

## 조립용 로봇의 오프라인 교시를 위한 영상 정보의 이용에 관한 연구

### Utilization of Vision in Off-Line Teaching for assembly robot

안철기\*(부산대 대학원), 이민철(부산대)

Cheol Ki Ahn\*(Graduate School, P.N.U.), Min Cheol Lee(P.N.U.)

부산광역시 금정구 장전동 산30번지 부산대학교 기계기술연구소 405호

Tel : (051) 510-3081, Fax : (051) 512-9835, E-mail : ckiahn@hyowon.pusan.ac.kr

#### Abstract

In this study, an interactive programming method for robot in electronic part assembly task is proposed. Many of industrial robots are still taught and programmed by a teach pendant. The robot is guided by a human operator to the desired application locations. These motions are recorded and are later edited, within the robotic language using in the robot controller, and play back repetitively to perform robot task. This conventional teaching method is time-consuming and somewhat dangerous. In the proposed method, the operator teaches the desired locations on the image acquired through CCD camera mounted on the robot hand. The robotic language program is automatically generated and downloaded to the robot controller. This teaching process is implemented through an off-line programming software. The OLP is developed for an robotic assembly system used in this study. In order to transform the location on image coordinates into robot coordinates, a calibration process is established. The proposed teaching method is implemented and evaluated on an assembly system for soldering electronic parts on a circuit board. A six-axis articulated robot executes assembly task according to the off-line teaching in the system.

#### 1. 서론

현재 산업현장에서는 로봇의 사용이 보편화 되어, 자동차, 조선 등의 중공업 분야뿐만 아니라 전자부품의 조립 및 운반 등의 많은 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다. 최근 들어서는 생산성의 향상 및 변화하는 작업환경에서의 적응을 위한 유연 생산시스템에 대한 관심이 고조되고 있으며, 로봇 시스템에서도 유연성이 강조되고 있다.

로봇 시스템에서의 유연성은 작업을 교시하는 로봇 프로그래밍 방법의 용이성에 의해 결정된다[1]. 로봇의 프로그래밍 방법은 모든 로봇 사용자에게 중요한 관심사이다. 작업을 교시하기 위해서는 일반적으로 사용자가 교시상자를 이용하여 로봇의 거동을 직접 확인하면서 조립작업을 지시하는 온라인 교시방법이 사용된다. 그러나, 이러한 방법은 다관절 로봇자체의 복잡성으로 인하여 많은 시간이 소요되고, 숙달된 기술자를 요구한다.

이러한 온라인 교시방법의 문제를 해결하기 위해 로봇과 작업환경을 컴퓨터 상에서 가상적으로 구현하여, 오프라인으로 로봇의 교시, 시뮬레이션, 성능 평가 등을 수행할 수 있는 오프라인 프로그래밍(off-line programming, OLP)시스템에 대한 관심이 고조되고 있으며, 국내외에서 많은 OLP시스템들이 상용화되고 있는 추세이다[2][3]. 그러나 개발된 대부분의 OLP들이 시뮬레이션, 충돌 검색 및 회피, 성능 평가 면에서는 좋은 성능을 보이는 반면, 교시의 측면에서는 OLP상의 로봇과 환경모델과 실제 시스템과의 오차로 인해 OLP에서의 교시를 실제시스템에 바로 사용하지 못하는 문제가 발생한다[4][5].

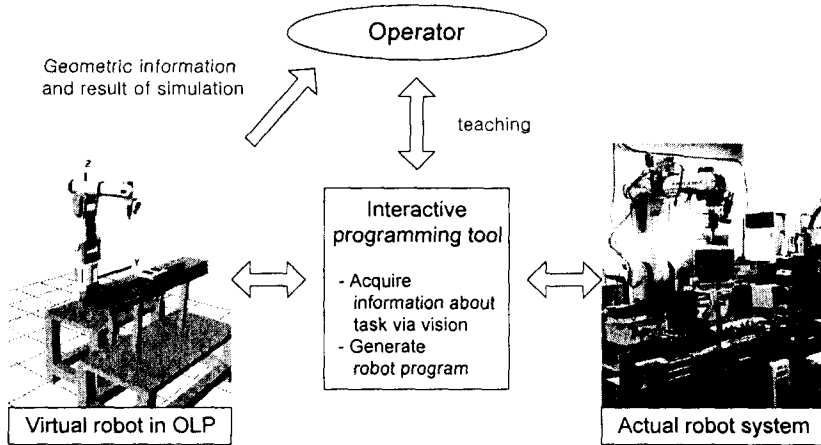


Fig. 1 Interactive programming using OLP

본 연구에서는 조립대상물의 화상정보를 이용하여 OLP에서 손쉽게 교시하고, 교시점의 오차를 보정하여 실제 시스템에 바로 적용 가능하도록 하는 방법을 제시하고자 한다. 대상 시스템 으로서는 실제 산업현장에서 이루어지는 조립공정을 수행하는 전자부품의 조립 라인을 구성하였다. 이 라인에서는 수직다관절 로봇을 이용하여 납땜 작업을 수행하도록 되어 있다. 제안된 교시 방법을 이 시스템에 적용하여 로봇의 작업을 OLP 상에서 교시하고, 로봇제어기에 다운로드하여 실제 로봇에서 수행하는 일련의 과정을 통해 적합성을 확인하였다.

## 2. 로봇의 작업 교시

로봇이 필요한 작업을 수행하도록 교시한다는 것은 로봇 제어시스템의 로봇언어로 구성된 프로그램을 작성하는 것이다. 일반적으로 로봇 프로그램을 작성하는 과정은 작업을 위해 로봇이 통과해야 하는 일련의 경유점들을 파악하고, 각각의 위치에서 로봇의 손목에 부착된 공구의 동작을 지정하는 것이다.

기존의 로봇의 교시는 교시상자(teaching pendant)를 이용한 온라인 교시방식으로 이루어진다. 교시상자는 로봇제어기에 연결되어 있어, 사용자가 로봇을 조그 모드(jog mode)로 구동시킬 수 있고, 로봇의 제어와 관련한 기능들과 로

봇 프로그램을 작성할 수 있는 에디터(editor)기능이 있다. 작업을 교시하는 일반적인 과정은 다음과 같다.

- ① 사용자가 필요한 작업을 구현하기 위한 로봇의 동작 시퀀스를 파악한다.
- ② 로봇을 조그 모드로 구동하여 로봇의 작업을 위해 요구되는 위치로 이동시키고, 그 위치를 제어기에 저장한다. 필요한 모든 경유점에 대해 이 과정을 수행한다.
- ③ 계획된 동작 시퀀스, 저장된 위치 및 로봇에 부착된 공구의 구동과 주변 장치의 동기 구동 신호를 고려하여 로봇 프로그램을 작성한다.
- ④ 프로그램을 실행시켜 로봇 작업의 적합성을 판단하여, 위의 과정을 반복한다.

이와 같은 온라인 교시방식은 많은 시간이 소요되고, 로봇을 직접 구동함에 따른 안전 문제도 발생한다.

OLP 시스템은 가상현실의 기법을 이용하여 로봇과 작업환경을 컴퓨터 상에서 가상적으로 구현하여, 오프라인으로 로봇의 교시, 시뮬레이션, 성능 평가 등을 수행할 수 있다. OLP의 가장 큰 장점은 로봇의 작업에 관련한 정보를 효율적으로 사용자에게 전달하는 기능이다. 3차원 그래픽으로 구현된 가상로봇과 작업환경에서 작업대상물

및 공구의 형상정보, 그리고, 작업환경 등을 이용하여 사용자가 교시에 필요한 정보를 보다 쉽게 파악할 수 있도록 도와 줄 수가 있다. 그리고, 작성된 로봇 프로그램을 오프라인으로 시뮬레이션하여, 보다 안전하고, 효율적으로 로봇 프로그램의 적합성을 판단할 수 있다. 이러한 OLP시스템은 교시과정에서 ①, ③, ④의 과정에 소요되는 노력과 시간을 줄여, 효율적인 교시가 가능하게 한다.

OLP를 이용한 교시에서 가장 큰 문제가 되는 것은 ②의 과정이다. 온라인 교시에서 ②의 과정을 수행하는 이유는 두 가지로 해석할 수 있다. 첫째, 사용자가 작업에 적합한 로봇의 위치 및 자세를 선정하기 위해서이다. 두 번째 이유는 로봇제어기에서 지원하는 로봇의 좌표계(world coordinates)를 신뢰할 수 없다는 것이다. 일반적으로 로봇의 반복정밀도(repeatability)는 매우 높지만 정확도(accuracy)는 매우 떨어져서 크게는 수 mm이상의 오차가 발생한다. 정확도를 향상시키기 위해서는 로봇의 기구학 보정을 수행해야만 하고, 보정작업에는 상당한 경비가 소요되고, 복잡한 작업과정을 수행해야만 한다[4][5].

OLP에서는 로봇과 작업환경의 3차원 기구학 정보를 이용해서 손쉽게 로봇의 위치와 자세를 선정할 수 있다. 하지만 정확도의 문제로 인하여 실제 로봇에서는 상당한 위치오차를 유발하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서는 기구학 보정을 수행하고, 보정된 파라미터들을 기초로 하여 OLP상의 로봇과 작업환경을 모델링하여야 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해소하기 위해 비전 센서를 이용하여 OLP상에서 정확한 교시가 가능하도록 하였다. 로봇에 부착된 카메라에서 획득된 작업대상물의 영상을 매개체로 하여 작업자가 작업에 관한 정보를 획득하고 교시를 수행할 수 있는 대화형 프로그래밍(interactive programming) 방법을 제안하였다. Fig. 1은 OLP상에서 교시를 수행하는 개념도를 보여준다. 본 연구에서는 2차원 평면 작업에 적용 가능한 대화형 프로그래밍 방법을 개발하여, 전자부품 조립 공정에서 사용되는 기관 납땜 자동화 라인의 로봇 시스템에 적용하였다.

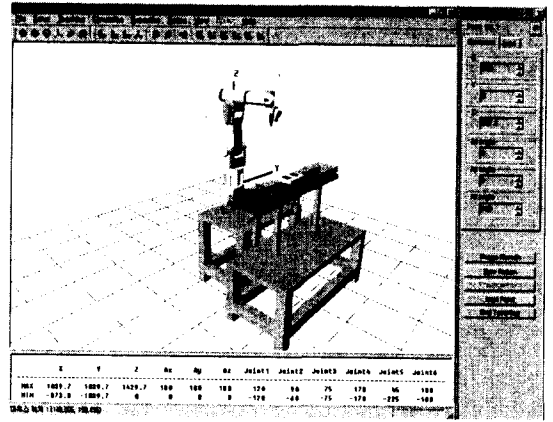


Fig. 2 Virtual robot system in OLP

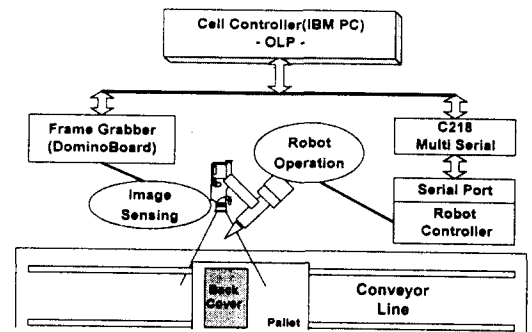


Fig. 3 System configuration for automatic teaching mode

### 3. 로봇 시스템

본 연구의 대상이 되는 시스템은 카메라 백커버의 제작 공정을 담당하는 생산라인 중 일부 작업을 수행하는 셀(cell)이다. 이 셀은 3개의 작업을 수행하도록 구성되어 있다. 첫 번째는 열코킹 검사 작업이고, 두 번째는 납땜 작업이고, 마지막으로 세 번째는 납땜 검사작업이다. 셀의 전체적인 작업의 제어를 담당하는 셀 제어기로는 산업용 컴퓨터(PC)가 사용된다.

본 연구의 대상으로 삼은 것은 납땜 작업이다. 납땜 작업은 수직다관절 로봇인 AC-15(삼성전자)에 의해 수행된다. OLP는 개인용 컴퓨터를 기반으로 개발되었으며, 셀 제어기로 사용되는 컴퓨터에서 구동된다.

Fig. 2는 OLP의 조립작업을 위한 가상 로봇 시스템을 보여준다. 대화형 프로그래밍은 조립대

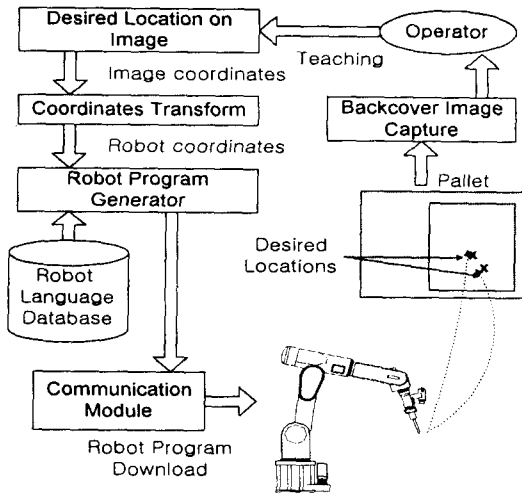


Fig. 4 Automatic Teaching Process

상물의 영상을 획득하여, 이 영상을 기준으로 납땜을 수행할 위치를 작업자가 지정하면, 납땜 작업을 위한 로봇 프로그램을 자동으로 생성한다. 이를 위해 OLP에 영상 정보를 획득하기 위한 카메라와의 인터페이스 기능을 갖추고, 로봇을 구동하고, 로봇의 위치데이터를 획득할 수 있도록 로봇제어기와 통신기능을 추가하였다. 영상정보와 로봇제어기에서 제공되는 로봇의 위치정보를 이용하여 OLP에서 교시되는 로봇의 위치를 실제 로봇과 일치시키도록 하기 위한 보정을 수행한다. 생성된 로봇 프로그램은 통신기능을 통해 로봇 제어기로 다운로드된다. 대화형 프로그래밍 모드를 위한 시스템의 하드웨어적인 구성은 Fig. 3과 같다.

#### 4. 대화형 프로그래밍

본 연구에서 제안한 대화형 프로그래밍 방법의 흐름은 Fig. 4와 같다. OLP에서 자동교시 메뉴를 선택하면 서보온과 영점복귀작업에 이어 작업대상물이 보이도록 선정된 촬영위치로 로봇이 이동한다. 핸드에 부착된 카메라에서 작업대상물의 영상을 획득하여 화면에 나타낸다. 작업대상물 영상을 작업자가 보고, 납땜지점을 판단하고, 영상에 대하여 교시점을 선정한다. Fig. 5는 교시를 수행하는 화면을 보여준다. 교시점을 선정하는 방법은 마우스를 이용하여 커서를 교시점으로

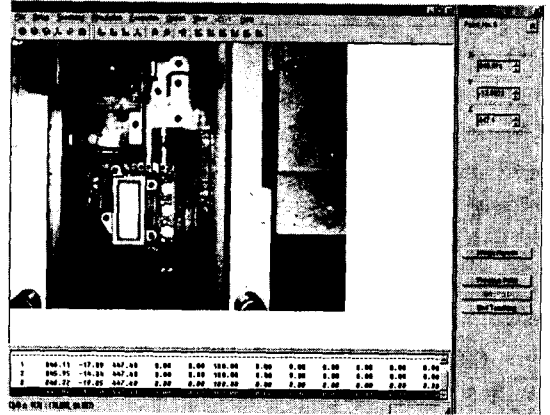


Fig. 5 Teaching on image in OLP

이동하여 클릭 함으로써 이루어진다. 교시점이 선정되면, 적색의 점으로 영상위에 마크되며 영상좌표계로 획득된 교시점의 좌표는 로봇제어기의 월드좌표계(이하 로봇좌표계) 기준의 로봇좌표로 자동으로 변환되어 OLP화면의 하단에 제시된다. 이때 변환알고리즘의 파라미터는 보정과정을 통해 획득된다. 선정된 교시점의 로봇좌표를 이용하여 로봇언어로 구성된 납땜 작업용 로봇 프로그램을 자동으로 생성한다. 납땜기의 동작과 셀 제어기의 위치결정장치의 동작과 연동동작을 위한 코드와 로봇 초기화에 관한 코드는 데이터베이스로 되어있어 로봇 프로그램에 추가된다. 로봇 교시프로그램은 납땜기 및 위치결정장치와 동기화되어 동작하도록 구성된다. 자동교시 모드에서는 교시의 유효성을 검사하기 위해 테스트용 OLP의 케직프로그램을 생성하여, OLP에서의 시뮬레이션을 통해 먼저 검토한다. 그리고, 테스트용 로봇 프로그램을 동시에 생성하여, OLP에서 온라인으로 로봇을 구동시켜 교시의 정확도를 확인한다.

#### 5. 좌표 보정 및 교시 실험

영상정보에 의한 대화형 프로그래밍에서 교시점의 좌표는 Fig. 6과 같이 두 가지의 좌표계로 표현되어진다. 교시과정에서는 영상좌표계를 기준으로 위치가 표현된다. 로봇제어용 프로그램에서는 로봇좌표계로 위치가 표현된다.

영상좌표에서 로봇좌표로의 변환과정은 두

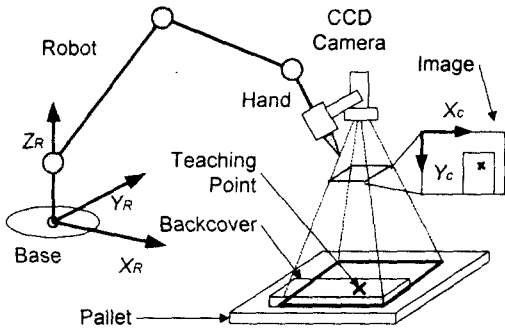


Fig. 6 Hand-eye camera system for interactive programming

가지의 변환식 보정을 통해 수행된다. 첫 단계는 로봇좌표의 변화에 따라 촬영위치가 바뀐 영상에서의 좌표변화를 구하는 과정, 즉 영상좌표계와 로봇좌표계간의 상관관계를 구하는 과정이다. 두 번째는 영상좌표계 상에서 인두 팁의 끝단의 위치를 구하는 과정, 즉 카메라와 인두의 상관관계를 구하는 과정이다.

### 5.1 영상좌표계와 로봇좌표계의 보정

로봇좌표의 변화에 따른 영상좌표의 변화를 알아내기 위해 로봇의 위치가 다른 3개의 영상을 획득한다. 기준 영상에서 팔레트상의 특징점(feature point)을 선택한다. 기준위치에서 로봇좌표계상의  $X_R$ 방향으로  $\Delta x_{RT}$ 만큼 이동시켜 2번 영상을 획득한다. 기준위치에서  $Y_R$ 방향으로  $\Delta y_{RT}$ 만큼 이동시켜 3번 영상을 획득한다. 기준 영상과 2번 영상의 비교를 통해 획득된 특징점의 영상좌표 변화  $\Delta x_{CX}$ ,  $\Delta y_{CY}$ 와 3번 영상의 비교에서 얻어진  $\Delta x_{CY}$ ,  $\Delta y_{CY}$ 를 이용하여, 식 (1)과 같이 로봇좌표의  $x$ ,  $y$ 변화에 따른 영상좌표의 변화를 구하는 변환행렬  $T$ 를 얻는다.

$$T = \begin{bmatrix} \frac{\Delta x_{CX}}{\Delta x_{RT}} & \frac{\Delta x_{CY}}{\Delta y_{RT}} \\ \frac{\Delta y_{CX}}{\Delta x_{RT}} & \frac{\Delta y_{CY}}{\Delta y_{RT}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 5.2 영상좌표와 인두 팁의 끝단의 위치보정

납땜자세에서의 납땜인두 끝단의 위치를 영

상좌표계 상의 좌표로 구하는 과정이다. 납땜자세로 인두 끝단을 팔레트상의 임의의 위치에 놓고, 그 위치를 영상에서 알아볼 수 있도록 표식으로 표시한다. 이때의 로봇좌표는  $x_{RS}$ ,  $y_{RS}$ 이다. 로봇을 구동하여 촬영자세로 바꾸고, 표식이 카메라의 시야에 보이도록 로봇의 위치를 이동하여, 영상을 획득한다. 이때의 로봇좌표는  $x_{Rmark}$ ,  $y_{Rmark}$ , 영상에서 표식의 위치는  $x_{Cmark}$ ,  $y_{Cmark}$ 이다. 영상좌표계 상에서의 인두의 위치  $x_{CS}$ ,  $y_{CS}$ 를 식 (2)를 이용하여 구한다.

$$\begin{bmatrix} x_{CS} \\ y_{CS} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x_{RS} - x_{Rmark} \\ y_{RS} - y_{Rmark} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{Cmark} \\ y_{Cmark} \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 4.3 교시점의 로봇좌표로의 변환

작업대상물을 보여주는 교시영상을 획득한다. 이 영상에서 사용자는 교시점을 선정한다. 이때의 로봇 위치는  $x_{Rpic}$ ,  $y_{Rpic}$ 이고, 교시점의 영상좌표는  $x_{Cteach}$ ,  $y_{Cteach}$ 이다. 교시점은 식 (3)에 의해 실제 납땜을 위한 로봇의 로봇좌표  $x_{Rteach}$ ,  $y_{Rteach}$ 로 변환되어 구해진다.

$$\begin{bmatrix} x_{Rteach} \\ y_{Rteach} \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} x_{CS} - x_{Cteach} \\ y_{CS} - y_{Cteach} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{Rpic} \\ y_{Rpic} \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)은 로봇핸드에서의 카메라의 부착위치가 변경되지 않는 한 유효하므로, 보정작업은 카메라를 핸드에 부착하는 시점에 한번만 수행된다. 로봇의  $z$  좌표는 시스템의 초기 셋팅시에 작업자가 설정한다.

### 5.4 교시 실험

제안된 보정방식으로 좌표계 변환식을 구하여 Fig. 5에서와 순서로 교시를 수행하였다. Fig. 7은 교시된 프로그램에 따라 실제의 로봇이 작업하는 모습을 보여 준다. 교시한 위치에 대한 실제 로봇의 위치의 오차는 0.5 mm 이내로서 납땜이 성공적으로 수행되었다.

Table 1은 기존의 교시상자를 이용한 교시방법과 제안된 자동교시 방법에서의 소요시간을 비교한 결과이다. 먼저 시스템이 처음 셋업되는

Table 1. Comparison of teaching time

Comparison Item	Teaching by T.P.	Automatic Teaching
Set up (calibration & database edit)	0	1 ~ 2 hour
Teaching time (4 point)	30 min	30 sec
Program edit	30 min	1 sec

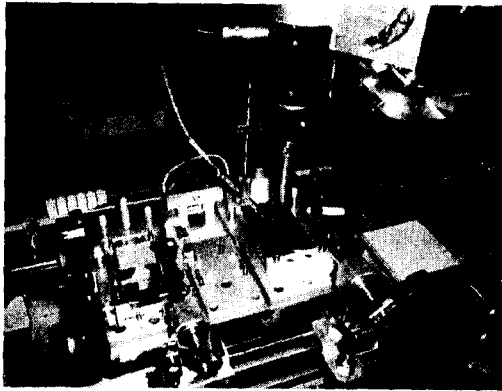


Fig. 7 Robot in operation

시점에는 자동교시를 위해서 보정작업과 시스템에 맞는 로봇언어 프로그램의 데이터베이스를 작성하는 데에 시간이 소요된다. 실제 작업대상물의 교시점이 4점인 경우에 대해 기존의 교시방식은 로봇을 교시상자로 온라인으로 구동하여 교시 위치를 찾는데 30분 정도가 소요되고, 로봇 프로그램을 편집하는 데에도 이에 상응하는 시간이 소요된다. 그러나 한번 셋업이 된 시스템에서 자동교시방식은 1분 이내에 모든 작업이 끝남을 볼 수가 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 영상정보를 이용한 오프라인 교시 시스템을 개발하였다. 로봇의 핸드에 부착한 카메라를 통해 작업대상물의 영상을 획득하도록 함으로써, 작업자가 작업 정보를 OLP상에서 바로 확인할 수 있다. 영상에 대해 바로 교시점을 지정하고, 로봇 프로그램을 자동생성함으로써 비숙련자라도 손쉬운 교시가 가능하고, 교시시간이 단축되었다. 그리고, 기존의 방식과 달리 교시를

위해 로봇을 구동하면서 작업자가 직접 교시점을 확인하는 과정을 거치지 않으므로 안전한 교시가 가능하다.

## 후기

이 논문은 산업자원부의 지원을 받는 G7과제(과제번호 5312)의 일환으로서 삼성전자와 삼성항공의 협력으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) John Lapham, "RobotScript<sup>TM</sup>: the introduction of a universal robot programming language", *Industrial Robot*, vol. 26, no. 1, pp.17~25, 1999.
- (2) K. Son, C. W. Jung, M. H. Lee, M. C. Lee, J. M. Lee, D. S. Ahn, And S. H. Han, "A Human-Robot Interface System Developed in PC's", *12th JRSJ Conference*, pp. 101~104, 1994.
- (3) Min C. Lee, C. K. Ahn, K. Son, J. M. Lee, S. H. Han, and M. H. Lee, "Integrated SCARA Robot Control System Based on DSP," *Proc. of 2nd Asian Control Conference*, Vol. I, pp. 97~100, 1997.
- (4) F. Hidalgo, P. Brunn, "Robot metrology and calibration systems - a market review", *Industrial Robot*, vol. 25, no. 1, pp. 42~47, 1998.
- (5) B. W. Mooring, Z. S. Roth, M. R. Driels, *Fundamentals of manipulator calibration*, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- (6) H. Zhuang, Z. S. Roth, *Camera-Aided Robot Calibration*, CRC Press, 1996.
- (7) K. S. Fu, R. C. Gonzalez, C. S. G. Lee, *Robotics*, McGraw-Hill, 1987.
- (8) Ralph L. Hollis and Arthur Quaid, "An Architecture for Agile Assembly", *Proc. Am. Soc. of Precision Engineering*, 10th Annual Mtg., Austin, October 15-19, 1995.