

# 단일 전방향 영상을 이용한 공간 정보의 측정

## Localization of 3D Spatial Information from Single Omni-Directional Image

강 현 덕, 조 강 현\*

(Hyun-Deok Kang and Kang-Hyun Jo)

**Abstract :** This paper shows the calculation of 3D geometric information such as height, direction and distance under the constraints of a catadioptric camera system. The catadioptric camera system satisfies the single viewpoint constraints adopting hyperboloidal mirror. To calculate the 3D information with a single omni-directional image, the points are assumed to lie in perpendicular to the ground. The infinite plane is also detected as a circle from the structure of the mirror and camera. The analytic experiments verify the correctness of theory using real images taken in indoor environments like rooms or corridors. Thus, the experimental results show the applicability to calculate the 3D geometric information using single omni-directional images.

**Keywords :** omni-directional image, hyperboloidal mirror, localization, single viewpoint constraint

### I. 서론

본 연구의 목적은 단일 전방향 영상을 이용하여 공간상의 특징점에 대한 기하정보를 획득하는 것이다. 일반적으로 3차원 공간정보를 알기 위하여 최소 2장 이상의 다른 시점에서 취득한 영상이 필요하다[1]. 기존의 연구에서 전방향 시각 카메라를 이용하여 공간정보를 복원하거나 추출하는 방법(structure from motion)은 2대 이상의 전방향 시각시스템을 사용하거나 단일 카메라를 사용한 motion stereo와 같은 방법이 있다[2,4,7,8,14,16]. 그러나 이 방법들은 일반적인 등극선기하와 마찬가지로 2장 이상의 다른 시점을 가진 전방향 영상이 필요하거나 다른 곡률을 가진 2개 이상의 곡면거울의 조합으로 된 시스템이 필요하다. 이러한 방법을 통하여 공간정보를 획득하거나 복원할 수 있다. 마찬가지로 굴절반사 거울시스템(catadioptric mirror system)[6]을 이용한 영상에서는 카메라와 거울의 기하관계를 이용하여 단일 영상만으로 공간정보를 획득할 수 있다. 단일중심사영영상에서 평면과 직선의 기하정보를 획득하는 방법[9,11,17]으로 소실점과 무한직선을 이용하여 기하정보를 취득할 수 있었다. 본 연구에서 제안한 방법은 마찬가지로 일반적인 중심사영 영상에서의 기하정보 취득법과 동일한 방법에서 출발한다. 본 논문에서는 일단 단일 파노라마 영상을 바탕으로 하는 연구에 대하여 논하기로 한다. 기존의 연구에서는 Non-SVP(Non-Single ViewPoint constraint)의 특징을 가진 원뿔형태의 곡면거울과 카메라의 조합으로 이루어진 형태를 이용하여 단일영상에서 공간정보를 알 수 있도록 하였다. 특히 Brassart et al[10,15]는 SYCLOP(Conical SYstem for

Localization and Perception)을 이용하여 특징점의 기하정보와 로봇의 위치를 측정하였다. 특히 Pinciroli et al[18]에서 Conical mirror와 Non-SVP 조건이 3차원 직선복원에 이용되는 이유를 설명하였으며 가상의 영상에서 3차원 직선복원을 이룩하였다. Pinciroli et al[18]에서 언급한 바와 같이 원뿔면 거울시스템은 공간정보를 복원하는데 효과적인 시스템이다. 그러나 원뿔면 거울은 Non-SVP의 성질로 인하여 영상이 흐릿해지기 쉽고, 전방향의 수직 시야각(vertical field of view)이 제한되는 단점이 있다. 이 성질들은 영상에서 코너점이나 에지성분을 추출하기가 부분적으로 쉽지 않다. 반면 SVP (Single ViewPoint constraints) 성질을 만족하는 쌍곡면거울이나, 포물면거울은 높은 시야각과 단일 중심사영 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다.

전방향 영상에서 일반적으로 직선성분을 추출하는 방법은 먼저 극좌표 영상인 전방향 영상을 직교좌표영상으로 변환한 다음, 에지를 추출하여 직선을 추정하는 것이다. 만일 전방향 영상의 크기가 큰 경우 많은 계산량이 소모되며, 특히 Non-SVP의 성질을 갖는 원뿔면(conical), 구면(spherical) 거울의 경우에는 중심사영을 만족하는 영상으로 변환할 수 없다. Fiala et al[4]에서는 직선의 추출을 위하여 panoramic 히프변환을 이용하였으며 단일 곡면거울이 아닌 다중 곡면거울(double lobed mirror)에서 직선의 추출과 복원을 하였다.

포물면 거울을 이용한 Sturm[12]은 거울과 수직이며 방사형으로 평행한 평면물체의 복원에 대하여 논하였다. 마찬가지로 1장의 단일 파노라마 영상을 이용하였으며 파노라마 영상이 아닌 일반적인 단일중심사영 영상을 이용한 평면 물체복원법[9,11,17]과 동일한 방법을 이용하였다. 그러나 이 방법에서는 평면물체의 법선벡터를 이용하기 때문에 평면물체의 3차원 복원에 대하여 상대적 거리정보만을 획득할 수 있었다.

II장에서는 카메라와 곡면거울의 조합으로 이루어진 일

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 12. 17., 채택확정 : 2006. 4. 14.

강현덕, 조강현 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (hdkang@islab.ulsan.ac.kr/jkh2005@islab.ulsan.ac.kr)

※ 본 논문은 울산대학교 교내연구비 및 2005년도 산업자립부 · 울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원에 의하여 연구하였음.

반적인 굴절반사 거울시스템(catadioptric mirror system)중에서 쌍곡면 거울을 가진 시스템의 카메라 모델을 설명한다. 공간에서 수직선분은 거울을 통하여 왜곡되어 얻어진 영상에서는 더 이상 수직선의 형태가 아니다. 따라서 수직선의 형태를 복원하고 변환된 영상의 폭(width)에 따라 수직선의 방위각을 쉽게 알 수 있도록 직각좌표계로 변환한다. III장에서는 3차원 수직선분과 전방향 시각시스템과의 기하모델을 설명한다. IV장에서는 수직선분 또는 부분적인 특징점을 추출하기 위하여 영상의 코너점이나 에지추출에 대하여 언급한다. 이것은 완전하게 수직선분이 추출되지 않았을 때 지지표면과 만나는 점과 곡면거울의 초점과 xy평면과 평행한 평면을 계산하는 방법을 설명하며, 실험에서는 제시된 직선분의 기하정보 추출법을 이용하여 가상의 환경에서 실험을 하고, 실제 취득된 영상에서 수직선분의 기하정보를 계산한다. 실험데이터를 토대로 제안된 방법으로 측정값과 측정오차에 대하여 기술한다.

II. 전방향 시각시스템

1. 전방향 시각시스템의 카메라 모델

본 논문에서 사용한 전방향 시각시스템은 곡면거울과 일반적 CCD카메라의 조합으로 이루어진 모델이다. 이러한 굴절반사 영상모델(catadioptric imaging model)의 종류는 여러 가지가 있는데 본 논문에서는 단일 초점과 높은 곡률을 가지는 쌍곡면 거울을 채용하여 시스템을 구성하였다[6]. 왜냐하면 높은 시야각과 중심사영 영상을 얻기 위하여 2차 곡면의 특성을 가진 거울 중에서 단일시점의 구속조건을 만족하고 높은 곡률을 가진 쌍곡면 거울을 채택하였다.

그림 2에서와 같이 공간내의 3차원 점 X가 초점 F를 가진 쌍곡면 거울상의 점 X<sub>m</sub>에 투영될 때 점 X는 영상점 x를 포함한 영상평면 q에 사영된다. 단일 시점의 구속 조건(single viewpoint constraint)이란 쌍곡면 또는 포물면에서는 입사광은 각 곡면의 초점을 지나는 것을 말한다. 따라서, 그림 1(a),(b)에서와 같이 원뿔과 구형태의 거울표면상에서 반사된 광은 단일 시점을 형성하지 않는다[6].

그림 2에서 svoboda et al[6]과 같이 곡면거울의 초점 F'과 임의의 점 X는 직선 v<sub>1</sub>에 놓이게 된다.

$$v_1 = \lambda \overline{F'X}_m = F' + \lambda X, \lambda \in R \tag{1}$$

곡면거울의 방정식과 직선의 교점을 계산하여 원하는 기울기를 만족하는 λ를 계산한다. 쌍곡면 거울의 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{(z+e)^2}{a^2} - \frac{x^2+y^2}{b^2} = 1 \tag{2}$$

여기서, a, b는 쌍곡면의 장, 단축의 길이를 나타내는 매개변수이며, x, y, z는 쌍곡면의 임의의 한 점을 말하고, 이심률(eccentricity);  $e = \sqrt{a^2 + b^2}$ 는 원뿔곡선에서 초점에 서의 거리와 준선에서의 거리의 비를 말한다. 따라서, 계산된 λ를 이용하여 거울표면의 점 X<sub>m</sub>을 알 수 있다.

$$X_m = \lambda X \tag{3}$$

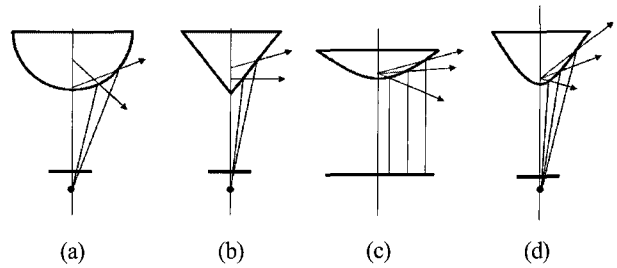


그림 1. 곡면거울의 형태에 따른 단일시점성질: non-SVP:구면(a), 원뿔면(b), SVP:포물면(c), 쌍곡면(d).

Fig. 1. Single viewpoint property as the shape of curved mirror: single viewpoint constraint(SVP, non-SVP) as the spherical(a), conical(b), paraboloidal(c), hyperboloidal(d) mirror.

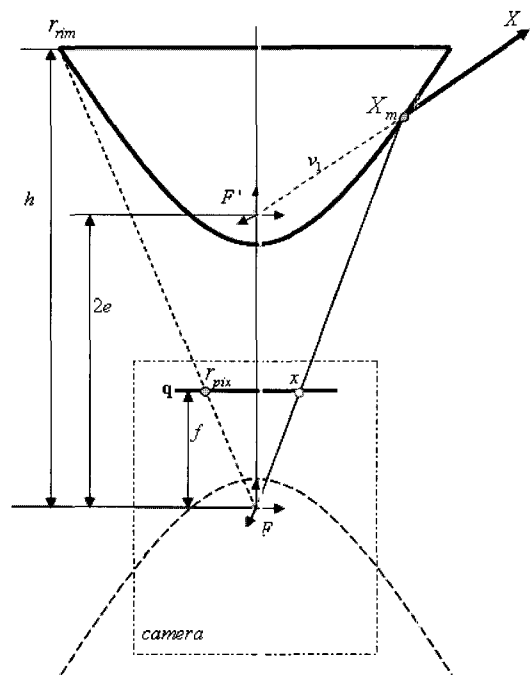


그림 2. 전방향 시각 시스템의 모델.

Fig. 2. Model of catadioptric imaging system.

거울표면의 점 X<sub>m</sub>은 곡면거울의 초점 F'으로부터 z축 상에서 2e만큼 떨어진 카메라의 초점 F를 통과하여 영상평면에 사영된다.

즉, 영상점 x는

$$x = K \frac{1}{z_c} (\lambda X_m - t_c) \tag{4}$$

이다. 여기서,  $X_m = [x_m, y_m, z_m]^T$ , K는 카메라의 내부 행렬이며,  $t_c = [0, 0, 2e]^T$ 는 병진벡터,  $z_c = z_m - 2e$ 이다.

2. 전방향 영상의 성질

일반적으로 전방향 카메라를 이용하여 얻는 영상은 그림 3(a)의 같이 나타난다. 이것을 극좌표계 영상 또는 무지향 영상이라 부르며, 변환된 영상을 직각좌표계 영상, 또는 전

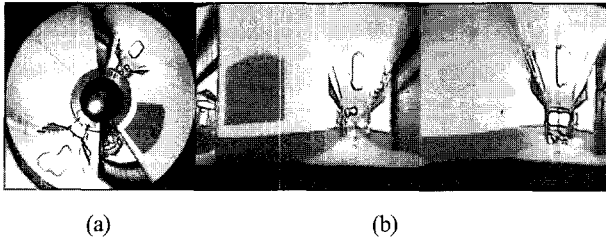


그림 3. 전방향 영상의 변환.  
Fig. 3. Transform of omni-directional image(a) and panoramic image(b).

방향 영상으로 정의한다.

공간내의 수직선분들은 무지향 영상 중심에 수렴한다. 따라서 수직선분의 추출을 쉽게 하기 위하여 극좌표계 영상(image of polar coordinates)을 (5)와 같은 변환을 이용하여 직교좌표계영상(image of rectangular coordinates)으로 변환한다. 전방향 영상에서 수직선분의 가로위치에 따라 공간 내 수직선분의 놓인 방위각(Azimuth)이 결정된다.

$$f(x, y) = g(r, \theta) = g(\sqrt{x^2 + y^2}, \tan \frac{y}{x}) \quad (5)$$

여기서,  $f(x, y)$ 은 직교좌표계 영상이며,  $g(r, \theta)$ 은 극좌표계 영상이다. 이러한 변환으로 그림 3(a)와 같이 무지향 영상시스템을 이용하여 입력된 극좌표계 영상을 그림 3(b)와 같은 직교좌표계 영상으로 변환할 수 있다.

3. 카메라의 내부행렬

본 논문에서 카메라의 내부행렬은 다음과 같이 계산한다. 일반적인 내부행렬은 5개의 내부변수를 가지고 있으나 그중에서 우리는 초점거리( $f$ ), 영상의 중심( $u_0, v_0$ )만을 계산한다. 그 이유는 영상의 두 좌표축이 이루는 각도는 직교하며, CCD소자의 형태도 정사각형을 이룬다고 간주해도 좋기 때문이다. 따라서 우리는 3개의 변수( $f, u_0, v_0$ )만을 포함한 내부행렬을 이용한다. 먼저 획득된 전방향 영상에 투영된 거울의 반경을 구하기 위하여 에지 영상을 구한 다음, 거울의 반경을 구한 후 영상의 중심을 투영된 거울의 원의 방정식을 이용하여 계산한다.

초점거리  $f$ 를 구하기 위하여, 그림 2에서 거울의 반경을  $r_{rim}$ 이라 하고, 이에 따른 영상에 투영된 거울의 반경을  $r_{pix}$ 라 하면  $f$ 는 다음과 같다.

$$f = \frac{r_{pix}}{r_{rim}} h \quad (6)$$

여기서, 카메라 초점  $F$ 에서 거울의 상단까지의 거리  $h$ 는 다음과 같다.

$$h = e + a \sqrt{1 + \frac{r_{rim}^2}{b^2}} \quad (7)$$

III. 3차원 공간의 수직선분에 대한 기하모델  
영상평면에 수직인 선분을 특징으로 생각할 때, 특징점

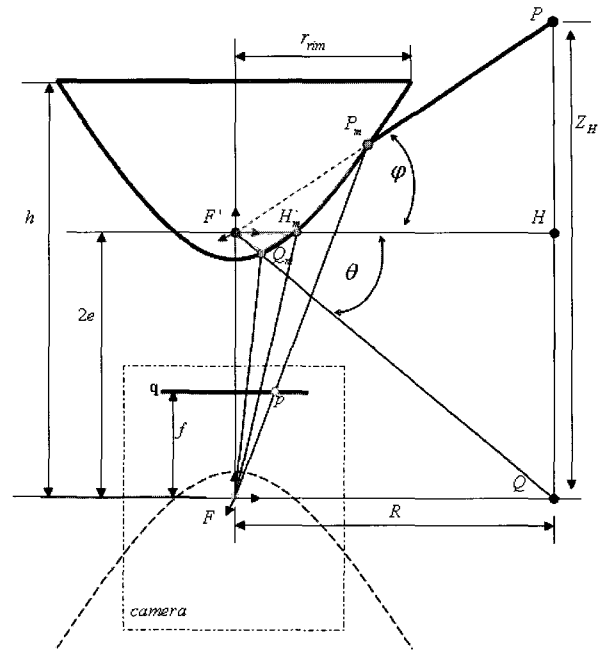


그림 4. 지표면과 수직인 특징점과 카메라의 관계.  
Fig. 4. Geometry of camera and feature points of vertical line.

의 영상대응점  $p, h, q$ ,와 거울표면에 맺힌 점  $P_m, H_m, Q_m$ 을 알고 있을 때 물체와 카메라간의 거리  $R$ 과 물체의 높이  $Z_H$ 를 유도할 수 있다.

1. 영상점과 거울표면에 맺힌 특징점의 기하관계

그림 4와 같이 영상평면에 수직인 직선을 생각해 보자. 3차원 각 점  $P, H, Q$ 가 사영된 영상점 들을 각각  $p, h, q$ 라 할 때, 추출된 점들을 이용하여 거울상에 맺힌  $P_m, H_m, Q_m$ 을 카메라와 거울의 기하관계를 통하여 알 수 있다[10]. 카메라의 초점  $F$ 와 영상평면  $q$  상의 점  $p$ 를 통과하는 직선  $v_2$ 를 생각할 수 있다. 여기서, 곡면거울의 방정식 (1)과 직선  $v_2$ 의 교점을 만족하는  $\lambda$ 를 구할 수 있다. 따라서 곡면상의 점  $P_m$ 은 다음을 만족한다[5].

$$P_m = F(v)K^{-1}p + t_c \quad (8)$$

여기서  $F(v)$ 는 영상면과 곡면거울사이의 사상(mapping) 함수를 말하며,  $F(v) = \frac{b^2(ev_3 + a \| v \|)}{b^2v_3^2 - a^2v_1^2 - a^2v_2^2}$ 이다.  $K$ 는 카메라 내부행렬,  $v = K^{-1}p$ 는  $v_3 = 1$ 인 확장벡터로서 정규화된 카메라의 영상점을 말한다.

2. 특징점과 카메라간의 거리와 방위각

영상에 사영된 3차원점이 거울의 표면에 맺힌 점들을 카메라와 거울의 기하를 이용하여 구한 후 거울표면에 맺힌 점들과 곡면거울의 초점 그리고 실제 공간 내 특징들의 위치관계를 알 수 있다.

그림 5에서 거울의 초점  $F'$ 과 점  $P, H, Q$ 가 이루는 삼각형과 거울표면에 맺힌 점  $P_m, H_m, Q_m$ 과  $F'$ 가 이루는 도형을 생각한다. 이 세 점이 이루는 관계를 아래에 기술한다.

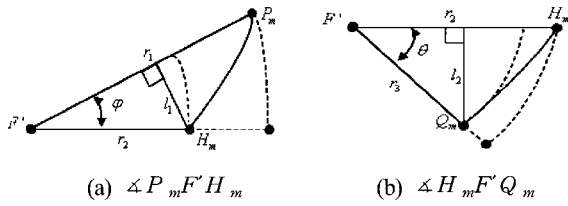


그림 5.  $P_m, Q_m$ 과 초점  $F'$  과의 관계.

Fig. 5. Condition of mirror focal point  $F'$  and points  $P_m, Q_m$ .

2.1  $P_m, H_m$ 과 초점  $F'$  과의 관계

우리는 선분  $\overline{F'P_m}, \overline{F'H_m}$ 의 길이는 공간 내 각 점의 위치를 알 수 있으므로 계산할 수 있다. 왜냐하면 곡면거울의 초점  $F'$ 과 거울표면의 점  $P_m, H_m$ 이 이루는 각  $\varphi$ 를 계산하기 위하여 두 벡터  $\overrightarrow{F'P_m}, \overrightarrow{F'H_m}$ 의 내적을 생각한다. 각  $\varphi$ 은 다음과 같다.

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{\overrightarrow{F'P_m} \cdot \overrightarrow{F'H_m}}{|\overrightarrow{F'P_m}| |\overrightarrow{F'H_m}|} \quad (9)$$

2.2  $H_m, Q_m$ 과 초점  $F'$  과의 관계

1.1과 마찬가지로 선분  $\overline{F'Q_m}$ 의 길이를 계산하고 두 벡터  $\overrightarrow{F'H_m}, \overrightarrow{F'Q_m}$ 의 내적을 이용한다. 곡면거울의 초점  $F'$ 와 거울표면의 점  $H_m, Q_m$ 이 이루는 각  $\theta$ 를 계산하면 다음과 같다.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\overrightarrow{F'H_m} \cdot \overrightarrow{F'Q_m}}{|\overrightarrow{F'H_m}| |\overrightarrow{F'Q_m}|} \quad (10)$$

2.3 공간 내 특징점들의 기하

얻어진 두 각  $\theta, \varphi$ 와 초점간의 거리  $2e$ 를 이용하여 카메라와 수직선분과의 거리  $R$ 과 수직선분의 높이  $Z_H$ 를 계산할 수 있다.

$$R = 2e \cot(\theta) \quad (11)$$

$$Z_H = R \tan(\varphi) + 2e \quad (12)$$

따라서, 공간 내 수직인 특징들은 자신의 높이와 카메라와의 거리를 알 수 있으므로 로봇은 특징들의 방향과 거리 및 특징의 공간 내 높이에 대하여 알 수 있다.

IV. 실험

본 연구에서는 가상의 영상을 이용하여 제안된 방법에 대하여 실험하였으며 마찬가지로 실제 획득한 실내영상에 대하여 실험하였다.

1. 특징추출

본 연구에서는 영상의 특징추출을 위하여 코너점이나 수직에지를 추출한다. 이것은 환경에서 수직선분을 추출하거나 수직선분에 위치한 각 끝점의 코너를 특징으로 추출하기 위함이다. 수직선분을 쉽게 계산하기 위하여 전방향 영상을 (5)를 이용하여 파노라마영상으로 변환한다. 변환된 영상에서 가로픽셀(width)은 특징과 로봇의 방위각(azimuth)

표 1. 곡면 거울의 사양.

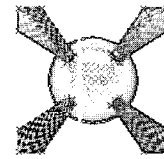
Table 1. Specification of hyperboloidal mirror (mm).

a(장축의 길이)	b(단축의 길이)	r(거울 반경)
28.19	9.4	30

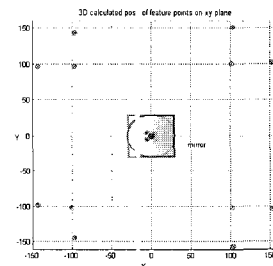
표 2. 공간내 사각물체의 이론적인 실제위치.

Table 2. Ground truth of objects in environment (mm).

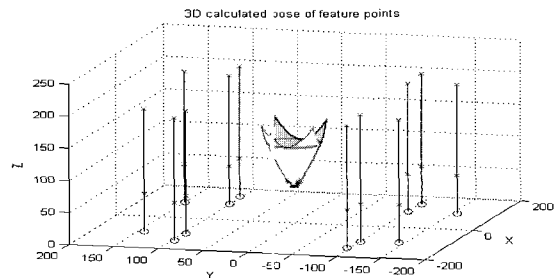
높이(height)	200
폭(width)	50
xy평면에서 카메라와의 최소거리	$100\sqrt{2}$



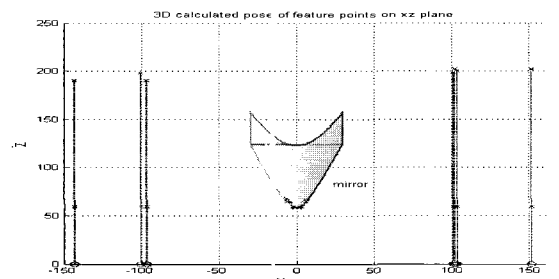
(a) Projected feature points and horizontal plane



(b) Position of feature points on xy-plane



(c) Calculated pose of feature points



(d) Position of feature points on xz-plane

그림 6. 가상의 공간에 위치한 물체의 특징점의 3차원 위치측정.

Fig. 6. Position of feature points in objects on synthetic environment.

이 되며 각 방위각에 따른 수직에지를 추출할 수 있다. 알고리즘은 [16]에서 논하였다.

본 실험에서는 변환된 파노라마영상에서 각 수직에지의 끝점과 대응되는 바닥교차점을 이용하여 특징들의 3차원 위치를 계산한다. 본 논문에서는 사용자가 직접 입력하여 바닥교차점을 찾아서 대응된 특징들의 수직에지끝점과 연결된 선분을 이용하여 3차원 위치측정 실험을 하였다.

2. 이상적인 영상을 이용한 위치측정

3D 렌더링 프로그램인 pov-ray를 이용하여 가상의 카메라와 거울을 만든 뒤 거울에 반사된 영상을 취득하였다.

카메라의 내부행렬은 알고 있다고 가정한다. 곡면 거울의 사양은 표 1과 같다. 제안된 방법을 이용하여 가상의 공간상에 있는 사각기둥의 모서리를 특징점으로 이용하였다. 각 모서리의 끝점들을 이용하여 전방향 영상에서 무한평면과 사각기둥의 영역이 교차하는 점을 알 수 있다. 이 점은 카메라와 곡면거울의 기하관계에서 무한평면과 z축으로 2e만큼 떨어진 위치가 영상에 투영된 점이다. 주어진 특징점들을 이용하여 구한 결과는 그림 6과 같다. 또한 특징점으로 이용되는 4개의 기둥에 대한 실제위치는 표 2와 같다.

실험에서 계산된 결과값은 에러를 포함한다. 이러한 에러는 영상의 크기로 인하여 발생한다.

그림 7은 높이는 고정되어 있으며 x방향으로 100mm씩 증가하는 3차원 위치점이 영상에 사영된 특징점의 영상 내 위치를 나타내며, (b)의 도표는 추출된 동심원의 위치점들 간의 픽셀차를 나타내었다. 이것은 환경 내 추출 특징점이 로봇과 거리가 멀면 멀수록 무한평면원(초록색)에 수렴하는 것을 알 수 있다. 이러한 특징의 위치에 따른 영상면의 특성은 도표와 같은 멱함수의 성질을 가진다.

가상의 영상을 이용한 실험결과는 그림 8과 같다. 따라서, 영상의 크기를 크게 해주거나 관심영역을 확대한다면 픽셀당 에러의 범위가 작아지므로 더욱 정확한 거리측정을 할 수 있다. 그림 8에서 가상의 영상에서 계산된 특징들의 거리정보를 나타내었다. 가로축의 12개의 선들은 원영상에서 보인 직사각형 박스의 수직선들을 나타낸다. 또한 1개의 박스에 3개의 수직선이 있으며 이들은 거의 비슷한 거리와 높이를 가진다. 초록색의 \*표시는 수직선의 정점과 거울까지의 거리를 말하며, O표시는 xy평면상에서 거울과 특징과의 떨어진 거리를 나타낸다. 마지막으로 x표시는 수직선의 높이를 나타낸다. 수직선의 정점과 거울까지의 거리를 나타내는 \*표시와 xy평면상에서 거울과 특징과의 떨어진 거리인 O표시에 실제값과 측정값과의 절대오차를 그림8에 추가하였다.

3. 실내 영상을 이용한 특징의 3차원 위치측정

다음은 실제 영상에서 본 논문에서 제시하는 방법을 이용하여 결과를 분석하였다. 우리가 제작한 곡면거울은 표 1에서 제시한 데이터를 사용하여 제작하였다. 바닥과 거울과의 수평을 유지하기 위하여 거울의 상단에 수준기를 장착하여 바닥과 수평을 맞추었다. 그림 9는 제작된 곡면거울을 부착한 카메라와 획득한 영상이다. II장에서 언급한대로 본 논문에서 높은 곡률을 가진 거울을 채택한 이유는 복도와 같은 비교적 폭이 좁고 높은 벽이 있는 곳에서 특징을 추

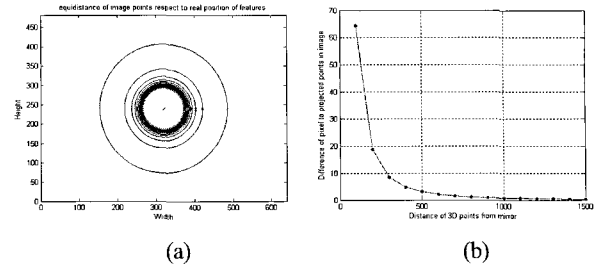


그림 7. (a) 특징점의 실제위치에 따른 영상점의 동심원분포 (b) 사영된 특징점의 동심원간 픽셀차.

Fig. 7. (a) Distribution of concentric circle with image points respect to real position of features (b) Difference of pixel between concentric circles of projected feature points.

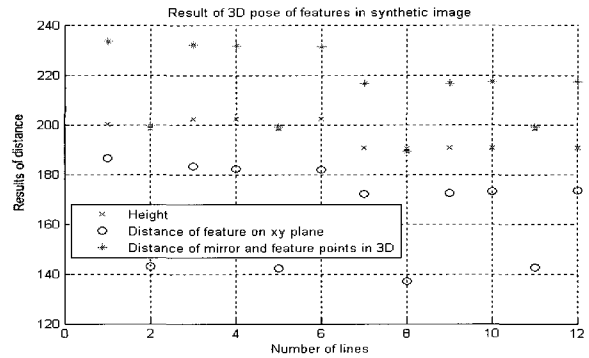


그림 8. 계산된 실험결과.

Fig. 8. Experimental results of 3D pose of features.

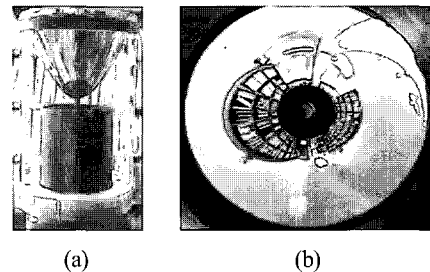


그림 9. 제작된 거울(a)과 획득된 전방향 영상(b).

Fig. 9. The real hyperboloidal mirror(a) and captured image(b).

출하기 위하여 보다 높은 수직시야각을 확보하기 위함이며, 이는 복도와 같은 공간에서 출입문, 게시판과 같은 높이의 특징을 추출하기 위함이다.

본 논문에서 실험한 실내 환경은 복도를 중심으로 이동 로봇이 이동하는 경우를 생각하였다. 이것은 로봇이 이동하면서 단일영상을 이용하여 특징들의 3차원 위치정보를 계산하도록 하였다. 실험에서는 복도에 있는 출입문과 게시판에서 추출된 특징을 이용하였다. 에지영상에서 관심영역으로 설정한 출입문과 게시판내의 특징을 이용하여 실험하였다. 실제 복도의 폭은 2m이며, 출입문의 높이는 2.36m, 게시판의 높이는 1.8m이다. 실험영상에서 무한평면의 경계에 해당하는 영역을 계산하여 그림 10(a)에 보였다(초록색 원). 추출된 특징점과 무한평면의 경계원이 만나는 점을 계산하

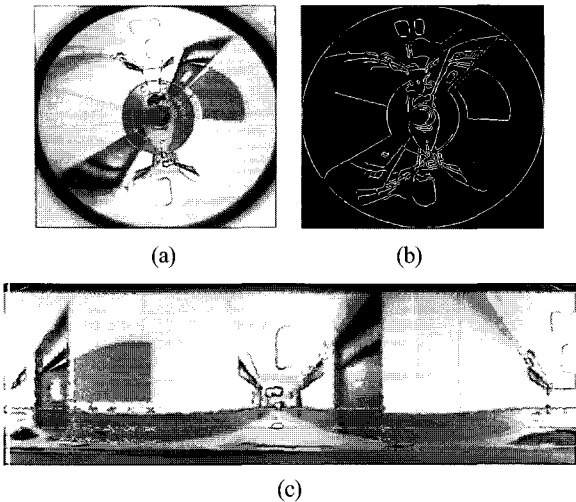


그림 10. 실내 환경과 결과 영상 (a)복도영상, (b)추출에지 영상, (c)파노라마영상.  
 Fig. 10. Corridor scene and result image (a)corridor scene, (b) extracted edge image and (c)panoramic image.

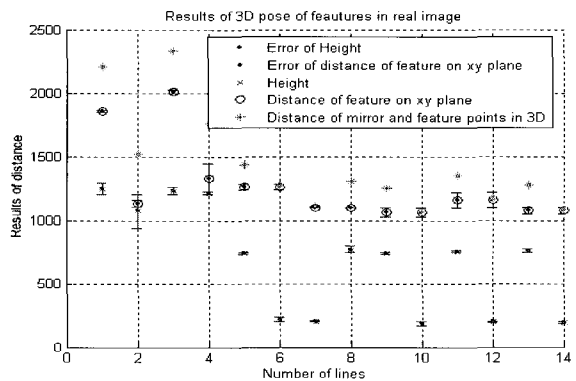


그림 11. 복도영상을 이용하여 계산된 실험결과.  
 Fig. 11. Result of 3D pose from scene of corridor.

고 복도의 바닥과 수직벽의 경계점을 이용하여 각 특징점의 3차원 위치를 계산하였다. 바닥과 수직벽의 경계가 되는 직선은 복도의 특성상 영상에서 두 개의 소실점과 추출된 특징점의 곡률이 가장 최소가 되는 곡선이 바닥과 수직벽의 경계선이 된다.

추출된 특징을 이용한 실험결과는 그림 11에서 계산된 3차원 위치점의 높이, xy평면상에서 로봇과의 거리, 곡면거울과 특징점간의 3차원 거리를 나타내었다. 그림 11에서 실험영상에서 계산된 거리정보를 나타낸 14개의 특징들은 두 개의 출입문의 4개의 코너점과 게시판 둘레의 10개의 특징들을 말한다. 각 표시는 그림 8과 동일하며 보다 효과적인 분석을 위하여 수직선의 정점과 거울까지의 거리를 나타내는 \*표시와 xy평면상에서 거울과 특징과의 떨어진 거리인 ○표시에 실제값과 측정값과의 절대오차를 추가하였다.

복도의 출입문과 게시판의 높이에서 실제값을 실험값과 비교하면 다음과 같다. 이러한 높이오차와 위치오차는 바닥과 벽의 경계점의 오차로 인해 발생한다. 만약 영상에서 두 소실점과 최소 1개의 경계점이 추출된다면 복도의 경계선

표 3. 계산된 특징들의 높이 및 xy평면상 거리오차.

Table 3. Position error of calculated feature points.

		출입문			게시판(윗부분)		
		최대	최소	평균	최대	최소	평균
절대 오차 (mm)	높이	94.0	16.3	47.3	65.0	31.6	46.9
	xy 평면거리	116.3	0.3	40.6	34.4	5.1	22.3
상대 오차 (%)	높이	3.98	0.71	2.02	3.61	1.75	2.60
	xy 평면거리	11.63	0.03	4.06	3.44	0.51	2.23

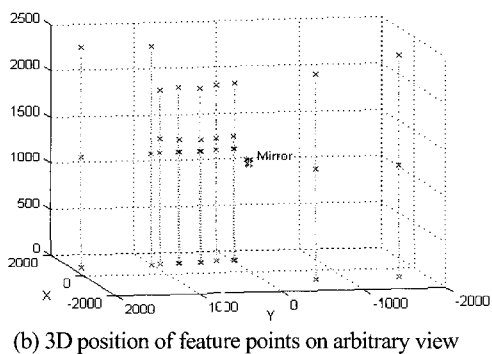
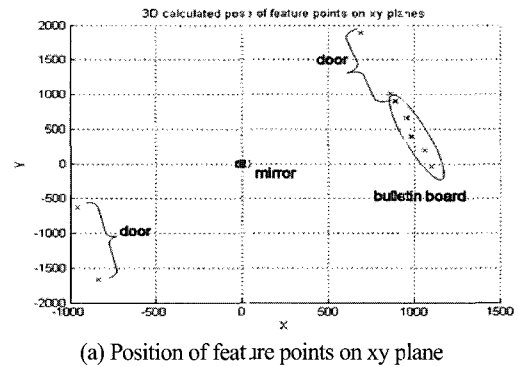


그림 12. 복도에 있는 출입문과 게시판의 3차원 위치추정.  
 Fig. 12. Result of 3D position of door bulletin board in corridor.

의 곡률을 알 수 있다. 여기서 경계선의 곡률이란 실제 복도의 경계선은 직선이다[4]. 그림 12는 추출된 게시판과 출입문의 높이와 거리를 xy평면에서 그리고 특정 시점에서 바라본 결과를 표시하였다.

V. 결론

본 논문에서는 단일 전방향 영상에서 무한평면원과 거울의 기하학적 성질을 이용하여 특징점의 3차원 위치정보를 획득하는 방법을 제안하였다

기존의 방법[1-4,7,8,16]에서 특징의 3차원 복원이나 위치정보의 획득은 최소 2장 이상의 다른 영상이 필요하거나 모션 스테레오의 방법을 이용하였다. 그러나 전방향 시각시스템에서는 카메라와 곡면거울과의 기하관계와 공간특징의 관계를 이용하여 지표면과 수직인 점들의 공간정보를 알 수 있었다[7,10,15,18]. 이는 단일 영상에서 특징점의 공간정보를 획득하므로 이동로봇의 주행시 단안의 전방향 카메라를 이용하여 영상의 취득주기 내에서 자신의 위치와 특징

점의 공간정보를 계산할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서 실내공간의 복도에서 높은 위치의 특징을 추출하기 위하여 높은 곡률을 가진 쌍곡면 거울을 이용하였으며 이를 이용한 3차원 공간정보의 측정을 실험하였다. 표 3에 언급한 바와 같이 계산된 특징들의 거리오차들은 특징점의 추출이 잘못되거나 바닥과 벽의 경계점들이 가지는 픽셀오차에 의하여 발생한다. 이것은 무한평면원에 근접할수록 1픽셀당 가지는 거리오차의 범위가 확대되기 때문이며, 특히 출입문과 같이 높이가 높은 특징의 경우 xy평면상의 거리오차가 큰 것을 알 수 있다.

향후 연구 과제는 본 논문의 가정에서와 같이 지표면과 수직인 점들의 공간정보를 계산하는 것으로 범위를 제한하였으나 실외환경에서는 자유 굴곡면에 놓인 로봇이 특징점의 위치가 수직이 아닌 환경에서 특징점의 공간정보의 계산법에 대하여 연구할 필요가 있다. 아울러 실내공간에서와 같이 비교적 좁은 환경에서가 아닌 멀리 있는 물체의 공간정보계산을 위하여 계산된 데이터의 에러보정에 대한 연구도 진행할 계획이다.

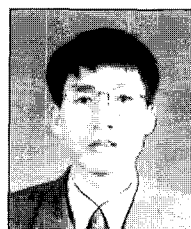
#### 참고문헌

- [1] H. C. Longuet-Higgins, "A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections," *Nature*, vol. 293, pp. 133-135, 1981.
- [2] H. Ishiguro, M. Yamamoto, and S. Tsuji, "Omnidirectional stereo for making global map," *ICCV*, pp. 540-547, 1990.
- [3] K. Yamazawa, Y. Yagi, and M. Yachida, "Omnidirectional imaging with hyperboloidal projections," *Proc. IROS*, 1993.
- [4] M. Fiala and A. Basu, "Panoramic stereo reconstruction using non-SVP optics," *Proc. Int'l Conference on Pattern Recognition*, 1996.
- [5] T. Svoboda, T. Pajdla, and V. Hlaváac, "Central panoramic cameras: Geometry and design," *Technical Report N° K335/97/147*, Czech Technical University, Department of Control Engineering, December, 1997.
- [6] S. Baker and S. K. Nayar, "A theory of catadioptric image formation," *ICCV*, pp. 35-42, 1998.
- [7] J. Gluckman, S. Nayar, and K. Thorek, "Real-time omnidirectional and panoramic stereo," *Proc. of DARPA Image Understanding Workshop*, vol. 1, pp. 299-303, 1998.
- [8] J. Gluckman and S. Nayar, "Ego-motion and omnidirectional cameras," *ICCV*, pp. 999-1005, 1998.
- [9] A. Criminisi, I. Reid and A. Zisserman, "Single view metrology," *Proc. of the 7th Int'l Conf. on Computer Vision*, Kerkyra, Greece, 1999
- [10] E. Brassart, L. Delahoche, C. Cauchois, C. Drocourt, C. Pegaro, and E. M. Mouaddib, "Experimental results got with the omnidirectional vision sensor : SYCLOP," *Proc. IEEE workshop OMNIVIS'00*, USA, pp. 145-152, June 12, 2000.
- [11] F. Schaffalitzky and A. Zisserman, "Planar grouping for automatic detection of vanishing lines and points," *Int'l Journal of Image and Vision Computing*, vol. 18, pp. 647-658, 2000.
- [12] P. Sturm, "A method for 3D reconstruction of piecewise planar objects from single panoramic images," *Proc., IEEE workshop OMNIVIS'00*, USA, June, 2000.
- [13] C. Geyer and K. Daniilidis, "Catadioptric projective geometry," *IJCV*, December, 2001.
- [14] T. Svoboda and T. Pajdla, "Epipolar geometry for central catadioptric cameras," *IJCV* vol. 49 no. 1, pp. 23-37, August, 2002.
- [15] C. Cauchois, E. Brassart, L. Delahoche, and A. Clerentin, "3D localization with conical vision," *Proc., IEEE workshop OMNIVIS'03*, 2003.
- [16] 강현덕, 조강현, "다중표식을 이용한 자율이동로봇의 자기위치추정," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 10권 제1호, pp. 81-86, 2004.
- [17] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd Edition., Cambridge University Press, 2004
- [18] C. Pinciroli, A. Bonarini, and M. Matteredci, "Robust detection of 3D scene horizontal and vertical lines in conical catadioptric sensors," *Proc., IEEE workshop OMNIVIS'05*, Beijing, China, 2005.



강 현 덕

2000년 울산대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 2002년 동대학원 졸업(공학석사). 2002년~현재 울산대학교 대학원 전기전자정보시스템공학부 박사과정수로. 관심분야는 이동로봇, 컴퓨터비전, 지능시스템.



조 강 현

1989년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사). 1993년 일본 오사카대학 대학원 전자제어기계공학과 졸업(공학석사). 1997년 오사카대학 대학원 전자제어기계공학과 졸업(공학박사). 1997년~1998년 ETRI 시스템공학연구소 포스트닥터연구원. 1998년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수. 2005년 8월~2006년 7월 큐슈대학 시스템정보과학연구과 방문교수 및 KIST 지능로봇연구센터 방문연구원. 관심분야는 컴퓨터비전, 휴먼컴퓨터인터랙션(HCI), 지능시스템 제어.