

RF와 초음파 사이의 TDOA에 기반한 실내 측위시스템

정희원 서영동*, 종신회원 송문규**

Indoor Location System based on TDOA between RF and Ultrasonic Signal

Young-Dong Seo* *Regular Member*, Moon-Kyou Song** *Lifelong Member*

요약

최근 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 상황인식 서비스를 위한 핵심 기술로 실내 위치인식 기술이 주목받고 있다. 기존에 연구된 크리켓은 비중앙집중형 구조로 설계되어 사용자의 프라이버시를 보호하고, 확장, 유지관리가 용이하며, 하드웨어 비용이 저렴한 특징이 있다. 이 논문에서는 RF와 초음파신호 사이의 TDOA에 기반한 크리켓 시스템보다 개선된 실내 측위시스템을 설계하였다. RF 메시지를 전송하기 위하여 ISM 대역인 2.4GHz 주파수를 사용하였다. 비콘에서 RF와 초음파를 전송하는 빈도(Beaconing frequency)는 채널 이용률을 높이기 위해 2배 높였다. 초음파 펄스 지속시간은 초음파 신호의 거리를 증가시키면서 최적화 시켰다. 또한 위치좌표를 계산하는 기능을 리스너에 내장시켰다. 실험결과 위치 업데이트율과 위치 정확도는 향상되었다.

Key Words : TDOA, Context-Aware, Location, Positioning System, Ubiquitous System

ABSTRACT

Recently, an indoor location-aware technology has been focused on as a key technology for context awareness in ubiquitous computing environments. The conventional Cricket system was designed with a non-centralized architecture, which has advantages in terms of user privacy, deployment, scalability, decentralized administration, network heterogeneity, and low cost. In this paper, an indoor location system based on TDOA between RF and ultrasound signals is designed, which improves the Cricket system. A 2.4GHz frequency is employed for transmitting RF messages, which is in an ISM band. The beaconing frequency is doubled to enhance the channel utilization rate. The ultrasonic pulse duration is optimized to increase the coverage of ultrasonic signals. The function of calculating location coordinates is embedded in a listener. The location-update rate and location accuracy are also improved.

1. 서론

최근 활성화되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 핵심 응용으로 상황인식(context-aware) 응용이 부각되고 있다. 상황인식 응용에서 가장 많이 사용되는 중요한 정보는 위치정보이며, 다른 상황인식 응용의 실마리를 제공한다^[1-6]. 또한 여가시간의 증가로 위

치정보와 이를 활용한 서비스에 대한 사용자의 요구가 증가하고 있다. 따라서 사용자의 위치 정보를 획득하기 위한 위치인식 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 상황인식 서비스를 위한 핵심 기술로 주목을 받고 있다.

기존에 실내 위치인식 장치 연구에서는 사용자의 위치 정보를 얻기 위해 적외선(Active Badge^[7]), 초음

※ 이 논문은 2008년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨

* (주)피앤이솔루션 기술연구소(seoyd@pnesolution.com), ** 원광대학교 전자및제어공학부(mksong@wku.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-01-004, 접수일자 : 2009년 1월 5일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 6일

파(Active Bats[8]), RF와 초음파(크리켓(Cricket)[9]), RF 신호(RADAR[10], UWB^[11, 12]) 그리고 비전(Easy Living^[13]) 등의 기술이 이용되었다. 그러나 크리켓을 제외한 선행 연구의 대부분은 중앙시스템이 사용자의 위치를 추적하는 위치추적 시스템으로 유비쿼터스 환경에 적용하는 경우 사용자 프라이버시 침해의 소지가 있고, 사용자의 위치 정보가 중앙시스템에서 계산되므로 계산된 위치 정보를 제공받는데 상당한 양의 통신 및 에너지 오버헤드가 발생한다. 또한 중앙집중형 구조의 경우 설치, 유지관리, 하드웨어에 고비용이 소요된다.

크리켓은 비집중형 구조로 설계되어 사용자의 프라이버시를 보호할 수 있고, 확장이 용이하고, 설치 및 유지관리, 하드웨어 비용이 매우 저렴하며, 기간망과 상관없이 독립적으로 사용할 수 있어서 유비쿼터스 환경에 적합한 위치인식기술이다. 그러나 크리켓은 본래 방 단위의 위치정보 제공목적으로 설계되어 자기 위치계산 기능이 분리되어 있다. 또한 RF의 주파수가 ISM 대역이 아니며, 낮은 위치 갱신율과 채널 이용률 등의 문제점과 위치 계산의 정확도가 개선될 필요가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하는 실내 측위시스템을 설계하고, 비콘과 리스너 사이의 거리 측정실험을 진행하였다. 거리 측정실험 결과 초음파 신호의 수신 세기 등의 문제로 측정된 거리는 실제보다 크게 측정됨을 확인하고, 이를 보정하기 위한 계산식을 제시하였다. 또한 설계된 실내 측위시스템을 이용하여 기존의 크리켓 시스템과 비교하여 크리켓 시스템보다 성능이 우수함을 확인하였다.

II. 실내 측위시스템의 설계

2.1 실내 측위시스템의 구성

실내 위치인식 장치는 RF와 초음파 기술을 조합하여 사용자의 위치를 추정하고 상황인식 응용을 위한 위치 정보를 제공한다. 그림 1은 본 논문에서 설계한 실내 측위시스템의 구성도를 보인 것이며, 능동형 비콘(beacon)과 수동형 리스너(listener)를 사용한다. 능동형 비콘과 수동형 리스너 구조의 첫 번째 장점은 이들이 중앙집중형 제어기나 데이터베이스가 사용자나 장치들로부터 전송을 수신하고 이들을 추적하는 위치추적 시스템이 아니라는 것이다.

두 번째 장점은 장치의 수가 증가하는 경우에도 쉽게 적용될 수 있다는 점이다. 능동형 송신기가 장치에 부착된 경우는 장치의 수에 따른 적응이 어렵

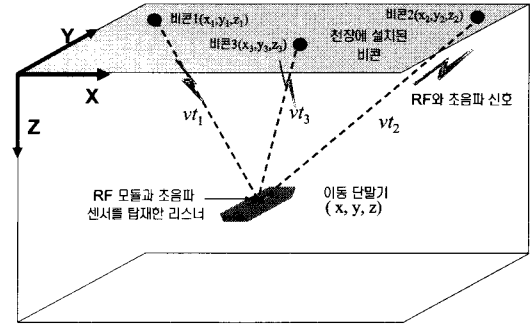


그림 1. 위치인식 시스템의 구성도

다. 세 번째 장점은 중앙집중형 제어기를 배제한 분산형 구조로 전개가 용이하다는 점이다⁹⁾. 비콘은 천장 또는 벽의 고정된 위치에 설치되는 것으로 비콘의 좌표, 비콘 주변의 온도, 고유한 비콘의 ID 등의 정보를 포함하는 RF와 초음파 펄스를 전송한다. 리스너는 비콘으로부터 송신된 RF와 초음파 펄스를 수신하여 비콘과의 거리를 추정하고, 다수의 추정된 거리를 이용하여 삼각측량을 기반으로 사용자의 위치를 인식한다. 리스너는 RS-232 인터페이스 및 블루투스를 사용하여 정지 및 이동 노드 모두에 부착될 수 있다. 예를 들어 사용자가 망에 프린터처럼 새로운 정적 서비스를 부여할 때 위치나 기타의 다른 속성으로 구성할 필요 없이 노드에 리스너를 부착하기만 하면 된다.

실내 위치인식 시스템을 구성하는 비콘과 리스너의 구조, 거리추정 원리, 좌표 계산, 초음파 송수신 회로 등은 이후의 절에서 보다 자세히 설명한다.

2.2 비콘과 리스너의 거리추정 및 좌표계산 원리

비콘과 리스너사이의 거리는 RF와 초음파 신호의 TDOA를 이용하여 측정한다. 대기 중 초음파가 대기 중 RF보다 훨씬 느린 사실을 이용하여 비콘에서 송신된 초음파 신호의 단방향 전파 시간을 측정한다. RF의 속도는 약 $3 \times 10^8 m/s$ 이며, 20°C의 대기에서 초음파의 속도는 343.6m/s이다. RF와 초음파의 속도에서 약 $10^6 m/s$ 정도의 차로 인해 비콘으로부터의 초음파 신호는 RF 신호가 대기를 통해 전파된 후 도착하게 된다. 따라서 RF와 초음파 신호의 TDOA를 측정함으로써 리스너는 비콘까지의 거리를 추정할 수 있다. RF와 초음파 신호의 TDOA는 식 (1)과 같다.

$$t_{TDOA} = \frac{r}{v_{US}} - \frac{r}{v_{RF}} \quad (1)$$

여기에서 r 은 비콘과 리스너 사이의 거리이며, v_{RF} 와 v_{US} 는 각각 RF와 초음파의 속도이다.

$v_{RF} \gg v_{US}$ 이므로 식 (1)은 식 (2)와 같이 근사화할 수 있다.

$$t_{TDOA} \approx \frac{r}{v_{US}} \quad (2)$$

따라서 비콘에서는 RF와 초음파를 연속하여 송신하고, 리스너에서는 RF의 수신 시점을 TDOA 측정의 기준으로 초음파의 도착 시간을 측정하여 t_{TDOA} 를 추정할 수 있다. 거리 측정의 정확도는 측정된 t_{TDOA} 의 정확도와 거리 계산을 위해 사용되는 추정된 초음파 속도 v_{US} 의 정확도 모두에 의존한다. 이중 t_{TDOA} 는 초음파 검출 회로, 리스너에서 사용하는 타이머의 시간 분해능과 같은 시스템 파라미터에 의존하는 반면, 초음파의 속도는 주위의 온도, 습도, 그리고 대기 압력과 같은 환경적인 요인에 의존한다.

상대 습도와 대기 압력의 변화에 따른 초음파 속도의 변화는 미미하다. 온도 25℃, 대기 압력 101.32 kPa에서 상대 습도가 0%에서 100%까지 변화하면 초음파 속도의 변화는 0.5%이다. 온도 25℃, 상대 습도 50%에서 대기 압력이 30kPa에서 101.32kPa까지 변화하면 초음파 속도의 변화는 0.6%이다. 그러나 초음파 속도는 온도 변화에 상대적으로 크다. 온도 25℃에서 온도 1℃당 초음파의 속도는 약 0.18%이다. 따라서 온도로 인한 초음파 속도 변화는 보다 정확한 거리 추정을 위해 보상되어야 하며, 온도 변화를 고려한 초음파의 속도는 식 (3)과 같다⁹⁾.

$$v_{US} = 331.5 + 0.60714t \approx 331.5 + 0.61t \quad (3)$$

여기서 t 는 섭씨온도이다.

본 논문에서는 온도에 따른 초음파의 속도 변화를 보상하기 위해 비콘과 리스너에 온도 센서를 사용한다. 사용된 온도 센서는 25℃에서 65℃ 범위에서는 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 정확도를 갖는다¹⁴⁾. 비콘에서 측정된 주변의 온도는 비콘에서 전송하는 RF 메시지에 포함되어 전송된다. 리스너에서는 측정된 리스너 주변의 온도와 전송된 비콘 주변의 온도를 이용하여 초음파 속도 계산에 사용할 온도를 결정하며, 식 (4)와 같다.

$$t_T = \frac{t_B + t_L}{2} \quad (4)$$

여기서 t_B 와 t_L 은 각각 측정된 비콘과 리스너 주변의 온도이다.

그림 2는 거리 측정 원리를 설명한 타이밍도를 보인 것이다. 각 비콘의 좌표와 비콘과 리스너사이의 측정 거리 d_i 를 이용하여 리스너의 (x, y, z) 좌표를 결정할 수 있는 방법은 두 가지가 존재할 수 있다. 먼저 초음파의 속도 v 를 알고있다고 가정하고 좌표값을 구하는 방법과 초음파의 속도 v 까지 미지수로 두고 좌표값을 구하는 방법이 존재할 수 있다. 초음파의 속도가 일정하다고 가정하는 경우 비콘은 3개 이상이 필요하며, 초음파의 속도를 미지수로 가정하는 경우 비콘은 4개 이상이 필요하다.

초음파의 속도를 보상하기 위해 비콘과 리스너에서 모두 온도 센서를 적용하고 있다. 그러므로 초음파의 속도를 미지수로 두고 좌표를 계산하지 않아도 된다. 그림 1에 보인 것처럼 천장을 $x-y$ 평면이라 하고, 천장에서 아래방향을 z 축의 양의 방향이라 한다. 3개의 비콘 $B_i, i=0, 1, 2$ 가 방안의 천장에 달려있다고 하자.

각각의 비콘은 RF 메시지에 (x_i, y_i, z_i) 를 전송하고 송신 완료 인터럽트가 발생하면 초음파 펄스를 송신한다. 임의의 좌표 (x, y, z) 에 있는 리스너는 비콘 B_i 까지 이들 두 신호의 TDOA t_i 를 측정한다. 수신기에서 비콘 B_i 까지 실제 거리는 vt_i 와 같다. 여기서 v 는 초음파의 속도이다.

미정 계수 (x, y, z) 에 대한 3개의 연립 방정식을 유도하면 식 (5)와 같다.

$$(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + z^2 = v^2 t_i^2, 0 \leq i \leq 2 \quad (5)$$

이로부터 z^2 를 소거하여 다음과 같은 2변수의 선형 방정식을 얻는다.

$$\mathbf{A} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_0^2 + y_1^2 - y_0^2 - v^2(t_1^2 - t_0^2) \\ x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 - v^2(t_2^2 - t_1^2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

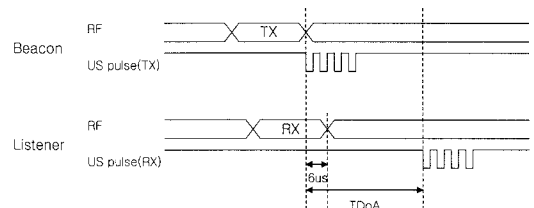


그림 2. 거리측정 원리(TDOA 타이밍도)

여기서 행렬 **A**는 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_0) & 2(y_1 - y_0) \\ 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \end{bmatrix} \quad (7)$$

A의 행렬식이 0이 아니면 식 (6)으로부터 x, y 에 대한 고유한 값을 구할 수 있다. 이 값을 식 (8)에 대입하면 z^2 의 값을 구할 수 있으므로 여기에 양의 제곱근을 취하면 z 의 값을 얻을 수 있다.

$$z^2 = v^2 t_i^2 - (x - x_i)^2 - (y - y_i)^2, \quad 0 \leq i \leq 2 \quad (8)$$

또한 $z^2 < 0$ 로 계산되는 경우 계산된 리스너의 좌표값은 무시한다.

2.3 시스템의 하드웨어 구성

본 논문에서 설계한 실내 측위시스템의 비콘은 천장 또는 벽의 고정된 위치에 설치되는 것으로 RF와 초음파 펄스를 전송한다. 설계한 비콘의 블록 다이어그램은 그림 3과 같다. RF 신호에는 비콘의 좌표, 온도에 따른 초음파 속도의 온도 보상을 위한 비콘 주변의 온도, 비콘 고유의 ID 등의 정보를 포함한다. 또한 천장 또는 벽에 설치된 다수의 비콘의 전송 사이에 충돌을 해소하기 위한 랜덤 전송 기반의 스케줄링 알고리즘을 포함한다⁹⁾. 비콘은 RF 모듈, 초음파 센서(송신)와 드라이버 회로, LED 등으로 구성되며 이들 구성요소를 제어하고 스케줄링 알고리즘을 수행하는 마이크로프로세서로 구성된다. RF 모듈은 ISM 대역인 2.4GHz의 노르딕사의 nRF24L01을 사용한다.

리스너는 사용자 장치에 부착되어 비콘으로부터 송신된 RF와 초음파를 수신하여 비콘과의 거리를 추정하고, 다수의 비콘들 사이의 거리를 바탕으로

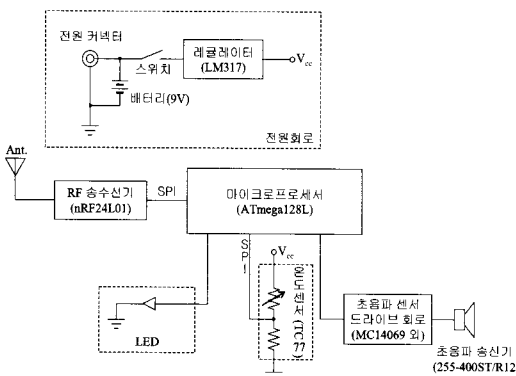


그림 3. 비콘의 블록 다이어그램

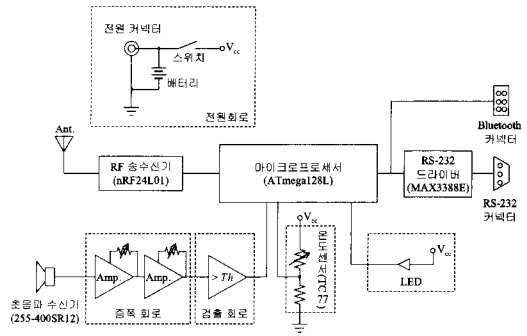


그림 4. 리스너의 블록 다이어그램

삼각측량을 통한 리스너의 좌표를 계산한다. 또한 리스너는 다수의 비콘에서 전송한 RF와 초음파 사이의 간섭으로 인한 잘못된 거리를 제거하기 위한 간섭 검출 알고리즘을 포함한다⁹⁾. 설계한 리스너의 블록 다이어그램은 그림 4와 같다. 리스너는 RF 모듈, 초음파 센서(수신), 초음파 신호 수신 회로, 온도 센서, RS-232 드라이버(Bluetooth 포함), LED 등으로 구성되며 이들 구성요소를 제어하고 거리 추정 및 좌표를 계산하는 마이크로프로세서로 구성된다.

2.4 초음파 송수신 회로 설계

종래의 초음파 송신 회로에는 센서에 고전압을 인가하기 위해 변압기를 사용한 회로, 차지펌프(charge-pump)와 같은 승압소자와 비교기를 이용한 회로, 다수의 NOT 게이트를 이용한 회로 등이 존재한다.

변압기를 사용하는 회로의 경우 비콘의 크기, 전력 소모 등을 고려할 때 적절한 선택이 아니다. 차지펌프와 같은 승압소자와 비교기를 이용한 회로는 차지펌프와 같은 승압 소자의 제한 등으로 인해 초음파 센서에 인가할 수 있는 전원의 제한 등이 존재한다. 반면에 다수의 컨버터를 이용한 회로의 경우 별도의 승압회로 또는 승압소자가 불필요하며, 컨버터의 인가 전원을 제어하여 쉽게 센서에 인가되는 전압을 제어할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 게이트 기반의 초음파 드라이브 회로를 선택하였다.

초음파 센서 드라이브 회로는 Hex 버퍼/컨버터(4049), TR, 그리고 AND 게이트로 구성된다. AND 게이트는 초음파 센서의 중심 주파수인 40kHz 펄스를 제어 신호에 따라 스위칭하고, TR은 컨버터의 정격 전압으로 증폭시켜준다. 컨버터는 40kHz 펄스의 위상을 반전시켜 센서에 컨버터 출력의 약 2배의 전압이 가해지도록 동작한다.

초음파 신호의 수신 회로는 증폭 회로, 포락선

검파 회로, 그리고 검출 회로로 구성된다. 신호 증폭 회로는 연산증폭기를 이용하여 2단 증폭기로 구성된다. 초음파 신호의 증폭률은 3,000배이다. 연산증폭기는 단전원으로 동작하고, 연산증폭기의 비반전 입력에 전원 전압의 반을 바이어스 전압으로서 더해 초음파 신호의 중심 전압을 전원 전압의 반으로 한다. 이로써 반전 입력과 비반전 입력의 전압은 비슷해지며, 교류 신호를 균등하게 증폭할 수 있다.

증폭된 초음파 신호는 신호 검출을 위해 포락선을 검파한다. 다이오드를 이용하여 반파 정류된 신호는 RC필터에 의해 고주파를 제거한다. 마지막으로 초음파 신호의 수신 여부는 포락선 검파 회로의 출력에 연결된 검출 회로에 의해 결정된다. 검출 회로는 연산증폭기를 기반으로 동작하는 비교기로 반전, 비반전 입력의 전압차를 증폭하여 출력한다. 부귀환을 사용하지 않는 경우 비반전 입력이 반전 입력보다 조금이라도 높아지면 출력은 연산증폭기의 전원 전압이 출력된다. 반대의 경우 검출기의 출력은 0V가 된다. 따라서 잡음의 영향을 최소화하고 초음파 신호의 검출 성능을 높일 수 있는 비교기 기준전압의 사려깊은 설정이 필요하며, 우리는 실험을 통하여 0.458V가 적합함을 확인하였다.

초음파와 관련한 또 다른 중요한 파라미터는 최대 SPL을 갖는 초음파를 발생할 수 있는 펄스 버스트의 지속 시간과 초음파 신호가 대기중에서 사라지는 시간을 측정하여 비콘의 전송간 휴지 시간의 선정이다. 이를 위해 우리는 그림 5와 같이 주기적으로 40kHz의 펄스를 초음파 센서에 인가하고 초음파 신호 증폭 회로와 검출 회로를 구성하여 그 결과를 측정하였다. 그림 5에서 1의 시간이 펄스 버스트의 지속 시간이며, 2의 시간이 휴지 시간이다. 초음파 송수신 거리는 3m로 하였으며, 초음파 센서 드라이브 회로의 인가전압은 9V로 하였다. 따라서 초음파 센서에 인가되는 18Vp-p이다. 펄스 버스트의 지속 시간은 0~10ms까지 가변하면서 출력을 관찰하였다.

그림 6은 펄스 버스트의 지속 시간이 3ms와 1.2ms인 경우 증폭 회로의 출력을 보인 것이다. 그림 6 (a)에서 증폭된 초음파 신호는 일정 시간 이후 포화

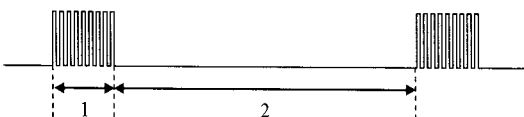


그림 5. 초음파 펄스 버스트의 지속 시간과 휴지 시간

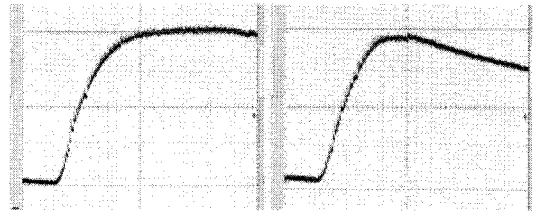


그림 6. 증폭 회로의 출력, (a) 지속 시간 3ms, (b) 지속 시간 1.2ms

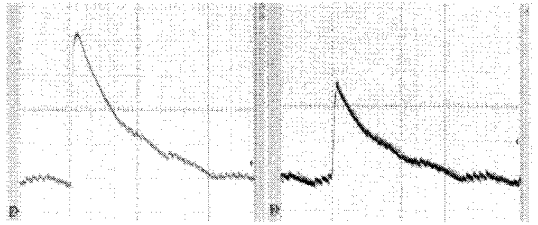


그림 7. 검출 회로의 출력, (a) 송수신 거리 5m, (b) 송수신 거리 10m

됨을 알 수 있다. 펄스 버스트의 지속 시간은 증폭된 초음파 신호가 포화되는 시간까지만 지속하면 최대 SPL을 얻을 수 있다. 증폭된 초음파 신호가 포화되는 시간 1.2ms는 그림 6 (b)에서 확인할 수 있다. 따라서 비콘에서 전송하는 초음파 펄스 버스트의 지속 시간은 1.2ms로 선정하였다.

그림 7은 펄스 버스트의 주기가 1.2ms인 경우 송수신기의 거리에 따른 검출 회로의 출력을 보인 것이다. 비교기의 출력의 지속 시간은 휴지 시간의 선정에 매우 중요한 기준이 된다. 그림 7 (a)와 (b)에서 송수신기 거리는 각각 5m, 10m이며, 지속 시간은 각각 23.7ms, 18.9ms임을 확인하였다. 따라서 휴지 시간은 23.7ms 이상이 되어야 하며, 비콘의 전송간 휴지 시간을 50ms로 설정하였다

III. 실내 측위시스템의 성능 및 분석

이 장에서는 본 논문에서 설계한 비콘과 리스너를 구현하고 성능을 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 리스너는 비콘과의 거리 추정 결과를 바탕으로 좌표를 계산하므로 거리추정 결과가 위치추정 결과에 영향을 미친다. 그러므로 설계된 비콘과 리스너를 이용하여 비콘과 리스너 사이의 거리추정 실험을 진행하여 정확한 거리 측정 여부를 확인하고, 리스너의 위치추정 실험을 진행하였다. 또한 설계한 실내 측위시스템을 크리켓 시스템과 비교 분

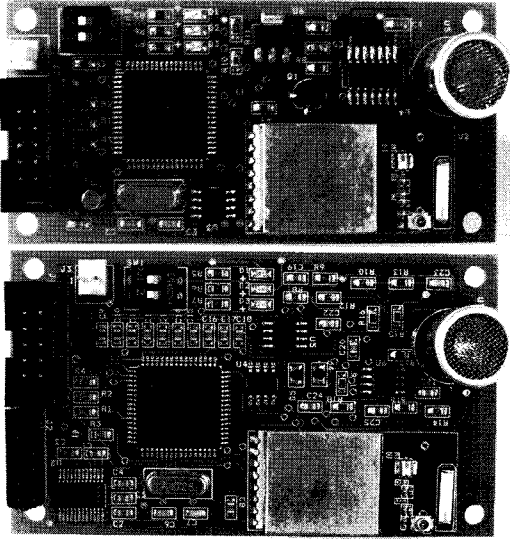


그림 8. 구현한 비콘(위)과 리스너(아래)

석하였다. 그림 8은 본 논문에서 설계한 비콘과 리스너의 사진을 보인 것이다.

3.1 거리측정 실험

설계된 비콘과 리스너를 이용한 거리 측정의 정확도를 확인하기 위하여 다음과 같이 거리측정 실험을 진행하였다. 비콘에서는 100개의 RF 메시지와 초음파 신호를 전송하고, 리스너는 RF와 초음파 신호의 TDOA를 측정하고 식 (3)을 기반으로 비콘과 리스너 사이의 거리를 계산한다. 실험을 위해 비콘과 리스너 사이의 거리를 3, 5, 7, 9m에 놓고 각각 거리를 측정하였다.

표 1은 비콘과 리스너 사이의 거리가 3, 5, 7, 9 m일 경우 수식 (3)을 이용하여 계산한 거리의 평균값이다. 이 결과는 초음파 신호의 수신 세기에 따라 리스너 비교기의 임계치에 이르는 시간차, 리스너의 인터럽트 지연시간 등으로 인하여 실제 거리보다 멀게 측정됨을 알 수 있다. 이를 보상하기 위

표 1. 거리측정 실험 결과

실제거리	측정거리 100개 샘플의 평균	
	$v_{US}=331.5 \times 0.6t$	$v_{US}=313.5 \times 0.6t$
3m	3.082414	3.006272
5m	5.102249	4.98101
7m	7.186132	7.025818
9m	9.336422	9.143995

해서 식 (9)와 같이 초음파의 속도를 보정하였다.

$$v_{US} = 313.5 + 0.6t \quad (9)$$

표 1의 오른쪽에 수식 (9)를 이용하여 계산한 거리의 평균값을 나타내었다. 비콘과 리스너 사이의 거리 $r=3m$ 인 경우 평균 3.01m로 실제거리 3m에 거의 근접함을 알 수 있다. 이러한 결과는 실험한 모든 거리에 대해서 유효함을 확인하였다.

3.2 리스너의 위치 추정 정확도

리스너는 다수의 비콘들과의 거리를 측정하면 삼각 측량을 통해 좌표를 계산할 수 있다. 크리켓 시스템은 $300cm \times 300cm \times 228cm$ 공간에서 5개의 비콘을 설치하였을 경우 10cm의 위치 추정 정확도를 갖는다⁹⁾. 본 논문에서 설계한 실내 측위시스템의 위치 추정 정확도를 측정하기 위하여 문헌 [9]의 크리켓 시스템과 유사하게 $300cm \times 300cm \times 225cm$ 공간에 5개의 비콘을 설치하고 100cm 간격의 가상의 선이 교차되는 지점에 리스너를 위치하였다. 그리고 각 위치에서 리스너는 100개의 위치를 계산하였다.

그림 9는 실험결과 각 위치에서 계산된 좌표의 평균 오차를 측정한 것이다. 오차가 가장 큰 $x=300cm$, $y=300cm$ 지점에서의 오차가 6cm 인 것을 확인하였다. 크리켓 시스템과 비교하면 약 40%의 위치 추정 에러를 감소시킨 것을 확인할 수 있다.

3.3 크리켓 시스템과의 비교

본 논문의 실내 측위시스템은 비집중형 구조로 설계되어 사용자의 프라이버시 보호에 적합하고, 확장 또는 설치 및 유지관리가 용이하고, 하드웨어 비

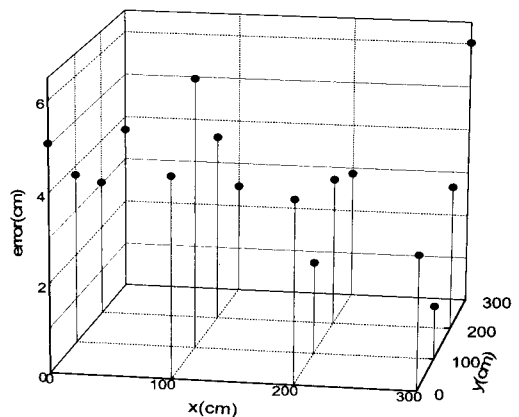


그림 9. 측정된 좌표의 평균에러

표 2. 크리켓 시스템과의 비교

구성요소	크리켓 시스템 ^[6]	설계된 실내 측위시스템
Beacon frequency	1Hz	2Hz
RF frequency	436MHz	2.4GHz
RF transmit power	-3dBm	0dBm
RF data rate	19.2kbps	2Mbps
US pulse duration	150us	1.2ms
리스너 자체의 좌표계산 기능	없음	있음
좌표 업데이트율 (비콘 4개 설치시)	초당 약 4회	초당 약 6.7회
위치 정확도	10cm	6cm

용이 저렴하며, 기간 망과 상관없이 독립적으로 사용할 수 있는 크리켓의 장점을 동일하게 유지하면서, 자기 위치계산 기능을 내장하고 ISM 대역의 RF의 주파수를 채택하고 위치 갱신율과 채널 이용률 및 위치 계산의 정확도를 개선시켰다.

본 논문에서 설계한 실내 측위시스템과 크리켓 시스템을 비교하여 표 2에 정리하였다. 크리켓 시스템에서 사용한 RF 모듈의 주파수는 국내에서 ISM 대역이 아니며, 본 논문에서 사용한 RF 모듈은 2.4GHz로서 ISM 대역에 포함된다. 또한 RF data rate는 크리켓 시스템보다 100배 이상 높으므로 비콘에서 전송하는 메시지(x, y, z 좌표 등)를 확장 시킬 경우 유리하다. US 펄스 지속시간의 경우 약 8배가 높으며, 비콘에서 RF와 초음파를 전송하는 빈도(Beacon frequency)를 2배 높임으로 인하여 좌표가 업데이트 되는 횟수를 증가시켰다. 크리켓 시스템은 리스너에서 자체적으로 좌표를 계산하지 않지만 설계된 실내 측위시스템은 리스너 자체에서 좌표를 계산하여 시스템과 연동된 장치(PC, 핸드폰, PDA 등)에 RS-232 또는 블루투스 통신을 이용하여 전송한다. 그리고 실험결과 얻어진 데이터를 비교해보면 좌표 업데이트율은 비콘 4개 설치 시 크리켓 시스템은 초당 약 4회이지만, 본 시스템은 초당 약 6.7회로 빠른 위치 인식이 가능하다. 위치 정확도 실험결과 3.2절에서 보인 것과 같이 크리켓 시스템은 10cm 이지만 본 논문에서 설계된 실내 측위시스템은 6cm로 성능이 우수하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 RF와 초음파의 TDOA에 기반한 실내 측위 시스템을 설계하였다. RF 모듈의 중심주파수는 ISM 대역의 2.4GHz를 사용하였고, 좌표 업

데이트율을 높이기 위해 Beacon frequency를 높여 채널 이용율을 높였다. 그리고 리스너 자체에서 위치계산을 가능하게 하였다.

설계된 비콘 장치와 리스너 장치를 이용하여 실험을 진행하고, 크리켓 시스템과 비교 분석 하였다. 첫 번째 비콘과 리스너 사이의 거리를 측정하는 성능을 확인하였다. 이 실험에서 기존의 초음파의 속도 정의식보다는 RF 모듈의 인터럽트 발생 시간차, 프로세서의 인터럽트 처리 시간, 그리고 가장 큰 영향을 미치는 수신 초음파 신호가 비교기의 기준 전압을 초과하는 시간을 보정한 수식을 제시하였다. 두 번째로 리스너의 위치 정확도를 측정하였다. 실험결과 6cm의 오차를 갖는 것을 확인하였다. 마지막으로 크리켓 시스템과의 비교 분석을 통해서 본 논문에서 설계한 실내 측위시스템의 성능이 우수함을 보였다.

본 논문에서 구현된 실내 위치인식 시스템은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 상황인식 응용을 위한 실내 위치인식 장치로 활용할 수 있다. 또한 지능형 로봇 시장의 활성화, 그리고 실내 위치인식 장치를 이용한 실내 네비게이션 등의 다양한 분야에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Chen and D. Kotz, "A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research," Dartmouth Computer Sciecn Tech. Report TR2000-381, 2000. (ftp.cs.dartmouth.edu/TR/TR2000-381.ps.Z)
- [2] B. Schilit, N. Adams, and R. Want, "Context-aware computing applications," *In Proc. of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 85-90, December, 1994.
- [3] M. Satyanarayanan, "Pervasive computing: vision and challenges," *IEEE Personal Communications*, pp.10-17, Aug., 2001.
- [4] Dey, A.K., "Understanding and Using Context," *Personal and Ubiquitous Computing Journal*, Vol. 5(1), 2001, pp. 4-7.
- [5] Jeffrey Hightower, and Gaetano Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing," Technical Report UW-CSE 01-08-03, University of Washington,

Aug. 2001. (<http://portolano.cs.washington.edu/projects/location/>)

[6] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *IEEE Computer Society Press*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.

[7] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, "The active badge location system," *ACM Trans. on Information Systems*, 10(1), pp.91-102, Jan. 1992.

[8] A. Harter, et. al., "The anatomy of a context-aware applications," *Proc. of 5th Annual ACM/IEEE International Conf. On Mobile Computing and Networking (Mobicom1999)*, pp. 59-68, Aug. 1999.

[9] Nissanka Bodhi Priyantha, "The Cricket Indoor Location System," PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2005.

[10] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," *Proc. of IEEE INFOCOM*, pp.775-784, March 2000.

[11] Ubisense homepage. (<http://www.ubisense.net.>)

[12] Ultra Wideband working group homepage. (<http://www.uwb.org.>)

[13] Microsoft Research, Easy living, Website, 2001. (<http://222.research.microsoft.com/easyliving>)

[14] Datasheet, *TC77 Thermal Sensor with SPI Interface*, Microchips, 2002. 8.

서 영 동 (Young-Dong Seo)

정회원



2006년 2월 원광대학교 전기전
자및정보공학부 졸업
2008년 2월 원광대학교 제어계
측공학과 석사
2008년 3월~현재 원광대학교 제
어계측공학과 박사과정
2009년 2월~현재 (주)피앤이솔

루션 기술연구소 연구원

<관심분야> 디지털 통신시스템 설계, 채널 부호화

송 문 규 (Moon-Kyou Song)

종신회원



1988년 2월 고려대학교 전자공
학과 졸업
1990년 2월 고려대학교 전자공
학과 석사
1994년 2월 고려대학교 전자공
학과 박사
1994년 3월~현재 원광대학교 전

자및제어공학부 교수

1999년 9월~2000년 8월 캐나다 빅토리아 대학교
전기및컴퓨터공학과 방문교수

2006년 2월~2007년 2월 미국 스탠퍼드 대학교 전
기공학과 방문교수

<관심분야> 디지털 통신시스템 설계, 채널 부호화,
무선통신