

무선 센서 네트워크에서 효율적 측위 기법

Efficient Localization in Wireless Sensor Networks

박 나 연* 손 철 수** 김 원 중***
Na-Yeon Park Cheol-Su Son Won-Jung Kim

요 약

일반적으로 무선 센서 네트워크는 다수의 노드들을 무작위로 배포하여 데이터를 수집하기 때문에 각 노드로부터 수집되는 데이터뿐만 아니라 계측하는 노드의 위치 또한 매우 중요하다. 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드들은 저비용, 저성능의 장치들로 구성되어 있어 위치 측정을 위한 전용 장치를 노드에 추가하는 것은 매우 어렵다. 그러므로 무선 센서 네트워크에서 저비용으로 노드의 위치를 정확히 측정하는 것은 매우 중요한 기술이다. 본 연구에서는 위치 측정의 정확성을 높이고, 다수의 센서에 대해서도 정해진 시간 내에 위치를 결정할 수 있는 확장 가능한 상호 협력 위치 측정 시스템을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 성능, 정확성, 확장성이 우수함을 보였다.

Abstract

Locations of positioned nodes as well as gathered data from nodes are very important because generally multiple nodes are deployed randomly and data are gathered in wireless sensor network. Since the nodes composing wireless sensor network are low cost and low performance devices, it is very difficult to add specially designed devices for positioning into the nodes. Therefore in wireless sensor network, technology positioning nodes precisely using low cost is very important and valuable. This research proposes Cooperative Positioning System, which raises accuracy of location positioning and also can find positions on multiple sensors within limited times. And this research verifies this technology is excellent in terms of performance, accuracy, and scalability through simulation.

☞ keyword : 측위, 무선 센서 네트워크, 멀티홉 네트워크.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 다수의 저전력, 저성능의 센서 노드들로 구성된다. WSN에서 센서 노드들은 온도, 습도, 압력, 기울기 등과 같은 자료를 측정하여 무선 네트워크를 이용하여 싱크 노드로 보낸다. 이렇게 수집된 측정 자료뿐

만 아니라 각 센서 노드들의 위치를 파악하는 것은 매우 중요하다. 예를 들어, 산불 감시를 위하여 다수의 센서 노드를 배포하였을 경우 산불 감지 이벤트가 발생한 센서 노드의 위치 정보가 매우 중요하다.

노드의 위치를 측정하는 방법은 어떤 장치 또는 어떤 기술을 사용하느냐에 따라 매우 다양하다. GPS[1], Active Badge[2], Active Bat[3], MotionStar[4]와 같은 위치 측정 시스템은 노드의 위치를 측정하기 위하여 각각 라디오, 적외선, 초음파 그리고 비디오 장치를 사용한다. 위의 위치 측정 시스템들에 사용되는 기술은 근접성(proximity)[5], ToA(time of arrival)[6], TDoA

* 정 회 원 : 순천제일대학 컴퓨터과학과 교수
pnayeon@suncheon.ac.kr

** 정 회 원 : 순천대학교 컴퓨터과학과 졸업(박사)
mrbr@paran.com

*** 정 회 원 : 순천대학교 정보통신공학부 교수
kwj@sunchon.ac.k

[2008/10/02 투고 - 2008/10/06 심사 - 2008/11/11 심사완료]

(time difference of arrival)[7], AoA(angle of arrival)[8, 9], RF(radio frequency)[10]의 신호강도 그리고 장면 분석과 같은 기술이 있다.

대부분의 위치 측정 시스템들은 노드의 위치를 측정하기 위하여 위치 측정 전용 장치를 사용한다. 이러한 위치 측정 전용 장치는 설치와 운영에 많은 비용이 소요된다. 기존의 무선 네트워크 인프라스트럭처만을 사용하여 저비용으로 위치를 측정하는 연구가 최근 많이 수행되고 있다[12, 13, 14].

RADAR[11]는 별도의 위치 측정 전용 장치를 사용하지 않고 무선 데이터 통신을 위하여 이미 구축되어 있는 무선 랜(wireless local area network) 인프라스트럭처 환경에서 무선 랜 카드와 액세스 포인트(access point)와 같은 무선 랜 장치로부터 획득한 RSSI(received signal strength indicator)를 거리로 변환하여 위치를 측정한다. RF 신호의 세기는 거리가 멀어질수록 약해지는 특성이 있기 때문에 이를 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 그러나 RF 신호를 수신하는 과정에서 발생하는 간섭(interference) 현상과 다중 경로(multi path) 현상과 같은 RF 신호의 특성 때문에 RSSI를 거리로 변환할 때 많은 오차를 포함하게 된다. 따라서 RSSI를 변환하여 얻은 거리에 포함된 오차를 줄이는 것이 RSSI를 이용한 위치 측정 시스템에서 해결하여야 할 과제이다.

모든 위치 측정 시스템은 특정 목적의 응용이 채택하여 사용할 수 있을 정도의 정확성을 제공하여야 한다. 또한 가용 자원이 제한적이거나 주어진 시간 내에 결과를 얻어야 하는 상황에서는 성능이 정확성만큼이나 위치 측정 시스템이 달성하여야 할 또 다른 중요한 목표가 된다. 또한, 일반적인 무선 센서 네트워크와 같이 노드의 수가 많아지면 더 많은 계산이 필요하기 때문에 다수의 노드에 대해서도 효율적으로 위치 측정을 할 수 있는 확장성이 필요하다. 본

논문의 목표는 다수의 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크에서 정확성, 성능, 확장성을 향상시킨 위치 측정 시스템을 제안하는 것이다.

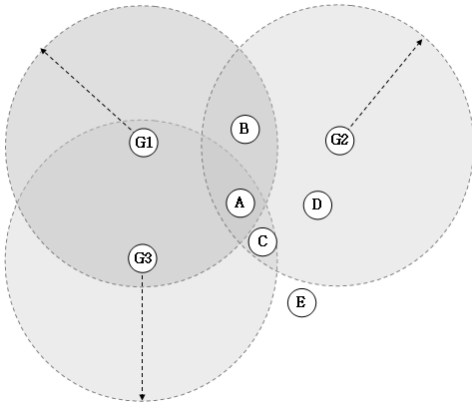
2. 관련 연구

어떤 센서 노드의 위치를 계산하는 방법에는 이미 그 위치가 알려져 있는 비컨 노드들과의 거리를 측정하여 위치를 결정하는 비컨 기반의 위치 측정 방법과 아직 위치가 결정되지 않은 노드들의 측정된 거리를 포함하여 위치를 결정하는 상호 협력 위치 측정 방법이 있다[15, 16]. 비컨 기반 위치 측정 시스템에서는 각 노드의 전파 세기가 강해야 하므로 전력 소모가 많고, 각 노드들의 성능이 우수하여야 한다. 상호 협력 위치 측정 시스템에서는 일부 노드만이 비컨과 통신이 가능하고, 나머지 대부분의 노드들은 자신들과 이웃하는 노드들과 통신하며 위치를 측정하므로 비용과 에너지 소모가 적어서 멀티 홉 환경에서 효과적이다.

2.1 상호 협력 위치 측정의 장점1

(그림 1)은 상호 협력 위치 측정 방법을 나타내고 있다. G1, G2 그리고 G3는 위치가 알려진 비컨 노드이고, 비컨 노드를 중심으로 한 점선으로 된 원은 비컨 노드의 전파 범위이다. A, B, C, D, E는 위치를 측정하려고 하는 노드들이다. 비컨 기반 위치 측정 방식으로 노드의 위치를 측정하기 위해서는 위치가 알려진 최소한 세 개의 노드를 참조하여야 한다. 그러므로 위치가 이미 알려진 G1, G2 그리고 G3 노드에 의해 참조되는 노드 A만 위치를 측정할 수 있다. 그러나 상호 협력 위치 측정 방법을 이용하면 G1, G2 그리고 G3 중 두 개의 비컨 노드에만 참조되는 B와 C 노드의 위치는 위치가 결정된 A 노드를 참고하여 위치를 측정할 수 있다. G2에 대해서만 참조되는 D 노드 역시 A, B, C 그리고

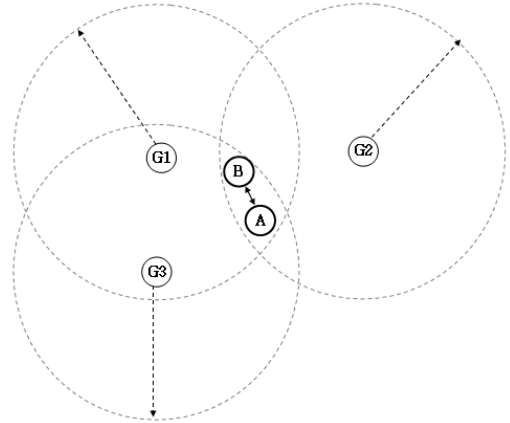
G2 노드를 참조하여 위치를 결정할 수 있다. 심지어 어떤 비컨 노드에도 참조되지 않는 노드 E의 경우 이미 위치가 결정된 A, C, 그리고 D 노드에 의해 참조되므로 위치를 결정할 수 있다.



(그림 1) 상호 협력 위치 측정1

2.2 상호 협력 위치 측정의 장점2

RSSI를 거리로 변환할 때 다중 경로(multi path)와 페이딩 현상(fading effects)의 특성으로 오류가 있어 Nirupama[12]는 RSSI를 사용하지 않고 신호가 측정된 노드간의 연결성만을 이용하여 위치를 측정하였다. 그러나 RSSI를 거리로 변환할 때 오류가 포함되어 위치 측정의 정확성이 떨어지지만, 상호 협력 위치 측정 기법을 사용하면 정확도를 높일 수 있다[15].

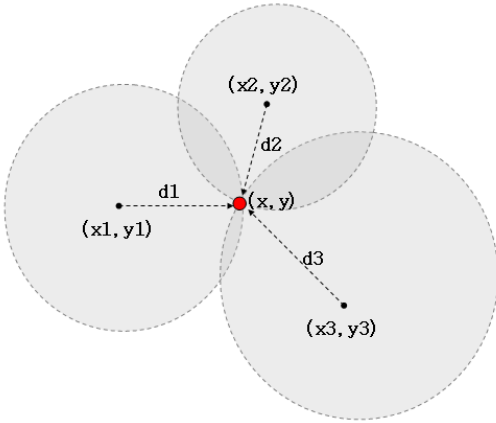


(그림 2) 상호 협력 위치 측정2

(그림 2)와 같이 위치가 알려진 G1, G2 그리고 G3 노드만을 참조하여 A와 B 노드의 위치를 결정하는 비컨 기반 위치 측정 방식 보다, A와 B 노드의 사이의 측정된 거리도 상호 참조하여 A와 B노드의 위치를 좀 더 정밀하게 결정함으로써 위치 측정 오차를 줄일 수 있다.

2.3 상호 협력 위치 측정의 삼각 측량법

(그림 3)은 노드들이 2차원 평면 위에 존재한다고 가정하고 위치를 측정하는 모습을 보여주고 있다. 위치가 알려진 세 개의 비컨 노드의 위치가 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 이고, 비컨 노드와 위치를 측정하려는 노드 사이의 거리를 d_1 , d_2 , d_3 일 경우 나머지 노드의 위치 (x, y) 를 측정하는 것이다. 위치를 측정하려는 노드의 위치 (x, y) 는 삼각측량법에 의하여 (수식 1)과 같이 결정할 수 있다.



(그림 3) 삼각측량법

$$\begin{aligned} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 &= d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 &= d_3^2 \end{aligned} \quad (\text{수식1})$$

RSSI로부터 변환된 거리인 d_1, d_2, d_3 는 현실적으로 오차를 포함할 수 밖에 없다. 그러므로 (수식 2)와 같이 변환된 거리에 오차 e_1, e_2, e_3 를 적용하여야 한다.

$$\begin{aligned} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + e_1 &= d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + e_2 &= d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + e_3 &= d_3^2 \end{aligned} \quad (\text{수식2})$$

비컨 기반 위치 측정 방식에서는 비컨 노드를 참조하여 하나의 노드에 대해서만 위치를 측정하는 것이므로 선형계획법으로 (x, y) 위치를 결정할 수 있지만, 상호 협력 위치 측정에서는 각 노드가 서로를 참조하여 위치를 측정하기 때문에 (수식 3)과 같이 측정된 거리와 계산된 유클리드 거리 거리의 차이의 합이 최소가 되는 위치를 결정하여야 하는데 선형계획법을 적용하기가 어렵기 때문에 비선형계획법으로 최적의 값을 구하여야 한다.

$$\sum_{i=1}^n |d'_i - d_i| \quad (\text{수식 3})$$

3. 기존 연구의 분석

이 장에서는 상호 협력 위치 측정 시스템에서 비선형계획법으로 위치를 측정하는 2W(WiPS [15] and WiCOPS[16])의 알고리즘을 소개하고 문제점을 분석한다.

3.1 표기

본 논문에서 수식에 사용되는 표기법은 다음과 같다.

N_A : 노드 A의 이웃하는 노드의 집합

G_A : 노드 A의 이웃하는 액세스 포인트의 집합

N'_A : N_A 에서 이미 위치가 초기화된 집합

$n(G_A)$: G_A 의 노드 수

$n(N'_A)$: N'_A 의 노드 수

p_A : A노드의 위치

n : 노드와 액세스 포인트를 합한 노드의 수

$l_{i,j}$: i번째와 j번째 노드의 추정된 유클리드 거리

$d_{i,j}$: i번째 노드와 j번째 노드 사이에 측정된 거리

$n'(G_i)$: G_i 중 의 추정된 거리와 측정된 거리의 차이가 0이 아닌 집합

$n'(N_i)$: N_i 중 의 추정된 거리와 측정된 거리의 차이가 0이 아닌 집합

$u_{i,j}$: i번째 노드와 j 번째 노드의 단위 벡터

$f(i,j)$: $l_{i,j}$ 와 $d_{i,j}$ 의 차이

3.2 기존의 연구

기존의 2W(WiPS and WiCOPS)는 위치가 고정된 소수의 액세스 포인트들과 다수의 무선 노드들로 구성된 전형적인 WLAN 인프라스트럭처 환경에서 무선 노드와 액세스 포인트 사이의 신호 세기뿐만 아니라 이웃하는 무선 노드 간의 신호 세기를 포함하여 상호 협력하여 비선형계획법에 의하여 노드들의 위치를 측정한다. 많은 연구에서 2W는 노드들 간에 상호 협력적으로 위치를 측정함으로써 정확성이 높아 지는 것을 보이고 있다[15][16].

기존 연구 2W의 위치 측정 알고리즘은 다음과 같다.

- 단계 1) 노드들과 액세스 포인트들은 이웃하는 노드들과 액세스 포인트들과의 RSSI 목록을 서버에 전송한다.
- 단계 2) 서버는 각 노드들이 송신한 RSSI를 거리로 변환한다. RSSI를 거리로 변환할 때 20% 범위의 정규 분포 형태로 오차를 적용한다.
- 단계 3) 서버는 이웃하는 액세스 포인트들과 이웃하는 초기화된 노드들 간의 측정된 거리로 초기 위치를 대략적으로 결정한다. 각 노드의 초기 위치는 (수식4)에 의하여 순차적으로 결정된다.

$$p_A = \frac{\sum_{X \in G_A} p_X + \sum_{X \in N'_A} p_X}{n(G_A) + n(N'_A)} \quad (\text{수식4})$$

- 단계 4) (수식5)를 최소화하기 위하여 (수식 6)을 반복적으로 수행하여 노드들의 위치를 수정한다.

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |l_{i,j} - d_{i,j}| \quad (\text{수식5})$$

$p_i^{(k)}$ 는 i 번째 노드가 k 번 반복 수정된 위치이고 n 은 (수식 6)에 의해서 계산된다.

$$p_i^{(k+1)} = p_i^{(k)} + \alpha \nabla(i) \quad (\text{수식6})$$

(수식6)의 $\nabla(i)$ 는 (수식7)과 같이 정의된다.

$$\nabla(i) = \sum_{j=0}^n u_{i,j} \cdot f(i,j) \quad (\text{수식7})$$

3.3 기존 2W Studies의 문제점

기존 WiPS[15]의 문제점은 지정한 오차 이내로 될 때까지 각 노드의 위치를 조금씩 반복적으로 변경할 때 사용하는 위치 수렴 조정 계수인 α 를 계산적으로 결정하지 않고 경험적(heuristic)으로 결정하였다. 그 값이 고정되어 있어 노드 수가 증가하면 성능이 좋지 못하고, 일정 수 이상의 노드수가 되면 위치에 수렴되지 못하고 발산한다.

위의 WiPS[15]의 문제점을 해결하기 위하여 WiCOPS[16]는 노드의 위치 수렴 과정에 영향을 주는 관련된 노드 수와 가속 계수인 β 를 이용하여 위치 수렴 조정 계수 α 를 계산적으로 결정하였다. 또한 성능이 WiPS보다 향상되었으며 발산되는 문제점을 해결하였다.

$$\alpha_i = \beta \frac{1}{n(G_i) + n(N_i)} \quad (\text{수식8})$$

그러나 WiCOPS에서 가속 계수인 β 는 계산으로 구하지 못하고 경험적으로 결정하여 확장성과 성능에 문제점이 있다.

4. SCOPS

본 논문에서는 다수의 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크에서 정확성, 성능, 확장성을 향상시킨 위치 측정 시스템인 SCOPS(Scalable Cooperative Positioning System in Wireless Sensor

Networks)를 제안한다. SCOPS는 비선형계획법에 의해 계산을 수행한다.

정확성: 본 연구에서는 소수의 비컨 노드가 존재하는 무선 센서 네트워크에서 상호 협력 위치 측정 방식을 사용하여 정확성을 향상시킬 수 있음을 보였다.

성능: 상호 협력 위치 측정에서 노드 수가 많아 지면 정확성은 높아지지만, 성능이 저하되기 때문에 문제가 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 낮은 성능 문제를 해결하기 위하여 노드 간의 관계를 분석하여 위치 측정 성능을 높이기 위한 방법을 시도한다.

확장성: 무선 센서 네트워크는 기존의 네트워크에 비해서 더 많은 노드들로 구성된다. 본 논문에서는 노드 수가 많은 무선 센서 네트워크에서도 제한된 시간 내에 노드의 위치 측정을 할 수 있도록 확장 가능한 위치 측정 시스템을 제안한다.

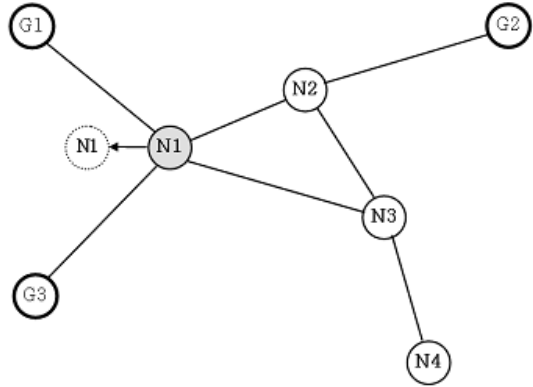
4.1. 개선된 위치 수렴 조정 계수1

위치 측정을 위하여 WiPS나 WiCOPS에서는 첫 번째 노드에 대한 k+1 번째 위치를 (수식9)로 결정한다.

$$p_1^{(k+1)} = p_1^{(k)} + \alpha_1 \sum_{j=0}^n u_{1,j} \cdot f(l, j) \quad (\text{수식9})$$

노드의 위치 수정은 그 노드와 이웃하는 노드의 위치의 결정에 영향을 미친다. 반대로 어떤 노드의 위치는 이전 단계에서 이웃하는 노드들의 위치 결정에 의해 영향을 받는다. (그림 4)에서 G1, G2, G3은 비컨 노드이고 N1, N2, N3, N4는 위치를 결정하여야 할 노드이다. N1에서 N'1으로의 위치 이동은 이웃하는 노드 G1, G2, N2, N3에 의해서 결정된다. 또한 N1이 N'1으로 위치를 이동하면 N2와 N3의 위치 결정에 영향을 미친다. 그러므로 위치 결정에 영향을 주고 받는 노드의 수와 위치 수렴 조정 계

수가 서로 관계가 있다.



(그림 4) 노드 간의 영향 관계

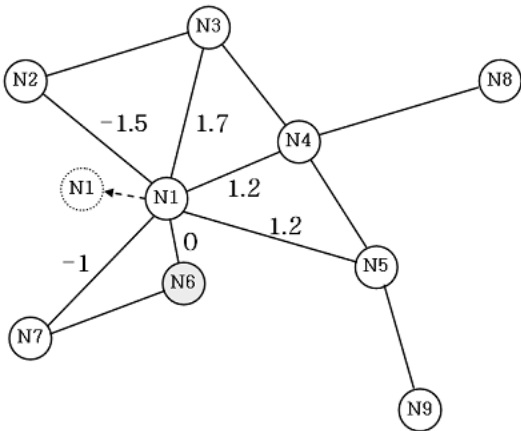
i번째 노드에 영향을 주는 노드의 수는 (수식 10)로 구할 수 있다.

$$ImpactNumber(i) = n(Gi) + n(Ni) \quad (\text{수식 10})$$

만약 하나의 노드의 위치를 결정할 때 (수식 7)만큼씩 움직이면서 위치 결정을 하게 되면 수렴되지 않고 발산하거나 진동한다. 그러므로 (수식 8)의 위치 수렴 조정 계수인 α 의 값을 적절하게 결정하여야 한다. α 값이 1 이상이면 수렴하지 않고 발산할 확률이 매우 높다. 그러므로 α 의 값은 0 이상 1 미만의 값을 가져야 한다. 그러므로 확률적으로 안정적인 위치 수렴 조정 계수의 값은 앞의 (수식 8)과 같다.

그런데 (수식 10)은 어떤 노드의 위치 결정에 영향을 주는 노드의 수를 단순히 그 노드와 이웃하는 노드 수로 계산을 하였다. (그림 5)는 노드의 위치 측정을 위하여 위치 조정이 반복된 어떤 단계이다. 노드 N1이 N2, N3, N4, N5, N6 그리고 N7과 이웃하고 각 노드와의 측정 거리와 추정 거리의 차이를 1.5, 1.7, 1.2, 1.2, 0 그리고 1이라고 가정하면, N1에 이웃하는 노드의 수는 6 개지만 실질적으로 영향을 주는 노드는

5개이다. N1과 N6의 측정 거리와 추정 거리의 차이는 0이기 때문이다.



(그림 5) 노드 간의 실질적인 영향 관계

그러므로 (수식 11)과 같이 반복할 때 마다 실질적으로 영향을 주는 노드의 갯수로만 결정하는 것이 좀 더 수렴 속도를 높일 수 있을 것이다. (수식 11)은 k번째 반복할 때 i번째 노드에 실질적으로 영향을 미치는 노드의 개수를 적용한 위치 수렴 조정 계수이다.

$$\alpha_k = \frac{1}{n'(G_i) + n'(N_i)} \quad (\text{수식 11})$$

4.2. 개선된 위치 수렴 조정 계수2

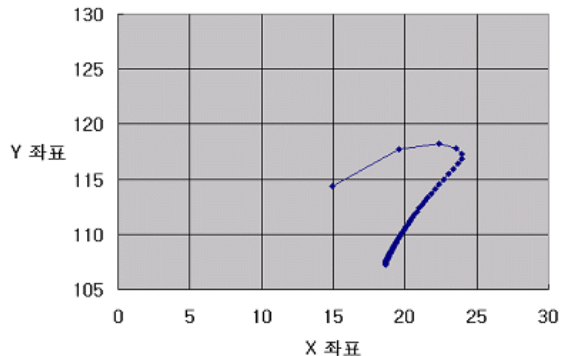
반복 횟수를 줄여서 성능을 향상시키기 위하여 (수식 8)과 같이 위치 수렴 가속 계수인 β 를 사용하였다. 위치 수렴 가속 계수인 β 가 1보다 클 경우 수렴 속도가 빨라지지만 너무 클 경우 수렴되지 않고 발산하거나 진동할 수 있다. WiCOPS에서는 위치 수렴 가속 계수인 β 의 값을 1, 2와 3으로 설정하여 시뮬레이션을 하였고, 그 결과는 위치 수렴 가속 계수인 β 의 값을 2로 하였을 경우에 성능이 가장 좋았다.

이처럼 WiCOPS에서는 위치 수렴 가속 계수

의 값이 계산적으로 결정되지 못하고 경험적으로 결정되었다. 그러므로 위치 수렴 가속 계수인 β 값을 계산적으로 결정할 수 있어야 하고, 안정성을 유지하면서 성능을 높일 수 있어야 한다.

(그림 6)은 WiCOPS의 시뮬레이션 결과로 첫 번째 노드의 위치 수렴 과정 중의 이동 경로이다. 시뮬레이션 환경은 위치를 알 수 있는 비컨 노드의 수를 4로 설정하고, 위치를 알 수 없는 노드의 수를 50으로 설정하였다. 약 80번 반복한 후에 위치 수렴을 하였다. 초기화된 위치는 각각 (14.97, 113.55) 이고 위치가 수렴된 위치는 각각 (18.62, 107.27) 이다. 5번 반복한 후 안정화 단계부터는 거의 같은 방향으로 위치가 수렴하고 있다. 이와 같이 안정화 단계 이후부터의 이동 방향은 거의 일정하나 수렴 속도가 매우 느리다.

(그림 6)에서 보듯이 안정화 단계까지는 방향이 많이 바뀌나 안정화 단계 이후에서는 방향의 변화 정도가 매우 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러므로 안정화 단계 이후에는 위치 수렴 가속 계수인 β 의 값을 동적으로 증가시키면 수렴 속도가 향상될 것이다. 동적으로 위치 수렴 가속 계수를 변경하기 위해서는 다음 두 가지를 결정하여야 한다.



(그림 6) 첫 번째 노드의 위치 수정 경로

- 안정화 단계 결정
- 위치 수렴 가속 계수 결정

안정화 단계를 결정할 수 있는 기준은 반복 횟수, 이동 거리의 추이 그리고 방향의 추이로 정의할 수 있다. 그러나 노드의 수와 노드의 분포에 따라 안정화 단계가 다르기 때문에 단순한 반복 횟수로 결정하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이동 방향의 추이로 안정화 단계를 결정하는 방법을 사용하였다.

```

IF previousUnitVector ≤ 45 and currentUnitVector ≤ 45
    bStableFlag ← True
Else
    bStableFlag ← False
End if
    
```

(그림 7) 안정화 단계 결정

(그림 7)과 같이 이동 방향의 변경이 두 번 연속 45 이하의 단위 벡터이면 안정화 단계로 판단하고, 방향의 변경이 안정화 단계를 결정하는 기준을 벗어나면 불안정화 단계로 판단한다. (그림 8)과 같이 안정화 단계일 경우 위치 수렴 가속 계수를 증가시키고, 안정화 단계를 벗어날 경우 초기화 한다.

```

IF bStableFlag = True
    iAcceleratorFactor++
Else
    iAcceleratorFactor = 1
End if
    
```

(그림 8) 위치 수렴 가속 계수 결정

4.3. 확장성을 고려한 분할과 정복

무선 센서 네트워크에서는 대량의 노드들의 위치를 측정하여야 하므로 확장성을 고려하여야 한다. (그림 9)와 (그림 10)은 WiCOPS에서의 시뮬레이션 결과이다. 표기에서 첫 번째 문자는 초기에 위치를 알 수 있는 비컨 노드의 갯수를 나타낸다.

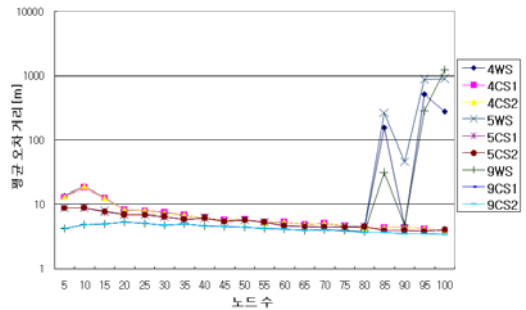
2,3번째 문자는 알고리즘의 종류로 WS는 WiPS, CS는 WiCOPS 알고리즘을 나타낸다. 4번째 문자는 위치 수렴 가속 계수이다. 따라서 이 값은 WiCOPS 알고리즘만이 가진다.

즉, 아래 표기의 의미는 다음과 같다.

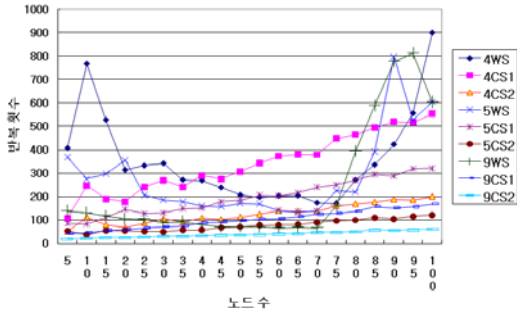
4WS : 초기 위치가 알려진 비컨 노드 수가 4인 경우의 WiPS 알고리즘

9CS2 : 초기 위치가 알려진 비컨 노드의 수가 9이고, 위치 수렴 가속 계수가 2인 경우의 WiCOPS의 알고리즘이다.

(그림 9)를 보면 고정된 위치 수렴 조정 계수를 사용한 WiPS의 알고리즘인 *WS는 노드의 개수가 80개를 초과하면서부터 평균 오차 거리가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 노드 수에 따라 동적으로 변경되는 위치 수렴 조정 계수를 사용한 WiCOPS의 *CS1, *CS2는 노드의 수가 증가할수록 평균 오차 거리는 감소하는 것을 보인다.



(그림 9) 노드 수에 따른 평균 오차 거리



(그림 10) 노드 수에 따른 위치 측정 반복 횟수

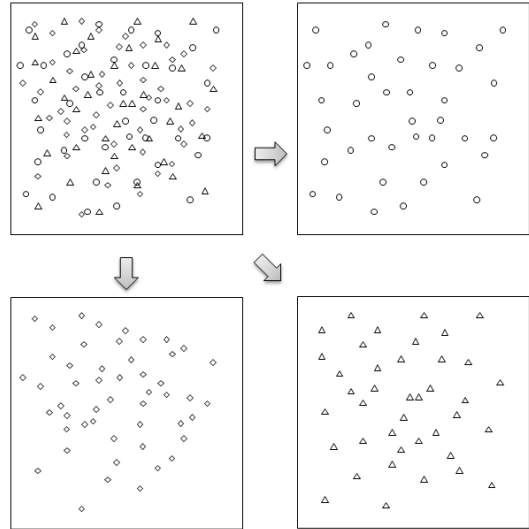
(그림 10)을 보면 노드의 수가 70개 이상부터는 반복 횟수가 모두 증가하고 있다. 성능과 안정성이 양호한 *CS2의 경우를 보면 4CS2는 노드의 수가 20개일 때, 5CS2는 노드의 수가 30개일 때 반복 횟수가 최소인 것을 알 수 있다. 단 노드의 수가 5개와 10개인 경우는 평균 오차 거리가 크기 때문에 평가에서 제외한다.

(그림 9)와 (그림 10)를 종합적으로 분석하면 노드의 수가 30개에서 70개 사이에서 노드의 수가 증가할 경우 평균 오차 거리는 감소하지만 반복 횟수가 증가하는 반비례 관계가 있는 것을 알 수 있다. 그러나 반복 횟수가 일정 수 이상 증가하면 수렴을 위한 노드의 이동 거리가 짧아 지기 때문에 평균 오차 거리의 감소는 크지 않다.

그러므로 모든 노드 들간의 연결성을 전부 이용하여 위치를 측정하지 않고, (그림 11)과 같이 노드들을 적당한 수로 나누어 여러 개의 그룹으로 만들고, 각각의 그룹에 해당하는 노드들만을 대상으로 위치 측정을 하면 반복 횟수는 선형적으로 줄일 수 있고 적당한 평균 오차 거리를 확보하여 복잡도를 낮출 수 있다.

하나의 노드와 연결성이 있는 평균 노드의 수가 A_g 이고, 반복 횟수가 I 이고, 각 그룹의 노드의 수가 N_g 이고, 그룹의 수가 C_g 이고, 각 그룹의 하나의 노드와 연결성이 있는 평균 노드의 수가 A_g 라면 SCOPS의 복잡도는 (수식12)

과 같다.



(그림 11) 노드 수의 분할

$$O = N_g \cdot A_g \cdot C_g \cdot I \quad (\text{수식 } 12)$$

총 노드의 수 N 은 (수식 13)과 같고, 각 그룹의 하나의 노드와 연결성이 있는 평균 노드의 수 A_g 는 (수식 14)와 같다.

$$N = N_g \cdot C_g \quad (\text{수식 } 13)$$

$$A_g = A \cdot \frac{G_n}{N} \quad (\text{수식 } 14)$$

(수식 12)에 (수식 13)과 (수식 14)를 대입하면 (수식 15)가 된다.

$$O = G_n \cdot A \cdot I \quad (\text{수식 } 15)$$

그러므로 분할과 정복의 방법을 사용하지 않을 경우의 복잡도는 $O(N \cdot A \cdot I)$ 이었으나 분할과 정복의 방법을 적용한 복잡도는 $O(G_n \cdot A \cdot I)$ 이다. 복잡도의 요소인 N 이 G_n 으로 경감되었다. 그러므로 G_n 의 값이 작을 수록 복잡도가 낮아

하지만 너무 낮으면 (그림 9)과 같이 평균 오차 거리가 크기 때문에 적당한 크기의 그룹으로 설정하여야 한다.

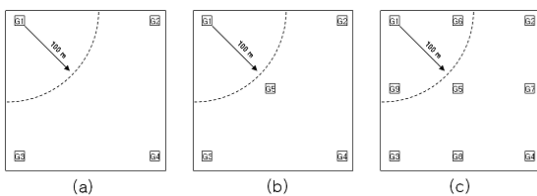
(그림 12) 비컨 노드 배치

5. 시뮬레이션

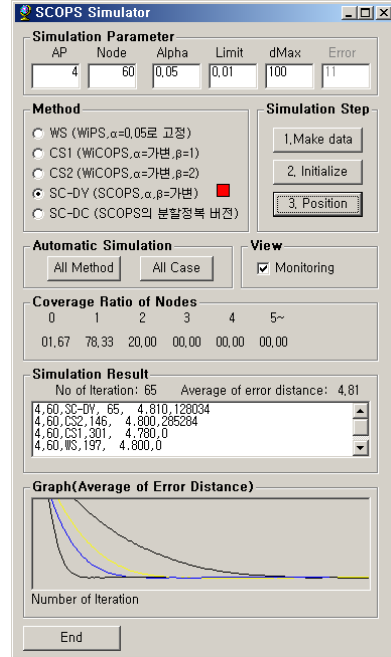
기존의 WiPS와 WiCOPS에서 위치 수렴 조정 계수 또는 위치 수렴 가속 계수의 값을 경험적으로 결정하여 위치를 측정하였다. 본 연구에서는 실제적으로 영향을 주는 노드의 수에 따라서 가변되는 위치 수렴 조정 계수와 노드의 이동 방향의 추이에 따라 가변되는 위치 수렴 가속 계수를 결정하는 방식을 제안한다. 본 연구에서 제안한 방식이 기존 연구 2W보다 성능이 우수하면서 안정적임을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 실시하였다.

5.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 (그림 12)과 같이 가로, 세로 200m의 정사각형 평면에서 수행한다[15]. 무선 통신 거리는 무선 센서 네트워크를 구성하는데 많이 사용되는 지그비를 기준으로 하여 100m로 설정한다. 자기 위치를 알 수 있는 고정된 비컨(액세스 포인트)의 갯수는 4, 5, 또는 9의 경우로 하여 (그림 12)의 (a), (b), (c)처럼 배치한다. 그리고 노드 수는 5부터 100까지 5씩 증가시킨다. 비컨 노드의 배치를 정규화시키기 위하여 일정한 정사각형 평면 위에 비컨 노드 4, 5, 9개를 배치하면 각 비컨 노드 간의 거리는 대략 200m, 141m, 100m이다.

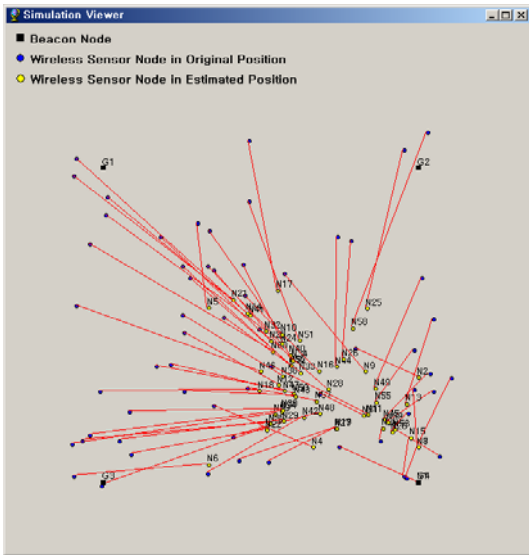


5.2. 시뮬레이션 결과



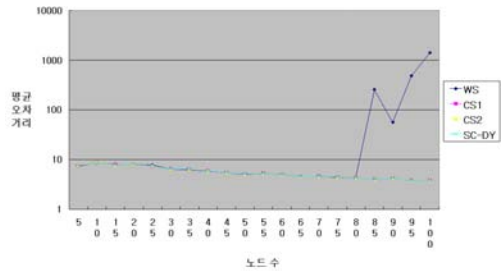
(그림 13) SCOPS 시뮬레이터

(그림 13)는 SCOPS 시뮬레이터로 비컨 노드의 수를 4, 노드의 수를 60, 위치 수렴 조정 계수를 0.05 그리고 통신거리를 100으로 설정한 화면이다. Method WS, CS1, CS2, SC DY 그리고 SC DC는 각각 위치 수렴 조정 계수를 0.05로 고정한 WiPS 알고리즘, 위치 수렴 가속 계수를 1로 고정한 WiCOPS 알고리즘, 위치 수렴 가속 계수를 2로 고정한 WiCOPS 알고리즘, 위치 수렴 계수와 가속 계수를 동적으로 결정하는 SCOPS 알고리즘 그리고 분할과 정복 기법을 적용한 SCOPS 알고리즘이다. (그림 14)는 Initialize 버튼을 클릭하여 초기화된 추정된 노드의 위치가 표시되고, 실제 노드와 추정된 노드는 선으로 연결하여 거리의 차이를 표시한다. (그림 15)는 Position 버튼을 클릭하여 위치 측정 시뮬레이션이 완료된 결과를 표시한다.

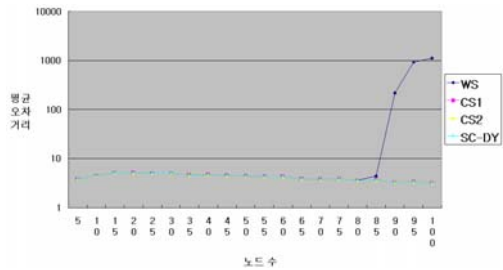


(그림 14) 위치 초기화

(그림 16) 비컨 노드 수가 4인 경우의 평균 오차 거리



(그림 17) 비컨 노드 수가 5인 경우의 평균 오차 거리



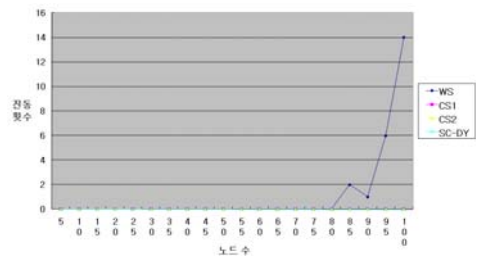
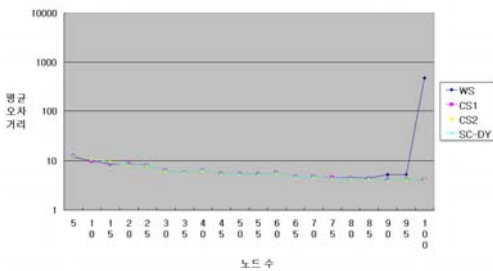
(그림 18) 비컨 노드 수가 9인 경우의 평균 오차 거리



(그림 15) 시뮬레이션 결과

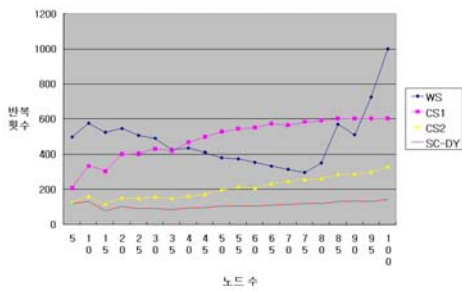
WiPS의 경우 노드의 수가 70개부터 오류가 증가하는 것은 위치 수렴 조정 계수인 α 의 값을 0.05로 고정시킴으로써 노드의 수에 비하여 위치 수렴 가속 계수의 값이 너무 크기 때문이다.

이와 같은 원인은 (그림 19)에서 찾아 볼 수 있다. CS1, CS2, SC DY의 경우는 노드들의 수가 증가해도 진동하는 경우가 전혀 없다. 그러나 WS의 경우 노드의 수가 평균 80개 이상일 경우부터 노드의 위치 측정을 하지 못하고 진동하는 것을 볼 수 있다.

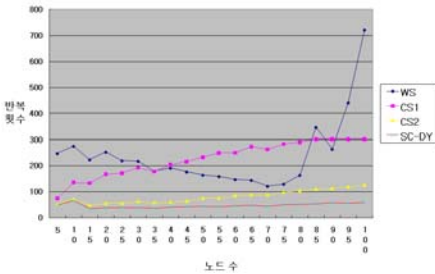


(그림 19) 노드 수의 증가에 따른 진동 횟수

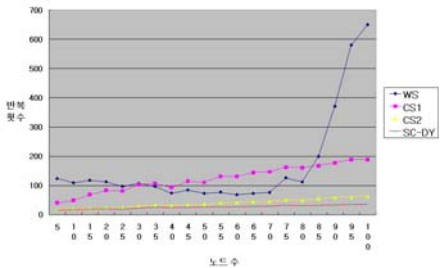
(그림 20), (그림 21), (그림 22)은 노드의 수가 증가할 때 노드들이 위치 수렴할 때까지의 반복 횟수를 보여주고 있다. SC DY은 위치 수렴 조정 계수와 위치 수렴 가속 계수 모두를 노드의 수와 이동 각도를 고려하여 동적으로 변경함으로써 WS, CS1 그리고 CS2 보다 훨씬 좋은 성능을 보이고 있다. 특히 노드의 수가 많아져도 결과를 예측할 수 있는 선형적인 반복 횟수를 보이고 있다.



(그림 20) 비컨 노드 수가 4인 경우의 반복 횟수



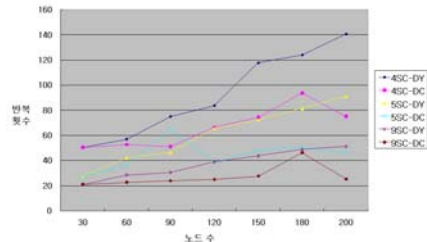
(그림 21) 비컨 노드 수가 5인 경우의 반복 횟수



(그림 22) 비컨 노드 수가 9인 경우의 반복 횟수

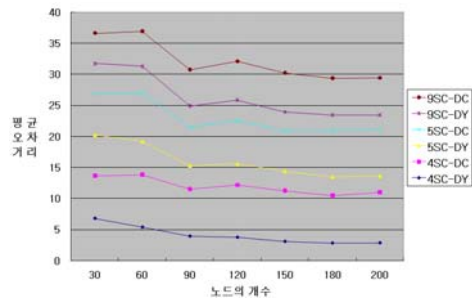
(그림 16)부터 (그림 22)까지는 위치 측정 시

시스템의 성능과 안정성 측면을 비교한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. (그림 23), (그림 24), (그림 25)는 무선 센서 네트워크와 같이 노드의 개수가 증가할 때, 위치 측정 시스템의 확장성을 비교하여 나타내고 있다. SCOPS는 WiPS나 WiCOPS보다 안정성과 성능이 뛰어난 앞장의 시뮬레이션 결과에서 확인하였기 때문에 확장성 비교를 위한 시뮬레이션에서는 SCOPS와 분할과 정복 알고리즘을 적용한 확장된 SCOPS만을 비교한다.



(그림 23) 확장성과 반복 횟수

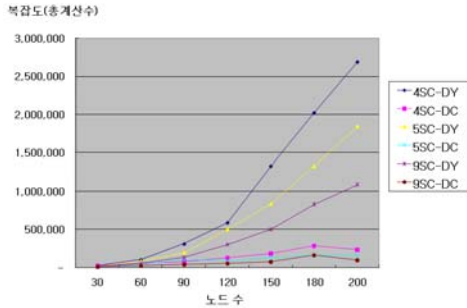
(그림 23)에서 4*, 5* 그리고 9*는 각각 비컨 노드의 수가 4, 5, 9일 때의 시뮬레이션 결과이다. *SC DY과 *SC DC를 비컨 노드의 수에 따라 비교하면 SC DY보다 분할과 정복 방식을 적용한 SC DC의 반복 횟수가 50%정도 적음을 알 수 있다.



(그림 24) 확장성과 평균 오차 거리

(그림 24)은 노드의 수가 증가함으로써 평균 오차 거리를 비교한 것이다. 분할과 정복 방식

을 적용한 SC DC는 30개의 노드로만 위치 측정을 하였기 때문에 모든 노드를 상호 협력하여 측정 SC DY보다 평균 오차가 크다.



(그림 25) 확장성과 복잡도

(그림 25)는 노드의 수가 증가할 때, 복잡도의 변화를 비교한 것이다. 반복 속도도 알고리즘의 수행 시간을 나타내지만 복잡도는 실질적인 총 수행 시간을 나타내기 때문에 실제로 적용할 때 매우 중요한 요소이다. (그림 25)에서 보듯이 노드의 수가 증가하면 SC DY는 지수적으로 복잡도가 증가하지만 분할과 정복 방식을 적용한 확장된 SCOPS는 선형적으로 증가되는 것을 볼 수 있다. 따라서 SC DC를 적용할 경우, 노드 수의 증가에 따른 수행 시간의 예측이 가능하다.

5.3. 시뮬레이션 결과 요약

SCOPS의 안정성과 정확성은 WiCOPS와 비슷하지만 성능과 확장성은 WiCOPS보다 더 좋은 결과를 보였다. SCOPS의 설계 목표는 시뮬레이션을 통하여 다음과 같이 검증되었다.

- 정확성: SCOPS에서 정확성이란 위치 측정 알고리즘을 수행할 때, 원래 노드들의 위치들이 예상한 오류 범위 이내로 수렴되는 것이다. 앞 절 5.2 시뮬레이션 결과에서 보듯이 SCOPS는 모든 경우 오류가 일정 수

준 이내로 나타나 정확성을 보장하였다.

- 성능: SCOPS에서 성능이란 원하는 오류 이내로 위치 측정을 마칠 때까지의 시간을 의미한다. SCOPS는 이전의 WiPS나 WiCOPS보다 성능이 좋음을 보였다.
- 확장성: 다수의 노드가 밀집된 환경에서도 원하는 시간과 원하는 오차 내에서 위치 측정 시스템을 위치를 측정하여야 한다. 시뮬레이션 결과 SCOPS는 그룹의 크기에 따라 정확성을 예측할 수 있었으며, 노드의 수가 증가해도 복잡도가 지수적이지 않고 선형적으로 증가되었다. SCOPS는 많은 노드에 대한 위치 측정시 확장성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 모든 노드들을 한꺼번에 상호협력 하여 위치를 측정하면 정확성은 높아지지만, 실질적으로 적용하기 위해서는 시간 복잡도를 줄이는 것이 중요하다. 정확성과 시간 복잡도는 상반 관계가 있으므로 실제 적용시 원하는 정확도와 시간 복잡도에 따른 적절한 그룹의 크기를 정하는 것이 필요하다.

6. Conclusions

본 연구에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 별도의 추가적인 위치 측정 전용 장치 없이 노드마다 기본적으로 탑재된 무선 통신 장치로부터 획득할 수 RSSI만을 이용하여 노드의 위치를 측정하는 거리 기반 위치 측정 방식을 연구하였다.

위치 측정 시스템의 공통적인 목표인 노드의 정확한 위치 측정과 무선 센서 네트워크의 특징 중 하나인 짧은 통신 거리의 제약을 해결하기 위하여 위치가 이미 알려진 비컨 노드와의 RSSI뿐만 아니라, 이웃하는 노드들과의 RSSI를 함께 이용하는 상호 협력 위치 측정 시스템을 연구 대상으로 하였다.

대량의 노드가 존재하는 무선 센서 네트워크 환경에서 확장성 있는 위치 측정 시스템을 설계하기 위하여 기존 상호 협력 위치 측정 시스템 중 하나인 WiPS와 WiCOPS의 문제점을 분석하고 다음과 같이 그 해결책을 찾았다.

첫째, 상호 협력 위치 측정 시스템에서 위치 측정시 노드와 노드간의 영향 관계에서 단순히 연결성만을 고려하는 것보다는 노드의 위치 변경에 영향을 주는 노드의 갯수로 위치 조정 수렴 계수를 결정하는 것이 효율적임을 분석하고 검증하였다.

둘째, 위치 측정 알고리즘의 성능 향상을 위하여 위치 수렴 가속 계수를 사용하여 비선형 계획법의 반복되는 횟수를 줄여 수렴 속도를 향상시켰다. 위치 수렴 가속 계수를 결정할 때, 단순히 특정한 상수를 경험적으로 고정시키는 것 보다 위치가 수렴되어 가고 있는 추이를 분석하여 동적으로 결정하는 것이 효과적이었다.

셋째, 무선 센서 네트워크 환경에서 노드들의 위치를 측정할 때, 노드의 수가 증가할수록 오차는 줄어들지만 복잡도가 지수적으로 증가한다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대량의 노드를 여러 그룹으로 나누어서 위치를 측정하는 분할과 정복 방식을 제안하였고, 그것이 효과적임을 확인 하였다.

또한, 이러한 연구결과들을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 본 연구결과를 실제적으로 적용하기 위해서는 해결하여야 할 몇 가지 사항이 있다.

첫째, 기존 무선 센서 네트워크에 위치 측정을 위한 응용 프로토콜의 추가

둘째, 응용 프로토콜 추가로 인한 성능 및 전력 소모 등에 대한 분석

셋째, 동적으로 움직이는 노드들에 대해서 효율적인 위치 측정을 할 수 있도록 하는 후속 연구

참 고 문 헌

- [1] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System: Theory and Practice, Fourth Edition," *Springer-Verlag*, 1997.
- [2] Roy Want, et al., "The Active Badge location system," *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, January 1992, vol. 10, issue 1, pp. 91-102.
- [3] Andy Ward, Alan Jones, "A New Location Technique for the Active Officem," *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, October 1997, pp. 42-47
- [4] Technical Description of DC Magnetic Trackers, Ascension Technology Corp., Burlington, Vt., 2001.
- [5] N.B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," *Mobile Computing and Networking, ACM Press*, 2000, pp. 32-43.
- [6] Yiu-Tong Chan; Wing-Yue Tsui; Hing-Cheung So; Pak-chung Ching, "Time-of-arrival based localization under NLOS conditions," *Vehicular Technology, IEEE Transactions*, Jan. 2006, pp 17-24.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) using AOA," *Proceedings of IEEE infocom*, 2003, pp 1734-1743.
- [8] Dragoş Niculescu, Badri Nath, "Error characteristics of ad hoc positioning systems," *International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing*, 2004, pp 20-30.
- [9] Rui Huang, Gergely V. Záruba, "Location Tracking in Mobile Ad Hoc Networks Using Particle Filters," *Journal of Discrete Algorithms*, 2007, pp 455-470.
- [10] Bernard J. Bennington¹ and Charles R. Bartel², "Wireless Andrew: Building a High Speed, Campus-Wide Wireless Data Network," *Mobile*

- Networks and Applications*, 2001, pp 9-22.
- [11] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "Radar: An in-building RF-based User Location and Tracking System," Proceedings of the IEEE Infocom 2000, March 2000, vol. 2, pp.775-784.
- [12] Nirupama Bulusu, John Heidemann, and Deborah Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices," IEEE Personal Communications Magazine, October 2000, vol. 7, no. 5, pp. 28-34.
- [13] Joe Albowicz, Alvin Chen, and Lixia Zhang, "Recursive Position Estimation in Sensor Networks," Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols, Nov. 2001, pp. 35-41.
- [14] Andreas Savvides, Chih-Chieh Han, and Mani B. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors," MOBICOM 2001, July 2001, pp. 166-179.
- [15] Teruaki Kitasuka, Tsuneo Nakanishi, and Akira Fukuda, "Wireless LAN Based Indoor Positioning System WiPS and Its Simulation," Proceedings of the IEEE PACRIM'03, August 2003, vol. 1, pp. 272-275.
- [16] Cheolsu Son, Namhyun Yoo, and Wonjung Kim, "Positioning System using Dynamic Location-convergence Adjustment Factor for Wireless LAN Infrastructures," Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology, September 2006.

◎ 저 자 소 개 ◎



박 나 연

1997년 호남대학교 정보통신공학과 졸업(학사)
 2000년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(석사)
 2009년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(박사)
 2000년~현재 순천제일대학 컴퓨터과학과 교수
 관심분야 : 위치측정, 소프트웨어공학, 인터넷서비스, LBS, WSN, RFID응용, etc.
 E-mail : pnayeon@suncheon.ac.kr



손 철 수

1994년 순천대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1994~2002년 (주)포스데이타 근무
 2002년 순천대학교 컴퓨터과학과 졸업(석사)
 2007년 순천대학교 컴퓨터과학과 졸업(박사)
 2008년 한국공학기술연구원 원장
 관심분야 : 위치측정, LBS, RFID, WSN
 E-mail : mrbr@paran.com



김 원 중

1987년 전남대학교 계산통계학과(학사)
 1989년 전남대학교 대학원 전산통계학과(석사)
 1991년 전남대학교 전산통계학과(박사)
 1992년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수
 관심분야 : 소프트웨어공학, 시스템 모델링, 객체지향 시스템, 인터넷 서비스, RFID 응용
 E-mail : kwj@sunchon.ac.kr