

무선 센서 네트워크에서 RF 전송 레벨을 이용한 위치 측정 기법*

채상윤^o 한주선 하란

홍익대학교 정보컴퓨터공학부

kaisercsy^o@gmail.com, jshan@archi.snu.ac.kr, rhanha@cs.hongik.ac.kr

A Localization Method Using RF Transmission Levels in Wireless Sensor Networks*

Chae Sang Yun^o Joosun Hahn Rhan Ha

School of Information & Computer Engineering, Hongik University

요 약

무선 센서 네트워크는 경제적, 환경적 목적으로 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이 때, 배치된 각 센서의 위치를 파악하는 것은 센서 네트워크에서 가장 기본적이며 가장 중요한 문제 중의 하나이다.

기존 논문에서 제안된 센서 위치 측정 방법은 특별한 장비를 장착하거나 특정한 환경의 지역에 한정시킨 방법으로 제한하고 있는 경우가 대부분이다. 하지만 어떠한 관심 지역의 환경은 언제라도 바뀔 수 있다. 또한, 센서가 위치할 환경의 기온, 풍속 등을 미리 안다는 것은 비현실적인 가정이다. 더구나 각각의 센서에 특별한 장비를 장착한다는 것은 비용 절감을 이유로 센서 네트워크를 운영하는 경우 오히려 그것을 이용하지 않는 경우보다 비용이 더 들 수도 있다.

이에 본 논문에서는 센서 노드의 기본적인 통신 기능을 이용하여, 환경에 순응적으로 센서의 위치를 측정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 센서 노드에서 기본적으로 제공하는 통신 기능은 RF 전파를 보낼 때 전송 레벨을 달리하여 보낼 수 있다. 이러한 기본적인 기능을 이용하여 위치를 측정하게 되면, 전체적인 센서 네트워크의 비용이 절감될 뿐만 아니라 환경에 순응적인 위치 측정이 가능하게 된다. 또한, 각 노드의 위치가 정해진 후 다른 노드와 통신할 때 전파의 세기를 조정함으로써 RF 통신에서 소모되는 전력량을 줄일 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안하는 전송 레벨을 이용한 위치 측정 방법은 단순히 위치를 측정한다는 의미뿐만 아니라 환경에 순응적으로 작동한다는 장점이 있다. 향후 네트워크 내에서 통신에 소비되는 전력을 줄일 수 있다는 점에서도 중요한 의미를 지닌다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 목적에 따라 크게 경제적인 목적과 환경적인 목적으로 이용될 수 있다. 경제적인 목적에서의 센서 네트워크의 이용은 관심 지역에 대한 정보가 필요하지만 인력을 통해 정보를 취득하는 것보다 센서 네트워크를 이용하는 것이 더욱 효율적인 경우이다. 예를 들어, 어떤 지역의 기온, 습도 등 기상요인을 측정하는 데에 있어서, 관심 지역에 센서를 배치하고 네트워크를 구성하면 인력을 이용할 경우에 비해 많은 경비 절감을 이룰 수 있다. 한편, 환경적인 목적은 관심 지역에 대한 정보가 필요하지만 사람의 접근이 용이하지 않은 경우에 이용되는 경우이다. 예를 들어, 어떤 지역에 독가스가 살포되었다거나 방사능이 유출되었다고 가정하자. 이러한 경우에도 관심 지역에 항공기 등 여러 방법을 통해 센서를 배치시키고 네트워크를 구성한 후 정보를 수

집하는 것이 사람이 직접 하는 것보다 훨씬 안전하다. 이 외에도 센서 네트워크는 다양한 분야에서 이용 가능하다.

이와 같이 센서 네트워크에서는 각 노드가 자신이 담당하는 지역에서 목적에 부합하는 데이터를 수집한 후 Base station에게 전송해 주고, Base station은 각 노드의 정보를 수집하여 무의미한 데이터의 집합을 하나의 정보로 가공하여 이용한다. 그러나 노드들이 수집한 정보를 Base station에 보내준다 하더라도 자신의 위치를 모르는 상태에서 정보를 송신하게 되면 그것은 무의미한 정보가 된다. 예를 들어, 기상 관측을 위해 센서 네트워크를 이용한다고 가정하자. 어떤 노드가 자신의 정보를 Base station에게 자신이 수집한 데이터를 보내주었지만 위치를 모른다고 하면 그 데이터는 쓸모없는 데이터이다. 화재 경보 시스템의 경우에도 화재 경보 데이터가 수집되었지만 어디서 화재가 일어났는지 모른다면, 그에 따른 대처는 늦어지게 되며 센서 네트워크를 이용하는 의미가 없어진다. 이러한 의미에서 각 노드의 위치 정보는 수집된 데이터에 의미를 부여하는 중요한 요건이다.

* 이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

센서의 위치를 측정하는 방법은 여러 방법으로 연구되었다. 하지만 이들 연구는 특별한 장비를 사용한다거나 환경의 변화가 없는 곳에서 측정을 할 수 있다는 한계가 있다. 특별한 장비를 사용하는 경우 하나의 장비 추가라면 어느 정도 손실을 감수할 수 있으나, 전체 센서가 해당 장비를 장착해야 한다면 이는 실질적으로 사용될 수 없다. 더구나 관심 지역의 환경은 언제라도 바뀔 수 있기 때문에 특정 환경에서 정확한 위치를 측정할 수 있는 방법들은 더욱 비현실적이다. 이와 같은 이유로 본 논문에서 제안하는 위치 측정 기법은 큰 의미를 지닌다. 이후 2장에서는 기존 연구의 소개와 문제점에 대해 설명하고, 3장에서는 위치 측정을 하기 위한 기본 자료와 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해 본 논문에서 제시한 방법의 성능을 평가한다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존의 연구에서는 대부분의 경우 거리를 측정하는 방법을 제시하고 삼변측량[1,2] 또는 삼각측량[3,4]으로써 노드의 위치를 계산하였다. 거리를 측정하는 방법으로는 전파의 세기를 이용하는 방법(RSSI, Received Signal Strength Indicator)[1,5], 전파의 도달 각도를 이용하는 방법(AOA, Angle of Arrival)[3,4], 전파나 초음파의 도착 지연 시간을 이용하는 방법(TDOA, Time Difference of Arrival) [6,7], 전파와 초음파의 도착 시간차를 이용하는 방법(TOA, Time of Arrival)[1,2] 등이 있다.

그러나 기존의 연구들은 가변적인 상황에 따른 위치 측정이 되지 않거나, 특별한 장비를 사용해야 하는 경우가 대부분이었다. 전파의 세기를 이용하는 방법인 RSSI는 가변적인 상황에서의 위치 측정이 힘들다. 전파는 기후적인 요건 등에 영향을 많이 받게 되므로, 실험을 통하여 도출된 값은 해당 실험 환경에서는 상당한 효율성을 보이지만 환경이 틀려질 경우 해당 환경에 맞추어서 다시 측정을 해야 한다는 단점이 있다. 더구나 환경적 요인이 자주 바뀔 경우 위치 측정은 불가능하다. 한편, 전파의 도달 각도를 사용하는 방법인 AOA 같은 경우 추가적인 장비가 필요하다. 물론 노드의 수가 적으면 약간의 손실을 부담해서라도 쓸 수 있겠지만, 노드의 개수가 많아질수록 비용이 증가하게 된다. 또한, 전파나 초음파의 도착 지연 시간을 이용하는 방법인 TDOA도 특수한 장비를 노드에 장착해야 가능하다는 단점이 있다. 마지막으로, 서로 다른 전파를 이용하는 방법인 TOA 같은 경우 수신기에서의 clock 비율에 영향을 받게 되며 표준 시간과 다를 경우 거리 오차는 선형적으로 나타난다.

요약하면, 기존 연구의 문제점은 환경에 대해 너무 종속적이라는 것과 추가적인 장비를 이용해야 된다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 센서가 가변적인 환경에 배치된 경우에도 센서의 기본 통신 기능만을 이용하여 위치를 측정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

3. RF 전송 레벨을 이용한 위치 측정

센서의 가장 기본적인 기능은 감지와 통신이다. 그리고

통신에서는 기본적으로 RF 전파를 보낼 때 레벨을 달리하여 보낼 수 있는 기능을 제공한다. 본 장에서는 RF 전송 레벨과 통신 거리의 상관관계를 알아냄으로써 가변적인 환경에서도 적용 가능한 위치 측정 기법에 대해 설명한다.

3.1 가정

본 논문에서는 다음과 같은 조건을 가정한다.

첫째, Base station과 각 노드의 기종은 동일하다. 노드와 Base station의 기종이 달라지면 Base station에서 송신한 전송 레벨을 감지함에 있어서 오차가 생길 수 있다. 만일 노드가 Base station보다 낮은 품질의 기종이라면 전파의 세기가 커야 수신할 수 있을 것이고, 높은 품질의 기종이라면 적은 신호도 잡아내기 때문에 위치 측정의 오차가 더욱 커진다.

둘째, Base station의 위치는 미리 알고 있다. 위치를 측정함에 있어서 3개의 Base station을 기준으로 삼변측량을 이용하며, Base station을 직접 설치하는 방법이나 GPS를 장착하여 Base station의 위치를 알아낸다.

마지막으로, 대상지역은 2차원의 평면으로 가정한다. 실질적으로는 3차원 평면상에 센서가 위치하게 되나, 계산의 단순화와 실험을 위해 2차원 평면이며 관심 범위 내에 장애물은 없다고 가정한다.

3.2 전송 레벨을 이용한 전파의 최대 도달 거리 측정

RF 통신에서는 전송 레벨에 따라 소비되는 전력량이 다르기 때문에 전파의 도달 거리도 달라진다. 그림 1은 MPR2400 MICAz 센서[8]가 지원하는 31개의 RF 전송 레벨에 대해 전파의 도달 거리를 실제로 측정하여 회귀 분석을 수행한 결과이다. 실험 결과를 살펴보면, 전송 레벨이 증가함에 따라 전파 도달 한계 거리가 선형으로 증가함을 관찰할 수 있다. 이 때, 증가율 $a=1.55686$ 이므로 전송 레벨 당 약 1.56m씩 증가한다고 할 수 있다.

(단위: m)

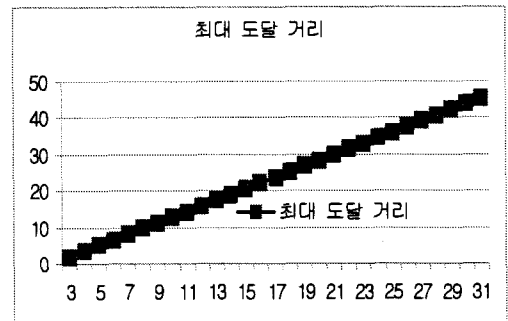


그림 1 전송 레벨별 최대 도달 거리(실내)

그림 1과 같은 실험을 통해, 이미 위치를 알고 있는 3개의 Base station을 이용하면 실제 실험 환경에 적용 가능한 한계 거리 증가율을 구할 수 있으며, 그에 따라 각 전송 레벨별 최대 도달 거리를 산출할 수 있다(표 1). 표 1에서 1레벨과 2레벨은 해당 dBm값이 없었기 때문에 실험적으로 밝혔으며, 실내와 실외의 차이가 없었다.

표 1 전송 레벨별 최대 도달 거리(실내)

(단위: m)

Level	Distance	Level	Distance
1	0.12	17	23.646465
2	0.24	18	25.203325
3	1.850425	19	26.760185
4	3.407285	20	28.317045
5	4.964145	21	29.873905
6	6.521005	22	31.430765
7	8.077865	23	32.987625
8	9.634725	24	34.544485
9	11.191585	25	36.101345
10	12.748445	26	37.658205
11	14.305305	27	39.215065
12	15.862165	28	40.771925
13	17.419025	29	42.328785
14	18.975885	30	43.885645
15	20.532745	31	45.442505
16	22.089605		

이러한 단계 1이 필요한 이유는, 전파가 기후적인 요건 등에 영향을 많이 받으므로 환경적 요인이 바뀔에 따라 전파의 도달 거리도 달라지기 때문이다. 따라서 단계 1을 통해 주어진 환경에 적합한 한계 거리 증가율을 구함으로써, 기존의 RSSI 방식과는 달리 가변적인 환경에서도 환경에 순응적인 위치 측정이 이루어질 수 있다.

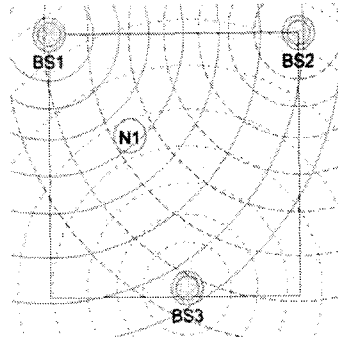


그림 3 위치의 계산

3.3 전송 레벨별 최대 도달 거리를 이용한 위치 측정

본 논문에서 제안하는 환경에 순응적인 위치 측정 기법은 다음과 같은 3 단계로 구성된다.

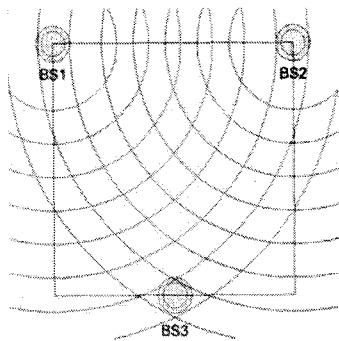


그림 2 한계 거리 증가율의 산출

우선, 단계 1에서는 Base station 간의 통신을 통해 전송 레벨이 증가함에 따른 한계 거리의 증가율을 구한다. 그림 2에서 보는 같이, BS1과 BS2에서 전송 레벨로 전파를 보내 BS3에서 수신할 때의 전송 레벨을 구한다. BS3가 BS1과 BS2의 위치 정보를 이미 알고 있기 때문에 전송 레벨 당 도달 가능한 한계 거리에 대한 1차 방정식을 구할 수 있으며, 이 때 1차 방정식 $y = ax + b$ 에서 미지수가 2개이므로 BS1과 BS2의 전파를 서로 다른 레벨에서 수신하도록 배치함으로써 한계 거리 증가율 a 를 구할 수 있다. 여기서 b 는 거리 오차로 오차의 범위를 최소화하기 위해 $b = a/2$ 로 산정하였다.

예를 들어, BS1과 BS3 간의 거리가 30m이고, BS2와 BS3 간의 거리가 40m라고 하자. 이 때, BS3가 22레벨에서 BS1의 전파를 수신하였고 28레벨에서 BS2의 전파를 수신하였다면 한계 거리 증가율은 $a = 1.67m$ 로 계산되며, 3레벨부터 각 전송 레벨별 한계 거리는 $d = 1.67m$ 인 등차수열을 이루게 된다.

다음으로, 단계 2에서 BS3가 마지막으로 전송 레벨로 전파를 송신하고, 각 노드는 3개의 Base station으로부터 수신된 전파 정보를 취합하여 자신의 위치를 계산한다. 위치의 계산 시에는 각 Base station의 전파가 수신된 레벨과 BS3에서 제공되는 한계 거리 증가율을 기반으로 각 Base station과의 거리를 계산한 후, 삼변측량을 이용하여 자신의 위치를 계산한다.

그림 3의 예에서 보면, 노드 N1은 4레벨(BS1), 6레벨(BS2), 5레벨(BS3)의 전파를 수신하고, 수신된 전파 정보를 이용하여 자신의 위치를 계산한다.

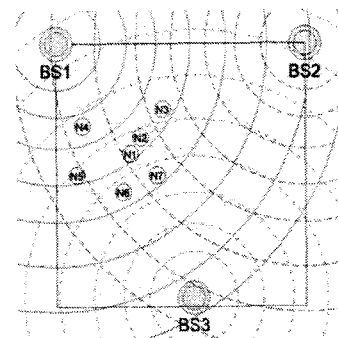


그림 4 1-hop 이웃 노드들의 위치 정보 수집

마지막으로, 단계 3에서 자신의 위치를 계산한 각 노드는 1-hop 내에 위치한 이웃 노드들의 위치 정보를 수집한다. 그러나 이 때 1-hop 이웃 노드들 중에 자신의 위치와 동일한 좌표를 가진 노드가 있을 수 있다.

그림 4에서 보는 바와 같이, 노드 N1은 1-hop 내에 위치한 N2~N7이 각자 계산한 위치 정보를 수집한다. 그림 4의 예에서는 N1과 N2가 같은 위치로 계산되었다. 이를 해결하는 방법은 다음 절에서 소개한다.

3.4 위치 측정의 보정

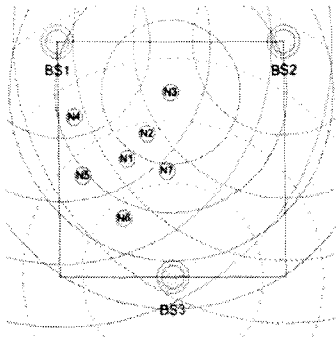


그림 5 위치 측정의 보정

3.3절의 위치 측정 결과로, 3개의 Base station이 형성한 한 영역에 2개 이상의 노드가 위치할 수 있다. 이러한 경우 이들 노드는 같은 위치로 계산이 되므로 해당 영역을 나누어 더욱 정확한 위치를 계산할 필요가 있다.

그림 5에서 보는 바와 같이, 노드 N1과 N2는 Base station을 이용한 위치 측정 시 같은 위치로 계산이 된다. 이 때, N1은 자신의 1-hop 내의 모든 노드들에게 전송 레벨별로 전파를 송신할 것을 요청하고, 자신과 같은 위치를 가진 N2와의 통신을 통해 N1과 N2가 속한 영역을 구획하게 되는 노드의 전파를 선택하여 위치를 재-계산한다. 그림 5의 예에서는 N3이 선택이 되었으며, N2는 1레벨에서, N1은 2레벨에서 각각 N3의 전파가 수신되었다. 결론적으로, 각 Base station과 N3의 위치 정보를 이용하여 N1과 N2의 위치를 재-계산할 수 있다.

3.5 위치 측정 알고리즘

위치 측정에 있어서 Base station과 노드는 각각 다른 역할을 수행한다. 각 Base station은 전송 레벨별로 전파를 송신하며, 각 노드는 Base station으로부터 수신된 전파를 이용하여 자신의 위치를 연산하고 1-hop 이웃 노드들의 정보를 수집하여 위치를 보정한다.

```

for each base station BS {
Phase 1:
  BS sets its own timer T;
  if (Ranging messages are received before T expires) {
    BS computes the limit-distance increasing rate  $\alpha$ ;
  }
Phase 2:
  if (T is expired) {
    for (i = 1; i <= 31; i++) {
      BS broadcasts its Ranging messages at Level i;
    }
  }
}
    
```

그림 6 Base station의 의사 코드

그림 6은 각 Base station의 동작을 의사 코드로 나타낸 것이다. Phase 1은 3개의 Base station BS1, BS2, BS3가 고유의 백오프 시간을 두고 Ranging message를 송신함으로써 BS3가 한계 거리 증가율 α 를 구하도록 하는 절차이다. 이로 인해 환경에 순응적인 위치 측정이 가능해진다. Phase 2는 각 Base station이 전송 레벨을 순차적으로 증가시키며 Ranging message를 송신하는 절차이다. 각 Ranging message에는 전송 레벨 및 송신 Base station의 위치 정보가 포함되어 있으며, 특히 BS3의 Ranging message에는 한계 거리 증가율 α 에 대한 정보도 포함되어 있다.

```

for each node S {
Phase 1:
Phase 2:
  S waits Ranging messages from all base stations;
  if (all Ranging messages are received) {
    S computes its location;
  }
Phase 3:
  S broadcasts its location information;

  for each 1-hop neighbor node N {
    if (N's location information is received) {
      S compares its location with N's location;
    }
  }
  S performs the Location Refinement procedure;

  if (any Ranging message was received at Level 31) {
    for (j = 1; j <= 31; j++) {
      S broadcasts its Ranging message at Level j;
    }
  }
}
    
```

그림 7 노드의 의사 코드

그림 7은 각 노드의 동작을 나타내는 의사 코드이다. 각 노드의 최종 목적은 자신의 위치를 계산하는 데에 있으며 이는 Phase 2에서 완료된다. 위치의 계산 시에는 수신된 Ranging message에 포함된 전송 레벨, Base station의 위치, 한계 거리 증가율 정보를 기반으로 각 Base station과의 거리를 계산한 후, 삼변측량을 이용하여 위치를 계산한다. 이후 Phase 3에서 각 노드는 1-hop 이웃 노드들의 위치 정보를 수집한 후, 자신의 위치와 중복되는지를 확인한다. 이 과정에서 위치가 중복되는 노드가 있을 경우 위치 보정을 위한 절차를 수행한다(그림 8).

위치 보정을 마친 후 노드가 자신의 고유한 위치를 가지게 되었을 때, 만일 1개의 Ranging message라도 31 레벨에서 수신되었을 시에는 자신의 위치 정보를 포함한 Ranging message를 송신함으로써 Base station의 역할을 대신 수행하게 된다.

```

for each node S {
  if (S's location is duplicated) {
    S broadcasts Ranging requests;

    for each 1-hop neighbor nodes N {
      if (N's Ranging message is received) {
        if (N's Ranging message separates S from
            any other node in the same location) {
          S re-computes its location;
        }
      }
    }
  }
  else {
    if (the first Ranging request is received) {
      for (i = 1; i <= 31; i++) {
        S broadcasts its Ranging message at Level i
      }
    }
  }
}
    
```

그림 8 노드의 위치 보정 의사 코드

그림 8에서 노드의 위치 보정을 위한 의사 코드는 1-hop 내에 위치가 서로 중복되는 노드들이 있을 경우 수행되는 절차이다. 만일 노드가 자신과 중복되는 위치를 가진 이웃 노드를 가지고 있으면 1-hop 내의 모든 노드들에게 Ranging message를 송신해 줄 것을 요청하고, 자신과 위치 정보와 같은 노드와의 통신을 통해서 간의 위치를 분리시킬 수 있는 Ranging message를 선택한다. 그리고 기존의 Base station의 Ranging message에 포함된 정보와 새로 선택된 Ranging message에 포함된 정보를 기반으로 자신의 위치를 재-계산한다. 만일 노드가 자신의 고유한 위치 정보를 가지며 Ranging message를 요청받을 시에는 자신의 위치 정보를 포함한 Ranging message를 전송한다.

4. 성능 평가

4.1 성능 평가 기준 및 실험 환경

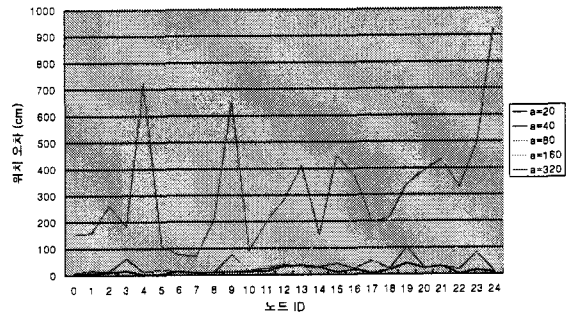
본 논문에서 제안한 전송 레벨을 이용한 위치 측정 기법이 가변적인 환경에서 어느 정도의 정확도를 보이는지를 평가하기 위해 모의실험을 수행하였다. 성능 평가 기준으로는 노드의 실제 위치와 실험으로 산출된 위치 사이의 다음과 같이 계산되는 위치 오차를 이용한다.

$$\sqrt{(\text{실제 } x \text{ 좌표} - \text{측정 } x \text{ 좌표})^2 + (\text{실제 } y \text{ 좌표} - \text{측정 } y \text{ 좌표})^2}$$

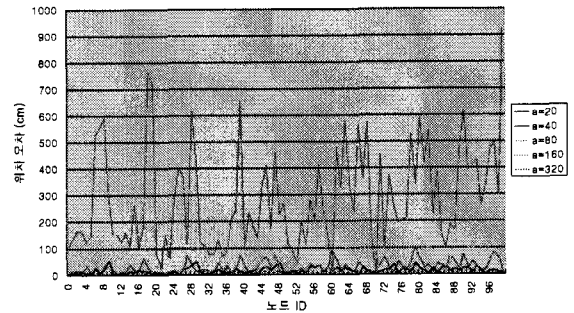
모의실험은 100m x 100m 네트워크 영역에서 각 센서 노드의 위치 오차를 산출하는 방식으로 진행되었다. 3개의 Base station은 각각 (0, 0), (5, 0), (0, 7)의 좌표에 배치되고, 각 센서 노드는 (1, 1)과 (100, 100) 사이의 좌표에 일정한 간격의 격자 형태로 배치되었다고 가정하였다. 이 때, 다양한 노드 밀집도를 반영하기 위해 센서 노드의 개수를 25개, 100개, 400개로 변화시켰다.

각 센서 노드는 MPR2400 MICAz 센서의 데이터를 기반으로 총 31개의 전송 레벨을 지원하도록 모델링되었다. 그리고 가변적인 실험 환경을 반영하기 위해 한계 거리 증가율을 20cm, 40cm, 80cm, 160cm, 320cm로 변화시켜가며 모의실험을 수행하였다.

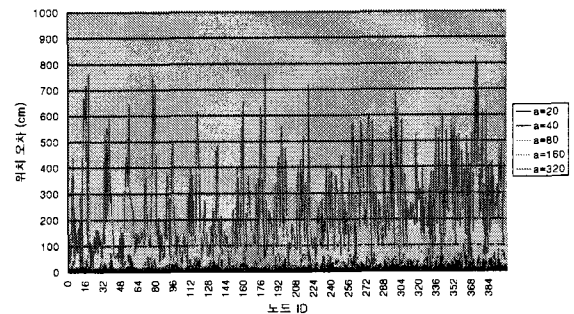
4.2 모의실험 결과 및 분석



(a) 센서 노드의 개수 = 25개



(b) 센서 노드의 개수 = 100개



(c) 센서 노드의 개수 = 400개

그림 9 한계 거리 증가율 vs. 위치 오차

그림 9는 한계 거리 증가율 a 의 변화에 따른 각 센서 노드의 위치 오차를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이, 전반적으로 한계 거리 증가율이 증가할수

록 위치 오차가 높게 분포함을 알 수 있다. 이는 Base station과의 거리 오차가 $b = a/2$ 로 산정되어 한계 거리 증가율에 비례하여 증가하기 때문이다. 반면, 위치 오차는 노드 밀집도와는 상관관계가 크지 않음을 관찰할 수 있다. 다만 한계 거리 증가율 대비 노드 간격이 조밀한 경우 위치 보정으로 인한 오차의 감소 효과가 큼을 확인할 수 있었다. 센서 노드의 개수가 400개인 경우, 평균 위치 오차는 한계 거리 증가율이 20cm, 40cm, 80cm, 160cm, 320cm일 때 각각 13.5cm, 30.9cm, 62.6cm, 112.4cm, 233.5cm를 보였다. 기술이 발전함에 따라 센서가 지원 가능한 전송 레벨이 점차 세분화되는 경향을 감안하면, 위치 오차도 더욱 감소할 것으로 기대된다. 예를 들어, MPR4x0 MICA2 센서[8]의 경우 최대 255개의 전송 레벨을 지원한다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 임의의 지역에 위치한 센서 노드의 위치 정보를 파악하기 위하여, 단계적인 전파의 송신을 이용한 위치 측정 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 바와 같이 단계적인 전파의 송신을 이용하면, 특별한 장비나 추가적인 연산이 필요하지 않고서도 각 노드의 위치 정보를 파악할 수 있다.

또한, 기존 연구에서는 기후적인 요건에 따라 생기는 오차에 대해 해결 방법이 없었으나, 본 논문에서 제안한 위치 측정 기법은 가변적인 환경 요건에서도 적용이 가능함을 보였다.

추가적으로, 전송 레벨에 따라 차등적으로 소비되는 전력량을 보임으로써 향후 센서 네트워크 내의 통신 시 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다.

하지만 본 논문에서는 센서 네트워크가 2차원이라는 가정과 장애물이 없다는 가정하게 실험이 되었다. 3차원인 경우와 장애물이 존재할 경우의 위치 측정 연구는 향후 과제로 남김으로써 추가적인 연구를 계획하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. Savvides, C.-C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", In *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 166-179, 2001.
- [2] A. Smith, H. Balakrishnan, M. Goraczko, and N. Priyantha, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System", In *Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, pp. 138-149, 2004.
- [3] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning Systems (APS) Using AoA", In *Proceedings of the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol. 3, pp. 1734-1743, 2003.
- [4] D. Niculescu and B. Nath, "VOR Base Stations for Indoor 802.11 Positioning", In *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 58-69, 2004.
- [5] Wireless Integrated Network Systems (WINS), <http://wins.rsc.rockwell.com>
- [6] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office", *IEEE Personal Communications*, vol. 4, no. 5, pp. 42-47, 1997.
- [7] X. Cheng, A. Thaeler, G. Xue, and D. Chen, "TPS: A Time-Based Positioning Scheme for Outdoor Wireless Sensor Networks", In *Proceedings of the 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol. 4, pp. 2685-2696, 2004.
- [8] MPR-MIB Wireless Module User's Manual, PN 7430-0021-08, Crossbow, 2007.