한국음향학회지 제26권 제6호 pp. 301~305 (2007)

EVRC 음성부호화기의 잡음억제단을 이용한 수중 천이신호 검출

Detection of Underwater Transient Signals Using Noise Suppression Module of EVRC Speech Codec

김 태 환*, 배 건 성*
(Tae-Hwan Kim*, Keun-Sung Bae*)
*경북대학교 전자공학과

(접수일자: 2007년 6월 26일; 채택일자: 2007년 8월 24일)

본 연구에서 관심을 갖는 수중환경에서의 천이소음도 가청주파수 대역임에 착안하여 이동통신 시스템의 표준 음성부호화기인 EVRC의 전처리단을 이용하여 배경잡음 구간을 판별하고 이를 바탕으로 수중 천이신호를 탐지하는 알고리즘을 제안하였다. EVRC 전처리 모듈에 프레임 단위의 입력신호가 들어가면 모듈로부터 잡음 구간을 결정하는 플래그, 각 채널의 에너지, 잡음이 제거된 신호, 입력신호의 에너지, 배경잡음의 에너지, 잡음이 제거된 신호의 에너지에 해당하는 파라미터 값을 얻게 된다. 잡음이 제거된 신호의 에너지를 배경잡음의 에너지로 정규화하고 이를 문턱값과 비교함으로써 천이신호를 검출할 수 있다. 또한 문턱 값은 잡음 구간에서 구한 이전 값을 이용해서 갱신된다. 실험결과를 통해 제안한 알고리즘이 백색 또는 유색잡음 하에서도 4% 미만의 오차를 보여주는 것을 검증한다.

핵심용어: 소나, 수중 천이 신호 검출, EVRC
투고분야: 수중 음향 분야 (5.4)

In this paper, we propose a simple algorithm for detecting underwater transient signals on the fact that the frequency range of underwater transient signals is similar to audio frequency. For this, we use a preprocessing module of EVRC speech codec that is the standard speech codec of the mobile communications. If a signal is entered into EVRC noise suppression module, we can get some parameters such as the update flag, the energy of each channel, the noise suppressed signal, the energy of input signal, the energy of background noise, and the energy of enhanced signal. Therefore the energy of the enhanced signal that is normalized with the energy of the background noise is compared with the pre-defined detection threshold, and then we can detect the transient signal. And the detection threshold is updated using the previous value in the noisy period. The experimental result shows that the proposed algorithm has 0~4% error rate in the AWGN or the colored noise environment.

Key words: Sonar, Underwater transient signal detection, EVRC
ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.4)

I. 서 론

해양에서 발생하는 수중 천이신호의 탐지와 식별은 최근 매우 중요한 연구주제로 부각되고 있다. 특히, 군사용 측면에서 볼 때, 센서에서 탐지되는 수중 음향신호 중에서 천이신호를 빠르고 정확하게 검출해서 식별하는 것은 소나 운용자가 좀 더 적절하고 효율적인 대처를 하기 위해서도 필요하다. 본 논문에서는 천이신호 탐지부분에 초점을 맞추고 정확한 탐지성능을 갖는 알고리즘을 제안하였다.

책임저자: 배 건 성 (ksbae@knu.ac.kr)
702-701 대구시 북구 산격동 1370 경북대학교 전자공학과
(전화: 053-950-5527)

신호 탐지란 주변환경의 영향 (배경잡음)하에서 관측자가 관심을 갖는 신호를 추출해 내는 것을 말한다. 신호를 탐지하는 데에 있어서 가장 일반적인 방법은 에너지를 이용하는 방법이다 [1]. 즉, 배경잡음의 정재성 (stationary)을 이용해서 현재 프레임에서 배경잡음을 뺀 에너지가 문턱값을 초과할 경우 신호로 보는 것이다. 이 방법은 간단하고 백색잡음과 같이 시간에 따른 변화가 일정한 경우에는 잘 동작하지만 실제 수중 배경잡음은 백색잡음 보다는 유색잡음에 가깝고 배경잡음의 레벨은 시간에 따라 변화할 수 있기 때문에 일반적으로 에너지만을 이용한 탐지방법으로는 정확한 탐지가 어렵다. 이를 보완하기 위해서 신호의 스펙트럼 변화와 전력의 변화를 동시에 이용하는 방법이 있다.

신호를 탐지하는데 있어서 관심 갖는 주파수 대역을 알면 그에 알맞은 효율적인 알고리즘을 이용해서 최적의 성능을 갖도록 할 수 있다. 특히 수중에서 발생하는 음향신호 중에서 탐지에 요구되는 신호가 인간의 귀로 들을 수 있는 가청 주파수 대역에 속해 있는 경우에는 이동통신에서 사용되고 있는 음성부호화기 알고리즘에서 음성 구간을 검출하는 부분을 이용할 수 있다. 현재 사용되고 있는 음성부호화기의 전처리단에서는 수신측에서의 음성 품질을 높이면서 평균 전송률을 낮추기 위해서 음성 구간 검출 및 잡음제거 기능이 수행된다. 즉 배경잡음을 추정하고 이를 이용해서 잡음을 제거하며, 음성 구간과 잡음 구간을 서로 다른 전송률로 부호화 함으로써 평균 전송률을 낮추면서 음질을 향상시키기 위함이다. 이는 천이신호를 탐지하기 위해 배경잡음을 추정하는 것과 유사한 기능을 가지므로 이를 이용한다면 최적의 탐지결과를 얻을 수 있을 것이다. 본 논문에서는 표준 음성부호화기인 EVRC 부호화기의 전처리단을 탐지 알고리즘에 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 EVRC 전처리단의 구성 및 각 파라미터에 대해 설명하고, 3장에서 전처리단을 이용한 탐지 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 수중 천이신호에 대해 제안한 알고리즘을 이용한 천이신호 탐지 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. EVRC 전처리단

EVRC는 Enhanced Variable Rate Codec [2]의 약자로써 모토롤라에서 개발하여 현재 CDMA 이동통신에서 사용되고 있는 표준부호화기이다. 이는 음성의 정보량에 따라 전송률을 가변하는 방식으로, 음성정보가 많은 구간에서는 전송률을 높이고 배경잡음 구간에는 전송률을 낮추는 방식으로 음질을 높이면서 평균 전송률을 낮추는 방식이다. 이를 위해서는 배경잡음을 제거하고 음성을 정보량에 따라 몇 가지로 구분하는 과정이 필요한데, 이 가운데 EVRC전처리단에서는 배경잡음을 추정하고 추정한 배경잡음을 이용한 잡음제거가 이루어진다.

그림1은 EVRC 전처리단의 블록도이다. EVRC는 8kHz의 표본화율로 동작하도록 설계되어있고 신호의 처리는 프레임 단위 (1 프레임 = 160 샘플)로 이루어진다. 이는 음성정보의 대부분이 4 kHz 대역 내에 존재하고 음성신호는 일반적으로 20ms 내에서는 정재성을 가지므로 160 샘플로 처리하는 것이 적합하기 때문이다. 입력신호는 우선 음성의 품질에 영향을 미칠 수 있는 DC 성분 및 저주파 영역을 제거하기 위해 120Hz의 차단주파수를 갖는 고주파 통과 필터를 거친다. 이후부터는 한 프레임을 80샘플씩 두 번으로 나누어 신호를 처리하게 된다.

임의의 한 프레임 (80샘플)과 이전 프레임의 24샘플을 합해서 104샘플을 이용해서 사다리꼴 창함수를 곱하고 이를 128포인트 푸리에 변환을 해서 주파수 영역으로 변환한다. 이를 0-4kHz 의 16채널 critical band 주파수 필터뱅크 [3]를 이용해서 각 채널의 에너지를 구하고 이렇게 구한 각 채널의 에너지는 스펙트럼 편차 추정, 채널 SNR 추정 및 배경잡음 추정에 각각 이용된다. 각 채널의 SNR을 추정한 후 음성/배경잡음 구간을 판별하기 위해서 미리 정해놓은 보이스 메트릭 (voice metric) 테이블을 이용해서 배경잡음 구간 판별 및 채널 SNR을 수정하고 최종적으로 배경잡음 구간에서 추정한 채널 이득을 이용하여 주파수 영역 필터링을 통해 배경잡음이 제거된 신호를 얻는다.

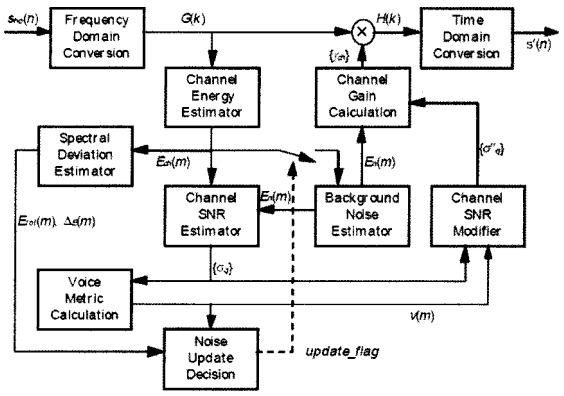


그림 1. EVRC 전처리단의 블록도
Fig. 1. Block diagram of EVRC preprocessing module.

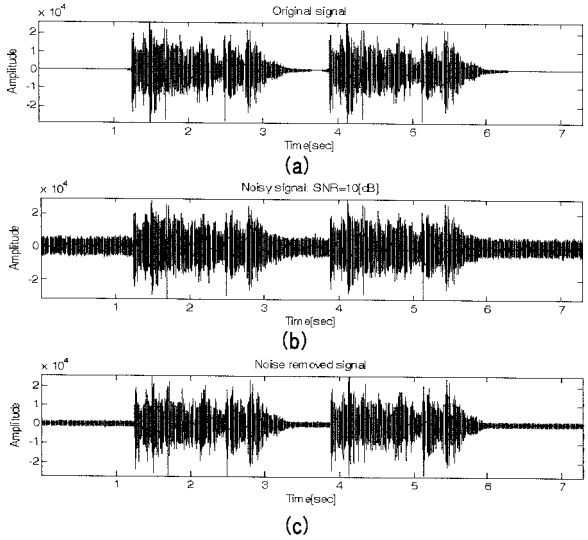


그림 2. EVRC 전처리단 모듈을 이용한 잡음제거 예 (a) 천이신호 (b) SNR 10dB의 백색잡음을 더한 신호 (c) EVRC 전처리단 모듈을 이용해서 잡음이 제거된 신호

Fig. 2. An example of noise reduction using EVRC preprocessing module (a) A transient signal (b) A transient signal with AWGN(SNR 10 dB) (c) Result of noise reduction.

그림 2는 EVRC 전처리단 모듈을 이용해서 잡음을 제거한 결과이다. 그림 2 (a)는 천이신호의 앞뒤에 각각 약 1초씩 묵음구간을 삽입한 파형이고 그림 2 (b)는 10 dB의 SNR을 갖도록 백색 가우시안 잡음을 더한 파형이다. 그리고 그림 2 (c)는 EVRC 전처리단 모듈을 이용해서 잡음을 제거한 결과이다. 그림 2 (a) 와 비교해 볼 때 잡음이 많이 제거된 것을 확인할 수 있다.

EVRC 전처리단 모듈은 음성통화에 최적화된 기술이지만 이를 이용하면 수중 음향 신호탐지에도 이용할 수 있다. 기존의 수중 천이신호의 탐지과정에서는 운용자가 센서를 통해 들어오는 음향신호를 직접 듣고 탐지하는 과정도 있기 때문에 가청주파수 대역을 처리하는 EVRC 부호화기를 이용해서 탐지를 한다면 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있게 된다. 즉 모듈 내에서 사용되는 특정 파라미터들을 이용하면 배경잡음 구간을 판별할 수 있고 이를 이용해서 천이신호인지 아닌지를 판별할 수 있게 된다.

III. 제안한 수중 천이신호 탐지 알고리즘

그림 3은 EVRC 전처리단을 이용해서 제안한 탐지 알고리즘의 블록도이다. 수중센서를 통하여 들어온 신호는 160샘플 (20ms)씩 프레임 단위로 EVRC 전처리단 모듈의 입력으로 들어가게 된다. 이때 출력은 입력신호의 에너지 (TES), 추정된 잡음의 에너지 (TEN), 잡음이 제거

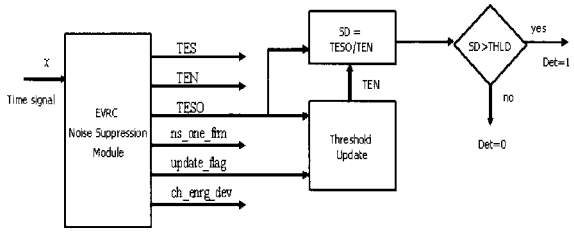


그림 3. EVRC 전처리단을 이용한 천이소음 탐지 알고리즘 블록도

Fig. 3. Block diagram of a transient signal detection using EVRC preprocessing module.

된 신호의 에너지 (TESO), 잡음이 제거된 신호 (ns_one_frm), 배경잡음 갱신 플래그 (update_flag), 그리고 각 채널의 에너지 편차 (ch_enrg_dev)가 얻어진다. 이를 이용해서 탐지에 사용되는 파라미터 SD는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\mathrm{SD} = \frac{\mathrm{TESO}}{\mathrm{TEN}} \tag{1}$$

여기서, TESO는 잡음이 제거된 신호의 에너지이고 TEN은 추정된 잡음의 에너지를 나타내므로 SD값은 앞서 설명한 스펙트럼 차감법과 같은 맥락으로 이해할 수 있다. 신호의 탐지는 SD가 문턱값 (TSD)을 넘으면 입력 프레임을 천이신호로 판단하게 된다. 이때 문턱값은 배경잡음을 추정해 나가면서 매 프레임 갱신되고 식 (2)와 같이 정의된다.

$$T_{SD}(k) = \mu \times \frac{\mathrm{TENO}}{\mathrm{TEN}} \tag{2}$$

여기서, μ는 미리 결정된 상수 값이고 TENO는 잡음이 제거된 신호의 에너지인 TESO의 평균을 구한 값으로써 망각지수를 이용하여 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\mathrm{TENO}(k) = \alpha \cdot \mathrm{TENO}(k-1) + (1-\alpha) \cdot \mathrm{TESO}(k) \tag{3}$$

여기서, 망각지수 α는 0.9를 사용하였다. SD값은 천이신호가 발생할 경우 TESO가 급격히 증가하게 되고, 문턱값은 잡음이 제거된 신호의 평균 에너지에 관계하므로 신호의 변화를 따라가지만 변화율은 둔하게 된다. 따라서 천이신호가 발생할 경우 SD 값이 문턱값을 초과하기 때문에 이를 이용하면 천이신호를 탐지할 수 있게 된다.

IV. 실험 및 검토

실험에 사용한 수중음향 데이터는 16kHz 표본화율을 갖고 있지만 탐지에 실제 사용되는 주파수 대역은 0~4kHz 구간의 정보만을 사용하도록 하였다. 이는 EVRC 전처리단 모듈이 8kHz 로 동작하도록 만들어져 있어서 4~8kHz 의 정보를 사용할 수 없기 때문이다. 하지만 기존의 소나 운용자에 의존하는 탐지과정을 비추어 볼 때, 가청 주파수 대역의 대부분의 에너지가 분포되어 있는 0~4kHz 대역만 고려하여도 상대적으로 탐지 성능에는 그다지 큰 지장을 주지 않을 것으로 생각되어 수정 없이 그대로 사용하였다. 실험에 사용한 배경잡음은 백색 가우시안 잡음과 유색잡음을 SNR을 달리하여 사용하였다. 탐지에 사용된 프레임은 EVRC 모듈의 입력인 160 샘플이고 문턱값 계산에 사용된 μ 는 4이다. 그림 4 및 그림 5에 제안한 알고리즘을 이용한 천이신호 탐지결과를 나타내었다. 그림 4는 잠수함에서 어뢰 발사관 소리에 10dB의 SNR을 갖도록 백색 가우시안 잡음을 더해서 실험한 탐지 결과로서 그림 4 (a)는 잡음이 섞인 천이신호이고 그림 4 (b)는 EVRC 전처리단 모듈을 통과하면서 잡음이 제거된 신호에 탐지 결과를 점선으로 표시하였다. 결과를 보면 천이신호가 잘 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4 (c)는 탐지에 사용된 SD와 문턱값을 나타내었다. 천이신호가 없을 때에는 SD가 문턱값 아래에 존재하다가 신호가 존재할 경우에 문턱값을 초과하는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 SNR 10 dB 의 유색잡음 (브라운 잡음)에 대해서 실험한 결과이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 배경잡음이 유색잡음인 경우에도 제안한 알고리즘을 이용한 신호 탐지가 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 탐지성능을 객관적으로 측정하기 위한 파라미터로서 MFR을 식 (4)와 같이 정의하였다.

$$\mathrm{MFR} = \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} D_{result}(n) \right) \times 100$$
$$\mathbf{D}_{\mathbf{result}} = \mathbf{D}_{\mathbf{original}} \oplus \mathbf{D}_{\mathbf{detect}} \tag{4}$$

MFR은 Miss and False alarm Rate 의 약자로써 우선 탐지성능의 결과를 실제 천이신호 프레임을 1로 정의한 $D_{original}$과 탐지결과를 나타낸 D_{detect}를 서로 배타합(XOR) 연산을 한 결과를 D_{result}로 정의하고, D_{result}를 모두 더한 후 전체 프레임 수로 나눈 후 100을 곱함으로써 오 탐지 결과를 나타낸다. 즉 MFR은 오경보 (False Alarm) 및 탐지실패 (Miss) 횟수가 클수록 값이 커지므로 이 값이 작을수록 더 나은 탐지 성능을 나타내게 된다. 이를 바탕으로 수집한 데이터를 이용하여 탐지성능을 측정한 결과를 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1은 백색잡음 환경에서 SNR이 20dB 에서부터 0 dB 까지 탐지 실험을 한 결과이다. 실험에 사용된 신호는 해양 생물 신호 3 가지와 인공 천이소음 (어뢰 발사관, 해치 여는 소리 등) 5가지이다. 신호에 따라 차이는 있지만 평균적으로 SNR이 증가할수록 MFR이 낮아지면서 신호 탐지의 에러가 적은 것을 확인 할 수 있다. SNR이 20 dB 인 경우 탐지 에러율 (MFR)이 5% 미만인 것을 알 수 있

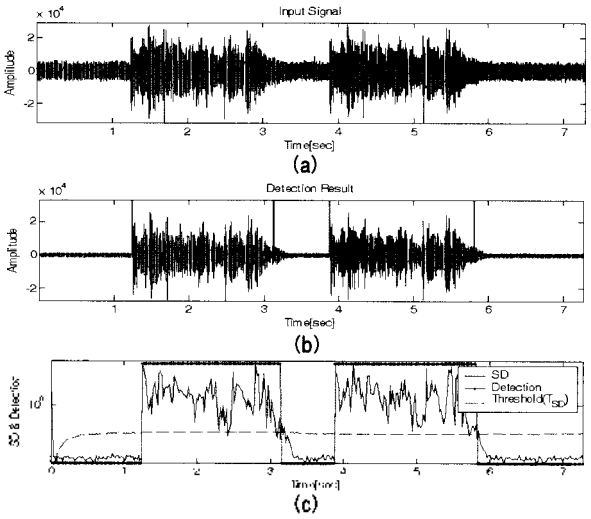


그림 4. 천이신호 탐지 결과 예 (SNR=10dB, 어뢰발사관, 백색잡음)
(a) 입력신호 (b) 탐지결과 (c) SD값과 문턱값 비교
Fig. 4. An example of a transient signal detection(SNR=10dB, torpedo firetube, AWGN) (a) Input signal (b) Detection result (c) SD vs threshold.

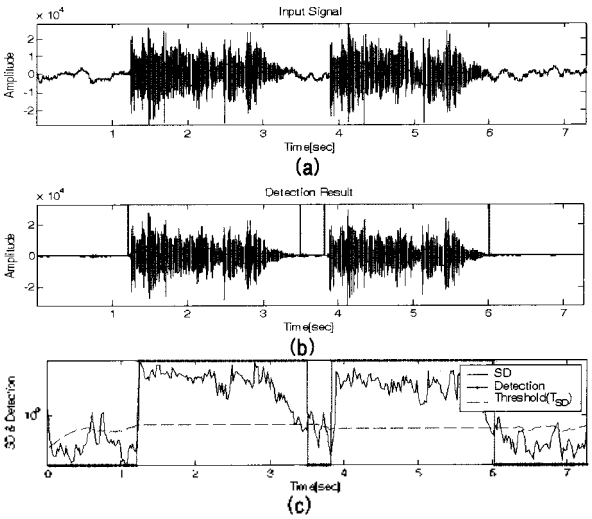


그림 5. 천이신호 탐지 결과 예 (SNR=10dB, 어뢰 발사관, 유색잡음)
(a) 입력신호 (b) 탐지결과 (c) SD값과 문턱값 비교
Fig. 5. An example of a transient signal detection (SNR=10dB, torpedo firetube, colored noise) (a) Input signal (b) Detection result (c) SD vs threshold.

표 1. 천이소음 탐지 실험 결과 (백색잡음)
Table 1. Experimental result (AWGN). 단위 %

White noise		범고래	귀신고래	혹등고래	Hatch 1	Hatch 2	Hatch 3	어뢰 1	어뢰 2	어뢰 3
MFR	20dB	1.21	0.00	2.61	2.88	11.99	8.68	4.03	3.61	4.38
	15dB	2.82	7.55	3.13	6.58	14.98	11.70	4.84	6.02	7.20
	10dB	3.63	31.84	6.27	9.47	16.85	15.85	6.45	15.06	13.18
	5dB	4.44	34.91	29.24	10.70	17.98	17.36	7.66	31.93	19.28
	0dB	14.11	44.80	41.78	13.58	20.22	19.62	11.69	34.04	26.11

표 2. 천이소음 탐지 실험 결과 (유색잡음)
Table 2. Experimental result (colored noise). 단위%

Brown noise		범고래	귀신고래	혹등고래	Hatch 1	Hatch 2	Hatch 3	어뢰 1	어뢰 2	어뢰 3
MFR	20dB	1.21	0.94	0.52	1.23	3.37	0.38	0.81	8.13	2.07
	15dB	0.81	0.71	0.26	0.82	7.87	0.75	0.40	7.23	2.36
	10dB	0.40	0.47	0.00	0.41	11.24	4.53	1.61	4.52	2.90
	5dB	0.00	0.24	1.83	0.00	14.23	9.43	2.02	3.92	3.96
	0dB	0.40	0.00	3.66	1.23	16.10	11.70	3.63	8.73	5.68

다. 한편 저주파는 잘 통과 시키고 고주파는 차단시키는 수중 환경을 고려해 볼 때 알려진 잡음 모델 가운데 브라운 잡음이 이와 가장 유사한 특성을 보이는 것을 알 수 있다 [4]. 표 2 는 브라운 잡음을 이용하여 실험한 결과이다. 브라운 잡음을 이용한 경우에는 대체적으로 성능이 높고 SNR에 따른 영향을 덜 받는 것을 확인 할 수 있다. 또한 표 1과 표 2의 결과는 탐지에 실패한 프레임과 오경보 프레임을 합쳐서 계산한 결과이므로 SNR이 높은 경우에 에러율이 다소 증가하는 경우도 있다. 또한 특정신호의 경우 신호의 탐지는 잘 이루어지지만 천이신호의 특성이 배경잡음과 유사할 경우 약간의 신호왜곡이 발생 하였다. 이는 EVRC 모듈이 음성에 최적화 되어 있어서 발생한 것으로 판단된다.

V. 결 론

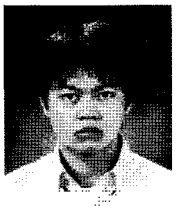
본 논문에서는 EVRC 이동통신 부호화기의 전처리단을 이용하는 천이신호 탐지 알고리즘을 제안하고 이를 이용하여 수중 천이신호를 탐지하는 실험을 하였다. EVRC 전처리단에서 사용되는 배경잡음 추정 파라미터와 입력신호의 에너지, 추정된 배경잡음의 에너지를 이용하여 탐지 파라미터 SD를 정의하고 이를 문턱값과 비교하여 신호를 탐지 하였다. $\alpha = 0.9$, $\mu = 4$를 사용하였고 배경잡음으로는 백색잡음과 유색잡음(브라운잡음)을 사용하여 5가지의 SNR (20 dB ~ 0dB) 환경에 대해서) 실험하였다. 또한 실험에 사용된 천이신호로써 해양생물신호 3 가지와 인공소음 5 가지를 사용하였다. 실험결과 백색잡음의 경우 SNR 15dB 이상에서 10% 미만, 유색잡음의 경우 SNR 5dB 이상에서 4% 미만의 에러율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 논문에서 사용한 EVRC 탐지 알고리즘은 0~4 kHz 의 대역을 사용하므로 4kHz 이후에 에너지가 존재하는 신호에 대해서는 성능을 보장할 수 없다. 이는 추후 연구를 통해 대역을 확장하도록 수정해야 하겠다.

참 고 문 헌

1. Dunn, R. B., Quatieri, T. F. and Kaiser, J. F., "Detection of Transient Signals using Energy Operator", Proc. ICASSP 145 148, April, 1993
2. TIA/EIA/IS-127, "Enhanced Variable Rate Codec", 1996.
3. Dellar, J. R., Proakis, J. G., Hansen, J. H. L., *Discrete Time Processing of Speech Signals*, (New York. Macmillan, 1978)
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Noise

저자 약력

• **김 태 환 (Tae-Hwan Kim)**



2006년 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업
2006년~현재 : 동대학원 전자공학과 석사과정

• **배 건 성 (Keun-Sung Bae)**

1977년 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1979년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1989년 : University of Florida 공학박사
1979년~현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수