

비 균일 무선 센서 네트워크 환경에서 밀집 확률 모델링을 이용한 센서 위치 인식 기법

Sensor Positioning Scheme using Density Probability Models in Non-uniform Wireless Sensor Networks

박혁*, 황동교*, 박준호*, 성동욱**, 유재수*
충북대학교 정보통신공학과*, 한국과학기술원**

Hyuk Park(agodsun@naver.com)*, Dongkyo Hwang(corea1985@gmail.com)*,
Junho Park(junhopark@chungbuk.ac.kr)*, Dong-ook Seong(doseong@dbserver.kaist.ac.kr)**,
Jaesoo Yoo(yjs@chungbuk.ac.kr)*

요약

무선 센서 네트워크에서 위치 측위 기술은 재난 감시, 환경 모니터링 등과 같은 응용에서 매우 필수적이다. 대표적인 Range-free 기반 위치 측위 기법인 DV-HOP은 균일한 네트워크 환경을 기반으로 위치를 측위하기 때문에 실제 배포 환경을 고려하지 않는다. 따라서 실제 배포 환경인 비 균일 네트워크에서는 위치 정확도가 낮다. 이러한 환경에서 정확도를 향상시키기 위해서는 많은 수의 앵커 노드를 필요로 하기 때문에, 많은 구축비용이 소모되는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 비 균일 환경을 고려한 위치 인식 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 노드 배포 특성을 이용한 밀집 확률 방법과 정확도 향상을 위해 노드 간 거리를 보정하는 기법으로 구성된다. 이를 통해, 비 균일 무선 센서 네트워크 환경에서도 높은 정확도의 센서 측위가 가능하다. 성능평가 결과, 비 균일한 배포 환경에서도 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 위치 측위 정확도가 평균 44% 상승하였다.

■ 중심어 : | 무선 센서 네트워크 | 위치 측위 | Range-free | 중심 극한 정리 | 비 균일 |

Abstract

In wireless sensor networks, a positioning scheme is one of core technologies for sensor applications such as disaster monitoring and environment monitoring . The One of the most positioning scheme, called DV-HOP does not consider non-uniform sensor networks that are actual distributed environments. Therefore, the accuracy of the existing positioning scheme is low in non-uniform network environments. Moreover, because it requires many anchor nodes for high accuracy in non-uniform network environments, it is expensive to construct the network . To overcome this problem, we propose a novel sensor positioning scheme using density probability models in non-uniform wireless sensor networks. The proposed scheme consists of the density probability model using the deployment characteristics of sensor nodes and the distance refinement algorithm for high accuracy. By doing so, the proposed scheme ensures the high accuracy of sensor positioning in non-uniform networks. To show the superiority of our proposed scheme, we compare it with the existing scheme. Our experimental results show that our proposed scheme improves about 44% accuracy of sensor positioning over the existing scheme on average even in non-uniform sensor networks.

■ keyword : | Wireless Senser Network | Positioning | Range-free | Central Limit Theory | Non-uniform |

* 본 연구는 농림수산식품부 (생명, 첨단, 수출, 식품, 수산)기술개발사업의 지원과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임.(No. 2009-0089128)

접수번호 : #111226-007

심사완료일 : 2012년 03월 12일

접수일자 : 2011년 12월 26일

교신저자 : 유재수, e-mail : yjs@chungbuk.ac.kr

I. 서론

최근 컴퓨팅 기술의 발전으로 인해 인간에게 좀 더 편리하게 할 수 있는 유비쿼터스 환경이 제공되고 있다. 이러한 환경은 인간과 컴퓨터, 사물이 유기적으로 연계되어 다양하고 편리한 서비스를 제공한다. 그 중 무선 센서 네트워크는 인간 외부 환경의 감지와 제어 기능을 수행하기 위한 기반 기술로써 현재 활발히 연구되고 있다[1].

애드-혹(Ad-hoc)방식으로 구성되는 무선 센서 네트워크는 자율적으로 네트워크가 구성되며 노드 간의 통신을 통해 다양한 환경 정보를 수집하게 된다. 싱크 노드는 관찰 지역 내에 센서 노드들을 통해 수집된 데이터를 전송받아 사용자에게 정보를 전달하는 역할을 수행한다. 이렇게 수집된 정보들은 군사 시스템, 위치 탐색, 환경 모니터링, 재난 감시 등 다양한 응용에서 활용된다[2].

센서 네트워크에서의 위치 측위 기술은 가장 필수적이고 일반적인 기반 기술 중 하나이다. 무선 장치를 사용하는 위치 인식 방법은 모든 기기들이 GPS(Global Positioning System) 모듈을 탑재하여 위치 정보를 수집하는 방법이 일반적이다[3]. 하지만, 이는 대규모의 센서 네트워크 환경에서 과도한 구축비용 및 GPS 모듈 사용에 따른 에너지 소모 문제를 야기한다. 그러므로 한정된 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크에서 에너지 사용을 감소시키기 위한 위치 측위 기법들이 활발하게 연구되고 있다. 현재의 연구는 자신의 위치를 모르는 일반 노드(Unknown node)와 절대 위치를 알고 있는 앵커 노드(Anchor node)를 통한 측위 방식으로 이루어지고 있다. 위치를 추정하기 위해서는 앵커 노드 정보를 가지고 추정하는데 앵커 노드는 GPS모듈을 가지고 있어 자신의 위치를 알고 있으며, 자신의 위치를 모르는 일반 노드보다 최대 2배의 파워배율을 가짐으로써, 일반 노드보다 통신 반경이 매우 넓다는 특징을 가지고 있다. 앵커 노드를 기반으로 위치를 추정하면 일반 노드는 GPS모듈을 장착하지 않고도 측위가 가능하므로 구축비용이 감소되는 큰 장점을 가지고 있어 이를 통한 측위 연구 기법들이 제안되고 있다.

최근에 연구되는 대표적인 위치 인식 기술은 Range-based 기법과 Range-free 기법으로 나뉜다. Range-based 기법은 위치 추정을 할 때 센서의 거리(distance)나 각(angle) 정보를 통해 이웃 노드 간 거리를 계산하고 이 정보를 통해 위치를 추정하는 방식이다. Range-based 기법은 위치 정확도가 높지만 거리 계산 시 노드마다 초음파 모듈과 같은 부수적인 장비가 필요하다는 단점을 가지고 있다. Range-free 기법은 Range-based 기법과는 달리 거리를 계산하기 위해 노드 간 통신 여부를 판단하여 노드 간의 연결 정보를 통해 거리 연산과정을 거친다. 이를 통해 거리를 추정하여 임의의 센서 위치를 추정하는 방식이다. 전체 네트워크에서 앵커 노드만이 GPS모듈을 장착하고 있기 때문에 비용 효율적이며 에너지 소모, 네트워크 구축비용을 줄일 수 있다[4][5]. 대표적인 Range-free 기반 측위 기법인 Centroid[9], APIT[10], DV-HOP[12][13] 기법은 센서 노드가 격자(Grid) 형식과 같이 센서 노드가 일정한 간격을 가지고 배포되는 환경인 균일 네트워크를 전제로 이웃 노드 간 거리 또는 인근 노드와 통신을 통해 정보를 수집하여 센서의 위치를 추정하였다. 하지만 실제 센서 배포형식은 미사일, 항공기를 통하여 랜덤하게 관찰 지역에 배치되기 때문에 각 지역마다 노드 분포성은 비 균일하고 노드마다 거리가 다른 환경을 가져 가게 된다. 따라서 균일 환경에서 제안된 위치 측위 기법들은 응용 환경에 부적합하며, 비 균일 환경에서 거리 추정은 오차율이 매우 높다는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 Range-free방식 기반의 기존 연구에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해 비 균일 무선 센서 네트워크 환경에서 밀집 확률 모델링을 이용한 센서 위치 인식 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 최소의 앵커 노드만을 활용하여, 비 균일 네트워크 환경에서 노드마다 거리가 다른 밀집도의 특성을 적용하여 거리를 추정하는 새로운 밀집 확률 모델링 기법을 제안한다. 이를 통해, 네트워크 구축비용을 최소화하면서도 높은 수준의 정확도를 갖는 위치 인식 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기존에 무선 센서 네트워크에서 제안된 위치 추정 방식들을 설명하고, 기존 연구의 문제점을 분석한다. 제3장에서는

제안하는 비 균일 무선 센서 네트워크 환경에서 밀집 확률 모델링을 이용한 센서 위치 인식 기법의 특징과 수행 과정을 기술한다. 제4장에서는 기존 기법과의 성능 평가를 통해 제안하는 기법의 우수성을 보이며, 마지막으로 제5장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구 방향에 대해서 설명한다.

II. 관련 연구

본 장에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 별도 모듈 사용에 따른 Range-based 기법과 Range-free 기법을 사용하는 위치 측정 기술을 살펴본다.

1. Range-based 기반 위치 측위

Range-based 기법은 노드의 각도(angle), 거리(distance)정보를 알아오기 위해 별도의 통신 모듈을 이용한다. 이를 통해 이웃 센서 노드 사이에 거리를 계산하여 이 후 삼변측량법(Trilateration)으로 위치를 측정하는 기법이다[6]. 기존에 연구되고, 상용화 된 방식으로 ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), AoA(Angle of Arrival) 등이 있다[7][8].

ToA 기술은 신호의 전파 시간을 통해 범위 정보를 얻어 위치를 측정하는 방식이고[7], TDoA는 2개의 신호원으로부터 전파 도달 시각의 상대적인 차를 측정하여 위치를 결정한다. AoA 기술은 단말기의 신호를 수신한 3개의 기지국에서 신호수신 각도와 차이를 이용하여 위치정보를 제공한다.

Range-based 기법은 노드의 위치 예측을 위해 거리와 각 정보의 도달시간, 신호 세기 등을 이용하는데 있어 센서 네트워크 환경에서 무선 채널은 주위 환경에 민감한 특성을 지니기 때문에 위치 측정 오차가 매우 심하다. 또한 ToA, TDoA, AoA는 센서 간 동기화 시스템을 위한 별도의 요구 비용 및 추가 장비의 사용, 에너지 소모가 크게 발생하는 단점이 발생하기 때문에 무선 센서 네트워크에서 Range-based 기법으로 위치를 측정하기에는 어려움이 있다[8].

2. Range-free 기반 위치 측위

Range-free 기법은 Range-based 기법과는 달리 노드 간 전송 경로, 홉 수 등의 토폴로지 정보만을 이용하는 기법으로 네트워크 유지 및 구축비용이 감소한다는 장점이 있다. 다음에서 언급되는 APIT[10], DV-HOP[12] 측위 기법이 가장 대표적인 Range-free 기반의 위치 인식 기술이다.

2.1 APIT

APIT(Approximate PIT)는 대표적인 Range-free 기반 위치 측정 기법으로 삼각지역의 중첩 영역을 통해 측위하는 기법이다. [그림 1]과 같이 자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드를 통해 이들과 이루는 삼각형 지형을 생성하여 추정 노드가 삼각형의 내부인지 외부인지를 테스트를 통해 측위를 수행한다. APIT는 PIT(Point-In-Triangulation) Test 이론을 기초로 하는 다음과 같다.

<명제1> 추정 노드 M이 앵커 A, B, C의 삼각형 내부에 존재한다면 노드 M이 이동하여도 $\triangle ABC$ 에서 적어도 하나의 앵커와는 가까워지거나 멀어지는 방향이 존재한다.

<명제2> 추정 노드 M이 삼각형 외부에 존재한다면 M이 이동하는 방향 중 모든 앵커 노드로부터 멀어지거나 가까워지는 방향이 존재한다.

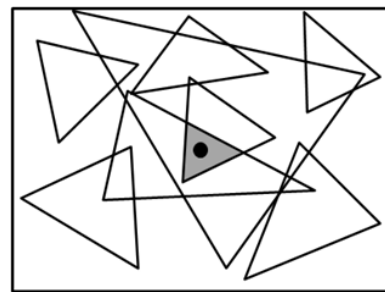
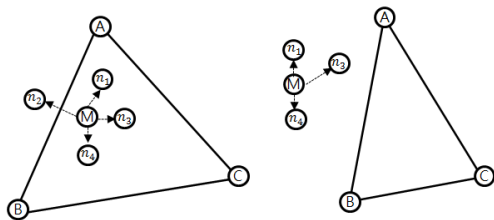


그림 1. APIT 위치 측위

Perfect PIT이론은 이동 노드를 토대로 정의한 명제이므로 고정 네트워크에 맞게 근사적인 접근법인 APIT 측위 알고리즘을 수행하게 된다.

이동 방향 및 테스트를 위해 이웃 노드와의 관계를 이용하는데 이를 위해 앵커 노드의 비컨 세기를 통해 앵커 노드로부터 어떠한 노드가 더 멀리 있는지 가까이 있는지를 판단한다. 이 후, APIT Test를 수행한다. APIT Test는 3개의 앵커 노드 A, B, C에 대해 일반 노드 M에 비해 모두 가깝거나 먼 이웃이 없다면 M은 △ABC 내부에 있다고 판단하고, 그렇지 않을 경우에는 외부에 있다고 판단하여 위치를 추정한다[10].

하지만 APIT 알고리즘은 두 가지 판단 오류를 범할 수 있다. [그림 2](a)와 같이 타겟 노드 M이 삼각형의 내부에 있고, 이웃 노드 n_1 - n_4 역시 삼각형의 내부에 있지만 이웃 노드 n_2 로 인해 M의 추정 위치는 삼각형으로 외부로 판단되어질 수 있는 내부 판단 오류를 범할 수 있고, [그림 2](b)와 같이 타겟 노드는 삼각형의 내부에 있다는 외부 판단 오류를 범하게 된다[11]. 두 가지 오류를 발생할 수 있는 APIT 알고리즘은 전제에서 이러한 오류 상황이 많이 발생하지 않으며, 이러한 상황을 개선하기 위해 더 많은 앵커 노드를 사용해야 한다고 언급하고 있지만 실질적으로 Range-free 기법을 사용하여 위치를 측위하는 기법은 앵커 노드의 사용을 줄여 구축비용을 최소화하는 것을 목표로 두고 있기 때문에 비효율적인 개선 방안일 수가 있다.



(a) 내부 판단 오류 (b) 외부 판단 오류
그림 2. APIT Test에서의 발생하는 오류

2.2 DV-HOP 위치 측위 기법

DV-HOP은 Range-free를 기반으로 멀티-홉 라우팅을 이용하여 위치를 추정하는 기법 중 가장 대표적인 기법이다. 이는 앵커 노드 간 1-홉 간의 평균 거리를 산출하고 이를 이용하여 일반 노드의 위치를 추정한다. DV-HOP 알고리즘은 다음과 같이 크게 총 3단계로 구성된다.

<단계 1> 배포된 모든 앵커 노드들은 자신의 위치 정보와 자신을 기준으로 한 홉-수를 0으로 하여 모든 노드에게 이 정보를 비컨프레임으로 브로드캐스트한다. 각 앵커 노드들과 인접한 모든 노드들은 이 정보를 이용하여 인접 앵커 노드와 자신과의 누적된 홉-수 정보와 앵커의 위치 정보를 저장한다.

<단계 2> 각 앵커 노드들은 다른 앵커 노드의 거리와 최소 홉-수를 토대로 자신의 1-홉 평균 거리를 식 (1)과 같이 산출한다.

$$c_i = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum h_i}, \quad i \neq j \quad (1)$$

h_i 는 앵커 노드 간의 최소 홉-수이고, (x_i, y_i) , (x_j, y_j) 는 앵커 노드 간의 좌표이며, 1-홉 평균 거리인 C_i 를 산출한다.

<단계 3> 이후 모든 앵커 노드는 자신의 홉-당 평균 거리와 홉 수를 포함한 비컨 프레임을 브로드캐스트하고, 이를 수신 받은 일반 노드는 앵커 노드의 홉 당 평균 거리와 최소 홉-수를 통해 각 앵커 노드로부터 거리를 계산하여 자신의 위치를 추정한다.

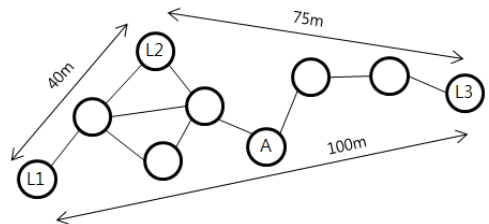


그림 3. DV-HOP 거리 평가

예로써, [그림 3]와 같이 앵커 노드와 일반 노드간의 거리는 홉-수를 통해 식(1)을 계산하여 산출하게 되는데, $L1=17.5m$, $L2=16.42m$, $L3=15.9m$ 로 홉-당 거리가 연산되고, 이 중 일반 노드 A의 위치를 추정할 때 최소 홉-수인 L2의 16.42m의 평균 거리를 토대로 최소자승법을 적용하여 자신의 위치를 예측한다. 최소자승법은 위치를 예측 할 수 없는 삼변측량법과는 달리 오차의 제곱 합을 최소화함으로써, 오차율이 가장 적은 위치를

추정 위치로 선택한다.

앵커 노드의 집합이 $N_{anc} = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ 라 하고, 일반 노드의 집합을 $N_{un} = \{1, 2, 3, \dots, l\}$ 라 할 때, 앵커 노드의 각 좌표는 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_k, y_k)$ 로 표현되며, 일반 노드의 각 좌표는 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_l, Y_l)$ 이 된다. 이 때, 일반 노드 n 과 앵커 노드 i 사이의 거리 D_i 는 식(2)와 같이 정의된다[12].

$$\begin{aligned}
 D_1^2 &= (X_n - x_1)^2 + (Y_n - y_1)^2 \\
 D_2^2 &= (X_n - x_2)^2 + (Y_n - y_2)^2 \\
 &\vdots \\
 D_k^2 &= (X_n - x_k)^2 + (Y_n - y_k)^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

DV-HOP은 APIT보다 더 적은 수의 앵커 노드를 필요로 하고, 오차율도 더 낮다는 장점을 가지고 있지만 APIT와 동일하게 밀집도가 지역마다 다른 비 균일 환경에서는 오차율이 매우 높아진다. 정확도를 높이기 위해서는 많은 수의 앵커 노드를 배포해야 한다[14]. 이러한 문제점을 보완하기 위해 논문 [13]에서는 앵커 노드의 비율을 줄이면서 위치 정확도를 향상시키는 Improved DV-HOP 기법에 대해 제안하였다. 논문 [13]은 모든 노드가 앵커 노드의 위치 정보를 수신 후, 두 앵커 노드마다 실제 떨어진 거리와 1-홉 거리를 가지고 오차 거리를 산출하여 오차율을 보정함으로써 정확도를 향상시키는 방법이다.

$$\begin{aligned}
 d_{est}^{i,j} &= HopSize_i \times h_{i,j} \\
 d_{true}^{i,j} &= \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 e^{i,j} &= d_{est}^{i,j} - d_{true}^{i,j} \\
 HopSize_{eff}^{i,j} &= HopSize_i - \frac{e^{i,j} + e^{i,m}}{h_{i,j} + h_{i,m}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

모든 노드가 앵커 정보를 수신 한 후 평균 1-홉 거리를 추정하여 앵커 노드들은 위치를 모르는 노드의 평균

1-홉 거리에 대한 오차율을 산출하기 위해 앵커 노드 정보를 활용한다. 앵커 노드 i 부터 j 까지 추정 홉 거리(d_{est})와 실제 i 부터 j 까지 직선거리(d_{true})를 계산하는데 이는 식(3)과 같다. 추정 홉 거리와 직선거리를 통해 추정 홉 거리에 대한 오차율(e)을 식(4)와 같이 산출하고, 최종적으로 기존 1-홉 평균 거리를 앵커 i 부터 j 까지 오차율과 앵커 i 부터 m 까지의 오차율에 대한 비율만큼 감소하여 수정된 1-홉 평균 거리를 산출한다.

Improved DV-HOP 기법은 기존 DV-HOP에 비해 정확도와 앵커 노드의 사용 비율이 낮고 균일 네트워크 환경에서 높은 정확도를 보여주나 지역마다 다른 밀집도를 갖는 비 균일 네트워크에서는 낮은 정확도를 보여준다. 따라서 APIT, DV-HOP에서 고려하지 않은 밀집도와 앵커 노드의 사용 비율을 줄이면서 정확도를 향상시키는 측위 기법에 대한 연구가 필요하다.

III. 제안하는 Range-free 기반 측위 기법

본 장에서는 Range-free 기반 밀집 확률 모델링을 이용한 센서 위치 인식 기법에 대해 기술한다. 먼저, 제안하는 기법의 네트워크 환경과 위치 측위 방법에 대해 기술한다. 다음으로 밀집 확률 모델링을 이용하여 노드의 거리를 추정하고 이 후, 추정 거리를 보정하여 일반 노드의 위치를 측위 하는 과정을 상세히 설명한다.

1. 제안하는 기법의 네트워크 구성 및 방법

본 논문에서는 기존 연구에서 센서 노드가 비 균일하게 배포된 센서 네트워크 환경에서 구축비용을 감소시키고, 측정 오차를 줄이기 위한 기법을 제안한다. 지역마다 밀집도가 다른 환경에서 기존의 연구들은 오차 범위가 매우 크게 발생한다. 이를 보완하기 위해서는 많은 수의 앵커 노드를 배치해야 하므로 네트워크 구축비용의 문제점이 발생한다. 제안하는 기법은 최소의 앵커 노드인 총 4개의 앵커 노드를 센서 필드의 경계점에 배치하며, 이를 통해 앵커 노드의 구축비용을 최소화 한다. [그림 4]는 제안하는 기법의 측위 과정으로 초기 위치 정보 질의가 내려지면 앵커의 정보를 통해 일반 노

드의 초기 거리를 추정하고 이 후, 보정 거리를 산출하여 위치를 측위 한다.

제안하는 알고리즘은 크게 4단계로 구분된다.

<단계 1> 초기 각 경계점에 위치한 앵커 노드는 자신의 위치 정보를 브로드캐스트한다.

<단계 2> 일반 노드는 자신과 이웃한 노드의 밀집도에 이웃 노드의 거리를 추정한다.

<단계 3> 앵커 노드 간 최단 경로를 통한 홉 기반 상대 거리와 앵커 노드 간 실제 거리 차이의 오차 비율을 계산하여 모든 노드는 추정 거리를 개선한다.

<단계 4> 개선된 보정 거리를 이용하여 자신의 위치를 추정한다.

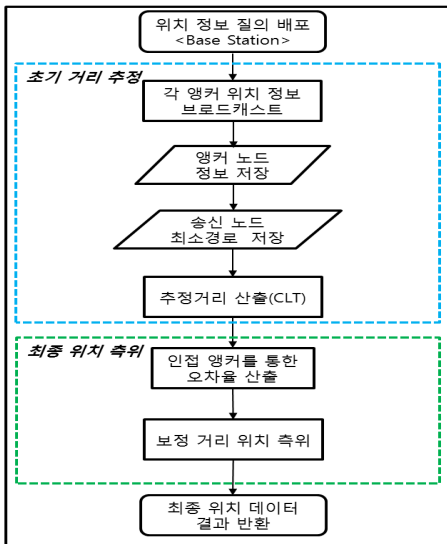


그림 4. 밀집 확률 모델링을 통한 측위 과정

2. 밀집도를 고려한 거리 추정

[그림 5]와 같이 센서 노드의 배치는 실제적으로 비균일하게 배포된다. 자신의 절대 위치 정보를 알고 있는 앵커 노드($A = \{A_1, \dots, A_4\}$)는 양 끝에 배치가 된다. 초기 앵커 노드는 [표 1]과 같이(앵커 노드ID, 자신을 기준으로 한 홉 수, 좌표정보)를 담은 메시지를 모든 노드에게 브로드캐스트 한다. 이를 수신한 모든 일반 노드는 [표 1]과 같이 앵커 노드 정보를 저장하고, [표 2]

와 같이 자신과 1-홉 내에 이웃한 노드 정보(앵커 노드에서 최소경로를 통해 수신 받은 노드 ID, 최단경로 누적 홉 수, 1-홉 내에 이웃 노드 리스트)를 저장한다.

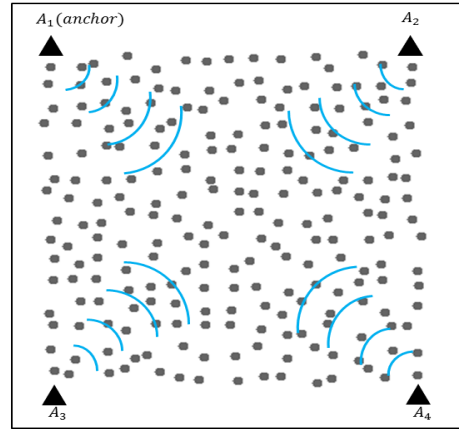


그림 5. 네트워크 모델 및 앵커 브로드캐스트

이 후, 모든 각 노드들은 정규분포(Normal Distribution) 확률의 중심극한정리(Central Limit Theorem)를 토대로 이웃 노드의 수에 따라 거리를 평가한다[15][16].

표 1. 앵커 노드 정보 테이블

노드ID	홉 정보	좌표
A_i	init_value = 0	X_i, Y_i

표 2. 최단경로 및 1-홉 노드 리스트 테이블

최단경로ID	최단경로hop	이웃리스트
n_i	cumulated hop	$n_i, n_{i+1}, \dots, n_{i+n}$

정규분포 또는 가우시안 분포란 어느 대상 표본들의 분포가 좌우대칭인 종 모양을 이루는 형태로써, 표본의 객체 수가 증가하거나 표본을 여러 번 시행횟수를 거칠수록 정규분포곡선을 나타낸다.

센서 네트워크 환경이 정규분포모델에 부합한다는 증명을 할 수 있는 이론이 중심극한정리이다. 다음은 중심극한정리의 정의이다.

<정의 1> 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 임의의 모집단

에서 n 개의 표본을 추출할 경우 n 이 충분히 크다면($n \geq 30$), 모집단의 확률분포형태와 상관없이 표본평균(X)의 확률분포는 평균= $E(X)=\mu$ 이고, 표준편차= σ/\sqrt{n} 인 정규분포에 근사하며, n 이 무한대로 커지면 정규분포와 일치하게 된다.

<정의 2> 정규분포를 따르는 확률변수 X 를 표준정규분포의 확률변수로 변환한 $Z=(X-\mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ 는 근사적으로 $N(0,1)$ 인 표준정규분포를 따르게 된다.

두 정의를 토대로, 정규분포모델은 평균이 0인 지점으로 속하기 위해서는 표본의 개수가 30개 이상이어야 한다는 조건이 필요하며, 표본의 개수가 커질수록 정규분포의 μ 로 가까워지게 된다[16]. 이를 센서 네트워크 환경에서 보게 되면 표본의 개수는 수 천 개의 센서 노드가 배포되는 대규모 네트워크 환경이므로 표준정규분포곡선 중 평균이 0인 지점에 위치하게 된다. 즉, 확률 값이 1을 갖는다는 것은 주위 노드가 한 개라도 있다는 것을 표현한다. 따라서 중심극한정리와 정규분포모델을 센서 노드가 이웃하는 거리 추정 시 적용한다. 추정 거리는 정규분포표의 값을 토대로 산출하게 되는데, 노드는 자신의 통신 반경이 R 일 경우 통신 범위는 $R \times$ 범위각($\theta=360^\circ$)의 면적을 갖는다. 거리 추정 기법을 적용하기 위해 1차원에서 노드 추정 지점을 고려한 후, 2차원에서 실제적으로 노드 거리를 추정하도록 한다. [그림 6]과 같이 1차원일 경우를 고려하면 다음과 같다.

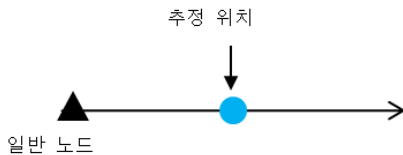


그림 6. 1차원 상 노드 추정 위치

1차원인 직선상에서 임의의 노드가 존재하는 지점은 간단히 평균이 0인 1/2지점으로써 직선에서 안쪽의 범위 길이와 바깥쪽의 길이가 같아지는 부분에 존재하게 된다.

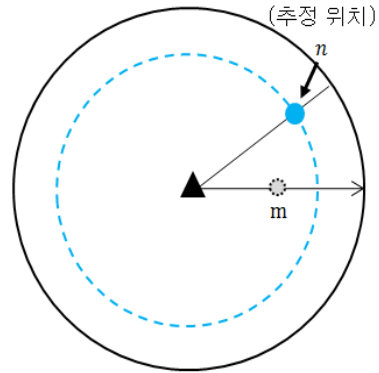


그림 7. 2차원 상 노드 추정 위치

반경 r 을 갖는 면적인 2차원에서는 [그림 7]과 같이 실질적으로 노드가 가지고 있는 통신 반경과 통신 범위 각($\theta=360^\circ$)으로 확장된다. 원을 그리게 되면 1차원 상 추정 위치 지점(m)보다 더 멀어져 내원과 외원의 면적이 같아지는 부분인 곡선 지점(n)에 존재한다. 이를 통해 노드 간 거리는 정규분포표의 수치를 통해 추정 가능하다. 식(5)는 정규분포표의 수치를 토대로 이웃 노드 간 분포에 따른 거리 산출식이다.

$$d_{Est(k)} = \sqrt{\frac{\pi r^2 / 2}{\pi}} = \sqrt{\frac{r^2}{2}}, n = 1;$$

$$d_{Est(k)} = \sqrt{\frac{r^2}{n+1}}, n \geq 2; \tag{5}$$

r 은 센서 노드의 통신 반경이고, n 은 자신의 이웃 노드 수이다. 초기 브로드캐스트를 통해 이웃한 노드에게 메시지를 수신한 이 후, [표 1]과 [표 2]의 정보를 가지기 때문에 모든 노드들은 식(5)을 이용하여 자신들의 이웃 노드 간 1-홉 거리를 추정하게 된다. 예를 들면 Node ID= k 인 노드가 1-홉 거리 추정 시 $n=1, r=15$ 인 경우 식(5)은 통신 반경 15m를 갖는 센서 노드에서 이웃 노드 1개가 존재할 경우 1-홉 거리 추정에 대한 식이다. 식(5)을 통해 노드 k 의 1-홉 거리는 약 10.6m만큼 떨어져 있는 것으로 이웃 노드 간 추정 거리를 산출하게 된다. 따라서 각 각의 센서 노드는 거리 추정 시 이웃 노드의 분포에 따라 1-홉 거리가 다르게 산출되며, 이는

밀집도가 다른 비 균일 네트워크 환경에서 좀 더 실제적인 거리 추정을 가능하게 한다.

3. 추정 거리 오차 보정

이전의 이웃 노드 밀집 확률을 통한 추정 거리는 최소 경로를 통한 노드 간 누적 거리로써 실제 직선거리가 아니다. 노드 간의 추정 거리를 통해 측위를 하게 되면 전체 네트워크의 크기를 고려하지 않았기 때문에 최소 경로를 통한 두 앵커의 거리는 실제 앵커의 거리보다 길거나 짧다는 오류를 범할 수 있다. 따라서 오차 비율을 보정 할 필요가 있다.

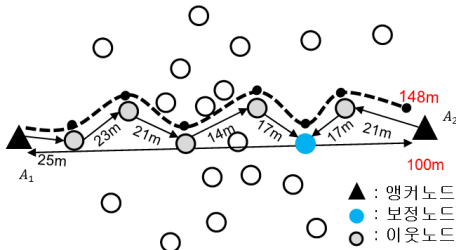


그림 8. 추정거리와 실제거리 오차 보정

[그림 8]에서 앵커 A1부터 A2 노드까지 실 거리는 100m이다. 식(5)을 통해 계산된 1-홉 추정 거리의 합은 앵커 A2에서의 연산 전에 이미 148m로 평가된다. 따라서 오차를 보정하기 위해 식 (6)와 같이 보정 노드 ID = k 일 때, 노드 k와 홉-수가 적은 두 앵커의 최소 경로를 통한 추정 누적거리(d_{Est_All})와 실제 두 앵커 간 직선 거리(d_{Real})의 오차 비율($error$)을 계산한다. 네트워크에 사용되는 총 4개의 앵커 노드 중 노드 k와 홉-수가 적은 두 앵커만을 선정하는 이유는 비균일 환경에서는 앵커와 k노드 간 장애물과 같은 물체나 홀로 인해 우회하는 경로, 이웃 노드 부족으로 인한 홀 발생과 같은 상황으로 인해 홉-수가 늘어나는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 우회 경로 노드에 대한 오차를 최소화하기 위해 4개의 앵커 노드 중 가장 최단 경로를 가지는 앵커 노드 2개를 사용한다. 추정 누적거리(d_{Est_All})는 앵커 노드 i부터 추정 노드 k까지의 누적 홉 거리, 앵커 노드 k부터 추정 노드 k까지의 누적 홉 거리를 통해 두 앵커 i,

j와의 누적 거리를 산출한다. 오차율($error$) 계산은 실제 앵커 i부터 j까지의 직선 거리를 가지고 추정 누적 거리를 나눔으로써 오차율을 산출한다. 추정 노드 k는 기존 1-홉 추정 거리($d_{Est(k)}$)와 산출된 오차율($error$)을 통해 보정 1-홉 추정 거리($d_{ref(k)}$)를 산출한다.

$$d_{Est_All(k)} = \sum_{NodeID(k)=0}^i d_{Est(k)} + \sum_{NodeID(k)=0}^j d_{Est(k)}, i \neq j$$

$$d_{Real(i,j)} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$$error_{(k)} = \frac{d_{Real}}{d_{Est_All(k)}}$$

$$d_{ref(k)} = d_{Est(k)} \times error \tag{6}$$

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2$$

$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 = d_4^2 \tag{7}$$

모든 노드들은 식(6)을 통해 보정 1-홉 거리를 계산한 후, 식(7)의 위치 계산법을 통해 위치를 추정하게 된다. 식(7)의 d는 보정 1-홉 거리($d_{ref(k)}$)를 각 앵커 노드까지의 보정 누적 거리를 말한다. (x, y)는 측정 노드의 좌표이고, (x_i, y_i)는 각 앵커 노드의 좌표 정보로써, 모든 노드들은 위치 추정 시 양 끝에 배치된 총 4개의 앵커 노드를 통해 측위한다. 따라서 보정된 노드들의 추정 거리 d를 통해 오차를 줄여 전체 센서 노드의 위치를 추정하게 된다.

IV. 성능 평가 및 분석

1. 네트워크 환경

본 장에서는 제안하는 기법의 정확성과 오차율을 측정하기 위해 DV-HOP 방식과 시뮬레이션을 통해 비교

하였다. 네트워크 모델은 항공기, 미사일을 통해 실제적인 배포 특성을 고려하여 랜덤(Random)/비 균일(Gaussian) 모델을 구성하였다. [표 3]과 같이 센서 파라미터는 300×300m의 센싱 공간에서 사각형의 경계지점에 앵커 노드를 총 4개를 배치하였고, 일반 노드는 초기 296개를 배치하였고, 노드의 수를 증가시켰다. 각 센서에 대한 통신반경은 15m에서 최대 50m까지 범위를 변화하며 J-Sim을 기반으로 성능 평가를 수행하였다.

표 3. 성능 평가 파라미터

파라미터	값
센서 네트워크 크기 (m)	300x300
센서 통신 반경 (m)	15-50
일반 노드의 수 (개)	296-996
앵커 노드의 수 (개)	4

위치 측위 정확성과 오차는 실제 노드가 존재하는 절대 좌표와 추정 좌표와의 차이를 통해 나타낼 수 있다. 따라서 각 노드의 최종 위치 결과 좌표와 실제 분포된 노드와의 거리 오차율을 산출하여 정확도를 평가해야 한다. 식(6)은 실제 거리와 측위 좌표를 통한 오차율을 표현한다. x', y' 는 추정 노드의 위치, x, y 는 절대 좌표를 의미한다. r_{max} 는 분포 노드 통신 최대 반경으로써 최대값은 50m이다. 이를 통해 추정 거리의 정확도를 평가한다.

Location Error(%R)

$$= \frac{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}}{r_{max}} \times 100 \quad (6)$$

2. 성능 평가 결과

위의 네트워크 환경을 토대로 DV-HOP과 제안하는 기법의 노드 위치 정확도를 비교 평가하였다. 그림 9에서 검은 점은 앵커 노드의 위치, 흰 점은 일반 노드의 실제 위치이다. 검은 실선은 실제 위치와 추정 위치와의 거리 오차율을 보인다. [그림 9]의 환경과 같이 무작위로 배포되어지는 랜덤 모델과 한 곳으로 치우치는 비 균일 모델을 토대로 수행하였다. 시뮬레이션은 센서 노

드의 통신 반경(r)을 15-50m로 증가시키며 수행하였고, 매 10회의 시뮬레이션을 통한 평균값을 산출하여 DV-HOP과 제안하는 기법의 평균 오차율을 계산하였다.

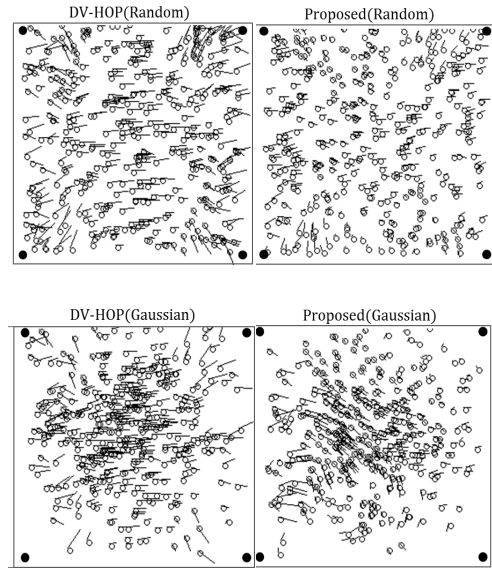


그림 9. DV-HOP과 제안기법의 오차($r=30$)

[그림 10]은 전송반경을 증가 시키며 위치에 대한 오차율을 산출한 값으로 x축은 노드의 통신 반경, y축은 실제 노드의 절대 좌표를 기준으로 한 위치 오차율을 표현한다. [그림 10]은 DV-HOP에 비해 제안하는 기법이 모든 범위에서 위치 정확도가 우수함을 보인다. 랜덤 환경에서는 제안하는 기법의 평균 오차율이 DV-HOP에 비해 정확도가 약 38% 향상되었고, 밀집도의 편차가 매우 큰 비 균일 환경에서는 44%의 정확도 향상을 보였다. DV-HOP의 거리 추정 방식은 앵커 노드를 통한 평균적인 1-홉 거리를 가지고 위치 측위를 하기 때문에 매우 낮은 정확도를 보이고, 제안하는 기법은 자신 통신 반경에 따라 이웃 노드의 개수를 토대로 1-홉 거리가 각 노드마다 다르기 때문에 비 균일 환경에서 DV-HOP에 비해 매우 높은 정확도를 보였다. 또한 노드의 통신 범위가 증가하면서 이웃 노드로 포함되는 노드 수가 많아짐에 따라 정규분포에 수렴하기 때

문에 정확도가 향상된 것을 볼 수 있다. 따라서 제안하는 기법이 실제적인 비 균일 환경에서 위치 추정이 좀 더 신뢰적이고, 우수함을 볼 수 있다.

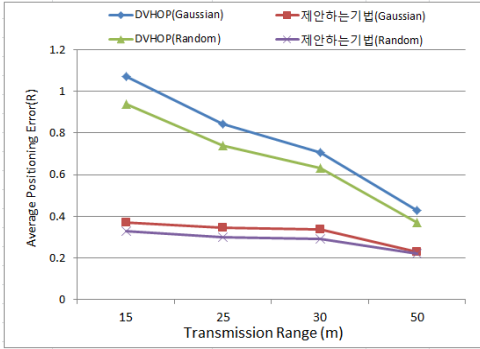


그림 10. 통신반경(r)에 따른 위치 오차율

[그림 11]은 응용되는 환경에 따라 노드가 배포되는 양이 다르기 때문에 노드의 개수를 점차 증가시키며 비 균일 모델로 실험을 하였다. 노드의 개수는 300-1000개, 통신 범위(R)는 30m로 실험하였다. 수행 결과, DV-HOP 기법에 비해 제안하는 기법의 위치 오차율이 더 낮은 결과가 나오므로써 높은 위치 정확도를 보여주고 있다. 노드 300개 구성 시 제안하는 기법은 위치 오차율이 약 34%의 위치 오차율을 보여줌으로써 높은 정확도를 보여주었고, 노드 증가에 따라 약간의 편차를 가지지만 약 41%의 위치 오차율을 보여주었다. 노드 수의 분포가 300개 이상부터 오차율이 약 6%정도 높아지는 것은 한정된 네트워크 크기에 비해 많은 수의 노드가 배포됨으로써 노드 밀집도가 높은 부분과 낮은 부분에 대한 편차가 줄어들고 밀집도가 유사한 부분이 많아짐으로써 점점 균일한 네트워크 환경이 만들어지기 때문이다. 따라서 제안하는 기법은 밀집도 편차가 큰 비 균일 환경에서 위치 정확도가 높으며 DV-HOP에 비해 위치 정확도가 56% 더 향상됨으로써 비 균일 네트워크 환경에서 더 우수함을 볼 수 있다.

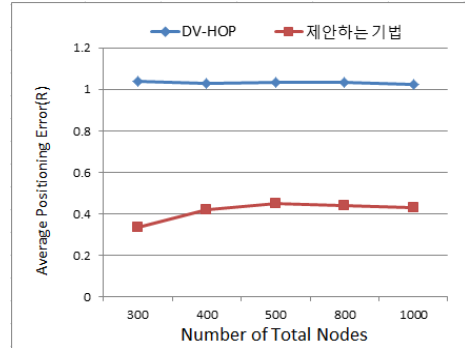


그림 11. 노드 수 증가에 따른 위치 오차율

VI. 결론

본 논문에서는 비 균일 네트워크 환경에서 밀집 확률 모델링을 통하여 센서의 위치를 인식하는 방법을 제안하였다. 제안하는 기법에서는 앵커 노드의 수를 최소화하였다. 또한 밀집도 특성을 이용하여 이웃 노드 추정 거리 방법과 실 거리 보정 기법을 통해 비 균일 네트워크 환경의 노드 정규분포성에 따라 거리를 추정하고, 노드 누적거리, 실 거리 간의 오차를 보정함에 따라 정확성을 높인다. 성능 평가 결과, 제안하는 기법은 기존 기법에 비해 비 균일한 네트워크 환경에서도 평균 44%의 정확도 향상을 보였다. 향후 연구로는 무선 센서 네트워크에서 선천적으로 지형에 따라 홀이 발생하거나 외부의 공격, 에너지 방전에 대한 후천적인 영향으로 홀이 발생하는 상황에서 이를 감지하여 위치 정확도를 높일 수 있는 추가적인 연구를 진행하는 것이다.

참고 문헌

- [1] C. Georgios, Z. Demetrios, and G. Gunopulos, "Minimum-Hot-Spot Query Trees for Wireless Sensor Networks," P. of the Ninth ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access(MobiDE), pp.33-40, 2010.

- [2] 조미림, 성동욱, 박준호, 유재수, “무선 센서 네트워크 환경에서 실시간 멀티미디어 데이터 전송을 위한 비-중첩 다중 경로 라우팅”, 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제12호, pp.78-87, 2011.
- [3] E. Schlecht, C. Hülsebusch, F. Mahler, and K. Becker, “The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture,” J. of Applied Animal Behaviour Science, Vol.85, No.3-4, pp.185-202, 2004.
- [4] P. H. Huang, J. L. Chen, Y. T. Larosa, and T. L. Chiang, “Estimation of Distributed Fermat-Point Location for Wireless Sensor Networking,” J. of Sensors 2011, No.4, pp.4358-4371, 2011.
- [5] J. I. Huircan, C. Munoz, H. Young, L. V. Dossow, J. Bustos, G. Vivallo, and M. Toneatti, “ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields,” J. of Computers and Electronics in Agriculture, Vol.74, No.2, pp.258-264, 2010.
- [6] F. Thomas and L. Ros, “Revisiting Trilateration for Robot Localization,” J. of IEEE Transactions On Robotics, Vol.21, No.1, pp.93-101, 2005.
- [7] 김보미, 심민진, 이종은, “유비쿼터스 센서 네트워크의 위치탐지 기술 및 동향”, 정보통신산업진흥원 주간기술동향, 제1291호, pp.27-37, 2007.
- [8] G. Mao, B. Fidan, and B. D. O. Anderson, “Wireless sensor network localization techniques,” J. of Computer and Telecommunications Networking, Vol.51, No.10, pp.2529-2553, 2007.
- [9] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, “GPS-less Low Cost Outdoor Localization For very Small Devices,” J. of IEEE Personal Communications, pp.28-34, 2001.
- [10] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzahe, “Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks,” P. of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking(MobiCom), pp.81-95, 2003.
- [11] 최정욱, 오동익, “확장된 APIT 테스트 기반의 거리 비중속 위치추정 기법”, 정보과학회논문지, 제37권, 제6호, pp.431-443, 2010.
- [12] D. Niculescu, and B. Nath, “DV Based Positioning in Ad hoc Networks,” J. of Telecommunication Systems, Vol.22, No.1-4, pp.267-280, 2003.
- [13] H. Chen, K. Sezaki, P. Deng, and H. C. So, “An Improved DV-Hop Localization Algorithm with Reduced Node Location Error for Wireless Sensor Networks,” P. of IEICE Transactions on Fundamentals, No.E91-A, pp.2232-2236, 2008.
- [14] W. Ji, and Z. Liu, “An Improvement of DV-Hop Algorithm in Wireless Sensor Networks,” P. of Wireless Communications (WiCOM), pp.1-4, 2006.
- [15] A. William, Central Limit Theorem, *International Encyclopedia of the Social Sciences Pub*, 2008.
- [16] O. Johnson, Information Theory And The Central Limit Theorem, *World Scientific Publishing Company Pub*, 2004.

저 자 소 개

박 혁(Hyuk Park)

준회원



- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 위치 기반 서비스, 데이터베이스 시스템, 이동 객체 서비스 등

황 동 교(Dongkyo Hwang)

준회원



- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, 클라우드 컴퓨팅 등

박 준 호(Junho Park)

정회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, RFID, 차세대 웹, LMS/LCMS, 바이오인포매틱스 등

성 동 옥(Dong-ook Seong)

정회원



- 2005년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)

- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전산학과 연수연구원

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, FLASH 메모리 저장 시스템, LCMS/LMS, 위치기반 서비스 등

유 재 수(Jaesoo Yoo)

중신회원



- 1989년 2월 : 전북대학교컴퓨터공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

- 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 목포대학교 전산통계학과 (전임강사)

- 1996년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 및 컴퓨터정보통신연구소 교수

<관심분야> : 데이터베이스시스템, 정보검색, 센서네트워크 및 RFID, 멀티미디어데이터베이스, 분산객체컴퓨팅, 바이오 인포매틱스 등