

# 4대의 이동형 로봇을 활용한 센서 노드 위치확정 방법

준회원 이 우 식\*, 정회원 김 남 기\*

## Sensor Node Localization Scheme using Four Mobile Robots

Woo-Sik Lee\* Associate Member, Namgi Kim\*<sup>o</sup> Regular Member

### 요 약

센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 위치를 추정하는 일은 매우 중요하다. 센서 네트워크에서 GPS 신호 없이 노드의 위치 알아내기 위한 방법으로는 앵커 로봇을 활용하는 방법이 대표적이다. 따라서 본 논문은 4대의 이동형 앵커 로봇을 활용하여 빠른 시간 안에 효율적으로 센서 노드의 위치를 확정하는 4-Robot Localization Scheme (4RLS) 방법을 제안한다. 그리고 실제 구현과 분석을 통해 4RLS 기법이 3대의 이동로봇을 활용하는 기존 방법에 비해 성능이 개선됨을 보인다.

**Key Words** : Ultrasound, Sensor Localization, Wireless Network, Sensor Network, Mobile Anchor

### ABSTRACT

In sensor network environment, it is very important to localize sensor nodes. In order to know the position of nodes without GPS signals, the anchor robot approach is representatively used. Therefore, in this paper, we propose 4-Robot Localization Scheme (4RLS) that uses four mobile robots to efficiently localize sensor nodes for the fast time. Then, we show the improved performance of 4RLS in comparison with previously used three robot scheme through the real implementation and analysis.

### I. 서 론

센서 네트워크는 센서 노드로부터 온도, 조도, 습도와 같은 주변 데이터를 수집하는데 이 정보가 유용하게 활용되기 위해서는 수집된 정보의 위치를 아는 것이 매우 중요하다<sup>[1]</sup>. 만약 센서 네트워크에서 센서 노드의 위치 정보를 모른다면 임의의 지역에 배치된 센서 노드 중 어느 노드에서 이벤트가 발생했는지 알 수 없기 때문이다.

센서 네트워크 환경에서 센서 노드 위치확정 방법으로는 위성 항법 시스템 (Global Positioning System) 을 이용하는 방법과 특정 위치에서 거리 정보를 제공해주는 앵커 (Anchor) 노드를 활용하는 방법이 있다. 이 중 위성 항법 시스템을 이용하는 방법은 전 세계적으로 많이 쓰이고 있지만, 위성과 수신자 사이에 장애

물이 있을 경우 위치확인이 어려운 단점이 있어 실내 환경에는 적합하지 않다. 반면에 앵커 노드를 이용하는 방법은 위성 항법 시스템 없이도 실내 환경에서 위치확정이 가능하다는 장점이 있다. 앵커노드 활용방법은 크게 고정된 위치에 있는 노드를 활용하는 방법과 모바일 로봇을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 그런데 고정앵커 노드 활용방법은 위치확정을 위해서 조밀하게 센서 노드를 배치해야 되기 때문에 공간이 넓은 경우 비효율적이다. 반면 모바일 로봇을 이용한 이동 앵커 활용방법은 조밀하게 센서 노드를 배치하지 않아도 이동형 로봇의 도움을 받아 센서노드의 위치를 확정할 수 있는 장점이 있다.

이동 앵커를 활용한 센서 노드 위치확정에 대한 연구로는 초음파 센서와 3대 로봇을 활용한 연구가 있다<sup>[2]</sup>. 이 방법은 센서 노드 위치확정에 필요한 최소한

\* 경기대학교 컴퓨터과학과 (wslee@kgu.ac.kr, ngkim@kgu.ac.kr) (°: 교신저자)

논문번호: KICS2010-12-580, 접수일자: 2010년 12월 2일, 최종논문접수일자: 2011년 4월 15일

의 로봇만을 이용하여 센서노드들의 위치를 확정한다. 따라서 로봇수를 늘리면 성능향상을 시킬 여지가 남아 있다. 그러므로 본 논문에서는 3대 로봇을 활용한 위치확정 시간을 단축시키기 위해 4대 로봇을 통해 주변 센서 노드의 위치 확정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 사용하면 2대의 로봇이 동시에 움직일 수 있기 때문에 더 빠른 시간 안에 센서 노드의 위치를 확정할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 살펴봄, 3장에서는 4대의 로봇을 이용한 위치 확정 방법에 대해 자세히 설명을 한다. 그리고 4장과 5장에서는 성능 평가 및 분석을 하고 6장에서는 향후 연구 및 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

현재 자신의 위치를 모르는 센서 노드가 위치를 확정하기 위해서는 위성 항법 시스템을 이용해 위성으로부터 위치정보를 받아오거나 주변 거리 정보를 제공해주는 앵커 노드를 이용하여 위치정보를 추정할 수 있다. 위성 항법 시스템은 전 세계적으로 많이 쓰이는 위치 추정 기술로써 차량용 네비게이션이나 위치 탐색 서비스 등에서 많이 활용되고 있다<sup>2,4</sup>. 하지만 위성 항법 시스템은 위성과 수신자 사이에 장애물이 없는 상태에서 거리정보를 송수신해야 하기 때문에 실내 환경에서는 사용하기가 어렵다. 이런 이유로 실내 환경에서 거리추정을 위해서 초음파를 활용한 거리 측정 방법이 많이 쓰이고 있다<sup>5,6</sup>. 초음파를 이용한 거리측정에서 송신자는 RF신호와 초음파 신호를 동시에 수신자에게 송신한다. 이 때 수신자는 초음파에 비해  $10^8$ m/s정도 속도가 빠른 RF신호를 먼저 수신하고 이 후 초음파 신호를 수신하게 된다. 이 두 신호를 받은 수신자는 신호 차이로 발생하는 시간차 값을 가지고 송신자로부터의 거리를 계산하고 그 결과를 송신자에게 되돌려줄 수 있다. 이와 같이 도착 시간의 차이로 거리 값을 계산하는 방법을 TDOA (Time difference of arrival)방식이라고 한다.

실내에서 TDOA방법을 이용한 거리추정을 활용하여 센서 노드의 위치를 확정할 때에는 현재 자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드를 활용할 수 있다. 예를 들어 자신의 위치를 모르는 센서 노드가 주변 3개의 앵커 노드를 활용해 거리 정보를 제공받아 이를 통해 위치확정을 하는 방식이다. 이 때 앵커노드의 배치는 사람이 직접 손으로 작은 공간 안에 있는 특정 좌표에 배치하는 방법<sup>7,8</sup>, 위치 정보를 모르는 앵커노드 끼리

통신을 통해 위치 확정하는 방법<sup>9,10</sup>, 사람이 아닌 이동형 앵커 로봇이 거리 정보를 제공해서 임의의 위치에 있는 센서 노드 위치를 확정 짓는 방법이 있다<sup>11-13</sup>.

사람이 직접 앵커 노드를 배치하는 방법은 공간이 넓어 질 경우 비효율적이며, 앵커 노드 배치를 위한 작업량이 많다. 그리고 앵커노드 끼리 통신을 통해 위치 확정하는 방법은 자기 거리 통신 범위 안에 3개 이상의 앵커 노드가 있어야 하기 때문에 넓은 공간에서는 많은 앵커 노드가 필요하다는 단점이 생긴다. 따라서 이런 문제점들을 해결하기 위해서 앵커 역할을 하는 이동형 로봇을 활용하여 임의의 배치된 센서 노드의 위치를 확정하는 연구가 진행 되었다.

이동형 앵커 로봇을 활용하여 센서 노드의 위치를 확정하는 초기 연구로는 1대의 로봇을 활용해 센서 노드에서 부족한 거리 정보를 제공해 주는 연구가 있다<sup>11</sup>. 하지만, 1대의 로봇만을 활용하기 위해서는 앵커 로봇으로부터 거리측정 가능한 범위 안에 센서 노드가 3개 이상 있어야 한다는 제약사항이 생긴다. 따라서 일정 공간 안에 센서 노드가 여전히 많이 필요하다는 문제가 발생된다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 노드가 드물게 퍼져있는 센서 네트워크 환경에서도 3대의 이동형 앵커 로봇을 활용하여 노드들의 위치를 확정 할 수 있는 방법이 제안되었다<sup>12</sup>. 이 방법은 3대의 이동형 로봇이 앵커 노드 역할을 하여 센서 노드에게 거리 정보를 제공해 노드 위치를 확정 할 수 있다. 따라서 거리 측정 범위 안의 센서 노드 수와 관계없이 센서 노드 위치를 확정할 수 있다. 그런데 센서 노드가 넓은 범위 안에 임의로 퍼져 로봇이 주변에 있는 센서 노드를 효율적인 방법으로 탐색해야 한다. 3대 로봇을 활용한 연구에서는 1사이클에 3대의 로봇이 1스텝씩 움직여 3스텝으로 이뤄진 패턴으로 이동을 하면서 주어진 영역을 탐색한다. 따라서 영역범위가 증가할수록 탐색하는데 걸리는 시간이 증가하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 3대의 로봇에서 1대를 추가한 4대의 로봇을 활용해 3스텝을 2스텝으로 줄여 시간을 단축하는 방안을 제안한다.

로봇을 활용한 위치확정에 대한 연구는 센서 네트워크분야 뿐만 아니라 로봇틱스 분야에서도 광범위하게 진행 되었다<sup>13</sup>. 하지만 로봇틱스 분야에서 진행된 로봇위치확정에 대한 연구는 Pose 센서, Angle 센서, Laser 센서 등 일반적으로 값비싼 센서를 요구한다는 단점을 가지고 있다. 그러나 센서 네트워크 분야에서의 위치확정방법은 로봇틱스 분야와는 달리 저전력,



지 움직일 때의 주고받은 메시지 내용을 보여주고 있다. 처음 MR-A가 거리 정보를 획득하기 위해 RF와 초음파 신호를 송신하면 AR-A,B는 거리 값을 반환하게 된다. 마찬가지로 MR-B가 RF와 초음파 신호를 송신하면 AR-A,B로부터 거리 값을 돌려받게 된다. 이 과정은 최종 목적지까지 반복된다.

모바일 로봇 2대가 다음 목적지까지 움직일 때 모든 로봇은 2대의 모바일 로봇이 목적지에 도착하는 시점을 알아야 한다. 그 이유는 모바일 로봇과 앵커 로봇이 서로 역할을 바꾸면서 동기화를 해야 하기 때문이다. 본 논문에서는 로봇이 목적지에 도착하는 시점을 판단하기 위해 목적지에 도착한 로봇이 Destination Arrival 메시지를 송신하도록 하였다. 모

든 로봇이 Destination Arrival 메시지 2개를 받게 되면 위치확정을 하기 위한 Localization 과정이 진행되고 그 후 모든 로봇은 역할 전환이 된다. 그림 4는 다음 목적지로 이동하는 로봇이 역할 전환을 하기 위해서 진행되는 메시지 흐름을 보여준다.

#### IV. 분석

본 장에서는 4RLS의 성능을 기존 3RLS와 비교하여 분석한다.

##### 4.1 3RLS와 4RLS의 스텝 수 분석

3RLS는 1스텝을 움직일 때 1대의 로봇이 움직이기 때문에 1사이클마다 3스텝이 필요하다. 반면 4RLS는 1스텝을 움직일 때 2대의 로봇이 동시에 움직이기 때문에 1사이클마다 2스텝이 필요하다. 즉, 4RLS가 3RLS비해 1스텝의 이득을 취할 수 있게 된다. 이것을 수학적으로 분석하면 3RLS는 초항이 3, 공차가 3인 등차수열을 가지는 (a) 같은 식이 되고, 4RLS는 초항이 2, 공차가 2인 등차수열을 가지는 (b) 같은 식이 된다. 여기서 SN (Step Number)는 N번째 사이클의 스텝 횟수를 말한다.

$$(a) SN_3 = 3 + (n - 1) \times 3$$

$$(SN_3 = 3, 6, 9, 12, 15 \dots)$$

$$(b) SN_4 = 2 + (n - 1) \times 2$$

$$(SN_4 = 2, 4, 6, 8, 10 \dots)$$

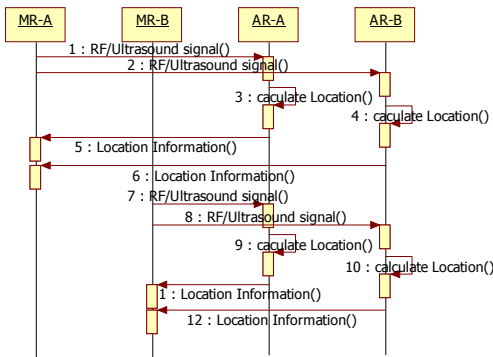


그림 3. 로봇이 움직일 때의 메시지 교환

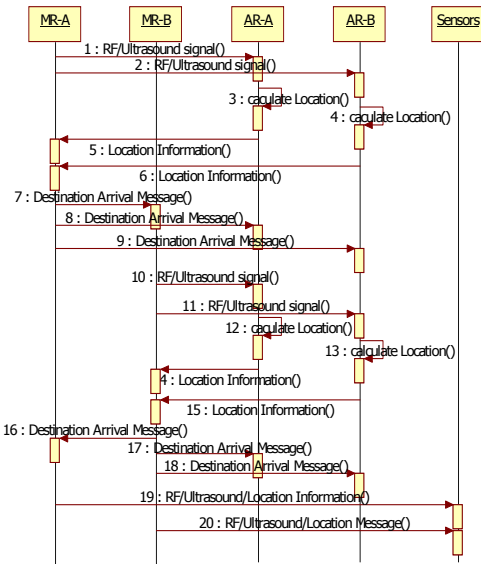


그림 4. 로봇이 목적지 도착 했다고 판단할 때의 메시지 교환

위 (a)와 (b)공식을 보면 1사이클 증가할 때 3RLS와 4RLS의 스텝의 차이가 n이 나는 것을 알 수 있다. 이것은 사이클이 늘어날수록 4RLS가 n만큼의 이득을 가질 수 있다는 것을 말한다.

##### 4.2 3RLS와 4RLS의 위치확정 시간

본 장은 RT방식을 사용한 3RLS기법<sup>[12]</sup>에서 분석한 위치확정 시간을 참조하여 4RLS기법의 위치확정 시간을 분석하였다.

로봇의 LT (Localization time)을 비교하기 위해 필요한 요소는 TM (Total moving time)과 TO (Total overhead time)이다. TM은 로봇 1대가 목적지 까지 움직이는데 총 걸리는 시간을 나타내고, TO는 로봇이 출발할 때 생기는 가속도 시간, 멈출 때 생기는 감속도 시간과 정지해서 위치확정 하는데 걸리는 시간인 SO (Stop overhead)로 나타낸다. TO는 1사이클마다 발생하며 사이클이 증가할수록 TO또한 증가한다. 이

것을 바탕으로 아래와 같은 공식을 만들어 낼 수 있다.

$$(a) TM = \frac{Move\ Distance}{V} \times Total\ Step$$

$$(b) TO = SO \times Total\ Step$$

$$(c) LT = TM + TO$$

위 공식에서 LT에 영향을 가장 많이 주는 것은 최종 목적지까지 가는데 필요한 스텝의 수이다. 따라서 4.1에서의 스텝 분석을 근거해 성능을 분석하면 4RLS가 3RLS보다 LT값이 적게 나옴을 알 수 있다. 그림 5는 전체 LT에 영향을 적게 주는 SO가 없다고 가정하고 3RLS와 4RLS를 비교한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 4RLS가 3RLS에 비해 약 1/3정도의 이득을 얻는 것을 볼 수 있었다.

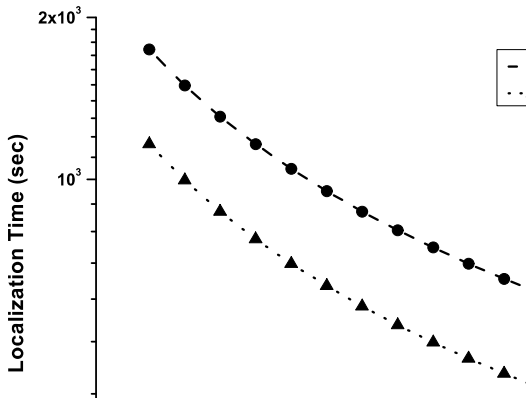


그림 5. LT vs RD 시간 비교 (SO=0)

## V. 실험

### 5.1 시스템 구성

본 논문에서는 실제 센서 네트워크 환경에서 실험을 하기 위해 RF와 초음파 신호를 송수신하는 Cricket<sup>[14]</sup>모트와 ER1<sup>[15]</sup>로봇을 이용하였다. ER1 로

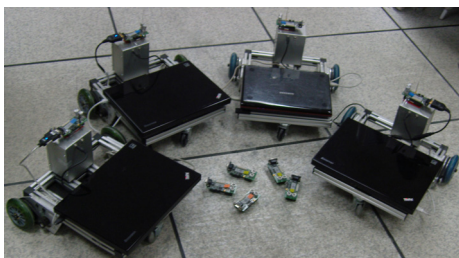


그림 6. ER1 로봇과 센서 노드

봇은 Cricket 모트와 RS232 시리얼 포트에 연결되어 거리 정보를 받으며, 받은 거리 값을 이용해 로봇을 목적지까지 이동시키는 역할을 한다. 아래 그림 6은 실제 실험에 쓰인 로봇 4대와 센서 노드 역할을 하는 Cricket 모트 5개를 보여주고 있다.

### 5.2 실험 결과에 따른 스냅샷

본 논문에서는 로봇의 배치를 앞서 3.1에서 설명한 DRT방식에 적합하게 위 2대 아래 2대로 배치하였다. 그리고 센서는 임의의 위치에 있는 그룹과 일렬로 있는 그룹이 서로 거리 측정이 불가능한 장소에 배치하였다. 실험결과 아래 그림 7과 같이 로봇이 지나간 자리에 센서노드의 위치가 정확한 지점에 측정되는 것을 확인할 수 있었다.

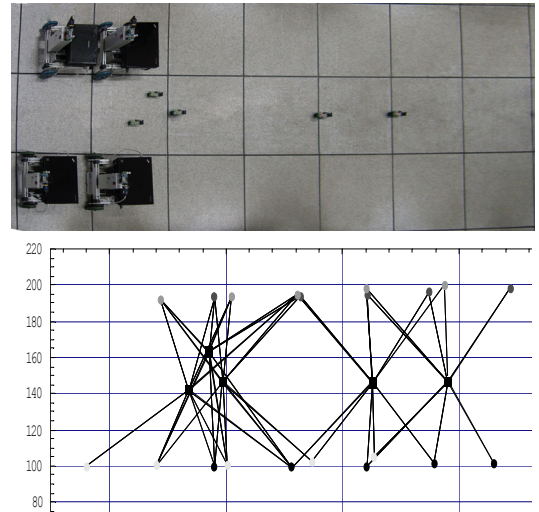


그림 7. 실험결과에 따른 스냅샷

### 5.3 3RLS과 4RLS의 실험결과

본 논문에서는 3RLS와 4RLS의 성능비교를 위해 같은 센서 네트워크 환경에서 실험을 하였다. 실험에 사용한 환경은 아래 표 1과 같다.

표 1. 실험에 사용한 환경

요소	값
로봇 수	4 대
센서 노드 수	5 개
이동거리	60~200 cm
속도	5~60 cm/sec
Localization 횟수	2~20 회
스캔 범위	100~1500 m2

모든 실험은 3.1에서 설명한 DRT방법에 따라 직선으로 움직인다는 가정을 가지고 아래와 같이 4가지 실험을 수행하였다.

첫 번째 이동거리에 따른 성능평가는 RD (Ranging distance)값을 바꿔가면서 실험을 하였다. 이 실험의 이상적인 이론 치는 각 로봇이 이동 하는데 걸리는 시간 더하기 가속/감속과 위치확정에 걸리는 오버헤드 시간을 더한 값이다. 이런 이론 값은 3RLS와 4RLS에 동시에 적용시켰으며, 차이점은 3RLS는 1사이클에 3스텝, 4RLS는 1사이클에 2스텝이라는 점이다. 실제 실험결과 그림 8에서 보는 것과 같이 3대의 로봇보다 4대의 로봇이 LT가 약 25~30%정도 더욱 효율적인 것을 확인할 수 있었으며, 이론 값과 실험값이 비슷하게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

두 번째로 속도에 따른 LT값을 성능평가 하였다. 두 번째 실험은 첫 번째 실험과 비슷하지만, 첫 번째 실험은 속도가 10 cm/sec으로 고정인 반면에 두 번째 실험은 속도를 바꿔가면서 실험을 수행하였다. 실험결

과를 보여주는 그림 9의 그래프는 앞서 보았던 그림 8과 비슷한 형태를 가진다. 그 이유는 RD가 증가한다는 말은 곧 로봇이 스캔하는 범위의 증가로 LT가 감소한다는 것을 의미하며, 마찬가지로 V가 증가한다는 것은 1스텝의 LT시간을 줄여 전체 LT시간을 감소한다는 것을 의미하기 때문이다.

세 번째로는 Localization 횟수에 따른 성능평가를 수행하였다. Localization 횟수를 증가하는 것은 Sampling을 많이 한다는 것을 의미하며, 현재 로봇의 위치 정확도를 증가시킨다는 것을 의미한다. 하지만 Localization 횟수 증가는 다른 의미로 생각하면 LT를 증가시킬 수 있다. 세 번째 실험의 이론 값은 RF신호에 오류가 많이 생기기 때문에 Localization 횟수 증가에 따라 SO값을 약 7.2sec증가 시켰다. 그림 10에서는 Localization 횟수에 따른 성능평가 실험결과를 보여주고 있다.

마지막 실험으로 스캔 범위 (SA)에 따른 성능평가를 수행하였다. 스캔 범위를 증가시킨다는 것은 전체 스텝의 증가를 의미하며, 스텝의 증가는 LT에 많은 영향을 미친다는 것을 의미한다. 실험결과 그림 11과

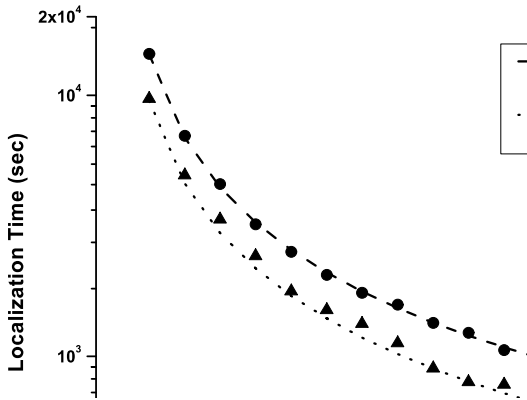


그림 8. 이동거리에 따른 성능평가

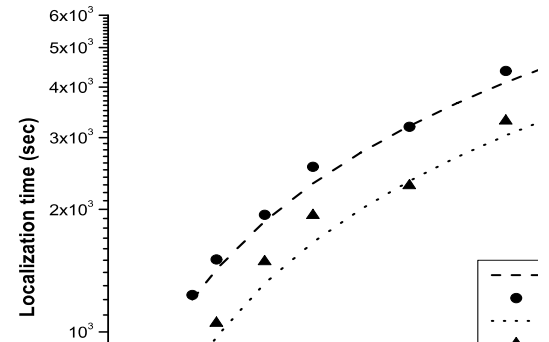


그림 10. Localization 횟수에 따른 성능평가

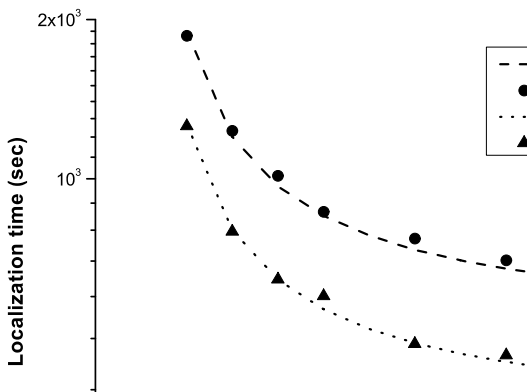


그림 9. 속도에 따른 성능평가

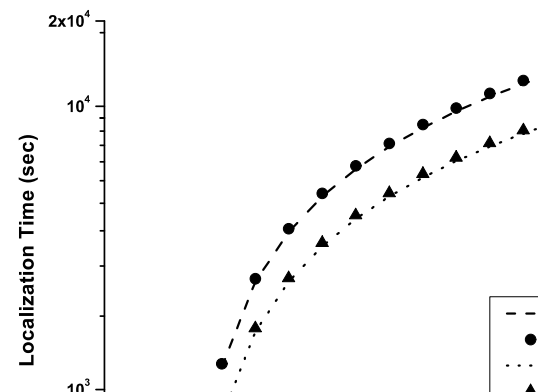


그림 11. 스캔 범위에 따른 성능평가

같이 스캔 범위가 증가할수록 네 로봇이 약 30%정도 LT의 이득을 많이 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

위와 같은 4 가지 성능평가를 통해 본 논문에서는 4RLS가 3RLS에 비해 전체적으로 성능이 우수하다는 것을 확인했다. 즉 LT에 영향을 주는 이동거리, 속도, Localization 횟수, 스캔 범위의 요소가 변화함에 따라 4로봇이 3로봇에 비해 전체적으로 약 20~30%의 이득을 취할 수 있음을 알 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 3로봇의 성능을 개선하기 위해 4 로봇으로 센서 노드의 위치를 확정하는 방법인 4RLS기법을 제안하였으며, 효율적인 로봇의 이동패턴을 위해 두 개의 정삼각형 형태로 이동하는 DRT방법을 제안하였다. 그리고 4로봇과 센서 노드 사이에 RF신호 충돌을 방지하기 위한 송수신 통신 방법에 대해서도 제안하였다. 그리고 이를 바탕으로 수학적으로 3로봇과 4로봇의 스텝 수에 따른 성능평가 분석을 하였다. 그리고 최종적으로 제안한 방법과 분석을 바탕으로 Cricket<sup>[14]</sup>센서노드와 ERI<sup>[15]</sup>로봇을 활용하여 실제 센서 네트워크 환경에서 제안하는 방법을 구현하여 다양한 요소에 대해 실험하고 그 결과를 분석하였다. 성능평가 결과 전체적으로 4RLS기법이 3RLS기법에 비해 성능이 우수하다는 것을 입증하였다. 특히 스캔범위가 넓어질수록 4RLS기법이 더욱더 이득이라는 것을 확인할 수 있었다. 이는 4로봇을 사용할 경우 2대 로봇이 동시에 움직임으로 스텝 수를 줄일 수 있기 때문이다. 본 논문의 연구결과를 바탕으로 향후연구로는 4로봇의 성능향상을 하기 위한 효율적인 알고리즘에 대해 보다 구체적으로 연구해 볼 계획이다. 또한 센서 노드의 위치 확정을 위한 최적화된 로봇의 배치와 수에 대해서도 연구해 볼 계획에 있다.

## 참 고 문 헌

[1] I. F. Akyildiz, et al., "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks*, Vol.38, No.4, pp.393-422, March, 2002.

[2] I. Getting, "The Global Positioning System", *IEEE Spectrum*, Vol.30, No.12, pp.36-47, December, 1993.

[3] E. Kaplan and C. Hegarty, "Understanding GPS: Principles and Applications" Artech

House Incorporated, 2005.

[4] Global Positioning System, <http://www.gps.gov/systems/gps/index.html>, 2010.

[5] N. Pritantha, et al., "The Cricket location-support system", *Proceedings of ACM MobiCom'00*, pp.32-43, August, 2000.

[6] J Hightower and G Borriello, "Location systems for ubiquitous computing", *IEEE computer*, pp.57-66, August, 2001.

[7] R. Want, A Hopper, and V Gibbons, "The active badge location system", *ACM Transactions on Information*, Vol.10, No.1, pp.91-102, January, 1992.

[8] A. Harter, A. Hopper, and P. Steggles, "The anatomy of a context-aware application", *Wireless Networks*, pp.187 - 197, 2002

[9] A. Savvides, C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors", *Proceedings of ACM MobiCom'01*, pp.166-179, July, 2001.

[10] A. Savvides, H. Park, and M. B. Strivastava, "The n-hop multilateration primitive for node localization problems", *Mobile Networks and Applications*, Vol.8, No.4, pp.443-451, August, 2003.

[11] B. Nissanka, et al., "Mobile-Assisted Localization in Wireless Sensor networks," *Mobile Networks and Applications*, Vol.8, pp.443-451, 2003.

[12] Seunghak LEE, et al., "Sensor Node Localization by Three Mobile Anchors in the Wireless Sensor Networks", Submitted to *IEICE trans. on Inf & Sys*, trans-D, 2010.

[13] R. Kurazume and S. Hirose, "Development of a Cleaning Robot System with Cooperative Positioning System", *Autonomous Robots*, Vol.9, No.3, pp.237-246, 2000.

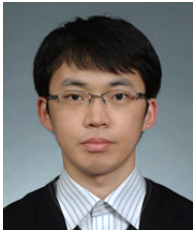
[14] CrossBow, <http://www.xbow.com/>

[15] Evolution Robotics, <http://www.evolution.com/>



이 우 식 (Woo-Sik Lee)

준회원



2009년 2월 경기대학교 컴퓨터  
과학과(이학사)  
2011년 2월 경기대학교 컴퓨터  
과학과(이학석사)  
2011년 3월~현재 경기대학교  
컴퓨터과학과 박사과정

<관심분야> 센서 네트워크, 통신 시스템

김 남 기 (Namgi Kim)

정회원



1997년 2월 서강대학교 컴퓨터  
학과(공학사)  
2000년 2월 KAIST 전산학과  
(공학석사)  
2005년 2월 KAIST 전산학과  
(공학박사)  
2005년 3월~2007년 2월 삼성

전자 통신연구소 책임연구원

2007년 3월~현재 경기대학교 컴퓨터과학과 교수

<관심분야> 통신 시스템, 네트워크