

## 무선 센서네트워크를 이용한 효율적인 3차원 위치 추적 시스템

김영만 신동수 조재형  
 국민대학교 컴퓨터학부 통신실험실  
 { ymkim, maplesyrup, scvzang } @cclab.kookmin.ac.kr

### An efficient 3D location tracking system by wireless sensor network

Young Man Kim Dong Su Shin Jae Hyung Jo  
 Communication Lab, School of Computer Science, Kookmin University

#### 요약

최근 급속히 발전하고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 대두는 센서네트워크 산업 발전에 많은 영향을 끼치고 있다. 센서네트워크는 군사, 과학, smart home, 환경, 농업등 많은 분야에 응용할 수 있으며, 기존의 유무선 네트워크와 함께 미래를 같이할 차세대 네트워크로 평가 받고 있다. 본 논문에서는 저전력 무선 센서네트워크인 MICA2[1]를 이용하여, room size의 건물내의 공간에서 3차원위치를 인식 및 추적 할 수 있는 저가형 시스템에 대하여 설계 및 구현한다.

#### 1. 서론

인간과 사물이 컴퓨터에 의해 유기적으로 연결되는 유비쿼터스 컴퓨팅에서 센서네트워크를 통한 위치인식은 중요한 부분을 차지한다[2][3]. 특히 초음파에 의한 위치인식이 산업 및 대학 기관에서 활발히 연구되고 있는데, 초음파는 331.5+0.6t (m/sec, t는온도)의 낮은 속도를 갖기 때문에 반경 수십 미터 이내의 공간에서 효율적으로 거리를 계산하는데 적합하다. 또한 초음파는 적외선, 신호세기, RFID 등에 의한 거리측정에 비해 정확도가 높고 설치 및 유지 비용이 적게 드는 장점을 가지고 있다. 초음파를 이용한 위치 인식 시스템으로는 기존에 AT&T가 개발한 active bat 시스템[4]이 있다. 이것은 하나의 송신기 bat와 천장에 부착된 복수개의 수신기, 중앙제어기가 수신기로부터 수신한 값을 이용하여 송신 bat의 위치를 계산한다. 본 논문에서는 한정된 데이터의 처리, 배터리의 소모 문제 등 최소한의 자원을 최적으로 활용하기 위해 저전력 무선 센서네트워크 노드용으로 개발된 프로그래밍 환경인 TinyOS 운영체제[5]와 NesC에 의해 돌아가는 MICA2 센서노드를 기반으로 초음파에 의한 저가형 3차원 위치인식 시스템에 대해 설계 및 구현을 하고자 한다.

#### 2. 연구 동향 및 3차원 위치 추적

##### 2.1 연구 동향

센서네트워크를 통한 위치 인식은 여러 응용분야에 값진 정보를 제공할 수 있다. 위치감지를 위한 물리적인 신호로서 적외선, 신호강도, RFID, GPS, 초음파등이 있으나, GPS는 실내에서 사용이 불가능하고 적외선은 방해물이 존재할 경우 위치를 감지하기 힘들며 RFID, 신호세기등은 세밀한 위치를 감지할 수 없다. 따라서 초음파를 통한 위치인식이 여러기관에서 활발히 연구되고 있다. 예를 들어 AT&T의 active bat 시스템이 있는데, 이것은 최소한 3개 이상의 수신노드를 사용하는 단점이 있다. 본 논문에서는 저가형의 3차원 위치 추적을 위해 오직 한개의

수신노드에 3개의 센서를 장착하여 구현한다.

##### 2.2 초음파 송신부 및 센서 작동 원리

초음파 송신부 및 센서는 일반적으로 압전진동자를 이용하는 것이 대부분으로, 압전진동자는 압력이 발생하면 전압을 발생하고, 반대로 전압을 변화시키면 진동하는 성질을 가지고 있다. 초음파 송신기는 일정한 주파수의 전기 신호를 진동자에 가하여 초음파를 발생시키는 구조를 가지고, 수신기센서는 역으로 초음파 진동을 감지하여 전압을 발생하는 동작을 한다

##### 2.3 시스템 구조

초음파를 이용한 거리 측정에는 송신기와 수신기를 공용하는 방법(Pulse-echo method)과 개별로 설치하는 (Continuous-wave method)이 있다. 공용방식에서는 발사된 초음파가 반사되어 되돌아 오는 시간을 계산하여 거리를 측정한다. 하지만 이것은 1차원에 적절한 방법이므로, 본 논문에서는 3차원 위치 인식에 적합한 개별설치 방법을 따르기로 하며, 수신노드에 초음파 수신 센서를 3개를 부착함으로써 3차원위치를 계산할 수 있도록 한다. 이때 송신노드를 사람의 몸에 부착함으로써 사람의

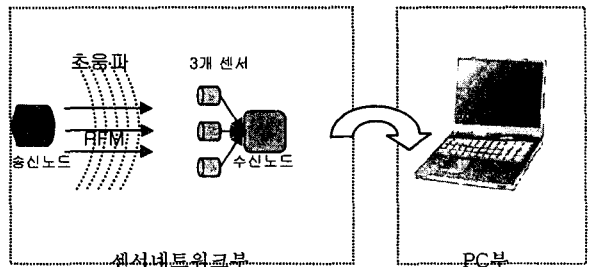


그림 1. 전체 구조도  
 3차원 위치를 추적할 수 있다. [그림 1]은 초음파를 송신하는

송신노드와 이를 수신해서 측정 데이터를 PC로 보내주는 수신노드, 그리고 수집된 기본데이터를 분석해서 좌표값을 계산한 후 사용자에게 보여주기 위한 그래픽 인터페이스 부분을 담당하는 PC부를 보여준다. 수신노드와 PC사이의 통신은 시리얼 케이블을 이용하여 그래픽 인터페이스는 Java를 이용하여 구현한다.

2.4 송·수신 노드를 위한 3차원 위치 측정 소프트웨어

MICA2 Programming언어인 NesC는 TinyOS의 실행모델을 구조화 시킨 언어로 module, configuration, interface등을 포함하는 component들로 이루어지며 command와 hardware interrupt등에 의한 event로 실행되어지는 C에 기반한 언어이다 [6]. 3차원 측정 소프트웨어는 초음파를 200ms 마다 규칙적으로 송신하는 송신노드용 소프트웨어와 이를 센싱하여 측정 데이터를 PC로 보내주는 수신노드용 소프트웨어로 나눌 수 있다.

2.3.1 송신부 소프트웨어

송수신기를 분리해서 수신노드가 송신노드의 위치를 추적하기 때문에 송수신기의 시간 동기화는 필수적이다. 이를 위해 RF message를 사용하는데 이것은 전파와 같은 속도로 초당 약 300,000km를 움직이기 때문에 수십 미터 이내에서의 전송시간은 무시할 수 있다. 즉 송신기는 초음파를 보낼 때 동시에 RF message를 보내고 수신기는 이 RF message를 감지하여 송신기와 시간 동기화를 이룬 후 초음파가 도착할 때까지의 시간차를 기록한다.

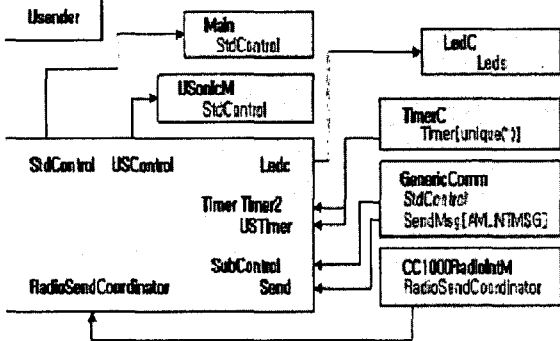


그림2. 송신부 Component 및 Module관계도

[그림 2]는 송신부 소프트웨어 구조를 보여주는데, TimerC모듈은 200ms마다 event를 발생시켜서 RF message를 보내는 동시에 UsonicM모듈을 통해서 40ms동안 초음파를 송신하도록 지시한다. RF message는 다음과 같은 구조를 가지며,

Preamble	Sync1	Sync2	Message	CRC
----------	-------	-------	---------	-----

Sync2가 끝나는 순간에 초음파의 송신을 시작하도록 하고, 수신노드는 Sync1, Sync2의 값이 가지는 패턴을 매칭함으로써 시간 동기화를 이룬다. 여기서 Message는 내용이 없는 쓰레기 값을 가지며, 단순히 동기화를 위해 쓰인다.

2.3.2 수신부 소프트웨어

수신부는 수신노드에 장착된 3개의 sensor를 통해서 송신기에서 발사된 초음파가 도착하는 시간을 측정한다. 각각의 시간값을 이용해서 거리를 측정하는데, 정확성을 높이기 위해 CPU clock을 사용한다. MICA2의 CPU clock은 약 7.37MHz로 이 숫자를 8로 나눈 초당 921,600개의 펄스값을 이용하게 된다. 수신노드는 RF message의 Sync2가 끝나는 순간 카운터를 0으로 초기화 하고 초음파가 도착할 때까지의 카운터를 저장된 펄스

수를 계산한다. 예를 들어, 계산된 펄스 수가 230400개 라면

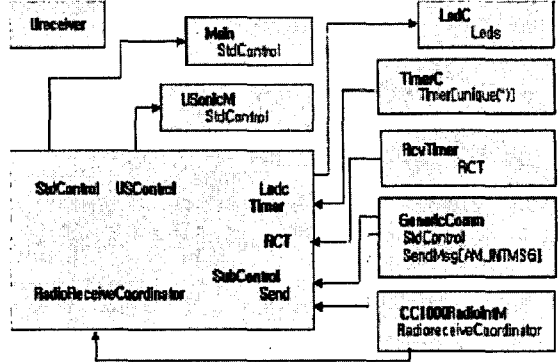


그림3. 수신부 Component 및 Module 관계도

250ms동안 초음파가 이동한 것을 나타낸다. [그림 3]은 수신부의 소프트웨어 구조를 보여주는데 송신부의 Sync2가 끝나는 순간 RcvTimer모듈은 CPU clock timer를 초기화 하고 UsonicM모듈을 이용하여 Ultra\_sonic\_wave interrupt를 40ms 동안 enable 시킨다. 그 뒤, 초음파가 도착하면 interrupt를 disable시키고 GenericComm모듈을 이용해 측정된 값을 PC로 전송한 뒤 다음 RF message가 오기를 기다린다.

3. 구현

3.1 거리 측정

수신노드에서 측정된 CPU clock 펄스값을 이용해 실제 거리를 구하게 되는데, 섭씨 20도의 상온에서 거리를 측정할 경우, 초음파는 331.5+0.6\*20 = 343.5[m/s]의 속도로 전파된다. 거리는 속도 \* 시간 이므로,

$$\text{측정거리} = 34350[\text{cm/sec}] * (\text{CPU pulse 값} / 921600)$$

의 공식이 성립하게 된다.

실제거리(cm)	CPU pulse	측정거리(cm)
100	1701.91	63.43
199.3	4383.81	163.39
299.6	7094.63	264.43
400.7	9832.73	366.48

표 1. 거리별 CPU pulse 값

[표 1]은 실제거리에서 측정된 CPU pulse값과 이것을 공식에 대입해 얻은 측정거리를 나타낸다. 실제거리와 측정거리 사이에 약 35cm정도의 오차가 있음을 볼 수 있는데 이것은 hardware delay 등에 의한 요인으로 이것을 보정하기 위해서 least square 방법을 사용하며 x축은 송·수신노드 사이의 실제거리를, y축은 측정된 CPU pulse 값을 가지는 표표상에 오차를 최소화한 보간직선을 구하여 에러를 줄일 수 있다. 예를 들어서 한 시점에 여러 거리에서 실측한 데이터들에 대하여 보간직선을 구한 결과 기울기가 27.1이고 y절편이 -1022인 [그림 4]의 직선을 얻을 수 있었다.

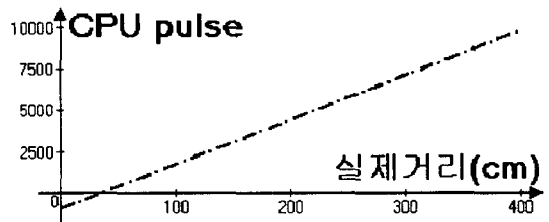


그림4. least square 방법으로 구한 보간직선

이 결과를 이용하면 측정거리는,

$$\text{측정거리} = \frac{34350[\text{cm/sec}] * ( \text{CPU pulse} + 1022 )}{[ 921600 ]}$$

의 공식으로 구할 수 있다. [그림 5]는 위의 공식을 이용하여 102.5°측정거리(cm)

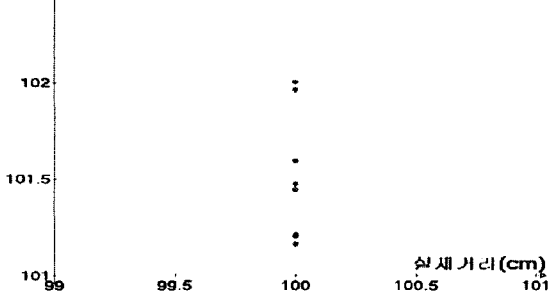


그림 5. 실제거리와 측정거리의 관계

보정한 실거리 100cm 일때의 실제 측정치들에 대한 측정거리의 분포를 나타내는데 실제 거리에 대하여 ±0.5cm 정도의 오차범위 내에서 높은 정확도로 측정됨을 알 수 있다.

### 3.2 3차원 좌표의 계산

3개의 센서에 의해 측정된 값을 이용하여 각 센서와 송신노드 사이의 거리를 구하면 삼각 측량법에 의해 송신노드의 3차원 좌표를 구할 수 있다. [그림 6]은 송신노드와 센서사이의 3개의 거리(R1,R2,R3)를 사용하여 3차원 좌표를 계산하는 개념을 보여주는데, 각 센서를 중심으로하고, 측정된 거리를 반지름으로 하는 3개의 구의 교차점상에 송신노드가 존재함을 의미한다. 계산의 편의를 위해 센서 하나를 가상 좌표상의 원점으로 정하고 센서간의 거리를 L이라고 했을 때 남은 두 개의 센서를 x축과 z축상에 놓으면 다음과 같은 세 개의 식이 나오며, 이것을 풀어 송신노드의 3차원 좌표를 구한다.

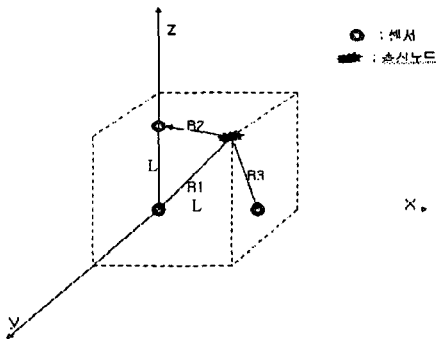


그림 6. 3개의 센서에 의한 거리측정.

$$R1^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad \text{-----①}$$

$$R2^2 = X^2 + Y^2 + (Z - L)^2 \quad \text{-----②}$$

$$R3^2 = (X - L)^2 + Y^2 + Z^2 \quad \text{-----③}$$

### 3.3 측정결과와 분석

3개의 센서에 의해 측정된 센서와 송신노드간의 거리를 이용하여 좌표를 계산한 결과 센서와 송신노드사이의 각 거리는 오차율이 적었는데도 불구하고, 3차원 좌표의 계산 결과는 실제와

많은 차이가 있음을 볼 수 있었다. 이것은 센서간의 거리 L을 짧게하여 휴대 및 이동 가능한 시스템을 구현하려 했던 것에 기인하는데, [그림 7]은 센서간 거리를 4cm로 했을 때 1cm의 오차

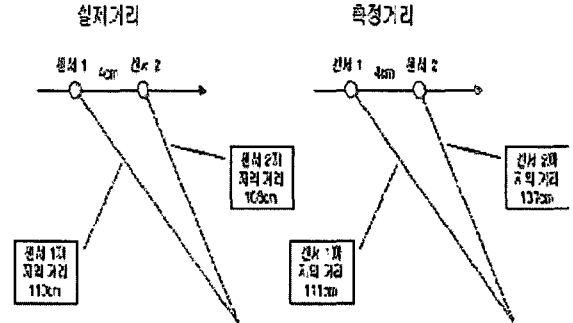


그림 7. 비현실적인 삼각형의 형성.

가 현실적으로 존재 불가능한 삼각형을 생성하는 것을 보여준다. 따라서 센서간 거리 L을 충분히 늘리고 수신노드들을 고정형 시스템으로 바꾸어 실험했을 때 실제위치에 가까운 3차원 좌표값을 찾아주는 것을 볼 수 있었다.

### 4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 초음파를 송신하는 송신노드와 초음파 수신 센서 3개가 부착된 수신노드로 구성된 무선센서네트워크를 구성하여 room size의 건물 내 공간에서 3차원 위치 추적을 할 수 있는 시스템에 대하여 설계 및 구현 하였다. 센서 하나로 송신노드와의 1차원 거리를 측정할 경우는 오차율 ±1% 정도의 신뢰도 높은 값을 구할 수 있었으나, 이 값으로 3차원 좌표를 구할 경우 센서간의 거리를 늘림으로써 어느 정도 실제 위치에 가까운 3차원 좌표를 구할 수 있음을 확인하였다. 현재 실용화를 위해서 다양한 각도의 추가 실험을 진행하고 있다.

### 참고 문헌

- [1] Crossbow Technology Inc. , " MICA2 sensor node" , <http://www.xbow.com>.
- [2] Paramvir Bahl and Venkata Padmanabhan. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In Proceedings of IEEE INFOCOM, volume 2, pages 775-784, March 2000
- [3] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan. The cricket location-support system. In Proceedings of MOBICOM 2000, pages 32-43, Boston, MA, August 2000. ACM, ACM Press
- [4] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Any Ward, and Paul Webster. The anatomy of a context-aware application. In Proceeding of the 5<sup>th</sup> Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(Mobicom 1999), pages 59-68, Seattle, WA, August 1999. ACM Press.
- [5] TinyOS Tutorial <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/>
- [6] David Gay, Philip Levis, David Culler, Eric Brewer " nesC 1.1 Language Reference Manual" <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/>