

지능형 산업용 로봇 비전 트래킹 시스템 연구

정재웅, 김효제, 김기수, 김태화, 손정기, 권순재
부경대학교

The Study of Vision Tracking for Intelligent Industrial Robot

Jea-Woong Jung, Hyo-Jae Kim, Gi-Soo Shin, Tae-Hwa Kim, Jeong-ki Son,
Soon-Jae Kwon
Pukyong National University

ABSTRACT

본 논문에서는 CCD 카메라의 시각정보 이미지를 이용한 Machine Vision System을 개발하여 산업용 로봇에 적용하고 이를 통해 이동물체에 대한 각종 조작 및 자동화 작업을 수행하는 지능형 산업용 로봇을 위한 실시간 비전 트래킹 시스템을 연구하였다. 비전 트래킹 시스템에서 물체의 위치 계산에 대한 정밀도와 함께 빠른 처리속도를 요구하므로 로봇제어기와는 별개의 Embadded 시스템으로 비전 제어기를 구성하고 로봇제어기와 Serial 통신을 통하여 트래킹 시스템을 구현하였다.

1. 서 론

영상 처리를 이용한 이동 물체의 추적은 영상 센서로부터 연속적으로 받아들여지는 영상의 배경으로부터 물체를 인식하고 카메라의 시각 영역에서 벗어나지 않도록 부가적인 메커니즘을 사용하는 능동 비전(Active vision)의 중요한 부분이다.^[1] 로봇 비전 시스템은 이러한 영상 처리 기법을 로봇에 적용하여 시각 기능을 부여함으로써 작업자가 교시하지 않아도 로봇이 대상물에 대한 정보를 획득하여 필요한 작업을 수행할 수 있도록 하는 것으로 자동검사 시스템과 자동조립 등에 응용되고 있다. 로봇 비전 시스템은 카메라의 장착위치에 따라 카메라를 로봇 주변의 고정된 위치에 설치하는 방법과 매니퓰레이터에 설치하는 두 가지 방법으로 구성할 수 있다. 전자의 방법은 카메라가 로봇 주변에 고정된 위치에 있으므로 로봇 좌표계와 카메라 좌표계가 고정되어 후자의 방법보다는 비교적 정확한 데이터를 확보할 수 있는 반면에 시야가 고정되어 있는 단점이 있다. 후자의 방법은 본 논문에서 사용되는 방법으로 카메라가 로봇의 그림 끝단에 설치하여 전자의 방법의 고정된 위치에서 카메

라를 설치함으로써 생기는 작업반경의 제한 범위를 더욱 넓힐 수 있다.

대부분의 로봇 비전 시스템은 정확한 로봇의 기구학적 해석과 대상 물체의 방위에 대한 정밀도와 함께 정확한 보정(Calibration)을 필요로 한다.

영상처리의 해석 방법으로는 하나의 카메라를 이용한 단안기법과 인간의 눈과 흡사한 두개의 카메라를 이용하는 양안기법이 있다. 단안기법(One-reflection Method)은 3차원 영상 정보로부터 2차원으로 투영하게 되므로 물체를 추적하기위한 계산량이 적어 실시간 처리가 용이하다. 반면에 양안기법(Two-reflection Method)은 삼각측량이 가능하여 3차원 영상 정보를 투영하게 되므로 물체의 깊이 정보를 추출할 수 있는 이점이 있으나 데이터 처리량이 많아 실시간 처리에는 어려움이 있다. 단안기법은 컨베이어와 같이 거리가 일정한 위치에서의 작업에 적합하다.^[2]

본 논문에서는 하나의 CCD 카메라를 이용한 단안기법을 적용시켜 컨베이어공정의 자동 검사 시스템으로 활용 가능한 이동물체의 검출 및 검출된 영상 정보를 통하여 로봇 팔의 위치 및 속도를 제어하고자 한다.

2. 소형 6축 로봇의 기구학적 해석

소형 6축 로봇의 D-H Parameter와 기구학 풀이를 위한 좌표축 설정은 그림 1과 같다.

D-H Parameter를 이용하여 좌표 변환을 할 수 있는 동차 변환 식은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & \alpha_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & \alpha_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

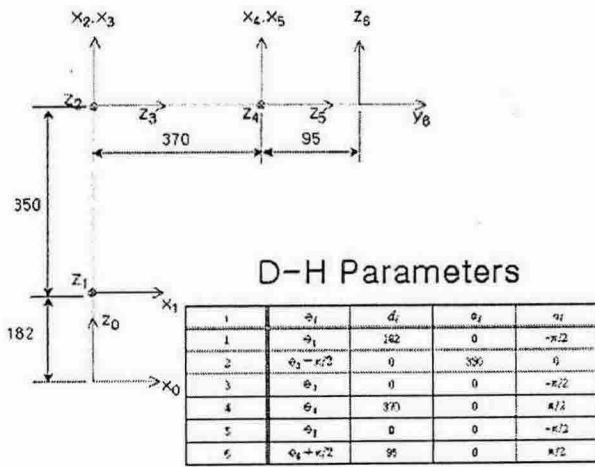


그림 1 소형 6축 로봇의 D-H Parameter와 좌표축 설정

식 (1)을 기준으로 1축에서 6축까지 동차 변환 하면 다음과 같이 전개 될 수 있다.

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 182 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1_2T = \begin{bmatrix} \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 350\sin\theta_2 \\ -\cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 & 350\cos\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^3_4T = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & \sin\theta_4 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & -\cos\theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 370 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4_5T = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & 0 & -\sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & \cos\theta_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^5_6T = \begin{bmatrix} -\sin\theta_6 & 0 & -\cos\theta_6 & 0 \\ \cos\theta_6 & 0 & \sin\theta_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 95 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이렇게 각 축에 대하여 동차 변환 시킨 결과 값을 이용하여 1축에서 6축까지의 동차 변환 행렬을 이용하여 로봇의 Position에 해당하는 값은 다음과 같다.

$$P_x = -95\cos\theta_4\sin\theta_3(\cos\theta_1\sin\theta_2\cos\theta_3 + \cos\theta_1\cos\theta_2\sin\theta_3) - 95\sin\theta_4\sin\theta_3\sin\theta_1 + (95\cos\theta_3 + 370)(-\cos\theta_1\sin\theta_2\sin\theta_3 + \cos\theta_1\cos\theta_2\cos\theta_3) + 350\cos\theta_1\sin\theta_2$$

$$P_y = -95\cos\theta_4\sin\theta_3(\sin\theta_1\sin\theta_2\cos\theta_3 + \sin\theta_1\cos\theta_2\sin\theta_3) - 95\cos\theta_4\sin\theta_4\sin\theta_3 + (95\cos\theta_3 + 370)(-\sin\theta_1\sin\theta_2\sin\theta_3 + \sin\theta_1\cos\theta_2\cos\theta_3) + 350\sin\theta_1\sin\theta_2$$

$$P_z = -95\cos\theta_4\sin\theta_3(\cos\theta_2\cos\theta_3 + \sin\theta_2\sin\theta_3) + (95\cos\theta_3 + 370)(-\cos\theta_2\sin\theta_3 - \sin\theta_2\cos\theta_3) + 350\cos\theta_2 + 182$$

소형 6축 로봇의 역기구학을 구하기 위해서는 우선 주어진 조건에 대한 정의가 필요하다. 수직 다관절 로봇의 경우 역기구학을 풀이를 위해서 주어진 조건으로 ($P_x, P_y, P_z, \alpha, \beta, \gamma$)와 같이 로봇 끝단의 위치와 자세가 있다. 주어진 조건에 의해 로봇의 자세를 정의를 하면 다음과 같다.

$x-y-z$ fixed angle (α, β, γ)

$${}^0_T R = R_z(\gamma)R_y(\beta)R_x(\alpha)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\gamma\cos\beta & -\cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\gamma + \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma \\ \cos\gamma\cos\beta & \cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma & -\sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma \\ -\sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x \\ n_y & s_y & a_y \\ n_z & s_z & a_z \end{bmatrix}$$

6축 수직 다관절의 로봇의 경우 역기구학은 2단계로 나누어서 해법을 찾을 수 있다. 우선 손목 단까지의 위치를 추적해서 이 데이터를 통해 기하학적인 접근 방법으로 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 까지를 우선 구하고 나머지는 대수적인 방법을 통해 구하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} 2(P_{wy}, P_{wx}) \quad (-180^\circ \leq \theta_1 \leq 160^\circ)$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - (\tan^{-1} 2(\sin\phi, \cos\phi) + \tan^{-1} 2(\sin\phi, \cos\phi))$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} 2(\cos\phi, \sin\phi)$$

$$\theta_4 = \tan^{-1} 2(\sin\theta_4, \cos\theta_4)$$

$$\theta_5 = \tan^{-1} 2(\sin\theta_5, \cos\theta_5)$$

$$\theta_6 = \tan^{-1} 2(\sin\theta_6, \cos\theta_6)$$

3. 로봇 비전 트래킹 시스템의 구성

그림 2은 로봇 비전 트래킹 시스템의 구성도를 보여준다. 이동 물체의 영상을 추출하기 위해 로봇의 그림 부분에 Sony XC-HR70 CCD 카메라를 장착하여 카메라 설치에 필요한 공간이 필요치 않아 좁은 공간에서 작업이 용이하고 로봇의 운동 반

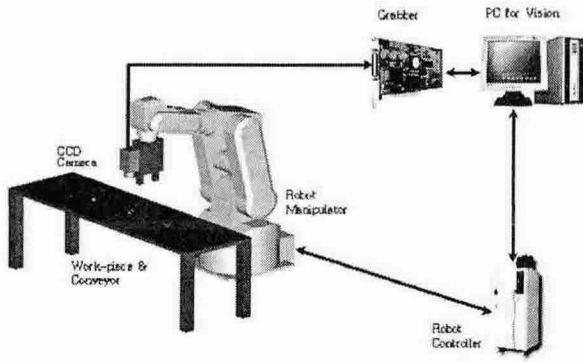


그림 2 로봇 비전 트래킹 시스템의 구성도
Fig. 2 Robot vision tracking system diagram

경이 카메라의 시각반경이 되므로 작업 범위를 넓게 하였다. Frame grabber는 Matrox사의 영상처리 보드 Meteor II를 사용하여 카메라를 통해 획득한 영상데이터를 디지털화 시키고 메모리에 영상을 저장하는 역할을 하였다. 또 영상의 형상에 대한 윤곽을 명백히 드러내기 위하여 Halogen 램프를 조명에 사용하여 설치하였다. 시스템 구성으로 사용된 로봇 본체는 (주)로봇 밸리에서 개발된 소형 6축 로봇 RV-06을 사용하였으며 전용 컨트롤러를 사용하였다. 획득한 영상 데이터들은 비전 제어기에서 연산을 하고 로봇 전용 컨트롤러에 전달되어 이동 물체에 대한 영상 정보(위치 오차, 회전각오차)를 통해 로봇을 제어하게 된다. 로봇의 제어를 위해 모니터 프로그램으로부터 로봇 전용 제어기로 전달된 각 축의 제어 명령은 10msec 마다 이동하여야 하는 거리의 형태로 생성되어 생성된 증분 이동거리를 모터 제어기에 전달한다. 따라서 비전 제어기와 로봇 전용 제어기와의 통신에 의해서 전달된 데이터를 통하여 이동 물체에 대한 로봇의 위치보정은 매 10msec 마다 이루어진다.

본 논문에서는 비전 상의 데이터를 처리하기 위해서 OS를 Windows 2000을 탑재하고 Visual Basic으로 모니터 프로그램을 작성하였다.



그림 3 비주얼 베이직으로 작성한 모니터 프로그램
Fig. 3 Monitoring program by visual basic

그림 3은 비전 데이터의 처리와 로봇 전용 제어

기와의 통신을 위한 Visual Basic으로 작성한 모니터 프로그램 화면이다. 그림 3을 보면 왼쪽으로 이동물체의 실시간 획득하는 영상이 보이고 그 오른쪽으로 이동물체의 X, Y좌표와 각도좌표가 표시되며 그 밑으로 비전 제어기에서 연산되어진 각 좌표의 오차 값이 표시 된다. 이러한 오차 데이터를 픽셀 당 실제 거리를 환산하여 로봇 제어기에 전달한다. 퍼스널 컴퓨터와 로봇 제어기와의 통신은 RS-232통신을 사용하였으며 로봇과 비전 제어기의 작업 흐름도는 그림 4와 같다.

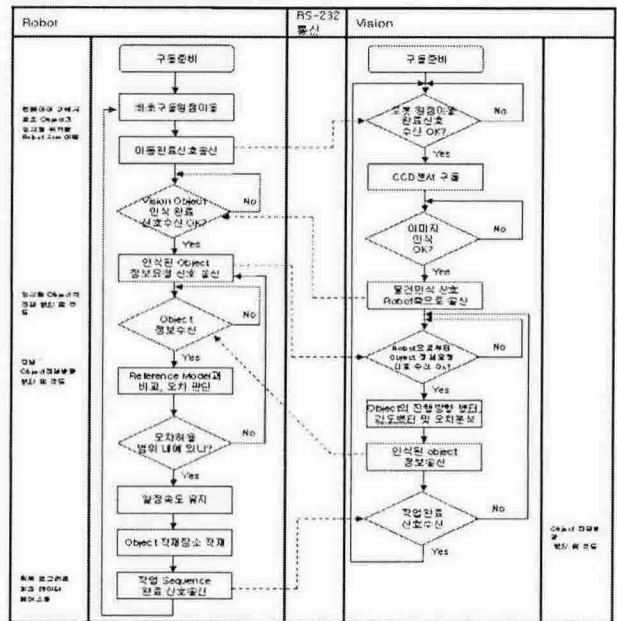


그림 4 로봇과 비전 제어기간의 작업흐름도
Fig. 4 Flow chart between robot and vision controller

3. 실험 방법 및 고찰

영상 정보를 이용한 이동 물체의 추적 (Vision Tracking)은 비전 제어기에 입력된 물체의 정확한 좌표 값과 실시간으로 CCD 카메라에서 감지되는 물체의 좌표 값을 비교하고 로봇이 보상해야하는 오차를 계산하여 정해진 통신 프로토콜로 로봇과 실시간 데이터를 주고받음으로 이루어진다. 로봇의 그림 끝단을 컨베이어의 한 쪽끝에 잘 위치시키고 컨베이어의 일정한 속도에 의해 카메라의 시야에 들어오는 이동 물체가 카메라의 시야의 정해진 중심선을 통과하면 로봇은 일정한 컨베이어의 속도 (이동물체의 속도)와 동기 되어 이동 물체의 이동 방향으로 이동하게 된다. 이 때 비전 제어기는 오차 데이터를 매10ms 마다 처리하여 로봇 제어기로 전달하면 로봇은 매10ms 마다 위치 보정을 수행하여 이동 물체와의 오차를 줄이게 된다.

처음에 로봇과 대상물의 위치를 찾기 위해서는

화상의 전체 영역에 대한 조사를 수행해야 하므로, 33ms 이상의 처리시간이 소요될 수도 있다. 하지만, 일단 각 물체의 중심위치가 얻어진 후에는, 각 중심위치를 중심으로 갖는 정사각형의 작은 윈도우 영역을 정의하고 매 프레임마다 그 윈도우 영역 내의 화소들만을 검사한다. 이를 윈도우 트래킹 방법이라 한다. 즉, 초기에 전체 화상 자료에 대한 처리를 통해 각 물체들의 위치를 계산한 후, 각각의 물체 주변의 화상 자료들만을 처리함으로써, 처리할 자료의 양을 줄임으로써, 처리시간이 감소하므로 33ms 이내에 모든 물체들의 위치나 방향을 구할 수 있었다

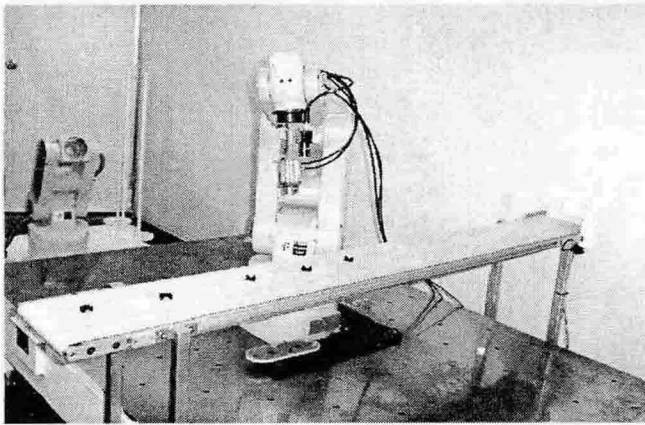


그림 5 윈도우 트래킹하는 로봇의 실제 사진
Fig. 5 Window Tracking Robot

4. 결 론

매니퓰레이터로 이동 물체를 파지하기 위해서는 이동 물체에 대한 정보가 필요하다. 이러한 정보를 획득하는 방법으로는 여러 가지가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 이동 물체를 파지하기 위해서 비전을 사용했으며, 이 또한 기존에는 외부 카메라를 장착하는 고정 방식을 사용하였으나 본 논문에서는 매니퓰레이터에 카메라를 장착하는 방식을 사용하여 기존의 고정 방식에서의 작업반경의 제한 범위를 더욱 넓힐 수 있었다. 비전을 통해 이동 물체의 중심 및 각도를 계산 할 수 있었고 일정한 컨베이의 속도정보를 더하여 도달 지점을 예측할 수 있었다. 비전에 의해 계산되어진 위치에 매니퓰레이터가 추종하기 위해서 순기구학과 역기구학을 통하여 계산되어진 좌표로 제어되는 로봇을 사용하였으며 실험결과 95%이상의 파지 성공률을 보였다. 본 논문에 구성된 시스템은 산업 현장에 바로 적용이 가능하다고 사료된다.

이 논문은 중소기업청의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 중소기업 기술혁신개발사업 최종결과 보고서 2005. 4.
- [2] Bales, J. and Baker, L. Marking Parts to Aid Robot Vision NASA Technical Paper, April 1981
- [3] 김상헌, 정재영, 이동명 공저 "embedded linux 기반의 로봇 설계 & 제작" 영진 닷컴
- [4] 김옥삼, 신동원, 정사철 공저, "로봇제어공학" 선학출판사,
- [5] 정원지 외 5명 "Simulation of inter-block arc-welding robot for shipbuilding using weaving motion algorithm based on bezier spline" The IASTED International Conference on Modelling, Simulation, and Optimization International Conference
- [6] 정원지 외 4명 "선체 블록내 용접 자동화를 위한 위빙 모션 알고리즘을 적용한 용접 로봇의 시뮬레이션" 한국 정밀 공학회 춘계학술대회 2004. 5. 영남대학교