

## 다수 로봇의 상대적인 정보를 이용한 거리 추정 방법

탁명환, 최승엽, 주영훈  
군산대학교\*

### Distance Estimation Method Using Relatively Information of Multi-Robots

Myung Hwan Tak, Seung Yub Choi, Young Hoon Joo\*  
Kunsan National University

**Abstract** - 최근, 다수의 이동 로봇으로 구성된 무선 네트워크 기반 군집 로봇 시스템을 제한적인 환경을 벗어나 다양하고 동적인 환경에서 운용하기 위한 연구가 진행 중이다. 특히, 다수 로봇의 위치를 추정하기 위해 실내 환경에 기반 시설 없이 로봇에 장착된 센서들에 의해 위치를 추정하는 방법이 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 로봇간의 상대적인 정보를 통해 다수 이동 로봇의 거리를 추정하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 먼저, 다수 이동 로봇의 거리를 추정하기 위해 무선 신호를 기반으로 하는 RSSI 방법을 이용하여 다수 이동 로봇의 거리를 추정한다. 그 다음, 추정된 거리와 추측 항법(Dead Reckoning)을 융합하여 이동 중인 로봇의 거리를 추정하는 방법을 제안한다. 마지막으로, 시뮬레이션 도구를 이용하여 응용 가능성을 증명한다.

#### 1. 서 론

최근, 단일 로봇의 운용 시 문제점 및 한계를 극복하기 위해 다수의 이동 로봇으로 구성하는 군집 로봇 시스템이 각광받고 있으며 제한적인 환경을 벗어나 다양하고 동적인 환경에서 운용하기 위한 연구가 진행 중이다 [1]. 이러한 연구를 위해서는 먼저, 운용하고자 하는 실내/외 환경에서 로봇의 위치를 추정하는 방법이 필요하다. 기존의 실외 환경에서 위치를 추정하는 방법은 주로 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 위성에서 신호를 송신하는 시간과 사용자가 수신하는 시간 차이를 이용하여 위치를 추정한다. 하지만 위성 수신이 불가능한 지역(터널, 건물 내 등)인 실내 환경에서는 적용하지 못한다는 단점을 가진다. 이러한 문제점을 해결하고자 실내 환경에서 위치를 추정하는 대표적인 시스템은 MIT의 Cricket system [2]과 AT&T Lab에서 개발한 Active bat system [3], 나인티 시스템에서 개발한 iGS [4]가 있다. 이러한 시스템은 단일 이동 객체를 위한 시스템으로서 다수로 구성하는 군집 로봇 시스템에서는 공간 내의 신호 증가로 인해 신호 충돌이 발생하게 되어 위치 추정 시 오차가 포함되는 문제점을 가진다. 또한, 무선 네트워크를 기반으로 하여 위치를 추정하는 방법은 크게 ToA(Time of Arrival), TDoA(Time-Difference of Arrival), TWR (Two-Way Ranging)과 같이 신호의 전달시간을 이용하는 기법과 수신된 신호의 세기를 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 등이 있다 [5]. 이러한 방법은 미리 자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드의 존재가 가정되기 때문에 다수의 이동 로봇을 운용하려면 운용되는 환경에 위치를 인식하기 위한 기반 시설이 필요하다 [6,7]. 또한, 위치 좌표를 추정하는 대표적인 삼각 및 삼면 측량법은 3개 이상의 고정 노드가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 실내 환경에서 위치 추정을 위한 기반 시설 없이 다수로 구성된 로봇간의 상대적인 정보를 통해 다수 로봇의 거리를 추정하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 먼저, 다수 이동 로봇의 거리를 추정하기 위해 무선 신호를 기반으로 하는 RSSI 방법을 이용하여 다수 이동 로봇의 거리를 추정한다. 그 다음, 추정된 거리와 추측 항법(Dead Reckoning)을 융합하여 이동 중인 로봇의 거리를 추정하는 방법을 제안한다. 마지막으로, 시뮬레이션 도구를 이용하여 응용 가능성을 증명한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 RSSI를 이용한 다수 로봇의 거리 추정 방법

본 논문에서는 실내 환경에서 다수 이동 로봇의 거리를 추정하기 위해 신호의 세기를 이용하여 거리를 추정하는 RSSI 방법을 이용한다. 기존의 RSSI 방법을 이용한 거리 추정 방법은 실내 환경에 고정된 AP(Access Point)에서 송신하는 신호를 수신된 이동 로봇에서 신호 세기를 측정하여 AP와 이동 로봇 사이에서 발생하는 파워 및 경로 손실(Path Loss)이 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방법이다 [5]. 일반적인 무선 신호 세기와 거리에 따른 관계는 Friis의 공식에 의해 식 (1)과 같다.

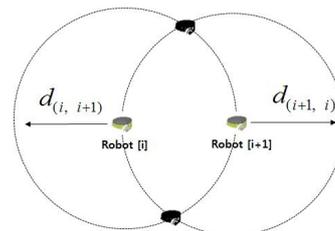
$$L = 20 \times \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) (dBm) \quad (1)$$

이때, L은 경로 손실을 나타내며, λ는 전파의 파장이며, d는 AP와 무선 이동 노드의 거리를 나타낸다. 식 (1)을 이용하여 AP와 이동 로봇의 거리 d에 의해 나타내면 식 (2)와 같다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}} \quad (2)$$

여기서, f는 주파수를 나타내며 c는 전파 속도를 나타낸다. 전파 속도는 빛의 속도인  $3.0 \times 10^8 [m/s]$ 로 가정한다. 또한, 식 (2)에 나타난 거리 d는 고정된 AP를 중심으로 원형 반경을 가진다.

이러한 기존의 RSSI 방법은 고정된 AP에서 이동 로봇간의 거리만 추정할 수 있고 로봇 사이의 방향은 추정할 수 없다. 또한, 본 논문에서는 고정된 AP가 없는 실내 환경에서 이동 로봇들의 다수 거리를 추정하기 위해 먼저, 그림 1과 같이 인접한 이동 로봇간의 거리를 구한다.

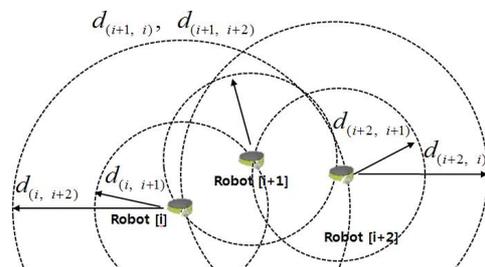


〈그림 1〉 RSSI를 이용한 인접한 로봇사이의 거리 추정

그림 1과 같이 로봇 i와 로봇 i+1 사이의 거리를 구하면 식 (2)를 통해 로봇 i의 기준으로  $d_{(i, i+1)}$ 와 로봇 i+1의 기준으로  $d_{(i+1, i)}$ 를 나타낼 수 있으며 두 개 로봇사이의 최종 거리는 식 (3)과 같다.

$$D(i, j) = \frac{d_{i, j} + d_{j, i}}{2} \quad (3)$$

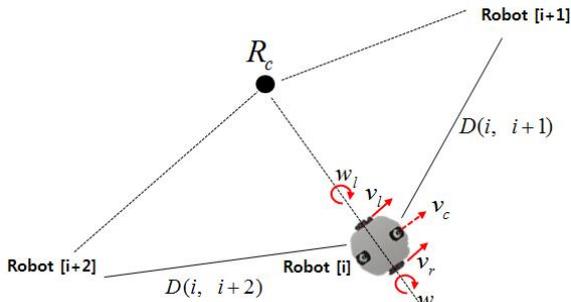
여기서, i와 j는 ID가 다른 로봇을 나타낸다. 또한, 로봇 사이의 방향은 추정된 거리 반경에서 나타나는 2개 교점이 로봇 사이의 방향에 따른 위치가 된다. 그 다음, 인접한 로봇뿐만 아니라 무선 네트워크에 연결된 다수 로봇의 거리를 추정하면 그림 2와 같이 추정된 거리 반경의 교점 중에서 로봇간 사이의 방향과 거리를 추정할 수 있다.



〈그림 2〉 다수 로봇 사이의 방향과 거리 추정

## 2.2 추측 방법을 이용한 로봇의 이동 거리 추정

RSSI를 이용하여 추정된 다수 로봇의 거리는 로봇이 이동하게 되면 추정된 로봇 사이의 거리는 변형이 되며 주기적으로 거리를 추정하여 다수 로봇의 거리는 추정할 수 있다. 여기서, 각 로봇이 기준 위치에서 현재 위치까지 이동한 방향 및 거리를 추정하기 위해 추측 방법을 이용한다. 추측 방법은 이동 로봇의 위치를 결정하기 위하여 기준이 되는 위치와 방향으로부터의 변화량을 추정하여 현재의 위치를 계산하여 로봇의 상대 위치를 추정하는 방법이다. 본 논문에서는 추측 방법을 이용하기 위해서 그림 3과 같이 로봇의 이동 거리 및 방향을 추정하기 위해 기준이 되는 위치( $R_c$ )를 설정하여 로봇의 이동 거리 및 이동 방향의 추정한다. 이때 기준 위치( $R_c$ )는 RSSI를 통해 다수 로봇 사이의 추정된 거리를 연결하여 최대의 크기를 가지는 영역의 중심으로 설정한다.



〈그림 3〉 로봇의 이동 거리 및 이동 방향의 추정을 위해 기준이 되는 위치( $R_c$ ) 설정 및 추측 방법

그림 3에서  $D(i, i+1)$ 는 로봇  $i$ 와  $i+1$ 의 최종 추정 거리,  $D(i, i+2)$ 는 로봇  $i$ 와  $i+2$ 의 최종 추정 거리를 나타낸다. 또한, 본 논문에서의 이동 로봇은 두 개의 구동륜을 두고 좌측바퀴와 우측 바퀴가 독립적으로 제어 되는 방식으로 각 속도를 각각  $w_l, w_r$ 이라고 하면 각 바퀴의 선속도는 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$v_l = rw_l, v_r = rw_r \quad (4)$$

여기서  $r$ 은 바퀴의 반지름을 나타내며 로봇의 중심에서 로봇의 선속도 및 각속도는 식 (5)와 (6)에 의해 나타낸다.

$$v_c = \frac{v_l + v_r}{2} \quad (5)$$

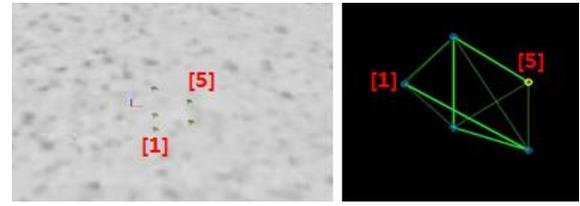
$$w_c = \frac{v_l - v_r}{L} \quad (6)$$

$L$ 은 양 바퀴 사이의 거리이다. 또한 로봇의 양 바퀴 사이에 따른 회전반경은 식 (7)에 의해 나타낸다.

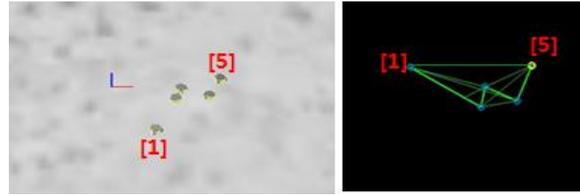
$$R = \frac{L}{2} \frac{(w_l + w_r)}{(w_l - w_r)} \quad (7)$$

### 3.시뮬레이션 및 결과 고찰

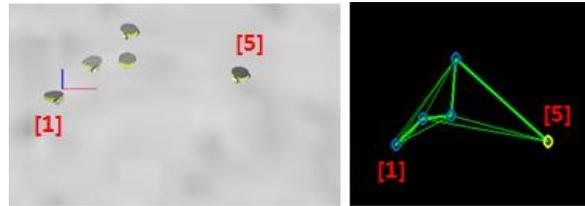
본 논문에서 사용된 시뮬레이션 도구는 주(심랩)의 Robotics-Lab을 사용하였다. 시뮬레이션 환경은 50x50(m)의 환경에서 동일한 사양을 가지면서 1번부터 5번까지 ID를 가지는 이동 로봇을 사용하였다. 이동 로봇은 무선 네트워크와 바퀴의 회전량을 측정하는 엔코더 기능을 사용하였다. 또한, 다수의 로봇은 자기 자신 및 주위 로봇의 위치는 모른다고 가정하였다. 시뮬레이션 단계는 먼저, 초기 위치에서 동시에 RSSI를 이용하여 다수 로봇 사이의 거리를 추정한다. 이때, 다수 로봇의 거리를 추정하는 알고리즘 반복 수행 시간은 1sec로 설정하였다. 그 다음, 로봇의 이동 할 경우 추정된 다수 이동 로봇의 거리와 추측 방법을 통해 로봇의 새로운 이동 거리를 추정하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같으며 왼쪽은 시뮬레이션 도구를 이용하여 실제 로봇을 구동하였을 경우를 나타내며 오른쪽에서는 로봇의 실제 위치 좌표를 알지 못하지만 제안한 알고리즘을 통해 다수 로봇간의 거리와 방향이 나타난 결과를 나타낸다. 그림 4-(a)는 초기 위치에서 다수 로봇의 거리를 추정된 결과를 나타내며 4-(b)는 20sec에 균집 로봇의 주행을 각기 다른 방향으로 랜덤으로 주행 하였을 경우 주행한 결과를 나타낸다. 마지막으로 그림 4-(c)는 60sec 후 주행 결과를 나타낸다.



(a) 초기 위치



(b) 20 sec



(c) 60 sec

〈그림 4〉 수행 시간에 따른 시뮬레이션 결과

## 4. 결 론

본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 실내 환경에서 위치 추정을 위한 기반 시설 없이 다수로 구성된 로봇간의 상대적인 정보를 통해 다수 로봇의 거리를 추정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 먼저, 다수 이동 로봇의 거리를 추정하기 위해 무선 신호를 기반으로 하는 RSSI 방법을 이용하여 다수 이동 로봇의 거리를 추정하였다. 그 다음, 추정된 거리와 추측 방법을 융합하여 이동 중인 로봇의 거리를 추정하는 방법을 제안하였다. 마지막으로, 시뮬레이션 도구를 이용하여 응용 가능성을 증명한다.

**감사의 글 :** 본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단(과제번호: NRF-2015R1A2A2A05001610)과 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)(No. 20144030200590)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] D. M. Stipanovic, P. F. Hokayem, M. W. Spong, and D. D. Siljak, "Cooperative avoidance control for multi-agent systems," Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 129, pp. 699-707, 2007.
- [2] N. B. Priyantha, "The cricket indoor location system," PhD thesis, MIT, 2005.
- [3] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," Computer, Vol.34, no.8, pp. 57-66, 2001.
- [4] D. G. Seo and J. M. Lee, "Localization algorithm for a mobile robot using iGS," Jour. of inst. of Control, Robotics and system, vol. 14, no. 3, pp.742-747, 2008.
- [5] J. Bachrach and C. Taylor, "Localization in sensor networks," Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures, Wiley Pub., 2005.
- [6] J. A. Costa, N. patwari, and A. O. Hero III, "Distributed multi-dimensional scaling with adaptive weighting for node localization in sensor networks," ACM Transactions on Sensor Networks, Vol. 2, no.1, pp.39-64, 2004.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "DV based positioning in ad hoc networks," Telecommunication Systems, Vol. 22. no.4, pp. 267-280, 2003.