

# 수중 위치측정을 위한 인공지능 컴퓨팅 플랫폼 설계

문지윤\* · 이영필\*\*

## Artificial Intelligence Computing Platform Design for Underwater Localization

Ji-Youn Moon\* · Young-Pil Lee\*\*

### 요약

성공적인 수중 위치측정을 위해서는 다양한 수중 로봇에 탑재 가능한 대규모 병렬 컴퓨팅 환경이 필요하다. 이에, 본 논문에서는 수중 위치측정을 위한 인공지능 컴퓨팅 플랫폼 설계 방법을 제안한다. 제안한 플랫폼은 총 4개의 하드웨어 모듈로 구성된다. Transponder 및 hydrophone 모듈은 음파를 송수신하며 FPGA 모듈은 송수신한 음파 신호를 빠르게 병렬로 전처리한다. Jetson 모듈은 인공지능 기반 알고리즘 처리한다. 해당 플랫폼은 실제 수중 환경에서 거리에 따라 수중 위치측정을 위한 음파 송수신 실험을 수행하였으며 이를 통해 설계한 플랫폼을 검증할 수 있었다.

### ABSTRACT

Successful underwater localization requires a large-scale, parallel computing environment that can be mounted on various underwater robots. Accordingly, we propose a design method for an artificial intelligence computing platform for underwater localization. The proposed platform consists of a total of four hardware modules. Transponder and hydrophone modules transmit and receive sound waves, and the FPGA module rapidly pre-processes the transmitted and received sound wave signals in parallel. Jetson module processes artificial intelligence based algorithms. We performed a sound wave transmission/reception experiment for underwater localization according to distance in an actual underwater environment. As a result, the designed platform was verified.

### 키워드

Artificial Intelligence Computing Platform, Underwater Localization, Parallel Processing, Interoperability, High Availability  
인공지능 컴퓨팅 플랫폼, 수중 위치측정, 병렬 처리, 상호운용성, 고가용성

## 1. 서론

수중 위치측정은 수중 환경에서 임무 계획하기 위한 필수 요소이다[1-3]. 이에, 수중 위치측정을 위한

다양한 연구가 이루어지고 있다[4-5]. Matheus et al. 은 cross-domain 및 cross-view 이미지를 이용하여 수중 위치측정 방법을 제안하였다[6]. Zhu et al. 수중 위치측정을 위한 semi-supervised 학습 기반의 2단계

\*\* 레드윈테크놀로지 (lyp@urc.kr)

\* 교신저자 : 조선대학교 전자공학부

• 접수일 : 2021. 12. 30

• 수정완료일 : 2022. 01. 23

• 게재확정일 : 2022. 02. 17

• Received : Dec. 30, 2021, Revised : Jan. 23, 2022, Accepted : Feb. 17, 2022

• Corresponding Author : Ji-Youn Moon

Dept. of Electronics Engineering, Chosun University

Email : jymoon@chosun.ac.kr

프레임워크를 소개했다[7]. 이러한 학습 기반의 알고리즘을 처리하기 위해서는 빠르고 강인하게 처리할 수 있는 대규모 병렬 컴퓨팅 환경이 필수적이다 [8-9]. 하지만 이러한 대부분의 연구들은 컴퓨터 시스템을 이용하여 알고리즘을 설계하기 때문에 로봇이나 IoT 기기와 같은 시스템에 바로 적용이 어렵다는 한계점을 가지고 있다[10-11]. 이에, 최근에는 병렬 연산 등 새로운 설계가 가능한 임베디드 시스템에 관한 관심이 높아지고 있다. 특히, 이러한 임베디드 시스템은 다양한 해양 로봇 또는 IoT 기기 등 다양한 디바이스에 자유자재로 적용 가능하다는 점에서 필수적이라고 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 대규모 컴퓨팅이 가능한 인공지능 컴퓨팅 플랫폼인 ARANET 설계 방법을 제안한다.

## II. ARANET 모듈 개발

본 논문에서는 인공지능 기반의 수중 위치추정 기능을 수행하는 ARANET 장치 설계에 대해 설명한다. 설계한 ARANET 장치는 4채널의 Acoustic Hydrophone과 1채널의 Acoustic Transducer의 연결

능 연동을 위한 이더넷 통신 인터페이스를 제공하며 GPU 내장 프로세서의 적용을 통하여 AI 기반의 수중 위치추정 가능하게 한다.

### 2.1 모듈 구성

본 논문에서 설계한 ARANET 장치는 Pinger, Hydrophone, Transponder/Responder 등의 소나 단말 장치 및 Acoustic Localization 등의 수중 위치인식 시스템 등의 기능 구현을 위한 4종의 하드웨어 모듈로 구성된다. Transponder 모듈은 음파 송수신 앰프 모듈이며 Hydrophone 모듈은 음파 수신 앰프 모듈이다. FPGA 모듈은 송/수신 음파 신호에 대한 디지털 전처리 모듈로 음향신호 합성/샘플링, gain 제어, 주파수 제어, 디지털 필터링 등이 가능하다.

이더넷 및 음향 통신을 통하여 다중 ARANET 장치간 동기화 가능하다. 동기화 과정은 다음과 같다. 먼저, 선상시스템에 탑재된 Time Server는 위성의 Ground Master Clock 정보를 수신받으며, 동기화를 위한 NTP Server로 동작한다. 선상시스템에 탑재된 ARANET 장치는 NTP Client로서 이더넷을 통하여 NTP Server인 Timer Server와 동기화된다. ROV 또는 AUV에 탑재된 음향처리장치는 Clock Slave로서 Clock Master인 선상음향처리장치와 IEEE

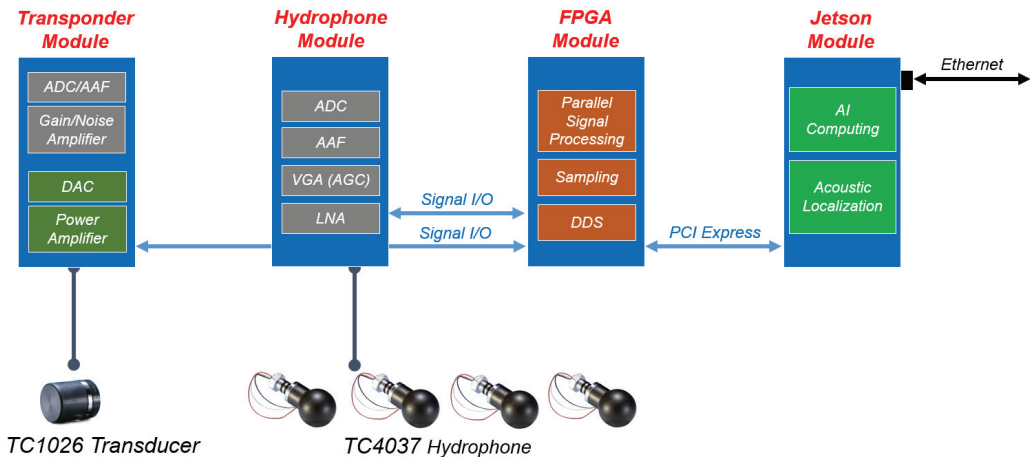


그림 1. ARANET 장치 하드웨어 구성도  
Fig. 1 ARANET hardware architecture

및 연동 제어를 지원하며 FPGA 프로세서의 적용을 통하여 4채널 음파 신호에 대한 고속 병렬 전처리 기능을 지원한다. 네트워크 제어 및 시간동기화 기

1588 동기화 기법을 통하여 동기화된다.

## 2.2 Transponder 모듈

Acoustic Transponder 모듈은 Transceiver로부터 전송된 음파 신호에 대한 음파 응답 신호를 발생시키는 모듈이다. 본 논문에서는 Transponder의 경우 음파의 송수신이 모두 이루어지므로 Transducer 선정 시 공진 주파수 대역에서 송수신 감도가 비교적 높은 RESON 사의 TC1026 Transducer를 적용한다. TC1026 Transducer의 공진 주파수는  $36\text{kHz} \pm 2\text{kHz}$ 이며, 송신 감도는 137dB (at 36kHz), 수신 감도는 -193dB (at 36kHz), 출력 파워는 100W, 임피던스는 630 ohm이다.

## 2.3 Hydrophone 모듈

Hydrophone 모듈은 4채널의 Acoustic Hydrophone을 통하여 수신된 음파 신호에 대한 아날로그 신호 처리(Buffering, Amplifying, Leveling, Scaling, Filtering) 및 샘플링 기능을 수행하는 모듈이다. Hydrophone모듈에 사용된 Acoustic Hydrophone은 RESON 사의 TC4037 Hydrophone이다. 수신 가능 주파수 범위는 1Hz ~ 100kHz이며, 선형 주파수 범위는 1Hz ~ 50Khz이다. 250Hz에서 수신 감도는 -193dB이며 36kHz에서는 -196dB이다.

## 2.4 FPGA 모듈

FPGA 모듈은 Hydrophone 모듈 및 Transponder 모듈의 동작에 필요한 샘플링, 디지털 신호 합성(DDS) 및 병렬 신호처리 기능을 수행하는 모듈이다. FPGA 모듈은 수중 음파 통신을 위한 디지털 변조데이터 (Cosine, Sine) 생성, 수중 음파 통신을 위한 디지털 변조데이터 (Cosine, Sine) 생성, 음파 수신 부의 신호 증폭 게인 조절, 전송할 음파의 주파수 제어가 가능하다. FPGA 하드웨어는 기본적으로 구동클럭, 프로그래밍 JTAG, 설정 스위치, 상태표시 LED 등의 요소들이 기본적으로 탑재된다.

## 2.5 Jetson 모듈

Jetson 모듈 [12]은 FPGA 모듈에서 전 처리된 정보를 이용하여 수중 어플리케이션 ( 위치추정 등 ) 처리 기능을 수행하는 모듈이다. 해당 모듈은 모듈 간 연동 및 동기화를 위한 통신 인터페이스, 하위 FPGA 모듈과의 데이터 교환용 고속 인터페이스, 디스플레이 모니터 연결용 인터페이스, 디스플레이 모니터 연결용 인터페이스, Jetson 모듈의 디버깅 및 상태 체크용 USB Serial 인터페이스, 모듈의 부팅 메모리 또는 비 휘발성 데이터 저장소로 구성된다.

## III. 실험 및 검토

본 논문에서는 개발된 ARANET-Hydrophone 모듈을 성능을 테스트하기 위하여 장성호 (실해역) 성능 평가 실험을 수행하였다. 실험을 위한 세부적인 내용은 다음과 같다.

### 3.1 실험 시스템 구성

실험 시스템은 수중 음파 발생장치인 Pinger 모듈과 음파 수신 장치인 Hydrophone 모듈로 구성된다. Pinger 모듈은 기 개발한 Transponder 모듈을 Pinger 모드로 재 구성하여 수중 음파 발생 소스로 사용하였다. 실험 및 성능평가 대상인 Hydrophone 모듈은 개발한 ARANET-Hydrophone 모듈을 사용하였다. 현재 디지털 신호처리 모듈이 개발되지 않아 오실로스코프를 이용하여 아날로그 단에서의 측정된 파형계측을 통하여 성능평가를 수행할 수 있도록 하였다.

### 3.2 실험 정보 및 내용

실험은 4월 5일 전라남도 장성군에 있는 장성호에서 수행하였으며 약 2~3시간동안 진행되었다. 본 논문에서는 ARANET을 이용하여 약 2m 수심에서 거리별 음파 수신 테스트를 진행하였다. 실험 정보는 표 1과 같다.

표 1. 실험 정보

Table 1. Experiment Settings

Details	
Place	Jangseong-ho, Jangseong-gun
Date	2020-04-05
Depth	About 2m
Duration	About 2~3 hours
Purpose	Sound wave reception test

### 3.3 실험 결과

기본 측정 성능을 테스트하기 위해 Pinger와 Hydrophone 간의 거리를 약 근거리(5m 이내)를 유지한 상태에서 음파의 송수신 실험을 수행하였다. 오실로스코프로 Hydrophone의 수신 신호를 측정한 결과는 그림 2와 같으며 근거리에 대해서 음파가 수신됨을 확인할 수 있었다. 측정 프루브는 1/10을 적용하였기 때문에 그림 2에서 표시된 전압 x10 이 실제 측정

전압이다. 그림 3에서는 Pinger와 Hydrophone 간의 거리를 약 50m를 유지한 상태에서 음파의 송수신 실험을 결과를 확인할 수 있다. 수신 전압 레벨은 0.9Vpp였으며 근거리 실험에서 측정된 전압 대비 약 1/2 정도 감소한 파형이 측정되었다. 그림 4에서는 Pinger와 Hydrophone 간의 거리를 약 100m를 유지한 상태에서 음파의 송수신 실험 결과를 확인할 수 있다. 수신 전압 레벨은 0.46Vpp였으며, 100m 부근에서는 파형이 거의 관측되지 않았다. 주파수를 15kHz로 변경한 결과 미약한 파형을 확인할 수 있었다.

있다. 그 결과 수백 미터 차이에서도 음파가 많이 감소하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

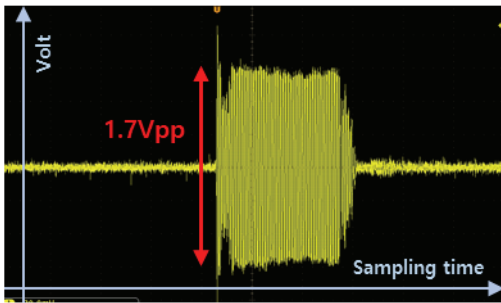


그림 2. 근거리 (5m 이내) 음파 수신 테스트  
Fig. 2 Short-range (within 5m) sound wave result

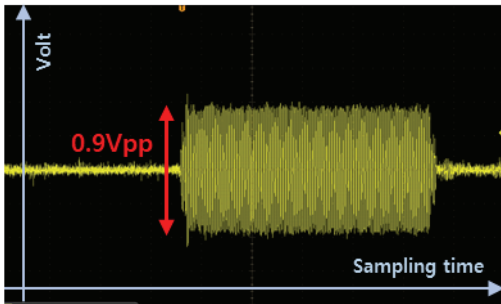


그림 3. 50m 음파 수신 테스트  
Fig. 3 50m sound wave result

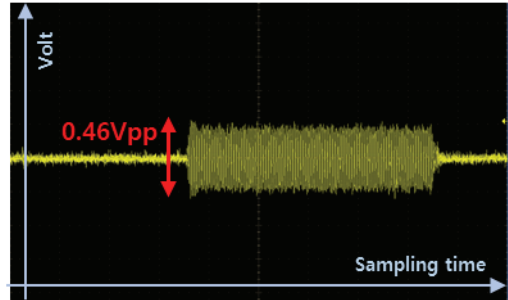


그림 4. 100m 음파 수신 테스트  
Fig. 4 100m sound wave result

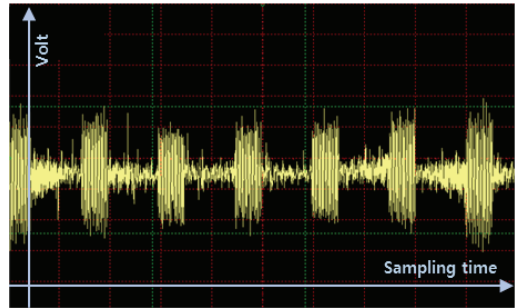


그림 5. 장성호 (500m) 측정 파형  
Fig. 5 Measured waveform (500m)

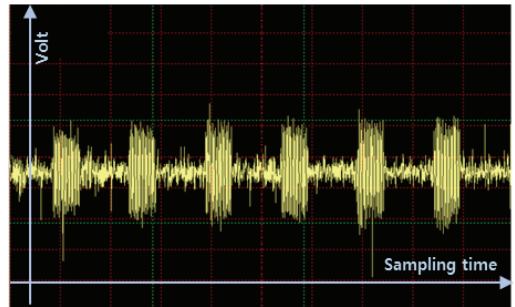


그림 6. 장성호 (1000m) 측정 파형  
Fig. 6 Measured waveform (1000m)

100m 음파 수신 테스트에서의 성능 저하는 조류가 있는 환경에서 두개의 Transducer 간에 수평이 맞지 않아 실제 발생된 음파가 바로 전송되지 않고 지면 반사파 등이 수신된 것으로 예측된다. 그림 5와 6에서는 장성호 실험 중 위치별 획득한 파형 중 일부로 각 500m 구간과 1000m 구간의 측정 파형을 확인할 수

즉, 수평이 맞지 않아 거리가 멀어질수록 더 큰 감소가 발생한 것으로 확인할 수 있었다. 최종적으로, 실험 결과 100m 이상에서는 좋지 않은 성능을 보였지만 그 외 근거리 및 50m에서는 성공적으로 음파를 수신함을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

수중에서 수행하는 임무가 다양해짐에 따라 빠르고 강인한 수중 위치추정은 중요한 요소로 여겨지고 있다. 본 논문에서는 수중 위치추정을 위한 대규모 병렬 컴퓨팅 플랫폼을 소개한다. 제안한 플랫폼은 음파 송수신을 위한 transponder와 hydrophone 모듈과 병렬 처리를 위한 FPGA 모듈 및 알고리즘 처리를 위한 Jetson 모듈로 구성된다. 실험은 실제 해양 환경에서 이루어졌으며 설계한 플랫폼을 이용하여 수중 환경에서 위치추정을 위한 음파 송수신이 가능함을 검증하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2021학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

#### References

- [1] R. Diamant and L. Lampe, "Underwater localization with time-synchronization and propagation speed uncertainties," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 7, 2012, pp. 1257-1269.
- [2] T. Kim, N. Ko, S. Noh, and Y. Lee, "Localization on an Underwater Robot Using Monte Carlo Localization Algorithm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 288-295.
- [3] H. P. Tan, R. Diamant, W. K. Seah, and M. Waldmeyer, "A survey of techniques and challenges in underwater localization," *Ocean Engineering*, vol. 38 no. 14, 2011, pp. 1663-1676.
- [4] M. T. Isik and O. B. Akan, "A three dimensional localization algorithm for underwater acoustic sensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 9, 2009, pp. 4457-4463.
- [5] N. Saeed, A. Celik, T. Y. Al-Naffouri, and M. S. Alouini, "Underwater optical wireless communications, networking, and localization: A survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 94, 2019, pp. 101935.
- [6] M. D. S. Matheus, G. D. G. Giovanni, L. J. D. Paulo, and S. C. B. Silvia, "Matching color aerial images and underwater sonar images using deep learning for underwater localization," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol 5, no. 4, 2020, pp. 6365-6370.
- [7] X. Zhu, H. Dong, P. S. Rossi, M. Landrø, "Self-supervised Underwater Source Localization based on Contrastive Predictive Coding," In *2021 IEEE Sensors*, 2021, pp. 1-4. (online)
- [8] A. Konstantaras, "Deep learning and parallel processing spatio-temporal clustering unveil new Ionian distinct seismic zone," In *Informatics*, vol. 7, no. 4, 2020, pp. 39.
- [9] M. Cho, "A Study on the History, Classification and Development Direction of Artificial Intelligence," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 2, 2021, pp. 307-312.
- [10] E. Buber and D. Banu, "Performance analysis and CPU vs GPU comparison for deep learning," In *2018 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology*, Istanbul, Turkey, 2018, pp. 1-6.
- [11] J. Moon, J. Moon, and S. Bae, "Control for Manipulator of an Underwater Robot Using Meta Reinforcement Learning," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 95-100.
- [12] S. Mittal, "A Survey on optimized implementation of deep learning models on the NVIDIA Jetson platform," *J. of Systems Architecture*, vol. 97, 2019, pp. 428-442.

## 저자 소개



### 문지윤 (Ji-Youn Moon)

2014년 광운대학교 로봇학부 졸업(공학사)

2020년 서울대학교 대학원 전기정보공학부 졸업(공학박사)

2020년~현재 조선대학교 전자공학부 조교수

※ 관심분야 : 일반인공지능, 인지 로봇틱스, 뉴로-심볼릭, 강화 학습, 임베디드 AI 컴퓨팅



### 이영필 (Young-Pil Lee)

2006년 순천대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2008년 순천대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2008년~현재 레드윈테크놀러지 책임연구원

※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 임베디드 AI 컴퓨팅