

논문 2010-47CI-2-7

# 저밀도 USN 환경을 위한 Range-hybrid 기반의 향상된 이동객체 추적기법

( An Enhanced Mobile Object Tracking Method based on Range-hybrid  
for Low-Density USN Environment )

박재복\*, 조기환\*\*

( Jaebok Park and Gihwan Cho )

## 요약

위치추정은 사용자나 사물에게 주변 환경에 대한 인식을 가능케 하는 기본적인 요소이기 때문에 센서네트워크 환경에서는 가장 핵심적인 요소이다. 기존 위치추정 기법은 크게 Range-based 방식과 Range-free 방식으로 나눌 수 있다. Range-based 방식은 전파의 불규칙하고 추가 장비가 필요한 반면에 Range-free 방식은 능동적인 통신을 수단으로 위치를 측정하므로 자원제약적인 센서네트워크에서는 적합한 것으로 알려져 있다. 그러나 위치추정의 정확성이 주변노드의 수에 따라 크게 좌우된다. 특히 밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서는 위치추정의 정확성이 매우 낮다. 본 논문에서 제안된 DRTS(Distributed Range-hybrid Tracking Scheme)는 Range-based와 Range-free 방식을 혼합하고 주변노드의 위치와 통신범위 및 세기정보를 최대한 활용하여 이동물체를 추적할 수 있는 기법을 제시한다. 특히 주변노드를 최대한 활용한 효율적인 위치추정기법과 제안된 EGP(Estimative Gird Points)의 예측기법을 활용하여 위치추정의 정확성을 획기적으로 개선할 수 있는 방안을 제시한다. 그리고 시뮬레이션 결과를 통해 기존 위치추적 알고리즘 보다 추정의 정확도 관점에서 제안된 기법의 성능이 우수함을 증명하였다.

## Abstract

Localization is the most important feature in the sensor network environment because it is a basic element enabling people and things to aware the circumference environment. Existing localization methods can be categorized as either range-based or range-free. While range-based is known to be not suitable because of the irregularity of radio propagation and the additional device requirement, range-free is much appropriated for the resource constrained sensor network because it can actively locate by means of the communication radio. But its location accuracy is just depended on the density of circumference nodes; it is very low in low-density sensor network environment. This paper proposes a mobile object tracking method, named DRTS(Distributed Range-hybrid Tracking Scheme), with combining range-based and range-free. It is optimally making use of the location, communication range, and received signal strength from circumference nodes. Especially, it can greatly improve the mobile tracking accuracy by adapting a new prediction method, named EGP(Estimative Gird Points) into the proposed location estimation method. The simulation results show that our method outperforms the other localization and tracking methods in the tracking accuracy point of view.

**Keywords:** Localization, Range-based, Range-free, Mobile tracking, Sensor Network

\* 학생회원, 전북대학교 전자정보공학부  
(Division of Electronics and Information  
Engineering, Chonbuk National University)

\*\* 정회원, 전북대학교 컴퓨터공학부,  
영상정보신기술연구소  
(Division of Computer Science & Engineering,  
Chonbuk National University),  
(CAIT)

접수일자:2009년12월28일, 수정완료일:2010년3월9일

## I. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경은 언제, 어디서나 정보를 이용할 수 있게 한다. 이러한 환경의 기반이 되는 센서네트워크 기술은 센서노드의 정확한 위치설정을 전제로 한다. 대부분의 응용 서비스들이 위치

정보를 중요한 파라미터로 활용하고 있기 때문이다. 따라서 유비쿼터스 환경에서 센서네트워크 관련 핵심요소 기술의 하나로 센서네트워크 기반 위치인식 기술에 관심이 모아지고 있다. 특히 최근에는 전장에서 목표물 추적과 같은 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 적용한 국방 분야의 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 작전공간에서 적의 위치정보를 실시간으로 수집하여 전투의 지휘 통제에 매우 유용할 수 있다.

위치정보는 사용자나 사물에게 주변 환경에 대한 인식을 가능하게 하는 기본적인 요소이기 때문에 유비쿼터스 컴퓨팅에 가장 핵심적인 요소이다. 또한 이동객체의 위치추적은 여러 방향으로 연구되어 왔다<sup>[1]</sup>. 하지만 이들 연구들은 일반적으로 센서노드가 충분히 배치된 환경에서 이동객체의 위치를 측정할 수 있다는 한계가 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서 위치추정의 정확성을 향상시킬 수 있는 연구가 요구된다.

센서네트워크는 비행기의 배치전략 혹은 자원 제약적인 배치전략으로 센서노드의 밀집도가 낮은 환경이 일반적이다. 이러한 환경에서도 위치추정의 정확성을 향상시킬 수 있는 전략들이 반드시 필요하다. 그러나 기존 위치추정 및 추적기법은 통신범위 내의 근접노드만을 활용하여 위치를 계산하고 추적해 나간다. 하지만 자원제약적인 센서네트워크 환경, 특히 밀집성이 낮은 센서네트워크 환경에서 위치추정에 참여하는 노드가 부족할 경우 위치추정의 정확성이 매우 낮거나 불가능하다. 따라서 주변을 효율적으로 활용하여 위치추정의 정확성을 보장해야만 한다.

센서네트워크 환경에서 이동객체의 위치계산은 Range-based<sup>[3-5]</sup>와 Range-free<sup>[6-8]</sup>방식으로 나눌 수 있다. Range-based 방식은 초음파센서 혹은 RSSI (Received Signal Strength Indication)<sup>[9]</sup>와 같은 장치를 이용하여 거리값을 구하여 위치를 측정하는 것이다. 반면에 Range-free방식은 추가 장치 없이 센서노드의 통신가능여부에 따라 대략적으로 물체의 위치를 측정한다. 그러나 노드의 밀집도가 적을 경우 Range-free방식 보다는 거리값을 이용하여 적은 노드(Anchor Node) 수로 위치를 측정할 수 있는 Range-based방식이 효과적이다.

본 논문은 저밀도 센서네트워크 환경에서 추가 장비가 요구되지 않은 RSSI와 주변노드들을 효율적으로 활용하여 위치추정의 정확성을 획기적으로 개선할 수 있

는 DRTS(Distributed Range-hybrid Tracking Scheme)을 제안한다. 제안된 DRTS는 정확성이 부족한 RSSI의 Radio패턴을 고려하고 Range-based와 Range-free방식을 혼합하여 이동물체의 위치를 효율적으로 측정한다. 또한 이동객체의 진행속도와 방향을 고려해 제안된 EGP기반의 예측기법을 적용하여 협력적으로 이동물체의 위치를 추적함으로써 위치추정의 오차를 최소화한다. 제안된 방법은 시뮬레이션을 통하여 성능, 정확성, 효율성이 우수함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 하고 관련연구를 분석하였으며 제안된 기법의 동기와 공헌을 제시한다. III장에서는 먼저 제안된 위치추정의 overview를 제시하고 DRTS에 대한 위치추정 기법과 위치추적 기법으로 분류하여 설명한다. IV장에서는 제안된 DRTS와 다른 위치추정기법을 비교분석하여 성능향상을 검증한다. V장에서는 결론과 향후 방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

### 1. 위치추정 및 계산

기존 위치추정기법들은 고정 노드들로부터의 거리나 각도의 측정값을 기반으로 삼각측정법<sup>[10-11]</sup>을 이용하여 물체의 위치를 계산한다. 각 센서노드의 거리추정은 RSSI나 ToA(Time of Arrival)<sup>[12-13]</sup>방법을 사용한다. 일반적으로 RSSI의 측정거리는 정확성이 부족하여 신뢰도가 높지 못하는 경향이 있다. 왜냐하면 신호가 전파되는 환경이 보통 균일하지 않으며 실제 전파는 매우 불균형하여 오차가 많이 발생한다. 또한 ToA방식은 정확성면에서 좀 더 우수하나, 센서신호를 수신하기 위해서 추가적인 하드웨어를 가져야 한다는 단점들이 있다. 따라서 이러한 특성을 고려하여 삼각측정법을 향상시킬 수 있는 방안들이 요구된다.

일반적인 삼각측정법의 위치계산법은 기하학적인 방법으로 2차원 평면상에서 이동하는 개체의 실시간위치를 추정하는데 있어서 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 2차원 평면상에서 이동하는 개체의 실시간위치를 추정하기 위해서는 최소 3개 이상의 기준점이 필요하다. 이런 기준점을 AP1, AP2, AP3라고 하고, [그림 1]에 보이는 것처럼 각 AP의 좌표를  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ 라고 하자. 이동하는 개체를 M으로 나타내고, 현재의 위치가  $(X, Y)$ 라고 하자. 또한 M으로부터 세

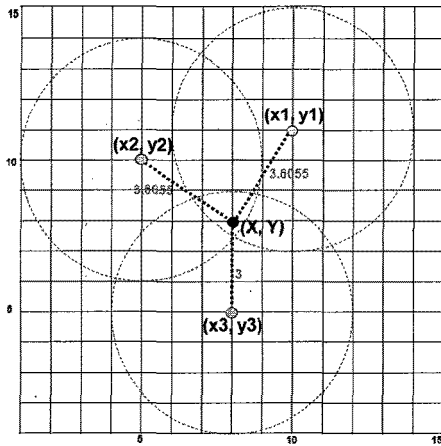


그림 1. 삼각측정법의 위치계산

Fig. 1. Location computation with triangulation method.

개의 기준점까지의 거리를  $d_1, d_2, d_3$ 라고 하자. 이동객체  $M$ 으로부터 각 기준점 사이의 거리는 피타고라스 정리를 이용하여 아래공식과 같이 간단히 계산될 수 있다.

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \quad (1)$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \quad (2)$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \quad (3)$$

위 식을 이용해 간단히 이동물체의 좌표  $(X, Y)$ 를 아래식과 같이 계산할 수 있다.

$$X = \frac{(y_2 - y_1)(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 - d_2^2 + d_1^2) - (y_3 - y_1)(x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 - d_3^2 + d_1^2)}{2((x_2 - x_1)(y_2 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1))}$$

$$Y = \frac{(x_2 - x_1)(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 - d_2^2 + d_1^2) - (x_3 - x_1)(x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 - d_3^2 + d_1^2)}{2((x_2 - x_1)(y_2 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1))} \quad (4)$$

여기서  $d_1, d_2, d_3$ 의 값은 다양한 방식에 의해 얻어질 수 있다. 예를 들어, 수신 신호의 세기와의 관계를 이용해서 구할 수도 있으며 도착시간(TOA) 혹은 도착 시간차(TDOA) 등을 이용해서도 구할 수 있다. 따라서 여기서는  $d_1, d_2, d_3$ 의 값을 알고 있다고 가정한다. 또한 세 기준점의 좌표값도 알고 있기 때문에, 이동 객체의 현재 위치인  $(X, Y)$ 의 값은 위의 식(1)~식(3)을 이용해서 구할 수 있다.

RSSI를 이용하는 경우, 이동 객체로부터 기준점 사이의 거리는 Friis의 공식을 통해 구할 수 있다. 식(5)의

Friis 공식은 자유공간에서의 경로손실을 구하는 것이며, 여기서  $\lambda$  는 전파의 파장을 나타내며 거리  $d$  와 동일한 단위를 사용한다. 따라서 (5)에 따라 두 지점 사이의 거리  $d$ 를 나타낸다. 여기서  $c$ 는 전파 속도이며  $f$ 는 주파수이다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \cdot 10^{\frac{L}{20}} \quad (5)$$

그러나 삼각측정법은 이동물체의 주변노드가 3개 이상 존재해야만 가능하므로 밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서는 적용하는데 문제가 있다.

## 2. 위치측정 전략

일반적으로 센서네트워크 환경에서 물체의 위치측정은 Range-based방식과 Range-free방식에 의존한다. 먼저 Range-based방식은 측정거리의 정확도가 성능을 좌우하기 때문에 거리 측정을 정밀하게 할 필요가 있다. 이를 위해 추가적인 장비가 요구되므로 저렴한 비용의 장비를 사용한다는 센서네트워크의 특성에 맞지 않은 것으로 알려져 있다<sup>[14]</sup>.

Range-based방식으로는 TOA, TDOA, ROA (Received signal strength Of Arrival)가 있다. TOA/TDOA 신호의 전파시간을 통해 범위정보를 얻는 일반적인 방식이다. TOA 기술을 사용하는 가장 기본적인 기술은 GPS다. GPS 시스템은 위성과의 클럭을 정확하게 동기화하기 위해서 비교적 비싼 장비와 전기적 에너지 소모를 필요로 한다. 센서네트워크 디바이스에 내재된 하드웨어 제약조건과 배터리 능력 등을 감안할 때, GPS나 기타 TOA 기술들은 센서네트워크에 적용하기에는 비교적 큰 오버헤드를 준다.

반면에 RSSI를 이용한 ROA기법은 위치인식을 위해 추가적인 장비가 필요하지 않아 비용측면에서 효율적이다. 하지만 ROA기법에도 multi-path fading과 shadowing같은 문제점이 있다.

Range-free방식은 센서노드의 위치인식을 위해 정확한 거리를 측정할 필요가 없으므로 거리 측정에 요구되는 비용을 절감할 수 있다. 그러나 성능은 [그림 2]와 같이 노드의 밀집도에 따라 크게 좌우되는 문제점이 있다. 따라서 노드의 밀집도가 매우 적을 경우, Range-free 방식보다는 Range-based 방식이 효율적이다.

대표적인 Range-free 기법을 살펴보면, Centroid기반의 위치측정은 신호를 받을 수 있는 노드들의 평균값으

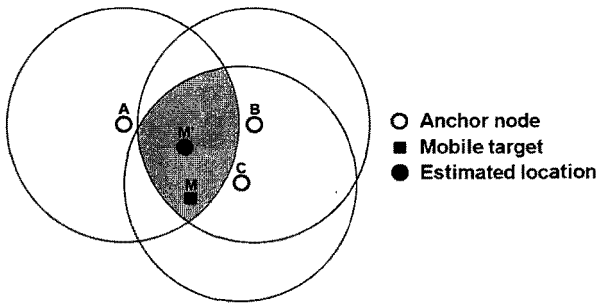


그림 2. Centroid 알고리즘을 이용한 위치추적  
Fig. 2. Localization using the centroid algorithm.

로 위치를 구한다. 또한 APIT(Approximate Point In Triangulation)<sup>[15]</sup>는 노드가 3개의 비컨노드로 이루어진 삼각형 영역의 내부 또는 외부에 존재하는지 검사하여 잠재적으로 노드 위치 영역을 좁혀가는 방법이다. DV(Distance Vector) hop기법<sup>[7]</sup>은 비콘 노드 사이의 거리를 그 사이에 존재하는 노드 수로 나누어 노드 사이의 평균 거리를 구한 다음 hop의 개수를 이용하여 노드 사이의 거리를 측정한다. DV-distance 기법은 노드 사이의 거리를 RSSI를 이용하여 측정한다.

그러나 이와 같이 많은 기법들이 존재하지만 향후 전개될 유비쿼터스환경 중에 밀집도가 낮은 환경에서도 효율적으로 위치를 추적해 나갈 수 있는 기법은 매우 미미한 상태이다.

### 3. 제안된 기법의 동기와 공헌

본 연구에서 제안된 DRTS는 밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서 주변노드와 효율적으로 협력하여 이동물체를 보다 정확하게 추적해 나갈 수 있는 기법이다. 제안된 DRTS의 동기와 공헌은 아래와 같이 세부적으로 설명할 수 있다.

- 기존 위치추적 연구들을 살펴보면 센서노드의 밀집도가 높은 즉, 주변노드가 충분한 상태 혹은 Grid 배치로 완전한 센서네트워크 환경에서 이동물체를 추적해 나간다. 따라서 제안된 DRTS는 밀집도가 낮은 환경에서도 이동물체를 정확히 추적할 수 있는 기법을 제시한다.
- 기존 위치추적 연구들은 Range-free기법 혹은 Range-based기법 중 하나를 사용하여 이동물체를 추적한다. 하지만 센서네트워크 환경상 두 기법은 장단점을 가지고 있다. 따라서 제안된 DRTS는 두 기법을 적절히 활용하여 위치추적의 정확성을 향상시키는 새로운 기법을 제시한다.

- 제안된 DRTS는 이동객체의 속도 및 방향 그리고 주변노드의 정보를 최대한 활용하여 위치추정의 정확성을 향상시킨다. 특히 예측기법을 쉽게 적용할 수 있으며 오버헤드를 줄인 제안한 EGP(Estimative Grid Points)기반의 예측기법은 센서노드의 자원소모를 줄이면서 위치추적의 정확성을 향상시킬 수 있는 방안이다.

## III. 제안된 위치추적 기법

### 1. 개요

이동물체의 위치를 추적할 수 있는 환경인 센서네트워크는 일반적으로 밀집도가 매우 적은 환경으로 구성된다. 따라서 이러한 환경에서도 이동물체의 위치추정의 정확도를 개선할 수 있는 기법들이 요구된다. 그러나 저렴한 센서네트워크를 고려해야하므로 추가장비가 요구되지 않은 ROA기법과 같은 RSSI를 활용한 측정방식이 적합하다. 그러나 RSSI는 multi-path fading과 같은 문제로 많은 오차를 가지고 있다.

하지만 [그림 3]과 같이 일반적으로 물체가 lower bound 안에 있다면 물체와의 거리를 보다 정확하게 측정할 수 있다. 따라서 본 논문은 [그림 4]와 같이 이동물체가 센서노드의 0.5R 범위내에 있을 경우와 없는 경우를 고려하고 주변노드와 이동물체 사이의 거리값을

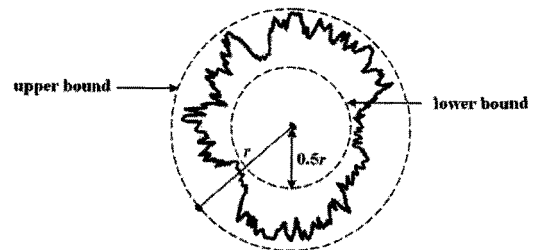


그림 3. 무선 전파 패턴  
Fig. 3. Radio propagation pattern.

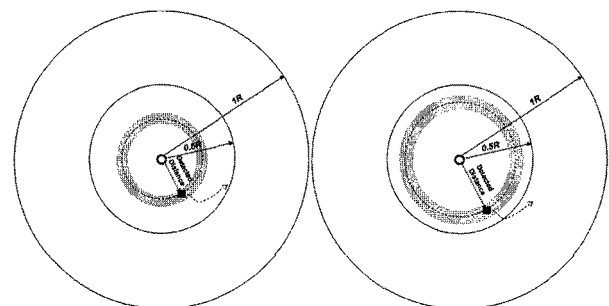


그림 4. RSSI의 성능을 고려한 위치추적  
Fig. 4. Localization with considering RSSI.

효율적으로 활용하여 위치추적의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시한다.

제안된 DRTS는 거리측정의 오류가 많은 RSSI의 측정거리를 효율적으로 이용하고 주변노드를 최대한 활용함으로써 위치추적의 정확성을 개선할 수 있다. 특히 밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서 이동물체의 위치를 측정할 경우, 한 노드만 센싱되었을 때, 매우 낮은 정확도를 보인다. 따라서 이러한 경우, 예측기법을 활용하면 위치추적의 정확성을 개선시킬 수 있다. 따라서 제안된 DRTS는 예측기법을 적용함으로써 위치추적의 정확성을 보다 개선시킬 수 있다.

2. 분산형 혼합 레이저기반의 위치추적 기법

(1) DRTS의 Lower bound 기반 위치측정

밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서 이동객체의 위치를 보다 정확히 측정하기 위해 주변노드의 위치 및 RSSI정보를 최대한 활용함으로써 위치측정의 정확성을 향상시킬 수 있다. 특히 lower bound인 0.5R에 가까운 물체와의 거리는 높은 신뢰성을 가짐으로 이를 활용할

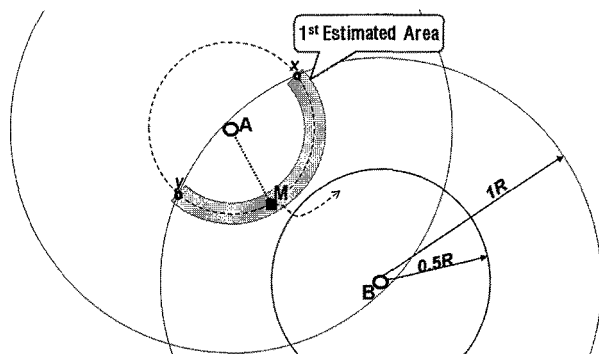


그림 5. Lower bound 기반 위치추적 전략  
Fig. 5. Localization based on the lower bound.

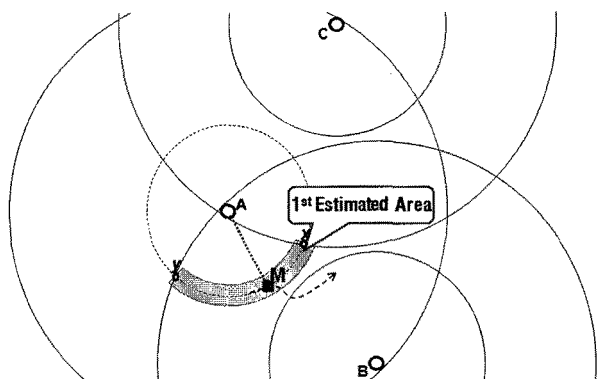


그림 6. 주변노드를 활용한 위치추정  
Fig. 6. Localization with utilizing neighborhood nodes.

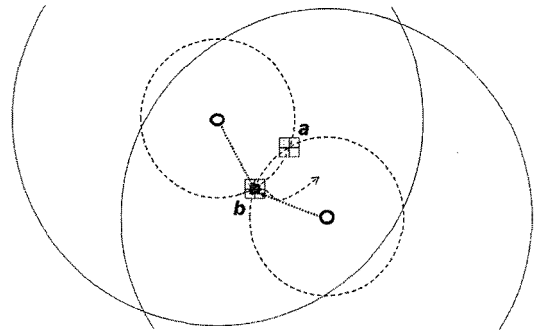


그림 7. 가까운 2개 노드의 위치측정  
Fig. 7. Localization with utilizing near two neighborhood nodes.

경우 보다 정확한 위치측정을 제공할 수 있다.

DRTS의 Lower bound 내의 위치측정을 살펴보면, [그림 5]와 같이 A노드의 측정거리가 0.5R범위 이내인 경우에 측정된 거리값은 높은 정확도를 가진다. 따라서 A노드가 측정한 거리정보와 인접노드(B)의 위치정보를 최대한 활용하여 1차 추정영역(1st Estimated Area)을 구한다. 추가적으로 [그림 6]과 같이 이동물체의 센싱범위에 없는 주변노드를 활용하여 위치추정영역의 사이즈를 줄여 위치측정의 정확성을 개선할 수 있다.

제안한 위치추정기법은 2개 이상의 노드가 이동물체와의 거리가 0.5R인 경우, 보다 정확한 위치측정을 구할 수 있다. [그림 7]에서 2개의 노드가 가까운 거리에서 이동물체의 측정할 경우, 이동물체의 위치는 a점과 b점 둘 중 한곳으로 추정할 수 있다. 이와 같이 두 점이 발생한 경우, 다음 절에서 소개할 예측기법들을 활용하여 이동물체의 위치를 추적함으로써 향상된 위치추적전략을 제시한다.

[그림 7]의 a와 b점을 구하는 알고리즘은 아래와 같이 구현할 수 있다.

Equation1: The circle intersection

- 1 The circle centers:  $(x1, y1), r1, (x2, y2), r2$
- 2  $dx = x1 - x0; dy = y1 - y0$
- 3 Determine the straight-line distance on centers:
- 4  $d = \text{SQRT}((dy*dy)+(dx*dx))$
- 5 Determine the coordinates of point 2
- 6  $x2 = x0 + (dx * a/d); y2 = y0 + (dy * a/d);$
- 7 Intersection points:
- 8  $h = \text{SQRT}((r0*r0) - (a*a));$
- 9 Determine the offsets of the intersection:
- 10  $rx = -dy * (h/d); ry = dx * (h/d);$
- 11 Determine the absolute intersection points:
- 12  $a_x = x2 + rx; b_x = x2 - rx;$
- 13  $a_y = y2 + ry; b_y = y2 - ry;$

(2) DRTS의 Upper bound 기반 위치측정

기존 Range-free 방식의 위치측정기법에 0.5R 이내의 거리측정과 1R의 탐지영역기법을 이용함으로써 위치측정의 정확성을 개선할 수 있는 방안을 제시한다.

예를 들어 [그림 8]과 같이 Lower bound의 측정을 통하여 0.5R내에 물체의 존재여부를 판단함으로써 위치 추정영역의 사이즈를 줄일 수 있다. 제안된 기법은 Lower bound 내에 이동물체의 정확한 식별로 일반 Range-free 기법보다 추정영역의 사이즈를 크게 줄일 수 있다. 또한 Lower bound 센싱을 이용하여 위치를 측정할 경우, [그림 9]과 같이 2개의 위치추정영역이 발생할 수 있다. 이는 예측기법을 이용하여 위치측정의 정확성을 제시할 수 있다. 2개의 위치추정영역을 구하는 알고리즘은 그림 9와 같다.

Algorithm1은 각각 노드의 R을 100과 50으로 설정하면서 제시된 Equation1을 적용하여 각각의 교차점들을 얻어 [그림 9]와 같은 추정영역을 쉽게 구할 수 있다.

**Algorithm1: The estimation area of two circles**

- 1 The circle centers:  $(x1, y1), r1, (x2, y2), r2$
- 2 Find intersection2 using  $r1=100, r2=100$  by Equation1
- 3 Find intersection2 using  $r1=50, r2=100$  by Equation1
- 4 Find intersection2 using  $r1=100, r2=50$  by Equation1
- 5 Find intersection2 using  $r1=50, r2=50$  by Equation1
- 6 Find the 2 estimated area using the found 8 points

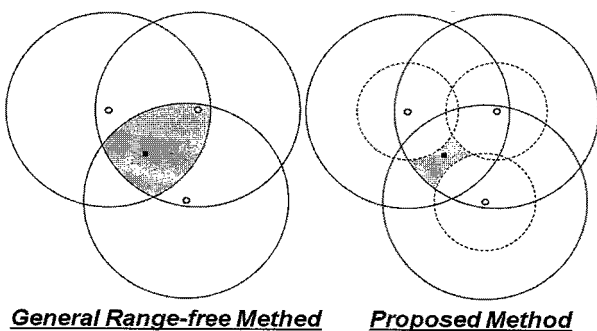


그림 8. Lower bound 센싱을 이용한 위치측정  
Fig. 8. ocalization with using the lower bound sensing.

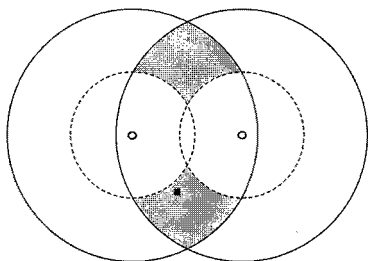


그림 9. 2개의 위치추정영역  
Fig. 9. 2 location estimation areas.

(3) DRTS의 위치추적 전략

먼저 DRTS의 위치측정기법을 통해 주변노드의 제약 조건에 따라 대략적인 1<sup>st</sup> Estimatied Area정보를 제공한다. 따라서 1<sup>st</sup> Estimatied Area정보에 예측기법을 적용하여 위치추정의 정확성을 향상시킬 수 있다. 제안된 DRTS의 위치추적기법은 1차 위치측정 정보를 이용하여 EGP(Estimative Gird Points)를 구하고 위치예측기법을 적용하여 위치추적의 성능을 개선한다. 제안된 기법은 [그림 10]과 같이 한 노드가 Inner bound에서 이동물체를 측정했을 경우, 1차 EGP로 8개의 Points들을  $\frac{1}{\sqrt{2}} * Detected\ distance$ 을 이용하여 간단히 구한다. 또한 주변노드가 더 존재한다면 주변노드의 제약조건에 따라 2차 EGP를 구한다. 만일 Upper bound에서 이동물체를 측정했을 경우, 1차 8개의 Points들을  $\frac{1}{\sqrt{2}} * 0.75R$ 을 이용하여 간단히 구하며, 이 역시 주변노드가 존재한다면 2차 EGP를 구할 수 있다.

다음으로 이와 같이 얻은 2<sup>nd</sup> EGP에 이동물체 예측기법을 적용함으로써 위치측정의 정확성을 향상시킬 수 있다. 따라서 EGP환경에 쉽게 적용할 수 있는 예측기법은 다음과 같다.

이동물체의 예측기법은 이전 위치정보를 이용함으로써 이동물체의 다음위치를 대략적으로 파악하고 EGP와 비교하여 최적의 위치를 구한다.

예측기법은 이동물체가 이전에 위치했던 Point A와 Point B정보를 활용하여 이동방향을 구함으로써 이동물체의 다음위치를 예측한다. 또한 이동물체의 방향 및 속도는 이동물체가 가진 센서들을 이용하거나 주변노드로부터 쉽게 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 위치추적전략은 위의 측정기법을 활용하여 아래와 같은 과

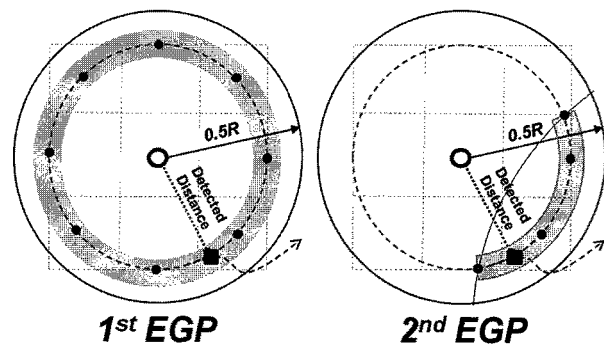


그림 10. Inner bound에서 EGP 생성  
Fig. 10. EGP creation in the inner bound.

정을 통해 위치를 계산한다. 제안된 예측기법의 과정은 다음과 같다.

이전에 측정되었던 두 점  $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2)$ 가 있을 경우

- A와 B 사이의 거리는  $\overline{AB} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$
- A와 B사이에서 1m당  $x$ 축 이동간격은  $x = \frac{2x_2 + (\overline{AB} - 2)x_1}{\overline{AB}} - \frac{x_2 + (\overline{AB} - 1)x_1}{\overline{AB}}$
- A와 B사이에서 1m당  $y$ 축 이동간격은  $y = \frac{2y_2 + (\overline{AB} - 2)y_1}{\overline{AB}} - \frac{y_2 + (\overline{AB} - 1)y_1}{\overline{AB}}$

그러므로 A와 B점을 고려하여 1m당 이동하는 위치는  $x$  혹은  $y$ 의 배수를 취한다. 따라서 B점에서 이동물체의 다음 위치를 예측한다면  $s$ 초 이후 이동물체의 예측된 위치는 아래와 같다.

$$P(x_2 + x \cdot \text{current speed}(m/s) \cdot s, y_2 + y \cdot \text{current speed}(m/s) \cdot s)$$

이와 같은 예측기법과 생성된 EGP를 활용하여 이동물체의 위치를 보다 정확하게 추적해 나갈 수 있다. [그림 11]는 이동물체의 위치를 추적하는 과정으로 이전 위치 정보인 과거 위치정보( $P_A, P_B$ )을 이용하여 NP(Next Point)를 예측하고, 이동물체의 현 위치에서 이동물체를 탐지하여 주변노드를 활용하여 NEP(Next Estimative Points)들을 구한다. 다음으로 NP와 가까운 NEP를 선정하여 물체의 다음위치를 예측하는 과정을 나타낸다.

[그림 12]는 [그림 9]와 같이 2개 이상의 추적영역이 발생할 경우, 추정영역에서 중심위치를 계산하고 예측기법을 이용하여 가능성이 있는 추정위치를 선택함으로써 보다 정확히 위치를 추적하는 과정을 보인다. 계산식은 Algorithm1에 의해 중심값을 찾아 2개의 NEP를

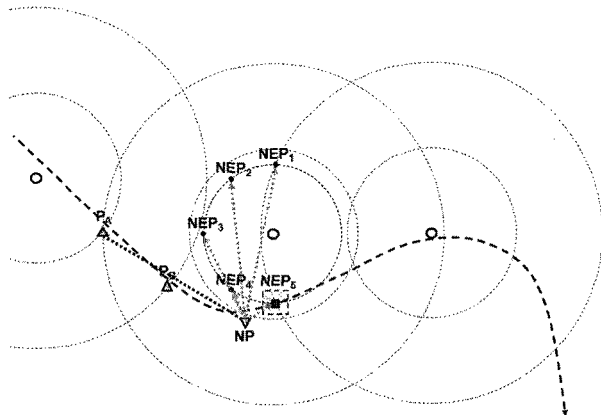


그림 11. Lower bound에서 이동물체 위치추적  
Fig. 11. Mobile object tracking in the lower bound.

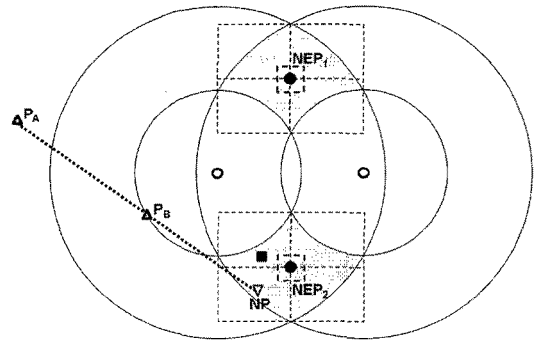


그림 12. Upper bound에서 이동물체 위치추적  
Fig. 12. Mobile object tracking in the Upper bound.

얻는다. 이때 NP와 가까운 NEP를 선정하여 물체의 다음위치를 예측하는 전략이다.

Algorithm2는 제안된 DRTS의 전체적인 기본 알고리즘을 보인다. 먼저 이동물체의 주변노드들은 비컨을 서로 교환하고 이동물체와 가장 가까운 노드는 주변 노드 수에 따라 EGP결정한다. 다음으로 예측기법을 통해 NP를 구하고 EGP와 NP를 비교분석하여 최종 추적 위치를 찾는다.

**Algorithm2: The proposed DRTS**

- 1 *The beacon exchange phase:*
- 2 Mobile nodes collect the information packet from adjacent nodes
- 3 *The EGP determination phase:*
- 4 if adjacent node  $\geq 2$  than
- 5 | find the EGP from the smallest range node( $<50$ )
- 6 | or find the EGP from a node using  $0.75R(>50)$
- 7 | find intersection points(2nd EGP) between EGP and other nodes
- 8 end
- 9 if adjacent node = 1 than
- 10 | find the EGP from a node using the node range( $<50$ )
- 11 | or find the EGP from a node using  $0.75R(>50)$
- 12 end
- 13 *The next location prediction of mobile nodes:*
- 14 find the NP(next point) from  $P_A$  and  $P_B$
- 15 *The final estimation location determination:*
- 16 find the nearest location point between EGP and NP

IV. 시뮬레이션 및 성능분석

1. 시뮬레이션 환경

제안된 방법의 성능평가를 위해 이동물체를 모델링하고 네트워크 시뮬레이션을 통하여 성능을 측정했다. 이동물체의 환경은 동적으로 움직이는 차량을 대상으로 하고 있으며, 네트워크 시뮬레이션은 NS-2<sup>[16]</sup>을 이용했다. 제안된 기법의 성능평가를 위해 기존 위치추정기법을 사용하여 비교분석하였다. 먼저 Centroid Position Estimation(CPE)는 위치추정을 중심점으로 설정하는 방법으로, 두 노드가 있다면 두 노드사이 중앙점을 찾아 활용하여 이동물체를 추적해 나가는 기법이다. 다음 RSSI기법은 Range-based으로 통신세기를 활용하여 이동물체의 위치를 측정하는 기법으로 오차허용범위에 기반하여 0.5R값을 설정하고 성능좌표를 만들어 성능을 분석한다. 또한 ROCRSSI+<sup>[17]</sup>는 RSSI를 기본적으로 활용하고 주변 센싱되지 않은 노드까지 활용하여 이동물체의 위치를 측정하는 기법이다. [표 1]은 네트워크 시뮬레이션 파라미터들을 보인다.

기본적인 위치추정 성능평가는 평균에러(Mean error)를 사용하여 이동물체의 실제 위치와 추적값을 비교하여 성능을 평가한다. Mean error은 아래와 같은 방정식에 의해 계산된다.

$$Mean\ error = \frac{\sum \sqrt{(x_e - x_r)^2 + (y_e - y_r)^2}}{n}$$

[그림 13]은 NS-2를 이용하여 노드의 밀집도에 따라 이동물체를 추적해 나가는 시뮬레이션환경을 보인다. 이러한 NS-2환경에서 이동물체가 주변노드로부터 수집된 정보를 이용하여 이동물체를 추적할 수 있다.

표 1. 네트워크 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Network simulation parameters.

Parameter	Value
Node density	2~70
Node deployment	Random
Vehicle speed	40~80Km/hr (11.11m/s~22.22m/s)
Simulation area	1000m × 1000m
MAC protocol	IEEE 802.11a MAC
Wireless coverage	100m
RSSI trust distance	40m, 50m, 60m, 70m, 80m
Simulation time	50 sec
Comparison target	① CPE method ② RSSI method ③ ROCRSSI+ ④ Proposed DRTS

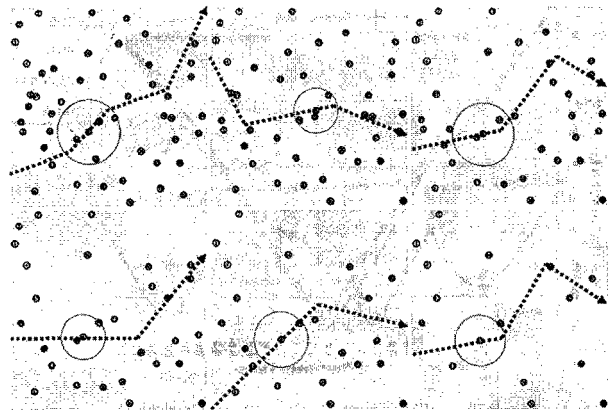


그림 13. NS-2 시뮬레이션 환경

Fig. 13. NS-2 simulation environment.

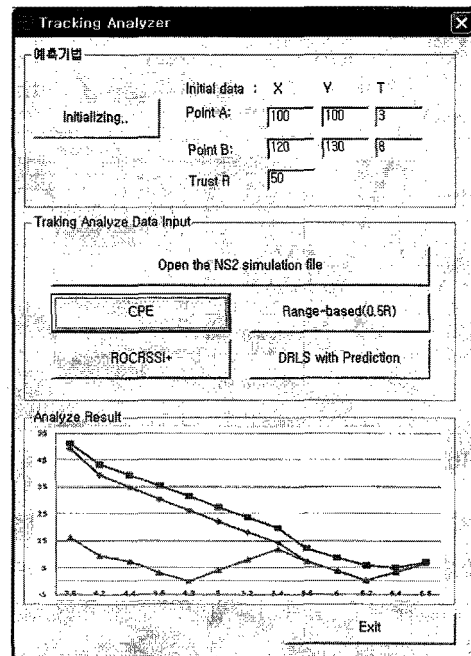


그림 14. 고안된 트래킹 분석도구

Fig. 14. Devised tracking analysis tool.

[그림 14]는 NS-2를 이용해 수집된 정보로 이동물체를 추적해 나가면서 발생하는 평균에러를 분석할 수 있도록 고안된 툴인 Tracking Analyzer를 나타낸다

## 2. 시뮬레이션 분석 및 결과

시뮬레이션은 최소노드를 이용하여 부분적으로 성능을 분석해 보았다. 첫 번째로 단지 2개의 노드환경을 구성하여 이동물체의 위치를 추적해 보았다. [그림 15]는 2개의 노드환경에서 시간에 따라 이동물체의 위치를 추적한 결과로 CPE의 평균오차는 51.99m이며, RSSI의 평균오차는 50.85m, ROCRSSI+의 평균오차는 46.99m이었으며, 제안된 DRTS의 평균오차는 16.19m으로 일



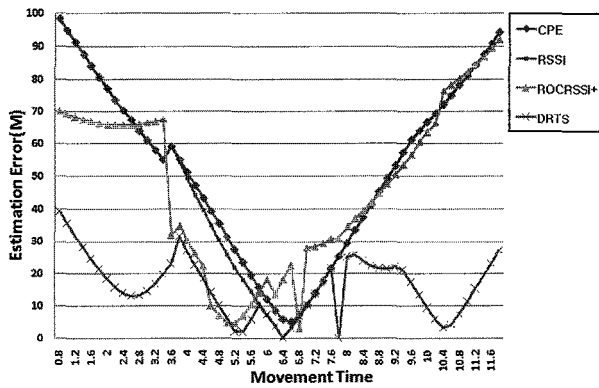


그림 15. 2개 노드환경에서 위치추적 오차거리  
Fig. 15. Tracking error distance with two nodes.

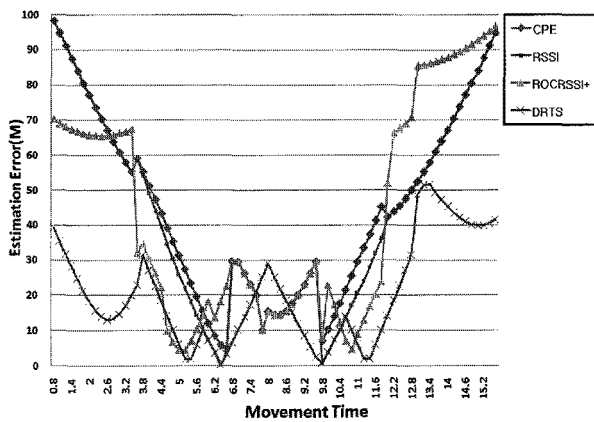


그림 16. 3개 노드환경에서 위치추적 오차거리  
Fig. 16. Tracking error distance with three nodes.

반 위치추적기법 보다 3배 이상의 정확성을 보였다.

다음으로 3개의 노드환경에서 시간에 따라 이동물체의 위치를 추적한 결과, [그림 16]과 같은 성능표를 얻었으며, 결과로 CPE의 평균오차는 45.21m, RSSI의 평균오차 43.18m, ROCRSSI+의 평균오차 43.63m이었다. 따라서 제안된 DRTS의 평균오차는 20.49m로 보다 높은 성능을 보였다.

[그림 17]은 시뮬레이션 환경에서 노드의 밀집도를 20~70으로 설정하고 이동물체를 추적하는 과정에서 발생하는 평균오차를 나타낸다. 제안된 DRTS는 그래프와 같이 노드의 수가 많을수록 평균오차는 작아졌으며, 특히 노드수가 적어도 기존 기법보다 매우 높은 성능을 보였다.

일반적으로 물체의 위치를 측정하기 위해서는 주변 노드의 수가 최소 3개 이상 되어야만 정확히 측정할 수 있다. 하지만 밀집도가 낮은 센서네트워크 환경에서는 주변노드를 최대한 활용하여 위치를 측정해야 한다. 따라서 주변노드 수에 따라 [그림 18]과 같이 크게 달

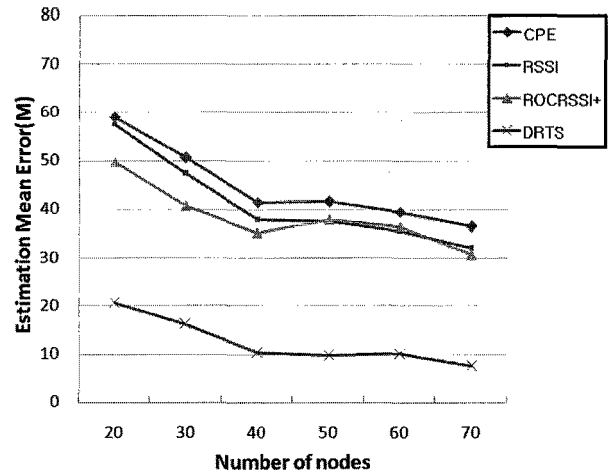


그림 17. Density에 따른 위치추적 평균오차  
Fig. 17. Tracking mean error with the node density.

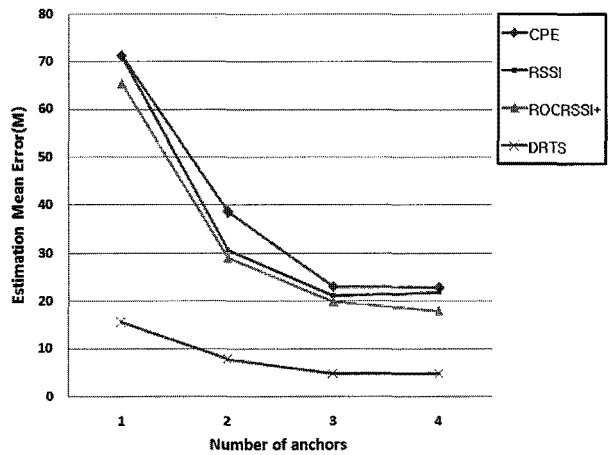


그림 18. 주변노드의 수에 따른 위치추적 평균오차  
Fig. 18. Tracking mean error with the number of neighborhood nodes.

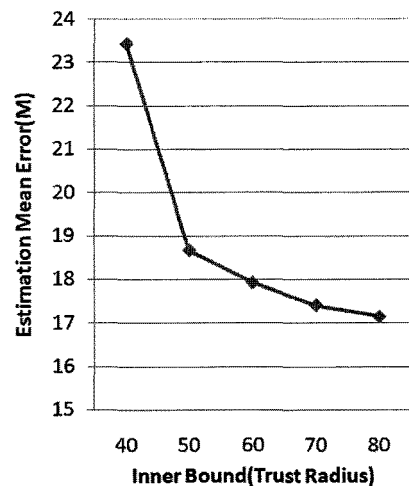


그림 19. 신뢰거리 변경에 따른 위치추적 평균오차  
Fig. 19. Tracking mean error with the trust distance.

라질 수 있다. 제안된 기법은 주변노드 수가 적어도 높은 성능을 보이면 노드 수에 따라 더 향상되는 것을 보인다.

제안된 기법에서 센서노드는 이동물체를 탐지하고 RSSI값을 판단하여 이동물체의 위치를 추적한다. 따라서 RSSI값의 신뢰구간을 변경하면서 성능은 평가할 수 있다. [그림 19]는 DRTS의 신뢰성 있는 Inner bound의 전파길이를 변경하여 추적평균 오차값을 비교했다. 그림과 같이 신뢰구간이 길수록 오차값을 낮아지는 것을 볼 수 있으며, 신뢰구간이 40R 이하인 경우에 매우 높은 추정 평균오차를 보였다.

## V. 결 론

본 연구에서는 저밀도 센서네트워크 환경에서도 위치추적의 정확성을 보장할 수 있는 기법을 제시했다. 제안된 DRTS는 통신시스템의 Radio propagation 성능을 고려하여 Range-based 방식과 Range-free 방식을 혼합하고 주변노드의 정보를 최대한 활용하여 위치추정의 정확성을 개선했다. 또한 최소의 노드라도 위치추정의 정확성을 향상시킬 수 있도록 계산의 오버헤드가 적은 EGP기반의 예측기법을 제시함으로써 위치추적의 정확성을 더욱 향상시켰다. 시뮬레이션을 통해 성능평가 결과, 제안된 DRTS가 기존 위치추정기법을 활용한 것보다 2~3배 높은 위치추적의 정확성을 증명했다.

향 후 연구과제는 다양한 센서네트워크 환경에서 보다 정확하고 에너지 효율적으로 이동물체를 추적할 수 있는 측정기법 및 추적기법을 제시한 것이다. 또한 시뮬레이션 환경인 아닌 실제 환경에서 제안된 기법으로 이동물체를 추적하여 제안된 DRTS의 성능을 증명할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Bharathidasan and V. A. S. Ponduru "Sensor Network: An Overview", SURVEY paper. IEEE Infocom 2004.
- [2] J. Sheu, P. Chen and C. Hsu, "A Distributed Localization Scheme for Wireless Sensor Networks with Improved Grid-Scan and Vector-based Refinement," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 7, No. 9, Sep. 2008.
- [3] A. Savvides, C. Han, and M. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors," Proc. on ACM MobiCom'01, pp. 166-179, 2001.
- [4] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location Support System," Proc. on ACM MobiCom'00, pp. 32-43, 2000.
- [5] J. Hightower and G. Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing," IEEE Computer, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, August 2001.
- [6] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," IEEE Personal Comm. Magazine, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, 2000.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System(APS)," Proc. on GLOBECOM'01, vol. 1, pp. 2926-291, 2001.
- [8] H. Huang, G. g Chen, Y. Sun, X. Li, L. Huang, "A Range-Free Localization Algorithm in Concave Areas," Proc. on WICOM'08, pp. 1-5, 2008.
- [9] C. Alippi and G. Vanini, "A RSSI-based and Calibrated Centralized Localization Technique for Wireless Sensor Network," Proc. on IEEE PERCOMW'06, pp. 301-305, Mar. 2006.
- [10] C. Savarese, J. Rabaey and K. Langendoen, "Roboust Positioning Algorithm for Distributed Ad-hoc Wireless Sensor Networks," Proc. on USENIX Technical Annual Conf., Monterey, CA, June 2002.
- [11] S. Capkun, M. Hamdi and J. Hubaux, "GPS-Free Positioning in Mobile Ad-hoc Networks," Proc. on ACM SIGCOMM Workshop on Data Communication in Latin America and the Caribbean, April 2001.
- [12] 공현민, 성태경, 권영미, "UWB 실내 측위를 위한 TDOA 위치결정기법," 대한전자공학회 논문지 제 42권 TC편 제 1호, pp. 9-15, 2005.
- [13] M. Heidari, N. A. Alsindi and K. Pahlavan, "UDP Identification and Error Mitigation in ToA-based Indoor Localization Systems using Neural Network Architecture," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.8 no.7, p.3597-3607, July 2009.
- [14] Z. Lotker, M. Martinez de Albeniz, and S. Perennes. "Range-Free Ranking in Sensors Networks and Its Applications to Localization," Proc. on ADHOC-NOW'04, pp. 158-171, 2004.
- [15] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzahe. "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," Proc. on Mobicom'03, 2003.
- [16] The Network Simulator, ns-2,

<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

- [17] R. Crepaldi, P. Casari, A. Zanella, and M. Zorzi, "Testbed Implementation and Refinement of a Range-based Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks," Proc. on the 3rd International conference on Mobile technology, 2006.

---

— 저 자 소 개 —

---



박 재 복(학생회원)  
2005년 호원대학교 컴퓨터학부  
졸업(학사)  
2007년 충남대학교 대학원  
컴퓨터공학과 졸업(석사)  
2000년~2003년 (주)서울전원시스  
템 부설연구소 연구원

2007년~현재 전북대학교 전자정보공학부  
박사과정

<관심분야 : 센서네트워크, 임베디드시스템, 이동  
컴퓨팅, 위치추적시스템>



조 기 환(정회원)-교신저자  
1985년 전남대학교 계산통계학과  
학사 졸업  
1987년 서울대학교 계산통계학과  
석사 졸업  
1996년 영국 Newcastle 대학교  
전산학과 박사 졸업

1987년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원  
1997년~1999년 목포대학교 컴퓨터과학과

전임강사

1999년~현재 전북대학교 컴퓨터공학부 교수  
<주관심분야 : 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 분산처리  
시스템, 무선네트워크보안, 무선네트워크>