

논문 2014-51-2-29

Passive RFID 시스템을 이용한 효율적인 영역 탐색 기법

(Passive RFID system for Efficient Area Coverage Algorithm)

이 상 엽*, 이 충 용*, 조 원 서*, 남 상 엽**, 김 동 한***

(Sangyup Lee, Choong-Yong Lee, Wonse Jo, Sang Yep Nam, and Dong-Han Kim[©])

요 약

본 논문에서는 Passive RFID system으로 구성된 Smart Floor 환경에서 다 개체 로봇의 효율적인 영역 탐색 방법을 제안한다. 연구에서 사용된 Passive RFID system 은 RF 안테나의 인식 범위 내에 있는 RF 태그에 사용자가 원하는 정보를 저장하고 읽을 수 있다. 본 연구에서는 명시적인 위치정보를 저장한 RF 태그를 바닥에 매설한 Smart Floor 라는 환경을 구축하였고, 로봇에 설치되어 있는 안테나를 통하여 태그로부터 받아들인 위치정보를 논문에서 제안하는 방법으로 가공하여 모바일 로봇의 위치를 추정함과 동시에 Smart Floor 내의 다른 로봇에게 자신의 이동 흔적을 남김으로써 기존 탐색 기법에 비해 전체 영역 탐색 시간을 단축하여 효율을 높였다. 본 논문에서는 Smart Floor 환경을 활용하여 모바일 로봇의 효율적인 이동 알고리즘을 제안한다.

Abstract

This paper proposes an enhanced fast scanning method for multi-agent robot system. Passive RFID tag can read and store the information within the range of recognizable RF tag reader. Based on this information of Passive RFID tag, the position of mobile robot can be estimated and at the same time, the efficiency of scanning process can be improved because it provides a scanning trace for other mobile robots. This paper proposes an efficient motion planning algorithm for mobile robots in a smart floor environment.

Keywords : RFID, Passive RFID, area coverage, localization, smart floor

I. 서 론

영역 탐색 문제는 청소 로봇, 잔디 깎기 로봇, 방법 순찰 로봇, 그리고 센서 네트워크 배치 등에서 아주 중요한 문제이다. 그리고 성공적인 영역 탐색을 위해 카

메라를 이용한 방식, 레이저 센서를 이용한 방식, 스타 게이저를 이용한 방식 등 다양한 센서를 이용한 방법들이 연구되고 있다^[1~7]. 이 연구들은 이동 로봇의 자신의 위치를 판단하는 localization 기법을 수반하여야 하며, 로봇의 한정된 배터리를 효율적으로 사용하고 최적의 이동경로를 생성하는 이동 알고리즘 또한 필요로 한다.

위에서 언급한 이동 로봇의 대부분은 카메라의 쉬운 보급성과 용이한 설치로 인해 영상처리 방법을 이용하여 위치인식 및 이동 알고리즘을 사용하고 있다^[3]. 하지만, 이 방법은 카메라를 통해 얻어진 영상에 의존하기 때문에 깨끗한 영상을 받아들이지 못할 경우 로봇이 영역 탐색 임무를 수행하는 데 있어 문제점이 발생한다. 예를 들어 어두운 환경이거나 장애물에 의해 영상을 가져올 수 없을 경우 로봇의 정확한 위치 판단이 힘들어

* 학생회원, *** 정회원, 경희대학교 전자전파공학과 (Electronics and Radio Department, Kyung-Hee University)

** 평생회원, 국제대학교 IT계열 (Information and Communication Engineering Department, Kook-je College)

© Corresponding Author(E-mail: donghani@khu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부(과제번호 No.10041834, 10045351)와 교육과학기술부(과제번호 No. 2012R1A1A2043822)의 지원을 받아 수행한 연구임.

접수일자: 2013년12월16일, 수정완료일:2014년2월2일

지며 영역 탐색 임무를 제대로 수행하지 못하게 된다.

본 논문에서는 Passive RFID system으로 구성된 Smart Floor 환경에서 이동 로봇의 효율적인 영역 탐색 방법을 제안한다. 우리가 제안하는 방법은 영상처리 기법과 비교하여 비용면에서 비싸다는 단점이 있다. 하지만 로봇의 명시적인 위치를 Smart Floor로부터 얻어 이동 알고리즘을 구현하였기 때문에 영상처리 기법의 단점인 시계 불안정성과 위에 제시한 단점들을 극복할 수 있으며^[8] 임무를 수행할 수 없는 극한의 환경에서 비용과 상관없이 정확한 임무를 수행해야하는 상황에 본 기법이 사용될 수 있다. 뿐만 아니라 한 대 이상, 여러 대의 이동 로봇에도 구현 가능하며, 로봇들이 Smart Floor 환경에서 독립적으로 동작하기 때문에 RF system을 사용하는 어느 로봇이든지 영역 탐색이 가능하다. 또한, RF 태그에 자신의 상태를 저장하여 다른 로봇에게 전달할 수 있어 간접 통신으로 사용 가능하다는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II 본론에서는 Passive RFID system으로 구성된 “Smart Floor”를 소개하고, III Increment Value를 이용한 이동 알고리즘에서는 Smart Floor를 이용한 이동로봇의 영역 탐색 방법에 대해서 다룬다. 그리고 IV 실험에서는 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안하는 방법을 검증하고, V 결론에서 연구의 결론과 추가 연구방향에 대해서 다룬다.

II. Smart Floor

1. Passive RFID system

RFID 기술은 다양한 개체의 정보를 관리할 수 있는

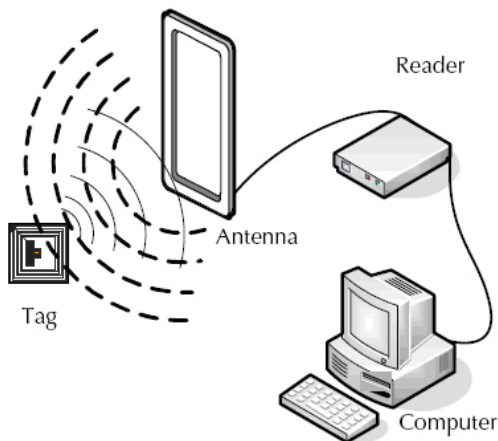


그림 1. Passive RFID system 개념
Fig. 1. Concept of Passive RFID system.

인식 기술이다. 안테나를 통해 전파를 송신하여 태그를 인식하게 되며 태그 안에 있는 정보를 읽고 저장할 수 있으며, 동시에 다수의 태그를 인식할 수 있다^[9]. 이와 같이 데이터를 읽고 저장할 수 있는 장점을 활용하여 본 연구에서 모바일 로봇의 위치 측위 및 이동 알고리즘 생성에 수동형 RFID를 사용한다^[8].

2. Smart Floor

그림 2에서 중앙에 위치한 안테나의 출력을 조절함에 따라 태그를 인식할 수 있는 영역을 증가하거나 감소시킬 수 있으며 인식된 태그들의 X축과 Y축의 위치 정보를 가공하여 로봇의 현재 위치를 판단하게 된다.

$$(X_{mean}, Y_{mean}) = \left(\frac{\sum X_{recognized}}{n}, \frac{\sum Y_{recognized}}{n} \right) \quad (1)$$

본 연구에서 사용된 로봇 위치에 대한 추정법은 mean연산 방법을 사용하였다^[10]. mean 연산은 인식된 태그의 좌표 정보들의 평균을 구하여 위치를 추정하는 방식으로 식 (1)과 같이 표현된다. 여기서 n은 인식된 태그의 개수이며, $X_{recognized}$ 와 $Y_{recognized}$ 는 추정된 좌표값이다^[8].

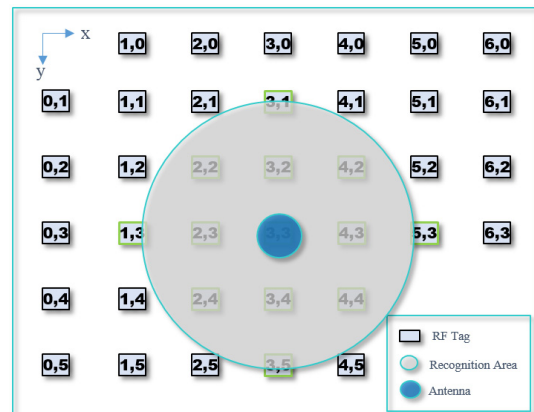


그림 2. 스마트 플로를 이용한 위치 추정방법
Fig. 2. Estimating position using Smart Floor.

3. Increment Value

Smart Floor를 사용하여 모바일 로봇의 이동에 대한 연구들이 진행되어 왔다^[8, 10]. 하지만 지금까지 진행된 연구들은 Smart Floor를 단순히 이동로봇의 정밀한 위치를 추정하거나 단일 개체 로봇의 이동을 위한 수단으로 사용하였다. 하지만 본 논문에서 제안하는 “Increment Value”라는 새로운 개념을 통하여 다개체

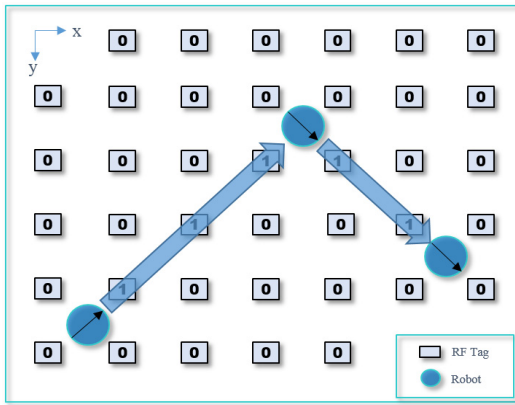


그림 3. Passive RFID system 개념
Fig. 3. Concept of Passive RFID system.

로봇의 간접통신과 효율적인 영역 탐색이 가능하다.

그림 3에서 보여지는 Increment Value는 RF 태그에 저장되는 데이터로서 로봇이 이동 경로상에 존재하는 RF 태그를 지나갈 때마다 RF system을 이용해 Increment Value를 증가시키게 된다. 이 값들은 로봇의 영역 탐색 시간을 단축하는데 기여하는 결정적 변수가 되며, 이에 대해서는 다음 절에서 자세하게 소개한다.

III. Increment Value를 이용한 이동 알고리즘

본 논문에서 제안하는 방법의 궁극적 목표는 빠른 시간 안에 제한된 영역을 탐색하는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 Smart Floor를 사용한 이동 알고리즘에 대해 소개한다.

로봇은 시작점에서 이동을 하기에 앞서 안테나를 이용하여 주변의 RF 태그들을 검색한다. 이 과정을 통하여 얻어진 주변 RF 태그들의 좌표 값을 바탕으로 로봇의 현재 전역 위치를 추정하게 된다. 로봇의 위치 값을

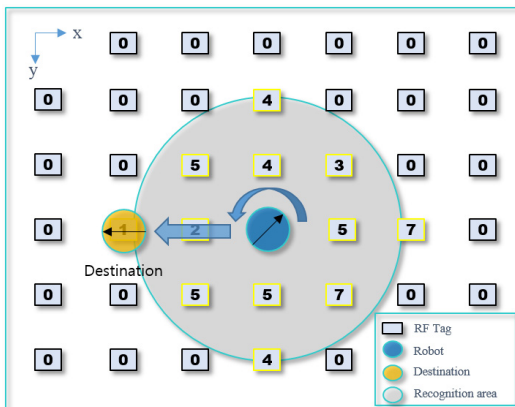


그림 4. Increment Value 동작원리
Fig. 4. Principle of operation using Increment Value.

알아낸 후에는 탐색 영역 내의 RF 태그에 저장된 Increment Value를 비교하여 가장 낮은 값을 갖는 RF 태그를 이동 목적지로 선택하게 된다. RF 태그에 저장된 Increment Value의 초기 값은 0으로 설정이 되어 있으며 모바일 로봇이 RF 태그를 지나가는 경우 해당 RF 태그의 Increment Value를 증가시킴으로서 로봇이 태그 위를 몇 번 지나갔는지를 남기게 된다. 탐색 영역 내에 최소 Increment Value가 여러 개가 있을 경우엔 로봇의 위치로부터 가까운 RF 태그를 목적지로 설정하여 불필요한 이동거리를 줄이고 로봇이 목적지에 도달하게 되면 일련의 과정을 반복하여 새로운 목적지로 이동하게 된다.

그림 4는 로봇이 인식영역 내의 태그에 저장되어 있는 Increment Value를 비교하여 값이 가장 작은 RF 태

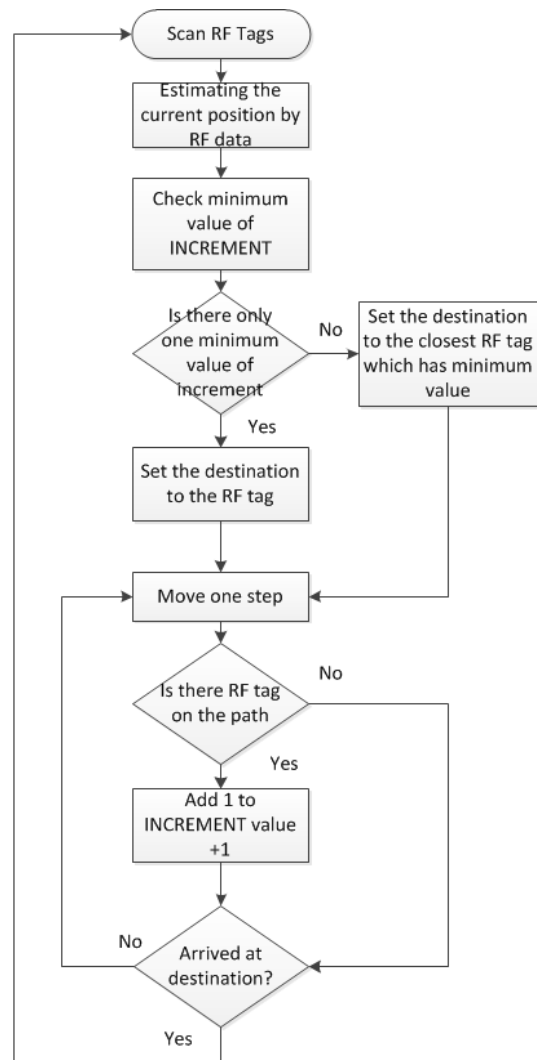


그림 5. Smart Floor를 사용한 이동 알고리즘
Fig. 5. The algorithm of Mobile robot's movement using Smart Floor.

그를 목표점으로 잡는 것을 보여준다. 본 알고리즘은 Increment Value의 누적치를 바탕으로 동작되기 때문에 모바일 로봇에서 발생할 수 있는 로컬 미니마에 빠지지 않는다.

뿐만 아니라 여러 대의 이동 로봇이 동작하는 경우 각각의 로봇이 이동하면서 Increment Value 값을 변경하기 때문에 자신이 수행한 탐색에 대한 정보가 다른 로봇들에게 전달이 되며, 이를 통하여 곧 전체 영역 탐색 시간을 줄이는데 큰 역할을 한다.

IV. 실험

본 연구의 효율성을 입증하기 위하여 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 본 실험에 사용된 실험환경은 정사각형의 영역으로 구성하였고, 실험은 Smart Floor를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우로 구분하였다. Smart Floor를 사용한 경우 저자가 제안한 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였으며, Smart Floor의 구성은 그림 6과 같이 바둑판 형태로 144개의 RF 태그를 12 x 12 배열하였다^[11]. 각 태그 간의 간격은 실제 실험환경을 고려하여 30cm로 설정하였으며, 실험에서 사용한 로봇은 이륜구동 로봇으로서 양 바퀴간 거리는 30cm로 설정하였다. 이동 속도는 동일하게 설정하였으며 RF 안테나의 인식 영역은 직경 180cm로 구성하였다. 그림 6에서 보여지는 십자가는 RF 태그이며, 각 태그 들은 자신의 실제 위치인 X축, Y축 좌표 값들을 저장하고 있다.

로봇의 이동에 따른 영역 탐색 정도를 파악하기 위하

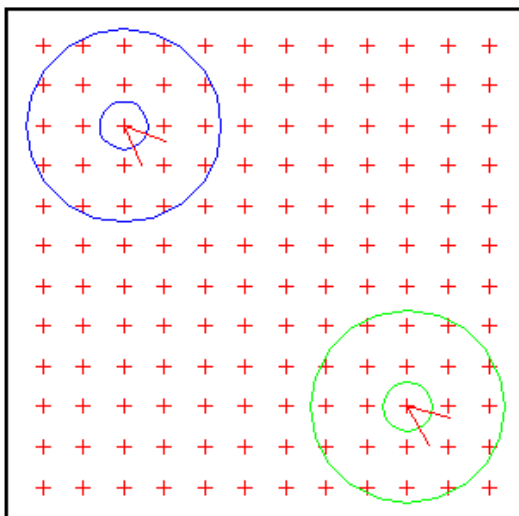


그림 6. MATLAB을 이용한 시뮬레이션 환경
Fig. 6. Experimental Environments using MATLAB.

여 지나간 위치의 픽셀을 음영처리 하였으며 전체 영역에서 음영 처리된 영역의 픽셀 수를 판단하여 영역 탐색률을 파악하였다. 파란색의 작은 원은 1번 로봇의 몸체이며 파란 외부원은 로봇의 탐색 영역이다. 마찬가지로 녹색의 작은 원은 2번 로봇의 몸체이며 외부원은 로봇의 탐색 영역이다. 각 로봇의 중심으로부터 나오는 선은 시야각을 나타내었다. 실제 실험에서는 수행한 탐색에 대한 정보가 다른 로봇들에게 전달이 되며, 이는 곧 전체 영역 탐색 시간을 줄이는데 큰 역할을 한다. Smart Floor를 사용하지 않을 경우 외부원은 필요가 없다. 시뮬레이션은 로봇 몸체의 부피에 의하여 100% 탐색이 되지 않도록 설정하였으며 두 경우의 모두 90% 탐색율을 달성하면 시뮬레이션을 종료시키도록 설정하였다.

가. Smart Floor를 사용하지 않은 경우

그림 7은 Smart Floor를 사용하지 않은 환경에서 두 로봇이 무작위로 이동하도록 설정하였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 로봇은 랜덤하게 곡선을 그리며 움직이므로 시뮬레이션 초기에는 영역 탐색을 빠르게 수행하지만 시간이 흐를수록 미탐색 영역을 찾는데 오랜 시간이 걸리게 된다. 뿐만 아니라 모바일 로봇이 랜덤하게 움직이기 때문에 이미 지나간 영역을 중복되게 지나가게 된다.

Discovered Area :
30 %
4.35 sec

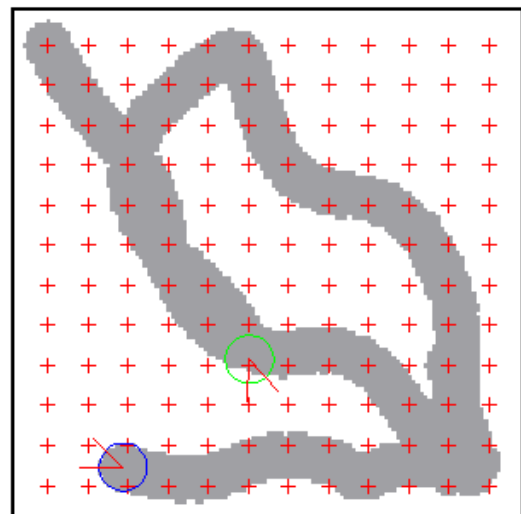


그림 7. Smart Floor를 사용하지 않은 경우의 시뮬레이션
Fig. 7. Area Coverage without using Smart Floor.

나. Smart Floor를 사용한 경우

그림 8은 Smart Floor를 사용한 환경에서 두 로봇의 영역 탐색을 보여준다. 로봇의 이동에는 제안한 이동 알고리즘을 사용하였다. 두 로봇은 시작과 동시에 주변의 태그들을 검색하여 자신의 위치를 파악하고 이동 목표지점을 설정하게 된다. 그림 8에서 로봇의 중심으로부터 태그와 연결된 파란 선은 제안한 알고리즘을 통하여 결정된 이동 목표점이다. 해당 위치로 이동하게 되면 알고리즘을 반복하여 새로운 목표지점을 결정하여 영역 탐색을 진행한다.

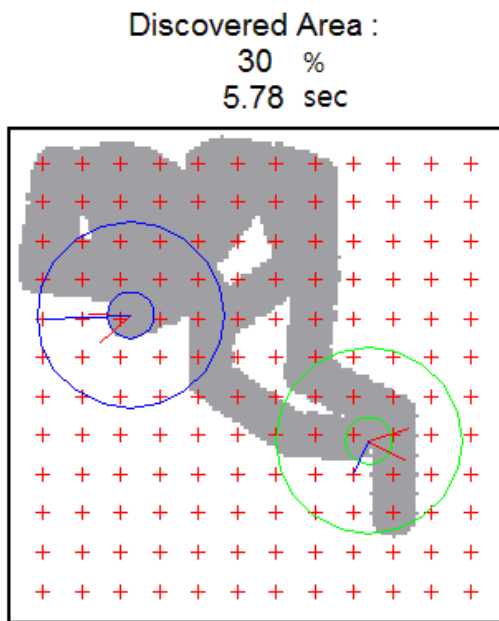


그림 8. Smart Floor를 사용한 경우의 시뮬레이션
Fig. 8. Area Coverage using Smart Floor.

다. 시뮬레이션 결과

각기 다른 두 방법의 시뮬레이션을 10번씩 진행하여 아래의 표 1과 표 2에 정리하였다. 표 1과 표 2는 각각 Smart Floor를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우의 시뮬레이션 결과 값을 평균, 최대, 최소 소요시간으로 정리하였다.

표 1과 표 2에서 확인 할 수 있듯이 Smart Floor를 사용하여 10번씩 반복한 실험은 평균적으로 49.35초를 단축하였으며 이는 결과적으로 영역 탐색 시간을 55.8% 단축 시켰음을 확인할 수 있다. 그림 9는 Smart Floor의 유무에 따라 시뮬레이션을 10번씩 실행하여 영역탐색에 걸린 시간을 그래프로 표현하였다. 그래프를 통하여 Smart Floor를 사용하였을 경우에 영역을 탐색하는 시간이 감소한 것을 확인할 수 있고, 뿐만 아니라

표 1. Smart Floor를 사용하여 10번 실험한 결과

Table 1. Simulation Result of 10 Repetitions without using Smart Floor.

	시뮬레이션 결과(10번 수행)		
	평균 시간	최소 시간	최대 시간
소요시간 (sec)	88.34	53.65	123.3

표 2. Smart Floor를 사용하여 10번 실험한 결과

Table 2. Simulation Result of 10 Repetitions using Smart Floor.

	시뮬레이션 결과(10번 수행)		
	평균 시간	최소 시간	최대 시간
소요시간 (sec)	38.98	29.67	42.65

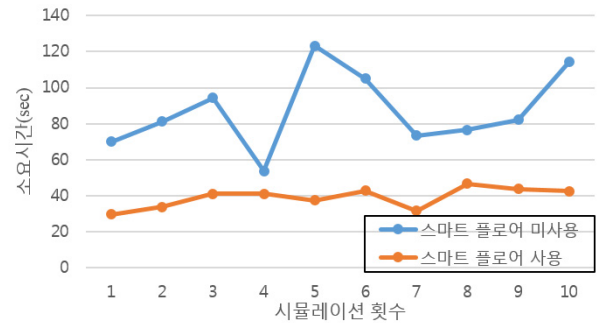


그림 9. 시뮬레이션 결과 그래프

Fig. 9. Result Graph of Simulation.

소요시간의 변동 폭이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

이러한 현상은 곧 Smart Floor를 사용할 경우 본 논문에서 제안한 알고리즘에 따라 움직임으로서 불필요한 이동을 감소시켜 영역 탐색의 시간을 단축하였음을 확인할 수 있다.

그림 10과 그림 11은 시뮬레이션 결과를 3차원 그래

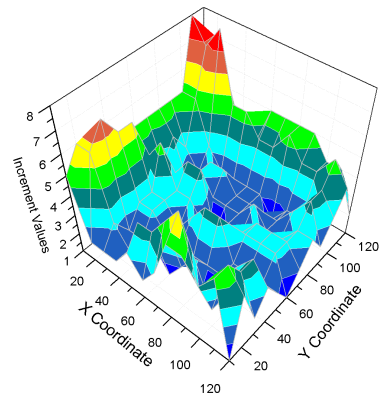


그림 10. Smart Floor를 사용하지 않은 경우의 3차원 그래프 결과

Fig. 10. 3-Dimensional graph of the results without using Smart Floor.

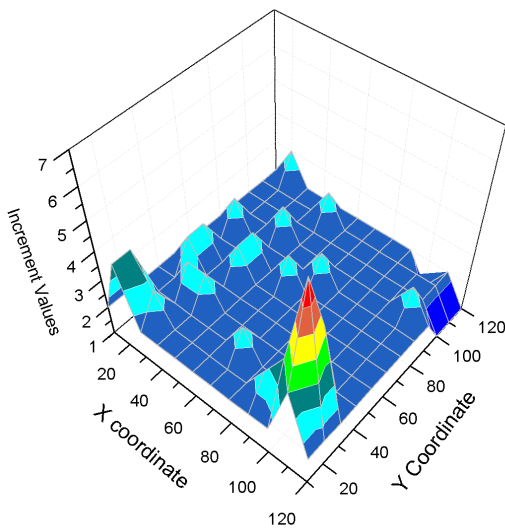


그림 11. Smart Floor를 사용한 경우의 3차원 그래프 결과
Fig. 11. 3-Dimensional graph of the results using Smart Floor.

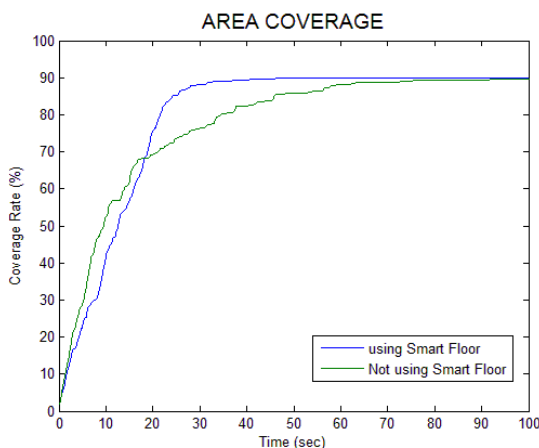


그림 12. 시뮬레이션 결과 비교 그래프
Fig. 12. Graph Comparing the Simulation Result.

프로 표현한 것이다. 그림 10과 그림 11에서 보여지는 Increment Value의 값을 보면 Smart Floor를 사용한 경우는 사용하지 않은 경우에 비하여 등고선이 완만한 것을 확인할 수 있다. 이 결과들은 영역 탐색이 모두 완료된 시점에서의 결과이고, 결국 Smart Floor를 사용하였을 경우 사용하지 않은 경우에 비하여 불필요한 로봇의 이동이 감소한 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 시간에 따른 영역 탐색률을 그래프로 나타낸 것이다. 영역 탐색 70% 이전까지는 Smart Floor를 사용하지 않은 경우가 탐색 속도가 빠르지만 70% 이후부터 90%까지 도달하는 시간은 Smart Floor를 사용한 경우가 훨씬 빠른 것을 확인할 수 있다. 이는 곧 랜덤 탐색이 초기에는 영역 탐색이 빠를 수도 있지만 본 논

문에서 제안하는 알고리즘을 사용하면 최종 목표를 달성하는 데에 더욱 효율적인 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 Smart Floor를 사용한 경우의 영역 탐색률이 더욱 고르게 진행되는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 Passive RFID system으로 구성된 Smart Floor를 사용하여 모바일 로봇의 영역탐색 방법을 제안하였다. Smart Floor를 사용할 경우에 사용하지 않는 경우에 비하여 불필요한 로봇의 이동이 줄어들어 따라 영역탐색 시간을 55.8% 감소시키는 것을 확인하였다. 실제 환경에서 모바일 로봇의 이동 거리는 소모되는 배터리와 직결되기 때문에 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제한된 자원을 효율적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 진행된 알고리즘은 RF 태그로부터 명시적인 위치 값을 바탕으로 자신의 위치를 추정하여 진행 되었기 때문에 영상처리를 이용하여 영역을 탐색하는 모바일 로봇에 비하여 자신의 위치를 판단함에 있어 강인함을 보인다. 이러한 장점은 모바일 로봇이 자신의 정확한 위치 값을 필요로 하는 분야에서 사용한다면 효과를 볼 수 있다. 예를 들어 원자력 발전소처럼 인간이 임무를 수행하기 위험한 환경, 즉 극도의 안전성을 요구하는 곳이나 건물 내에서 임무를 수행하는 경비로봇 등에 적용할 수 있으며 청소로봇과 같이 제한된 영역을 반복적으로 탐색하는 곳에서 효율적으로 사용될 수 있다.

향후 연구에서는 변화하는 실험 환경에서 본 알고리즘을 적용한 실험을 진행하고 다양한 환경에서의 적용 가능성을 확인하는 것을 목표로 한다.

REFERENCES

- [1] J. Borenstein, H. R. Everett, L. Feng, and D. Wehe, "Mobile Robot Positioning Sensors and Techniques," Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots, Vol. 14, No. 4, pp. 231-249, 1997.
- [2] SangChan Moon "A Study on Detecting Lane Departure using DGPS/RTK Based on GIS in Highway Straight section", Kyung Hee Univ, Master's thesis, 2012.
- [3] Dong-Han Kim and Jong-Hwan Kim, "A

real-time limit-cycle navigation method for fast mobile robots and its application to robotsoccer,” Robotics and Autonomous Systems, Volume 42, Issue 1, pp. 17 - 30, 2003.

[4] Kevin LeBlanc and Alessandro Saffiotti, “Cooperative Anchoring in Heterogeneous Multi-Robot Systems,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, Pasadena, CA, USA, May, 2008.

[5] Nhan Nguyen-Duc-Thanh, “ Posture-Gesture Combined Recognition for Human Robot Interaction”, Kyung Hee Univ, Master’s thesis, 2012.

[6] Songmin Jia, Hao Yang, and Xiuzhi, “LRF-Based Data Processing Algorithm for Map Building of mobile robot,” International Congerence on Information and Automation, Harbin, China, 2010.

[7] H. Oh, D. Won, S. Huh, B. Park, D. H. Shim and M. Tahk, “Indoor UAV Pose Estimation from Multicamera System Using EKF,” 2nd International Symposium on Unmanned Aerial Vehicles, Reno, Nevada, 2009.

[8] Soo-Hyeok Kang, “Design of Smart Floor and Improvement of Position Estimation of Mobile Robots Using RFID Technology ” Kyung Hee Univ, Master’s thesis ,2012.

[9] Joo-Seok Park, “RFID technology trends and Applying Prospect”, National Assembly Library review, Volume 43, Issue 10, pp. 46~55, 2006.

[10] Soo-Hyeok Kang, “RFID Smart Floor for Mobile Robot”, THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS Journal, Volume 48, IE Part, Issue 4, pp. 102-107, 2011.

[11] Soonshin Han, “An Efficient Localization Scheme for a Differential-Driving Mobile Robot Based on RFID System”, IEEE Transactions on industrial electronics, Volume 54, No. 6, December 2007.

— 저 자 소 개 —



이 상 엽(학생회원)
2012년 경희대학교 전자전파공학과 학사 졸업.
2012년~현재 경희대학교 전자전파공학과 석사 재학.
<주관심분야 : 통신, 이동 로봇, 신호처리, 로봇틱스>



이 충 용(학생회원)
2013년 경희대학교 전자전파공학과 학사 졸업.
2013년~현재 경희대학교 전자전파공학과 석사 재학.
<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 이동 로봇, 반도체>



조 원 서(학생회원)
2013년 호서대학교 로봇공학과 학사 졸업.
2013년~현재 경희대학교 전자전파공학과 석사 재학.
<주관심분야 : 로봇틱스, 로봇제어, 교육용 로봇, 연주로봇>



남 상 엽(평생회원)
2002년 단국대학교 전자공학과 박사 졸업.
1987년~1992년 삼성종합기술원 정보시스템연구소 주임연구원
1992년~1998년 (주)모토로라반도체통신 기술연구소 차장
1998년~현재 국제대학교 IT계열 교수
<주관심분야 : 지능형로봇, 임베디드 시스템, USN/RFID, 홈네트워크>



김 동 한(정회원)
2003년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사 졸업
2003년~2004년 일리노이 주립대학교 Post Doc.
2004년~2007년 삼성전자 무선사업부 책임연구원.
2007년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수.
<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>