

논문 2009-46CI-4-8

무선 애드 혹 네트워크에서 향상된 DV-Hop 기반 위치인식 알고리즘

(An Improved DV-Hop Localization Algorithm
in Wireless Ad Hoc Networks)

이 상 우*, 이 동 열*, 이 채 우**

(Sang-Woo Lee, Dong-Yul Lee, and Chae-Woo Lee)

요 약

DV-Hop 알고리즘에서 일반노드의 위치는 앵커노드 간 거리의 평균적인 값을 통해 계산되기 때문에 일반노드의 예측 위치와 실제 위치 간에 많은 오차가 존재한다. 본 논문에서는 앵커노드의 예측 위치와 실제 위치에서 발생하는 오차를 최소화하는 한 홉의 거리를 산출하고 그 거리를 이용하여 일반노드의 위치 정확도를 향상시키는 알고리즘을 제안한다. 또한 실제 거리에 비해 많은 홉 수를 지나는 앵커노드의 홉 당 거리로 인해서 발생하는 일반노드의 위치 오차를 보정하기 위해 일반노드는 앵커노드들의 홉 당 거리를 평균으로 하는 자신만의 홉 당 평균 거리를 통해서 자신의 위치를 인식한다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 알고리즘이 기존의 DV-Hop보다 높은 위치인식 정확도를 보임을 확인한다.

Abstract

DV-Hop algorithm is not accurate in estimating geographic location of nodes because the average size for one hop is calculated without considering of the positioning error. In this paper, a novel algorithm based on DV-Hop algorithm is proposed for the approach to estimating the average size of a hop by minimizing anchor's positioning error using Least Square Error with other anchors. Moreover, unknown nodes have their own average size for one hop to compensate for the location error of the unknown occurring as more than the minimum hop counts to the distance. Simulation results show that the proposed algorithm has more accuracy than DV-Hop has in positioning.

Keywords : Ad Hoc, Localization, Range-free, DV-Hop, Positioning

I. 서 론

무선 애드 혹 네트워크(Wireless Ad Hoc Networks)는 고정된 네트워크 인프라에 의존하지 않고 다수의 무선노드들에 의해 자율적으로 구성된 네트워크이다. 애

드 혹 네트워크에서는 AP(Access Point)나 기지국이 없이 동작하기 때문에 무선노드가 호스트인 동시에 라우터의 역할을 담당한다. 또한 노드의 잦은 이동성과 에너지 제약으로 인해서 전송 경로의 변경과 네트워크 자기재구성이 빈번하게 일어나는 특성을 갖는다. 이러한 특징으로 인해서 매 상황에 노드 간 메시지 전달을 위해서 서로의 위치를 파악하고 경로를 찾아가는 지리적인 라우팅(Geographic Routing)^[1]과 같은 기술이 요구된다. 이와 같은 기술은 노드의 위치를 필요로 하기 때문에, 애드 혹 네트워크에서는 무선노드의 물리적인 위치를 예측할 수 있는 위치인식 기술이 요구되고 있다.^[2~3]

위치인식 기술은 위치측정을 위한 별도의 장치 사용

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과

(Department of Electronic Eng., Ajou University)

※ "This research was supported by the MKE (Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA(Institute of Technology Advancement)"
IITA-2009-C1090-0902-0014

접수일자: 2009년5월29일, 수정완료일: 2009년7월3일

여부에 따라 크게 Range-based 방식과 Range-free 방식으로 구분된다. 별도의 장치를 통해 노드 간 거리를 측정하고 이를 기반으로 노드의 위치를 인식하는 기술을 Range-based 방식이라 한다. 현재 연구된 Range-based 기법에는 TOA(Time of Arrival)^[4], AOA(Angle of Arrival)^[5], RSSI(Received Signal Strength Indicator)^[6] 등이 있다. 반면에 거리 측정을 위한 별도의 장치 없이 노드 간 연결정보 및 전송경로의 홉 수와 같은 토폴로지의 정보만을 이용하여 위치를 추정하는 기술을 Range-free 방식이라 한다. Range-free 방식에는 Centroid^[7], APIT(Approximation Point in Triangulation Test)^[8], DV-Hop^[9] 등이 있다. Range-based 방식은 별도의 측정 장치를 사용하기 때문에 위치인식의 정확도가 높지만, 장치의 추가로 인한 비용 문제가 발생하고, 거리 측정을 위해 추가적인 에너지가 소모됨으로써 네트워크의 수명을 단축시키는 결과를 야기한다. 따라서 노드의 전원이 제한적인 무선 애드 혹 네트워크에서는 Range-based 방식보다 노드 간 홉 수와 같은 토폴로지 정보를 이용하여 무선노드의 위치를 인식하는 Range-free 방식이 주목받고 있다.

Range-free 방식은 GPS나 관리자의 위치정보 제공 등을 통해 자신의 위치를 인지하는 앵커노드(Anchor Node)들의 정보를 참조하여 위치가 알려지지 않은 일반노드(Unknown Node)의 위치를 추정한다. 하지만, 기존의 Range-free 방식들은 일반노드의 위치를 추정하기 위해 일정 비율 이상의 앵커노드가 필요하거나, 큰 오차 범위를 갖는 등 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 DV-Hop 방식은 Range-free 방식임에도 불구하고 앵커노드 간 거리 정보를 활용하여, 일반노드의 위치를 추정하였다.

DV-Hop 방식에서 각 앵커노드는 다른 앵커노드와의 거리와 홉 수 정보를 이용하여 홉 당 평균 거리를 유도하고, 일반노드는 각 앵커노드와의 최소 홉 수와 앵커 노드의 홉 당 평균 거리를 이용하여, 앵커 노드와의 거리를 산출한다. 이를 통해 일반노드들은 앵커노드와의 거리를 알 수 있으므로 최소자승법^[10]을 적용하여 자신의 위치를 유도할 수 있다. DV-Hop은 앵커노드의 비율이 상대적으로 낮을 경우에도 노드의 위치인식이 가능하고, 노드의 위치오차 범위가 상대적으로 작은 장점을 가진다. 하지만, 앵커노드의 홉 당 평균 거리를 유도할 때 개별 노드 간의 거리 오차를 고려하지 않기 때문에 비교적 큰 오차가 발생하게 되는 단점을 가지

고 있다.

본 논문에서는 앵커노드가 자신 외 앵커노드의 위치 정보를 사용하여 자신의 위치오차를 최소로 하는 최소 오차 홉 당 거리를 산출한 후, 일반노드가 이를 이용하여 자신의 위치를 계산하는 알고리즘을 제안한다. 먼저 앵커노드는 다른 앵커노드들의 위치 정보와 자신과의 홉 수를 통해 계산한 자신의 예측 위치와 실제 위치간의 오차를 최소화하는 홉 당 거리를 산출한다. 그 후 유효 경로에 있는 노드들의 정보로 인한 거리오차를 줄이고 위치인식의 정확도를 향상시키기 위하여, 모든 일반노드들은 수신한 앵커노드의 홉 당 거리들을 평균 내어 사용함으로써 자신의 위치를 인식한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존의 위치측정 기술들을 분류, 설명한다. III장에서는 노드의 위치인식 정확도를 향상시키는 알고리즘을 제안하고, IV장에서 제안하는 알고리즘의 성능을 DV-Hop과 비교 분석한다. 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

기존에 연구된 무선노드의 위치측정 기술은 위치측정을 위한 별도의 장치 사용 여부에 따라 Range-based 방식과 Range-free 방식으로 구분되며, 본 장에서는 두 방식에 대해서 살펴본다.

1. Range-based 기법

Range-based 위치인식 기법은 별도의 장치를 통해서 수신된 신호의 전달 시간, 세기, 그리고 입사각도 등을 측정하여 노드 간 거리 정보를 구하고, 그 거리 정보를 다음과 같은 삼변측량법(trilateration) 혹은 다변측량법(multilateration) 또는 최소자승법에 적용하여 무선노드의 위치를 계산하는 방식이다.

삼변측량법 및 다변측량법은 3개 이상의 앵커노드들과 일반노드 간 거리를 이용하여 일반노드의 위치를 산출하는 가장 간단한 위치 계산법이다. 일반노드는 각 앵커노드를 원점으로 하고 해당 앵커노드와 일반노드 사이의 거리를 원의 반지름으로 하는 원들의 교차점을 자신의 위치로 계산한다. 하지만 앵커노드와 일반노드 사이의 거리 정보가 부정확하기 때문에 여러 원들의 집합에서 오직 하나의 교차점만이 존재하는 경우는 극히 드물다.

대부분의 경우에서 위치를 예측 할 수 없는 삼변측량 법과는 달리 오차의 제곱 합을 최소화하는 최소자승법은 주어진 조건 내에서 오차가 가장 적은 위치를 예측 할 수 있다. 네트워크 내 k 개의 앵커노드의 집합을 $\Omega_{anc} = \{1, 2, \dots, k\}$, l 개의 일반노드의 집합을 $\Omega_{an} = \{1, 2, \dots, l\}$ 라 할 때, 앵커노드의 각 좌표는 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_k, y_k)$ 이며, 일반노드의 각 좌표는 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_l, Y_l)$ 이 된다. 이 때 일반노드 n 과 앵커노드 i 사이의 거리 D_i 는 (1)과 같이 정의된다.

$$\begin{cases} (X_n - x_1)^2 + (Y_n - y_1)^2 = D_1^2 \\ (X_n - x_2)^2 + (Y_n - y_2)^2 = D_2^2 \\ \vdots \\ (X_n - x_k)^2 + (Y_n - y_k)^2 = D_k^2 \end{cases} \quad (1)$$

최소자승법은 앵커노드들의 좌표와 앵커노드와 일반노드 간 거리를 이용한 위치 계산 방법으로 일반노드의 위치 좌표 p 는 다음으로 계산된다.

$$P = (A^T A)^{-1} A^T B = \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A = -2 \times \begin{bmatrix} x_1 - x_k & y_1 - y_k \\ x_2 - x_k & y_2 - y_k \\ \vdots & \vdots \\ x_{k-1} - x_k & y_{k-1} - y_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} D_1^2 - D_k^2 - x_1^2 + x_k^2 - y_1^2 + y_k^2 \\ D_2^2 - D_k^2 - x_2^2 + x_k^2 - y_2^2 + y_k^2 \\ \vdots \\ D_{k-1}^2 - D_k^2 - x_{k-1}^2 + x_k^2 - y_{k-1}^2 + y_k^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

그러나 실제로는 앵커노드 i 와 일반노드 n 사이의 거리 D_i 의 계산이 명확하지 않기 때문에 최소자승법의 이용한 일반노드의 위치 계산에도 역시 오차가 존재하게 된다.

이런 필요에 따라서 Range-based 기법에서는 일반노드가 수신하는 신호를 이용하여 앵커노드와 일반노드 사이의 거리를 측정한다. TOA 방식은 신호의 전달 시간을 통해 거리 정보를 얻는 방식으로 GPS(Global Positioning System)^[11]은 TOA 방식을 이용한 대표적인 예다. AOA 방식은 수신 신호의 방향각을 측정하고

각 앵커노드와 일반노드 사이의 방향각의 교차점을 계산하여 일반노드의 위치를 측정한다. 이미 RADAR^[12]나 SpotON^[13]과 같은 시스템에 사용되는 RSSI의 경우는 신호의 세기에 비례하여 거리를 산출하는 방식이다. 이와 같이 Range-based 방식은 각 기법에 따라 앵커노드와 일반노드 간 거리를 측정하고 최소자승법을 통해서 무선 노드의 위치를 찾는다.

2. Range-free 기법

Range-based 기법은 노드의 위치 예측을 위해 무선노드가 수신하는 신호의 전달 시간, 세기, 입사각 등을 이용한다. 그러나 무선 채널은 주위 환경에 민감한 특성을 지니기 때문에 수신 신호를 이용한 위치 측정은 환경 변화에 따라 오차가 크다. 또한 별도의 장치로 인한 에너지 소비는 네트워크의 수명을 감소시키기 때문에 무선 애드 혹 네트워크에서 Range-based 방식을 이용한 무선노드의 위치를 측정하기에는 어려움이 있다.

반면, Range-free 위치인식 기법은 무선노드 간 정보 전송경로의 홉 수와 같은 토폴로지의 정보만을 이용한 방식으로 대표적인 예로는 Centroid, APIT, DV-Hop 등이 있다. Centroid는 거리 정보에 기반을 두지 않는 위치 인식 기법 중 가장 간단한 방식으로서, 일반노드의 위치는 한 홉 거리에 위치한 앵커노드들의 무게중심으로 계산된다. 하지만 그만큼 네트워크 내 앵커노드의 비율이 높아야만 일반노드의 위치인식이 가능하다는 문제가 있다. APIT는 일반노드가 앵커노드의 집합을 이용하여 가능한 모든 삼각형을 만들고 삼각형의 영역 중 가장 많이 중첩되는 영역의 중점을 자신의 위치로 예측한다. 그러나 위치측정을 위해서 네트워크를 일정 격자(grid)로 나누어야 하기 때문에 오차의 범위가 크다.

DV-Hop은 앵커노드 간의 거리와 홉 수를 통해 한 홉의 평균 거리를 의미하는 ‘홉 당 평균 거리’를 산출하고 이를 이용하여 일반노드의 위치를 찾는다. 이 알고리즘의 동작은 크게 3단계로 구분된다. 우선 모든 앵커노드는 자신의 위치와 홉 수 정보를 포함한 비컨 프레임을 브로드캐스팅 한다. 이로써 각 앵커노드는 다른 앵커노드들과의 거리와 최소 홉 수를 인지하고 자신의 홉 당 평균 거리를 산출하며, 이는 다음으로 계산된다.

$$HopSize_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_j} \quad (5)$$

여기서 (x_i, y_i) 와 (x_j, y_j) 는 앵커노드 i 와 j 위치 좌표이며, h_j 는 앵커노드 i 와 j 사이의 최소 홉 수이다.

이후 모든 앵커노드는 자신의 홉 당 평균 거리와 홉 수를 포함한 비컨 프레임을 브로드캐스팅 한다. 이를 수신한 일반노드는 앵커노드의 홉 당 평균 거리와 앵커노드와의 최소 홉 수를 통해서 각 앵커노드로부터의 거리를 계산한다. 이로써 일반노드는 각 앵커노드로부터 자신까지의 거리를 계산하고 자신의 위치를 추정한다. 따라서 앵커노드 간의 거리 정보를 통해 일반노드의 위치를 찾기 때문에 위치오차의 범위가 다른 Range-free 방식에 비해 작고, 비교적 낮은 앵커노드의 비율로도 위치추정이 가능하다.

이처럼 앵커노드들의 위치 정보를 통해 위치를 측정하는 Range-free 방식은 Range-based 방식에 비해 주변 환경에 따른 영향이 적고 거리 측정을 위한 별도의 장치를 필요로 하지 않는다. 그렇기 때문에 노드 간의 연결정보와 전송경로의 홉 수 등의 토폴로지 정보만을 이용하여 노드의 소형화와 에너지 저소비 등의 장점을 가지는 Range-free 기법에 대한 비중이 증가되고 있다. 하지만 Range-free 방식은 Range-based 방식에 비해 노드의 위치인식 정확도가 떨어지며, 그 정확도는 노드의 전송 반경, 네트워크 내 노드의 밀도 등의 요소에 영향을 받기 때문에 위치 계산의 정확도 향상을 위해서는 이러한 요소들을 고려해야 하는 어려움이 있다.

III. 제안하는 알고리즘

기존의 DV-Hop 알고리즘에서 앵커노드는 다른 앵커노드와의 거리와 홉 수를 이용하여 평균적인 값을 홉 당 거리로 산출한다. 그렇기 때문에 홉 당 거리를 산출하는 앵커노드 자신에게도 최소 위치오차를 보장할 수 없다. 본 논문에서는 최소자승법을 사용하여 앵커노드 자신의 실제 위치와 다른 앵커노드를 통해 계산한 자신의 예측 위치 사이의 차이, 즉 앵커노드의 위치오차를 최소화하는 홉 당 거리를 산출하는 알고리즘을 제안한다. 그 후 제안하는 알고리즘에서는 앵커노드의 위치인식 과정에서 앵커노드 간 실제 거리에 비해 많은 홉 수를 지님으로 인해서 오차를 야기하기 때문에, 이러한 오차를 줄이기 위하여 위치인식의 주체인 일반노드는 수신한 앵커노드들의 홉 당 거리를 평균 내어 자신의 홉 당 거리를 산출함으로써 위치인식에 사용한다.

제안하는 알고리즘의 동작은 크게 4단계로 구분된다.

우선 모든 앵커노드는 각자의 비컨 프레임을 브로드캐스팅 함으로써 다른 앵커노드와의 거리와 최소 홉 수 정보를 얻는다. 이를 바탕으로 각 앵커노드는 자신을 제외한 앵커노드들을 이용하여 자신의 위치를 예측하고, 자신의 예측 위치와 실제 위치 사이의 차이를 최소로 하는 홉 당 거리를 산출한다. 이후 앵커노드는 자신의 홉 당 거리와 자신과의 최소 홉 수 정보를 일반노드에게 알리고, 일반노드는 수신한 정보를 통해서 자신과 앵커노드 사이의 거리를 계산한다. 그리고 일반노드는 앞서 계산한 앵커노드와의 거리와 홉 수를 통해 자신의 홉 당 평균 거리를 산출하여 각 앵커노드와의 거리를 재계산한다. 마지막으로 일반노드가 앵커노드와의 거리를 이용하여 자신의 위치를 추정한다.

1. 최소 오차 홉 당 거리 산출

‘최소 오차 홉 당 거리’는 앵커노드 자신의 실제 위치와 다른 앵커노드들을 통한 예측 위치 간의 차이, 즉 앵커노드의 위치오차를 최소로 하는 홉 당 거리를 의미한다. 앵커노드의 최소 오차 홉 당 거리 산출 방법을 설명하기에 앞서 위치를 계산하고자 하는 앵커노드는 m 개의 주변 앵커노드를 가지며, 주변 앵커노드의 집합을 $\Omega_{oh} = \{1, 2, \dots, m\}$ 로 정의한다. 또한 앵커노드가 자신의 위치를 측정하기 위해 연고자하는 홉 당 거리를 α 라 정의한다. 이때 α 는 실수이며 전송 반경의 크기(R)보다 작은 양수를 갖는다.

위치인식의 주체가 되는 한 앵커노드의 위치는 앞서 일반노드의 위치를 계산법과 마찬가지로 최소자승법을 통해서 계산된다. 주변 앵커노드들의 위치 정보와 해당 앵커노드와 각 앵커노드 간 거리를 통해서 (3), (4)과 같은 행렬 $A \in \mathbb{R}^{(m-1) \times 2}$, $B \in \mathbb{R}^{(m-1) \times 1}$ 을 정의한다. 단, 위치를 측정하고자하는 앵커노드와 그 외의 앵커노드 j 간의 거리는 다음과 같다.

$$D_j = \{h_j \alpha \mid j \in \Omega_{oh}\} \quad (6)$$

여기서 h_j 는 주체 앵커노드로부터 앵커노드 j 까지의 최소 홉 수이다.

lemma 1 : 앵커 노드의 예측 위치 P_{est} 는 최소자승법으로부터 다음과 같다.

$$P_{est} = \begin{bmatrix} a\alpha^2 + b \\ c\alpha^2 + d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{est} \\ y_{est} \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 a, b, c 와 d 는 그 외의 앵커노드와의 홉 수와 그 위치 좌표에 의해 결정되고 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} a &= \sum_{j=1}^{m-1} z_{1,j}(h_j^2 - h_m^2) \\ b &= \sum_{j=1}^{m-1} z_{1,j}(x_m^2 - x_j^2 + y_m^2 - y_j^2) \\ c &= \sum_{j=1}^{m-1} z_{2,j}(h_j^2 - h_m^2) \\ d &= \sum_{j=1}^{m-1} z_{2,j}(x_m^2 - x_j^2 + y_m^2 - y_j^2) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $z_{1,j}$ 와 $z_{2,j}$ 는 상수 행렬 Z 의 요소로서 다음과 같이 정의된다.

$$(A^T A)^{-1} A^T = Z = \begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \cdots & z_{1,m-1} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \cdots & z_{2,m-1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Proof : 주체 앵커노드는 자신 외의 앵커노드와의 거리를 최소자승법에 적용하여 자신의 예측 위치 P_{est} 즉, (x_{est}, y_{est}) 을 찾는다.

$$P_{est} = (A^T A^{-1}) A^T B = \begin{bmatrix} x_{est} \\ y_{est} \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 $(A^T A^{-1}) A^T$ 의 계산 결과는 모든 인자를 상수로 갖는 행렬 Z 이므로, 앵커노드의 예측 위치 P_{est} 는 (7)과 같이 표현된다. (7)로부터 앵커노드의 예측 좌표 x_{est} 와 y_{est} 는 각각 홉 당 거리 α 에 관한 2차식임을 알 수 있다.

Definition 1 : 주체 앵커노드의 실제 위치 P_{real} 을 (x_{real}, y_{real}) 라고 할 때, 앵커노드의 홉 당 거리 α 에 의한 자신의 예측 위치 P_{est} 와 실제 위치 P_{real} 간의 오차를 나타내는 오차 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{dis}^2(\alpha) &= \|P_{est} - P_{real}\|^2 \\ &= (P_{est} - P_{real})^T (P_{est} - P_{real}) \end{aligned} \quad (11)$$

E_{dis}^2 는 α 에 관한 4차 우함수로 α 는 실수이며 전송 환경보다 작은 양수를 갖는다. 위 오차 제곱 함수를 최소로 하는 최소 오차 홉 당 거리 α^* 는 다음과 같다.

Theorem 1 : 앵커노드의 최소 오차 홉 당 거리 α^* 는

다음과 같다.

$$\alpha^* = \sqrt{\frac{(x_{real} - b)a + (y_{real} - d)c}{a^2 + c^2}} \quad (12)$$

Proof : 앵커 노드의 최소 오차 홉 당 거리 α^* 는 (11)로부터 다음과 같이 정의 된다.

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \{E_{dis}^2(\alpha) \mid 0 < \alpha \leq R\}$$

따라서 E_{dis}^2 는 α 에 관한 4차 우함수인 성질을 이용하여 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} E_{dis}^2(\alpha) &= (x_{est} - x_{real})^2 + (y_{est} - y_{real})^2 \\ &= (a\alpha^2 + b - x_{real})^2 + (c\alpha^2 + d - y_{real})^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i.e., } \frac{\partial}{\partial \alpha} E_{dis}^2(\alpha) &= 0 = 2(a\alpha^2 + b - x_{real})(2a\alpha) \\ &\quad + 2(c\alpha^2 + d - y_{real})(2c\alpha) \end{aligned}$$

$$\text{i.e., } 0 = (a^2 + c^2)\alpha^2 - (x_{real} - b)a - (y_{real} - d)c$$

따라서 최소 오차 홉 당 거리는 다음과 같다.

$$\alpha^* = \sqrt{\frac{(x_{real} - b)a + (y_{real} - d)c}{a^2 + c^2}}$$

앵커노드는 자신의 위치 오차 함수를 최소로 하는 최소 오차 홉 당 거리 α^* 을 자신의 홉 당 평균 거리로 결정한다. 모든 앵커노드는 이 과정을 동일하게 수행하여 자신의 위치 오차를 최소화하는 홉 당 평균 거리를 찾고 이를 네트워크의 모든 노드에게 알린다.

2. 일반 노드의 홉 당 거리 산출

앵커노드 i 가 계산한 최소 오차 홉 당 거리를 α_i^* 라 하고 일반노드 n 과 앵커노드 i 사이의 홉 수를 h_i 라 할 때 일반노드와 앵커노드 사이의 거리 D_i 는 (13)과 같이 표현된다.

$$D_i = h_i \times \alpha_i^* \quad (13)$$

각 앵커노드로부터 일반노드 n 까지의 거리와 홉 수를 통해서 일반노드 n 의 홉 당 평균 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$HopSize_n = \frac{\sum_{i \in \Omega_{anc}} D_i}{\sum_{i \in \Omega_{anc}} h_i} \quad (14)$$

정의된 일반노드 n 의 홉 당 평균 거리를 이용하여 일반노드 n 과 앵커노드 i 까지의 거리를 아래와 같이 계산출한다.

$$D_i = h_i \times HopSize_n \quad (15)$$

일반노드는 자신의 홉 당 거리를 이용하여 각 앵커노드로부터 자신까지 떨어진 거리를 산출하고 최소자승법을 적용하여 자신의 위치를 예측한다. 이처럼 모든 노드가 자신만의 홉 당 거리를 가짐으로써 위치측정 오차의 최소화가 가능하다.

IV. 성능 분석 및 평가

본 장에서는 시뮬레이션을 통해서 제안하는 알고리즘과 DV-Hop의 위치인식 오차율을 비교한다. 위치인식 오차율은 일반노드의 위치 오차와 노드의 전송 반경 (R)에 대한 비율로 정의한다.

Range-free 방식은 네트워크 토폴로지의 정보만을 이용하여 노드의 위치를 계산하기 때문에 토폴로지의 형태, 즉 노드의 배치가 노드의 위치인식 결과에 반영된다. 이를 알아보기 위해서 토폴로지를 균일과 불규칙으로 구분하고 각 토폴로지를 정규 배치와 랜덤 배치로 나누어 총 4개의 예를 보인다. 그림 1은 노드 배치의 예이다.

정규 균일 배치(regular uniform)에서의 모든 무선노드는 격자 형태로 배치되어 그 이웃노드들과 균일한 거리에 위치한다. 랜덤 균일 배치(random uniform)의 노드는 국소적으로 이웃노드들과 서로 불규칙한 거리에 위치하지만 네트워크 전체 측면에서 균일하게 위치한다. 정규 C형 배치(regular C-shaped)의 노드는 이웃노드들과는 균일한 배치를 이루지만 알파벳 C 형태의 배치로 대다수의 노드 간 전송경로가 우회한다. 이에 노드 간에는 기대 홉 수 보다 큰 홉 수가 존재한다. 랜덤 C형 배치(random C-shaped)에서 노드는 C 형태 내에서 불규칙하게 위치한다.

모든 예의 네트워크 크기는 $10 \times 10m^2$, 그리고 노드의 전송 반경 크기는 $1.5m$ 로 동일하다. 정규 균일 배치는 81개의 무선노드를 배치하고 그 중 4개를 앵커노

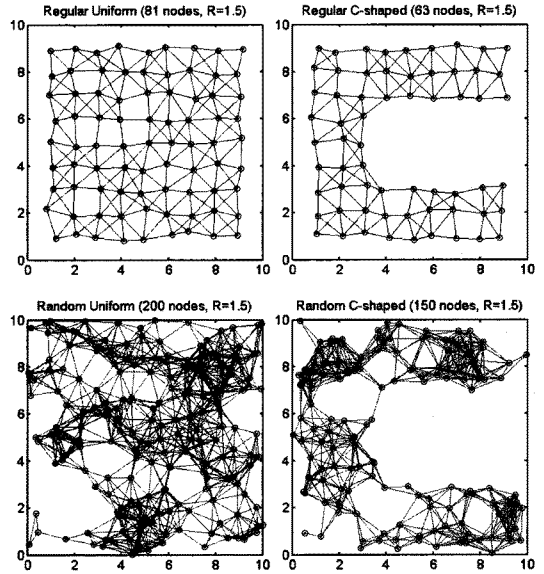


그림 1. 노드 배치의 예 : 균일 배치와 불규칙 배치

Fig. 1. Node deployment examples : uniform topologies and irregular topologies.

드로 지정하여 위치인식에 사용한다. 정규 C형 배치는 총 63개의 무선노드와 그 중 7개의 노드를 앵커노드로 배치한다. 랜덤 균일 배치와 랜덤 C형 배치는 각각 총 200개의 노드, 8개의 앵커노드 그리고 총 150개의 노드, 14개의 앵커노드를 배치한다.

그림 1은 각 노드와 그 이웃노드들과의 위치한 관계를 전송경로 혹은 연결(connectivity)을 보여준다. 정규 배치에서 무선노드의 연결은 단순하고 그 수는 평균적으로 일정하다. 반면에 랜덤 배치에서는 노드와 그 이웃노드들 간 배치가 균일하지 않기 때문에 노드의 밀집 지역과 결핍 지역이 공존한다. 밀집 지역에서는 복잡한 연결을 보이고 결핍 지역에서는 홀(hole)을 만들어 노드들 간 전송경로의 우회를 야기한다.

그림 2와 3은 각각 정규 배치와 랜덤 배치에 따른 DV-Hop과 제안하는 알고리즘의 위치 인식률을 보여준다. 그림 내에서 원은 일반노드의 실제 위치, 점은 앵커노드의 실제 위치, 그리고 선은 일반노드의 실제 위치와 예측 위치의 차이를 나타낸다. 선의 길이가 짧을수록 노드의 예측 위치가 노드의 실제 위치에 근사함을 보이고, 반대로 길이가 길수록 노드의 예측 위치와 실제 위치 사이에 큰 오차를 가짐을 의미한다.

정규 균일 배치에서 DV-Hop을 이용한 위치인식 오차율은 $45\%R$ 이고, 제안하는 알고리즘을 이용한 위치

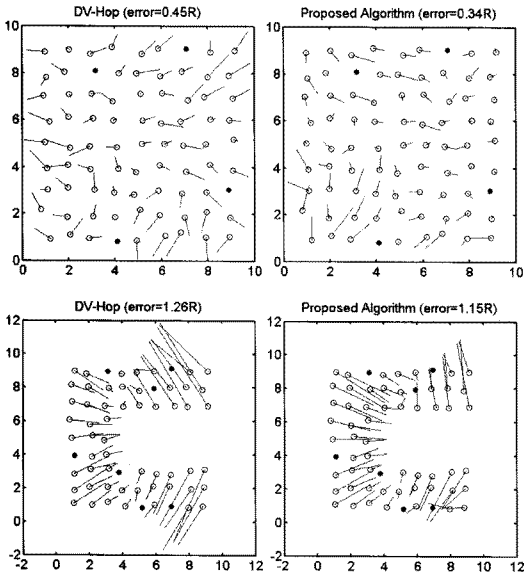


그림 2. 정규 균일과 C형 분포에서 DV-Hop과 제안하는 알고리즘을 이용한 위치 계산 결과
 Fig. 2. Results of DV-Hop and Proposed Algorithm on regular uniform and C-shaped placements.

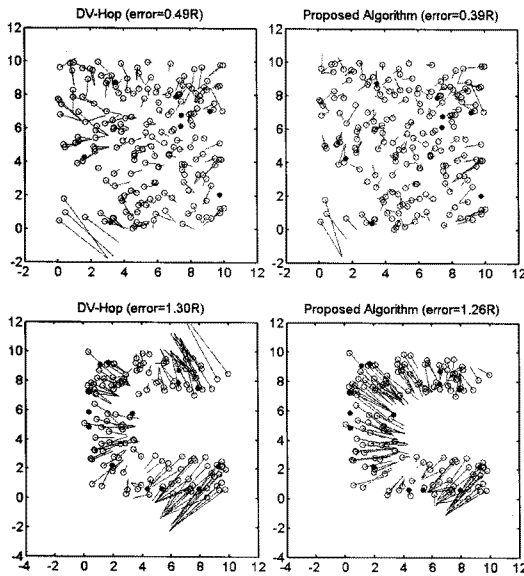


그림 3. 랜덤 균일과 C형 분포에서 DV-Hop과 제안하는 알고리즘을 이용한 위치 계산 결과
 Fig. 3. Results of DV-Hop and Proposed Algorithm on random uniform and C-shaped placements.

인식 오차율은 이보다 낮은 34%R이다. 그렇지만 같은 정규 배치일지라도 네트워크 내에 큰 홀이 존재하는 정규 C형 배치에서 DV-Hop과 제안하는 알고리즘을 이

용한 위치인식 오차율은 각각 126%R과 115%R로 큰 오차가 발생한다. 이는 전송경로의 우회로 인해서 대다수의 노드 간 거리와 전송 반경의 비율에 비례하는 기대 홉 수 보다 큰 홉 수를 갖기 때문이다.

랜덤 균일 배치에서 DV-Hop과 제안하는 알고리즘을 이용한 위치인식 오차율은 각각 49%R과 39%R이다. 그러나 네트워크 내 다수의 소형 홀이 존재하기 때문에 일부 노드들은 그 외의 노드들에 비해 상대적으로 큰 위치오차를 갖는다. 따라서 랜덤 균일과 정규 균일 토폴로지의 평균 오차율이 서로 비슷하다라도 랜덤 균일 토폴로지에서 위치 오차의 편차가 크다는 것을 확인할 수 있다. 랜덤 C형 배치에서의 두 알고리즘의 위치인식 오차율은 각각 130%R과 126%R로 균일 C형 배치와 마찬가지로 매우 큰 오차율을 갖는다.

4개의 예를 통해서 제안하는 알고리즘이 DV-Hop보다 높은 위치인식 정확도를 보임을 확인하였다. 그러나 여전히 불규칙 배치 혹은 홀로 인해서 우회하는 전송경로를 갖는 토폴로지에서는 DV-Hop과 제안하는 알고리즘 모두 위치인식에 있어서 그 정확도는 매우 낮았다. 또한 랜덤 토폴로지에서도 노드 밀집 지역의 노드 집합이 각자의 실제 위치는 다르지만 모두 동일한 위치를 자신의 위치로 판단하는 오류를 보였다. 이러한 문제들은 무선노드의 위치인식 정확도 향상을 위해서 개선되어야 한다.

모의실험 환경을 노드의 밀도, 앵커노드의 비율, 무선노드의 전송 반경 크기와 앵커노드의 배치를 고려하여 다양하게 구별하고 그 환경에서 기존의 DV-Hop과 제안하는 알고리즘의 위치인식률을 비교한다. 모의실험을 위한 토폴로지의 환경은 표 1과 같다.

그림 4는 앵커노드 비율과 노드의 밀도에 따른 위치인식 오차를 보여준다. 여기서 노드의 전송 반경 크기는 15m로 제한한다. 전반적으로 앵커노드의 비율과 노

표 1. 모의실험 토폴로지
 Table 1. Simulation topologies.

환경	값
네트워크 크기	80×80 m ²
무선노드의 수	60~150 개
앵커노드의 비율	5~30 %
무선노드의 전송 반경 크기	12~30 m

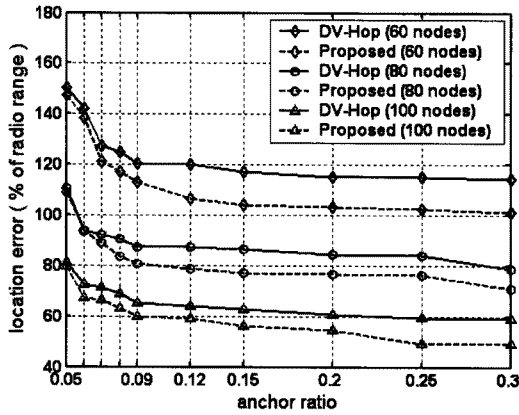


그림 4 앵커노드 비율에 따른 위치인식 오차율
Fig. 4 Location error in terms of anchor ratio.

드의 밀도가 높을수록 위치인식에 있어서 높은 정확도를 보였다. DV-Hop과 제안하는 알고리즘의 위치인식 오차율은 앵커노드의 비율이 낮을수록 서로 비슷하였지만 앵커노드의 비율이 증가함에 따라 제안하는 알고리즘이 DV-Hop보다 낮은 위치인식 오차율을 보였고 그 차이는 점차 증가하였다. 참조 앵커노드의 비율과 노드의 밀도가 높을수록 노드의 위치인식 정확도가 향상됨을 확인할 수 있다.

그림 5는 노드의 앵커노드의 비율은 5%일 때 전송 반경 크기와 노드의 밀도에 따른 위치인식 오차를 보여 준다. 노드의 전송 반경 크기가 작은 경우에는 제안하는 알고리즘의 성능이 DV-Hop의 성능보다 낮음을 보인다. 하지만 반경의 크기가 일정 범위보다 커지면 제안하는 알고리즘은 DV-Hop보다 우수한 성능을 보인다. 전송 반경의 크기와 앵커노드의 비율이 낮을 경우에는 앵커노드 간 홉 수의 증가와 참조 앵커노드의 부족으로 인해 앵커노드의 예측 위치가 실제 위치와 차이를 많이 갖게 되어 오차의 범위가 큰 최소 오차 홉 당 거리를 산출한 것으로 볼 수 있다.

그림 6은 앵커노드의 배치 방법과 노드의 밀도에 따른 제안하는 알고리즘의 위치인식 오차를 보여준다. 노드의 배치 방법에 상관없이 네트워크 내 노드의 밀도가 증가함에 따라 위치인식 오차율은 지수 함수 형태로 감소함을 보이지만, 낮은 노드 밀도에서는 균일배치와 랜덤배치 사이에 최대 40% 정도 큰 차이를 보인다. 이러한 이유는 랜덤배치의 경우에 일부 앵커노드가 네트워크로부터 고립이 되거나 또는 일부 지역에 앵커노드가 밀집하는 등의 이유로 인해서 앵커노드와 일반노드 간

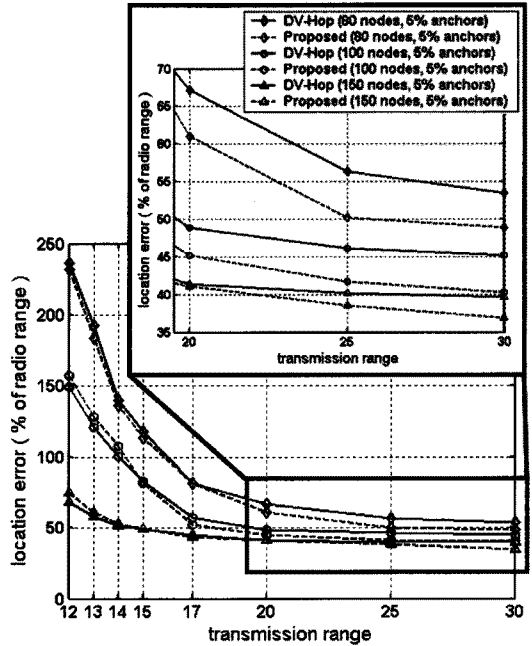


그림 5 전송반경에 따른 위치인식 오차율
Fig. 5 Location error in terms of transmission range.

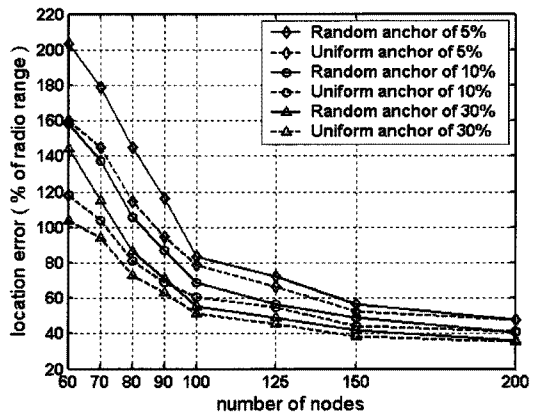


그림 6 앵커노드 배치에 따른 위치인식 오차율
Fig. 6 Location error in terms of anchor placement.

거리 계산이 부정확하기 때문이다. 반면에 균일 배치에서는 앵커노드가 네트워크 전체에 고루 분포하여 앵커노드와 우회하는 전송경로를 갖는 일반노드가 적어지는 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

무선 애드 혹 네트워크에서 네트워크 관리를 위해서

는 노드의 위치 정보가 필수적이며 이를 위해 많은 연구가 논의되어 왔다. 그 중 대표적인 방식인 DV-Hop은 앵커노드 간 거리와 노드 간 홉 수 정보를 이용하여 구한 거리에 기반을 둔 위치측정 기술로 낮은 앵커 비율로도 위치측정이 가능하지만, 노드의 실제 위치와 예측 위치 사이에 적지 않은 오차가 발생하여 추가적인 개선이 필요시 되었다. 본 논문에서는 기존의 DV-Hop보다 정확한 위치측정을 위해 앵커노드의 위치오차를 최소화하는 최소 오차 홉 당 거리와 일반노드의 홉 당 평균 거리를 이용하는 위치인식 방법을 제안하였다. 이를 통해서 일반노드의 실제 위치와 예측 위치 사이에 발생하는 오차를 줄임으로써 위치인식의 정확도를 향상시켰다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 높은 위치인식률을 보임을 확인하였다. 그렇지만 제한된 조건 하에서 정확한 위치를 측정하기란 여전히 미흡하기 때문에 노드의 배치, 앵커노드의 비율과 전송반경의 크기 등의 요소를 고려하여 각 상황에 적합한 위치인식 측정 기술이 추가 연구 과제로 남는다.

참 고 문 헌

- [1] I. Stojmenovic, "Position-based routing in ad hoc networks," *Communications Magazine*, IEEE, Vol. 40, no. 7, pp. 128-134, July 2002.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayircy, "A survey on sensor networks," *Proc. IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp. 102-113, August 2002.
- [3] A. H. Sayed, A. Tarighat and N. Khajehnouri, "Network-Based Wireless Location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, pp. 24-40, July 2005.
- [4] X. Li and K. Pahlavan, "Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation," *IEEE Trans. Wireless Communication*, vol. 3, pp. 224-234, January 2004.
- [5] D. Niculescu and B. Nath, Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA, "INFOCOM 2003, Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol. 3, no. 30, Mar.-Apr. 2003.
- [6] M. Robinson and I. Psaromiligkos, "Received Signal Strength Based Location Estimation of a Wireless LAN Client," *IEEE WCNC 2005*, pp. 2350-2354, March 2005.
- [7] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 7, Iss. 5, pp.28-34, October 2000.
- [8] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," *ACM MobiCom'03*, pp. 81-95, September 2003.
- [9] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System(APS)," in *Proc. of the IEEE International Conference on INFOCOM*, pp. 2926-2931, November 2001.
- [10] H. Chen, K. Sezaki, P. Deng, and H. So, "An Improved DV-Hop Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks," *Industrial Electronics and Applications*, pp.1557-1561, 3-5 June 2008.
- [11] I. Getting, "The Global Positioning System," *IEEE Spectrum*, Vol. 30, Iss. 12, pp. 36-47, December 1993.
- [12] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-bulding RF-based user location and tracking system," *IEEE Trans. Wireless Communication*, Vol.3, pp.224-234, January 2004.
- [13] J. Hightowe, R. Want and G. Borriello, "SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength," *UW CSE 2000-02-02*, Univ. of Washington, February 2000.

저 자 소 개



이 상 우(학생회원)
 2009년 아주대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2009년 3월~현재 아주대학교
 전자공학과 석사 과정
 <주관심분야 : Ad-Hoc Network,
 Sensor Network, Localization>



이 동 열(학생회원)
 2008년 아주대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2008년 3월~현재 아주대학교
 전자공학과 석사 과정
 <주관심분야 : Game theory,
 wireless LAN, Cooperative
 Communicaton>



이 채 우(정회원)
 1985년 서울대학교 제어계측
 학사 졸업.
 1988년 한국과학기술원
 전자공학과 석사 졸업.
 1995년 University of Iowa 박사
 졸업
 1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
 1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
 1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies
 Korea 이사.
 2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
 2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과
 부교수.
 <주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous
 networking, Traffic Engineering>