

정적 Passive RFID 태그를 이용한 지능적인 로봇위치추정기법

An Intelligent Estimation Method of Robot-location based on Passive RFID Tags in Static Position

문 승 욱, 지 용 관, 박 장 현*

(Seung-Wuk Moon, Yong-Kwan Ji, and Jahng-Hyon Park)

Abstract : This paper presents methods of robot localization using recent radio frequency identification technology. If the absolute position and orientation of a tag are given in an indoor environment where RFID tags are installed, a robot can estimate its location using the relationship of the identified tag and the robot in a relative coordinate. To derive this relationship, we propose three estimation techniques using a model of a RFID reader, the direction of identification and the detection range. In this algorithm, a suitable estimation method is selected out of the three proposed techniques depending on the situations and trajectory of robot in the detection range. Simulation and experimental results show that the proposed methods can provide good performance for localization.

Keywords : mobile robot, passive RFID tag, location estimation

I. 서론

이동로봇 분야에서 로봇이 자신의 현재 위치를 알아내는 것은 매우 중요한 과제이므로 최근까지 많은 연구가 진행되고 있다. 이동로봇의 자체 정보만으로는 위치 파악에 한계가 있으므로 이동로봇은 레이저 스캔 센서나 카메라, 초음파, 적외선, 등의 센서를 이용하여 주변 환경을 파악하거나 또는 작업 공간에 비콘(beacon)이나 지표물(landmark), 등을 설치하여 외부 환경으로부터 자신의 절대적 위치를 파악하게 된다. 본 논문에서는 최근의 유비쿼터스(ubiquitous) 환경에서 필수적인 기술로 주목되고 있는 RFID기술을 도입하여 로봇의 위치추정에 이용하고자 한다.

RFID태그를 로봇의 위치추정에 적용한 기존의 연구들은 하나 이상의 리더기 안테나를 특정한 방향으로 고정시키는 방식과 하나의 리더기 안테나를 회전시키는 방식을 사용하여 태그를 인식하고 있으며 측정 데이터를 통하여 로봇의 위치를 추정하는 기법도 각각 달리 제안하였다. D. Hahnel과 W. Burgard의 연구에서는 두 개의 안테나를 고정하는 방식을 채택하고 태그가 인식될 확률을 계산할 수 있는 확률적 센서모델을 실험적으로 제작하였다. 센서모델과 고가의 레이저 스캔 센서를 이용하고 로봇의 위치를 확률적으로 나타내는 위치추정 기법을 적용하여 로봇의 위치를 추정하였다[1]. 그리고 O. Kubitz와 V. Kulykin의 연구에서는 전역지도 상에서 RFID 태그의 고유한 인식성을 이동로봇의 전역적 항법 및 경로설정에 이용하였다[2,3]. 한편, K.Yamono의 연구에서는 태그가 설치된 작업 공간의 각 위치마다 로봇과 태그의 관계가 변화하는 점을 이용하였다. 각 위치에서의 반복학습을 통하여 특징을 추출하고 이를 이용하여 로봇의 위치를 추정하였다[4]. 이와 같이 RFID기술은 여러 가지 방법을 통하여 위치인식에 적용되고 있지만 단지 태그의 인식여부를 이용하

거나 일관된 기법을 통하여 처리하고 있다.

그러나 이동로봇이 리더기의 안테나를 회전하면서 태그의 인식여부를 측정하는 경우, 주변 환경과 상황에 따라 다양한 인식률로 태그를 인식하게 되며 인식영역을 주행하는 로봇의 이동경로에 따라 추정범위와 정도도 다양해질 수 있다. 따라서 태그 인식상황과 로봇의 이동경로에 따라 추정기법도 이에 맞게 효율적으로 적용할 필요가 있지만 아직까지 RFID 태그를 이용한 연구 중에서 상황을 고려한 가변적 위치추정 기법은 제안된 바 없다. 따라서 본 논문에서는 리더기 안테나를 회전하는 방식을 채택하고 수동태그가 인식되는 영역 안에서의 단거리 오도메트릭(odometric) 정보를 이용하여 측정 정보의 상태에 따라 가변적으로 적용되는 이동로봇의 위치추정 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서 절대위치와 방위가 주어진 RFID 수동태그와 이동로봇의 상대관계를 추정하기 위한 세 가지 기법을 제시한다. 또한 저가의 초음파 센서를 통한 거리(range) 정보를 제시한 기법에 융합하는 방법에 대하여 설명한다. 3장에서는 태그의 인식상황에 따라 제시한 여러 기법들을 유연하게 변화시키기 위해 필요한 정량적 인자와 상황 처리기에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 도출된 상대관계를 바탕으로 태그의 절대위치 및 방위를 이용하여 이동로봇의 위치를 추정하는 방법을 설명하고 5장에서 제안한 추정기법의 효율성 및 검증을 위한 시뮬레이션과 실험 결과를 제시한다. 그리고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 로봇과 RFID 태그의 상대관계 추정

1. RFID 리더기 인식모델기반 추정기법

이동로봇이 태그가 인식되는 영역을 직선형태로 주행하고 리더기 안테나의 회전에 대하여 태그가 비교적 높은 인식률로 측정되는 경우, 이 기법은 실험에 의해 미리 제작된 리더기 회전에 대한 인식모델을 이용하여 적은 연산량으로 로봇에 상대적인 태그 위치와 방위를 추정한다.

상대 좌표계는 이동로봇이 태그가 인식되는 시작위치를 원점으로 하는 좌표계이며 그림 1에 각 시점의 이동로봇의

* 책임저자(Corresponding Author)

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

문승욱, 지용관, 박장현 : 한양대학교 기계공학부

(moon_river73@hotmail.com/kcops@hanmail.net/jpark@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학기술진흥재단의 선도연구자 지원으로 수행되었음

(과제번호: 2004-041-D00053).

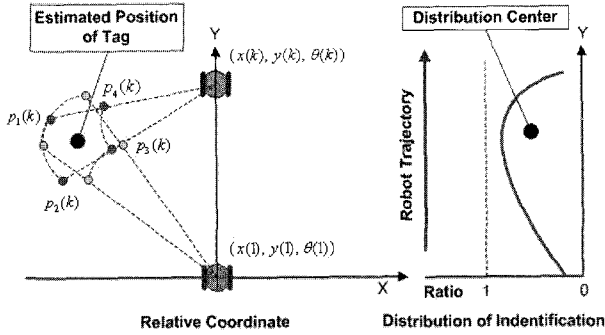


그림 1. 리더기 인식모델기반의 추정기법 개념도.
Fig. 1. Method 1 for position estimation.

상태변수는 상대 좌표계의 원점을 기준으로 계산된 것이다. 매 측정 순간마다 인식 방향성($\hat{\phi}(k)$)을 이용하여 상대방향 범위($\hat{\phi}_{\min}(k), \hat{\phi}_{\max}(k)$)를 추정하고 인식 방향성($\hat{\phi}(k)$)과 회전 인식률을 이용하여 리더기 인식모델로부터 태그와의 상대거리 범위($\hat{l}_{\min}(k), \hat{l}_{\max}(k)$)를 추정하게 된다. 이 때 리더기 모델링 과정에서 이산화 및 오차를 고려하여 (1)과 같이 4개의 좌표($p_i(k)$)를 이용한 영역으로 표현한다.

$$\begin{aligned}
 p_1(k) &\Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(k) + \hat{l}_{\max}(k) \times \cos(\hat{\phi}_{\max}(k)) \\ y(k) + \hat{l}_{\max}(k) \times \sin(\hat{\phi}_{\max}(k)) \end{pmatrix} \\
 p_2(k) &\Rightarrow \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(k) + \hat{l}_{\min}(k) \times \cos(\hat{\phi}_{\max}(k)) \\ y(k) + \hat{l}_{\min}(k) \times \sin(\hat{\phi}_{\max}(k)) \end{pmatrix} \\
 p_3(k) &\Rightarrow \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(k) + \hat{l}_{\max}(k) \times \cos(\hat{\phi}_{\min}(k)) \\ y(k) + \hat{l}_{\max}(k) \times \sin(\hat{\phi}_{\min}(k)) \end{pmatrix} \\
 p_4(k) &\Rightarrow \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(k) + \hat{l}_{\min}(k) \times \cos(\hat{\phi}_{\min}(k)) \\ y(k) + \hat{l}_{\min}(k) \times \sin(\hat{\phi}_{\min}(k)) \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{1}$$

그리고 회전 인식률을 가중치로 한 WLS(Weighted Least Square) 방식을 적용하여 (2)와 같이 최종적으로 태그 위치를 추정하며 여기서 N 은 총 관측 횟수를 의미한다.

$$\begin{aligned}
 \hat{P} &= (\Phi^T W \Phi)^{-1} \Phi^T W Y \tag{2} \\
 \Phi &= [\varphi_1 \dots \varphi_N]^T \quad \varphi_i = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T \\
 W &= \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_N \end{bmatrix} \quad W_i = \begin{bmatrix} w_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_i \end{bmatrix} \\
 Y &= [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_N]^T \\
 y_i &= [p_1(i) \ p_2(i) \ p_3(i) \ p_4(i)]^T \quad (i=1 \dots N)
 \end{aligned}$$

또한 이동로봇의 경로에 대한 인식분포를 이용하여 태그의 방위각도 ($\hat{\theta}_{\min} \leq \theta_{r,i} \leq \hat{\theta}_{\max}$)와 같이 추정할 수 있다.

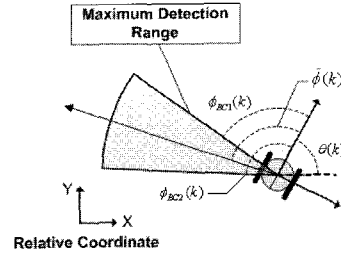


그림 2. 인식방향성에 의한 추정기법 개념도.
Fig. 2. Estimated area by method 2 in each measurement.

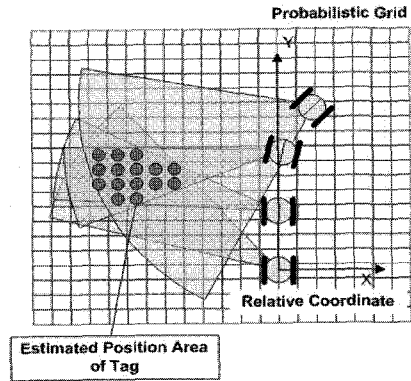


그림 3. 인식방향성에 의한 추정기법 개념도.
Fig. 3. Method 2 for position estimation.

2. 인식 방향성에 의한 확률기반 추정기법

이동로봇의 주행경로와는 상관없이 리더기 안테나의 회전에 대한 인식 방향성과 최대 인식거리를 이용하여 태그가 존재할 영역을 확률적으로 표현할 수 있다. 태그가 인식되는 시작위치가 상대 좌표계의 원점이 되며 좌표계 상에서 태그가 인식되는 모든 영역을 원하는 크기의 격자(grid)형태로 나눈다. 그리고 상대 좌표계의 원점을 기준으로 매 측정 순간의 로봇 위치와 방위를 계산하고 태그의 인식 방향성($\hat{\phi}(k)$)을 이용하여 (3)과 같이 부채꼴(fanwise) 형태의 인식영역에 포함되는 격자의 확률을 점차 증가시킨다. 여기서 α 는 스케일링 상수, $pr(x, y)$ 는 해당 좌표의 격자 확률값, $Pr_{iden}(k)$ 는 (k) 측정 시점의 회전 인식률을 각각 의미한다.

$$\begin{aligned}
 pr(x_{grid}, y_{grid}) &= pr(x_{grid}, y_{grid}) + \alpha \times Pr_{iden}(k) \tag{3} \\
 (x_{grid}, y_{grid}) &\in \text{Valid Fanwise in } (k) \text{ time}
 \end{aligned}$$

그림 2는 측정 시점마다의 부채꼴 형태의 인식영역을 나타내며 부채꼴 영역의 경계각은 (4)을 통하여 구한다.

$$\phi_{BC1,2}(k) = \hat{\phi}(k) \mp \left(\frac{\gamma}{Pr_{iden}(k)} \right) \tag{4}$$

(4)에서 γ 는 스케일링 상수이며 부채꼴 형태의 인식영역은 인식률이 높을수록 폭이 좁아지고 인식률이 낮으면 폭이 넓어지게 된다.

그림 3에 도식화한 것과 같이 최종적으로 확률값이 가장

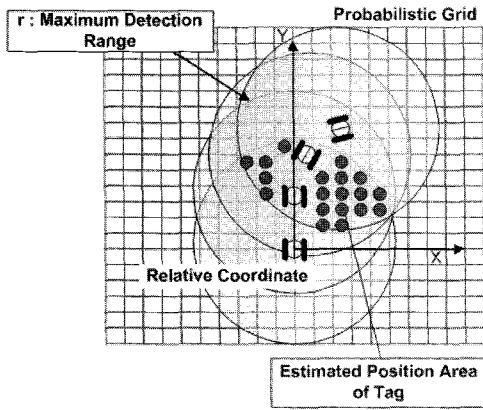


그림 4. 최대인식 원에 의한 추정기법 개념도.
Fig. 4. Method 3 for position estimation.

높은 격자영역이 로봇에 상대적인 태그의 추정위치가 된다. 이 기법은 리더기 인식모델기반의 추정기법보다는 메모리 사용량과 연산량도 많지만 로봇의 이동경로에 제한이 없으며 인식률이 비교적 높지 않아도 적용할 수 있는 장점이 있다.

3. 최대인식 거리에 의한 확률기반 추정기법

리더기 안테나의 회전에 대한 인식률이 매우 낮은 경우, 측정 데이터로부터 인식 방향성을 추출하는 것은 신뢰성을 보장하기 힘들다. 왜냐하면 태그 인식률의 저하에 여러 가지 요인이 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 태그가 먼 거리에 있을 수도 있지만 재질이나 장애물, 등의 요인 또는 공간의 특성에 의해 인식이 저하될 수도 있기 때문이다. 이와 같은 경우 태그의 상대방향을 추정하기 힘들기 때문에 모든 방향을 고려하여 현재 로봇의 위치에서 최대인식 거리가 반지름인 원 내부에 태그가 존재할 것이라고 추정할 수 있다. 따라서 만약 태그가 인식되면 상대 좌표계 상에서 로봇의 위치를 기준으로 그림 4와 같이 최대인식 원 내부에 포함되는 격자의 확률을 (5)와 같이 점차 증가시킨다. 그리고 최종적으로 가장 높은 확률값의 격자영역이 로봇에 상대적인 태그의 추정 위치가 된다. 여기서 (5)의 β 는 스케일링 상수이다.

$$pr(x_{grid}, y_{grid}) = pr(x_{grid}, y_{grid}) + \beta \times Pr_{iden}(k)$$

$$(x_{grid}, y_{grid}) \in Valid\ Circle\ in\ (k)\ time \tag{5}$$

인식 방향성에 의한 확률기법처럼 좀 더 많은 메모리 사용량과 연산량이 요구되는 반면에 낮은 인식률로 측정되어도 최대한의 범위로 태그의 위치를 추정할 수 있다.

4. 거리센서와의 융합

앞 절에서 언급한 추정기법들을 통해 태그위치는 대부분의 경우 추정할 수 있지만 태그방위는 추정이 불가능한 경우도 상당히 많다. 따라서 태그위치와 방위를 좀 더 신뢰성 있게 추정하기 위해서는 거리센서로부터의 주변 공간에 대한 정보를 추정기법에 반영하여 이동로봇과 태그의 상대관계를 구체화 시킬 필요가 있다. 특히 실내환경에서 이동로봇의 위치인식을 위한 지표물로 사용되는 수동태그의 경우, 벽이나 고정물의 표면부근에 설치되므로 거리센서를 통한 이동로봇 주변의 공간 정보는 태그방위를 추정하는데 매우 유용하게

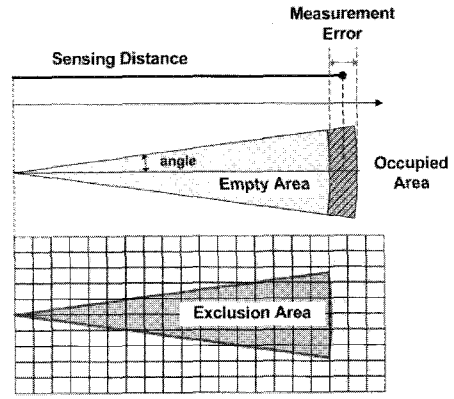


그림 5. 인식방향성에 의한 추정기법 개념도.
Fig. 5. Processing method for range sensor.

사용될 수 있다. 리더기 안테나를 회전시켜 인식여부를 측정하는 동시에 장착된 거리센서를 통하여 각 센서의 거리측정값을 저장한다. 동일한 상대 좌표계 상에서 거리센서의 측정값들을 좌표화하고 매 순간마다의 측정된 거리점을 상대 좌표계의 원점이 기준인 극좌표(ρ_i, θ_i)으로 변환하여 선 그룹화 작업을 수행한다. 그리고 그룹화된 극좌표점들을 (6)를 통하여 각각의 지형선(α_i, r_i)을 구한다[5].

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum \rho_i^2 \sin 2\theta_i - \frac{2}{N_i} \sum \sum \rho_i \rho_j \cos \theta_i \sin \theta_j}{\sum \rho_i^2 \cos 2\theta_i - \frac{1}{N_i} \sum \sum \rho_i \rho_j \cos(\theta_i + \theta_j)} \right) \tag{6}$$

$$r = \frac{\sum \rho_i \cos(\theta_i - \alpha)}{N_i} \quad (N : \text{number of measurement in group } \ell)$$

리더기 모델기반 추정기법의 경우, 거리센서를 통해 추출한 지형선의 경계면 부근에 추정한 태그가 존재한다면 지형선의 특징정보를 반영하여 정확한 태그의 방위각을 도출할 수 있다. 태그 추정위치를 극좌표로 변환하고 (7)의 경계조건을 만족하면 태그는 해당 지형선상에 존재한다고 간주한다.

$$d_{RC} = \bar{\rho}_{tag} \cos(\hat{\theta}_{tag} - \alpha_i) - r_i < Threshold_{RC} \quad (i : \text{line index}) \tag{7}$$

한편, 인식 방향성과 최대인식 원을 이용하는 확률기반의 추정기법의 경우에는 거리센서의 측정값을 태그의 존재 확률 분포에 직접 이용할 수 있다.

그림 5에서 도식화한 것과 같이 거리센서는 측정된 거리까지가 빈 공간을 나타내기 때문에 태그의 인식여부를 통하여 형성한 격자의 확률분포에서 거리센서로부터의 빈 공간에 해당하는 격자영역을 제외시켜 태그의 존재 확률영역을 좀 더 구체화시킬 수 있다.

III. 상황 처리기

1. 상황처리를 위한 정량적 인자

다양한 태그의 인식상황에서 유연하게 위치추정을 하기 위해서는 환경에 따라 추정기법을 변화시키는 상황 처리기가 필요하다. 로봇의 직진주행 정도와 태그 인식여부에 대한

측정 데이터의 질적 수준을 정량화된 지수로 나타내고 이를 바탕으로 판단하는 기준을 설정할 수 있다.

첫 번째 인자는 로봇 직진주행지수(C_1)로서 태그 인식영역을 로봇이 이동할 때, 어느 정도로 직선 주행하였는지를 정량적으로 나타낸다. (8)에서 $\theta(i)$ 는 상대 좌표계 상에서 이동로봇의 방위각이며 N 은 태그인식 영역 안에서의 총 관측 횟수를 나타낸다. 상대 좌표계의 원점에서 로봇 방위각은 항상 90(deg)가 되며 직진주행지수가 작을수록 이동로봇의 주행이 직선에 근접한 형태임을 의미한다.

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^N |\theta(i) - 90^\circ|}{N} \quad (8)$$

두 번째 인자는 측정데이터의 평균 인식률(C_2)이다. 로봇은 태그가 인식되는 한 지점에서 리더기의 안테나를 회전시켜 분해능 각도단위로 모든 방향에 대한 인식여부를 측정한다. 그리고 전체 360(deg)의 범위에서 어느 정도를 차지하는지를 인식률로써 나타낸다. 태그 인식영역에서 이러한 인식률의 총 평균을 구하면 측정 데이터들의 전체적인 인식량을 짐작할 수 있다. 따라서 평균 회전 인식률이 높을수록 상대적으로 데이터의 신뢰도가 높다는 것을 의미한다.

$$C_2 = \frac{\sum_{i=1}^N Pr_{iden}(i)}{N} \quad (9)$$

세 번째 인자는 높은 인식률과 낮은 인식률의 데이터가 전체 데이터에서 차지하는 비율을 나타내는 분포지수(C_3)이다. 측정데이터를 높은 인식률과 낮은 인식률의 범위를 설정하여 이들이 전체 데이터에서 차지하는 비율을 각각 나타낸다. 평균 인식률이 전체적인 인식량을 나타낸다면 이 인자는 특정 범위의 인식률 데이터가 차지하는 비중을 알 수 있다.

$$C_3 = \left[\begin{array}{l} \frac{Num\ of\ \{H_{min} < Pr_{iden}(i) < H_{max}\}}{N} \quad - \text{(고분포지수)} \\ \frac{Num\ of\ \{L_{min} < Pr_{iden}(i) < L_{max}\}}{N} \quad - \text{(저분포지수)} \end{array} \right] \quad (10)$$

2. 상황 처리기의 설계

상황 처리기는 정량적 인자인 직진주행지수, 평균 회전 인식률, 그리고 분포지수를 이용하여 그림 6에 도식화한 판단 기준을 통하여 구현된다.

우선 태그 인식영역 안에서 측정된 각 방향에 대한 인식여부 데이터를 이용하여 판단을 위한 정량적 인자를 구한다. 상황 처리기에서는 평균 인식률을 통해 충분한 인식률의 측정 데이터인지를 판단하게 된다. 만약 충분하지 못한 평균 인식률이라면 저분포지수를 살펴보고 최종적으로 추정기법을 선택하게 되는데 저분포지수가 작으면 인식 방향성을 이용하고 저분포지수가 크면 최대인식거리를 이용한 확률기법을 적용하게 된다. 그러나 충분한 평균 인식률이라고 판단되

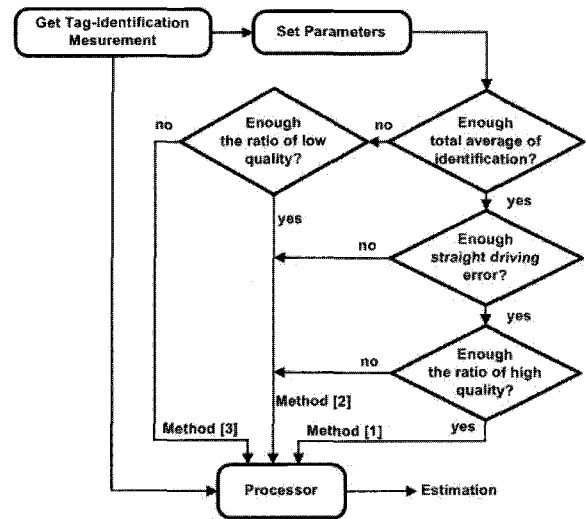


그림 6. 상황처리기의 순서도.
Fig. 6. Flow chart of the condition processor.

면 직진주행지수와 고분포지수를 모두 만족하는지 고려하여 최종적인 추정기법을 선택하여 수행하게 된다. 이때, 직진주행지수가 충분히 작고 고분포지수가 높은 경우라면 리더기 모델 기반 추정기법을 적용하는 것이 효과적이며 그 이외의 경우에는 인식 방향성을 이용한 추정기법을 수행하도록 하였다.

IV. 이동로봇의 자기위치추정

이동로봇과 태그와의 상대관계가 도출되면 태그의 절대좌표 및 절대방위를 통하여 이동로봇의 현재 위치영역을 추정해 볼 수 있다. 이 때, 이동로봇의 절대 위치추정 정도는 상대관계에서 태그위치와 방위를 어느 정도로 추정하였는가에 영향을 받는다. 리더기의 인식모델기반 추정기법을 적용하게 되는 경우, 이동로봇에 대한 상대적인 태그위치와 방위를 충분히 추정할 수 있다. 이때, 거리센서로부터 형성된 지형선과의 경계조건을 충족시키면 태그의 방위를 정확히 추정할 수 있으며 경계조건을 충족시키지 못하더라도 인식분포도를 이용하여 대략의 범위를 예측할 수 있다. 따라서 전역 지도상에서 로봇의 절대위치와 방위를 구체적으로 추정할 수 있다. 한편, 인식 방향성과 최대인식 원을 이용하는 확률기반의 추정기법을 적용하는 경우, 거리센서의 지형정보를 이용하지 않고는 태그의 방위를 추정하는 것이 어렵다. 태그의 분포영역이 좁을 때에는 태그위치를 대표하는 존재영역의 무게중심이 지형선과의 경계조건을 충족시키면, 태그 방위추정이 가능하며 경계조건을 충족시키지 않으면, 방위추정이 힘들기 때문에 모든 태그의 방위를 고려하여 로봇의 절대위치를 추정해야 하는 한계가 있다.

실내환경의 전역지도로부터 주어진 태그의 상태변수인 위치와 방위를 다음과 같이 표현한다.

$$tag_g = [x_{g,t}, y_{g,t}, \theta_{g,t}]^T \quad (11)$$

그리고 제안한 추정기법을 통하여 도출된 상대 좌표계에서의 태그 상태변수와 로봇 상태변수는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} tag_r &= [x_{r,t} \ y_{r,t} \ \theta_{r,t}]^T \\ robot_r &= [x_{r,r} \ y_{r,r} \ \theta_{r,r}]^T \end{aligned} \quad (12)$$

먼저 상대 좌표계에서 태그를 중심으로 현재의 로봇 좌표를 $(\theta_{g,t} - \theta_{r,t})$ 만큼 회전 이동 시킨다. 그리고 전역 지도상의 태그 좌표만큼 평행이동을 하게 되면 전역 지도상에서 현재 이동 로봇의 위치를 구할 수 있다. 이러한 과정을 좌표 변환을 이용하여 유도하게 되면, 전역 지도상의 로봇 상태변수는 다음 (13)과 같이 정리된다.

$$[x_{g,r} \ y_{g,r} \ \theta_{g,r}]^T = \begin{bmatrix} x_{g,t} + (x_{r,r} - x_{r,t})\cos(\theta_{g,t} - \theta_{r,t}) - (y_{r,r} - y_{r,t})\sin(\theta_{g,t} - \theta_{r,t}) \\ y_{g,t} + (x_{r,r} - x_{r,t})\sin(\theta_{g,t} - \theta_{r,t}) + (y_{r,r} - y_{r,t})\cos(\theta_{g,t} - \theta_{r,t}) \\ \theta_{g,t} + (\theta_{r,r} - \theta_{r,t}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

V. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 이동 로봇의 자기위치 추정기법을 검증하기 위해 Smart Robot사의 SR4-B 이동 로봇에 13.56 MHz 주파수의 STS2000 RFID 리더기를 장착하여 사용하였다. 그리고 지형선 파악을 위한 거리 센서로는 영국 Robot Electronics사의 SRF04 초음파 센서 모듈을 12조 사용하여 30(deg) 간격으로 배치하였다. 이동 로봇의 하위 컨트롤러로부터 두 바퀴의 엔코더 데이터와 12조의 초음파 센서를 통한 거리 데이터, 리더기로부터 태그의 단위각도에 대한 인식 여부 데이터가 RS-232 통신으로 PC로 전송된다.

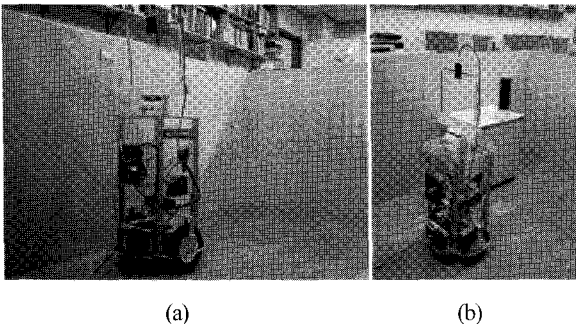


그림 7. 실험 환경.
Fig. 7. Experimental environment.

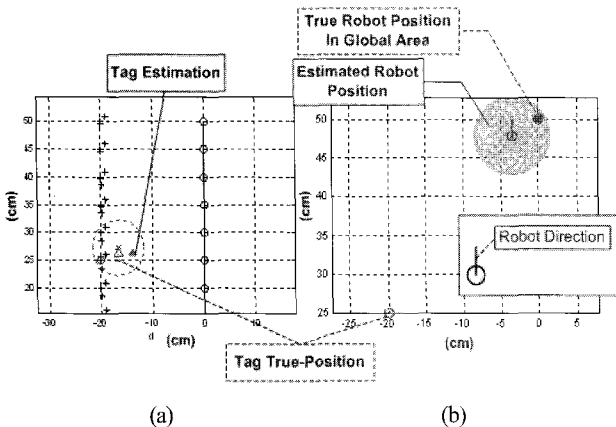


그림 8. 실험 1에 대한 추정 결과(1).
Fig. 8. Estimation result 1 from experiment 1.

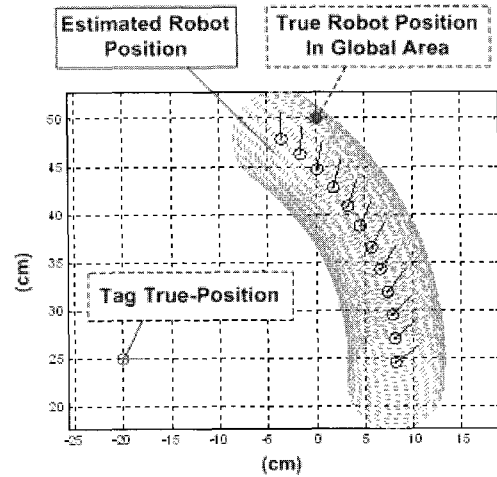


그림 9. 실험 1에 대한 추정 결과(2).
Fig. 9. Estimation result 2 from experiment 1.

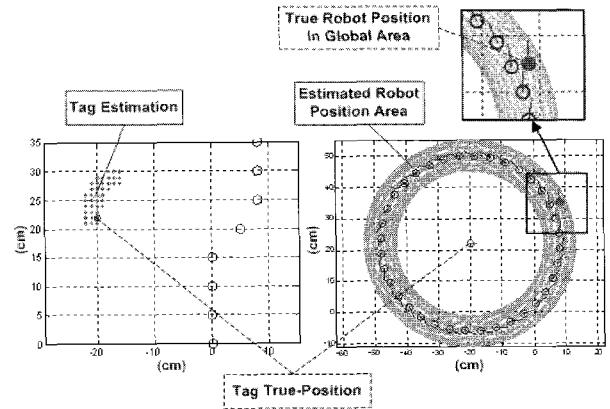


그림 10. 실험 2에 대한 추정 결과.
Fig. 10. Estimation result from experiment 2.

첫 번째 실험은 리더기 회전에 대한 인식 모델 기반의 추정 기법과 초음파 거리 센서와의 융합을 통하여 이동 로봇의 절대 위치를 추정한 결과이다.

그림 8의 [a]에서 보는 바와 같이 상대 좌표계상에서 태그 위치와 방향을 모두 추정 가능할 수 있으며 그림 8의 [b]에서 볼 수 있듯이 실제 이동 로봇의 위치 및 방향이 추정한 위치 및 방향과 거의 일치한다는 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 동일한 실험 환경에서 초음파 센서에 의한 거리 데이터를 융합하지 않은 경우의 추정 결과를 보여주고 있다. 거리 데이터를 융합한 경우보다 추정 범위가 좀 더 넓어짐을 확인할 수 있다.

두 번째 실험은 초음파 센서 데이터를 사용하지 않고 이동 로봇의 직진 주행에 제약을 받은 경우에 대한 추정 결과이다. 상황 처리기에 의해 인식 방향성을 이용한 확률 기반의 추정 기법이 적용되었다. 결과를 살펴보면 그림 10의 [a]에서 태그 추정 영역 안에 실제 태그가 존재함을 알 수 있다. 이동 로봇의 위치 추정을 위하여 분포 영역의 무게 중심이 이용되었고 이동 로봇이 존재 가능한 영역을 그림 10의 [b]에서 보여주고 있다. 이와 같은 경우 태그의 방향 각도를 알 수 없기 때문에 태그의 모든 방향에 대해 고려하게 되며 실제 이동 로봇의 위

치는 추정된 이동로봇의 위치와 방위들 중의 하나와 거의 일치함을 알 수 있다.

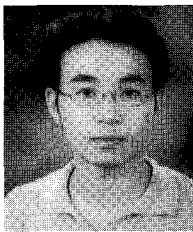
VI. 결론

본 논문에서는 정적인 RFID 수동 태그를 이용하여 가변적으로 적용되는 이동로봇의 위치추정 기법에 대하여 제안하였다. 제안한 기법들은 RFID 리더기의 인식모델과 회전인식에 대한 방향성, 그리고 최대인식 거리, 등을 이용하여 추정하도록 하였다. 태그 인식범위 내에서 이동로봇의 주행 경로와 회전 인식률을 이용하여 직진주행지수, 평균 인식률, 분포지수의 세 가지 판단인자를 정의하고 정량화하였으며, 이를 바탕으로 추정기법들을 가변적으로 적용시키는 상황 처리기를 설계하였다. 또한 추정의 정확도를 향상하기 위해 거리센서와의 융합기법도 제시하였다. 다양한 환경에서의 실험으로부터 제안된 지능적 위치추정기법이 상황에 맞게 추정범위를 변화시키며 로봇의 위치와 방위를 추정한다는 것을 확인하였다. 향후 연구에서는 단일한 수동태그가 아닌 여러 개의 태그와 태그에 저장된 공간과 물체에 대한 정보를 이용하여 추정하는 기법에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

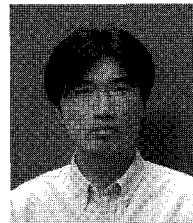
[1] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin and M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and*

Automation, vol. 1, pp. 1015-1020, May, 2004.
 [2] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson and S. Pavithran, "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, Sept-Oct, 2004.
 [3] O. Kubitz, M. O. Berger, M. Perlick, and R. Dumoulin, "Application of radio frequency identification devices to support navigation of autonomous mobile robots," *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 126-130, May, 1997.
 [4] 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," *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 4, pp. 3756-3761, September, 2004.
 [5] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, A Bradford Book, 2004.
 [6] K. Finkenzeller, *RFID Handbook : Radio-Frequency Identification Fundamentals and Application*, Wiley, 2000.
 [7] G. Kantor and S. Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1818-1823, May, 2002.
 [8] 지용관, 문승욱, 박장현, "RFID의 확률적 센서모델을 이용한 위치추정 알고리즘," 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문요약집, pp. 296, June. 2005.



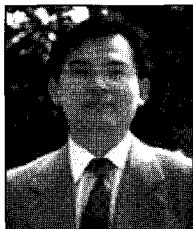
문 승 욱

2004년 아주대학교 기계 및 산업공학부 졸업. 2004년~현재 한양대학교 대학원 기계설계학과 석사과정 재학중. 관심분야는 임베디드 시스템 설계, 비선형제어.



지 용 관

2001년 아주대학교 기계 및 산업공학부 졸업. 2001년~현재 한양대학교 대학원 기계설계학과 박사과정 재학중. 관심분야는 임베디드 시스템 제어, 임베디드 시스템 설계.



박 장 현

1983년 서울대학교(공학사). 1985년 서울대학교(공학석사). 1992년 MIT(공학박사). 1994년~현재 한양대 기계공학부. 관심분야는 지능제어, 로봇공학.