

# ToA 기반 RSS 보정 센서노드 거리 측정 방법

한 현 진<sup>†</sup> · 권 태 옥<sup>††</sup>

## 요 약

오늘날 무선 장비들이 센서네트워크를 비롯한 매우 다양한 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 무선으로 연결된 센서들은 다양한 임무 수행을 위하여 많은 분야에서 활용되고 있다. 이런 임무를 수행하는데 있어 각 센서의 위치정보는 매우 중요한 시스템 관리의 요소가 된다. 센서노드간 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 센서네트워크에 배치되어 있는 각 센서노드간 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 감소시킬 수 있었다. 실험을 통해 본 연구 방법이 기존 ToA보다 실내(5m×7m)에서 평균 0.1cm, 실외(10m×10m) 평균 0.6cm 측정 오차를 줄일 수 있음을 확인 할 수 있었다.

키워드 : 도착시간차, 신호세기, 신호각도, RF-맵

## On the Design of ToA Based RSS Compensation Scheme for Distance Measurement in WSNs

Han Hyeun-Jin<sup>†</sup> · Kwon Tae-Wook<sup>††</sup>

### ABSTRACT

Nowadays, wireless infrastructures such as sensor networks are widely used in many different areas. In case of sensor networks, the wirelessly connected sensors can execute different kind of tasks in a diversity of environments, and one of the most important parameter for a successful execution of such tasks is the location information of each node. As to localization problems in WSNs, there are ToA (Timer of Arrival), RSS (Received Signal Strength), AoA (Angle of Arrival), etc. In this paper, we propose a modification of existing ToA and RSS based methods, adding a weighted average scheme to measure more precisely the distance between nodes. The comparison experiments with the traditional ToA method show that the average error value of proposed method is reduced by 0.1 cm in indoor environment (5mx7m) and 0.6cm in outdoor environment (10x10m).

Keywords : ToA, RSS, RSSI, AoA, RF-MAP.

### 1. 서 론

무선 센서네트워크는 고정된 인프라의 도움 없이 센서노드만으로 정보를 수집하는 네트워크로서 일정한 지역에 수백 혹은 수천 개에 이르는 센서노드들을 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. 주변 상황을 정확히 인지해도 그 상황이 어느 위치에서 발생했는지 알 수 없다면 그 데이터는 정보로서 의미가 없

기 때문이다.

무선 센서네트워크에서 노드간 거리를 측정하는 방법은 전파의 속도에 따른 도착 시간차를 이용하는 ToA(Time of Arrival), 전파의 세기의 크기를 통해 거리를 측정하는 RSS(Received Signal Strength), 신호가 전송되는 방향의 각도를 이용해 거리를 측정하는 AoA(Angle of Arrival)등이 있다.

본 논문에서는 무선센서 장비를 통하여 획득할 수 있는 노드 간 초음파를 통해 측정된 거리 정보(ToA)와 전파의 수신세기(RSS) 거리정보를 맵(RF-MAP)을 이용 ToA 기반 RSS 거리 정보를 가중 평균을 이용 보정을 통하여 오차를 개선시키는 방법을 연구하였고, 실험을 통하여 거리 오차를 감소시키는 결과를 얻을 수 있었다.

<sup>†</sup> 정 회 원 : 연합사 통신전자참모부 전산운영실장  
<sup>††</sup> 정 회 원 : 국방대학교 전산정보학과 조교수  
논문접수: 2009년 1월 19일  
수 정 일 : 1차 2009년 8월 3일  
심사완료: 2009년 8월 3일

## 2. 관련연구

대표적인 위치탐지 시스템으로는 GPS(Global Positioning System)가 있지만 GPS는 위성으로부터 LOS(Line of Sight) 사이에 방해물이 존재하거나 실내에서는 측정할 수 없으며, 전력 소비가 센서노드의 배터리 소모를 증가시켜 전체 네트워크의 수명을 줄이고, 비용 및 크기가 커서 다수의 값싼 센서노드들을 이용하는 무선 센서네트워크에 적용하기에는 효과적이지 않다[2-4]. 따라서 센서노드의 위치 및 거리를 측정하는 방법으로 노드간 정보를 활용하는 ToA, RSS, AoA 방법이 대표적으로 이용되고 있다.

### 2.1 ToA(Time of Arrival)

ToA는 송신자로부터의 수신자에게 도착한 RF 또는 초음파 등의 신호 전송 시간을 측정하고, 측정된 ToA의 delay time은 포함한 전송시간을 의미한다[4]. RF의 속도는 대략  $10^6$ 으로 초음파는 1ms에 대략 0.3m을 전송하지만 RF는 1ns에 0.3m을 전송한다. 초음파속도는 온도(C)에 따라  $v_p = 331.5 + 0.60714C$ [m/s]의 속도로 전파된다. 송·수신 장치의 통신 지연이나 온도와 같은 센서 외부 요인에 의해서 일시적으로 clock 주파수가 변화하는 clock drift 등의 하드웨어 내부 요인에 의해서도 거리 오차가 발생하게 된다. 실질적인 실험을 통해서 센서노드들 사이의 clock drift가 최대 52  $\mu$ s가 발생할 수 있다고 보고되었다[5]. 이러한 오차는 clock drift가 높을수록 위치오차는 증가하게 되며, 실질적인 센서노드들 사이의 거리가 증가할수록 오차가 증가하게 된다.

ToA를 이용한 대표적인 위치 추적 시스템은 MIT의 Cricket을 들 수 있다[6]. Cricket은 천정에 다수의 비컨(Beacon)이 존재하고 위치 파악이 필요한 물체에는 수신기를 부착한다. 비컨에서 발생된 초음파 신호를 수신기에서 수신하고 ToA를 확인하여 다수의 거리 정보를 사용해서 수신기 자신의 위치 좌표를 계산한다.

### 2.2 RSS(Received Signal Strength)

수신신호 세기는 센서노드에 구현된 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 회로를 이용하여 전달된 신호의 전압 세기를 측정한다. RSS는 주파 대역이나 에너지 소모 없이 노드간 정보전송시에도 RF의 RSSI를 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 자유공간에서 신호의세기는 송신자와 수신자의 거리의 제곱에 반비례하여 감소한다. 하지만 현실세계에서 다중경로와 Shadowing은 RSS 오차를 증가시키는 주요한 요인이다[4]. 때문에 측정된 RSS값은 보정단계가 필요하다. 보정은 타깃환경을 커버하는 표본의 위치에서 RSS값을 측정하는 맵(RF-MAP)과 신호감쇠모델을 이용하는 방식으로 나눌 수 있다. 거리가  $d$ 일때 수신세기가  $RSSI(d)$ 이고,  $PT$ 는 Tx 전송파워,  $n$ 이 path loss 지수 값이면 신호감쇠모델[8]은 (식 1)과 같이 나타낸다. RSS를 이용한 대표적인 위치 추적 시스템은 MS의 RADAR를 들 수 있다[7]. RADAR은

RF 기반 시스템으로서 다중 수신기에서 수집된 신호세기 정보를 사용하여 사용자의 좌표를 측정한다.

$$RSSI(d)[dB] = PT(d_0)[dB] - 10n_p \log_{10}(d/d_0) \quad (\text{식1})$$

### 2.3 AoA(Angle of Arrival)

AoA방식은 이웃 노드들 간의 방향에 대한 정보와 ToA와 RSS의 측정값을 이용하여 위치를 계산한다. ToA이용 방법은 센서를 Y자 형태로 배열해 놓고 각각의 센서에서 ToA를 계산하여 가장 먼저 신호를 수신하는 쪽으로 방향을 선택하는 방식이다. RSS이용 방법은 한 센서에 두 개의 방향성 안테나를 설치하여 두 안테나로 받은 RSS의 차이를 계산하여 방향을 선택하는 방법이다[4]. AoA 측정방식은 모두 여러 개의 안테나가 요구되어 비용 과 시스템의 규모가 커지는 단점이 있어 규모가 작은 센서노드에 여러 개의 안테나를 장착하더라도 안테나 사이의 위치가 가까워 효과적인 각도의 산출에 어려움을 가지고 있다.

## 3. ToA기반 RSS보정 거리측정

무선 센서노드간 정확한 거리측정을 위해 초음파를 이용한 ToA 기반에 RF-MAP으로 측정된 RSS의 가중 평균을 이용하여 측정오차를 줄인다. 정확한 거리 측정을 위해 ToA 측정 단계, RSS 측정 단계, 가중치 부여를 통한 보정 단계로 구분하여 3단계로 진행한다.

ToA 측정 단계(1단계)는 두 노드간의 초음파를 이용하여 센서노드의 거리오차를 측정하는 단계이다. 센서노드간의 RF와 초음파 신호를 통해 센서노드의 위치를 파악한다. ToA를 측정하기 위해 센서노드는 송신기와 수신기로 구분되어 송신기는 RF 메시지를 통해 초음파를 전송할 것임을 수신기에게 알리게 된다. 수신기는 송신기의 RF 메시지를 통해 송신기가 지금 초음파를 전송할 예정임을 감지하고, 초음파 전원을 작동시킨다. 그리고 얼마만큼의 시간 후에 초음파가 자신에게 도착하는지 측정하기 위해 타이머를 동작시킨다.

송신기는 초음파를 송신하겠다는 RF 메시지 송신이 끝나면 바로 초음파 모듈을 작동시켜 측정 오류를 최소화하고 평균과 신호의 표준편차를 구하기 위해 5회의 초음파 신호를 전송한다. 수신 신호의 평균은 저장 장소 및 처리 시간을 고려하여 반복적 자료처리(recursive data processing)방법을 사용한다. 이를 통해 초음파 신호 수신시간의 평균을 산정할 수 있다. 초음파의 시간은 거리에 따라 증가하므로 수신기가 동작시킨 타이머를 통해 송신기와의 거리를 계산할 수 있다.

RSS 측정 단계(2단계)는 센서노드가 기본적으로 가지고 있는 RSSI회로를 이용한 수신강도세기를 통해 센서노드의 거리에 따른 수신강도세기를 측정하여 거리를 측정한다. 따라서 ToA 환경에 적용되었던 실험환경을 RSS에 적용하여

거리와 수신세기의 관계를 확인한다. RSS 신호는 주변 환경에 영향을 많이 받기 때문에 두 센서노드 사이에 정확한 수치를 계산하기 위해 다수의 신호의 송·수신이 필요하다. 본 연구에서 송신기는 10회의 RF신호를 송신하여 신호세기의 평균과 표준편차를 산출하였다. RF신호를 송신한 센서노드는 수신자로부터 계산된 거리를 수신하기 위해 수신 신호를 대기한다. 수신자는 초음파 신호 이후에 9번의 RF 신호를 수신하게 되고 수신된 신호 세기는 ToA와 마찬가지로 반복적 자료처리(recursive data processing) 방법을 사용하였다.

보정 단계(3단계)는 가중치 부여 단계이다. 1-2단계의 ToA와 RSS의 거리측정 과정을 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. 각 측정값에 대한 가중치는 표준편차 제곱에 반비례한다. 표준편차가 크면 클수록 그 값의 가중치는 떨어지며 평균에 대한 기여도가 적어지게 된다.

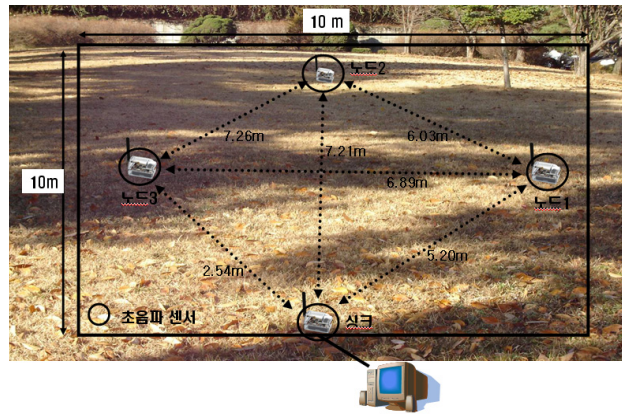
### 4. 실험 및 결과

#### 4.1 실험 환경

실험에 사용한 무선통신 센서는 마이크로 컨트롤러(ATmega128L), 무선 통신 칩(CC2420), 센서, 안테나 등으로 구성되어 있으며 프로그래밍과 Host PC와의 통신을 위한 인터페이스를 포함한다. Zigbex II 모드는 센서 네트워크를 구성하기 위한 가장 기본적인 모듈로 옵션 센서 모드를 부착하여 센서 정보를 얻을 수 있다. 초음파를 통한 ToA 측정은 초음파 모듈이 장치된 노드와 싱크 노드가 필요하다. 초음파 모듈이 장치된 노드 중 하나는 초음파를 발생시키는 송신기이고 다른 노드는 송신기가 발생시킨 초음파를 수신하는 수신기 역할을 하게 된다. 수신기는 거리를 계산하여 싱크에게 전송한다.

무선 센서 네트워크를 구성하고 있는 Zigbex 센서노드들은 자신이 수집한 감지 데이터를 원거리에 존재하는 싱크 노드에게 데이터를 전송한다. 센서네트워크를 구성하는 테스트 베드 환경은 (그림 1)과 같이 가로 10m, 세로 10m 공간에 총 4개(센서노드 3개, 싱크 1개)를 각각 배치하였다. ToA측정을 위해 싱크 노드를 포함한 3개의 센서노드에는 초음파 센서 모듈을 장착하여 배치하였다. 수신신호세기는 배치된 모든 센서노드로부터 측정할 수 있다. 맵(RF-MAP)은 동일 실내 환경에서 일정 간격으로 거리를 변경하며 RSS를 측정하여 관계식을 도출하였다.

무선 전파는 전송되는 거리의 제곱에 반비례하며 그 세기가 감쇠된다. 센서노드의 RF 송·수신기는 수신측이 -94dBm 전파까지 분석할 수 있어 송신측의 RF 파워에 따라 전송 거리가 결정되게 된다. 송신기의 전송파워 레벨은 기본적인



(그림 1) 실험환경

8단계 레벨 중 17.4mA를 적용하기 위해 16진수 0x1f를 적용하였고 함수를 통해 측정된 RSSI값과 CC2420에 정의된 보상 값(-45)을 반영 하였다.

#### 4.2 실험 및 분석

1단계(ToA 측정)에서 센서 네트워크에 배치되어 있는 노드와 노드간의 ToA를 이용하여 거리를 측정하였고 측정 결과는 <표 1>과 같다. ToA를 이용한 거리 정보는 노드간 평균 10.63cm, 표준편차 17.95cm로 측정되었다.

2단계(RSS 측정 단계)는 RF-MAP 구성과 RSS 측정으로 구분하여 진행하였다. 거리와 RSS값의 관계 맵을 도출하기 위해 싱크노드를 고정시키고 송신 노드를 50cm 단위로 거리 간격을 조정하여 10미터까지 측정하였다. 측정된 거리별 RSS값과 산점도는 (그림 2)와 같다.

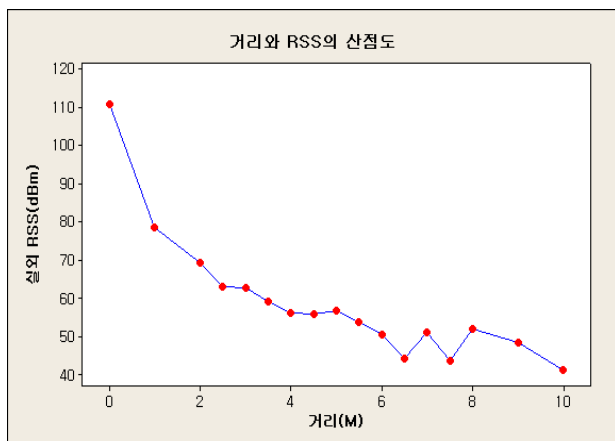
거리가 증가할수록 RSS의 값이 작아지는 것을 알 수 있고, 이를 이용하여 거리별 RSS의 관계를 선형, 2차원, 3차원 관계식으로 도출하면 <표 2>와 같다.

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 있다. 거리와 RSS의 관계의 R-제곱 값이 높고 오차가 적은 3차원 관계식을 이용하여 RSS측정 하였고, RSS 측정결과를 ToA와

<표 1> ToA 거리 측정 결과(cm)

구 분		실거리	ToA	오차
Sink	노드3	254	255.4	1.4
Sink	노드1	520	523.4	3.4
노드1	노드2	603	607	4.0
노드1	노드3	689	693.8	4.8
Sink	노드2	721	768.2	47.2
노드2	노드3	726	729	3.0

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



(그림 2) RSS 측정 결과 및 산점도

<표 2> 거리별 RSS 관계식

구분	관계식
선형	$D(m) = 13.42 - 0.1435 * RSS(dBm)$
2차원	$D(m) = 29.01 - 0.6033 * RSS(dBm) + 0.003081 * RSS(dBm)^2$
3차원	$D(m) = 25.25 - 0.4311 * RSS(dBm) + 0.00058 * RSS(dBm)^2 + 0.000011 * RSS(dBm)^3$

비교하면 <표 3>과 같다. ToA기반의 RSS보정을 위한 가중평균은 <표 3>을 활용하여 ToA와 RSS의 평균과 표준편차를 대입하여 (식 2)과 같이 보정 값을 구한다.

<표 3> 노드간 ToA와 RSS 측정결과(cm)

구분	거리	ToA		RSS(3차원)		
		결과	오차	결과	오차	
1	Sink-노드3	254	255.4	1.4	284	30
2	Sink-노드1	520	523.4	3.4	491	-29
3	노드1-노드2	603	607	4	732	129
4	노드1-노드3	689	693.8	4.8	603	-86
5	Sink-노드2	721	768.2	<b>47.2</b>	839	118
6	노드2-노드3	726	729	3	784	58
<b>평균</b>				<b>10.63</b>		<b>36.7</b>
<b>표준 편차</b>				<b>17.95</b>		<b>83.7</b>

$$W_{av} = \frac{(10.63 \times 83.7^2) + (36.7 \times 17.95^2)}{17.95^2 + 83.7^2} = 8.55cm \quad (식2)$$

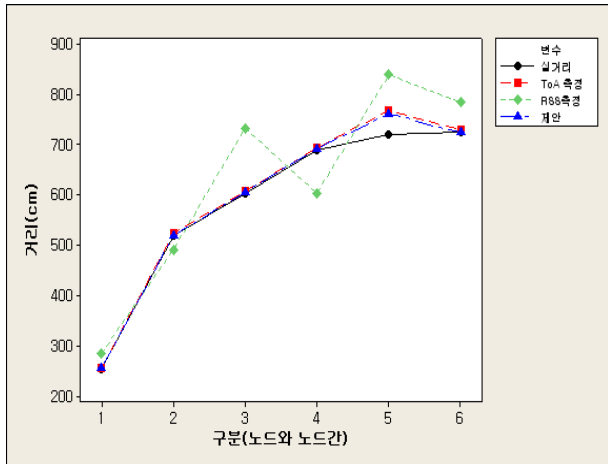
ToA 평균이 10.63cm인데 RSS와 가중평균을 하면 오차는 8.55cm 된다. 이를 통해 전체적으로 평균 약 2.08cm오차를 줄일 수 있다. ToA 측정(5회)의 평균과 표준편차, RSS 측정(10회)의 평균과 표준편차를 이용하여 가중평균을 구한 결과는 <표 4>와 같다.

본 실험결과 센서 네트워크에 배치되어 있는 노드간 거리는 6개의 노드간 거리 측정결과에서 전체적으로 ToA보다 향상된 결과를 나타내고 있다. 노드와 노드간의 향상은 앞에서 ToA와 RSS의 측정값의 평균오차와 표준편차를 이용하여 약 2.08cm가 향상된 것으로 판단 할 수 있다. <표 4>의 노드간 실제거리와 ToA, RSS, 그리고 본 연구결과를 그래프로 나타내면 (그림 3)과 같다.

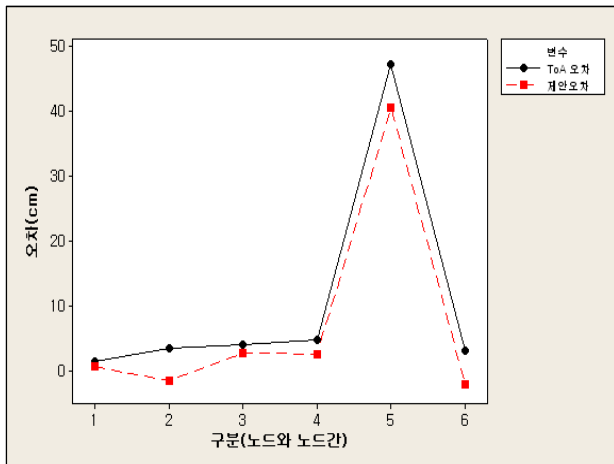
<표 4> ToA와 RSS 가중 평균 결과(cm)

구분	싱크	싱크	노드1	노드1	싱크	노드2	
	노드3	노드1	노드2	노드3	노드2	노드3	
실거리	254.0	520.0	603.0	689.0	721.0	726.0	
ToA	평균	255.4	523.4	607.0	693.8	768.2	729.0
	표준편차	0.548	0.548	2.0	1.3	3.19	1.87
	<b>오 차</b>	<b>1.4</b>	<b>3.4</b>	<b>4.0</b>	<b>4.8</b>	<b>47.2</b>	<b>3.0</b>
RSS	평균	284.0	491.0	732.0	603.0	839.0	784.0
	표준편차	14.0	7.8	63.9	30.9	49.4	31.9
	<b>오 차</b>	<b>30.0</b>	<b>-29.0</b>	<b>129.0</b>	<b>-86.0</b>	<b>118.0</b>	<b>58.0</b>
보정	가중평균	254.57	518.42	605.69	691.51	761.53	723.82
	<b>오 차</b>	<b>0.57</b>	<b>-1.58</b>	<b>2.69</b>	<b>2.51</b>	<b>40.53</b>	<b>-2.18</b>

ToA 기반 RSS 보정 방법이 기존의 거리 측정 방법인 ToA와 RSS 측정 보다 실거리를 더 정확하게 근접하고 있음을 알 수 있다. ToA와 제안 알고리즘의 노드간 측정 오차는 (그림 4)와 같다. ToA 오차 평균은 10.63cm, RSS 오차평균은 36.7cm, 제안 알고리즘 오차 평균은 7.09cm로 제안 알고리즘인 ToA기반 RSS을 이용한 가중치 보정 방법이 기존 ToA보다 실험환경(10m\*10m)에서 약 30% 오차를 줄일 수 있음을 확인하였다.



(그림 3) 노드간 거리측정 및 실험 결과



(그림 4) 노드간 거리 오차 비교

### 5. 결 론

본 논문에서는 센서노드의 위치 식별을 위한 노드간 거리

정보의 정확성 향상을 위해 ToA와 RSS을 이용하여 가중평균으로 측정결과를 보정하는 알고리즘을 제안하였다. 실험은 3단계로 노드간의 초음파를 이용하여 거리정보 측정, 센서노드가 기본적으로 가지고 있는 RSSI를 이용한 수신신호 세기를 측정, 그리고 가중치 부여를 통한 보정단계로 진행된다. 측정된 RSS값을 보정하기 위해 실험환경을 커버하는 표본의 위치에서 측정된 맵(RF-MAP)으로 보정한다. 가중치는 ToA와 RSS 측정 값의 평균과 표준편차를 이용하여 산출한다.

실험은 실외에 센서 네트워크를 구축하여 실험을 실시하여 ToA 평균 오차 10.63m, 표준편차 17.95cm, RSS는 평균 오차 36.7cm, 표준편차 83.7cm의 값을 얻을 수 있었다. 노드와 노드간의 거리 측정 결과는 제안 알고리즘이 기존 ToA보다 모두 향상된 결과를 보였고, 제안 알고리즘의 평균 오차가 ToA보다 향상되어 무선센서노드간 거리 정확도를 개선할 수 있음을 확인 할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [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, p.6, 2005.
- [5] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol", In Proceedings of Sensys, pp.39-49, 2004.
- [6] Nissanka Bodhi Priyantha, "The Cricket Indoor Location System", MIT, 2005.
- [7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. "RADAR : An In-Building RF-based User Location and Tracking System". In Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, pp.775-784, 2000.
- [8] Scott Y. Seidel and Theodore S. Rapport, "914Mhz path loss prediction model for indor wireless communication in multifloored buildings", IEEE Vol40, No.2, 1992.



한 현 진

e-mail : gulasil@naver.com

1999년 한국항공대학교 컴퓨터공학과(학사)

2009년 국방대학교 전산정보학과(공학석사)

2009년~현 재 연합사 통신전자참모부 전  
산운영실장

관심분야: 센서네트워크, 모바일



권 태 욱

e-mail : kwontw9042@hanmail.net

1986년 육군사관학교 컴퓨터학과(학사)

1995년 미 해군대학원 컴퓨터공학과(공학석사)

2001년 연세대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

2007년~현 재 국방대학교 전산정보학과  
조교수

관심분야: Computer Networking, WSN, RFID/USN Systems,  
Virtual Reality.