

무선 센서 네트워크를 위한 위치인식 알고리즘 성능개선 및 평가

한왕원*, 이승제*, 변영택*, 김영만*
*국민대학교 전자정보통신대학 컴퓨터공학부
e-mail : ykim@kookmin.ac.kr

Performance Evaluation of Improved Localization Algorithm for Wireless Sensor Network

WangWon Han*, SeungJae Lee*, YeongTaik Byeon*, YoungMan Kim*
*Communication Lab, School of Computer Science, Kookmin University

요 약

언제 어디서나 사람이나 사물과 같은 객체의 위치를 인식하고 이를 기반으로 유용한 서비스를 제공하는 유비쿼터스 위치기반 서비스가 중요한 응용 서비스로 대두되고 있다. 그러나 현재 무선 센서네트워크를 구성하는 노드들의 위치는 매우 유용한 정보로서 수많은 서비스에서 사용될 수 있기 때문에 다양한 형태의 위치인식 알고리즘이 고안되었다. 이러한 위치인식 알고리즘에는 Gradient, MLE[1], MDS[2], dwMDS[3] 등이 있다. 본 논문에서는 기존의 알고리즘에 대해 간략히 설명하고, 기존 알고리즘성능을 개선하기 위한 두 가지 방법을 제안한다. 그리고 제안한 방법의 성능을 증명하기 위해 시뮬레이션 모듈을 구현하고 시뮬레이션 결과를 바탕으로 각 위치인식 알고리즘의 성능을 비교 평가한다.

1. 서론

차별화된 응용서비스를 위해서는 센서 네트워크 상의 센서 노드들의 정확한 위치 인식이 요구 된다. 그러나 현재 IEEE 802.15.4 또는 기타 통신 프로토콜 상에서 센서 노드의 RF 신호세기를 이용한 위치 인식 정확도는 많이 떨어진다. 한편 최근 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크를 활용한 새로운 서비스와 기술 개발의 노력이 진행 중이며 그 중요성이 급증하고 있다. 즉, 유비쿼터스 위치기반 서비스가 중요한 응용 서비스로 대두되고 있다. 이러한 위치인식 알고리즘에는 Gradient, MLE, MDS, dwMDS 등이 있다.

본 논문에서는 기존의 위치 인식 알고리즘 및 최신 위치인식 알고리즘에 대해 설명하고, 이러한 위치인식 알고리즘의 성능 개선을 위한 두 가지 방법을 제안한다.

성능 개선 첫 번째로 Gradient 알고리즘과 MDS 알고리즘의 성능을 개선하기 위한 방법을 제안한다. 기존 거리를 추정할 때 멀티홉기반의 최단거리 알고리즘을 사용하던 것을 싱글홉 기반으로 변경하였다. 성능 개선 두 번째 방법에서는 Gradient, MDS, MLE, dwMDS 알고리즘에서 측정된 거리에 가중치를 한 홉이내는 1.0, 두 홉이내는 0.7, 그 이상은 무시하여 오차 발생 문제를 개선 하였다.

성능을 증명하기 위해 위치인식 시뮬레이션을 위한 모듈을 개발하고, 개발한 시뮬레이션 모듈을 사용하여 각 알고리즘의 성능을 비교평가하였다.

2. 최신 위치인식 기술

본 장에서는 기존 위치인식 알고리즘 및 개선된 알고리즘을 살펴보기에 앞서 최신 위치인식 기술들에 대해 살펴본다.

2.1 적외선 신호를 이용한 위치인식

적외선 신호를 이용한 방식에는 AT&L Lab. 에서 개발한 액티브 배지(Active Badge) 시스템이 가장 기초적으로, 천정에 적외선 센서를 설치하고 고유의 인식번호를 가지는 액티브 배지에서 주기적(약 1초에 한번)으로 인식번호를 송출해 이를 감지하여 위치를 파악하는 시스템이다.

액티브 배지는 시스템 구성이 간단하고 비용이 저렴하며, 고유의 인식번호를 짧지만 다르게 초기화된 시간에 신호를 발생한다. 하지만 사용자가 증가함에 따라 충돌 발생량이 높아지고 시스템을 확장해야 하는 단점이 있다. 그리고 적외선의 전파속도가 빠르고 일정영역에 하나의 센서만을 두어 배지를 달고 있는 사람이 어떤 영역에 들어와 있는지만을 파악할 수 있다.

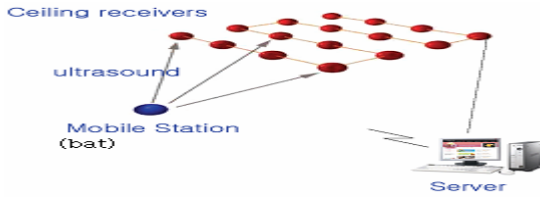
2.2 초음파를 이용한 위치인식

초음파는 RF(Radio Frequency)와 비교해 상대적으로 느린 음파 전송속도(340m/sec)로 전파되어 거리측정시스템에서 많이 사용된다.

초음파를 이용한 위치인식 시스템은 캠브리지 대학에서 개발한 Active Bat[5] 그리고 MIT 에서 개발한 cricket[6] 등의 시스템이 있다.

그림 2 는 Active Bat 시스템 구성을 보여 준다. Active Bat 은 이동체에 Bat 라고 불리는 초음파 발생기를, 천정에는 초음파 수신기를 부착한다. 각각 고유 인식번호를 가지며 Bat 는 별도의 무선 송수신장치를 가지고 초음파 수신기는 네트워크 서버에 연결되어 있다. 위치 파악 방식은 서버에서 특정 Bat 를 호출하여 Bat 가 초음파를 발생하도록 한다.

이 신호를 초음파 수신기가 검출하여 지연시간을 센서에 저장한다. 서버에서 지연시간을 가져와 Bat의 위치를 계산한다.



(그림 1) Active Bat 시스템 구성도

cricket은 GPS에서 사용하는 것처럼 천정에 초음파 발생기를 부착하고 이동체가 초음파 수신기를 휴대하고 다닌다. 천정의 초음파 발생기가 초음파 신호와 RF 신호를 동시에 발생하고 두 신호의 시간차를 이용해 초음파 수신기의 거리를 측정하고, 3개 이상의 발생기의 값을 이용해 수신기의 위치를 계산한다.

2.3 RF 신호를 이용한 위치인식

대상체의 수신 RF 신호의 세기(Signal Strength)를 측정해 신호 감쇠로 인한 거리를 측정하여 위치를 계산할 수 있는데 일반적으로 IEEE 802.11 무선랜 또는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역의 무선 RF를 많이 이용한다. 이는 전파 영역이 넓어 큰 건물 내에서도 사용 가능한 반면 잡음 및 반사 굴절 등에 의해 정확도가 떨어지는 문제점도 있다.

RF 신호를 이용한 대표적 방식으로는 Microsoft의 RADAR 시스템이 있다. IEEE 802.11을 사용하는 무선 LAN 기반에서, AP는 장치의 신호 세기와 신호 대 잡음비를 측정해 2차원적 위치를 계산한다. 그 외에도 Pinpoint사의 3D-iD 시스템 등 몇몇 기업에서 RF 신호의 도달시간으로 위치 파악을 하는 시스템을 판매 중이다. 이러한 방식은 별도 장치가 없이 기존의 무선 LAN 환경을 이용하는 장점이 있는 반면 소형 기기나 배터리 등 같은 제한적 전원장치에서는 적용이 힘들다.

3. 센서 네트워크 위치인식 알고리즘

본 장에서는 정확도가 떨어지는 RF 신호세기 등을 통한 거리측정 및 위치인식을 위한 알고리즘 중의 일부를 선택하여 간략히 설명한다.

3.1 Gradient 알고리즘

무선 네트워크 상에서 최소 3개 이상의 비컨 노드의 존재를 가정하며, 각 센서 노드는 다른 비컨 노드와 위치정보가 가지지 못한 노드 사이의 최단 경로를 계산하여 최소 3개 이상의 비컨 노드 메시지로 Multilateration 절차를 통해 위치를 얻으며 그 절차는 아래 표 1과 같다.

<표 1> Gradient 알고리즘 위치정보 전파과정

Step1	위치를 알지 못하는 노드 j , 비컨 노드 k , j 와 k 의 거리 d_{jk} (0 if $j=k$, else ∞)
Step2	각 노드 j 는 Step 2a, 2b를 반복 수행함 2a. 각 비컨 노드 k 와 이웃 노드 i , d_{ik} 를 수신 2b. 각 비컨 노드 k 와 이웃 노드 i 아래의 포블러 수행 $D_{ik} = \min(d_{ik} + r_{ij}, d_{jk})$ r_{ij} = estimated distance between node i and j

Multilateration[4]은 측정 거리 r_i 와 예측한 거리인

$\|s-b_i\|$ 와의 에러의 제곱을 최소화하는 방법이다. 에러를 최소화하는 방법으로는 Newton-Raphson/ Least squares solver 이 대표적으로 사용된다.

3.2 MDS 알고리즘

MDS(Multidimensional)는 심리학 분야에서 사용되는 기법으로 n 개의 대상물에 대해 상호간 비유사성 또는 유사성이 주어졌을 때, 비유사성에 합치할 것 같은 점간 거리를 갖는 n 개의 점을 어느 차원 공간 속에 자리잡게 하는 방법이다. 그 절차는 표 2와 같이 크게 4단계로 나눌 수 있다.

<표 2> MDS 알고리즘 수행과정

Step1	센서 네트워크를 구성하는 노드간의 거리행렬 R 을 생성
Step2	Shortest Path 알고리즘을 사용, 노드간 거리 행렬 D 를 생성
Step3	Classical Matrix MDS를 사용하여 행렬 D 로부터 각 노드의 위치 X 를 추정(상대좌표)
Step4	Step3의 상대좌표계를 Beacon 노드를 사용하여 절대좌표로 보정

3.3 MLE 알고리즘

MLE(Maximum-likelihood Estimators)는 무선 데이터의 확산 형태가 불규칙적인 특성의 오차를 줄이기 위해 고안되었다. 핵심 아이디어는 단일 노드에서 수신되는 하나의 RSSI가 아닌 여러 개의 RSSI 값을 합산하여 노드의 위치를 예측하는 것이다.

구체적인 알고리즘은 다음과 같다. i 노드와 j 노드 사이의 세기 P_{ij} 는 P_0 와 d_0 에 의해

$$P_{i,j} = P_0 - 10 \log_{10} \left(\frac{d_{i,j}}{d_0} \right)$$

그러므로 거리측정치 $\hat{d}_{i,j}$ 는

$$\hat{d}_{i,j} = d_0 \cdot 10^{\frac{P_0 - \hat{P}_{i,j}}{10}} = d_0 \cdot 10^{\frac{X_{i,j}}{10}}$$

와 같고 특정 범위 안에 측정을 위한 노드가 존재할 확률 L_{in} 은 다음과 같다.

$$L_{in} = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{P_{i,j} - \hat{P}_{i,j}}{\sigma_{dB}} \right)^2 \right] \right\}$$

위 식의 최소값을 구하기 위해 미분을 해야 하는데 곱셈보다 덧셈의 미분이 간단하므로

$$f(x_i, y_i) = \frac{b^2}{8} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln \frac{\hat{d}_{i,j}^2}{d_{i,j}^2} \quad b = 10n / (\ln(10)\sigma_{db})$$

위 식을 목적함수로 conjugate gradient method로 상대좌표계를 계산하고, 계산된 상대좌표계는 MDS와 같은 방법으로 절대좌표계로 변환한다.

3.4 dwMDS 알고리즘

MDS는 중앙집중식 알고리즘으로 네트워크 패킷이 증가함에 따라 많은 부하가 발생한다.

dwMDS(Distributed Weighted Multidimensional Scaling)는 MDS계산을 각 노드에 분산하여 한홉거리의 노드 측정거리를 사용해 각 노드의 위치를 추정한다. 위치계산이 분산되므로 수행속도가 빠르다.

4. 기존 위치인식 알고리즘의 문제점 및 성능개선

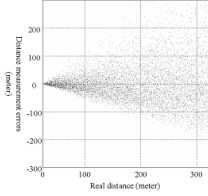
4.1 기존 위치인식 알고리즘의 문제점

기존 위치인식 알고리즘의 첫 번째 문제점은 Gradient, MDS와 같은 알고리즘에서 노드간 거리를 측정하기 위해 그림 2와 같이 최단경로 알고리즘을 사용

하는 것이다. 즉 멀티 홉간 거리를 측정할 때 두 노드 사이 경로의 최단 거리를 선택하게 되는데 이럴 경우 노드를 하나 지날 때마다 오차가 더해져 최종적으로는 큰 오차가 발생 하게 된다.



(그림 2) 최단경로 알고리즘을 사용한 거리측정



(그림 3) Gradient의 추정위치를 초기위치로 사용

기존 위치인식 알고리즘의 두 번째 문제점은 그림 3에서 보듯이 거리에 따라 측정된 거리와 실제 거리의 오차가 커짐에도 불구하고 거리의 크기와 상관없이 모두 같은 가중치를 두고 동작한다는 것이다. 따라서 멀리 떨어진 노드를 많이 포함하면 알고리즘의 성능은 현저히 떨어지게 된다.

4.2 위치인식 알고리즘의 성능개선 방안

첫 번째로 Gradient와 MDS가 Shortest Path 알고리즘을 사용하여 발생하는 거리측정 오차를 최소화하기 위해 싱글홉 버전의 알고리즘을 제안한다.

Gradient 위치인식 알고리즘은 네트워크 내의 모든 비콘 노드의 정보를 수집하는데 여러 홉 떨어진 비콘 노드의 정보까지 포함함으로써 오차가 커지게 된다. 그러므로 새로운 Gradient 알고리즘에서는 자신과 한 홉내의 비콘 노드 정보만을 위치 추정을 위해 사용한다. 그리고 추가적으로 비콘 노드 외에 한 홉내의 모든 노드와의 거리정보를 위치 추정을 위해 사용한다.

MDS 위치인식 알고리즘은 모든 노드사이의 거리관계를 측정해 베이스 노드에서 계산하는 방식인데 싱글홉 버전의 MDS를 위해 베이스 노드가 아닌 위치를 알 수 없는 각 노드가 자체적으로 자신의 위치를 계산하기 위해 한 홉내의 노드정보를 받아 자신의 위치를 추정한다.

두 번째로 거리가 멀수록 더 많은 오차가 발생하는 문제점 해결을 위해 Gradient, MDS, MLE, dwMDS 위치인식 알고리즘은 측정된 거리에 가중치를 다르게 주는 방식을 사용하였다. 측정된 거리를 두 번째 홉까지 인정하고 한 홉내의 거리는 1.0 두번째 홉 이내는 0.7의 가중치를 주고 나머지는 무시하는 방식으로 가중치를 주었다.

5. 성능평가

5.1 성능평가 환경

센서 노드의 실제위치와 위치인식 알고리즘에 의해 측정된 예상 위치와의 거리 차이를 성능비교에 사용한다. 5 회에 걸쳐 랜덤하게 센서 노드를 배치해 그 평균값을 성능비교에 사용한다. 시뮬레이션은 [8]에 소개되어 있는 라이브러리를 사용하여 작성된 모듈을 사용한다.

성능비교에 적용된 알고리즘의 S(Single)은 계산에 필요한 노드를 한 홉으로 제한한 알고리즘이고, SU(Single Unknown)는 한홉내 모든 노드의 위치정보를 위

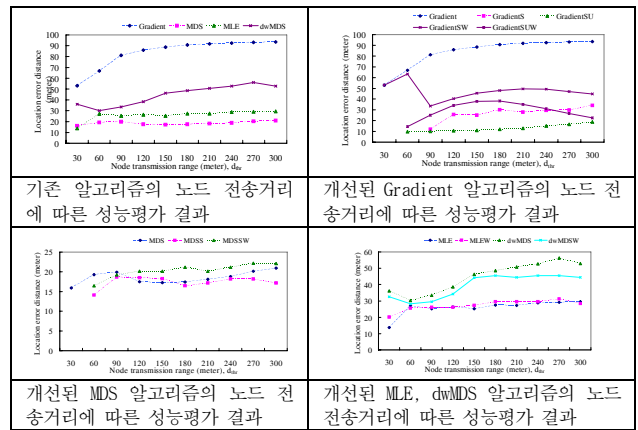
치계산에 사용한 알고리즘이다. 마지막으로 SW(Single Weight)는 거리를 두 홉으로 제한하고 가중치를 주는 방식으로 동작하는 알고리즘이다.

5.2 노드의 전송거리 변화에 따른 성능비교

무선 센서네트워크에서 비콘 노드와 센서 노드의 전송거리에 따른 성능 비교를 위해 아래 표 3 과 같은 성능평가 지표를 선정하여 센서 노드의 위치에러를 측정한다.

<표 3> 시뮬레이션 환경

분류	내용
MAX X	300m
MAX Y	300m
RF Range	30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 300m
비콘 노드수	16 개
일반 노드수	100 개
Deploy Type	Grid



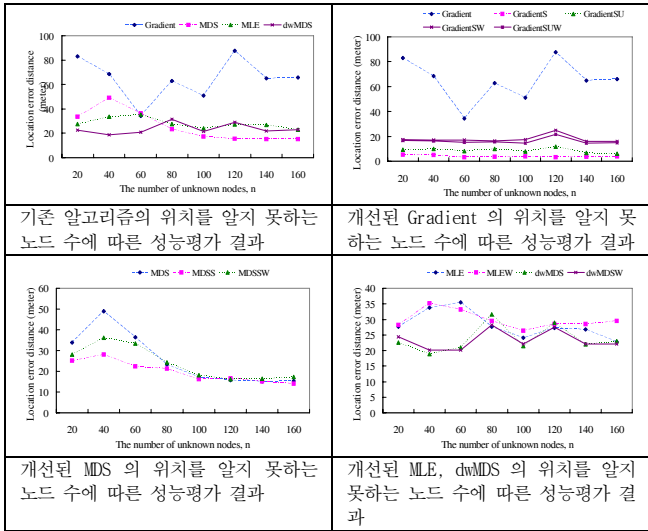
(그림 6) 전송거리에 따른 알고리즘 성능평가 결과
기존 위치인식 알고리즘은 노드의 전송거리에 따라 MDS, MLE, dwMDS, Gradient 순으로 성능이 우수함을 볼 수 있다. 그림 6에서 보듯 거리에 따라 성능이 낮던 Gradient 알고리즘이 전송거리에 거의 영향을 받지 않고 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있다. MDS의 경우 개선된 효과가 미비하나 MDSS의 경우 성능향상을 확인할 수 있다. 마지막으로 MLE의 경우 가중치를 주면 오히려 성능을 악화시키지만 dwMDS 경우에는 가중치를 주는 것이 성능을 향상시킴을 볼 수 있다.

5.3 Unknown 노드 수 변화에 따른 성능비교

센서네트워크에서 자신의 위치를 알지 못하는 센서 노드 수에 따른 성능 비교를 위해 아래 표 4와 같은 성능평가 지표를 선정하여 센서 노드의 위치에러를 측정한다.

<표 4> 시뮬레이션 환경

분류	내용
MAX X	300m
MAX Y	300m
RF Range	60m
비콘 노드수	16 개
일반 노드수	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 개
Deploy Type	Grid



(그림 7) Unknown 노드수에 따른 알고리즘 성능평가 결과

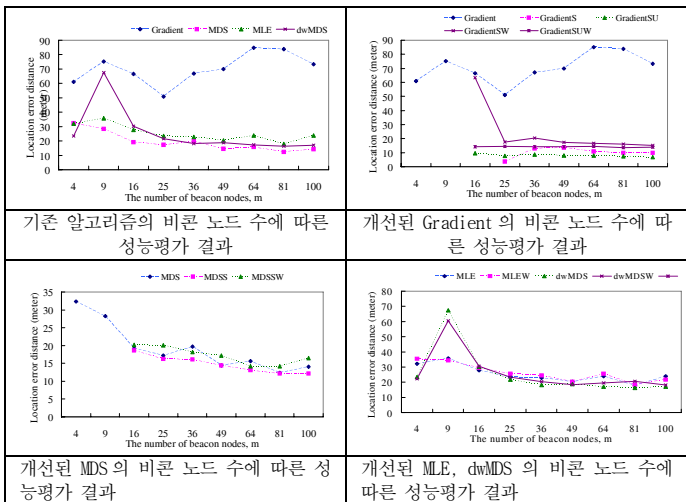
기존 위치인식 알고리즘에서 위치를 알지 못하는 노드 수에 따라 MDS가 가장 좋은 성능을 보이고, Gradient가 가장 나쁜 성능을 보임을 알 수 있다. Gradient 알고리즘 개선에서는 GradientS가 가장 좋은 성능향상을 보이며 MDS는 조금씩 성능이 향상됨을 볼 수 있다. MLE나 dwMDS는 오히려 성능이 조금 악화되거나 거의 성능향상이 없음을 확인 할 수 있다.

5.4 Beacon 노드 수 변화에 따른 성능비교

무선 센서네트워크에서 비콘 노드의 수에 따른 성능 비교를 위해 위 표 5와 같은 성능평가 지표를 선정하여 센서 노드의 위치에러를 측정한다.

<표 5> 시뮬레이션 환경

분류	내용
MAX X	300m
MAX Y	300m
RF Range	60m
비콘 노드수	4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100개
일반 노드수	100개
Deploy Type	Grid



(그림 8) Beacon 노드수에 따른 알고리즘 성능평가 결과

그림 8에서 보듯이 기존 알고리즘은 비콘 노드 수에 큰 영향을 받지 않는다. Gradient 알고리즘의 경우 비콘 노드 수가 일정개수 이상일 때 좋은 성능을 보인다. MDS의 경우는 멀티홉 기반에서는 비콘 노드수에 영향 없이 잘 동작하지만 아닐 경우 일정 수 이상의 비콘 노드를 필요로 한다. MLE나 dwMDS는 기존 알고리즘에 비해 큰 성능향상이 없다.

6. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크를 위한 위치인식 알고리즘인 Gradient, MDS, MLE, dwMDS에 대해 설명하고 각 위치인식 알고리즘의 성능을 비교 평가하였다. 또한 기존 위치인식 알고리즘들의 성능을 개선하기 위한 두 가지 방법을 제안하였다. 첫 번째 방법은 Gradient 알고리즘과 MDS 알고리즘은 멀티 홉 기반으로 비콘 노드와 자신과의 거리를 최단거리 알고리즘을 사용하면 거리 측정 시 많은 오차를 포함하고 있을 가능성이 있음을 지적하고, 성능을 개선하기 위한 방법으로 멀티 홉 기반이 아닌 싱글홉 기반의 Gradient, MDS 알고리즘을 제안하였다. 두 번째 방법은 거리가 멀수록 더 많은 오차가 발생하는 문제점을 해결하기 위해서 Gradient, MDS, MLE, dwMDS 위치인식 알고리즘에서 측정된 거리에 가중치를 다르게 주는 방식을 제안하였다. 또한 본 논문에서 제안된 위치인식 알고리즘의 성능을 증명하기 위해 위치인식 시뮬레이션 모듈을 사용하여 각 알고리즘의 성능을 비교 평가한 결과 본 논문에서 제안한 방법이 최대 5배정도 오차가 적다는 것을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서는 각 위치인식 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위해 시뮬레이션 모듈을 사용하였지만 향후에 시뮬레이션 모듈이 아닌 실제 센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드를 사용하여 각 위치인식 알고리즘의 성능을 비교평가 할 것이다.

참고문헌

- [1] Neal Patwari and Robert J. O'Dea, Yanwei Wang, Relative Location in Wireless Networks, in Proc. IEEE VTC, vol. 2, May 2001, pp. 1149- 1153.
- [2] Shang, Ruml, Zhang, and Fromherz. Localization from mere connectivity. In MobiHoc, 2003
- [3] JOSE A. COSTA, NEAL PATWARI and ALFRED O.HERO III Distributed Multidimensional Scaling with Adaptive Weighting for Node Localization in Sensor Networks, ACM Journal Name, VolV. No. N, June 2004, Pages 1-23.
- [4] D. Niculescu and B.Nath. Ad hoc positioning system(APS), 2001
- [5] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggle, Andy Ward and Paul Webster. The anatomy of a Context-Aware Application, 2001
- [6] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan. The Cricket Location-Support System, 2000
- [7] 한왕원, 박홍재, 김영만. 센서 네트워크를 위한 위치인식 알고리즘의 성능개선 방안 설계 및 성능평가, 2007
- [8] William H., Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian P., "Numerical Recipes in C", Flannery Press, 1992.