

# 선형 레이저와 회전 평면경 및 단일 카메라를 이용한 거리측정 시스템

## Depth Measurement System Using Structured Light, Rotational Plane Mirror and Mono-Camera

이 혜 정\*, 윤 창 배, 김 형 석, Chun-Shin Lin, 손 홍 락  
(Hye-Jeong Lee, Chang-Bae Yoon, Hyong-Suk Kim, Chun-Shin Lin, and Hong-Rak Son)

**Abstract :** A depth measurement system that consists of a single camera, a laser light source and a rotating mirror is investigated. The camera and the light source are fixed, facing the rotating mirror. The laser light is reflected by the mirror and projected to the scene objects whose locations are to be determined. The camera detects the laser light location on object surfaces through the same mirror. The scan over the area to be measured is done by mirror rotation. Advantages are 1) the image of the light stripe remains sharp while that of the background becomes blurred because of the mirror rotation and 2) the only rotating part of this system is the mirror but the mirror angle is not involved in depth computation. This minimizes the imprecision caused by a possible inaccurate angle measurement. The detail arrangement and experimental results are reported.

**Keywords :** stereo vision, depth, rotating mirror, laser, mono camera

### 1. 서론

3차원 거리 정보와 물체의 위치 정보는 로봇을 구동하는 데 있어서 매우 중요한 정보로서 이를 위하여 거리 측정 기술이 필요하다. 그리고 최근 로봇 산업이 급속도로 발전하면서 3차원 거리 정보를 위한 보다 정확하고 믿을만한 기술이 요구되고 있다.

거리 측정을 위한 기술로서 스테레오 비전 [1,2]은 매우 잘 알려진 기술로서 평행하게 설치된 두 대의 카메라를 통하여 받아들인 두 장의 영상에서 상호 일치점을 찾아 거리를 측정하는 방식이다. 하지만 두 장의 영상에서 일치된 부분을 찾는 것은 매우 어려운 문제로서 이에 대한 방안으로 물체에 구조화 조명(structured lighting)이라고 하는 빛의 패턴을 투사하는 액티브 비전 기술이 사용되었다[3-6]. 액티브 비전은 스테레오 비전과 다르게 단일 카메라를 사용하며 [7-9], 또 다른 하나의 카메라를 빛 투사기로 대체하여 [10] 물체에 다중선이나 [11-13] 사각의 그물 망 패턴을 투사하므로 [6,14] 선 정합에 있어서 애매함을 줄일 수 있다. 하지만 선 정합의 어려움은 여전히 남아 있으며 [15] 이러한 문제점은 코드화 된 선이나 [10,12,16] 칼라 빛을 투사하여 [3,8,13] 해결할 수 있다. 하지만 이 방법은 상대적으로 해상도가 매우 낮다는 문제점이 있기 때문에, 이를 해결하기 위하여 빛 투사기를 회전 시켜서 물체를 스캔(scan)하는 방법도 연구되었다 [17,18]. 그러나 이 방법 또한 빛의 회전으로 인하여 영상에 빛의 블

러(blur)가 생기게 된다는 문제점을 가지고 있으며, 이는 정확한 거리측정을 방해하는 요인이 된다. 또 다른 문제점은 빛 투사기 각도의 정확성에 따른 것인데 빛 투사기의 각도가 거리 측정 계산식에 사용되므로 빛 투사기의 각도가 부정확하게 측정되면 거리 측정에도 부정확성이 생기게 된다.

이 논문에서는 빛 투사기의 각도와는 독립적으로 거리가 계산되고 빛의 블러가 생기지 않는 보다 정확하고 효과적인 거리측정 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 단일 카메라와 레이저, 회전 평면경으로 이루어져 있으며 거울의 회전축을 향해 레이저 빛이 투사되면 반사된 빛이 물체에 투영되고, 물체에 투사된 레이저 빛은 다시 거울을 통하여 투영되는 구조로 이루어져 있다. 본 시스템은 몇 가지 장점을 가지고 있는데, 첫번째 장점은 영상의 블러가 제거 된다는 점이다. 거울 축 상에서 같은 거리만큼 떨어진 수평선상의 임의의 점에 투사된 빛을 카메라로 받아들이면, 레이저 빛은 영상에서 항상 같은 위치의 픽셀에 맺히게 된다. 따라서 거울이 회전하는 동안 반사된 레이저의 빛을 통해 스캔 된 물체상의 거리가 변하지 않으면, 투영된 빛의 영상은 블러가 생기지 않게 된다. 이것은 영상처리를 더욱 쉽게 해 주며, 더 정확한 거리측정을 가능하게 한다. 만약 영상에서 레이저 빛의 블러 된 부분이 발생했다면, 측정하고자 하는 부분의 거리 변화가 일어났음을 의미한다. 두 번째 장점은 물체의 거리와 픽셀 위치의 관계를 조합하여 거리측정에 필요한 룩업 테이블(look up table)을 만들어 사용할 수 있다는 점이다. 세 번째 장점은 시스템 내에서 회전하는 부분이 거울 뿐이며 거울의 각도는 거리측정을 위한 식에 포함되지 않으므로 레이저 각도 측정의 부정확성으로 인한 영향을 최소화할 수 있다는 점이다. 본 시스템에서 레이저는 고정되어 있기 때문에 거리 측정식에 레이저의 각을 사용하기 전에 먼저 캘리브레이션(calibration) 할 필요가 있다.

이 논문의 II절에서는 새로운 거리 측정 시스템을 소개하고 그에 따른 공식을 유도하였으며, 두 개의 시스템 파라미터를

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 8. 30., 채택확정 : 2004. 12. 29.

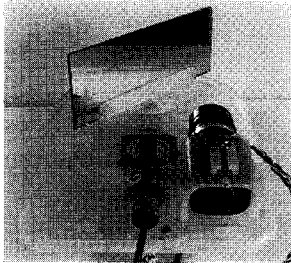
이혜정, 윤창배, 김형석 : 전북대학교 제어계측공학과  
(docdagury@chonbuk.ac.kr/guboon@daum.net/hskim@chonbuk.ac.kr)  
Chun-Shin Lin : Univ. of Missouri-Columbia, Dept. of Electrical Eng.  
(linc@missouri.edu)

손홍락 : Univ. of California, Dept. of Electrical and Computer Eng.  
(hrson2@chol.com)

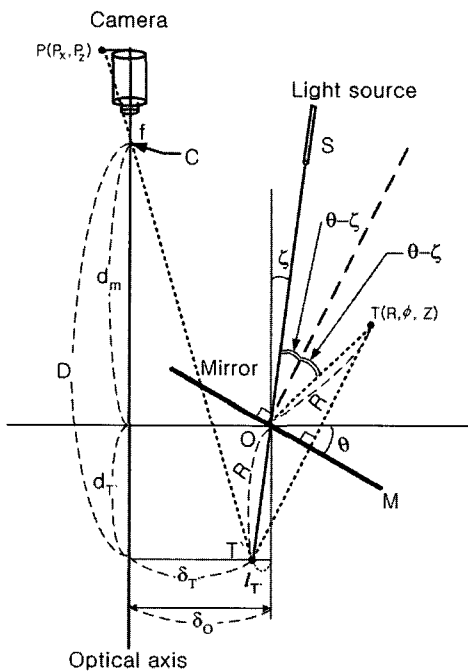
※ 본 논문은 과학 기술부 · 한국 과학재단 지정 지역 협력 연구센터인 전북대학교 메카트로닉스 연구 센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

위한 캘리브레이션에 대하여 III 절에서 설명하였다. IV절은 실험결과에 대하여 기술하였고 V절은 결론이다.

II. 거리측정 시스템의 기하학적 원리와 거리 측정식



(a) The measurement device



(b) Triangulation geometry for a single point projection

그림 1. 단일 카메라와 레이저, 회전 평면경을 이용한 거리측정 시스템.

Fig. 1. Depth measurement with light projection and mirror reflection.

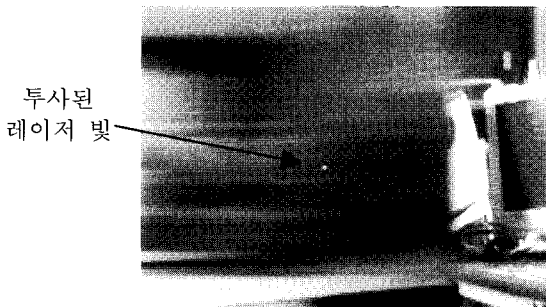


그림 2. 평면경이 회전하는 동안 블러(blur)된 배경과 레이저 포인트 영상.

Fig. 2. Laser light point (near the image center) remains sharp while the background is blurred due to mirror rotation.

제안한 거리측정 시스템은 평행한 단일 카메라와 레이저, 맞은 편에 회전하는 평면경으로 구성되어 있어서 레이저 빛이 회전평면경에 투사된 후, 측정하고자 하는 영역에 빛이 반사되고 반사된 빛이 다시 거울에 투영되어 맞은편 CCD 카메라를 통하여 받아들여지게 된다.

그림 1(a)은 개발 된 측정 시스템이고, 그림 1(b)는 제안한 거리측정 시스템의 원리를 나타낸다. 그림 1(b)에서 카메라와 평행한 수직 축과 레이저 빛 사이의 각을  $\zeta$ , 수평 축과 거울 사이의 각도를  $\theta$ , 카메라 축으로부터 회전 평면경까지의 거리를  $\delta_o$ , 카메라의 초점과 수평 축 사이거리는  $d_m$ , 카메라의 초점 거리는  $f$  로 표시하였다.

그림 1(b)에서 볼 수 있듯이 레이저 빛은 거울에 의해 물체 상의 점 T에 반사되고, 거울 영상인 점 T'에 빛이 맺힌다. 거울 각도가  $\theta$  일 때, 투사된 빛과 반사된 빛 사이의 각인  $\angle SOT$ 는  $2(\theta-\zeta)$ 와 같고 각  $\angle TOM$ 는  $(90^\circ-\theta+\zeta)$ 와 같다. T'가 T의 거울 영상이기 때문에  $\angle T'OM = \angle TOM = 90^\circ-\theta+\zeta$  또한 성립한다. 따라서  $\angle SOT' = 2(\theta-\zeta) + (90^\circ-\theta+\zeta) + (90^\circ-\theta+\zeta) = 180^\circ$ 이므로 T'는 항상 레이저 빛의 선상에 위치하게 된다. 이것은 회전 평면경을 통하여 한 프레임 동안 같은 거리를 스캔한다면, 영상에서의 레이저 빛은 블러가 일어나지 않게 된다는 것을 의미한다.

그림 2에서 거울이 회전하는 동안 투영된 레이저 빛은 움직이지 않고 유지되는 반면, 배경 영상은 블러가 일어난 것을 볼 수 있다. 이러한 특징은 배경 영상에서 레이저 포인트만 추출하여 거리 측정 하는 데 유용하게 사용된다. 그림 2에서 오른쪽의 깨끗한 영상은 거울의 바깥 영상을 나타내고 있다.

3차원 공간상에서의 거리측정 공식을 유도하기 위해서 거울 축을 Z로 한 원통형 좌표로 가정해 보자. 좌표  $(R, \phi, Z)$ 를 가진 레이저 빛 T가 CCD 카메라에 의해 영상 좌표에서의 점  $p: (p_x, p_z)$ 에 맺혀진다고 할 때, 그림 1(b)는 X-Y좌표로의 투사를 보여주고 있다. 이 그림에서  $p_x$ 는 p에서 카메라 광 축까지의 거리를 나타내고, 삼각형의 닮음 공식을 이용하여 거리 측정 식을 유도하면, 먼저

$$p_x : f = \delta_{T'} : D \tag{1}$$

또는

$$p_x (d_m + d_{T'}) = f \delta_{T'} \tag{2}$$

이 된다.

$d_{T'} = R \cos \zeta$ ,  $\delta_{T'} = \delta_o - l_{T'}$ ,  $l_{T'} = R \sin \zeta$  을 (2)에 대입하여 정리하면,

$$p_x (d_m + R \cos \zeta) = f (\delta_o - R \sin \zeta) \tag{3}$$

이 되고 (3)을 R로 정리하면,

$$R = \frac{f \delta_o - p_x d_m}{f \sin \zeta + p_x \cos \zeta} \tag{4}$$

이 된다.

수직 축과 측정하고자 하는 점 T 사이의 각인  $\phi$ 는 레이저 빛의 각과 거울 각에 의해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = 2(\theta - \xi) + \xi = 2\theta - \xi \quad (5)$$

또한 Z를 구하기 위하여 삼각형의 닳음 공식을 이용하면,

$$p_z : f = Z : D \quad (6)$$

또는

$$p_z (d_m + d_r) = fZ \quad (7)$$

가 된다. 위의 (7)을 (2)로 나누면,

$$p_z / p_x = Z / \delta_o = Z / (\delta_o - R \sin \zeta) \quad (8)$$

가 되고 (8)을 Z에 대하여 정리하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Z = \frac{p_z (\delta_o - R \sin \zeta)}{p_x} \quad (9)$$

결국 R,  $\phi$ , Z 는 (5)와 (9)를 이용하여 계산할 수 있다.

(4)에서 거울 각도는 식에 사용되지 않으며, 고정된 레이저의 각도  $\zeta$ 는 거리를 측정하기 전에 캘리브레이션하여 사용한다. 개념적으로 3차원 거리측정 문제는 직선  $\overline{PC}$ 와 직선  $\overline{SO}$ 의 교차점인 T'를 구하는 문제로 고려할 수 있으며, 두 직선이 부정확하게 측정 될 때 오차가 생기게 된다. 먼저 부정확한  $\overline{SO}$ 에 따른 오차는 레이저의 각도  $\zeta$ 를 캘리브레이션하여 최소화할 수 있다. 그러나 레이저가 회전하는 구조는 레이저의 투사 각도에 따른 거리 측정 오차를 피할 수 없게 된다. 두 번째로 부정확한  $\overline{PC}$ 에 의한 오차는 점 p의 위치의 부정확성에 의해 생기게 된다. 본 시스템은 영상에 맺힌 레이저 빛인 점 p에 불려가 생기지 않는 특징을 가지기 때문에 정확하고 신뢰할만한 결과를 가질 수 있다.

### III. 내부 파라미터를 위한 캘리브레이션(calibration)과 거리 계산

거리 R을 계산하는데 (4)를 사용하기 위해서는 시스템 파라미터들이 측정되고 캘리브레이션 되어야 한다.  $\delta_o$ 와  $d_m$ 은 실험의 설치 시 고려되는 파라미터 들이고, 그 밖에 f를 포함하여 CCD 센서의 내부 셀 거리  $\delta_{cell}$ 와 레이저의 각도  $\zeta$ 의 값이 필요하다. 본 시스템의 거리측정 정확도는 레이저의 각도  $\zeta$ 의 오차에 매우 민감하기 때문에  $\zeta$ 를 직접적으로 구할 수 없으며, 이는 캘리브레이션을 통하여 정확하게 결정 되어야 한다. 또한 CCD의 내부 셀 거리와 초점 거리와 같은 내부 파라미터들의 정확한 값도 캘리브레이션을 통하여 얻을 수 있다. 내부 파라미터 캘리브레이션을 하기 위하여 (4)를 변경하면 다음과 같다. 먼저 그림 1(b)에서 영상의 중심으로부터 점 p까지의 거리인  $p_x$ 와 일치하는 픽셀 수를 정수  $n_x$ 로 가정하면  $p_x$ 는 아래의 식과 같다.

$$p_x = \delta_{cell} n_x \quad (10)$$

(10)을 (4)에 대입하면,

$$R = \frac{f \delta_o - \delta_{cell} n_x d_m}{f \sin \zeta + \delta_{cell} n_x \cos \zeta} = \frac{\frac{f}{\delta_{cell}} \delta_o - n_x d_m}{\frac{f}{\delta_{cell}} \sin \zeta + n_x \cos \zeta} \quad (11)$$

이 되고,  $k = \frac{f}{\delta_{cell}}$ 로 정의하면, 측정하고자 하는 거리 R은

다음 식과 같이 구해진다.

$$R = \frac{k \delta_o - n_x d_m}{k \sin \zeta + n_x \cos \zeta} \quad (12)$$

#### 1. 내부 파라미터 k의 캘리브레이션

실험은 거리 R=50, 100, 150, 200, ..., 500cm일 때 수행되었으며, 카메라와 레이저 포인터는 평행( $\zeta = 0^\circ$ )으로 설치되어 있다.  $\zeta$ 를  $0^\circ$ 로 맞추기 위하여 레이저 포인터의 축과 카메라의 광 축의 평행 연장 선 (R=500cm 이상) 사이의 거리가  $\delta_o$ 로 유지되도록 레이저의 방향을 조정한다. 파라미터 k의 값을 얻기 위해 실험을 통하여 이미 알고 있는 값인  $\zeta$ ,  $\delta_o$ ,  $d_m$ , R을 (12)에 대입하여, 계산된 k값들의 평균값이 사용된다. 이 파라미터는 거리 측정 하기 전에 미리 캘리브레이션하는 것이 필요하다.

#### 2. 내부 파라미터 $\zeta$ 의 캘리브레이션

시스템에서 각도  $\zeta$ 는 (12)를 통해 얻어지는데, 이 식에서 이미 알고 있는 거리 R과 영상으로부터 얻을 수 있는  $n_x$ , 실험 시 설치를 통해 알 수 있는 값인  $\delta_o$ 와  $d_m$ , 캘리브레이션을 통해 구해진 k가 주어지므로 결과적으로 변수  $\zeta$ 는 계산이 가능하다. 거리 값은 각도  $\zeta$ 의 오차에 매우 민감하기 때문에  $\zeta$  값에 변화가 있는지 다시 캘리브레이션하여 사용하는 것이 필요하다.

#### 3. 거리를 측정하는 두 가지 방법

거리는 캘리브레이션 파라미터인 k와  $\zeta$ 가 얻어진 후에 (12)를 통하여 계산할 수 있다. 거리를 측정하는 또 다른 방법은 픽셀 위치와 물체의 거리의 관련성을 이용하여 룩 업 테이블을 만들어 사용하는 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 거울 축에서 R만큼 떨어진 레이저 빛이 거울에 투영될 때, 거울에 투영된 레이저 빛은 레이저의 연장선상에 위치하므로 거울의 축으로부터 같은 거리에 있는 모든 점들은 같은  $n_x$  값을 갖게 된다. 이러한 픽셀의 위치와 거리 사이의 관계를 룩 업 테이블로 만들어 거리를 계산하므로 계산의 양을 줄이고 하드웨어를 간단하게 하며 처리 속도를 증가시킬 수 있다.

### IV. 실험 결과

이 절에서는 실험 결과가 기술된다. 실험을 위해서 CCD 카메라 (512x480 8-bit pixels)가 사용되었으며,  $d_m$ ,  $\delta_o$ 는 각각 15cm, 8cm 이다.

#### 1. k와 $\zeta$ 의 캘리브레이션

앞서 III 절에서 기술한 방법을 이용하여 계산된 상수 k의

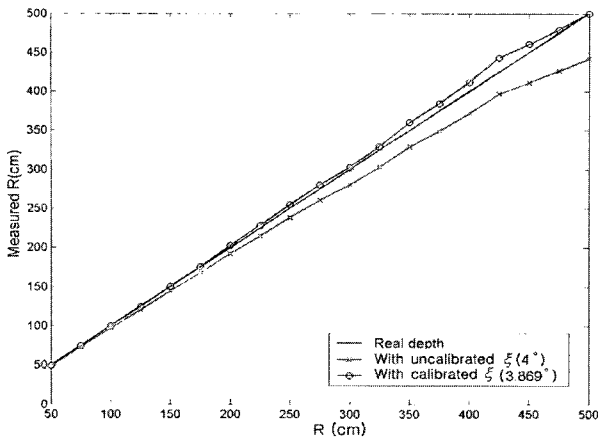


그림 3. 캘리브레이션 한  $\zeta$ 와 캘리브레이션 하지 않은  $\zeta$ 를 이용한 거리측정 오차.

Fig. 3. Results with and without having  $\zeta$  calibrated.

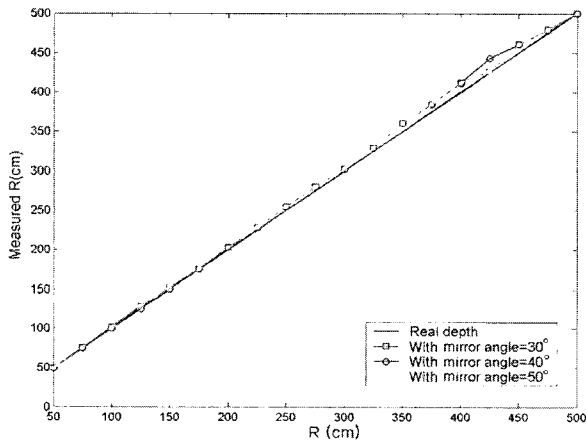


그림 4. 거울 각의 변화 따른 거리측정 오차.

Fig. 4. Plots for measurement at different directions.

평균 값은 1377.56 이다. 거리 측정 실험을 위해  $\zeta$  는  $4^\circ$ 로 가정된다. 하지만  $\zeta$ 는 정확히  $4^\circ$ 가 될 수 없으며 정확한 값은 캘리브레이션을 통하여 얻을 수 있다. (12) 를 이용하여  $R=500$ 일 때 실제  $\zeta$ 는  $3.869^\circ$ 로 계산된다.

2. 거리 측정의 실험 결과

그림 3은 R이 50cm에서 500cm까지일 때, 캘리브레이션 된 각도  $\zeta = 3.869^\circ$ 를 이용할 때의 거리 오차와 캘리브레이션 되지 않은 각도  $\zeta = 4^\circ$ 를 이용할 때의 거리의 오차에 대한 결과를 보여준다. 실험을 위한 거울 각도는  $40^\circ$ 이다. 실험을 통하여 캘리브레이션의 필요성을 알 수 있다. 또 다른 실험은 거울의 각도가 각각  $30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ 일 때 수행되었으며, 그림 4를 통하여 거울의 각도에 따른 거리 R은 매우 일정하다는 사실을 알 수 있다. 픽셀 수가 정수이기 때문에 나타나는 양자화 오차 또한 거리 측정의 정확성에 영향을 끼치는 중요한 요소가 된다.

V. 결론

제안한 거리 측정 시스템은 단일 카메라와 레이저, 회전 평면경으로 이루어진 시스템으로 간단한 식을 이용하여 거리

를 측정할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 거리 측정 기술과 비교하여 제안한 시스템의 장점을 설명하였고, 그에 따른 거리 측정 공식을 유도하였다. 그리고 측정하기 어려운 내부 파라미터  $\delta_{cell}$  와 레이저 각도  $\zeta$ 를 계산에 사용하기 위하여 캘리브레이션을 하여 정확한 거리 측정이 가능하도록 하였다. 또한 실험 결과를 통하여 내부 파라미터 캘리브레이션의 필요성을 알 수 있었다.

본 시스템은 레이저 각도  $\zeta$ 에 민감하기 때문에 이를 거리 측정에 사용하기 전에 캘리브레이션 하므로 정확한 거리 측정이 가능하다.

참고문헌

- [1] M. El Ansari, L. Masmoudi, and L. Radouane, "A new region matching method for stereoscopic images," *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, pp. 283-294, April 2000.
- [2] F. Candocia and M. Adjouadi, "A similarity measurement for stereo feature matching," *IEEE Tr. on Image processing*, vol. 5, pp.1460-1464, October 1997.
- [3] C. S. Chen, Y. P. Hung, C. C. Chiang, and J. L. Wu, "Range data acquisition using color structured lighting and stereo vision," *Image and Vision Computing*, vol. 15, pp. 445-456, 1997.
- [4] K. Pulli and L. G. Shapiro, "Surface reconstruction and display from range and color data," *Graphical Models*, vol. 62, pp. 165-201, 2000.
- [5] L. Zhang, B. Curless and S. M. Seitz, "Spacetime stereo: Shape recovery for dynamic scenes," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. vol. 2, pp. II-367-74, 2003.
- [6] S. M. Dunn, R. L. Keizer, and J. Yu, "Measuring the area and volume of the human body with structured light," *IEEE Tr. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 19, no. 6, pp. 1350-1364, Nov./Dec. 1989.
- [7] R. A. Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision," *IEEE Tr. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.PAMI-5, no.2, pp.122-139, March 1983.
- [8] K. L. Boyer and AC. Kak, "Color-encoded structured light for rapid active ranging," *IEEE Tr. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-9, no.1, pp.14-28. Jan. 1987.
- [9] I. Lovanyi and A. Nagy, "3D robot vision using laser based active lighting," *Mechatronics*, vol. 3, no. 2, pp. 173-180, 1993.
- [10] J. Batlle, E. Mouaddib and J. Salvi, "Recent progress in coded structured light as a technique to solve the correspondence problem: A survey," *Pattern Recognition*, vol. 31, no. 7, pp. 963-982, 1998.
- [11] M. Baba and T. Konishi, "Range imaging system with multiplexed structured light by direct space encoding," *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 3, pp. 1437-1442, May 1999.
- [12] R. J. Valkenburg and A. M. McIvor, "Accurate 3D measurement using a structured light system," *Image and Vision Computing*, vol. 16, pp. 99-110, 1998.
- [13] D. Caspi, N. Kiryati, and J. Shamir, "Range imaging with adaptive color structured light," *IEEE Tr. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 5, pp. 470-480, May 1998.
- [14] P. M. Will and K. S. Pennington, "Grid coding: A preprocessing technique for robot and machine vision," *Artificial Intelligence*,

vol. 2, pp. 319-329, 1971.

- [15] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill Inc., 1995.
- [16] J. Pages, J. Salvi, R. Garcia, and C. Matabosch, "Overview of coded light projection techniques for automatic 3D profiling," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.

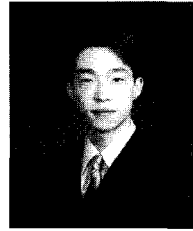
133-138, September 2003.

- [17] Y. Shirai and M. Suwa, "Recognition of polyhedrons with a rangefinder," *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.80-87, 1971.
- [18] T. C. Strand, "Optical three-dimensional sensing for machine vision," *Optical Engineering*, vol. 24, no.1, pp. 33-40, 1985.



**이혜정**

1979년 5월 11일생. 2003년 전북대 제어계측공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 제어계측공학과 석사과정 재학중.



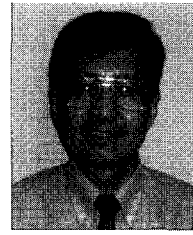
**윤창배**

1977년 10월 30일생. 2003년 전북대 제어계측공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 제어계측공학과 석사과정 재학중.



**김형석**

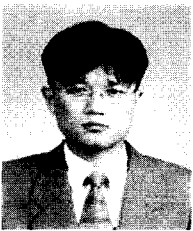
1956년 1월 21일생. 1980년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1982년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업. 1992년 University of Missouri, Columbia, Dept. of Electrical and Computer Eng. 박사. 1993년 9월~현재 전북대학교 교수.



**Chun-shin Lin**

1971년 Chiao-Tung University, Shin Chu, Taiwan 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 전기공학과 석사. 1977년 State University of New York 전자공학과 석사. 1980년 Purdue University 전자공학과 박사. 1987년~현재 University of Missouri-

Columbia 교수.



**손홍락**

1973년 5월 26일생. 1996년 전북대 제어계측공학과 졸업. 1998년 전북대학교 대학원 전기공학과 석사. 2003년 전북대학교 전자공학과 박사. 현재 University of California, Berkeley에 Post Doctor로 연수중.