

논문 2009-46CI-3-15

무선 센서 네트워크에서의 노드 위치 추정

(An Estimation Method of Node Position in Wireless Sensor Network)

임 철 우*, 김 영 락**, 강 병 옥***

(Chul Woo Rhim, Young Rag Kim, and Byung Wook Kang)

요 약

무선 센서 네트워크에 대한 연구에서 노드에 대한 위치를 추정하는 것은 중요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 인접 노드에 대한 정보와 신호의 세기를 이용해서 노드의 위치를 추정하는 기법을 제안한다. 제안한 방법을 이용하면 노드가 알고 있는 정보를 이용해서 쉽게 노드의 위치를 찾을 수 있다. 더욱이 위치를 알고 있는 앵커 노드를 기준으로 위치를 모르는 미지 노드에 대한 상대적인 위치를 찾을 수 있어서 전체적인 노드에 대한 맵을 만들 수 있다. 또한 무선 센서 네트워크에서 노드가 적절하게 배치되었는지도 확인할 수 있다. 제안한 기법에 대한 검증을 통해서 제안한 방법을 사용해서 추정된 노드의 위치가 작은 오차를 가지고 검증을 위해 배치한 노드를 찾아내고 있음을 확인하였다.

Abstract

It is important to locate nodes in the research of wireless sensor network. In this paper, we propose a method that estimates the positions of nodes by using adjacent node information and signal strength in wireless sensor network. With this method, we can find positions of nodes easily because we use information that nodes have. And we can make a map for all the nodes because we can measure a relative position for an node whose position is not known based on anchor nodes whose positions are already known. In addition, we can confirm whether nodes are placed appropriately. We confirmed that we can locate positions of unknown nodes with small error through verifying the proposed method.

Keywords : Wireless Sensor Network, Position Estimation, Algorithm, RSSI, Adjacency

I. 서 론

유비쿼터스(Ubiquitous) 개념이 컴퓨팅과 연결되어 적용되기 시작하면서 모든 사물과 공간에서 통신을 할 수 있는 환경을 제공하기 위해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러한 연구 중 하나가 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)이다. 이러한 무선 센서 네트워크는 기존의 네트워크 인프라가 없는 지역에서 네트워크의 설치를 쉽게 하고, 선로 비용을 감소하기 위

해서 도입되었다. 센서 네트워크가 가지고 있는 대표적인 기능은 사용자가 원하는 장소 및 물체의 상태를 추정하고 이를 분석하기 위한 데이터를 사용자에게 제공할 수 있다. 그래서 무선 센서 네트워크는 많은 저전력 센서 노드들을 공간에 배치하고, 무선 통신을 사용해서 특정한 작업을 수행하고 있다.^[1] 무선 센서 네트워크에서 위치 추정은 센서 노드의 위치를 결정하는 것이며, 이러한 위치에서 얻어진 정보는 사용자나 사물에게 주변의 환경에 대한 인식을 가능하게 하는 가장 기본적인 요소이다. 그렇기 때문에 노드의 위치 추정은 센서 네트워크 컴퓨팅에 있어서 가장 중요한 요소라 할 수 있다.^[2~3] 센서 네트워크에서 공간상에 분포된 각 노드의 위치를 추정하기 위해서 다양한 위치추정 기법들이 연구되고 제안되었다.

기존에 제안된 위치추정 기법은 노드 간의 거리 정보

* 학생회원, ** 정회원, 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과
(Graduate School Dept. of Computer Eng.,
Yeungnam University)

*** 평생회원, 영남대학교 전자정보공학부
컴퓨터공학 전공

(School of ECCS, Yeungnam University)

접수일자: 2009년2월25일, 수정완료일: 2009년5월4일

에 기반한(range-based) 방법과 거리 정보를 기반으로 하지 않는(range-free)방법으로 크게 구분할 수 있다. 전자는 위치를 알고 있는 두 노드의 신호세기^[4] 또는 전파 도달 시간^[5]등을 사용해서 추정된 거리를 기반으로 위치를 추정한다. 후자는 두 노드 간의 거리를 기반으로 하지 않고 연결성^[6]이나 홉-카운트^[7] 정보를 이용해서 위치를 추정한다. 거리 정보에 기반을 하지 않는 방법들은 센서 노드를 하드웨어적으로 단순화할 수 있기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다.

일반적으로 무선 센서 네트워크에서 위치가 알려진 노드를 앵커 노드(anchor node)라고 하고, 위치를 알 수 없는 노드는 미지 노드(unknown node)라고 한다. 앵커 노드는 사용자에게 의해서 GPS(Global Positioning System)이나 수동으로 설정할 수 있다. 이러한 앵커 노드는 임의로 설정할 수 있으며, 앵커 노드가 이동하게 되면 모든 노드의 위치를 다시 추정해야 한다.^[8] 본 논문에서는 이러한 앵커 노드를 이용해서 인접 노드의 정보와 신호 세기에 의해 구해진 거리를 이용하여 노드의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안한다. 시작 노드인 앵커 노드를 기준으로 미지 노드들이 제공하는 신호 세기를 이용하여 각 미지 노드의 위치를 구하며, 앵커 노드를 기준으로 하는 미지 노드들의 전체적인 맵을 구성하는 기법을 제안한다.

논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. II장에는 기존의 위치를 추정하기 위한 기법들을 살펴보고, III장에서는 각 노드의 신호세기를 이용하여 노드의 위치를 추정하는 기법을 제안한다. IV장에서는 III장에서 제안된 알고리즘을 검증하며, V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

위치 추정에 있어서 거리에 기반을 둔 방법은 무선 노드간의 거리를 측정하여 위치를 계산한다. 노드 간의 거리를 측정하기 위해서 노드가 수신하는 신호의 도착 시간, 수신 신호의 세기, 수신 신호의 각도 등을 계산에 사용한다. 대표적인 기법은 ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), AoA(Angle of Arrival), RSSI(Received Signal Strength Indicator), 삼각 측량법등이 있다.

1. ToA

ToA는 신호가 도착하는 시간을 이용해서 위치를 추정하는 알고리즘이다. 센서에서 목표까지의 거리는 신호의 종류에 따라서 적정한 상수를 곱해서 산출할 수 있으며, 센서와 목표 사이의 거리를 반경으로 하는 원들의 교점이 목표의 위치가 된다. 보다 정확하게 위치를 구하려면 센서의 개수를 늘려야 한다. 이 기법의 대표적인 예가 GPS이다.^[9]

2. TDoA

TDoA는 목표와 두 개 이상의 센서가 송수신하는 신호의 도착 시간의 차이를 측정하여 센서 간의 거리차가 일정한 지점의 목표를 찾아내는 알고리즘이다. 즉 센서를 초점으로 하는 쌍곡선을 이용한다. 만일 3개 이상의 센서가 존재할 경우 여기에서 구해지는 2개의 쌍곡선을 이용하여 그 교점을 찾아내서 목표의 2차원 위치를 찾을 수 있다. 4개 이상의 센서를 이용하게 되면 목표의 3차원 위치를 찾을 수 있다.^[10~11]

3. AoA

AoA는 각도를 측정하여 위치를 추정하는 대표적인 방법으로 센서에서 목표가 보내는 신호의 방향각을 이용하여 각을 추정하고 각 센서와 목표 사이의 방향각의 교차점을 계산하여 목표의 위치를 추정하는 알고리즘이다. 목표의 위치를 추정하기 위해서는 최소 2개 이상의 방향각들이 필요하며 이들을 교차시킴으로써 위치를 파악할 수 있다.^[12]

4. RSSI

RSSI는 신호를 수신하는 측에서 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확률분포와 대조하여 위치를 추정하는 방법이다. RSSI 방식을 이용하기 위해서는 우선적으로 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호 세기들을 RSSI 표본 수집을 통해 추정해야 한다. 이러한 과정을 수행하고 나면 목표의 송신 신호를 각 센서들이 수신할 때 발생하는 신호의 감쇠 정도를 추정한 뒤 이를 확률적인 방법을 통해 미리 수집되었던 RSSI 표준과 비교해서 목표의 위치를 추정한다.^[4, 13]

5. 삼각 측량법

삼각 측량법은 거리 측정을 이용한 Lateration 방법 및 각도 측정에 기초한 Angulation 방법 두 가지로 구분할 수 있다. Lateration 방법은 3개의 센서노드부터의

거리를 추정하여 3개의 원의 교차점으로부터 2차원에서의 현재 위치를 찾아내는 방법이다. 이 방법의 중요점은 미리 위치를 알고 있는 3개의 기준점으로부터 거리를 측정하는 것이다. 이에 대해서는 여러 가지 방법이 제안되어 왔다. Angulation 방법은 2개의 기준점의 위치와 상대 거리, 그리고 추정하고자 하는 곳의 각도를 알고 있는 경우에 목표의 위치를 구할 수 있다.^[14]

III. 노드 인접성과 거리를 기반으로 하는 노드 위치 추정 기법

제안하는 노드 위치 추정 기법은 노드의 인접성 정보를 이용하는 방법과 신호 세기만을 이용하는 방법의 한 위치 추정 오차가 크기 때문에 이를 줄이기 위해서 두 가지 방법을 혼합한 기법을 제안한다.

1. 신호 세기에 의한 거리 계산

본 논문에서는 앵커 노드 이외의 미지 노드를 추정하기 위해서 두 노드간의 인접성과 신호 세기를 이용하여 노드간의 거리를 계산한다. 신호 세기에 의해 거리를 구하기 위해서는 식 (1)의 Friis Free Space 공식을 사용하면 가능하다.^[15]

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 G_t 는 송신 안테나의 이득, G_r 은 수신 안테나의 이득, P_r 은 수신된 전력, P_t 는 송신된 전력 그리고 λ 는 전파의 파장, R 은 거리이다. 식(1)을 R 에 대해서 정리하면 다음의 식 (2)가 된다. 본 논문에서는 이 식 (2)을 이용하여 노드 간의 거리를 계산한다.

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{G_t G_r P_t}{P_r}} \quad (2)$$

2. 인접성

노드 간의 인접성이란 노드 간에 서로 통신이 가능하다는 것을 의미한다. 그림 1에서 보는 것과 같이 Origin 노드와 Axis member 노드가 미지 노드와의 신호 세기를 수집하여 미지 노드와 통신이 가능함을 확인하고 있다. 인접성이 확인이 된 노드의 위치는 축이 되는 두 노

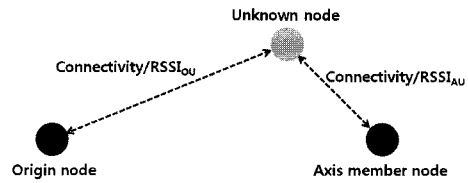


그림 1. 인접성 확인의 예
Fig. 1. An Example of adjacency confirmation.

드에서 위치를 추정할 수 있다.

3. 앵커 노드에서 미지 노드의 위치 추정

본 논문에서는 앵커 노드를 중심으로 미지 노드의 위치를 찾아서 평면상에 배치된 노드의 전체적인 맵을 구성한다. 첫 번째 단계로 앵커 노드를 기준점으로 미지 노드들의 상대적인 위치를 찾아야 한다. 다음과 과정을 통해서 노드의 위치를 찾는다.

가. 앵커 노드에서 기준 축 설정

앵커 노드에서 미지 노드에 대한 전체적인 맵을 구성하기 위해서 기준이 되는 축을 설정해야 한다. 상대적인 좌표계에서 앵커 노드의 역할은 기준점 즉, 원점이 된다. 원점으로부터 기준 축을 설정하는 과정은 그림 1과 같이 기술한다.

그림 2는 기준이 되는 축에 속하는 노드를 찾는 알고리즘을 기술하고 있다. 식 (2)를 이용하여 앵커 노드와 연결된 미지 노드들의 거리를 계산하고, 각 노드들을 중심으로도 거리를 계산한다. 계산된 거리에서 원점 노드와 통신 가능한 노드 중에서 최소의 거리를 가지는 노드를 기준이 되는 축의 멤버 노드로 선택한다.

입력 값 : 신호 세기 출력 값 : 설정된 기준 축
1 : 원점 노드와 각 노드간의 통신을 확인한다. 2 : 수신 신호 세기로부터 원점 노드와 각 미지 노드 간의 거리를 계산한다. 3 : 원점 노드에서의 정보 행렬을 만든다. (이 행렬은 통신 가능 노드 정보와 거리로 구성된다.) 4 : 원점 노드와 통신 가능 노드 중에서 최소의 거리를 가지고 있는 노드를 찾는다. 5 : 최소 거리를 가지고 있는 노드를 사용해서 기준 축을 설정한다. (기준 축 설정 좌표 : 원점, (최소 거리, 0)) 6 : 최소 거리를 가지는 축 멤버를 선택한다.

그림 2. 기준 축 설정 제안 알고리즘
Fig. 2. The proposed algorithm for establishing the reference axis.

나. 계산된 거리를 이용한 노드 위치 계산

설정된 기준 축에서 미지 노드를 구하는 과정을 그림 3에서 보이고 있다. 이 때 식 (3)을 이용하여 미지 노드의 위치를 계산한다. 노드의 위치를 계산할 때 그림 3에서와 같이 설정한 축의 두 노드의 통신 범위 내에서 공통적으로 통신이 가능한 노드에 대해서 위치를 찾고 있음을 볼 수 있다. 따라서 미지 노드의 위치를 계산하기 위해서 설정된 축의 두 노드가 공통적으로 통신을 하고 있는 노드의 수와 공통적으로 통신을 하고 있는 노드를 찾아야 한다. 그림 2에서 두 노드가 공통적으로 통신하고 있는 노드는 D이다.

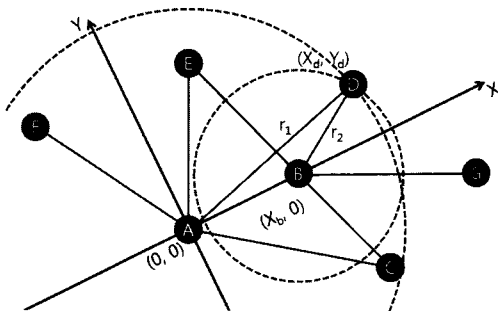


그림 3. 미지노드 D를 찾기 위한 노드 정보
Fig. 3. Node information to find for unknown node D.

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r_1^2 \\ (x - X_b)^2 + y^2 = r_2^2 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $(X_b, 0)$ 은 노드 A에서 기준 축을 설정하기 위해서 선택된 노드 B의 위치이고, r_1 은 앵커노드 A에서부터 미지 노드 D까지의 거리, r_2 는 노드 B로부터 미지 노드 D까지의 거리이다. 식 (3)로부터 노드 D의 위치는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$(X_d, Y_d) = \left(\frac{r_1^2 - r_2^2 + X_b^2}{2X_b}, \pm \sqrt{r_1^2 - X_d^2} \right) \quad (4)$$

다. 미지 노드의 위치 결정

그림 3에서 식 (4)에 의해 계산된 미지 노드인 D의 좌표 x값은 하나이나, 계산된 y값은 2개가 됨을 볼 수 있다. 즉, y좌표의 위치에 따라서 노드의 위치가 달라져서 분포되는 노드의 전체적인 맵이 달라진다. 그렇기 때문에 미지 노드 D의 위치를 찾기 위해서 노드 D에서 통신 가능 노드에 대한 정보와 신호 세기를 이용해서

입력 : 원점 노드의 정보 행렬
출력 : 추정된 미지 노드의 위치

- 1 : 최소 거리 노드와 각 노드간의 통신을 확인한다.
- 2 : 수신 신호 세기로부터 최소 거리 노드와 각 미지 노드 간의 거리를 계산한다.
- 3 : 최소 거리 노드에서의 정보 행렬을 만든다. (이 행렬은 통신 가능 노드 정보와 거리로 구성된다.)
- 4 : 두 행렬에서 공통적으로 통신하는 노드의 수를 찾는다.
- 5 : 두 행렬에서 첫 번째로 공통적으로 통신하는 노드를 찾는다.
- 6 : 공통적으로 통신하는 노드의 수만큼 루프를 수행한다.
- 7 : 거리1 = 원점 노드에서 공통 노드까지의 거리
- 8 : 거리2 = 최소 거리 노드에서 공통 노드까지의 거리
- 9 : 식(4)를 이용해서 미지 노드에 대한 좌표를 계산한다.
- 10 : 계산된 좌표 중 양의 값을 가지고 있는 노드와 음의 값을 가지고 있는 노드 정보가 원래의 노드 정보와 일치할 경우에는 각 위치에서의 거리 정보를 비교한다.
- 11 : 계산된 좌표 중 양의 값을 가지고 있는 노드와 음의 값을 가지고 있는 노드 정보가 원래의 노드 정보와 일치하지 않은 경우에는 노드의 정보만 비교를 한다.
- 12 : 추정된 미지 노드의 위치를 반환한다.

그림 4. 미지 노드 선택 제안 알고리즘
Fig. 4. The proposed algorithm for selection unknown node.

식 (2)에 의해 계산된 거리 정보를 사용하여 해당 노드의 위치를 결정한다. 다음의 그림 4는 이러한 과정을 기술하고 있다.

4. 다음 노드에서 노드의 위치 추정

기준 축을 중심으로 계산이 되지 않은 노드들은 원점을 이동시켜서 미지 노드들의 위치를 추정한다. 이때 원점으로 결정하는 노드는 축에서 앵커 노드와 함께 축으로 설정했던 노드를 이용한다.

가. 새로운 축에 대한 회전

원점을 이동하면 새로운 축을 설정해야 한다. 새로운 축을 설정하는 방법은 이전에 기술한 그림 1의 알고리즘을 이용한다. 이 때, 새로운 축은 이전에 설정된 기준 축에 대해서 회전을 해야 하는데, 식 (5)의 회전 행렬을 이용해서 축을 기준 축에 대해서 회전한다.

$$\begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서, (X_n, Y_n) 은 추정된 좌표이고, (X_r, Y_r) 은 회전된 좌표이다. 식 (5)에서 회전각 θ 가 있는데, 이 회전

입력 : 찾아낸 노드의 위치
출력 : 회전각

- 1: 찾아낸 노드의 위치에서 축 멤버로 설정된 노드의 위치를 찾는다.
- 2: 찾아낸 노드의 위치에서 축 멤버로 설정된 노드의 위치가 있으면 위치를 알고 있기 때문에 회전각을 구한다.
- 3: 원점으로 선택된 노드를 중심으로 축 멤버로 설정된 노드의 위치가 좌표계에서 1 사분면과 2 사분면에 있는 경우에는 회전각을 $-$ 계산된 회전각으로 하고, 3사분면에 있는 경우에는 회전각을 $\pi-$ 계산된 회전각으로, 4사분면에 있는 경우에는 회전각을 $\pi+$ 계산된 회전각으로 한다.

그림 5. 회전각 계산을 위한 제안 알고리즘
Fig. 5. A proposed algorithm for rotation angle calculation.

각을 구하는 알고리즘은 그림 5에서 보이고 있다.

나. 기준 축에 대한 좌표로 변환

새로운 원점에서 구해진 노드의 위치를 역회전을 통해서 기준 노드 중심의 좌표계로 환원한다. 역회전에 사용되는 회전각은 그림 5의 과정에서 구한 회전각에서 음의 값을 가지는 경우에는 $\pi - \theta$ 를 하고 그렇지 않으면 $-\theta$ 를 회전 행렬에 대입해서 기준 축 중심으로 변환한다. 그러면 새로운 원점에 대한 좌표 계산의 결과를 얻을 수 있고 기준 축에 대해서 이동한 거리를 알고 있기 때문에 구한 좌표를 전체적으로 기준 축에 대해서 이동하면 앵커 노드를 기준으로 한 노드의 맵을 구성할 수 있다.

IV. 제안 기법의 검증

본 장에서는 III장에서 제안한 기법을 사용하여 제안 기법의 정확성을 검증하고자 한다. 이를 검증하기 위해서 다음의 그림 6과 같이 노드를 배치한다.

여기서 1번 노드는 위치를 알고 있는 앵커 노드이며, 2번부터 10번 노드는 위치를 모르고 있는 노드이다. 시뮬레이션에서 각 노드의 송신 안테나의 이득, 수신 안테나의 이득, 수신된 전력 및 송신된 전력은 각 노드마다 일정하고, 모든 노드들은 평면상에 배치되어 있음을 전제로 한다.

다음의 표 1은 수신 신호 세기를 이용해서 식 (2)에 의해 구해진 노드 간의 거리이다. 제안된 기법 검증을 위해 배치한 노드들 간의 거리를 보이고 있다. 통신이 되지 않는 노드 간에는 거리를 -1 로 설정하였다.

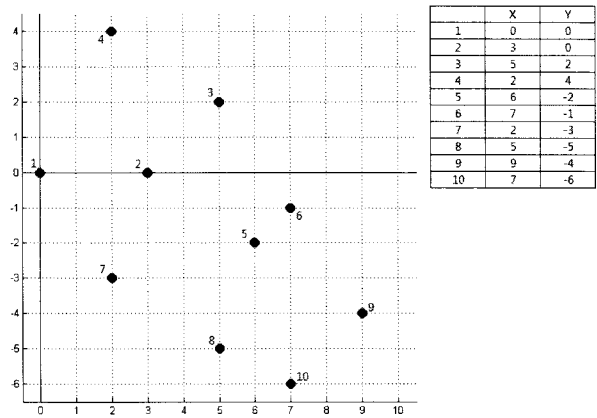


그림 6. 제안 기법 검증을 위한 노드 위치
Fig. 6. Node position for proposal method verification.

표 1. 계산된 노드 간의 거리
Table 1. Calculated distance between nodes.

노드	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	3.0	5.3	4.4	-1	-1	3.6	-1	-1	-1
2	3.0	0	2.8	4.1	3.6	4.1	3.1	5.3	-1	-1
3	5.3	2.8	0	3.6	4.1	3.5	-1	-1	-1	-1
4	4.4	4.1	3.6	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
5	-1	3.6	4.1	-1	0	1.4	4.1	3.1	3.6	4.1
6	-1	4.1	3.5	-1	1.4	0	5.3	4.4	3.5	4.9
7	3.6	3.1	-1	-1	4.1	5.3	0	3.6	-1	-1
8	-1	5.3	-1	-1	3.1	4.4	3.6	0	4.1	2.2
9	-1	-1	-1	-1	3.6	3.5	-1	4.1	0	2.8
10	-1	-1	-1	-1	4.1	4.9	-1	2.2	2.8	0

그림 7은 각 노드의 통신 반경과 노드의 위치를 찾기 위해서 설정된 기준 축 및 사용된 축을 표시하였다. 표 1을 참고하면 원점이 되는 노드와 최소의 거리를 가지는 노드들이 축 멤버로 설정되고 있음을 확인할 수 있다.

표 2는 제안 기법을 이용해서 그림 7에서 보이는 것과 같이 설정된 각 축별로 추정된 노드의 위치와 검증을 위해 배치했던 각 노드의 좌표와의 표준편차를 보이고 있다.

제안한 기법의 시뮬레이션은 신호의 세기에 대해서 10회의 시뮬레이션을 반복한 결과로 나타난 좌표의 값

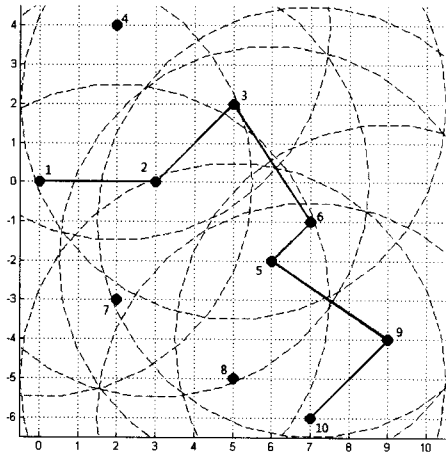


그림 7. 각 노드의 통신 반경과 설정된 축

Fig. 7. Communication radius of each node and established axis.

표 2. 제안 기법을 이용해서 추정된 노드의 정확도

Table 2. The Accuracy of the estimated node using proposed method.

노드	x 좌표	y 좌표	좌표의 표준편차	
1	0.00	0.00	0	0
2	3.00	0.00	0	0
3	5.00	1.99	0	0.007071
4	2.00	4.00	0	0
5	5.99	-2.01	0.007071	0.007071
6	6.99	-0.99	0.007071	0.007071
7	2.00	-3.00	0	0
8	5.03	-5.02	0.021213	0.014142
9	9.02	-3.96	0.014142	0.028284
10	7.04	-6.02	0.028284	0.014142

이다. 표 2에서 좌표의 표준편차에서 보면 표준편차의 값이 0인 좌표들은 시뮬레이션을 위해서 설정한 노드의 좌표와 추정된 위치가 일치하고 있음을 보이고 있다. 다소 편차가 있는 값들은 소수점 둘째자리 이하의 값을 가지고 있어서 원래 설정된 위치와 거의 근접한 위치를 찾아내고 있음을 알 수 있다. 여기에서 오차가 발생한 것은 신호 세기를 이용해서 계산되는 거리가 정확하게 되지 않았을 경우 및 축을 회전할 때 발생하는 회전 오차에 의해서 발생한 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 이미 위치를 알고 있는 앵커 노드를 기준으로 위치를 알지 못하는 미지 노드들의 위치에 대해서 노드의 인접성과 노드에서 수신하는 신호의 세기를 이용해서 계산된 거리를 사

용하여 추정하는 방법을 제안하였다.

제안 기법의 검증을 위해 임의로 배치한 노드에 대해서 제안한 방법을 사용한 시뮬레이션을 통해서 추정된 노드의 위치에 대한 표준편차 값을 보면 가장 큰 편차가 0.028284로 시뮬레이션을 위해 설정한 위치에 거의 근접함을 알 수 있다. 제안하는 노드 위치 추정 기법은 노드의 정보와 신호 세기를 이용해서 상대적인 무선 센서 네트워크의 전체적인 맵을 생성한다. 그렇기 때문에 노드들의 위치가 변화하는 경우에도 쉽게 노드들의 위치를 추정해낼 수 있다.

그러나 본 논문에서는 모든 노드가 평면에 있다고 가정했기 때문에 3차원적인 환경에서는 제안한 기법이 오류를 나타낼 수 있다. 그리고 노드 간의 인접 정보가 부족할 경우 노드의 위치를 추정하는데 문제가 발생할 수 있다.

향후에는 무선 센서 네트워크에서 노드의 인접 정보가 부족한 경우에 노드의 위치를 추정하는 방법 및 이동하는 노드에 대한 노드의 위치를 추정 및 예측하는 방법에 대한 연구를 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Satyanarayanan, "Pervasive Computing: Vision and Challenges," *IEEE Personal Communications*, Vol 8, Issue 4, pp. 10-17, August 2001.
- [2] Y. B. Ko, N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," *MOBICOM 98*, pp. 66-75, Dallas, TX, USA, October 1998.
- [3] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak and M. B. Srivastava, "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks," *INFOCOM 2001*, Vol 3, pp. 1380-1387, Anchorage, Alaska, USA, August 2001.
- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM 2000*, pp. 775-784, Telaviv, Israel, March 2000.
- [5] L. Girod and D. Estrin, "Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal Sensing," *IROS 2001*, pp. 1312-1320, Maui, Hawaii, USA, October 2001.
- [6] N. Bulusu, J. Heidemann, D. Estrin, "GPS-less Low-cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communications* Vol 7,

Issue 5, pp. 28-34, Oct. 2000.

[7] D. Niculescu and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad Hoc Networks," *IEEE Telecommunication Systems* Vol 1. pp. 267-280, 2003.

[8] 윤숙현, 이제현, 정우용, 김은태, "퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 이용한 무선 센서 네트워크에서의 위치 추정," *한국 지능시스템 학회지*, Vol 18 No 4, pp. 530-536, 2008.

[9] G. P. Yost, S. Panchapakesan, "Improvement in Estimation of Time of Arrival (TOA) from timing advance (TA)," *ICUPC 98*, Vol 2, pp. 1367-1372, Florence, Italy, October 1998.

[10] L. Zhu, J. Zhu, "A New Model and Its Performance for TDOA Estimation," *VTS2001*, Vol 4, pp. 2750-2753, Mariana Del Rey, Ca, USA, October. 2001.

[11] 김동혁, 송승현, 박경순, 성태경, "TDOA 측정치를 이용한 가중치 추정방식의 QCLS 측위 방법," *전자공학회논문지-SC*, pp. 236-242, July 2007.

[12] D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc Positioning System (APS) using AOA," *INFOCOM 2003*, pp. 1734-1743, Hayatt Regency, CA, USA, March 2003.

[13] Chuan-Chin Pu , Wan-Young Chung , "An Integrated Approach for Position Estimation using RSSI in Wireless Sensor Network," *Journal of Ubiquitous Convergence Technology*, Vol 2, No. 2, pp. 78-87, November 2008.

[14] 정동규, 류우석, 박재관, 홍봉희, "RTLS를 위한 위치 보정 기법의 설계 및 구현," *한국GIS학회 2008 공동춘계학술대회*, pp. 286-292, 서울, June 2008.

[15] C.A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design," John Wiley & Son, pp. 94-96, 2005.

저 자 소 개



임 철 우(학생회원)
1999년 제주대학교 통신공학과
학사 졸업.
2002년 제주대학교 통신공학과
석사 졸업.
2007년 영남대학교 컴퓨터공학과
박사과정 수료.

<주관심분야 : 소프트웨어공학, UML, Mobile Ad-hoc Network, Ubiquitous Sensor Network>



강 병 옥(평생회원)
1970년 영남대학교 전기공학과
학사 졸업.
1977년 영남대학교 전자공학과
석사 졸업.
1994년 경북대학교 전자공학과
박사 졸업.

1979년~현재 영남대학교 전자정보공학부
컴퓨터공학 전공 교수

<주관심분야 : 소프트웨어공학, UML, OCL, 원격 교육, 정형명세기법>



김 영 락(정회원)
2000년 금오공과대학교
응용수학과 학사 졸업.
2004년 영남대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업.
2009년 영남대학교 컴퓨터공학과
박사 졸업.

<주관심분야 : Mobile Ad-hoc Network, Ubiquitous Sensor Network, 무선 모바일 네트워크>