

## 삼각법을 기반으로한 구조화된 격자 캘리브레이션

### The Structured Grid Calibration Based On Triangulation Method

김은석\*, 주기세\*\*, 왕지남\*

EUN-SEOK KIM\*, KI-SEE JOO\*\*, GI-NAM WANG\*

\*경기도 수원시 팔달구 원천도 아주대학교 산업공학과

\*\*전남 목포시 목포해양대학교 해상운송시스템학부 해상정보계측공학전공

#### Abstract

Many sensors such as a structured grid pattern generator, a laser, and CCD camera to information have been used, but most of algorithms for a calibration are inefficient memory and experiment data are required.

In this paper, the calibration algorithm of a structured grid pattern based on triangulation is introduced to calculate 3D information in the real world. The beams generated from structured grid pattern generator established horizontally with the CCD camera are projected on the calibration plane. The CCD camera observes the intersection plane of a light and an object plane. The 3D information is calculated using observed and calibration data.

This proposed method in this paper has advantages such as a memory saving and an experimental data since the 3D information are obtained simply triangulation method.

#### 1. 서론

산업계에서의 정밀소형 부품, 각종 기계류, 금형, 광학부품 및 자동차나 항공기의 모의실험을 위한 정밀도형 등에 대한 3차원 정보를 얻기 위해서 정밀한 측정기술이 필요하다. 3차원 측정방법에는 접촉식과 비접촉식 방법이 사용된다. 접촉식 측정방법은 접촉 프로브를 사용하는 방법으로 매우 정밀하게 측정이 가능하나 프로브 반경보다 작은 형상이나 접촉에 의해 형상이 변형될 수 있는 부드러운 재질의 대상물은 측정이 곤란하다. 이러한 문제점을 해결하고자 하는 방법이 비접촉식 측정방법이다. 비접촉식 측정방법은 카메라를 이용하여 빛의 간섭을 이용하는 모아레 측정법(Moire Topology Method)[1], 2대의 카메라로부터 얻은 영상면상의 동일한 점을 지나가는 두 영상선의 교점을 이용하여 측정하는 입체 화상법(Stereo Vision Method)이 이용되고 있다.

본 논문에서는 3차원 정보를 얻기 위해서

카메라와 구조화된 그리드 격자 발생기를 [2][3] 이용하여 대상물에 사영된 그리드 격자로 3차원 좌표를 찾는 방법을 기술한다. 이 방법은 레이저 측정 방법을 응용한 것으로 기존의 레이저를 [4][5] 이용하여 3차원 좌표 데이터를 얻기 위해서는 카메라가 대상물의 영역 정보를 모두 획득하기 위해 레이저가 대상물을 모두 스캔해야하기 때문에 많은 양의 메모리와 시간이 소요되고 많은 실험데이터가 필요하여 비효율적이었다. 따라서 본 논문에서는 스캔시간과 메모리량을 줄이기 위해 구조화된 그리드 격자를 대상물에 사영하는 방법을 사용하였으며 사영된 2차원 영상에서 신속하고 정확하게 3차원 데이터를 추출하기 위해서 삼각법을 기반으로한 구조화된 격자 캘리브레이션 알고리즘을 제시하고자 한다.

#### 2. 시스템 구성 및 모델

### 2.1. 시스템 구성

본 연구에서 사용된 시스템은 그림 1에서와 같이 3차원 정보를 얻기 위해 대상물에 일정한 간격의 그리드 패턴을 사영해주는 장치인 프로젝터와 대상물의 영역정보를 얻기 위한 카메라로 구성되어 있다. 그리고 각각의 장치에 대한 좌표계는 실세계 좌표계( $X_w, Y_w, Z_w$ ), 카메라 좌표계( $X_c, Y_c, Z_c$ ), 스크린 좌표계( $u, v$ )를 사용하며 프로젝터는 1차원 좌표계를 사용한다. 3차원 정보를 얻는 과정은 먼저 프로젝터에서 대상물에 그리드 패턴을 사영하여 대상물 전체에 그리드 무늬를 주사하고 카메라로 그리드 패턴이 사영된 대상물 영상을 획득한다. 다음으로 영상의 한 점에 대해서 프로젝터에서의 그리드 패턴과 카메라 영상에서의 좌표정보를 이용해서 3차원 정보를 추출한다.

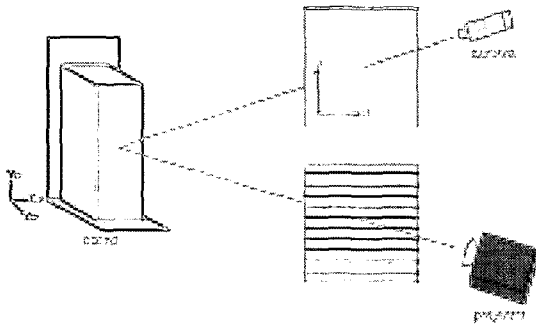


그림 1. 3차원 측정 시스템 구성도

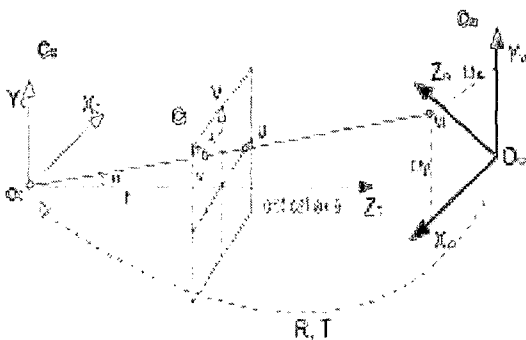


그림 2. 카메라 좌표계 시스템

### 2.2. 카메라 모델

카메라 캘리브레이션[6]은 월드좌표계상에서의 카메라의 위치와 방향을 정하는 외부 파라미터와 카메라의 광학적, 기하학, 디지털 특성을 설정하는 내부 파라미터를 구하는 과정이다. 외부 파라미터는 월드좌표와 카메라좌표 사이의 변환을 정의하기 위해  $3 \times 3$  회전 행렬( $R$  : rotation matrix)과 이동 벡터( $T$  :

translation vector)를 계산하는 것이다. 그리고 내부 파라미터는 영상중심의 위치추정, 영상 두 좌표축의 스케일 인자추정, 두 좌표축의 직교문제 등의 변수를 계산하는 것이다.

그림 2에서  $C_w$ 는 실세계 좌표계를 나타내며  $C_w$ 에서 점  $M$ 의 좌표는  $[X_w, Y_w, Z_w]^T$ 로 정의된다. 그리고  $C_c$ 는 카메라 좌표계를 나타내며  $C_c$ 에서 점  $M$ 의 좌표는  $[X_c, Y_c, Z_c]^T$ 로 정의되며 카메라 좌표계에서  $Z$ 축은 카메라의 광축이 된다. 실세계 좌표  $[X_w, Y_w, Z_w]^T$ 에서 카메라 좌표  $[X_c, Y_c, Z_c]^T$ 로의 변환은 식(1)과 같다. 여기서  $R$ 은  $3 \times 3$  회전행렬이며  $T$ 는  $3 \times 1$  이동 벡터이다.

$C_i$ 는 이미지 좌표계를 나타내며 좌표계의 원점은 카메라의 광축에 위치한다.  $C_i$ 에서 점  $m$ 의 좌표는  $[u, v]^T$ 로 정의된다. 카메라 좌표  $[X_w, Y_w, Z_w]^T$ 에서 스크린 좌표  $[u, v]^T$ 로의 변환은 식(2)와 같다.

이미지 좌표  $[u, v]^T$ 에서 실제 픽셀 좌표  $[x_p, y_p]^T$ 로의 변환은 식(3)과 같으며 카메라의 내부 파라미터의 영향을 받는다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

$$u = f \frac{X_c}{Z_c} \quad (2)$$

$$v = f \frac{Y_c}{Z_c}$$

$$x_p = -\frac{u}{s_x} + o_x \quad (3)$$

$$y_p = -\frac{v}{s_y} + o_y$$

여기서  $f$ : 카메라 초점거리,  $s_x, s_y$ : 스케일인자  
 $o_x, o_y$ : 스크린 중심좌표

### 2.3. 프로젝터 모델

프로젝터 캘리브레이션[7]도 카메라와 마찬가지로 pin-hole광학 모델에 기초하므로 좌표 변환식이 식4, 5, 6과 같이 카메라 모델식과 같다. 그러나 카메라의 이미지 좌표계는 2차원 좌표  $[x_p, y_p]^T$ 를 사용하지만 프로젝터의 이미지 좌표계는 1차원 좌표  $[x_s]$ 를 사용한다.

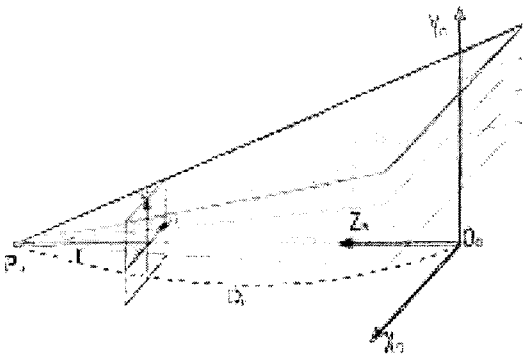


그림 3. 프로젝트 좌표계 시스템

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \quad (4)$$

$$u = f \frac{X_c}{Z_c} \quad (5)$$

$$v = f \frac{Y_c}{Z_c} \quad (6)$$

$$x_s = -\frac{u}{s_x} + o_x \quad (6)$$

### 3. 3차원 좌표값 계산

실세계 좌표계에 대상물 없이 그림 4의 프로젝터( $P_w$ )로부터 그리드 패턴을 실세계 좌표계의  $XY$ 평면에  $Z$ 축 좌표가 '0'인 지점에 사영시킨 후 프로젝터 캘리브레이션을 이용해서  $Y$ 축에 사영된 각각의 그리드 라인의  $Y_w$ 값을 구한다.

그림 4의 실세계 좌표계에 대상물을 놓고 하나의 그리드 패턴을 사영하면 대상물의 한 점  $M$ 을 지나 실세계 좌표계에서  $Y$ 축의  $M_{py}$ 에 사영된다. 이때 카메라로 사영된 영상을 획득하여  $m$ 의 좌표를 계산하면 실세계 좌표계에서  $M_{cy}$ 좌표를 구할 수 있다.

실세계 좌표계에서  $M$ 의 좌표  $[X_w, M_y, h]^T$ 를 구하기 위해서 그림 4의 좌표 시스템을 그림 5와 같이 도식화 하였다. 그림 5에서  $D_c$ 는 실세계 좌표계에서 원점( $O_w$ )부터 카메라까지의 거리,  $D_b$ 는 실세계 좌표계에서 원점( $O_w$ )부터 프로젝터까지의 거리,  $d$ 는 카메라와 프로젝터 사이의 거리이다.

$M$ 의 좌표에서  $h$ 를 구하기 위해서 실세계 좌표계에서  $YZ$ 평면에 놓인 카메라 베이스 라인을 직선의 방정식으로 표현하면 식(9)와 같이 되며 프로젝터 베이스 라인은 식(10)

과 같이 표현된다. 여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 식(7)(8)에 의해서 구해진다.  $M$ 의  $M_y$ 와  $h$ 는 두 직선의 방정식의 교차점에 의해서 구해지는데  $M_{cy}$ 가  $d$ 보다 크면 두 방정식의 직선의 기울기가 '-'가 되므로 식(11)을 이용해서  $h$ 값을 구할 수 있으며  $M_{cy}$ 가  $d$ 보다 작으면 식(9)의 기울기가 '+'가 되므로 식(12)를 이용해서  $h$ 를 구할 수 있다.  $M$ 의  $Y_w$ 값( $M_y$ )은  $h$ 를 식(9)의  $Z$ 에 대입함으로써 계산할 수 있다.

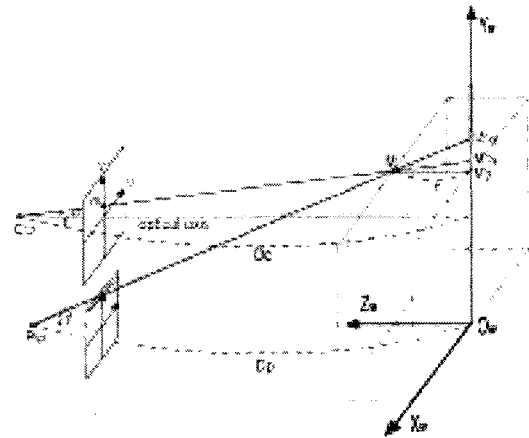


그림 4. 카메라와 프로젝트 좌표계의 기하학적 관계

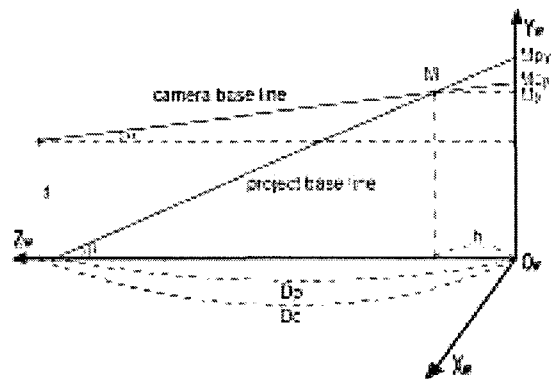


그림 5. 높이를 구하기 위해 실세계 좌표계의 도식화

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{(M_{cy} - d)}{D_c} \quad (7)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{M_{py}}{D_b} \quad (8)$$

$$Y = \tan \alpha \times Z + M_{cy} \quad (9)$$

$$Y = \tan \beta \times Z + M_{py} \quad (10)$$

$$h(=Z_w) = \frac{(M_{cy} - M_{py})}{\tan \alpha - \tan \beta} \quad (11)$$

$$h(=Z_w) = \frac{(M_{py} - M_{cy})}{\tan \alpha + \tan \beta} \quad (12)$$

여기서,

$M_{cy}$  : 카메라에서 실세계 좌표로 사영된 점

$M_{py}$  : 프로젝터에서 실세계 좌표로 사영된 점

$d$  : 카메라와 프로젝터 사이의 거리

$D_c$  : 카메라와 실세계 좌표계 원점 사이의 거리

$D_p$  : 프로젝터와 실세계 좌표계 원점 사이의 거리

$\alpha$  : 카메라 사영각

$\beta$  : 프로젝터 사영각

#### 4. 실험결과

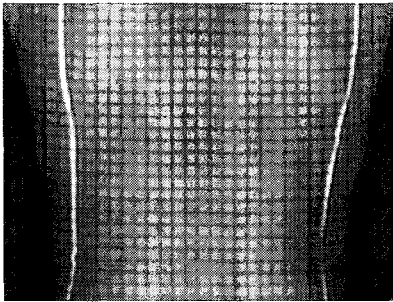


그림 6. 그리드 패턴이 인체의 등에 사영된 모습

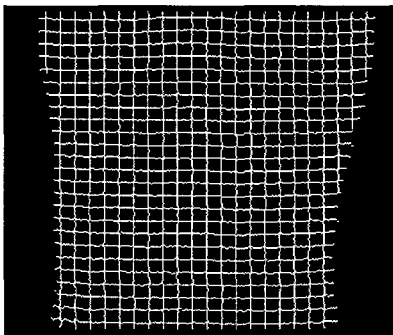


그림 7. 그리드 패턴 이미지 분할 결과

본 연구에서 사용한 비전 시스템은 1392 × 1024 해상도를 갖는 단색 VCC-870 CCD 카메라와 Matrox 이미지 보드, 그리드 패턴을 사영해주는 프로젝터로 구성되어 있으며 프로그램 개발환경은 Windows 2000에서 Visual C++을 이용하였다. 본 연구에서 사용된 프로젝터는 빛의 강도가 약해서 대상물에 그리드 패턴이 명확하게 사영되지 않는다. 그리고 외부 빛의 영향에 매우 민감하며 본 연구의 대상물이 인체이므로 피부색의 영향도 많이 받는다. 따

라서 비전 시스템 주위 환경을 어둡게 만들어 그리드 패턴이 인체에 잘 사영되도록 하였다.

카메라 캘리브레이션 파라미터 중 카메라의 위치는 원점에서 Z축 방향으로 1825mm, 프로젝터는 원점에서 Z축 방향으로 1355mm만큼 떨어져있다. 그리고 카메라는 프로젝터로부터 Y축으로 128mm만큼 떨어져있다.

위의 조건에서 카메라와 프로젝터를 캘리브레이션 한 후 캘리브레이션 평면을 Z=100mm의 위치에 세우고 좌표 값을 획득하면 표1과 같은 결과를 얻을 수 있다. 표1에서 Z값의 오류가 거의 3mm이내에 있었으며 3mm를 넘는 경우는 프로젝터와 카메라의 광선 왜곡 문제와 그리드 패턴 분할에서 픽셀 값의 오차로 인해서 발생한 결과이다.

그림 6은 그리드 패턴을 인체의 등에 사영 시켰을 때의 영상이며 이 영상에서 그리드 패턴만을 이미지 분할하면 그림 7과 같다. 그리고 그림 8은 측정된 인체의 등의 좌표 데이터를 가시화한 모습이다.

표 1. 캘리브레이션 평면이 Z=100mm인 경우 10개의 점의 좌표결과

번호	X[mm]	Y[mm]	Z[mm]	Z오류
1	0	163.6	100.3	0.3
2	0	152.4	102.9	2.9
3	0	140.2	100.3	0.3
4	0	128.9	98.1	1.9
5	0	117.6	100.3	0.3
6	0	105.3	100.9	0.9
7	0	93.9	100.3	0.3
8	0	81.6	100.3	0.3
9	0	70.0	95.6	4.4
10	0	58.3	100.9	0.9

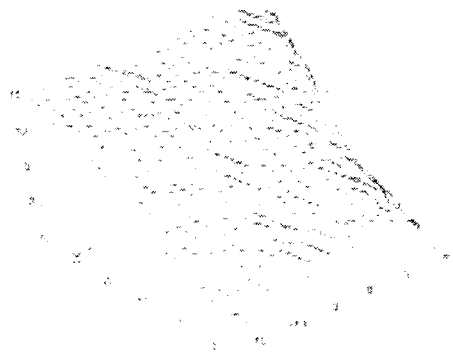


그림 8. 측정 데이터를 3차원 좌표로 표현

#### 5. 결론 및 향후과제

기존의 레이저를 이용한 방법에서는 레이저가 대상물을 모두 스캔하는데 시간이 오래 걸리며 많은 량의 메모리를 필요로 했다. 따라서 본 연구에서는 카메라와 그리드 패턴을 대상물에 사영시켜주는 프로젝터를 이용해서 신속하고 정확하게 3차원 데이터를 획득하기 위해 삼각법을 기반으로한 구조화된 격자 캘리브레이션 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘으로 실험한 결과 신속하게 데이터를 획득할 수 있었으며 정밀도가 3mm이내의 오차를 발생시켰다. 하지만 영상 내에 잡음이 존재하거나 프로젝터와 카메라의 렌즈 왜곡 문제와 그리드 패턴 분할 오류로 인해서 오차를 크게 발생시켰다.

향후에는 부분적인 오차를 줄이기 위해 렌즈 왜곡 보정과 그리드 패턴 분할에서 잡음을 제거함으로써 보다 개선된 시스템을 개발하고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] 권대현, 최이배, 이의택, "Automat Generation of 3D Models using ETRI-Moir Scanner", 학술대회, 1999, pp. 47.
- [2] 주기세, "삼각법을 기반으로한 레이저 캘리브레이션", 한국해양정보통신학회 제3권 제4호, 1999.
- [3] AM McIvor, "Calibration of a Laser St Profiler", 3DIM99, Ottawa, October 1999, 92-98
- [4] RJ Valkenburg and JT Preddey, "Robust feature location using structured IVCNZ'00, Hamilton, New Zealand December 2000, pp 216-221.
- [5] PW Power, "Progress in the automat recognition of sheep pelt branding", IVCNZ98, Auckland, New Zealand, December 1998, pp 228-233.
- [6] R.J. Valkenburg, A.M. McIvor, "Accur 3D measurement using a Structured Li System", Report 576, Industrial Rese Limited, June 1996.
- [7] McIvor, A. M., Valkenburg, R. "Calibrating a Structured Light Sys Report 362, Industrial Research Lim 1995.