모바일 로봇을 위한 RFID 센서공간에서 효율적인 위치인식 알고리즘

An Efficient Localization Algorithm for Mobile Robots in RFID Sensor Space

임 형 수, 최 승 욱, 이 장 명*
(Hyung-Soo Lim, Sung-Yug Choi, and Jang-Myung Lee)

Abstract : This paper proposes an efficient localization algorithm in the RFID sensor space for the precise localization of a mobile robot. The RFID sensor space consists of embedded sensors and a mobile robot. The embedded sensors, that is tags are holding the absolute position data and provide them to the robot which carries a reader and requests the absolute position for localization. The reader, it is called as antenna usually, gets several tag data at the same time within its readable range. It takes time to read all the tags and to process the data to estimate the position, which is a major factor to deteriorate the localization accuracy. In this paper, an efficient algorithm to estimate the position and orientation of the mobile robot as quickly as possible has been proposed. Along with the algorithm, a new allocation of the tags in the RFID sensor space is also proposed to improve the localization accuracy. The proposed algorithms are demonstrated and verified through the real experiments.

Keywords : RFID, mobile robot, localization, tag allocation, position and orientation

I. 서론

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 무선 주파수를 이용하여 각종 물품에 소형 칩을 부착해 사물의 정보와 주변 환경정보를 전송하고 처리하는 비접촉 식 인식시스템이다. 직접 접촉하지 않고서도 사물의 고속 인식이 가능하며, 주파수 특성에 따라서 다양한 거리에서의 데이터 전송이 가능하다는 등의 많은 장점으로 인해 RFID 기술의 적용사례가 증가하고 있다. 최근 RFID 기술이 로봇기술(RT)에 적용된 예가 많아지는 것도 이와 무관하지 않다. 개인용 로봇(personal robot) 시대, 나아가 유비쿼터스 네트워크 로봇(ubiquitous network robot) 시대로의 발전으로 현재의 로봇은 사람과의 동일한 공간 내에서 자신의 위치를 인식하고, 사물을 인지하고, 임무를 수행하여야 한다. 아울러 이런 일련의 동작들이 '언제(anytime), 어디서나(anywhere)' 가능해야 한다. RFID 기술을 적용할 때, 로봇의 이런 동작들을 원활하게 수행할 수 있고, 사용자가 원하는 서비스를 제공할 수 있을 가능성이 커지고 있다.

본 논문에서는 RFID system을 이용한 모바일 로봇의 절대 위치 인식문제에 있어서 로봇의 방향 정보를 포함한 위치 정보를 획득하는 문제와 로봇의 위치 추정 오차를 줄이고, 효율적인 위치 추정이 되도록 하는 알고리즘들을 소개하고자 한다. 2장에서는 RFID 센서 공간에서의 로봇의 상태를 위치와 방향각으로 나타내고, 3장에서는 RFID 위치 인식 시스템의 추정 오차를 모델링 한다. 4장에서는 모델링 된 추정오차를 바탕으로 오차를 보정할 수 있는 알고리즘을 알아보고, 5장에서 실험을 통해 실제로 모바일 로봇의 위치 인식이 가능한지 살펴보았다. 끝으로 6장에서 결론을 언급하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2007. 8. 5., 채택확정 : 2007. 9. 1.
임형수, 최승욱, 이장명 : 부산대학교 전자공학과
(chojja_tpz@pusan.ac.kr/sychoi3@korea.com/jmlee@pusan.ac.kr)
※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음(2005-S-111-02, 지능형 로봇 센서).

II. 모바일 로봇의 위치 추정

1. 위치 인식

RFID 시스템을 이용하여 로봇의 위치를 추정하기 위해 그림 1에서와 같이 로봇이 이동할 경로의 바닥 면에 일정한 모양으로 태그를 배치하였다. 배열된 태그 각각에는 부착된 위치의 절대 좌표가 저장되어있다. 로봇의 하단부에는 RFID reader (antenna)가 tag방향으로 설치되어 있다. 로봇이 공간을 이동하게 되어 임의의 tag 위에 위치하면, RFID reader의 antenna에 의해 RF field가 형성된다.

2. 방향각 및 상태 추정

로봇의 방향각과 상태를 로봇의 위치정보로부터 추정한다. 방향각은 초기방향각과 주행방향각으로 구분되고, 위치 추정과는 달리 로봇이 방향을 추정하기 위해서는 최소한 2개의 위치정보가 필요하다.

그림 2에서와 같이 모바일 로봇은 A, B 위치 정보를 통해 로봇의 초기방향각을 추정할 수 있다.

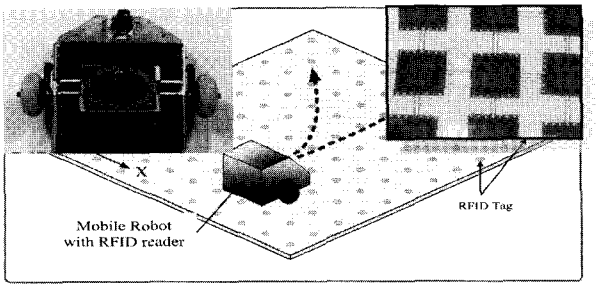


그림 1. 위치 인식을 위한 시스템 구성도.
Fig. 1. Localization system.

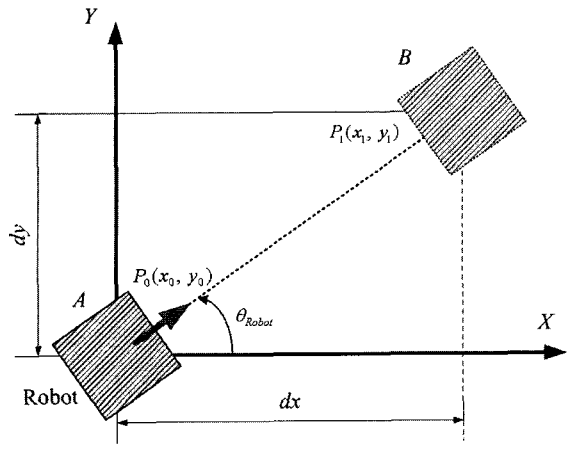


그림 2. 모바일 로봇의 방향각 추정.
Fig. 2. Orientation estimation of a mobile robot.

A에서의 로봇의 위치를 $P_0 = [x_0 \quad y_0]^T$ 로, B에서의 위치를 $P_1 = [x_1 \quad y_1]^T$ 로 정의하면, 모바일 로봇의 초기 방향각은 다음과 같이 추정된다.

$$\tan\theta_{Robot} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} = \frac{dy}{dx} \tag{1}$$

$$\theta_{Robot} = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{dy}{dx}\right) \tag{2}$$

따라서 모바일 로봇의 초기 상태는 위치와 방향각을 갖는 벡터로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_0 = [x_0 \quad y_0 \quad \theta_{Robot}]^T = [x_0 \quad y_0 \quad \tan^{-1}(dy/dx)]^T \tag{3}$$

III. 위치 추정의 불확실성

Passive RFID 위치 인식 시스템에서는 그 특성상 reader 인식범위내의 tag 존재 여부만을 확인할 수 있다. 다시 말해, 인식 범위에서 RFID tag를 발견했을 때, 인식범위내의 어느 위치에 tag가 있는지 그 정확한 위치를 알아내는 것은 불가능하다. Reader와 tag 사이의 거리를 알 수 없기 때문에 기존 센서 기반의 위치 인식 시스템에서 사용한 삼각측량법이나, 거리측정을 통한 위치 인식 기법을 사용할 수 없다. 따라서, reader의 인식범위 내에 놓인 태그의 좌표값 만으로 로봇의 위치를 추정할 때는 추정오차가 발생한다. 이런 추정 오차를 감소시키기 위해서 혹은 보정하기 위해서, 위치 추정 오차를 모델링 할 필요가 있다.

RFID tag가 사각형 형태의 일정한 간격으로 배치되어 있는 공간에서 RFID reader와 tag는 일정 거리 내에서만 서로 통신이 가능하다고 하면, reader의 tag에 대한 인식거리를 그림 3와 같이 표시할 수 있다.

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

$$x_{est} = \frac{\max\{x_1, \cdots, x_N\} + \min\{x_1, \cdots, x_N\}}{2} \tag{4}$$

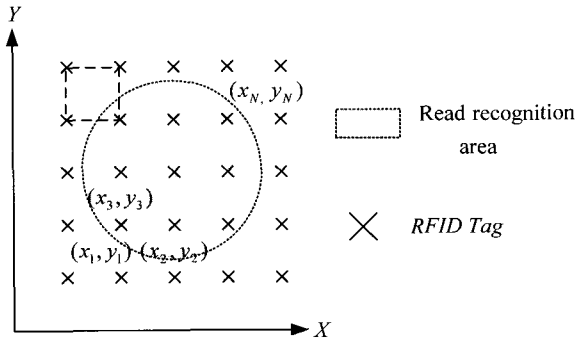


그림 3. Reader의 tag에 대한 인식거리.
Fig. 3. Recognition distance of a reader for tags.

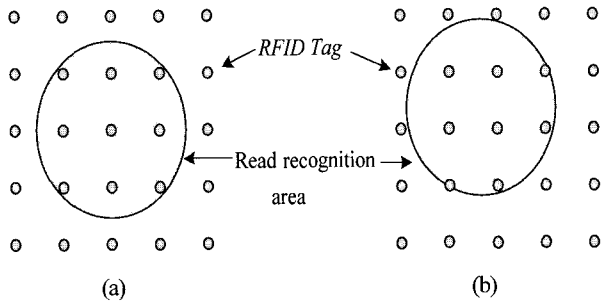


그림 4. RFID 센서공간에서의 추정 오차.
Fig. 4. Estimated error in sensor space.

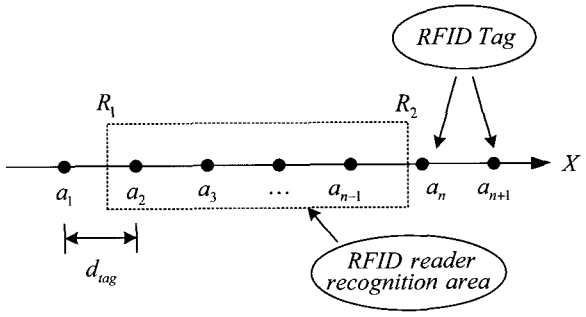


그림 5. 추정 오차와 tag의 간격과의 관계.
Fig. 5. Relation between estimated error and tag interval.

$$y_{est} = \frac{\max\{y_1, \cdots, y_N\} + \min\{y_1, \cdots, y_N\}}{2} \tag{5}$$

여기서 N은 reader에 감지된 tag의 수이며, $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2,$ … 은 tag에 입력되어 있는 좌표 정보이다.

그림 4에서 reader의 위치, 곧 모바일 로봇의 위치는 서로 같은 좌표값을 가지는 tag가 인식되므로 (4)과 (5)에 의해 그림 4(a)와 (b)의 경우 둘다 같은 위치로 추정된다. 그러나 실제 모바일 로봇의 위치는 그림 4(a)와 (b)의 경우가 다르다. 그림 4(b)의 경우는 실제 로봇의 위치와 추정된 위치 사이에 추정 오차가 발생한다. 이 때, 추정 오차는 RFID tag가 배치된 간격과 관계가 있다. 그림 5을 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 위치

한 tag에서부터 오른쪽으로 각각 $a_1, a_2, a_3, \cdots, a_{n-1}, a_n, a_{n+1}$ 의 X좌표를 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 5에 나타나 있는 reader의 추정좌표, R_{est_x} 와 실제 reader의 중심좌표, R_{real_x} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{est_x} = \frac{a_2 + a_{n-1}}{2} \tag{6}$$

$$R_{real_x} = \frac{R_1 + R_2}{2} \tag{7}$$

위치 추정 오차, e_{est} 는 다음과 같이 정의된다.

$$e_{est_x} = \left| R_{est_x} - R_{real_x} \right| = \left| \frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{a_2 + a_{n-1}}{2} \right| \tag{8}$$

위 식에서 R_1 과 R_2 의 좌표는 각각 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\begin{cases} a_1 < R_1 < a_2 \\ -d_{tag} < R_1 - a_2 < 0 \end{cases} \tag{9a}$$

$$\begin{cases} a_{n-1} < R_2 < a_n \\ 0 < R_2 - a_{n-1} < d_{tag} \end{cases} \tag{9b}$$

추정오차는 (10)과 같이 표시할 수 있다.

$$e_{est_x} = \left| \frac{(R_1 - a_2) + (R_2 - a_{n-1})}{2} \right| \le \frac{1}{2} \left| d_{tag} \right| \tag{10}$$

(10)을 통해 추정오차는 tag의 간격에 비례한다는 것을 알 수 있고, tag간격의 0.5배를 오차의 최대값으로 가질 수 있다.

따라서 X-축과 Y-축 동시에 최대 추정오차를 고려하면 다음 식에서와 같이 나타난다.

$$e_{est_max} = \sqrt{(1/4)d_{tag}^{\ 2} + (1/4)d_{tag}^{\ 2}} \cong 0.707 d_{tag} \tag{11}$$

IV. 오차 감소 및 보정 알고리즘

RFID 시스템을 이용하여 로봇의 위치를 추정할 때 두 가지의 오차 감소 알고리즘을 이 장에서 소개한다.

1. 오차 감소를 위한 태그 배치 패턴

위치 추정 오차의 모델링을 살펴봤을 때, 위치 추정의 정확성을 높이기 위해서는 tag의 간격을 줄여야 한다. 그러나 정해진 공간 내에 많은 tag를 배치하는 것은 경제성의 측면에서는 비효율적이다. Tag 수의 변화 없이 태그 배치 형태를 이용하여 오차를 감소 시킬 수 있다. 태그의 배치 방법에는 기존 연구에서 다양한 패턴을 소개하고 있으나, 본 논문에서는 그림 6과 같은 삼각형태로 배치하여, 앞서 살펴본 오차 모델링을 통해 추정오차의 감소를 살펴본다.

그림 7는 삼각형태로 tag를 배치하였을 때, 위치 추정 오차가 줄어듦을 나타내고 있다.

그림 7의 RFID reader는 R_1 의 좌표와 R_2 의 좌표가 다음과 같이 표현된다.

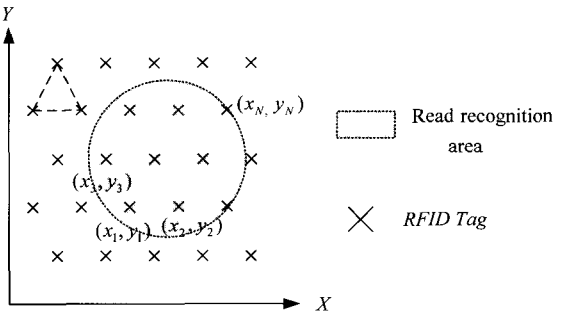


그림 6. 삼각형태에서의 reader의 tag에 대한 인식거리.
Fig. 6. Recognition distance of a reader for triangular pattern tags.

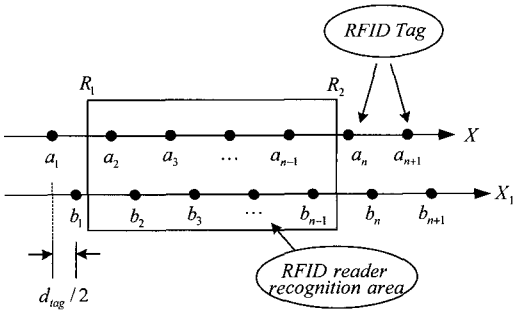


그림 7. 삼각형태에서의 추정 오차 감소.
Fig. 7. Estimated error reduction for triangular pattern.

$$\begin{cases} b_1 < R_1 < a_2 \\ -\dfrac{d_{tag}}{2} < R_1 - a_2 < 0 \end{cases} \tag{12a}$$

$$\begin{cases} b_{n-1} < R_2 < a_n \\ 0 < R_2 - b_{n-1} < \dfrac{d_{tag}}{2} \end{cases} \tag{12b}$$

그림 7와 같이 삼각형태로 tag를 배치한 경우, X축 방향으로의 추정오차는 다음과 같이 오차가 줄어듦을 살펴볼 수 있다.

$$e_{est_x} = \left| R_{est_x} - R_{real_x} \right| = \left| \frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{a_2 + b_{n-1}}{2} \right| \tag{13}$$

$$e_{est_x} = \left| \frac{(R_1 - a_2) + (R_2 - b_{n-1})}{2} \right| \le \frac{1}{4} \left| d_{tag} \right| \tag{14}$$

따라서 X축-Y축 방향을 모두 고려할 때 최대 추정 오차는 다음과 같이 나타난다.

$$e_{est_max} = \sqrt{(1/2)d_{tag}^{\ 2} + (1/4)d_{tag}^{\ 2}} \cong 0.58 d_{tag} \tag{15}$$

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

2. 오차 보정 알고리즘

모바일 로봇이 RFID tag의 좌표값을 이용하여 위치를 추정하였을 때, 발생하는 추정 오차를 보정하기 위해서, 모바일 로봇의 자세를 이용한 보정 알고리즘을 제안한다. 모바일 로봇의 초기 위치가 정확히 주어진다고 가정한다면, RFID 위치 인식 시스템의 초기 위치 정보로부터 모바일 로봇의 속도와

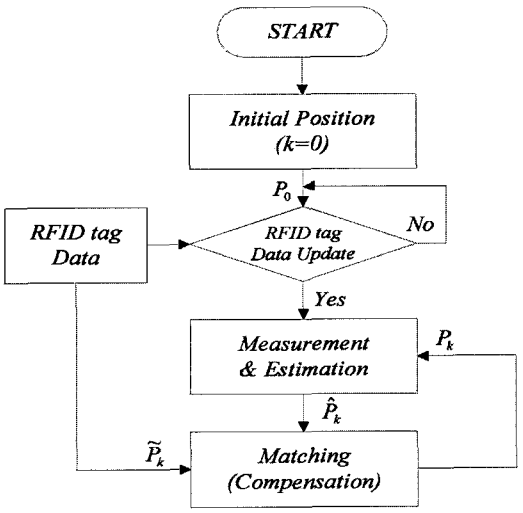


그림 8. 오차 보정 과정.
Fig. 8. Flowchart for error compensation.

궤적을 예측 할 수 있다. 이를 이용하여 로봇의 위치를 예측한 후 RFID 추정 오차 값을 보상한다. 그림 8를 통해 오차 보정 과정을 살펴 볼 수 있다.

2.1 측정과정

앞서, 2장에서 모바일 로봇의 상태를 위치와 방향각을 통해 나타낼 수 있었다. 그림 9에서 로봇은 초기(k=0)에 임의의 알려진 위치, $P_0=[P_0\ y_0\ \theta_0]^T$ 에서 출발한다. 시간 k 후, RFID tag에 의해 새로운 로봇의 위치 정보, $P_k=[x_k\ y_k\ \theta_k]$ 가 획득된다. 이 위치정보들을 이용하여, 아래의 값들이 계산되어 진다. 모바일 로봇의 방향각의 변화량은 곧 로봇의 회전각도와 같으며, 좌우 바퀴의 속도값으로 표현될 수 있다.

$$\varphi=\theta_k-\theta_0=\frac{\int_t^{t+\delta t}(u_L+u_R)dt}{r_w(u_L+u_R)}(u_R-u_L) \tag{16}$$

모바일 로봇의 이동거리, d 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$d=R\varphi=\int_t^{t+\delta t}v_1\,dt=\int_t^{t+\delta t}\frac{u_L+u_R}{2}dt \tag{17}$$

여기서, v_1 는 모바일 로봇의 선속도 값이다.

로봇의 회전반경, R 은 로봇의 좌우바퀴 속도값과 로봇의 너비와의 관계식으로 표현된다. (18)에 나타내었다.

$$R=\frac{r_w}{2}\left(\frac{u_R+u_L}{u_R-u_L}\right) \tag{18}$$

2.2 예측과정 및 보정과정

시간 k에서 회득한 위치 $P_k=[x_k\ y_k\ \theta_k]^T$ 과 초기 위치 $P_0=[P_0\ y_0\ \theta_0]^T$ 를 통해, 로봇의 속도와 회전각도, 이동거리 등을 측정할 수 있었고, 이 값들을 이용하면, 시간 k+1에서 예측되는 모바일 로봇의 위치가 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{x}_{k+1}=x_k+T\frac{u_L+u_R}{2}\cos(\theta_k) \tag{19}$$

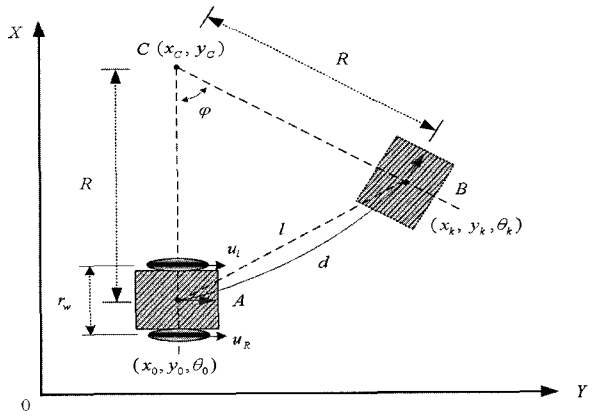


그림 9. 측정 및 예측 모델.
Fig. 9. Measurement and estimation model.

$$\hat{y}_{k+1}=y_k+T\frac{u_L+u_R}{2}\sin(\theta_k) \tag{20}$$

여기서 T는 샘플링 시간이다.

시간 k+1에서의 모바일 로봇의 예측 위치값, $\hat{P}_{k+1}=[x_{k+1}\ y_{k+1}\ \theta_{k+1}]^T$ 을 통해, RFID tag의 측정 위치값을 보정한다.

여기까지의 과정이 끝나면 매 단계마다 반복함으로서 연속적으로 위치를 예측하고, 추정오차를 보정할 수 있다.

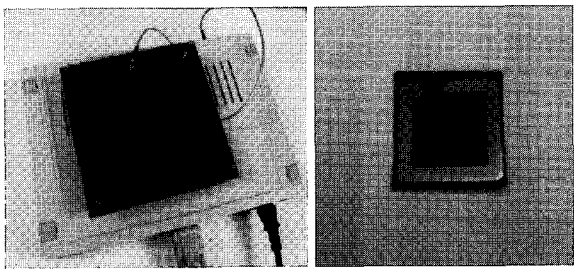
V. 실험

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

1. 실험 환경

그림 10는 실제 실험에 사용된 RFID reader와 tag를 보여준다. 본 실험에 사용된 RFID 시스템은 passive type으로 RFID 시스템의 주파수대역은 13.56Mhz이며, tag와 reader 사이의 인식거리는 약 0.1m이다. 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*10cm이며, tag는 Epoxy type으로 크기는 3cm*3cm 이다.

모바일 로봇은 약 1m*1m내의 공간을 이동하므로, 소형으로 제작되어 크기는 약 0.22m*0.3m이다. 2자유도 차륜구동형태를 가지는 로봇으로 좌우 바퀴의 속도값은 무선 통신으로



(a) RFID reader (b) RFID tag

그림 10. 실제 실험에 사용된 RFID 시스템.
Fig. 10. RFID system for experiments.

메인 컴퓨터에서 보내어진다.

2. 실험 결과

첫번째 실험은 RFID tag의 배치형태를 삼각형태와 사각형태로 구분한 후, 로봇의 위치와 방향을 측정하여 비교한 실험이다. 그림 11에서와 같이 일정한 궤도(path-1, path-2)를 따라 로봇이 이동할 때, 로봇의 위치 및 방향을 측정해 보았다. 먼저 path-1을 따라 로봇이 0.25m/s의 속도로 움직일 때, 0.04 sec 단위로 위치를 추정하였다. 이어서 path-2의 경우도 마찬가지로 같은 속도와 같은 시간차이로 위치를 추정하였다.

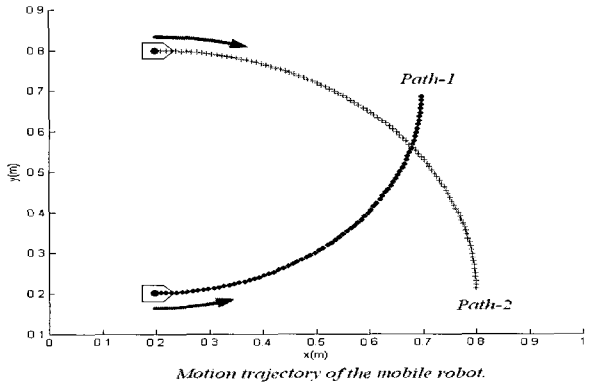


그림 11. 모바일 로봇의 두 이동 궤적.

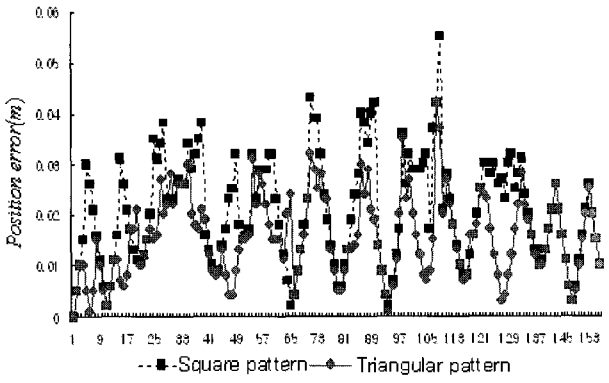
Fig. 11. Two paths for the mobile robot.

각 궤적의 로봇의 실제 위치와 RFID 시스템을 이용한 위치 추정의 차이를 비교 하여 그림 12와 그림 13에 나타내었다. 그림 12와 13을 통해 전체적으로 삼각 형태로 RFID tag를 배치했을 때 추정 오차가 줄어듦을 알 수 있다. 정확한 수치를 표현하기 위해 표 1에 평균 위치 오차와 각도 오차를 계산하여 정리하였다. 추정 오차를 모델링하고, 본 논문에서 제시한 RFID 배치 형태가 추정 오차를 줄일 수 있음을 첫 번째 실험 결과를 통해 알 수 있다.

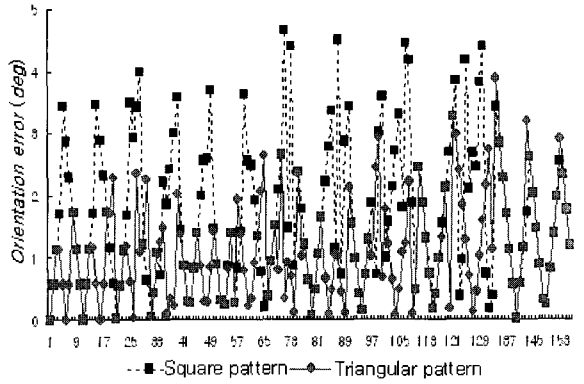
그림 12와 표 1를 통해 오차 보정 알고리즘을 적용하였을 때 모바일 로봇의 오차가 줄어드는 것을 알 수 있다. 더욱이 오차 보정 알고리즘은 그래프에서 볼 수 있듯이 오차의 편차를 줄여 주어서 로봇의 정확한 위치 추정이 가능하게 하였다.

두번째 실험은 추정오차를 보정하는 보정 알고리즘을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 로봇의 추정 오차를 비교한 실험이다. 그림 14에서와 같이 모바일 로봇은 원의 궤적을 따라 주행하면서, 자신의 위치를 RFID 시스템을 통해 추정한다. RFID tag를 삼각형태로 배치하여, 모바일 로봇이 A지점을 출발하여, 다시 A지점까지 돌아올 때, 위치를 추정하였다. 정확한 수치 비교를 위해서 각 경우에 대해 평균 각도 오차와 평균 위치 오차를 표 2에 나타내었다.

그림 15와 표 2를 통해 오차 보정 알고리즘을 적용하였을 때 모바일 로봇의 오차가 줄어드는 것을 알 수 있다. 더욱이



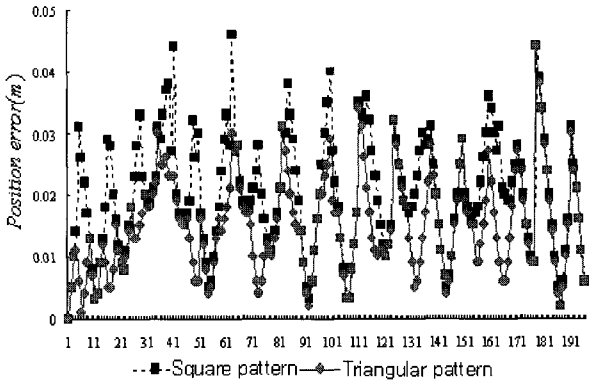
(a) 로봇의 위치추정오차



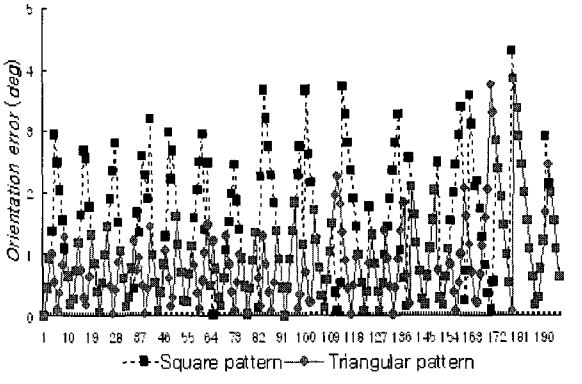
(b) 로봇의 방향 추정 오차

그림 12. Tag 배치형태에 따른 Path-1에서의 추정 오차.

Fig. 12. Estimated error for Path-1 for each pattern.



(a) 로봇의 위치추정오차



(b) 로봇의 방향 추정 오차

그림 13. Tag 배치형태에 따른 Path-2에서의 추정 오차.

Fig. 13. Estimated error for Path-2 for each pattern.

표 1. 위치 및 방향 추정 오차의 평균값.
Table 1. Average values for position and orientation estimation errors.

	Path-1		Path-2	
	Position Error(m)	Orientation Error(deg)	Position Error(m)	Orientation Error(deg)
Squre Pattern	0.02	1.72	0.02	1.42
Triangle Pattern	0.016	1.12	0.015	0.89

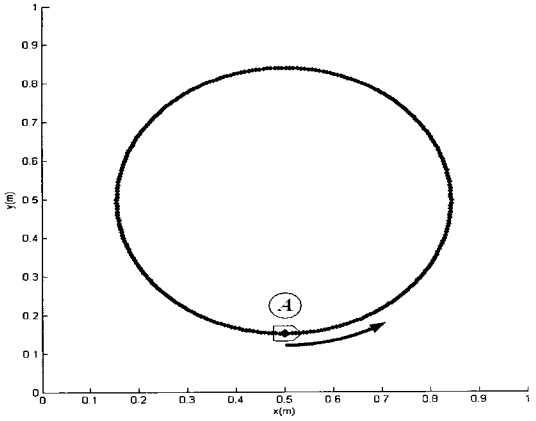
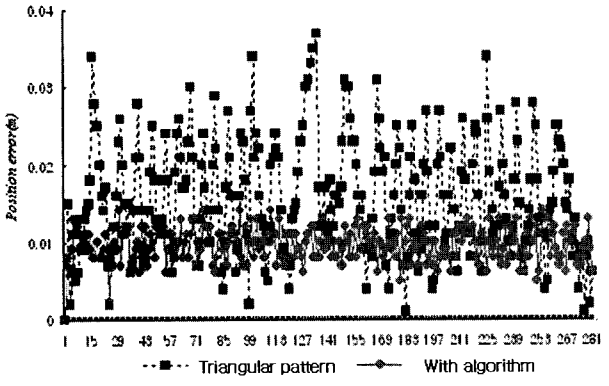
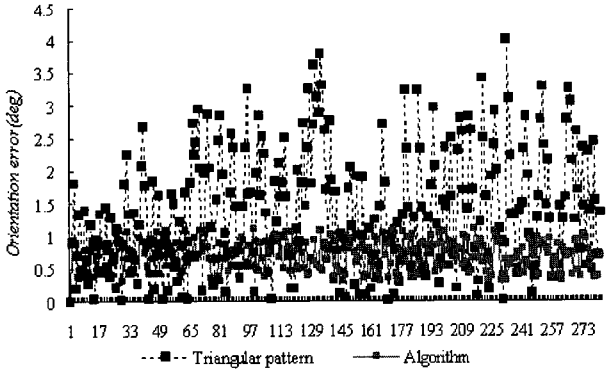


그림 14. 모바일 로봇의 이동 궤적.
Fig. 14. Motion trajectory of a mobile robot.



(a) 위치 추정 오차



(b) 각도 오차

그림 15. 오차 보정 알고리즘 적용 결과.
Fig. 15. Result of the error compensation algorithm.

표 2. 알고리즘 적용에 따른 위치 및 방향 추정 오차의 평균값.
Table 2. Errors after the compensation algorithm.

	Position Error(m)		Orientation Error(deg)	
	Non-apply	Apply	Non-apply	Apply
Error	0.016	0.009	1.36	0.70

오차 보정 알고리즘은 그래프에서 볼 수 있듯이 오차의 편차를 줄여 주어서 로봇의 정확한 위치 추정이 가능하게 하였다.

VI. 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 추정해 보았고, 위치인식의 정확도를 높이기 위한 방법을 제안하였다. RFID tag의 배치형태에 주목하고, 같은 조건하에서도 배치 형태에 따라서 위치 인식의 정확도가 달라지는 것을 보였다. 로봇이 공간을 이동할 때 로봇의 속도와 위치를 RFID 위치 인식 시스템을 통하여 추정하고, 이를 이용하여 추정오차를 보상하는 보상 알고리즘을 제안하였다. 이를 실험을 통해 증명하였다.

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

참고문헌

[1] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," *in Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 1015-1020, Apr. 2004.

[2] J. L. M. Flores, S. S. Srikant, B. Sareen, and A. Vagga, "Performance of RFID tags in near and far field," *in Proc. IEEE Int. Conf. on Presonal Wireless Communications*, pp. 353-357, Jan. 23-25. 2005.

[3] O. Kubitz, M. O. Berger, M. Perlick, and R. Dumoulin, "Application of radio frequency identification devices to support navigation of autonomous mobile robots," *in IEEE Conf. Vehicular Technology*, vol. 1, pp. 126-130, 1997.

[4] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson, and S. Pavithran, "RFID in robot-assisted indoor navigation for the visually impaired," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots*, Systems, pp. 1979-1984, 2004.

[5] K. Yamano, K. Tanaka, M. Hirayma, 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. on Intelligent Robots nd Systems*, vol. 4, pp. 3756-3761, Sep. 28-Oct. 2, 2004.

[6] K. Ohno, T. Tsubouchi, B. Shigematsu, S. Maeyama, and S. Yuta, "Outdoor navigation of a mobile robot between buildings based on DGPS and odometry data fusion," *in Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1978-1984, Sept. 2003.

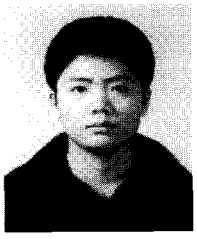
[7] K. Komoriya and E. Oyama, "Position estimation of a mobile robot using optical fiber gyroscope," *in Proc. IEEE/RSJ/GI Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, vol. 1, pp. 143-149, Sep. 12-16, 1994.

[8] K. Nagatani, Y. Iwai, and Y. Tanaka, "Sensor based navigation for car-like mobile robots using generalized Voronoi graph," *in Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 3068-3073, May 11-15, 2002.

[9] J.-H. Lee and Hideki Hashimoto, "Controlling mobile robots in distributed intelligent sensor network," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 5, pp. 890-902, Oct. 2003.

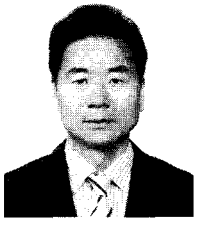
[10] Suresh Shenoy and Jindong Tan, "Simultaneous localization and mobile robot navigation in a hybrid sensor network," *in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1636-1641, Aug. 2-6, 2005.

[11] Heesung Chae and Kyuseo Han, "Combination of RFID and vision for mobile robot localization," *in Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, pp. 75-80, 5-8 Dec. 2005.



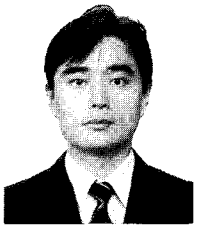
임 형 수

2002년 동서대학교 전자전기통신공학부 졸업. 2005년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇제어, 지능제어시스템, 유비쿼터스.



이 장 명

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



최 승 욱

1996년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 부산대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 2001년 부산대학교 전자공학과(공학박사). 2001년~2003년 창원전문대학 정보처리과 연구교수. 2003년~2004년 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소 연구전담교수. 2004년~현재 부산테크노파크 전략산업기획단 평가부장. 관심분야는 자율주행, 충돌방지시스템, 로봇 비젼.