

RFID 태그 인프라에서의 RFID 리더의 송출전력 제어를 통한 위치 추정 성능 향상

박영수*, 박지훈*, 이제원*, 김상우*
POSTECH*

Improvement of RFID localization performance using transmission power control in RFID tag infrastructure

Youngsu Park*, Jeehoon Park*, Je Won Lee*, SangWoo Kim*
POSTECH*

Abstract - 본 논문에서는 RFID 태그 인프라 혹은 RFID 태그 플로어 상에서 RFID 리더를 이용한 위치추정 시에 RFID리더의 송출전력을 제어하여 위치추정 성능을 향상시키는 방법을 제시한다. 또한 RFID 위치추정 문제에 대하여 정의하고 이들의 성능을 비교하는 성능 기준 (Performance measure)을 이용하여 송출전력을 제어할 경우와 그렇지 않은 경우의 위치추정 성능을 시뮬레이션과 실험을 통해서 비교한다.

1. 서 론

이동 로봇의 위치추정은 이동 로봇이 자신에게 주어진 임무와 과제를 수행하기 위해서 꼭 필요하다. 최근 네트워크 기반의 지능형 로봇이나 개인용 서비스 로봇 등이 연구 되면서 이동 로봇의 위치추정에 관한 기법들에 대한 연구도 더욱 심 되고 있다. 이전의 연구에서는 위치 추정 문제를 해결하기 위해서 여러 종류의 센서와 알고리즘들이 사용되었다. 초기의 연구에 쓰인 방법 들 중 가장 대표적인 것이 Odometry, INS를 사용한 위치 추정 기법이다. 하지만 이들 센서는 시간이 갈수록 오차가 누적되고 이를 제거할 수 없다는 단점이 있다. 다른 방법으로는 레이저 거리 측정기나 초음파 센서를 이용하여 지형물과의 거리를 측정하여 현재의 자신의 위치를 파악하는 방법이 있다. 하지만 이 방법은 전체 지역의 지도를 가지고 있어야 하며 지형의 특성이 반복적인 경우 위치 추정에 실패할 수도 있다. GPS는 절대적인 위치를 제공하지만 오차범위가 10m 내외이고 실내에서는 사용하기 부적합하다. 그래서 RSS (received signal strength)나 초음파 위성을 사용한 위치 추정 방법도 연구되고 있다.

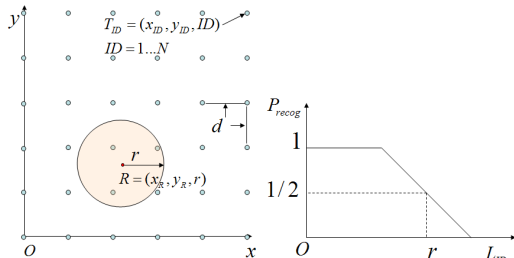
최근에 이동로봇의 위치추정의 새로운 방법으로 RFID의 태그 인프라를 이용한 위치추정의 개념이 제시되었고, 이에 따라서 국내외에 이와 관련된 많은 연구가 행해지게 되었다. 해외의 연구는 [6][7][8][9][10][11] 등이 있고, 국내의 대표적 연구는 부산대학교의 이장명 교수와의 연구진들, 한양대학교의 박장현의 연구진들 그리고 순천향 대학교의 최정욱 외의 연구진들에 의한 논문들이 있다[1][2][3][4][5][19].

본 논문에서는 이러한 RFID를 이용한 위치추정에 있어서 리더의 파워를 조정하여 위치추정의 성능을 높이는 방안을 제시한다. 또한 시뮬레이션과 실험을 통하여 새로 제안된 방법의 인식 성능의 향상을 보인다.

2. 본 론

2.1 RFID 태그 인프라에서의 로봇 위치추정

RFID 태그 인프라를 이용한 위치추정은 일반적으로 2차원 평면상의 정해진 위치에 배치된 태그를 인식하여 실제 로봇의 위치를 파악하는 방식이다. <그림 1>은 이 문제의 기본 개념들을 보여주고 있다[1][6][5].



<그림 1> RFID 태그 인프라에서의 로봇 위치 추정 문제와 리더의 인식 모델

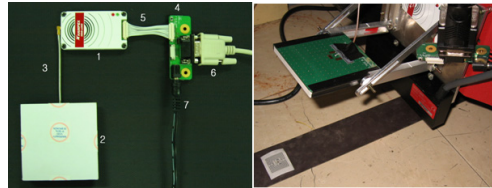
그림 1에서 T 는 RFID 태그를 의미한다. 이들은 각 ID에 따라서 x, y 평면상에서의 위치가 결정 되어 있다고 가정한다. 태그의 배치 방식은 여러 가지가 존재하나[6][21] 본 실험에서는 정방형 배치구조를 실험에 이용하였다. R은 RFID 리더를 의미하고 인식범위 r을 가진다. 실제

적으로 리더의 인식확률은 여러 요인에 의하여 영향을 받지만 가우시안 모델이나 <그림 1>에서 나타나는 사다리꼴 모델로 가정하는 경우가 많다[18][19]. 리더는 인식 영역 내에 있는 태그들을 감지하여 ID를 얻어내고 데이터베이스에서 태그의 위치를 파악하고 이 정보를 이용하여 리더의 위치를 추정한다. 위치추정에는 일반적으로 평균이나 가중평균 기법이 쓰인다[16][20]. 그 외에도 Odometry 정보를 같이 사용하여 몬테카를로 방법이나 칼만 필터와 같은 확률적 방법, 신호처리 기법이 쓰인다. 이들 역시 같은 평균기법이나 가중 평균 기법을 이용하여 데이터를 추가한다.

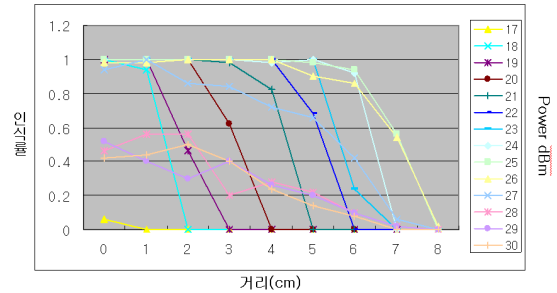
본 논문에서는 이러한 위치 추정의 정확도를 RFID의 송출 전력 제어를 통해서 향상시키고자 한다.

2.2 RFID 리더의 송출전력 제어

<그림 2>는 로봇의 전면에 장착된 RFID를 보여준다. RFID 리더는 HAMPEX사의 HRID-M900모델을 사용하였으며 이 모델은 15~30dBm까지 안테나 송출 전력을 제어할 수 있다. 안테나는 약 30°의 방사패턴을 가지고 있으며 리더와 지면에서의 거리는 8cm 이다.



<그림 2> RFID 송출전력 제어를 이용한 tag 인식 확률 실험 구성



<그림 3> RFID 송출전력 제어를 이용한 tag 인식 확률

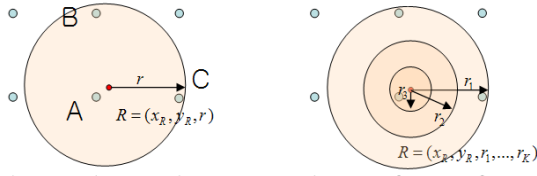
<그림 3>은 송출전력과 리더와 태그사이의 거리에 따른 인식확률을 보여준다. 리더의 파워를 조절하면 인식률의 변화가 생기는 것을 확인할 수 있다. 전력을 늘일수록 인식거리나 인식 성능은 향상 되지만 26,27dBm부터 오히려 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 적절한 송출전력을 선택하면 다양한 인식거리를 확보할 수 있다. <그림 4>는 송출전력을 조절하지 않은 경우와 송출전력을 조절한 경우의 차이를 보여준다. 리더의 송출전력을 조절하지 않은 경우 A, B, C 태그는 동시에 읽히고 리더의 추정 위치는 이 세 태그의 중심점으로 나타나게 된다. 리더의 송출전력을 조절한 경우 r3 범위 내에 존재하는 A 태그에 좀더 weight를 두게 되므로 실제의 리더위치에 더 가까운 점을 추정하게 된다.

$$x_r = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_i \quad y_r = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K y_i \quad <식 1>$$

$$x_r = \frac{1}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{K_j} \alpha_j} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{K_j} \alpha_j x_i \quad y_r = \frac{1}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{K_j} \alpha_j} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{K_j} \alpha_j y_i \quad <식 2>$$

<식 1>은 송출전력 제어를 하지 않은 경우의 위치 추정을 의미한다. 여

기에서 K는 읽힌 태그의 수를 의미한다. <식 2>는 송출전력 제어를 한 경우의 위치 추정 식이다. 이 식에서 M은 송출전력의 레벨의 수를 의미한다. 또한 a는 각 레벨에의 가중치를 의미한다. 일반적으로 인식원이 작을수록 높은 가중치를 두게 된다. 만일 인식된 태그 수의 합이 0이 되면 위치 인식은 실패하게 된다. 일반적으로 인식범위 내에 1개 이상의 태그가 배치되도록 하는 것이 좋다. 배치거리가 큰 경우에는 칼만 필터링 기법이나 몬테카를로 기법 등을 사용하여 위치를 추정할 필요가 있다.



<그림 3> RFID 송출전력 제어를 이용한 tag 인식 확률

2.3 시뮬레이션 변수 설정

위의 위치추정 방법의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 태그간의 거리를 단위 거리를 0.7로 두고 <그림 1>의 확률 모델을 사용하였다. r1이 인식 반경인 경우 송출전력 제어를 하지 않은 리더와 인식 거리가 같고 0.5까지는 인식확률이 1이고 0.7부터 인식확률이 0이 되도록 했다. r2는 0.3까지가 1, 0.5 부터는 0이 되게 하였고, r3에서는 0.1까지 1, 0.2부터 0이 되게 하였다. 시뮬레이션은 모두 3가지의 방법으로 행해졌다. 첫 번째는 0.7X0.7의 범위 안에서 랜덤하게 1만개의 위치를 생성하여 평균추정 오차거리를 구하였다. 이것은 <식 3>에 나타나 있다. 다음은 각도에 따른 직선 운동에서의 평균추정오차거리를 구하였다. 마지막으로 회전 반경에 따른 반원 운동에서의 평균추정오차거리를 구하였다. 이들을 송출전력 제어가 되지 않은 경우와 비교하여 보았다. 송출전력제어를 하지 않은 경우에는 3회 반복 인식하여 평균한 값을 추정치로 사용하였다.

2.4 시뮬레이션 결과

<표 1>은 0.7X0.7 범위에서 랜덤하게 생성된 리더 위치에서 추정된 위치의 평균 오차거리이다. 평균추정오차거리가 77.8%수준으로 감소한 것을 알 수 있다. 평균추정오차거리는 리더의 인식거리 조합 방식과 태그의 배치 방식에 따라서 달라질 수 있다.

<표 1> 랜덤 위치에서의 평균추정오차거리 비교

위치 추정 오차	송출전력 제어	송출전력 비제어
	0.0429	0.0687

<표 2> 직선 주행에서의 평균추정오차거리 비교

진행 각도(degree)	송출전력 제어	송출전력 비제어	오차비율
0	0.0610	0.1951	0.3130
30	0.0646	0.1597	0.4043
45	0.0701	0.1771	0.3956

<표 3> 회전 주행에서의 평균추정오차거리 비교

회전 반경	송출전력 제어	송출전력 비제어	오차비율
3	0.0646	0.1574	0.4107
5	0.0681	0.1653	0.4120
7	0.0692	0.1691	0.4093
9	0.0710	0.1560	0.4553

위의 <표 2>, <표 3>에서 송출전력 제어 시 오차비율이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 오차 비율을 태그간격과 리더 인식 거리의 비에 의해 달라질 수 있으며, 태그의 간격이 조밀할수록 오차의 크기가 역전되는 현상을 보이기도 한다. 이에 대한 분석과 실험은 지면관계상 다루지 않기로 한다.

3. 결 론

위의 시뮬레이션 결과는 본 논문에서 제시한 위치 추정의 방법이 일반적인 평균 방법이나 가중 평균 방법보다 우수한 성능을 보인다는 것을 보여주었다. 또한 현재 다양한 태그의 배치상황과 다양한 리더인식 거리와 태그사이의 비에서 추정 성능을 비교 분석할 예정이며, 추가적으로 인식된 태그의 위치관계와 인식된 송출전력 레벨의 관계를 활용하여 위치 인식의 정확도를 더욱 개선하는 방안을 연구 중이다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-C1090-0801-0004)

[참 고 문 헌]

- [1] Soonshin Han, HyungSoo Lim, and JangMyung Lee, "An Efficient Localization Scheme for a Differential-Driving Mobile Robot Based on RFID System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, No 6, December 2007 p. 3362 - 3369
- [2] 최병석, 이장명, "RFID 센서 공간에서의 모바일 로봇의 효율적인 위치 인식", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No. 1, January 2006 p. 15-21
- [3] 문승욱, 지용관, 박장현, "정적 Passive RFID 태그를 이용한 지능적인 로봇위치추정기법", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No.1, January 2006 p. 9-14
- [4] 유영민, 이채훈, 박준구, 박찬국, "차량용 측위 시스템에 RFID 적용 가능성 연구", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No. 10, October 2006, p 975-981
- [5] 이현정, 최규천, 이장명, 이민철, "RFID를 이용한 이동로봇의 위치인식기법", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering Vol.12, No. 1, January 2006 p. 41-45
- [6] Jurgen Bohm, and Friedemann Mattern, "Super-Distributed RFID Tag Infrastructures", The 2nd European Symposium on Ambient Intelligence, 2004.
- [7] Olaf Kubitz, Matthias O. Berger, Marcus Perlick, and Rene Dumoulin, "Application of Radio Frequency Identification Devices to Support Navigation of Autonomous Mobile Robots", IEEE Vehicular Technology Conference, 1997.
- [8] Dirk Hahnel, Wolfram Burgard, Dieter "Fox, Ken Fishkin, and Matthai Philipose, Mapping and Localization with RFID Technology" IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004.
- [9] James Brusey, Christian Floerkemeier, Mark Harrison, and Martyn Fletcher, "Reasoning about Uncertainty in Location Identification with RFID", IJCAI-2003 Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robotics, 2003
- [10] Paul Wilson, Daniel Prashanth, and Hamid Aghajan, "Utilizing RFID Signaling Scheme for Localization of Stationary Objects and Speed Estimation of Mobile Objects", IEEE International Conference on RFID, 2007
- [11] Ren C. Luo, Chi-Tao Chuang, and Sung-Sheng Huang, "RFID-based Indoor Antenna Localization System using Passive Tag and Variable RF-Attenuation", 33rd Annual Conference of the IEEE on Industrial Electronics Society, 2007.
- [12] 지용관, 문승욱, 박희환, 박장현, "RFID의 확률적 센서모델을 이용한 위치 추정 알고리즘", 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, p. 1478-1482
- [13] 지용관, 박장현, "Passive RFID를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 알고리즘", 대한기계학회 2006년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, 2006. 11, p. 99 ~ 104
- [14] 송성호, 박희환, 문승욱, 지용관, 박장현, "이동 로봇의 위치 추정을 위한 RFID Tag의 효율적 배치", 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집 2005. 10, p. 907 ~ 911
- [15] 김현태, 지용관, 박장현, "RFID를 이용한 이동 로봇의 위치 추정을 위한 실내 공간에서의 태그 배치 알고리즘", 대한기계학회 춘추학술대회, 대한기계학회 2006년도 춘계학술대회 강연 및 논문 초록집, 2006. 6, p. 1370 ~ 1375
- [16] Hyun-Jeong Lee, Moon Sik Kim, and Min Cheol Lee, "Technique to correct the localization error of the mobile robot positioning system using an RFID", SICE Annual Conference 2007, Sept. 17-20 2007 p. 1506 - 1511
- [17] HyungSoo Lim, ByoungSuk Choi, and JangMyung Lee, "An Efficient Localization Algorithm for Mobile Robots based on RFID system", SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference, Oct. 2006 p. 5945 - 5950
- [18] Dae-Sung Seo, Daeheui Won, Gwang-Woong Yang, Moo-Sung choi, Sang-Ju Kwon, and Joon Woo Park, "A Probabilistic Approach for Mobile Robot Localization under RFID Tag Infrastructures", International Conference on Control, Automation and Systems 2005,
- [19] 서대성, 이호길, 김홍석, 양광웅, 원대희, "RFID 태그에 기반한 이동 로봇의 몬테카를로 위치추정", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No. 1, January 2006, p47-53
- [20] Hyun-Jeong Lee and Min Cheol Lee, "Localization of Mobile Robot Based on Radio Frequency Identification Devices", SICE-ICASE International Joint Conference 2006, Oct. 18-21, 2006 p. 5934-5939
- [21] 최정욱, 오동익, 김승우, "RFID 태그플로어 방식의 내비게이션에 관한 연구", 제어. 자동화.시스템공학 논문지 제 12권, 제 10호 2006.10, p968-974