

센서 노드의 거리 정확도 측정을 위한 ToA기반 RSS보정 방법에 관한 연구

한현진, 조오형, 이현욱, 권태욱
국방대학교 전산정보학과
e-mail: gulasil@naver.com

A Study on RSS correction method based ToA for Distance Estimation in Sensor node

Han Hyun Jin, Jo O Hyoung, Lee Hyun Wook, Kwon Tae Wook
Korea National Defense University

요 약

무선 센서 네트워크는 고정 인프라 없이 센서 노드만으로 정보를 수집하는 네트워크로서 센서들의 위치정보 식별은 매우 중요하다. 센서 노드간 거리 측정은 신호의 도착시간차(Time of Arrival: ToA), 신호세기(Received Signal Strength: RSS), 신호각도(Angle of Arrival: AoA)에 기반을 둔 방법 등이 있다. 무선 센서 네트워크에 배치되어 있는 각 센서 노드간 정확한 거리 식별을 위해 기존의 거리 측정 방법을 보완하여 거리 오차를 줄이는 ToA기반의 RSS보정 방법을 제안한다. 구체적으로 초음파를 통한 거리측정 값에 맵(RF-MAP)을 통해 보정한 RSS값을 가중치로 보정하여 기존의 거리 측정 방법보다 측정오차를 줄였다. 실험을 통해 제안한 방법은 기존 ToA보다 실내(5m×7m)에서 평균 0.1cm, 실외(10m×10m) 평균 0.6cm 측정 오차를 줄일 수 있음을 확인 할 수 있었다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 고정된 인프라의 도움없이 센서 노드만으로 정보를 수집하는 네트워크로서 일정한 지역에 수백 혹은 수천 개에 이르는 센서 노드들을 분산 배치하여 주변 환경을 감지하고, 감지된 데이터를 처리하며, 그 데이터를 중앙 시스템에 전송하는 체계이다[1]. 이런 감지된 데이터는 그 데이터의 위치가 어디인지를 알아야만 의미가 있다.

무선 센서 네트워크에서 노드의 위치를 측정하기 위해서는 노드간 거리를 측정하고 측정된 거리정보를 바탕으로 삼변측량 등을 통해 노드의 위치를 추정할 수 있다. 노드간 거리를 측정하는 방법은 전파의 속도에 따른 도착 시간차를 이용하는 ToA, 전파의 세기의 크기를 통해 거리를 측정하는 RSS, 신호가 전송되는 방향의 각도를 이용해 거리를 측정하는 AoA 등이 있다.

본 논문에서 제안하는 ToA기반의 RSS보정 방법은 센서 노드간 초음파를 통해 측정된 거리 정보에 맵(RF-MAP)을 통해 보정한 RSS 거리 정보를 가중치 평균을 이용하여 오차를 줄이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 거리와 측정 방법을 알아보고, 3장에서 제안하는 ToA기반 RSS 보정방법에 대해 알아본다. 4장에서는 실험을 통해 거리 오차를 기존 방법과 비교 평가한다. 5장에서는 결론에 대해서 기술한다.

2. 관련연구

대표적인 위치탐지 시스템으로는 GPS(Global Positioning System)가 있다. 하지만 GPS는 실내에서는 측정할 수 없으며, GPS의 비용 및 크기가 커서 많은 수의 값이 싼 센서 노드들을 이용하는 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 효과적이지 않다[2][3][4].

거리 측정은 전파의 속도에 따른 시간차(ToA), 전파의 세기(RSS), 전파의 각도(AoA), 압력센서나 적외선을 활용한 근접도 측정이나 장면 분석 등으로 구분될 수 있다.

2.1 ToA

ToA는 송신자로부터의 수신자에게 도착한 RF, 초음파 등의 신호 전송 시간을 측정한다[4]. RF의 속도는 대략 10^6 으로 초음파는 1ms에 대략 0.3m을 전송하지만 RF는 1ns에 0.3m을 전송한다. 시간을 이용한 측정기술의 핵심은 전파의 다중 경로에 의한 도착시간 지연이나 장애물에 의한 전파의 회절과 같은 외부 환경적인 요인에 얼마나 수신자가 정확하게 도착시간을 측정하는데 있다. 또한 동시에 전송되는 2개의 신호를 수신하는 노드의 정확한 시간동기화가 이루어졌을 때 가능하다. 실험을 통해서 센서 노드들 사이의 clock drift가 최대 52 μ s가 발생할 수 있다고 보고되었다[7].

ToA를 이용한 대표적인 위치 추적 시스템은 MIT의 Cricket을 들 수 있다[5]. 정밀도는 1cm~3cm이다.

2.2 RSS

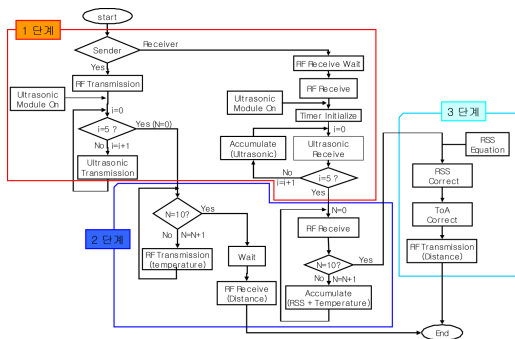
수신신호 세기는 센서 노드에 구현된 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 회로를 이용하여 전달된 신호의 전압 세기를 측정한다. RSS는 추가 대역이나 에너지 소모 없이 노드간 정보전송시에도 RF의 RSSI를 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 하지만 노드 배치 환경 및 송신자의 전송과위에 따라서 오차가 발생하기 때문에 측정된 RSS값은 보정단계가 필요하다. 보정은 타깃환경을 커버하는 표본의 위치에서 RSS값을 측정하는 맵(RF-MAP)과 신호감쇠모델을 이용하는 방식으로 나눌 수 있다. RSS를 이용한 대표적인 위치 추적 시스템은 MS의 RADAR를 들 수 있다[6].

2.3 AoA

AoA는 각도를 측정하여 위치를 측정하는 방법으로 기지국에서 이동단말이 보내는 신호의 방향각을 이용하여 각을 측정하고 각 기지국과 이동단말 사이의 방향각의 교차점을 계산하여 이동단말의 위치를 측정하는 알고리즘이다. AoA방식은 모두 여러 개의 안테나가 요구되어 비용과 시스템의 규모가 커지는 단점이 있다[8].

3. ToA기반 RSS 보정

무선 센서노드간 거리측정을 위해 초음파를 이용한 ToA 기반의 거리 정보에 RSS를 보정하여 가중 평균을 통해 오차를 줄인다. 정확한 거리 측정을 위해 (그림 1)와 같이 ToA 측정 단계, RSS 측정 단계, 가중치 부여를 통한 보정 단계로 구분하여 3단계로 진행된다.



(그림 1) ToA기반 RSS보정 알고리즘 흐름도

3.1 ToA 측정

두 노드간의 초음파를 이용하여 센서노드의 거리오차를 측정한다. ToA를 측정하기 위해 센서노드는 송신기와 수신기로 구분되어 송신기는 RF 메시지를 통해 초음파를 전송할 것임을 수신기에 알리고, 수신기는 송신기의 RF 메시지를 통해 송신기의 초음파 전송을 감지하고 초음파 전원을 작동시키며, 타이머를 동작시킨다.

송신기는 초음파를 송신하겠다는 RF 메시지 송신이 끝

나면 바로 초음파 모듈을 작동시켜 측정 오류를 줄이기 위해 5회의 초음파 신호를 전송한다. 수신측의 신호의 평균은 저장 장소 및 처리 시간을 고려하여 반복적 자료처리(recursive data processing)방법을 사용한다.

3.2 RSS 측정

RSS 측정 단계는 센서노드가 기본적으로 가지고 있는 RSSI회로를 이용한 수신강도세기를 통해 센서노드의 거리에 따른 수신강도세기를 측정하여 거리를 측정한다. RSS 신호는 주변 환경에 영향을 많이 받기 때문에 두 센서노드 사이에 정확한 수치를 계산하기 위해 다수의 신호의 송·수신이 필요하다. 제안하는 알고리즘에서는 송신자가 10회의 RF신호를 송신하게 된다.

수신자는 초음파 신호 이후에 RF 신호를 수신하게 되면 이후로 9개의 신호를 추가로 더 수신하게 되고 수신된 신호 세기는 ToA와 마찬가지로 반복적 자료처리 방법을 사용한다

3.3 가중치 부여 및 보정

가중치 부여 및 보정단계는 2개의 거리측정과정을 통해 확보한 위치 자료를 기반으로 센서노드의 거리 오차를 최소화하는 방안을 도출한다. 측정된 RSS값의 거리 정보를 보정하기 위해 타깃환경을 커버하는 표본의 위치에서 측정된 맵(RF-MAP)으로 보정한다. ToA와 보정한 RSSI값의 측정 오차를 줄이기 위해 가중치를 부여한다. 가중치는 ToA와 RSS의 값이 가지고 있는 평균에 대한 중요도를 통해 나타낸다. 관측 값의 가중치는 ToA와 RSS가 갖고 있는 표준편차를 기준으로 정한다. 즉 가중평균은 2개의 평균 및 표준 편차가 각각 $(av1, sd1)$, $(av2, sd2)$ 일 때 (식1)와 같이 구할 수 있다.

$$W_{av} = \frac{(av1 \times sd2^2) + (av2 \times sd1^2)}{sd1^2 + sd2^2} \quad (식1)$$

표준편차가 크면 클수록 그 값의 가중치는 떨어져서 평균에 대한 기여도가 작아지게 된다. 이를 통해 가중치를 부여한 오차 보정 값을 얻을 수 있다.

4. 실험 및 평가

4.1 실험 환경

실험에 사용한 무선통신 센서는 한백전자 Zigbex II 모드를 이용하였다. Zigbex II모드는 마이크로 컨트롤러(ATmega128L), 무선 통신 칩(CC2420), 센서, 안테나 등으로 구성되어 있다. 센서노드의 RF 송·수신기는 수신측이 -94dBm 전파까지 분석할 수 있어 송신측의 RF 파워에 따라 전송 거리가 결정되게 된다. 센서노드의 RF 송수신기의 인터페이스는 8가지 단계의 Power control 할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 최고 0dBm부터 최소 -25dBm으로 출력파워를 조절할 수 있으며 수신측에서 받게 되는 전파의 세기가 -94dBm이상일 경우 전파를 수신할 수 있다. 실험 구성은 실내와 실외로 구분하여 센서 노

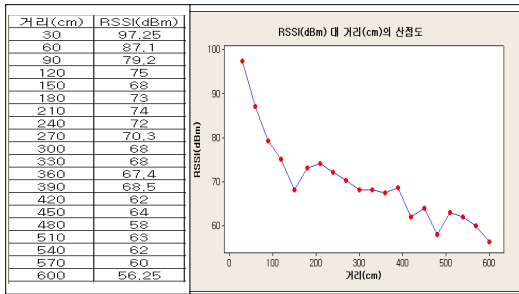
드를 배치하고 네트워크를 구성하여 실시하였다.

4.2 실험결과 및 평가

4.2.1 실내

ToA측정을 위해 싱크노드를 포함한 3개의 센서노드에는 초음파 센서 모듈을 장착하고 배치하여 측정하였으며 다른 노드도 측정하기 위해 동일 위치에 초음파 센서를 부착하여 측정하였다. 수신신호세기는 배치된 모든 센서노드로부터 측정할 수 있다. 맵(RF-MAP)은 동일 실내 환경에서 일정 간격으로 거리를 변경하며 RSS를 측정하여 관계식을 도출하였다.

먼저 거리와 RSS값의 관계 맵(RF-MAP)을 작성하기 위해 싱크노드를 고정하고 송신기를 30cm 단위로 간격을 조정하여 6미터까지 측정하였다. 측정 거리별 RSS값과 산점도는 (그림 3)와 같다.



(그림 3) 거리별 RSS 값 변화(실내)

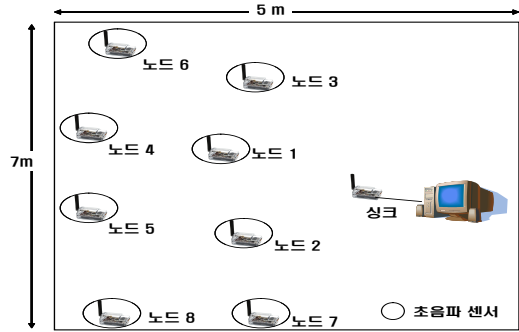
거리가 증가할수록 RSS의 값이 작아지는 것을 알 수 있다. 거리별 RSS의 관계를 통계프로그램 미니맵 14.0을 이용하여 선형, 2차원, 3차원관계식으로 도출하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 거리와 RSS의 관계식(실내)

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

거리와 RSS의 상호간의 관계를 나타내는 R-계급값은 선형 78.2%, 2차원 84.8%, 3차원 90.5%로 3차원 관계식이 거리와 RSS의 관계를 가장 잘 설명한다. 관계식을 적용한 결과 평균 오차는 선형 65.36cm, 2차원 45.54cm, 3차원 43.07cm의 기본 오차를 보인다.

센서 네트워크를 구성한 환경은 (그림 4)과 같이 가로 길이 10m와 세로 길이 7m 공간으로 총 9개(센서노드 8개, 싱크 노드 1개)를 각각 고도와 무선 통신 기의 방향에 관계없이 배치하였다.



(그림 4) 무선 센서 네트워크 구성(실내)

센서 네트워크의 싱크노드와 각 노드간 ToA와 RSS 측정 결과는 <표 2>과 같다.

<표 2> ToA와 RSS 측정 오차(단위:cm)

구분	실거리	ToA		RSS		
		측정	오차	측정	오차	
싱크	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

ToA 측정을 통한 오차 평균은 2.063cm이고 표준편차는 2.678cm이다. RSS를 통한 오차 평균은 -84.9cm이고 표준편차는 95.5cm이다.

ToA기반의 RSS보정은 각각의 측정값의 표준편차를 기준으로 가중치를 부여한다. 즉 각 측정치에 대한 가중치는 표준편차 제곱에 반비례한다. 표준편차가 크면 클수록 그 값의 가중치는 떨어지며 평균에 대한 기여도가 적어지게 된다. ToA와 RSS의 평균과 표준편차를 대입하면 (식2)와 같이 오차 보정 값을 얻는다.

$$W_{\text{avg}} = \frac{(2.063 \times 95.5^2) + (-84.9 \times 2.678^2)}{2.678^2 + 95.5^2} = 1.99 \text{ cm} \quad (\text{식2})$$

ToA평균오차가 2.063cm이지만 RSS로 보정하면 오차는 1.99cm로 줄어든다. 이를 통해 평균 약 0.1cm의 오차를 줄일 수 있다.

4.2.2 실외

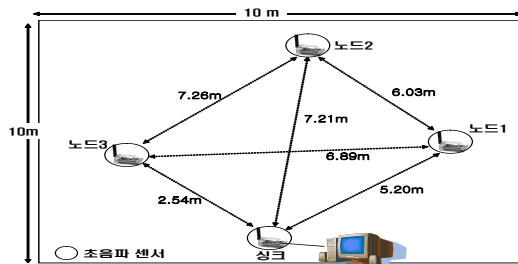
거리와 RSS값의 관계 맵(RF-MAP)을 작성하기 위해 싱크노드를 고정시키고 송신 노드를 50cm 간격으로 거리를 조정하여 10미터까지 측정하였고, 측정 결과를 선형, 2차원, 3차원관계식으로 도출하면 <표3>과 같다

<표 3> 거리와 RSS의 관계식(실외)

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

거리와 RSS의 상호간의 관계를 나타내는 R-제곱값은 선형이 70.0%, 2차원 88.6%, 3차원 95.3%로 3차원 관계식이 거리와 RSS의 관계를 가장 잘 설명해 주고 있으며, 실내 3차원 관계식보다 약 5%의 오차범위가 줄어들 수 있음을 확인할 수 있다.

실외 센서네트워크 구성은 (그림 5)과 같이 가로 10m, 세로 10m 공간에 총 4개의 노드를 배치하였다.



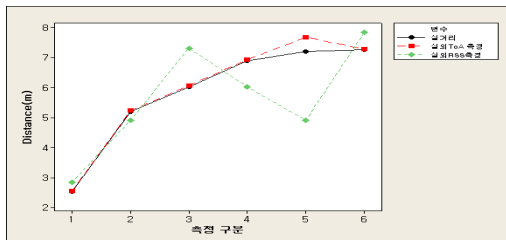
(그림 5) 무선 센서 네트워크 구성(실외)

센서 네트워크의 싱크노드와 각 노드간 ToA 와 RSS 측정 결과는 <표 4>과 같다.

<표 4> ToA와 RSS 측정 오차(단위 : m)

구분	거리	ToA		RSS(3차원)	
		측정	오차	측정	오차
1	Sink-노드3	2.54	2.55 0.014	2.84	0.30
2	Sink-노드1	5.20	5.23 0.034	4.91	-0.29
3	노드1-노드2	6.03	6.07 0.04	7.32	1.29
4	노드1-노드3	6.89	6.94 0.048	6.03	-0.86
5	Sink-노드2	7.21	7.68 0.472	4.91	-2.30
6	노드2-노드3	7.26	7.29 0.03	7.84	0.58

ToA 측정을 통한 오차 평균은 10.63cm이고 표준편차는 17.95cm이다. RSS를 통한 오차 평균은 -21.3cm이고 표준편차는 125.9cm이다. 실거리와 ToA, RSS값을 그래프로 나타내면 (그림 6)과 같다.



(그림 6) 실거리와 ToA, RSS 측정결과 비교

ToA와 RSS의 평균과 표준편차를 대입하면 (식3)와 같이 오차 보정 값을 얻는다.

$$W_{av} = \frac{(10.63 \times 125.9^2) - (21.3 \times 17.95^2)}{17.95^2 + 125.9^2} = 10cm \quad (식3)$$

ToA평균이 10.6cm인데 RSS로 보정하면 오차는 10cm 된다. 이를 통해 평균 약 0.6cm의 오차를 줄일 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크 구성에 필요한 노드간 거리를 측정하기 위해 ToA기반 RSS 보정방법에 관한 것이다. 첫째 단계로 두 노드간의 ToA를 기반으로한 초음파를 이용하여 센서노드의 거리오차를 측정한다. 두 번째 단계는 센서노드가 기본적으로 가지고 있는 RSSI를 이용한 수신신호세기를 측정한다. 세 번째 단계는 가중치 부여를 통한 보정단계이다. 측정된 RSS값을 보정하기 위해 타깃환경을 커버하는 표본의 위치에서 측정된 맵(RF-MAP)을 이용한다. 가중치는 ToA와 RSS 측정 값의 평균과 표준편차를 이용하여 산출한다.

실험은 실내와 실외를 구분하여 정확도 측정 결과 실내 환경에서는 ToA 평균 오차가 2.063cm, 표준편차 2.678cm 이고 RSS는 평균오차 -84.9cm, 표준편차 95.5cm로 가중 평균을 구하면 1.99cm가 되어 ToA보다 약 0.1cm 정도 오차가 보정되었다. 실외 환경은 ToA 평균 오차 10.63cm, 표준편차 17.95cm이고 RSS는 평균오차 -21.3cm, 표준오차 125.9cm로 두 개의 거리측정값의 가중평균을 구하면 약 10cm로 ToA 측정 결과보다 0.6cm 오차가 보정되었다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, Vol 40, No8, August 2002
- [2] I. Getting, "The Global Positioning System", IEEE Spectrum, Vol.30, Iss.12, Mar.-Apr.pp.43-51, 2003
- [3] Andreas Savvides, Chih-chieh Han, Mani B., "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", In Proceedings of ACM SIGMOBILE, pp.166-179, 2001
- [4] Neal Patwari, "Location Estimation in Sensor Networks", University of Michigan, pp.6, 2005
- [5] Nissanka Bodhi Priyantha, "The Cricket Indoor Location System", MIT, 2005
- [6] P.Bahl and V. N. Padmanabhan. "RADAR : An In-Building RF-based User Location and Tracking System". In Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, pages 775-784, 2000
- [7] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol", In Proceedings of Sensys, PP.39-49, 2004
- [8] Niculescu, Badri Nath, "Ad Hoc Positioning System(APS) Using AoA", INFOCOM, 2003