
무선 센서 네트워크에서 이동 객체의 위치인식을 위한 게이트웨이 노드 설계 및 구현

이좌형* · 박충명* · 조영태** · 권영완** · 정인범***

Design and Implementation of the Gateway Node for the Localization of the Mobile
Object in Wireless Sensor Network

Joa-hyoung Lee* · Chong-myung Park* · Young-tae Jo** · Young-wan Kwon** · In-bum Jung***

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

요 약

최근 언제 어디서나 사람과 사물 같은 객체의 위치를 인식하고, 이를 기반으로 유용한 서비스를 제공하는 LBS(Location Based Service)가 대두되고 있다. LBS를 제공하기 위해 Cricket, Ubisense 등의 많은 연구가 진행되고 있지만, 이들은 노드들로만 구성된 네트워크를 이용하기 때문에 위치추적과 같은 복잡한 연산을 수행하는데 적합하지 않다. 본 연구는 위치인식이 가능하고, 계산 능력이 높은 게이트웨이 노드를 구현하여 복잡한 연산을 가능하게 하였다.

ABSTRACT

Recently, LBS(Location Based Service) which provides useful service based on the location of objects or human has drawn the attention of the research community. To provide LBS, many researchers have proposed many localization systems such as Cricket or Ubisense, however, these systems have the limit that it is very hard to perform the complicated computation on these systems because these systems consist of sensor nodes which have very limited computing power. In the paper, we propose a new localization system with the gateway node which has very high computing power and resource which is suitable for the complicated computation needed for localization.

키워드

센서 네트워크, 위치인식, 게이트웨이 노드, 복잡 연산

I. 서론

유비쿼터스 환경에서는 언제, 어디서나 개인이 원하는

정보를 얻을 수 있도록 상시적으로 네트워크에 접근할 수 있어야 한다. 이러한 목표를 실현하기 위해서 필요한 장소에 부착된 다양한 형태의 센서 모듈들을 통해서

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

*** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수 (교신저자)

수집한 정보는 물론 상황정보까지도 실시간으로 얻을 수 있는 무선 센서 네트워크 기술이 우선적으로 요구된다. 이는 물류, 보안, 홈오토메이션, 생산 자동화, 건물 자동화 등 광범위한 응용 분야에 활용되고 있으며 특히 노약자나 아동의 보호, 전투 중 군인의 위치 파악, 화재 진화 중에 고립되거나 실종된 소방관의 구출, 의료 분야 등 개인과 사물의 위치인식을 이용하는 응용서비스들까지 그 응용범위가 매우 넓다. 이처럼 무선 센서 네트워크를 통해 얻고자 하는 정보의 범위가 점차 넓어지고 있는 추세이며, 특히 센서를 부착한 사람 및 사물의 위치인식이 매우 중요한 상황정보의 요소가 되고 있다. 따라서 유비쿼터스 환경에서의 센서 네트워크 기반의 위치인식 기술 및 위치인식을 이용한 네트워크 기술이 요구된다[1]. 위치를 인식하기 위해서는 거리를 측정하는 기술이 요구되는데, 적외선과 초음파, RSSI(Received Signal Strength Indication), GPS(Global Positioning System), UWB(Ultra WideBand), 입체영상 등을 이용한 거리 측정 기술이 현재 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서는 위치인식이 가능한 게이트웨이 노드를 구축하고 평가한다. 노드간의 거리를 소리 RF신호를 이용하여 측정하고, 게이트웨이 노드에서는 측정된 거리 값으로 위치를 인식한다. 위치인식이 가능한 게이트웨이 노드는 모트들로만 구성된 네트워크에 비해 게이트웨이 노드를 통한 복잡한 연산이 가능하므로 개인 위치인식 정보를 PDA를 통해 비주얼하게 보여주는 등 다양한 분야에 적용 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 센서 네트워크를 위한 위치인식 시스템의 관련연구에 대해 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 위치인식 게이트웨이 노드와 센서 노드간 거리 측정법에 대해 기술한다. 4장에서는 거리 측정 결과와 게이트웨이 노드의 위치인식 결과를 분석하고, 5장에서는 결론을 맺고 향후 계획에 대해 기술한다.

II. 관련연구

실내에서의 위치인식 시스템은 오래전부터 연구되어 왔다. 적외선을 이용한 AT&T의 Active Badge, 초음파와 RF(Radio Frequency)신호를 사용한 Ubisense와 MIT의 Cricket, RSSI를 이용한 Microsoft의 RADAR 등이 있

다[2,3,4,5,6].

이 중에서 Cricket은 MIT의 실내 위치인식 시스템으로 대상의 실시간 위치인식이 가능하다. 위치인식은 RF 신호와 초음파 신호 사이의 시간차를 이용하여 비콘(Beacon)과 리스너(Listener)와의 거리를 구하여 계산한다. 천장에 배치된 비콘들은 매 1 초마다 RF 신호와 초음파 신호를 송신한다. 위치인식 대상인 리스너는 이를 수신하여 거리를 계산하고 PC 나 PDA 에게 계산된 거리정보를 전송한다. PC 나 PDA 는 리스너로부터 전송된 거리정보를 이용하여 리스너의 좌표를 계산한다.

Ubisense의 위치인식 시스템의 위치인식 방식은 UWB(Ultra Wide Band)신호의 TDOA(Time Difference Of Arrival)와 AOA(Angle Of Arrival)를 이용하고 있으며 TDOA 와 AOA 를 이용해 유비센서(Ubisensor)와 유비택(Ubitags)과의 거리를 구하여 삼각 측정법으로 좌표를 계산한다.

III. 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템 개요

본 논문에서는 통신모트로 버클리대학에서 개발한 MICAz을 사용하였고, 센서보드는 MTS310CA를 사용하였다. 또한 게이트웨이 노드로 임베디드 보드인 Tynux-Box[7]를 사용하였고, 사양은 표 1과 같다.

시스템은 통신모트와 센서보드로 구성된 여러 개의 고정 노드들과 게이트웨이 노드로 구성된다. 게이트웨이 노드는 통신모트, 센서보드, 게이트웨이 보드, 임베디드 보드로 구성되고, 이동하며 자신의 위치를 계산하는 기능을 가진다. 게이트웨이 노드는 자신의 위치를 알고 싶을 때 RF신호와 소리를 동시에 발생시키고, 발생된 RF신호와 소리는 고정 노드에서 수신한다. 고정 노드는 수신된 RF신호와 소리의 도착시간 차이를 이용하여 각각의 거리를 계산하여 게이트웨이 노드로 보내주게 된다. 게이트웨이 노드에서 수신된 각 고정 노드와의 거리를 이용하여 현재 게이트웨이 노드의 좌표를 알려준다. 또한 게이트웨이 노드는 무선 LAN을 통해 호스트 PC로 게이트웨이 노드의 위치 정보를 전송해주거나 호스트 PC의 명령을 받아 수행한다.

표 1. 게이트웨이 노드의 사양
Tab. 1 Setup of Gateway node

하드웨어 스펙	인텔 PXA255 400Mhz 프로세서
	32MB SDRAM, 32MB 플래시 (인텔)
	이더넷 (Cirrus Logic CS8900A)
	1 콤팩트 플래시 슬롯
	전원 (220V, 5V+)
커널	Tynux Kernel Based on Linux 2.4.18
	Tynux Power Management Module
	JFFS2 플래시 메모리 파일 시스템
GUI	Qtopia GPL Version (Qt/E)
SDK	GNU based Tool Chain - Cross Development Tools for ARM

3.2 시간 측정 및 거리 계산

RF신호는 빛의 속도와 거의 같기 때문에 전송 하는 데 걸린 시간을 0으로 가정 하였다. 소리의 속도는 온도나 습도에 따라 약간의 차이가 있지만 20도의 온도에서 약 340m/sec 이다. 따라서 cm 단위의 거리 측정을 위해서는 μ s 단위의 시간계산이 필요하다. 이를 위해 TinyOS의 Systemtime 컴포넌트를 사용하였다. Systemtime 컴포넌트는 921 KHz로 시간을 기록할 수 있어 μ s 단위의 시간 측정이 가능하고, 메인 어플리케이션과 독립적으로 동작한다.

RF신호와 소리의 수신시간 차이는 미세하기 때문에 프로세서의 명령어 처리 시간도 고려해야 한다. 같은 프로그램이라도 모트마다 또는 같은 모트라도 실행시의 시스템 상태에 따라 실행시간이 다를 수 있다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서 RF신호 감지와 소리 감지 사이의 명령어 처리를 최소화하여 오차를 줄여야 한다. 그러나 RF신호를 처리하는 과정은 많은 컴포넌트에 걸쳐 이루어지기 때문에 시간 측정의 오차를 줄이기 위해선 RF신호 처리 컴포넌트 중 최하단 컴포넌트에서 시간을 측정해야 한다. 이를 위해 RF신호를 감지하는 최하단 컴포넌트인 CC2420 Radio 컴포넌트에서 시간을 기록하였다. 본 논문의 실험에서는 RF신호가 감지되었을 때 발생하는 CC2420Radio의 이벤트 핸들러에 Systemtime 컴포넌트를 이용한 시간기록 함수를 구현하여 거리를 측정 하였다.

또한 측정된 시간의 오차율을 줄이기 위해 측정 시간의 평균값을 이용하였다. 측정된 값은 노이즈로 인해 큰 오차가 발생할 수 있다. 이러한 노이즈를 제거하기 위해

한 위치에서 거리를 10번 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 8개의 값의 평균값을 이용하였다.

3.3 게이트웨이 노드

TinyOS의 SDK 환경이 구축된 PC나 노트북 등은 배터리 소모와 부피가 크기 때문에 게이트웨이 노드로 사용하기에 적합하지 않다. 또한 일반 모트들로만 구성된 네트워크의 경우 복잡한 계산이 어려운 문제점이 발생한다. 따라서 배터리 소모와 부피가 작고 일반 모트에 비해 계산능력이 뛰어난 임베디드 보드를 사용하였다.

임베디드 보드에서 자바를 실행시키기 위해서는 임베디드 보드용 가상머신이 필요하다. 이를 위한 많은 프로젝트[9]가 진행 중이다. 본 게이트웨이 노드에는 임베디드용 가상머신인 Blackdown J2RE[10]를 임베디드 보드에 포팅하였다.

자바 어플리케이션인 Acoustic Localization은 Raw_Listen이 전달 해준 데이터를 받아 게이트웨이 노드의 위치를 그래프로 나타내 주고 호스트 PC로 게이트웨이 노드의 정보를 무선 LAN을 통해 전달해 준다. Raw_Listen은 시리얼포트로부터 받은 데이터를 가공하여 파일을 통해 Acoustic Localization으로 데이터를 전달한다.

MICAz는 Big-Endian을 사용하고 임베디드 보드는 Little-Endian을 사용하므로 전송된 데이터를 사용하기 위해서는 Endian의 변환과정을 거쳐야 한다.

3.4 하드웨어구성

하드웨어구성은 그림 1과 같이 여러 개의 고정 노드와 하나의 게이트웨이 노드로 구성이 된다.

게이트웨이 보드에서 거리 측정을 위한 소리와 RF신호를 발생하면 고정 노드에서 게이트웨이 보드가 발생 시킨 소리와 RF신호를 감지하여 거리를 계산한다. 거리 값을 되돌려 받은 게이트웨이 보드는 시리얼 통신을 이용하여 임베디드 보드로 거리 값을 전송한다. 최소 3개의 게이트웨이 노드와 고정 노드간의 거리를 전송받으면 임베디드 보드는 게이트웨이 노드의 좌표를 계산한다. MTS310CA에는 마이크와 스피커, 빛, 온도, 가속도, 자기장 센서가 부착되어 있다. 이중 본 논문에서는 두 모트간의 거리를 측정하기 위해 마이크와 스피커를 이용하였다. MTS310CA의 스피커가 4KHz의 단일 주파수를 발생하기 때문에 마이크는 4KHz의 소리를 감지하도록 설정하였다.

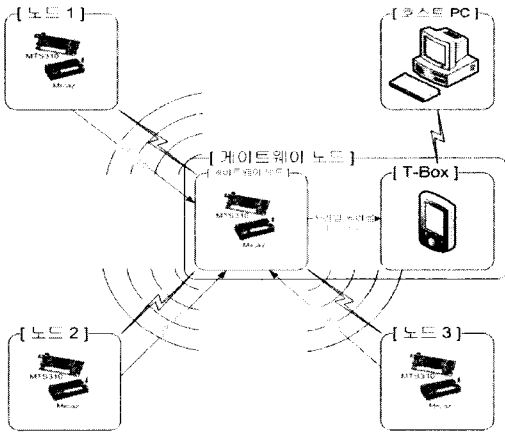


그림 1 하드웨어 구성
Fig.1 Hardware Configuration

3.5 소프트웨어구성

소프트웨어는 그림 2에서 보는 바와 같이 노드에서 동작하는 소프트웨어와 임베디드 보드에서 동작하는 소프트웨어로 나뉜다. 노드에서 동작하는 소프트웨어로는 DistSonder와 DistMic가 있고, 임베디드 보드에서 동작하는 소프트웨어는 Raw_Listen과 Acoustic Localization 이 있다.

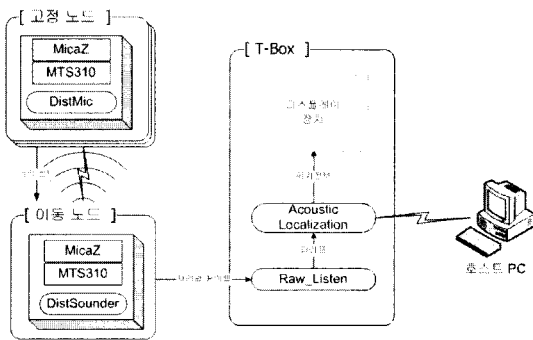


그림 2 소프트웨어 구성
Fig.2 Software Configuration

이동 노드에서 동작하는 DistSonder는 RF신호와 소리를 동시에 고정 노드의 DistMic로 발생시킨다. 그리고 DistMic가 송신한 거리 정보를 임베디드 보드로 송신한다. DistMic는 DistSonder로부터 수신된 RF신호와 소리의 시간차이로 거리를 계산한 후 DistSonder로 거리정보를 송신하는 기능을 가진다.

Raw_Listen은 DistReceiver로부터 각 모트와의 거리 값을 수신한다. 수신한 거리 값은 파이프로 통해 임베디드 보드에서 동작하는 Acoustic Localization으로 전송된다. Acoustic Localization은 파이프로 수신한 거리 값을 통해 게이트웨이 노드의 위치인식 결과를 임베디드 보드 화면에 그래프로 출력하며, 현재 게이트웨이 노드가 수집한 정보와 위치인식 정보 등을 무선 LAN을 통해 호스트 PC로 전송한다.

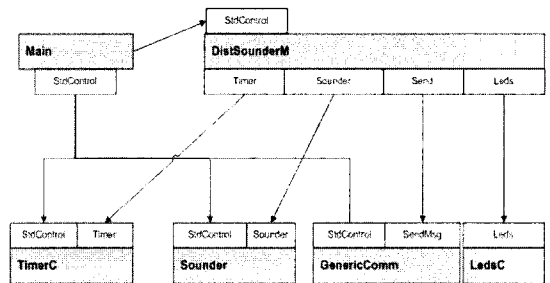


그림 3. DistSonderM 구조
Fig.3 Architecture of DisSonderM

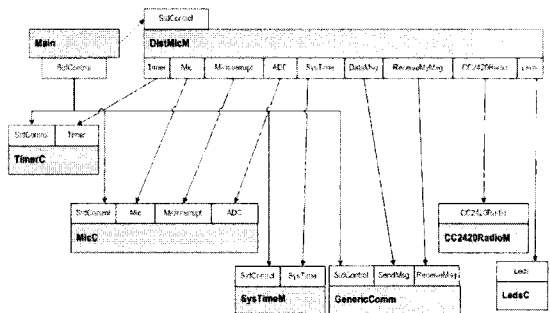


그림 4. DistMicM 구조
Fig.4 Architecture of DistMicM

그림 3과 그림 4는 거리를 계산하는 DistMic와 RF신호와 소리를 발생시키는 DistSonder 모듈의 컴포넌트 구조도이다. DistMic는 RF와 소리를 감지하기 위해 RF 컴포넌트인 GenericComm과 마이크 컴포넌트인 MicC를 사용하였다. DistSonder는 RF신호와 소리를 발생시켜야 하기 때문에 소리를 발생시키는 Sounder 컴포넌트를 사용하였고 RF 통신을 위해 GenericComm을 사용하였다. 그리고 RF신호 수신시 시간 기록을 위하여 CC2420RadioM 컴포넌트에서 Systime 컴포넌트를 이용하였다.

IV. 실험 및 성능 평가

4.1 실험개요

실험은 센서 노드간 거리 측정과 위치인식 측정으로 나누어 하였다. 센서 노드간 거리 측정은 실외와 실내로 나누어 진행했다.

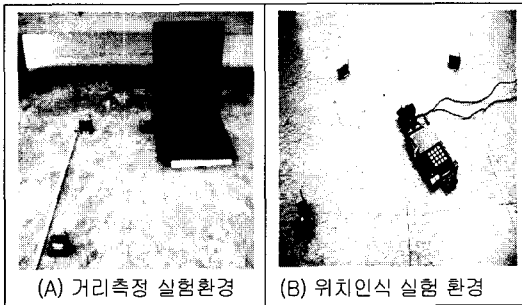


그림 5. 실험환경
Fig. 5 Experiment Setup

실외는 건물 옥상에서 실험하였고, 실내는 복도와 실험실로 나누어 측정하였다. 그림5의 (A)와 같이 MICAz와 MTS310CA로 구성된 두 개의 노드를 이용하여 거리 측정을 하였고, 결과는 Telos를 통해 호스트 PC로 전송하였다. 위치인식 측정은 실내에서 그림 5의 (B)와 같이 세 개의 고정 노드와 한 개의 게이트웨이 노드를 사용하여 위치인식을 측정 하였다. 위치인식이 수행되면 Acoustic Localization 어플리케이션은 그림 6과 같은 실행화면을 보여준다.

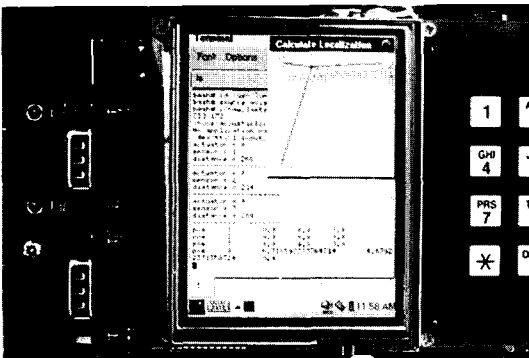


그림 6. 실행화면
Fig. 6 operation screen shot

4.2 거리 측정결과

실외와 복도에서의 거리 측정은 50cm 단위로 5m까지 거리 측정을 하였고 실험실에서는 20cm 단위로 3m 까지 측정하였다.

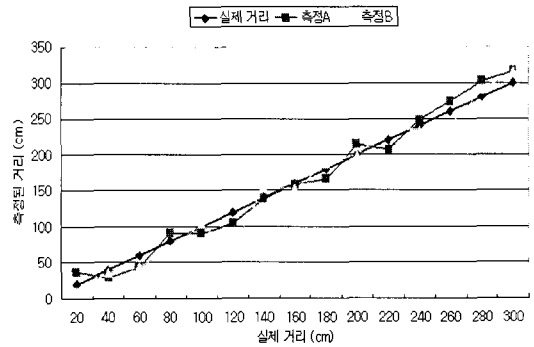


그림 7. 실험실에서 거리 측정 결과
Fig. 7 Distance measurement result in Lab.

그림 7, 8, 9는 각 실험의 결과 그래프이다. 실험실에서 오차범위는 약 15~20cm로 측정되었고 120cm 부분에서 노이즈로 인해 많은 오차가 발생하였다.

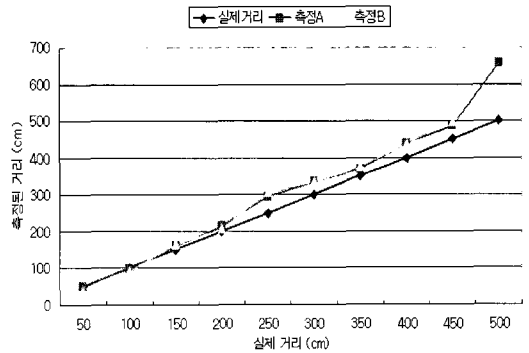


그림 8. 복도에서 거리 측정 결과
Distance measurement result in corridor

복도는 2m 이상 지점부터 오차범위가 크게 증가하였는데 복도 특성상 소리의 울림현상으로 인해 노이즈가 발생한 것으로 판단된다. 실외의 오차범위는 실험실내에 비해 큰 10~50cm로 측정되었다. 실외는 실험실에 비해 바람이나 지표면의 태양 복사열등 노이즈 발생 원인이 많기 때문에 오차율이 증가된 것으로 판단된다.

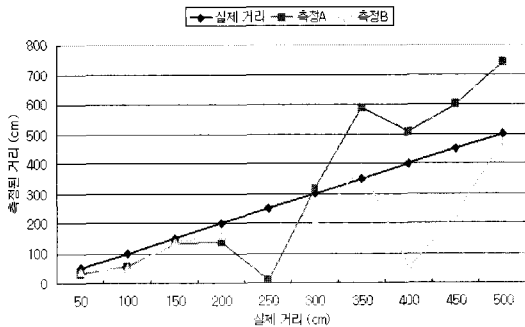


그림 9. 실외에서 거리 측정 결과
Fig. 9 Distance measurement result in outside

4.3 위치인식 측정결과

위치인식 측정은 그림 5의 (B)와 같이 a, b, c, d, e, f, g, h 의 총 8곳으로 게이트웨이 노드를 움직여 가며 매 위치마다 4번씩 측정을 하였다. 고정 노드는 3개를 배치하였으며 위치는 (0,0), (0,9), (9,0)이다.

표 2. 위치인식 실험결과 표
Tab 2. Result Table of Localization

ideal	측정 횟수										평균값		오차율 (%)			
	1		2		3		4									
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
a	5	1	4.3	1.8	5.7	0.7	3.8	2.5	3.3	1.3	4.3	1.6	7.8	6.3		
b	3	2	1.9	1.9	2.1	2.6	2.3	2.4	2.5	2.9	2.2	2.4	8.7	4.7		
c	1	5	0.7	5.1	1.6	4.8	0.6	4.2	0.7	6.0	0.9	5.0	1.5	0.3		
d	3	8	2.8	9.9	2.7	9.9	2.8	10	3.2	10	2.9	9.9	1.5	21		
e	5	9	4.5	10	6.5	10	5.3	10	5.8	10	5.5	10	5.6	11		
f	7	7	8.5	7.7	7.8	7.9	7.8	7.9	7.8	7.8	8.0	7.8	10	8.9		
g	8	5	8.8	5.5	9.3	6.0	9.0	4.8	8.9	5.6	9.0	5.5	11	5.4		
h	7	3	8.9	3.6	8.8	3.4	8.3	3.9	8.2	3.4	8.5	3.6	17	6.7		
전체평균											5.2	5.7	8.1	8.1		

측정한 결과는 표 2에서 나타나듯이 약 0.3~21.4%의 오차율을 보이고 있는데, 이것은 약 0.76~57.84Cm 정도 벗어난 것을 의미한다. 오차율은 아래 (식 1), (식 2)를 이용하여 계산하고, N은 측정횟수를 나타낸다.

$$x_{err} = \left(\sum_{i=0}^N \frac{x_i}{N} - x_{ideal} \right) / x_{MAX} \quad (식 1)$$

$$y_{err} = \left(\sum_{i=0}^N \frac{y_i}{N} - y_{ideal} \right) / y_{MAX} \quad (식 2)$$

위 결과는 소리를 이용한 거리 측정법의 오차로 인해 나타나는 현상으로 실제 사용에 있어서 정확한 위치인식이 필요하다면 경우에 따라 보정작업이 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 위치인식이 가능한 게이트웨이 노드를 구현하고 평가하였다. 노드간 거리 측정을 위해 소리와 RF신호를 이용하였는데, 이 측정법은 소리의 특성으로 인해 오차가 10~20m의 오차가 발생한다. 이 실험을 통해 기존의 초음파를 이용한 거리 측정만큼 신뢰성 있는 거리 측정이 가능하다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] J. Hightower and G. Borriello, "Location System for Ubiquitous Computing", IEEE Computer Society, Vol. 34, No. 8, pp.57-66, August 2001.
- [2] R. Want, A. Hopper, V. Falco and J.Gibbons, "The Active Badge Location System", ACM Transactions on Information Systems, pp. 91-102, January 1992.
- [3] Ubisense, <http://www.ubisense.net/>
- [4] H. Balakrishnan, R. Baliga, D. Curtis, M.Goraczko, A. Miu, N. B. Priyantha, A.Smith, K. Steele, S. Teller, and K. Wang. "Lessons from developing and deploying the Cricket indoor location system", November 2003.
- [5] A. Smith, H. Balakrishnan, M. Goraczko, and N. Priyantha, "Tracking moving devices with the cricket location system." In Proc. 2nd ACM MobiSys Boston, MA, pp. 190-202, June 2004.
- [6] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system", INFOCOM, March, 2000, pp. 775-784.
- [7] Tynux-Box <http://www.palmpalm.com/>
- [8] Institute For Software Integrated Systems <http://www.isis.vanderbilt.edu/>
- [9] Java Support on Pocket PC <http://www.comp.lancs.ac.uk/>
- [10] Blackdown J2RE <http://www.blackdown.org/>

저자소개

이좌형 (Joa-Hyoung Lee)



2003년 강원대학교 정보통신공학과 (공학사)

2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신 공학과(공학석사)

2005년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (박사과정)

※관심분야: 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크

박충명(Chong-Myung Park)



2005년 강원대학교 정보통신공학과 (공학사)

2007년 강원대학교 컴퓨터정보통신 공학과 (공학석사)

2007년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (박사과정)

※관심분야: 센서네트워크, 멀티미디어 시스템

조영태(Young-Tae Jo)



2007년 강원대학교 정보통신공학과 (공학사)

2007년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (석사과정)

※관심분야: 센서네트워크, 멀티미디어 시스템

권영완(Young-Wan Kwon)



2007년 강원대학교 정보통신공학과 (공학사)

2007년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (석사과정)

※관심분야: 센서네트워크, 멀티미디어 시스템

정인범(In-Bum Jung)



1985년 고려대학교 전자공학과 학사.

1985년~1995년 (주) 삼성전자 컴퓨터 시스템사업부 선임 연구원.

1994년 한국과학기술원 정보통신공학과 석사

2000년 한국과학기술원 전산학과 박사

2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

※관심분야: 멀티미디어 시스템, 센서네트워크