

초세장형 선배열센서의 이중 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드 구현 연구

허 준 기^{*,}, 최 승 호^{*}, 강 성 우^{*}, 임 태 성^{**}, 정 상 명^{**}, 윤 성 웅^{**}

Study on the Implementation of Remote Software Download between Heterogeneous Nodes of a Thin Line Towed Array Sensor

Jun-ki Heo^{*,}, Seung-ho Choi^{*}, Seong-woo Kang^{*},
Tae-sung Im^{**}, Sang-myung Jeong^{**}, Sung-ung Yun^{**}

요 약

선배열 예인센서는 장거리 저주파 수중탐지 수단으로 우수한 성능을 가지며 함정이 센서를 예인하면서 운용되고 예인 운용 시 함정 진행 방향의 반대 방향으로 항력이 발생하게 되며 이는 기동력을 감소시키는 원인이 된다. 특히 무인 잠수정/수상정 같은 소형 플랫폼의 경우 항력을 극도로 낮추기 위해 초세장형 선배열센서를 적용하며 배선 최소화 목적으로 Multi Hop Network 구조가 적용된다. 하지만 이중 노드가 복합적으로 존재하는 조건에서 원격 소프트웨어 다운로드 수행 시 Firmware가 원하지 않는 노드에 다운로드 되는 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이중 노드가 복합적으로 존재하는 Multi Hop Network 구조에서 원격 소프트웨어 다운로드 구현 방법을 제안한다. 시제품 제작을 통한 실험결과 Link에 이중 노드가 복합적으로 존재하는 조건에서 다운로드 대상 지정 및 원격 소프트웨어 다운로드가 정상 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

키워드 : 원격 다운로드, 이중 노드, 멀티 홉 네트워크, 초세장형 선배열센서

Key Words : Remote Download, Heterogeneous nodes, Multi Hop Network, Thin line towed array sensor

ABSTRACT

The towed array sensor has excellent performance as a long-distance low-frequency underwater detection means and is operated while the ship tows the sensor. When operating a towing, drag is generated in the opposite direction to the direction of the progress of the ship, which reduces maneuverability. In particular, in the case of small platforms such as unmanned submersible/watercrafts, thin line towed array sensor are applied to extremely lower drag, and a Multi Hop Network structure is applied to minimize component placement and wiring in consideration of a small sensor diameter. However, when remote software download is performed under a condition in which heterogeneous nodes exist in combination, a problem in which firmware is downloaded to an unwanted node may occur due to the serial connection structure. In this paper, we propose

※본 연구는 2022년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. KRIT-CT-22-029, 초세장형 선배열 설계 기술)

♦ First and Corresponding Author : LIG Nex1 Co., Ltd., junki.heo@lignex1.com, 정회원

* LIG Nex1 Co., Ltd., seungcho.choi@lignex1.com; seongwoo.kang@lignex1.com

** AWTech, i1105@awtech.co.kr; crfjsm@awtech.co.kr; ysu@awtech.co.kr

논문번호 : 202409-213-B-RN, Received September 19, 2024; Revised November 30, 2024; Accepted December 10, 2024

a method of implementing remote software download in a Multi Hop Network structure in which heterogeneous nodes exist in a complex manner. As a result of the experiment through prototype production, it was confirmed that the download target designation and remote software download operate normally under the condition that heterogeneous nodes exist in one link.

I. 서 론

해상에서 수중의 물체 탐지를 위해 SONAR (SOUND Navigation And Ranging)를 활용하게 되고 이 중에서 선배열 예인센서는 장거리 저주파 수중탐지 수단으로 우수한 성능을 가지며 함정에 센서를 수중케이블로 연결하여 함정 기동을 통해 예인 음향탐지를 수행하게 된다.^[1,2]

선배열 예인센서 운용 시 함정 진행 방향의 반대 방향으로 항력이 발생하게 되며 이는 기동력을 감소시키는 원인을 제공하므로 선배열 예인센서는 항력 감소를 위해 센서직경 최소화 설계가 필수적으로 적용되며 무인 잠수정/수상정 같은 소형 플랫폼의 경우 항력을 극도로 낮추기 위해 초세장형 선배열센서를 적용하여 예인 음향 탐지를 수행하고 있다.^[2-4]

초세장형 선배열센서는 작은 직경 및 선배열 형태로 인해 내부 음향 및 전자구성품은 직렬 형태로 배치되며 케이블 배선 최소화를 위해 각 전자구성품 간 Multi Hop Network 구조로 연결되어 있다. 이 방식으로 적용 시 배선 최소화를 할 수 있으나 유지 보수를 위한 원격 소프트웨어 다운로드 수행 시 이중 노드가 복잡적으로 존재하는 조건에서 Firmware가 원하지 않는 노드에 다운로드 되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 동일 종류의 노드를 한 개의 모듈에 집약하여 모듈 단위로 다운로드 하는 방법이 일반적으로 적용되나 이는 원격 소프트웨어 다운로드를 위해 해당 모듈을 분리해야 하는 불편함을 초래하게 된다.^[3,5]

또한, 초세장형 선배열센서는 운용 시 원치를 활용해서 센서 도출 및 회수를 수행하게 되므로 센서는 시단부터 권치되는 구조를 가지게 되며 이는 원격 소프트웨어 다운로드 수행 시 해당 모듈 위치까지 도출 후 수행해야 하는 번거로움이 있다.^[6]

본 논문에서는 이중 전자구성품(노드)이 복잡적으로 존재하는 선배열 예인센서에서 모듈 분해 없이 해당 노드에 Firmware를 다운로드 할 수 있는 이중 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드 구현 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 이중 노드 다운로드 구현을 위한 신호 전송 구조 및 이중 노드 원격 다운로드 구현 방안을 기술하고 III 장은 제안 방

법에 대한 성능 실험결과를 보인다. 마지막으로 IV 장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 본 론

2.1 신호 전송 구조

초세장형 선배열센서는 직경 최소화에 따른 형상적 특성을 고려하여 그림 1과 같이 노드를 직렬로 배치한 Multi Hop Network 구조를 적용하였으며 다채널 센서의 직렬연결에 따른 데이터 전송량 감소를 위해 다중 Link를 적용하고 각 Link 데이터를 취합하여 상위 장비로 전송하는 구조를 적용하였다.

데이터 전송 시퀀스는 그림 2와 같이 상위 장비에서 내려오는 제어 데이터를 모든 노드에 동일하게 수신될 수 있도록 각 노드에 제어 데이터가 수신되면 필요 정보를 취득하고 수신된 프레임을 재생성하여 다음 노드로 전달하는 기능을 수행하게 된다.

각 노드에서 생성한 센서 데이터는 중단 노드에서 앞 노드로 전송되고 수신 받은 센서 데이터와 생성된 음향데이터, 자체점검정보를 식 (1)과 같이 취합하여 다시 앞 노드로 전송하는 기능을 수행하게 되며 시단 노드까지 전송되면 식 (2)와 같이 Link의 모든 음향데이터 및 자체점검 정보를 보유하게 된다.

그리고 각 Link 별로 수신된 센서데이터는 단일 전송경로에서 상위 제어기 전송을 위해 식 (3)과 같이 Signal MUX 노드에 모든 Link의 데이터는 취합되어 진다.

$$D_i^{rx} = D_{i-1}^{rx} + D_i^{sen} + D_i^{bit} \quad (1)$$

$$D_j^{link} = \sum_{i=1}^n (D_i^{rx}) \quad (2)$$

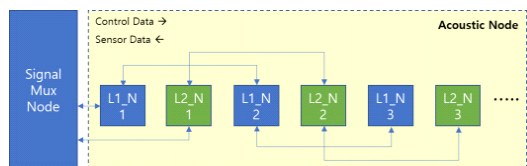


그림 1. 초세장형 선배열센서 신호망 구조
Fig. 1. Thin line towed array sensor signal network structure

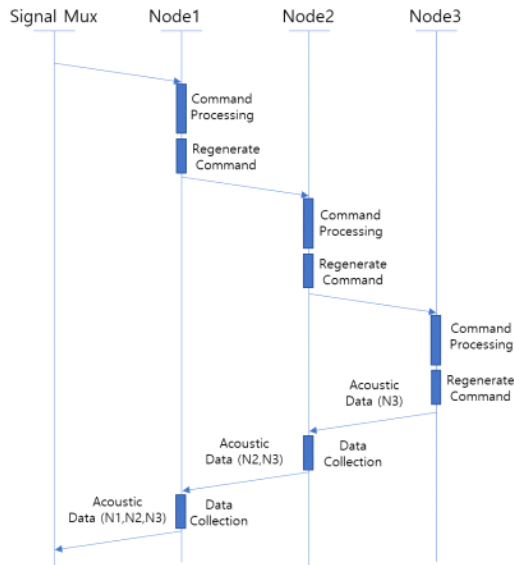


그림 2. 초세장형 선배열센서 데이터 전송 시퀀스
Fig. 2. Thin line towed array sensor data transmission sequence

$$D = \sum_{j=1}^n (D_j^{link}) \quad (3)$$

2.2 이중 노드 원격 다운로드 구현

초세장형 선배열센서는 운용 시 생성된 음향데이터 및 상태정보를 전송하는 운용 모드와 소프트웨어 유지 보수를 위한 Firmware 다운로드 모드가 필요하며 초기 동작 시 각 모드 진입을 위해 ROM 영역에 Boot loader 적용이 필요하다.^[7]

Boot loader 구현을 위해 Harvard Architecture 기반의 MCU 및 실시간 센서데이터 처리를 위한 FPGA를 그림 3과 같이 적용하였다. MCU는 외부 EEPROM에 접근하여 수신된 소프트웨어에서 page 단위로 write를 수행한다. FPGA는 전원 On 시 EEPROM에서 프로그램

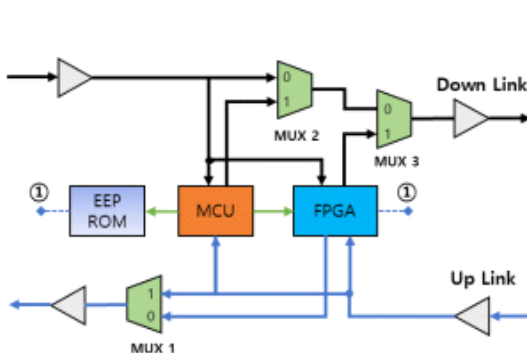


그림 3. 데이터 전송 노드 구조
Fig. 3. Data transmission node structure

램을 불러와서 음향데이터 및 상태정보를 획득할 수 있도록 기능을 할당하였다. 그리고 이중 노드가 복합적으로 존재하는 운용 환경을 고려해서 특정 종류의 노드에 소프트웨어 다운로드가 가능하도록 Down link와 Up link에 각각 MUX를 적용하여 다운로드 대상 노드 선택이 가능하도록 물리적으로 구성하였다.

운용 모드로 동작 시 음향데이터 및 상태정보 취득 및 전송을 위해 그림 4와 같이 제어 데이터는 MCU와 FPGA에 동시에 수신된다. 운용모드의 제어 데이터는 MCU에서 인식할 수 없는 데이터로 FPGA의 제어 처리를 통해 음향데이터 및 상태 점검 정보를 생성하여 앞 노드로 전송하게 된다.

다운로드 모드는 초세장형 선배열센서의 원치 원치 형상을 고려하여 그림 5와 같이 종단 노드에 Down loader를 연결할 수 있도록 구성하였다.

다운로드 모드 동작은 원격 소프트웨어 다운로드 노드 지정, 지정 노드의 원격 소프트웨어 다운로드 과정이 순차적으로 이루어지며 원격 다운로드 노드 지정 과정에서 다운로드 노드와 패스 노드에 따라 표 1과 같이 MUX 상태, MCU의 EEPROM Access 여부를 설정한다.

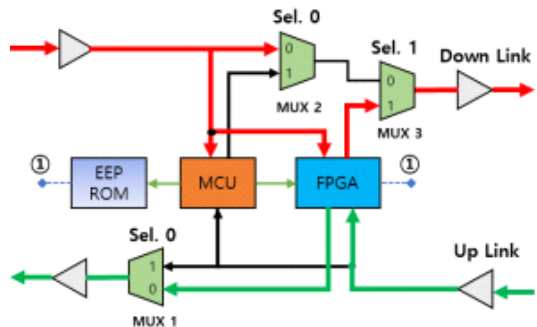


그림 4. 운용모드 동작 구조
Fig. 4. Operation mode operation structure

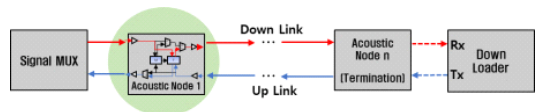


그림 5. Down loader 연동 구조
Fig. 5. Downloaded linkage structure

표 1. MUX, EEPROM Access 설정 파라미터
Table 1. MUX, EEPROM Access setting parameter

구분	EEPROM Access	MUX 1	MUX 2	MUX 3
다운로드 노드	O	1	1	0
패스 노드	X	1	0	0

원격 다운로드 수행 시 Down loader에서 각 page 별로 소프트웨어를 전송하게 되고 다운로드 노드는 그림 6과 같이 MCU에 수신된 소프트웨어를 EEPROM에 Access 하여 저장하게 되며 정상 저장 여부에 대한 응답을 Down loader로 전송하게 된다.

패스 노드는 그림 7과 같이 MCU에 소프트웨어를 수신받으나 EEPROM 미접근 상태로 수신된 소프트웨어는 무시되며 앞 노드에서 전송된 다운로드 노드의 Ack. 데이터를 우회하도록 동작한다.

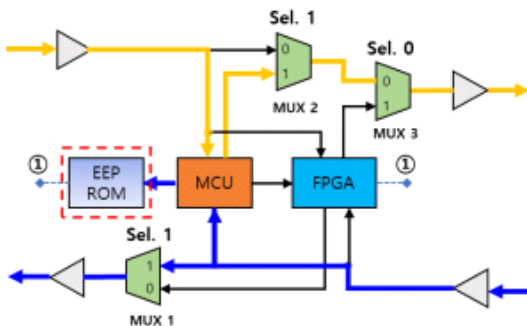


그림 6. 다운로드 노드 데이터 전송 구조
Fig. 6. Download node data transmission structure

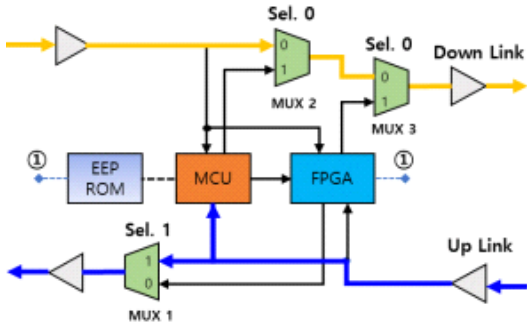


그림 7. 패스 노드 데이터 전송 구조
Fig. 7. Pass node data transmission structure

III. 실험

초세장형 선배열센서의 이중 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드 검증을 위해 Signal MUX node와 Acoustic node 시제품 제작 및 Boot loader를 구현했으며 그림 8과 같이 하나의 Link로 배치하고 Link 종단에 Down loader를 연결하여 이중 노드 간 원격 다운로드 실험이 가능하도록 구성하였다.

실험은 노드 지정 기능 검증을 위한 원격 소프트웨어 다운로드 대상 지정 실험 그리고 Firmware 파일을 지

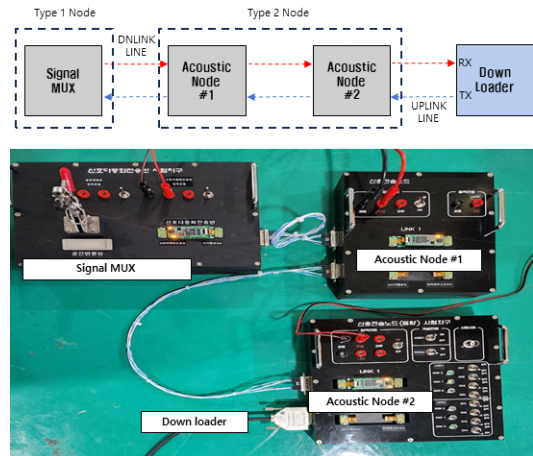


그림 8. 이종 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드 실험 구성
Fig. 8. Experimental setup for remote software download between heterogeneous nodes

정 노드에 원격 다운로드하기 위한 원격 소프트웨어 다운로드 실험을 수행하였다.

3.1 원격 소프트웨어 다운로드 노드 지정

원격 다운로드 노드 지정 실험을 위해 Target Device를 선택 후 설정 명령을 전송했으며 실험결과 그림 9와 같이 Target Device를 Signal MUX로 설정했을 경우 Signal MUX 노드가 Device Type 2로 설정되어 다운로드 노드로 지정되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고

Target Device : Signal MUX

Down Mode : FPGA Device Setting : Signal Mux Comm Port : COM10 Baud Rate : 9600 ☐ Transmit Setup Release

Tx Count

Node Info. Read Node Info. Reset Node Setting

Device Type
 1: Node
 2: Signal Mux

Node Type
 0 : Acoustic
 1 : Heading 3 : Depth

No.	Device	NODE ID	NODE TYPE	MCU Ver	FPGA Ver	After No.	After Type	Before No.	Before Type
0	2	255	255		2	255			255
1									
2									

Download Node designation Result

그림 9. 원격 다운로드 노드(Signal MUX) 지정 결과
Fig. 9. Result of specifying a remote download node(Signal MUX)

[illegible]

그림 10. 원격 다운로드 노드(Node) 지정 결과
Fig. 10. Result of specifying a remote download node(Node)

Target Device를 Node로 지정 시 그림 10과 같이 Device Type 1로 설정되어 Node가 다운로드 노드로 지정되는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 원격 소프트웨어 다운로드 수행

원격 소프트웨어 다운로드 수행 검증을 위해 다운로드 완료 후 정상 동작 시 노드의 Status LED가 On 되도록 Firmware를 구현했으며 원격 소프트웨어 다운로드 노드 지정을 사전 수행하고 Firmware 파일을 지정 노드에 원격 다운로드 수행하였다.

Signal MUX 원격 다운로드 실험결과 그림 11과 같이 정상 부팅 후 동작하는 것을 확인할 수 있었으며 Acoustic Node 실험결과 그림 12와 같이 Acoustic Node도 정상 부팅 후 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

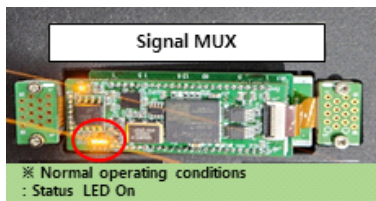


그림 11. Signal MUX 다운로드 실험 결과
Fig. 11. Signal MUX download results

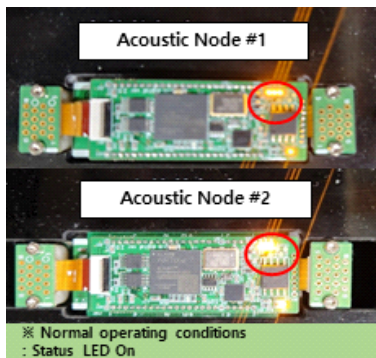


그림 12. Acoustic Node 다운로드 실험 결과
Fig. 12. Acoustic Node download result

IV. 결 론

선배열 예인센서는 운용 시 항력이 발생하게 되며 이는 예인함의 기동력을 감소시키는 원인으로 작용하게 된다. 개선 방안으로 센서 직경 최소화하여 항력을 낮추는 방향으로 개발되고 있으며 특히 초세장형 선배열센서는 무인 잠수정/수상정 연동 목적으로 개발되어 예인함 선배열 예인센서 대비 직경이 매우 작다.

제한된 직경 내 기능 구현을 위해 전자구성품은 직렬로 배치하고 Multi Hop Network 구조로 연결할 수 있으나 이중 전자구성품(노드)이 복잡적으로 존재하는 상황에서 원격 소프트웨어 다운로드 시 Firmware가 원하지 않는 노드에 다운로드 되는 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이중 노드가 복잡적으로 존재하는 초세장형 선배열센서에서 모듈의 분해 없이 해당 노드에 소프트웨어 다운로드 할 수 있는 이중 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드 구현 방안을 제안하였다.

제안 방법은 제어 명령에 따른 운용모드, 다운로드 모드 진입 동작을 할 수 있도록 MCU, FPGA 복합구조로 설계하고 원격 소프트웨어 노드 지정 동작 시 다운로드 노드, 패스 노드에 따라 EEPROM Access, MUX의 파라미터 설정을 통한 이중 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드를 제안했으며 실험결과 제안 방법에 따라 원격 소프트웨어 다운로드가 정상적으로 수행되는 것을 확인할 수 있었다.

이중 노드 간 원격 소프트웨어 다운로드 구현 방법은 Multi Hop Network 구조에서 유지 보수를 효과적으로 할 수 있는 방안이며 다양한 종류의 노드가 광범위한 영역에 설치되는 센서 네트워크에도 활용도가 높을 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Ryue, H. Shin, H. Ahn, and O. Kwon, "Self noise analysis of towed array sonar induced by axisymmetric vibrations propagating along fluid-filled elastic hoses," *J. KSNVE*, vol. 21, no. 5, pp. 437-446, Apr. 2011.
- [2] F. Souto, "Fibre optic towed array: The high tech compact solution for naval warfare," in *Proc. Acoustics, Victor Harbor, Australia*, Nov. 2013.
- [3] V. Pallayil, M. A. Chitre, and P. D. Deshpande, "A digital thin line towed array for small autonomous underwater platforms," *OCEANS*, Vancouver, BC, Canada, Oct. 2007.
- [4] J. Potter, E. Delory, S. Constantin, and S. Badiu, "The 'Thinarray': A lightweight, ultra-thin (8 mm OD) towed array for use from small vessels of opportunity," in *Proc. 2000 Int. Symp. Underwater Technol.*, Tokyo, Japan, May 2000.
- [5] J. Heo and B. Roh, "Method to reduce

synchronization setup times of whole nodes in multi-hop network environments,” *J. KICS*, vol. 43, no. 12, pp. 2022-2031, Dec. 2018.

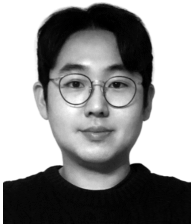
- [6] O. R. Nandagopan and P. Vinod, “Advances in winch system for defence applications,” *J. AMME*, vol. 76, no. 2, pp. 67-71, Jun. 2016.
- [7] W. Lee, S. Park, C. Lee, H. Min, and E. Lee, “Design and implementation of bootloader for remote update in small embedded systems,” *Summer Annual Conf. IEIE*, Jeju, Korea, Jun. 2018.

허 준 기 (Jun-ki Heo)



2008년 2월 : 한국해양대학교 전
과 · 정보통신공학과 학사
2018년 8월 : 아주대학교 정보통
신공학과 석사
2013년 10월~현재 : LIG넥스원
(주) 수석연구원
<관심분야> 센서네트워크, 수중
통신, 소나시스템

최 승 호 (Seung-ho Choi)



2016년 8월 : 한양대학교 전자통
신공학과 학사
2016년 6월~2019년 6월 : 제노
코(주) 선임연구원
2020년 8월~2022년 2월 : 볼크
(주) 선임연구원
2022년 2월~현재 : LIG넥스원
(주) 선임연구원

<관심분야> 전자공학, 통신공학, 회로망이론

강 성 우 (Seong-woo Kang)



2022년 2월 : 금오공과대학교 전
자공학과 학사
2022년 3월~현재 : LIG넥스원
(주) 선임연구원
<관심분야> 전자공학, 통신공학,
회로망이론

임 태 성 (Tae-sung Im)



2000년 2월 : 충주대학교
열공학과 학사
2011년 2월 : 한세대학교
정보통신공학과 석사
2014년 3월~현재 : 에이더블테
크놀로지 이사

<관심분야> FPGA, 고속통신, 통신공학

정 상 명 (Sang-myung Jeong)



2001년 2월 : 두원공과대학 전자
공학 학사
2001년 3월~2011년 12월 : 휴엔
스(주) 선임연구원
2012년 3월~현재 : 에이더블테
크놀로지 이사

<관심분야> SI/PI 분석, 아날로그 반도체 설계

윤 성 웅 (Sung-ung Yun)



2002년 2월 : 국민대학교 물리학
과 학사
2011년 2월 : 한국해양대학교 해
양공학과 석사
2012년 3월~현재 : 에이더블테
크놀로지 대표이사

<관심분야> 디자인패턴, 시스템프로그래밍, 소나신호
처리