

물고기 로봇을 위한 USN 기반 초음파 측위 시스템

신대정 · 나승유*,† · 김진영 · 박아론

USN based sonar localization system for a fish robot

Daejung Shin, Seung You Na*,†, Jin Young Kim, and Aaron Park

Abstract

Localization is the most important functions in mobile robots. There are so many approaches to realize this essential function in wheel based mobile robots, but it is not easy to find similar examples in small underwater robots. It is presented the sonar localization system using ubiquitous sensor network for a fish robot in this paper. A fish robot uses GPS and sonar system to find exact localization. Although GPS is essential tool to obtain positional information, this device doesn't provide reasonable resolution in localization. To obtain more precise localization information, we use several Ubiquitous Sensor Networks (USN) motes with sonar system. Experimental results show that a fish robot obtains more detailed positional information.

Key Words : fish robot, sonar localization, USN

1. 서 론

GPS^[1]는 사용상의 용이함과 높은 신뢰도로 이동 로봇의 위치 측정 시스템에 가장 널리 사용되는 장치이다. 하지만 실내에서 사용하기에 적절치 않으며, 정밀한 사용에 있어서 충분한 해상도를 얻을 수 없는 단점이 있다. 이런 이유로 많은 이동 로봇에서 GPS를 보완하여 추가적인 다양한 위치 측정 방법을 사용한다. 바퀴 기반의 이동 로봇은 바퀴에 설치된 엔코더^[2], 다양한 거리 센서, 가속도계^[3] 및 시각 센서^[4,5] 등을 이용하여 GPS가 제공하는 것 보다 훨씬 세밀한 위치 정보를 얻을 수 있다. 바퀴 기반의 육상용 이동 로봇에 있어 위치 측정 방법이 아주 일반적인데 비해, 수중 로봇을 위한 위치 측정 방법은 그 연구가 미미한 실정이다.

본 논문에서는 물고기 로봇을 위한 2차원 위치 측정 방법을 위하여 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Networks, USN)에 기반한 초음파 위치 측정 방법을 제안하였다. 이는 GPS보다 훨씬 더 정밀한 위

치 정보가 필요한 다양한 환경과 상황에서 언제, 어디서나 간단하고 저렴하게 물고기 로봇의 위치 정보를 훨씬 정밀하게 측정하기 때문이다.

개발의 용이함을 위하여 물고기 로봇은 수면에서만 움직이도록 제한하며, USN과의 통신을 위하여 안테나는 수면 위에 설치되며, 초음파 센서는 물속에서 사용될 수 있도록 방수 처리된다.

본 논문의 2장에서는 물고기 로봇의 구조 및 기본적인 스펙과 전체 시스템의 중요한 부분을 차지하는 초음파 센서와 USN에 대하여 기술하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 초음파 측위 방법과 그 결과를, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 물고기 로봇

2.1. 물고기 로봇

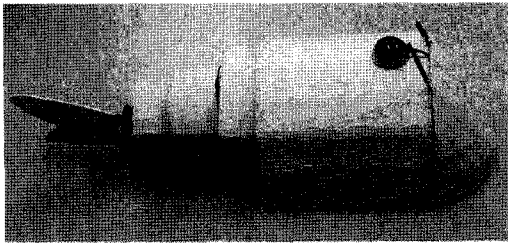
저자들은 물고기 모양을 닮은 다양한 종류의 수중 로봇을 제작하여 왔다^[6-8]. 다양한 크기와 모양을 가지지만 기본적으로 물고기의 형상을 본뜨고 실제 물고기가 움직이는 것을 모방하여 움직인다. 실제 물고기가 꼬리지느러미를 포함한 몸의 뒷부분을 움직여서 추진력을 발생시키는 것처럼, 제작된 물고기 로봇 또한 몸체의 뒷부분을 움직여서 추진력을 발생시킨다. 모터 축

전남대학교 BK21 유비쿼터스정보가전사업단(BK21 Chonnam National University)

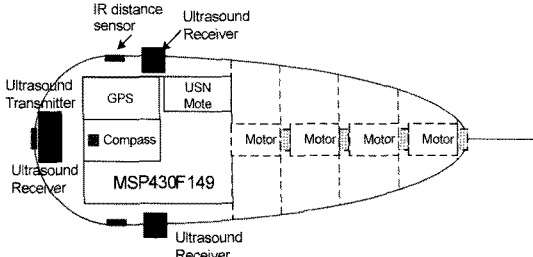
*전남대학교 전자컴퓨터공학부(School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University)

†Corresponding author: syna@chonnam.ac.kr

(Received : November 9, 2007, Accepted : January 1, 2008)



(a) Shape of a fish robot



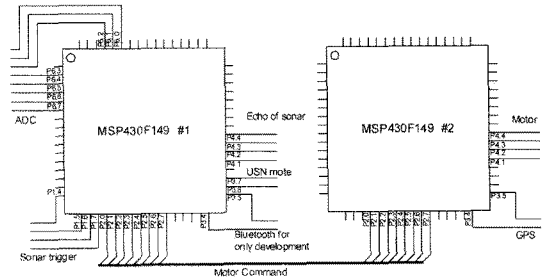
(b) Functional block diagram of a fish robot

그림 1. 물고기 로봇
Fig. 1. A fish robot.

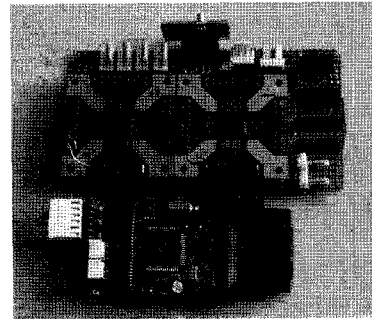
의 적절한 이동으로 추진력 뿐 아니라 방향 전환도 이루어지며, 부드러운 방향 전환을 위하여 slow turn, 빠른 방향 전환을 위하여 quick turn 방법을 사용한다⁹⁾. 실험에 사용되는 물고기 로봇은 꼬리지느러미를 구성하기 위하여 4개의 서보모터를 사용하여 부드러운 동작을 구현하였다. 물고기 로봇의 모양과 블록도를 그림 1에 나타내었다. 물고기 로봇의 길이는 78 cm, 폭 21 cm, 높이 19 cm이며 방수처리 되어있다. 꼬리지느러미를 포함한 유연하게 움직일 수 있는 몸체의 길이는 약 43 cm이며, 이 부분을 움직일 수 있는 최대 각도는 좌우 각각 100° 정도이다.

근거리 장애물 감지와 회피를 위하여 세 개의 적외선 거리 측정 센서가 사용되고, 장거리 장애물 감지와 회피 그리고 초음파 위치 측정을 위하여 하나의 초음파 송신기와 세 개의 초음파 수신기를 부착하였다. 근거리용 장애물 감지를 위해 사용하는 적외선 거리 측정 센서(GP2D12s, Sharp Co., JAPAN)는 공기 중에서 10-80 cm 정도의 측정거리를 가지나, 수중에서는 측정 가능 거리가 12-30 cm로 감소한다. 센서는 물속에서 사용할 수 있도록 방수 처리되며, 센서 전면의 렌즈부는 투명한 플라스틱으로 방수 처리하여 초점거리의 변화를 방지하였다.

물고기 로봇의 전체적인 동작을 위하여 저전력 마이크로컨트롤러인 MSP430 시리즈(MSP430F149, Texas



(a) Circuit diagram of microcontroller



(b) Microcontroller and USN mote

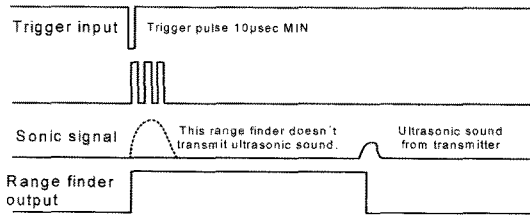
그림 2. 마이크로컨트롤러 및 USN 모트
Fig. 2. Microcontroller and USN mote.

Instrument Co., US)¹⁰⁾를 사용한다. 마이크로컨트롤러의 개수는 기능의 추가 여부에 따라 2-3개로 조정되며, 본 논문에서 사용되는 마이크로컨트롤러는 2개이다. 전원부, 마이크로컨트롤러, USN 모트 등을 포함한 모든 전자 장치들은 210×150×90 mm³ 크기의 알루미늄 상자에 설치되며 외부에 안테나를 돌출시켜 통신이 가능하다. 그림 2에 실험에서 사용된 마이크로컨트롤러와 모트의 사진과 간단한 회로도를 나타내었다.

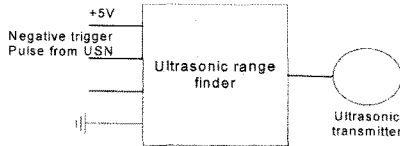
2.2. 초음파 센서

초음파 센서는 압전 소자를 사용한 진동자의 진동을 매질을 통해 전파시켜, 대상물에서 반사되는 에코 신호가 돌아오는 시간을 측정하여 대상물과의 거리를 측정하는 센서이다. 일반적인 초음파 센서는 공기 중에서 동작하도록 설계되어지며, 수중에서 사용하는 센서는 고가이며 부피가 큰 단점이 있다. 작은 물고기 로봇에 쉽게 부착하여 사용할 수 있고, 저렴한 센서 네트워크 시스템에 연결하여 사용 가능한 저렴한 초음파 센서(UM1/UM2, DAS Co., KOREA)¹¹⁾를 사용하였다.

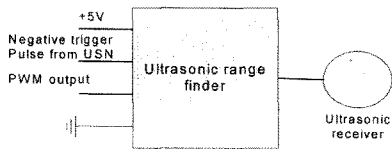
범용 초음파 센서 UM1은 실외, 공기 중에서 사용하도록 밀폐형의 구조를 가진다. 압전소자를 포함한 센서는 밀폐형의 구조이며 센서의 접점만 실리콘으로 방수



(a) Timing diagram of ultrasound sensor



(b) Ultrasound transmitter



(c) Ultrasound receiver

그림 3. 초음파 센서
Fig. 3. Ultrasound sensor.

처리하였으며, 센서부만 물속에 노출시켜 사용한다. 또한 내부적으로 5V에서 동작하도록 제작되어 있지만, 공급 전압은 12V를 가진다. 센서 보드상의 정전압 레귤레이터를 제거하여 5V에서 작동하도록 수정하였다. 이는 물고기 로봇을 구동시키는 주 전압원의 크기를 일치시켜, 전체 시스템의 전원부를 단순화하기 위해서이다.

실험에서 사용된 초음파 센서는 송신과 수신을 동시에 처리하는 장치이며 공기 중에서 최단 측정 가능 거리가 30cm로 상당히 긴 편에 속한다. 이는 물속에서 음파의 전파 속도가 4.5배에 달하는 빠른 속도임을 감안하면 송수신 일체형으로 사용하기는 곤란하다. 본 시스템에서는 송수신 겸용의 초음파 센서를 송신, 수신전용으로 개조하여 최단 측정 거리를 줄일 수 있도록 하였다. USN 모드에 사용되는 초음파 센서는 개조 없이 송신전용으로 사용하고, 물고기 로봇에 부착된 3개의 수신전용 초음파 센서는 초음파 송출을 위한 파워트랜스를 제거하여 초음파 생성없이 수신만 가능하도록 하였다. 개조된 센서의 최단 측정 거리는 이론적으로 0cm이며 실질적으로 5cm 이내의 거리도 측정이 가능하다. 그림 3에 초음파 센서의 동작을 위한 타이밍도와 송수신 전용의 초음파 센서의 블록도를 나타내었다.

개조된 송신/수신전용의 초음파 센서는 깨끗한 수중

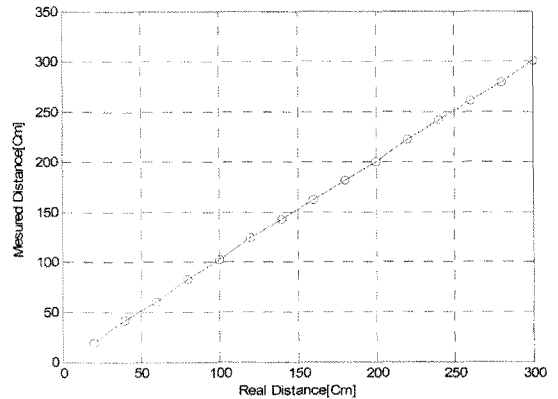


그림 4. 초음파 센서의 기본 거리 데이터
Fig. 4. Basic distance data of ultrasound sensor.

에서 최대 약 4.5m의 거리에서 동작하며 실험실 내의 수조에서 3m까지 획득한 측정 거리를 그림 4에 나타내었다. 초음파는 매질의 온도변화에 따라 전달 속도가 변화하는 특성을 보이기 때문에 매질의 온도는 매우 중요한 부분이다. 본 논문에서 얻어진 모든 데이터는 20°C 매질에서 온도 변화가 없는 깨끗한 매질 상태에서 획득되었다. 또한 물고기 로봇의 움직임을 최소화하여 이 움직임에 의한 파동은 거의 없다. 하지만, 실험 데이터 획득을 제외한 실제 동작에서는 물고기 로봇의 움직임에 의해 매질 표면에 파동이 발생하며, 초음파 센서는 충분히 아래쪽에 설치되어 파동에 의한 초음파 센서의 수면 위로의 노출은 발생하지 않는다.

2.3. 유비쿼터스 센서 네트워크

USN은 저전력, 저가격으로 구현 가능한 무선통신 기술로서 초소형 마이크로프로세서 기술과 자동 구성이 가능한 Ad-hoc 등의 네트워크 기술, MEMS 기술을 바탕으로 한 저가의 다양한 센서를 내장한 일종의 스마트 센서 네트워크 기술이다^[12]. 현재 임베디드 시스템 기술 등의 발전으로 그 실현 가능성이 높아 다양한 응용 분야에 적용되고 있으며, 활발한 연구가 계속되고 있다. 하지만 실제에 있어 USN은 아직 저렴한 가격과 크기, 장시간 사용하기 곤란한 전력 소비 및 소형 고용량 배터리 기술의 미비로 전반적인 활성화는 미비한 실정이다.

본 논문에서 USN mote(Zigbee-X, Hanback Electronics Co., KOREA)^[13]에 초음파 센서를 연결하여 사용한다. 물고기 로봇이 동작하는 곳이 실외이든 실내이든 정밀한 위치 정보를 획득하여야 할 영역이 그리 크지 않다고 제한하면 저렴한 가격에 정확한 위치 측정 시스템을 구현하기 위한 좋은 방법이 된다. 그림 5에 초

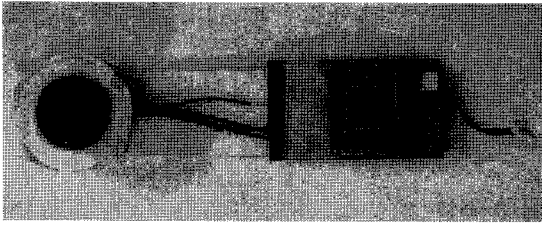
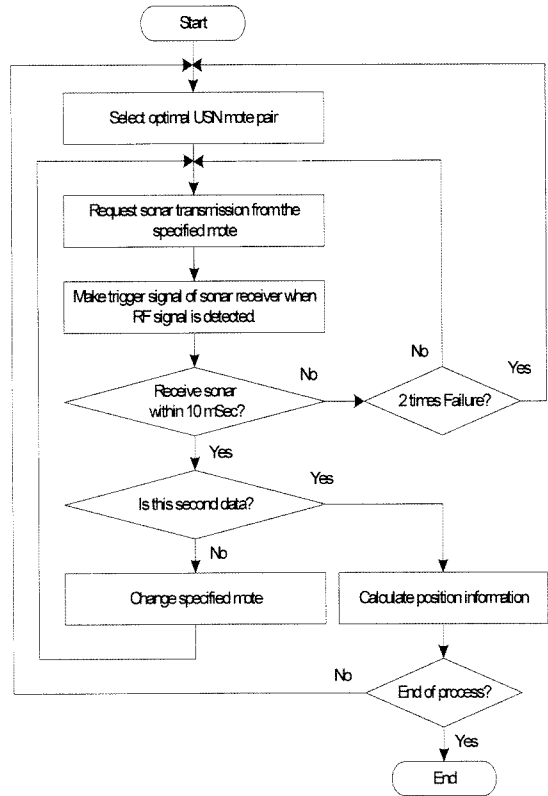


그림 5. 초음파와 센서를 연결한 USN 모트
Fig. 5. USN mote with a ultrasound transmitter.

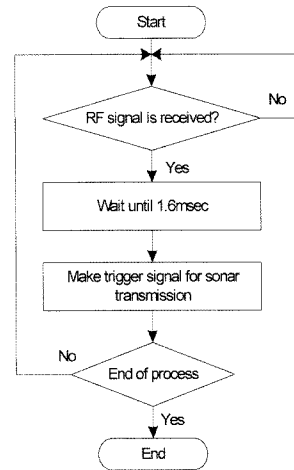
음파 송신기를 부착한 USN 모트를 나타내었다.

물고기 로봇은 로봇 내부의 모트를 통하여 원하는 모트를 지정하여 초음파 송출을 지시한다. 이때 물고기 로봇 내부의 모트는 다른 모트들이 통신을 하는지 확인하고 모트들에게 명령을 보내는데, 0-3 mSec 정도의 시간 지연이 발생하며, 이는 초음파 센서를 이용하여 거리를 측정하기에는 너무 큰 오차를 유발하게 된다. 따라서 마이크로컨트롤러는 모트에 명령을 내릴 것을 요구하고, 실제 모트의 안테나부를 통하여 명령이 전달 되는지를 인터럽트를 이용하여 확인하여 모트 간 통신의 무작위적인 지연 시간의 영향을 제거한다. 모트의 안테나를 통하여 명령이 전달되면 수신 대기 상태의 모트들은 명령을 해독하여 초음파 센서를 구동시킨다. 모트들이 최초의 명령을 무선으로 전송받고 해독한 후, 초음파 센서를 구동할 때까지의 시간은 일정하다. 수신 전용의 초음파 센서가 트리거 신호를 입력받은 후 약 1.6 mSec 이후에 에코 신호를 수신할 준비를 완료된다. 따라서 물고기 로봇 내부의 마이크로컨트롤러가 모트의 안테나를 통하여 명령이 전달되는 시간과 수신 모트에서 처리하는 시간, 그리고 약간의 시간 지연을 이용하여 1.6 mSec 이후에 초음파가 송출되도록 제어한다. 물고기 로봇에서 전파가 송출되고, 1.6 mSec 이후에 외부 모트에서 초음파를 송출하므로 물고기 로봇이 측정 가능한 거리는 이론적으로 0 cm이며 실질적으로 5 cm 이내의 거리를 측정할 수 있다. USN을 이용한 초음파 위치 측정 절차는 그림 6과 같다.

그림 6의 초음파 측위 절차를 기술하면 다음과 같다. 물고기 로봇은 초음파 측위를 위하여 처음 두 개의 가장 적절한 두 개의 USN 모트를 선택한다. 초기 정보를 모를 경우 임의의 인접한 두 개의 모트를 선택하며, 위치를 알고 있을 경우 진행 방향의 USN 모트 중에서 가장 가까운 두 개의 모트를 선택한다. 초음파 측위를 위한 적절한 모트가 선택되면, 차례대로 초음파 전송을 요구한다. 초음파 전송의 요구는 지정된 모트에 모트의 고유번호가 포함된다. 초음파 전송 명령 요구 이후 랜덤한 시간지연에 의한 오차를 제거하기 위하여 물고기



(a) A fish robot



(b) Outside mote

그림 6. 초음파 측위 방법의 순서도
Fig. 6. Flowchart of sonar localization process.

로봇 내부의 USN 모트가 실제 RF 신호를 전송하는지 감시한다. RF 신호 전송의 감지 이후 10 mSec 동안 수신되는 초음파를 확인하며, 이때 측정된 시간이 초음파 측위 정보의 기본 데이터이다. 10 mSec 동안 초음파를

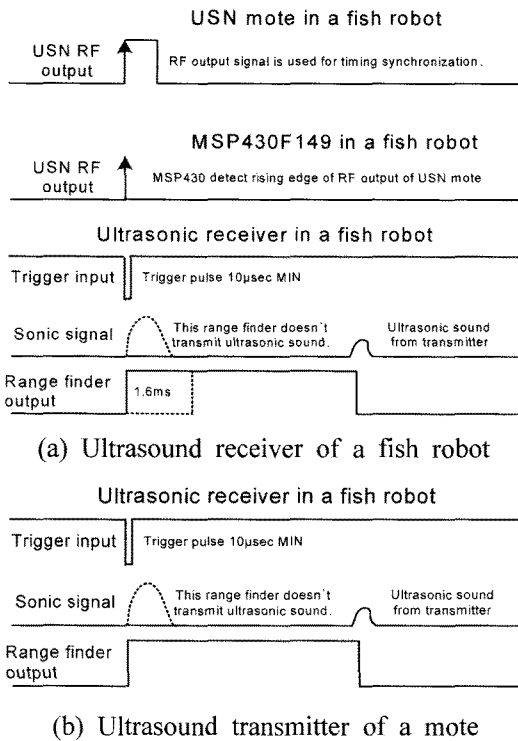


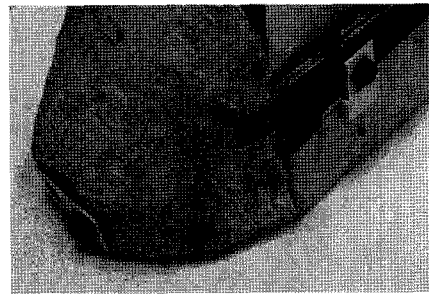
그림 7. 초음파 송수신부의 타이밍도
Fig. 7. Timing diagram of ultrasonic sensor.

수신하지 못하면 재전송을 요구한다. 재전송 요구 이후에도 초음파를 수신하지 못하면 다른 USN 모트를 선택한다. 두 개의 다른 USN 모트로부터 획득된 기본 시간 데이터를 거리 데이터로 환산하고 최종적으로 위치를 계산한다. 정확한 위치가 계산되면 최적의 USN 모트를 다시 선택하여 동일한 작업을 반복한다. 초음파 측위 시스템을 구성하는 외부의 USN 모트들은 항상 수신대기 상태를 유지한다. 그림 6의 (b)처럼 물고기 로봇 내부의 USN 모트로부터 수신된 RF 데이터를 해독하여, 자신이 초음파 신호를 전송할 차례가 되면 최초 명령을 수신한 시점부터 정확히 1.6mSec 후에 초음파를 전송하고 다시 RF 신호를 수신할 준비를 한다.

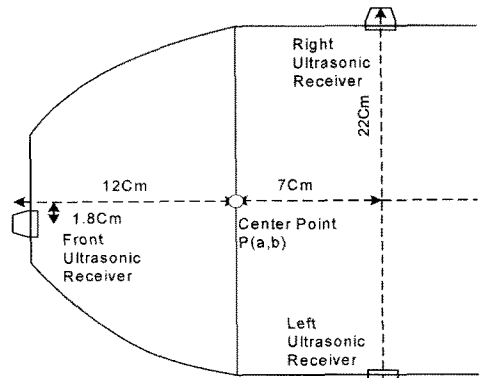
장애물 감지용으로 사용되는 물고기 로봇 내부에 설치된 하나의 초음파 송신기 또한 같은 시간 지연을 주어 최단 측정 거리를 5cm 이내로 감소시켰다. 초음파 센서를 구동시키기 위한 수정된 타이밍도를 그림 7에 나타내었다.

3. Sonar Localization

외부 모트를 통해 송출된 초음파를 수신하는 세 개



(a) Ultrasonic receivers



(b) An array of ultrasonic receivers

그림 8. 물고기 로봇의 초음파 센서
Fig. 8. Ultrasonic receiver of a fish robot.

의 수신전용 초음파 센서를 그림 8에 나타내었다. 초음파 수신기는 물고기 로봇의 좌측, 전면, 우측에 위치하며 정확한 규격은 아래 그림과 같다. 지정된 모트로부터 송출된 초음파는 서로 다른 세 개의 수신기에 입력된다. 동일한 신호원으로부터 입력되는 세 개의 초음파 수신기는 짧은 거리도 판별할 수 있으며 간단한 계산으로 물고기 로봇의 위치를 측정한다.

그림 9는 하나의 신호원으로부터 세 개의 서로 다른 초음파 수신기가 측정한 거리를 표현한 것이다. 물고기 로봇의 상대적인 방향과 미리 알고 있는 USN 모트의 위치, 3개의 초음파 수신기로부터 측정된 거리 l_1, f_1, r_1 로부터 물고기 로봇의 중심점 P 를 기준으로 할 때의 초음파원의 위치를 삼각법으로 구한다.

세 개의 수신기 중에서 초음파 신호를 직접 수신하지 못하고, 수조 벽에 반사되어 되돌아오는 신호를 획득하는 경우가 빈번히 발생하는데, 이는 다른 수신기가 측정한 시간과 비교하여 물리적으로 센서가 위치해 있는 거리보다 더 클 때 반사된 초음파 신호를 수신한 것으로 인식하고 그 정보를 무시한다. 이때 구해진 초음파원과 P 사이의 거리를 m_1 이라 하고, 다른 모트와의

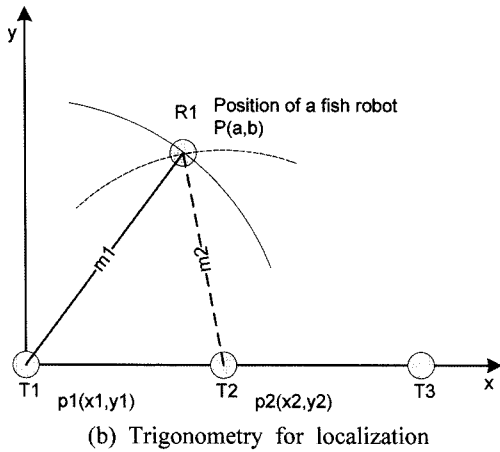
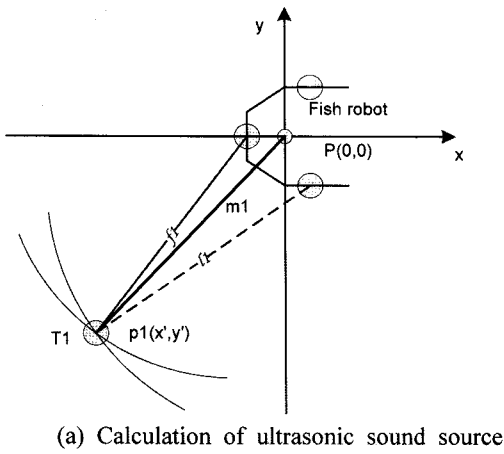
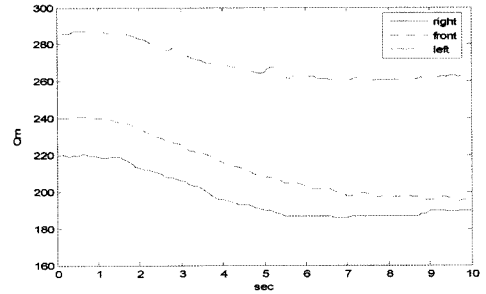


그림 9. 초음파 거리 측정
Fig. 9. Ultrasonic localization.

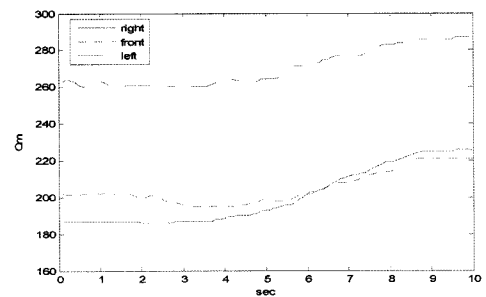
거리 m_2 를 구하여 물고기 로봇의 상대적인 위치 $P(a,b)$ 를 획득한다. 물고기 로봇의 상대 위치는 그림 9의 (b)와 같이 물리적으로 고정된 위치에 설치된 초음파 송신기와 상대거리이며, 두 초음파 송신기를 중점으로 한 두 원의 교차점이 된다.

수조 내에서 일정한 궤적을 이동하며 측정된 데이터를 그림 10에 나타내었다. 그림 10의 (a)와 (b)는 모트 1과 2로부터 획득된 물고기 로봇의 세 개의 초음파 수신기로부터 획득한 거리 정보이다. (a)와 (b)에서 정면과 좌측에 부착된 초음파 수신기로부터 얻어진 거리 데이터는 큰 차이가 없지만, 오른쪽 초음파 수신기로부터 얻어진 거리 데이터는 아주 큰 차이를 보인다. 이는 좌측과 정면 초음파 수신기는 모트 1과 2로부터 직접적으로 초음파 신호를 수신한 것이며, 우측의 초음파 수신기는 수조 벽에 부딪혀 반사되어오는 신호를 수신했기 때문이다. 얻어진 거리 데이터를 이용하여 추정한

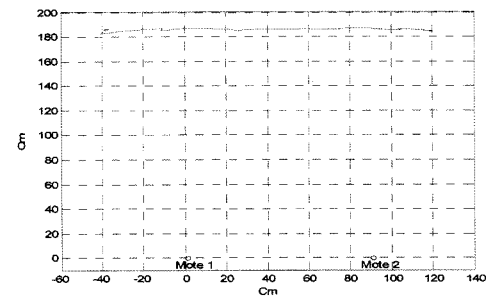
물고기 로봇의 위치 정보를 (c)에 보인다. 모트의 위치는 좌표 (0,0)과 (90,0)이며 그림 (c)는 수조의 일부분을 보인 것이다. 물고기 로봇은 좌측에서 우측으로 일정한



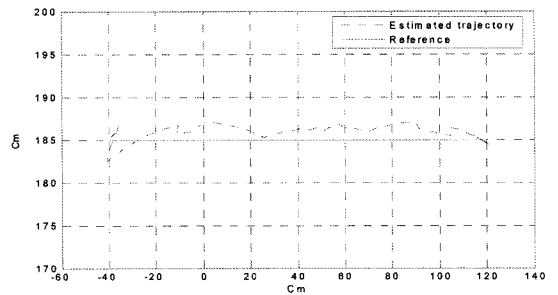
(a) Distance data from ultrasonic transmitter 1



(b) Distance data from ultrasonic transmitter 2

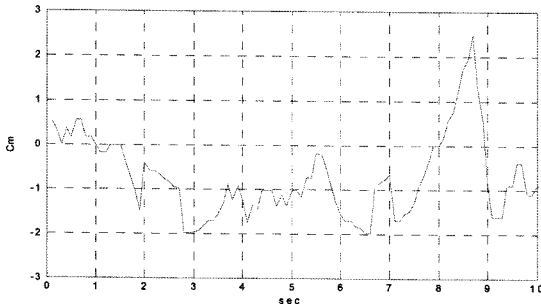


(c) Estimated distance



(d) Detailed result

그림 10. 초음파 거리 측정 결과
Fig. 10. Result of ultrasonic localization.



(e) Error of y-axes distance

그림 10. 초음파 거리 측정 결과
Fig. 10. Continued.

속도로 y축에서 185 cm 만큼 떨어져서 이동한다. 결과 (c)의 좀 더 세밀한 결과를 (d)에, 측정된 y축 거리 데이터의 오차를 (e)에 나타내었다. 측정된 y축 거리 데이터의 최소 자승 오차는 1.42 cm이며, 표준 편차는 0.90 cm이다.

4. 결 론

물고기 로봇의 적절한 동작을 위해 장애물 감지 및 회피, 정확한 위치의 측정은 필수적인 요건이다. 하지만, 일반적인 육상형 이동 로봇과는 달리 별다른 위치 측정 방법이 없었던 물고기 로봇의 2차원 위치 측정을 위하여 USN과 초음파 센서를 이용하여 단순하면서 저렴한 방법을 제안하고, 그 효율성을 확인하였다. 제안된 시스템은 y축 거리 데이터의 최소 자승 오차는 1.42 cm, 표준 편차는 0.90 cm를 보였다. 물고기 로봇이 잠수하였을 경우에 대해서도 위치 측정이 가능하도록 3차원 초음파 위치 측정을 위한 확장이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 교육인적자원부의 BK21 사업의 연구 결과로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] E. Abbott and D. Powell, "Land-vehicle navigation

- using GPS", *Proc. of the IEEE*, vol. 87, Issue 1, pp. 145-162, Jan. 1999.
- [2] Yonggoung Chung, Chongkug Park, and F. Harashima, "A position control differential drive wheeled mobile robot", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 4, pp. 853-863, 2001.
- [3] H. H. S. Liu and G. K. H. Pang, "Accelerometer for mobile robot positioning", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 37, no. 3, pp. 812-819, 2001.
- [4] T. D'Orazio, F. P. Lovergine, M. Ianigro, E. Stella, and A. Distante, "Mobile robot position determination using visual landmarks", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 41, no. 6, pp. 654-662, 1994.
- [5] 도용태, 이대식, 류석환, "3차원 위치측정을 위한 스테레오 카메라 시스템의 인공 신경망을 이용한 보정", *센서학회지*, 제7권, 제6호, pp. 418-425, 1998.
- [6] D. Shin, S. Y. Na, J. Y. Kim, and S. Baek, "Water pollution monitoring system by autonomous fish robots", *WSEAS Trans. on System and Control*, Issue 1, vol. 2, pp. 32-37, 2007.
- [7] S.Y. Na, D. Shin, J. Y. Kim, and S. Choi, "Collision recognition and direction changes using fuzzy logic for small scale fish robots by acceleration sensor data", *FSKD 2005*, LNAI 3614, pp. 329-338, 2005.
- [8] D. Shin, S. Y. Na, J. Y. Kim, and S. Baek, "Fuzzy neural networks for obstacle pattern recognition and collision avoidance of fish robots", *Soft Computing: Springer*, to be published.
- [9] J. Liu and H. Hu, "Mimicry of sharp turning behaviours in a robotic fish", *Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Spain, pp. 3329-3334, 2005.
- [10] www.ti.com
- [11] www.das-co.com
- [12] B. Brumitt, J. Krumm, B. Meyers, and S. Shafer, "Ubiquitous computing and the role of geometry", *IEEE Personal Communications*, vol. 7, no. 5, pp. 41-43, 2000.
- [13] www.hanback.com



신 대 정

- 1972년 11월 23일 생
- 1996년 전남대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2006년 전남대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2007년 현재 전남대학교 유비쿼터스정보가전사업단 박사후연구원
- 주관심분야 : 물고기 로봇, 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 센서 및 신호처리



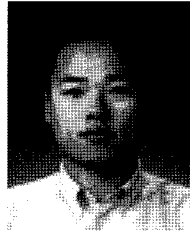
나 승 유

- 1954년 5월 1일 생
- 1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사,박사)
- 1987년~현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 센서 및 신호처리



김 진 영

- 1962년 4월 26일 생
- 1994년 8월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1993년 3월~1994년 12월 한국통신 연구원
- 1995년 1월~현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 음성 및 영상 처리



박 아 론

- 1973년 11월 14일 생
- 2006년 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
- 2007년 현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (공학석사과정)
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 패턴인식