

센서 네트워크 기반 위치 인식 시스템 간섭의 최소화 방안에 관한 연구

A Method to Reduce Interference in Sensor Network Location Awareness System

이형수* 송병훈** 함경선*** 윤희용****
Hyung Su Lee Byunghun Song Kyungsun Ham Hee Yong Youn

요 약

유비쿼터스와 퍼베이시브 환경에서의 위치인식 기술은 자동차 내비게이션, 지능형 로봇, 대화형 가상 게임, 물류 서비스, 그리고 자산 추적 등 다양한 응용 기회를 제공해 주고 있다. 더욱이 위치 인식 정보뿐 아니라 객체 혹은 센서 노드 주변의 상황 정보까지도 전달하여 제한된 공간에서의 다양한 응용에 활용될 것으로 보인다. 그러나 위치 측정에 있어 환경적 요소와 측정 매체 등에 의해 간섭이라는 문제점을 갖는다. 특히 실내 좁은 공간에서 비컨 신호간의 간섭은 거리 측정의 심각한 오류뿐 아니라 더 나아가 위치 인식 시스템 전체 성능에도 영향을 미치게 된다. 이러한 간섭 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 비컨의 초음파 및 RF 신호 세기를 각 노드 별로 차별화하는 방식인 EEM을 제안한다.

Abstract

Ubiquitous and pervasive environment presents opportunities for a rich set of location aware applications such as car navigation and intelligent robots, interactive virtual games, logistics service, asset tracking etc. Typical indoor location systems require better accuracy than what current outdoor location systems provide. Outdoor location technologies such as GPS have poor indoor performance because of the harsh nature of indoor environments. In this paper we present a novel reducing interference location system that is particularly well suited to support context aware computing. The system, called EEM (Enhance Envelop Method) aims to combine the advantages of real time tracking systems that implement distributed environment with the suitability of infrastructure sensor network.

Keyword : Sensor network, Location awareness, Interference, Sensor node

1. 서 론

유비쿼터스 응용을 구현하기 위해 전 처리로 인식 되는 상황인지(context awareness)를 구현하는데 있어 위치 인식 시스템이 가장 핵심적 요소로 특히 실내에서 센서 노드를 기반으로 위치 인식의 중

요성이 부각되고 있다. 더욱이 위치 인식 정보뿐 아니라 객체 혹은 센서 노드 주변의 상황 정보까지도 전달하여 제한된 공간에서의 다양한 응용에 활용될 것으로 보인다. 위치 인식의 중요 측정 요소는 거리, 방향, 위치로 구분된다. 그 중 거리요소는 가장 많이 사용되는 측정요소로 아래 방법으로 분류할 수 있다[1].

첫째, 직접 거리 측정 방식(Direct Touch)은 사용이 간단하나 자율적 움직임이 있는 객체의 좌표를 자동적으로 획득하기 어려운 점이 있다.

둘째, Time difference of arrival(TDOA)방식은 RF와 초음파의 도착 시간차를 사용하여 거리를 측정하는 방법으로 실내에서의 사용자 위치 인식뿐

* 정 회 원 : 전자부품연구원(KETI) 지능형정보시스템 수석연구원 hslee@keti.re.kr, hslce1@skku.edu

** 정 회 원 : 전자부품연구원(KETI) 지능형정보시스템 선임연구원 bhsong@keti.re.kr

*** 정 회 원 : 전자부품연구원(KETI) 지능형정보시스템 선임연구원 hksunny@keti.re.kr

**** 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수 youn@ece.skku.ac.kr

[2005/11/10 투고 - 2005/12/07 심사 - 2006/04/13 심사완료]

아니라 환경정보 등 다른 여러 응용 분야에서 이용되고 있다. MIT의 Cricket[2] 방법이나 Active Bat system[3,4]과 같은 시스템에서도 이용하고 있다.

셋째, Time of Flight(ToF) 방식은 가장 많이 이용되고 있는 방법으로 사용되는 전파 혹은 음파의 속도를 알고, 발신기로부터 수신기까지의 객체의 비행 시간을 측정하여 두 지점 사이의 거리를 계측하는 것이다. 대표적인 것으로 현재 가장 많이 이용되고 대중화 되어 있는 GPS(Global Positioning System)가 있다. 잘 알려진 것처럼 GPS는 전체 지상을 담당할 수 있는 24개의 인공위성 중 4개 이상의 위성으로부터 지상의 수신기까지의 전파의 비행 시간(ToF)을 측정하여 정확한 위치(위도, 경도, 고도)를 알아내는 시스템이다.

넷째, RSSI(Received Signal Strength Indicator)은 최적의 위치를 찾아내기 위한 기능의 일부로서 위치 뿐 아니라 수신신호의 질까지도 판단할 수 있는 방식으로 거리 측정의 정확성 측면에서 보면 사무실 같이 많은 장애물이 있는 환경에서의 신호 세기를 이용하는 거리 측정 방식은 ToF 보다는 정확성이 떨어진다. 이러한 이유는 신호의 반사, 굴절, 복합 경로 등의 원인에 기인한다. 이 방식은 RADAR[5], SpotON[6], MoteTrack[7]에서 적용을 하고 있다.

앞서 열거한 방식들은 거리 측정에 있어 노드의 수가 증가할수록 다중 경로 혹은 상호 간섭등 많은 문제점을 갖는다[2]. 특히 좁은 공간에서 신호간의 간섭은 거리 측정의 오류뿐 아니라 더 나아가 위치 인식 시스템 전체 성능에도 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 RF와 초음파신호의 시간차를 이용하는 위치 시스템에 있어 센서 노드의 증가로 협소한 공간 내에서 신호들간의 간섭을 최소화 시키는 방안에 대해 논한다. 2절에서는 RF와 초음파의 특성을 살펴본 후, 협소공간에서 비컨 간 간섭의 현상을 분류한다. 3절에서는 신호간 간섭의 현상을 극소화 시키는 다양한 방법을 제시하고 저 한다.

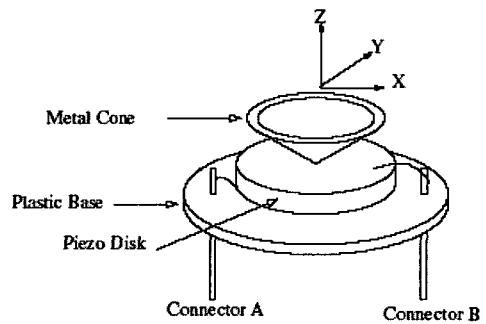
2. 관련연구

2.1 RF와 초음파 신호의 특성

2.1.1 초음파 특성

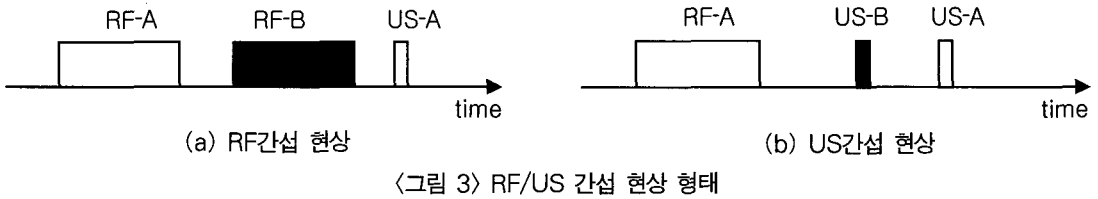
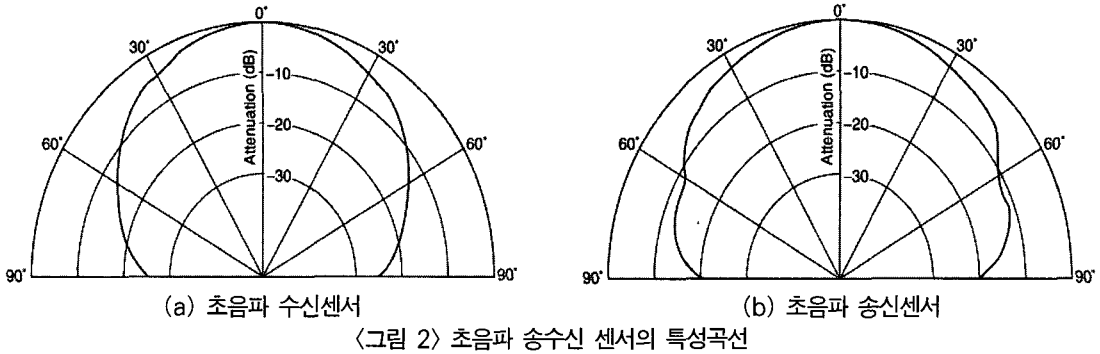
본 연구에서 사용되는 초음파는 중앙 주파수가 약 40kHz로 벽과 같은 물체를 투과하지 못한다. 그리고 초음파 신호의 파장은 사람이 들을 수 있는 파장보다 작아 회절 현상 등이 일어나지 않는다. 그러므로 대부분 방과 같은 공간에서 사용이 된다. 그러나 초음파는 고정 물체에 반사가 잘되는 특성이 있어 수신 측에서 복수의 경로로 초음파를 수신하는 경우가 빈번하다. 예를 들어 직접 수신된 경로를 $p1$ 이라 하고 간접적으로 수신된 경로를 $p2$ 라 하자. 이들 경로의 길이를 각각 l_1, l_2 라 할 때 수신기에 도착된 간접 및 직접 신호간의 차인 δt 로 인해 정확한 거리를 측정하는데 오류의 원인이 된다.

$$\delta t = \frac{l_2 - l_1}{v_{u.s}}$$



〈그림 1〉 초음파 송수신기 내부 구조

초음파 송 수신기의 내부를 보면 그림 1과 같다. Z축 방향으로 초음파 신호의 강도가 세어지고, X, Y축으로 멀어지면 강도의 세기가 떨어진다. 즉 $\theta = 0$ 일 때 다시 표현하면 수신기와 송신기가 수직을 이루고 있을 때 가장 효율적인 신호를 얻을 수



있다. 반면 측면으로 움직이면 송수신기 간의 거리가 늘어 나고 방사(radiation) 모양에 의해 초음파 신호의 세기가 줄어 든다. 본 논문에서 사용되는 초음파 센서는 Murata전기의 MA40S4R/S 모델로서 40KHz를 중심 주파수로 사용하여 송신, 수신을 수행한다. 그림 2는 초음파 센서의 송수신 특성을 나타낸 그림이다. 그림을 분석하여 보면 본 센서는 방향성이 약 80°를 보이며 그림 2-(a), (b)와 같은 빔폼 (beam-form)을 갖는 것을 알 수 있으며, 이는 센서 노드의 배치 시 고려해야 하는 사항이다.

2.1.2 RF 특성

이론 상으로는 실내에서의 RF 신호의 전달에 있어서 감쇠 현상은 자유공간에서의 경우와 비슷하나 빌딩내의 경우엔 다양한 금속 및 비금속 물질에 의해 전달 거리가 줄어들게 된다. 또한 금속 물체에 반사되는 현상으로 일정 영역에서도 RF 신호 세기의 편차가 생긴다. 이것을 RF의 다중 경로 효과라 부른다. RF의 다중경로 효과는 다양한 방식의 보정 방식을 통해 극복 할 수가 있는데 이러한 방식들의 대부분은 일정 임계값(threshold)을 통해 낮은 신호

를 정확히 분별하는 알고리즘으로 이루어져 있다.

2.2 비컨 간 간섭 현상

간섭현상에 대한 오류를 최소화 하기 전 간섭의 여러 형태를 보면 두 가지로 분류 할 수 있다. 그림 3-(a)는 송신된 비컨 A에서 수신 측 도착한 신호 RF-A와 US-A(초음파)사이 다른 RF가 끼어드는 현상의 RF 간섭의 모습이며 그림 3-(b)는 송신된 비컨 A에서 수신 측 도착한 신호 RF-A와 US-A 사이에 다른 US가 끼어드는 현상의 US 간섭으로 분류를 한다.

간섭에 대한 시나리오로 일정 공간에서 비컨 A에서 비컨 I에게 RF와 초음파를 동시에 송신 시 수신 측에서는 다음과 같은 상황들로 경우를 구분할 수가 있다.

- RF-A : A로부터의 RF 신호
- US-A : A로부터의 직접 전송된 US신호
- US-RA : A로부터 반사(간접 전송)된 초음파 신호
- RF-I : I로부터의 RF 신호

US-I: I로부터 직접 전송된 US신호

US-RI: I로부터 반사(간접 전송)된 US신호등으로 분류한다.

1) 경우1: RF A와 US RA

이러한 경우는 실제 거리보다 더 긴 거리 측정의 결과를 초래한다. 보통 수신기에서 직접전송 초음파가 간접 초음파보다 먼저 검출이 되기 때문에 이러한 경우는 드물게 발생한다.

2) 경우 2: RF A와 US I

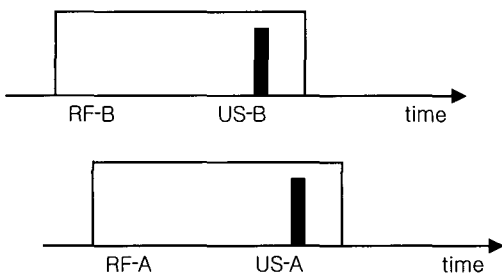
수신기 측에서 RF-A를 수신 후 US-A를 수신하기 전 I 비컨으로 부터 US-I를 먼저 수신한 경우로 RF-A와 RF-I가 서로 공간적으로 겹쳐지는 부분이 발생하는 경우이다. 만약 RF-A와 RF-I 신호의 세기가 유사하면 수신 측에서는 두 신호를 무시하며, 만일 RF-A보다 RF-I 신호의 세기가 강할 땐 충돌이 없다고 보고 비컨 I로부터의 거리를 계산 할 것이다.

3) 경우3: RF A와 US RI

이러한 경우는 US-A가 도착 전에 I 비컨의 산란 간섭으로 인한 US-RI가 수신되는 경우이다.

2.3 비컨 간 간섭의 최소화 방안

거리 측정에 RF와 초음파 두 가지 신호의 도착 시간차를 이용하는 시스템구조들은 여러 간섭에 의



<그림 4> EM을 통한 산란 신호 간섭억제

해 정확성이 저하되는 현상이 발생한다. 대표적 간섭 요인으로는 수신 측에서는 송신 측의 RF와 달리 초음파 신호의 미 구분으로 비컨간의 구분이 안 되는 문제가 발생한다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위한 노력으로 아래와 같은 방식들이 제안되고 있다.

첫째, 산란 신호의 간섭을 제한하는 방법으로 모든 초음파 신호를 RF신호로 감싸는 방식을 사용한다.

둘째, 비컨 간 불규칙 난수 발생을 이용한 전송방식으로 충돌의 가능성을 최소화하는데 역점을 두고 있다.

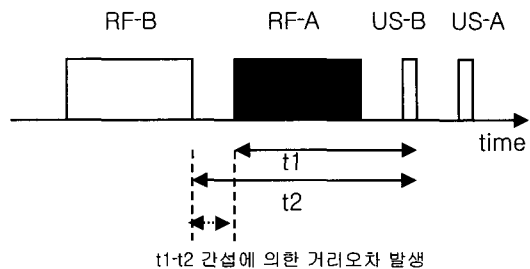
셋째, 수신기에서 추론 알고리즘을 이용하여 간섭으로 인한 오류를 최소화 하는 방식을 사용 한다.

2.3.1 산란신호 간섭 억제

일반적으로 RF range * 2 >> ultrasound range 정도의 도달거리를 가지며, 초음파의 간섭은 RF 신호의 충돌을 일으키는 원인이 되곤 한다. 이러한 현상을 방지하기 위해 그림 4와 같이 RF신호가 US신호를 포함하므로 간섭을 최소화 시킬 수 있다. 이러한 방식을 EM (Envelop Method)이라고 부른다.

2.3.2 불규칙 전송 방식

그림 5과 같이 수신기 에서의 수신된 두 비컨 A, B의 RF를 RF-A, RF-B로 그리고 초음파를 US-A, US-B라 할 때 RF-A신호 이후 US-A가 도착하기 전에 US-B가 도착하는 현상이 발생한다. 이러한 현상



<그림 5> 간섭으로 인한 부정확 거리 측정

은 비컨의 전송 시 비컨 간의 조정이 없을 시 발생한다. 이러한 간섭현상을 최소화하기 위해 비컨 스케줄링 방식을 사용한다.

그림 6는 이러한 비컨 간 조정을 위해 임의의 변수를 발생하여 비컨 간 전송을 불규칙하게 전송 시키기 위한 스케줄링 알고리즘이다.

```
while true do
  r <-randomUniform (T1,T2)
  delay (r);
  startRF_RX ();
  delay (Dus);
  If no_beacon_message and RF_carrier_free then
    transmitBeacon (RF,US);
  endif
endw
```

〈그림 6〉 비컨 전송 스케줄링 알고리즘

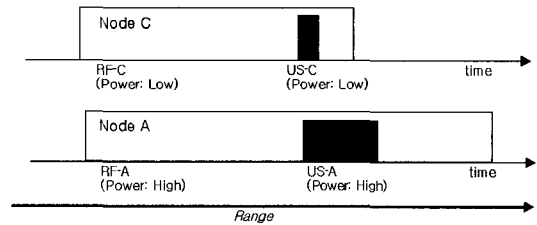
2.3.3 Inference algorithm 비교 제안

일반적으로 기존의 초음파의 간섭에 의한 거리 측정의 오류를 최소화 하기 위해 수신 측에서는 세가지 방식 즉, **MinMode**, **MinMean**, **Majority**중 **MinMode** 방식을 많이 사용한다[2]. **Majority**는 주기적으로 가장 많은 값을 선택하므로 알고리즘 측면에선 가장 간단하나 정확도가 떨어진다. **MinMean**은 각 비컨들 마다의 거리값들의 평균값 중 최소 값을 선택한다. **MinMod** 방식은 최근 측정된 임의의 N 개의 위치 값을 통계화 한 최소값으로 실제 초음파를 이용한 위치 인지 응용에서 거리의 최소값에 대한 오차를 줄이는 방식으로 많이 사용되고 있으나 이러한 방식만으로는 많은 위치 인지 센서를 부착한 환경에서의 비컨 간 간섭문제에서 자유롭지 못하다. 즉 기존의 **inference** 알고리즘들과 같이 사용할 수 있는 새로운 비컨 간 간섭 최소화 방안이 필요로 하게 된다. 그리고 이러한 방안은 비컨의 효율적인 배치 및 비컨의 **RF** 신호를 변형하는 방법들에서 찾을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 고려하여 새로운 비컨 간 간섭의 최소화 방안들을 제안하였다.

3. 비컨 간 간섭 최소화 방안 제안

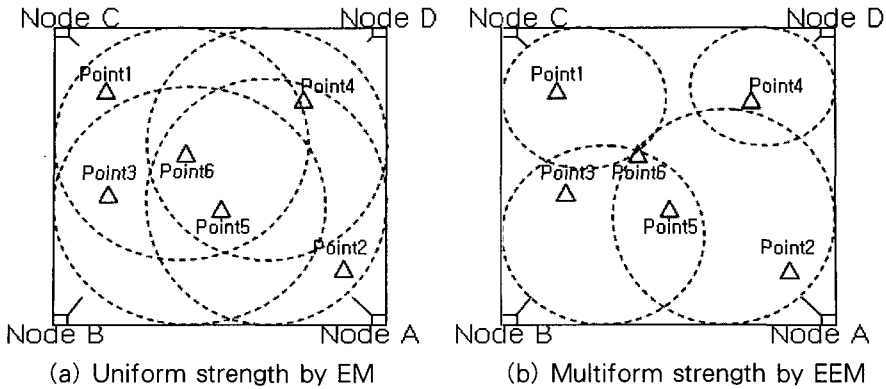
3.1 EEM (Enhanced Envelop Method)

앞서 언급한 2.2절의 간섭현상은 노드 수가 확장될수록 더욱더 복잡한 간섭현상을 유추 할 수 있다. 본 논문에서는 각 노드의 신호 세기를 다르게 배치하여 간섭의 복잡화를 줄이는 방안인 **EEM** (**Enhanced Envelop Method**)을 제안하였다. 제안한 방식은 기존의 **inference** 알고리즘들을 같이 사용하면서 문제가 되는 비컨들의 차별적 배치를 통해 향상된 간섭개선 효과를 나타내게 된다. 기본적으로 **EEM**방식은 초음파의 전송세기와 **RF**의 전송세기를 상황에 따라서 가변 조절함으로써 비컨 간의 간섭 효과를 줄이게 된다. 그림 7은 **EEM**방식에서 사용하는 **RF-US**간의 전송 방식이다.



〈그림 7〉 EEM에서의 RF US 전송 방식

그림 7은 앞서 언급한 **RF**에 **US**신호를 포함하여 전송하는 방식과 기본 개념은 유사하다. 그러나 **EEM** 방식은 이러한 **RF-US** 조합에 전송세기 조절이라는 방식을 제공하고 있다. 이러한 방식을 사용하면 여러 비컨들 사이에서 그림 8-(b)와 같은 공간을 만들 수 있다. 그림8-(a)는 공간에 배치한 노드들의 신호 세기가 균일하게 사용되는 기존의 **EM** 방식을 통한 배치를 나타낸 것이다. 그림을 통하여 알 수 있듯이 8-(b)는 8-(a)에 비해 확연히 비컨 간의 혼잡도가 줄어들게 된다. 이러한 상황을 가능하게 하기 위해 **EEM**에서는 **RF**와 초음파 신호를 조절하는 기능을 개발하였다.



(그림 8) EEM을 통한 비컨간 간섭의 최소화 배치

3.2 EEM의 RF, US 신호 조절 기능

1) RF 신호의 조절 기능

본 연구에서 사용한 센서 노드는 chipcon의 CC1000 RF 모듈을 사용하였으며 TinyOS를 사용하는 본 시스템에서는 CC1000ControlM 모듈의 CC1000Control 인터페이스에서 SetRFPower 라는 커맨드로 RF 신호의 세기(RSSI)를 조절 한다. 본 시스템의 경우 "SetRFPower(숫자)"에서 1~255 까지의 단계로 신호 세기를 통한 RF의 도달 거리를 차별화 할 수 있다. 이를 통해 다양한 거리의 조절이 실시간으로 가능하게 된다.

```
command result_t CC1000Control.SetRFPower
    (uint8_t power) {
    gCurrentParameters[0xb] = power;
    return SUCCESS;
    }
```

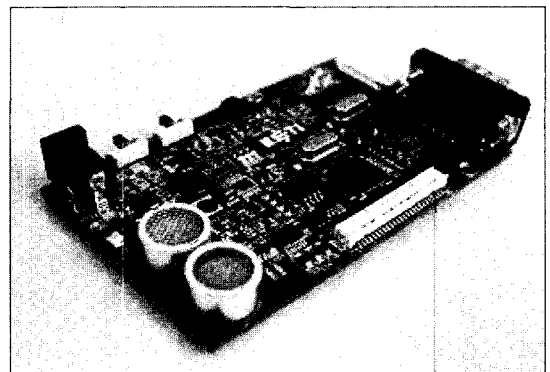
2) US 신호의 조절 기능

초음파 신호를 조절하기 위해서 본 연구에서 개발한 센서 네트워크 플랫폼에서는 송, 수신단에 가변저항 (digital potential meter)를 배치 하였다. 이를 통해 사용자의 송수신단 조절, 특히 수신단의 조절을 이용하여 임의로 초음파의 거리조절을 가능하게 하였다.

4. 성능평가

4.1 비컨간의 간섭 최소화 효율

앞서 언급한 그림 8-(b)에서 제안하는 EEM의 성능을 검증하기 위해 서로 다르게 분포된 지점 (Point 1,2,3,4,5,6)에서의 비컨간의 간섭 효과를 확인하였다. 본 시험은 20*20M 규격의 실내에서 실행되었으며 사용한 센서 네트워크 노드로는 그림 9의 Pharos가 사용되었다. Pharos는 KETI에서 제작된 실내 형 위치인지를 위한 플랫폼으로서 ATMEL128L MCU와 CC1000을 사용하며 온도, 습도, 조도와 같은 센서들을 기본 장착하고 있다.



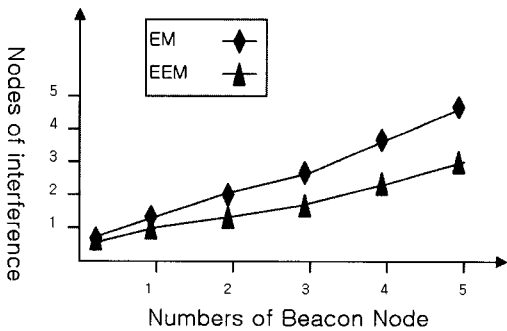
(그림 9) 실내형 위치인지 플랫폼 (Pharos)

표 1에서 보듯이 EEM을 적용하여 배치한 비컨 노드들의 신호는 기존의 EM만을 사용하는 경우에 비해서 간섭 현상이 현저하게 줄어들음을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 EM과 EEM 방식에서의 측정 포인트의 간섭 효과 비교

각 지점(point)에서의 interference 발생횟수	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
EM	1	1	2	2	4	4
EEM	1	1	1	1	2	3

그림 10은 비컨의 노드들이 증가 할 때의 비컨 간의 간섭효과를 도식화한 것이다. EEM 방식은 비컨 노드들의 숫자가 증가하게 되면 같은 공간에서 실험하여도 초음파의 간섭으로 인한 위치 측정의 오류율을 최대 50% 이하로 줄어든게 하는 결과를 보인다.



〈그림 10〉 비컨 노드 증가의 따른 간섭 효과의 변화량

5. 결론

인프라 기반의 수동적 구조 형태의 위치인식 방법은 확장성, 손쉬운 설정, 그리고 편리한 관리 등의 장점이 있는 반면에 비컨 전송의 조정이 부족하여 수신 측에서는 다른 비컨 신호들 간의 간섭이 발생하게 되며 이러한 이유로 부정확한 거리 측정의 요인이 되고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위한 방안에 대해 살펴 보았다. 본 논문에서는 비컨

의 RF와 US 신호 세기를 가변 조절할 수 있는 방식을 설계 및 개발하여 이를 통한 차별화를 유도할 수 있는 새로운 EEM 방식을 제안 하였다. EEM 방식은 기존의 배치 방식에 비해 약간의 지역적 불균형이 발생할 수도 있다. 그리고 이러한 불균형으로 인해 간혹 특정 노드의 전력손실이 크게 발생하거나 초음파가 도달하지 못하는 음영 구역이 기존의 방식에 비해 조금 더 생기는 경우도 있다. 그러나 이러한 EEM 방식으로 실제 환경에서는 초음파의 간섭으로 인한 위치 측정의 오류율이 50% 이하로 낮게 되는 효과를 보인다. 유비쿼터스 환경의 응용들은 획일적 방식으로는 모든 응용에 적용할 수 없는 것이 특징이기도 하다. 앞으로 본 논문에서는 제안한 방식의 보다 다양한 검증방식을 통해 서로 간의 장, 단점을 분석하여 다양한 응용에 적용시킬 예정이다.

참고 문헌

- [1] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello "A Survey and Taxonomy of Location System for Ubiquitous Computing" an article appearing on pp. 57-66
- [2] NB Priyantha, A Chakraborty and H Balakrishnan, "The Cricket Location-support system" Proc. of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), August 2000.
- [3] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Any Ward, and Paul Webster. The anatomy of a context-aware application. In Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999), pages 59(68, Seattle, WA, August 1999. ACM Press.
- [4] Andy Ward, Alan Jones, Andy Hopper, "A

New Location Technique for the Active Office,” IEEE Personal Communications, Oct. 1997.

[5] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, In Proceedings of the IEEE INFOCOM '00, March 2000.

[6] J. Hightower, R. Want and G. Borriello, “SpotON: an indoor 3D location sensing

technology based on RF signal strength”, UW-CSE-00-02-02, Univ. of Washington Tech. Report, Feb., 2000.

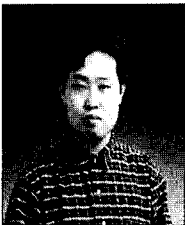
[7] Konrad Lorincz and Matt Welsh. Motetrack: A robust, decentralized approach to rf-based location tracking. In Proceedings of the International Workshop on Location- and Context-Awareness (Loca 2005), 2005.

● 저자 소개 ●



이 형 수(Hyung Su Lee)

1989년 한양대학교 전자공학과 (학사)
2000년 아주대 컴퓨터공학과 (석사)
2005년 성균관대 전기전자컴퓨터공학 박사수료
1989년~1997년 LG전자 미디어통신연구소
1997년~현재 전자부품연구원(KETI) 지능형정보시스템 수석연구원
관심분야: 센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 정보의료시스템, 네트워크저장장치
E-mail: hslee@keti.re.kr, hsleel@skku.edu



송 병 훈(Byunghun Song)

1998년 광운대학교 전자계산학과 (학사)
2000년 광운대학교 전자통신공학과 (석사)
2004년 광운대학교 전자통신공학과 (박사)
2004년~현재 전자부품연구원(KETI) 지능형정보시스템 선임연구원
관심분야: 네트워크 프로토콜, 센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅
E-mail: bhsong@keti.re.kr



함 경 선(Kyungsun Ham)

2002년 광운대학교 컴퓨터공학과 (석사)
2000년~현재 전자부품연구원(KETI) 지능형정보시스템 선임연구원
관심분야: 객체지향 미들웨어, QoS, 유비쿼터스 컴퓨팅, 통신프로토콜, 지능형 홈시스템
E-mail: hksunny@keti.re.kr



윤 희 용(Hee Yong Youn)

1977년 서울대학교 전기공학과 (학사)
1979년 서울대학교 전기공학과 (석사)
1988년 UMass at Amherst 컴퓨터공학과 (박사)
1979년~1984년 금성중앙연구소 선임연구원
1991년~1999년 UTexas at Arlington 부교수
2000년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수
관심분야: 시스템성능평가, 네트워크 저장장치, 정보보호시스템, 유비쿼터스 미들웨어컴퓨팅
E-mail: youn@ece.skku.ac.kr