

디노이징 오토 인코더 기반 소노부이 신호 변복조 및 송수신 성능 평가

배인영¹, 박수현¹, 배근영¹, 홍정표^{1*}

창원대학교¹

20150053@changwon.ac.kr, pshpsh12@gs.cwnu.ac.kr, pm94222886@gmail.com,

*hansin@changwon.ac.kr

Performance evaluation on denoising autoencoder-based sonobuoy signal modulation/demodulation and transmission/reception

Bae Inyeong¹, Park Soohyun¹, Bae Geunyoung¹, Hong Jungpyo^{1*}
Changwon National Univ¹.

요약

수중 음향 환경에서 주변 소음은 수중 음파 탐지기 및 소노부이로 획득 한 신호를 사용하여 수중 표적 탐지 및 식별에서 성능 저하의 주요 원인 중 하나로 작용한다. 본 논문에서는 디노이징 오토 인코더를 사용하여 수중에서 운용되는 소노부이의 전송 방법을 제안한 방법을 스펙트로그램을 비교하고 overall signal-to-noise ratio (SNR)과 잡음 입력 및 재구성된 출력 신호의 log-spectral distance (LSD)를 측정하여 주변 잡음을 성공적으로 감소시킨다는 것을 확인하였다.

I. 서론

소노부이는 탐지 범위를 고려해 항공기나 선박에서 표적이 있을 것으로 판단되는 위치에 투하된다. 투하된 소노부이는 수중 음향 환경에서 음원을 탐지, 식별 그리고 추적을 통해 수중을 탐색한다 [1]. 수집된 음원은 전송해야 할 정보의 양이 많으며, 수중 음향 환경의 소음은 높은 방향성을 가지기 때문에 채널의 자유도가 낮은 시스템은 음원의 방향을 정확하게 추정하는 데 어려움을 겪고 있다 [2]. 여기서 제안하는 잡음제거 알고리즘은 전송 정보의 양을 줄이고 신호의 보안성을 향상 시킬 뿐만 아니라 추가적으로 주변 소음을 감소시킬 수 있다.

II. 실험 환경 및 결과

본 논문은 앞선 연구[3]에서 제안된 방법을 사용하여 수동 소노부이 환경에서 디노이징 오토인코더를 사용하여 데이터의 소음을 줄이는 방법의 성능을 평가한다. 잡음제거 알고리즘[4]은 표적탐지 중 일반적으로 불필요한 성능 저하를 방지하기 위해 전처리로서 적용된다. 디노이징 오토인코더는 크게 인코더, 디코더 그리고 보틀넥 구간으로 나뉜다. 보틀넥 구간의 latent vector 를 해상초계기나 선박에 전송하여 복원시킬 때 잡음 신호가 감소된다. 이를 위해서 모델을 학습하는 방법이 일반 오토인코더와 다르다. 신호를 복원하기 위해 다양한 SNR 환경으로 시뮬레이션 데이터를 생성하여 훈련에 사용하였다. 디노이징 오토인코더를 이용하여, 별도의 잡음 제거 알고리즘 없이 송수신 과정에서 주변 소음 저감이 가능하다.

디노이징 오토인코더의 성능을 검증하기 위해 MATLAB 위상 배열 시스템 툴박스를 사용하여

DIFAR 수동 소노부이 검출 환경을 시뮬레이션 한다. 디노이징 오토인코더 모델 구조는 표 1 과 동일하다.

Encoder (Dim)	Decoder (Dim)
Noisy input (4000)	Latent vector (10)
Linear (4000-1000)	Linear (10- 50)
ReLU	ReLU
Linear (1000- 500)	Linear (50- 100)
ReLU	ReLU
Linear (500- 100)	Linear (500- 1000)
ReLU	ReLU
Linear (100- 50)	Linear (1000- 4000)
ReLU	Tanh
Latent vector (10)	Output (4000)

표 1 오토인코더 모델의 베이스라인 구조

실험 데이터는 토널 신호 형태로 생성하였고 인코더에 입력될 때, 0~15dB 의 백색 잡음을 무작위로 추가한다. 모델의 훈련을 돕기 위해 -1 ~ 1 범위로 정규화 한 뒤 0.1 초씩 디노이징 오토인코더 모델에 입력으로 넣어주었다. 시뮬레이션을 위한 상세 조건은 표 2 와 같다.

Tonal Signal	
Depth	30, 60, 120, 300 (m)
Detection range	0~15 km
Center frequency	1000~2400Hz
Sampling frequency	40,000Hz

표 2 시뮬레이션 환경 설정

그림 1 에서 잡음 감소 성능을 평가하기 위해 잡음이 없는 원본 신호, 잡음이 포함된 원본 신호, 그리고 복원된 신호의 스펙트로그램을 나타내었다. 추가로 객관적 평가를 위해 위너 필터 기반의 기존 잡음 제거 방법[1]인한 방법의 overall SNR 과 LSD[5]를 측정하여 표 3 에 요약하였다.

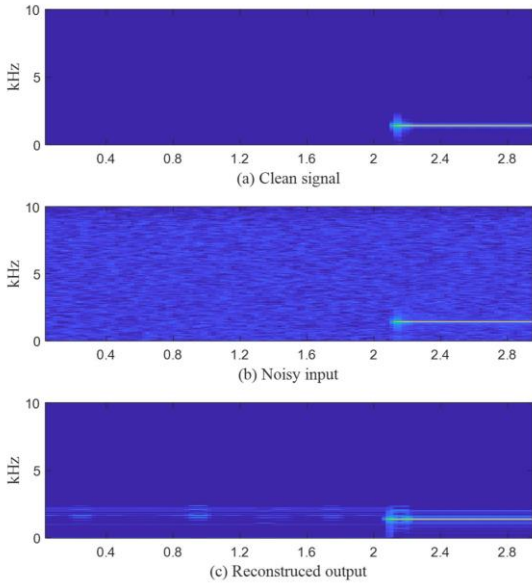


그림 1 스펙트로그램 비교: (a) 원본 신호; (b) 원신호에 5dB 의 백색 잡음을 추가한 데이터; (c) 디노이징 오토인코더를 통해 복원된 신호

표 3 은 제안된 방법이 기존 방법[1] 보다 더 높은 overall SNR 과 더 낮은 LSD 를 동시에 만족한다는 것을 보여준다. 이를 통해 디노이징 오토인코더를 이용 한 송/수신 기법이 별도의 잡음 제거 방법을 사용하지 않고도 주변 소음 제거를 성공적으로 수행함을 확인하였다.

Input SNR		0dB	5dB	10 dB	15 dB
Overall SNR	Noisy input	2.24	4.01	6.56	10.35
	Conventional method	4.35	7.13	10.73	15.14
	Reconstructed output	10.91	12.96	12.80	15.90
LSD	Noisy input	7.54	7.16	6.78	5.96
	Conventional method	7.05	6.56	6.04	5.52
	Reconstructed output	3.64	3.61	3.68	3.22

표 3 다양한 SNR 환경에서 측정한 overall SNR 및 LSD 결과

2.4-2.6 초 사이의 주파수를 분석하여 그림 2 에 나타내었다. 그림 2 를 살펴보면, noisy input 전대역에 잡음이 분포한 것을 알 수 있는데 복원된 신호에는 해당 잡음이 크게 감소한 것을 확인 할 수 있다. 다만 원본 신호와 비교하면 복원된 신호에는 여전히 잡음 에너지가 남아있는 것을 알 수 있다. 따라서 해당 성능을 향상시키기 위한 디노이징 오토인코더 모델 최적화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

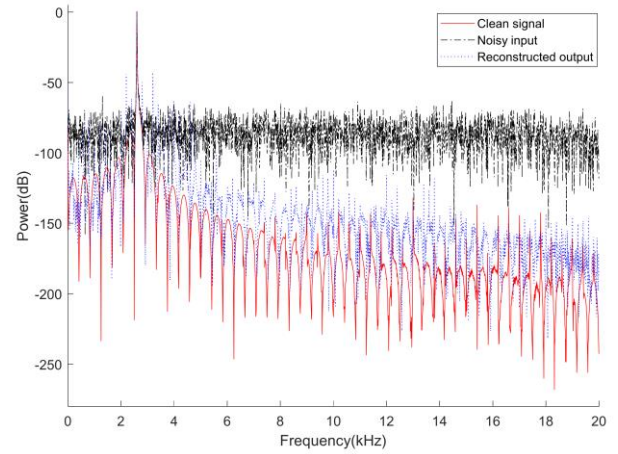


그림 2 주파수 성분 분석: 빨간색: 원본 신호; 검은색: 원본 신호+백색 잡음; 파란색: 복원된 신호

III. 결론

본 논문에서는 디노이징 오토인코더의 성능을 평가하기 위해, 스펙트로그램을 통하여 시각화 하고 주관적으로 분석하였다. 또한 객관적인 비교를 위해 입력 및 출력의 overall SNR 과 LSD 를 측정하여 기존의 방법과 비교 분석하였다. 제안된 방법은 저차원의 latent vector 로부터 원본 신호를 복구 하였을 뿐만 아니라, 별도의 잡음 제거 알고리즘 없이 신호 변복조 과정에서 잡음을 성공적으로 감소시켰다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 경남 SW 융합클러스터 2.0 사업의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] J. Hong, et al., "Wiener filtering-based ambient noise reduction technique for improved acoustic target detection of directional frequency analysis and recording sonobuoy," The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 41, No. 2, pp. 192-198, 2022.
- [2] K.-C. Shin and J.-S. Kim, "Adaptive Beamforming Applied to Bearing Estimation of DIFAR Signal with Highly Directional Noise," The Journal of the Acoustical Society of Korea, vol. 30, no. 8, pp. 474- 481, Nov. 2011.
- [3] J. Park, et al., "Signal transmission method for sonobuoy using a denoising autoencoder," Korea institute of military science and technology, 2022.
- [4] P. Vincent, et al., "Stacked denoising auto- encoders: Learning useful representations in a deep network with a local denoising criterion," Journal of machine learning research, Vol. 11, No. 12, pp. 3371-3408, 2012.
- [5] Loizou, Philipos C. Speech enhancement: theory and practice. CRC press, 2007.