
LVQ를 이용한 무선 센서 네트워크의 실내 위치 인식

박진우* · 정경권** · 엄기환**

Indoor Localization in Wireless Sensor Network using LVQ

Jin Woo Park* · Kyung Kwon Jung** · Ki Hwan Eom**

요 약

본 논문에서는 LVQ(Learning Vector Quantization) 네트워크를 이용한 수신 신호 세기(Received Signal Strength Indication) 기반 실내 위치 인식 시스템을 제안하였다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 실험을 수행하였고, 일반적인 삼각측량 방법과 비교하였다. 실험실을 40개의 영역으로 나누고 6개의 고정 노드를 설치하였다. 무선 채널의 대수-정규 경로 손실 모델을 구성하고, 수신 신호 강도를 거리로 변환하였다. 변환한 정보를 LVQ의 입력으로 사용하였다. LVQ 네트워크의 학습을 위해 영역의 인덱스를 목표값으로 설정하였다. 실험을 통해서 최적의 서브클래스 개수를 결정하였고, LVQ 네트워크의 훈련을 통해서 96%, 테스트를 통해서 91%의 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposed indoor location recognition method based on RSSI(received signal strength indication) using the LVQ network. In order to verify the effectiveness of the proposed method, we performed experiments, and then compared to the conventional triangularity measurement method. In the experiments, we set up the system to the laboratory, divided the 40 section, and installed 6 nodes as a reference node. We obtained the log-normal path loss model of wireless channels, RSSI converted into the distance. The distance values used as the input of LVQ. To learn the LVQ network, we set the target values as section indices. In the experiments, we determined the optimal number of subclass, and confirmed that the success rate of training phase was 96%, test phase was 91%.

키워드

무선 센서 네트워크, 실내 위치 인식, 수신신호강도, 신경회로망, LVQ

Key word

Wireless sensor networks, Indoor localization, Received signal strength, Neural networks, LVQ

* 서울교통방송

** 동국대학교 (교신저자, kihwanum@dongguk.edu)

접수일자 : 2010. 03. 25

심사완료일자 : 2010. 04. 22

I. 서 론

최근 네트워크 및 통신의 발달과 컴퓨팅 기술의 발달로 유비쿼터스 센서 네트워크를 활용하는 응용 서비스가 급속히 확대되어 가고 있다. 유비쿼터스란 누구든지 언제, 어디서나, 어느 기기를 이용하더라도, 어떠한 정보에 대해서도, 공유가 가능한 정보통신 컴퓨팅 환경을 의미한다[1-3]. 유비쿼터스 센서 네트워크는 눈에 보이는 모든 사물에 아주 작은 마이크로프로세서 또는 센서 모듈을 넣어 사물과 사물이 무선으로 통신하고 인간과 사물이 통신할 수 있는 것을 말한다[4-5].

유비쿼터스 환경 하에서 위치 정보는 사용자나 사물들의 상황 정보를 이해하고 해석하기 위한 하나의 핵심 수단이며, 이를 바탕으로 사용자가 미처 깨닫지 못한 상황 정보들을 인지하고 이에 적절한 정보 제공으로 대응하기 위한 정보이다. 이러한 위치 정보는 생태 및 환경 모니터링, 사물의 위치 추적 및 감시, 재난 방지 및 모니터링 등 다양한 응용에 이용될 수 있다. 따라서 이러한 응용의 구현을 위하여 중요하게 고려되어야 할 부분이 각 사물의 위치를 판단하는 위치 인식 기술이며 이러한 서비스를 제공하기 위한 연구가 진행되고 있다 [3-5].

위치인식 서비스의 적용 범위에 따라 위치를 인식하는 GPS(Global Positioning System) 위성, 이동통신망, 초단거리 통신기술 등을 이용한 기술 방식들로 나눌 수 있으며, 각 방법들은 광역적인 위치인식방법, 준 광역적인 위치인식방법, 지역적인 위치인식 방법으로 분류할 수 있다[4,7-8]. 광역적인 위치 인식 방법은 가장 광범위한 위치 인식 가능 영역을 제공하며 GPS위성을 이용한 방법이 대표적인 예이다. 준 광역적인 위치인식 방법은 이동 통신망을 이용하여 단말기 혹은 사용자의 위치를 추정하는 방법으로 교통정보 제공을 목적으로 시작된 기술이다. 지역적인 위치인식 방법은 적외선, 초음파, RF, UWB, ZigBee, RFID, 그리고 WLAN 등과 같은 무선 통신 기술을 사용한다. 대부분 이 기술들은 건물 및 실내 제한된 공간 환경에서 거리에 따른 전파 수신 신호 세기 정보(RSSI)를 기반으로 위치 인식을 하고 있다.

이러한 RSSI 기반 위치 인식은 별도의 장치 없이 RF의 세기만으로 위치를 인식할 수 있어 가장 많이 연구

되고 있는 방법이다[7-8]. 적외선이나 초음파를 이용한 위치 인식의 경우 신호의 특성상 가시거리 내에서만 사용이 가능하며, 적외선의 경우 태양광이 비치는 장소에 사용이 불가능하며 초음파의 경우 고가의 인프라 설치 비용이 소요되는 문제가 있다. RFID를 이용한 위치 인식의 경우는 저렴한 가격에 비해 태그와 리더기의 근접 조건이 만족해야 인식이 가능한 점이 지적되고 있다. WLAN을 이용한 위치 인식 기술은 실내에 구축된 인프라를 이용함으로써 구축 비용 감소와 함께 다양한 곳에서 적용이 가능한 장점이 있다. 하지만 WLAN 신호 세기가 주위 환경적인 요인에 의해 다양한 문제점이 지적되어 정확한 위치인식에 어려운 문제점을 가지고 있다[7-8].

본 논문에서는 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 주요 기술 중 하나인 위치인식 기술을 유비쿼터스 컴퓨팅에 보다 효율적으로 이용하고자 모든 물리공간에 보이지 않는 컴퓨터를 집어넣어 모든 사물과 대상이 지능화되고 전자공간에 연결되어 서로 정보를 주고받는 공간을 만드는 개념으로 기존 홈네트워킹, 모바일 컴퓨팅보다 한 단계 발전된 컴퓨팅의 실질적인 응용의 예를 제시하고 지능적인 위치인식 방법을 제안한다.

제안한 방식은 위치를 알고 있는 고정 센서 노드로부터 각 구역의 수신 신호 세기를 측정하고, 구역별 목표값을 설정하여 측정된 데이터로부터 혼합형 신경회로망인 LVQ를 학습시켜 위치를 인식한다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 실험을 통하여 기존의 삼각측량법을 이용한 방식과 비교 검토한다.

II. RSSI를 이용한 위치인식

본 논문에서는 제안한 방식과의 비교를 위해 고정노드가 수신한 수신 신호 세기를 이용하여 삼각측량을 실행한다[4].

그림 1과 같이 고정노드 N_i 의 좌표 x_i, y_i 로부터 이동노드 $O(x_o, y_o)$ 를 계산한다.

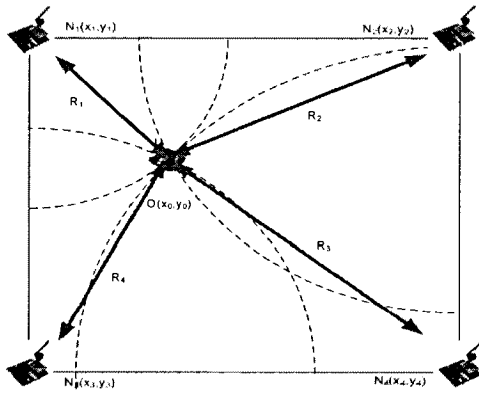


그림 1. 위치 계산
Fig. 1 Location computing

고정 노드에서 수신된 수신 신호 세기 정보를 거리로 환산하여 식(1), 식(2)와 같은 시스템 방정식을 구성하여 해를 구한다.

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

$$2 \begin{bmatrix} x_n - x_1 & y_n - y_1 \\ x_n - x_2 & y_n - y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_n - x_{n-1} & y_n - y_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_1^2 - R_n^2) - (x_1^2 - x_n^2) - (y_1^2 - y_n^2) \\ (R_2^2 - R_n^2) - (x_2^2 - x_n^2) - (y_2^2 - y_n^2) \\ \vdots \\ (R_{n-1}^2 - R_n^2) - (x_{n-1}^2 - x_n^2) - (y_{n-1}^2 - y_n^2) \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 i 는 기준 노드의 개수로 $i=1,2,3,\dots,n$ 개이다. R_i 는 채널 모델을 이용하여 수신 신호 세기를 거리로 환산한 값이다.

식(2)를 다음과 같은 선형 방정식으로 표현하고, 평균 제곱오차(Mean Square Error)가 최소가 되는 해를 구하면, 그 해가 이동노드의 위치이다.

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

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

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

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

수신 신호 세기를 거리로 환산하기 위해 대수-정규 경로 손실 모델(log-normal path loss model)방식을 이용한다. 대수-정규 경로 손실 모델은 식(7)과 같다[5].

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (7)$$

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

실내 환경에서의 대수-정규 경로 손실(log-normal path loss) 모델의 파라미터를 구하기 위해 송신 기능을 하는 센서 노드에서 일정한 전력으로 신호를 보내고, 수신기능을 하는 센서 노드를 통해 2.4 GHz 신호의 수신 전력을 측정한다.

수신된 전력은 식(8)과 같이 나타낼 수 있고, 식(7)에서의 파라미터 n 과 X_σ 를 구한다.

$$P_r [dBm] = P_t [dBm] - PL(d) [dB] \quad (8)$$

여기서 P_r 은 수신 전력이고, P_t 는 송신 전력이다.

실내 환경에서 무선 센서 노드의 전송 전력을 측정하기 위하여 Kmote로 그림 2와 같은 실험 환경을 구축하였고, 건물 복도에서 거리를 변화시키면서 전송 전력을 측정하였다. 센서 노드의 송신 전력은 무선 모듈이 최대 출력할 수 있는 전력인 0dBm으로 설정하였다.

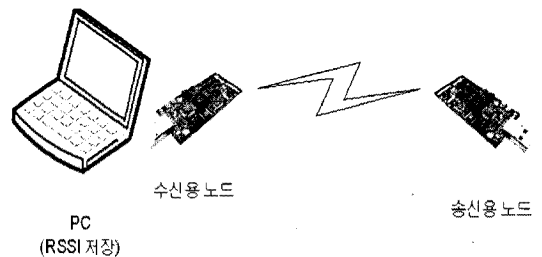


그림 2. RSSI 측정 시스템
Fig. 2 RSSI measurement system

실험을 통해 구해진 log-normal path loss 모델은 그림 3과 같고, log-normal path loss 모델의 파라미터는 표 1과 같다.

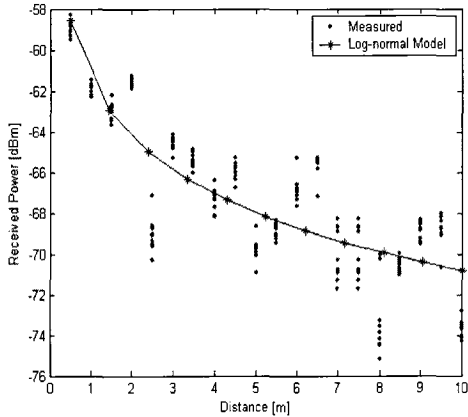


그림 3. 대수-정규 경로 손실 모델
Fig. 3 Log-normal path loss model

표 1. 대수-정규 경로 손실 모델 파라미터
Table 1. Log-normal path loss model parameters

Path loss at 1m , $PL(d_0)$ [dBm]	Path loss exponent n	Random variable X_σ
-61.903	0.8329	0.7924

III. 제안한 방식

Kohonen이 제안한 LVQ 알고리즘은 클래스를 잘 구분할 수 있도록 경계를 형성하는 것이 목적이다. Kohonen은 LVQ를 SOFM(Self-Organizing Feature Map)에 분류 성능을 향상시키기 위해 제안하였으나, 단독으로 그림 4와 같은 LVQ 경쟁 신경회로망으로 사용된다[6].

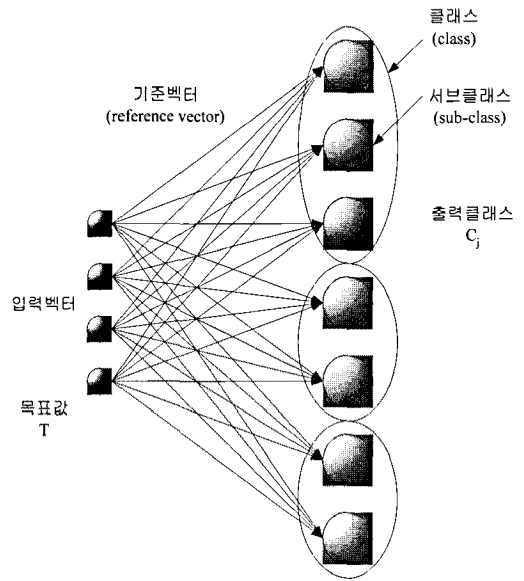


그림 4. LVQ 네트워크의 구조
Fig. 4 LVQ network structure

LVQ는 잘못 분류된 출력 뉴런의 가중치 벡터에 대해 서 결정 경계의 반대 방향으로 밀어냄으로써 분류 성능을 향상시키는 방법이다. 입력 벡터 x 에 대해서 승리 뉴런이 i 이고 그 기준 벡터를 $v_i(t)$ 라고 할 때, 입력 벡터 x 와 출력 뉴런 i 의 클래스가 같은 경우에는 식(9)에 의해 기준 벡터를 조정한다.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \alpha(t) \cdot (x - v_i(t)) \tag{9}$$

입력 벡터 i 와 출력 뉴런 i 의 클래스가 다른 경우에는 식(10)과 같이 조정된다.

$$v_i(t+1) = v_i(t) - \alpha(t) \cdot (x - v_i(t)) \tag{10}$$

승리 뉴런 i 를 제외한 모든 출력 뉴런의 가중치 벡터는 갱신되지 않으며, 식(11)과 같다. $\alpha(t)$ 는 학습률이 다[6].

$$v_j(t+1) = v_j(t) \text{ for } j \neq i \tag{11}$$

학습에 필요한 목표값은 그림 4와 같이 1m 간격으로 40개의 위치 인덱스를 결정한다. n 개의 노드에서 수신된 수신 신호 세기 정보를 거리로 환산하여 LVQ의 입력 패턴으로 사용한다. 그림 5에서 고정노드는 (O)에 6개를 위치시키고, 40개의 위치에서 수신 신호 세기를 측정한 후 LVQ의 입력으로 사용한다.

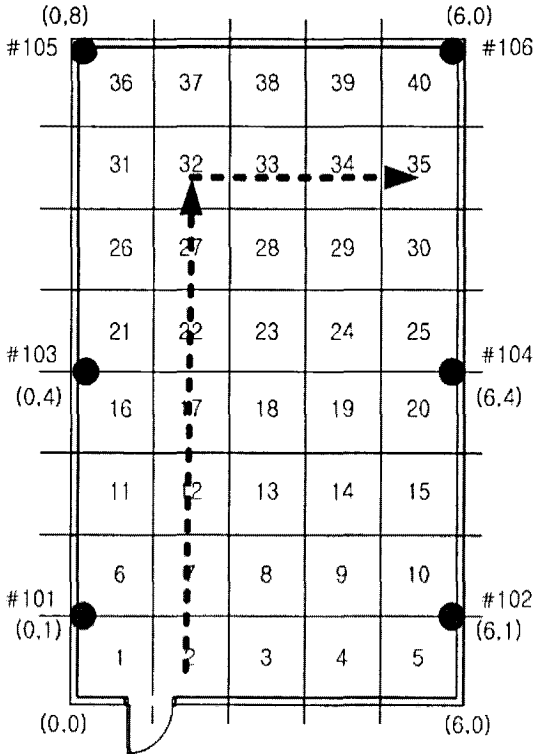


그림 5. 목표값
Fig. 5 Target values

IV. 실험 및 검토

4-1. 센서 노드

TinyOS 2.x를 이용하여 프로그래밍 가능한 Knode로 구성된 센서 노드는 그림 6과 같다. 고정노드는 1.5V AA 사이즈 건전지를 연결할 수 있고, 이동노드는 휴대형으로 리튬-폴리머 배터리를 사용한다[7-8].

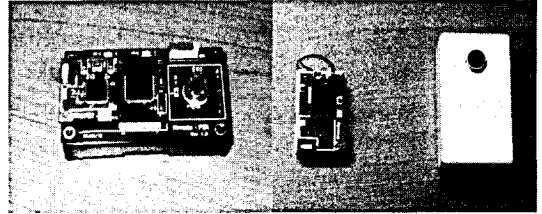


그림 6. 고정노드와 이동노드
Fig. 6 Reference nodes and moving node.

수신한 패킷에서 데이터 부분을 분리하여 이동노드의 ID와 수신 신호 세기를 이용하여 이동노드의 위치를 계산하며, LVQ 네트워크를 이용하여 학습을 진행하였다.

각 노드는 표 2와 같은 데이터 패킷을 사용한다.

표 2. 데이터 구성
Table 2. Data format

	내용	크기 (byte)
D a t a	Version	2
	Counter	2
	Node_ID	2
	Flag	2
	Mobile_ID	2
	RSS	2
	Sequence counter	2
	Unused	2

Version과 Counter, 내부용으로 사용하는 필드이고, 나머지 부분은 패킷이 싱크노드인 최종 PC까지 도달했을 때 위치인식에 사용되는 부분이다.

Node_ID는 현재 데이터 패킷을 수신한 노드의 ID이고, Flag는 고정노드가 패킷을 수신했을 때, RSSI를 측정할 것인지 멀티홉(multihop)을 통해서 싱크노드로 전달할 것인지 판단하는데 사용된다. Mobile_ID는 이동노드의 ID가 들어있는 부분이다. RSSI는 CC2420의 RSSI_VAL 레지스터 값을 읽어서 저장하는 부분으로 이동노드가 태그가 신호를 보내면 고정노드가 패킷을 수신했을 때의 수신 신호 세기를 측정하여 저장한다. Sequence_counter는 이동노드가 보내는 데이터 패킷의 인덱스로 어떤 고정노드가 데이터를 받아서 멀티홉으

로 싱크노드에 전달하던지 이 Sequence_counter가 동일한 패킷을 이용해서 위치계산을 실행한다. Unused는 향후 센서 측정 등을 위해서 비워둔 필드이다.

이동노드는 TinyOS의 AMSender 인터페이스로 패킷을 보내고, 고정노드는 이동노드가 보내는 패킷을 AMReceiver 인터페이스로 받아서 수신 신호 세기를 측정한다. 고정노드는 이 패킷을 멀티홉으로 전송한다.

4.2. 위치 인식 실험

수신한 데이터에서 이동노드의 ID와 수신 신호 세기를 이용하여 3장의 위치계산식으로 이동노드의 위치를 계산하며, 3장에서 구성한 LVQ 네트워크를 이용하여 학습을 진행하였다. 40개 구역마다 같은 자리에서 10번 전파를 송신하여 학습용 입력패턴을 구성하였다. 학습률은 0.9에서 학습에 따라 감소하도록 설정하였으며, 학습회수는 1000번으로 하였다.

서브클래스의 수는 실험을 통해서 최적의 값으로 설정하였다. 표 3은 서브클래스에 따른 오차율을 나타내고, 서브클래스 개수의 증가에 따라 성능이 개선되지 않았기 때문에 최적의 개수로 4개를 선택하였다.

표 3. 서브클래스 개수에 따른 오차율
Table 3. Error rate for subclass numbers

서브클래스의 수	오차개수	오차율[%]
1	36	9
2	29	7.25
3	21	5.25
4	16	4
5	16	4
6	16	4

학습이 종료된 후 그림 5의 목표값에서 점선과 같이 이동하였을 때 위치 인식 실험을 수행하였다. 학습방법과 같이 이동 자리에서 10번의 신호를 송신하였다.

표 4는 기존의 수신 신호 세기를 측정하고 그 값을 거리로 환산한 후 삼각측량 방식으로 10번 측정된 수신 신호 세기를 이용하여 평균값을 계산한 것이다. 그림 7은 삼각측량 방식의 이동 경로에 대한 결과이다. 빨강 실선은 실제 이동 경로이고, 파랑 실선은 삼각측량으로 계산

한 이동 경로이다.

표 4. 삼각측량 방식의 실험 결과
Table 4. Experimental results of triangular method

이동 경로 위치 (x[m], y[m])	인식 결과 위치 (x[m], y[m])
(1.5, 0.5)	(1.0674, 0.3133)
(1.5, 1.5)	(-0.1656, 2.2258)
(1.5, 2.5)	(1.6253, 1.9117)
(1.5, 3.5)	(1.7877, 5.6832)
(1.5, 4.5)	(0.3535, 4.3636)
(1.5, 5.5)	(2.6909, 5.6139)
(1.5, 6.5)	(2.6892, 7.5668)
(2.5, 6.5)	(2.4624, 6.5593)
(3.5, 6.5)	(3.8273, 6.4044)
(4.5, 6.5)	(4.6746, 5.6677)

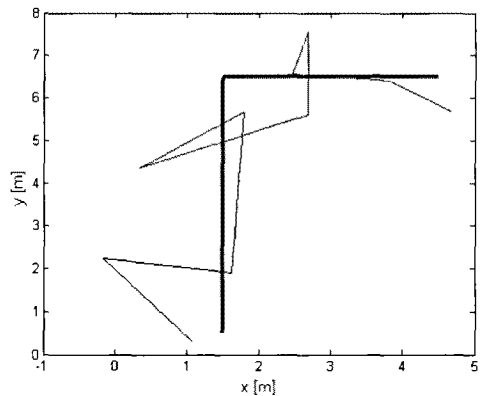


그림 7. 삼각측량 방식의 이동경로
Fig. 7. Moving path of triangularity measurement method

표 5는 제안한 방식의 위치 인식 결과이다. 기존의 삼각측량법에서는 위치를 계산하는 방식으로 실제 이동 위치와 최소 0.04m에서 최대 2.2m의 오차를 나타내었으나, 제안한 방식은 영역을 인식하는 방식으로 100회의 위치인식 실험에서 11회의 오차를 확인하였다.

표 5. 제안한 방식의 실험 결과
Table 5. Experimental result of proposed method

이동 경로 영역 위치	인식 결과 영역 위치 (출력회수)
2	2(9회), 17(1회)
7	7(7회), 22(3회)
12	12(10회)
17	17(10회)
22	17(8회), 22(2회)
27	27(7회), 32(3회)
32	32(10회)
33	33(10회)
34	34(10회)
35	35(10회)

V. 결론

본 논문에서는 실내 위치인식을 위해 RSSI를 기반으로 하는 LVQ 신경회로망을 이용한 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 센서 네트워크를 이용하여 고정 노드와 이동 노드를 구성하고, 이동 노드로부터 RSSI를 수신하여 LVQ를 학습한다. 무선 센서 노드 시스템은 이동 노드와 고정 노드 사이의 신호 강도를 이용하여 위치를 계산하는 방식으로, 2.4GHz 대역의 무선 센서 네트워크를 사용하였다.

제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 실험을 통하여 기존의 삼각측량법을 이용한 방식과 비교 검토하였다. 구현된 시스템은 대학원 연구실에 구역을 40개로 나누고, 고정 위치에 6개의 고정 노드를 설치하였다. 무선 채널의 대수-정규 경로 손실 모델을 구하고, 수신 신호강도를 거리로 환산하여 LVQ 입력으로 사용하였다.

실험을 통해 LVQ의 최적의 서브클래스를 결정하였고, 학습을 통해 목표값인 실제 이동위치에 대해서 96%의 인식 성공률을 확인하였다. 실험에서는 학습한 LVQ에 측정된 수신 신호 세기를 입력하여 91%의 위치 인식 성공률을 확인하였다.

본 논문에서는 기존의 수신 신호 세기를 이용한 삼각측량법은 측정된 수신 신호 세기의 편차에 따라 약 2m이 내의 오차범위를 보였으나 제안한 방식은 설정한 구역의 수신 신호 세기 패턴을 분류하여 위치를 결정하는 방식으로 1m 간격의 구역으로 정했을 경우 $\pm 0.5m$ 오차를 유지한다. 기존의 삼각측량법 방식보다 오차가 약 50% 정도 개선됨을 확인하였다.

참고문헌

- [1] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, 7(5):28-34, October 2000.
- [2] Paramvir Bahl and Venkta N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM 2000*, vol. 2, pp. 775-784, 2000.
- [3] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, Jonathan Gibbons, "The Active Badge Location System," *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 10, No.1, pp. 91-102, Jan. 1992.
- [4] M. Bertinato, G. Ortolan, F. Maran, R. Marcon, A. Marcassa, F. Zanella, M. Zambotto, L. Schenato, A. Cenedese, "RF localization and tracking of mobile nodes in wireless sensors networks: Architectures, algorithms and experiments," Technical report, University of Padova, 2008.
- [5] Bernard Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, 2001.
- [6] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*, Springer, 2001.
- [7] IenTech, <http://www.tinyosmall.co.kr>
- [8] TinyOS, <http://www.tinyos.net>

저자소개



박진우(Jin-Woo Park)

1995년 동국대학교 전자공학과
공학석사
2009년 동국대학교 전자공학과
공학박사

1995년~현재 서울 교통방송 뉴미디어국 팀장
※관심분야: 통신 시스템, 센서네트워크, 방송통신
융합



정경권(Kyung Kwon Jung)

1998년 동국대학교 전자공학과
공학사
2000년 동국대학교 전자공학과
공학석사

2003년 동국대학교 전자공학과 공학박사
2009년~현재 동국대학교 밀리미터파신기술연구센터
연구원
※관심분야: 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 신경
회로망



엄기환(Ki Hwan Eom)

1972년 동국대학교 전자공학과
학사 졸업
1986년 동국대학교 전자공학과
박사 졸업

1989~1990 Toho Univ. Post Doc.
2000~2001 Univ. of Canterbury Visiting Professor.
1994~현재 동국대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 통신전자제어