

2.4GHz 채널을 이용한 실내 위치 인식 시스템

정경권^{*} · 최정연^{**} · 정성부^{***} · 박진우^{**} · 엄기환^{**}

^{*}한림대학교 전자공학과

^{**}동국해양대학교 전자공학과

^{***}서일대학 전자공학과

Indoor Location Tracking System using 2.4GHz Wireless Channel Model

Kyung Kwon Jung^{*} · Jung Yeon Choi^{**} · Sung Boo Chung^{***} · Jin Woo Park^{**} · Ki Hwan Eom^{**}

^{*}Hallym University

^{**}Dongguk University

^{***}Seoil College

E-mail : kkjung@hallym.ac.kr

요 약

최근 무선 센서 네트워크의 실내 응용분야에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 RSSI 기반의 실내 환경의 위치 인식 시스템을 제안한다. 거리와 RSSI의 관계를 검증하기 위하여 log-normal path loss 모델을 사용하고, 태그를 부착한 사용자와 고정 위치의 다수의 노드를 배치하여 사용자의 위치를 결정한다. RSSI 정보를 베이스 스테이션에서는 저장하고, 계산한다. 유클리드 거리 방법을 이용하여 실시간으로 사용자의 위치를 계산한다. 실험을 통해서 제안한 시스템의 위치 인식 정확도를 확인한다.

ABSTRACT

In recent years there has been growing interest in wireless sensor networks (WSNs) for a variety of indoor applications. In this paper, we present the RSSI-based localization in indoor environments. In order to evaluate the relationship between distance and RSSI, the log-normal path loss shadowing model is used. By tagging users with a sensor node and deploying a number of nodes at fixed position in the building, the RSSI can be used to determine the position of tagged user. This system operates by recording and processing signal strength information at the base stations. It combines Euclidean distance technique with signal strength matrix obtained during real-time measurement to determine the location of user. The experimental results presented the ability of this system to estimate user's location with a accuracy.

키워드

Location tracking, Sensor network, RSSI, log-normal path loss channel model

1. 서 론

최근 무선통신과 전자공학의 발전은 무선통신 관리와 연산능력을 할 수 있는 마이크로 센서 의 개발을 가능하게 했다. 현재 인간과 컴퓨터와 사 물이 유기적으로 연계되어 다양하고 편리한 새로 운 서비스를 제공해 주는 유비쿼터스 컴퓨팅 환

경에서 인간 외부 환경의 감지와 제어 기능을 수 행하는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 기술이 최근 활발히 연구되고 있다. 많은 수의 센서를 사 용하여 밀집한 지역에 조밀하게 배치된 무선 센 서 네트워크를 형성하여 헬스, 군사, 홈 네트워 크, 환경감시(공기, 물, 토양), 공장관리, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용될 수 있다. 현재

가장 대표적인 위치탐지 시스템으로는 GPS가 있다. 그러나 GPS는 건물 내부에서 사용될 수 없는 단점을 가지고 있다. 센서 네트워크에서 각 센서(노드)의 위치를 수동으로 설정하는 것은 불가능하다. 그렇다고 모든 센서에 GPS를 설치하는 것도 또한 불가능하다. 우리는 센서 노드가 탐지한 데이터를 처리하기 위해서는 센서 노드의 위치를 알아야만 한다. 센서 네트워크에서 각 노드의 정확한 위치를 측정하는 기술은 사건탐지(Event detection)뿐만 아니라 위치기반계산(Location-dependent computing), 지리 적인 라우팅(Geographic routing), 커버리지 트래킹(Coverage and tracking) 등과 같은 효율적인 네트워크 구축을 위해 사용된다. 더욱이 위치추정기술은 센서 위치 정보를 필요로 하는 각종 서비스 응용 분야와 위치정보를 이용한 각종 콘텐츠 개발에 널리 이용되고 있다[1-2].

본 논문에서는 기준노드와 이동노드를 이용한 실내 위치인식 시스템을 제안한다. 제안한 방식은 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 실내 환경에서의 log-normal path loss 모델을 구하고, 수신된 이동노드의 신호로부터 위치를 계산한다. 고정 노드를 설치하고, 위치 추적 실험을 통해서 유용성을 확인한다.

II. 센서 네트워크 하드웨어 구성

제안한 시스템은 실내에서 사용자의 위치를 추적하기 위해서 그림 1과 같은 목걸이형 태그를 설계하였다. 플라스틱 케이스에 무선 센서 노드를 포함한 구조이며, 센서 노드는 Kmote를 사용한다 [3]. 센서 노드를 구동하기 위한 배터리는 소형 리튬-폴리머 배터리를 사용한다. 리튬-폴리머 배터리는 3.7V 동작 전압으로 500mAh의 전류를 공급할 수 있다.

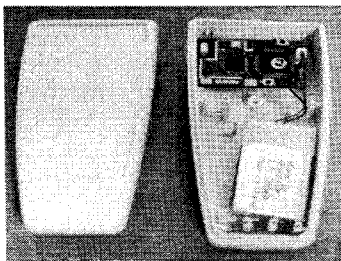


그림 1. 센서 네트워크 태그

위치인식에 사용한 무선 센서 노드인 Kmote는 그림 2와 같다. Kmote는 TelosB 플랫폼을 기반으로 한 모델로, TI의 MSP430 마이크로컨트롤러를 사용하며, CC2420 RF 칩을 사용한다. IEEE802.15.4와 호환되며, TinyOS 1.x와 2.x 버전을 지원한다[4].

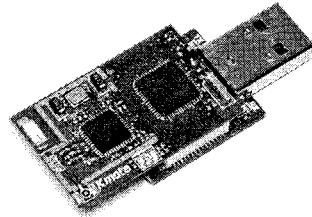


그림 2. Kmote 모듈

Kmote를 기반으로 하여 실내에 고정할 센서 노드는 그림 3과 같다. 1.5V AA 사이즈 건전지를 연결할 수 있는 구성으로 되어 있으며, PIR (Pyroelectric Infrared Motion Sensor) 센서가 연결되어 동작하는 방식이다. 본 논문에서는 위치인식을 위한 무선 통신 기능만을 사용한다.

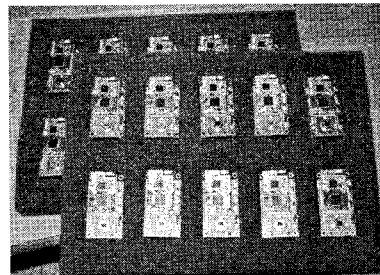


그림 3. 고정 노드

III. RSSI를 이용한 위치인식

무선논문에서는 위치 계산을 위해서 고정 노드가 수신한 RSSI를 이용하여 삼각측량을 실행한다. 그림 4와 같이 고정 노드 $N_i(x_i, y_i)$ 의 좌표 x_i, y_i 로부터 이동노드 $O(x_o, y_o)$ 를 계산한다.

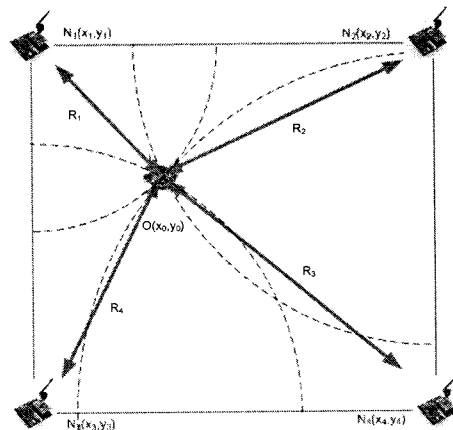


그림 4. 위치 계산

n 개의 노드에서 수신된 RSSI 정보를 거리로 환산하여 식(1), 식(2)와 같은 시스템 방정식을 구성하여 해를 구한다.

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = R_i^2 \quad (1)$$

$$2 \begin{bmatrix} x_n - x_1 & y_n - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n - x_{n-1} & y_n - y_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_1^2 - R_n^2) - (x_1^2 - x_n^2) - (y_1^2 - y_n^2) \\ \vdots \\ (R_{n-1}^2 - R_n^2) - (x_{n-1}^2 - x_n^2) - (y_{n-1}^2 - y_n^2) \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 i 는 기준 노드의 개수로 $i=1,2,3,\dots,n$ 개이다. R_i 는 측정된 RSSI 값으로부터 거리로 변환하게 된다.

식(2)를 다음과 같은 선형 방정식으로 표현하고, MSE(Mean Square Error)가 최소가 되는 해를 구한다.

$$Ax = b \quad (3)$$

$$\|Ax - b\|^2 = (Ax - b)^T (Ax - b) = x^T A^T Ax - 2x^T A^T b + b^T b \quad (4)$$

$$A^T Ax = A^T b \quad (5)$$

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (6)$$

IV. 무선 채널 모델링

주변 환경의 변화에 따른 채널의 분석은 다양한 주변 환경을 정의하여 실험 결과를 분석한다. 이전의 다양한 논문에서 측정 공간의 건물 배치 상태에 따라 다양한 환경에서 송·수신단 간의 거리에 따라 0 ~ 1dBm의 전력으로 신호를 전송하고 수신 전력을 측정하여 거리에 따른 신호 강도의 손실을 분석하였다. 송·수신단의 거리에 따른 신호 세기의 감쇄에 대한 분석은 log-normal path loss 방식을 이용한다. 송·수신단의 거리가 증가함에 따라 신호의 세기는 지수적으로 감소하게 되며 이를 모델링 하여 무선 채널을 분석할 수 있다.

Path loss는 식(7)과 같이 거리가 증가함에 따라 지수적으로 증가하는 특징을 가지고 있다.

$$PL(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (7)$$

PL 은 path loss이고, n 은 path loss exponent로 거리 송신기와 수신기 사이의 거리 d 가 증가함에 따라 얼마나 빠르게 증가하는지를 나타내는 척도이다. d_0 는 기준 거리(reference distance)이다.

Log-normal path loss 모델은 식(8)과 같다[5].

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (8)$$

여기서 $PL(d_0)$ 는 기준 거리 1m에서의 path loss이고, X_σ 는 표준 편차가 σ 인 가우시안 분포의 랜덤 변수이다.

실내 환경에서 무선 센서 노드의 전송 전력을 측정하기 위하여 Kmote로 그림 5와 같은 실험 환경을 구축하였고, 건물 복도에서 거리를 변화시키면서 전송 전력을 측정하였다. 센서 노드의 송신 전력은 무선 모듈이 최대 출력할 수 있는 전력인 0dBm(1mW)으로 설정하였다.

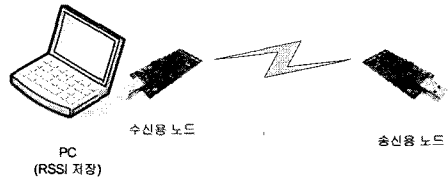


그림 5. RSSI 측정

측정한 RSSI 데이터로부터 구한 log-normal path loss 모델은 그림 6과 같고, log-normal path loss 모델의 파라미터는 표 1과 같다.

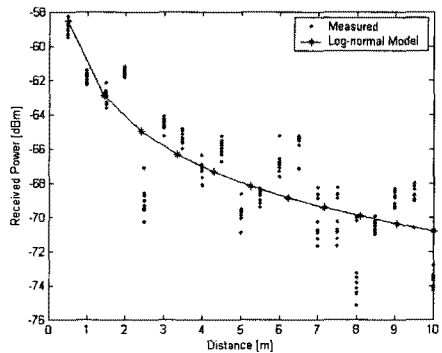


그림 6. Log-normal path loss 모델

표 1. Log-normal path loss 모델 파라미터

$PL(d_0)$	n	X_σ
-61.903	0.8329	0.7924

RSSI를 이용한 채널 모델링을 이용하여 노드간 통신 범위를 구하기 위해 우선 두 센서 노드 사이에 패킷이 수신될 확률(PRR)을 계산한다.

패킷이 수신될 확률을 P 라 하면

$$P = (1 - P_e)^{f_b} \quad (10)$$

이고, 여기서 f_b 는 preamble, payload, CRC로 구성된 프레임 사이즈로 비트단위이다. P_e 는 비트에러 확률(BER)이다.

RF 모듈이 O-QPSK (Offset-Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식을 사용한다.

표 1의 2.4GHz 채널 모델을 이용하여 패킷이 수신될 확률 P 를 구하면 거리가 20m이다. 여기서 이동 노드가 보내는 신호를 3개 이상의 고정 노드가 받게 하기 위해서 고정 노드 사이의 거리를 10m로 설정한다.

V. 실험 및 검토

본 논문에서는 그림 7과 같은 약 4,800m²의 면적을 가진 건물에서의 센서 배치를 고려한다. 이동 노드의 위치 추적을 위해서 같이 x-축 방향으로 이동하면서 5번의 실험을 진행하였다. 실험 조건은 1초동안 1m를 움직인 후 1초동안 정지하여 무선 데이터를 전송하는 방식으로 (20,20)에서부터 (70,20)의 위치로 이동하며 데이터를 수집한 후 거리를 계산하였다.

복도에 10m간격으로 22개의 고정 노드를 설치하였다.

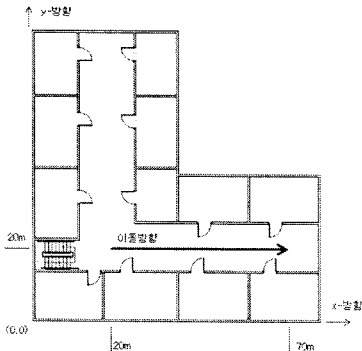


그림 7. 이동경로

수신한 데이터에서 Payload 부분을 분리하여 이동노드의 ID와 RSSI를 이용하여 제안한 위치계산식으로 이동노드의 위치를 계산한다.

그림 8은 x-축의 이동 결과이고, 9는 y-축 이동 결과이다. 5번 실험에 대한 위치 계산값을 오차 그래프로 나타내었다.

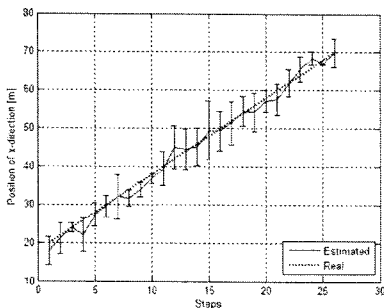


그림 8. x축 방향 실험 결과

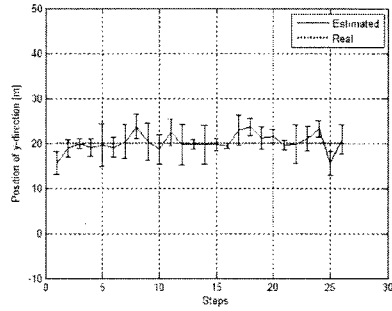


그림 9. y축 방향 실험 결과

VI. 결론

본 논문에서는 위치 확인을 위해서 고정된 위치에 센서 노드를 설치하고 이동 노드로부터 RSSI를 측정하여 실내에서의 이동 위치를 계산하였다. 고정 노드의 배치를 위해서 무선 채널의 log-normal path loss 모델을 구하고, 통신 가능 거리를 계산하였다. 대학 기숙사 건물에서 실험한 결과 위치 오차는 최대 약 3.7m의 오차를 얻었다.

향후 위치 인식 오차를 줄이기 위한 방법의 연구와 저전력 구동의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of Sensor Networks," IEEE Computer, vol. 37, no. 8, pp.41-49, Aug. 2004.
- [2] 박옥선, 정광렬, 김성희, "유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 기술 및 시스템," ETRI 주간기술동향 1098호, 2003년 6월
- [3] TinyOS Mall, <http://www.tinyosmall.co.kr>
- [4] TinyOS, <http://www.tinyos.net>
- [5] Bernard Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 2001.
- [6] Leon W. Couch, Digital and Analog Communication Systems, Prentice Hall, 2001.