DBpia

비등방성 네트워크에서 위치 추정의 정확도를 높이기 위한 향상된 Range-Free 위치 인식 기법

우 현 재◆, 이 채 우°

A Novel Range-Free Localization Algorithm for Anisotropic Networks to enhance the Localization Accuracy

Hyun-Jae Woo◆, Chae-Woo Lee°

요 약

DV-Hop 위치 인식 기법은 노드가 균일하게 배치된 등방성 토폴로지에서 제안된 알고리즘이다. 노드 간 거리는 홉 수에 비례해서 증가하는 환경에서 홉 당 평균 거리를 사용해서 노드 간 거리를 추정한다. 하지만, 노드의 배치가 균일하지 않아 노드 간 거리가 홉 수에 비례하여 증가하지 않는 환경에서는 DV-hop 기법의 위치 추정의 정확도는 상당히 저하된다. 본 논문에서는 노드의 배치가 불균일한 비등방성 네트워크에서도 위치 추정의 정확도를 높일 수 있는 알고리즘을 제안한다. 비등방성 네트워크에서는 노드 간 경로의 형태가 곡선인 경우가 많기 때문에 노드 간의 거리 추정을 위해 필요한 홉 당 평균 거리가 홉 수 별로 다르다. 이에 제안하는 알고리즘에서는 앵커노드가 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 구하고, 일반 노드는 이러한 정보를 각 앵커노드로부터 전달받아, 앵커노드와 떨어진 홉 수에 따라 다른 홉 당 거리를 사용해 보다 정확하게 위치를 추정하도록 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 DV-Hop 알고리즘과의 성능 비교를 통해 제안하는 알고리즘의 우수성을 보인다.

Key Words : Localization, Range-free algorithm, DV-Hop, Anisotropic, Average hop distance.

ABSTRACT

DV-Hop is one of the well known range-free localization algorithms. The algorithm works well in case of isotropic network since the sensor and anchor nodes are placed in the entire area. However, it results in large errors in case of anisotropic networks where the hop count between nodes is not linearly proportional to the Euclidean distance between them. Hence, we proposed a novel range-free algorithm for anisotropic networks to improve the localization accuracy. In the paper, the Euclidean distance between anchor node and unknown node is estimated by the average hop distance calculated at each hop count with hop count and distance information between anchor nodes. By estimating the unknown location of nodes with the estimated distance estimated by the average hop distance calculated at each hop, the localization accuracy is improved. Simulation results show that the proposed algorithm has more accuracy than DV-Hop.

Ⅰ. 서 론

무선 애드 혹 네트워크(Wireless Ad Hoc Networks)는 네트워크를 관리, 유지하는 중앙의 기반 시설 없이 무선 환경에서 이동 단말들이 자율적으로 네트워크를 구성하여 통신하는 네트워크를 말한다. 애드 혹 네트워크는 노드의 잦은 이동성, 에너지 제약으로 인해서 전송 경로의 변경과 네트워

※ 본 연구는 2011학년도 아주대학교 일반연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.
◆ 주저자 : 아주대학교 전자공학과 Multimedia Networking 연구실, woo@ajou.ac.kr, 준회원
° 교신저자 : 아주대학교 전자공학과 Multimedia Networking 연구실, cwlee@ajou.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2012-04-160, 접수일자 : 2012년 4월 1일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 2일

www.dbpia.co.kr

크의 변화가 빈번하게 발생한다[1]. 이로 인해 노드 간의 데이터 전송을 위해서는 서로 간의 위치를 파악하고 경로를 찾는 지리적 라우팅(Geographic Routing)[2]과 같은 기술이 요구된다. 이와 같은 기술의 성립을 위해서는 노드의 위치를 필요로 하기 때문에, 애드 혹 네트워크에서는 노드들의 물리적인 위치를 예측할 수 있는 위치 인식기술이 필요하다[3].

위치 인식 기술은 무선 노드의 위치를 측정함에 있어 별도의 장치의 사용 유무에 따라 Range-based 방식과 Range-free 방식으로 분류 한다. Range-based 방식은 노드간의 거리를 GPS와 같은 별도의 장치를 통해 측정하여, 이를 바탕으로 노드의 물리적인 위치를 추정하는 방식이고, 대표적인 기법으로는 TOA(Time Of Arrival)[4], RSSI(Received Signal Strength Indicator)[5], 그리고 AOA(Angle Of Arrival)[6]이 있다. Range-free 방식은 신호를 송수신하는 노드간의 거리를 직접 측정하지 않고, 노드 간 전송 경로의 홉 수와 같은 토폴로지 정보를 사용하여 노드 간의 거리를 추정하고, 이를 이용하여 노드의 물리적인 위치를 추정하는 방식이다. 대표적인 Range-free 기법에는 APIT (Approximate P.I.T test)[7], Centroid[8], 그리고 DV-Hop[9]등이 있다.

Range-based 방식은 별도의 측정 장치를 사용하여 노드간의 거리를 측정하기 때문에 위치 추정에 있어 높은 정확도를 가진다. 하지만 이 정확도는 무선 통신 환경 즉, 다중경로 페이딩(multipath fading)과 잡음 등에 민감하다. 또한 노드가 거리측정을 위해 측정 장치를 추가로 사용하기 때문에 비용 문제가 발생하며, 각 노드가 거리 측정을 위해 소모하는 에너지양이 높아 네트워크의 수명이 단축되는 약점을 지닌다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 추가적인 측정 장치 없이 노드 간 홉 수와 같은 토폴로지 정보를 이용하여 무선 노드의 위치를 예측하는 Range-free 방식이 최근 활발하게 연구되고 있다[3].

Range-free 방식은 사전에 제공된 위치정보에 의해 자신의 위치를 정확히 알고 있는 소수의 앵커노드(Anchor Node)와 자신의 위치를 알지 못하는 다수의 일반노드(Unknown Node)로 구성되는 네트워크를 전제로 한다. 하지만, 기존에 제안되었던 Range-free 방식들은[9,10] 일반노드의 위치를 추정하기 위해 일정 비율 이상의 앵커노드가 필요하거나, 위치 측정의 정확도가 떨어지는 한계를 가지고 있다[3]. 이러한 한계를 극복하기 위해 제안된 DV-Hop 기법은 기존 기법들과 달리 사전에 주어진 앵커노드 간 거리 정보를 추가적으로 활용하여, 일반노드의 위치 추정 정확도를 높였다[9].

DV-Hop 방식에서, 앵커노드들은 다른 앵커노드와의 거리와 홉 수 정보를 교환하여 홉 당 평균 거리를 구한다. 일반노드는 각 앵커노드와의 최소 홉 수와 앵커노드가 구한 홉 당 평균 거리와의 곱으로 앵커노드와의 거리를 추정한다. 이를 통해 일반노드는 앵커노드들과의 추정된 거리를 바탕으로 다변측량법 (Multilateration)[11]을 사용하여 자신의 위치를 추정한다.

DV-Hop 방식의 제안 이후 제안된 상당수의 Range-free 기법 연구들에서는 노드의 위치 추정 정확도를 높이기 위해 앵커노드의 홉 당 평균 거리의 정확도를 높이기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. [10]은 노드 간 거리가 홉 수에 비례해서 증가하는 등방성 네트워크를 위한 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 하지만, 노드의 분포가 균일하지 않은 비등방성 네트워크에서는 위치 추정의 정확도가 크게 떨어진다. 이는 비등방성 토폴로지에서는 홉 수가 증가할수록 경로가 곡선의 형태를 가질 가능성이 높아 홉 수가 증가 할수록 노드 간 거리는 홉 수에 비례해서 증가하지 않기 때문이다. 또한, 한 경로의 홉 당 평균 거리는 홉 수가 증가하면 상대적으로 짧아질 가능성이 높고, 홉 수가 감소하면 상대적으로 길어지는 경우가 일반적이다. 이러한 특성으로 인해 일반노드와 앵커노드 간 거리를 DV-Hop 기법처럼 단순하게 홉 수와 홉 당 평균 거리의 곱으로 추정하는 방식은 노드 간 홉 거리가 멀수록 정확도가 떨어지게 된다.

본 논문에서는 비등방성 네트워크에서의 위치 추정의 정확도를 높일 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 앵커노드가 홉 수 별로 각각 홉 당 평균 거리를 구하고, 일반 노드는 이러한 정보를 각 앵커노드로부터 전달받아, 앵커와 떨어진 홉 수에 따라 다른 홉 당 거리를 사용해 보다 정확하게 위치를 추정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. Ⅱ장에서는 네트워크 모델과 성능 평가 기준에 대해서 설명하며, Ⅲ장에서는 기존 Range-free 방식 기법, DV-Hop 알고리즘, 그리고 홉 수와 홉 당 거리에 대한 연구에 대해서 설명하고, Ⅳ장에서는 노드의 위치 인식 정확도를 향상시키는 알고리즘을 제안하고, Ⅴ장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 DV-Hop 알고리

www.dbpia.co.kr

증의 성능과 비교 분석한다. 마지막으로 Ⅵ장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. 네트워크 모델과 성능 평가 기준

본장에서는 관련연구에 앞서 관련 연구, 제안하는 알고리즘, 그리고 성능평가 부분에서 사용하는 네트워크 모델, 기본적인 용어, 그리고 관련 연구와 성능평가에서 수행된 시뮬레이션의 성능평가 기준에 대해서 설명한다.

네트워크는 총 $S=M+N$ 개의 무선 노드들로 구성된다. M개의 노드($i=1,...,M$)는 사전에 위치 정보를 정확히 알고 있는 앵커노드의 개수이며, N 개의 노드($i=M+1,...,S$)는 자신의 위치를 모르는 일반노드의 개수이다. 노드들은 각각 i의 ID를 가진다. 모든 노드들의 전송 반경은 T로 동일하다. 고립된 노드는 없다고 가정한다.

알고리즘 및 성능평가에서 필요한 용어들을 정의한다. 거리 및 위치 추정에 관한 용어 정의는 다음과 같다. 일반노드 i의 실제 위치와 예측 위치를 각각 $\mathbb{L}_i$, $\widehat{\mathbb{L}_i}$로 정의한다. 노드 i, j 간의 실제 거리는 $d_{ij}=\|\mathbb{L}_i-\mathbb{L}_j\|$ 와 같이 정의 되며 추정 거리는 $\widehat{d_{ij}}$로 정의한다. $\|\bullet\|$ 는 Euclidean norm이다. 또한 논문에서 언급하는 특정 경로의 거리는 해당 경로를 이루는 양 끝 노드 간 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 뜻한다.

홉 당 평균 거리에 관한 용어 정의는 다음과 같다. r_i를 앵커노드 i가 계산하는 홉 당 평균 거리, r_{ih}를 앵커노드 i가 홉 수 h를 가지는 경로에 대해 계산한 홉 당 평균 거리로 정의한다. 마지막으로 h_{ij}는 노드 i, j 사이의 최 소 홉 수를 의미한다.

본 논문에서는 세 가지의 성능 평가의 기준, 1) 홉 수 h를 가지는 경로 별 거리 추정 오차 (Distance estimation error for h hop paths: HDE), 2) 전체 평균 거리 추정 오차(Overall average distance estimation error: ODE), 그리고 3) 일반노드의 평균 위치 추정 오차(Average localization error : LE)에 대해서 DV-Hop 알고리즘과 제안하는 알고리즘을 시뮬레이션 하고 비교 및 평가 한다. 각각의 정의는 다음과 같다.

1) 홉 수 h를 가지는 경로 별 거리 추정 오차 (Distance estimation error for h-hop paths) :

$$HDE=\sum_{i=M+1}^{S}\sum_{j=1}^{M}\frac{|\widehat{d_{ij}}-d_{ij}|}{|D_h|},\ \widehat{d_{ij}}\in D_h \tag{1}$$

여기서 D_h ={일반노드들부터 앵커노드들까지의 모든 경로 중 홉 수 h를 가지는 모든 경로의 거리 추정 값}으로 가지는 집합이다.

2) 전체 평균 거리 추정 오차(Overall average distance estimation error) :

$$ODE=\sum_{i=M+1}^{S}\sum_{j=1}^{M}\frac{|\widehat{d_{ij}}-d_{ij}|}{|\cup D_h|},\ \widehat{d_{ij}}\in\cup D_h \tag{2}$$

여기서 $\cup D_h$는 D_h의 전체 집합 즉, 모든 경로에 대한 거리 추정 값들의 집합이다.

3) 평균 위치 추정 오차(Average localization error) :

$$LE=\sum_{i=M+1}^{S}\frac{\|\widehat{\mathbb{L}_i}-\mathbb{L}_i\|}{N} \tag{3}$$

Ⅲ. 관련연구

본장에서는 Range-free 위치 인식 기법에 대해 설명하며, 이 중 앵커노드가 계산하는 홉 당 평균 거리를 사용해 일반노드가 앵커노드와의 거리를 추정하고 이를 바탕으로 위치를 추정하는 DV-Hop 알고리즘에 대해 자세히 알아본다. 또한 제안하는 알고리즘의 핵심이 되는 홉 수 별 홉 당 평균 거리 연구에 대해 설명한다.

3.1. Range-free 기법에 대한 연구

본 절에서는 대표적인 Range-free 방식인 APIT(Approximate P.I.T test)[7], Centroid[8]에 대해서 설명한다.

Centroid는 거리 정보에 기반을 두진 않는 위치 인식 기법 중 가장 간단한 방법인데, 일반 노드의 위치는 한 홉 거리에 위치한 앵커노드들의 무게중심으로 추정된다. 이 방식은 무척 간단하나, 앵커노드의 비율이 높아야만 위치 추정의 가능하다는 문제가 있다[8].

APIT에서는 일반노드는 3개의 앵커노드로 구성된 여러 조합을 구성하고, 각 조합의 앵커노드를 가

www.dbpia.co.kr

지고 삼각형을 만든다. 그 뒤 일반노드는 만들어진 각각의 삼각형 안에 자신이 위치하는지를 테스트하는데 이를 PIT 테스트라고 한다. 각 삼각형 마다 PIT 테스트를 하면서 등간격의 그리드 형태 네트워크에서 일반노드가 위치할 가능성이 높은 곳을 좁혀 나가고 이를 바탕으로 일반노드의 위치를 추정한다. 그러나 이 방식은 위치측정을 위해서 네트워크를 일정 격자로 나누어야 하기 때문에 오차의 범위가 크며 많은 앵커노드가 필요한 단점이 있다[7].

이 두 방식의 한계점을 해결하기 위해 제안된 DV-Hop 방식은 사전에 주어진 앵커노드 간 거리 정보를 추가적으로 활용해 위치 추정 정확도를 높인다. DV-Hop 알고리즘에 대해 다음 절에서 자세히 설명한다.

3.2. DV-Hop 알고리즘

DV-Hop은 앵커노드의 위치정보와 홉 수 정보를 사용하여 앵커노드의 평균 홉 당 거리를 계산함으로써 앵커노드와 일반노드 간 거리를 계산하고 일반노드의 위치를 추정한다. 위치 추정과정은 크게 앵커노드들의 위치와 앵커노드들로부터 떨어진 홉 수 정보를 얻기 위한 1)비콘 프레임(beacon frame)의 브로드 캐스트 과정, 2)앵커노드의 홉 당 평균 거리 계산, 3)앵커노드와 일반 노드 간의 거리 계산, 그리고 4)일반노드의 위치 계산으로 이루어진다. 알고리즘의 동작과정을 그림 1의 예제를 통해 자세히 설명한다.

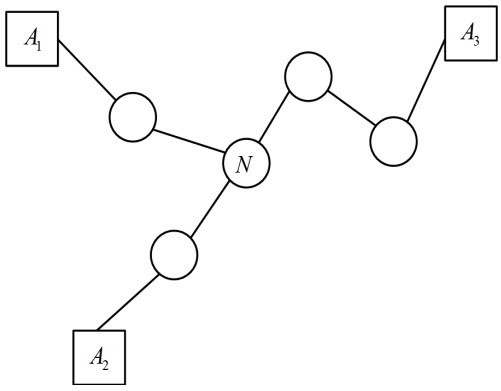

그림 1. 주어진 토폴로지 예
Fig. 1. An example of the given topology

그림 1에서 일반노드 N이 자신의 위치를 추정한다고 가정 한다. 앵커노드 A_1, A_2, A_3는 사전에 정확히 알고 있는 자신의 위치를 포함한 비콘 프레임을 브로드캐스팅 한다. 이 메시지는 각 노드들에 의해 전달된다. 이 과정을 통해 일반노드와 앵커노드는 자기 주변의 앵커노드들의 위치 좌표와 해당 앵커노드들로부터의 최소 홉 수를 저장한다.

그 뒤 앵커노드들은 홉 당 평균 거리 계산하기 위해 추가적으로 필요한 정보인 주변 앵커노드와의 거리를 자신과 주변 앵커노드들의 위치 좌표를 바탕으로 계산한다. 그림 1의 예제에서의 앵커노드 간의 거리와 앵커노드간의 홉 수는 표 1과 같다. 거리는 임의로 가정한다.

표 1. 앵커노드 간 최소 홉 수와 거리
Table 1. minimum hop counts and distance between anchor nodes.

	A_1와 A_2	A_2와 A_3	A_1와 A_3
최소 홉 수	4	5	5
거리(m)	100	120	110

앵커노드의 홉 당 평균 거리 계산 과정은 다음과 같다. 앵커노드는 다른 앵커노드들로부터의 거리와 최소 홉 수를 바탕으로 홉 당 평균 거리를 구한다. 앵커노드 i의 홉 당 평균 거리 r_i는 다음과 같이 구해진다.

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^{M} d_{ij}}{\sum_{j=1}^{M} h_{ij}}, \; j \neq i \tag{4}$$

홉 당 평균 거리를 계산 한 후, 모든 앵커노드는 자신의 홉 당 평균 거리 포함한 비콘 프레임을 브로드캐스팅 한다. 이 메시지는 각 노드들에 의해 전달된다. 이를 수신한 일반노드들은 앵커노드의 홉 당 평균 거리와 앵커노드까지의 홉 수를 바탕으로 앵커노드와의 거리를 추정한다. 일반노드와 앵커노드 사이의 거리는 해당 앵커노드의 홉 당 평균 거리와 홉 수의 곱으로 계산한다. 위 예제에서 각 앵커 노드가 계산한 홉 당 평균 거리, 일반노드 N과 각 앵커노드 사이의 홉 수 그리고 일반노드 N이 추정한 각 앵커노드까지의 거리 값은 표 2와 같다.

이로써 일반노드는 모든 앵커노드로부터 자신까지의 거리를 추정하고 추정된 앵커노드들과의 거리를 바탕으로 다변측량법(Multilateration)[11]을 사용해 자신의 위치를 추정한다. DV-Hop의 경우, 앞에서 설명한 Range-free 기법들[7,8]에 비해 앵커노드 간의 거리 정보를 일반노드의 위치 추정을 위해 추

www.dbpia.co.kr

가적으로 사용하기 때문에 위치 오차가 기존의 Range-free 방식[7,8]에 비해 작고, 이 기법들에 비해 비교적 낮은 앵커노드의 비율로도 일반노드의 위치 측정이 가능하다는 장점이 있다.

표 2. 앵커노드의 홉 당 평균거리, 일반 노드의 앵커로부터의 최소 홉 수, 일반 노드의 거리 추정 값
Table 2. Avg. Hop-distance of Anchor node, Hop-count and estimated distance from node N to Anchor nodes.

	A_1	A_2	A_3
홉 당 평균 거리(m)	$\frac{100+110}{4+5}$	$\frac{100+120}{4+5}$	$\frac{120+110}{5+5}$
앵커노드까지 최소 홉 수	2	2	3
앵커노드까지 추정거리(m)	23.3×2	24.4×2	23×3

3.3. 홉 수와 홉 당 평균 거리의 관계에 대한 연구

DV-Hop 기반의 알고리즘에서 한 앵커노드는 자신과 연결된 앵커노드들로부터 거리와 홉 수를 바탕으로 하나의 홉 당 평균 거리를 구한다. 그리고 일반노드와 앵커노드 간 거리는 최소 홉 수와 홉 수에 상관없이 같은 홉 당 평균 거리의 곱으로 계산된다. 이는 노드 간 거리가 홉 수에 비례해서 증가하고 홉 당 평균 거리는 홉 수에 상관없이 같다는 가정 즉, 등방성 네트워크를 바탕으로 하는 것이다. 하지만 노드 간 거리가 홉 수에 비례하지 않는 비등방성 네트워크에서는 홉 수가 증가 할수록 해당 경로는 곡선의 형태 가능성이 높기 때문에, 노드 간 거리는 홉 수에 비례해서 증가하지 않을 확률이 높고 홉 당 평균 거리 또한 홉 수가 증가할수록 짧아질 가능성이 높다. 따라서 앵커노드로부터의 홉 수가 증가할수록 더 짧은 홉 당 평균 거리를 사용하여 노드 간 경로의 거리를 추정해야 할 것이다. 결국 기존의 방법의 홉 수 별로 동일한 홉 당 평균 거리 사용은 홉 수가 증가 할수록 추정되는 거리의 정확도는 상당히 감소할 것이다.

홉 수의 증가에 따른 거리 추정의 정확도가 급격히 감소하는 특성을 확인하기 위해 성능 평가 기준 1)홉 수 h을 가지는 경로 별 거리 추정 오차(Distance estimation error for h hop paths: HDE)에 대해 DV-Hop 알고리즘을 시뮬레이션을 시행해 보았다. 시뮬레이션을 위해 200개의 노드(앵커노드 20%)를 $20\times20m^2$의 네트워크에 랜덤하게 배치했다. 또한 모든 노드의 전송반경은 $2m$로 같다고 가정했다. 결과는 그림 2와 같다. 가로 축은 홉 수를 나타내며 세로축은 해당 홉 수를 가지는 경로의 거리 추정 오차를 나타낸다.

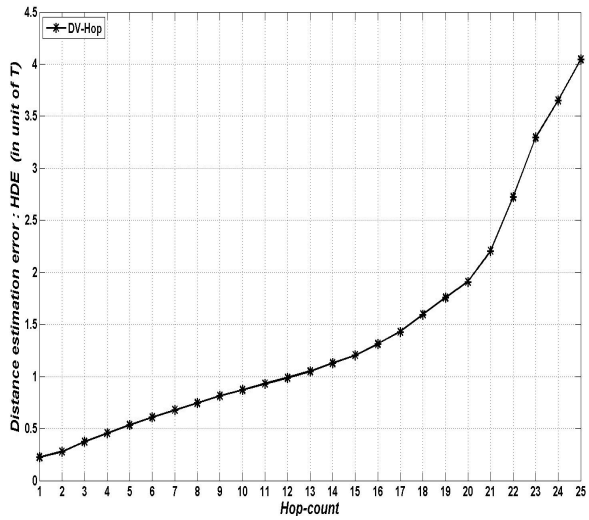

그림 2. DV-Hop 의 h-홉을 가지는 경로의 거리 오차(HDE)
Fig. 2. Distance estimation error (HDE) for h-hop paths of DV-Hop

홉 수에 대한 거리 추정 오차는 1 홉에서 12 ~ 14홉까지는 홉 수에 대해 선형적으로 증가 했지만 이후 홉 수가 증가 할수록 거리 추정 오차는 비선형적으로 급격하게 증가했다. 이는 홉 수 별 노드 간 거리가 홉 수에 대해 비례해서 증가하지 않는다는 것이다.

DV-Hop 알고리즘에서는 일반노드가 앵커노드와의 거리를 홉 수와 이 홉 수에 상관없이 일정한 홉 당 평균 거리의 곱으로 추정한다. 홉 수가 증가함에 따라 거리가 비례해서 증가하지 않고, 이 때문에 거리 추정 오차가 비선형적으로 증가했다는 것은 홉 수가 큰 경로의 경우에는 DV-Hop 알고리즘과는 달리 다른 홉 당 거리를 사용해 노드 간 거리를 추정해야 한다는 것이다. 즉, 홉 수에 따라 노드 간 경로의 거리 추정을 위해 사용해야할 홉 당 평균 거리가 다르다는 것이다. 물론, 홉 수가 큰 경로일수록 이 경로가 곡선의 형태일 가능성이 높기 때문에 거리 추정을 위해서는 짧은 홉 당 평균 거리를 사용해야 할 것이다. 다음 시뮬레이션을 통해 홉 수 별 적합한 홉 당 평균 거리에 대해 자세히 분석한다.

이번 시뮬레이션에서는 홉 수 별 홉 당 평균 거리 변화의 경향을 알아본다. 이 시뮬레이션을 통해 본 논문에서는 노드 간 거리를 추정함에 있어 적합

www.dbpia.co.kr

한 홉 당 평균 거리는 홉 수 별로 다름을 보이고자 한다. 시뮬레이션에서는 네트워크에 노드들을 랜덤하게 배치한 뒤 네트워크에 존재하는 모든 경로를 홉 수 별로 분류 한 뒤 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 구해 분석해보았다. 기본적인 모의실험 환경, 네트워크 크기 및 노드의 전송반경은 DV-Hop의 홉 수 별 거리 오차 확인을 위한 시뮬레이션 환경과 동일하며 비등방성 네트워크를 구성하기 위해 상대적으로 적은 노드 수를 사용해서 상대적으로 곡선 형태의 경로를 많이 발생시켰다. 한 노드를 기준으로 1 홉 내 평균 이웃 노드 수가 5(전체 노드 수 200), 6.5(전체 노드 수 250)개일 때에 대해서 각각 실험했다. 결과 그래프는 그림 3과 같다.

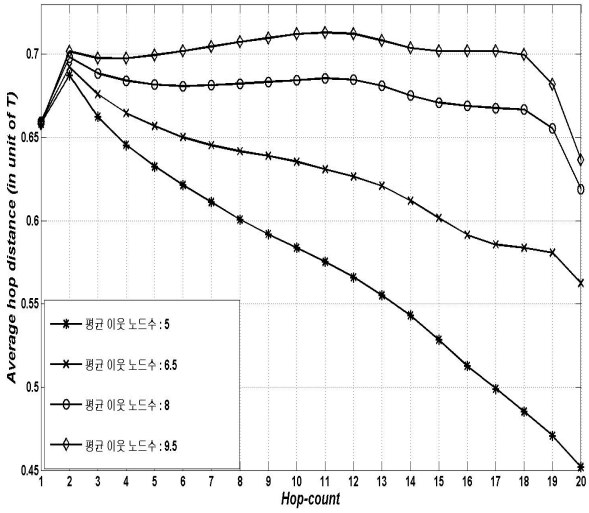

그림 3. h 홉을 가지는 경로에 대한 홉 당 평균 거리 비교
Fig. 3. Comparison of the average hop-distance for h-hop paths

평균 이웃 노드 수에 따라 차이는 있지만, 노드 간 홉 수가 작은 경로의 경우가 노드 간 홉 수가 큰 경우 보다 홉 당 평균 거리가 상대적으로 길었다. 이는 홉 수가 증가 하면 할수록 경로가 곡선의 형태일 확률이 높아져 홉 당 평균 거리는 상대적으로 짧고, 홉 수가 작은 경로는 직선의 형태일 확률이 높기 때문에 홉 당 평균 거리는 상대적으로 길어지기 때문이다. 이런 경향은 평균 이웃 노드 수, 즉 노드 밀도가 낮은 경우에는 더 심하게 나타났다. 평균 이웃 노드 수, 즉 노드 밀도가 높아지면 홉 수에 상관없이 대부분의 경로가 직선의 형태일 가능성이 높기 때문에 홉 당 평균 거리는 비슷하다.

그림 3으로부터 유추할 수 있는 사실은 노드 간의 거리를 계산함에 있어 거리 추정의 오차를 줄이기 위해서는 노드 간 홉 수에 따라 서로 다른 홉 당 거리를 사용해 계산해야 한다는 것이다. 일반노드가 자신의 위치를 추정함에 앞서 자신과 연결된 앵커노드와의 거리를 계산할 때, 만약 해당 앵커와 떨어진 홉 수가 크다면 상대적으로 짧은 홉 당 거리를, 홉 수가 작다면 상대적으로 긴 홉 당 거리를 사용해 거리를 계산하면 위치 추정의 정확도를 높일 수 있을 것이다. 홉 수 별 사용되는 홉 당 평균 거리의 값은 노드의 밀도가 낮아 1 홉 내 평균 이웃 노드 수가 적은 경우에는, 곡선 형태의 경로가 많아 홉 수 별 사용되는 홉 당 평균 거리의 차이가 심할 것이다. 또한, 노드 밀도가 높아 1 홉 내 평균 이웃 노드 수가 많은 환경에서는 경로가 대체적으로 직선의 형태이기 때문에 대체적으로 일정하기 때문에 비슷한 홉 당 평균 거리를 사용하게 될 것이다.

Ⅳ. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 앵커노드가 자신의 홉 당 평균 거리를 계산함에 있어 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 구한다. 이로부터 일반 노드가 앵커노드와 떨어진 홉 수에 따라 다른 홉 당 평균 거리를 사용해 앵커노드들과의 거리를 계산하고 자신의 위치를 추정함으로써 위치 추정의 정확도를 높이는 알고리즘을 제안한다.

제안하는 알고리즘의 동작은 크게 네 개의 과정으로 이루어진다. 1) 각 앵커노드는 비콘 프레임에 자신의 위치 좌표를 담아 브로드캐스트 하고 이 메시지는 각 노드들에 의해 전달된다. 이를 통해 일반노드와 앵커노드들은 자기 주변의 앵커노드의 위치 좌표와 홉 수 정보를 알게 된다. 여기서, 자신의 실제 위치를 아는 앵커노드는 다른 앵커노들과 떨어진 실제 거리를 계산한다. 이후 2) 앵커노드는 각 홉 수에 대해서 앵커노드 간의 홉 수와 거리 정보를 사용하여 홉 당 거리를 계산하고 이를 브로드캐스트 한다. 3) 이를 수신한 일반노드는 수신한 정보를 통해서 자신과 앵커노드 사이의 거리를 홉 수와 홉 당 평균거리를 바탕으로 계산한다. 그리고 4) 일반노드는 계산한 앵커노드들과의 거리를 이용하여 자신의 위치를 추정한다. 제안하는 알고리즘의 기본적인 과정은 DV-Hop과 동일하다. 제안하는 알고리즘의 핵심 과정인 앵커노드의 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 구하는 과정(2번 과정), 일반 노드의 앵커노드와 거리 추정, 그리고 일반노드의 위치 추정 과정(3, 4번 과정)에 대해서 자세히 설명한다.

www.dbpia.co.kr

4.1. 홉 수 별 홉 당 평균 거리 계산

각 앵커노드는 각 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 계산한다. 사용하는 정보는 주변 앵커노들과 홉 수 정보와 거리 정보이다. 계산과정은 다음과 같다.

앵커노드는 주변의 앵커노드들을 홉 수 별로 분류한다. 그 뒤 각 홉 수 별로, 즉 1 홉부터 연결된 앵커 노드 중 가장 큰 홉 수로 연결된 앵커노드의 홉 수까지 홉 당 평균 거리를 각각 구한다. 특정 앵커노드 i로 홉 수 h에 대한 홉 당 평균 거리 r_{ih}를 식 (5)와 같이 구한다.

$$r_{ih} = \frac{\sum_{j=1}^{M} d_{ij}}{\sum_{j=1}^{M} h_{ij}}, \; j \in N_{ih}, j \neq i \qquad (5)$$

여기서 N_{ih}={앵커노드 i로부터 홉 수 h만큼 떨어진 앵커노드들}로 정의되는 집합이다. 단 N_{ih}가 공집합인 경우에 대해선 계산하지 않는다.

식 (5)를 바탕으로 앵커노드는 각 홉 수 h에 대한 홉 당 평균 거리를 산출하고 각 홉 수에 대해 홉 당 평균 거리 테이블을 작성한다.

여기서 문제는, 앵커노드 마다 연결된 앵커 노드 수의 한계가 있기 때문에, 1 홉과 최대 홉 사이의 각 홉 수마다 주변에 존재하는 앵커노드가 없을 수 있다는 점과 각 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 계산하기 위한 같은 홉 수를 가지는 앵커노드 수가 많지 않다는 점이다. 이로 인해 각 앵커노드가 계산하는 각 홉 수에 대한 홉 당 평균 거리 테이블에는 임의의 홉 수에는 홉 당 거리 값이 존재 하지 않을 수도 있으며, 계산된 홉 당 거리 값은 적은 표본수로부터 계산된 신뢰도가 떨어지는 홉 당 평균 거리 값이 존재 할 수 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 알고리즘에서는 곡선접합(Curve fitting) 기법을 사용한다.

곡선접합 기법은 주어진 데이터 집합들로부터 그 데이터 집합의 경향을 추정하고 곡선의 형태로 나타내는 것이며, 최소 자승법을 사용하는 다항식 곡선접합 기법이 대표적이다. 다항식 곡선접합 기법은 데이터들과의 오차 제곱의 합을 최소로 하는 곡선을 다항식으로 가정하고 최소자승법을 통해 얻어낸다. 본 논문에서는 주어진 데이터들로부터 보정되는 곡선의 신뢰도를 높이기 위해 추정될 곡선을 6차 다항식으로 가정하고 홉 수 별로 보정된 홉 당 평균거리 곡선을 구한다. 계산 과정은 다음과 같다.

특정 앵커노드 i가 (5)를 바탕으로 홉 수 h 각각에 대해 계산한 홉 당 평균 거리 r_{ih}를 계산했다고 가정하자. 곡선접합을 하기에 앞서 1 홉에서 최대 홉 까지 중에 해당 홉 수를 가진 주변의 앵커노드가 없어 계산된 홉 당 평균 거리 값이 존재 하지 않는 홉 수에 대해 근접한 홉 수의 홉 당 평균 거리 값을 참조해 적절한 값을 채워준다. 제안하는 알고리즘은 바로 주변 홉 수(1~2홉)의 홉 당 평균 거리 값의 평균을 취해 사용했다. 여기서 최대 홉을 변수 n으로 정의한다. 이로부터 앵커노드 i는 1 홉에서 최대 홉 사이 모든 홉 수 h에 대해 보정되기 전의 r_{ih}값을 저장한다. 이후 시행되는 곡선접합 과정은 다음과 같다.

첫째로, 홉 수에 대한 홉 당 거리의 데이터들로부터 그려낼 6차 다항식으로 정의되는 곡선을 식 (6)과 같이 정의한다.

$$f(h) = \sum_{k=0}^{6} a_k h^k \qquad (6)$$

각 홉 수에 대한 계산된 홉 당 평균 거리 값 r_{ih} 값들로부터 최소자승법을 사용하여 식 (6)의 곡선을 얻기 위해서는 각 홉 수에서 홉 당 평균 거리 값 r_{ih}들과 각 홉 수에 대한 다항식의 결과 값의 오차 제곱 합을 최소화하는 상수 $a_0,..,a_6$을 구해야 한다. 이를 위해 목적 함수를 식 (7)과 같이 정의한다.

$$\min \sum_{h=1}^{n} (r_{ih} - \sum_{k=0}^{6} a_k h^k)^2 \qquad (7)$$

목적 함수를 상수와 계수에 대해 각각 편미분 한 뒤에 0을 만드는 값들을 찾음으로써 상수와 계수들을 간단하게 구할 수 있다. 구해진 상수와 계수들을 바탕으로 각 홉 수에 대한 곡선 접합된 홉 당 평균 거리 그래프를 얻어낼 수 있다. 모든 앵커노드들은 위와 같이 각 홉 수에 대한 홉 당 평균 거리를 계산하고 이를 테이블로 만들어 일반노드들에게 전송한다.

그림 4는 곡선 접합 전과 후의 임의의 한 앵커노드가 계산한 각 홉 수에 대한 홉 당 평균 거리 그래프로 나타낸 예제이다. 이 앵커노드는 주위에 5, 10홉 떨어진 앵커노드는 없었다. 이 앵커노드가 존재하지 않는 홉 수에 대한 홉 당 평균 거리 값을 얻어내고, 각 홉 수 별로 홉 당 평균 거리를 곡선

www.dbpia.co.kr

접합을 통해 보정한 결과다.

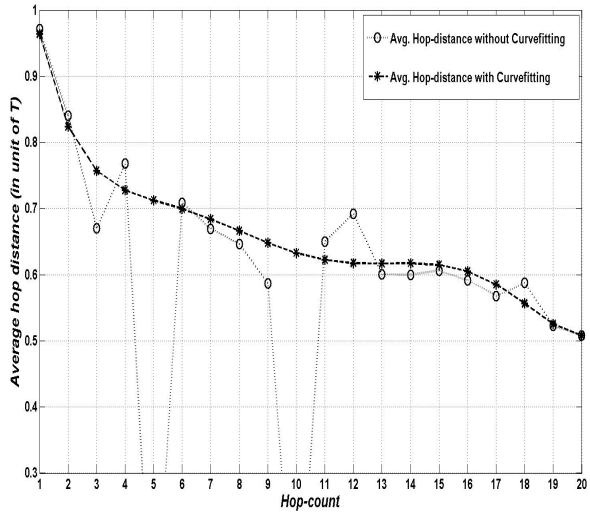

그림 4. h 홉을 가지는 경로 별 홉 당 평균 거리에 대한 계산 예
Fig. 4. An example of calculation of Avgerage hop distance for h hop paths

4.2. 일발노드의 앵커노드와의 거리 산출 및 자신의 위치 추정

앵커노드들로부터 테이블을 전송받은 일반노드는 자신의 위치를 계산하기 위해 앵커노드들과의 거리를 계산한다. 계산과정은 다음과 같다. 앵커노드와의 거리는 사전에 알고 있던 앵커노드로 부터의 최소 홉 수와 앵커노드가 전송한 테이블에서 해당 홉 수에 해당하는 홉 당 평균 거리의 곱으로 구해진다. 즉 일반노드 i가 추정하는 앵커노드 j까지 추정 거리 $\hat{d_{ij}}$는 식 (8)과 같이 계산된다.

$$\hat{d_{ij}} = h_{ij} \times r_{jh_{ij}} \tag{8}$$

여기서 $r_{jh_{ij}}$는 일반노드 i와 앵커노드 j간의 홉 수 h_{ij}에 대해 앵커노드 j가 계산한 홉 당 평균 거리 값이다.

일반노드는 각 앵커노드로부터 자신까지 떨어진 거리를 산출하고 추정된 앵커로부터의 거리 정보를 바탕으로 자신의 위치를 추정한다. 산출된 거리정보들을 바탕으로 위치를 추정하는 방법은 다양한 방식이 소개되었다. 본 논문에서는 다변측량법(Multilateration)[11]을 적용하여 일반노드의 위치를 예측한다. 이처럼 제안하는 알고리즘에서는 일반노드가 앵커노드로부터 떨어진 홉 수에 따라 달리 계산한 홉 당 평균거리를 사용해 위치를 계산함으로써 위치 계산의 정확도를 높인다. 제안하는 알고리즘은 앵커노드가 홉 수 별로 홉 당 거리를 계산하고 이를 일반 노드에게 전송하기 때문에 단순히 앵커노드 아이디와 홉 당 평균 거리만을 전송하는 DV-Hop 알고리즘에 비해 전송하는 정보량이 증가하는 특징이 있다.

V. 성능 분석 및 평가

이번 장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 제안하는 알고리즘과 DV-Hop 알고리즘을 II장에서 정의한 세 가지 성능 평가 기준을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 비교 분석 한다. 본 성능 평가에서는 노드를 랜덤으로 배치하고 노드 밀도를 낮추어 노드 간에 곡선 형태의 경로가 많도록 네트워크를 구성한다. 시뮬레이션 환경은 표 3과 같다. 매 실험 마다 다른 네트워크에서 수행되었으며 100번의 실험을 통해 평균값을 얻어냈다.

표 3. 시뮬레이션 환경
Table 3. Simulation environments.

환경	값
네트워크 크기	$20 \times 20\ m^2$
무선노드의 수	200 ~ 300 개
앵커노드의 비율	20%
무선노드의 전송반경	2 m

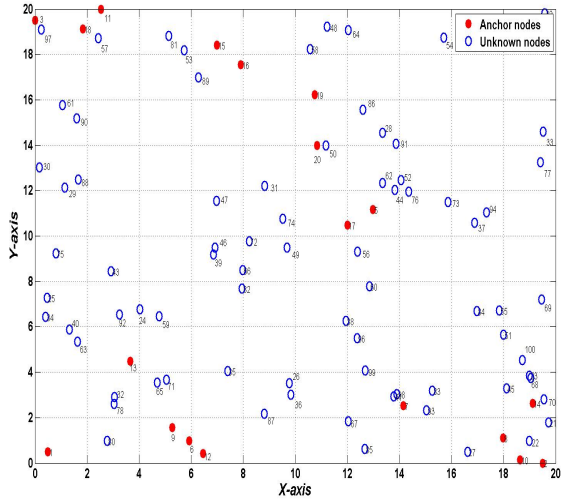

그림 5. 성능 평가를 위한 네트워크 토폴로지 예 (랜덤 배치)
Fig. 5. An example of network topology for performance evaluation (Random deployment)

그림 5 는 앵커노드와 일반노드로 구성된 랜덤 배치 네트워크의 예이다. 네트워크의 형태는 그림 5와

www.dbpia.co.kr

같이 모든 노드의 랜덤 배치를 기본으로 한다.

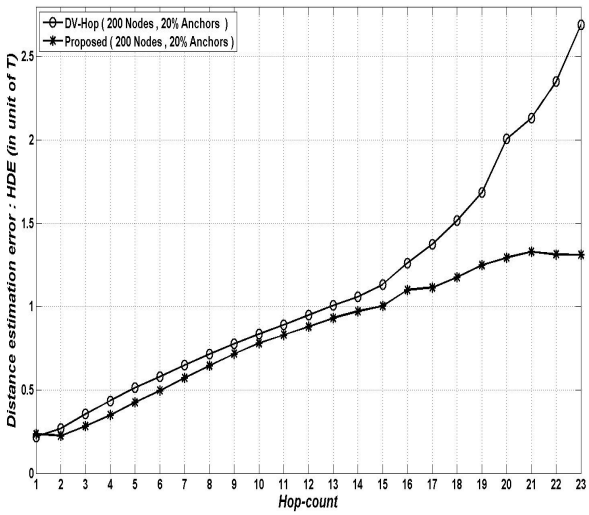

그림 6. h 홉을 가지는 경로 별 거리 오차(HDE) 비교 (전체 노드 수 : 200)
Fig. 6. Comparison of distance estimation error (HDE) for h hop paths (total nodes : 200)

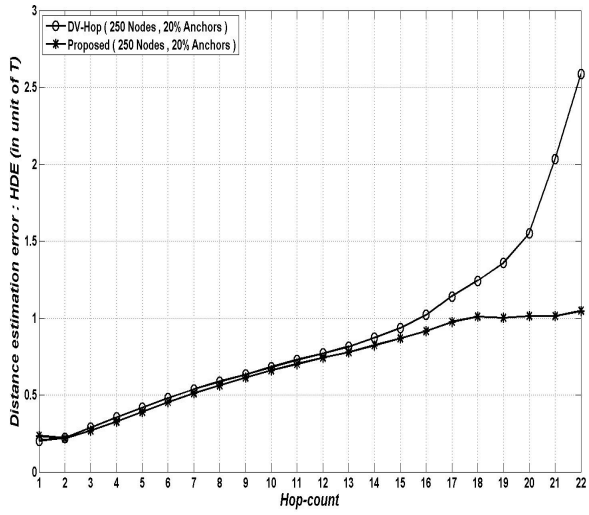

Fig. 7. Comparison of distance estimation error (HDE) for h hop paths (total nodes : 250)
그림 7. h 홉을 가지는 경로에 대한 거리 오차(HDE) 비교 (전체 노드 수 : 250)

그림 6, 7은 DV-Hop과 제안하는 알고리즘을 성능 평가 기준 1)인 홉 수 h를 가지는 경로 별 거리 추정 오차(Distance estimation error for h hop paths: HDE) 측면에서 전체 노드 수가 200 개, 250 개일 때 성능을 비교한 그래프이다. 가로축은 홉 수, 세로축은 각 홉 수를 가지는 경로에 대한 거리 추정 오차를 나타낸다.

그래프 모두에서, 홉 수가 증가하면 할수록 DV-Hop의 경우 홉 수에 대한 거리 오차의 증가 정도는 심해지지만 제안하는 알고리즘의 경우, 홉 수 증가에 따른 거리 오차의 증가 정도가 DV-Hop에 비해 완만함을 보였다. DV-Hop의 경우 홉 수가 큰 경우에는 평균 거리 오차가 비선형적으로 급격하게 증가하지만, 제안하는 알고리즘의 경우 선형적으로 증가했다.

일반적으로 홉 수가 작은 경우에는 경로가 직선일 가능성이 높기 때문에 상대적으로 긴 홉 당 평균 거리를 사용하는 것이 적합하고, 홉 수가 증가함에 따라 경로의 곡선의 정도가 심해지기 때문에 짧은 홉 당 평균 거리를 사용해 앵커노드와의 거리를 추정하는 것이 좀 더 적합하다.

DV-Hop은 모든 홉 수에 대해 일반 노드가 동일한 홉 당 평균 거리를 사용해 앵커노드와의 거리를 추정한다. 반면에, 제안하는 알고리즘은 홉 수마다 다른 홉 당 평균 거리를 사용해 앵커노드와의 거리를 추정한다. 홉 수가 큰 경우에는 상대적으로 짧은 홉 당 평균 거리를 사용해 거리를 추정하고 홉 수가 작은 경우에는 상대적으로 긴 홉 당 평균 거리를 사용해 추정한다. 따라서 제안하는 알고리즘의 홉 수에 대한 평균 거리 오차 성능이 DV-Hop의 홉 수에 대한 평균 거리 오차 성능에 비해 우수하다.

그림 8은 전체 노드 수를 200개에서 300개까지 늘려가며, 성능 평가 기준 2)인 전체 평균 거리 오차(Overall average distance estimation error: ODE)에 대해 시뮬레이션 한 그래프이다.

그림 8의 그래프처럼 전체 평균 거리 오차는 전체 노드 수에 대해서 제안하는 알고리즘이 DV-Hop에 비해 낮다. 노드 수가 적은 200, 220개에서는 오차의 격차가 컸으며 노드 수가 증가하면서 격차는 감소했다.

그림 6, 7에서 보였듯이 제안하는 알고리즘은 각 홉 수에서 모두 DV-Hop에 비해 평균 거리 오차 성능이 뛰어나다. 따라서 전체 평균 거리 오차도 역시 DV-Hop에 비해 우수할 것이다. 두 알고리즘의 성능 차이는 노드 밀도가 작은 노드 수 200~240개에서 좀 더 확실하게 나타나는데 이는 노드 밀도가 낮을수록 토폴로지 상에 곡선 형태 경로들이 좀 더 많이 존재할 것이기 때문이다. 이 경우, 제안하는 알고리즘에서는 일반노드가 홉 수 별로 다른 홉 당 평균 거리를 사용해 앵커노드와의 거리를 추정하기 때문에 홉 수에 상관없이 동일한 홉 당 평균 거리를 사용해 앵커노드와의 거리를 추정하는 DV-Hop에 비해 전체 평균 거리 오차 측면에서 좀

www.dbpia.co.kr

더 우수한 성능을 보인다.

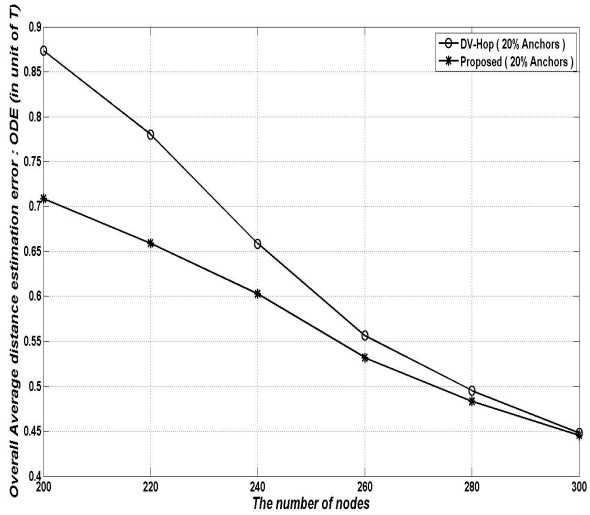

그림 8. 노드 수에 대한 전체 평균 거리 추정 오차 (ODE)의 비교
Fig. 8. Comparison of the overall average distance estimation error (ODE) for the number of nodes

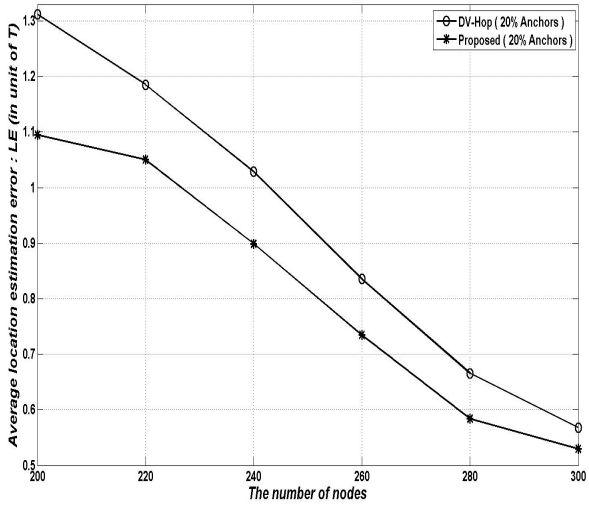

그림 9. 노드 수에 대한 전체 평균 위치 추정오차 (LE) 의 비교
Fig. 9. Comparison of the average location estimation error (LE) for the number of nodes

그림 9는 성능 평가 기준 3)일반노드의 평균 위치 추정 오차(Average localization error : LE) 측면에서 제안하는 알고리즘과 DV-Hop 알고리즘을 전체 노드 수를 200개에서 300개 까지 변화시켜가며 성능을 비교한 결과이다.

모든 노드 수에서 제안하는 알고리즘의 위치 추정 오차 성능이 DV-Hop의 성능에 비해 우수했다. 두 알고리즘 모두 일반노드가 위치를 추정하기 위해 자신과 연결된 앵커노드들과의 거리를 추정하고 이를 바탕으로 위치를 추정한다. 그림 6, 7, 8에서 보였듯이 제안하는 알고리즘이 DV-Hop에 비해 일반노드가 앵커노드와의 거리를 추정함에 있어 좀 더 정확한 성능을 보였다. 따라서 일반노드의 위치 추정에도 있어 좀 더 우수한 성능을 보일 것이다. 거리 오차 와 마찬가지로 노드 수가 적은 상황에서 성능의 차이는 좀 더 심하게 나타난다. 그리고 대부분의 경로가 직선의 형태를 가질 가능성이 높은 노드 수가 많은 환경에서는, 그림 3에서 보였듯이 제안하는 알고리즘이 구하는 각 홉 수에 대한 홉 당 평균 거리가 대체적으로 비슷하기 때문에 DV-Hop과 비슷한 성능을 보인다.

Ⅵ. 결 론

일반노드와 앵커노드의 추정된 거리를 바탕으로 일반노드의 위치를 추정하는 DV-Hop 기반의 연구들에서는 노드 간 거리는 홉 수에 비례해서 증가하며, 홉 당 평균 거리는 홉 수에 상관없이 일정하다고 가정 즉, 등방성 토폴로지를 가정하고 거리 추정에 사용된 홉 당 평균 거리 계산 과정의 개선점을 제안해왔다. 하지만, 비등방성 토폴로지에서는 홉 수가 증가 할수록 노드 간 거리는 홉 수에 비례해서 증가하지 않으며 평균 홉 당 거리 또한 홉 수별로 일정하지 않다. 이는 홉 수가 증가할수록 곡선 형태의 경로가 많기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 기존에 제안된 DV-Hop 기반의 연구들과는 달리 앵커노드가 자신의 홉 당 거리를 계산함에 있어 홉 수 별로 각각 다른 홉 당 평균 거리를 구해서 일반 노드가 앵커와 떨어진 홉 수에 따라 다른 홉 당 거리를 사용해 거리를 추정하고 이를 바탕으로 일반노드의 위치를 추정함으로써 비등방성 토폴로지에서도 위치 추정의 정확도를 높이는 알고리즘을 제안하고 이를 모의실험을 통해 증명했다.

References

[1] H. Woo, D. Lee and C. Lee, "*The network reliability based OLSR protocol*," Journal of Institute of Electronics Engineers of Korea on Computer and Information, vol. 45, no. 6, pp. 68-76, Nov. 2008.

[2] C. Jaegal and C. Lee, "A*n Efficient Flooding Algorithm for Position-based Wireless Ad hoc Networks*," Journal of

www.dbpia.co.kr

Institute of Electronics Engineers of Korea on Telecommunications, vol. 45, no. 10, pp.17-28, Oct. 2008.

[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, Jul. 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, Jan. 2004.

[5] M. Robinson and I. Psaromiligkos, "*Received Signal Strength Based Location Estimation of a Wireless LAN Client,*" IEEE WCNC 2005, pp. 2350-2354, Mar. 2005.

[6] D. Niculescu and B. Nath, "*Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA*," INFOCOM 2003, Vol. 3, no. 30, Mar.-Apr. 2003.

[7] 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,Sep. 2003.

[8] 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, Oct. 2000.

[9] D. Niculescu and B. Nath, "*Ad Hoc Positioning System(APS)*," in Proc. of the IEEE International Conference on INFOCOM, pp. 2926-2931, Nov. 2001.

[10] S. Lee, D. Lee, and C. Lee, "*Enhanced DV-Hop Algorithm with Reduced Hop-Size Error in Ad Hoc Networks*", IEICE Transactions on Communications, Vol. E94-B, No. 07, pp.2130-2132, Jul. 2011.

[11] K. Langendoen and N. Reijers, "*Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison*," Computer Networks, vol. 43, no. 4, pp. 499-518, Aug. 2003.

우 현 재 (Hyun-Jae Woo)

2008년 2월 아주대학교 전자공학과 학사 졸업

2008년 3월~현재 아주대학교 전자공학과 석/박사 통합과정

<관심분야> Localization, WSN

이 채 우 (Chae-Woo Lee)

1985년 2월 서울대학교 제어계측 학사 졸업

1988년 8월 한국과학기술원 전자공학과 석사 졸업

1995년 8월 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 전작공학과 부교수

<관심분야> 광대역 통신망, Traffic Engineering, Ubiquitous Networking

www.dbpia.co.kr