

공작물 교시정보를 이용한 로봇기구정수 인식과 보정 Robot Identification and Calibration by Teaching Data of a Workpiece

*정준효¹, #국금환², 김두형³

*J. H. Jeong¹, #K. H. Kuk(kkh@gnu.ac.kr)², D. H. Kim³

¹경상대학 제어계측공학과, ²경상대학 제어계측공학과, ³한국기계연구원 지능기계연구센터

Key words : Robot Identification, Robot Calibration, Robot Teaching, Off-line Programming

1. 서론

국의 대표적인 제조업용 로봇 메이커들의 경우, 기존 제조업용 로봇 시장 확대가 한계에 봉착하자 최근 새로운 시장 개척을 위한 500kg 이상 초중량물 핸들링 로봇개발을 통해 자동차 제조라인 및 일반 공작기계 가공라인의 물류혁신을 꾀하고 있다. 500kg 이상 초중량물 핸들링 로봇의 경우, 교시작업 중 중량 공작물의 이탈에 의한 안전사고로 인하여 위험한 교시작업을 오프라인으로 수행하는 것이 매우 바람직하다.

작업장 내 실제 로봇을 이용한 교시작업을 컴퓨터 그래픽 모델을 이용한 로봇작업 프로그램의 오프라인 생성작업으로 대체하기 위해서는, 기본적으로 실제 로봇 기구부의 수학적 모델인자에 해당하는 Denavit-Hartenberg(D-H) 인자값의 정도(절대 정도)가 로봇 적용 작업의 요구 정도를 만족시킬 수 있는 수준으로 높아야 한다. 그러나 D-H인자값의 정도를 실제로봇의 작업 요구 정도를 만족시킬 수준으로 높였다 하더라도, 이 로봇을 적용하여 실제 로봇작업장을 구축할 때 설치로봇에 대한 작업대상 공작물 자체 및 공작물 고정구의 상대적 고정.설치오차 및 로봇 공구 고정오차가 추가 수반된다. 로봇 작업장 설치 시 추가 도입된 이러한 오차들로 인하여 로봇 end-effector의 실제 위치자세와 공작물상 목표 위치자세의 편차가 다시 커지게 되어 결국 해당 작업 요구 정도를 만족시키지 못하게 된다. 그 동안 로봇작업 프로그램의 오프라인 생성방법에 대한 연구가 많았음에도, 이러한 두 가지 이유로 인하여 현재 국내.외 산업현장에 설치된 로봇의 작동방법은 거의 대부분 Teach and Playback(교시 재생) 방식에 의존하고 있다^(1,2). 대기업의 경우도 도입한 ROBCAD, IGRIP 과 같은 고가 상용 패키지를 주로 작업장 레이아웃 최적설계용으로 사용하고 있는 실정이다.

한편, 오프라인 생성방법이 아닌 통상의 교시방식으로 로봇작업 프로그램을 생성하는 경우에도 D-H 인자값의 정도(절대 정도)를 높이는 작업은 실용적으로 중요하다. 그 이유는 교시작업 중 교시한 2~3개 점들을 이용하여 직선.원호보간 명령을 하는 경우, 역기구학(Denavit-Hartenberg 인자값 이용)을 이용하여 보간된 직선.원호의 정확도(로봇 end-effector의 작업 궤적 정확도)가 로봇 제어기에 내장된 로봇 기구부의 D-H 인자값 정도에 직접 좌우되기 때문이다.

본 논문에서는 로봇작업 프로그램의 오프라인 생성 방법을 실용적으로 적용하기 위해, 로봇 자체의 모델링 정도를 높이기 위한 로봇 자체 보정을 실제 로봇 작업장과 그래픽 작업장 모델 사이의 오차를 줄이기 위한 일종의 로봇 작업장 보정으로 확장한 하나의 방법을 제시하고자 한다.

2. 로봇 자체 보정과 로봇 작업장 보정

로봇 보정의 목적은 관절공간과 로봇 작업공간(통상 직교공간)을 상호 관련시키는 정확한 수식모델을 정의하는 것이다. Denavit-Hartenberg 방법을 사용하는 경우, 이 수식모델에서 핵심적 역할을 하는 것이 D-H 인자이다. 로봇 보정 절차는 통상 모델링(modeling), 측정(measurement), 인식(identification), 적용(implementation)의 4개 세부절차로 이루어진다⁽³⁾. 이 4개의 절차에 대한 통상적인 기존 방법들과 제안한 방법의 비교 결과는 표 1과 같다.

Table 1 Comparison of robot calibration methods

	기존 로봇 자체 보정	제안한 로봇 작업장 보정
Modeling	- 로봇자체의 고정도 모델링 - 미지수: $4XN+6$ (N: 로봇 자유도)	- 로봇자체의 단순한 모델링 - 미지수: $2XN+12$
Measurement	- 로봇 보정 전용 로봇 시스템 - 고정도 전용 로봇 측정기	- 실제 로봇 작업장 - 실제 작업 대상(공작물)과 작업장에 설치된 로봇 자체
Identification	- 로봇자체만의 local identification · calibration - 로봇에 대한 로봇 작업장 요소(공작물, 공작물 고정구, 로봇 공구)의 상대 위치 · 자세가 인식되지 못함	- 로봇 작업장 전체의 global calibration - 로봇에 대한 로봇 작업장 요소(공작물, 공작물 고정구, 로봇 공구)의 상대 위치 · 자세도 인식됨
Implementation	- 오프라인 작업: 로봇 자체만의 고정도 D-H 인자값에 의한 보정 결과는 저정도(교시작업시의 반복정도와 비교) 로봇 작업 정도 - 일회적 오프라인 적용으로 보간 정도 향상	- 오프라인 작업: 로봇 작업장 전체의 중정도 D-H 인자값에 의한 보정 결과는 중정도(교시작업 정도와 비교) 로봇 작업 정도 - 온라인 작업: 교시 작업시마다 반복적 온라인 적용에 의한 보간 정도 향상

표 1의 첫째 절차에서 값 ' $4XN+6$ '의 ' $4XN$ '은 로봇 자체의 전체 D-H 인자 수, ' 6 '은 전용 로봇 측정기의 위치와 자세 인자들의 의미한다. 값 ' $2XN+6$ '의 ' $2XN$ '은 로봇 자체의 D-H 인자 4개 중 관절변수와 링크길이 2개 인자만 고려함을 의미하고, ' 12 '는 공작물 (6)와 로봇 공구(6)의 위치와 자세 인자를 의미한다. 링크 트위스트 인자를 고려하지 않는 이유는 로봇 보정 작업시 수치해석에 의한 역기구학 계산을 피하기 위함이다.

표 1의 둘째.셋째 절차는 기존 방법의 경우, 다음 그림 1과 같이 로봇 자체 보정을 위해 별도로 설치한 로봇 작업장에서 로봇 작업 공간 내 Q 점에 도달하는 두 경로, 즉 경로 R(로봇 기구부를 통과한 경로) 과 경로 M(3차원 측정기나 3차원 레이저 측정기를 통과한 경로), 간의 상대오차가 최소가 되도록 $4XN+6$ 개 인자값을 결정하는 절차이다. 반면, 제안한 방법에서는 다음 그림 2와 같이 실제 로봇 작업장을 꾸민, 즉 그림 1의 전용

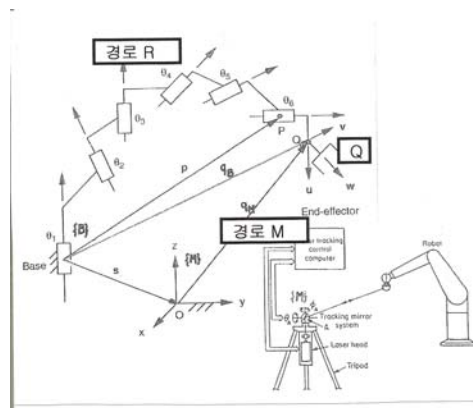


Fig. 1 Robot system for robot calibration

측정기를 로봇이 직접 작업할 공작물로 대체, 경우이다. 그림 2 에서 공작물 고정구와 로봇 작업 공구는 생략되었다.

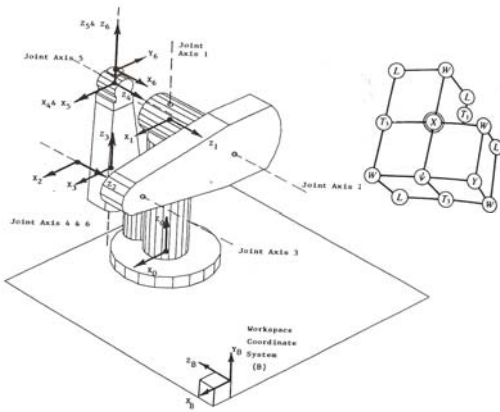


Fig. 2 Robot system as a robot work place

3. 로봇 작업장 보정 절차와 검증

다음 그림 3은 제안한 로봇 작업장 보정 방법 절차 중 표 1의 identification에 해당된다. 구체적으로 로봇 작업공간 내 로봇 주변기인 공작물 고정구 위에 고정된 공작물 자체를 이용한 보정방법으로, 측정 data 를 이용하여 기구 정수 추정작업용 오차함수를 정의하고 최소 자승 오차법을 적용한다. 중량물 핸들링 작업의 경우 로봇 선단부 자세오차 보다는 위치 오차 보정이 실용적으로 중요하기에 다음식과 같이 추정된 기구정수를 이용한 위치 오차 보정만을 위한 각 관절의 미소각도 보정값($d\theta_i$)을 적용할 수 있다.

$$d\theta_i = J^T dP_n$$

(J^T : 축소된 3x3 역 행렬; dP_n : 위치 지령값과 실제 위치값 사이의 오차)

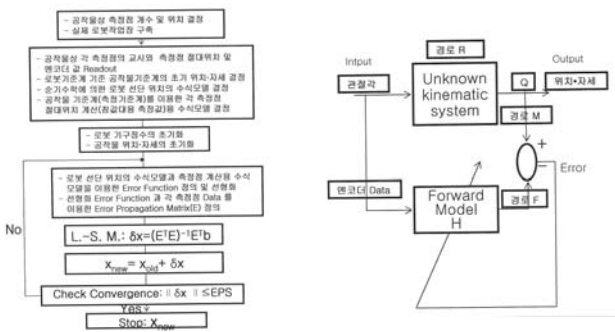


Fig. 3 Identification of kinematic parameter error

로봇 작업대상 공작물의 로봇 기준계에 대한 위치자세 오차를 최소화하기 위하여 적용하는 하나의 방법은 로봇 선단부에 고정된 뾰족한 봉을 이용하여 공작물 상(로봇을 향하는 주변기기 표면) 세 점을 교시하는 방법이다. 이를 통해 로봇 기준계에 대한 공작물 기준좌표계 원점과 자세(4x4 행렬)가 결정된다. 즉, 공작물 기준좌표계 원점에 해당되는 한 점의 교시값과 공작물 기준좌표계 두 직교 축 방향에 대응되는 다른 두 점의 교시값을 이용하는 방법이다. 이러한 방법을 통해 로봇에 대한 공작물의 위치-자세 상대오차를 최소화한다.

제안한 로봇 작업장 보정 방법의 특징 중 하나는 표 1의 implementation 절차에서 기존 교시작업의 용도변화이다. 즉, 교시작업을 통해 기존 교시재생 방식과 같이 로봇 작업 프로그램 작성을 위한 작업점 데이터 생성작업뿐만 아니라 온 라인 로봇 작업장 인식 작업용 입력 데이터 생성작업(그림 4)을 한다.⁽⁴⁾

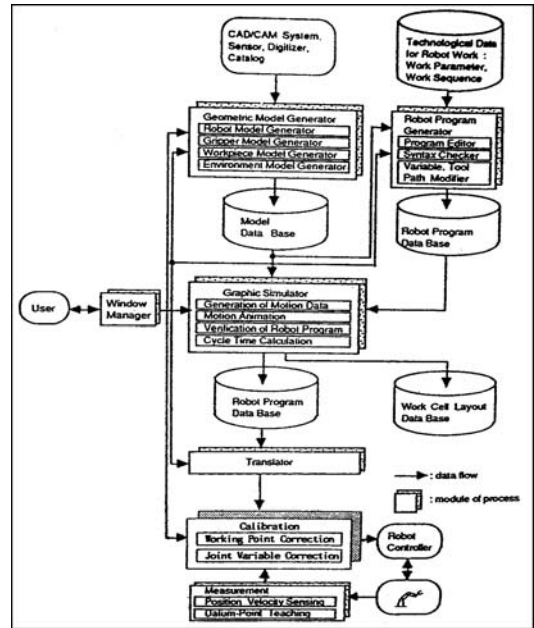


Fig. 4 Structure of off-line and on-line system

그림 3의 identification 과정을 효율적으로 검증하기 위해 내장 함수들(예, svd)의 기능이 이미 검증된 MATLAB을 이용하였다. 그림 3의 보정 알고리즘 자체의 다양한 가능성과 검증에 초점을 맞추기 위해, 대상 로봇 작업장은 2차원(로봇, 공작물 모두)으로 단순화하여 얻은 결과는 표 2와 같다.

Table 2 Verification of identification algorithm

입력 Data		출력 Data
dLa=0.0	fTha1=38.8917	lengDeIX2=0.0014
dTha=0.0	fThb1=131.3019	ffLa=502.0001
dLb=0.0	fTha2=68.9483	ffLb=498.0004
dThb=0.0	fThb2=95.7402	ffXo=-99.9988
dXo=0.0	fTha3=69.1093	ffYo=400.0009
dYo=0.0	fThb3=35.90	ffphai=0.7854
dPhai=0.0	fTha4=33.9810	
	fThb4=75.5232	

4. 결론

본 논문에서는 로봇작업 프로그램의 오프라인 생성 방법을 실용적으로 적용하기 위해, 로봇 자체 보정을 로봇 작업장 보정으로 확장한 방법을 제시하였다. 이 방법을 이용한 오프라인으로 생성한 로봇 작업 프로그램에 의한 로봇 작업정도가 교시재생기법에 의한 로봇 작업정도보다 높은 순 없지만, 핸들링 공정과 같이 아주 정밀한 작업정도를 요구하지 않는 로봇작업에는 실용적으로 적용가능하다.

후기

본 논문은 산업자원부지원으로 지역산업기술개발사업으로 추진 중인 ‘초중량물 핸들링 로봇 설계해석 및 제어기술 개발’ 과제(2단계 1차년도)로부터 지원받아 수행한 연구결과이다.

참고문헌

1. 정성중, 국금환, 최기봉, “자유 곡면의 연마공정을 위한 오프라인 로봇작업 프로그래밍 시스템의 개발,” 한국정밀공학회지, 제8권 제4호, p.84-94, 1991.
2. 김두형, “로봇의 위치정도 향상을 위한 기구정수의 추정 및 보상,” MS Thesis, KAIST, 1990.
3. R. J. Schilling, “Fundamentals of Robotics,” Prentice Hall, 1990.
4. 산업자원부, “초중량물 핸들링로봇 설계해석 및 제어기술 개발,” 1단계보고서, 2008.