

2 차원 평면판을 이용한 로봇과 카메라의 핸드/아이 자가보정 시스템

A Robot-Camera Hand/Eye Self-Calibration System Using a Planar Target

○성 형 원*, 김 대 식**, +이 석 한*

* 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (TEL : 031-299-6471; E-mail: {shwhihi1, lsh1}@skku.edu)

** 현대중공업 엔진기계연구소 로봇틱스연구실 (TEL : 031-328-7170; E-mail: daesik.kim@hhi.co.kr)

Abstract 비전기반 지능형 산업용 로봇 분야에서는 일반적으로 로봇핸드에 카메라가 부착되어 사용되기 때문에 로봇 핸드와 카메라의 변환관계 추정(핸드/아이 보정, Hand/Eye Calibration)은 중요한 연구주제로 주목되어 왔다. 기존의 핸드/아이 보정은 수식과 절차가 복잡하여 사용하기 어려웠다. 본 논문에서는 산업현장에서 실용적으로 적용할 수 있는 차별화된 비전 기반 로봇의 핸드/아이 자가보정 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 2 차원 평면판을 고정시키고 로봇의 움직임을 통해 카메라를 보정한 후, 이 과정에서 획득한 각각의 카메라의 이동 정보 및 작업자가 지정한 로봇 핸드의 위치 정보를 이용하여 별도의 작업자의 개입 없이 핸드/아이 보정을 수행하는 방법이다.

Keywords 핸드/아이 자가보정(hand/eye self-calibration), 핸드/아이 보정(hand/eye calibration), 카메라 보정(camera calibration)

제시되었으나, 수식과 절차가 복잡하여 좀 더 간단하고 실용적인 방법을 필요로 하고 있다.

1. 서론

카메라를 부착한 로봇시스템의 보정은 1) 로봇 베이스와 로봇 핸드의 보정 2) 카메라의 보정 3) 로봇 베이스 혹은 로봇 핸드와 카메라의 보정(hand/eye calibration)으로 나눌 수 있다. 이 논문에서 다루고자 하는 내용은 로봇 핸드와 카메라 사이의 변환관계에 대한 보정이다.

기존에 산업 현장에서 사용 중인 로봇과 카메라의 보정방법은 일반적으로 티치펜던트(teach pendant)라고 불리는 별도의 조작기를 이용한다. 알고 있는 대상물의 위치에 로봇의 핸드를 교시하여 여러 번 반복과정을 통해서 카메라와 로봇의 핸드 사이의 변환 관계를 추정할 수 있었다. 티치펜던트를 이용하는 기존의 방법은 많은 시간이 소요되고 번거롭다는 단점이 있다. 또한, 로봇의 핸드를 직접 교시하는 경우에 작업자가 로봇의 바로 옆에서 교시하여야 하므로 로봇의 오작동과 관련된 작업자의 안정상의 문제가 발생할 수 있으며, 전반적인 과정이 인간의 판단을 통한 교시방법이므로 정밀도가 떨어질 수 있다. 이를 극복하기 위해 다양한 방법[1, 2]이

2. 핸드/아이 자기보정

본 논문에서는 그림 1 과 같이 로봇 핸드의 좌표계와 카메라 좌표계의 변환관계 hT_c 를 고정된 체스보드 평면판을 사용하는 핸드/아이 자가 보정을 제안한다. 위첨자 h 는 로봇 핸드 좌표계를 의미하며, 아래첨자 c 는 카메라 좌표계를 의미한다.

그림 2 에서 표현된 ${}^h_0T_{h_j}$ 는 로봇 핸드의 초기 위치의 좌표계 h_0 와 j 번째 위치에서의 좌표계 h_j 의 변환관계를 나타낸다. 또한 ${}^c_0T_{c_j}$ 는 로봇 핸드에 부착된 카메라의 초기 위치의 좌표계 c_0 와 j 번째 위치에서의 좌표계 c_j 의 변환관계를 나타낸다.

아래의 식과 같이 카메라의 초기 좌표계 c_0 와 j 번째 위치에서의 좌표계 c_j 의 변환관계 ${}^c_0T_{c_j}$ 는 로봇 핸드와 카메라의 변환관계 hT_c 와 로봇 핸드의 초기 좌표계 h_0 와 j 번째 위치에서의 좌표계 사이의 변환관계 ${}^h_0T_{h_j}$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

· 본 논문은 지식경제부의 로봇산업원천기술개발사업으로 수행된 연구 결과임. (No. 10033344, 고밀도 혁신 제조공정용 로봇시스템 개발)

* 교신저자

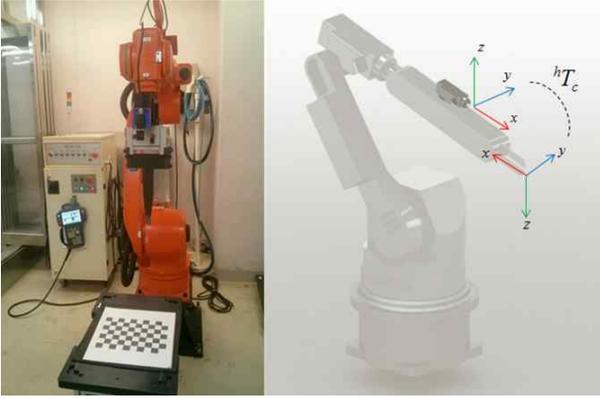


그림 1. 핸드/아이 자가보정 시스템

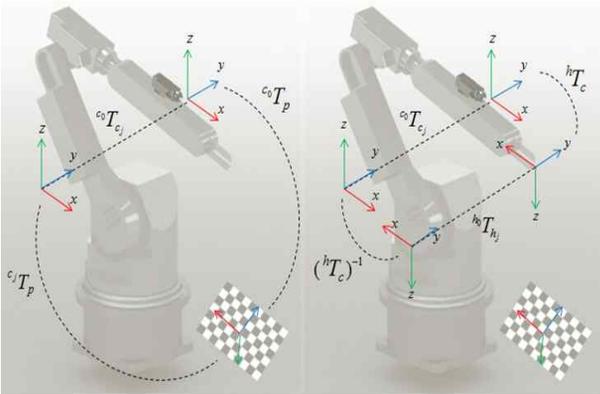


그림 2. 핸드/아이 자가보정 변환관계

$${}^c \mathbf{T}_{c_j} = \left({}^h \mathbf{T}_c \right)^{-1} {}^h \mathbf{T}_{h_j} {}^h \mathbf{T}_c$$

$$= \begin{bmatrix} {}^c \mathbf{R}_{c_j} & {}^c \mathbf{t}_{c_j} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

수식 (1)에서 ${}^c \mathbf{R}_{c_j}$ 와 ${}^c \mathbf{t}_{c_j}$ 는 아래의 식과 같이 정리할 수 있다.

$${}^c \mathbf{R}_{c_j} = {}^h \mathbf{R}_c^T {}^h \mathbf{R}_{h_j} {}^h \mathbf{R}_c \quad (2)$$

$${}^c \mathbf{t}_{c_j} = {}^h \mathbf{R}_c^T {}^h \mathbf{R}_{h_j} {}^h \mathbf{t}_c + {}^h \mathbf{R}_c^T {}^h \mathbf{t}_{h_j} - {}^h \mathbf{R}_c^T {}^h \mathbf{t}_c$$

$$= {}^h \mathbf{R}_c^T \left({}^h \mathbf{R}_{h_j} {}^h \mathbf{t}_c + {}^h \mathbf{t}_{h_j} - {}^h \mathbf{t}_c \right) \quad (3)$$

회전이 없는 그리퍼의 직선 이동은 ${}^h \mathbf{R}_{h_j} = \mathbf{I}$ 가 되므로 수식 (3)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$${}^c \mathbf{t}_{c_j} = {}^h \mathbf{R}_c^T {}^h \mathbf{t}_{h_j} \quad (4)$$

식 (1)에서 ${}^h \mathbf{T}_{h_j}$ 은 작업자가 로봇의 핸드를 h_0 에서 h_j 로 이동하여 얻어낸 변환관계이며, ${}^c \mathbf{T}_{c_j}$ 는 고정된 평면판과 카메라 사이의 변환관계, ${}^c \mathbf{T}_p$ 와 ${}^c \mathbf{T}_p$ 를 이용하여 얻어낸 변환관계이다. 즉,

$${}^c \mathbf{T}_{c_j} = {}^c \mathbf{T}_p \left({}^c \mathbf{T}_p \right)^{-1} \quad (5)$$

${}^h \mathbf{T}_{h_j}$ 와 ${}^c \mathbf{T}_{c_j}$ 는 얻을 수 있는 정보이므로, 식 (4)을 통하여 로봇 핸드와 카메라 사이의 회전 변환관계

${}^h \mathbf{R}_c$ 를 획득할 수 있다. ${}^h \mathbf{R}_c$ 가 얻어지면, 식 (3)을 이용하여 ${}^h \mathbf{t}_c$ 를 알아낼 수 있다. 만약, 로봇이 순수 회전 운동만 한 경우, 식 (3)은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$${}^c \mathbf{t}_{c_j} = \left({}^h \mathbf{R}_c^T {}^h \mathbf{R}_{h_j} - {}^h \mathbf{R}_c^T \right) {}^h \mathbf{t}_c \quad (6)$$

명시하지 않았으나 카메라 자체의 보정은 핸드/아이 자가보정의 수행 과정에서 획득하는 영상을 이용하여 Zhang[3]의 카메라 보정방법을 사용하여 보정할 수 있다.

3. 실험결과

로봇과 카메라의 핸드/아이 자가 보정을 위해 초기 위치 영상 1개, 로봇 핸드와 순수하게 직선 운동(병진 운동, translation)한 영상 3개, 회전을 포함한 임의의 이동영상 2개를 획득하여 총 6장의 영상을 통하여 정보를 얻고, 위에 제안한 방법을 통하여 로봇 핸드와 카메라의 자가보정을 수행하였다.

로봇 핸드와 임의의 위치로 이동시켰을 때, 카메라를 통해 변환 관계를 추정하고, 핸드/아이 자가 보정 결과를 이용하여 로봇 핸드와 카메라의 변화량을 추정한 결과, 평균 직진이동 정밀도는 1.2mm, 회전 정밀도는 0.042° 오차로 산업 현장에 적합함을 확인하였다. 또한 연산에 사용되는 영상의 수가 많아 질수록 정밀도를 향상시킬 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 제안된 방법은 카메라에 관한 사전 지식 없이도 카메라 보정 및 핸드/아이 보정을 할 수 있도록 실용성에 중점을 두었으며, 로봇자체의 움직임만으로도 카메라 보정 및 핸드/아이 보정이 가능하여 소요시간을 단축할 수 있다. 또한 현장에서 작업자의 잠재 위험성을 보호 하는데 활용 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] R. Tsai et al., "A New Technique for Fully Autonomous and Efficient 3-D Robotics Hand/Eye Calibration", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 5, pp. 345-358, June 1989.
- [2] G. Wei, et al., "Active Self-Calibration of Robotic Eyes and Hand-Eye Relationships with Model Identification", IEEE Transactions Robotics and Automation, vol. 15, no. 1, Feb. 1998.
- [3] Z. Zhang., "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 11, Nov. 2000.