

해양 센서네트워크를 위한 초음파 수중통신모듈 설계 및 구현

구준형^o 남흥우 안순신

고려대학교 전자전기공학과 Network Lab.

{uma7^o, hwnam, sunshin}@dsys.korea.ac.kr

Design and Implementation of Ultrasonic Underwater Communication Module for Ocean Sensor Network

Junhyoung Koo^o, Heungwoo Nam, Sunshin An

Computer Network Lab. Dept. of Electrical Engineering, Korea University

요 약

최근 대두되고 있는 무선 센서네트워크는 지상뿐만 아니라 해양에서도 필요성이 점차 커지고 있다. 해양에서의 무선통신을 하기 위해서는 지상에서 사용하는 RF와 같이 높은 주파수를 사용할 수 없기 때문에 낮은 주파수 대역을 사용해야 한다. 따라서 본 논문에서는 낮은 주파수 대역을 사용하는 초음파를 센서노드에 장착하고 이들 센서 노드들의 통신 수행을 위하여 수중통신모듈을 설계 및 구현하였다. 그리고 실험을 통하여 텍스트 기반의 통신이 성공하였음을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 구현된 수중통신 모듈은 추후 해양 센서네트워크 서비스를 위한 해양 센서노드 제작에 기반이 될 것이다.

1. 서론

무선 센서네트워크는 최근 대두되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 연구에 힘입어 다양한 연구가 진행되고 있다. 게다가 저전력 무선통신, 스마트 센서, 프로세서, 임베디드 컴퓨팅, 미들웨어 등의 발전은 소형의 근거리 무선통신이 가능한 저비용, 저전력, 다기능 센서 네트워크의 발전이 가능하도록 하고 있다. 이러한 무선 센서 네트워크는 생태계 감시 연구에 이용될 수 있으며, 지구환경에서의 응용뿐만 아니라 다른 행성의 환경을 측정하는 방법으로도 사용될 수 있다.

특히 지구 전 표면의 약 70%를 차지하고 있는 해양에 대한 해양 생태계 감시 연구는 매우 활발히 이루어지고 있으며, 이를 위한 해양 센서 네트워크의 필요성은 점차 커지고 있는 상황이다. 수중 또는 해양에서의 연구가 더욱 활성화되고 있는데, 이는 수중 센서 네트워크의 응용으로 환경모니터링, 재해예방, 그리고 해양자원탐사가 있기 때문이다. 환경모니터링은 오염상황이나 수중 생태계 환경의 연구에 이용되고, 재해예방은 해양지진의 발생으로부터 인간에게 가해지는 재해를 예방하는 목적에서 연구되는데, 최근 지진 해일로 재앙이 증가되는 상태에서 그 연구가 중요하다. 그리고 해양자원탐사는 무궁무진한 해양자원을 발굴하여 이용하는 측면에서 연구되는 분야이다 [1].

또한 수중 통신에서 acoustic communication이 이용되어야 하므로 acoustic communication이 최근에 많은 연구가 진행되고 있다. 실제, Radio Frequency를 이용한 실험[1]이 있는데, Mica 2 Motes를 가지고 한 실험에서 전송거리가 120cm에 불과하였다. 이 실험으로 인해 수중에서 통신을 수행하기 위

하여 acoustic communication에 대한 연구가 활성화 되었다.

센서노드에 이러한 음파모듈을 장착하기 위해서는 많은 비용이 들게 되고 이는 무선 센서네트워크의 특징인 대규모 노드를 이용하기 위해 노드의 제작비용이 낮아하는 문제에 부딪치게 된다. 이를 위해 본 논문에서는 해양의 환경을 모니터링할 수 있는 해양 노드의 개발에 필요한 초음파 통신모듈을 구현하여 차후 수중통신 모듈 개발연구에 기반을 만들어 보고자 한다.

2. 관련연구

본 연구와 관련된 연구로는 수중에서 통신을 수행하기 위하여 acoustic communication을 이용한 hardware연구가 이루어졌다. [2]에서, Mica2 sensor board에 sounder와 microphone을 결합하여 hardware를 구성하였는데, 이는 수중에서의 실험을 위해서라기 보다는 acoustic communication을 수행하기 위해서 지상에서의 실험을 수행하기 위해서 개발된 것이다. 하지만 acoustic communication을 실험한 테스트베드라는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다. 다른 예로는 [3]에서, CORAL이라는 hardware를 제작하였는데, 이는 3가지 부분인 piezotransducers, a microcontroller-based architecture and interface circuitry로 구성되었다. 특히 CORAL은 23~25kHz의 대역폭을 사용한다.

상기와 같은 동기에 의해, 우리도 CORAL과 같은 낮은 비용과 작은 크기의 hardware를 개발하여, 본 논문에서 제시하고자 한다. 단지 CORAL과의 차이는 Ultrasonic Sensors의 사용과 대역폭이 40kHz라는 점이다. 그러나 물속에서는 공기 중의 전파와 달리 초음파의 느린 속도와 협소한 사용 가능 대역폭, 표면과 해저 면의 반사 등의 한계 때문에 지상과 같은 수준의 통신을 구현하기에 기술적 어려움이 있다.

초음파란 주파수가 가청주파수 20kHz보다 커서 인간이 청

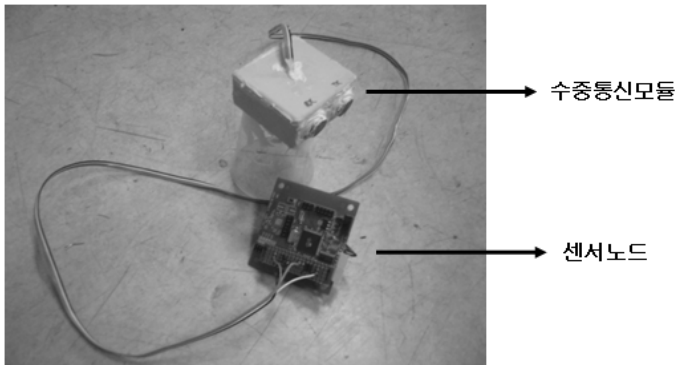
* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IIITA-2006-C1090-0603-0044)

각을 이용해 들을 수 없는 음파로써 일반적으로 16Hz~20kHz의 범위다. 파장이 작고 지향성이 강하기 때문에 일반적으로 그 펄스를 발전시켜 바다의 깊이를 재는 음파 탐지기나 어군 탐지기에 이용하고 있다.

2. 통신모듈 구현

2.1 하드웨어

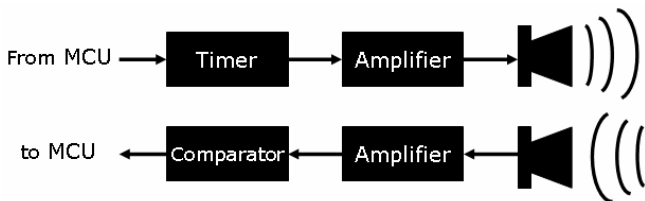
본 논문에서는 [그림1]에서 보여지는 것과 같이 센서노드 전체를 언급하지 않고 수중통신을 위한 통신모듈만 언급하고자 한다. 실험 시 사용된 센서노드는 ATMEL사의 8bit MCU인 Atmega128L을 사용하고 있는 자체 제작 노드를 사용하였고 이 센서노드는 레귤레이터에서 정전압된 3.3v 전원을 사용하고 있다. 실험 시 방수처리가 필요하기 때문에 그림1과 같이 센서노드와 수중통신모듈은 분리하여 구현하였다. 그러나 이는 상용서비스를 위하여 제작될 시에는 수중통신모듈이 센서노드에 장착되어 만들어질 것이고 전체가 방수 처리되어야 할 것이다.



[그림 1] 수중통신용 센서노드

수중 통신모듈의 하드웨어는 크게 송신부와 수신부로 나누어져 있고, 송신부와 수신부 각각 초음파의 발생 및 감지를 위하여 초음파 센서를 사용하였고, 이는 일반적으로 거리측정용으로 많이 사용되고 있는 40Khz범위의 밀폐형 초음파 송/수신용 센서를 사용하였다.

송신부는 40KHz 파형을 만드는 발진기와 그 신호를 증폭하여 송신용 초음파 센서에서 초음파가 발생하도록 하였고, 수신부는 수신용 초음파 센서에서 감지된 초음파를 증폭기로 증폭하고 증폭된 신호를 비교기를 통하여 신호 레벨을 확인하여 이를 센서노드의 MCU에 보내어 디지털 신호로 인식하도록 하였다.

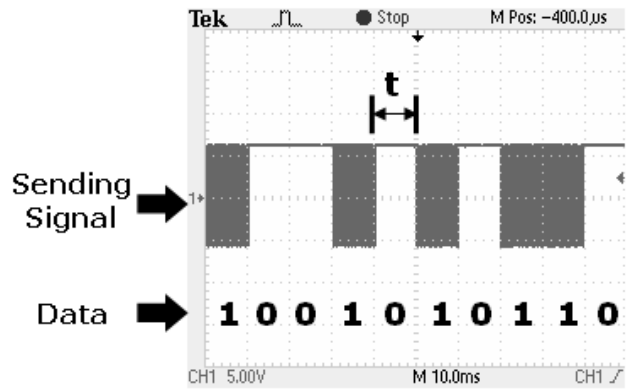


[그림 2] 회로 블럭도

이 통신모듈은 센서노드에 장착되어 운용되어야 하는 만큼 추가외부전원을 사용하지 않고 센서노드에서 사용되는 전원을 공급받아 운용될 수 있도록 구현하였다.

2.2 전송신호

본 논문에서 구현한 통신모듈은 Amplitude Shift Keying (ASK)방식을 사용하였다. 이는 디지털 신호 변조 방식중 ASK 방식이 구형상, 실험상에 더 효율적이기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 주파수대역내에서 신호가 있는지 없는지를 확인하는 방식으로 전송신호를 정의하였다. 즉 전송데이터를 비트화하여 1일 경우 40Khz신호를 일정시간(t) 전송하고, 0일 경우 일정시간(t) 신호를 발생시키지 않는 방식을 사용하고 있다. 즉, MCU에서 보내지는 데이터(1 or 0)에 따라서 40KHz를 발생시키는 발진기가 On/Off 처리되는 것이다. 아래 [그림3]은 이렇게 발생된 신호를 송신측 증폭기로 사용되는 RS232 IC를 통해 증폭된 신호이다.

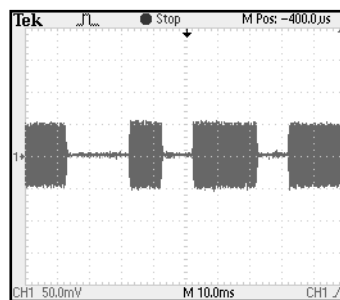


[그림 3] 전송신호

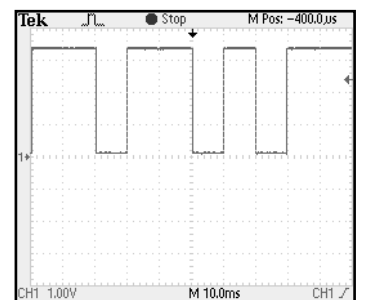
여기서 신호의 구분을 짓는 시간 t가 이 통신모듈의 전송속도를 결정하게 될 것이다. 이번 실험에서는 실험환경에 맞추어 약 10ms로 설정하여 테스트 하였다. 즉 전송속도는 약 100bps로 실험되었다. 이 부분은 수신측 하드웨어를 개선하여 전송속도를 높이기 위한 많은 여지가 된다.

2.3 수신신호

송신측에서 신호가 발생되어 수신측 센서에서 감지된 신호 [그림4]는 매우 약한 신호이기 때문에 이 신호를 증폭해야만 다음 회로에서 필요한 형태로 처리가 가능하다.



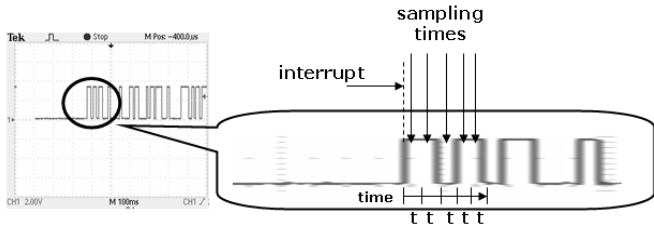
[그림 4] 수신신호(센서)



[그림 5] 수신처리된 신호

즉 증폭기를 통하여 증폭된 신호는 포락선 검파기와 비교기 회로를 통해 [그림5]와 같은 형태로 변형되고 이 신호가 MCU의 비교기 포트에 입력되게 된다.

MCU의 비교기 포트에 입력된 신호는 신호를 해석하기 위하여 소프트웨어방식의 샘플링 처리를 하게 된다. 포트로 입력된 신호는 처음 High Toggle된 시점부터(포트의 interrupt 처리사용) 한 신호의 전송간격인 $t/2$ 시간 후부터 시작하여 각 t 시간 간격마다 신호를 읽게 된다. 이러한 방식으로 읽은 값이 비교값 이상이면 1, 그 이하이면 0으로 인식하여 수신측 버퍼에 채워지게 된다.



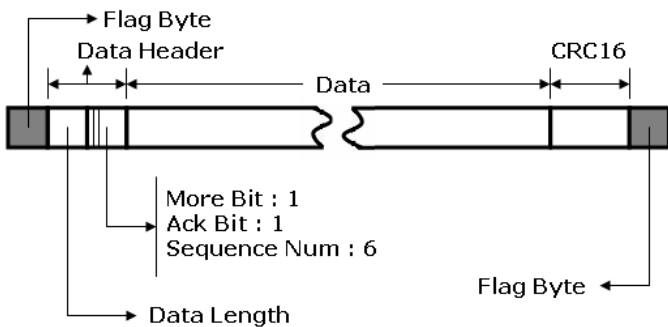
[그림 6] 소프트웨어 샘플링

3. 통신 실험

위와 같이 구현된 통신모듈에 통신 실험을 위해서 아래와 같이 패킷을 구성하여 간단한 통신 실험환경을 만들어 양측단간의 통신 실험을 하였다. 이 통신 실험에서는 센서 네트워크를 위한 전체 네트워크를 실험하지는 않았고, 구현된 수중통신모듈의 통신기능만 검증하고자 시행되었다.

3.1 Packet Format

전송되는 한 패킷은 [그림7]과 같은 형태로 되어있다. 이는 실험을 위한 일시적인 형태이고 이후 필요에 따라 변경될 예정이다. 상위서비스에서 원하는 형태에 맞추어 변경되어야 할 것이다. 패킷의 시작과 끝을 나타내기 위하여 Flag Byte(0b11011011)를 사용하였고 이 바이트의 시작이 1인 것은 위에서 설명한 소프트웨어 샘플링의 시작시점을 확인하기 위하여 interrupt를 발생시키기 위한 비트값이다.



[그림 7] Packet Format

데이터의 헤더는 데이터의 길이와 마지막 패킷인지를 구분하는 비트와 각 패킷의 순서번호, 그리고 전송되는 패킷이 ACK패킷인지를 구분하는 비트로 구성되어 있다. 실험 시 데

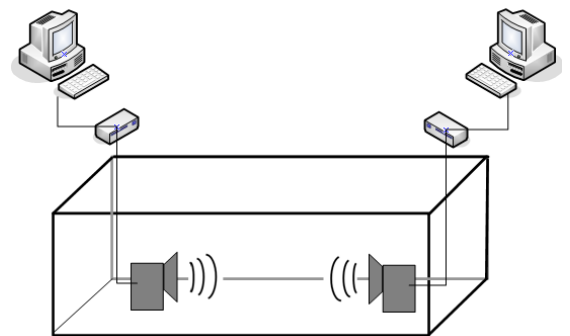
이터(가변길이)의 최대 길이는 전송에러율이 적당한 20byte로 제한을 하였으며, 이보다 더 긴 데이터는 위 헤더의 값(More Bit, Sequence Num)을 이용하여 나누어 전송되게 하였다. 그리고 데이터의 마지막 부분에는 데이터의 신뢰성을 검증하기 위한 에러 검출 방법으로 CRC16 알고리즘을 사용하여 Check Digit을 붙여서 전송하게 된다. 이 Check Digit은 수신측에서 같은 방법으로 생성된 Check Digit과 비교되어 전송된 패킷의 에러유무를 검사하게 된다.

마지막으로 각 패킷의 시작과 끝을 Flag Byte를 사용한 것에 추가적으로, 그 Flag Byte 이외의 패킷 데이터에 Flag Byte와 똑 같은 Byte가 존재하는 오류를 방지하기 위하여 바이트 채우기(byte stuffing)을 사용하였다. 즉, 패킷 데이터 내부에 Flag Byte와 같은 문자가 있으면 그 문자 앞에 약속된 바이트(ESC)를 추가하고 ESC가 존재할 경우도 ESC를 두 번 반복시켜 전송하게 된다. 수신측에서는 이러한 ESC를 제거하면 원래의 패킷으로 해석되게 된다.

이번 실험환경이 두 노드간의 통신만 고려하여 진행되었기 때문에 일반적으로 다양한 MAC 서비스를 위한 패킷형태는 고려하지 않았다. 이는 추후 네트워크 서비스 시나리오에 맞추어 추가 수정/보완될 예정이다.

3.2 실험 환경 및 결과

수중통신을 확인하기 위하여 [그림8]과 같이 수조를 이용하여 수중통신모듈이 연결된 두 개의 센서노드간의 통신을 확인하였다. 앞에서 언급했던 바와 같이 센서노드 전체를 수중에 넣지 않고, 통신모듈만 수중에 넣어 실험하였다.



[그림 8] 수중통신실험

무선 센서네트워크에 사용할 수중통신모듈이기 때문에 센서노드가 센싱한 데이터를 통신하는 것이 맞으나, 이 실험에서는 통신모듈의 통신기능만 확인하고자 함이 목적으로 PC를 이용하여 전달할 데이터를 생성하게 하였다.

수조의 밖에 위치한 센서노드에는 각각 PC와 연결하였고,

연결된 PC에서는 HyperTerminal과 같은 통신프로그램을 사용하여 센서노드와 UART 통신을 하게하였다. 한 쪽 PC에서 전송될 데이터를 입력하면 센서노드를 통해 수중통신모듈로 전송되고 반대편 수중통신모듈이 이 신호를 받아 센서노드가 해석하고 이 결과를 그 센서노드와 연결된 PC의 HyperTerminal에 표시하도록 하였다.

본 연구에서 구축한 통신 모듈의 성능을 측정하기 위하여 [그림 8]의 환경을 이용하였고, 센서노드들의 송신과 수신을 실험하기 위하여 텍스트를 보내는 실험을 하였다. 실험결과는 수중통신모듈에 장착된 초음파 센서의 감도에 따라 많은 차이가 보였지만, 사용하고 있는 초음파 센서의 특성상 양쪽 수중통신모듈의 방향이 맞다면 에러 없는 전송이 가능했다. 이 실험결과로 초음파 센서의 방향성이 강하다는 결론을 내릴 수 있었다.

4. 결론 및 향후 연구

수중에서의 응용들이 인간에게 매력적인 요소로 다가온 이상, 수중통신의 역할은 그 의의가 더욱 크다고 할 수 있다. 수중 센서 네트워크는 acoustic communication을 수행할 수 밖에 없는 실험 결과를 관련연구를 통하여 살펴보았고, 이를 바탕으로 현재 acoustic communication에 대한 연구가 활성화되었다. Acoustic communication을 위해서는 이를 수행할 hardware가 뒷받침되어야 한다. 그러므로, 수중에서 통신을 수행할 성능 좋은 통신 모듈을 개발한다면 인간의 기술적, 환경적인 한계를 극복하고 수중 무선 통신 네트워크를 구성할 수 있는 초석이 될 것이다.

본 연구는 Acoustic communication을 수행할 hardware로서 modulation / demodulation기능을 가진 통신 모듈을 개발하였다. 따라서 본 연구를 통한 통신 모듈의 의의는 다음과 같다. 첫째, 반사나 굴절과 같은 수중이라는 매체의 영향을 고려하지는 않았지만, 최적의 상황에서 수중에서 통신을 수행할 수 있는 통신모듈이라는 것이다. 둘째, 기존의 음성과 같은 아날로그 통신을 수행할 수 있는 장비는 개발되었지만, 디지털 데이터 통신을 위한 장비의 개발은 전무한 실정에서 우리의 연구는 의의가 크다고 할 수 있다. 셋째, Ubiquitous의 smarter, smaller, and cheaper라는 개념을 지상뿐만 아니라 수중에서도 실현시킬 수 있는 밑바탕이 되었다.

향후 연구는 본 연구의 통신 모듈이 고려할 기술적인 문제들을 극복하는 것이며, 이는 다음과 같다. 첫째, 초음파는 직진성이 강하므로 송수신기 사이에 방향성이 성능을 크게 좌우시킨다. 따라서 초음파의 직진성을 감안한 통신 모듈의 개발이 이루어져야 한다. 둘째, 반사파나 굴절과 같은 영향을 적게 받도록 통신 모듈이 설계되어야 한다. 이런 영향이 적다면, 통신거리와 같은 통신 모듈의 성능을 향상시킬 수 있기 때문이다. 마지막으로, 본 논문에서 사용된 소프트웨어 샘플링 방식은 높은 전송률을 위해서는 하드웨어 샘플링으로 변경되어야 할 것이다. 이것은 본 논문 이후 현재 고려되어 수정중인 내용이다. 그리고, 구현된 수중통신모듈을 해양 센서 네트워크에서 사용하기 위해서는 추가적인 수중 MAC을 설계하여야 할 것이고 설계된 MAC을 사용한 네트워크 서비스를 실험해야 할 것

이다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges," Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 3, No. 3, pp. 257-281, March 2005.
- [2] Jingbin Zhang, Zhanxiang Huang, Xinyu Liu, "Acoustic Communication in Wireless Sensor Networks," CS651, Wireless Sensor Networks, Dec 2005.
- [3] ya, J. Engel, J. Chen, Z. Fan, and C. Liu, "CORAL: Miniature Acoustic Communication Subsystem Architecture for Underwater Wireless Sensor Networks," The 4th IEEE International Conference on Sensors, Irvine, California, 31 Oct- 1 Nov, 2005.
- [4] John Heidemann, Wei Ye, Jack Wills, Affan Syed, and Yuan Li. "Research challenges and applications for underwater sensor networking." In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference