

RFID 정보와 거리센서 융합을 통한 자율주행로봇의 구현

송용주, 김상훈*

*한경대학교 정보제어공학과 교수

한경대학교 정보제어공학과 대학원 신호처리전공

e-mail: yongju1825@naver.com, kimsh@hknu.ac.kr*

Implementation of an Autonomous Mobile Robot Using Sensor Fusion with Passive RFID and Range Sensors

Sang-Hon Kim, Yong-Ju Song

*Dept. of Information & Control, Hankyong National University

요 약

본 논문은 실내 공간에서 RFID와 센서를 이용하여 이동로봇이 자기 위치를 파악하고 목표 물체를 인식할 수 있는 기법을 제안한다. RFID를 지면과 목표물체에 설치하고 로봇은 리더기와 다양한 센서를 갖추므로써 이동시 자기 위치를 파악하고 물체로부터도 고유정보를 얻을 수 있게 구성하였다. 초음파 센서 신호의 귀환시간을 활용하여 전방 물체의 거리를 추출하며 바닥의 RFID로부터 이미 획득한 자기 위치를 활용하여 물체의 절대 위치를 구한다. 이는 로봇을 중심으로한 경로지도를 실시간으로 작성하는 것이 가능하며, 실내의 구조 및 목표 물체의 위치등을 포함한 전체적인 지도를 작성할 수 있다. 최종적으로는 최적의 경로 계획을 세워 로봇이 목표 위치로 이동하거나 자율적 탐색이 가능하도록 한다.

1. 서론

최근 물류창고 등의 실내 환경에서 물품관리 및 보안등의 업무를 사람을 대신해 지능적으로 대체 가능한 자율로봇에 대해 관심이 많아지고 있다. 이를 위해선 로봇의 위치를 실시간으로 인식하고 스스로 자신과 목표물과의 거리 관계를 파악하는 일이 중요하며 많은 연구가 진행되었다.[1][2] 본 논문에서는 초음파 센서와 RFID 리더기를 장착한 소형 이동 로봇과 RFID 시스템을 구현하여 Tag를 실내공간의 바닥에 부착하여 이동로봇이 경로를 주행하면서 벽면 또는 물체와의 거리를 측정하여, 이동로봇이 주행하는 실내 공간에 대한 Map을 작성하여 자신과 주변 물체의 절대위치를 인식하는 방법을 제시한다. 초음파 센서의 초음파 발생 신호의 귀환시간과 거리와의 관계를 추출하여 전방에 있는 물체와 이동로봇의 상대 거리를 예측하며 RFID 시스템을 이용하여 이동로봇의 절대 위치를 구한 후, 물체의 상대적인 거리정보를 융합하여 물체의 최종적인 절대적 위치를 업데이트하여 Map을 작성한다. 본 연구는 실내 환경에서 이동로봇의 물체인식 능력을 개선한 것으로 작업 공간상에서 물체가 어디에 있는지, 그리고 크기가 얼마인지를 알아내고, 그것을 통한 보다 정밀한 경로 설정과 주행 제어의 방법을 가지게 하기 위하여 실험을 하였다.

2. 6족 이동 로봇의 구성

본 연구에서 제안한 방법을 실제 상황에서 확인하기 위하여 그림 1과 같은 6족 이동 로봇이 제작하였다. 6족 이동로봇은 기존의 보행 로봇들에 비해 동적 안정성과 보행 효율성등을 갖추고 있고, 비평탄 지형에 적합한 구조를 가지고 있어 외부의 물리적 제약이나 보행의 문제점에 대하

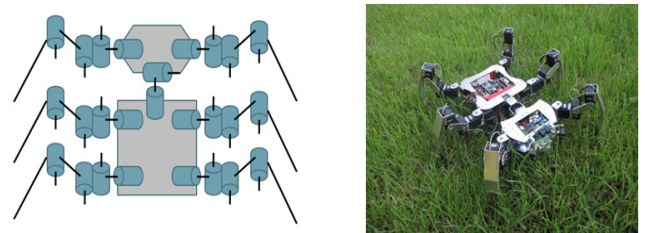


그림1. 6족 이동로봇

여 효과적으로 대처가 가능하다. 그리고 주행 중 만나는 장애물 또는 특정 물체와의 거리를 거리 센서의 결과 값으로부터 유도하여 근접시 실시간으로 거리와 상대적인 방향을 측정한다. 측정된 거리와 방향 값을 이용해 좌우 방향전환, 전진, 후진 등을 판단하며 이러한 제어신호는 로봇의 MCU에 프로그램으로 내장하여 자율주행이 가능하며 원격을 통해서도 제어가 가능하게 구성되어 있다.

3. 초음파 센서를 이용한 거리 측정

본 연구에서는 3m이내의 근거리 내에서 물체의 유무를 탐지하고 거리를 계산하기 위한 방법으로 초음파 센서를 사용한다.

초음파 센서가 실제로 추출할 수 있는 물체와의 유효거리는 10 ~ 300 Cm 범위이며 제어부의 인터럽트를 이용하여 초음파의 귀환시간을 측정하고 그에 따른 거리와의 관계를 데이터화하여 식 (1)과 같은 선형적인 관계식을 유도하였다.

$$distance = \frac{t_{return}}{2} \quad (1)$$

여기서 *distance* 는 이동 로봇과 가장 가까운 거리에서 감지된 물체와의 거리이며, t_{return} 은 초음파 신호의 귀환 시간이다.(단위는 μsec 임)

한편 사용한 초음파센서의 온도에 따른 공기중의 전파속도는 $V[m/s] = 331.5 + 0.607T$ (T =온도) 이며 소요시간에 따른 측정물체까지의 거리는 $H[m] = v[m/s] * t / 2$ (t = 소요시간) 의 관계식을 성능으로 갖는다.

4. RFID tag를 이용한 지도 작성

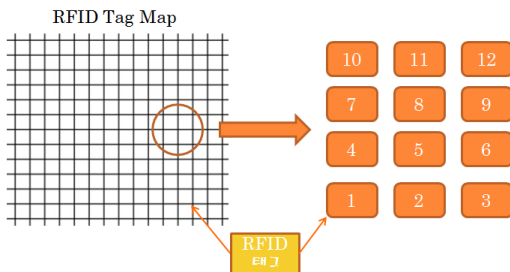


그림 2. RFID Tag Map

RFID 가 설치되어 있는 실내 공간에서 로봇이 원하는 목적지점까지 이동 중에 있을 때, 로봇의 잦은 방향 전환과 많은 이동량은 오도메트릭 (Odometry) 정보의 오차 누적이 발생된다. 또한, 바퀴의 슬립(slip), 사람이나 물체와의 충돌 등으로 인해 로봇이 알고 있는 오도메트릭 정보와 절대 위치 정보와 큰 차이가 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우에 이동 로봇은 원하는 목적지까지 정확하게 가기 위하여 오도메트릭 정보를 보정하여야 한다.

본 연구에서는 그림 2와 같은 RFID Tag로 grid map을 격자 형태로 구성하였다. 각각의 Tag에는 절대적인 위치 정보가 들어있어 이동로봇이 이동시 각각의 Tag를 읽을 때마다 읽은 정보를 로봇의 현재 위치로 인식하고 정확성을 기하기 위한 보정이 필요하다. 이동로봇이 정보행이 가능하도록 개선함으로써 각 Tag 사이의 간격을 넓힐 수 있고 시간과 비용을 절감 할 수 있는 효과가 있다.

5. RFID를 이용한 경로 계획

이동 로봇이 임의의 실내 환경하에서 시작점으로부터 목적지점에 이르는 최적 경로를 통해 충돌없이 이동을 하기 위해서는 지도(map)를 작성해야 한다. 본 논문에서는 지도를 작성하기 위하여 거리 변환법(Distance Transform)

을 적용하고 RFID 태그 인식 및 태그 정보를 이용하여 최적 경로를 찾는다.[4] 거리 변환법은 목적지점으로부터 시작지점에 이르는 통과 가능한 경로를 검색하여 경로 계획을 한다. 그리고 지도를 작성하기 전에 선행되어야 할 문제는 정확하게 그 환경을 인지하는 방법인데 본 논문에서는 RFID 태그의 인식을 통한 절대 위치 인식과 거리 센서의 정보를 이용하여 환경을 인지한다.

태그의 저장 내용은 부착지점의 절대 위치 좌표로, 태그는 grid map의 교차점에 존재한다. 알려진 환경에서는 태그 절대 위치 정보와 1차 주행 계획에 의해 사전에 파악된 장애물 위치정보를 분석해서 최적 경로를 결정하고 2차 주행 계획에서는 장애물을 모두 회피하면서 최단거리주행이 가능토록 한다. 이동 중에 사전에 입력되지 않은 장애물의 정보가 새로 인지되었을 경우에는 3차 주행 계획을 작성하여 장애물 회피를 하고 지도 정보를 재구축한다. 재구축된 지도를 분석해서 최적 이동 경로를 결정해 이동을 한다.

5.1 1차, 2차 주행 계획 - 경로 계획 및 지도 작성

본 논문에서는 RFID 정보와 초음파 센서 정보를 이용하여 1차 주행에서는 환경 지도를 작성하고, 2차 주행에서는 최적 경로를 찾는다. 1차 주행 계획에서는 이동로봇이 자율주행하며 RFID 정보와 초음파 센서 정보를 융합하여 그림 3과 같은 환경 지도를 작성 한다.

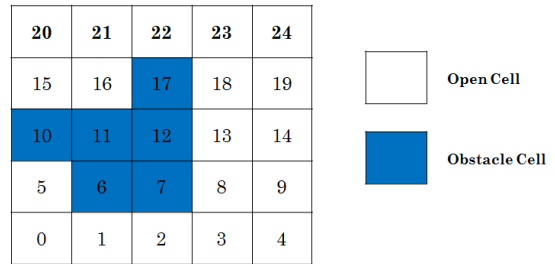


그림 3. 1차 주행 계획

2차 주행 계획에서는 작성된 환경지도를 이용하여 시작지점으로부터 목적지점에 이르는 통과 가능한 경로를 검색하여 이동로봇이 이동 가능한 최단, 최적경로 계획을 작성한다. 경로 계획은 로봇이 도착하여야 하는 목표지점을 초기 위치로 설정하고 시작지점에서 목적지점까지의 구간을 장애물이 있는 구간과 없는 구간으로 분류한다. 그림 4와 같이 각 구간은 정사각형의 격자로 구성되면 각각의 격자들은 거리정보를 갖게 된다. 각 격자의 거리 정보를 부여하는 작업은 목적지점에서 시작하여 로봇의 시작지점까지 진행된다. 거리 정보 부여는 목적지점과 인접해 있는 격자에 격자의 수를 증가 시키는 방법으로 거리정보를 부여한다. 시작지점에서 목적지점까지의 최적경로는 그림 4에서 보는 바와 같이 각 격자의 거리 정보를 탐색하여 최소의 거리를 갖는 격자를 검색하여 경로를 계획한다.[4]

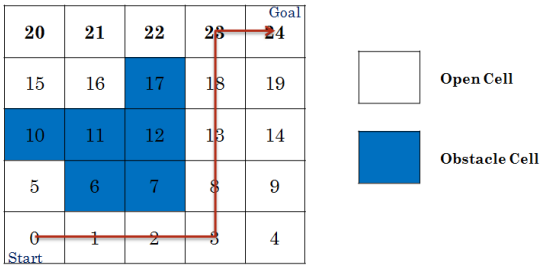


그림 4. 2차 주행 계획

5.2 3차 주행 계획 - 장애물 회피 및 새로운 경로설정

작성된 환경 지도에서 사전에 파악된 정보와 지표 태그 및 고정 장애물 태그의 정보를 분석해서 결정된 최적 경로를 따라 이동하면 충돌 없이 목적지점까지 이동을 할 수 있다. 그러나 의자, 박스와 같은 위치가 수시로 변하는 유동 장애물이 로봇의 최적 경로에 위치하게 되면 로봇의 이동에 방해가 된다.

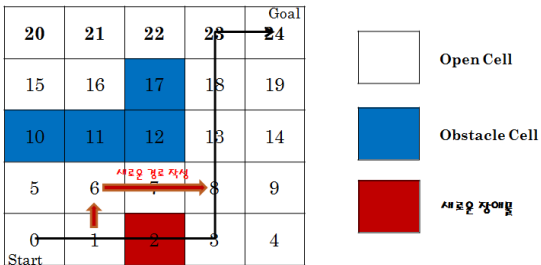


그림 5. 3차 주행 계획

이와 같이 위치 정보를 특정 지을 수 없는 장애물이 감지가 되었을 경우에 이동 로봇은 거리 센서를 통하여 장애물의 위치를 수정하여 지도를 보완한다. 추정된 장애물의 위치 정보와 이동 로봇의 위치 정보를 고려하여 로봇이 이동 할 수 있는 공간을 그림 4와 같이 재탐색한다. 그러나 장애물의 정확한 크기와 위치 정보를 알 수 없으므로 계속 이동하며 물체의 위치를 확인하고, 새로운 정보가 입력시 새로운 경로를 재탐색하여 이동한다.

6. 최적 경로 주행을 위한 알고리즘

본 연구에서는 수동형 Tag를 이용한 이동 로봇의 최적 경로 주행 알고리즘을 제안한다.

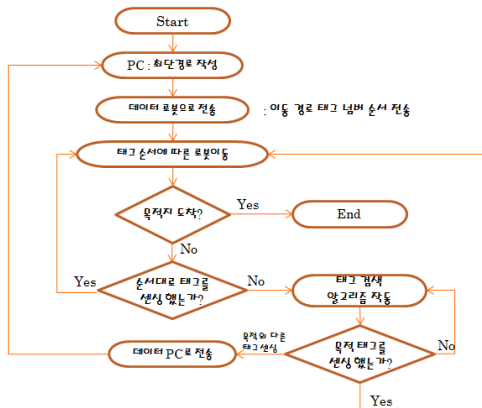


그림 6. 목적지 이동 알고리즘

이동로봇이 목표지점까지 이동하다 보면 방향 전환과 장시간의 주행, 보행상의 슬립등과 같은 환경적인 요인으로 인해 이동 시 목표한 정확한 위치로의 이동과 큰 차이가 발생한다. 이런 오차를 보정하기 위해 RFID Tag를 장착하여 grid Map을 구성하고, Tag에 절대 위치 정보를 저장하여 이동로봇이 이동할 때마다, 읽어 지는 Tag에 의하여 로봇의 절대 위치를 파악한다. 그리고 Tag의 위치를 놓칠 경우를 대비하기 위하여 이동 시마다 정해진 시간 안에 읽어 들인 Tag가 없을 시에는 Tag 검색 알고리즘을 작동하여 읽어 버린 주변의 Tag를 찾게 된다. 경로 계획상의 위치를 벗어났을 때에는 새로운 경로 계획을 작성하여 이동 알고리즘을 시작한다.

7. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 자율이동로봇의 경로 계획에 대해 검증하기 위해 6축 이동로봇과 13.56MHz 주파수의 RFID 리더기를 장착하여 사용하였다. 그리고 물체와의 상대 위치를 파악하기 위한 거리센서로는 SRF04 초음파 센서 모듈을 사용하여 전방, 좌측, 우측을 측정하였다. 이동로봇이 이동시 측정되는 센서 데이터와 RFID 정보는 지그비 통신으로 PC로 전송된다.

본 논문에서는 사용한 13.56MHz의 RFID 리더기의 최대 인식 거리는 10cm이며, 2m * 2m 공간에 바닥에 30cm 간격으로 Tag를 배치하였다. 배치된 태그는 배치된 지점의 절대 위치 정보를 저장하고 있으며, 이동 로봇이 이동하는 공간의 장애물은 초음파 센서를 이용하여 측정한다.

7.1 거리 측정 결과의 정확도

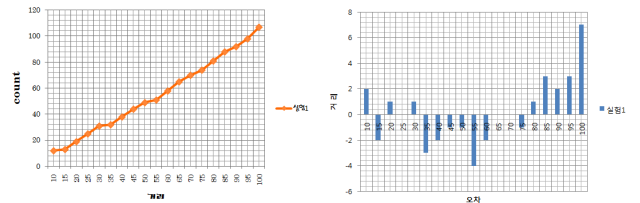


그림 7. 초음파 센서의 출력과 거리 관계

초음파 측정시간은 MCU의 외부인터럽트를 사용하였으며, 거리 값에 따른 측정 시간 값은 비례적으로 증가하므로 초음파 측정 시간 값에 따른 실제거리를 그림 7와 같이 데이터화 하였으며 그 관계식을 식 (1)과 같이 유도해 낼 수 있었다. 유효 검출범위는 10Cm ~ 100Cm로 하였으며 계산된 거리와 실제 물체와의 거리 오차는 평균 ±4.7% 이내이다.

7.2 주행 실험

그림 8은 1차 주행 실험 후 작성된 환경지도에 의해 2차 주행 실험을 한 것이다. 작성된 경로 계획에 따라 장애물을 회피하면서 이동하는 실험 결과이고,

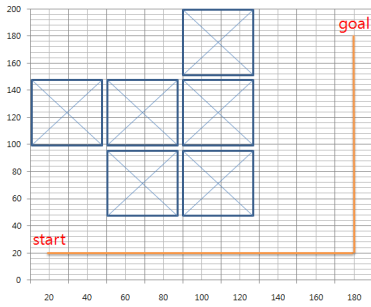


그림 8. 2차 주행 실험

그림 9는 2차 주행 실험 환경에서 파악되지 않은 장애물을 발견시 최적 위치 제어 알고리즘에 의해 새로운 최적 경로 계획에 따라 장애물을 회피하며 이동하는 실험 결과이다. 이동로봇이 계산 되어진 경로를 따라 이동 중에 사전에 입력되지 않은 장애물을 감지하여 최적 경로 주행 알고리즘에 따라 장애물을 회피하고, 경로 계획을 수정하여 목표지점에 도달하는 결과를 보여주고 있다.

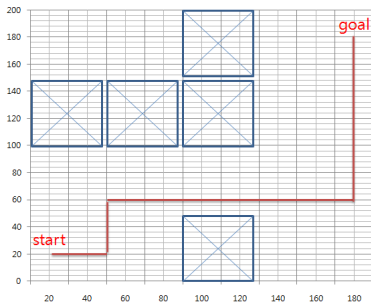


그림 9. 3차 주행 실험

8. 결론

본 논문에서는 실내 공간에서 RFID와 센서를 이용하여 이동로봇이 자기 위치를 파악하고 목표 물체를 인식할 수 있는 기법을 제안하였다. RFID를 지면과 목표물체에 설치하고 로봇은 리더기와 다양한 센서를 갖추으로써 이동시 자기 위치를 파악하고 물체로부터도 고유정보를 얻을 수 있게 구성하였다. 초음파 센서 신호의 귀환시간을 활용하여 전방 물체의 거리를 추출하며 바닥의 RFID로부터 이미 획득한 자기 위치를 활용하여 물체의 절대 위치를 구한다. 최종적으로는 최적의 경로 계획을 세워 로봇이 목표 위치로 이동하거나 자율적 탐색이 가능하도록 하였다. 정확하지 않은 초음파 센서와 Tag 사이사이에서의 로봇의 활동에 대해서는 물체 및 이동에 관하여 오류가 발생하게 되었다. 향후 연구과제로는 Tag 간 이동에서의 보다 정확한 데이터 획득과 비용 절감을 위해 Tag 사이의 간격을 넓히는 연구가 요구된다.

참고문헌

[1]조만재, "RFID Tag 정보와 거리센서 융합을 통한 자율

주행 로봇의 물체인식능력 향상" 한양대학교 석사학위논문, 2008

[2]지용관, 박장현, "Passive RFID를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 알고리즘" 대한기계학회 춘추학술대회 Vol.2006 No.11

[3]이필주, "초음파 센서를 이용한 물체 인식에 관한 연구", 광운대학교 석사학위논문, 2003

[4]이기성, 1994, "거리변환법과 벡터장 히스토그램을 이용한 자율주행 로봇의 경로계획" 과학기술연구논문집 Vol.4, pp. 377-392

[5]Seung-Wuk Moon, Yong-Kwan Ji, Jahng-Hyon Park, January, 2006, "An Intelligent Estimation Method of Robot-location based on Passive RFID Tags in Static Position", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, NO. 1

[6]Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh, 2004, "introduction to Autonomous Mobile Robots", Bradford Book.

[7]Ji-uk Won, Kee-seong Lee, 1994, "Obstacle Avoidance of an Autonomous Mobile Robot", KACC 94

[8]J.Borenstein and Y. Kren, 1989, "Obstacle Avoidance With Ultrasonic Sensor", IEEE Trans. on Systems man Cyben, Wol.19,No.5 pp.1179-1187.

[9]J.Brusey, M.Harrison, C.Floerkemeier and M.Fletcher. 2003, "Reasoning about Uncertainty in Location Identification with RFID" IJCAI Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robotics.

[10]H.Moravec and A.Elfes, 1985,"High resolution maps from wide angle sonar",in proceeding of the IEEE International Conference on Robotic and Atoma-tion, pp. 116-121

[11]K.Finkenzeller. 2000, "RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications" Wiley

[12]V.Kulyukin, C.Gharpure, J.Nicholson and S.Pavithran, Sept-Oct, 2004, "RFID in Robot-Assisted Indoor Navigation for the Visually 26 Impaired", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp. 1979-1984

[13] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson and S. Pavithran, 2004, "RFID in Robot-Assisted Indoor Navigation for the Visually Impaired", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp. 1979~1984.

[14]Elfes, A.,1987,"Sonar-based Real-World Mapping and Navigation",IEEE international Confonrence on Robotics and Automation, Raleigh, NC