

무선 센서 네트워크 환경에서 센싱 반경 조절을 이용한 위치 측정 기법

A Positioning Scheme Using Sensing Range Control in Wireless Sensor Networks

박혁*, 황동교*, 박준호*, 성동욱**, 유재수*
충북대학교 정보통신공학부*, 보아스전자(주) 기술연구소**

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

요약

무선 센서 네트워크에서 재난, 환경 모니터링 등에 대한 응용으로써 센서 노드의 지리학적 위치 측정은 매우 중요하다. 이를 위해 무선 센서 네트워크 분야는 Range-free 위치 측정 기법에 대한 연구가 활발하게 진행 중이며, 비 균일 네트워크 환경에서 위치 정확도를 향상하기 위한 중심 극한 정리와 정규 분포에 근거한 위치 측정 기법인 밀집 확률 기법이 제안되었다. 밀집 확률 기법의 경우 노드 통신을 통해 거리를 추정 후 최종 위치를 측정하지만 거리 추정 시 주위 인근 모든 노드가 동일한 1-홉 추정 거리를 갖는 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 오차를 최소화하기 위해 각 노드마다 거리 추정 후 센싱 반경을 조절하여 2차 지역 거리 평가를 통해 센서의 위치를 측정하는 기법을 제안한다. 성능평가 결과, 제안하는 기법은 밀집 확률 기법에 비해 9% 더 높은 정확도를 보였다. 또한 대표적인 Range-free 위치 측정 기법인 DV-HOP에 비해 48% 더 우수한 위치 정확도를 보였다.

■ **중심어** : | 무선 센서 네트워크 | 위치 측정 | Range-free |

Abstract

In wireless sensor networks, the geographical positioning scheme is one of core technologies for sensor applications such as disaster monitoring and environment monitoring. For this reason, studies on range-free positioning schemes have been actively progressing. The density probability scheme based on central limit theorem and normal distribution was proposed to improve the location accuracy in non-uniform sensor network environments. The density probability scheme measures the final positions of unknown nodes by estimating distance through the sensor node communication. However, it has a problem that all of the neighboring nodes have the same 1-hop distance. In this paper, we propose an efficient sensor positioning scheme that overcomes this problem. The proposed scheme performs the second positioning step through the sensing range control after estimating the 1-hop distance of each node in order to minimize the estimation error. Our experimental results show that our proposed scheme improves the accuracy of sensor positioning by about 9% over the density probability scheme and by about 48% over the DV-HOP scheme.

■ **keyword** : | Wireless Senser Network | Positioning | Range-free |

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원(2012R1A1A2A10042015)과
농림수산식품부(생명, 첨단, 수출, 식품, 수산) 기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

접수번호 : #121203-004

심사완료일 : 2012년 12월 31일

접수일자 : 2012년 12월 03일

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

I. 서론

현재 무선 통신 기술의 발전으로 인간에게 좀 더 편리한 삶을 제공할 수 있는 환경이 마련되고 있다. 이러한 환경 속에서 인간과 컴퓨터와 사물이 유기적으로 연계되어 다양하고 편리한 서비스를 제공하기 위한 대표적인 기반 연구로서 무선 센서 네트워크가 있다. 애드-혹(Ad-hoc) 기반으로 구성되는 무선 센서 네트워크는 기지국이 없이 자율적으로 네트워크가 구성되며 노드 간의 통신을 통해 다양한 환경 정보를 수집한다. 무선 센서 네트워크는 질의에 해당하는 이벤트를 감지하기 위해 관찰 지역 내에 배치된 센서 노드를 활용하여 주기적으로 환경 데이터를 수집한다. 싱크 노드는 관찰 지역 내에 센서 노드들을 통해 수집된 데이터를 전송받아 사용자에게 정보를 전달하는 역할을 수행한다. 무선 센서 네트워크에서 수집된 정보는 군사시스템, 위치 탐색, 환경 모니터링, 재난 감시 등의 다양한 응용에서 활용된다[1][2].

센서 네트워크의 실 응용을 위한 필수적인 기반 기술로 위치 인식 기술이 있다. 센서 네트워크에서 위치 인식 방법은 모든 센서 노드에 GPS 모듈을 장착하여 센서 노드의 정확한 위치 정보를 수집하는 방법이 일반적이다. 하지만 대규모 센서 네트워크 환경에서는 구축비용 및 GPS 사용에 따른 과도한 에너지 문제를 야기한다. 그러므로 한정된 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크에서의 에너지 소모를 최소화하기 위한 위치 측정 기법이 활발하게 연구되고 있다. 위치 측정 기법은 GPS를 사용하지 않는 일반 노드와 GPS를 사용하는 앵커 노드를 통해 노드 간 정보를 이용하여 위치를 파악하는 다양한 위치 측정 기법들이 연구되고 있다 [3][4].

센서 네트워크 내 위치 인식 기술은 대표적으로 Range-based와 Range-free 방식 두 가지로 나뉜다. Range-based 방식은 센서 내 거리를 측정할 수 있는 초음파 또는 RF모듈 등을 사용하여 일반 노드의 위치를 측정한다. 이를 기반으로 하는 기술은 ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), AoA(Angle of Arrival) 등이 있다[5-7]. 정확도가 높지만, 추가 모듈 비용 및 거리 측정을 위해 에너지가 소모

되기 때문에 센서 네트워크 환경에서 적합하지 않다[8].

Range-free는 노드 간 연결 정보와 앵커 노드의 위치 정보를 통해 거리를 측정하고, 위치를 추정하는 방식으로 네트워크 구축 면에서 효율적이므로 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 Range-free 기반 위치 측정 기법인 Centroid[3], APIT[9][10], DV-HOP[11][12] 기법은 격자(Grid) 형태와 같이 센서 노드가 일정한 간격을 가지고 배포되는 환경인 균일 네트워크를 전제로 이웃 노드 간 거리 또는 인근 노드와 통신을 통해 정보를 수집하여 센서의 위치를 추정한다. 하지만 기존의 연구는 GPS를 장착하는 앵커 노드가 전체 센서 노드에서 높은 비율을 차지하므로 구축비용이 높으며, 균일한 네트워크 환경을 기준으로 위치를 측정하기 때문에 실제적인 비 균일 네트워크 환경에서는 위치 정확도가 낮아지는 문제점이 발생한다[8].

따라서 본 논문에서는 Range-free 기반의 기존 연구에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해 비 균일 무선 센서 네트워크 환경에서 센싱 반경 조절 기법을 이용한 센서 위치 측정 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 센서 네트워크를 구성하는 전체 노드 중 앵커 노드는 4개만을 활용하여 구축비용을 최소화하고, 밀집도에 따라 노드 간 거리를 추정하고, 센싱 반경 조절 기법을 통해 2차 거리 추정을 수행한다. 마지막으로 추정된 거리와 앵커 노드 간 실제 거리 계산을 통해 추정 거리를 개선하는 새로운 센싱 반경 조절 모델링 기법을 수행함으로써 위치 측정 정확도를 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기존 Range-free 기반 위치 측정 기술을 설명하고, 문제점을 분석한다. 제3장에서는 제안하는 무선 센서 네트워크 환경에서 센싱 반경 조절 모델링을 이용한 센서 위치 측정 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 센서 노드

의 에너지 소모 및 구축비용을 최소화 할 수 있는 측정 기법 중 하나인 Range-free 기반 위치 측정 기술을 살펴본다.

1. DV-HOP 위치 측정 기법

DV-HOP은 Range-free를 기반으로 멀티-홉 라우팅을 이용하여 위치를 측정하는 기법 중 가장 대표적인 기법이다[11]. 이는 앵커 노드 간 1-홉 간의 평균 거리를 산출하고 이를 이용하여 일반 노드의 위치를 측정한다. 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 앵커노드와 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.

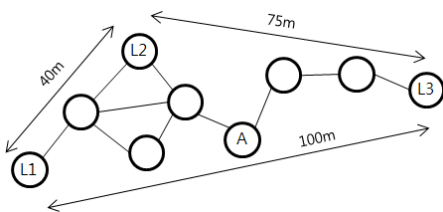


그림 1. DV-HOP 거리 평가

[그림 1]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 제곱합을 최소화함으로써, 오차율이 가장 적은 위치를 추정 위치로 선택한다.

DV-HOP은 밀집도가 지역마다 다른 비 균일 환경에서는 오차율이 매우 높아진다. 따라서 이 후에 DV-HOP의 위치 정확도를 높이는 연구들이 이루어졌다. 그 중 Improved DV-HOP는 DV-HOP 기법을 사용하면서 좀 더 정확한 위치를 측정하는 기법이다[12]. 이는 식(1)의 과정을 거친 후, 다시 한 번 더 식(2)의 과정을 거쳐 평균 1-홉 거리를 추정한다. n 은 인근 앵커노드의 수, $HopSize_i$ 는 주위 일반 노드가 추정한 1-홉 추정 거리이다. 식(2)의 과정을 거치면 초기 1-홉 추정 거리보다 주위 이웃 노드들이 산출한 거리 내 추정 거리를 보정하고, 이후 최종 위치 측정 시 삼변측량법에 식(2)의 평균 추정 거리를 적용하여 위치를 측정한다. 이를 통해 Improved DV-HOP은 앵커 노드가 많을수록 매우 정확한 1-홉 평균 거리를 산출할 수 있다는 장점을 지닌다.

$$HopSize_{ave} = \frac{\sum HopSize_i}{n} \quad (2)$$

하지만 정확도를 높이기 위해서는 많은 수의 앵커 노드를 배포해야 한다. 따라서 기존의 Range-free 측정 기법의 문제점을 보완하는 거리 추정 방법과 위치 측정 기법에 대한 연구가 필요하다.

2. 밀집 확률 위치 측정 기법

밀집 확률 위치 측정 기법(Density Probability)은 DV-HOP의 위치 정확도는 네트워크 모델이 균일하거나 앵커 노드 수가 많아야 한다는 단점을 보완하기 위해 제안한 Range-free 위치 측정 기법이다[13]. 실제 센서 노드의 배치 형태는 항공기나 미사일에 센서 노드를

장착시켜 배포 지역에 방사하기 때문에 어느 한 부분으로 집중적으로 배포가 되거나 다른 부분은 밀집도가 매우 낮게 배포되는 형태를 갖게 된다. 따라서 이러한 특성을 갖는 환경에서 에너지 소모 및 구축비용 최소화를 위해 양 경계점에 4개의 앵커 노드만을 배치하고 거리 추정 시 밀집 확률 모델인 정규분포모델과 중심극한정리 이론을 토대로 1-홉 거리를 추정한다.

밀집 확률 기법의 위치 정확도는 DV-HOP보다 더 높은 정확도를 보이지만 1-홉 거리 추정에 있어 확률 이론에만 근사하여 거리 추정을 하기 때문에 1-홉 거리 추정 시 모든 센서 노드는 약간의 1-홉 거리 추정 시 오차가 발생할 수 있다. 따라서 밀집 확률 기법의 방법을 사용하면서 노드 간 1-홉 추정 거리를 좀 더 위치를 향상시킬 수 있는 방안들이 있기 때문에 본 논문에서는 DV-HOP 기법의 위치 정확도를 향상 시키며 밀집 확률 기법의 거리 추정 오류를 보완하여 우수한 위치 정확도를 보이는 센싱 반경 조절 위치 측정 기법을 제안한다.

III. 제안하는 센싱 반경 조절 위치 측정

본 장에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 밀집 확률 위치 측정 기법에 기반 하여 기존보다 위치 정확도를 높일 수 있는 지역 거리 평가 위치 측정 기법을 기술한다. 먼저, 무선 센서 네트워크 환경에 대한 특성과 밀집 확률 위치 측정 기법의 과정 중 1차 거리 추정에 대한 알고리즘을 기술한다. 다음으로 센서 노드 별 거리 오차를 보정하는 센싱 조절 기법을 설명하고, 최종적으로 센서 노드 별 거리 오차를 보정하는 오차 보정 단계를 통해 위치를 측정하는 과정을 상세히 설명한다.

1. 무선 센서 네트워크 환경 및 방법

본 논문에서는 대표적인 Range-free 위치 측정 기법인 DV-HOP과 기존 기법인 밀집 확률 기법에 대한 위치 측정 오차를 감소시키고, 실질적으로 노드가 배포되는 비 균일 환경 및 무작위로 배포되는 환경에서 네트워크 구축비용을 감소시키는 위치 측정 기법을 제안한다.

제안하는 기법은 센서 노드 내 장치하는 GPS의 에너지 소모 및 구축비용을 최소화하기 위해 총 4개의 앵커 노드를 센서 필드의 경계점에 배치하여, 구축비용을 최소화 한다. [그림 2]는 제안하는 기법의 위치 측정 과정으로 초기 위치 정보 질의가 내려지면 앵커 정보 및 이웃 노드 정보를 통해 일반 노드의 초기 1차 거리를 추정하고 이후, 2차 거리 보정 후 오차 보정 단계를 통해 측위 한다.

제안하는 알고리즘은 다음과 같이 5단계로 구분된다.

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

<단계 2> 일반 노드는 자신과 이웃한 노드의 밀집도를 통해 밀집 확률 기반 노드 별 1차 추정 거리를 산출한다.

<단계 3> 1차 추정 거리 내 각각의 1-홉 센싱 반경을 다시 브로드캐스트하여 반경 조절 기법을 통해 2차 추정 거리를 산출한다.

<단계 4> 2차 거리 추정 이후, 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 5> 개선된 보정 거리를 이용하여 자신의 위치를 추정한다.

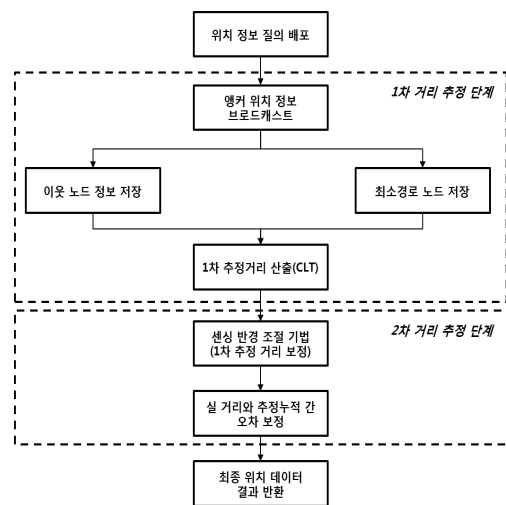


그림 2. 거리 평가 모델링을 통한 측정 과정

2. 밀집 확률 기법의 1차 거리 추정

[그림 3]와 같이 센서 노드의 배치는 균일한 네트워크 환경이 아닌 미사일 혹은 항공기 내에서 센서 노드가 배포되기 때문에 비 균일하게 배포된다. 또한 자신의 절대 위치 정보를 알고 있는 앵커 노드($A = \{A_1, \dots, A_n\}$)의 경우 구축비용을 최소화하기 위해 총 4개가 배치되며, 양 끝에 배치된다. 초기 앵커 노드는 {앵커 노드 ID, 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(앵커노드에서 최소경로를 통해 수신 받은 노드 ID, 최단경로 누적 홉 수, 1-홉 내에 이웃 노드 리스트)를 저장한다.

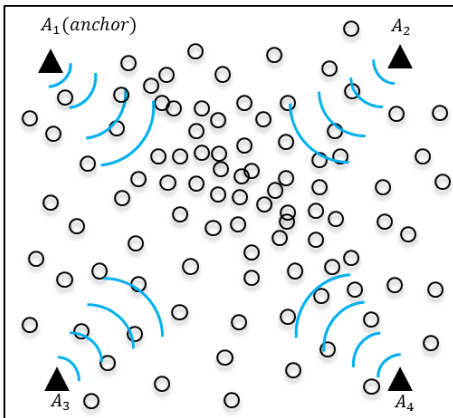


그림 3. 네트워크 모델 및 앵커 브로드캐스트

비 균일 네트워크에서의 이웃 노드 수는 지역마다 다른 편차를 갖지만, 전체 네트워크의 밀도 평균은 균일 네트워크와 유사한 값을 갖는다. 따라서 평균 밀도는 정규 분포 확률을 토대로 정규 분포표의 평균이 0인 지점으로 수렴하며 이를 표본의 개수가 많을수록 정규 분포 모델의 중심으로 수렴한다는 중심 극한 정리[14][15]에 적용하면 각 노드가 밀도에 따라 갖는 1-홉 거리를 산출하는 것이 가능하다.

표 1. 앵커 노드 정보 테이블

| 노드ID | 홉 정보 | 좌표 |
|-------|----------------|------------------|
| A_i | init_value = 0 | X_{Ai}, Y_{Ai} |

표 2. 최단경로 및 1-홉 노드 리스트 테이블

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

중심 극한 정리와 정규 분포 확률을 토대로 센서 네트워크 환경에 적용하면, 정규분포모델은 평균이 0인 지점으로 속하기 위해서는 표본의 개수가 30개 이상이어야 한다는 조건이 필요하며, 표본의 개수가 커질수록 정규분포의 평균(μ)로 가까워지게 된다[14]. 이는 [그림 4]에 0인 지점에 해당하게 된다.

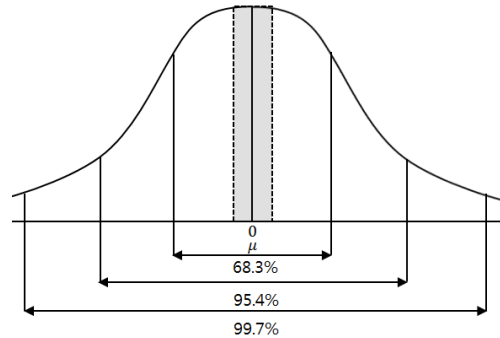


그림 4. 표준 정규 분포 모델 곡선

다시 말해서, 표본의 개수는 수 천 개의 센서 노드가 배포되는 대규모 네트워크 환경일 경우, 표준정규분포 곡선 중 평균이 0인 지점에 위치하게 된다. 즉, 확률 값이 1을 갖는다는 것은 주위 노드가 한 개라도 있다는 것을 표현한다. 따라서 센서 네트워크 환경에서 표준 정규 분포 곡선의 식을 적용하면 식(3)과 같다. $d_{Est}(k)$ 는 1-홉 거리를 추정하는 노드의 ID, r 은 센서 노드의 통신 반경이고, n 은 자신의 이웃 노드 수이다.

$$d_{Est}(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\pi r^2 / 3}{\pi}} = \sqrt{\frac{r^2}{3}}, & n = 2 \\ \sqrt{\frac{r^2}{n+1}}, & n \geq 3 \end{cases} \quad (3)$$

초기 브로드캐스트를 통해 이웃한 노드에게 메시지를 수신한 이후, [표 1]과 [표 2]의 정보를 가지기 때문에 모든 노드들은 식(3)을 이용하여 자신들의 이웃 노드 간 거리를 추정하게 된다. 이는 밀집도가 다른 비 균일한 네트워크 환경에서 좀 더 실제적인 거리 추정을 가능하게 하며, 이를 토대로 1차 추정 거리를 산출하게 된다.

3. 센싱 반경 조절 기법을 이용한 2차 거리 추정

1차 거리 추정의 경우, 기존의 밀집 확률 기법(DP)과 동일한 절차이다. 하지만 밀집 확률 기법 기법에서는 밀집 확률 이론에 따라 거리를 산출 한 후 [그림 5]와 같이 잘못된 거리 판단을 하는 경우가 발생한다. [그림 5]과 같이 추정 노드는 경로 상 2-홉 거리에 있는 노드의 추정 거리는 실제 20m 거리에 떨어져 있다. 하지만 통신 반경 안에 있는 이웃 노드에 포함되므로 밀집 확률 기법을 이용한 1-홉 거리 추정 시 8m로 잘못된 판단을 하게 된다. 따라서 이에 대한 오차를 보정하기 위해 1차 추정 거리 이후, 각 노드들은 지역 거리 평가 기반 2차 추정 거리를 연산한다.

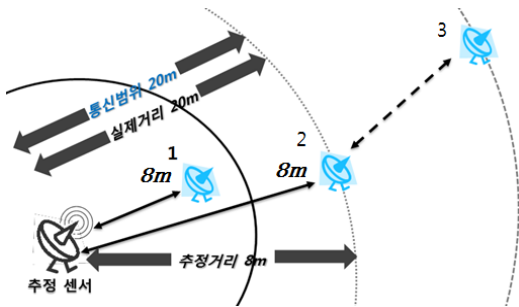


그림 5. 1차 추정 거리의 오차 발생

2차 추정 거리는 초기 1차 추정 거리를 통해 나온 각 노드들의 1-홉 거리를 기준으로 자신의 통신 반경을 1차 추정 거리로 줄여 전파를 하게 된다. [그림 5]와 같이 추정 노드는 1번 노드의 경우 8m의 추정 거리 값을 갖고, 2번 노드의 경우 같은 1-홉 거리이지만 1번 노드의 거리와는 달리 1번 노드의 추정 거리에 1번 노드와 2번 노드 반경 내 식 (3)을 재적용하여 2번 노드의 추정 거

리를 8m가 아닌 최소 8m에서 실제거리인 20m 사이의 추정 거리로 수정하게 된다. 이를 통해, 밀집 확률 기법의 경우와는 달리 노드의 1차 추정 거리에 따라 추정 노드의 1-홉 거리는 두 가지의 추정 거리를 가지며 이는 식(4)와 같다. 밀집 확률 기법을 통해 계산된 1-홉 추정 거리 $d_{Est}(k)$ 를 기준으로 전파를 한 후, 해당 반경 내에 수신 받은 이웃 노드들은 식(4)와 같이 $d_{Est}(k)$ 를 $d_{Est}(r)$ 로 같은 1-홉 추정 거리값을 갖게 된다. 하지만 그 외곽에 비컨 메시지를 수신받지 못한 이웃 노드들은 한 번 더 외곽 이웃 노드 수를 기준으로 식(3)을 재적용하고, $d_{Est}(k)$ 를 더하여 외곽 이웃 노드의 거리는 $d_{Est}(k)$ 와는 다른 거리를 갖게 된다.

$$d_{Est(r)} = \begin{cases} d_{Est(k)}, & d_{Est(k)} \leq bound \\ d_{Est(k)} + d_{Est(upper)}, & d_{Est(k)} > bound \end{cases} \quad (4)$$

2차 거리 추정을 통해 모든 노드들은 1차 추정 거리보다 더욱 정확한 추정 거리를 갖는다. 또한 이는 이후, 오차 보정 단계 시 최소 홉 거리를 갖는 경로를 통해 추정 누적 거리의 오차를 보정하기 때문에 기존 밀집 확률 기법에서 추정된 누적거리는 실제거리와 오차가 많이 발생하는 부분을 해결한다.

4. 오차 보정 및 최종 위치 측정

이전의 이웃 노드 거리 평가를 통한 추정 거리는 최소 경로를 통한 노드 간 누적 거리로써 실제 직선거리가 아니다. 노드 간의 추정 거리를 통해 측정을 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.

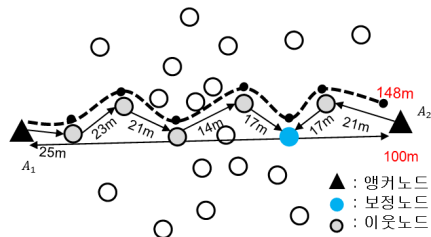


그림 6. 추정거리와 실제거리 오차 보정

[그림 6]에서 앵커 A2-A3까지의 실 거리는 100m이다. 식(4)를 통해 계산된 최단 경로 추정 거리의 합은 앵커 A2에서의 연산 전에 이미 148m로 평가된다. 따라서 오차를 보정하기 위해 식 (5)와 같이 노드 자신을 기준으로 홉-수가 적은 두 앵커의 최소 경로를 통한 추정 누적거리($d_{Est-All}$)와 실제 두 앵커 간 직선거리(d_{Real})의 오차 비율(error)을 계산한다.

최종적으로 산출한 오차 보정 거리(d_{ref})를 통해서 최종적으로 삼각측량법인 식(6)를 통해 위치 측정값을 산출한다. 식(6)의 (x,y) 는 측정 노드의 좌표이고, (x_i,y_i) 는 각 앵커 노드의 좌표 정보이다. d 는 측정 대상 노드와의 거리로써 총 4개의 앵커노드를 통해 위치를 측정하게 된다. 따라서 보정된 노드들의 추정 거리 d 를 통해 오차를 줄여 전체 센서 노드의 위치를 측정하게 된다.

$$d_{Est-All(k)} = \sum_{NodeID(k)=0}^i d_{Est(k)} + \sum_{NodeID(k)=0}^j d_{Est(k)}$$

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

$$error_{(k)} = \frac{d_{Real}}{d_{Est-All(k)}} \tag{5}$$

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

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

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

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

$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 = d_4^2 \tag{6}$$

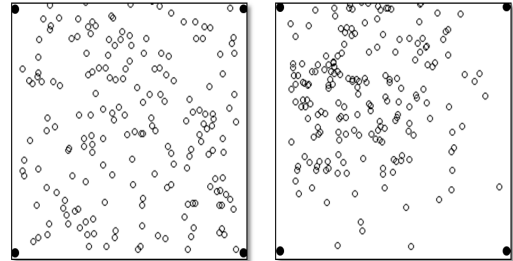
IV. 성능 평가 및 분석

1. 네트워크 환경

본 장에서는 제안하는 기법의 정확성과 오차율을 측정하기 위해 DV-HOP 기법, Improved DV-HOP기법과 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 네트워크 환경은 항

공기나 미사일을 통해 센서 노드가 배포되기 때문에 이 분포 특성을 이용하여 무작위로 배치되는 환경과 밀집도가 비 균일하여 홀이 발생할 수 있는 모델 두 가지 환경으로 [그림 7]와 같이 구성하였다. [그림 7]에서 검은 점은 앵커 노드의 위치, 흰 점은 일반 노드의 실제 위치이다.

[표 3]과 같이 센서 파라미터는 200x200m의 센싱 공간에서 사각형의 경계지점에 앵커 노드를 총 4개를 배치하였고, 일반 노드는 초기 196개를 배치하였으며 노드의 수를 증가시켰다. 각 센서에 대한 통신반경은 25m에서 최대 50m까지 범위를 변화하며 J-Sim을 기반으로 성능 평가를 수행하였다.



(a) 무작위(Random) (b) 비 균일(Gaussian)

그림 7. 시뮬레이션 환경

표 3. 성능 평가 파라미터 및 값

| 파라미터 | 값 |
|----------------|---------|
| 센서 네트워크 크기 (m) | 200x200 |
| 센서 통신 반경 (m) | 25-50 |
| 일반 노드의 수 (개) | 196-496 |
| 앵커 노드의 수 (개) | 4 |

위치 측정 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 측정 좌표를 통한 오차율을 표현한다. x',y' 는 추정 노드의 위치, x,y 는 절대 좌표를 의미한다. r_{max} 는 분포 노드 통신 최대 반경으로써 최대 값은 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-HOP, Improved DV-HOP, 밀집 확률 기법(DP)과 제안하는 기법의 노드 위치 정확도를 비교 평가하였다. 그림 8은 전송반경을 증가시키며 위치에 대한 오차율을 산출한 값으로 다른 기법에 비해 제안하는 기법이 모든 범위에서 위치 정확도가 우수함을 보인다. DV-HOP과 Improved DV-HOP 기법의 경우, 노드 간 거리 추정을 주위 앵커 노드가 많을수록 위치 오차율이 낮은 반면, 제안하는 기법과 밀집 확률 기법은 실제 네트워크 내 센서 노드 간의 거리 추정 이후 양 끝단의 앵커 노드 간 실제 거리와 추정 누적거리 간에 오차 보정 과정을 거치기 때문에 좀 더 높은 위치 정확도를 보여줄 수 있었다. 또한 제안하는 기법은 1차 거리 추정 이후, 센싱 반경 조절 기법을 통해 한 번 더 1-홉 추정 거리의 오차를 보정하기 때문에 가장 높은 위치 정확도를 보여줄 수 있었다. 제안하는 기법의 평균 오차율이 DV-HOP에 비해 정확도가 약 44% 향상되었고, 밀집도의 편차가 매우 큰 비균일 환경에서는 49%의 정확도 향상을 보임으로써, 제안하는 기법이 실제적인 비균일 환경에서 위치 추정이 좀 더 신뢰적이고, 우수함을 볼 수 있다.

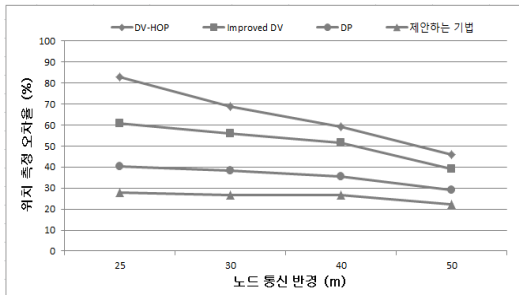


그림 8. 통신반경(r)에 따른 위치 정확도

[그림 9]는 응용되는 환경에 따라 노드가 배포되는

양이 다르기 때문에 노드의 개수를 점차 증가시키며 비균일 모델로 실험을 하였다. 노드의 개수는 200-1000개, 통신 범위는 30m로 실험하였다. 수행 결과, 비교하는 기법들에 비해 제안하는 기법이 약 26%의 평균 오차율을 보여줌으로써 매우 높은 위치 정확도를 보여주었고, 기존 밀집 확률 기법에 비해 평균 9% 더 높은 위치 정확도가 향상 되었으며, 이는 기존 밀집 확률 기법보다 제안하는 기법이 밀집 확률 거리 추정 이후 1-홉 안에 있는 이웃의 추정 오차를 보정하기 때문에 더욱 향상된 위치 정확도를 보인다. Improved DV-HOP기법은 일반 노드의 수는 증가하지만 GPS 모듈이 장착된 앵커 노드의 수는 증가하지 않기 때문에 노드 수가 증가 할수록 낮은 위치 정확도를 보여주었다.

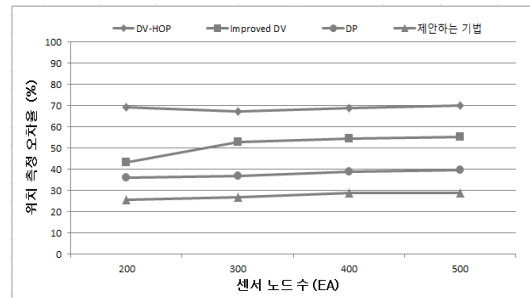


그림 9. 노드 수 증가에 따른 위치 정확도

VI. 결론

비균일 무선 센서 네트워크 환경에서 센싱 반경 조절 기법을 이용한 센서 위치 측정 기법을 제안하였다. 제안하는 기법에서는 앵커 노드의 수를 최소화 하면서도 밀집 확률 기법 적용 이후, 평균적인 센서의 추정 거리 오차를 보완하는 센싱 반경 조절을 이용하여 네트워크 환경뿐 아니라 위치 정확성을 향상시켰다. 성능 평가 결과, 제안하는 기법은 기존 기법인 밀집 확률 기법에 비해 평균 9% 더 높은 정확도 향상을 보였다. 또한 대표적인 DV-HOP 보다 약 48% 더 높은 위치 정확도를 보였다. 향후 연구로는 이상적인 환경이 아닌 좀 더 실제적인 센서 네트워크 내 통신 시 잡음이나 간섭이 발생하는 환경에서도 정확한 위치를 산출하기 위한

연구를 추가적으로 진행하는 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Yeo, D. Seong, and J. Yoo, "In Network Data Centric Storage Scheme Considering Geographical Routing and Data Hot Spots in Sensor Networks," *Journal of KIISE: Databases*, Vol.38, No.3, pp.165-173, 2011.
- [2] C. Georgios, Z. Demetrios, and G. Gunopulos, "Minimum-Hot-Spot Query Trees for Wireless Sensor Networks," *MobiDE '10*, pp.33-40, 2010.
- [3] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol.7, No.5, pp.28-34, 2000.
- [4] I. Stojmenovic, "Position-Based Routing in Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.7, pp.128-134, 2002.
- [5] F. Thomas and L. Ros, "Revisiting Trilateration for Robot Localization," in *Journal of IEEE Transactions On Robotics*, Vol.21, No.1, pp.93-101, 2005.
- [6] 김보미, 심민진, 이종은, "유비쿼터스 센서 네트워크의 위치탐지 기술 및 동향", *정보통신산업진흥원 주간기술동향*, 1291호, pp.27-37, 2007.
- [7] G. Mao, B. Fidan, and B. D. O. Anderson, "Wireless sensor network localization techniques," in *Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Vol.51, No.10, pp.2529-2553, 2007.
- [8] P. H. Huang, J. L. Chen, Y. T. Larosa, and T. L. Chiang, "Estimation of Distributed Fermat-Point Location for Wireless Sensor Networking," in *Journal of Sensors* 2011, No.4, pp.4358-4371, 2011.
- [9] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzahe, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," In *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking(MobiCom)*, pp.81-95, 2003.
- [10] 최정욱, 오동익, "확장된 APIT 테스트 기반의 거리 비중속 위치추정 기법", *정보과학회논문지*, 제37권, 제6호, pp.431-443, 2010.
- [11] D. Niculescu and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad hoc Networks," in *Journal of Telecommunication Systems*, Vol.22, No.1-4, pp.267-280, 2003.
- [12] H. Chen, K. Sezaki, P. Deng, and H. C. So, "An Improved DY-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.
- [13] 박혁, 황동교, 박준호, 성동욱, 유재수, "비 균일 무선 센서 네트워크 환경에서 밀집 확률 모델링을 이용한 센서 위치 인식 기법", *한국콘텐츠학회 논문지*, 제12권, 제3호, pp.55-66, 2012.
- [14] A. William, "Central Limit Theorem," *International Encyclopedia of the Social Sciences Pub*, pp.486-487, 2008.
- [15] 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 정보통신공학(공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 위치 기반 서비스, 클라우드 컴퓨팅, 빅 데이터 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 정보통신공학부 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 ~ 2012년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 연수연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 보아스전자(주) 기술연구소

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

유 재 수(Jaesoo Yoo)

중신회원



- 1989년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1991년 2월 : KAIST 전산학과(공학석사)
- 1995년 2월 : KAIST 전산학과(공학박사)

- 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 목포대학교 전산통계학과 (전임강사)
- 1996년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학부 및 컴퓨터정보통신연구소 교수
- 2009년 3월 ~ 2010년 2월 : 캘리포니아주립대학교 방문교수

<관심분야> : 데이터베이스시스템, 빅데이터, 센서네트워크 및 RFID, 소셜네트워크서비스, 분산객체컴퓨팅, 바이오인포매틱스 등