

RFID 센서 공간에서의 모바일 로봇의 효율적인 위치 인식

An Efficient Localization of Mobile Robot in RFID Sensor Space

최 병 석, 이 장 명*

(ByoungSuk Choi and JangMyung Lee)

Abstract : This paper presents an efficient localization scheme for an indoor mobile robot using RFID tags on the floor. The mobile robot carries an RFID reader at the bottom, which reads the RFID tags on the floor to localize the mobile robot. Each RFID tag on the floor stores its own absolute position which is used to calculate the position and velocity of the mobile robot. Locating the RFID tags on the floor, which constructs an intelligent sensor space, may require several factors to be considered: economics, feasibility, and accuracy. In this paper, the optimal allocation scheme of the RFID tags on the floor to satisfy the accuracy constraint has been proposed and verified by the experiments. Based on the RFID reading, the mobile robot navigation has been successfully demonstrated to avoid obstacles and to reach the goal within a pre-specified time.

Keywords : localization, RFID, mobile robot, indoor robot

I. 서론

로봇은 집적회로, 센서, 인공지능, 영상처리, 컴퓨터, 마이크로 프로세서 등 로봇 관련 기술의 전반적인 발전으로 인해서 성능의 발전속도가 한층 빨라졌다. 이에 따라 로봇의 활용도도 증대되어, 과거의 산업현장에서 반복작업을 위한 산업용 로봇에서 최근에는 스스로 환경을 인식하고 행동하는 지능형 로봇과 네트워크 환경을 기반으로 하는 유비쿼터스 로봇에까지 광범위한 분야에 이르게 되었다[1]. 특히 로봇의 형태에 있어서, 한정된 작업공간을 가지는 로봇 매니퓰레이터에 비해 모바일 로봇은 이동능력을 바탕으로 사용 및 적용 범위가 다양해지고 있다. 집안에서 사람대신 청소소를 하는 청소용 로봇, 박물관 및 전시장에서 관람객들을 안내하는 도우미 로봇, 사람이 접근하기 힘든 지역에서 작업을 수행하는 로봇 등은 모두 최근 모바일 로봇이 활용된 사례로 살펴볼 수 있다.

모바일 로봇이 주어진 임무를 충실히 수행하고 자율적인 행동을 하기 위해서는 주위 환경을 인식하여 로봇 자신의 현재 위치와 목표점 및 장애물의 위치를 재빨리 파악하는 것이 무엇보다 중요하다[2]. 정확한 위치인식이 이루어진 후에 로봇을 목표지점으로 어떻게 이동할 것인지 궤적계획을 세울 수 있다. 따라서, 로봇의 정확한 위치 인식은 로보틱스에서 가장 기본적인, 중요한 문제중의 하나가 되고 있다. 로봇의 위치를 추정하기 위해 가장 기본적으로 알려진 방법은 encoder 및 자이로 센서를 장착하여 초기 위치로부터 현재의 상대적인 위치를 추정하는 방법이다[3,4]. 이 방법은 초기 위치 오차가 거의 없고 주행량이 적은 경우에는 유용하나, 주행량이 증가하면 바퀴의 미끄러짐 등으로 오차가 발생하고, 이 오차가 누적되어 정확한 위치 측정이 어렵다[5]. 누적 오차를 줄이기 위한 방식으로 초음파 및 적외선 센서, 비전센

서, GPS를 이용하여 거리정보, 시각정보등을 획득한 후 로봇의 절대적인 위치를 추정하는 방법들이 많이 제시되고 있다 [6]. 그러나 이러한 방식들도 많은 문제점들을 내포하고 있는데, 실제로 GPS를 이용한 위치인식 방식은 실내에서는 사용이 불가능하고, 초음파 센서를 사용하여 위치를 인식할 때 여러 센서에서 발생하는 초음파 신호들간의 간섭 현상이 나타나고 있다. 또한 비전 센서는 조명이나, 주위 색상에 따라 정보의 변화가 생길 수 있고, 해상도와 카메라의 수가 늘어남에 따라서 연산량이 급격하게 증가하는 문제점도 발생한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 로봇의 위치 인식에 관한 최근 연구에서는 ‘지능 공간’ 혹은 ‘센서 네트워크 공간’이라고 하는 새로운 개념을 소개하고 있다[7,8]. 이 센서 네트워크 개념을 바탕으로, 특히 RFID 시스템을 이용한 모바일 로봇의 위치 인식에 대한 연구가 이미 활발히 진행중이다[9,10]. 센서 네트워크 공간에서는 로봇에 부착된 센서가 아닌, 공간 내에 존재하는 RFID 센서를 통해서 모바일 로봇의 위치를 파악하게 된다[11].

본 논문에서는 최근 많은 연구가 진행중인 RFID system을 이용한 모바일 로봇의 절대위치 인식문제에 있어서 로봇의 위치 추정 오차를 줄이고, 위치 추정의 정확도를 높이는 기법을 소개하고자 한다. RFID 시스템을 이용한 위치인식에서 추정오차가 발생함을 보이고, RFID tag의 배치에 따라서 추정 오차가 줄어들음을 실험을 통해 증명하였다. 본 논문의 2장에서 RFID 센서 공간에 대해 설명하였고, 3장에서 센서 공간에서의 위치추정과 RFID tag의 배치형태 대해 설명하였다. 4장에서 시뮬레이션과 실험을 통해 로봇의 위치를 추정하였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

II. RFID 센서 공간

이 장에서는 모바일 로봇의 위치를 추정하고 인식하기 위해 구성된 RFID 센서 공간에 대해 살펴보려고 한다.

1. 로봇의 위치 인식 시스템

로봇의 위치를 인식하기 위한 기존의 방식은 그림 1(a)에서 보인 것과 같이 로봇에 여러종류의 센서를 부착하여 절대 위치를 파악하는 형태였다. 이 형태에서 모바일 로봇의 정확

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 9. 15., 채택확정 : 2005. 10. 25.

최병석, 이장명 : 부산대학교 전자공학과

(woodc@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 정보통신부 대학 IT 연구센터(ITRC) 육성, 지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

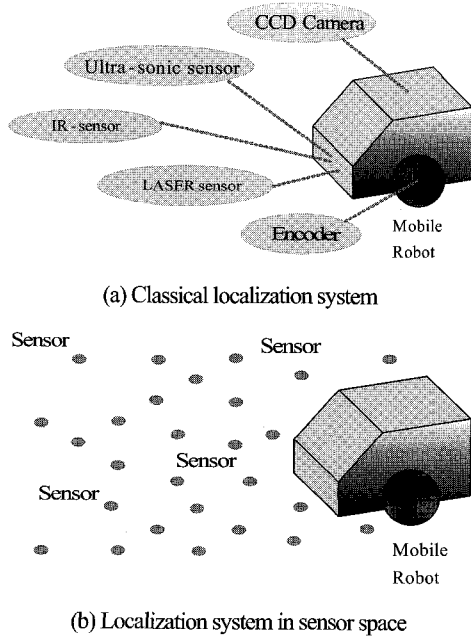


그림 1. 위치인식을 위한 시스템 형태.
Fig. 1. Types of position estimation systems.

한 위치 인식을 위해서는 다양한 종류의 센서와 많은 센서를 로봇에 부착해야 한다. 이것은 로봇이 수많은 센서로부터 들어오는 많은 데이터를 처리해야 한다는 의미가 되며, 그 결과 로봇은 많은 데이터 계산량을 가지게 된다. 일반적으로 각각의 로봇이 같은 방식의 위치 인식 시스템을 사용한다고 보장 할 수 없으므로, 두 대 이상의 로봇이 같은 공간내에 존재하게 될 경우, 각각의 로봇은 각 로봇시스템에 맞게 위치 인식을 하여야 한다.

이에 반해 그림 1(b)에 나타난 센서 공간에서의 위치 인식은 공간에 분포되어 있는 센서들을 통해서 이루어진다. 모바일 로봇은 위치 데이터가 저장되어 있는 센서를 감지 하면서 현재 자신의 위치 좌표를 파악한다. 이 경우 모바일 로봇 내부에는 공간에 분포되어 있는 센서를 감지하는 장치만을 가지게 되므로, 여러 대의 로봇이 공간에 존재한다고 하더라도, 손쉽게 모든 로봇의 위치를 알아낼 수 있다. 또한 장애물이나 공간내에 사람이 위치한다고 하더라도 각 로봇은 독립적으로 위치를 파악할 수 있다.

2. RFID 센서 네트워크 시스템

본 논문에서는 제시한 RFID 시스템을 이용한 센서공간은 그림 2에 나타나 있다. X-Y 2차원 평면상에 일정한 간격으로 RFID tag를 배치하였고, 이 공간내에 RFID reader를 포함하고 있는 로봇이 위치한다. 모바일 로봇이 이 공간내를 이동하면, 그림 3에서 보이는 것처럼 RFID reader와 연결된 안테나를 통해 RFID tag로부터 데이터 신호를 얻을 수 있다. 안테나의 인식 거리 내에 RFID tag가 위치해 있으면, reader는 tag와 RF(Radio Frequency) 통신을 이용하여 tag가 가지고 있는 위치 정보를 얻는다. reader와 연결되어 있는 컴퓨터에서 이 위치 데이터를 처리하여 현재 안테나의 위치를 파악하게 된다. Reader에 연결된 안테나는 곧 로봇의 위치이므로 로봇의 위치를 구할 수 있다.

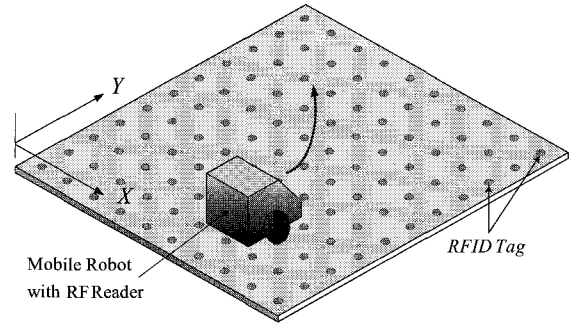


그림 2. RFID 센서 공간.
Fig. 2. An RFID sensor space.

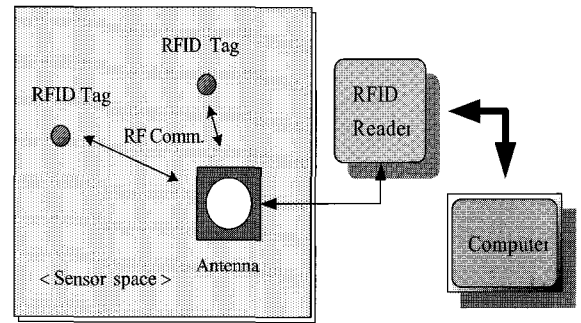


그림 3. RFID 시스템 구성.
Fig. 3. Composition of an RFID system.

III. 모바일 로봇의 위치 인식

본 논문에서는 모바일 로봇이 RFID 센서 공간내에서 정지한 상태가 아닌 주행 상태시에 로봇의 위치를 추정하고자 하였다(그림 2). 따라서 모바일 로봇의 이동경로 선정을 위해 실험에 사용된 로봇과 같은 2자유도의 차륜구동 형태를 가지는 모바일 로봇의 주행특성을 살펴볼 필요가 있다. 이 장에서 모바일 로봇의 기구학 해석을 통해 이동경로 선정에 있어서의 이론적 배경을 정리한다. 더불어 RFID 센서 공간내에서 모바일 로봇의 위치추정에 대해서도 살펴본다.

1. 모바일 로봇의 기구학

X-Y의 2차원 평면에서 모바일 로봇의 중심 좌표를 다음과 같이 나타낸다[12].

$$P = [x_R \quad y_R \quad \theta_R]^T \tag{1}$$

그림 4는 2차원 좌표평면에서 모바일 로봇이 이동할 때의 로봇의 속도와 위치를 좌표상에 표시한 것이다. 모바일 로봇이 일정한 회전반경을 가지는 곡률 궤적을 따라 이동한다고 가정할 때, 로봇의 속도와 위치 및 ICC의 관계를 로봇의 기구학을 이용하여 다음과 같이 구할수 있다. 여기서 v_L 은 왼쪽 바퀴의 속도, v_R 은 오른쪽 바퀴의 속도를 나타내며, 양 바퀴사이의 길이는 l 로 표시한다.

$$v_L : v_R = R - \frac{l}{2} : R + \frac{l}{2} \tag{2}$$

$$R = \frac{l}{2} \left(\frac{v_R + v_L}{v_R - v_L} \right) \tag{3}$$

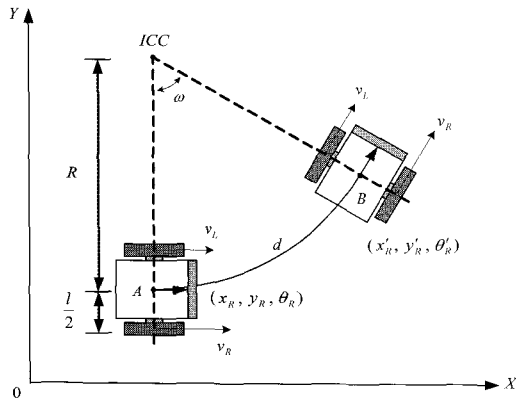


그림 4. 모바일 로봇의 속도와 위치.
Fig. 4. Position and velocity of a mobile robot.

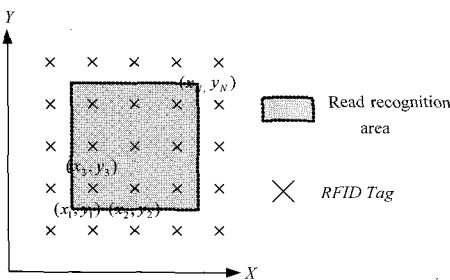


그림 5. Reader의 tag에 대한 인식거리.
Fig. 5. RFID tag allocation and reader's recognition area.

모바일 로봇이 A지점에서 B지점으로 이동할 때, A지점(시간 t)에서의 로봇의 위치는 (x_R, y_R, θ_R) 이고, B지점(시간 $= t + \delta t$)에서의 로봇의 위치는 (x'_R, y'_R, θ'_R) 이다.

$$ICC = [x_R - R \sin(\theta_R), y_R + R \cos(\theta_R)] \quad (4)$$

$$d = \int_t^{t+\delta t} v_i dt = \int_t^{t+\delta t} \frac{v_L + v_R}{2} dt \quad (5)$$

$$\varphi = \frac{d}{R} = \frac{\int_t^{t+\delta t} (v_L + v_R) dt}{l(v_L + v_R)} (v_R - v_L) \quad (6)$$

(4)-(6)을 바탕으로 모바일 로봇의 회전운동시 회전반경과 이동거리, 회전각도, 그리고 로봇의 선형속도 및 회전속도 값을 얻을 수 있다[13,14].

2. RFID 공간에서의 로봇의 위치 추정

모바일 로봇의 위치 추정을 위한 RFID 센서 공간에 대해서 앞에서 살펴 보았다. RFID tag가 일정한 간격으로 배치되어 있는 공간에서 RFID reader와 tag는 일정 거리 내에서만 서로 통신이 가능하다고 하면, reader의 tag에 대한 인식거리를 그림 5와 같이 표시할 수 있다.

이때, reader의 안테나를 바닥에 장착하고 있는 모바일 로봇의 위치, (x_{est}, y_{est}) 는 reader의 인식거리 내에 위치하고 있는 tag를 통해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{est} = \frac{\max\{x_1, \dots, x_N\} + \min\{x_1, \dots, x_N\}}{2} \quad (7)$$

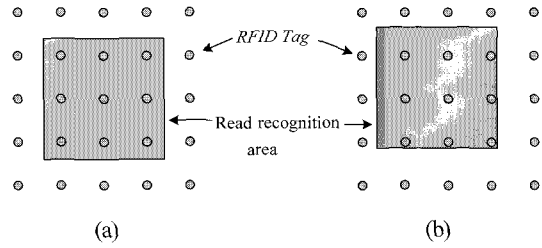


그림 6. RFID 센서공간에서의 추정 오차.
Fig. 6. Estimation error in RFID sensor space.

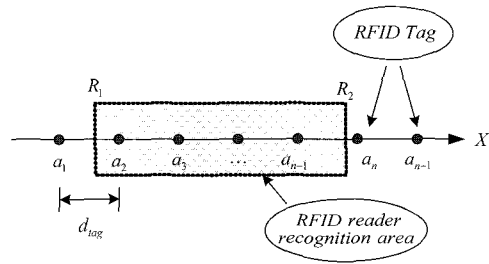


그림 7. 추정 오차와 tag의 간격과의 관계.
Fig. 7. Estimation error and gap of tag.

$$y_{est} = \frac{\max\{y_1, \dots, y_N\} + \min\{y_1, \dots, y_N\}}{2} \quad (8)$$

여기서 N 은 reader에 감지된 tag의 수이며, $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, \dots$ 은 tag에 입력되어 있는 좌표 정보이다.

그림 6은 모바일 로봇의 위치를 그림 5와 같이 추정할 때 추정 오차가 나타날 수 있음을 보여준다.

그림 6에서 reader의 위치, 곧 모바일 로봇의 위치는 서로 같은 좌표값을 가지는 tag가 인식되므로 (7)과 (8)에 의해 그림 6(a)와 (b)의 경우 둘다 같은 위치로 추정된다. 그러나 실제 모바일 로봇의 위치는 그림 6(a)와 (b)의 경우가 다르다. 그림 6(b)의 경우는 실제 로봇의 위치와 추정된 위치 사이에 추정 오차가 발생한다. 이 때, 추정 오차는 RFID tag가 배치된 간격과의 관계가 있다. 그림 7을 통해 추정 오차와 RFID tag가 배치된 간격과의 관계를 살펴볼 수 있다. RFID reader가 tag를 인식하는 데 있어서 가로 X축 방향으로만을 고려해 볼 때, tag와 tag의 간격을 d_{tag} 라고 표시하고, 가장 왼쪽에 위치한 tag에서부터 오른쪽으로 각각 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{n-1}, a_n, a_{n+1}$ 의 X 좌표를 가진다고 가정한다.

또한 RFID reader의 tag에 대한 인식영역의 왼쪽 경계부분의 좌표를 R_1 , 오른쪽 경계부분의 좌표를 R_2 로 설정하였다. 즉, RFID reader는 R_1 에서 R_2 사이에 위치하는 tag를 인식할 수 있다. 그림 7에 나타나 있는 reader의 추정좌표, R_{est} 와 실제 reader의 중심좌표, R_{real} 는 (7)를 통해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{est} = \frac{a_2 + a_{n-1}}{2} \quad (9)$$

$$R_{real} = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (10)$$

위치 추정 오차, e_{est} 는 (11)과 같이 정의된다.

$$e_{est} = |R_{est} - R_{real}| = \left| \frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{a_2 + a_{n-1}}{2} \right| \quad (11)$$

위 식에서 R_1 과 R_2 의 좌표는 각각 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{cases} a_1 < R_1 < a_2 \\ -d_{tag} < R_1 - a_2 < 0 \end{cases} \quad (12.1)$$

$$\begin{cases} a_{n-1} < R_2 < a_n \\ 0 < R_2 - a_{n-1} < d_{tag} \end{cases} \quad (12.2)$$

(11)과 (12)를 정리하면, 추정오차는 (13)과 같이 표시할 수 있다.

$$e_{est} = \left| \frac{(R_1 - a_2) + (R_2 - a_{n-1})}{2} \right| \leq \frac{1}{2} |d_{tag}| \quad (13)$$

(13)을 통해 추정오차는 tag의 간격에 비례한다는 것을 알 수 있고, tag간격의 0.5배를 오차의 최대값으로 가질 수 있다. 따라서 위치 추정의 정확성을 높이기 위해서는 tag의 간격을 줄여야 한다. 그러나 정해진 공간내에 많은 tag를 배치하는 것은 경제성의 측면에서는 비효율적이다.

본 논문에서는 위치의 정확도를 높이기 위한 방법으로 RFID tag의 배치형태에 주목하였다. 그림 5는 정방형태로 tag를 배치한 모습이다. 이에 반해 그림 8은 동일한 조건(같은

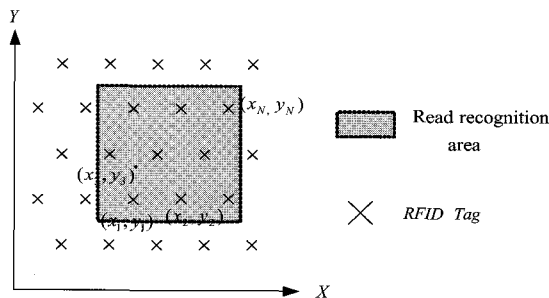


그림 8. 삼각형태에서의 reader의 tag에 대한 인식거리.
Fig. 8. RFID tag allocation and reader's recognition area in triangular pattern.

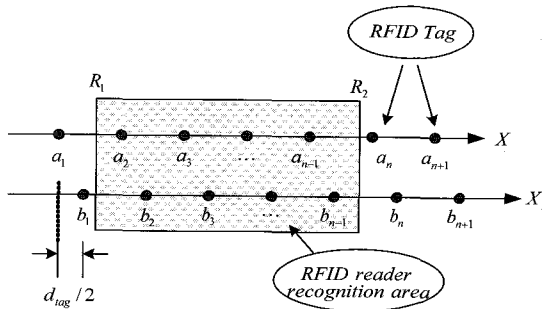


그림 9. 삼각형태에서의 추정 오차 감소.
Fig. 9. Estimation error in RFID sensor space in.

tag의 수, 같은 크기의 공간)에서 tag를 삼각형태로 배치한 모습이다.

그림 9는 삼각형태로 tag를 배치하였을 때, 위치 추정 오차가 줄어들음을 나타내고 있다.

그림 9의 RFID reader는 R_1 의 좌표와 R_2 의 좌표가 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{cases} b_1 < R_1 < a_2 \\ -\frac{d_{tag}}{2} < R_1 - a_2 < 0 \end{cases} \quad (14.1)$$

$$\begin{cases} b_{n-1} < R_2 < a_n \\ 0 < R_2 - b_{n-1} < \frac{d_{tag}}{2} \end{cases} \quad (14.2)$$

그림 9와 같이 삼각형태로 tag를 배치한 경우, X축 방향으로의 추정오차는 다음과 같이 오차가 줄어들음을 살펴볼 수 있다.

$$e_{est} = \left| \frac{(R_1 - a_2) + (R_2 - b_{n-1})}{2} \right| \leq \frac{1}{4} |d_{tag}| \quad (15)$$

이는 삼각형태로 배치하는 것이 tag의 resolution을 높여 tag의 간격을 줄여 배치하는 것과 같은 효과를 나타내기 때문이다.

IV. 실험 및 결과

로봇의 위치 측정을 위해서, 모바일 로봇이 센서 공간내에서 지정된 경로를 따라서 움직이도록 가정하고 가상실험(시뮬레이션)과 실제 모바일 로봇을 이용한 실제실험을 시행하였다.

1. 시뮬레이션

그림 10에서 보는것과 같이 모바일 로봇은 일정한 회전반경을 가지는 path-1과 path-2의 곡률궤적을 따라 이동하며, 0.1 초 단위로 위치를 추정한다. 시뮬레이션에서 실험구성은 가로, 세로 각각 1m의 공간에 0.1 m 간격으로 tag를 설치하였으며, 한 방향으로 9개씩 모두 81개의 tag를 설치하였다. RFID tag의 형태는 두 가지 형태, 즉 정방형태와 삼각형태로 구분하였다(그림 11참고). RFID reader의 인식거리는 2.5m× 2.5m로 가정하였다. 모바일 로봇의 속도 및 위치는 앞서서 살펴본 모바일 로봇의 기구학과 주행특성을 나타난 (2)-(4)를 바탕으로 파악할 수 있으며, 표 1에 그 값들을 정리하였다.

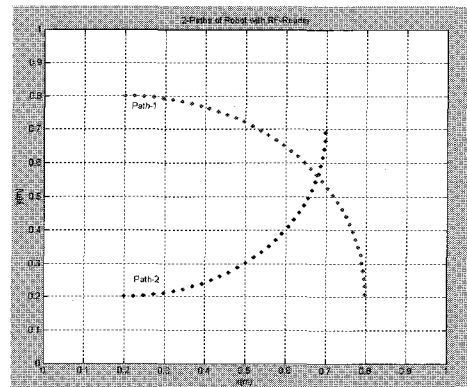
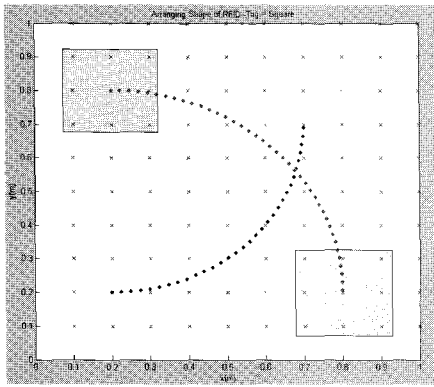
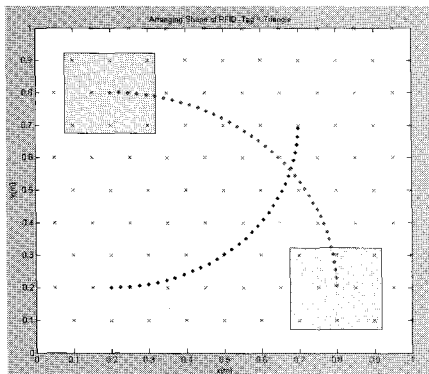


그림 10. 모바일 로봇의 이동궤적.
Fig. 10. Motion trajectory of the mobile robot.



(a) Square pattern



(b) Triangular pattern

그림 11. RFID tag의 배치 형태와 reader의 인식거리.

Fig. 11. Allocation of RFID tags and the recognition area of reader.

표 1. Path-1과 Path-2의 특성.

Table 1. Characteristics of path-1 and path-2.

	Path-1	Path-2
Starting Point	(0.2, 0.8)	(0.2, 0.2)
Ending Point	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.7)
Rotation Radius	0.6 m	0.5 m
Velocity	$v_L = 0.28m/s$ $v_R = 0.2m/s$	$v_L = 0.2m/s$ $v_R = 0.3m/s$
ICC	(0.2, 0.2)	(0.2, 0.7)

시뮬레이션의 결과는 표 2와 표 3에 정리하였다. 시뮬레이션 결과 각각 path-1과 path-2 모두가 삼각형태일 때 위치인식의 정확도(특히 x-좌표)가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

2. 실제실험

시뮬레이션을 바탕으로 하여, 모바일 로봇의 위치추정에 대한 실제 실험을 시행하였다.

2.1 RFID system

그림 12는 실제 실험에 사용된 RFID reader와 tag를 보여준다. 본 실험에 사용된 RFID 시스템은 passive type으로 RFID 시스템의 주파수대역은 13.56Mhz 이며, tag와 reader 사이의 인식거리는 직선 거리로 약 0.1m 이다. RFID tag에는 해당 좌표에 맞게 (1,1) 에서 (9,9)의 좌표 정보를 미리 입력시켜 두었다. RFID tag의 배치간격은 정방형태, 삼각형태 모두다 0.1m로 동일하게 설정하였다. reader 안테나의 크기는 10cm

표 2. Path-1에 대한 위치 추정결과(시뮬레이션).

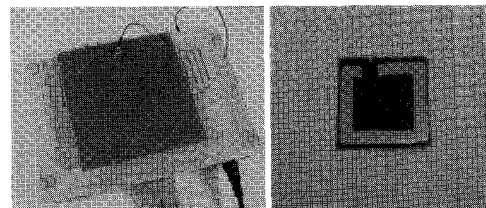
Table 2. Position estimation data of path-1(simulation).

Position		정방형태		삼각형태	
X	Y	X	Y	X	Y
0.2	0.8	0.2	0.8	0.2	0.8
0.27	0.8	0.3	0.8	0.28	0.8
0.34	0.78	0.3	0.8	0.33	0.8
0.4	0.76	0.4	0.8	0.4	0.8
0.48	0.73	0.5	0.7	0.5	0.7
0.56	0.68	0.6	0.7	0.6	0.7
0.61	0.63	0.6	0.65	0.63	0.6
0.66	0.58	0.65	0.6	0.65	0.6
0.7	0.52	0.7	0.5	0.7	0.5
0.74	0.46	0.75	0.45	0.75	0.45
0.76	0.42	0.8	0.4	0.75	0.4
0.78	0.37	0.8	0.4	0.8	0.4
0.79	0.31	0.8	0.3	0.8	0.3
0.8	0.2	0.8	0.2	0.8	0.2

표 3. Path-2에 대한 위치 추정결과.

Table 3. Position estimation data of path-2(simulation).

Position		정방형태		삼각형태	
X	Y	X	Y	X	Y
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.27	0.21	0.3	0.2	0.28	0.2
0.35	0.22	0.3	0.25	0.33	0.25
0.42	0.25	0.4	0.2	0.43	0.2
0.48	0.29	0.5	0.25	0.5	0.25
0.52	0.32	0.55	0.3	0.5	0.3
0.58	0.37	0.6	0.4	0.58	0.4
0.60	0.41	0.6	0.4	0.6	0.4
0.63	0.45	0.6	0.4	0.63	0.4
0.67	0.54	0.7	0.5	0.68	0.5
0.70	0.62	0.7	0.6	0.7	0.6
0.70	0.69	0.7	0.7	0.7	0.7



(a) RFID reader

(b) RFID tag

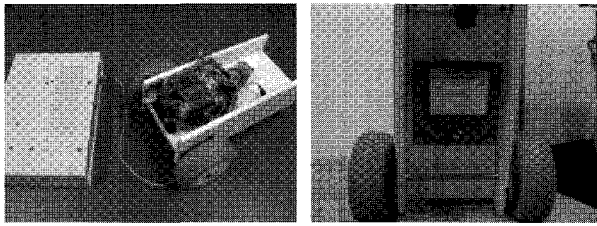
그림 12. 실제 실험에 사용된 RFID 시스템.

Fig. 12. RFID reader and tag for the experiments.

× 10cm 이며, tag 는 epoxy type으로 크기는 3cm× 3cm 이다 (그림 12(b)).

2.2 이동로봇

모바일 로봇은 약 1m× 1m내의 공간을 이동하므로, 소형으로 제작되어 크기는 약 0.22m× 0.3m이다. 2자유도 차륜구동 형태를 가지는 로봇으로 좌우 바퀴의 속도값은 무선 통신으

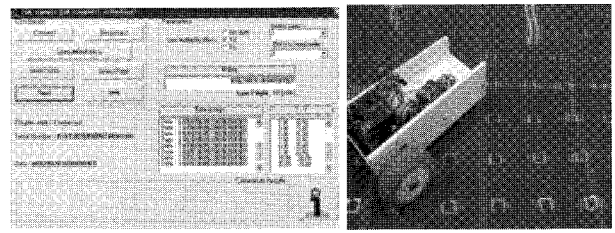


(a) Mobile robot (b) RFID antenna

그림 13. 실제 실험에 사용된 모바일 로봇.
Fig. 13. Mobile robot for the real experiment.

로 메인컴퓨터에서 보내어진다. 그림 13에서 보이는 것과 같이 모바일 로봇의 밑 부분에는 RFID tag를 감지할 수 있는 reader안테나가 부착되어 있고 안테나와 reader는 그림 13(a)와 같이 연결하였다. reader와 메인 컴퓨터는 시리얼 RS-232 통신을 통해 연결된다.

로봇의 기구학 해석과 시뮬레이션을 통해 얻어진 값을 바탕으로 하여, 로봇의 속도와 위치값을 적용시켰으며, 그에 따라서 RFID 시스템을 이용하여 모바일 로봇의 위치를 추정하였다. 그림 14는 tag의 위치 정보를 받아들이며 모바일 로봇의



(a) Monitoring program (b) RFID sensor space

그림 14. 모니터링 프로그램과 RFID 센서 공간.
Fig. 14. Monitoring program and RFID sensor space.

위치 표시하는 프로그램과 RFID 센서 공간을 나타내고 있다. 모든 실험조건은 시뮬레이션 실험과 동일하다. 0.1s을 기준으로 모바일 로봇의 위치를 추정하였고, 정방형태와 삼각형태 일 때를 구분하여 표 4, 5에 그 결과값을 정리하였다.

위치추정의 정확도를 실제 로봇의 위치값과 추정된 위치값과의 차이(추정오차)를 통해 살펴 볼 수 있다. 그림 15을 통해 tag의 배치 형태에 따른 추정오차의 정도를 그래프로 살펴보았다. 그림 10에서와 같이 삼각형태로 RFID tag를 배치 시켰을 때 그 오차가 줄어든다는 것을 쉽게 알 수 있다.

표 4. Path-1에 대한 위치 추정결과.

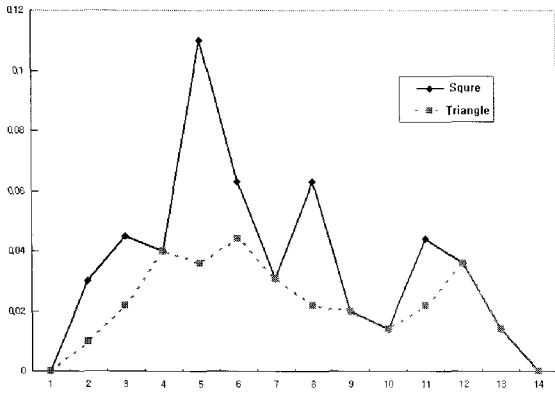
Table 4. Position estimation results for path-1.

Position		Square Pattern		Triangular Pattern		Estimation error	
X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	Square(m)	Triangular(m)
0.2	0.8	0.2	0.8	0.2	0.8	0	0
0.27	0.8	0.3	0.8	0.28	0.8	0.03	0.01
0.34	0.78	0.3	0.8	0.33	0.8	0.045	0.022
0.4	0.76	0.4	0.8	0.4	0.8	0.04	0.04
0.48	0.73	0.4	0.8	0.5	0.7	0.11	0.036
0.56	0.68	0.5	0.7	0.6	0.7	0.063	0.044
0.61	0.63	0.6	0.6	0.6	0.6	0.031	0.031
0.66	0.58	0.6	0.6	0.65	0.6	0.063	0.022
0.7	0.52	0.7	0.5	0.7	0.5	0.02	0.02
0.74	0.46	0.75	0.45	0.75	0.45	0.014	0.014
0.76	0.42	0.8	0.4	0.75	0.4	0.044	0.022
0.78	0.37	0.8	0.4	0.8	0.4	0.036	0.036
0.79	0.31	0.8	0.3	0.8	0.3	0.014	0.014
0.8	0.2	0.8	0.2	0.8	0.2	0	0

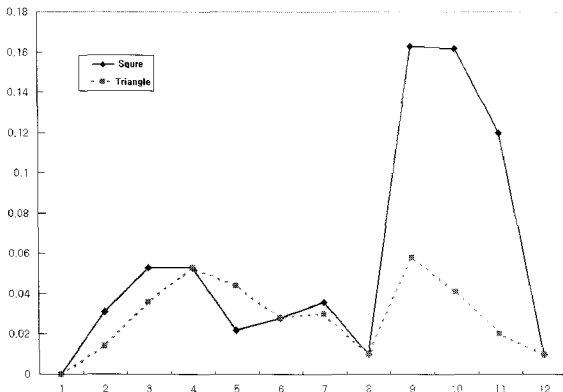
표 5. Path-2에 대한 위치 추정결과.

Table 5. Position estimation results for path-2.

Position		Square Pattern		Triangular Pattern		Estimation error	
X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	Square(m)	Triangular(m)
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0
0.27	0.21	0.3	0.2	0.28	0.2	0.031	0.014
0.35	0.22	0.4	0.2	0.33	0.25	0.053	0.036
0.42	0.25	0.4	0.3	0.4	0.2	0.053	0.053
0.48	0.29	0.5	0.3	0.5	0.25	0.022	0.044
0.52	0.32	0.5	0.3	0.5	0.3	0.028	0.028
0.58	0.37	0.6	0.4	0.58	0.4	0.036	0.03
0.60	0.41	0.6	0.4	0.6	0.4	0.01	0.01
0.63	0.45	0.7	0.6	0.6	0.4	0.163	0.058
0.67	0.54	0.7	0.7	0.68	0.5	0.162	0.041
0.70	0.62	0.6	0.7	0.7	0.6	0.12	0.02
0.70	0.69	0.7	0.7	0.7	0.7	0.01	0.01



(a) Estimation error on path-1



(b) Estimation error on path-2

그림 15. 정방형태와 삼각형태의 위치추정오차.

Fig. 15. Estimation error of the each pattern.

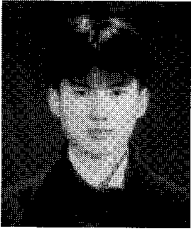
V. 결론

본 논문에서는 기존의 위치 인식 시스템에서의 문제점을 보완하고 효과적인 위치 인식을 위해 RFID시스템을 이용한 센서 공간을 제안하였다. 이 공간내에 이동하는 물체의 위치를 RFID tag와 reader를 통해 효과적으로 파악할 수 있음을 시뮬레이션과 실험을 통해서 증명하였다. 또한 위치인식의 정확도를 높이기 위한 방법으로 RFID tag의 배치형태에 주목하고, 같은 조건하에서도 배치 형태에 따라서 위치인식의 정확도가 달라지는 것을 보였다. 삼각형태로 tag를 배치함으로써 같은 조건하에서도 위치 추정의 정확도를 높일 수 있었다.

본 논문에 소개된 RFID 센서공간은 공간에 존재하는 센서를 통해서 주위 환경에 의해 제약을 받지 않고 위치정보를 항상 얻을 수 있다. 이것을 바탕으로 하면, 모바일 로봇 뿐만 아니라, 공간내에 존재하는 모든 물체에 대한 위치 정보를 알 수 있으므로 향후 유비쿼터스 환경 구축에도 적용이 가능할 것이다.

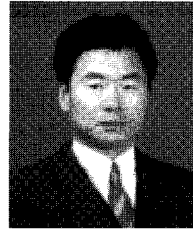
참고문헌

- [1] Ren C, Luo, Kuo L. Su, Shen H. Shen and Kuo H. Tsai, "Networked intelligent robots through the internet: issues and opportunities," in *Proc. the IEEE*, vol. 91, Issue 3, pp. 371-382, March 2003.
- [2] S. M. Lee, "Using vision sensor and sonar sensor of mobile robot localization," *Chungnam National University*, 2001.
- [3] K. Komoriya, E. Oyama, "Position estimation of a mobile robot using optical fiber gyroscope," in *Proc. IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS '94*, vol. 1, pp. 143-149, 12-16 Sep. 1994.
- [4] S. Y. Lee, J.-B. Song, "Robust mobile robot localization using optical flow sensors and encoders," in *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2004*, vol. 1, no. 26, pp. 1039-1044, April 2004.
- [5] 이창수, 최중호, "Wavelet frame 변환을 이용한 냉연 시각 검사 알고리즘," *제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지*, 제4권, 제3호, pp. 372-377, 6, 1998.
- [6] Y. S. Ro, K. S. Park, "A study of optimal position estimation for mobile robots," *Journal of Engineering Research*, vol. 26, no. 1, pp. 243-257, 1995.
- [7] J.-H. Lee, H. Hashimoto, "Controlling mobile robots in distributed intelligent sensor network," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 5, pp. 890-902, Oct. 2003.
- [8] K. Morioka, J.-H. Lee, H. Hashimoto, "Human-following mobile robot in a distributed intelligent sensor network," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 51, no. 1, pp. 229-237, Feb. 2003.
- [9] K. Yamano, K. Tanaka, M. Hirayama, E. Kondo, Y. Kimuro, and M. Matsumoto, "Self-localization of mobile robots with RFID system by using support vector machine," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots, Systems*, pp. 3756-3761, 2004.
- [10] L. M. Ni, Y. Liu, Y. C. Lau, and A. P. Patil, "LANDMARC: indoor location sensing using active RFID," in *Proc. IEEE Int. Conf. Pervasive Computing and Communi-cations*, pp. 407-415, 23-26, March, 2003.
- [11] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson, S. Pavithran, "RFID in robot-assisted indoor navigation for the visually impaired," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and System, IROS 2004*, vol. 2, pp. 1979-1984, Sep. 2004.
- [12] W. E. Dixon, D. M. Dawson, E. Zergeroglu and A. Behal, *Nonlinear Control of Wheeled Mobile Robots*, Springer, pp. 1-4, 2003.
- [13] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robotics*, Cambridge university press, pp. 15-22, 2000.
- [14] B.-S. Choi, J.-M. Lee, "An optimal capturing trajectory planning for a moving object," in *Proc. International Symposium on Artificial Life And Robotics*, pp. 713-718, Feb. 2005.



최 병 석

2004년 부산대학교 전자전기통신공학부 졸업. 2004년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇위치인식, 유비쿼터스 기반 지능형 로봇.



이 장 명

1957년 11월 22일생. 1980년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1990년 University of Southern California 전자공학과(공학박사). 1992년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부 교수. 관심분야는 로보틱스, 지능제어, 시스템설계 및 제어.