
삼각법기반 구조화된 격자 패턴 캘리브레이션

주기세*

The Structured Grid Pattern Calibration Based On Triangulation Method

Ki-See Joo*

요 약

지금까지 3차원 정보를 얻기 위하여 CCD카메라, 레이저, 구조화된 격자 발생기 등과 같은 여러 센서들이 사용되어져 왔지만 대부분의 캘리브레이션 알고리즘들은 많은 메모리와 실험 시간을 필요로 하기 때문에 비효율적이었다.

본 논문에서는 실세계 상의 3차원 정보를 얻기 위한 삼각법을 기반으로한 구조화된 격자 캘리브레이션 알고리즘이 소개된다. CCD카메라와 수평으로 설치된 구조화된 격자 패턴 생성기로부터 생성된 빔들이 캘리브레이션 면에 사영된다. CCD 카메라는 대상물과 사영된 빔이 교차한 평면을 측정한다. 그리고 3차원 데이터는 측정된 값과 캘리브레이션 데이터를 이용하여 계산된다.

본 논문에서 제안한 방법은 3차원 정보를 간단한 삼각법으로 획득하였기 때문에 효율적인 측정시간과 메모리 절약의 이점을 가지고 있다.

ABSTRACT

So far, many sensors such as a structured grid pattern generator, a laser, and CCD camera to obtain 3D information have been used, but most of algorithms for a calibration are inefficient since a huge memory and experiment time are required.

In this paper, the calibration algorithm of a structured grid pattern based on triangulation method 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 plat. A CCD camera measures the intersection plane of a projected beam and an object plane. The 3D information is calculated using measured and calibration datum.

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

키워드

structured grid pattern, CCD camera, 3D information, triangulation method

1. 서 론

산업계에서 필요한 정밀소형 부품, 각종 기계류,

금형, 광학부품 등에 대한 3차원 정보를 얻기 위해서는 정밀한 측정기술이 필요하다. 3차원 측정방법에는 접촉식과 비접촉식 방법이 사용된다. 접촉식 측정방법은 레이저 빔을 대상물에 주사하여 되돌

아오는데 걸리는 시간을 이용하는 방법으로 과도한 양의 측정 데이터 및 시간이 소요되는 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법이 비접촉식 측정방법이다. 비접촉식 측정방법은 카메라를 사용하여 빛의 간섭을 이용하는 모아레 측정법(Moire Topology Method)[1], 2대의 카메라로부터 얻은 영상에서 동일한 점을 지나는 두 영상선의 교점을 이용하여 3차원 정보를 추출하는 스테레오 비전 등이 이용되고 있다.

기존의 레이저를 이용한 측정 방법[2][3]은 3차원 영역정보를 얻기 위한 일정 영역 주사 시간 및 메모리 과다 등과 같은 문제점을 안고 있다. 더군다나 대상물이 인체와 같이 큰 경우에는 적용할 수 없는 커다란 문제점을 안고 있다.

또한 스테레오 비전은 양 카메라에서 획득된 영상에 대하여 이미지 전처리, 분할, 특징 점 추출 등과 같은 동일 과정을 반복해야하기 때문에 많은 측정 시간이 소요되는 단점을 안고 있다. 더군다나 양 카메라에서 획득된 이미지간의 대응점을 해결해야할 뿐만 아니라 한 카메라에서 보이는 부분이 다른 카메라에서 안 보이는 경우는 3차원 정보를 추출할 수 없는 문제점도 안고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 구조화된 격자무늬 패턴[4][5]을 대상물에 직접 사영하고 사영된 2차원 영상으로부터 신속하고 정확한 3차원 데이터를 추출하기 위해 삼각법을 기반으로 한 구조화된 격자 캘리브레이션 알고리즘을 제시하였다.

II. 시스템 구성 및 모델

2.1. 시스템 구성

3차원 영역 정보를 얻기 위해 본 연구에서 사용한 시스템은 그림 1에서와 같이 대상물에 격자무늬 패턴을 주사하기 위한 프로젝터와 대상물의 영역정보를 얻기 위한 카메라로 구성되어 있다. 그리고 본 시스템에서는 4개의 좌표계를 사용하는데 첫째로 측정 대상물에 대해서는 실세계 좌표계(X_w, Y_w, Z_w), 카메라를 위한 카메라 좌표계(X_c, Y_c, Z_c), 이미지는 이미지 좌표계(U, V)를 사용하고, 마지막으로 프로젝터는 Z_w 축인 1차원 좌표계를 사용하였다. 3차원 정보를 얻는 과정은 먼저 프로젝터

에서 대상물을 향하여 격자무늬 패턴들을 사영한 후 카메라로 격자 패턴이 사영된 대상물의 영상을 획득한다. 그리고 획득된 이미지 좌표 상에서 격자 패턴 데이터와 캘리브레이션 데이터를 이용하여 3차원 정보를 추출한다.

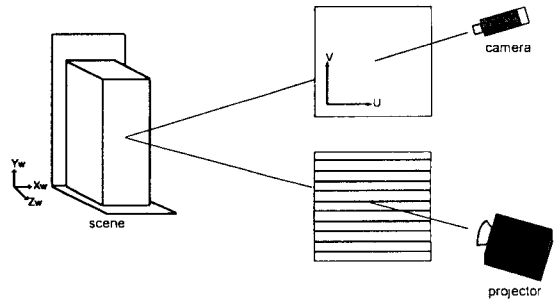


그림 1. 3차원 측정 시스템 구성도

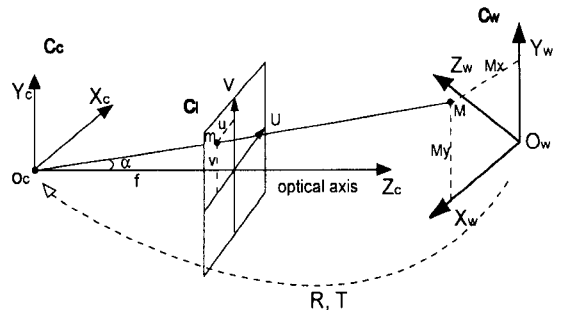


그림 2. 카메라 좌표계 시스템

2.2. 카메라 모델

카메라 캘리브레이션[6]은 월드좌표계상에서 카메라 위치와 방향을 정하는 외부 파라미터(extrinsic parameters)와 카메라의 광학적, 기하학, 디지털 특성을 설정하는 내부 파라미터(intrinsic parameters)를 구하는 과정이다. 외부 파라미터는 월드좌표와 카메라좌표 사이의 변환을 정의하기 위해 3×3 회전 행렬(R)과 이동 벡터(T)를 계산하는 것이다. 그리고 내부 파라미터는 영상중심의 위치 측정, 영상 두 좌표축의 스케일 인자측정, 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 좌표계

에서 Zw축은 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.

C_i 는 이미지 좌표계를 나타내며 좌표계의 원점은 카메라의 광축에 위치한다. C_i 에서 점 m의 좌표는 $[U, V]^T$ 로 정의된다. 카메라 좌표 $[X_c, Y_c, Z_c]^T$ 에서 이미지좌표 $[U, V]^T$ 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.

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

여기서 R:3×3 회전행렬, T: 3×1 이동벡터

$$\begin{aligned} U &= f \frac{X_c}{Z_c} \\ V &= f \frac{Y_c}{Z_c} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 f: 카메라 초점거리

$$\begin{aligned} X_p &= -\frac{U}{S_x} + O_x \\ Y_p &= -\frac{V}{S_y} + O_y \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 S_x, S_y : 스케일 인자

O_x, O_y : 이미지 중심 좌표

2.3. 프로젝터 모델

그림 3과 같이 프로젝터 캘리브레이션[7]도 카메라와 마찬가지로 핀 홀(pin hole) 광학 모델에 기초하므로 좌표 변환 식은 카메라 모델식과 같이 식 (1), (2)를 이용한다. 그러나 카메라의 이미지좌표계는 2차원 좌표 $[X_p, Y_p]^T$ 를 사용하지만 프로젝터의 이미지 좌표계는 식 (4)와 같이 1차원 좌표 $[X_s]$ 를 사용한다.

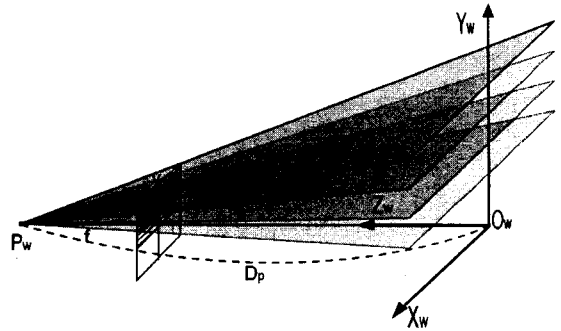


그림 3. 프로젝트 좌표계 시스템

$$X_s = -\frac{U}{S_x} + O_x \quad (4)$$

III. 3차원 좌표값 계산

먼저 시스템 캘리브레이션을 위하여 카메라 및 프로젝터는 이미 알고 있는 위치에 월드좌표계상의 X_wY_w 평면과 수직으로 설치된다. 그리고 실세계 좌표계 상의 X_wY_w 평면에 대상물을 놓지 않고 프로젝터(P_w)로부터 격자 패턴을 사영 시킨 후 각각의 격자 라인의 Y_w 값을 구하여 캘리브레이션 데이터로 저장한다.

그림 4는 실세계 좌표계에 대상물을 놓고 사영된 여러 격자 패턴 중 하나를 나타낸다. 그림 4에서와 같이 하나의 격자 패턴을 사영하면 대상물의 한점 M은 실세계 좌표계상의 Y_w 축의 M_{py} 에 사영된다. 이때 카메라로 사영된 영상을 획득하여 M의 좌표를 계산하면 실세계 좌표계에서 M_{cy} 좌표를 구할 수 있다.

실세계 좌표계에서 점 M의 실제 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)으로부터 카메라까지의 거리, D_p 는 실세계 좌표계에서 원점(O_w)으로부터 프로젝터까지의 거리, d 는 카메라와 프로젝터 사이의 거리이다.

M의 좌표에서 h를 구하기 위해서 먼저 카메라와 프로젝터가 각각 Z_w 축과 이루는 각 α 와 β 는 식(5), (6)에 의해서 구해진다. 그리고 실세계 좌표계에서 Y_wZ_w 평면에 놓인 카메라 베이스 라인과 프로젝터 베이스 라인을 직선의 방정식으로 표현하면 식(7), (8)과 같이 표현된다. 점 M의 Y_w 축 상에서의 좌표 값 M_y , Z_w 축 상에서의 좌표 값 h는

식(7), (8)에서 구한 두 직선 방정식의 교차점에 의해서 구해지는데 M_{cy} 가 d 보다 크면 두 방정식의 직선의 기울기가 '-'가 되므로 식(9)를 이용해서 h 값을 구할 수 있으며 M_{cy} 가 d 보다 작으면 식(7)의 기울기가 '+'가 되므로 식(10)을 이용해서 h 를 구할 수 있다. 점 M 의 Y_w 값은 h 를 식(7)의 Z_w 에 대입함으로써 계산할 수 있다.

마지막으로 점 M 의 X_w 축 상의 좌표 값(M_x)을 구하기 위하여 점 M 을 X_w 축 상에 사영시키면 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 식 (9), (10)을 통하여 구해진 h 값을 식 (11)에 대입하면 X_w 축 상의 좌표 값 M_x 값을 구할 수 있다.

$$h(=Z_w) = \frac{(M_{cy} - M_{pw})}{\tan\alpha - \tan\beta} \quad (9)$$

$$h(=Z_w) = \frac{(M_{pw} - M_{cy})}{\tan\alpha + \tan\beta} \quad (10)$$

여기서 M_{cy} , M_{py} : 카메라와 프로젝터에서 실세계 좌표에 각각 사영된 점

$$M_x = \frac{(D_p - h) \times M_{px}}{D_p} \quad (11)$$

여기서 M_{px} : 프로젝터에서 X_w 축에 사영된점

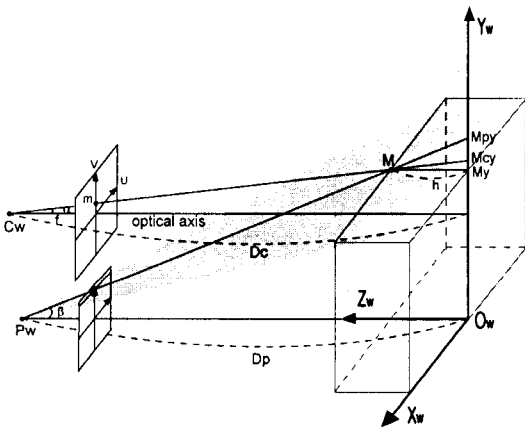


그림 4. 카메라와 프로젝터 좌표계의 기하학적 관계

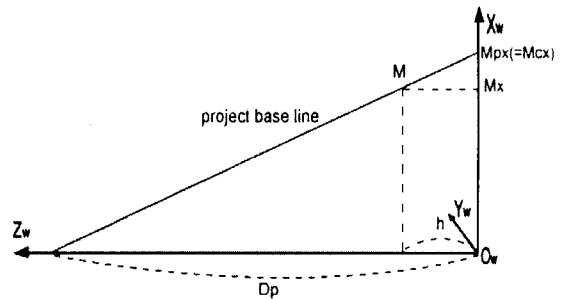


그림 6. M_x 좌표 값을 구하기 위한 실세계 좌표계의 X_w 축 상에 사영된 점의 도식화

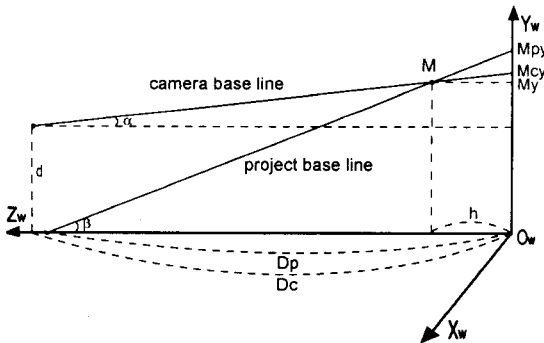


그림 5. 높이를 구하기 위해 실세계 좌표계의 도식화

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{M_{cy} - d}{D_c} \right) \quad (5)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{M_{pw}}{D_p} \quad (6)$$

$$Y_w = \tan\alpha \times Z_w + M_{cy} \quad (7)$$

$$Y_w = \tan\beta \times Z_w + M_{py} \quad (8)$$

IV. 실험 결과

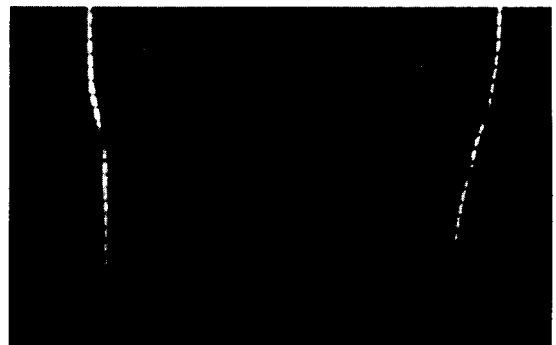


그림 7. 격자 패턴이 인체의 등에 사영된 모습

본 연구에서 사용한 비전 시스템은 1392×1024 해상도를 갖는 단색 VCC-870 CCD 카메라와 Matrox 이미지 보드, 격자 패턴을 사영해주는 프로젝터로 구성되어 있으며 프로그램 개발환경은 Windows XP에서 Visual C++을 이용하였다.

본 연구에서 사용된 격자 패턴 생성기 프로젝터

는 자체의 라이트 소스(light source)를 가지고 있으며 격자 패턴을 생성하면서 라이트 빔을 동시에 주사하도록 설계하였다. 또한 인체의 전 영역을 한번에 주사할 수 있도록 프로젝터 렌즈를 설계하였다.

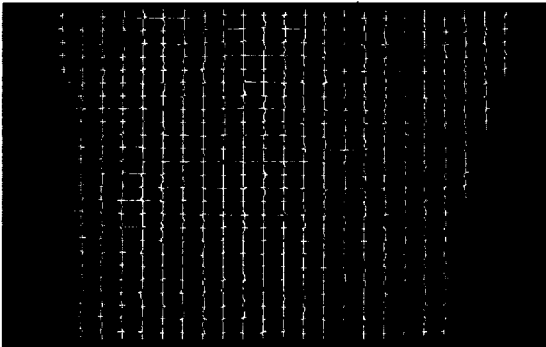


그림 8. 격자 패턴 이미지 분할 결과

카메라 및 프로젝터를 이용하여 인체 전체를 측정하기 위해 카메라는 원점을 중심으로 $X_w=0$, $Y_w=0$, $Z_w=1,825\text{mm}$ 에 위치시켰으며 프로젝터는 원점으로부터 $X_w=0$, $Y_w=128\text{mm}$, $Z_w=1,355\text{mm}$ 에 고정시킨 후 실험하였다.

위의 조건에서 카메라와 프로젝터를 캘리브레이션 한 후 크기(1,000mm, 100mm, 1,000mm)의 직육면체를 원점에 놓고 본 논문에서 제시한 알고리즘을 사용하여 획득한 좌표값은 표1과 같다. 표1에서 Z_w 값의 에러가 거의 3mm이내에 있었으며 3mm를 넘는 경우는 프로젝터의 볼록 렌즈 가공시 불규칙한 렌즈 곡률, 카메라의 광선 왜곡, 격자 패턴 분할에서 픽셀 값의 오차로 인해서 발생한 결과이다.

그림 7은 격자 패턴을 인체의 등에 사영 시켰을 때의 영상이며 이 영상에서 격자 패턴만을 이미지 분할하면 그림 8과 같다. 그리고 그림 9는 측정된 인체의 등의 좌표 데이터를 가시화한 모습이다.

V. 결론 및 향후과제

기존의 레이저를 이용한 방법에서는 레이저가 대상물을 모두 주사하는데 시간이 오래 걸리며 많은 양의 메모리를 필요로 했다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 카메라와 격자 패턴을 대상물에 사영시켜주는 프로젝터를 이용해서 신속하고 정확한 3차원 데이터를 획득하기 위해

삼각법을 기반으로 한 구조화된 격자 캘리브레이션 알고리즘을 제안하였다.

표 1. 캘리브레이션 평면이 $Z_w=100\text{mm}$ 인 경우 10개의 점의 좌표결과

번호	$X_w[\text{mm}]$	$Y_w[\text{mm}]$	$Z_w[\text{mm}]$	Z_w 오류
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

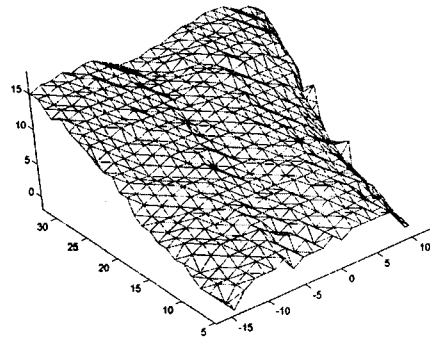


그림 9. 측정 데이터를 3차원 좌표로 표현

제안한 알고리즘으로 실험한 결과 신속하게 데이터를 획득할 수 있었으며 정밀도 면에서도 3mm 이내의 오차만을 발생시켰다. 하지만 영상 내에 잡음이 존재하거나 프로젝터와 카메라의 렌즈 왜곡 문제와 격자 패턴 분할 오류로 인한 경우는 오차를 비교적 크게 발생시켰다.

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

참고문헌

[1] 권대현, 최이배, 이의택, "Automatic Genera-

- tion of 3D Models using ETRI- Moire Scanner”, 학술대회, 1999, pp. 47.
- [2] 주기세, “삼각법을 기반으로한 레이저 캘리브레이션”, 한국해양정보통신학회 제3권 제4호, 1999.
- [3] PW Power, “Progress in the automated recognition of sheep pelt branding”, Proc IVCNZ98, Auckland, New Zealand, December 1998, pp 228-233.
- [4] R.J. Valkenburg, A.M. McIvor, “Accurate 3D measurement using a Structured Light System”, Report 576, Industrial Research Limited, June 1996.
- [5] AM McIvor, “Calibration of a Laser Stripe Profiler”, 3DIM99, Ottawa, October 1999, pp 92-98
- [6] RJ Valkenburg and JT Preddey, “Robust 3D feature location using structured light”, IVCNZ’00, Hamilton, New Zealand, December 2000, pp 216-221.
- [7] McIvor, A. M., Valkenburg, R. J., “Calibrating a Structured Light System”, Report 362, Industrial Research Limited, 1995.

저자소개

주기세(Ki-See Joo)



1998. 2 한양대학교 공과대학
산업공학과 졸업(공학사)

1992. 5 Texas A&M Univ.(공
학석사)

1996. 2 고려대학교 공과대학
산업공학과 졸업(공학박사)

※ 관심분야: 3차원 영상처리, 물류자동화, 데이터
베이스