

센서노드 위치 측정 정확도 향상 방법

정회원 한 현 진*, 권 태 우*

A Method to Improve Location Estimation of Sensor Node

Hyeun-Jin Han*, Tae-Wook Kwon* *Regular Members*

요 약

센서노드의 위치 측정 방법은 신호 도착시간차(Time of arrival, ToA), 수신신호세기(Received Signal Strength, RSS), 신호각도(Angle of Arrival, AoA) 방법을 비롯하여 다양한 방법들이 연구/발표되고 있다. 본 논문에서는 센서노드의 위치 정확도 향상을 위해 일반 센서노드에서 획득할 수 있는 신호도착 시간과 신호세기를 이용한 ToA와 RSS를 상호 보정하는 방법을 제안한다. 실내/외 실험결과 제안 알고리즘은 노드간 실제 거리와의 오차를 기존의 ToA 보다 30%이상의 성능 향상을 기대할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 센서노드의 위치측정 방법은 센서노드간 거리 측정의 정확도를 향상시킬 수 있고, 이를 이용하여 센서네트워크 환경에서 향상된 노드의 위치 식별에 기여할 것으로 판단한다.

Key Words : WSNs, ToA, RSS, AoA, RSSI, RF-MAP, Cricket, RADAR, Smart Floor, Active Badge, Easy Living, ToA-RSS 보정

ABSTRACT

Existing methods to measure are based on ToA (Timer of Arrival), RSS (Received Signal Strength), AoA (Angle of Arrival) and other methods. In this paper, we propose a compensation of ToA and RSS methods to measure more precisely the distance of nodes. The comparison experiments with the traditional ToA method show that the average error value of proposed method is reduced 30%. We believe that this proposal can improve location estimation of sensor nodes in wireless sensor networks.

I. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks, WSNs)는 저가 및 저전력 센서를 활용하여 고정된 인프라의 도움 없이 센서 노드만으로 정보를 수집하는 네트워크로서 상업, 의료, 국방 등 다양한 분야에서 응용서비스가 확대되고 있는 중요한 연구 분야이다. WSNs의 기본 개념은 일정한 지역에 작고 값이 싼 수백/수천의 센서노드들을 분산 배치하여 각 센서가 자신의 주변 환경을 감지하고, 데이터를 생성, 그 데이터를 중앙 시스템에 전송하는 것이다. 센서 노드들은 미리 정해진 위치에 계획적으로

배치되기 보다는 차량이나 비행기 등을 통하여 살포되어 그 위치가 무작위로 정해지는 경우가 많다. 반면 센서 노드에 의해서 감지된 데이터는 그 데이터가 감지된 위치가 어디인지를 알아야만 의미가 있을 것이다. 따라서 무작위로 살포된 센서 노드들 각각의 위치를 알아내는 것은 WSNs에서 해결되어야 하는 기본적인 문제이다.

지금까지 연구된 센서 노드간의 거리 측정 방법은 신호의 도착시간차(Time of arrival, ToA), 수신신호세기(Received Signal Strength, RSS), 신호각도(Angle of Arrival, AoA)에 기반을 둔 방법 등이 있다. ToA방법은 초음파를 이용함으로써 다른 기술

* 국방대학교 국방관리대학원 NGN연구실(gulasil@naver.com, kwontw9042@hanmail.net)

논문번호 : KICS2009-10-450, 접수일자 : 2009년 10월 8일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 10일

에 비해 상대적으로 정확하지만 오차가 있는 것으로 보고되었고, RSS방법은 센서노드에 구현된 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 수신된 신호의 전압세기를 측정하고 이를 이용하여 거리를 추정하는 방법으로 주변 환경의 간섭에 따라 측정 오차가 발생한다.

본 논문에서는 센서 네트워크 배치된 노드간 정확한 거리 측정을 위해 현 위치 측정 방법 중 가장 대표적인 ToA 및 RSS 방법을 분석하고 이들 두 가지 데이터를 상호 보정하여 좀 더 정확성 있는 센서 노드의 위치 측정 방법을 제안한다.

II. 관련연구

무선 센서네트워크의 위치측정 기술은 전파시간, 전파세기, 전파각도, 압력센서 적외선 및 장면분석 등의 유형이 있다. 무선 센서노드의 위치 측정의 대표적인 기술을 요약하면 아래와 같다.

2.1 ToA(Time of Arrival)

ToA방법^[1]은 2개의 위치를 가지고 있는 송·수신기에서의 신호 전송에 걸리는 시간을 측정한다. 만일 신호의 속도가 v 이고 전송 시간이 t 라면 거리는 $d=v*t$ 가 된다. 송신기에서 송출된 RF 신호가 수신기에 도착하기까지 시간을 측정해서 위치를 측정하는 방식이다. 일반적으로 RF신호는 빛의 속도로 전파되는 반면 초음파속도는 온도(C)에 따라 $V_p = 331.5 + 0.60714C$ [m/s]의 속도^[2]로 전파된다고 한다. 두 노드사이의 초음파를 통해 측정한 거리 오차는 온도에 따른 초음파의 전달 속도차이, 신호 송신 및 검출 시 발생하는 지연, 공기 중의 매질, 물체의 초음파 흡수 등에 의해 결정된다. 오차를 줄이기 위한 반복적인 측정을 통해 보정해 주어야 한다.

ToA방법은 수신되는 노드가 정확한 시간동기화가 이루어졌을 때 가능한 방법이다. 실제 거리에 따른 오차의 원인으로써 전파의 다중경로에 의한 도착시간의 지연이나 장애물에 의한 전파의 회절과 같은 외부 환경적인 요인을 들 수 있으면 이들에 대한 연구^{[3],[4]}가 진행되고 있다.

2.2 RSS(Received Signal Strength)

RSS방법^[5]은 센서노드에 구현된 RSSI 회로를 이용하여 전달된 신호의 전압 세기를 측정한다. 일반적으로 센서노드와 노드간의 거리가 가까울수록 상대노드로부터 수신신호의 전압세기는 커지고 멀어질

수록 전압세기는 약해지므로 이를 통해 거리를 구하는 방식이다. 무선통신 장치라면 RSSI가 장착되어 있으며 모든 노드들에게 적용할 수 있고 수신된 신호의 세기를 기본적으로 계산할 수 있다. 따라서 데이터 통신 중에도 RSS값을 측정할 수 있기 때문에 추가 대역폭을 확보하거나 하드웨어를 추가하여 설치할 필요 없다는 것이 가장 큰 장점이다. 그러나 실내 사무실과 같이 장애물이 많은 환경에서 신호의 간섭, 장애물에 의한 반사, 회절, 분산으로 다중경로 페이딩(Multipath-Fading) 현상이 나타난다. 이러한 다중 경로 페이딩은 RSSI를 변형시키는 원인이 된다.

측정된 RSS값으로부터 보다 정확한 거리 값을 계산해 내기 위해서는 보정 단계가 필요하다. 일반적으로 보정 방법으로는 맵(RF-MAP)기반 알고리즘과 예측기반 알고리즘으로 나눌 수 있다. 맵 기반 알고리즘^[6]은 위치를 추적하고자 하는 타겟 환경을 모두 커버하는 표본(sample) 위치를 선정하여, 그 지점에서의 RSS값을 모두 측정해 맵(RF-MAP) DB를 만드는 방식이다. 다음 거리 보정 알고리즘으로서 신호 전파 모델을 이용한 예측기반 방식이 있다. 이 방식은 측정된 RSS값을 신호 전파 모델(Signal Propagation Model)에 대입해서 거리를 예측하는 방법^[7]이다. 장애물이 없는 실외 공간에서는 하나의 신호전파모델을 구할 수 있으나, 실내공간에서는 신호전파모델 선정이 제한된다.

2.3 AoA(Angle of Arrival)

AoA방법^[8]은 각도를 측정하여 위치를 측정하는 대표적인 방법으로 기지국에서 이동단말이 보내는 신호의 방향각을 이용하여 각 기지국과 이동단말사이의 방향각의 교차점을 계산하여 이동단말의 위치를 측정하는 방법이다. 이동 단말의 위치를 측정하기 위해서는 최소 2개 이상의 방향각들이 필요하며 이들을 교차시킴으로써 위치 파악이 가능하다. 그러나 전파의 특성상 다중경로 현상을 완전히 제거하는 것이 불가능하므로 정확한 신호의 방향각을 측정하기 어렵다.

복잡한 도심과 같이 장애물이 많은 경우 정확한 신호의 방향각 측정이 어려우므로 실제 이동 단말의 위치와 측정된 이동단말 간에는 큰 오차가 발생할 수 있다. 또한 단말기와 기지국간의 거리가 너무 가깝거나 멀어질수록 위치 측정 오차는 커지게 되며 지향성 안테나 나 배열 안테나가 필요하므로 알고리즘을 구현하기가 어렵다. AoA 방식은 다수의

지향성 안테나나 배열 안테나가 요구되어 비용 측면과 시스템 규모가 커지는 단점이 있어 무선 센서 네트워크에 적용하는데 제한된다.

이러한 센서노드의 위치를 파악하는 기법을 활용한 연구에는 MIT에서 실험한 방식으로 RF 신호와 초음파 신호 사이의 시간차를 이용하는 Cricket^[9]과 RSS 기술을 이용해서 위치를 추적하는 RADAR^[10] 시스템, 압력센서를 이용하는 미국 조지아 공대의 Aware Home 프로젝트에서 제안된 Smart Floor 시스템^[11], 적외선을 이용한 1990년대에 AT&T에서 개발된 Active Badge^[12] 시스템, 그리고 카메라 센서를 이용하여 관측되는 장면의 특징을 이용해 타겟을 측정하는 장면분석법을 활용한 1997년 MS에서 제안된 EasyLiving 시스템 등이 소개되었다.

III. ToA와 RSS 보정 방법

본 연구에서는 거리 측정 오차를 줄여 정확도를 향상시키기 위해 ToA와 RSS를 상호 보정하는 방법을 제안한다. 이를 위하여 ToA 측정단계, RSS 측정단계, 가중치 부여를 통한 보정단계로 진행한다.

- **ToA 측정단계**는 센서노드간의 RF와 초음파 신호를 통해 센서노드의 거리를 파악한다. ToA를 측정하기 위해 센서노드는 송신기와 수신기로 구분되어 송신기는 RF 메시지를 통해 초음파를 전송할 것임을 수신기에게 알리게 된다. 수신기는 초음파 전원을 작동시키고 시간을 측정하기 위해 타이머를 동작시킨다. 송신기는 초음파를 송신하겠다는 RF 메시지 송신이 끝나면 바로 초음파 모듈을 작동시켜 5회 만큼 초음파 신호를 전송한다. 초음파 신호를 통한 거리 평균은 저장 장소 및 처리 시간을 고려하여 반복적 자료처리(recursive data processing) 방법을 사용하였다. 이를 통해 초음파 신호 수신시간의 평균을 산정할 수 있다. 초음파의 시간은 거리에 따라 증가하므로 수신기가 동작시킨 타이머를 통해 송신기와의 거리를 계산할 수 있다. 초음파는 1초에 약 331.4m를 이동한다. 초음파의 속도에 영향을 미치는 주요 요소는 온도가 있다. 실험에서는 온도에 따른 초음파 속도(331.4 + (0.6 * 온도))를 적용하였다.

- **RSS 측정단계**는 센서노드가 기본적으로 가지고 있는 RSSI회로를 이용한다. 센서노드간 거리에 따른 수신강도세기를 통해 거리를 추정한다. 따라서 ToA에 환경에 적용되었던 실험환경을 RSS에 동일하게 적용하여 거리와 수신세기의 관계를 확인한다.

RSS 신호는 주변 환경에 영향을 많이 받기 때문에 두 센서노드 사이에 정확한 수치를 계산하기 위해 10회의 신호의 송수신을 실시하였다. 수신된 신호 세기는 ToA와 동일하게 반복적 자료처리(recursive data processing)를 사용한다.

- **가중치 부여 및 보정단계**는 ToA와 RSS의 거리 측정 기술을 통해 측정된 거리 자료를 기반으로 센서노드의 거리 측정오차를 줄이기 위한 보정 및 가중치를 부여한다. ToA와 RSS를 통해 측정하는 정보는 측정오차가 발생하기 때문에 2개의 거리 측정 기술을 상호 보정하여 거리 측정오차를 줄인다. 수신기로부터 측정된 RF 신호의 RSS는 이미 센서 펠드 환경에서 거리와 RSS의 관계를 표현한 RF-MAP을 이용하여 보정한다. ToA가 RSS보다 더 작은 측정오차를 가지므로 2개 측정결과의 평균과 표준편차를 이용하여 가중치를 부여하고 값을 보정한다. 가중치는 ToA와 RSS의 값이 가지고 있는 평균에 대한 “**경중률**”을 통해서 나타낸다. 측정값의 “**경중률**”은 각 값이 갖고 있는 표준편차를 기준으로 정하며, 표준편차 제곱에 반비례한다. 표준편차가 크면 클수록 그 값의 경중률은 떨어지며 평균에 대한 기여도가 적어지게 된다. 가중평균은 2개의 평균 및 표준 편차를 이용하여 아래 식(1)과 같다.

$$W_{av} = \frac{(av1 \times sd2^2) + (av2 \times sd1^2)}{sd1^2 + sd2^2} \quad (1)$$

IV. 실험 및 평가

실험은 무선통신센서를 이용하여 실내/외 네트워크 환경을 구성하여 실험하였다. 무선통신 센서는 한백전자 Zigbex II 모드를 사용하였다. Zigbex II 모드는 마이크로 컨트롤러(ATmega128L), 무선 통신 칩(CC2420), 센서, 안테나 등으로 구성되어 있으며 프로그래밍과 Host PC와의 통신을 위한 인터페이스로 구성되어 있다.

4.1 실내 실험 및 평가

실내 실험을 위한 환경은 가로 길이 10m와 세로 길이 7.7m에 공간으로 총 9개(센서노드 8개, Sink node 1개)를 각각 배치하였다. ToA 측정을 위해 싱크노드를 포함한 3개의 센서노드에는 초음파 센서 모듈을 장착하여 배치하였다. 수신신호세기는 배치된 모든 센서노드로부터 측정하였다.

- **ToA 측정**: 초음파 모듈을 장착한 센서 노드의

거리 측정은 표 3과 같이 평균 2.438의 오차를 보이며 표준편차는 2.744로 비교적 안정적인 결과를 보이고 있다. 상대적으로 오차가 큰 센서노드 6을 제거하면 평균은 1.643, 표준편차는 1.701로 오차는 줄어들게 된다. 초음파 모듈은 송수신기가 서로 마주보고 있어야 정확한 거리를 측정할 수 있다. 초음파 모듈의 송수신기간의 일직선상에서의 각도가 변경되면 거리오차가 발생한다. 또한 10cm의 거리에서 초음파 송수신기를 일직선상에 놓고 거리를 측정한 결과 2cm를 초과하여 오차가 발생하였다.

- **RSS 측정:** 거리와 RSSI 관계 실험을 위해 싱크노드를 고정시켜놓고 송신기를 30cm 단위로 간격을 조정하여 6미터까지 측정하였다. 센서네트워크 구축에 따른 거리 맵핑 자료로 활용하기 위해 싱크노드와 송신기간 장애물이 없도록 하였다. 매 300개의 RSSI 값을 측정하여 평균값을 적용하였다. 실내에서 측정한 거리별 RSS값과 산점도는 표 1 및 그림 1과 같다.

실험결과에서 보는 것과 같이 거리가 멀어 질수록 RSS 값이 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 180cm이상에서는 거리가 멀어질수록 RSSI의 변동폭이 작아짐을 알 수 있다. 이는 거리가 멀어질수록 오차가 많이 발생한다는 것을 의미한다. 또한 측정 장비의 오차 및 환경에 영향을 많이 받는 것을 의미한다. 다시 말해 180cm이상에서의 RSSI 값의 변화는 주변 환경에 대한 영향과 측정 장비의 오차 허용치에 따라 결과에 많은 차이가 발생함을 알 수 있다.

거리에 따른 감소곡선이 180cm를 기준으로 다르게 나타나므로 전체분포의 상관도와 부분으로 구분하여 상관관계를 확인할 필요가 있다. 따라서 신호의 강도

표 1. 거리별 RSS값 변동 추이(실내)
Table 1. Distance and RSS(indoor)

| 거리(m) | RSSI(dBm) | 거리(m) | RSSI(dBm) |
|-------|-----------|-------|-----------|
| 30 | 97.25 | 330 | 68.0 |
| 60 | 87.1 | 360 | 67.4 |
| 90 | 79.2 | 390 | 68.5 |
| 120 | 75.0 | 420 | 62.0 |
| 150 | 68.0 | 450 | 64.0 |
| 180 | 73.0 | 480 | 58.0 |
| 210 | 74.0 | 510 | 63.0 |
| 240 | 72.0 | 540 | 62.0 |
| 270 | 70.3 | 570 | 60.0 |
| 300 | 68.0 | 600 | 56.25 |

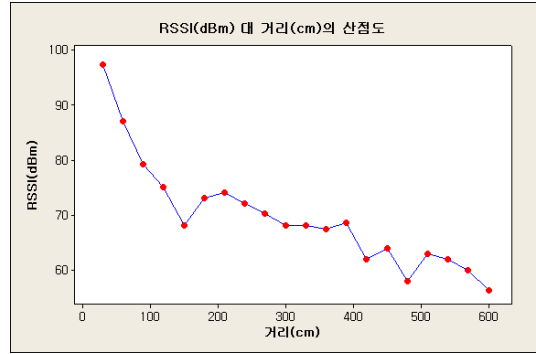


그림 1. 거리별 RSS값 산점도(실내)
Fig. 1. Scatter Diagram of Distance and RSS(Indoor)

는 거리의 제공에 반비례함에 따라 실내에서 측정된 거리와 RSSI관계를 회귀공식을 도출하기 위해 통계 프로그램인 미니탭(minitab 14)을 이용하여 선형, 2차원, 3차원 관계를 산출하면 표 2와 같다.

거리와 RSS의 관계를 이용하여 실내 환경에서 무선 센서네트워크의 센서 노드로부터 싱크 노드는 신호를 수신하여 RSS값을 측정하게 된다. 측정값의 정확도를 위해 각 센서노드로부터 약 250여개의 신호의 평균을 산정하여 측정하였다. 측정된 RSS(dBm)값을 맵(RF-MAP) 데이터를 이용하여 거리를 도출하기 위해 선형, 2차원, 3차원 관계식 표 2를 적용하여 측정된 RSS값은 표 3과 같다.

- **가중치에 의한 ToA와 RSS 보정:** ToA 측정

표 2. 거리와 RSS 선형/2차원/3차원 관계식(실내)
Table 2. Relationship between Distance and RSS(Indoor)

| 구분 | 관계식 |
|-----|--|
| 선형 | $D(cm) = 1426 - 15.95 * RSS(dBm)$ |
| 2차원 | $D(cm) = 3779 - 79.76 * RSS(dBm) + 0.4230 * RSS(dBm)^2$ |
| 3차원 | $D(cm) = -397 + 91.2 * RSS(dBm) - 1.873 * RSS(dBm)^2 + 0.01009 * RSS(dBm)^3$ |

표 3. ToA와 RSS 측정결과(실내)
Table 3. Results of ToA and RSS(Indoor)

| 구분 | 실거리 | ToA | | RSS | |
|-----|------|-----|------|-------|--------|
| | | 측정 | 오차 | 측정 | 오차 |
| 노드1 | 49.5 | 48 | -1.5 | 38.8 | -10.6 |
| 노드2 | 158 | 161 | +3 | 164.1 | 6.1 |
| 노드3 | 215 | 217 | -2 | 173.9 | -41.1 |
| 노드4 | 227 | 229 | +2 | 204.6 | -22.4 |
| 노드5 | 303 | 305 | +2 | 77.9 | -225.1 |
| 노드6 | 313 | 321 | +8 | 204.6 | -108.4 |
| 노드7 | 360 | 364 | +4 | 316.5 | -43.5 |
| 노드8 | 482 | 485 | +3 | 247.7 | -234.3 |

을 통한 오차 평균은 2.063cm이고 표준편차는 2.678cm이다. 실거리와 ToA측정 데이터의 Pearson 상관계수는 1.000이다. 이는 통계적으로 2개의 데이터가 직선관계에 있으며 오차가 거의 없음을 의미한다. RSS를 통한 오차 평균은 -84.9cm이고 표준편차는 95.5cm이다. 실 거리와 RSS측정 데이터의 Pearson 상관계수는 0.690이다. ToA와 RSS보정을 위한 가중평균은 식(1)을 이용하면 1.99cm를 구할 수 있다. 이는 ToA만으로 측정된 오차 평균 2.063cm보다 RSS와 가중치를 통해 보정해 주면 1.99cm로 약 0.073cm가 줄어든 결과를 얻을 수 있음을 의미한다.

표 4. ToA와 RSS 측정결과(실외)
Table 4. Results of ToA and RSS(Outdoor)

| 구 분 | | 실거리 | ToA | | RSS(3차원) | |
|------|-----|-----|-------|------|----------|-----|
| | | | 측정 | 오차 | 측정 | 오차 |
| Sink | 노드3 | 254 | 255.4 | 1.4 | 284 | 30 |
| Sink | 노드1 | 520 | 523.4 | 3.4 | 491 | -29 |
| 노드1 | 노드2 | 603 | 607.0 | 4.0 | 732 | 129 |
| 노드1 | 노드3 | 689 | 693.8 | 4.8 | 603 | -86 |
| Sink | 노드2 | 721 | 768.2 | 47.2 | 839 | 118 |
| 노드2 | 노드3 | 726 | 729.0 | 3.0 | 784 | 58 |

4.2 실외 실험 및 평가

실외 테스트베드는 Zigbex II 센서노드 4개를 이용하여 배치하였고 실내와 같은 절차와 방법으로 실험을 진행한다.

- **ToA 측정:** 센서노드와 노드간 측정결과는 표 4과 같다.

- **RSS 측정:** 거리와 RSSI 관계 실험을 위한 실외 환경의 거리별 RSS를 측정하기 위해 싱크노드를 고정시켜놓고 센서노드를 50cm간격으로 이동시켜 10m까지 측정하였다. 센서네트워크 구축에 따른 거리 맵(RF-MAP) 자료로 활용하기 위해 싱크노드와 센서노드 사이에는 장애물이 없도록 하였다. 수신세기는 각각 10회의 RSSI 값을 측정하여 평균값을 적용하였다. 실외에서 측정된 싱크와 노드간 거리별 RSS값과 산점도는 표 5 및 그림 2와 같다.

실험결과 거리가 멀어 질수록 RSS 값이 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 6m~8m 사이에서는 신호세기의 변동 폭이 크게 나타남을 알 수 있다. 신호의 강도는 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 거리와 RSS의 설명력이 큰 값을 찾기 위해 신호와

표 5. 거리별 RSS값 변동 추이(실외)
Table 5. Distance and RSS(outdoor)

| 거리(m) | RSSI(dBm) | 거리(m) | RSSI(dBm) |
|-------|-----------|-------|-----------|
| 0 | 111.00 | 5.5 | 53.82 |
| 1 | 78.63 | 6 | 50.55 |
| 2 | 69.21 | 6.5 | 44.19 |
| 2.5 | 63.13 | 7 | 51.05 |
| 3 | 62.78 | 7.5 | 43.76 |
| 3.5 | 59.21 | 8 | 52.14 |
| 4 | 56.17 | 9 | 48.43 |
| 4.5 | 55.74 | 10 | 41.23 |
| 5 | 56.76 | | |

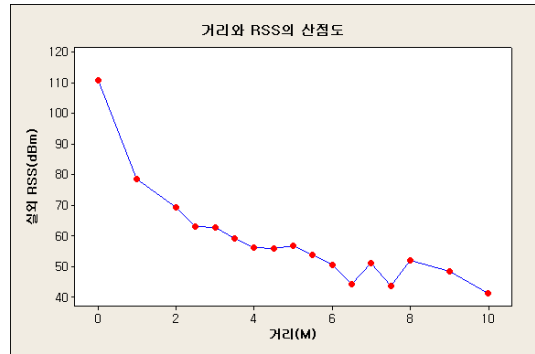


그림 2. 거리별 RSS값 산점도(실외)
Fig. 2. Scatter Diagram of Distance and RSS(Outdoor)

거리의 관계를 선형, 2차원, 3차원으로 구분하여 확인하면 아래 표 6과 같다.

거리와 RSS의 관계를 이용하여 실외 환경에서 4개의 센서 노드는 서로 신호 송수신을 통해 RSS값을 측정하게 된다. 측정된 RSS값을 거리와 맵핑하기 위해 도출한 선형, 2차원, 3차원 관계식을 적용하여 거리별 산출결과와 오차는 표 4와 같다.

- **가중치에 의한 ToA와 RSS 보정:** 표 4와 같이 실 거리와 ToA 측정결과 평균값은 10.63cm이고 표준편차는 17.95cm이다. RSS를 통한 오차 평균은 36.7cm이고 표준편차는 83.7cm이다. ToA와 RSS 보정을 위한 가중평균은 식(1)을 이용하면 8.55cm

표 6. 거리와 RSS 선형/2차원/3차원 관계식(실외)
Table 6. Relationship between Distance and RSS (Outdoor)

| 구분 | 관계식 |
|-----|--|
| 선형 | $D(cm) = 13.42 - 0.1435 * RSS(dBm)$ |
| 2차원 | $D(cm) = 29.01 - 0.6033 * RSS(dBm) + 0.003081 * RSS(dBm)^2$ |
| 3차원 | $D(cm) = 25.27 - 0.4311 * RSS(dBm) + 0.00058 * RSS(dBm)^2 + 0.000011 * RSS(dBm)^3$ |

이다. ToA 오차 평균이 10.63cm인데 RSS 값과 상호 보정하면 오차는 8.55cm된다. ToA와 RSS 가중 값을 통한 상호보정 결과는 아래 표 7과 같다.

실험결과를 통하여 ToA만으로 측정된 오차 평균 10.63cm에 RSS와 가중치를 통해 보정해 주면 8.55cm로 전체 네트워크에서 평균적으로 2.08cm 줄어든 결과를 얻을 수 있다. 이 실험결과를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 즉 제안 알고리즘인 ToA와 RSS 상호보정 방법이 기존 ToA보다 약 30% 거리 측정 정확도가 향상되었음을 확인 할 수 있다.

표 7. ToA와 RSS 보정 결과(실외)
Table 7. Results of ToA and RSS Compensation(Outdoor)

| 구 분 | | 실거리 | ToA & RSS 보정 | |
|------|-----|-----|--------------|--------|
| | | | 가중평균 | 오차 |
| Sink | 노드3 | 254 | 254.57 | 0.57 |
| Sink | 노드1 | 520 | 518.42 | - 1.58 |
| 노드1 | 노드2 | 603 | 605.69 | 2.69 |
| 노드1 | 노드3 | 689 | 691.51 | 2.51 |
| Sink | 노드2 | 721 | 761.53 | 40.53 |
| 노드2 | 노드3 | 726 | 723.82 | - 2.18 |

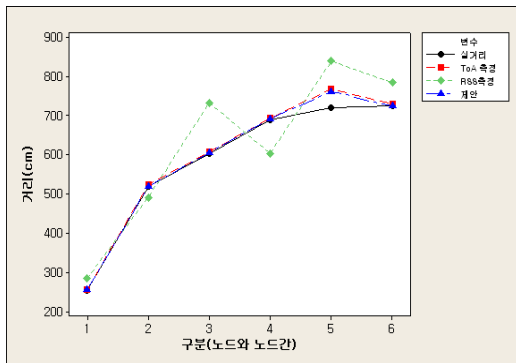


그림 3. 실험 결과
Fig. 3. Results

V. 결 론

무선 센서 네트워크는 저가 및 저 전력 센서를 활용하여 고정된 인프라의 도움 없이 센서노드 만으로 정보를 수집하는 네트워크로서 상업, 의료, 국방 등 다양한 분야에서 응용서비스가 확대되고 있는 연구 분야이다. 이러한 무선 센서 네트워크에서 각 센서 노드의 위치 정보는 다양한 응용서비스 및

에너지 효율적인 라우팅이나 질의와 같은 기능을 수행하기 위해 매우 중요하다. 지금까지 연구된 무선 센서 네트워크에서 센서 노드간의 거리 측정 방법은 신호의 도착시간차(ToA), 수신신호세기(RSS), 신호각도(AoA)에 기반을 둔 방법 등이 있다.

본 연구는 센서 노드의 거리 정확도 향상을 위한 ToA와 RSS를 상호 보정하는 방법을 제안한다. 실내/외 실험 결과 ToA 방법 보다 거리 오차를 줄여 센서노드 위치측정의 정확도를 향상 시킬 수 있을 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- [1] Andreas Savvides, Chih-chieh Han, Mani B., "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", In Proceedings fo ACM SIGMOBILE, pp.166-179, 2001.
- [2] 박종진, "유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 초음파 위치 인식 시스템에 관한 연구", 한국통신학회논문지, Vol.31, No.7B, pp.595-601, 2006.
- [3] S.Graneriwal, S. Capkun, C.C. Han, M.B. Srivastava, "Secure Time Synchronization Service for Sensor Networks", In Proceeding of ACM Workshop on Wireless security, pp.97-106, 2005.
- [4] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol", In Proceeding of Sensys, pp.39-49. 2004.
- [5] Yoshikazu Ohta, Masashi Sugano, Masayuki Murata, "Autonomous Localization method in wireless Sensor Networks", IEEE PERCOMM workshop '05, pp.379-384, 2005.
- [6] K. Whitchose and D.Culler., "Calibration as parameter estimation in sensor networks." In Proceeding of ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Application, pp.59-67, Sept. 2002.
- [7] Scott Y. Seidel and Theodore S. Rapport, "914Mhz path loss prediction model for indoor wireless communication in multifloored buildings", IEEE. Vol.40. No.2, pp.207-217, 1992.
- [8] Niculescu, Badri Nath, "Ad-hoc Positioning System(APS) Using AOA", In Proceedings of IEEE INFOCOM 2003, Vol.03, pp.1734-1743,

2003.

[9] Nissanka B. Priyantha, "The Cricket Indoor Location System", In Phd Thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2005.

[10] P.Bahl and V. N. Padmanabhan. "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System". In Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, Vol.2, pp.775-784, 2000.

[11] J.O. Rover and G. D. Abowd, "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking," in Proceedings of the 2000 Conference on Human Factor Computing Systems, pp.275-276, Apr. 2000.

[12] Harter, A., Hopper, A. "A Distributed Location System for the Active Office", IEEE Network, Special Issue on Distributed Systems for Telecommunications, pp.62-70, 1994.

권태욱 (Tae-Wook Kwon)

정회원



1986년 3월 육군사관학교 컴퓨터학과 졸업
 1995년 9월 미 해군대학원 컴퓨터공학과 공학석사
 2001년 2월 연세대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 2007년 7월~현재 국방대학교

전산정보학과 조교수

<관심분야> Next Generation Networks, Computer Communication, Sensor Networking, Cloud Computing, RFID/USN Systems, Virtual Reality.

한현진 (Hyun-Jin Han)

정회원



1999년 3월 한국항공대학교 컴퓨터공학과(학사).
 200년 1월 국방대학교 전산정보학과 석사
 현재 연합사 통신전자참모부 전산운영과장
 <관심분야> 센서네트워크, 모바일 컴퓨팅