

# 3D RFID 시스템을 이용한 사물 인식

## Object Recognition Using 3D RFID System

노세곤, 이영훈, 최혁렬\*  
(Se-gon Roh, Young Hoon Lee, and Hyouk Ryeol Choi)

**Abstract :** Object recognition in the field of robotics generally has depended on a computer vision system. Recently, RFID(Radio Frequency IDentification) has been suggested as technology that supports object recognition. This paper introduces the advanced RFID-based recognition using a novel tag which is named a 3D tag. The 3D tag was designed to facilitate object recognition. The proposed RFID system not only detects the existence of an object, but also estimates the orientation and position of the object. These characteristics allow the robot to reduce considerably its dependence on other sensors for object recognition. In this paper, we analyze the characteristics of the 3D tag-based RFID system. In addition, the estimation methods of position and orientation using the system are discussed.

**Keywords :** RFID, tag, mobile robot, object recognition

### I. 서론

어떤 대상이나 물체가 존재한다면 그것이 무엇인지 간에 이해한다거나 상상할 수 있다. 그러나 존재하지도 않은 대상에 대해서는 생각할 수조차 없다. 즉, 어떤 대상에 대한 반응은 전적으로 그 존재에 대한 인식(recognition)에 기반을 두고 있다. 사람에게 있어서, 인식은 경험, 학습, 추정 등을 통해 실시간으로 이루어진다. 반면에, 자동화 시스템(autonomous system)에 있어서의 인식은 감지(sensation), 인지(perception), 인증(identification)의 과정을 통해 이루어진다. 예를 들어, CCD 카메라와 같은 시각센서(vision sensor) 시스템은 광학적인 자극에 반응하여 물체의 이미지(image)를 얻는 감지과정이 발생하고, 그 감지를 통해 얻은 광학적 데이터를 이용하여 사물의 형상을 추정하는 인지과정이 수행된다. 마지막 단계는 목표물을 데이터베이스내의 사물들의 형상과 비교함으로써 그것이 무엇인지를 파악하는 인증(identification)과정이다. 이러한 인식은 로봇과 같이 스스로 어떤 대상에 반응하여 작업을 수행해야 하는 시스템에 있어서는 반드시 필요한 기술이다.



그림 1. 임무 수행을 위한 사물인식.  
Fig. 1. Recognition for executing a task.

그림 1에서와 같이 로봇이 어떤 임무를 수행하고 있다고 가정해 보자. 이 로봇은 초음파 센서(ultrasonic sensor), 시각 센서(vision sensor), 레이저 레인지 파인더(laser range finder)등을 장착하고 있다. 첫 번째 임무는 방을 청소하는 것이다. 로봇은 탑재한 센서들을 이용한 감지, 인지, 인증단계를 수행하여 각각의 사물을 청소할 대상인지 그대로 두어야 할 대상인지를 구분하여 적절하게 분류할 것이다. 이러한 인식 과정에 있어, 가장 시간을 요하게 되는 작업은 각각의 사물들이 무엇인지를 판단하는 것이다. 청소하는 도중 핸드폰을 찾아서 가져오라는 명령에 있어서도 많은 사물 중에 핸드폰이란 목표물(target)을 가려내는 것은 쉽지 않다. 더군다나 핸드폰이 다른 사물들 때문에 가려져있더라도 한다면 로봇은 핸드폰이 방안에 존재하지 않는다는 잘못된 결론을 내릴 것이다.

RFID 기술을 이용할 경우 이러한 인증과정을 간단하지만 효과적으로 수행할 수 있다[2-8]. 동일한 상황의 명령 수행과정에서 각각의 사물에 RFID 태그(tag)가 내장되었다고 한다면, 태그는 그 사물의 특성과 정보를 알려줄 수 있기 때문에 로봇은 각각의 사물의 청소여부를 쉽게 결정할 수 있을 것이다. 핸드폰을 찾는 과정에 있어서도 다른 센서들로는 감지 못하는 핸드폰의 존재를 파악하고 찾기 시작할 것이다. 그러나, 목표물의 위치를 파악하는 과정은 여전히 다른 센서들을 이용하기 때문에 [9-11] 다른 물체에 의해 핸드폰이 가려져있다면 여전히 핸드폰을 찾는 과정은 쉽지 않다.

제안하는 3D RFID 시스템은 3D 태그라고 명명한 새로운 태그를 사용한다. 그림 2(a)에서 보여지는 바와 같이 각각의 사물에는 3D태그가 내장되어 있다고 하자. 이 3D 태그를 로봇이 감지하게 되면 각각의 물체의 특성을 알 수 있는 인증과정이 바로 수행된 것을 의미한다. 3D 태그는 물체에 내장되어 있고 그림 2(b)에서처럼 3D태그의  $x, y, z$  축이 물체의  $x, y, z$  축과 동일하므로 3D 태그의 위치와 자세를 추정하는 것은 물체의 위치와 자세를 추정하는 것과 동일한 결과를 얻는다. 인증과정을 통해서 물체가 무엇인지를 이미 알았으므로 로봇의 모델 데이터베이스(model database)에 가지고 있는 목표물의 모양과 크기를 바탕으로 실제 목표물의 위치와 자세를 추정하는 과정은 매우 쉽게 된다. 따라서 로봇은 다른

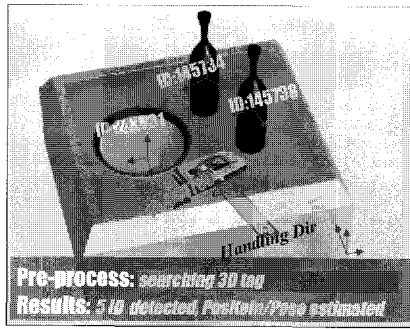
\* 책임저자(Corresponding Author)

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

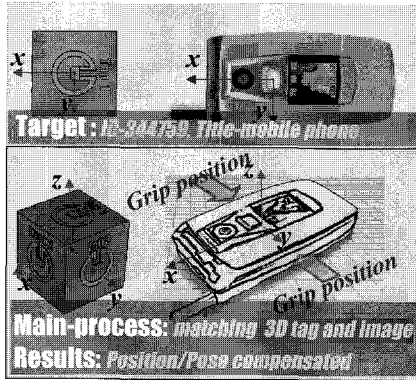
노세곤, 이영훈, 최혁렬 : 성균관대학교 기계공학부

(robotian@me.skku.ac.kr/vsmyself@me.skku.ac.kr/hrchoi@me.skku.ac.kr)

※ 이 논문은 2005년 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.



(a)



(b)

그림 2. 제안하는 아이디어. (a) 물체 인식을 위한 사전 과정, (b) 물체 인식의 주 과정.

Fig. 2. The proposed Idea. (a) preliminary process for object recognition, (b) main process for object recognition.

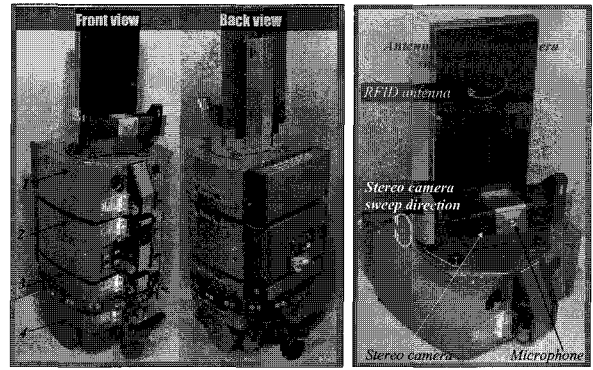
사물 감지를 위한 일련의 작업들을 생략하고 바로 목표물인 핸드폰으로 접근할 수 있다. 본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. II장에서는 제안하는 RFID 시스템의 구조와 특성, 3D 태그의 구성요소의 특성에 대해 설명하고, 이에 따른 실험결과를 소개한다. III장에서는 이러한 실험을 바탕으로 3D태그의 기본 이론과 구현 원리에 대하여 논의하며 IV장에서는 로봇이 3D태그를 이용하여 사물의 위치와 자세를 추정하는 알고리즘과 그 실험결과를 기술한다.

**II. 3D RFID 시스템의 특징**

제안하는 3D RFID 시스템은 사물의 위치와 자세를 사물에 장착된 3D 태그를 이용하여 추정한다. 이것이 가능한 이유는 안테나와 태그간의 RF(radio frequency)의 전파적인 특성 때문이다. 이 장에서는 이러한 특성을 설명한다. 먼저 제안하는 시스템을 소개하고, 이 시스템을 이용하여 얻어진 안테나와 태그간의 특성에 대한 모델과 실험결과를 보여준다.

**1. 3D RFID 시스템의 구성**

3D RFID 시스템은 태그를 감지하기 위한 안테나와 리더(reader)로 구성되어 있다. 이러한 시스템은 그림 3(a)에서와 같이 4개의 모듈로 구성되어 있는 DRP I (*Dynamically Reconfigurable Personal Robot I*)의 인식모듈(recognition module)에 장착되어 있다[12]. 그림 3(b)의 인식모듈은 효과적인 사물 인식을 위해 스테레오 비전 등을 장착하고 있다.



(a)

(b)

그림 3. 3D RFID 기반 로봇. (a) 로봇의 모듈, 1,2,3,4는 인식, 중계, 센서, 이동 모듈, (b) 인식 모듈의 구조.

Fig. 3. 3D RFID-based robot. (a) modularization of robot, 1,2,3, and 4 represent recognition, arbiter, sensor, and mobile module, respectively, (b) structure of recognition module.

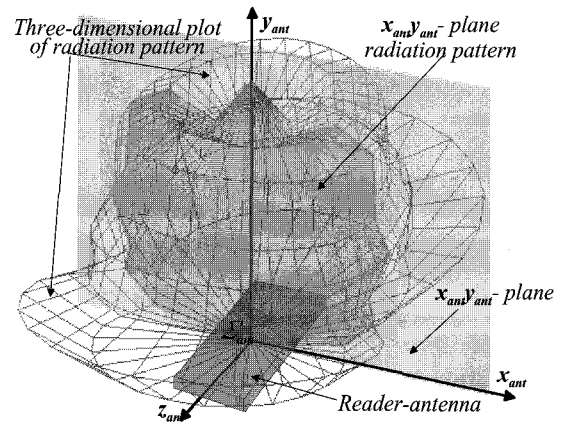


그림 4. RFID 안테나의 방사 패턴.

Fig. 4. Radiation pattern of an RFID antenna.

**2. 3D RFID 시스템의 인식 범위**

안테나는 그림 3(b)에서와 같이 구동기에 의해 회전이 가능하도록 설계되어있고, 그림 4에서와 같이 단일 지향성의 감지 범위를 가지도록 되어있다. 3D 태그는 그림 5(a)와 같은 다이폴 안테나(dipole antenna)를 가진 몇 개의 수동 태그(passive tag)들로 구성되어 있다. 이 태그는 자체 내에 전력을 가지고 있지 않으므로 안테나에서 보내는 RF 신호(signal), 즉 전자기파(electromagnetic wave)에 의해 전력을 얻게 된다. 작동을 위한 전력을 얻기 위해서 태그는 전자기파에 의해 감지 가능한 각도와 거리 범위 내에 위치하여야 한다. 만일 태그가 감지 거리 내에 있음에도 불구하고 감지 각도가 범위 밖으로 벗어난다면, 리더기는 이 태그를 감지할 수 없게 된다. 이러한 안테나와 태그간의 감지 특성이 3D 태그의 기본 원리가 된다. 이 감지특성을 실제로 이용하기 위하여 3D RFID 시스템이 DRP I 에 장착되었을 때의 안테나의 감지 범위를 알아야만 한다. 이를 위한 (2000mm×3000mm×1000mm)의 공간에서의 실험은 그림 5(c)에서 볼 수 있는 6축 매니퓰레이터(6-axis manipulator)가 사용되었다.

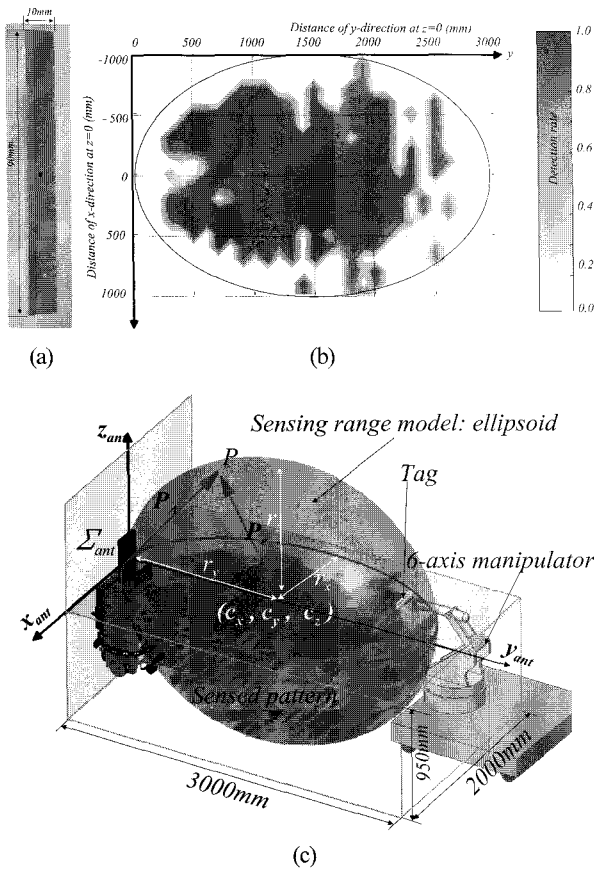


그림 5. 감지 영역 모델. (a) 작은 양극 안테나 태그, (b)  $z=0$ 에서의 RFID 안테나의 인식 범위 패턴, (c) 인식범위 모델.  
 Fig. 5. Sensing range model. (a) tag with small dipole antenna. (b) read range pattern of RFID antenna at  $z=0$ , (c) model of sensing range.

실험에 의해 얻은 안테나의 감지범위는 시뮬레이션을 통하여 얻었던 범위와 유사한 지향적 특징을 가진다. 그림 5(b)는 안테나와 같은 높이( $z=0$ )에서의 안테나에 의한  $x$ -평면내의 태그의 감지영역을 나타낸다. 영역내의 짙은 부분은 태그의 인식률(detection rate)이 높음을 의미한다. 측정공간내의 태그의 위치에 따른 전체 감지영역은 그림 5(c)에서 볼 수 있다. RFID 시스템의 감지영역은 주위 환경에 따라 조금씩 변화할 수 있기 때문에 감지 가능성을 가진 모든 영역을 배제하지 않도록 감지 영역을 모델링 하였다. 실험 결과에 의하면, 이 RFID 시스템의 감지 범위는 타원체로 모델링이 가능하다. 방정식은 (1)과 같다. 여기서 타원체의 중심을 기준좌표축  $\Sigma_e$  로 설정하면  $(c_x, c_y, c_z)$  는 타원체의 중심좌표이고  $r_x, r_y, r_z$  는 타원의 반지름이다.

$$\frac{(x_e - c_x)^2}{r_x^2} + \frac{(y_e - c_y)^2}{r_y^2} + \frac{(z_e - c_z)^2}{r_z^2} = 1. \quad (1)$$

여기서,  $c_x = 0, c_y = 1350, c_z = 0, r_x = 700, r_y = 1350, r_z = 1000$  이다. 이 타원체 모델은 로봇의 위치와 안테나의

지향각에 따른 로봇 좌표계로 계산하기 위하여 다음과 같이 표현될 수 있다. 구면 좌표계를 이용하여 타원체 중심을 기준으로 타원체내에 위치 벡터  $\mathbf{p}_e$  를 구하면 (2)와 같이 된다.

$$\mathbf{P}_e(\varphi_e, \phi_e) = \begin{bmatrix} |\mathbf{P}_{x_e}| \cdot \cos \varphi_e \sin \phi_e \\ |\mathbf{P}_{y_e}| \cdot \sin \varphi_e \sin \phi_e \\ |\mathbf{P}_{z_e}| \cdot \cos \phi_e \end{bmatrix}. \quad (2)$$

여기서  $\mathbf{p}_{x_e}, \mathbf{p}_{y_e}, \mathbf{p}_{z_e}$  는  $\mathbf{p}_e$  의  $x_e, y_e, z_e$  방향의 성분 벡터이다 ( $|\mathbf{p}_{x_e}| \leq r_x, |\mathbf{p}_{y_e}| \leq r_y, |\mathbf{p}_{z_e}| \leq r_z$ ).  $\varphi_e$  는  $x_e$  축으로부터  $x_e y_e$  평면상의 방위각이며,  $\phi_e$  는  $z_e$  축으로부터 측정된 위치 벡터의 각도(polar angle)를 의미한다( $0 \leq \varphi_e \leq 2\pi, 0 \leq \phi_e \leq \pi$ ) 이다. 안테나 중심에서 기준 좌표계를  $\Sigma_{ant}$  로 설정한다면 타원체 내의 위치벡터는 아래의 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{P}_A = \mathbf{C}_A + \mathbf{P}_e(\varphi_e, \phi_e). \quad (3)$$

여기서,  $\mathbf{C}_A$  는  $\Sigma_{ant}$  의 원점에서  $\Sigma_e$  의 원점까지의 변위벡터이다.

### 3. 태그의 감지 가능한 자세

일반적으로 RFID에 사용되는 모든 태그의 인식률은 안테나와 감지거리 내에 존재하는 태그와의 자세에 따라 다르다. 저자는 3D 태그의 감지특성을 정의하기 위하여 3D태그의 구성요소인 '다이폴 안테나형 태그의 자세에 따른 인식률을 측정하였다. 안테나와 태그의 좌표계를  $\Sigma_{ant}, \Sigma_{tag}$  로 설정한다면 이 두 좌표계사이의 관계는 그림 6에서와 같이 벡터  ${}^{ant}\mathbf{P}_{tag}$  로 나타낼 수 있다. 그림 6에서  $\alpha, \beta, \gamma$  는  $\Sigma_{tag}$  좌표계의  $x_{tag}, y_{tag}, z_{tag}$  축 중심의 회전각도에 따른 태그의 감지 가능한 각도범위를 나타내고 있으며, 각각 태그의 피치(pitch), 요(yaw), 롤(roll)를 의미한다. 측정결과는 그림 7(a), (b), (c)와 같다.

그림 7에서와 같이, 태그의 자세에 따른 감지 가능한 각도범위는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &[-180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ], \\ &[-45^\circ \leq \beta \leq 45^\circ, 135^\circ \leq \beta \leq 225^\circ], \\ &[-45^\circ \leq \gamma \leq 45^\circ, 135^\circ \leq \gamma \leq 225^\circ]. \end{aligned} \quad (4)$$

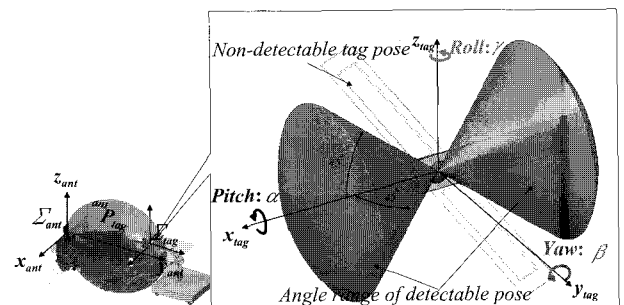


그림 6. 감지 가능한 태그 자세.  
 Fig. 6. Detectable tag orientation.

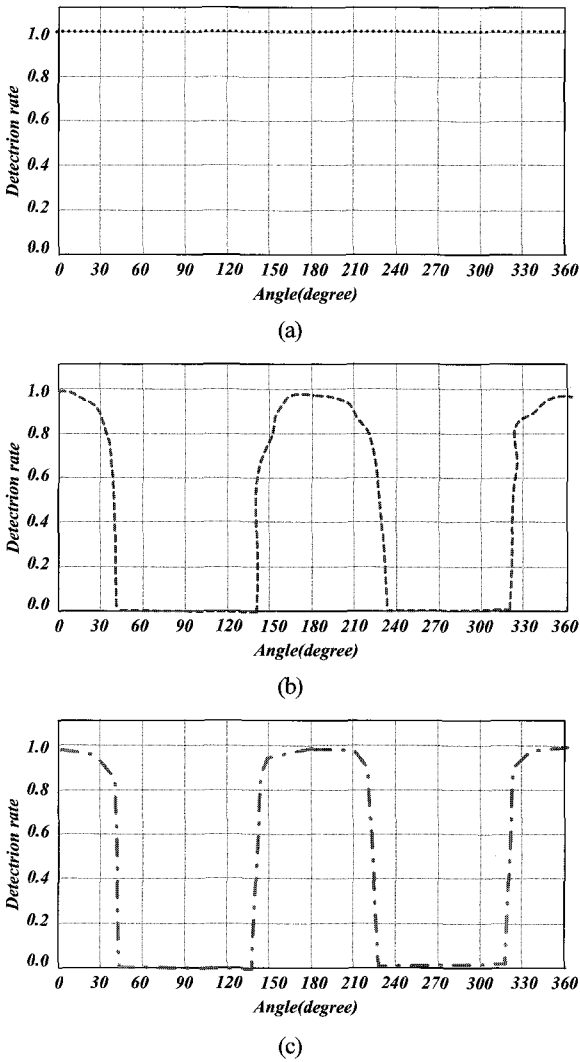


그림 7. 태그의 감지 가능한 각도 범위. (a) 피치, (b) 요, (c) 롤.  
Fig. 7. Detectable angle range of a tag. (a) pitch, (b) yaw, (c) roll.

이와 같은 결과는 다이폴 안테나형 태그는 피치에 관계 없이 항상 동일하게 감지되고 롤이나 요에 대해서는 특정각도를 벗어나면 태그가 감지되지 않는다는 것을 뜻한다. 3D 태그는 이러한 감지특성을 가진 태그를 여러개 조합하여 구성함으로써 각각의 태그의 감지유무를 통하여 3D 태그의 자세를 추정한다. 결국, 제안하는 RFID 시스템은 3D 태그가 장착된 사물이라면 3D 태그의 자세가 곧 그 사물의 자세를 의미한다는 원리를 이용한 것이다.

III. 3D태그: 유니언 태그

3D 태그는 몇 개의 태그로 구성되어있다. 이 각각의 태그를 3D 태그의 구성요소라는 측면에서 태그 유닛(tag unit)이라 명한다. 이러한 3D 태그는 여러 형태로 개발될 수 있다. 본 논문에서는 3D 태그 중 유니언 태그(union tag)에 대하여 소개한다.

그림 8에서는 정육면체의 6개의 모서리에 다이폴 안테나형 태그들이 부착되어 있는 유니언태그의 모습을 보여주고 있다. 이러한 태그 유닛의 배치와 구성은 유니언 태그가 안테나가 감지할 수 있는 영역에서는 적어도 하나의 태그 유닛

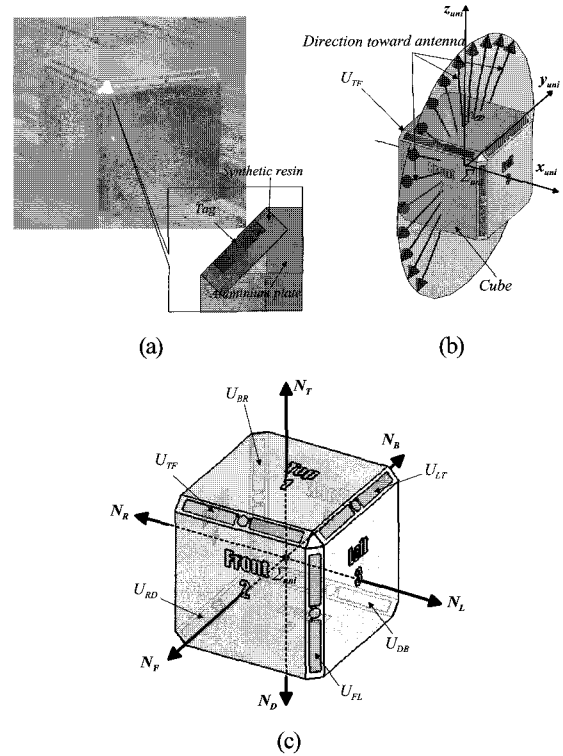


그림 8. 유니언 태그. (a) 유니언 태그 프로토타입, (b)  $U_{TF}$  가 감지 가능한 안테나의 방향, (c) 유니언 태그 명칭.  
Fig. 8. Union tag. (a) prototype of a union tag. (b) antenna direction capable of detecting  $U_{TF}$ , (c) notation of a union tag.

을 감지 할 수 있으므로 전방향 감지 특성을 갖게 된다. 이러한 전방향성 감지 특성은 일반적인 태그가 자세에 따라 감지 못하게 되어 태그의 위치 측정을 실패하는 것을 방지한다. 그리고 정육면체의 표면은 차폐되어 있기 때문에 피치(pitch) 각도에 따라 태그의 감지 유무를 제한하지만 롤(roll), 요(yaw)의 각도에 따른 감지는 제한하지 않게 설계되었다. 이러한 구조가 유니언 태그의 자세를 추정할 수 있게 되는 요인이 된다. 예를 들어, 그림 8(b)에서는 6개의 태그 유닛 중 하나인 태그 유닛  $U_{TF}$  를 안테나가 감지하고 있는 상황을 보여주고 있다. 이런 경우 안테나의 방향은  $180^\circ$  이내의 각도에 위치하고 있음을 알 수 있다. 즉,  ${}^{ant}P_{tag}$  의 방향은  $x_{tag}$  축과 수직인 방향 중  $180^\circ$  영역 내에만 존재한다. 여기서  $U_{TF}$  의 아래첨자인  $T, F$  는 각각 윗면(top), 정면(front)를 의미하며  $U_{TF}$  는 윗면과 정면 사이의 태그 유닛을 지칭한다. 이와 마찬가지로 그림 8(c)의  $U_{FL}, U_{LT}, U_{DB}, U_{BR}, U_{RD}$  는 각각 정면(front)과 좌측면(left), 좌측면(left)과 윗면(top), 밑면(down)과 후면(back), 후면(back)과 우측면(right), 우측면(right)과 밑면(down) 사이의 태그 유닛을 의미한다.

이러한 유니언 태그의 특징이 어떻게 사물의 자세를 추정하기 위해 사용되는지에 대해 알아보자. 그림 9(a)에서 볼 수 있듯이, 일반적으로 어떤 사물이 한 면에 대해  $90^\circ$  씩 회전해서 놓여있다고 하면 한 면당 4가지의 자세를 가질 수 있고, 사물은 총 24가지의 자세를 가지고 있다고 할 수 있다(물론

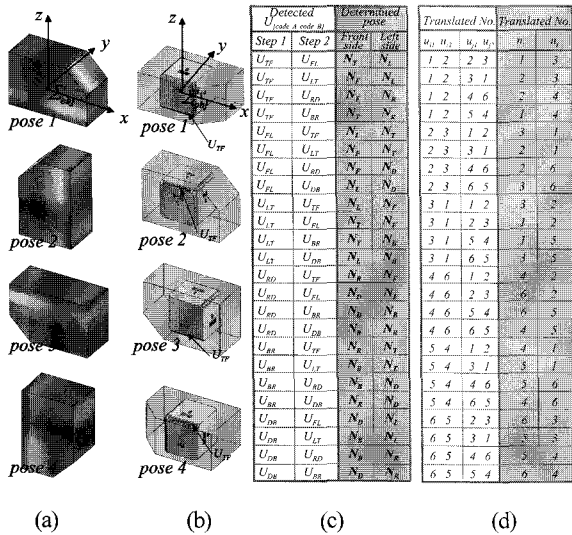


그림 9. 3D 태그와 사물의 자세 관계. (a) 일반사물의 자세, (b) 3D 태그 내장 사물, (c) 자세 추정, (d) 자세추정을 위한 변환.

Fig. 9. Pose relation of 3D tag and object. (a) orientation of normal object, (b) object with built-in 3D tag, (c) pose estimation, (d) translation for pose estimation.

더 작은 각도로 구분한다면 무수히 많은 자세로 표현될 수 있으나 본 논문에서는 간략화 하여 소개한다. 이와 같은 구분은 우리가 보통 사물의 자세를 정면, 후면, 밀면, 윗면, 좌측면, 우측면과 같이 90° 씩 구분하여 표현한다는 점에서 유용한 자세의 정의이다. 유니언 태그를 장착한 사물의 자세를 구분함에 있어서도 마찬가지로 24가지의 자세로 표현될 수 있다. 예를 들어, 만일  $U_{TF}$  태그 유닛이 RFID 안테나에 의해 감지된 상황에서 사물의 자세는 그림 9(b)와 같이 4가지의 경우로 나눌 수 있다(태그 유닛은 6개이므로 총 24가지이다). 즉, 사물의 윗면 또는 정면 부분이 안테나를 향하고 있는 자세가 4가지라는 의미이다. 그러므로 24가지의 경우 중 한가지에 사물의 자세가 해당됨을 결정하려면 하나의 태그 유닛을 감지하는 것으로는 확정할 수 없다. 적어도 두 개의 태그 유닛을 감지하여 자세를 결정한다. 예를 들어, 그림 8(b)에서 보이는 유니언 태그 기준 좌표계에서 RFID 안테나가 유니언 태그의  $-y_{uni}$  축 상에서 유니언 태그를 감지하고, 다시  $x_{uni}$  축 상에서 감지하면, RFID시스템은  $U_{TF}$ ,  $U_{LT}$  태그 유닛들을 순서대로 감지하게 될 것이다. 이것은 시스템이 유니언 태그의 정면을 의미하는  $N_F$ 와 좌측면  $N_L$ 을 감지하였음을 말한다. 여기서  $N_F$ ,  $N_L$ 은 각각 정면과 좌측면의 수직인 벡터이다. 그림 9(c)에서는 이러한 24가지 경우를 보여주고 있으며 각 경우에 따라 유니언 태그를 장착한 사물의 자세를 결정하고 있다. 이와 같은 모든 경우를 수식화 하기 위하여 다음과 같이 정의한다.  $U_i$ 는 처음 감지된 태그 유닛을,  $U_j$ 는 두 번째로 감지된 태그 유닛을 말한다.  $U_i = (i1, i2)$ ,  $U_j = (j1, j2)$ 에서 각 항들은 처음과 두 번째로 감지된 태그 유닛의 아래첨자를 뜻한다. 각 항들은 1,

2, 3, 4, 5, 6의 숫자이며 각각 아래첨자  $T, F, L, R, B, D$ 를 의미한다(이러한 숫자의 배치는 주사위 면의 숫자배치와 동일하다). 그리고 그림 9(d)에서  $[n_i, n_j]$ 는 처음과 두 번째로 감지된 면을 나타낸다.  $U_i, U_j, [n_i, n_j]$ 의 관계를 수식화 하기 위해 숫자의 조합에 대한 다양한 알고리즘을 시도하였다. 그 결과 얻어진 최적화된 식은 다음과 같다.

$$[n_i, n_j] = \begin{cases} [\min(U_i)\min(U_j)] & \text{if } S_{MM} \leq 7 \text{ or } S_{MM} \geq 9 \\ [\max(U_i)\max(U_j)] & \text{if } S_{mm} = 7 \\ [\max(U_i)\min(U_j)] & \text{if } S_{mM} = 7 \\ [\min(U_i)\max(U_j)] & \text{if } S_{Mm} = 7 \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $S_{MM}, S_{mm}, S_{mM}, S_{Mm}$ 은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} S_{MM} &= \max(U_i) + \max(U_j) \\ S_{mm} &= \min(U_i) + \min(U_j) \\ S_{mM} &= \min(U_i) + \max(U_j) \\ S_{Mm} &= \max(U_i) + \min(U_j) \end{aligned} \quad (6)$$

(5), (6)은 3D 태그를 장착한 사물을 24가지 자세로 구분하는 일반식이다.

#### IV. 사물의 위치와 자세 추정

이 장에서는 3D 태그인 유니언 태그를 이용하여 사물의 자세와 위치를 추정하는 방법을 소개한다. 더불어 이에 따른 실험 결과에 대해 논한다.

##### 1. 위치 추정(position estimation)

그림 10은 로봇의 3D RFID 시스템이 유니언 태그의 위치 추정을 위하여 어떻게 동작하는지를 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 로봇의 인식모듈의 RFID 안테나는 목표물 감지를 위한 스캐닝(scanning)이 가능하도록 안테나를 회전시킬 수 있다. 그림 10(a)의 단계 1에서와 같이 로봇은 안테나를 시계반대방향으로 회전시키면서 스캐닝을 해나가므로 안테나는 최초 각도  $\phi_i$ 에서부터  $\phi_f$ 까지 유니언 태그를 인식하게 된다. 그러므로, 로봇은 단계 1과정에서의 스캐닝을 통하여 유니언 태그가 공통 영역(common area) 1에 위치함을 알 수 있게 된다. 다음 단계에서는 로봇이 두 번째 위치로 이동하여 스캐닝 과정을 반복한다. 이 두 단계를 통하여 3D 태그가 공통영역 3에 있다고 추정할 수 있다. 이러한 3D RFID 시스템을 이용한 위치 추정방법은 센서의 스캐닝을 이용하는 일반적인 위치추정방법과 유사하다. 그러나 3D RFID 시스템은 특정한 사물을 인증하고 위치를 추정할 수 있다는 점에서 일반적인 센서와는 그 의미가 다르다. 예를 들어, 초음파센서를 이용한 위치 추정은 장애물과 벽들의 형상 데이터를 얻기 위해 이용되고 맵핑(mapping)이나 장애물 회피를 위한 불특정 사물의 감지에 유용하다. 하지만 초음파센서는 감지된 사물이 무엇인지 파악할 수 없기 때문에, 특정한 사물을 찾는 것은 까다롭다.

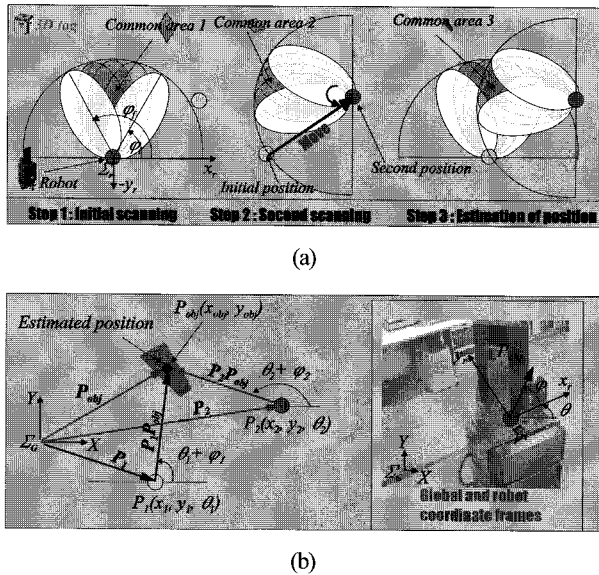


그림 10. 위치추정 알고리즘. (a) 위치추정 과정, (b) 로봇과 목표물의 위치관계.

Fig. 10. Algorithm for position estimation. (a) procedure for position estimation, (b) relations between positions of target and robot.

그림 10(b)는 제안된 시스템과 목표물의 위치관계와 이를 이용한 위치 추정방법을 설명하기 위한 그림이다. 여기서  $\Sigma_G$  와  $\Sigma_r$  은 전체좌표계 및 로봇의 좌표계이다.  $\mathbf{P}_{obj}$  는 전체 좌표계상의 목표물의 위치벡터이고  $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2$  는  $P_1, P_2$  지점에서 로봇의 위치벡터이다.  $\mathbf{P}_{obj}$  는 아래와 같은 관계를 만족한다.

$$\mathbf{P}_{obj} = \mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj} \cdot \quad (7)$$

(7)를 로봇의 자세와 안테나의 방향을 고려하여 표현하면 다음과 같다.

$$\mathbf{P}_{obj} = \begin{bmatrix} x_1 + |\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}| \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1) \\ y_1 + |\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}| \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1) \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서  $\theta_1, \theta_2$  는  $P_1, P_2$  지점에서의 전체 좌표계에서 로봇의 자세 각도이다.  $\varphi_1, \varphi_2$  는  $P_1, P_2$  지점에서 로봇 좌표계를 기준으로 안테나의 지향방향인  $\mathbf{P}_{obj}$  지점을 향하고 있을 때의 각도, 즉  $P_1, P_2$  지점에서의  $x_r$  축과 벡터  $\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}, \mathbf{P}_2\mathbf{P}_{obj}$  와의 각도이다. (8)의  $|\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}|$  는 다음과 같은 관계를 만족시킨다.

$$|\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}| = |\mathbf{P}_1\mathbf{P}_2| \cdot \frac{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \psi)}{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1)} \quad (9)$$

여기서, 로봇이 이동한 거리  $|\mathbf{P}_1\mathbf{P}_2|$  와  $\theta_1, \theta_2$  는 데드레콘(dead reckon)과정에 의해 얻어지고,  $\varphi_1, \varphi_2$  는 각각  $P_1, P_2$  지점에서의  $(\varphi_i + \varphi_f)/2$  이고,  $\varphi_i$  와  $\varphi_f$  를 측정하여 얻어진다.

$\psi = \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$  이고  $x_1, x_2, y_1, y_2$  는 전체 좌표계에서  $P_1, P_2$  에서의 로봇의 위치 성분이므로 알고 있는 값이다. 따라서 (8)은 최종적으로 다음과 같이 얻어진다.

$$\mathbf{P}_{obj} = \begin{bmatrix} x_1 + |\mathbf{P}_1\mathbf{P}_2| \cdot \frac{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \psi)}{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1)} \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1) \\ y_1 + |\mathbf{P}_1\mathbf{P}_2| \cdot \frac{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \psi)}{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1)} \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

(10)은 단계 1, 단계 2의 관계를 이용하여 얻어졌다. 단계 1에서 두 타원체의 공통 영역 1이 정해지므로, 대략적인 목표물과  $P_1$  과의 거리는 단계 1만으로도 추정될 수 있다. 다시 말해서  $|\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}|$  은 (9)에서처럼 관계식으로 얻지 않고  $P_1$  위치에서 공통영역 1까지 측정한 거리를 사용할 수도 있다. 그러나 III장에서 3D 태그의 자세 추정에서 설명했듯이, 3D RFID 시스템은 두 위치에서 물체를 감지해야 하는 특징을 가지고 있으므로  $P_2$  위치에서의 스캔작업은 어차피 필수적이다. 따라서 두 번의 스캔작업을 고려한 (10)을 이용하는 것이 보다 신뢰할 수 있는 결과를 보여준다. 이 식의  $\mathbf{P}_{obj}$  는 물체의 위치정보만을 나타내고 있으며 자세정보까지 포함한 최종적인  $\mathbf{P}_{obj}$  는 다음절에서 유도한다.

2. 자세 추정(orientation estimation)

제안하는 시스템을 이용한 자세 추정은 3D태그의 감지 각도 범위의 특성을 바탕으로 이루어진다. 유니언 태그를 장착한 사물의 자세를 결정하기 위해서는 앞서 언급했다시피 2개의 태그 유닛이 인식되어야 한다.

그림 11은 3D RFID 시스템이  $P_1$  위치에서 정면( $N_F$ )을 감지하고  $P_2$  에서는 좌측면( $N_L$ )을 감지하는 경우를 보여주고 있다. (4)에서 알 수 있듯이 유니언 태그의 태그 유닛의 감지 각도는 최대  $45^\circ$ , 최소  $-45^\circ$  이다. 따라서, 유니언 태그의 정면( $N_F$ )이 감지되기 위해서는 유니언 태그 좌표계의  $x_{uni}$  축과  $-\mathbf{P}_1\mathbf{P}_{obj}$  사이의 각도  $\alpha_{p1}$  는  $-45^\circ$  에서  $-135^\circ$  범위여야만 한다(그림 12(a)는  $\alpha_{p1}$  가  $-45^\circ$  일 경우를 보여

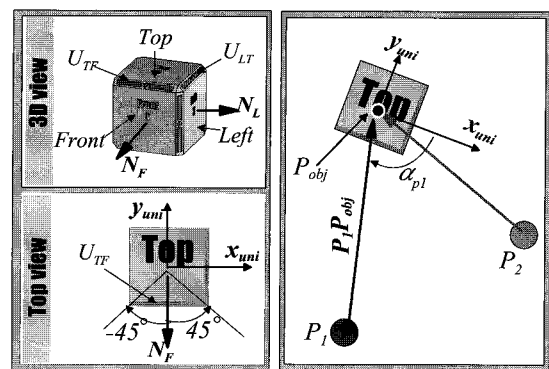


그림 11. 유니언 태그의 감지 범위.  
Fig. 11. Detection range of the union tag.

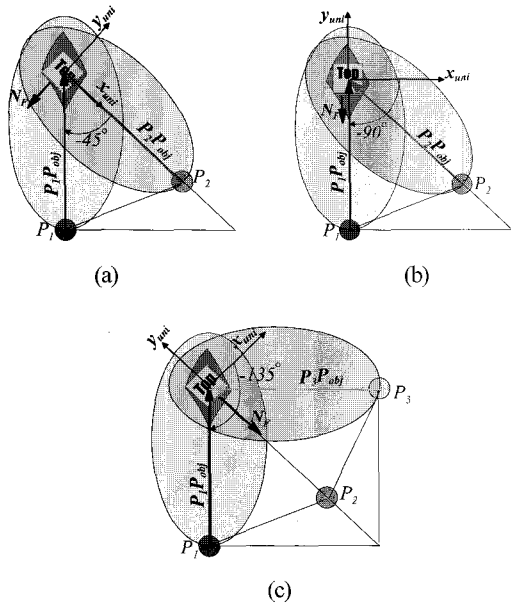


그림 12. 유니언 태그의 자세. (a)  $\alpha_{p1} = -45^\circ$  일 경우, (b)  $\alpha_{p1} = -90^\circ$  일 경우, (c)  $\alpha_{p1} = -135^\circ$  일 경우.

Fig. 12. Union tag's orientation. (a) in case of  $\alpha_{p1} = -45^\circ$ . (b) in case of  $\alpha_{p1} = -90^\circ$ , (c) in case of  $\alpha_{p1} = -135^\circ$ .

주고 있다. 유니언 태그의 정면이 감지된 후  $P_2$ 의 위치에서 좌측면이 감지되기 위해서는  $\alpha_{p1}$ 가  $-45^\circ$ 에서  $-90^\circ$  범위에야만 한다(그림 12(b)는  $\alpha_{p1}$ 가  $-90^\circ$ 일 경우를 보여주고 있다). 이와 같이 사물의 자세를 추정하기 위해서는  $P_2$ 를 적절히 선택하여야 한다. 만일,  $P_2$ 의 위치가 잘 못 선택될 경우에는 태그 유닛의 한정된 감지 각도와 감지거리 때문에 좌측면을 감지하지 못하는 상황이 발생 할 수 있다.  $P_2$ 를 선택함에 있어서, 각 태그 유닛이  $45^\circ$  간격으로 감지유무가 결정되기 때문에,  $P_1P_{obj}$ 와  $P_2P_{obj}$ 간의 각도를  $45^\circ$ 로 선택하는 것이 유용하다.

이러한 각도의 선택과 더불어,  $P_2$ 의 위치에서 사물은 RFID의 감지거리 내에 있어야 하므로  $P_2$ 와  $P_{obj}$ 간의 거리에 대한 고려가 필요하다. 앞서 그림 10의 단계 1에서 얻어진 공통 영역 1과  $P_1$  위치와의 관계는  $\varphi_1$ 을 구하는 데 이용되고  $P_1$ 과  $P_{obj}$  거리를 추정을 위해서 사용되지는 않았지만  $P_2$ 의 위치를 결정하기 위해서는 유용하게 사용된다. 단계 1에서 추정된 유니언 태그의 가상의 위치를  $P'_{obj}$ 라고 하면 그림 13에서 알 수 있듯이  $P'_{obj}$ 의 위치는  $P_1P_{obj}$ 상에 존재함을 알 수 있다.  $|P_1P'_{obj}|$ 와  $|P_2P'_{obj}|$ 이 같도록  $P_2$ 의 위치를 정하면,  $P_1$ 에서 목표물을 감지 했듯이  $P_2$ 에서도 목표물을 감지 할 수 있다. 또한 목표물의 자세 추정을 위한 관

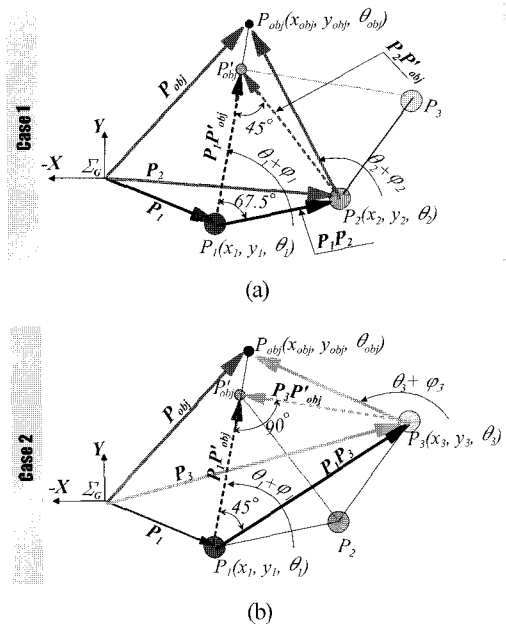


그림 13. 유니언 태그의 자세 추정을 위한 방법. (a)  $P_2$  위치에서 유니언 태그의 위치와 자세를 추정할 경우 (케이스 1), (b)  $P_3$  위치에서 유니언 태그의 위치와 자세를 추정할 경우 (케이스 2).

Fig. 13. Method for estimation of the union tag's orientation. (a) in case of estimating the location and orientation of the union tag at  $P_2$  (case 1), (b) in case of estimating the location and orientation of the union tag at  $P_3$  (case 2).

계식을 간결하게 한다. 그런데 이와 같은 방법으로  $P_2$ 를 결정하게 되면,  $P_1$ 에서 유니언 태그의 정면을 감지하고  $P_2$ 의 지점에서 정면만 계속 감지되고 좌측면을 감지하지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 즉  $\alpha_{p1}$ 가  $-90^\circ$ 에서  $-135^\circ$  범위로일 경우이다(그림 12(c)는  $\alpha_{p1}$ 가  $-135^\circ$ 일 경우를 보여 주고 있다). 이러한 상황에서는 다시 새로운 위치  $P_3$ 에서 태그 유닛을 감지하게 된다.  $P_3$ 의 위치 결정은  $P_2$ 을 결정하는 방법과 동일하다.

이제  $P_2$ 와  $P_3$ 의 위치를 결정하는 방법에 대하여 알아보자. 그림 13(a)에서 알 수 있듯이  $P_2$ 는 다음과 같은 식을 만족한다.

$$P_2 = P_1 + P_1P_2. \quad (11)$$

$P_1P_2$ 는  $P_1P'_{obj}$ 와  $P_2P'_{obj}$ 사이의 각도를  $45^\circ$ 로 정의 했으므로 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$P_1P_2 = \begin{bmatrix} |P_1P_2| \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ) \\ |P_1P_2| \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2|P_1P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ) \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ) \\ 2|P_1P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ) \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

그러므로  $P_2$  는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$P_2 = \begin{bmatrix} x_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ) \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ) \\ y_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ) \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ) \end{bmatrix}. \quad (13)$$

그림 13(b) 에서 알 수 있듯이  $P_3$  는  $P_2$  를 계산하는 방법과 동일한 방법으로 구할 수 있다. 즉,  $P_3$  는 다음과 같은 관계식을 만족한다.

$$P_3 = P_1 + P_1 P_3. \quad (14)$$

여기서  $P_1 P_3$  는 다음과 같다.

$$P_1 P_3 = \begin{bmatrix} |P_1 P_3| \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ) \\ |P_1 P_3| \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ) \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ) \\ 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ) \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

그러므로  $P_3$  는 (16)으로 표현된다.

$$P_3 = \begin{bmatrix} x_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ) \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ) \\ y_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ) \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ) \end{bmatrix}. \quad (16)$$

(13), (16)에서  $P_2$ ,  $P_3$  의 결정은  $|P_1 P'_{obj}|$  로 표현되는 식이다. 여기서  $|P_1 P'_{obj}|$  는 그림 10의 단계 1에서 공통 구역 1 과  $P_1$  과의 거리이므로 실제  $P_{obj}$  와  $P_1$  과의 거리를 의미하지 않는다. 실제  $P_{obj}$  의 위치는 그림 10의 3단계 과정까지 포함한 (10)을 이용하여 얻어진다. 그림 13(a)의 케이스 1과 같이  $P_2$  위치에서 유니언 태그의 좌측면이 감지되었을 경우는,  $P_2$  의 위치를 이미 결정하였기 때문에 (10)에서  $|P_1 P_2| = 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ)$  이고,  $\psi = \theta_1 + \varphi_1 - 67.5^\circ$  이다.

따라서  $P_{obj} = [x_{obj} \ y_{obj} \ \theta_{obj}]^T$  는 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{obj} = \begin{bmatrix} x_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ) \cdot \frac{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1 + 67.5^\circ)}{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1)} \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1) \\ y_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(67.5^\circ) \cdot \frac{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1 + 67.5^\circ)}{\sin(\theta_2 + \varphi_2 - \theta_1 - \varphi_1)} \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1) \\ \theta_{obj} \end{bmatrix}. \quad (17)$$

그림 13(b)의 케이스 2와 같이  $P_2$  위치에서 유니언 태그의 좌측면이 감지되지 않고  $P_3$  의 위치에서 유니언 태그의 좌측면이 감지 되었을 경우는, 마찬가지로  $P_3$  위치를 이미 결정하였기 때문에 (10)에서  $|P_1 P_2| = 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ)$  이고

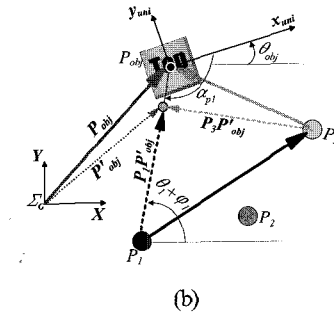
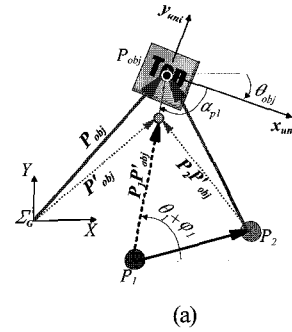


그림 14. 유니언 태그의 자세 추정. (a) 케이스 1일 때 유니언 태그의 자세, (b) 케이스 2일 때 유니언 태그의 자세.  
Fig. 14. (a) Estimation of the union tag's orientation in the case 1, (b) union tag's orientation in the case 2.

$\psi = \theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ$  이다. 따라서,  $P_{obj}$  는 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{obj} = \begin{bmatrix} x_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ) \cdot \frac{\sin(\theta_3 + \varphi_3 - \theta_1 - \varphi_1 + 45^\circ)}{\sin(\theta_3 + \varphi_3 - \theta_1 - \varphi_1)} \cdot \cos(\theta_1 + \varphi_1) \\ y_1 + 2 |P_1 P'_{obj}| \cdot \cos(45^\circ) \cdot \frac{\sin(\theta_3 + \varphi_3 - \theta_1 - \varphi_1 + 45^\circ)}{\sin(\theta_3 + \varphi_3 - \theta_1 - \varphi_1)} \cdot \sin(\theta_1 + \varphi_1) \\ \theta_{obj} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

(17)과 (18)에서  $\theta_{obj}$  는 유니언 태그의 자세, 즉 전체좌표계의 X 축과 유니언 태그의  $x_{uni}$  축과의 각도를 의미한다.  $P_2$  의 위치에서 유니언 태그의 자세 추정이 가능한 케이스 1일 경우, 즉  $x_{uni}$  축과  $-P_1 P_{obj}$  사이의 각도  $\alpha_{p1}$  이  $-90^\circ \leq \alpha_{p1} \leq -45^\circ$  일 때, 그림 14(a)에서 알 수 있듯이  $\theta_{obj}$  는 다음과 같은 식을 만족한다.

$$\{\theta_1 + \varphi_1\} + \{(-\alpha_{p1}) + (-\theta_{obj})\} = 180^\circ. \quad (19)$$

여기서 (19)는 가상의 유니언 태그의 위치  $P'_{obj}$  가  $P_1 P_{obj}$  상의 어느 위치에 있더라도 항상 만족한다. 다시 말해서 그림 10의 1단계에서 측정된  $|P_1 P'_{obj}|$  가 어느 정도 오차를 포함한다 할지라도 유니언 태그의 자세 추정에는 영향을 주지



않는다.  $P_3$ 의 위치에서 자세 추정이 가능한 케이스 2일 경우 즉,  $-135^\circ \leq \alpha_{p1} \leq -90^\circ$  일 때는 그림 14(b)에서 알 수 있듯이  $\theta_{obj}$ 는 다음과 같은 식을 만족한다.

$$\{\theta_1 + \varphi_1\} + \{(-\alpha_{p1}) - \theta_{obj}\} = 180^\circ. \quad (20)$$

(19)와 (20)은 동일한 식이므로 결국 (17), (18)에서  $\theta_{obj}$ 는 다음과 같다.

$$\theta_{obj} = \theta_1 + \varphi_1 - \alpha_{p1} - 180^\circ. \quad (21)$$

유니언 태그의 자세를 추정하기 위한 이와 같은 식들은 태그 유닛이 최대  $45^\circ$ , 최소  $-45^\circ$ 의 감지 범위를 갖는 특성을 이용하여 유도되었다. 이러한 특성으로 인해, 케이스 1에서 만족하는 (17)의  $\theta_{obj}$ 는  $-90^\circ \leq \alpha_{p1} \leq -45^\circ$ 이므로 다음과 같은 범위의 결과를 갖는다.

$$\theta_1 + \varphi_1 - 135^\circ \leq \theta_{obj} \leq \theta_1 + \varphi_1 - 90^\circ \quad (22)$$

또한 케이스 2에서는  $-135^\circ \leq \alpha_{p1} \leq -90^\circ$ 이므로 (18)의  $\theta_{obj}$ 는 다음과 같은 범위의 결과를 갖는다.

$$\theta_1 + \varphi_1 - 90^\circ \leq \theta_{obj} \leq \theta_1 + \varphi_1 - 45^\circ. \quad (23)$$

(22)와 (23)은 유니언 태그에 의한 자세추정 결과는 실제 정확한 자세와 비교해 볼 때 최대  $45^\circ$ 까지 오차범위를 갖게 된다는 것을 의미한다. 이것은 앞장에서 설명한 그림 7에서와 같이 다이폴 안테나형 태그, 즉 태그 유닛의 모든 자세에 따라 인식률을 동기화 시키지 않고  $45^\circ$  간격의 자세만을 이용하기 때문이다. 물론 보다 정확한 자세는 이론적으로는 측정될 수 있다. 즉, 태그와 안테나의 거리에 따라 안테나에 수신되는 전파강도가 약해지는 것과 마찬가지로 태그의 자세에 따라 전파의 수신강도도 변한다[16,17]. 그러나 현존하는 RFID 시스템은 이러한 전파의 수신강도측정을 위한 어떠한 고려도 되어있지 않다. 따라서 3D 태그의 장점에도 불구하고 본 논문에서 실험한 감지율만을 이용한 위치와 자세추정은 아직까지 제한적일 수 밖에 없다. 그럼에도 불구하고 본 논문에서 3D 태그를 이용하여 사물의 위치, 자세를 측정하기 위해 제안한 방법만으로도 기존의 물체 인식을 위한 다른 센서의 의존도를 상당하게 감소 시킨다. 이러한 내용은 다음 절에서 설명한다.

### 3. 위치 및 자세 추정 실험

그림 15는 제안된 알고리즘에 대한 실험과정을 보여주고 있다. 실험공간 내에, 유니언 태그를 내장한 직육면체 형태의 목표물(230mm×210mm×300mm)과 로봇 DRP 1은 전체좌표계에서 무작위로 정해진 위치에 있다. DRP 1은 단지 3D RFID 시스템을 이용하여 목표물을 찾고 인증한 후, 목표물의 위치와 자세를 추정하게 된다. 그림 16에서 목표물은 전체좌표계에서 (1200,1000,40°)의 위치와 자세로 놓여있고 로봇과



그림 15. DRP 1 실험.

Fig. 15. Experiment of DRP 1.

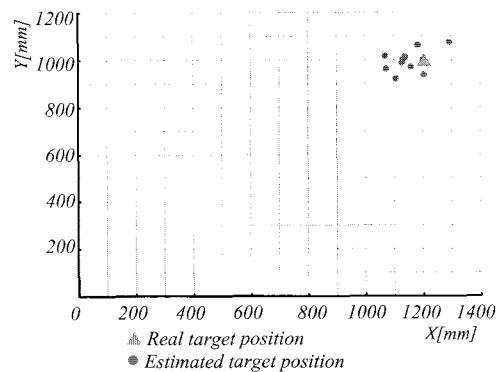


그림 16. RFID 시스템만을 이용한 위치 추정.

Fig. 16. Location estimation by only the RFID system.

약 1220mm 거리에서 10회 반복하여 실험한 위치추정 결과를 보여주고 있다. 유니언 태그에 의한 자세추정 실험결과는 실제 자세를  $45^\circ$  간격으로 구분해서 분류한다. 이제 3D RFID 시스템을 이용하여 사물의 위치, 자세를 추정한 후 이를 기반으로 다른 센서를 이용하여 사물의 위치와 자세를 최종적으로 결정하는 방법에 대하여 알아보자. 앞서 언급한 바와 같이  $P_2$ 의 위치는 공통 영역 1 내에 유니언 태그가 존재한다는 가정으로 결정되었으므로  $P_2$  위치에서 유니언 태그를 감지하기 전까지는 목표물의 위치와 자세  $P_{obj}$ 은 불확실하다. 따라서 소개할 비전 시스템을 이용하여 위치와 자세를 최종적으로 결정하는 과정은  $P_2$  또는  $P_3$  위치에서 수행된다. 그림 17는 그림 15의 실험과정에서 유니언 태그를 장착한 직육면체 박스의 영상을 CCD 카메라가 획득하는 모

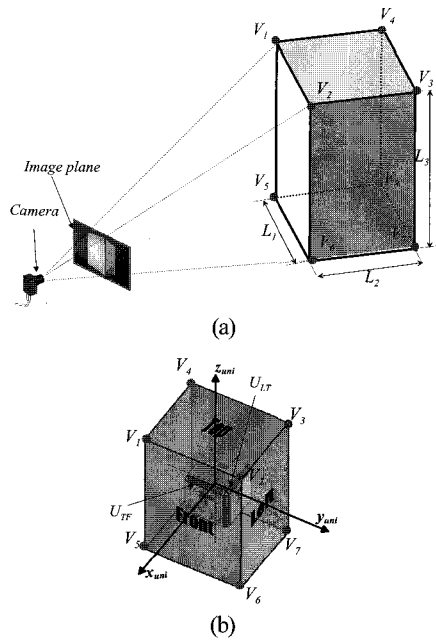


그림 17. 3D RFID 시스템과 비전 시스템을 이용한 물체 인식.  
 (a) 이미지 평면상의 물체의 투영, (b) 자세 정의.  
 Fig. 17. Object recognition by the 3D RFID and vision system. (a) projection of an object onto the image plane, (b) definition of orientation.

습을 보여주고 있다. 카메라는 3차원의 물체를 이미지 평면 (image plane) 상에 얻어진 2차원의 이미지로 캡처(capture)하게 되는데 이미 3D RFID 시스템으로 물체가 좌표계 상의 어느 위치에 존재하는지를 대략적으로 추정했기 때문에 목표가 되는 물체의 영상을 카메라로 획득하는 것은 매우 단순해진다. 즉 RFID 안테나와 카메라의 지향방향이 일치하고 있으므로 물체가 위치할 것이라고 추정된 곳을 향하게 되면 카메라의 영상에는 목표물이 존재하게 된다(물론 물체가 원거리에 존재할수록 이러한 과정에 대한 불확실성이 높아지지만 카메라만을 이용하여 목표물을 찾으려고 할 때 좌표계상의 모든 공간의 영상을 캡처해야만 과정에 비하면 매우 단순하다). 그림 17(b)는 획득한 2차원의 이미지를 이용하여 어떻게 목표물을 인식하는지를 설명하기 위한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 직육면체는 정면, 후면, 좌측면, 우측면, 윗면, 아랫면의 총 6개의 고유한 면을 가지고 있다. 3D RFID 시스템은 직육면체 박스에 장착한 유니언 태그의 태그 유닛  $U_{TF}$  와  $U_{LT}$  를 감지하여 이미 자세를 추정하였기 때문에 카메라에 의해 얻어진 실체사물의  $V_1, V_2, V_6, V_5$  을 꼭지점으로 하는 면을 정면(front)과 인접한  $V_2, V_3, V_7, V_6$  로 이루어진 면을 좌측면(left)라고 판단할 수 있다. 만약 카메라만을 이용한다면 동일하게 보일 수 있는 물체의 자세는 4가지 즉, 정면-좌측면, 정면-우측면, 후면-우측면, 후면-좌측면 이므로 카메라만으로는 물체의 자세 구분할 수 없다(각 모서리의 길이  $L_1, L_2, L_3$  가 같다면 동일한 자세에서 24가지의 경우가 가능하다). 이러한 3D RFID 시스템 기반의 비전 시스템의 물체 인식 과정은 단순히 물체의 에지 추출만을 통해서 쉽게 얻어질 수 있다.

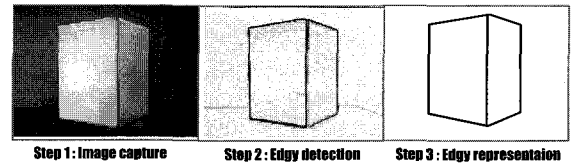


그림 18. 에지 추출 과정.  
 Fig. 18. Edgy extraction process.

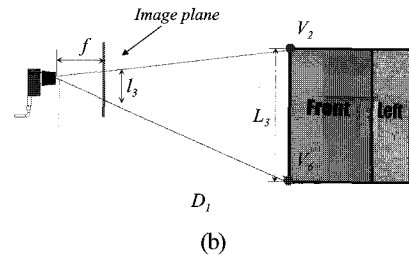
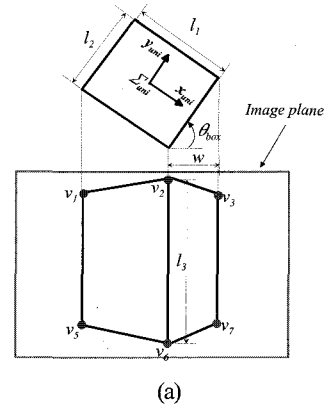


그림 19. 하나의 카메라에 의한 목표물의 거리와 자세 결정.  
 (a) 이미지 평면상의 에지와 목표물의 자세, (b) 이미지 평면상의 에지와 목표물과의 거리  
 Fig. 19. Determination of the object's location and orientation by a single camera. (a) orientation between the edge on the image plane and the object, (b) distance between the edge and the object on the image plane.

그림 18에서 보여지는 바와 같이 캡처된 이미지에서 에지를 검출하고 목표물의 위치와 자세를 결정하기 위하여 에지를 기하학적으로 다시 표현한다. 그림 19(a)의 이미지 평면상에 각각의 에지는  $v_1, v_2, v_3, v_5, v_6, v_7$  의 꼭지점으로 이루어져 있다. 그림 19(b)에서 카메라 렌즈와 실제 직육면체의 에지  $v_6v_2$  와의 거리  $D_1$  은 다음과 같이 얻어진다.

$$D_1 = fl_3/l_3. \tag{24}$$

여기서,  $f$  는 초점거리이고,  $l_3$  는 이미지 평면상의 거리이므로 쉽게 측정된다. 목표물의 자세는 이미지 평면상의 에지를 바탕으로 가상의 윗면(top view)을 설정함으로써 가능하다. 그림 19(a)에서  $\theta_{box}$  는 목표물의 자세를 의미한다. 이  $\theta_{box}$  는 이미지 평면상의 에지  $v_2v_6$  와  $v_3v_7$  과의 거리  $w$  를 측정함으로써 얻어 질 수 있다. 즉,  $\theta_{box}$  는 다음과 같은 식을 만족한다.

$$\theta_{box} = \cos^{-1}\left(\frac{w}{l_2}\right). \quad (25)$$

여기서,  $l_2$  는 측정 할 수 없으므로 (26)와 같이 이미지 평면 상의 에지와 실제사물과의 비례관계로부터 얻어진다.

$$l_2 : l_3 = L_2 : L_3. \quad (26)$$

따라서  $\theta_{box}$  는 (25)과 (26)를 이용하여 다음과 같이 정리 된다.

$$\theta_{box} = \cos^{-1}\left(\frac{wL_3}{l_3L_2}\right). \quad (27)$$

(24), (27)은 하나의 CCD 카메라를 이용했을 경우의 목표물의 거리와 자세를 추정하는 관계식이다.

스테레오 카메라를 이용하여 목표물의 거리와 자세를 결정 위해서는 이미지 평면상의 수직 에지만을 이용하여 계산 할 수 있다. 카메라와 목표물의  $V_2V_6$ ,  $V_3V_7$  까지의 거리  $D_1$ ,  $D_2$  는 각각의 카메라의 두 개의 이미지 평면으로부터 얻을 수 있으므로[18] 그림 20에서 보여지는 바와 같이 직육면체의 자세를 의미하는  $\theta_{box}$  는 다음과 같은 식을 만족한다.

$$\theta_{box} = \sin^{-1}\left(\frac{D_2 - D_1}{L_2}\right) \quad (28)$$

(24), (25), (26), (27), (28)는 목표물이  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  의 모서리를 갖는 직육면체라는 것을 RFID 시스템을 통하여 이미 인증했고, 유니언 태그를 통해 직육면체의 자세를 추정했기 때문에 가능하다. 예를 들어, (24)는 이미지 평면상의  $l_3$  가 실제 직육면체의 에지  $V_6V_2$  의 길이인  $L_3$  에 해당한다는 것을 이미 알고 있다는 전제에서만 성립할 수 있다. 다시 말해서, 3D RFID 시스템에 의하여 얻어진 이러한 전제가 없이, 단지 비전 시스템에 의하여 얻어진 이미지 평면상의 에지들을 이용하는 (24)은 의미 없는 결과를 나타낸다. 왜냐하면 이미지 평면상의 에지들만을 이용하여 실제 목표물이  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  의 모서리를 갖는 직육면체인가를 판단하는 것 자체도 매우 불확실한 추정이지만, 각각의 에지  $v_1v_2$ ,  $v_2v_3$ ,  $v_5v_6$ ,  $v_6v_7$ ,  $v_1v_5$ ,  $v_2v_6$ ,  $v_3v_7$  가 실제 직육면체의  $V_1V_2$ ,  $V_2V_3$ ,  $V_5V_6$ ,

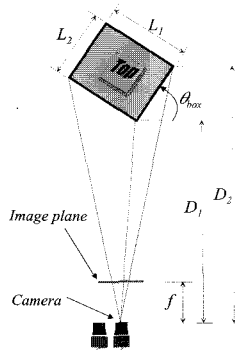


그림 20. 스테레오 카메라에 의한 에지에 의한 목표물의 거리와 자세 결정.

Fig. 20. Determination of the object's location and orientation by a stereo camera.

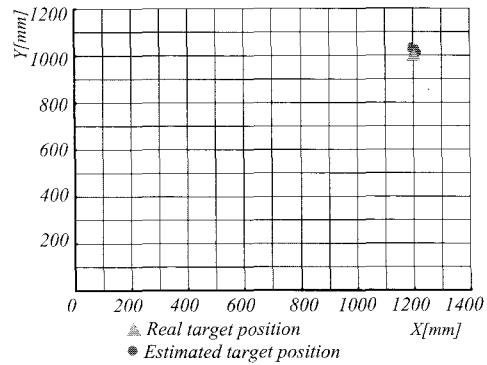


그림 21. 3D RFID 시스템을 이용한 비전 시스템의 위치추정 실험 결과.

Fig. 21. Experimental results of position estimation by vision system using 3D RFID system.

표 1. 3D RFID 시스템을 이용한 자세 추정 실험 결과.

Table.1. Experimental results of orientation estimation by vision system using 3D RFID system.

No. of times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Orientation of object(Deg.)	44.3	42.2	42.7	37.6	36.9	40.3	38.5	42.3	40.1	41.8

$V_6V_7$ ,  $V_1V_5$ ,  $V_2V_6$ ,  $V_3V_7$  에 해당하는 지를 판단하는 것은 더욱 어렵기 때문이다. 더군다나 앞서 언급했듯이 직육면체는 이미지 평면상에 동일하게 나타날 수 있는 자세는 4가지가 되기 때문에 실제로 이러한 추정과정은 에지 추출만으로는 해결할 방법이 없다. 마찬가지로, 목표물의 위치와 자세를 알기 위해서 필요한 (25), (26), (27), (28) 는 매우 단순한 관계식이지만 3D RFID 시스템을 통한 선행된 작업 없이는 성립할 수 없다. 이와 같이, 3D RFID 시스템 기반의 비전 시스템은 이미지 평면상의 에지들은 위치와 자세추정을 위하여 직접 이용될 수 있다. 그러나 비전 시스템만을 이용할 때는 이러한 에지들이 실제 직육면체인가를 판단하는 인증작업을 위한 과정을 위해 이용 될 뿐 위치나 자세결정을 위해서는 직접적으로 이용될 수 없다. 따라서 3D RFID 시스템 기반의 비전 시스템의 사물 인식작업과 비전 시스템만의 인식작업은 그 의미와 과정이 다르다.

그림 21은 3D RFID 시스템기반의 비전 시스템(스테레오 카메라)에 의하여 그림 16에서와 동일한 위치에 목표물이 존재할 때 10회를 반복한 위치 추정 실험 결과이고, 표 1은 자세추정 결과를 나타낸다. 이 결과로부터 목표물과 1220mm의 거리에서 실험했을 때 약 20mm 의 위치 오차를 가지며, 자세 오차는 약  $\pm 1.6^\circ$  이다. 이 결과는 실험장비로서 사용된 DRP I의 데드레콘(dead reckon) 에러를 고려하지 않았음에도 불구하고 실제 위치와 자세에 매우 근접한 결과를 보여주고 있다.

**V. 결론**

RFID 기술은 생산, 서비스, 물류, 보안, 은행 등 많은 분야에 적용되어 급격하게 성장하고 있다. 앞으로 수 년 후에는 모든 제품은 RFID 태그가 부착될지도 모른다. 제안하는 3D

태그를 이용한 RFID 시스템은 기존의 다른 태그와 마찬가지로 물체를 인증할 뿐만 아니라, 그 물체의 위치와 자세까지도 추정하도록 보조 할 수 있다. 이러한 특징은 전통적으로 물체 인식에 사용되는 비전 시스템과 같은 센서에 대한 의존도를 상당히 경감시킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 3D태그의 특징과 이를 이용한 위치, 자세 추정 방법에 대하여 소개하였다. 3D 태그를 이용한 어플리케이션은 앞으로 다가올 유비쿼터스(ubiquitous), 지능형(intelligent) 환경에 잘 부합한다. 저자들은 이러한 환경에서 3D tag를 이용한 로봇 어플리케이션을 연구하고 있다.

### 참고문헌

- [1] I. Weiss and M. Ray, "Model-based recognition of 3D objects from single images," *IEEE Trans. Pattern Analysis, Machine Intelligence*, vol. 23, 2001, pp. 116-128.
- [2] 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, System*, 2004, pp. 3756-3761.
- [3] 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*, 2004, pp. 1979-1984.
- [4] 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 Communications*, 2003, pp. 407-415.
- [5] O. Kubitz, M. O. Berger, M. Perlick, and R. Dumoulin, "Application of radio frequency identification devices to support navigation of autonomous mobile robots," in *Proc. IEEE Int. Conf. Vehicular Technology*, vol. 1, 1997, pp. 126-130.
- [6] T. Tsukiyama, "Global navigation system with RFID tags," in *Proc. SPIE*, vol. 4573, 2002, pp. 256-264.
- [7] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics, Automation*, vol. 1, 2004, pp. 1015-1020.

- [8] T. M. Ruff and D. Hession-Kunz, "Application of radio-frequency identification systems to collision avoidance in metal/nonmetal mines," *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 37, 2001, pp. 112-116.
- [9] M. Boukraa, S. Ando, "Tag-based vision: assisting 3D scene analysis with radio-frequency tags," in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. 1, 2002, pp. 269-272.
- [10] Y. Mae, T. Umetani, T. Arai, and E. Inoue, "Object recognition using appearance models accumulate into environment," in *Proc. IEEE Int. Conf. Pattern Recognition*, vol. 4, 2000, pp. 845-848.
- [11] N. Y. Chong, H. Hongu, M. Miyazaki, K. Takemura, K. Ohara, K. Ohba, S. Hirai, and K. Tanie, "Robots on self-organizing knowledge networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics, Automation*, 2004, pp. 3494-3499.
- [12] S. G. Roh, K. H. Park, K. W. Yang, J. H. Park, H. S. Kim, H. G. Lee, and H. R. Choi, "Development of dynamically reconfigurable personal Robot," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics, Automation*, 2004, pp. 4023-4028.
- [13] K. Penttila, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "Performance development of a high-Speed automatic object identification using Passive RFID Technology," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics, Automation*, 2004, pp. 4864-4868.
- [14] T. Kanda, R. Sato, N. Saiwaki, and H. Ishiguro, "Friendly social robot that understands human's friendly relationship," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots, Systems*, 2004, pp. 2215-2222.
- [15] T. Flor, W. Niess, and G. Vogler, "RFID: the integration of contactless identification technology and mobile computing," in *Proc. IEEE Int. Conf. Telecommunications*, vol. 2, 2003, pp. 619-623.
- [16] K. Finkenzer, "RFID hand book: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification," 2<sup>nd</sup> edn, West Sussex: Wiley, 2002.
- [17] S. Shepard, "RFID: Radio Frequency Identification," New York: McGraw-Hill, 2005.
- [18] R. Jain, R. Kasturi, and B. B. Schunck, "Machine vision," New York: McGraw-Hill, 1995.



노 세 곤

2000년 성균관대학교 기계공학과 졸업.  
2002년 성균관대학교 석사 졸업. 2002년  
~현재 성균관대학교 대학원 메카트로닉스  
공학 박사과정. 관심분야는 로봇 디  
자인, 모바일 로봇 어플리케이션.



이 영 훈

2005년 성균관대학교 기계공학부 졸업.  
2005년~현재 성균관대학교 대학원 기  
계공학 석사과정. 관심분야는 퍼스널로  
봇, 환경인식.



최 혁 렬

1984년 서울대학교 기계공학과 졸업.  
1986년 한국과학기술연구원 석사 졸업.  
1994년 포항공대 기계공학과 박사 졸업.  
1986년~1989년 LG Electronics 근무. 1993  
년~1995년 일본 교토대학 객원연구원.  
1999년~2000년 일본 AIST 객원연구원.

1995년~ 현재 성균관대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 이  
동메커니즘, 인공근육 액츄에이터, 다지 관절 로봇 손.