

반사거울을 포함한 비전시스템의 카메라 보정 방법

이완영, 박태형
충북대학교 제어계측공학과

Camera Calibration Method for Vision Systems with Mirror Reflector

Wan-Young Lee, Tae-Hyoung Park
Dept. of Control and Instrumentation Eng. Chungbuk National University

Abstract - 본 논문에서는 검사 및 측정용 비전 시스템에서 카메라와 평면거울을 이용하여 영상을 촬영할 때 발생하는 왜곡의 보정 방법을 제안한다. 빛이 거울과 카메라 사이를 통과할 때 거울 위치의 틀어짐으로 인하여 직진성을 보장받기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 왜곡 영상에 대한 모델을 구하고 이를 해결하는 방법을 제시한다. 거울의 위치의 틀어짐은 영상 촬영시 일그러진 사각형 형태로 왜곡이 나타난다. 이 특성을 이용하여 사각형 형태의 실험 대상체를 생성하여 이를 촬영하고 왜곡의 정도를 측정하여 평면거울의 보정값을 구한다. 이 방법으로 평면거울의 자세를 보정하여 왜곡되지 않은 영상을 얻을 수 있다.

1. 서 론

검사 및 측정용 비전 시스템에서 카메라와 평면거울을 이용할 경우 장비의 진동이나 촬영방향의 자유도 등의 측면에서 다양한 장점을 가지게 된다. 그림 1 은 평면거울을 이용한 전자부품 검사기의 예 이다. 이러한 시스템에서 거울의 틀어짐이 발생하는 경우에 왜곡이 발생하게 되는데 본 논문에서는 이를 보정하기 위한 방법을 제시한다.

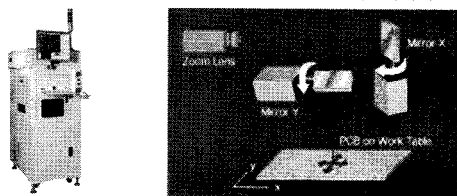
본 연구와 관련된 기존의 연구는 기하학적 보정 물체를 이용하여 카메라의 매개변수를 추정하는 방법과 관련된 연구[1]-[3]와 카메라와 평면거울을 이용하여 영상을 촬영하고 대상 물체의 3D 복원과 관련된 연구[4][5]가 있다. 3D 복원과 관련된 연구는 평면거울을 이용한다는 측면에서 유사하지만 본 논문은 검사 대상을 정밀하게 검사하는 것이 그 목적이므로 정밀도에 차이가 있다.

평면거울의 특성상 반사되는 대상이 거울에 수직인 면을 기준으로 대칭이 되는 영상이 생성 된다. 실제 촬영되는 영상은 거울에 반사되는 영상인데 이를 대상으로 Zhang의 카메라 보정 방법[1]을 적용할 수 있다. 이 방법으로 카메라의 매개변수를 얻을 수 있는데 이를 이용하여 여기서 얻어진 변환행렬로부터 평면거울의 자세와 보정값을 얻을 수 있다.

2. 카메라 보정 문제

2.1 평면거울을 이용한 비전 시스템

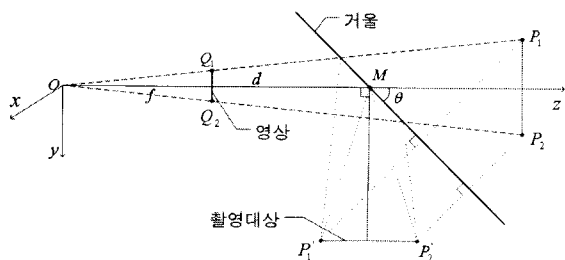
평면거울이 포함된 비전 시스템은 일반적인 핀홀 카메라 모델에 거울이 포함된 형태가 된다. 그림 2(a)는 평면거울이 포함된 카메라 모델을 2차원으로 단순화 시킨 기하학적 구조를 보여준다. 실제로 영상에 촬영되는 점 Q는 실제 촬영대상의 점 P이 아닌 거울에 반사된 P점이 촬영된다. (편의상 실제 촬영대상을 P, 거울에 반사된 점을 P로 한다) 여기서 O는 카메라



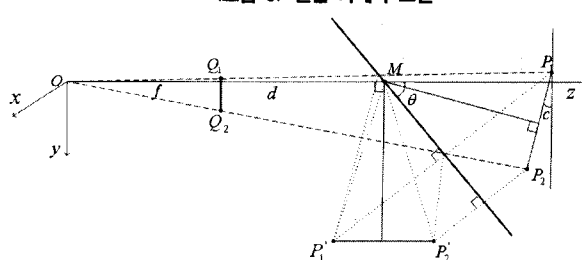
(a) 부품검사기

(b) 기하학적 구조

〈그림 1〉 평면거울을 이용한 비전 시스템 [6]



(a) 정상적인 영상 ($\theta=45^\circ$)



(b) 왜곡 영상 ($\theta>45^\circ$)

〈그림 2〉 평면거울 카메라의 기하학적 구조

라의 투영중심(Pinhole)이고, M은 거울의 중심 좌표, f는 초점거리, d는 O에서 M까지의 거리, θ 는 거울과 y축과의 각도를 나타낸다.

이러한 비전 시스템에서 거울의 각도의 틀어짐이 발생하는 경우에 그림 2(b)와 같은 형태로 영상에 왜곡이 생기게 된다. 그림 2(b)에서 c는 촬영대상과 y축과의 기울어진 각도를 나타낸다. 이때 Q_1, Q_2 간의 길이가 그림 2(a)에서의 길이보다 짧아지는 왜곡이 발생한다.

2.2 카메라 보정 모델

그림 2와 같은 비전 시스템에서 촬영 대상을 P'이 아닌 P로 변경하여 [1], [2]의 방법에 적용하면 카메라 매개변수를 얻을 수 있다. 다음은 R, t, K가 식 (2)와 같을 때, [2]에서 제시한 기준좌표계의 점 $P=[xyz]^T$ 와 영상에서의 점 $Q=[uv]^T$ 와의 관계를 정의한 가장 일반적인 핀홀 카메라 보정 모델이다. 그림 3은 핀홀카메라 모델의 기하학적인 구조를 보여주는데 {W}는 기준좌표계를 {C}는 카메라 좌표계를 나타낸다.

$$Q = \frac{1}{z} K[R \ t] P \quad (1)$$

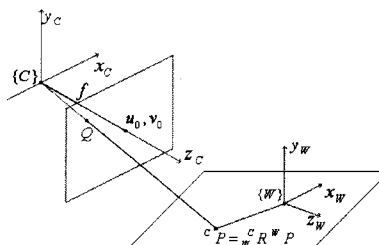
$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}, t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} \alpha \gamma u_0 \\ 0 & \beta v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 z는 정규화된 영상평면과 영상이 표현되는 망막평면 사이의 스케일을 나타내는 변수이다. R 행렬은 카메라의 외부 매개변수로 그림 3과 같이 기준좌표계에서 카메라 좌표계로의 변환행렬 wR 이다. t벡터는 두 좌표계 사이의 거리를 나타내는 벡터이다. K행렬은 카메라의 내부 매개변수로 α 와 β 는 영상평면의 각각 u, v축 방향의 스케일을, γ 는 u, v 두 축 간의 비틀림 u_0, v_0 는 영상 평면의 중심좌표를 나타낸다[2].

3. 카메라 보정 방법

3.1 카메라 모델의 매개변수 추정

일반적인 핀홀 카메라의 매개변수를 추정하는 방법은 다음과 같다. R 행렬의 각 행을 r_1, r_2, r_3 이라하고, $P=[xyz]^T, Q=[uv]^T$ 이라 할 때



〈그림 3〉 핀홀 카메라 모델

다음 식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$M = K[R \ t], \quad R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Q = \frac{1}{z} MP \quad (4)$$

여기서 M 의 각 행을 m_1, m_2, m_3 이라 하면, 식 (4)를 다음 식 (8), (9)를 유도할 수 있다.

$$z = m_3 P \quad (5)$$

$$u = \frac{m_1 P}{m_2 P} \quad (6)$$

$$v = \frac{m_2 P}{m_3 P} \quad (7)$$

$$(m_1 - u_i m_3) P_i = 0 \quad (8)$$

$$(m_2 - v_i m_3) P_i = 0 \quad (9)$$

기준 좌표계의 점을 P_1, \dots, P_n 이라 하고, 이에 대응하는 영상의 점을 Q_1, \dots, Q_n 이라 할 때 식 (8), (9)를 H 와 M 으로 정리하면 다음 식 (11)을 얻을 수 있다.

$$H = \begin{bmatrix} P_1^T & 0^T & -u_1 P_1^T \\ 0^T & P_1^T & -v_1 P_1^T \\ \dots & \dots & \dots \\ P_n^T & 0^T & -u_n P_n^T \\ 0^T & P_n^T & -v_n P_n^T \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$HM = 0 \quad (11)$$

식 (11)을 이용하여 최소자승법으로 카메라의 매개변수를 추정할 수 있다[2].

3.2 거울의 보정

식 (11)로부터 변환행렬 R 을 얻을 수 있다. R 의 기하학적 의미는 카메라의 좌표계를 기준으로 하여 평면거울에 대칭으로 나타난 검사대상의 자세를 나타낸다. 이때의 점 P 는 거울을 통해 투영된 좌표 이므로 거울의 자세를 변경하면 거울에 투영되는 점 P 의 위치가 변하게 되고 그에 따라 영상에서의 점 Q 를 보정할 수 있다.

변환행렬 R 에서 다음 식을 이용하여 카메라 좌표계 $\{C\}$ 의 x, y, z 축과 기준좌표계 $\{W\}$ 의 x, y, z 축과의 차이 각도 a, b, c 를 구할 수 있다. 여기서 a 는 $\{C\}$ 좌표계의 z 축, b 는 y 축, c 는 x 축을 중심으로 회전된 각도를 나타낸다[7].

$$b = \text{Atan2}(-r_{31}, \sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2}) \quad (12)$$

$$a = \text{Atan2}(r_{21}/\cos b, r_{11}/\cos b) \quad (13)$$

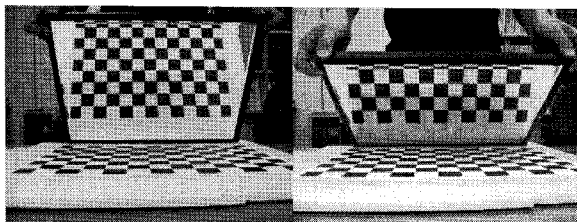
$$c = \text{Atan2}(r_{32}/\cos b, r_{33}/\cos b) \quad (14)$$

여기서 a, b, c 를 이용하여 거울의 자세를 구할 수 있다. 그림 2의 (b)를 생각해 볼 때, 거울의 각 θ 와 거울에 반사된 물체의 자세 c 과는 다음의 관계가 있다. 왜곡이 없는 거울의 자세는 $-\pi/4$ 이므로, $\pi/4 + \theta$ 만큼 왜곡되어 있다는 사실을 알 수 있다.

$$\theta = (2c - \pi)/4 \quad (15)$$

4. 실험

본 실험은 카메라 보정을 통하여 얻은 매개변수를 측정하고 이에 따라 복원한 물체의 크기와 실제 물체 크기의 차이를 측정하여 보정의 정확도를



〈그림 4〉 카메라 보정에 사용된 영상

측정한다.

실험은 2단계로 이루어진다. 먼저 그림 4의 보정 물체를 이용하여 카메라의 매개변수를 추출한다. 이때, 영상의 점 Q 를 그림 5와 같이 복원하고 각 점간의 거리와 실제 거리와의 차이를 계산한다.

본 실험은 Pentium4 3.0GHz의 컴퓨터에서 수행하였으며, [8]의 영상 보정 라이브러리를 사용하였다.

표 1은 보정 물체를 이용하여 구한 내부 매개변수와 외부 매개변수를 보여준다. 외부 매개변수는 거울의 각도가 달라질 때 마다 변화하므로 거울의 각도가 약 45°일 때 추정값을 기록하고 거울의 정확한 각도를 계산하였다. 추정된 R 행렬에서 식 (12)-(14)를 이용하여 물체의 자세를 구하면 $a = -0.94^\circ$, $b = -2.96^\circ$, $c = -4.2^\circ$ 임을 구할 수 있는데 이를 통해 거울의 y 축과의 각도에 -2.125° 의 오차가 있음을 확인하였다. 또한, t 의 높을 구하여 물체의 중심좌표가 카메라의 중심좌표와 75.75cm 거리에 있음을 알 수 있었다.

다음으로 표 2는 위의 촬영 결과에서 평균값을 이용해 각 지점간의 거리를 계산한 결과와 보정을 이용하여 얻은 결과를 비교하였다. 대상 물체의 기준점에서 3cm-15cm까지 3cm 간격으로 거리의 변화를 주고 두 점간의 거리를 추정한 결과 평균에 의한 방법에서는 평균 0.152cm의 오차를, 카메라 보정에 의한 방법에서는 평균 0.016cm의 오차를 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 체크모양의 보정 물체를 이용하여 거울에 반사되는 영상에 대한 카메라 보정을 수행하였다. 여기서 얻은 카메라 매개변수를 이용하여 거울의 자세를 추정하는 방법을 제시하였고 실험을 통해 보정의 정확도를 측정하였다. 이 결과 대상 물체의 위치를 복원 하였을 때 평균에 의한 방법에서는 위치와 관계없이 0.016cm의 작은 오차를 가짐을 확인하였다.

일반적으로 카메라 보정은 매개변수 추정에 대한 방법과 광도 왜곡 보정 방법에 대한 연구가 있는데 본 논문에서는 광도 왜곡은 고려하지 않았다. 때문에 광도 왜곡 모델을 추가하였을 때의 매개변수 추정 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", Technical Report, Microsoft Research, 1998.
- [2] David A. Forsyth, Computer Vision A Modern Approach, Pearson, 2003.
- [3] 우동민, "렌즈 왜곡 모델을 이용한 카메라 보정에 관한 연구", 전자공학회논문지, 제31권, 제2호, pp. 170-182, 2, 1994.
- [4] H. Zhong, "Reconstruction from Plane Mirror Reflection", vol. 1, 18th International Conference on Pattern Recognition, pp. 715-718, 2006.
- [5] Jun-Sik Kim, "Camera Calibration Based on Arbitrary Parallelograms", Computer Vision and Image Understanding, June, 2008.
- [6] www.mirtec.com.
- [7] John J. Craig, Introduction To Robotics, Third Edition, Pearson, 2005.
- [8] www.vision.caltech.edu/bouguet.

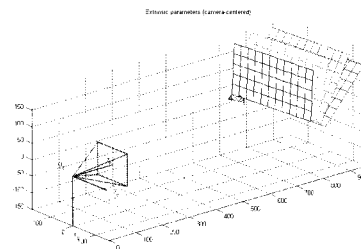
〈표 1〉 매개변수 추정 결과

내부 매개변수					외부 매개변수			
α	β	γ	u_0	v_0	R		t	
1448.70	1456.79	0	663.27	485.44	0.99	-0.02	0.05	$\begin{bmatrix} -171.35 \\ -26.94 \\ 737.46 \end{bmatrix}$
					-0.01	-0.99	-0.07	
					0.05	0.07	-0.99	

〈표 2〉 카메라 보정 결과

(단위: cm)

측정횟수	참값	평균 거리		카메라 보정	
		계산값	오차	계산값	오차
1	3	3.29	0.29	3.02	0.02
2	6	6.13	0.13	5.95	0.05
3	9	9.01	0.01	8.99	0.01
4	12	11.89	0.11	11.98	0.02
5	15	14.78	0.22	14.98	0.02



〈그림 5〉 복원된 영상