

스마트 홈 환경을 위한 관성 센서기반의 사용자 위치 추정 방법

심재호⁰¹ 김종훈¹ 김태간¹ 한승진² 임기욱³ 이정현¹

인하대학교 컴퓨터정보공학부¹

경인여자대학 정보미디어학부²

선문대학교 컴퓨터정보학부³

{whitelazy⁰ ddcome}@hci.inha.ac.kr taegan@empal.com softman@kic.ac.kr jhlee@inha.ac.kr

User Localization Method based on Inertial Sensor for Smart-Home Environment

Jaeho Sim⁰¹ Jonghun Kim¹ Taegan Kim¹ Seungjin Han² Kiwook Rim³ Junghyun Lee¹

Department of Computer Science & Information Engineering Inha University¹

School of Computer Information Technology Kyungin Women's College²

Department of Information & Computer Science Sunmoon University³

요 약

스마트 홈 환경에서 사용자 중심 서비스를 제공하기 위해서는 가전기기를 제어하고 네트워크에 연결하기 위한 미들웨어기술과 상황에 맞는 서비스를 제공하기 위해 사용자 위치 정보가 중요하다. 기존의 위치 시스템들은 장애물 등에 영향을 많이 받아 정확한 위치 정보를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 OSGi 미들웨어 상에서 관성 센서와 RFID Reader를 이용하여 위치추적 시스템의 난점인 초기 위치설정 문제와 오차 누적 문제를 개선한 사용자 위치 추정 시스템을 설계하였다. 또한 스마트 홈 환경 안에서 본 논문에서 제안한 시스템이 장애물의 영향을 받지 않고 동작하는 것을 확인 하였다.

1. 서 론

미래의 가정환경은 사용자 중심의 지능화된 서비스들이 제공되는 스마트 홈 환경으로 발전해 갈 것이다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 사용자의 위치 정보 및 정보가전기기의 제어 기술이 필요하다. 사용자의 위치를 파악 하기 위한 기술로는 실외 위치 파악을 위해서는 GPS(Global Positioning System), 실내 위치 파악을 위해서는 초음파와 RF(Radio Frequency)신호를 사용한 MIT Cricket, 바닥에 센서를 설치하여 사용자의 위치를 파악하는 SmartFloor기술들이 제안되고 있다[1][2][3]. GPS는 정확한 위치 정보를 얻을 수 있으나 실외 위치 파악을 목표로 하여 실내에서는 전파 수신율 문제로 사용할 수 없다. Cricket은 초음파와 RF신호의 도달 시간 차를 사용하여 위치를 파악하기에 상당히 정확한 위치 정보를 얻을 수 있지만 초음파 송신기와 수신기 사이에 다른 장애물이 있다면 위치 정보를 파악할 수 없고 천정에 초음파 센서를 격자 형으로 설치해야 한다는 단점이 있다. RFID(Radio Frequency Identification)를 사용

한 위치 추적 시스템은 RFID 리더에서 태그를 인식하였을 때만 사용자의 위치를 알 수 있기에 리더의 밀도가 높아야 하고 모든 태그의 위치를 알고 있어야 한다. SmartFloor는 바닥에 센서를 설치하여 정확한 위치를 파악할 수 있으나 정확도를 향상시키기 위해 센서의 수를 늘려야 하며 바닥에 시공을 하여야 한다는 단점이 있다.

관성 센서를 사용한 스트랩다운 관성 항법 시스템(StrapDown Inertial Navigation System, SDINS)은 외부의 정보를 받아 자신의 위치를 파악하는 고정항법이 아닌 초기 위치 정보로부터 이동한 방향 및 속도를 통해 자신의 현재 위치를 추정해내는 추측 항법을 사용한 장치이다. 관성 센서는 가속도를 측정하는 가속도계와 회전시의 각속도를 측정하는 각속도계로 구성된다. 이 시스템은 가속도계로 측정된 가속도를 각속도계로 얻은 물체의 방향에 대해 단위시간 동안 적분하여 속도를 얻고 이 속도를 다시 적분하여 물체의 이동거리를 얻는 원리로 동작한다. 이 장치의 장점은 외부로부터의 신호

교란이나 시간과 날씨 등에 구애 받지 않고 자신의 위치를 찾을 수 있으며 특별한 설비의 시공 없이도 사용할 수 있고 전자식 관성 센서를 사용하기에 가격이 저렴하면서도 정확한 위치 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 장시간 운용하게 되면 초기 오차, 가속도계와 각속도계의 측정 오차, 이동체의 흔들림 등에 의한 측정 잡음 등에 의해 지속적으로 오차가 누적 되어 측정값이 발산하는 단점이 있다[4][5]. 따라서 누적 오차를 초기화 해주어 위치 값의 발산을 막는 방법이 필요하다. 또한 관성 항법 시스템은 초기 위치에서 이동한 속도와 방향을 통해 위치를 추정하기에 사용자의 위치 추정을 시작하기 전에 초기 위치를 정해 주어야 한다. 본 논문에서는 이러한 스트랩다운 관성 항법 시스템을 스마트 홈 공간의 사용자 위치 추정에 적용한다. 또한, 스마트 홈에서 관성 항법 시스템을 적용 시 발생하는 문제점을 보완하기 위해 기존 관성센서를 사용한 위치 추정 시스템에 RFID를 사용한 근접위치 측정법을 결합하여 이동 시 인식되는 태그의 위치를 기반으로 동적으로 초기위치를 설정하고 지속적으로 오차를 초기화하여 발산을 막는 OSGi 미들웨어 기반의 관성센서를 사용한 사용자 위치 추정 시스템(Inertial Sensor-based User Localization System, IULS)을 설계한다.

2. 스트랩다운 관성 센서를 활용한 위치 추정

스트랩다운 관성 센서는 관성을 측정하는 장치로 가속도계 및 각속도계(Gyroscope)로 이루어 진다. 가속도계 및 각속도계는 각각 X, Y, Z축의 3축으로 가속도와 회전 각속도를 측정한다. 이 장에서는 스트랩다운 관성 센서를 이용한 위치 추정 방법에서 좌표계, 초기정렬 및 위치 계산 알고리즘에 대해 설명한다.

2.1 좌표계

관성 센서에서 측정되는 정보는 이동 객체가 어느 방향으로 얼마큼 힘을 받았는지에 대한 관성 정보이다. 이를 실제로 활용하기 위하여 항법 좌표계로의 변환이 필요하다.

- 관성 좌표계
지구 중심을 원점으로 하고 지구의 자전과는 관계 없이 x, y 축은 적도 평면상에 위치하고 z축은 지구의 회전축과 일치하는 좌표계이다.
- 지구 좌표계
지구 중심을 원점으로 하여 경도와 적도가 만나는 점을 X축으로 북극을 향하는 축을 Z축으로 X축에서 반시계 방향으로 90도 회전한 방향을 Y축으로 하는 좌표계이다.
- 항법 좌표계
이동 객체의 중심을 원점으로 하고 XYZ 세 축을 북(N), 동(E), 수직 아래(D)로 삼는 NED 지역 좌표계이다.
- 동체 좌표계

SDINS가 부착된 동체의 좌표계로서 전방을 X축, 오른쪽 방향을 Y축, 동체의 수직 아래방향을 Z축으로 한다

2.2 초기 정렬

초기 정렬이란 이동 객체가 위치 추정을 시작하기 전에 정지 상태에서 이동 객체의 자세를 구하는 것이다. 정지상태에서의 동체 가속도 f^b 는 다음과 같이 측정 된다

$$f^b = [f_x \ f_y \ f_z] = C_n^b f^n = \begin{bmatrix} \sin\theta g^n \\ -\sin\phi \cos\theta g^n \\ -\cos\phi \cos\theta g^n \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 정지상태의 가속도는 $f^n = [0 \ 0 \ -g^n]^T$ 이고 g^n 는 중력가속도의 크기를 나타내며 ϕ , θ , ψ 는 각각 자세각의 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw) 각이다. 이를 통하여 초기 좌표변환 행렬 $C_n^b(0)$ 을 구한다.

$$C_n^b(0) = \begin{bmatrix} c(\theta)c(\psi) & s(\phi)s(\theta)c(\psi) - c(\phi)s(\psi) & c(\phi)s(\theta)c(\psi) + s(\phi)s(\psi) \\ c(\theta)s(\psi) & s(\phi)s(\theta)s(\psi) + c(\phi)c(\psi) & c(\phi)s(\theta)s(\psi) - s(\phi)c(\psi) \\ -s(\theta) & s(\phi)c(\theta) & c(\phi)c(\theta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

c = cos s = sin

2.3 위치 및 속도 계산

동체 좌표계에서 측정된 선형 가속도 f^b 와 초기 정렬을 통해 얻은 좌표 변환 행렬 C_n^b 을 이용하여 항법 좌표계에서 가속도 f^n 으로 변환시킨 다음 항법 방정식을 계산하여 항체의 위치와 속도를 얻는다. 속도를 계산하기 위한 방정식은 다음과 같다.

$$\dot{v}^n = C_n^b f^b - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times v^n + g^n \quad (3)$$

여기서 $v^n = [v_N \ v_E \ v_D]^T$ 는 항법 좌표계에서 표현된 속도 성분이다. ω_{ie}^n 과 ω_{en}^n 는 각각 항법 좌표계에서 표현된 항법좌표계의 관성좌표계에 대한 각속도와 지구 고정 좌표계의 관성 좌표계에 대한 각속도를 나타내며 g^n 은 항법 좌표계에서의 중력 가속도를 나타낸다. 식 (3)에서 속도와 위치를 구하는 과정은 이동 객체의 운동으로 인해 발생하는 Coriolis항과 중력항을 보정하고 적분하여 얻는다. ω_{ie}^n 과 ω_{en}^n 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\omega_{ie}^n = [\Omega \cos L \ 0 \ -\Omega \sin L] \quad (4)$$

$$\omega_{en}^n = [\rho_N \ \rho_E \ \rho_D] = [l \cos L \ -L \ l \sin L] = \begin{bmatrix} \frac{v_E}{(R_t+h)} & -\frac{v_N}{(R_m+h)} & -\frac{v_E \tan L}{(R_t+h)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_m = \frac{R_0(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 L)^{3/2}}, \quad R_t = \frac{R_0}{(1-e^2 \sin^2 L)^{1/2}} \quad (6)$$

여기서 L은 좌표계에서 X축의 값, l은 Y축, h는 Z축의

값이다. R_0 는 지구타원체의 적도반경, e 는 지구 이심률, ω 는 지구 자전각속도를 나타낸다. 위의 식 (3)에서 구해진 속도를 이용하여 항체의 위치인 L, l, h 좌표 값을 다음과 같이 계산하여 얻을 수 있다.

$$L = \int_0^t \frac{v_N}{(R_m+h)} d\tau + L(0)$$

$$l = \int_0^t \frac{v_E}{(R_e+\cos L)} d\tau + l(0) \quad (7)$$

$$h = \int_0^t (-v_D) d\tau + h(0)$$

3. IULS의 위치 초기화 및 오차보정

관성센서를 사용한 위치 추정 방법은 관성 센서를 사용하기에 시작점의 위치를 알아야 다음의 사용자의 위치를 추정할 수 있고 장시간 사용시 센서의 오차 등으로 인해 오차가 누적되는 단점이 있다. 따라서 이 장에서는 관성 센서를 사용한 사용자 위치 추정에서 RFID를 사용하여 사용자의 위치를 초기화 하고 오차를 보정하는 방법에 대하여 설명한다.

3.1. RFID를 이용한 근접 위치 측정법

RFID는 사람이나 사물을 식별할 수 있는 정보를 무선 주파수를 이용하여 직접적인 접촉 없이 전달하는 시스템을 의미한다. RFID는 위치 측정을 위한 시스템이 아니라 재난재해관리, 생산관리, 물류시스템, 재고관리, 생산 이력시스템 등의 목적으로 활용되고 있으나, 태그의 아이디와 위치 정보의 결합을 통해 위치 측정이 가능하다[6].

RFID를 활용한 근접 측정 방식의 원리는 이동 객체에 부착된 태그가 리더에 감지되면 감지된 위치를 현재의 위치로 삼는다. 태그가 감지된 시간순서에 따라 이동 객체가 이동한 경로의 파악 및 방향 등을 추측할 수 있다. 하지만 지속적인 위치추적을 할 수 없고 위치 추적 해상도를 높이기 위해서는 태그의 밀도가 높아야 하지만 태그간의 간격이 가까우면 서로간의 간섭으로 인하여 태그 인식을 및 전송 속도가 떨어지는 단점이 있다.

3.2 RFID를 이용한 위치 초기화 및 오차 보정 방법

관성 센서를 통한 위치 추정은 이동 객체의 초기 위치를 원점으로 놓고, 원점으로부터 얼마나 이동하였는지를 측정하여 현재 위치를 얻는다. 따라서 초기 위치를 원점으로 설정해 주어야 실제 공간 상에서 위치 정보를 활용할 수 있게 된다. 또한 스마트한 서비스가 이루어지는 공간 안에서의 위치 추정을 목표로 하기에 이러한 위치 정보 입력은 사용자의 손을 거치지 않고 동적으로 이루어져야 한다. 또한 장시간 운용에 대비하여 지속적으로 오차를 초기화 해 주어야 값의 발산 없이 위치 추정이 가능하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 RFID를 활용한 근접 위치추정 방식을 통하여 초기 위치 설정 및 오차를 초기화를 수행한다.

초기 위치 설정과 오차를 초기화는 동일한 방법으로 RFID tag가 인식 되었을 때 현재 위치의 초기화를 통해 위치를 재설정하는 방법을 사용한다.

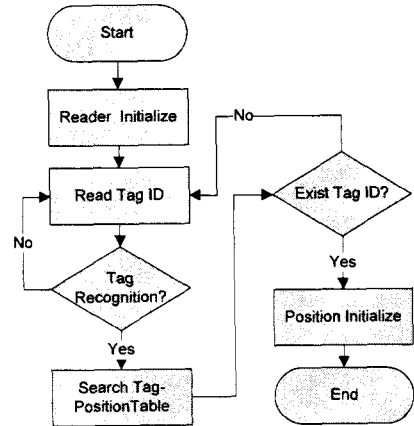


그림 1. RFID 위치 설정 알고리즘

RFID Reader는 이동 중에 지속적으로 인식 영역 내에 Tag가 있는지 검색한다. RFID가 검색되면 Tag가 미리 위치를 정의해둔 Tag인지 검색하고 정의된 태그라면 위치정보를 읽어 현재 위치를 갱신한다.

4. IULS 설계

스마트 홈 서비스를 제공하기 위해서는 가전 기기들은 네트워크와 연결되어 모니터링을 할 수 있어야 하며 가전기기들을 제어할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 환경을 지원하기 위해 다양한 가전기기 및 미들웨어 간의 상호 운용성을 위하여 가전기기, 센서, 임베디드 컴퓨팅 기기 등을 네트워크에 접속하기 위한 자바 기반의 개방형 프로그래밍 인터페이스를 제공하는 OSGi 프레임워크를 사용한다[7].

시스템은 그림 2와 같이 직접 이동 객체에 부착하여 관성 정보 측정 및 RFID Tag의 정보를 수집하는 RFID Reader와 이들을 제어하기 위한 제어장치(Control Unit)으로 구성된 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit, IMU), 위치 계산 및 초기화를 담당하는 위치 컴퓨터(Location Computer), 관성 측정 장치와 위치 컴퓨터 간의 상호 운용성을 위한 OSGi 프레임워크, 계산된 위치 정보를 통해 직접적인 서비스를 해주는 스마트 홈 서비스(Smart Home Service)로 구성된다. 이 시스템에서 실제 위치계산을 담당하는 위치 컴퓨터와 스마트 홈 서비스는 OSGi 프레임워크 상의 번들로 구현한다. IMU와 위치 컴퓨터 간에는 OSGi 프레임워크를 통하여 무선으로 통신 하게 된다.

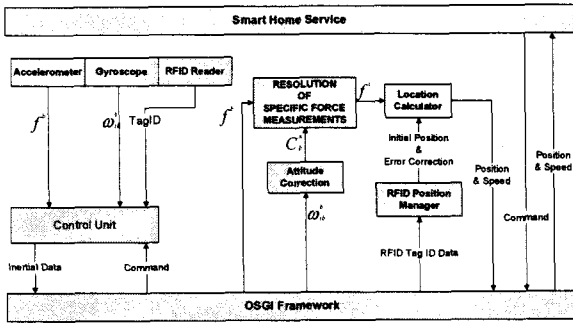


그림 2. 스마트 홈 기반 사용자 위치 추정 시스템 구조

IMU에서는 가속도계(Accelerometer)와 각속도계(Gyrometer)에서 측정된 가속도 및 각속도 정보와 RFID Reader를 통해 읽은 Tag의 ID값을 OSGi 서비스로 전달한다.

위치 컴퓨터에서는 IMU에서 측정된 값을 OSGi 프레임워크를 통해 전달 받아 Tag ID를 통하여 위치 초기화, 관성 정보를 통하여 위치 및 속도 계산 등의 연산을 수행 하며 이를 통해 얻은 위치 및 속도 정보를 OSGi 서비스를 통해 위치 정보가 필요한 각 서비스 번들로 전해주게 된다.

OSGi 프레임워크에서는 IMU와 위치 컴퓨터, 스마트 홈 서비스 간의 통신 및 서비스의 관리 등을 담당한다.

그림 3은 IULS의 전체적인 동작을 설명한다. IMU는 실제 센서들로 구성된 측정 장치이며 RFID Manager, Initialize Module, Location Calculation Module은 OSGi 프레임워크 상에서 구동 되는 번들 들이다. IMU에서 측정된 RFID Tag ID 데이터는 RFID Position Manager로 전송되고 Manager에서는 전달받은 Tag ID를 위치를 알고 있는 Tag 목록에서 검색하여 위치정보를 찾아 Initialize Module을 통해 위치를 초기화 한다. IMU에서 측정된 관성 센서 데이터는 Location Calculation Module로 전송되어 초기화된 위치를 기반으로 하여 사용자의 위치를 계산하고 이를 다시 현재 위치로 저장한다.

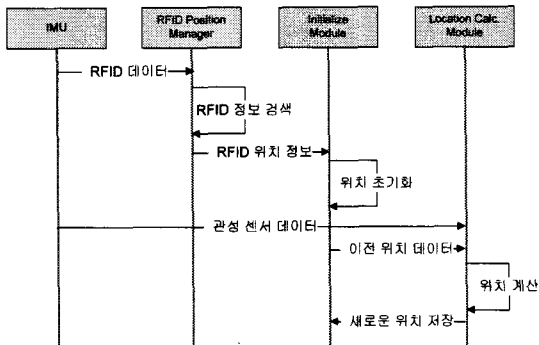


그림 3. 시스템 동작 과정

5. 실험

본 논문에서 제안한 사용자 위치 추정 시스템을 실험하기 위하여 스마트 홈 공간을 구성하고 실험을 수행한다. 실험을 위해 구성된 환경은 실제 하드웨어로 구성된 IMU와 OSGi 프레임워크 상에서 동작하는 번들로 구성된다. IMU를 구성하는 하드웨어와 OSGi 프레임워크의 소프트웨어 구성은 다음의 표와 같다.

표 1. IMU 하드웨어 구성

CPU	Atmel mega128 16Mhz
가속도계	Freescale MMA 7260Q
각속도계	Murata ENV05G
RFID Reader	Sirit Infinity 210
RFID Tag	900Mhz Gen 2 Tag
통신 모듈	Chipcon CC2420

표 2. 소프트웨어 구성

OSGi Framework	Knopflerfish 2.0.1
Java	Java 1.6.0
Operating System	Windows XP

실험은 그림 4와 같이 이동객체가 현관문을 통해 실내 공간에 진입하여 RFID Tag를 통하여 초기위치를 설정한 후 이동하면서 가속도와 각속도 데이터 및 Tag의 ID를 수집하여 위치 서버로 수집된 데이터를 전송한다. 위치 서버는 수집된 데이터를 기반으로 RFID를 사용한 보정 기법을 사용한 경우와 사용하지 않았을 경우의 위치를 계산하고 오차율을 측정한다. 그림 5에서는 OSGi상에서 각 번들이 데이터를 수집하고 동작 하는 모습을 보인다.

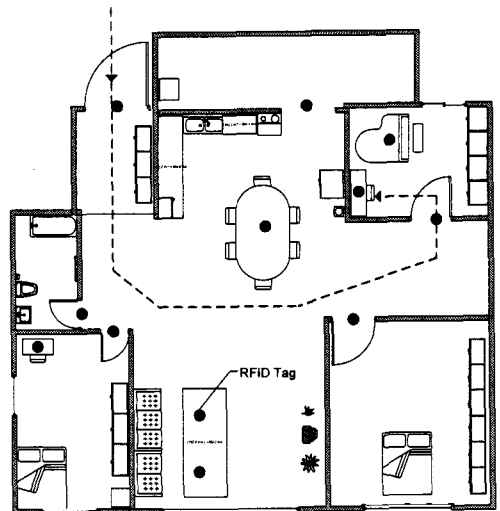


그림 4. 실험 공간

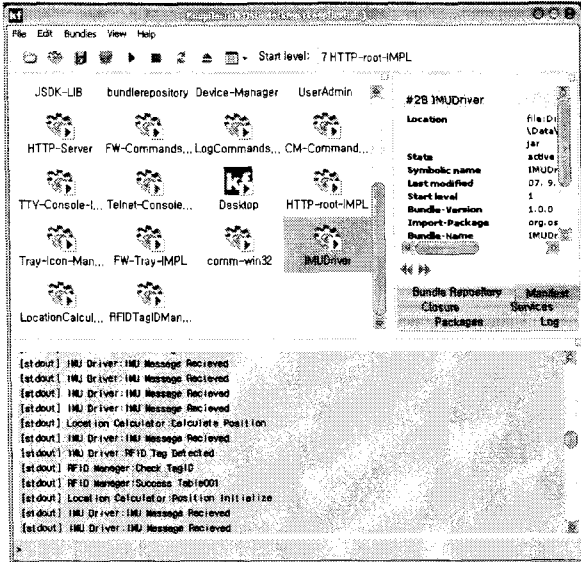


그림 5. 데이터 수집 화면

6. 결론

스마트 홈 환경에서 사용자가 언제 어디서든 사용자의 상황에 적합한 서비스를 제공 받기 위해서는 사용자의 위치 추정이 무엇보다 중요하다. 현재 연구된 시스템들은 위치 추정에 사용되는 센서의 특성과 방법에 의해 위치 추정의 오차가 크며 초기 투자비용이 많은 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 각종 기기간의 상호 운용성을 위하여 OSGi 프레임워크 상에서 동작하는 위치 추정시스템을 설계 하였다. 임베디드 시스템 기술을 통하여 관성 측정 장치를 제작하여 사용자에게 부착 하였다. 사용자의 위치를 계산하는 서버는 제작 및 배포의 편의를 위하여 번들 형태로 제작하여 OSGi 프레임워크 상에서 구동 하였다. 특히 RFID를 관성 위치 추정의 초기화와 보정에 사용하여 오차가 누적되어 발생하는 관성 측정 위치 시스템의 문제점을 해결 하였다.

본 시스템은 적은 비용으로 비교적 정확히 사용자의 위치를 추정하는 시스템이다. 하지만 관성 센서의 반응 속도, 샘플링 주기 등의 이유로 짧은 시간에 매우 다양한 움직임을 보이는 경우에는 오차율이 급격히 상승하게 된다. 따라서 향후 연구에는 짧은 시간에 상태가 다양하게 변하더라도 이에 대응하여 오차 발생을 줄일 수 있는 새로운 필터의 설계가 필요하다. 또한 관성 측정 장치에 사용된 관성 센서 및 RFID Reader를 통해 응급 상황인지, 사용자의 자세 파악, 운동량 측정 등에 활용하여 헬스케어(Health Care)등의 서비스를 적용할 예정이다.

참고문헌

[1] Per Enge, Todd Walter, Sam Pullen, Changdon

Kee, Yi-Chung Chao, and Yeou-Jyh Tsai, "Wide Area Augmentation of the Global Positioning System," In Proceedings of the IEEE, number 8 in 84, 1996.

[2] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, "The Cricket Location-Support system," Proc. 6th ACM MOBICOM, Boston, MA, 2000.

[3] Robert J. Orr, Gregory D. Abowd , "The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking," GUV Technical Report, GIT-GUV-00-02, 2000.

[4] 박찬국, "관성항법시스템의 원리 및 전망," 전자공학회지, 제26권, 제4호, pp. 59~66, 1999.

[5] 박명훈, 심현민, 이응혁, 홍승홍, "관성센서를 이용한 노약자의 개인항법시스템의 설계 및 구현," 대한전자공학회, 하계종합학술대회, 제27권 1호, pp. 1245~1248, 2004.

[6] 차맹규, 장효욱, 유기윤, 김용일, "전파식별 센서네트워킹(RFID / USN)를 이용한 GIS 응용기술 활용방안 연구 - 쇼핑카드(SmartCart)를 이용한 실내위치인식을 중심으로 -, " 한국GIS학회, 추계학술대회, pp. 15~25, 2005.

[7] 이승근, 김인태, 김태간, 이경모, 임기욱, 이정현, "OSGi 기반 이동 에이전트 관리 시스템 설계," 대한전자공학회, 전자공학회 논문지, 제42권, 5호, pp. 41~48, 2005.