

퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 이용한 무선 센서 네트워크에서 위치추정

Localization Method in Wireless Sensor Networks using Fuzzy Modeling and Genetic Algorithm

윤숙현 · 이제현 · 정우용 · 김은태

Sukhyun Yun, Jaehun Lee, Wooyong Chung and Euntai Kim

연세대학교 전기전자공학과

요 약

무선 센서 네트워크에서 노드들의 위치 추정 문제는 다양한 위치인식 기법을 적용하기 위해 기본적으로 해결해야 한다. 위치추정 문제는 위치가 알려진 일부 고정 노드들을 기준으로 나머지 노드들의 위치를 결정하는 문제이다. 기존의 대부분의 위치추정 기법은 고정 노드들로 부터의 각도나 거리 측정값을 기반으로 삼각기법(triangulation)이나 multilateration 방법을 사용한다. 본 논문에서는 노드들 간의 연결성이 알려져 있을 때 퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 사용하여 서로 전송 범위 내에 있는 노드 쌍에 대해 가중치를 주어 미지 노드의 위치를 계산하는 향상된 중점 기법을 제안한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 중점 기법이 단순히 연결성만을 사용하는 중점 기법에 비해 정확한 위치추정이 가능함을 확인하였다.

키워드 : 퍼지 모델링, 유전자 알고리즘, 무선 센서 네트워크, 중점, 위치추정

Abstract

Localization is one of the fundamental problems in wireless sensor networks (WSNs) that forms the basis for many location-aware applications. Localization in WSNs is to determine the position of node based on the known positions of several nodes. Most of previous localization method use triangulation or multilateration based on the angle of arrival (AOA) or distance measurements. In this paper, we propose an enhanced centroid localization method based on edge weights of adjacent nodes using fuzzy modeling and genetic algorithm when node connectivities are known. The simulation results shows that our proposed centroid method is more accurate than the simple centroid method using connectivity only.

Key Words : Fuzzy modeling, Genetic algorithm, Wireless sensor network, Centroid, Localization

1. 서 론

최근 무선통신 기술과 센서 하드웨어 기술의 급속한 발달로 저비용, 저전력의 무선 센서의 개발이 가능해 짐에 따라 광범위한 지역의 표적 추적, 침입자 탐색, 생태 환경 모니터링 그리고 실시간 교통정보 모니터링 등 다양한 분야에서 무선 센서의 사용이 가능해 지고 있다. 위치추정은 무선 센서 네트워크에서 노드의 위치를 결정하는 작업이다. 위치 정보는 무선 센서 네트워크 환경에서 다양한 응용분야의 상황을 인식하는데 중대한 역할을 하고 있으며 [1-2], 이러한 각 노드들의 위치 정보를 제공하기 위해 다양한 위치추정 알고리즘이 제안되었다.

위치추정 알고리즘은 거리기반 (range-based) 방법 [3-4] 과 거리독립 (range-free) 방법 [5-7] 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 거리기반 방법은 위치를 알고 있는 두 노드

간의 신호 세기 (received signal strength indicator / RSSI) [3] 또는 전파도달 시간 (time of arrival / TOA) [4] 등을 사용하여 측정된 절대적인 거리를 기반으로 위치를 추정한다. 그러나 거리기반 방법을 통한 위치추정의 정확도는 전파 전달 수단 및 사람, 초목, 건물 등 주위 환경변화에 민감하게 반응하며 거리 추정을 위한 별도의 하드웨어도 요구되어 진다 [8]. 이에 반해 거리독립 방법은 두 노드간의 절대적인 거리를 기반으로 하지 않고 연결성 (connectivity) [5] 이나 홉-카운트 (hop-count) [6] 정보 등을 가지고 위치를 추정한다. 이러한 거리독립 방법은 센서 노드를 하드웨어적으로 매우 단순화시킬 수 있어 무선 센서 네트워크에서 거리독립 방법은 많은 연구가 이루어져 왔다.

일반적으로 무선 센서 네트워크에서 위치가 알려진 노드를 앵커 노드 (anchor node) 라 하고 위치가 알려지지 않은 노드들은 미지 노드 (unknown node) 라 한다. 앵커 노드의 위치는 GPS에 의해 설정되거나 수동으로 설정할 수 있으며, 기타 어떠한 가용한 수단으로 설정할 수도 있다. 앵커 노드의 위치가 항상 같은 위치에 있어야 하는 것은 아니지만 앵커 노드의 위치가 이동하면 미지 노드들의 위치도 다시 측정해야 한다.

앵커 노드의 위치를 기반으로 미지 노드들의 위치를 알아

접수일자 : 2007년 7월 25일

완료일자 : 2008년 2월 21일

본 연구는 산업자원부 성장동력기술개발사업(차세대 Hybrid Intelligent Service Station 기술개발) 프로젝트에 지원 받았습니다.

내는 방법은 다양하나 그 중에서도 단순한 연결성을 기반으로 한 중점 기법 [5] 은 하드웨어의 단순성으로 성능이 제한되어 있는 센서 노드들에 적합한 알고리즘이다. 중점 기법은 단순하다는 장점을 가지지만 중점 공식 (centroid formula) 만을 기반으로 하기 때문에 높은 위치 측정 오차를 가진다. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 노드들 간의 연결성이 알려져 있을 때 신호 세기를 기반으로 퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 사용하여 서로 전송범위 내에 있는 노드 쌍에 대해 가중치를 주어 미지 노드의 위치를 계산하는 향상된 중점 기법을 제안한다. 제안된 방법은 먼저 위치추정을 하고자 하는 미지 노드와 근접한 앵커 노드와의 연결성 여부를 확인한다. 연결성이 확인되면 미지 노드와 앵커 노드 사이의 신호 세기를 기반으로 퍼지 소속 함수 (fuzzy membership function) 를 이용 가중치를 구한다. 이때 퍼지 소속 함수의 모양을 동일한 모양으로 구성할 수 있으나 입력 상황에 따라 보다 정확한 가중치를 구하기 위해 유전자 알고리즘을 사용하여 퍼지 소속 함수의 모양을 다른 모양으로 변형 시킨다. 가중치를 구한 후 가중된 중점 기법 [9] 을 적용하면 미지 노드의 위치를 구할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 제2장에서는 본 논문의 기본이 되는 중점 기법, 퍼지 모델링 및 유전자 알고리즘에 관하여 간략히 기술한다. 제3장에서는 위치추정 과정에서 퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 사용한 방법을 소개하고, 제4장에서는 기존의 중점 기법 및 가중된 중점 기법과 제안된 기법을 통한 시뮬레이션 결과를 비교한다. 마지막으로 제5장에서는 결론으로 마무리 한다. 본 논문은 [14] 의 확장판이다.

2. 관련 연구

2장에서는 본 논문의 기초가 되는 관련연구로서 중점 기법, 퍼지 모델링 및 유전자 알고리즘에 관하여 기술한다.

2.1 중점 기법 (Centroid)

중점 기법 [5] 은 앵커 노드의 위치가 알려져 있을 때 연결성만을 근거로 하여 미지 노드의 위치를 측정하는 거리 독립, 근접기반 그리고 광역 위치 측정 방법이다. 여기에서 연결성이란 노드간의 통신 가능 여부를 말한다. 각 앵커 노드들은 특정한 무선 전송 범위를 가지고 중첩 배치된다. 앵커 노드들은 주기적으로 자신의 위치 정보를 담은 비컨을 전송한다. 이때 미지 노드는 연결성이 있는 앵커 노드들로부터 비컨 신호를 수집한다. 미지 노드는 인접한 앵커 노드들의 위치 정보가 포함된 비컨 신호를 중점 공식을 사용하여 위치를 측정한다. 이와 같은 위치 측정을 위한 중점 기법은 그림 1과 같이 나타낼 수 있고 다음과 같이 식 (1)로 표현된다.

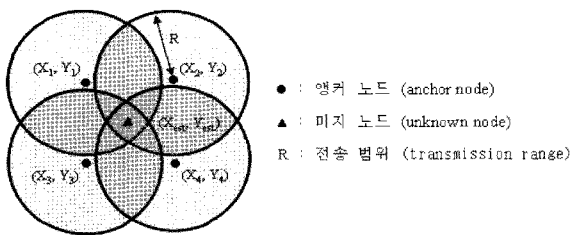


그림 1. 중점 기법의 예
Fig. 1. An example of centroid

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_1 + \dots + X_N}{N}, \frac{Y_1 + \dots + Y_N}{N} \right) \quad (1)$$

여기서, (X_{est}, Y_{est}) 는 미지 노드의 측정 위치, (X_i, Y_i) 는 앵커 노드의 위치, N 은 연결성이 있는 앵커 노드의 수를 나타낸다.

중점 기법은 단순한 방법으로 미지 노드의 계산량이 적어 부하를 줄일 수 있다는 장점이 있지만, 단순히 중점 공식만을 기반으로 하기 때문에 위치 측정의 오차가 크며 사전에 앵커 노드들의 전송 범위가 중첩 되도록 배치해야 한다는 단점도 있다.

2.2 퍼지 모델링 (Fuzzy Modeling)

퍼지 이론 [10] 은 퍼지 논리를 기초로 하는 이론이며 부울 논리를 확장한 개념이다. 부울 논리를 기본으로 하는 기존의 집합 이론에서는 특정 객체가 주어진 집합의 원소로 속하거나 속하지 않거나 즉, 0과 1의 둘 중의 하나이다. 그러나 퍼지 이론에서는 특정 객체가 구성원소로서 주어진 집합에 어느 정도로 속하는가를 0에서 부터 1까지 사이의 수치로 나타내며 이를 소속의 정도라고 한다.

어느 특정 데이터를 이용하여 비선형 입력력 관계를 기술하는 퍼지모델을 구축하는 방법을 알아보자. 식 (2)는 다중 입력력 시스템에 대한 퍼지 규칙을 표현한 것이다.

$$R^i : \text{if } x_1 \text{ is } A_1^i(x_1) \text{ and } \dots x_p \text{ is } A_p^i(x_p) \text{ then } y_1 \text{ is } B_1^i \text{ and } \dots y_q \text{ is } B_q^i \quad (2)$$

R^i 는 i 번째 규칙 ($1 \leq i \leq n$), n 은 퍼지규칙 수, x_j ($1 \leq j \leq p$)는 입력변수, y_k ($1 \leq k \leq q$)는 출력변수, $A_j^i(x_j)$ 는 식 (3)의 퍼지변수 이고 B_k^i 는 퍼지 싱클톤 이다.

$$\begin{aligned} A_j^i &= 0 && \text{if } x_j < a \\ A_j^i &= \frac{x_j + r_1 + r_2 - c}{r_1} && \text{if } a \leq x_j \leq b \\ A_j^i &= 1 && \text{if } b < x_j < d \\ A_j^i &= \frac{-x_j + r_2 + r_3 + c}{r_3} && \text{if } d \leq x_j \leq e \\ A_j^i &= 0 && \text{if } e < x_j \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 c 는 그림 2의 퍼지 소속 함수 중심점, r_1 는 중심점에서 사다리꼴 좌우측 빗변까지의 각각 거리이다. 만약 r_2 가 0이면 삼각형 퍼지 소속 함수를 나타낸다.

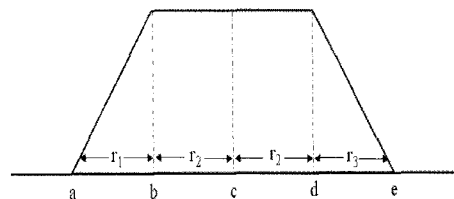


그림 2. 퍼지 소속 함수
Fig. 2. Fuzzy membership function

식 (2)를 식 (4)처럼 간략하게 나타내자.

$$R^i : \text{if } x \text{ is } A^i(x) \text{ then } y \text{ is } B^i \quad (4)$$

여기서 $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$, $A^i = (A_1^i, A_2^i, \dots, A_p^i)$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_q)$, $B^i = (B_1^i, B_2^i, \dots, B_q^i)$ 이다. m 개 입출력 데이터 $\{x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mp}, y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mq}\}$ 가 주어졌을 때, 식 (4)의 i 번째 규칙에 대한 가중치 w_i 는 식 (5)와 같이 계산되고, 추론 값 y_{iq}^* 는 식 (6)처럼 계산된다.

$$w_i = A_1^i(x_{m1}) \times A_2^i(x_{m2}) \times \dots \times A_p^i(x_{mp}) \quad (5)$$

$$y_{iq}^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times B_q^i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

2.3 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm)

유전자 알고리즘은 생명체의 유전 및 진화과정을 전산학적으로 모델링한 기계학습의 방법으로, 탐색해야 할 공간이 매우 넓은 경우 유용하게 사용되는 탐색 및 최적화 기법이다 [11]. 또한 자연 선택과 자연 발생의 과정을 기초로 다수의 개체를 동시에 진화시켜 가면서 최적의 해를 찾는 유전자 알고리즘은 많은 최적화 문제에서 사용되고 있다 [12]. 유전자 알고리즘의 가장 큰 특징은 잠재적인 해인 염색체(chromosome)들이 집단을 이루어 만들어진 해의 집단(population)을 운용한다는 것이다. 각 염색체는 적자생존의 법칙에 의하여 상대적으로 우수한 것이 살아남을 확률이 크며, 또한 유전 연산자에 의하여 진화과정을 거치게 된다. 적합도가 높은 개체의 집합이 선택(selection)되어 다음 세대의 자손을 생성하는 부모가 되며, 자손은 교차(crossover), 돌연변이(mutation)의 유전 연산자를 통해 생성된다. 일반적인 유전자 알고리즘의 절차는 다음과 같다 [13].

```

procedure GA
begin
  t:=0;
  initialize P(t);
  evaluate P(t);
  while termination condition not satisfied do
  begin
    t:=t+1;
    select P(t) from P(t-1);
    recombine and mutate P(t);
    evaluate P(t);
  end
end
end
    
```

초기 염색체들의 집단인 P(0)를 생성한다. 초기 집단은 해 공간 내에서 무작위로 분포되도록 선택되거나 경험적인 방법으로 선택된다. 그리고 각 염색체들의 적합도를 평가한 다음 평가된 적합도에 비례하여 선택된 염색체들을 P(t)에 복사한다. P(t)안의 염색체들에게 유전자 연산(교차, 돌연변이)을 적용시킨 후 P(t)를 재 생성한다. 그리고 그 결과를 바탕으로 자식 세대 P(t+1)을 생성한다.

유전자 알고리즘은 선택, 교차, 돌연변이 등의 연산자를 연속적으로 사용하여 개체의 적합도를 개선하여 나가는데, 유전자 알고리즘의 이와 같은 적용과정은 국부 해가 아닌 전역 해로의 수렴을 가능하게 한다.

3. 제안된 가중 중점 기법

본 논문의 제안하는 위치 측정 기법은 노드들 간의 연결성이 알려져 있을 때 신호 세기를 기반으로 퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 사용하여 서로 전송범위 내에 있는 노드 쌍에 대해 가중치를 주어 미지 노드의 위치를 계산하는 향상된 중점 기법이다. 3장에서는 이러한 위치 측정 기법을 구성하기 위해서 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 모델링을 구성하는 방법과 이를 가중된 중점 기법에 적용하는 과정에 대하여 설명한다.

3.1 노드간 연결성 확인

연결성이란 미지 노드와 인접한 앵커 노드들 사이의 통신 가능 여부를 말한다. 앵커 노드들의 위치를 A_i 라 하고 이 앵커 노드들이 주기적으로 비컨을 전송하면 미지 노드는 수신된 신호 세기를 수집하여 특정 신호 세기를 초과하는 앵커 노드들과의 연결성을 확인한다. 이때 미지 노드는 노드간 신호 세기를 기반으로 하는 퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 사용하여 가중치를 구하기 위해 연결된 앵커 노드의 위치 및 신호 세기를 저장한다. 연결성 확인 방법의 간단한 예는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

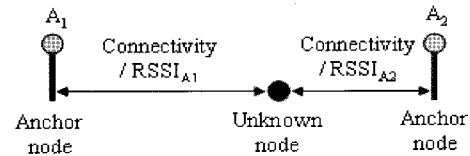


그림 3. 연결성 확인 및 신호 세기의 예
Fig. 3. An example of connectivity and RSSI information

3.2 노드간 가중치 계산

노드간 가중치는 미지 노드와 연결성이 확인된 인접한 앵커 노드들 간의 신호 세기를 기반으로 퍼지 모델링을 사용하여 구한다. 본 논문에서 사용된 퍼지는 퍼지화에는 싱글톤 방법, 추론에는 Mandani의 Min-Max법, 규칙 형식은 "If ~, then ~", 그리고 비퍼지화기로는 일반적으로 사용되는 무게중심법을 사용하였다. 퍼지 추론의 전진부(그림 4)는 신호 세기이고 후진부(그림 5)는 가중치이다. 신호 세기는 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음 5가지의 소속 함수를 가지고 가중치도 매우 작음, 작음, 중간, 큼, 매우 큼 5가지의 소속 함수로 구성된다. 신호 세기에 대한 노드간 가중치의 규칙 베이스는 표 1과 같다.

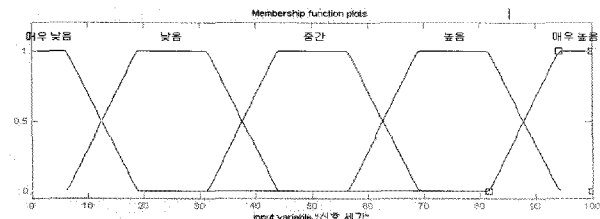
표 1. 노드간 가중치에 대한 규칙 베이스
Table 1. Rule base about edge weight

Rule	If : 신호 세기 is	Then : 가중치 is
Rule 1	매우 낮음	매우 작음
Rule 2	낮음	작음
Rule 3	중간	중간
Rule 4	높음	큼
Rule 5	매우 높음	매우 큼

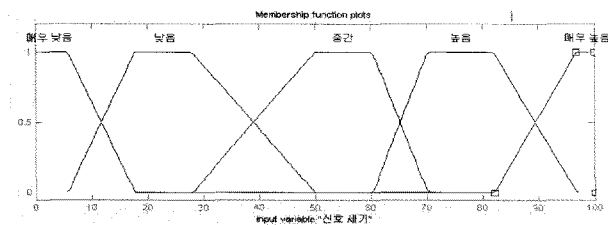
기존의 퍼지 모델링 방법은 소속 함수를 입력변수의 최

소값과 최대값 사이를 임의의 개수로 등분하여 일률적으로 정의 하였다. 그러나 신호 세기는 어떤 특정한 값 근처에 많이 분포할 가능성이 있으므로 그 특성에 따라 소속 함수를 정의하는 것이 보다 합리적인 방법이다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 소속 함수를 정의한다.

유전자 알고리즘을 구현하기 위한 각 변수들의 정의와 값은 다음과 같다. 세대수는 100세대이며 교배율은 0.6, 돌연변이율은 0.05, 교배의 위치는 한번만 허락하며, 선택은 룰렛 휠 (roulette wheel) 과 우월주의 (eliticism) 를 반반씩 이용하였다. 기존의 유전자 알고리즘은 이진수를 이용하지만 본 논문에서는 실수를 이용한다.



(a) 유전자 알고리즘 적용 전



(b) 유전자 알고리즘 적용 후

그림 4. 전건부의 퍼지 멤버쉽 함수

Fig. 4. Fuzzy membership function of antecedent

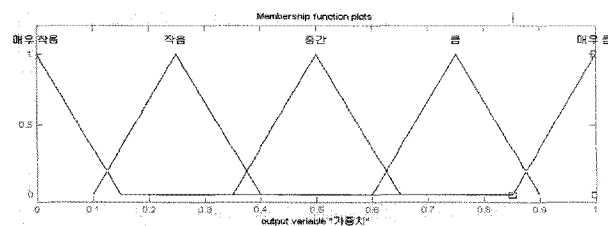


그림 5. 후건부의 퍼지 멤버쉽 함수

Fig. 5. Fuzzy membership function of consequent

위 퍼지 모델에서 신호 세기에 따른 입력력 퍼지 소속 함수에 따라 노드간 가중치를 식 (6)을 사용하여 구할 수 있다.

3.3 노드 위치 측정

퍼지 모델링을 사용하여 가중치를 구한 후 위치 측정을 위해 가중된 중점 기법 [9] 을 적용하면 미지 노드의 위치를 구할 수 있다. 먼저 노드간 가중치를 y_i^* , 미지 노드의 위치를 (X_{est}, Y_{est}) , 인접한 앵커 노드들의 위치를 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ 으로 각각 놓을 수 있다. 여기서 N 은 연결성이 있는 앵커노드의 수를 나타낸다. 가중된 중점 기법을 사용한 미지 노드의 위치 측정은 그림 6과 같이 나타낼 수 있고 다음과 같이 식 (7)으로 표현된다.

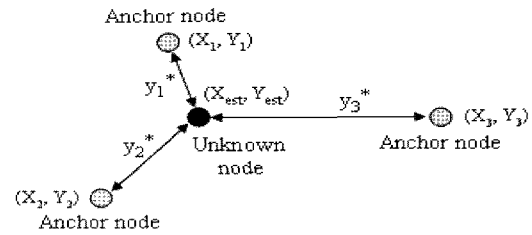


그림 6. 가중된 중점 기법의 예

Fig. 6. An example of weighted centroid

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{y^*_1 \cdot X_1 + \dots + y^*_N \cdot X_N}{\sum_{i=1}^N y^*_i}, \frac{y^*_1 \cdot Y_1 + \dots + y^*_N \cdot Y_N}{\sum_{i=1}^N y^*_i} \right) \quad (7)$$

3.4 위치 측정 오차

위치 측정의 정확도를 판단하기 위해 위치 측정 오차를 LE로 두면 위치 측정 오차 LE는 아래와 같은 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$LE = \sqrt{(X_{est} - X_a)^2 + (Y_{est} - Y_a)^2} \quad (8)$$

여기서 (X_{est}, Y_{est}) 는 측정된 미지 노드의 위치, (X_a, Y_a) 는 실제 미지 노드의 위치를 나타내며, 위치 측정 오차의 단위는 미터를 사용하였다.

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 기법의 효율성을 보이기 위해 기존의 중점 기법 [5] 과 가중된 중점 기법 [9] 의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션에는 MATLAB 프로그램을 사용하였으며, 기본적인 노드들의 배치는 그림 7과 같다.

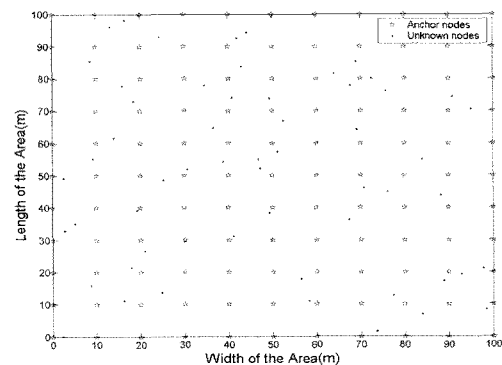


그림 7. 노드들의 배치

Fig. 7. Nodes distribution

시뮬레이션 수행 환경으로는 앵커 노드의 신호 전송 범위는 8.94미터, 100 X 100 구간에 각각 121개의 앵커 노드를 10미터 간격으로 그리드 형태로 신호가 중첩되도록 배치하였으며 60개의 미지 노드는 임의로 배치하였다. 앵커 노드의 신호 세기에는 백색 가우시안 노이즈 (white gaussian noise) 를 부가하였다. 시뮬레이션은 그림 7과 같은 노드들의 배치를 가지고 세 가지 기법의 위치추정 정확도 및 오차

를 비교 하였다. 그림 8-10은 세 가지 기법에 대한 위치추정의 정확도와 오차를 각각 나타낸다. 그림에서 • 은 실제 미지 노드들의 위치이고 O는 측정된 위치이다. 라인은 실제 위치와 계산된 위치의 오차를 나타낸다.

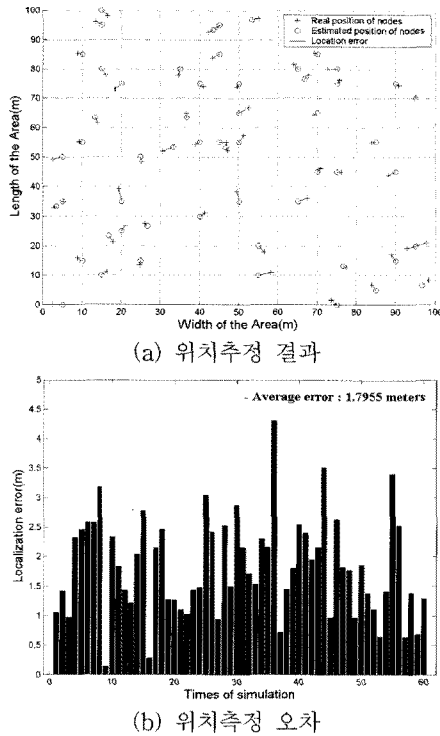


그림 8. 중점 기법의 위치 측정 결과

Fig. 8. Location estimation of simple centroid method

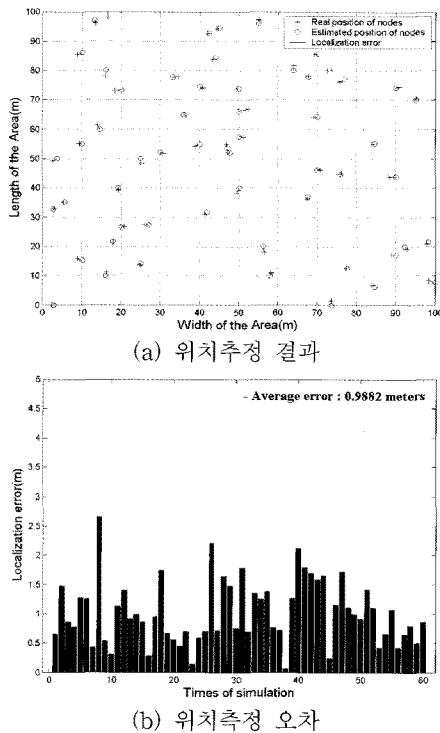


그림 9. 가중된 중점 기법의 위치 측정 결과

Fig. 9. Location estimation of weighted centroid method

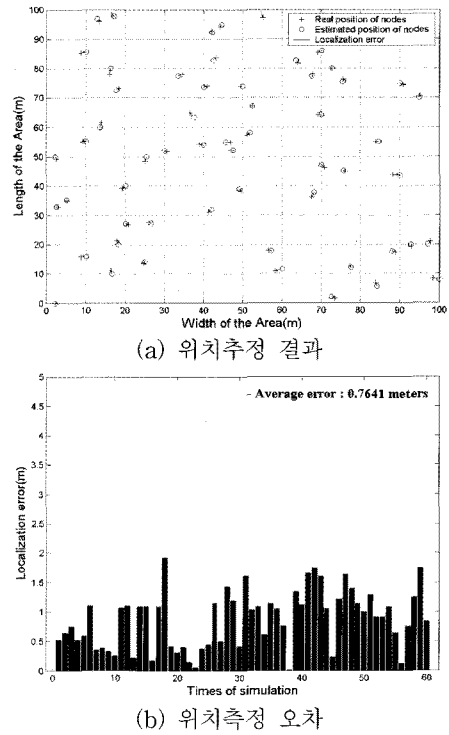


그림 10. 제안된 중점 기법의 위치 측정 결과

Fig. 10. Location estimation of proposed centroid method

그림 8의 결과를 살펴보면 평균 위치추정 오차 1.7955미터, 최대 오차 4.1402미터, 최소 오차 0.1438미터로 중점 기법 [5] 은 단순히 연결성만을 기반으로 하는 중점 공식을 사용하므로 위치 측정의 오차가 큰 것을 볼 수 있다. 그림 9의 가중된 중점 기법 [9] 의 결과는 평균 위치 측정 오차 0.9882미터, 최대 오차 2.2815미터, 최소 오차 0.0665미터로 노드간 거리를 기반으로 가중치를 계산하므로 중점 기법에 비해 오차가 적다. 그림 10의 제안된 기법의 결과는 평균 위치 측정 오차 0.7641미터, 최대 오차 1.9047미터, 최소 오차 0.0051미터로 노드간 신호 세기를 기반으로 최적화된 퍼지 모델링을 사용하는 제안된 기법이 가장 좋은 성능을 보인다. 표 2는 세 가지 위치추정 오차를 비교하여 나타낸다.

표 2. 위치 측정 오차 비교

Table 2. Comparison of location error

기법	최대 오차	최소 오차	평균 오차
중점 기법 [5]	4.1402	0.1438	1.7955
가중된 중점 기법 [9]	2.2815	0.0665	0.9882
제안된 중점 기법	1.9047	0.0051	0.7641

5. 결 론

위치 측정은 많은 분야에서 각광받고 있는 기술 중에 하나이다. 하드웨어 시스템 개발의 가속화로 저비용, 저전력의 무선 센서 노드의 개발이 가능해짐에 따라 광범위한 지역의 표적 추적, 침입자 탐색, 생태 환경 모니터링 그리고 실시간 교통정보 모니터링 등 다양한 분야에서 무선 센서의

사용이 가능해 지고 있다. 본 논문에서는 노드들 간의 연결성이 알려져 있을 때 신호 세기를 기반으로 퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 사용하여 서로 전송범위 내에 있는 노드 쌍에 대해 가중치를 주어 미지 노드의 위치를 계산하는 향상된 중점 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 중점 공식만을 사용하는 기존의 중점 기법과는 달리 노드간 가중치를 고려하는 가중된 중점 기법을 제안함으로써 위치추정 오차를 줄일 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법이 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Y. B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing(LAR) Mobile Ad Hoc Networks," *Proceedings of the fourth annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom 98)*, Dallas, Texas, October 1998, pp. 66-75.

[2] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M.B. Srivasfava, "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks," *Proceedings of IEEE Infocom 2001*, Ankorange, Alaska, April 2001.

[3] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000*, Telaviv, Israel, March 2000.

[4] L. Girod and D. Estrin, "Range Estimation using Acoustic and Multimodal Sensing," *Proceedings of IROS 2001*, Maui, Hawii, October 2001.

[5] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communication Magazine*, Vol. 7, No. 5, October 2000, pp. 28-34.

[6] D. Niculescu and B. Nath. "DV-Based Positioning in Ad hoc Networks," *Journal of Telecommunication Systems*, Vol. 1 2003.

[7] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," *Proceedings of the ninth annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom 2003)*, San Diego, California, September 2003, pp. 81-95.

[8] A. Savvides, C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-hoc Networks of Sensors," *Proceedings of the seventh annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom 01)*, Rome, Italy, July 2001.

[9] S. Y. Kim, O. H. Kwon, "Location Estimation based on Edge Weights in Wireless Sensor Networks," *Journal of Korea Information and Communication Society*, Vol. 30 No. 10A 2005.

[10] L. Wang, *A Course in fuzzy systems and con-*

trol, Prentice-Hall, 1997.

[11] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, 1989.

[12] L. Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, 1991.

[13] T. Back, D. B. Fogel and T. Michalewicz, *Evolutionary Computation 1: Basic algorithm and operators*, IoP, 2000.

[14] S. Yun, J. Lee, W. Chung and E. Kim, "Centroid Localization Method in Wireless Sensor Networks using TSK Fuzzy Modeling," *International Symposium on advanced Intelligent Systems*, Sokcho, Korea, September 2007, pp. 971-974.

저 자 소 개



윤숙현(Sukhyun Yun)
2003년 : 목포해양대학교 항해학부
해양경찰학과(학사)
2008년 : 연세대학교 전기전자공학과(석사)
2008년~현재 : 해군 복무

관심분야 : 퍼지 이론, 센서 네트워크
E-mail : dbstnrgus@yonsei.ac.kr



이제현(Jaehun Lee)
2005년 : 연세대학교 전기전자공학과(학사)
2007년 : 연세대학교 전기전자공학과(석사)
2007년~현재 : 연세대학교 전기전자
공학과 박사과정

관심분야 : 퍼지 이론, 베이지안 네트워크, 센서 네트워크
E-mail : aznable17@yonsei.ac.kr



정우용(Wooyong Chung)
2004년 : 연세대학교 기계전자공학부(학사)
2006년 : 연세대학교 전기전자공학과(석사)
2006년~현재 : 연세대학교 전기전자
공학과 박사과정

관심분야 : 퍼지 이론, 지능형 홈 네트워크
E-mail : wychung@yonsei.ac.kr



김은태(Euntai Kim)

1992년 : 연세대학교 전자공학과(학사)

1994년 : 연세대학교 전자공학과(석사)

1999년 : 연세대학교 전자공학과(박사)

1999년~2002년 : 국립한경대학교 제어
계측공학과 조교수

2002년~현재 : 연세대학교 전기전자
공학과 교수

관심분야 : 계산지능, 지능형 로봇, 지능형 홈 네트워크

E-mail : etkim@yonsei.ac.kr