

이동로봇의 자동충전을 위한 어안렌즈 카메라의 보정 및 인공표지의 검출

권 오 상[†]

Fish-eye camera calibration and artificial landmarks detection for the self-charging of a mobile robot

Oh-sang Kwon[†]

Abstract

This paper describes techniques of camera calibration and artificial landmarks detection for the automatic charging of a mobile robot, equipped with a fish-eye camera in the direction of its operation for movement or surveillance purposes. For its identification from the surrounding environments, three landmarks employed with infrared LEDs, were installed at the charging station. When the robot reaches a certain point, a signal is sent to the LEDs for activation, which allows the robot to easily detect the landmarks using its vision camera. To eliminate the effects of the outside light interference during the process, a difference image was generated by comparing the two images taken when the LEDs are on and off respectively. A fish-eye lens was used for the vision camera of the robot but the wide-angle lens resulted in a significant image distortion. The radial lens distortion was corrected after linear perspective projection transformation based on the pin-hole model. In the experiment, the designed system showed sensing accuracy of ± 10 mm in position and $\pm 1^\circ$ in orientation at the distance of 550 mm.

Key Words : camera, docking, self-charging, mobile robot

1. 서 론

20세기 들어서 컴퓨터의 보급과 인터넷의 확산은 가정생활을 변화시켰고, 더욱이 최근 IT·BT·NT 등의 신기술에 대한 범국가적인 투자는 전자·기계 등의 기존 전통기술과 접목되어 지능로봇이라는 새로운 상품을 등장시켰다. 이러한 지능형 로봇의 가장 큰 시장은 우리가 생활하는 공간 내에서 힘들고 어려운 일을 대신하거나 도와줄 수 있는 가정용 서비스 로봇으로 크게 인간 서비스 로봇(human service robot)과 가사 서비스 로봇(home service robot)으로 나눌 수 있다. 인간 서비스 로봇은 사람에게 정보를 전달해주고, 감성적인 대화가 가능한 로봇으로 개인용 로봇, 교육용 로봇, 오락용 로봇, 감성로봇 등이 개발되고 있고, 가사 서비스 로봇은 가정에서 사람을 대신하여 작업해 주는 로봇으로 청소로봇, 경비로봇, 가정관리 로봇, 애완동물 관리

로봇 등이 개발되고 있다^[1].

지능형 로봇에서의 여러 이슈 중에서도 중요한 기본 기능은 자기위치인식과 스스로 전원을 찾아 공급받는 자동충전일 것이다. 특히 지능형 로봇 중에서 가장 활발하게 상용화되고 있는 청소로봇을 예로 들면 효율적인 청소를 위해서는 자기위치 인식기능이 매우 중요하며 청소를 위해 고전력을 소모하거나 작업량에 비해 전력이 부족한 경우에는 더욱 그렇다.

이동 로봇의 위치 추정을 위해서는 정확한 특징점의 위치 정보가 필요하고 또한 정확한 특징점의 위치 정보를 로봇 스스로 얻기 위해서는 정확한 로봇의 위치 정보가 필요하다. 이러한 문제를 풀기 위한 연구분야 중의 하나가 SLAM(simultaneous localization and map building)이며 이의 구현은 초음파, 레이저, 시각센서를 주로 이용한다. 초음파 센서는 가격이 저렴하고 속도도 빠른 반면 정확도가 떨어진다. 레이저 센서의 경우 능동적이고 정확하나 속도면에서 느리다. 시각시스템은 수동적이고 많은 분석이 요구된다. 초기의 성공적인 많은 접근 방식들은 바코드 반사기, 초음파 표식, 시각

(주)한울로보틱스(Hanoor Robotics Corp.)

[†]Corresponding author: oskwon@robotics.co.kr

(Received : June 23, 2005, Accepted : July 20, 2005)

패턴 등과 같은 인공적인 표지를 사용하였다^[23].

최근 컴퓨팅 능력의 향상에 따라 SLAM에서도 시각 센서가 각광을 받고 있으며 로봇의 주행 및 자기위치 인식, 얼굴인식, 물체인식 등의 인식과 관련되거나 방법, 모니터링 등의 용도로 활용되고 있다.

자기위치인식이 되어도 위치오차는 존재하므로 자기위치인식의 결과 값만으로는 자동충전을 할 수 없다. 따라서 자동충전이 가능한 위치로 로봇이 도달하면 이때부터는 인공표지 인식이 되어야 하고 인식된 결과에 의해 로봇의 위치와 자세를 보정함으로써 자동충전이 가능하다.

실내공간상에서의 자율주행 로봇을 위한 자동 충전은 주로 벽면 추중에 의해 주행하다가 홀센서 등에 의해 자석이 감지되면 충전스테이션을 찾는 방법^[4], 적외선 수광-발광 소자를 이용하여 다수 개를 전방향으로 배치하고 빔각을 이용하여 도킹하는 방법^[5], 초음파 센서에 의해 유도되고 자석을 감지하여 도킹하는 방법^[6] 등으로 접근되어져 왔다. 이러한 기존의 방식들은 정해진 제한 조건상에서는 충전스테이션을 찾아서 자동 충전이 가능하나 주변 환경적 요인이 변화 하였을 때나 빛의 성격상 반사된 빛의 제거 등이 필요하고 정확한 도킹이 어려워 몇 번씩 반복 수행되는 경우가 발생하는 등의 다양한 문제점을 내포한다.

본 논문은 어안 렌즈 카메라가 장착된 이동로봇의 자동충전을 위해 카메라의 왜곡을 보정하고 인공표지를 검출하는 방법에 관한 것이다. 구현된 자동충전 방식은 원거리에서는 인공표지의 방향 검출에 중점을 두고 충전스테이션에 접근하며 근거리에서는 높은 해상도로 영상을 획득하여 위치와 방향을 보정하는 2단계로 되어있다. 신뢰성 있는 자동충전을 위해 장착된 어안렌즈(fish-eye lens)의 왜곡을 보정하고 주변 잡음과 외란광에 강인하도록 차영상을 사용하였다. 또한 로봇의 자세 보정과 인공표지의 검출이 용이하게 하기 위하여 3점을 갖는 인공표지를 설계하였다. 검출된 인공표지를 이용 충전스테이션과 이동로봇의 기하학적 상호 관계 변수를 추출하여 이동로봇이 자동 충전이 가능하도록 구성하였다.

2. 본 론

2.1. 로봇 충전 시스템

본 논문에서 대상으로 하는 로봇시스템은 회전하는 터릿(turret)을 갖는 동기식 방식의 로봇이다. 카메라는 로봇의 주행방향으로 170도의 초광각을 갖는 어안렌즈를 장착하였으며 충전스테이션은 3개의 발광 인공표지

를 사용하였다. 인공표지는 로봇의 자세 계산이 용이하고 주변환경에 강인하게 하기 위하여 3개를 일직선상에 배치하였다. 인공표지는 영상획득시 주변광 등의 잡음 영향을 최소화 하기 위하여 로봇이 영상획득을 시도하는 경우에만 통신을 통해 인공표지가 발광되도록 설계되었다.

로봇시스템의 도킹방식은 로봇에 장착된 각종 센서와 로봇이 주행해야하는 지역의 맵에 대한 사전정보를 가지고 자체적인 위치인식 알고리즘에 의해 충전스테이션 1m 범위 이내로 찾아오며 이때부터 자동충전 알고리즘이 수행된다. 기구적인 구조상 로봇의 도킹 가능범위는 좌우로 2cm의 위치오차 허용치를 갖고 있으며 $\pm 3\text{도}$ 이내의 오차만을 허용하는 구조로 되어 있다.

2.2. 카메라 보정

어안렌즈는 짧은 초점거리와 170도 정도의 초광각의 시야각을 갖는 대신에 큰 왜곡(distortion)을 동반한다. 따라서 어안렌즈를 장착한 카메라로부터 획득된 왜곡 영상에서 3차원 실세계(real world) 좌표상의 위치를 인식하기 위한 전처리로서 카메라 보정 작업이 필요하다.

카메라 보정(calibration)은 외부적인 방향 변수들과 함께 초점거리, 영상면에서의 광학적 중심, 렌즈의 왜곡 계수와 같은 카메라의 내부 변수들을 추정하기 위한 과정이며 컴퓨터 영상상의 점의 위치와 실세계 좌표상의 점의 위치와의 상관관계를 결정하는 과정으로서 컴퓨터 시각 분야에서는 매우 중요한 문제이다. 정확한 보정이 이루어져야 컴퓨터 영상좌표로부터 정확한 3차원 상의 실제위치를 구할 수 있으며, 또한 역으로 3차원 실 위치로부터 2차원 컴퓨터 영상좌표가 추정될 수 있다.

어안렌즈에서 가장 큰 왜곡성분은 방사형 왜곡(radial distortion) 및 접선 방향(tangential) 왜곡이다. 렌즈의 잘못된 방사형 곡면 성형에서 기인된 방사형 왜곡은 왜곡 성분 중 가장 심각한 왜곡 성분^[7]이며, 주어진 영상 위치가 이상적인 위치로부터 안쪽, 또는 바깥쪽으로 이동하는 원인이 된다^[8]. 접선 방향 왜곡은 렌즈와 카메라간의 부적절한 조립에 의해 나타난다.

기존 연구에서는 카메라 모델과 데이터의 정확도가 불확실한 상황하에서의 카메라 보정, GMDH(group method of data handling) 알고리즘에 의한 카메라 보정 모델의 비선형성 학습 등이 연구되었으나^[9,10] 본 연구에서는 비선형 카메라 모델의 복잡성과 계산량을 줄이기 위해 편향 카메라 모델에 그림 1의 방사형 왜곡만을 추가한 모델을 사용하였으며 왜곡된 영상상의 점

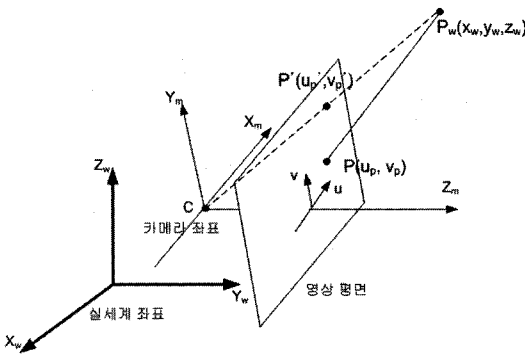


그림 1. 방사형 왜곡 모델
Fig. 1. Radial distortion model.

들과 왜곡이 제거된 점들 간의 정합과정을 통해서 카메라를 보정하였다.

실세계 좌표계내의 점 $P_w(x_w, y_w, z_w)$ 에 대응하는 카메라 좌표계의 점 $P_m(x_m, y_m, z_m)$ 간의 변환식은 3축으로서 위치이동(displacement) 벡터 $[T_x, T_y, T_z]$ 와 회전각(orientation) 행렬 R 에 의해 식 (1)과 같이 나타난다.

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

카메라 좌표계상의 점 $P_m(x_m, y_m, z_m)$ 는 2차원 영상 좌표계 점 $P(u_p, v_p)$ 에 투영되어지는데 왜곡의 유무에 따라 투영되는 지점간의 차이, 즉 방사형 왜곡이 존재한다. 왜곡이 없는 핀홀 카메라 모델의 경우 점 P_m 으로부터 점 $P(u_p, v_p)$ 에 투영되어지지만 방사형 왜곡을 포함한 실제 카메라 모델상에서는 다른 지점인 점 $P(u, v)$ 에 투영되어지며 두 점간의 관계식은 다음과 같이 표현되어진다^[11].

$$\begin{bmatrix} u_p' \\ v_p' \end{bmatrix} = L(r) \begin{bmatrix} u_p \\ v_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $L(r)$ 은 왜곡된 점을 보정하기 위한 왜곡 함수(distortion function)를 나타낸다. r 은 방사형 왜곡의 중심으로부터 거리이며 왜곡 함수 $L(r)$ 은 r 에만 의존한다. 방사형 왜곡이 있는 어안렌즈로부터 획득된 영상의 한 점 (u_p, v_p) 과 방사형 왜곡의 중심점 $P(u_c, v_c)$ 으로부터 교정(correction)된 영상의 한 점 $P(u_p', v_p')$ 은 식 (3), (4)에 의해 구할 수 있으며 식(5)를 통해 중심으로부터의 거리 r 을 획득한다.

$$u_p' = u_c + L(r)(u_p - u_c) \quad (3)$$

$$v_p' = v_c + L(r)(v_p - v_c) \quad (4)$$

$$r^2 = (u_p - u_c)^2 + (v_p - v_c)^2 \quad (5)$$

왜곡 함수 $L(r)$ 은 식 (6)과 같이 다항식 형태로 가정한다.

$$L(r) = 1 + k_1r + k_2r^2 + k_3r^3 + k_4r^4 + \dots \quad (6)$$

체스판 모양의 패턴영상에서 교차점을 특징점으로 사용하여, 왜곡된 화면 위의 점 $P(u_p, v_p)$ 와 보정된 화면의 점 $P(u_p', v_p')$ 좌표값간의 차이에 대한 조합을 구한다. 이들 데이터를 이용해서 최소자승법(least square solution)에 의해 왜곡 함수 계수 값들의 통계적 추정치를 구한다. 교차항은 왜곡에 대한 영향이 미비하므로 무시되어졌으며 추출된 계수값은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} k_1 &= 0.08433, k_2 = 0.00202, k_3 = 0.00048, \\ k_4 &= 0.00035, u_c = 158.235, v_c = 119.816 \end{aligned} \quad (7)$$

그림 2에서 (a)는 왜곡되어진 입력 영상이며 (b)는 추출되어진 계수를 수식에 적용하여 보정 후 교정된 영상이다.

2.2. 인공표지 검출알고리즘

인공표지의 패턴을 인식하는 알고리즘에는 여러 가지 방법론이 존재할 수 있으나 본 논문에서는 인식시간소모를 최소화하기 위하여 발광 인공표지를 사용하였으며 차영상 기법에 의하여 외란광의 영향을 최소화하였다. 전술한바와 같이 차영상을 위한 두 장의 영상 획득은 우선 한 장의 영상을 획득하고 로봇이 통신으로 충전스테이션에 명령을 내려 인공표지가 발광하도록 하고 이때 나머지 한 장의 영상을 얻었다. 차영상에 의한 잡음은 문턱값(thresholding)을 주어 1차적으로 잡

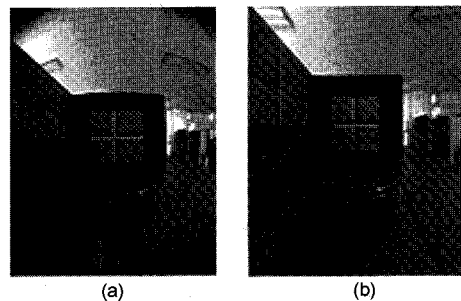


그림 2. 보정에 의한 왜곡영상의 교정 예 (a)입력 영상, (b) 보정을 통해 교정된 영상
Fig. 2. Examples: correction of distorted images by calibration. (a) Input image, (b) Corrected image after calibration.

음을 제거하였으며 남은 잡음을 제거하는 것과 인식시간을 최소화하기 위하여 세 개의 발광 인공표지간의 물리적인 상관관계에 의해 식별하는 방법을 사용하였다. 다음은 인공표지를 검출하기 위한 조건이다.

- 발광 인공표지의 형태는 원형이다.
- 발광 인공표지의 크기는 반경 3 cm 이내이다.
- 발광 인공표지간의 거리는 10 cm이다.
- 발광 인공표지는 상호간에 일직선상에 놓인다.
- 발광 인공표지는 영상상의 소멸점 아래에 놓인다.

인공표지를 검출하기 위한 조건을 바탕으로 검출된 후보 점간에 벡터를 생성하고 두 벡터사이의 거리값이 주어진 조건을 만족하는 점들을 찾고 유사한 각도를 갖는 두 개의 벡터중 한 벡터의 끝점은 다른 벡터의 시작점인 벡터를 찾아 세 개의 인공표지를 검출한다.

2.3. 도킹변수 추출

로봇과 충전스테이션과의 상대 위치를 측정하기 위해서는 일차적으로 영상상에서 추출된 인공표지의 위치를 카메라를 기준으로 한 로봇좌표계로의 변환 후 충전스테이션의 중심점을 기준으로하는 충전스테이션 기준 좌표계로의 변환이 필요하다.

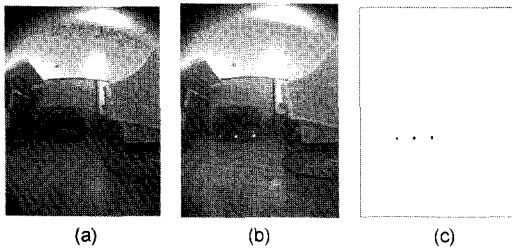


그림 3. 인공표지 검출 (a), (b)입력 영상, (c) 검출된 인공표지 영상

Fig. 3. Detection of artificial landmarks (a), (b) Input images, (c) Image of artificial landmarks detected.

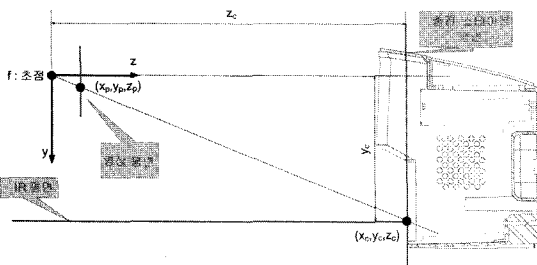


그림 4. 핀 홀 카메라 모델에 따른 로봇 좌표계

Fig. 4. Robot coordinate system by pin-hole camera model.

왜곡이 교정된 카메라 영상은 핀 홀 카메라 모델이 되며 핀 홀 카메라 모델 수식에 의해 카메라로부터의 3차원 실측 위치 즉, 로봇 좌표계상의 위치는 간단한 비례식으로서 표현될 수 있다. 로봇 좌표계상의 한점이 (x_c, y_c, z_c) 일때 카메라 영상 평면상에 투영 위치는 (x_p, y_p, z_p) 이다. x_c 는 카메라로부터 점까지의 폭을 뜻하며 y_c 는 높이차, z_c 는 거리를 나타낸다. 여기서 y_p 와 초점거리 f 의 값을 알고 있으며 또한 y_c 의 값, 즉 충전스테이션상의 인공표지 점의 높이를 이미 알고 있기 때문에 초점으로부터 충전스테이션까지의 거리 z_c 를 측정할 수 있다.

y_p 와 z_p 의 비는 y_c 와 z_c 의 비와 같다.

$$\frac{y_p}{f} = \frac{y_c}{z_c} \tag{8}$$

이때 카메라 초점으로부터 영상 평면까지의 초점 거리 f 는 z_p 와 같다.

$$z_p = f \tag{9}$$

위의 식을 z_c 를 중심으로 아래와 같이 변환하면 z_c 의 값을 구할 수 있다.

$$z_c = \frac{y_c f}{y_p} \tag{10}$$

추출되어진 z_c 의 값을 토대로 아래식에 의해 초점으로부터 인공표지까지의 폭 x_c 를 측정할 수 있다.

$$x_c = \frac{z_c f}{x_p} \tag{11}$$

이로써 영상상의 좌표점 (x_p, y_p, z_p) 으로부터 인공표지에 대해 로봇좌표계 (x_c, y_c, z_c) 값으로 변환이 가능하며 이 값을 충전스테이션을 기준으로한 절대좌표계으로 변환한다.

충전스테이션 기준 좌표계는 그림 5에서와 같이 충전스테이션의 중심점을 기준으로하는 직각 좌표계이다. 그림 6에서 로봇좌표계상의 기준원점은 로봇의 중심점으로서 충전스테이션 기준 좌표계상에서는 (x_1, y_1, t_1) 충전스테이션 중심점은 (x_0, y_0, t_0) 으로 표현된다. 이때 t_0 는 직각 좌표계상의 X축을 기준으로 로봇의 방향각이므로 충전스테이션 기준 좌표계에서는 로봇의 직각 좌표계상의 위치인 (x, y) 로 표기와 동시에 로봇의 방향각에 대해 함께 표기한다.

세 개의 인공표지의 로봇으로부터의 위치를 표기하면 순서대로 왼쪽 인공표지 위치 $(x_{left}, y_{left}, z_{left})$, 중심

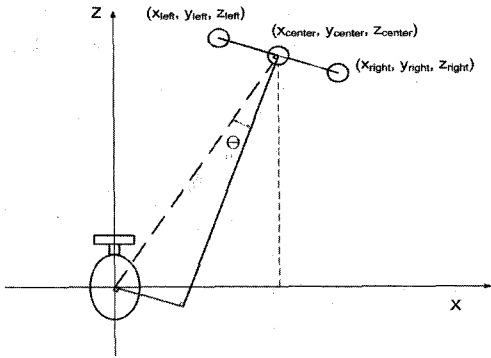


그림 5. 로봇 좌표계상의 세 개의 인공표지 위치
Fig. 5. Location of three point landmarks in robot coordinate system.

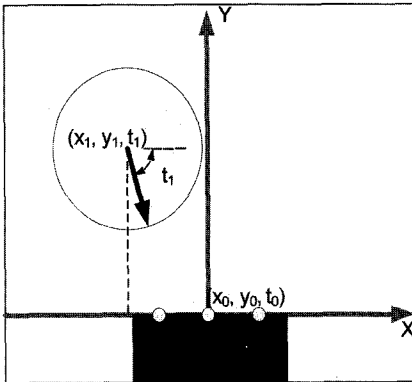


그림 6. 충전스테이션 기준의 로봇의 위치
Fig. 6. Location of robot from reference point of station.

인공표지 위치 $(x_{center}, y_{center}, z_{center})$, 오른쪽 인공표지 위치 $(x_{right}, y_{right}, z_{right})$ 로 표기한다.

여기서 로봇의 방향각 t_1 은 로봇 좌표계상의 왼쪽 인공표지와 오른쪽 인공표지간의 기울임 각으로서 표현된다.

$$t_1 = \tan^{-1} \left(\frac{z_{right} - z_{left}}{x_{right} - x_{left}} \right) \quad (12)$$

때문에 로봇의 방향각과 충전스테이션의 중심각간의 사이각 θ 는 두 각의 차로써 구해진다.

$$t_1 = \tan^{-1} \left(\frac{z_{center}}{x_{center}} \right) - t_1 \quad (13)$$

이로써 그림 6의 충전스테이션 기준 좌표계상의 위치인 (x_1, y_1) 은 로봇 중심과 충전스테이션 중심간의 거리로부터 구해진다.

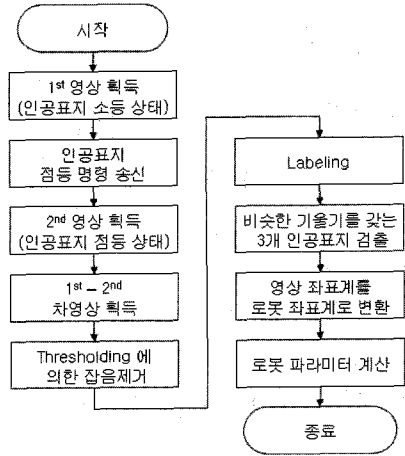


그림 7. 도킹변수 계산 흐름도
Fig. 7. Flowchart for calculating docking parameters.

$$x_1 = (x_{center} + y_{center})^2 \cos \theta \quad (14.a)$$

$$y_1 = (x_{center} + y_{center})^2 \sin \theta \quad (14.b)$$

이로서 충전스테이션 기준 좌표계상의 위치점으로의 변환이 가능하다.

3. 실험 및 고찰

카메라 보정 및 도킹 검증을 위한 실험장치는 그림 8과 같다. 로봇과 보정 및 검증용 패널은 직선운동기구로서 연결되어 좌우로 이동이 가능하며 패널 또는 로봇은 회전을 할 수 있도록 되어 있다. 실험에 사용된 로봇은 주행방향으로 어안렌즈가 장착되어 있으며 사용된 카메라는 아이테크사의 BMC-721b이며 흑백 1/3인치 CCD를 센서이고 유효화소수는 512(H) × 492(V)이다. 어안렌즈는 170도의 시야각을 가지며 초점거리 (f)는 1.78 mm이다. 영상의 획득은 TI사의 DSP와 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 영상획득 보드를 제작하여 사용하였다.

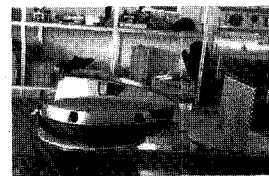


그림 8. 실험장치
Fig. 8. Experimental setup.

표 1. 거리변화 범위에 따른 거리 및 각도 오차
Table 1. Distance and orientation error for distance range

	거리	거리 오차	각도 오차
1	550 mm~ 650 mm	< 10 mm	< ±1도
2	650 mm~ 750 mm	< 20 mm	< ±1도
3	850 mm~ 1000 mm	< 70 mm	< ±2도

첫 번째 실험은 카메라의 정면상에서 충전스테이션의 거리값만을 변화 시켰을 때 추출된 변수 값의 변화를 측정하였다. 거리값의 변화는 550 mm~700 mm 거리에서는 10 mm 단위로 하였고 700 mm~1000 mm까지의 거리 범위에서는 50 mm씩 변화시켜서 측정한 것이다. 표 1은 거리 변화에 따른 거리 및 각도 오차로서 거리값이 550 mm에서 750 mm에서는 거리오차가 20 mm이내인 반면에 850 mm에서 1000 mm에서는 최대 70 mm이내의 오차를 갖는다. 그림 9에서 이를 자세히 보면 로봇이 도킹가능한 정확한 범위에 해당되는 것은 750 mm 이내임을 알 수 있다. 750 mm 이상에서

는 로봇이 대략적인 거리와 방향값을 가지고 충전스테이션에 접근하고 750 mm 이내에서는 다시 정확한 값을 산출하여 충전스테이션에 도킹하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 그림 10에서처럼 각도 오차는 1000 mm 이하에서 최대 2도임을 알 수 있으며 충전스테이션에 도킹시 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 거리에 따라 오차가 일정 범위내에서 동일한 값으로 반복됨을 알 수 있으며 이는 해당범위에서의 오차한계를 나타내고 있다.

두 번째 실험은 카메라의 정면 550 mm 거리상에서 충전스테이션을 제자리에서 회전시키며 측정한 결과이다. 이는 최종적으로 충전스테이션에 도킹하기 위한 최소 근접거리이므로 이 거리에서의 각도 오차는 도킹에 큰 영향을 미치게 된다. 아래의 각도오차는 실험에 사용된 로봇처럼 바퀴와 관계없이 회전하는 몸체(turret)를 갖는 경우에는 회전하는 몸체에 대한 값이기도 하다. 실험결과는 다음과 같다.

(1) 터릿 오차: 그림 11은 충전스테이션을 -10도 ~

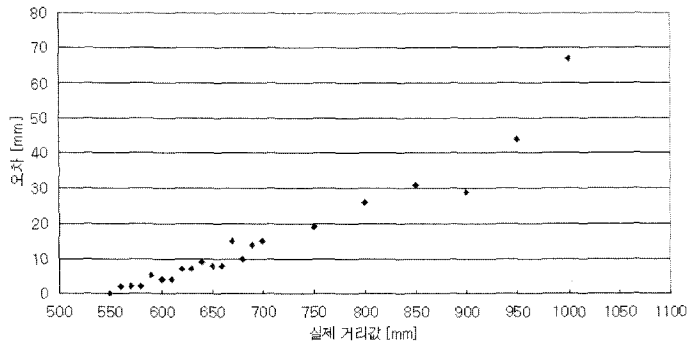


그림 9. 거리 오차
Fig. 9. Distance error.

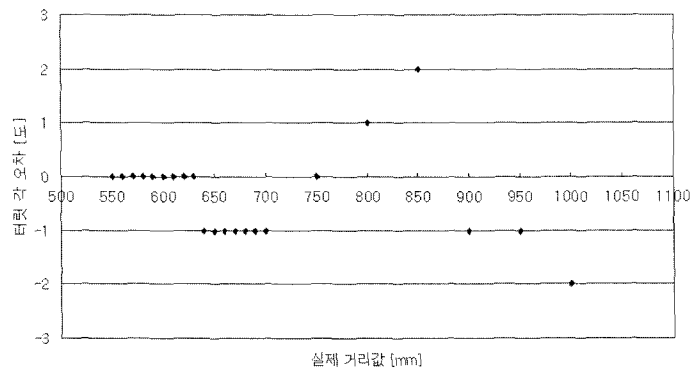


그림 10. 실제 거리에 따른 각도오차
Fig. 10. Turret error.

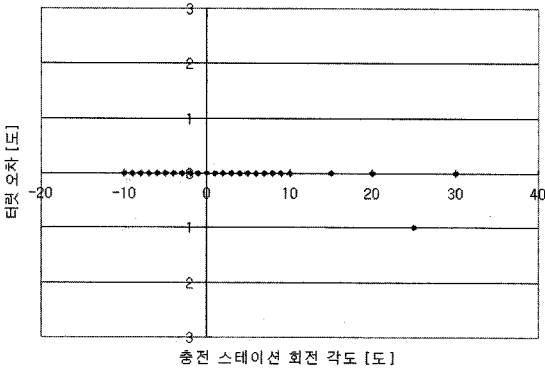


그림 11. 터릿 각도오차
Fig. 11. Orientation error of turret.

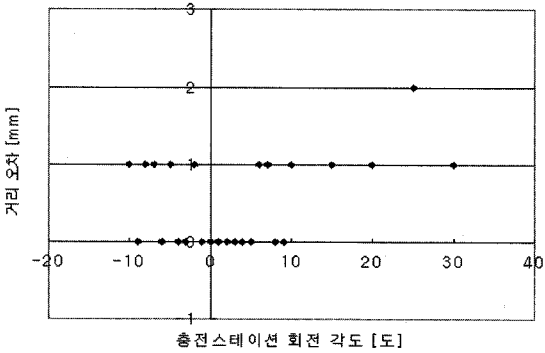


그림 12. 충전스테이션 회전에 따른 거리 오차
Fig. 12. Distance error by rotating angle of station.

30도 까지 변화시킨 결과 25도 회전 시켰을 때 -1도의 터릿 오차만 측정 되었으며 나머지 각도에서는 오차가 없었다.

(2) 거리 오차: 위 실험시 충전스테이션을 제자리에서 회전 하였기에 거리값은 변화가 없어야 하며 실제 측정 결과 그림 12와 같이 10 mm 이내의 오차를 유지하였다.

4. 결 론

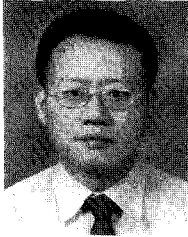
본 논문에서는 주행이나 감시목적으로 어안렌즈 카메라를 주행방향으로 장착하고 있는 이동로봇이 자동 충전을 하기 위하여 어안렌즈를 보정하고 인공표지를 검출하는 방법에 관해서 기술하였다. 실제의 로봇에서는 로봇의 가격상 계산능력이 낮은 하드웨어를 채용하고 있으므로 어안렌즈의 보정에 있어서 비선형 카메라 모델의 복잡성과 계산량을 줄이기 위해 핀홀 카메라 모델에 방사형 왜곡만을 추가한 모델을 사용하였으며

왜곡된 영상상의 점들과 왜곡이 제거된 점들 간의 정합과정을 통해서 카메라를 교정하였다. 또한 외란광의 영향을 줄이기 위해 로봇이 필요한 경우에 인공표지를 발광하게 하여 영상을 획득하고 차영상을 적용하여 외란광을 제거하였다. 인공표지의 검출을 확실하게 하기 위해 3점을 갖는 구조로 인공표지를 설계하였고 인공표지의 기하학적 관계와 조건들을 적용하여 잡음에 강한 검출이 가능하게 되었다. 실험결과 검출된 인공표지를 기준으로 충전스테이션과 로봇간의 변수를 추출, 도킹이 성공되었으며 충전전자를 기준으로 좌우로 최대 1 cm 이내의 도킹 정밀도가 보장되었다. 최종 도킹 시도 지점인 충전스테이션으로부터 550 mm 떨어진 곳을 기준으로 로봇 변수의 정확도 측정 결과 거리오차 ± 10 mm 이내, 로봇 각도 및 로봇에 장착된 터릿의 각도가 ± 1 도 이내로 됨을 알 수 있었다. 이는 로봇이 벽면충돌 등에 의한 오류로 충전스테이션에 도달하지 못해 지속적인 작업을 할 수 없는 상황에서 벗어날 수 있으며 일반적으로 로봇의 전방에 설치된 감시나 주행 목적의 카메라를 이용하여 도킹할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 권오상, "가정용 청소로봇의 제어 동향", 대한전자공학회지, 제31권, 제10호, pp. 29-37, 2004.
- [2] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, "A real-time algorithm for mobile robot mapping with applications to multi-robot and 3D mapping", *In IEEE Int. Conference on Robotics and Automation(ICRA)*, 2000.
- [3] F. Dellaert, W. Burgard, D. Fox, and S. Thrun, "Using the condensation algorithm for robust, vision based mobile robot localization", *In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR'99)*, 1999.
- [4] <http://www.electrolux.co.kr/>
- [5] <http://www.lge.co.kr/cokr/product/catalog>
- [6] <http://www.yujinrobot.com/product/irobi.php>
- [7] J. Weng, P. Cohen, and M. Herniou, "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 14, no. 10, pp. 965-980, 1992.
- [8] P. Mansbach, "Calibration of a camera and light source by fitting to a physical model", *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 35, pp. 200-219, 1986.
- [9] 도용태, "카메라 모델과 데이터의 정확도가 불확실한 상황하에서의 카메라 보정", *센서학회지*, 제13

- 권, 제1호, pp. 27-34, 2004
- [10] 김명환, 도용태, “GMDH(group method of data handling) 알고리즘에 의한 카메라 보정 모델의 비선형성 학습”, *센서학회지*, 제14권, 제2호, pp. 109-115, 2005
- [11] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple view geometry in computer vision*, Cambridge University Press, pp. 166-183, 2000.



권 오 상

- 1990년 인하대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1992년 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1992년 ~ 1996년 대우중공업(주) 주임연구원
- 1999년 ~ 2000년 전양대학교 제어계측과, 강의교수
- 2000년 ~ 현재 (주)한울로보틱스 부설 지능로봇연구소 소장
- 주관심 분야 : 자율주행 알고리즘, 로봇 센서 등