

# 로봇 캘리브레이션 소프트웨어 개발 Development of a Robot Calibration Software

\*이용호<sup>1</sup>, N. H. Nhan<sup>1</sup>, #강희준<sup>2</sup>, 임현규<sup>3</sup>, 김동혁<sup>3</sup>

\*Y. H. Lee<sup>1</sup>, N. H. Nhan<sup>1</sup>, #H. J. Kang(hjkang@ulsan.ac.kr)<sup>2</sup>, H. K. Lim<sup>3</sup>, D. H. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 대학원, <sup>2</sup>울산대학교 전기전자정보시스템공학부, <sup>3</sup>현대중공업 기전연구소

Key words : Robot Calibration, Serial Type Robot, Closed-Chain Type Robot, Stiffness Parameters

## 1. 서론

최근, 로봇을 이용한 FMS(Flexible Measurement System) 개발 및 Offline Programming 환경하에서 로봇의 수정명령 생성 등 상대적으로 높은 위치정밀도(Positioning Accuracy)를 요구하는 작업이 확대되고 있다. 그에 따라 로봇의 기계적 구조물의 변화없이 로봇의 위치정밀도를 소프트웨어적으로 향상시키는 로봇 캘리브레이션에 대한 연구가 국내외적으로 진행되어 왔다[1-9]. 본 연구자들은 기존의 연구를 바탕으로 현장에서 사용 가능한 로봇 캘리브레이션 소프트웨어 개발을 진행하고 있다. 본 논문에서는 개발 중인 로봇 캘리브레이션 소프트웨어(HRcal 이라 호칭)의 주요 기능을 소개하고자 한다. 소프트웨어의 사용 언어로는 유저의 사용 편의성을 확대하고자 'Visual C++'을 사용하였다.

## 2. 개발 캘리브레이션 소프트웨어의 특징

개발 소프트웨어의 주요 특징은 다음과 같다. 첫째, 다양한 산업용 로봇에 바로 사용할 수 있도록 직렬로봇(Serial Robot) 뿐 만 아니라, 폐회로 구조 로봇(Closed-Chain Robot) 모델을 포함하고 있다. 둘째, 통상적인 기구학적 인자들을 캘리브레이션 할 뿐만 아니라, 부하에 따른 로봇 링크 처짐을 보상하는 관절강성인자(Joint Stiffness Paramters)들도 캘리브레이션 할 수 있다. 셋째, 로봇 캘리브레이션 인자 사이에 존재하는 dependency 문제(VAR check)와 캘리브레이션 결과에 영향을 많이 주는 인자 선정(Magnitude check) 문제[4] 등을 고려하는 파라미터 선택 기능을 부여하였다. 또한 측정 데이터의 입출력, 로봇 파라미터들의 불러오기 및 저장, 캘리브레이션 결과의 평가 및 저장에 있어서 사용자의 편의를 최대한 고려하였다.

## 3. 개발 캘리브레이션 소프트웨어 구조

개발 캘리브레이션 소프트웨어(HRcal)의 기본 구조는 Fig. 4(뒷면)에 제시한다. 그 주요 내용을 설명하면 다음과 같다 새로운 로봇을 만들기(Create) 위해서 직렬 또는 폐회로 구조 중 로봇의 타입 선택하면 그에 따른 데이터 입력 화면이 생성되고 그에 따른 데이터 입력을 수행하면 새로운 로봇 모델을 생성하게 되고 그것을 저장(Save)하면 \*.rob 파일로 저장된다. 그 예로 Close-chain 로봇 모델의 디스플레이 화면을 Fig. 1에 제시한다. 기구학적 모델은 일반 DH 파라미터와 두 축이 Nearly Parallel 인 경우 링크 오프셋 파라미터가 알고리즘에 민감하여 값의 변화가 심하게 되는 경우에 대응하는 Hayati[3]에 의해서 제안된  $\beta$  파라미터를 포함하는 수정 DH 파라미터의 사용이 가능하도록 하였다. 그리고 폐회로 구조에서는 2 개의 Open-Chain 으로 구성되어 관련 파라미터를 입력하도록 하였다. 또한, 부하에 따른 처짐을 보상하는 관절강성 파라미터 캘리브레이션에 필요한 각 링크의 질량과 질량 중심 위치를 포함하여 로봇 모델을 완성한다.

완성된 로봇 모델은 저장기능을 통하여 사용자가 원하는 이름으로 저장(save as)할 수 있고, 다시 사용하기 위해서 파일 불러오기(Load) 기능을 통하여 원하는 로봇 모델을 불러올 수 있다.

캘리브레이션을 수행하기 위하여 로봇 configuration 에 따른 3 차원 위치 측정 데이터 set 와 그에 상응하는 관절 Encoder set 이 필요한데, 그 데이터 파일의 형식은 \*.txt 파일이어야 하며, Encoder 데이터는 degree 단위로 [데이터 개수 x 6] 의 매트릭스 형식이고, 3 차원 측정데이터는 meter 단위로 [데이터 개수 x 3] 매트릭스 형식을 구성되어야 한다.

위에서 구성된 측정데이터와 로봇모델에 근거하여 캘리브레이션 알고리즘을 수행하기 전에 알고리즘의 성능 향상 및 singularity 방지를 위하여 파라미터 선정과정이 필요한데 이것은 3 차원 위치 오차와 파라미터의 변화를 나타내는 차코비안에 대하여 SVD(singular value decomposition)를 수행하여 참고문헌 [4]에서 언급된 Variance(VAR)와 Magnitude(MAG) 값을 통하여 적절한 파라미터를 선정한다. 그 선정 예를 보여주기 위하여 Fig. 2 을 제시한다. 본 캘리브레이션 소프트웨어는 단순히 기구학적 파라미터 만을 체크하는 것이 아니라 부하 보상을 하는 관절 강성 파라미터도 포함하여 Dependency Check 을 수행하도록 하였다.

그 다음은 본 연구자들이 개발한 캘리브레이션 알고리즘[8 9]을 적용하여 필요한 파라미터를 캘리브레이션하고 파라미터 변환 결과를 텍스트파일 형식의 \*.rob 을 생성한다. Fig. 3 은 캘리브레이션 알고리즘이 적용되는 화면의 모습이고, Table 1 은 HS165 대한 실캘리브레이션 결과로서 본 소프트웨어의 성능을 단적으로 보여준다. 또한, 변환된 파라미터를 기반으로, 산업현장에서 바로 사용가능한 Offline Programming 에 적합한 수정명령(Modified Joint Command)을 생성하거나 Fake Pose Command 를 생성하여 파일로 저장한다.

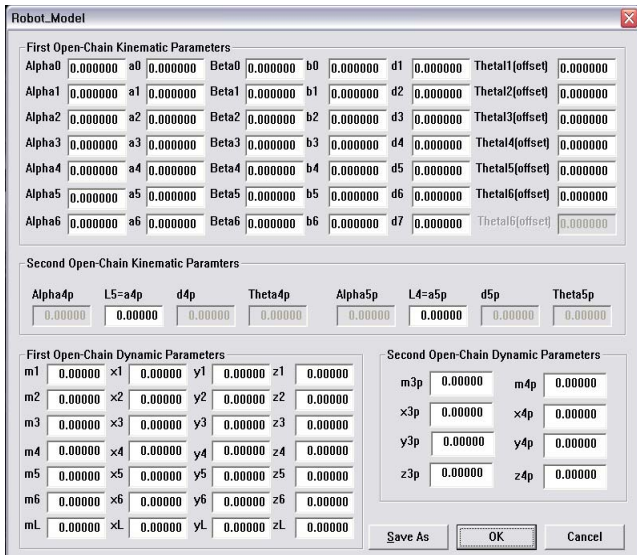


Fig. 1 Display Window of a Closed-chain Robot Model

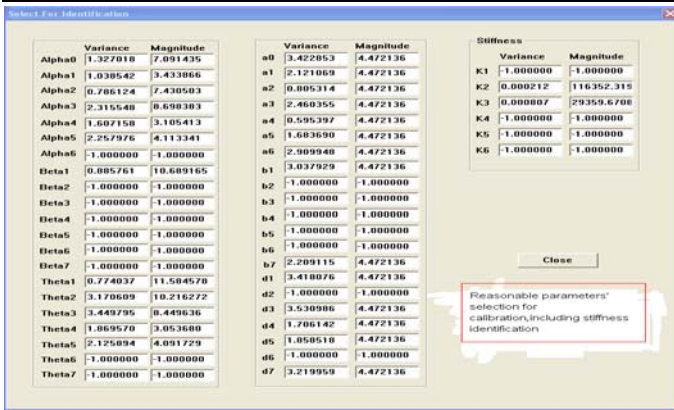


Fig. 2 Dependency Check of Selected Parameters

Table. 1 Real Calibration Results for HS165 robot

Error	No Calibration	Kinematic Cal Only	Stiffness Cal(K2,K3)	Stiffness Cal(K2~K6)
AVR	9.8859	0.3158	0.0829	0.0782
MAX	20.8402	0.6484	0.1372	0.1493

4. 결론

본 연구에서는 로봇의 정밀 작업을 가능하게하는 캘리브레이션 소프트웨어 개발에 대하여 소개하였다. 개발 소프트웨어의 주요 특징은 직렬로봇(Serial Robot) 뿐만 아니라, 폐회로 구조 로봇(Closed-Chain Robot) 모델에 적용할 수 있고, 부하에 따른 로봇 링크 처짐을 보상하는 관절강성인자(Joint Stiffness Parameters) 캘리브레이션이 가능한 소프트웨어이다. 그의 파라미터 선택 기능, 측정 데이터의 입출력, 로봇 파라미터들의 불러오기 및 저장, 캘리브레이션 결과의 평가 및 저장에 있어서 사용자의 편의를 최대한 고려하였다. 그 캘리브레이션 성능은 Table 1. 에 보여진 HS 165 로봇에 대한 실 실험결과로 매우 유효함을 알 수 있다.

참고문헌

1. Z. S. Roth, B. W. Mooring, B. Ravani, "An Overview of Robot Calibration," IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 5, pp. 377-385, 1987.
2. A. Y. Elatta, et al, "An Overview of Robot Calibration," International Technology Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 74 - 78, 2004.

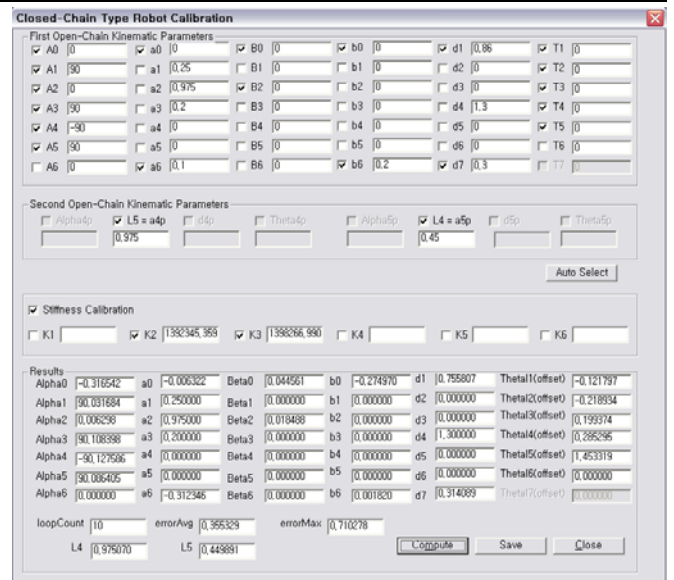


Fig. 3 Display Window for Main Calibration Process

3. S. A. Hayati, "Robot Arm Geometric Link Parameter Estimation," Proc. IEEE Decision and Control conf., pp. 1477 - 1483, 1983.
4. D. Stanton, and J.R.R. Mayer, "Robot Calibration within CIM-Search/I," Robot Calibration Edited by Bernhardt, R. and Albright, S, L, Chaption & Hall, 1993.
5. 장준현, 산업용 로봇의 기하학적 및 비기하학적 오차의 동시 보정, Ph.D Thesis, KAIST, 2000.
6. J. W. Jeong and H. J. Kang, "Autonomous Sensor Center Position Calibration with Linear Laser Vision Sensor," Int. J. of KSPE, Vol. 4, No. 1, pp. 43 -48, 2003.
7. H.J. Kang, J.W. Jeong, "Autonomous Kinematic Calibration of the Robot Manipulator with Linear Laser Vision Sensor," LNAI 4682, pp. 1102 -1109, 2007..
8. 강희준, 신성원, 노영식, 서영수, 임현규, 김동혁., "위치 정밀도 향상을 위한 관절강성 파라미터 포함 로봇 캘리브레이션," 제어로봇시스템학회 논문지 14 권, 4 호, pp. 406-410, 2008.
9. S.W. Shin, H.J. Kang, H.K. Lim, D.H. Kim, S.R. Kim, "Robot Calibration and Modified Command Generation for the Off-Line Programming," Int. Conf. of Mechatronics Technology, pp.386-390, 2007.

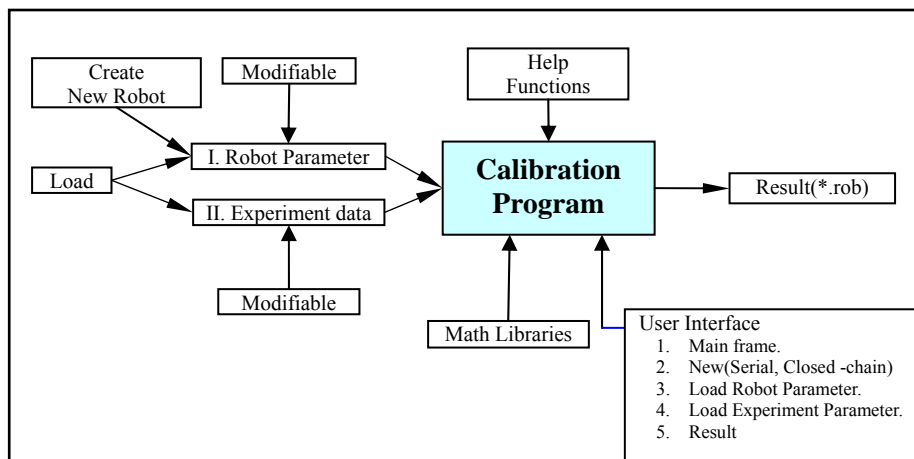


Fig. 4 Calibration software structure