

기지 패턴의 카메라 Calibration에 기반한 물체의 깊이 데이터 추출에 관한 연구

조현우, 서경호, 김태효
경남대학교 정보통신공학과

A Study on Depth Data Extraction for Object Based on Camera Calibration of Known Patterns

Hyun-woo Cho, Kyung-ho Seo, Tae-hyo Kim
Dept. of Information and Communication, Kyung Nam Univ.
hyunwoo5@chollian.net

요약

본 논문에서는, 기지패턴에 대한 카메라 Calibration을 이용하여 물체의 깊이정보를 추출하기 위한 새로운 계측시스템을 구축하였다. 3차원 실세계좌표와 2차원 영상좌표계의 관계를 해석하였고, 이로부터 카메라의 Calibration 알고리즘을 확립하여 카메라의 내부 변수와 외부 변수를 구하였다. 3차원 공간의 계측면을 평면으로 가정하고 평면의 방정식과 좌표계 변환 방정식으로부터 뉴-턴 랩슨법을 이용하여 최소 값에 대응하는 근사치로 깊이정보를 추출하고 실시간 처리를 위해 이를 Look-up 테이블에 저장하였다. 실험시스템에서 슬릿 레이저 투광기를 물체에 조사하고 이로부터 x-z평면의 2D 영상을 획득하였다. 이 과정을 물체를 이동시키면서 연속으로 획득하여 3D 영상 정보를 얻었다. 3D 형상을 모니터에 표시하기 위해 OpenGL을 이용하여 계측된 3D 형상을 얻을 수 있었다. 계측 결과, 분해능에서 약 1%의 오차가 발생하였으며, 이는 선형 모-터의 진동성분과 계측시스템의 광학적 오차에 기인된 것이라 판단되었다. 이를 개선하기 위해 기구적 시스템의 안정과 정밀용 카메라를 사용하므로 해결할 수 있으리라 판단된다.

Abstract

In this thesis, a new measurement system is implemented for depth data extraction based on the camera calibration of the known pattern. The relation between 3D world coordinate and 2D image coordinate is analyzed. A new camera calibration algorithm is established from the analysis and then, the internal variables and external variables of the CCD camera are obtained. Suppose that the measurement plane is horizontal plane, from the 2D plane equation and coordinate transformation equation the approximation values corresponding minimum values using Newton-Rabbson method is obtained and they are stored into the look-up table for real time processing.

A slit laser light is projected onto the object, and a

2D image obtained on the x-z plane in the measurement system. A 3D shape image can be obtained as the 2D (x-z)images are continuously acquired, during the object is moving to the y direction. The 3D shape images are displayed on computer monitor by use of OpenGL software.

In a measuremental result, we found that the resolution of pixels have $\pm 1\%$ of error in depth data. It seems that the error components are due to the vibration of mechanic and optical system. We expect that the measurement system need some of mechanic stability and precision optical system in order to improve the system.

I. 서론

물체의 3차원 계측은 대상물의 형상 정보를 정량적으로 획득하고, 이 정보를 이용하여 대상 물체를 평가

한다. 이러한 3차원 계측은 정밀도가 비교적 높고 정량적인 계측을 필요로 한다.

일반적으로 3차원 계측기술은 계측 대상물을 직접 계측하거나 접촉식 계측법이 이용되어 왔지만, 생산라인의 자동화와 고속화에 의해 접촉식 계측법은 사용이 불가능하게 되었다. 이러한 단점을 보완하기 위해 비접촉식 계측의 필요성이 대두되었다[1~3].

비접촉식으로 한 대의 CCD 카메라만을 사용할 경우 2차원 정보만을 추출할 수 있으므로, 깊이 정보를 포함하는 3차원 정보를 얻기 위한 수단으로 레이저광을 이용할 수 있다. 대상 물체에 레이저광을 조사하여 그 반사광을 검출하여 조합함으로써 얻을 수 있는 영상을 해석함으로써 깊이 정보를 추출할 수 있다[3][4].

이 과정에서 3차원 좌표계와 이에 대응하는 2차원의 카메라 좌표계와의 calibration을 수행하여야 하므로, 본 연구에서는 기지 패턴 calibration을 이용하였다[5].

기지 패턴 calibration은 정규화된 calibration 시트를 이용하여 이 시트의 영상좌표에 의한 거리정보와 깊이 정보를 실세계 좌표 값으로 미리 계산하여 Lookup-table로 구현하여 사용하였다. 미지의 대상 물체를 계측할 때 미지의 각 좌표점을 일일이 계산할 필요 없이 계측하고자 하는 해당 좌표점의 값을 Lookup-table에서 찾아서 이용하므로 처리시간을 대폭 단축할 수 장점이 있으며, 이러한 좌표점의 정보를 실시간으로 Display하여 대상 물체를 구현할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 기지 패턴 Calibration 알고리즘을 이용하여 실시간으로 처리하고 Display 할 수 있는 3차원 영상계측시스템을 구축하고자 한다.

II. 본 론

1. 카메라를 이용한 모델링

본 논문에서는 그림 1의 이상적인 핀-홀 카메라 모델에 대한 물체의 한점(M), 초점(C), 영상평면에 맺힌 물체의 한점(m)이 일직선상에 있는 중심사영에 닮은꼴 삼각형의 성질을 이용하여 식 (1)과 같은 3차원 좌표와 2차원 영상간의 관계를 이끌어 내었다.

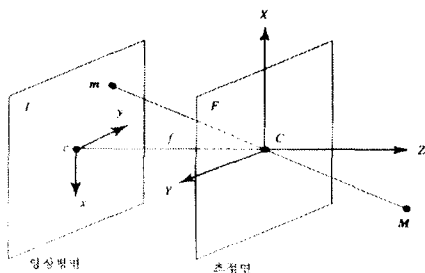


그림 1. 이상적인 핀-홀 카메라 모델

$$x = f \frac{X}{Z}, \quad y = f \frac{Y}{Z} \quad (1)$$

2. 좌표계 변환

계측을 위하여 사용된 좌표계의 종류는 영상평면 좌표계, 카메라 좌표계, 실세계 좌표계등이며 각각의 좌표계간의 변환 관계식을 유도하였으며 다음의 세 단계를 거쳤다.

- 1) 영상평면 좌표와 카메라 좌표
- 2) 카메라 좌표와 실세계 좌표
- 3) 영상평면 좌표와 실세계 좌표

우선, 영상평면 좌표와 카메라 좌표사이의 관계를 식 (1)을 이용하여 유도해보면,

$$s \cdot \tilde{m} = H \cdot P \cdot \tilde{M}_c \quad (2)$$

과 같이 유도되어지고, 카메라좌표와 실세계좌표간의 관계식을 그림 2를 이용하여 유도해보면,

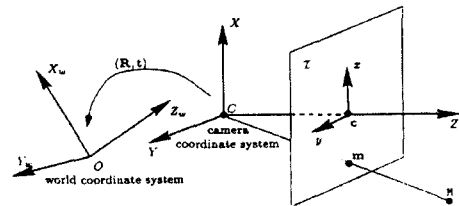


그림 2. 카메라 좌표와 실세계 좌표간의 변환

$$D \tilde{M}_w = \tilde{M}_c \quad (3)$$

과 같이 유도된다.

끝으로 영상평면 좌표와 실세계 좌표간의 변환은 식(2)와 식(3)의 관계식으로부터

$$s \cdot \tilde{m} = H \cdot P \cdot D \cdot \tilde{M}_w \quad (4)$$

으로 나타내고 $H \cdot P \cdot D$ 는 카메라의 내부변수와 외부변수로 이루어진 변환행렬(사영행렬)이 된다.

D : 3차원 유클리드 변환 [공간상에서 임의의 방향으로 물체운동을 표현]

\tilde{M}_w : 실세계 좌표, \tilde{M}_c : 카메라 좌표

$$\tilde{M}_c = \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad \tilde{M}_w = \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad \tilde{M}_c = R \tilde{M}_w + t$$

R : 회전성분, t : 병진(이동)성분

$$\tilde{M}_c = D \tilde{M}_w$$

$$H = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 변환 행렬}$$

s : 영상의스케일(크기)

3. 깊이정보 추출

계측평면을 이상적인 평면이라고 가정하고 실세계 좌표를 기준으로 계측평면에 대한 평면 방정식의 일반형은 다음과 같다.

$$P_1 X_w + P_2 Y_w + P_3 Z_w = -P_4 \quad (5)$$

식 (23)에서 xy를 평면이라고 가정하고, P_4 를 0와 k 일 때 두 방정식을 이용하여 깊이 정보를 추출하였으므로 평면 방정식의 일반형은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} 0 \cdot X_w + 0 \cdot Y_w + 1 \cdot Z_w &= 0 \\ 0 \cdot X_w + 0 \cdot Y_w + 1 \cdot Z_w &= -k \end{aligned} \quad (6)$$

본 논문에서는 기지패턴 Calibration을 이용하므로 시트의 영상 좌표와 실세계 좌표를 알고 있으므로 뉴턴-랩슨법을 이용하여 최소값에 대응하는 근사치를 구함으로써 변환행렬(사영행렬)의 변수를 구할 수 있다.

식 (4)의 $H \cdot P \cdot D$ 를 일반식 C 로 정의하고 식 (6)과 연립 방정식으로 정리하면 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} c_{11} - uc_{31} & c_{12} - uc_{32} & c_{13} - uc_{33} \\ c_{21} - vc_{31} & c_{22} - vc_{32} & c_{23} - vc_{33} \\ P_1 & P_2 & P_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} uc_{34} - c_{14} \\ vc_{34} - c_{24} \\ -P_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

그러므로 식 (7)을 이용하여 물체까지의 거리정보와 깊이정보를 추출할 수 있으며 이 값을 Look-up table에 저장한다.

4. 삼각측량법

본 논문에서는 그림 3과 같이 레이저 투광기를 물체의 수직 상방에 고정하고 카메라는 임의의 각도로 배치하였다. 대상물에 레이저빔을 투영하고 대상물체를 이동시키면 카메라는 밝게 빛나는 Slit광을 다른 각도에서 받아들인다.

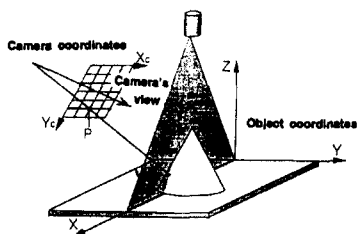


그림 3. 삼각측량법

이와 같은 삼각측량법을 수식으로 표현하면 아래의 식과 같다.

$$h = \tan(\alpha) \times l \quad (7)$$

5. 실험 및 고찰

표[1]. 시스템 사양

항목	사양
CCD 카메라	WAT-202B Color(WATEC) 촬상면적 : 6.35um(H)*7.4um(V) 유효화소 : 768(H)*494(V)
System Controller	Pentium III -600E, RAM 128MB Monitor : SAMBO 17" 7701SP
Calibration Object	높이 : 20.64mm 10.71mm 30.56mm 10.71mm 20.56mm
Calibration Point	시트의 꼭지점(10 Point)



그림 4. 실험 시스템

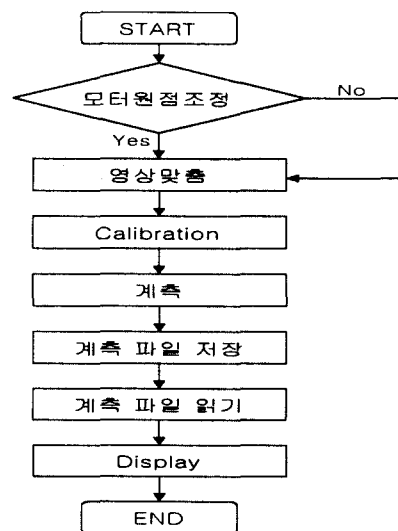


그림 5. 실험 순서도

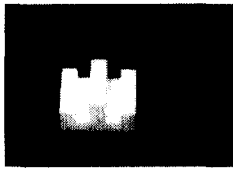


그림 6. 계측물체

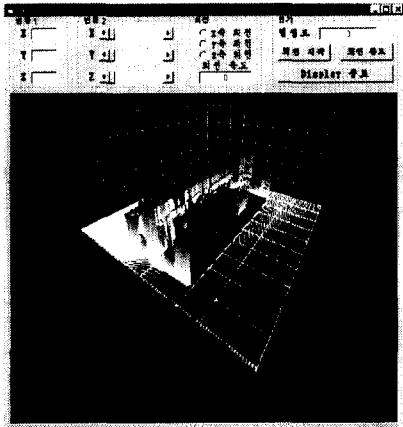


그림 7. 계측된 깊이 Data Display 결과

표 [2]. 물체의 깊이 정보 추출값(Z)

실측 깊이(Z)					
	20.64mm	10.71mm	30.56mm	10.71mm	20.56mm
깊이 정보 추출값(Z)					
1	20.64mm	10.91mm	30.59mm	10.91mm	20.45mm
2	20.64mm	10.83mm	30.58mm	10.83mm	20.45mm
3	20.64mm	10.83mm	30.58mm	10.83mm	20.42mm
4	20.64mm	10.83mm	30.53mm	10.83mm	20.42mm
5	20.51mm	10.83mm	30.53mm	10.81mm	20.42mm
6	20.51mm	10.81mm	30.52mm	10.81mm	20.38mm
7	20.51mm	10.81mm	30.49mm	10.8mm	20.35mm
8	20.52mm	10.81mm	30.49mm	10.79mm	20.35mm
9	20.52mm	10.8mm	30.49mm	10.79mm	20.34mm
10	20.38mm	10.8mm	30.48mm	10.78mm	20.34mm
11	20.38mm	10.72mm	30.46mm	10.77mm	20.34mm
12	20.39mm	10.72mm	30.46mm	10.72mm	20.33mm
13	20.39mm	10.72mm	30.46mm	10.72mm	20.33mm
14	20.25mm	10.71mm	30.45mm	10.71mm	20.33mm
15	20.25mm	10.71mm	30.45mm	10.71mm	20.33mm
16	20.26mm	10.71mm	30.38mm	10.71mm	20.29mm

실제 측정된 물체보다 추출한 깊이 정보가 다른 것은 점들의 위치에 따라 약간씩 차이가 나고 있기 때문이다. 이는 Calibration 포인트가 $z = 0$ 인 평면 위에 존재하지 않았고 평면의 이동에 의한 진동성분이 첨가되었고, 카메라 렌즈의 왜곡이 입력되는 영상에 미치는 영향을 정확하게 추정하지 못하여 발생하는 오차로 생각된다.

III. 결론

본 논문에서는 기지패턴 Calibration을 이용하여 물체의 깊이 정보를 추출하기 위한 비전 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 계측에 사용한 평면을 이상적인 평면이라고 가정하고 영상의 한 점에 대한 포인트와 실세계 좌표간의 관계식을 유도하였고, 유도된 식과 평면의 방정식을 이용하여 영상의 좌표에 대한 실세계 좌표를 유도하였다. 한 대의 영역형 CCD 카메라로부터 Calibration 포인트를 획득한 뒤 카메라 렌즈의 왜곡, 초점거리, 영상의 중심등을 고려하여 Calibration을 수행하였고, Calibration 된 실세계 좌표값을 Look-up table에 저장하였다. Slit형 레이저광을 대상 물체에 조사하고, 테이블을 수평으로 등속도로 이동시키면서 영역형 CCD 카메라로 2차원 라인 화상을 480프레임을 획득한다. 2차원 라인 화상의 y축은 이동하는 물체의 시간적 위치로 결정되고, 라인 화상은 x-z평면의 좌표를 나타낼 수 있으므로, 획득된 2차원 라인 화상들을 조합하여 물체의 3차원 좌표를 얻을 수 있다. Look-up table에 저장된 3차원 실세계 좌표값을 참조하여 실제 미지의 계측 대상 물체에 대한 화상 Data가 입력되면 즉시 실제의 3차원 좌표 값으로 변환하게 하여 화상처리가 실시간으로 가능하게 하였다. 계측된 물체의 깊이정보는 OpenGL을 이용하여 360° 회전하면서 물체의 입체적 형상을 모니터에 Display 할 수 있게 하였다.

실험 결과 실측 깊이정보와 계측된 깊이정보간에 오차가 발생하였으며, 오차 발생 원인으로서는 라인 화상에 대한 이진화, 세선화에 의한 중점의 위치에 따라 약간씩 차이가 나고 있다. 이는 Calibration 포인트가 $z = 0$ 인 평면 위에 존재하지 않았고 이동중인 평면의 진동성분이 첨가되었고, 카메라 렌즈의 왜곡이 입력되는 영상에 미치는 영향을 정확하게 추정하지 못하여 발생하는 오차로 생각된다. 향후 이 오차에 대한 보정 함수에 대한 상세한 연구가 되어야 하지만 카메라와 이송장치의 모터, 카메라 렌즈와 레이저 광원의 교체에 의해 오차는 줄일 수 있다.

IV. 참고문헌

- [1] C. Torras, "Computer Visio : Theory and Industrial Applications", Springer-Verlag, 1992.
- [2] Jarvis R.A, "A perspective on rang finding techniques for computer vision", IEEE Tans. PAMI, Vol. 5. 1983.
- [3] 谷尻豊壽 著 "[最新] 畫像處理入門", 技術評論社
- [4] 井口征七, 佐藤宏介 公저 "三次元畫像計測, 昭晃堂
- [5] 조강현, 유범재 공역 "3차원 비전", 대영사