

논문 2009-5-12

무선 센서 네트워크에서 초음파를 이용한 전방향 거리 측정

Omnidirectional Distance Estimation using ultrasonic in Wireless Sensor Networks

이우식*, 김남기**

Woo-Sik Lee, Nam-Gi Kim

요약 IT기술의 발전과 함께 유비쿼터스 (Ubiquitous)환경이 도래하여, 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)기반 연구가 다방면에서 활발히 진행 중에 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 센서간 거리를 전방위로 측정할 수 있는 간단한 방안에 대해 제안한다. 그리고 이를 직접 설계하고 구현하여 실험을 통해 검증해 본다. 전방향성 장치를 이용하면 거리 측정 최대 거리는 줄어드는 단점이 있지만 360 방향을 측정 할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 실제 환경에서 실험을 통하여 전방향성 장치가 존재할 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 초음파를 통한 거리측정 방식의 누락율 및 정확도를 분석해 본다.

Abstract Because ubiquitous environment has come with growing IT technology, Researches wireless sensor network are actively on going in many aspects. In this paper, we proposed simple method of distance measurement for omnidirectional distance calculation in wireless sensor network. In addition, we design and implement the proposed method. Then, we verify it through experiments at real environments. when we use the proposed method, maximum distance of measurement is decreased, but we measure distance from degrees. In this paper, we show drop rate and accuracy rate of ultrasonic distance estimation with and without omnidirectional device through experiments at real environments.

Key Words : 유비쿼터스, 센서네트워크, Cricket, 초음파 센서, 거리 측정

I. 서론

최근 IT산업이 급속히 발전 하면서 모든 사람, 사물 그리고 컴퓨터가 언제, 어디서나 연결되어 인간의 삶을 도와주는 유비쿼터스 환경이 도래하고 있다. 이런 환경 속에서 우리는 온도, 습도, 조도 등의 다양한 정보를 얻어 많은 서비스를 제공할 수 있다. 따라서, 현재 많은 기업 및 연구소에서는 이러한 서비스를 제공하기 위해 센서 네트워크 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이

중 한 분야가 무선 센서 네트워크에서 위치를 추정하는 기술이다. 위치를 추정하기 위한 기술로는 신호의 도착 시간을 이용하는 TOA(Time of Arrival)방식, 두 개 이상의 센서의 도착 시간을 쌍곡선을 이용하여 계산하는 TDOA(Time Difference of Arrival)방식, 각도를 이용하여 위치를 추정하는 AOA(Angle of Arrival)방식, 신호의 세기를 이용한 RSSI(Received signal Strength)방식, 그리고 3개의 노드를 이용하여 거리를 측정하는 삼각 측량법 등이 있다. 이런 위치 추정 방법을 이용하면, 무선 센서 네트워크에서 기본이 되는 상황 인식 서비스(context-aware service)에 위치 정보를 제공해 줄 수 있다. 예를 들면 Location-aware Application을 이용하여

*준회원, 경기대학교 컴퓨터과학과

**정회원, 경기대학교 컴퓨터과학과 (교신저자)

접수일자 2009.9.2, 수정일자 2009.10.6

사용자 주변 장치를 알려 주는 시스템과 Active map을 이용하여 사용자의 위치 트래킹을 해주는 시스템 등 위치 추정 기술은 많은 응용에 활용될 수 있다 [3][4][5].

이와 같은 위치를 추정하는 기술 중 TOA 방식이 많이 이용된다. TOA 방식은 RF 신호와 초음파 신호를 통해 거리 측정을 한다. 그러나 초음파를 이용한 기존 기술들은 대부분 초음파 활용 시 직진성을 이용하여 측정하는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 TOA 방식을 활용하여 초음파를 통해 거리를 측정할 때 전방향으로 거리를 측정할 수 있는 간단한 방법에 대해 제안하고 이를 구현한다. 그리고 이 방법의 효율성에 대해 실험을 통해 검증한다 [1][2].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서 거리 측정과 관련된 내용을 살펴보고, 3장에서는 전방향으로 거리를 측정 하기 위한 소프트웨어 및 하드웨어 설계 및 구현을 설명한다. 4장에서는 구현한 시스템을 바탕으로 실험을 한 후 이를 분석한다. 5장에서는 본 논문의 마무리 부분으로 결론을 맺고 향후 계획을 기술한다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 거리 측정은 매우 중요하다. 현재 거리측정에서 가장 널리 사용되는 방식은 GPS(global positioning system)를 이용한 방식이다. 그러나 GPS방식은 가격이 비싸고, 위성에서 GPS신호를 받을 때 장애물이 없어야 하기 때문에 실내에서는 측정이 잘 안되는 단점이 있다. 그 밖의 영상을 이용하여 거리 측정하는 방법, 적외선을 이용한 방법, 압력을 측정하는 방법 등 많은 측정 방법이 존재 한다.

1. 적외선을 이용한 거리 측정

적외선을 이용한 거리 측정 방법은, 1992년 AT&T 캠프리지 연구소에서 개발한 액티브 배지(Active Badge)가 있다 [6]. 이 시스템은 제록스에서 개발한 것으로 고객 관리 지원이 자리에 없을 경우, 고객의 연락을 자동으로 그 직원이 위치한 곳에 착신하게 하기 위해 개발된 것이다. 이 시스템은 적외선 센서가 천장에 배치되어 있고 사람은 액티브 배지라고 하는 적외선 발생기를 몸에 지니고 있다. 그리고 이 액티브 배지는 자기 고유의 인식 번

호를 가지고 주기적으로 적외선 센서에 알려주면서 자신의 위치를 파악하게 해주는 시스템이다. 이 시스템은 전체 시스템이 간단하다는 장점을 가지는 반면 정밀한 측정이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

2. RF 신호를 이용한 거리 측정

RF를 이용한 거리 측정은 초음파에 비해 정확도가 낮지만, 초음파에 단점인 직진성이 없다는 장점이 있다. 하지만 RF신호는 벽이나 창문 등에 반사와 굴절로 인한 반향파로 인한 간섭을 많이 받는 단점이 있다.

3. RFID를 이용한 거리 측정

RFID(Radio Frequency Identification)를 이용한 거리 측정 방법은 태그와 리더기 사이에 신호를 통해 대상의 정보를 알아내는 방법이다. 이 방법은 주로 특정 위치에 리더기를 설치해 태그가 지나가면 반응하여 위치를 파악하는 방식이다. RFID는 동시에 여러 태그를 고속으로 인식 가능하다는 장점이 있어 주로 물류/유통 분야에서 많이 쓰인다. 하지만 보안상의 취약점이 많고 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

4. 초음파를 이용한 거리 측정

초음파를 이용한 시스템에는 액티브 배트(Active Bat) 시스템 [6], MIT에서 개발한 크리켓(Cricket) 시스템 [4], UCLA에서 개발한 Medusa 노드 [8]등이 대표적이다. 초음파는 RF 신호에 비해 상대적으로 속도가 느리기 때문에 생기는 시간차이로 TOA방식과 TDOA방식을 사용하여 계산한다. 이런 초음파 시스템은 실내에서 거리 측정이 용이하다는 장점이 있다. 그러나 초음파의 직진성으로 인해 송신측과 수신측이 서로 마주봐야 하는 단점을 가지고 있다.

위에서 본 거리 측정 방법중 초음파를 이용한 거리 측정은 비교적 높은 정확도를 가지고 또 위성으로부터 신호를 받을 필요가 없기 때문에 실내에서 거리 측정하는데 가장 많이 쓰인다. 이 때 초음파를 통한 거리측정은 초음파와 RF 신호의 도착 시간차를 이용한 방식으로 한다 [4][7].

따라서 본 논문에서는 실내에서 거리 측정하는데 높은 정확도를 가지는 초음파를 이용해 전방향 거리 측정 방법에 대해 제안한다. 제안하는 전방향 거리 측정 방식은 초음파 센서 앞에 간단한 전방향성 장치를 설치하여

초음파 신호가 모든 방향으로 퍼져 나갈 수 있게끔 설계 하였다.

III. 전방향성 센서노드 구성 및 구현

1. 하드웨어 구성

본 논문의 전방향 장치를 실험하기 위한 하드웨어 구성은 호스트 컴퓨터 1대와, Cricket모트 2개로 이뤄진다. 1개의 Cricket모트는 Sender역할을 하며 Receiver에게 RF신호와 초음파 신호를 동시에 보낸다. 이 때 Sender와 Receiver사이에 장애물이 없는 LOS 상태를 유지해야 하며 본 논문에서 제안할 전방향성 장치가 없는 경우 초음파 장치의 Sender와 Receiver는 서로 마주보고 있어야 한다. Receiver역할을 하는 Cricket모트는 Sender가 보낸 RF신호와 초음파 신호의 도착 시간의 차이를 계산 한다. 그 다음 이 값을 Sender에게 돌려주는 역할을 한다. Sender는 RS-232 시리얼 포트를 통해 호스트 컴퓨터에 이 값을 전달해 준다. 호스트 컴퓨터는 데이터베이스에 이 값을 시간과 순서에 따라 저장하게 된다.

그림 1은 하드웨어 구성도를 나타낸다. 그림과 같이 하드웨어는 Cricket모트 2개와 1개의 호스트 컴퓨터로 구성되어 있으며 데이터를 저장할 데이터베이스가 있다. 2개의 Cricket은 무선 네트워크로 연결되며 호스트 컴퓨터는 Sender역할을 하는 Cricket과 RS-232 시리얼 포트를 통해 유선으로 연결된다.

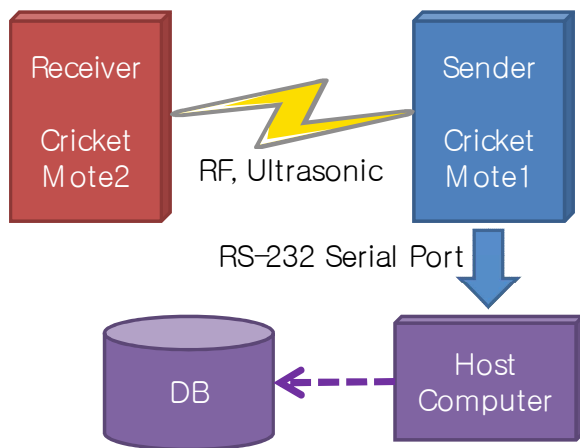


그림 1. 하드웨어 구성도
Fig. 1. Hardware Architecture

2. 전방향성 장치

초음파는 직진성이 강하기 때문에 송신자와 수신자 간에 서로 마주보게 설치해야 하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 초음파 장치에 원뿔형태의 반사판을 설치하여 초음파가 전방향성을 띄게 구축 하였다. 이에 따라 기존 직진 거리에서만 거리측정이 가능했던 초음파 장치는 360° 방향으로 거리 측정이 가능 하게 된다. 이 장치를 이용하면 주변의 사람 및 사물의 위치를 파악하거나 움직이는 물체의 위치를 효율적으로 판단하기 위한 센서 노드의 배치가 훨씬 간편해 진다. 그림 2는 초음파 장치에 전방향성 장치를 설치한 그림을 보여주고 있다.

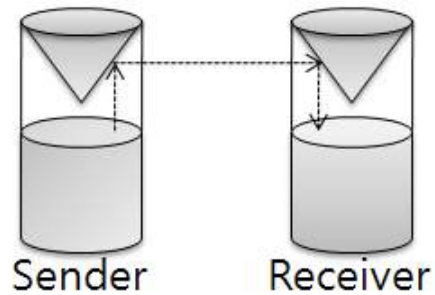


그림 2. 전방향성 장치
Fig. 2. Omnidirectional Device

3. 거리 측정 알고리즘

Sender와 Receiver사이 거리 측정은 RF 신호와 초음파 신호를 통해서 거리 측정을 한다. 대기 중에 RF 신호의 속도는 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 이며 초음파 속도에 비해 약 10^6m/s 정도 빠르기 때문에 속도로 인한 시간 차이가 발생하게 된다. 즉, RF 신호가 도착한 후에 초음파 신호가 도착하게 되는 것이다. 따라서, Sender와 Receiver사이의 시간을 TDOA 방식을 이용해 거리 측정을 할 수 있다. RF 신호와, 초음파 신호의 TDOA방식은 식 1과 같다.

$$t_{\text{거리}} = \frac{d}{v_{\text{초음파}}} - \frac{d}{v_{\text{RF}}} \quad (1)$$

이 때 RF신호가 초음파 신호보다 속도가 빠르기 때문에 식2와 같이 초음파로 근사화 값으로 대응 시킬 수 있다.

$$t_{거리} \approx \frac{d}{v_{초음파}} \quad (2)$$

Sender는 거리 측정을 하기 위해 특정 시간 마다 RF 신호와 초음파 신호를 보내며 Receiver측에서 RF 신호와 초음파 신호의 도착 시간 차이로 생기는 계산 값을 받게 된다. 만약 RF 신호가 송신중 전파 방해로 인해 수신 이 제대로 되지 않거나 중간에 장애물이 있어 초음파 신호가 수신 측에 도달 하지 못하는 경우에는 시간 계산이 제대로 할 수 없게 된다. 이럴 경우 Sender는 500ms 이 후 다시 RF 신호와 초음파 신호를 보내도록 설계하였다. Sender는 시간값을 Receiver로부터 받은 후, 호스트 컴퓨터에 이 값을 RS-232 시리얼 통신을 통해 전송하게 되며 호스트 컴퓨터는 이 값을 거리 정보로 변환하고 이를 데이터베이스에 저장하게 된다.

$$Dist = \frac{ustimer + (C \times comp) - TimerOffset}{DistanceMul} \quad (3)$$

식 3은 호스트 컴퓨터에서 거리 계산을 하는 식을 보여주고 있다 [9]. ustimer는 Receiver가 초음파 시간의 차이를 측정 한 값으로 Sender가 RF와 초음파 신호를 보낼 때 거의 동시에 Receiver는 초음파 신호 감지 타이머를 작동시키고 초음파가 감지되면 그 값을 ustimer라는 공간에 저장하게 된다. 그리고, RF 신호를 통해 전송시 1 byte사이 즉 1-7bit 오프셋이 발생하는데 이것을 보정해주는 값이 comp이며 몇 번째 bit에서 발생했는지 표시하는 값이 C가 된다. RF 신호를 보낼 때, 타이머를 작동시키는 것과 신호를 보내는 사이에 시간 차가 발생하는데 이것을 보정해주는 값이 TimerOffset이 된다. 마지막 값으로 DistanceMul값은 시간을 cm단위로 변환하기 위한 소리의 속도를 나타낸 값을 나타낸다.

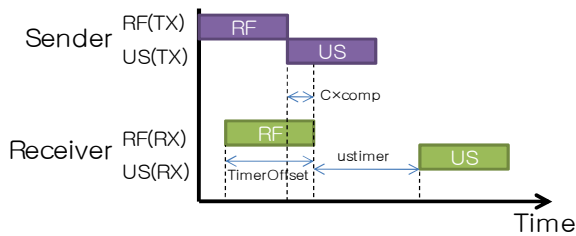


그림 3. 거리 측정을 위한 신호 흐름
Fig. 3. Signal flow for measuring distance

그림 3은 위 공식의 거리 측정을 실제 시간 축에 나타낸 그림으로써, 상단은 Sender를 나타내며 하단은 Receiver를 나타낸다. 그림도 식과 마찬가지로 Sender는 RF 신호와 초음파 신호를 보내며 Receiver는 Sender로부터 받은 RF 신호와 초음파 신호의 각 시간을 계산 하게 된다. 식과 마찬가지로 그림에서도 신호를 발생 시킬 때 생기는 오프셋과 RF신호를 받는데 걸리는 1byte의 오프셋을 보정한 후 전체 시간을 계산하게 된다.

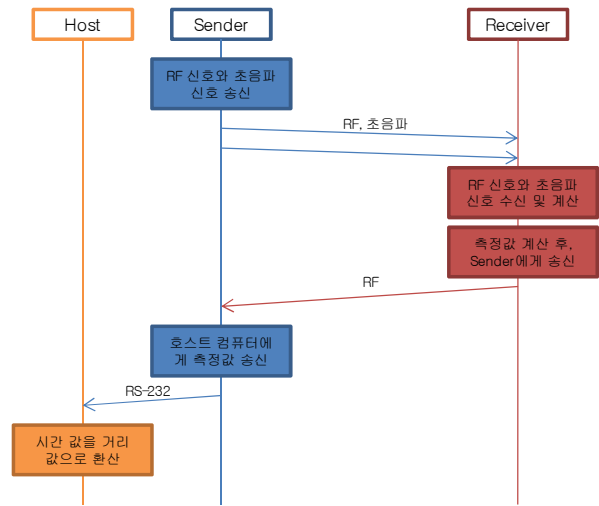


그림 4. 거리 측정 알고리즘
Fig. 4. Algorithm for measuring distance

그림 4는 Sender와 Receiver간 데이터를 주고받는 순서를 보여주는 시퀀스 다이어그램이다. 처음으로 Sender는 RF 신호와 초음파 신호를 500ms 주기로 보내게 되고 이 신호를 받은 Receiver는 신호의 시간차이를 측정하여 시간 차이로 발생하는 값을 돌려주게 된다. 이 때 Sender가 리턴 값을 받게 되면 호스트 컴퓨터로 데이터를 전송하게 되지만 만약 신호를 돌려받지 않게 된다면 500ms 이 후 다시 RF 신호와 초음파 신호를 보내면서 다시 시작하게 된다. 이 때 Receiver는 다시 수신값을 계산하게 된다. 하지만 또 신호를 받지 않게 된다면 Sender는 같은 일을 반복 수행 하게 된다. 최종적으로 Sender가 수신계산 값을 받게 되면 호스트 컴퓨터에게 그 값을 넘기게 된다. 그리고 호스트 컴퓨터는 시간 차이 값을 거리 값으로 환산하기 위해서 식 3을 이용하여 환산된 거리값은 호스트 컴퓨터 데이터 베이스에 저장하게 되어 측정값으로 활용되게 된다.

IV. 실험 및 결과

본 논문의 실험 환경은 연구실과 복도를 병행하여 실험을 하였다. 그리고 실험은 Cricket 모트 2대와 노트북 1대를 가지고 실험을 하였으며 전방향성 장치가 달린 모트와 전방향성 장치가 없는 모트를 가지고 실험을 하였다. 그림 5는 실제 전방향성 장치가 달린 모트를 보여주고 있다.

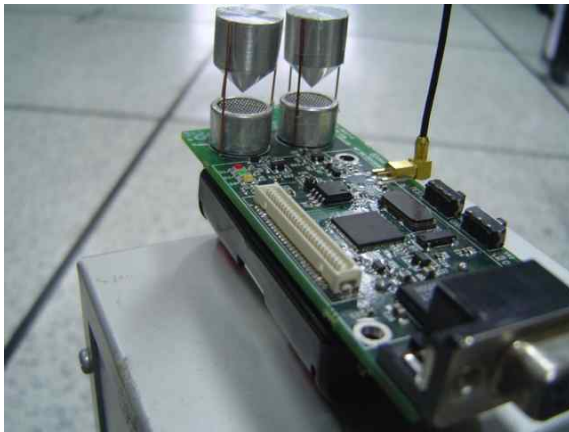


그림 5. 전방향성 장치가 달린 Cricket 모트
Fig. 5. Cricket mote with omnidirectional device

그림 6은 실제 초음파를 이용하여 거리 측정을 한 결과를 보여주고 있다. 거리 측정은 1000개의 샘플 데이터를 수집하여 분석 하였으며 6m 까지는 연구실에서 실험을 하였고 6m 이상거리는 복도에서 실험을 하였다. 우선 전방향성 장치가 있는 Cricket 모트의 실험 결과를 살펴 보면 약 3m 까지는 10cm 미만의 오차가 측정 되었지만 3m 이상거리에서는 오차가 약 10~20cm 정도로 측정 되었다. 또한 6.5m 이상 거리에서는 거리 측정이 잘 되지 않았다. 반면 전방향성 장치가 없는 경우 약 7.2m 까지는 오차거리가 10cm 미만으로 측정 되었지만 7.2m 이상 거리에서는 10~30cm 정도의 오차가 측정 되었다. 그리고 최대 거리는 전방향성 장치가 달린 Cricket보다 2배 정도 크게 나타난 약 13m 정도로 측정 되었다. 이와 같은 실험 결과로 우리는 초음파를 이용한 거리 측정에서 전방향성 장치를 사용할 경우 초음파가 넓은 범위로 분산 되기 때문에 전방향성 장치가 없는 경우 보다 최대 거리가 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고, 약 3m 이하 거리에서는 10cm 미만의 오차가 나기 때문에 3m 미만의 거리 측정 할 때에는 전방향 위치 측정 방식이 매우 유용할 것

으로 판단된다.

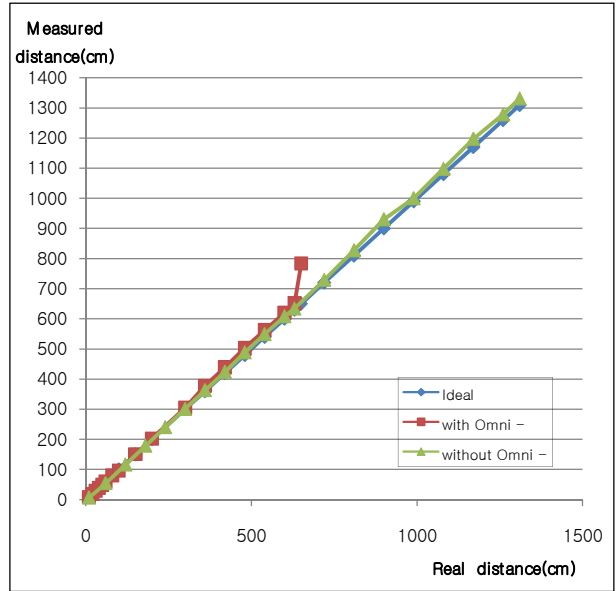


그림 6. 초음파를 이용한 거리 측정 결과
Fig. 6. Distance measurement result using ultrasonic

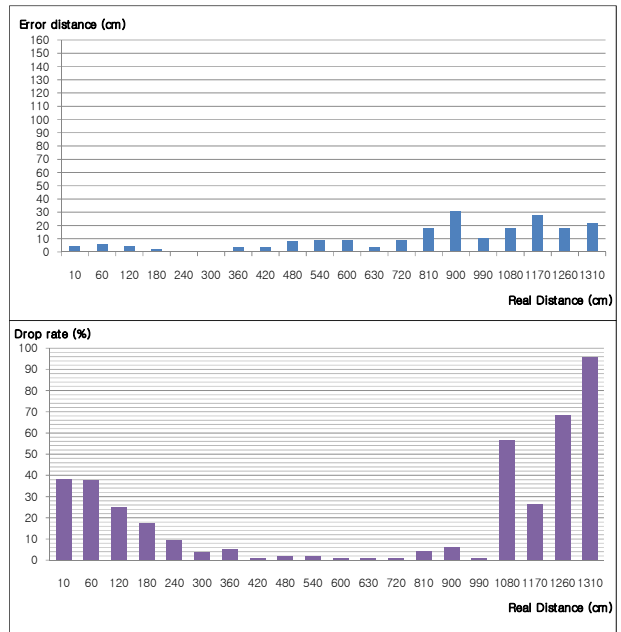


그림 7. 전방향성 장치가 없는 Cricket의 오차거리와 누락율
Fig. 7. Error distance and drop rate of cricket without omnidirectional device.

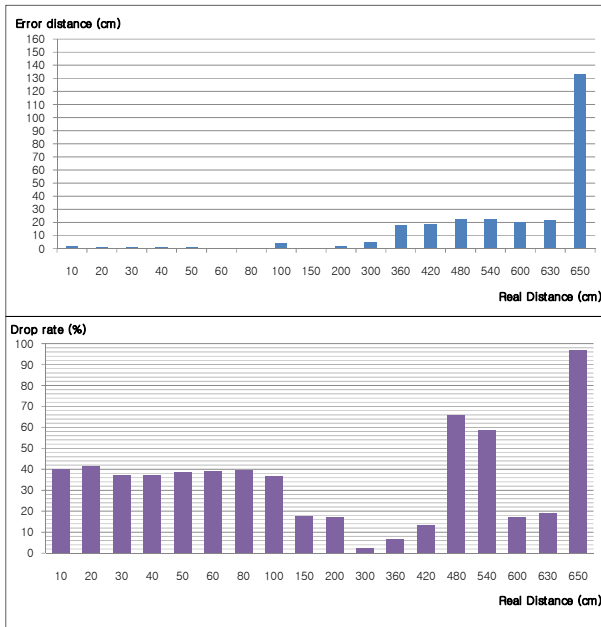


그림 8. 전방향성 장치가 달린 Cricket의 오차거리 누락율
 Fig. 8. Error distance and drop rate of cricket with omnidirectional device

그림 7과 그림8은 전방향성 장치가 있는 Cricket과 전방향성 장치가 없는 Cricket의 오차거리와 누락율을 보여주고 있다. 각 그림의 상단 그림은 오차거리를 나타내며 하단 그림은 누락율을 보여준다. 우선 오차거리에서 전방향 장치가 달린 Cricket의 그래프를 살펴보면 6.5m에서 오차거리가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 초음파 신호가 수신 측까지 도달하지 못하고 분산하기 때문이며 따라서 1000개의 샘플 데이터가 다 수집되지 않았다는 것을 의미한다. 반면 전방향 장치가 없는 경우 전방향성 장치가 있는 것에 비해 대체적으로 오차거리의 차이가 적으며 최대 약 13m 까지 거리 측정이 가능한 것을 확인 할 수 있었다. 이런 실험 결과로 보아 전방향 장치가 있는 경우에는 최대 측정 가능 거리가 2배 정도 성능이 떨어지는 것으로 판단된다. 또 다른 특성으로 전방향성이 있는 Cricket의 경우에는 3m 까지, 전방향성이 없는 경우에는 7.2m 까지는 오차거리가 10cm미만으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

오차거리 다음으로 1000개의 메시지를 보냈을 때 1000개중 몇 개의 메시지를 손실 하였는지 거리 누락율을 판단하여 분석하였다. 우선 전방향성 장치가 달린 Cricket으로 실험한 경우, 0.8m 까지는 약 40%의 누락율을 볼 수 있었으며 2m에서 3.6m 에서는 10% 미만의 누락율을 보였고 6.5m 에서는 96.6% 누락율로 거의 측정이

불가능 하였다. 반면, 전방향성 장치가 없는 Cricket의 실험의 경우, 2.4m 까지는 10~40% 정도의 누락율을 보였고, 2.4m에서 9.9m 까지는 10% 미만의 누락율을 보였다. 그리고, 최대 측정 거리인 13m 에서는 95.8% 정도의 누락율이 나타났다. 이 실험 결과로 보았을 때 전방향성 장치가 있는 경우와 없는 경우 모두 2m 미만에서는 누락율이 거의 약 30% 정도로 나타났으며 각각의 최대거리의 중간 지점에서는 누락율이 10% 미만을 보이는 특성을 확인할 수 있었다. 그리고 최대거리로 도달 할수록 누락율이 증가하여 최대 거리에 갔을 때에는 누락율이 90% 이상으로 증가하여 거리 측정이 불가능함을 알수 없었다. 또한 전방향성 장치가 있는 경우, 초음파의 반향파가 더 많이 생겨 누락율이 전방향성 장치가 없는 경우보다 많이 생기는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 초음파 이용한 거리 측정을 설계 및 구현 하였다. 그리고 전방향성 장치를 제안해 기존의 것과 비교 및 분석 하였다. 제안한 전방향성 장치를 이용할 경우, 최대 측정 거리는 전방향성 장치가 없는 것에 비해 2 배 정도 최대 거리가 줄어드는 반면 360° 방향으로 거리 측정이 가능하다는 장점을 확인할 수 있었다. 그리고 전방향성 장치를 사용하는 경우에는 3m 미만에서는 오차거리가 10cm 미만, 전방향성 장치가 없는 경우에는 7.2m 미만에서 오차거리가 10cm 미만인 것을 확인할 수 있었다. 누락율은 각 경우 최대 거리인 6.5m와 13m에서 90% 이상의 누락율이 나타났다.

본 논문은 전방향성 장치가 달린 Cricket 모트와 전방향성 장치가 안달린 Cricket 모트의 실험을 가지고 비교 분석 하였다. 향후 과제로는 전방향성 장치를 활용한 위치 추적과 확장된 전방향성 기능에 대해 연구할 계획을 가지고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Crossbow (<http://www.xbow.com>)
- [2] TinyOS (<http://tinycos.net>)
- [3] A. Harter, A. Hooper, P. Steggles, A. Ward and

P.Webster, "The Anatomy of a Context Aware Application", Proceedings of ACM MobiCom, August 1999

[4] N. Pritantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket location-support system", Proceedings of ACM MobiCom'00, August 2000, pp. 32-43

[5] Bill N. Schilit and Marvin M. Theimer., "Disseminating active map information to mobile hosts", IEEE Network, Sep/Oct 1994, pp. 22-32

[6] R Want, A Hopper, VFJ GIBBONS, "The active badge location system", ACM Transactions on Information, January 1992, pp. 91-103

[7] J Hightower, G Borriello, "Location systems for ubiquitous computing", IEEE Computer, August 2001, pp. 57-66

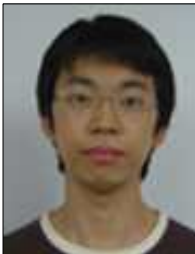
[8] A. Savvides, C. Han, M. Srivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors", Proceedings of ACM MobiCom'01, July 2001, pp. 166-179

[9] The Cricket Indoor Location System (<http://cricket.csail.mit.edu>)

Acknowledgement : 본 연구는 경기도에서 지원하는 경기도지역협력연구센터 사업의 결과로 수행되었음.

저자 소개

이 우 식(정회원)



- 2009년 2월 : 경기대 컴퓨터과학과 (이학사)
- 2009년 3월~현재 : 경기대 컴퓨터과학과 석사과정

<관심분야> : RFID/USN 기술, 센서네트워크

김 남 기(정회원)



- 1997년 2월 : 서강대 컴퓨터학과 (공학사)
- 2000년 2월 : KAIST 전산학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : KAIST 전산학과 (공학박사)
- 2005년 3월~2007년 2월: 삼성전자 통신연구소 책임연구원
- 2007년 3월~현재 : 경기대학교 컴퓨터과학과 교수

<관심분야> : 통신시스템, 네트워크