

오토 인코더 기반 소노부이 신호 변복조 및 송수신 성능 평가

배인영¹, 박수현¹, 박진욱², 홍정표^{1*}
창원대학교¹, 한국과학기술원²

20150053@changwon.ac.kr, pshpsh12@gs.cwnu.ac.kr, windclay@kaist.ac.kr,
*hansin@changwon.ac.kr

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

Bae Inyeong¹, Park Soohyun¹, Park Jinuk², Hong Jungpyo^{1*}
Changwon National Univ.¹, Korea Advanced Institute of Science and Technology²

요약

기존의 소노부이 신호 송수신 시스템에서 음파를 이용해 수집된 수중 데이터는 주파수 분할 변조 또는 가우시안 주파수 편이 변조 등의 기술을 사용하여 변조되어 전송된다. 변조된 데이터는 해상초계기나 선박에 수신되어 복조된다. 이러한 방식의 변조 및 복조 방법은 비교적 간단하지만 많은 양의 정보를 전송해야 하며 보안성이 낮다는 단점이 있다. 본 논문에서 오토인코더를 이용하여 전송 신호를 저차원의 잠재 벡터로 변조하였으며 평균 제곱 오차를 측정하여 객관적으로 비교하였다.

I. 서론

소노부이는 부이(buoy)와 소나(sonar)를 합친 장치로 음파를 이용해 수중 정보를 수집하여 모함이나 해상초계기에 radio frequency(RF)통신으로 데이터를 전송하는 장치이다 [1]. 탐지 방식에 따라 수동형과 능동형으로 구분되며, 최근에는 능수동 복합형의 소노부이도 개발되고 있다. 그 중 Directional Frequency Analysis and Recording(DIFAR) 소노부이는 다채널 신호를 주파수 분할 다중화를 통해 각기 다른 주파수 대역으로 분할하여 전송한다[2]. 하지만 전체 신호를 하나의 채널로 결합하여 전송하기 때문에 많은 정보를 전송해야하며, 전송된 신호를 주파수 영역에서 쉽게 구별할 수 있기 때문에 보안적인 문제가 발생할 수 있다.

II. 실험 환경 및 결과

본 논문은 앞선 연구[3]에서 제안된 방법을 사용하여 잠재 벡터를 복원하고 원 신호와 평균 제곱 오차를 측정한다. 양상대 능동 소노부이 환경에서 수집한 데이터를 해상 초계기로 전송할 때 사용된다. 소노부이에 훈련된 오토인코더를 탑재하여 잠재 벡터를 추출해 목적지로 전송하며, 해상 초계기는 수신된 데이터를 복조하여 원 신호를 복구한다 [4]. 사용되는 오토인코더 모델은 출력값과 입력값이 같도록 양상대 능동 소노부이 시뮬레이션 데이터를 사용하여 훈련된다. 입력되는 신호는 파일 당 -1 ~ 1 의 범위로 정규화되며 오토인코더 모델의 구조는 아래의 표와 동일하다.

Encoder (Dim)	Decoder (Dim)
Noisy input (3125)	Latent vector (10)
Linear (3125- 1000)	Linear (10- 100)
ReLU	ReLU
Linear (1000- 500)	Linear (100- 500)
ReLU	ReLU
Linear (500- 100)	Linear (500- 1000)
ReLU	ReLU
Linear (100- 10)	Linear (1000- 3125)
ReLU	Tanh
Latent vector (10)	Output (3125)

표 1 오토인코더 모델의 베이스라인 구조

시뮬레이션 데이터는 continuous wave (CW)와 linear frequency modulation (LFM)의 두 가지 형태로 생성된다. 송신기와 수신기의 위치를 고정하였고 표적과 소노부이 사이의 최대 거리를 9km 로 제한했다. 목표 기동 범위는 50m 에서 150m 사이로 설정하였으며, 나머지 데이터 생성을 위한 자세한 기타 세부 조건은 아래 표에서 살펴볼 수 있다.

	CW	LFM
Center frequency	3500 Hz, 3600 Hz, 3700 Hz, 3800 Hz	
Bandwidth	-	400 Hz
Pulse duration	0.1 s, 0.5 s, 1 s	
Sampling frequency	31,250 Hz	

표 2 시뮬레이션 환경 설정

원본 신호를 복조하기 위해서는 잡재 벡터 외에 정규화에 사용된 두 개의 값을 추가로 전송해야 한다. 이때 10 차원 잡재 벡터와 정규화에 사용되는 크기 값을 16 비트로 양자화 하면 제안하는 방법의 정보량은 약 1.92kbps 이 된다.

시물레이션 결과를 살펴보기 위해 시각적으로 스펙트로그램을 비교 분석하였으며, 이는 그림 1 에서 확인할 수 있다. 또한, 객관화를 위해 샘플 당 양자화된 비트와 관련된 mean square error(MSE)를 측정하였으며 이 결과는 그림 2 에서 확인가능하다.

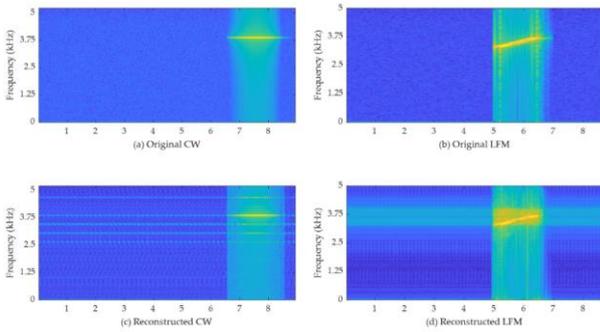


그림 1 원본 신호와 재구성된 신호 간 스펙트로그램 비교 (a) 원본 CW 신호; (b) 원본 LFM 신호; (c) 제안된 오토인코더를 통해 재구성된 CW 신호; (d) 제안된 오토인코더에 의해 재구성된 LFM 신호.

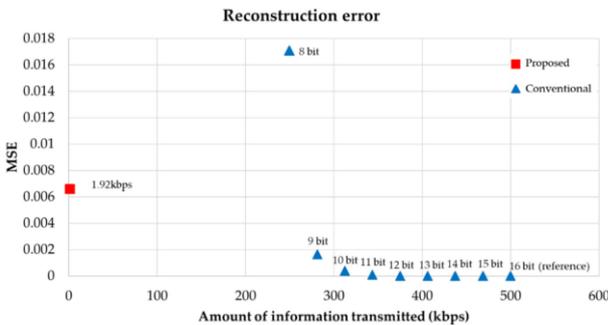


그림 2 전송되는 정보량과 MSE 를 통해 재구성 에러 비교. 16bit 로 양자화된 신호는 오류가 없는 기준 신호로 간주됨

제안하는 방법의 MSE 값(빨간색 사각형)은 샘플 당 8 비트와 9 비트를 사용하는 기존 방법(파란색 삼각형)의 MSE 사이에 위치한다. 기존 방식이 14 비트 또는 16 비트로 양자화한다는 점을 고려하면 제안하는 방법은 상대적으로 큰 MSE 를 보여주지만, 전송해야하는 정보량이 크게 줄어들었기 때문에 기존 방식보다 우수하다고 볼 수 있다.

31,250Hz 의 샘플링 주파수를 샘플 당 16 비트 및 샘플 당 8 비트로 양자화하는 경우에는 각각 500kbps($31,250\text{samples} \times 16\text{bits}$) 및 250kbps($31,250\text{samples} \times 8\text{bits}$)가 필요하다. 반면 제안된 오토인코더의 경우, 0.1 초마다 10 차원 잡재벡터를 생성하고 훈련 과정에서 정규화에 사용한 2 차원 정보를 저장하기 때문에 1 초의 신호를 전송하기 위해 전체 샘플 수가 아닌 120 차원의 벡터만 전송하면 된다. 결과적으로 16 비트 양자화를 사용하는 기존 방법과 비교하여 제안된 방법의 전송 정보량은 기존 방법보다 260 배 적다. 전송 정보량을 약 250 kbps 라고 가정할 경우, 제안된 방법의 전송 정보량은 130 배 적다.

III. 결론

본 논문에서는 오토인코더의 신호 복원 성능을 평가하기 위해 원본 스펙트로그램과 복원된 스펙트로그램의 MSE 를 측정하였다. 측정된 MSE 값은 원본 스펙트로그램의 평균 에너지와 비교하였을 때 약 4% 수준으로 이를 통해 제안한 방법이 성공적으로 원본 신호를 복원하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 방법은 기존 방법보다 130 배 적은 정보만을 사용하여 원본 신호를 복원하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 국방기술품질원의 재원으로 방산혁신클러스터사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (DCL2020L, 2020 년 방산혁신클러스터 방산 소재 부품 연구실 사업)

참 고 문 헌

- [1] J. Lee, et al., "Development of Communication Device for Sound Signal Receiving and Controlling of Sonobuoy," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 24, No. 3, pp. 317-327, 2021.
- [2] Cox, Henry. "Fundamentals of bistatic active sonar." Underwater acoustic data processing. Springer, Dordrecht, 1989. 3-24.
- [3] J. Park, J. Seok, and J. Hong, "Autoencoder-based signal modulation and demodulation method for sonobuoy signal transmission and reception," The Journal of the Acoustical Society of Korea, vol. 41, no. 4, pp. 461- 467, Jul. 2022.
- [4] Hinton, Geoffrey E., and Richard Zemel. "Autoencoders, minimum description length and Helmholtz free energy," Advances in neural information processing systems 6 (1993).