그룹 기반의 DV-Hop 무선 센서네트워크 위치측정 알고리즘

준회원 김 화 중*, 종신회원 유 상 조**

Group based DV-Hop localization Algorithm in Wireless Sensor Network

Hwa-Joong Kim* *Associate Member*, Sang-Jo Yoo** *Lifelong Member*

요 약

무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network) 환경에서 사건의 탐지(event detection)와 라우팅(routing), 정보 추적(information tracking) 등의 중요한 기능을 수행하기 위해 센서노드의 위치를 측정하는 문제는 반드시 해결되어야 한다. DV-Hop 알고리즘은 멀티 홉에서 얻어지는 정보를 기반으로 위치를 측정하며 비교적 적은 앵커로도 구현이 가능하지만 보다 정밀한 위치측정을 위해 개선되어야 할 부분이 존재한다. 그러한 요인 중 하나로 알고리즘에 사용되는 홉 간 거리가 여러 앵커 노드로 부터의 홉 간 거리의 평균값으로 계산되는 것을 들 수 있다. 이는 홀(Hole)과 같은 장애물에 의한 홉 수의 증가로 발생할 수 있는 미지노드와 앵커사이에 거리 값 계산의 오차를 발생시킨다. 본 논문에서는 DV-Hop 알고리즘의 이러한 문제점을 분석하고 이를 보완 가능한 그룹기반 DV-Hop(GDV-Hop) 알고리즘을 제시한다. 그룹 기반 DV-Hop 알고리즘은 다양한 비컨의 라우팅 경로에 의한 위치오차를 효과적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라 불필요한 비컨전송의 오버헤드를 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

Key Words : DV-Hop, Wireless sensor networkm, localization, GDV-Hop

ABSTRACT

In Wireless Sensor Network, the sensor node localization is important issue for information tracking, event detection, routing. Generally, in wireless sensor network localization, the absolute positions of certain anchor nodes are required based on the use of global positioning system, then all the other nodes are approximately localized using various algorithms based on a coordinate system of anchor. DV-Hop is a localized, distributed, hop by hop positioning algorithm in wireless sensor network where only a limited fraction of nodes have self positioning capability. However, instead of uniformly distributed network, in anisotropic network with possible holes, DV-Hop's performance is very low. To address this issue, we propose Group based DV-Hop (GDV-Hop) algorithm. Best contribution of GDV-Hop is that it performs localization with reduced error compared with DV-Hop in anisotropic network.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥연구원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-C1090-0801-0019).
* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망 연구실 (ki8107@naver.com)
** 인하대학교 정보통신대학원 교수 (sjyoo@inha.ac.kr)
논문번호 : KICS2008-08-357, 접수일자 : 2008년 8월 18일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 20일

Ⅰ. 서 론

최근 하나의 기판위에 기계 부품, 센서, 액츄에이터, 전자 회로를 집적화하는 MEMS(Micro electro mechanical Systems) 기술이 발달함으로써 무선 센서네트워크에 대한 관심이 고조되고 있다. 무선 센서 네트워크는 수백 혹은 수천 개의 센서노드들로 이루어져 있으며 기반 인프라의 지원 없이 각각의 노드가 스스로 네트워크를 구성하여 통신하는 것을 말한다. 센서 네트워크는 의료, 국방, 산업, 생태계 보존 등 활용할 수 있는 분야의 다 양함으로 인해 각광 받고 있는 차세대 기술이며 앞으로 그에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상되며 가까운 미래에는 무선 센서 네트워크를 이용한 여러 가지 서비스가 창출될 것이다.

위치 정보가 포함되지 않으면 채집된 정보는 활용이 불가능하고 베이스 스테이션까지의 효과적인 라우팅(routing)[1] 또한 어렵게 된다. 따라서 센서노드의 위치를 측정하는 문제는 무선 센서 네트워크에서 반드시 해결해야 하는 중요한 이슈 중의 하나로 정보의 탐색과 추적과 같은 측면에서 매우 중요하다. 이때, 무선 센서 네트워크 사용되는 센서노드의 수가 수백, 수천 개에 이르므로 이를 모두 수동으로 입력한다는 것은 불가능하므로 모든 센서노드의 위치는 네트워크 시스템에서 자동으로 결정하게 하는 것이 가장 바람직하다.

거리정보에 기반을 둔 방식(Range-based)과 거리정보에 기반을 두지 않은 방식(Range-free)은 위치를 측정하는데 있어서 노드사이의 정확한 거리의 측정여부를 두고 분류된 방법이다. 거리정보에 기반을 둔 방식은 거리측정의 정밀도에 따라 측정된 위치의 정확성 여부가 결정되므로 정밀한 거리를 측정할 수 있는 고가의 장비의 사용이 요구되므로 많은 수의 센서 노드에 적용하기는 부적합한 특징을 지니고 있다. 이에 반해 거리정보에 기반을 두지 않은 방식은 절대적 거리나 각도 등의 정보 없이 일반적인 센서 노드가 가질 수 있는 정보를 활용한 알고리즘 중심적 방법이며 주변 노드들과 협력적인 네트워킹으로 높은 정확도를 가질 수 있게 한다. 따라서 센서 네트워크에서 위치측정은 거리정보에 기반을 두지 않은 방식의 접근이 가장 바람직하다고 볼 수 있다.

거리정보에 기반을 두지 않은 방식은 위치가 알려진 소수 개의 노드를 기준으로 나머지 노드들의 위치를 찾는 방식을 주로 사용하며 이때 위치가 알려진 노드를 앵커(anchor) 노드, 혹은 레퍼런스(reference) 노드라고 하고 위치가 알려지지 않은 노드를 미지(unknown) 노드, 혹은 블라인드(blind) 노드라고 부른다. 거리정보에 기반을 두지 않은 대표적인 위치측정 알고리즘으로 Centroid[2], APIT[3], DV-Hop[4] 등이 있으며 이중 DV-Hop은 구현이 간단하고 비교적 적은 앵커노드로도 정밀한 위치측정이 가능한 멀티 홉(multi-hop)기법의 알고리즘이다. DV-Hop은 미지노드들이 앵커가 전송한 비컨과 한 홉 거리정보를 수신하여 이를 거리로 환산하여 자신의 위치를 찾는 과정을 가지는 알고리즘이다. DV-Hop에서 각 앵커노드들은 자신의 위치와 한 홉 거리정보를 두 번의 플러딩을 통해 네트워크 전체로 전달한다. 이는 멀티홉을 통한 패킷 릴레이의 오버헤드(overhead)를 발생하며, 이러한 오버헤드를 줄이기 위한 연구도 진행되고 있다.[5]

DV-Hop은 anisotropic 네트워크에 적용되었을 경우 불균일한 비컨의 경로로 인해 큰 위치오차를 갖는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 DV-Hop이 가지는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 지역적으로 분산된 개념의 그룹기반 DV-Hop(GDV-Hop)을 제안한다. 그룹기반 DV-Hop은 네트워크 필드를 앵커를 기준으로 여러 그룹으로 나누어 그룹에 따른 거리계산법을 제안함으로써 다양한 라우팅 경로에 따른 왜곡된 홉 수에 의해 발생되는 위치오차를 줄이는 데 효과적이다. 또한 한 홉 거리의 전송범위를 그룹으로 제안함으로써 네트워크 전체로 비컨이 플러딩되는 오버헤드를 방지한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 센서네트워크에서 다루었던 위치측정 알고리즘에 대하여 설명하고 III장에서는 제안된 그룹기반 한 홉 거리를 적용하는 방법을 설명한다. IV장에서는 모의실험을 통해 그룹기반 DV-Hop의 향상된 성능을 증명하며, 마지막 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

무선 센서네트워크 환경에서의 위치측정은 하드웨어의 성능, 시간과 전력 소모, 송수신 장치의 방식, 실내 및 실외 환경 등의 사항들을 고려하여 조건에 맞는 접근방식을 달리해야 한다. 따라서 위치측정 기법들도 위에서 열거된 기준에 따라 여러 범주로 나누어지게 된다. 본 장에서는 기존에 연구되었던 위치측정 방법을 노드 간 거리측정의 유무를 기준으로 거리정보에 기반을 둔 방식(Range-based)

과 거리정보에 기반을 두지 않은 방식(Range-free)으로 나누어 설명한다.

2.1 거리정보에 기반을 둔 위치측정 기술

ToA(Time of Arrival)[6] 기술은 전송 노드가 신호를 발생시켜서 신호가 목적 노드에 도달한 시간을 거리로 변환시키는 기술이며 ToF(Time of Flight)라고 불리기도 한다. 즉, 소리 혹은 초음파와 같은 신호를 전송하여 목적지에 도달하기까지의 시간에 신호의 속도를 곱한 값이 거리가 된다. ToA방식에서 두 노드사이의 신호의 전송시간을 정확히 측정하기 위해서는 양 단 말간 클럭의 동기화가 정확히 이루어 져야 한다. ToA방식을 사용하는 대표적인 예로 GPS시스템을 들 수 있으며, GPS시스템은 위성과의 클럭을 정확하게 동기화하기 위해 비싼 장비와 전기적 에너지 소모를 필요로 한다.

TDoA(Time Difference of Arrival)[7] 기술은 속도가 다른 두 신호를 동시에 전송하여 두 신호가 목적지에 도착하는 시간의 차이를 거리로 환산하는 기술이다. 일반적으로 초음파 신호와 라디오 신호를 동시에 전송하며 라디오 신호는 빛의 속도로 진행되고 초음파 신호는 음속으로 진행되는 속도의 차이를 이용한다. 따라서 TDoA 기술은 절대적인 시간 정보를 이용하지 않고 수신된 두 신호의 시간차만을 이용하므로 ToA와 같은 정밀한 동기화가 요구되지 않지만 실제로 두 신호를 동시에 보내기 어려우므로 오차를 보정하는 방식을 취하게 된다.

ToA와 TDoA 기술 모두 시간 측정의 정확도가 성능을 좌우하게 된다. 신호의 시간 측정을 이용한 거리정보는 반드시 Line of Sight(LOS)에 의존하여야 하지만 건물과 같은 주변 환경에 의한 반사와 굴절로 인해 Non Line Of Sight(NLOS)의 문제가 발생하게 되고 이는 위치를 측정하는데 오류를 발생 시킨다. 따라서 NLOS로 인한 오류를 해결할 수 있는 여러 가지 연구가 행해지고 있으며 많은 논문들이 NLOS문제를 해결하기 위한 방법을 제시하였다.[8,9]

2.1.1 수신신호의 세기에 기반을 둔 위치측정 기술

RSSI(Received Signal Strength Indication)[10]는 신호를 수신한 노드가 신호의 강도를 이용하여 신호가 감쇄된 정도를 거리로 환산하는 방법이며 거리(d)는 수신된 신호강도(I)와 식 (1)과 같은 관계를 갖는다. 이때 지수 α와 k는 실험 환경을 고려한 상수이다.

$$I \propto \frac{k}{d^{\alpha}} \tag{1}$$

그러나 RSSI 값은 주변 환경에 매우 민감한 변화를 보이며, 페이딩(fading), 신호 대 잡음비(SNRs), 다중 사용자 간섭(multiuser interference) 등의 영향에 따라 α와 k값이 수시로 변하므로 정확한 거리를 구하는 것은 어렵다. 이렇게 불규칙한 특성을 갖는 RSSI값을 거리측정에 사용하기 위해 통계적 특성을 이용한 필터링이나 샘플링 기법이 요구되며, calibration을 통한 해결방안도 연구되었다.[11] 또 Ramadurai는 일정한 신호의 반복된 실험을 통해 저장된 RSSI 데이터를 실험 환경에 따른 분포를 고려하여 확률적 접근을 통한 신뢰성 있는 거리 정보로 사용하는 방법을 제시하였다.[12]

2.2 거리정보에 기반을 두지 않은 위치인식 기술

2.2.1 중점기법

중점기법(Centroid)은 거리정보에 기반을 두지 않은 방식 중 가장 구현이 간단한 기법으로 타겟의 위치 정보를 알기 위해 앵커의 비컨신호를 사용하며 타겟의 위치는 다수의 앵커로부터 한 홉으로 인식이 가능한 공통된 지역의 중심으로 나타낸다. 식 (2)는 중점기법의 수식을 나타내며 n개의 앵커노드로부터 비컨을 수신하였을 경우 측정된 미지노드의 좌표를 X_t와 Y_t로 나타내었다. 이때 X_k Y_k는 수신된 비컨 중 k번째 앵커의 X축과 Y축의 좌표를 나타낸다.

$$(X_t, Y_t) = \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{X_k}{n}, \frac{Y_k}{n}\right) \tag{1}$$

2.2.2 APIT

APIT(Approximate Point In Triangle)는 한 홉으로 연결이 가능한 앵커들로 삼각형을 형성하고, 타겟 노드가 그 삼각형 내부에 있는지의 여부를 인식한 후, 타겟노드를 포함하는 삼각형 영역의 중첩된 영역의 중심점을 타겟의 위치로 결정하는 알고리즘이다. 따라서 앵커는 많은 수의 삼각형을 형성하기 위해 전송범위가 긴 방향성 안테나를 장착해야 하며 타겟노드를 포함한 일반 미지노드들은 앵커로부터 수신된 신호의 세기를 측정할 수 있어야 한다.

PPIT(Perfect Point in Triangle) 테스트는 타겟노드가 이동할 경우 삼각형을 이루는 3개의 앵커노드로부터 수신하는 신호의 증가, 감소의 여부로 삼각형의 내부에 위치하는지 혹은 외부의 위치하는 지를 판단한다. 만일 노드가 삼각형의 외부에 있다면 노드가

삼각형에서 멀어지는 방향으로 이동할 경우 3개의 앵커로부터의 수신된 신호세기가 모두 감소할 것이며, 반대로 삼각형 내부에서 이동할 경우 최소 1개 이상의 앵커로부터 수신된 세기는 증가하게 된다. 하지만 실제 타겟노드는 고정된 위치에 존재하며 이동하지 않기 때문에 타겟노드의 이웃노드를 이동한 위치로 판단하는 가상의 이동(virtual movement)을 이용하여 판단하며 이를 APIT(Approximate PIT)테스트라 부른다.

Ⅲ. 그룹기반 DV-Hop (GDV-Hop) 알고리즘

3.1 DV-Hop 알고리즘

DV-Hop은 앵커의 전송범위가 분포된 모든 노드들에 미치지 못하는 상황에서 멀티 홉(multi-hop)기법의 라우팅 전송과 삼각측량을 조합하여 위치를 측정하는 알고리즘이다. 앵커는 자신의 위치정보가 담긴 비컨신호를 브로드캐스팅하고 비컨신호를 수신한 노드들은 최소의 홉 수를 갖는 정보만을 릴레이(relay) 함으로써 각 노드들은 앵커로 부터의 최단 루트를 통한 홉 수 정보를 알게 된다. 이후 앵커는 다른 앵커와 교환한 거리 정보와 홉 수 정보를 이용하여 평균적인 한 홉 거리를 계산하며 그 예는 그림 1과 같다.

그림 1에서 앵커 $A2$와 $A3$이 플러딩한 비컨신호는 점선과 같은 경로로 전달된다. $A1$은 비컨신호가 포함한 $A2$, $A3$의 위치정보와 각 비컨신호의 홉 수를 이용하여 자신의 한 홉 거리를 계산할 수 있으며 계산하는 방법은 식 (3)과 같다. 이때 D_{ij}는 앵커 i와 j사이의 거리이고 h_{ij}는 앵커 i와 앵커 j사이의 가장 작은 홉 수이다. HD_i는 앵커 i의 한 홉 거리이다.

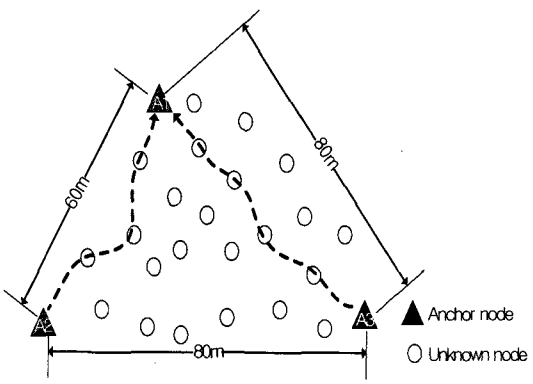


그림 1. DV-Hop에서 한 홉 거리를 구하는 예

$$HD_i = \frac{\sum_{\forall j \neq i} D_{ij}}{\sum_{\forall j \neq i} h_{ij}} \quad (3)$$

예를 들어 $A1$과 $A2$사이의 거리는 60m이고 4홉에 걸쳐 전달되었고 $A1$과 $A3$사이의 거리는 80m이고 5홉에 걸쳐 전달되었다. 따라서 $A1$의 한 홉 거리는 (60m+80m)/(4hop+5hop)=15.5m/hop 이 된다. $A1$이 계산한 한 홉 거리는 네트워크 전체로 다시 플러딩되며 이를 수신한 미지노드들은 $A1$로부터 받은 홉 수와 한 홉 거리를 곱하여 $A1$과 자신까지의 거리를 계산한다. 이렇게 세 개 이상의 앵커들로부터 정보를 수신한 노드는 각각의 홉 수를 거리로 환산하여 삼각측량법을 이용하여 위치를 측정하게 된다.

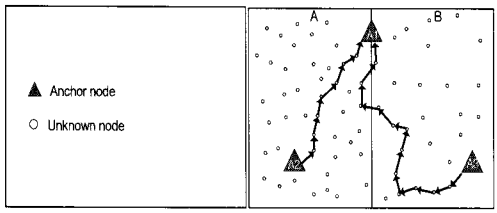
3.2 균일하지 않은 노드의 분포나 우회경로 또는 홀을 갖는 네트워크에서 고려사항

기존 DV-Hop 알고리즘은 앵커가 한 홉 거리를 측정하는데 있어 비컨을 송신한 모든 앵커들까지의 거리의 합을 그에 해당하는 홉 수의 합으로 나눈 값을 사용하였다. 이러한 한 홉 거리는 네트워크의 노드들이 고르게 분포했음을 전제로 하며 미지노드들이 비컨을 받을 때 앵커와 미지노드 사이의 거리를 홉 수로 나눈 한 홉 거리가 모두 동일함을 가정한다. 하지만 비컨의 라우팅 경로는 미지노드들의 위치에 따라 우회경로일 수 있고 직선 경로일 수도 있다. 우회경로로 비컨을 수신하는 미지노드는 실제 앵커와의 거리에 대해 실제 가져야할 홉 수보다 많은 홉 수를 가질 것이고 직선경로로 비컨을 수신하는 미지노드는 실제 가져야할 홉 수보다 적은 홉 수를 가질 것이다. 삼각측량에서 미지노드가 앵커까지의 거리를 얼마나 정확히 측정할 수 있는가가 미지노드의 위치측정의 정확도에 큰 영향을 미친다. 이는 미지 노드들이 앵커까지의 거리를 계산하는데 많은 오류를 발생하게 한다.

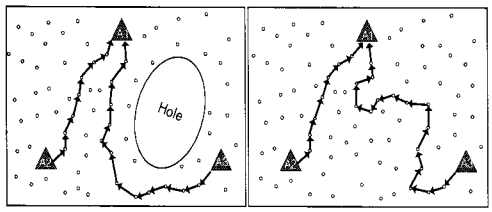
아래는 기존 DV-Hop에서 우회하는 라우팅 경로에 의해 위치오차를 갖게 되는 3가지 경우를 설명한다.

3.2.1 균일하지 않는 노드의 분포로 인한 우회라우팅 경로

조밀한 분포의 노드밀도를 갖는 네트워크 환경에서는 비컨의 경로가 직선경로일 가능성이 크다. 비컨을 전달할 때 직선경로 상에 다음 노드가 있을 확률이 높기 때문이다. 반대로 조밀하지 않은 분포



(a)균일하지 않은 노드의 분포로 인한 우회 라우팅



(b)홀에 의한 우회라우팅 (b)우회경로를 갖는 라우팅

그림 2. 우회 라우팅 경로를 갖는 비컨전송에 의해 거리 오차가 생기는 경우

의 노드밀도를 갖는 네트워크 환경에서는 비컨의 경로가 우회할 가능성이 크다. 비컨을 전달할 때 직선경로 상에 다음 노드가 있을 확률이 낮기 때문이다. 따라서 노드의 밀도가 균일하지 않다면 네트워크상에 우회하는 비컨의 라우팅 경로와 우회하지 않는 비컨의 라우팅 경로가 다양하게 분포된다. 그림 2의 (a)의 경우 영역A의 내에는 노드의 밀도가 낮고 영역B의 내에는 밀도가 높다. 이때 $A2$에서 $A1$로 향하는 경로는 직선 경로이고 $A3$에서 $A1$로 향하는 경로는 우회 경로이다. 우회경로의 라우팅은 실제 거리보다 길게 계산되며 직선경로의 라우팅은 실제 거리보다 짧게 계산되는 오차를 갖게 한다.

3.2.2 홀에 의한 우회라우팅 경로

네트워크상에 홀이 있을 경우는 비컨의 라우팅 경로가 홀을 피해 우회하게 된다. 이와 비교하여 홀이 없는 지역의 비컨의 라우팅은 직선경로 진행될 가능성이 크다. 그림 2의 (b)와 같은 경우 $A1$과 $A2$ 사이에는 홀이 존재하지 않지만 $A1$과 $A3$ 사이에 홀이 존재한다. 이때 $A3$에서 X로 향하는 경로는 우회한 경로이며 $A1$과 $A2$에서 X로 향하는 경로는 직선 경로이다. 따라서 우회한 경로의 라우팅은 실제 거리보다 길게 계산되며 직선의 라우팅 경로는 실제보다 짧게 계산된다.

3.2.3 우회경로를 갖는 비컨의 라우팅 경로

균일하지 않은 노드의 분포와 홀의 존재외에도 페이딩 혹은 배터리의 양등에 의한 노드의 전송반경 차이로 비컨 라우팅의 변화가 생길 수 있다. 이

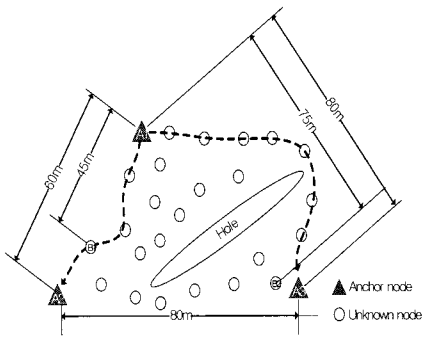


그림 3. 홀에 의해 잘못된 한 홉 거리를 갖는 예

는 곳곳에 작은 규모의 홀이 생기는 경우와 같다. 그림 2의 (c)의 예에서 $A1$와 $A2$사이의 경로는 직선 경로이지만 $A1$과 $A3$사이의 라우팅 경로는 우회된 경로이다. $A1$과 $A3$사이의 우회된 라우팅 경로는 노드의 작은 전송범위로 인해 생기는 작은 규모의 홀에 의해 발생한다. 이 위의 경우들과 같이 우회한 경로의 라우팅은 실제 거리보다 길게 계산되며 직선경로는 실제보다 짧게 계산된다.

그림 3은 홀에 의한 우회라우팅 경로로 발생하는 거리측정 오차의 예이다. $A1$로부터 $A2$, $A3$까지의 거리는 각각 60m와 85m이고 홉 수는 각각 4홉과 8홉 이므로 $A1$의 한 홉 거리는 (60m+80m)/(4hop+8hop)= 11.7m/hop 으로 계산된다. 이때 미지노드 $B2$과 $B2$는 앵커 $A1$로부터 3홉과 9홉의 홉 수를 가지므로 이들은 자신들과 앵커 $A1$과의 거리를 각각 35.1m와 105.3m로 계산하게 된다. 이는 우회된 경로로 비컨을 수신한 미지노드 $B1$의 경우 실제거리보다 계산된 거리가 길어졌음을 나타내고 직선경로로 비컨을 수신한 미지노드의 $B2$의 경우 실제거리보다 계산된 거리가 짧아졌음을 나타내며 실제거리가 55m, 75m인 것에 대해 각각 -9.9m, 25.3m의 오차를 보인다. 이는 라우팅 경로를 고려하지 않은 채로 모든 미지노드가 평균적인 한 홉 거리를 일괄적으로 사용하게 됨으로써 발생하는 문제점을 보여준다. 이때 $B1$이 $A1$로부터의 한 홉 거리를 평균보다 큰 값을 사용하고 $B2$가 한 홉 거리를 평균보다 작은 값으로 사용한다면 $A1$로부터의 거리오차를 줄일 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 라우팅 경로에 따라 한 홉 거리를 조절하는 방법을 제안한다.

3.3 그룹기반 DV-Hop(GDV-Hop) 알고리즘

기존 DV-Hop의 평균값의 한 홉 거리 개념은 3.2절에서 제시한 것과 같이 우회된 경로와 직선 경로 등의 다양한 라우팅 경로를 갖는 네트워크 환경에서 적합하지 않다. 본 절에서는 라우팅 경로를 고

려한 한 홉 거리를 사용하는 그룹기반 DV-Hop (GDV-Hop)알고리즘을 제안 한다. 그룹기반 DV-Hop 알고리즘은 다음과 같은 5개의 단계로 이루어진다.

3.3.1 앵커들의 비컨 플러딩

각 앵커들은 자신의 위치정보가 담긴 비컨을 네트워크로 플러딩한다. 이는 기존의 DV-Hop과 같다. 비컨을 수신한 노드들은 비컨의 홉 수를 하나 증가시켜 다시 주변노드들에게 전송한다. 이때 미지노드는 같은 앵커로부터 수신한 비컨들은 가장 작은 홉 수를 갖는 비컨만 유지하며 나머지는 폐기한다. 이러한 방식으로 모든 앵커들이 네트워크에 자신의 비컨을 플러딩하였다면 미지노드들은 여러 앵커에 대한 최소 홉 수의 비컨신호를 갖게 된다. 앵커들 또한 다른 앵커들로부터 최소 홉 수의 비컨신호들을 수신하게 된다.

3.3.2 가상 그룹설정

여러 앵커들로부터 비컨을 수신한 미지노드들은 각각의 앵커들로부터의 홉 수 정보를 유지한다. 이때 미지노드들은 수신한 비컨 중 가장 작은 홉 수를 가진 비컨의 앵커가 자신의 그룹앵커이며 자신의 그룹앵커의 그룹에 속한다고 설정한다. 이는 가장 작은 홉 수를 가진 비컨의 앵커가 미지노드와 가장 가까운 곳에 위치하기 때문이다. 위 과정을 가상 그룹 설정이라고 하며 가상 그룹 설정단계가 끝나면 네트워크는 앵커들을 중심으로 한 여러 개의 지역별 그룹으로 나눠진다.

3.3.3 그룹기반 한 홉 거리 계산

본 논문에서는 두 앵커사이의 거리를 두 앵커가 수신한 비컨의 홉 수로 나눈 값을 한 홉 거리로 사용하는 것을 제안하며 앵커와 가까이에 위치한 노드들은 앵커가 계산한 한 홉 거리를 사용하는 방법을 제시한다. 한 홉 거리를 구하는 수식은 식 (4)와 같다. h_{ij}는 앵커 i와 j사이의 홉 수이고 D_{ij}는 i와 j사이의 거리이다. HD_{ij}는 앵커 i와 j사이의 한 홉 거리이다.

$$HD_{ij}=\begin{cases}\dfrac{D_{ij}}{h_{ij}} & ,i\neq j\\ \dfrac{\sum\limits_{\forall i\neq j} D_{ij}}{\sum\limits_{\forall i\neq j} h_{ij}} & ,i=j\end{cases} \quad (4)$$

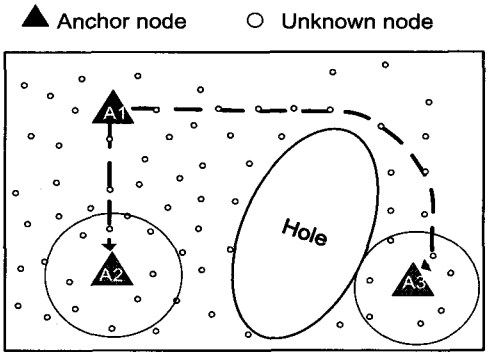


그림 4. 비컨 라우팅 경로의 지역성

앵커 i의 테이블					
앵커 ID	$ID:1$	...	$ID:j$	...	$ID:n$
한 홉 거리	$\frac{D_{i1}}{H_{i1}}$		$\frac{\sum_{\forall i\neq j} D_{ij}}{\sum_{\forall i\neq j} H_{ij}}$		$\frac{D_{in}}{H_{in}}$

그림 5. 그룹기반 DV-Hop의 한 홉 거리 테이블

그림 4는 비컨의 라우팅 경로의 지역성을 보여준다. 그림에서 $A2$는 $A1$로부터 직선경로의 비컨을 수신하였다. 따라서 $A2$는 $A1$과의 한 홉 거리를 비교적 큰 값으로 계산해야 하며 $A2$주변의 노드들은 $A2$와 같이 직선경로의 비컨을 $A1$로부터 수신하였으므로 $A2$가 계산한 $A1$과의 한 홉 거리를 사용하는 것이 $A1$과의 거리를 계산하는데 적합하다. 이때 $A2$가 계산한 $A1$과의 한 홉 거리는 D_{12}/h_{12}이다. 반대로 $A3$은 $A1$과의 한 홉 거리를 비교적 작은 값으로 계산하며, $A3$주변의 노드들은 $A3$과 같이 우회경로의 비컨을 $A1$로부터 수신하였으므로 $A3$이 계산한 $A1$과의 한 홉 거리를 사용하여 $A1$과의 거리를 계산한다. $A3$이 계산한 $A1$과의 한 홉 거리는 D_{13}/h_{13}이다. 단, 앵커 자신의 한 홉 거리를 계산할 경우엔 다른 앵커들과의 한 홉 거리들의 평균값을 사용한다. 이러한 방법으로 각 앵커들은 여러 앵커들에 대한 한 홉 거리들을 테이블로 유지한다. 그림 5는 그룹기반 DV-Hop의 한 홉 거리 테이블의 예이다.

3.3.4 앵커의 한 홉 거리 테이블 전송

다른 앵커들로부터 비컨들을 수신한 앵커는 비컨에 속해있는 위치정보와 홉 수를 바탕으로 한 홉 거리 테이블을 만들었다. 앵커는 이 테이블을 자신의 그룹 영역으로 브로드캐스팅한다. 미지노드들은 자신의 그룹앵커로부터만 한 홉 거리 테이블을 수신하고 자신의 그룹앵커가 전송한 테이블이 아니라

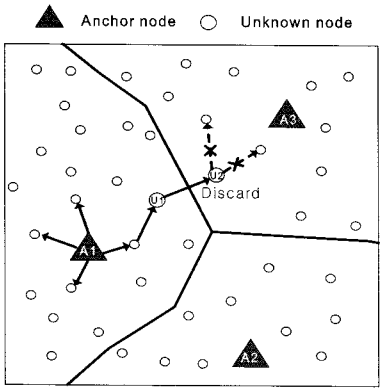


그림 6. 그룹영역으로 제한된 한 홉 거리테이블 전송

면 이를 폐기함으로써 다른 그룹으로 테이블이 전송되는 것을 방지한다.

그림 6은 앵커가 한 홉 거리 테이블을 전송하는 예를 보여준다. 그림에서의 실선으로 나뉜 영역은 각 앵커의 그룹을 나타낸다. $A1$은 자신의 한 홉 거리 테이블을 자신의 그룹 영역으로 브로드캐스팅한다. 테이블을 수신한 노드들은 이를 주변 노드들에게 재전송한다. $U2$는 $U1$이 전송한 $A1$의 한 홉 거리 테이블을 수신하였지만 자신이 $A1$의 그룹에 속해있지 않으므로 이를 폐기하고 재전송하지 않는다. 따라서 테이블의 전송이 그룹영역내로 제한되어 전달된다. 이는 기존의 DV-Hop이 각 앵커가 각자 자신의 한 홉 거리를 계산하여 이를 네트워크 전체로 플러딩했던 것과 비교했을 때 한 홉 거리 전송의 오버헤드를 줄일 수 있다는 장점을 갖는다.

3.3.5 미지노드들의 위치계산

DV-Hop에서 미지노드들의 위치계산은 멀티 홉 방식으로 여러 앵커들로부터 받은 비컨신호의 홉 수를 앵커까지의 거리로 환산하는 부분과 이러한 앵커와의 거리정보를 이용하여 trilateration으로 위치를 계산하는 부분으로 이루어진다. 각 미지노드가 앵커까지의 거리를 계산하는 방법은 다음과 같다.

미지노드들은 그룹 앵커로부터 받은 한 홉 거리 테이블을 이용하여 여러 앵커들로부터 수신한 비컨의 홉 수를 거리로 환산한다. 예를 들어 미지노드 X의 그룹앵커가 i이고 앵커 j로부터 비컨을 수신하였다면 X는 j로부터 수신한 비컨의 홉 수 h_{jx}를 그룹앵커 i가 계산한 j와의 한 홉 거리 HD_{ji}와 곱하여 X와 j사이의 거리를 계산하며 수식은 식 (5)와 같다. 이때 CD_{xj}는 미지노드 X가 계산한 앵커 X와 j사이의 거리이다.

$$CD_{xj} = HD_{ji} \times h_{jx} \quad (5)$$

그림 3의 예에서 $A2$의 그룹에 속하는 미지노드들은 그룹앵커 $A2$가 계산한 한 홉 거리 HD_{A2A1}을 $A2$로부터 수신한 한 홉 거리 테이블의 $A1$필드에서 찾는다. 미지노드들은 테이블에서 얻은 $A1$에 대한 한 홉 거리 HD_{A2A1}을 $A1$로부터 수신한 비컨신호의 홉 수에 곱하여 $A1$과의 거리를 계산한다. $A2$의 그룹에 속하는 미지노드 $B1$이 $A1$로부터 받은 비컨의 홉 수를 h_{A1B1}라 하면 $B1$이 계산한 $A1$과의 거리는 $HD_{A2A1} \times h_{A1B1}$ 이다. $A2$와 $A1$사이의 거리는 60 m, $A3$과 $A1$사이의 거리는 80m이고 각각의 홉 수는 4홉과 8홉이다. 그룹 기반 한 홉 거리를 적용하여 $A2$가 계산한 $A1$에 해당하는 한 홉 거리는 60m /4hop=15m/hop이며 $A3$이 계산한 $A1$에 해당하는 한 홉 거리는 80m/8hop=10m/hop이다. 계산된 한 홉 거리를 이용하여 $A2$와 $A3$의 그룹에 속한 미지노드 $B1$과 $B2$가 $A1$까지의 거리를 계산한다면 $B1$은 $A1$로부터 3홉이고 $B2$는 $A1$로부터 9홉이므로 각각 45m와 90m로 계산하게 되며 0m, 10m의 오차를 나타낸다. 이는 기존 DV-Hop의 한 홉 거리를 사용하였을 경우 -9.9m, 25.3m의 오차를 나타낸 것과 비교하여 개선된 성능을 보인다.

여러 앵커들과의 거리를 계산한 미지노드는 앵커들의 위치정보와 계산된 거리정보를 이용하여 trilateration으로 위치를 측정한다.

Ⅳ. 모의실험

모의실험을 위해 네트워크상에 배치된 앵커노드와 미지노드의 위치는 그림 7과 같고 표 1은 모의실험 파라미터이다.

실험은 1000m×1000m의 필드위에 7~18개의 앵커노드를 배치하였고 전체노드의 수는 700에서 1900개 사이이다. 센서노드의 전송범위는 50m~80m이다.

그림 8은 50m의 전송범위를 갖는 센서노드를 대상으로 앵커의 수 및 전체 노드의 수를 달리하였을 때 미지노드들이 갖는 평균적인 위치오차의 값을 나타낸 그림이다. 이때 각 센서 노드들은 50m의 작은 전송범위만을 가지므로 네트워크상에 여러 개의 크고 작은 홀들이 자연스럽게 생성되며 이는 미지노드들이 자신의 위치를 측정하는데 있어 오류를 발생시키는 원인이 된다. 그림8의 (a)는 앵커노드의 수에 따른 평균위치오차를 나타내며 전체 노드의

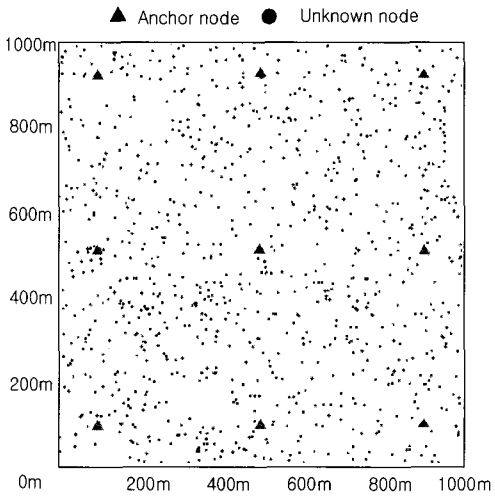
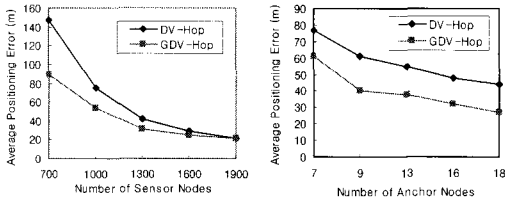


그림 7. 모의실험 토폴로지



(a)앵커 수에 따른 평균위치오차 (b)전체노드 수에 따른 평균위치오차
그림 8. 평균위치오차의 비교분석

표 1. 모의실험 토폴로지

조건	값
센서노드의 수	700~1900개
앵커노드의 수	7~18개
앵커노드와 센서노드의 전송범위	50m~80m
네트워크 크기	1000m × 1000m

수는 1000개로 하였다. 앵커노드의 수가 많을수록 위치오차는 줄어들게 되며 논문에서 제시하는 DV-Hop알고리즘이 기존의 DV-Hop알고리즘보다 30% 정밀한 성능을 보인다. (b)는 전체노드 수의 변화에 따른 평균위치오차를 나타낸다. 노드의 수가 많아지면 네트워크상의 홀의 수가 점차 줄어들게 되어 비컨의 라우팅경로가 거의 직선에 가까워진다. 따라서 노드의 수가 커질수록 두 알고리즘의 성능차이가 좁혀지게 되며 전체노드의 수를 1900개로 설정한 실험에서는 두 알고리즘의 성능차이가 거의 나타나지 않는다.

그림 9는 센서노드의 지역별 분포를 달리하였을

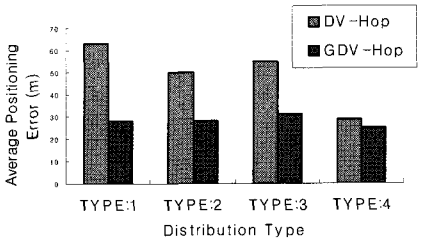


그림 9. 지역별 밀도분포 변화에 따른 평균위치오차

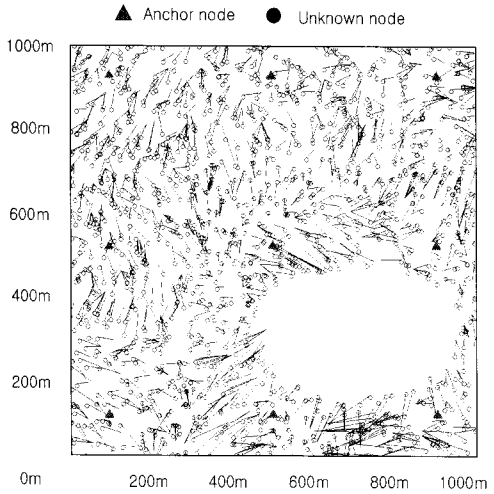
때 계산된 미지노드들의 평균적인 위치오차를 나타낸 그래프이다. 실험에서 50m의 전송범위를 갖는 1600개의 센서노드를 사용하였으며 앵커의 수는 9개이다. 전체 네트워크 필드를 4분면으로 나누고 각 분면마다 다른 수의 센서노드를 배치하였다. 이는 밀도가 낮은 지역은 홀이 생기므로 우회하는 라우팅경로를 생성하고 밀도가 높은 지역은 직선형태의 라우팅경로를 가지게 하기 위함이다.

그래프의 TYPE은 네트워크의 분면에 따른 노드 수의 배율을 나타내며 TYPE1은 1:2:2:2로 배분하였고 TYPE2는 2:2:1:1로 배분하였다. TYPE3은 1:1:1:2로 배분하였으며 TYPE4는 1:1:1:1로 배분하여 실험하였다. TYPE4는 균일한 분포의 네트워크를 나타내며 홀이 생기지 않을 경우 기존의 DV-Hop과 큰 성능의 차이를 보이지 않는다. 하지만 1에서 3까지의 TYPE은 논문에서 제안한 DV-Hop알고리즘이 균일하지 않게 분포된 네트워크상에서 더욱 향상된 성능을 가짐을 나타낸다.

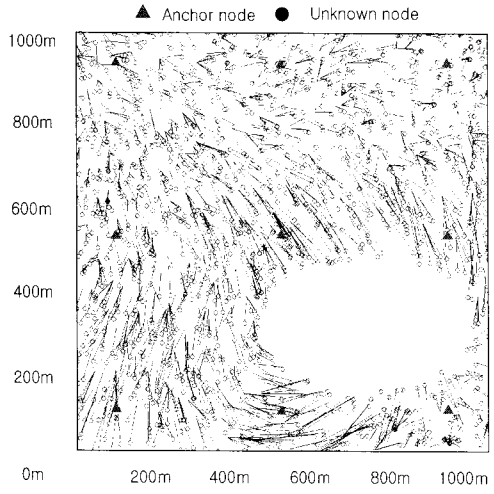
그림 10은 80m의 전송범위를 가지는 1500개의 노드를 가지는 1000m×1000m위의 네트워크상에 약 137,000m2의 타원 모양의 홀을 생성하여 실험한 결과이다. 80m의 전송범위를 갖는 1500개의 센서노드를 이용하여 실험하였다. 이는 홀 이외의 지역에서 노드의 밀도가 높아지게 함과 동시에 노드의 전송반경을 증가시킴으로써 앵커와 노드사이의 우회하는 비컨의 라우팅 경로를 없앤다.

그림에서 작은 원으로 표현된 것은 미지노드의 실제위치를 나타내며 원으로부터 내어진 직선의 끝점은 미지노드가 계산한 위치이다. 따라서 선의 길이는 미지노드가 계산한 위치오차의 크기를 나타낸다.

그림 (a)와 (b)는 기존의 DV-Hop과 논문에서 제안한 DV-Hop을 각각 적용하여 얻어낸 결과를 나타낸 그림이다. 이때 기존의 DV-Hop을 사용하여 계산된 결과를 표현하는 그림 (a)의 경우 많은 수의 노드들이 홀에 의한 영향으로 11시 방향의 편향된 오류를 가진다. 이는 그림의 아래쪽에 있는 앵커들

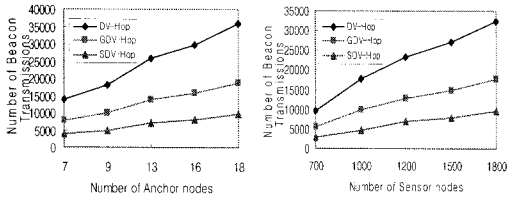


(a)기존 DV-Hop 알고리즘 적용결과



(b)그룹기반 DV-Hop알고리즘 적용결과

그림 10. 홀에 의한 미지노드의 위치오차



(a)앵커 수에 따른 비컨전송 수 (b)전체노드 수에 따른 비컨 전송 수

그림 11. 비컨전송 수의 비교

로부터 홀로 인해 증가된 홉 수의 비컨을 수신하였고 미지노드들은 이들 앵커로부터의 거리를 실제보다 길게 계산하였기 때문이다. 하지만 그림 (b)의 경우 홀의 아랫부분의 앵커들로부터 증가한 홉 수의 비컨을 수신하였음에도 이에 반비례하는 한 홉 거리를 적용하여 앵커까지의 거리를 계산하기 때문에 (a)보다 적은 위치오차 갖는다. (a)와 (b)의 평균 위치오차는 각각 50.0m와 36.6m이다.

그림 11은 그룹설정에 의한 한 홉 거리 테이블 전송 수의 제한에 대한 그래프이다. 그림의 (a)와 (b)는 앵커노드의 수와 전체 노드의 수를 달리하였을 때 기존의 DV-Hop과 그룹기반 DV-Hop 그리고 SDV-Hop의 비컨전송 횟수를 나타낸다. (a)의 실험에서는 1000개의 센서노드를 사용하였고, (b)의 실험에서는 9개의 앵커노드를 사용하였다.

DV-Hop에서 각 앵커들은 두 번의 플러딩을 하며 첫 번째는 자신의 위치정보를 플러딩하고 두 번째는 자신의 한 홉 거리를 플러딩한다. 기존의 DV-Hop의 두 번째 플러딩은 네트워크 전체를 대상으로 하였지만 논문에서 그룹기반 DV-Hop알고리즘은 두 번째 플러딩의 전송범위를 앵커의 그룹으로 제한한다. 그룹으로 제한한 전송의 경우의 그 전송수는 네트워크 전체로 전송하는 수에 비해 매우 작다. 따라서 기존의 DV-Hop보다 적은 수의 비컨을 전송으로 구현 가능하다는 장점을 가지며 이는 50%에 가까운 비컨전송의 오버헤드를 줄일 수 있다. 본 실험에서 SDV-Hop의 첫 번째 레벨을 갖는 비컨의 수는 4개로 지정하였다. SDV-Hop은 첫 번째 레벨을 갖는 비컨의 플러딩에 의해 네트워크 영역이 나눠지며 영역 내에 있는 하위레벨의 비컨의 플러딩 영역은 상위 레벨의 비컨 플러딩 영역으로 제한된다. 따라서 n개의 첫 번째 레벨을 갖는 SDV-Hop의 경우에 전체 비컨전송의 수는 DV-Hop의 비컨전송의 $1/n$으로 줄어들게 되며, 위 실험에서 SDV-Hop의 비컨전송 수는 DV-Hop의 25%, GDV-Hop의 50% 정도로 감소된 것을 볼 수 있다. 하지만 SDV-Hop은 미지노드의 위치를 측정하는데 있어 DV-Hop에서 사용되는 앵커의 수보다 적은 수의 앵커를 사용하므로 위치 에러가 더 크다. 이는 SDV-Hop의 목적이 위치측정에서 오버헤드를 줄이기 위함에서 기인한다.

V. 결 론

DV-Hop은 각 미지노드들이 앵커로부터 멀티 홉으로 수신한 비컨의 홉 수를 거리로 환산하여 삼각기법으로 위치를 구하는 알고리즘이다. 따라서 앵커까지 거리를 얼마나 정확하게 계산할 수 있는지가

위치측정의 전체 성능을 결정하는 중요한 요소이다.

본 논문에서는 기존의 DV-Hop에서 발생하였던 홀과 같은 장애물에 의해 비컨의 라우팅 경로가 일정하지 않을 경우 모든 미지노드가 고정된 값의 한 홉 거리를 일괄적으로 사용하였을 때 발생하였던 앵커노드까지의 거리계산의 오류를 최소화 할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였고 실험을 통해 제안된 한 홉 거리의 성능향상을 증명하였다. 또한 논문에서 한 홉 거리를 주변 노드에게 전달하기 위한 방법으로 그룹 설정기법을 제안 하였다. DV-Hop에서 각 앵커들은 두 번의 플러딩 과정을 거치게 되며 두 번의 플러딩 모두 네트워크 전체로 비컨이 전달된다. 그룹 설정 기법은 한 홉 거리를 전달하기 위한 두 번째 플러딩이 네트워크 전체로 전달되는 것을 방지하고 이를 그룹 영역으로 제안함으로써 오버헤드를 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 센서네트워크에서 가장 중요한 이슈중 하나는 에너지 효율이다. 따라서 에너지 효율측면에서 상당한 기여를 할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks", *The International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.243-254, August. 2000.

[2] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", *IEEE Personal Communications Magazine*, pp.23-34, October. 2000.

[3] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J.A. Stankovic and T. Abdelzaher, "Range Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks", *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.81-95, September. 2003.

[4] D. Niculescu and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad Hoc Networks", *In Journal of Telecommunication System*, pp.267-280, January. 2001.

[5] 이병태, 김선우, "Scalable 무선 센서 네트워크를 위한 향상된 DV-Hop 알고리즘", *대한전자공학회 하계종합학술대회*, 277-278페이지, 2008. 6.

[6] Harter A, Hopper A, Steggles P, Ward A, Webster P, "The anatomy of a context-aware application", *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.187-197, March. 2002.

[7] Girod L, Estrin D, "Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing", *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.1312-1320, October. 2001.

[8] H. Yan, H. Han-ying, and Z. Shan, "A TOA Based Believable Factor Mobile Location Algorithm", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp.260-263, March. 2004.

[9] L. Cong and W. Zhuang, "Non-Line-of-Sight Error Mitigation in TDOA Mobile Location," *IEEE Global Telecommunications Conference*, pp.680-684, November. 2001.

[10] Girod L, Bychovskiy V, Elson J, Estrin D, "Locating tiny sensors in time and space: A case study," *IEEE International Conference on Computer Design: VLSI in Computers and Processors*, pp.214-219, September. 2002.

[11] K. Whitehouse, and D. Culler, "Calibration as Parameter Estimation in Sensor Networks", *In Proceeding of the 1st ACM International Workshop on Sensor Networks and Applications*, pp.59-67, September. 2002.

[12] V. Ramadurai and M.L. Sichitiu, "Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach", *In Proceeding of 2003 International Conference on Wireless Networks*, pp.300-305, June. 2003.

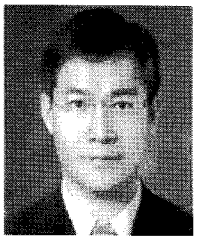
김 화 중 (Hwa-Joong Kim) 준회원

2007년 2월 인하대학교 컴퓨터공학과(공학사)

2007년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정

<관심분야> Wireless Sensor Network, MAC

유 상 조 (Sang-Jo Yoo) 종신회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 KT 연구개발본부
2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network