (8)과 같이 배경잡음이 제거된 최종 스펙트럼을 추출한다.

$$Z_i(k) = \frac{Y_i(k) - Z_{i_2}(k)}{Z_{i_2}(k)} \quad (8)$$

마지막 단계로 식 (9)와 같이 원래의 신호와 자기상관함수 및 S2PM 적용 후의 신호를 곱하여 원래 데이터가 가지고 있는 주파수 선포 등의 음향징표들을 보존하면서 하모닉 성분의 선 스펙트럼을 강조한다.

$$S_i(k) = X_i(k) \times Z_i(k) \quad (9)$$

$S_i(k)$ 신호는 원래 신호와 S2PM 적용 후의 신호와의 곱으로 생성된 신호로 PSR과 BR 데이터에 변형을 가져올 수도 있기 때문에 원래 표적의 정보를 변형시키지 않기 위해서 $S_i(k)$ 신호로부터 0을 제외한 데이터의 평균을 구하여 평균이상의 값을 가진 주파수 bin의 값을 1로 정규화하고 그렇지 않은 데이터는 0으로 정규화 한다. 그리하여 얻은 정규화 데이터와 원래 데이터의 곱으로 표적이 가지고 있던 신호의 변형을 막고 주변잡음 성분을 제거할 수 있도록 하였다.

IV. 실험 및 검토

4.1. 실험 조건

본 연구의 실험에 사용된 데이터는 실제 해상에서 수집된 것으로 표 1과 같다. 협대역 신호처리를 위한 모든 데이터의 분석은 육상식별센터에서 운용되는 분석시스템[5]에 적용된 파라미터 값을 사용하였는데, 스펙트럼 분석에 4096-point FFT와 50% overlap, Kaiser-Bessel 윈도우 함수를 사용하였다. Vernier 처리를 위한 단구간 적분은 2초, 배경잡음 추정 및 제거는 S2PM을 사용하였다. S2PM 수행 파라미터는 윈도우 크기는 65, hole size 3을 사용하였으며 모든 출력 데이터들은 화면출력을 위해 1600개의 주파수 bin으로 정규화 하였다.

제한한 알고리즘을 적용하면서 사용된 문턱값들은 실험적으로 구한 값으로 다음과 같다. Non-SRC와 SRC 성분을 구분하기 위한 차이값의 문턱값은 평균값의 3.5 배에 해당하는 값을 사용했으며, 자기상관함수를 이용한 필터링 된 데이터를 얻기 위한 문턱값은 평균값의 2 배를 사용하였다.

표 1. 신호분석에 사용된 해양 음원 데이터
Table. 1 Underwater acoustic data used for analysis

소음원	표본화 주파수	분석주파수대역	녹음시간
오징어선 (8톤15노트)	50kHz	약 305Hz	4분49초
오징어선 (8톤13노트)	50kHz	약 305Hz	4분 5초
오징어선 (8톤 7노트)	50kHz	약 305Hz	4분48초

4.2. 실제 해양 음원 데이터를 이용한 실험 결과 및 분석

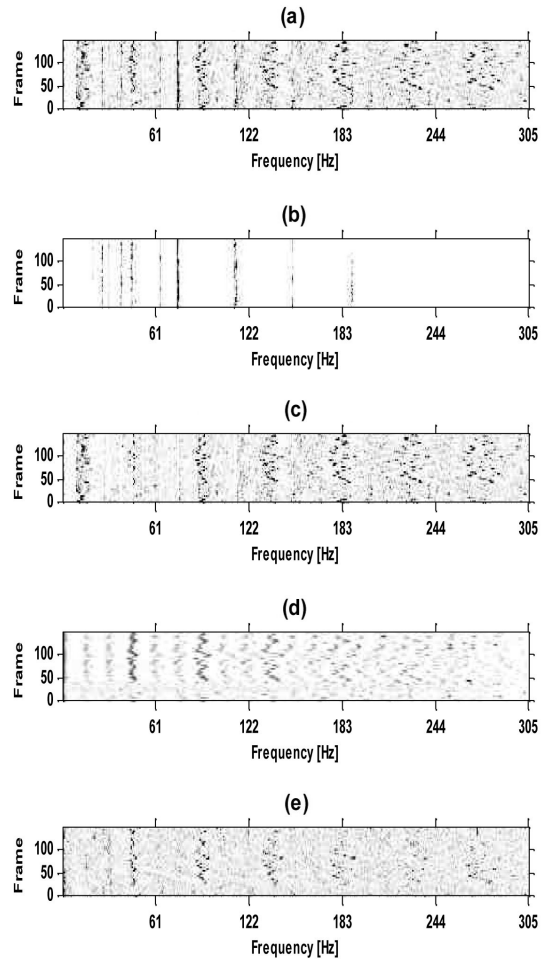


그림 7. 오징어선 8톤 15노트 데이터의 분석
(a) Vernier 분석 (b) 안정한 주파수선 (c) 불안정한 주파수선 (d) 하모닉 성분 추정 (e) DEMON 분석
Fig. 7 Analysis results for data of a 8-ton fishing boat with speed of 15 knots. (a) vernier analysis (b) stable frequency lines (c) unstable frequency lines (d) estimated harmonics (e) DEMON analysis

표 1에 주어진 데이터에 대해 제안한 알고리즘을 적용하여 분석한 결과를 그림 7~11에 나타내었다. 각 그림에서 (a)는 Vernier 를 305Hz의 분석 영역을 갖도록 전시한 것이며, (b)는 안정적인 주파수선으로 추정되어 뽑아낸 것이고, (c)는 안정적인 주파수선을 제거하고 남은

불안정한 주파수선으로 추정되는 데이터이다. (d)는 후처리 과정인 자기상관함수와 S2PM으로 하모닉 주파수선을 추정한 최종 결과이다. 마지막으로 (e)는 중심 주파수를 6000Hz로 하여 DEMON 분석한 결과로, Vernier에 나타난 주파수선의 소음원이 공동소음인지 여부를 확인하기 위해서 제시하였다.

그림 7의 8톤 15노트 오징어선의 분석에서 보면, (a)에서는 여러 형태의 주파수선이 복잡하게 얽혀 있는 것을 볼 수 있는데 (b)와 (c)에서는 제안한 방법을 이용하여 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선이 잘 분리되었음을 확인할 수 있다. (d)에서는 불안정한 주파수선에 제안한 후처리 방법인 자기상관함수와 S2PM 알고리즘을 통과한 후 실제 잘 나타나지 않던 하모닉이 쉽게 확인됨을 볼 수 있다. DEMON 분석 결과인 (e)를 보면, 약 55Hz, 110Hz, 165Hz 근처에서 굵은 형태의 불안정한 주파수선을 볼 수 있다. 또한 그 사이 사이에 쉽게 확인은 되지 않지만 약한 주파수선이 존재한다. (d)의 Vernier로부터 추정된 데이터를 보면 DEMON 분석한 데이터와 거의 일치하고 더 쉽게 하모닉 관계를 찾을 수 있음을 볼 수 있다.

그림 8, 9의 경우 역시 그림 7과 마찬가지로 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선의 구별 및 하모닉 성분의 추정이 효과적임을 확인할 수 있다. 그림 8의 (c)와 (d)를 비교해 보면 (c)에서는 굵은 주파수선이 약 72Hz를 기본주파수로 반복됨을 볼 수 있다. 하지만 높은 주파수에서 보면 낮은 주파수에서는 잘 보이지 않는 주기적으로 반복되는 약한 신호들을 확인할 수 있고 이를 이용해 주파수선의 하모닉 관계를 추정하기는 쉽지 않다.

이러한 경우에 (d)와 같이 제안한 알고리즘인 자기상관함수와 S2PM을 이용해 주파수선을 추정한 결과를 보면 쉽게 찾을 수 없었던 주파수선의 하모닉 관계를 추정할 수가 있다. 그림 (e)의 DEMON 분석에서 보면 약 72Hz에서 큰 세기의 주파수선이 하나 보이고, 그 외에 약한 주파수선들이 존재함을 볼 수 있는데, (d)의 Vernier에서 추정한 결과를 보면 DEMON의 분석 결과와 거의 일치하면서 보다 쉽게 하모닉 관계를 확인할 수 있음을 알 수 있다.

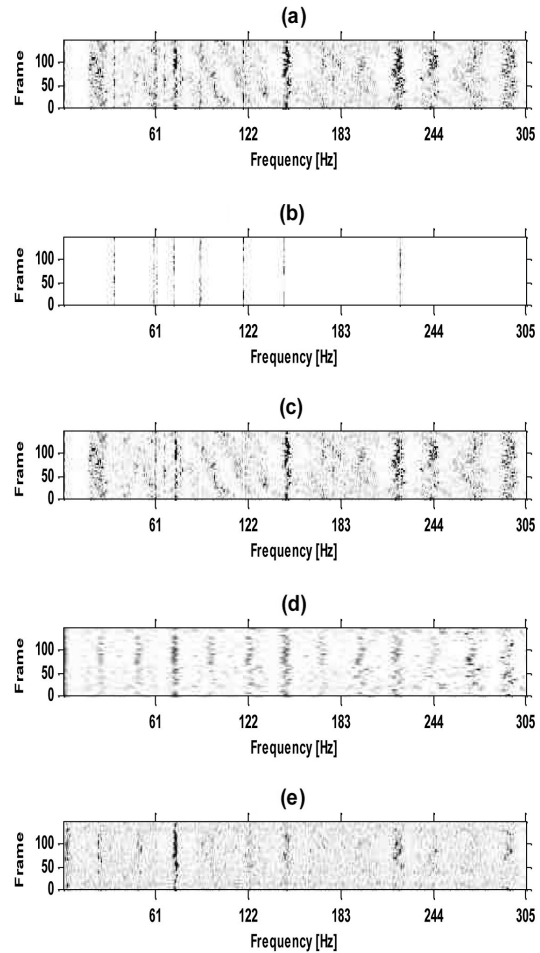


그림 8. 오징어선 8톤 13노트 데이터의 분석
 (a) Vernier 분석 (b) 안정한 주파수선 (c) 불안정한 주파수선 (d) 하모닉 성분 추정 (e) DEMON 분석
 Fig. 8 Analysis results for data of a 8-ton fishing boat with speed of 13 knots. (a) vernier analysis (b) stable frequency lines (c) unstable frequency lines (d) estimated harmonics (e) DEMON analysis

그림 9(a)에서 약 61Hz에 나타나는 주파수선은 제안한 방법으로 얻은 (d)의 하모닉 추정 결과를 보면 약 6차 하모닉 성분임을 알 수 있다. 그림 9(e)의 DEMON 분석에서는 대략 30Hz를 기본주파수로 하는 하모닉 성분들을 볼 수 있으며 속도가 점점 감소하는 형태를 나타낸다. 그리고 약 10Hz를 기본주파수로 하는 뚜렷하지 않는 형태의 하모닉 성분들을 볼 수 있다.

그러나 제안한 방법을 이용한 그림 9(d)의 결과에서는 약 10Hz를 기본주파수로 하는 주파수선과 약 30Hz 마다 에너지가 큰 주파수선이 반복되는 형태를 확인할 수 있다.

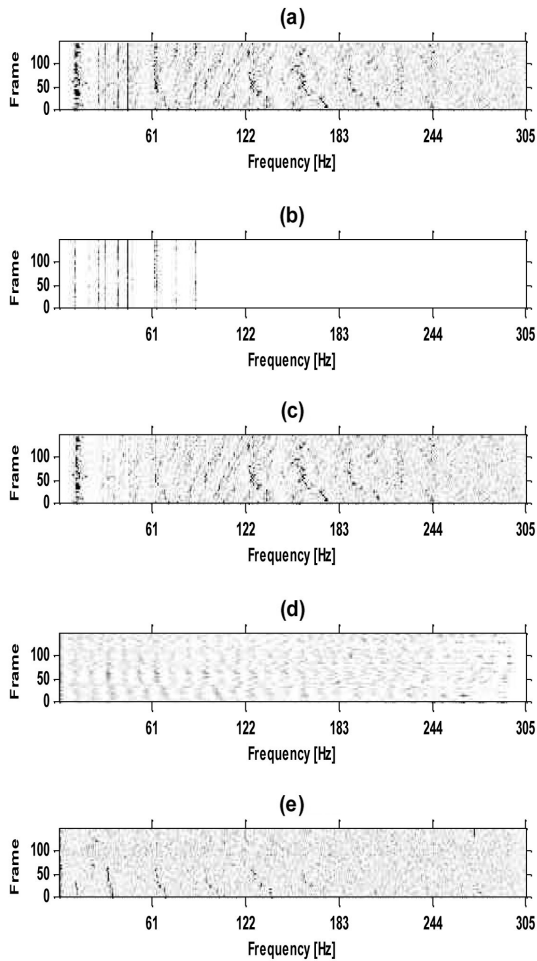


그림 9. 오징어선 8톤 7노트 데이터의 분석
 (a) Vernier 분석 (b) 안정한 주파수선 (c) 불안정한 주파수선 (d) 하모닉 성분 추정 (e) DEMON 분석
 Fig. 9 Analysis results for data of a 8-ton fishing boat with speed of 7 knots. (a) vernier analysis (b) stable frequency lines (c) unstable frequency lines (d) estimated harmonics (e) DEMON analysis

V. 결 론

수중음향 신호들을 분석하여 함정의 동력장치 및 보조장비들에 대한 음향징표를 찾아내는 것은 수동소나 분석에서 가장 중요한 과제이다. 일반적으로 수동소나 분석은 운용자의 숙련도에 많이 의존하게 되는데, 협대역 신호처리의 Vernier 분석에서 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선을 구별하고, 하모닉 성분의 확인이 쉽지 않은 불안정한 주파수선으로부터 하모닉 관계를 추정하여 제공해 주는 것은 운용자의 편의성을 제공할 뿐만 아니라 협대역신호를 분석하는 시간을 단축시킬 수 있다.

본 연구에서는 협대역신호처리에서 얻어지는 스펙트럼의 일정 시간에 따른 주파수 빈별 평균값과 difference로부터 안정적인 주파수선과 불안정한 주파수선을 구별하고, 불안정한 주파수선에 자기상관함수와 S2PM을 적용하여 하모닉 성분을 추정 및 강조할 수 있는 기법을 제안하였으며, 실제 해상에서 측정된 선박소음에 적용된 실험결과를 제시하였다. 실험결과 수동소나 신호의 Vernier 분석에서 제안한 후처리 방법을 적용하여 표적식별을 위한 소음원의 하모닉 성분 분석에서 보다 개선된 유용한 음향징표를 얻을 수 있음을 보였다.

참고문헌

- [1] R. J. Urlick, *Principles of Underwater Sound 3rd edition*, New York, McGraw-Hill, 1983.
- [2] X. Lurton, *An introduction to underwater acoustics principle and application*, Springer, 2002.
- [3] J.L Terry, A, Crampton, C.J. Talbot, "Passive sonar harmonic detection using feature extraction and clustering analysis," *Oceans Proceedings of MTS/IEEE*, vol. 3, pp. 2760-2766, 2005.
- [4] 이정호, 배건성, "수동소나 시스템에서 주파수선 및 고조파 성분의 검출 성능 향상", 한국음향학회 학술 발표대회 논문집, 29권 1(s)호, 2010
- [5] 배건성, 이균경, 육상식별센터를 위한 건설한 표적 특징 추출 및 식별에 관한 연구, 국방과학연구소 연구보고서, 2007

- [6] Shapiro J. H, Green T, "Performance of split-window multipass-mean noise spectral estimators," *IEEE Transactions of Aerospace and Electronic Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 1360-1370, Oct. 2000.

저자소개

이정호(Jungho Lee)

2008년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터 학부(공학사)
2010년 2월: 경북대학교 대학원 전자전기 컴퓨터학부
(공학석사)
2012년 8월 ~ 현재: (주)LIG넥스원
※ 관심분야: 디지털신호처리, 수중음향신호처리



배건성(Keunsung Bae)

1977년 2월: 서울대학교 전자공학과
1979년 2월: 한국과학기술원 전기 및
전자공학과(공학석사)
1989년 5월: University of Florida
(공학박사)
1979년 3월 ~ 현재: 경북대학교 IT대학 전자공학부
교수
※ 관심분야: 음성신호처리, 디지털신호처리, 수중음향
신호처리, 패턴인식