

## 패턴 투영법을 이용한 3차원 물체의 거리 정보 계측

(The Measurement of 3-D Object Depth Information  
Using Pattern Projection Method)

金 聖 鉉\*, 朴 鍾 勛\*\*, 崔 然 成\*\*, 崔 宗 秀\*\*\*

(Sung Hyun Kim, Jong Hoon Park, Yeon Sung Choi, and Jong Soo Choi)

## 要 約

곡면체에 임의의 패턴을 투영하여 이를 바탕으로 만들어진 녹화영상(Recorded Image)을 투시 변환(Perspective Transformation)하여 원래의 3차원 물체를 재구성 하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서는 투영 영상(Projected Image)의 패턴으로서 점의 집합인 점의 열을 사용한다. 3차원 정보를 직접 얻을 수 있다는 잇점과 함께 물체를 회전시키면서 측정함으로써 3차원 전영역에 대한 거리(Depth) 정보를 얻도록 하였다.

## Abstract

The algorithm to reconstruct an original 3-D object from a curved object is proposed in this paper. The reconstruction is performed by transforming the recorded image perspectively which is obtained from projecting arbitrary pattern on a curved object.

In this paper we make use of the sequence of points, the set of points as a projection pattern of a projected image. The experimental result reveals that this algorithm makes it possible to acquisite 3-D information as well as depth information over the whole 3-D range of the object by measuring the data while convolving the experimental object.

## I. 서 론

3차원 장면(Scene)이나 물체를 촬영한 2차원 영

상을 처리하여 본래의 3차원 구조를 복원하려는 노력이 심화되고 있다. 이를 영상 이해(Image Understanding) 또는 컴퓨터 시각(Computer Vision)이라 부르는데 궁극적으로는 장면내의 물체가 무엇인가를 인식하여 각 물체의 배치나 구성을 이해 하려는 것이다.

이를 실현하기 위한 입력 정보는 두 종류가 가능하다. 장면의 명암정보(Gray Level Information)와 장면 안의 물체의 3차원 정보가 그것이다. 명암정보를 이용하는 인식은 면과 면이 만나는 모서리에서는 빛의 세기(Light Intensity)가 급격히 변화 하리라는 가정에 근거를 두고있다. 그러나 빛의 세기가 기하

\*正會員, 韓國에너지研究所  
(Korea Advanced Energy Research Institute)

\*\*正會員, 濟州大學校 情報工學科  
(Dept. of Inform. Eng., Cheju Nat'l Univ.)

\*\*\*正會員, 中央大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Chungang Univ.)

接受日字: 1988年 5月 24日

(※本 研究는 韓國科學財團 基礎一般研究課題  
861-1105-005-2의 一部로 이루어진 것임.)

학적 형상에 대응하여 변한다고 단언할 수 없으므로 이런 가정이 언제나 정당하지는 않다. 만일 물체의 3 차원 데이터를 얻을 수 있다면, 그 3 차원 형상을 직접 기술할 수 있으므로 훨씬 융통성 있게 인식할 수 있다. 그를 위해 몇가지 방법이 제기되고 있으나 곡면체의 경우 그 형상이 다양하므로 대상물체도 어느 정도 정형 (Regular Shape)을 갖는 것으로 제한할 수 밖에 없고, 또한 시스템은 복잡해지며, 그 처리하는 정보량도 방대하여 시간적 효율을 기대하기 어렵다.

2 차원 입력 영상에서 직접 위치정보를 얻기위한 거리 측정 (Range Finder)법이 연구 되고 있다. 거리 측정 (Range Finder)법은 반사광을 검출하는 방법과 입체시 (Stereoscopic View)를 이용하는 방법이 있다. 여기서 반사광을 검출하는 방법은 다시 스포트광 (Spot Light)를 투시하는 방법과 삼각측량 (Triangulation)을 이용한 스트립광 (Light Stripping)을 투시하는 방법 등으로 나눌 수 있겠다.<sup>[2]-[7]</sup> 또한 입체시 (Stereoscopic View) 방법 중에 투시변환 (Perspective Transformation)을 이용한 영상 해석이 있다. 이 투시 변환은 Coexter가 수학적으로 처리하였고<sup>[8]</sup> Wolf는 사진 측량과 조사 연구에서 그것의 사용을 실증하였다.<sup>[9]</sup> Duda와 Hart는 정경 해석에 사용하여 왔다.<sup>[10]</sup> 이 투시 변환은 영상에서의 2차원 정보로부터 3 차원 위치정보를 찾는데 유용하다.

한편 E. H. Hall 등은 일련의 연구에서 물체에 임의 패턴을 투영하여 이를 카메라로 촬영하고 이 2 차원 영상을 투시 변환하여 원래의 물체를 복구하였다.<sup>[11]</sup> Haralick 등도 같은 시기에 비슷한 연구 결과를 내놓고 있다.<sup>[12]</sup> 이들은 모두 컴퓨터 그래픽스의 투시 변환에서 암시를 얻어 여기에 약간의 교정 (Calibration)을 추가한 것으로 종래의 여러 알고리즘보다 훨씬 경제적으로 물체의 공간 좌표를 구하고 있으나 아직 인식으로의 연결이 미흡하다.

그리고 투영 패턴에는 점 (Point), 선 (Line), 그물 (Grid), 나선 (Spiral) 등 여러가지가 있으나 여기서는 선과 점의 집합인 점의 열을 사용한다. 그로 인해 여러 복잡한 패턴을 이용하는 것보다 훨씬 간단한 처리로서 형상 계측이 가능하게 된다. 또한 3 차원 물체의 인식과 완벽한 영상 복구를 위해서는 물체의 전 방향에 대한 정보가 필요하리라 생각되며 이를 위해 물체를 회전하면서 데이터를 얻어낼 수 있도록 하였다. 이는 인식을 위한 지식 습득의 차원에서 본 형상 계측을 간단한 시스템으로서 구현할 수 있다는 잇점을 가진다 하겠다.

II. 형상계측

인식하고자 하는 물체에 기지의 패턴을 투영시키

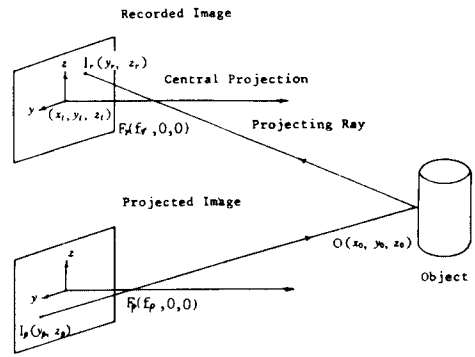


그림 1. 핀홀 카메라에 의한 스테레오 영상모델  
Fig. 1. Stereo imaging model by pinhole camera.

고 이를 촬영하면 단 하나의 녹화 영상 (Recorded Image)으로서 물체의 공간 좌표를 측정할 수 있다. (fig. 1 참조)

투영 영상 (Projected Image)의 중심을 대역 좌표계 (Global System)의 원점으로 잡으면 투영 영상 시스템의 축점은

$$F_p = [f_p \ 0 \ 0]^t \tag{1}$$

이고, 계측하고자 하는 물체의 한점과 그에 대응하는 투영 영상의 점은 축점과 물체 상의 한 점을 연결하는 선위에 있어야 한다. 즉,

$$I_p = F_p + \alpha \cdot (O - F_p) \tag{2}$$

의 관계가 있다. 여기서 I는 투영 영상, O는 물체를 나타낸다. 이를 광선방정식 (Ray Equation)이라 부르자. 다시쓰면,

$$\begin{pmatrix} 0 \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_p \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \alpha \cdot \begin{pmatrix} x_0 - f_p \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} \tag{3}$$

이 된다. 여기서

$$\alpha = \frac{f_p}{f_p - x_0} \tag{4}$$

$$y_p = \left( \frac{f_p}{f_p - x_0} \right) \cdot y_0 \tag{5}$$

$$z_p = \left( \frac{f_p}{f_p - x_0} \right) \cdot z_0 \tag{6}$$

$$y_o = \frac{1}{\alpha} \cdot y_p = M \cdot y_p \tag{7}$$

$$z_o = \frac{1}{\alpha} \cdot z_p = M \cdot z_p \tag{8}$$

$$M = \frac{f_p - x_o}{f_p} \tag{9}$$

이 구해진다. 여기서 M은 배율(Magnification Ratio)이라 할 수 있다. 그러면,

$$x_o = (1-M) \cdot f_p \tag{10}$$

가 된다.

그래서 촛점  $f_p$ 와 배율 M을 알면 투영 영상만으로 물체의 좌표를 계산할 수 있다. 이는 가까운 물체는 크게 보이고 멀리 있는 물체는 작게 보인다는 평범한 원리에 근거를 두고 있다.<sup>1)</sup> 그러나, 만일 다른 물체점과 대응하는 투영 영상의 점을 고려하면, 이때는 배율이 달라져 버리므로 이 방법으로는 일률적으로 공간 좌표를 산정해낼 수가 없다. 이의 개선책으로 녹화 영상을 이용하여 배율 M을 모르더라도 Z를 구할 수 있는 방법을 설명한다. 녹화 영상 시스템은 투영 영상 시스템과 같은 방향이고 그 원점은 대역 좌표계에 대하여 다음 만큼 전이(Translation)되어 있다고 하자.

$$T = [x_t \quad y_t \quad z_t]^T \tag{11}$$

녹화 영상 시스템에서의 촛점은 국부 좌표계 (Local Coordinate System)에서

$$F_r = [f_r \quad 0 \quad 0]^T \tag{12}$$

이다. 이것을 대역 좌표계로 고치면

$$F_r = \begin{bmatrix} x_t + f_r \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} \tag{13}$$

가 된다. 국부 좌표계에서의 영상점은

$$I_r = [0 \quad y_r \quad z_r]^T \tag{14}$$

이다. 이것을 대역 좌표계로 고치면

$$I_r = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t + y_r \\ z_t + z_r \end{bmatrix} \tag{15}$$

가 된다. 따라서, 물체의 좌표 O가 주어졌다면 대응하는 광선 방정식은

$$I_r = F_r + \beta \cdot (O - F_r) \tag{16}$$

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t + y_r \\ z_t + z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_t + f_r \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} + \beta \cdot \begin{bmatrix} x_o - x_t - f_r \\ y_o - y_t \\ z_o - z_t \end{bmatrix} \tag{17}$$

여기서,

$$\beta = \frac{f_r}{f_r + x_t - x_o} \tag{18}$$

$$y_o = y_t + \left( \frac{f_r + x_t - x_o}{f_r} \right) y_r \tag{19}$$

$$z_o = z_t + \left( \frac{f_r + x_t - x_o}{f_r} \right) z_r \tag{20}$$

(6), (7), (19), (20)으로 부터

$$\left( \frac{f_p - x_o}{f_p} \right) \cdot y_p = y_t + \left( \frac{f_r + x_t - x_o}{f_r} \right) \cdot y_r \tag{21}$$

$$x_o = \left( \frac{f_p f_r}{y_r f_p - y_p f_r} \right) \left( y_t + y_r - y_p + \frac{x_t y_r}{f_r} \right)$$

또는,

$$\left( \frac{f_p - x_o}{f_p} \right) z_p = z_t + \left( \frac{f_r + x_t - x_o}{f_r} \right) z_r$$

$$x_o = \left( \frac{f_p f_r}{z_r f_p - z_p f_r} \right) \left( z_t + z_r - z_p + \frac{x_t \cdot z_r}{f_r} \right) \tag{22}$$

의 관계식을 얻을 수 있다.

$I_p$ 와  $I_r$ 을 알고 있으므로 촛점과 전이 파라미터  $[x_t \quad y_t \quad z_t]$ 를 구하면 공간좌표를 계산할 수 있다. 만일 두 영상면의 방향이 다르다면 그 각도차를 구한뒤, 녹화 영상 시스템의 방향을 투영 영상 시스템에 관해 서술해 주어야 한다.

X축에 관하여, 즉 Y-Z 평면이  $\alpha$ 만큼 회전(Rotation) 되었다면, 변환 연산자는

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{23}$$

이고, Y축에 관하여, 즉 X-Z 평면이  $\beta$ 만큼 회전되었다면, 변환 연산자는

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{24}$$

이며, Z축에 관하여, 즉 X-Y 평면이  $\gamma$ 만큼 회전되었다면, 변환 연산자는

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{25}$$

이다. 이와 같은 동차 좌표계(Homogeneous Coordinate)로 표현된 변환 행렬을 녹화 영상에 곱한다.

$$\dot{I}_r = [R_x(\alpha) R_y(\beta) R_z(\tau)] I_r \quad (26)$$

자세한 수식적 유도는 컴퓨터 그래픽스의 일반적인 관계서적에서 쉽게 참조할 수 있다.

본 논문에서 제안된 시스템은 물체의 전 형상을 계측하기 위해서 물체를 중심으로 회전하면서 입력 영상을 얻게된다. 그래서 앞에서 구한 물체의 회전축을 중심으로 하는 공간 좌표계로의 변환이 필요하다.

녹화 영상을 중심으로 하는 대역 좌표계와 회전축을 중심으로하는 공간 좌표계와의 관계 A는 다음과 같다.

$$A = \text{Trans}(0, 0, Z) \cdot \text{Rot}(Z, \alpha)$$

$$\text{Trans}(r, 0, 0) \cdot \text{Con}(x)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & r \cos \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & r \sin \alpha \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & r \cos \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & r \sin \alpha \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Z=0 일때의 A를 A'라고 하면

$$A' = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & r \cos \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & r \sin \alpha \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이 된다. 그래서 회전축을 중심으로한 공간 좌표점 (X, Y, Z)은

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = A' \times \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

이다.

### III. 컴퓨터 시뮬레이션

그림 2는 본 실험을 위한 시스템의 개요도이다. 점의 열로 구성된 투영 패턴은 Source에서 나온 광을 받아 물체에 투시된다. 카메라는 이 투시된 영상을 받아 녹화 영상을 구성하게 된다. 카메라의 위치와 투영 패턴의 위치는 물체의 회전축에 대해 항상 일정한 각도만큼 유지하고 있다. 물체를 일정한 각도만큼 회전시키면서 입력 데이터를 얻는다. 물체의 회전각을 작게 할 수록 많은 데이터를 얻어서 좋은 상의 물체를 구성할 수 있다.

투영되는 패턴은 그림 3과 같다.

시뮬레이션에 사용된 모델은 구(Sphere), 쌍곡면(Hyperboloid), 삼각뿔(Cone), 원통(Cylinder) 등의 간단한 곡면체들이다. 그림 4와 5는 원뿔과 병에 대

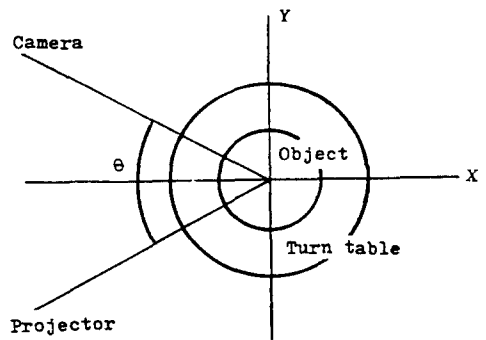


그림 2. 시스템의 개요도  
Fig. 2. Outline of system.

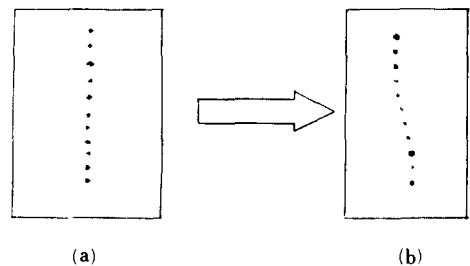


그림 3. 패턴과 투시된 영상  
(a) 물체에 투시되기전의 입력패턴 (Projected Image)  
(b) 물체에 투시된 후의 패턴 영상 (Recorded Image)

Fig. 3. Pattern and projected image.

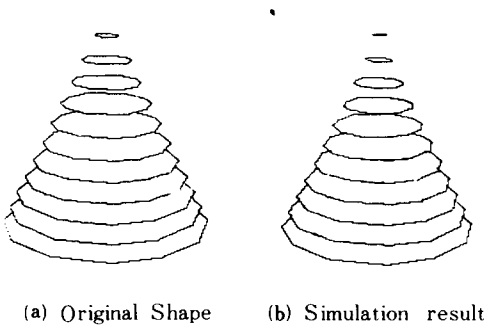


그림 4. 원뿔에 대한 시뮬레이션  
Fig. 4. Simulation result for cone

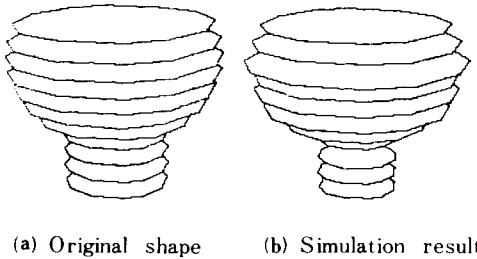


그림 5. 병에 대한 시뮬레이션  
Fig. 5. Simulation result for a bottle.

한 시뮬레이션 결과이다. 각 그림에서 (a)는 원영상이며 (b)는 본 논문의 방법에 의해 재구성한 영상이다.

그 결과로 보면 약간의 왜곡 강조된 부분들이 있기는 하나 원 영상에 대해 어느정도 훌륭한 복구를 해내고 있다고 보이며 왜곡된 부분들에 대한 것은 패턴에서 점의 배열을 좀더 조밀하게 한다면 충분히 보완될 수 있으리라 보인다.

IV. 실험

본 실험 시스템은 그림 6과 같다.

이 시스템의 광원은 5밀리와트 헬륨-네온가스 레이저를 사용하였다. 이 레이저 광선은 상하로 진동하는 거울에 비추어져서 수직 슬릿(Slit) 광을 만든다. 이 슬릿 광은 프로젝터를 통과하여 일련의 점들을 물체에 투영한다. 투영된 영상은 카메라에 의해 촬영된다. 카메라에 들어온 영상은 아날로그 영

상 모니터에 나타나고 이 영상은 디지털라이저(Digitizer)에 의해 컴퓨터에 디지털 신호로 입력 된다. 이 입력 데이터는 컴퓨터의 Video RAM에 저장되어 디지털 영상 모니터에 나타난다. 이 입력 영상은 잡음을 포함하므로 전처리(early processing)과정을 거쳐서 디스크에 저장된다. 본 실험에서 독립 고립점은 4군 방법을 이용한 AND법에 의해 제거시켰다.

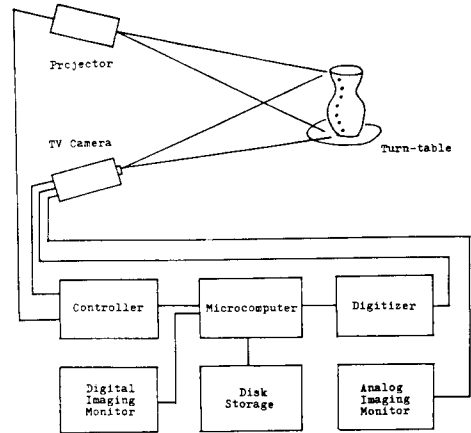


그림 6. 실험 시스템의 구성도  
Fig. 6. Block diagram of experimental system.

다음의 그림 7은 시스템 처리 과정을 설명한다. 본 실험에 사용된 물체는 꽃병과 병을 사용하였다. 그림 8은 카메라에 의해 잡힌 녹화 영상이다. 그림 9는 실험 장치이다.

그림 10은 병을 물체로한 결과이다. 본 실험에서는 9개의 점을 패턴으로 하여 투영하였으며, 물체의 회전각은 30° 하였다. 물체의 실지 측정한 값의 예가 다음의 표 1에 나타나 있다.

V. 결 론

컴퓨터 시각 연구에 있어서 2차원 정보로부터 3차원 거리 정보를 구하는 작업은 중요하면서도 일반적으로 매우 어려운 작업으로 되어있다. 더우기 영상 인식을 위해 물체에 대한 정확한 3차원 정보를 얻으려면 엄청난 데이터량과 계속시간을 감당하지 않으면 안된다. 이러한 맥락에서 간단한 형상 계측 방법이 필수적이라 하겠다.

본 논문에서는 간단한 형상 계측을 위해 가장 간

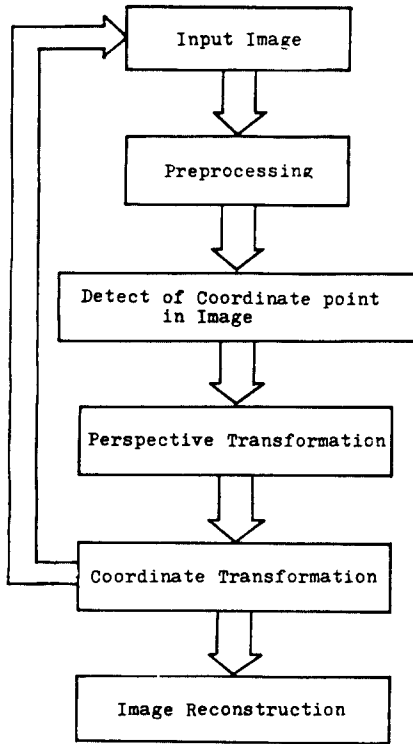


그림 7. 시스템의 흐름도  
Fig. 7. System flow chart.

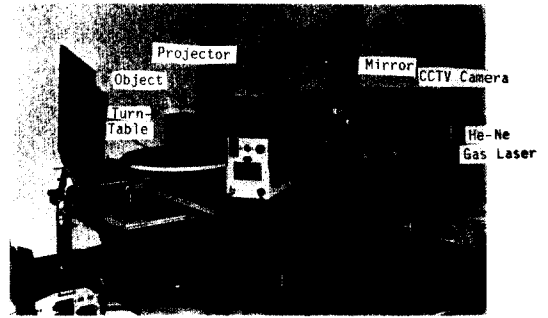


그림 9. 실험 장치  
Fig. 9. Experimental apparatus.

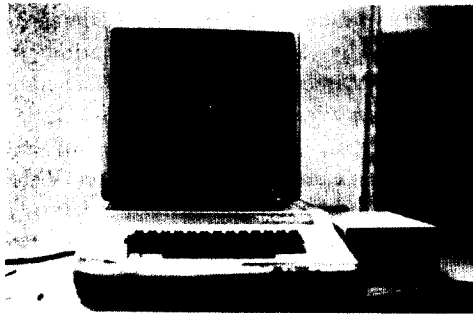
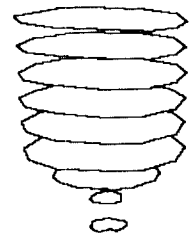
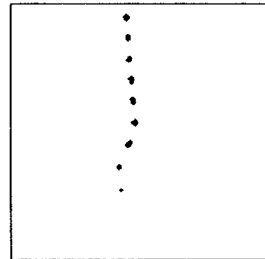


그림 8. 투영된 영상  
Fig. 8. Displayed image.



(a) Original object.



(b) Recorded image. (c) Reconstruction image.

단한 형태인 점의 열을 물체에 투영하고 그를 투시 변환하여 거리 정보를 바로 구해낼 수 있는 방법을 채택했으며 영상 인식을 위한 3차원 정보 습득의 새로운 방법을 모색했다.

그림 10. 실험 결과  
Fig. 10. Experimental result.

## 표 1. 실험 결과치

Table 1. Experimental measurement data.

| X       | Y       | Z        |
|---------|---------|----------|
| 35.5604 | 18.7039 | 80.9457  |
| 35.5604 | 18.7039 | 64.8604  |
| 37.3271 | 19.2928 | 48.2200  |
| 37.3271 | 19.2928 | 32.6652  |
| 37.3271 | 19.2928 | 16.5918  |
| 37.3271 | 19.2928 | - 0.5184 |
| 23.1189 | 14.5568 | -17.2133 |
| 3.3009  | 7.9508  | -35.7661 |
| 6.9288  | 9.1600  | -53.5679 |

(a) Rotation Angle = 0°

| X        | Y       | Z        |
|----------|---------|----------|
| -43.7944 | 2.3288  | 83.4153  |
| -41.9727 | 1.9555  | 66.8859  |
| -41.9727 | 1.9555  | 49.7755  |
| -41.9727 | 1.9555  | 32.6652  |
| -41.9727 | 1.9555  | 17.1103  |
| -41.9727 | 1.9555  | 0.5185   |
| -29.1437 | -0.6697 | -17.2004 |
| - 6.8340 | -5.2351 | -35.2401 |
| - 6.8340 | -5.2351 | -54.1752 |

(b) Rotation Angle = 150°

본 논문은 실험에 있어 비교적 간단한 물체를 사용하였으므로 적은 시간과 데이터로서도 매우 만족스러운 결과를 볼 수 있었으며 복잡한 물체의 계측에 있어서도 패턴의 점들간의 거리를 좀더 조밀하게 하여 많은 점들을 사용하고, 또한 물체의 회전 각도를 좀더 조밀하게 조정한다면 정확한 계측이 가능하리라 보인다. 그러나 조밀한 측정에는 데이터량과 계측 시간의 증가를 초래하므로 충분한 실험을 거쳐 가장 적절한 조밀도를 결정하여 사용해야 할 것이다.

또한 본 논문의 실험은 논문의 특성상 대칭인 물체에 국한시켰다. 하지만 꼭 대칭 물체여야 하는 것은 아니며 비대칭 물체의 경우라도 별문제 없이 계측될 수 있다.

본 논문에 있어 문제점으로 지적되는 것은 물체에 기지의 패턴이 투영되어지지 못하는 부분이 존재하거나 투영될지라도 카메라에 의해 보여지지 못하는

부분에 대한 거리 정보는 구하기 어렵다는 점이며 앞으로 개선되어야 할 가장 큰 난점이라 하겠다. 그외에 물체를 회전함으로 인해 걸리는 시간의 문제, 그리고 고정된 물체의 계측 문제 또한 난점으로 들 수 있겠다. 그러나 일단 완벽한 계측과 지식 습득 후에는 간단한 몇개의 패턴 투영과 처리만으로도 물체의 패턴 매칭이나 인식이 가능하리라 보인다.

## 參 考 文 獻

- [1] L.G. Roberts, Machine perception of three-dimensional solids, in *Optical and Electro-Optical Information Processing* (J.L. Optical Information Processing (J.L. Trippett et al., Eds.), MIT Press, Cambridge, Mass., 1965.
- [2] Nitzan, D., A. Brain, and R. Duda, "The Measurement and Use of Registered Reflectance and Range Data in Scene Analysis," *Proc. IEEE* 65, 2, 1977.
- [3] Gerald, J. Agin, member, IEEE, and Thomas O. Binford, "Computer Description of Curved Objects," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-25, no. 4, pp. 439-449, 1976.
- [4] Yoshiaki Shirai, "Recognition of Polyhedrons with a Range Finder," *Pattern Recognition*, Pergamon Press, vol. 4, pp. 243-250, 1972.
- [5] Yoshiaki Shirai, Saburo Tsuji, "Extraction of the Line Drawing of 3-Dimensional Objects by Sequential Illumination from Several Directions," *Pattern Recognition*, Pergamon Press, vol. 4, pp.343-351, 1972.
- [6] R.A. Jarvis, "A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-5, no. 2, pp. 122-139, 1983.
- [7] 최중수, 김덕수, "단순 역투영법을 이용한 3차원 곡면 물체의 형상계측 및 표현" 대한 전자공학회 논문지 제22권, 1호, pp. 61-67, 1985.
- [8] H.S.M. Coexter, *The Real Projective Plane*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1961.
- [9] P.R. Wolf, *Elements of Photogrammetry*, McGraw-Hill, New York, 1974.
- [10] R. Duda and P. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*, Wiley, New York, 1973.

[11] E.L. Hall et al., "Measuring Curved Surface for Bobot Vision," *Computer*, vol. 15, no. 12, pp 42-54, 1982.

[12] Robert M. Haralick, "Using Perspective Transformation in Scene Analysis," *Computer Graphics and Image Processing* 13, pp 191-221, 1980.

---

著 者 紹 介

---

金 聖 鉉 (正會員)

1983年 2月 중앙대학교 전자공학과 졸업. 1985年 2月 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사학위취득. 현재 에너지 연구소 재직 중. 주관심분야는 컴퓨터 시각 등임.

朴 鍾 勳 (正會員)

1984年 2月 중앙대학교 전자공학과 졸업. 1986年 2月 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사학위취득. 1989年 2月~현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 컴퓨터시각, 인공 제능 등임.

崔 然 成 (正會員) 第 26卷 第 7號 參照

현재 제주대학교 정보공학과 전임강사.

崔 宗 秀 (正會員) 第 26卷 第 7號 參照

현재 중앙대학교 전자공학과 부교수.