

# Double-Density 이산 웨이블릿 변환의 계수를 이용한 CFAR Power-Law기반의 수중 천이 신호 탐지

정승택\* · 차대현\* · 임태균\* · 김종훈\*\* · 황찬식\*

\*경북대학교 · \*\*동양대학교

Underwater transient signal detection based on CFAR Power-Law using  
Double-Density Discrete Wavelet Transform coefficient

Seung-Taek Jung\* · Dae-Hyun Cha\* · Tae-Gyun Lim\* · Jong-Hoon Kim\*\* · Chan-Sik Hwang\*

\*Kyungpook National University · \*\*Dongyang University

E-mail : elintj@naver.com\* · master@yousuk.com\* · semic@korea.com\* · kimjh@dyu.ac.kr\*\* ·

cshwang@ee.knu.ac.kr\*

## 요 약

수중 천이 신호를 탐지하기 위한 기존의 기법은 에너지 변화와 스펙트럼 변이를 이용한 것으로 백색잡음 환경에서 탐지가 잘 되지만 유색잡음 환경에서는 탐지가 잘 되지 않는다. 본 논문에서는 백색잡음 환경과 유색잡음 환경에서 수중 천이 신호의 탐지성능을 높이기 위해 Double-Density 이산 웨이블릿 변환과 CFAR Power-Law기법을 이용한다.

## ABSTRACT

To existing method which uses energy variation and spectrum deviation to detect the underwater transient signal is useful to detect white noise environment, but it is not useful to do colored noise environment. To improve capacity of detecting the underwater transient signal both in white noise environment and colored noise environment, this study takes advantage of Double Density Discrete Wavelet Transform and CFAR Power-Law.

## 키워드

수중 천이 신호, Double-Density 웨이블릿 변환, CFAR Power-Law

## 1. 서 론

수중 천이 신호로는 물고기, 고래 등과 같은 해양생물에 의한 천이 신호와 잠수함, 선박 등과 같은 인위적인 천이 신호로 구분된다. 수중 천이 신호는 시간 변화에 따른 확률값을 알 수 없는 비정상성(non-stationary)을 가진 신호로써 관측시간에 비해 짧은 지속시간을 가지고 있기 때문에 시간축상에서 신호의 정확한 형태를 알 수 없고, 신호의 도달시간도 알 수 없다[1]. 해양 주변잡음은 해양 자체에서 발생하는 소음으로 각기 다른 주파수 영역마다 다른 특성을 가지고 있는 비정

재적인 특성을 가지는 유색 잡음과 유사하다[2]. 수중 환경에서 수중 천이 신호와 해양 주변잡음이 함께 존재하기 때문에 수중 천이 신호를 탐지하는데 제약이 있다.

수중 천이 신호의 탐지를 위한 기존의 기법은 고차 통계와 웨이블릿 변환을 이용한 기법이 있고[3], 에너지 변화와 스펙트럼 변이를 이용한 기법이 있다[4]. 고차 통계기법과 웨이블릿 변환을 이용한 기법은 침도값을 사용하여 정상성을 가질 때 침도값이 0으로 되는 특성에 의해 백색잡음에 대한 웨이블릿 변환(DWT) 계수를 제거하고, 비정상성을 가질 때는 침도값이 존재하는 특

성에 의해 수중 천이 신호에 대한 DWT계수를 강화하여 탐지하는 기법이다[3]. 기존의 기법은 백색잡음 환경에서 탐지가 잘 되지만 유색잡음 환경에서는 탐지 성능에 제한된다. 그러므로 유색잡음에서 탐지 성능을 개선시킬 수 있는 새로운 탐지 기법이 필요하다.

본 논문에서는 해양 주변잡음에 대해 미리 알고 있다는 가정에서 해양 주변잡음과 수신된 수중 천이 신호에 대한 프레임의 Double Density Discrete Wavelet Transform(D-D DWT)의 계수를 이용하여 CFAR(Constant False Alarm Rate) Power-Law기법을 기반으로 탐지 확률값을 구한다. 해양 주변잡음으로 탐지확률값을 구한 값들 중에서 가장 큰 값을 문턱치로 정하여 탐지확률값이 문턱치보다 크면 신호로 탐지하고, 그렇지 않으면 잡음으로 탐지한다.

II에서 본 논문의 비교대상인 기존의 기법으로 에너지의 변화와 스펙트럼 변이를 이용한 기법을 설명하고, III에서는 D-D DWT 계수를 이용한 CFAR Power-Law기법을 설명한다. IV에서 실험에 대한 결과를 제시하고, V에서 결론을 맺는다.

## II. 기존의 수중 천이 신호 탐지 기법

기존의 수중 천이 신호 탐지 기법은 에너지 변화와 스펙트럼 변이를 이용해서 탐지를 수행하는 것으로 수중 천이 신호의 가장 낮은 에너지 레벨이 잡음의 에너지 레벨보다 클 경우에 탐지를 할 수 있다[4]. 수신된 현재 프레임의 에너지와 스펙트럼 변이가 특정 문턱 준위보다 작을 경우에는 현재 프레임을 배경 잡음으로 결정하고 배경 잡음 전력을 이전의 4프레임의 평균 잡음 전력으로 갱신시킨다. 배경 잡음 전력 추정값으로 정규화한 스펙트럼 변이가 특정 문턱 준위보다 클 경우에는 현재 프레임은 수중 천이 신호로 탐지하게 된다. 이 기법은 정재성의 백색잡음에 비해 비정재성의 유색잡음 환경에서 수중 천이 신호를 탐지하는데 제한이 있기 때문에 새로운 수중 천이 신호 탐지 기법이 필요하다.

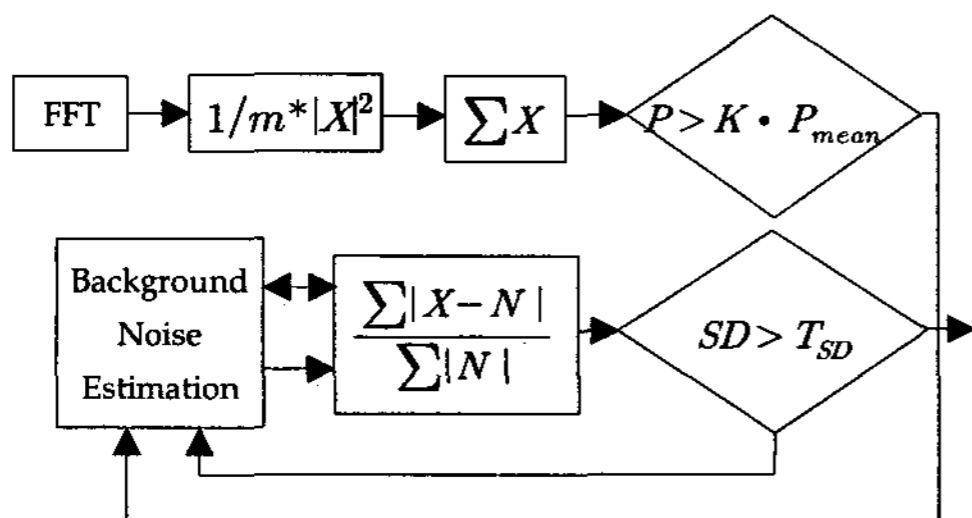


그림 1. 기존의 수중 천이 신호 탐지 흐름도

그림 1은 에너지 변화와 스펙트럼 변이를 이용한 수중 천이 신호 탐지의 알고리즘 흐름도를 나

타낸 것이다. 여기서 SD는 배경 잡음 추정값으로 정규화된 스펙트럼 변이를 나타내고,  $P_{mean}$ 은 이전 4프레임의 평균전력을 나타낸 것이다.

## III. 제안한 수중 천이 신호 탐지 기법

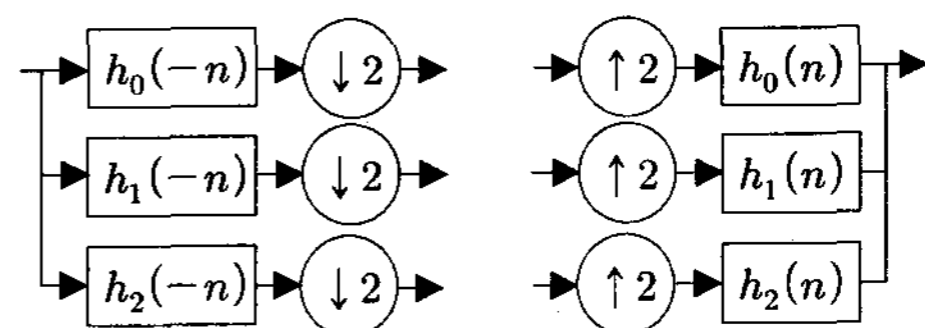
제안한 탐지기법은 D-D DWT를 수행하기 위해 스케일함수와 웨이블릿함수를 만든 다음 D-D DWT계수를 구하여 CFAR Power-Law기법을 적용하면 탐지확률값을 구할 수 있다. 3.1에서 D-D DWT의 수행을 위해 스케일함수와 웨이블릿함수를 구하는 방법에 대해 설명하고, 3.2에서 CFAR Power-Law기법에 대해 설명한다. 마지막으로 3.3에서 제안한 기법에 대해 설명한다.

### 3.1 D-D DWT

비정재성의 수중 천이 신호를 탐지하기 위해서 시간과 주파수에 대해 표현이 가능해야 한다. 푸리에 변환은 주파수에 대해서만 표현이 가능하고, 단구간 푸리에 변환은 시간과 주파수에 대해 표현이 가능하지만 특정 윈도우를 사용하기 때문에 분해능이 고정되는 단점을 가진다.

DWT는 신호가 급격히 변화하는 부분에는 폭이 좁은 윈도우를 사용하고, 신호가 천천히 변화하는 부분에는 폭이 넓은 윈도우를 사용하기 때문에 시간과 주파수에 대해 분해능을 가변할 수 있다. DWT의 분해과정과 합성과정은 대역분할 부호화와 같게 생각할 수 있고, 분석 필터와 합성 필터는 QMF(Quadrature Mirror Filter)뱅크로 구성되어 있다. QMF뱅크는 완전한 합성을 위해서 저역통과필터의 주파수 영역에서  $\pi$ 만큼 이동하여 고역통과필터를 만들고, 저역통과필터와 고역통과필터는  $\pi/2$ 에서 대칭을 이룬다. QMF뱅크를 설계한 후 스케일함수와 웨이블릿함수를 얻기 위해서 연속미분 가능 횡수를 나타내는 정규성 조건(regularity condition)을 만족해야 한다. DWT를 수행하기 위해서 완전합성을 할 수 있는 필터뱅크를 설계하여, 필터뱅크에서 정규성 조건을 만족하는 스케일함수와 웨이블릿함수를 찾아야 한다. 웨이블릿 변환은 같은 신호의 시간축으로 이동할 경우 웨이블릿 변환의 계수를 변화시킨다[5].

D-D DWT는 기존의 웨이블릿 변환보다 하나 더 많은 필터뱅크를 사용하기 때문에 시간축의 이동에도 웨이블릿 변환의 계수는 유지하게 된다. D-D DWT의 필터뱅크는 아래와 같다[6].



(a)분해 필터뱅크 (b)합성 필터뱅크  
그림 2. Double density DWT의 필터뱅크

엘리어싱되는 부분을 제거하고 완전합성을 하기 위해 수식(1)과 수식(2)의 조건을 만족해야 한다.

$$\sum_{i=0}^2 H_i(z)H_i(z^{-1}) = 2 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^2 H_i(z)H_i(-z^{-1}) = 0 \quad (2)$$

D-D DWT는 3개의 필터뱅크를 만든다.

$$H_0(z) = Q_0(z)(z+1)^{K_0} \quad (3)$$

$$H_i(z) = Q_i(z)(z-1)^{K_i} \quad \text{where, } i=1,2 \quad (4)$$

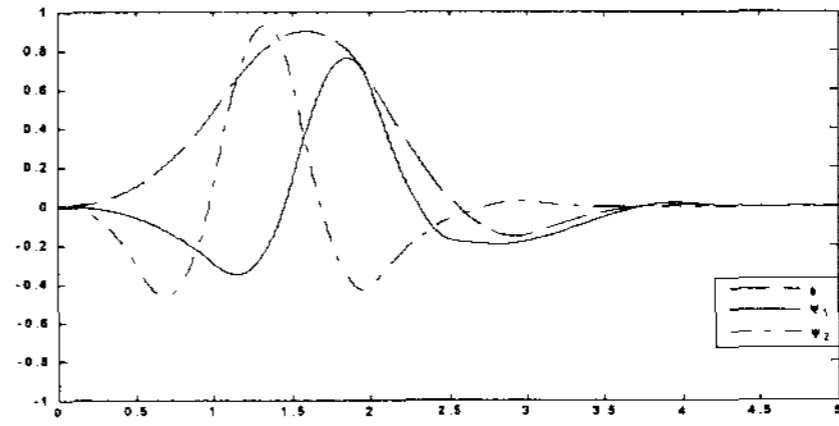
여기서  $Q(z)$ 는 선형 위상을 만족시키기 위한 것이고,  $K_0$ 는  $\omega = \pi$ 에서 저역통과필터( $H_0$ )의 영점 개수를 나타내는 것으로써 스케일함수의 굴곡(smoothness)과 관련된다.  $K_1$ 과  $K_2$ 는  $\omega = 0$ 에서 고역통과필터( $H_i$ )의 영점 개수를 나타내는 것으로 압축과 관련된다. 주어진  $K_0, K_1, K_2$ 을 이용하여 평탄한 FIR필터뱅크를 만들고, FIR필터뱅크에서 연속함수 또는 연속미분가능 함수로의 수렴하기 위한 정규성 조건을 만족하는 스케일함수와 웨이블릿함수를 구한다.

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n)\phi(2t-n) \quad (6)$$

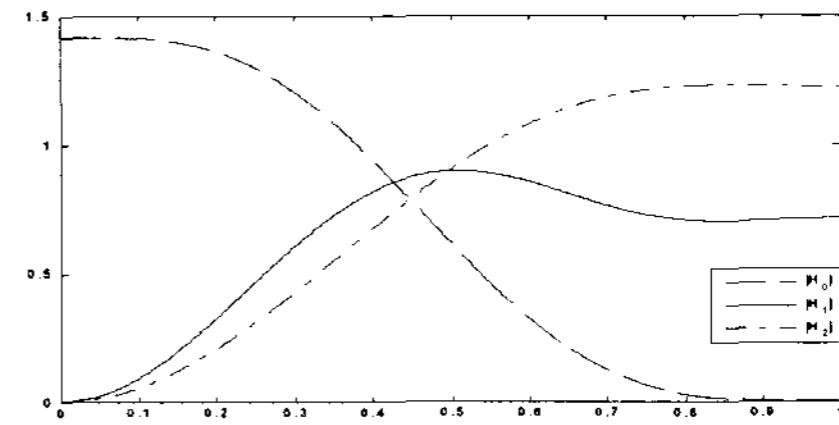
$$\psi_i(t) = \sqrt{2} \sum_n h_i(n)\phi(2t-n) \quad \text{where, } i=1,2 \quad (7)$$

여기서  $\phi(t)$ 는 스케일함수이고,  $\psi_i(t)$ 는 웨이블릿함수이다.  $h_0(n)$ 은 저역통과필터의 임펄스응답을 나타내고,  $h_i(n)$ 은 고역통과필터의 임펄스응답을 나타낸다. 스케일함수와 원신호를 내적하면 저역통과필터를 수행한 결과와 같고, 웨이블릿함수와 원신호를 내적하면 고역통과필터를 수행한 결과와 같다.

본 논문에서  $K_0=4, K_1=K_2=2$ 일 때 D-D DWT의 스케일함수와 웨이블릿함수를 만든다. 여기서  $K_1=K_2$ 인 이유는 다를 경우에 특정한 고역통과필터가 더 많은 필터링을 수행하기 때문이다. 주어진  $K_0, K_1, K_2$ 로부터 평탄한 FIR필터뱅크를 만들고, 정규성 조건을 만족하는 D-D DWT의 스케일함수와 웨이블릿함수를 생성한다. 이렇게 만들어진 스케일함수와 웨이블릿함수를 이용하여 수중 천이 신호와 내적을 하면 D-D DWT의 계수를 구할 수 있다. 스케일함수와 웨이블릿함수를 사용하여 D-D DWT의 계수를 구한 것은 필터뱅크의 저역통과필터와 고역통과필터를 통과한 것과 같은 의미가 된다.



(a)스케일함수와 웨이블릿함수



(b)필터뱅크의 주파수 응답  
그림 4.  $K_0=4, K_1=K_2=2$ 에서 D-D DWT

### 3.2 CFAR Power-Law

수중 환경과 같이 비정재성을 가진 환경에서 효과적인 표적의 탐지를 위해 발전된 것이 CFAR Power-Law기법이다[3]. 비정재성을 가진 신호에 고정된 탐지 기준치로 수중 천이 신호의 유무를 판단하는 것은 오경보 확률을 일정한 수준 이하로 유지해야 하는 Neyman-Pearson설계 기준을 충족시킬 수 없다. 잡음의 파워를 국부적으로 추정하고 탐지 기준치를 가변적으로 계산하여 잡음에 대한 영향을 배제하는 기법이다. 수중 천이 신호와 해양 주변잡음 신호가 함께 있을 때 수중 천이 신호가 존재하지 않을 가설  $H_0$ 는 독립이고 동질성을 가진 분포이고, 수중 천이 신호가 존재하는 가설  $H_1$ 은 동질성을 가지지 않는 분포이다.

$$H_0: f(X) = \prod_{k=1}^N \frac{1}{\mu_0} e^{-\frac{X_k}{\mu_0}} \quad (8)$$

$$H_1: f(X) = \prod_{k \notin S} \frac{1}{\mu_0} e^{-\frac{X_k}{\mu_0}} \prod_{k \in S} \frac{1}{\mu_1} e^{-\frac{X_k}{\mu_1}} \quad (9)$$

수식(8),(9)에서  $N$ 은 DWT계수에 대한 전체 개수이고,  $\mu_0$ 와  $\mu_1$ 은 각각 해양 주변잡음 레벨과 수중 천이 신호 레벨을 뜻하며,  $X_k$ 는 DWT계수를 제공한 것이다.  $M$ 이 신호가 존재하는 부분에서의 DWT계수이고,  $S$ 는  $M$ 의 부분집합이다. 즉 신호가 존재하는 가설인  $H_1$ 에서 잡음과 신호에 대한 DWT계수가 모두 존재한다.

Power-Law기법은 해양 주변잡음 레벨( $\mu_0$ )에 대한 특성을 알고 있어야 하고,  $v$ 는 가변할 수 있으며, 실험적으로 가장 좋은 값을 선택하면 된

다. Power-Law기법은 수식(10)과 같이 나타낸다.

$$T(X) = \sum_{j=1}^N X_k^v \tag{10}$$

Power-Law기법은 백색잡음 환경에서 탐지성능이 좋지만, 유색잡음 환경에서는 탐지성능이 좋지 않은 단점을 가진다. 백색잡음과 유색잡음 환경에서 수중 천이 신호의 탐지 성능을 높이기 위해 CFAR Power-Law기법을 사용하고 수식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \sum_{j=1}^N \left[ \frac{W_{jL}}{\frac{1}{L-1} \sum_{i=1}^{L-1} W_{ji}} \right]^v \tag{11}$$

여기서  $i=1,2,\dots,L-1$ 까지의 프레임 수를 나타내고,  $j$ 는 스케일을 나타낸다. 실험을 통하여  $v$ 는 1.3으로 하였을 때 가장 좋은 탐지성능을 가졌다.  $W$ 는 DWT계수를 제공한 것을 나타낸다.

3.3 제안한 기법

본 논문에서 제안한 탐지기법은 다음과 같다.

1. 30프레임의 백색잡음을 미리알고 있는 해양 주변잡음으로 가정하여 D-D DWT의 계수를 구하여 평균한다.
2. 백색잡음 또는 유색잡음이 섞인 수중 천이 신호에 대해 D-D DWT를 수행한다. 단 백색잡음이 섞인 수중 천이신호에서의 백색잡음과 미리알고 있는 해양 주변잡음인 백색잡음은 서로 다른 것을 사용한다.
3. 위에서 구한 값에 대한 비를 구하여  $v=1.3$ 으로 하고 모든 스케일에 대해 합하여 탐지확률값인  $T_w$ 를 구한다. 여기서 문턱치는 미리알고 있는 잡음신호 프레임에 대해 수식(11)을 이용하여 잡음에 대한 탐지확률값을 구하고 그 값 중에서 가장 큰 값을 문턱치로 사용한다.

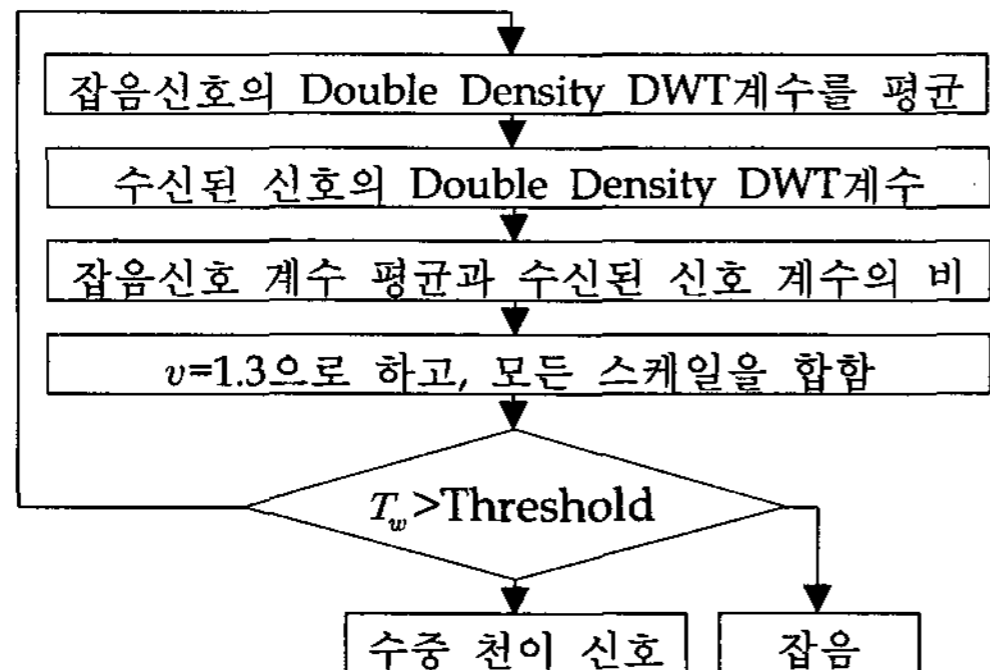


그림 3. 제안한 수중 천이 신호 탐지 흐름도

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 보여주기 위해서 해양 생물에 의한 수중 천이 신호와 인위적인 수중 천이 신호를 사용하여 탐지를 수행한다. 샘플링 주파수는 8KHz이고, 양자화 레벨은 16비트이다. 각 프레임의 길이는 512(64msec)샘플이다. 잡음은 백색잡음으로 AWGN(Adaptive White Gaussian Noise)와 유색잡음으로 브라운 잡음을 사용한다. 신호대 잡음비가 -3dB인 브라운 잡음과 귀신고래 소리가 섞여있는 수중 천이 신호에 대해 기존의 기법과 제안한 기법을 이용하여 탐지한 결과를 보인다.

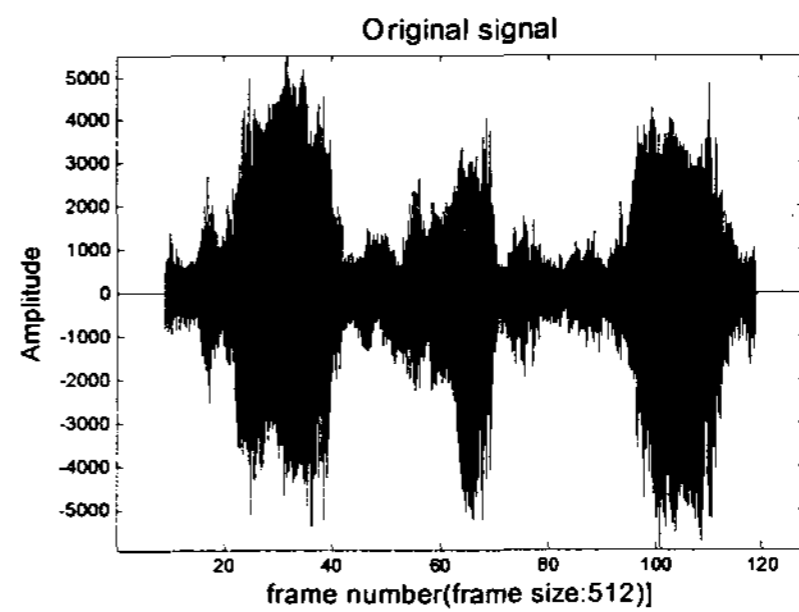


그림 4. 귀신고래 소리

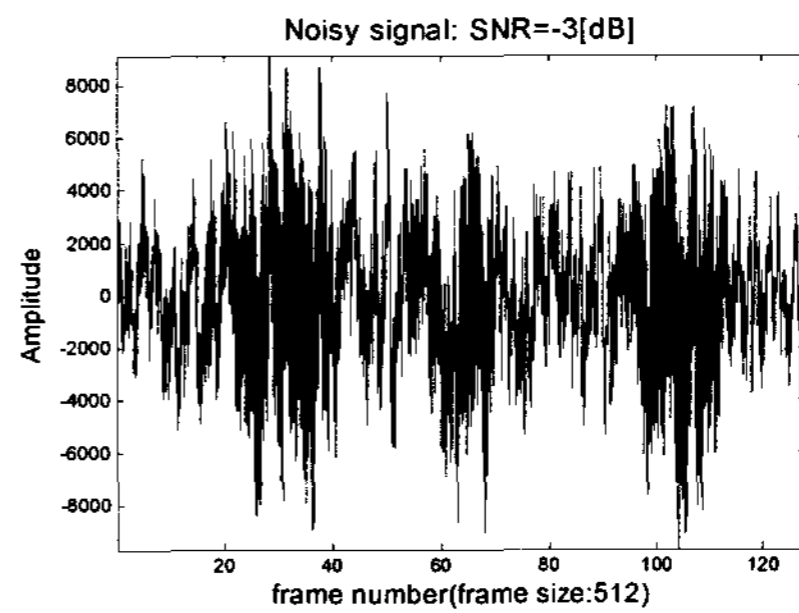


그림 5. -3dB 유색잡음 섞인 귀신고래 소리

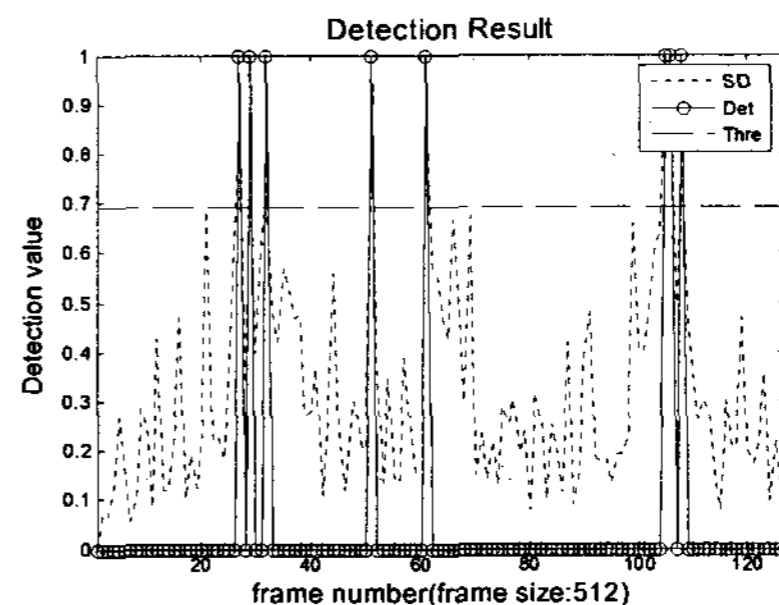


그림 6. 기존의 기법의 탐지 결과

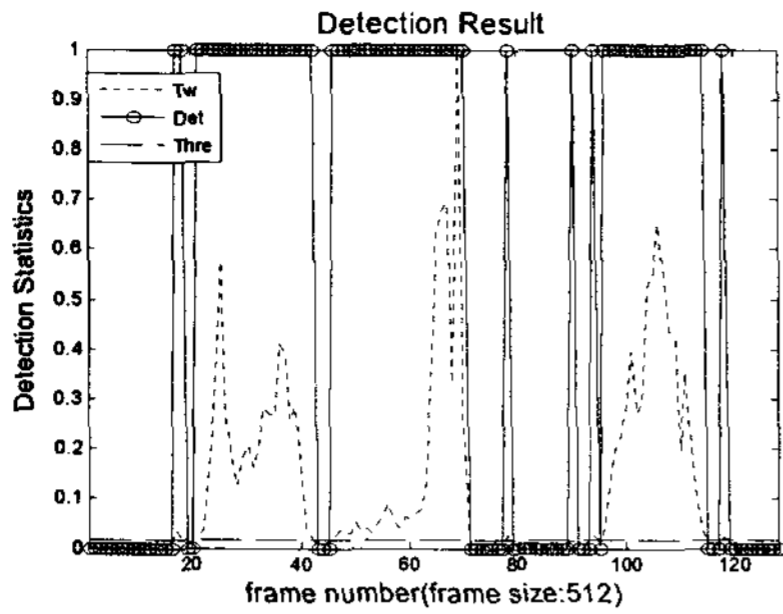


그림 7. 제안한 기법의 탐지 결과

그림4는 귀신고래 소리를 나타낸 것이고, 그림 5는 귀신고래 소리에 신호대 잡음비가 -3dB의 브라운 잡음이 섞인 귀신고래 신호를 나타낸 것이다. 브라운 잡음이 섞인 귀신고래 소리를 이용하여 에너지 변화와 스펙트럼 변이를 이용한 기존의 기법에 대한 결과는 그림6에서 나타냈고, D-D DWT를 이용한 CFAR Power-Law기반의 제안된 기법에 대한 결과는 그림7에 나타냈다. 유색잡음이 존재하는 수중 천이 신호에서 기존의 기법을 이용하면 탐지성능이 좋지 않지만, 제안한 기법을 이용하면 기존의 기법보다 좋은 탐지성능을 보인다.

표 1. 수중 천이 신호 탐지

SNR에 따른 해양소리	기법에 따른 잡음 환경		백색잡음		유색잡음	
	기존의 기법	제안한 기법	기존의 기법	제안한 기법	기존의 기법	제안한 기법
3dB 귀신고래	67	72	33	72		
3dB 대왕고래	112	119	59	129		
3dB 흑등고래	118	137	74	136		
3dB 토피도	68	96	38	97		
3dB 모터보트	63	95	42	86		
3dB 어뢰소리	62	76	43	68		
0dB 귀신고래	52	66	18	72		
0dB 대왕고래	104	111	48	121		
0dB 흑등고래	92	127	49	136		
0dB 토피도	56	86	32	97		
0dB 모터보트	59	87	15	86		
0dB 어뢰소리	58	74	21	64		
-3dB 귀신고래	40	60	5	72		
-3dB 대왕고래	81	105	32	119		
-3dB 흑등고래	74	106	35	135		
-3dB 토피도	39	81	11	95		
-3dB 모터보트	45	79	5	86		
-3dB 어뢰소리	52	66	8	61		

표1은 귀신고래, 대왕고래, 흑등고래와 같은 해양 생물과 토피도, 모터보트, 잠수함 해치와 같은 인위적인 수중 천이 신호를 이용하여 신호대 잡음비를 바꾸면서, 백색잡음과 유색잡음의 경우로 나누어서 실험을 하였다. 백색잡음과 유색잡음 섞인 수중 천이 신호의 탐지를 위하여 제안한 기법을 이용하면 높은 신호대 잡음비의 경우와 낮은 신호대 잡음비의 경우에서 고른 탐지성능을 보인다.

## V. 결 론

기존의 기법을 대신하여 제안한 기법을 사용하면 신호대 잡음비에 관계없이 백색잡음과 유색잡음 환경에서 고른 탐지성능을 보인다. 차후 연구에는 더 낮은 신호대 잡음비에서 고른 탐지성능을 보이는지와 다른 수중 천이 신호를 이용하여 얼마나 좋은 탐지성능을 보이는지에 대한 연구가 필요하다. 또 문턱치 선정에 대하여 특정한 기준이 필요하다.

## 참고문헌

- [1] P. Ravier, P.O. Amblard, "Wavelet packets and denoising based on higher-order-statistics for transient detection," *Signal Processing*, Vol. 81, pp. 1909-1926, August. 2001.
- [2] Robert J. Urick, "Principles of underwater sound 3rd edition," McGraw-Hill, New-York 1996.
- [3] D. Carevic, "Adaptive window length detection of underwater transients using wavelets," *The Journal of the Acoustical Society America*, Vol. 117, pp.2904-2913 May. 2005.
- [4] Taegyun Lim, Siho Kim, Keunsung Bae, Chansik Hwang, "Classification of some underwater transient signals using Wigner-Vill distribution function," *WESPAC IX 2006*, pp.173, June. 2006.
- [5] Julia Neumann, Gabriele Steidl, "Dual-Tree Complex Wavelet Transform in the frequency domain and an application to signal classification", *Interantional Journal of Wavelet Multiresolution and Information Processing*, vol. 3, pp.43-66, Number. 2005.
- [6] I.W.Selesnick, "The Double Density DWT", in *Wavelets in Signal and Image Analysis : From theory to Practice*, A.Petrosian and F.G.Meyer, Eds.Boston, MA:Kluwer, 2001.