

위치 정밀도 향상을 위한 관절강성 파라미터 포함 로봇 캘리브레이션

Robot Calibration with Joint Stiffness Parameters for the Enhanced Positioning Accuracy

강 희 준*, 신 성 원, 노 영 식, 서 영 수, 임 현 규, 김 동 혁

(Hee-Jun Kang, Sung-Won Shin, Young-Shick Ro, Young-Soo Suh, Hyun-Kyu Lim, and Dong-Hyeok Kim)

Abstract : This paper presents a new robot calibration algorithm with joint stiffness parameters for the enhanced positioning accuracy of industrial robot manipulators. This work is towards on-going development of an industrial robot calibration software which is able to identify both the kinematic and non-kinematic robot parameters. In this paper, the conventional kinematic calibration and its important considerations are briefly described first. Then, a new robot calibration algorithm which simultaneously identifies both the kinematic and joint stiffness parameters is presented and explained through a computer simulation with a 2 DOF manipulator. Finally, the developed algorithm is implemented to Hyundai HX165 robot and its resulting improvement of the positioning accuracy is addressed.

Keywords : positioning accuracy, kinematic calibration, non-kinematic calibration, joint stiffness parameter

I. 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. 따라서, 로봇의 기계적 구조물의 변화 없이 로봇의 위치정밀도를 소프트웨어적으로 향상시키는 로봇 캘리브레이션에 대한 관심이 국내외적으로 증대되고 있다. 로봇 캘리브레이션은 일반적으로 사용 모델에 따라 로봇 링크 파라미터에 근거한 기구학적(kinematic) 캘리브레이션과 관절강성, 링크 강성, 조립공차, 백래쉬(backlash), 커플링 오차, 마찰력 등의 비기구학적 파라미터(non-kinematic parameters)를 포함하는 캘리브레이션으로 나누어 고려될 수 있다. 기구학적 캘리브레이션 방법은 측정 도구에 따라 또는 구속 조건에 따라 다양한 방법이 많은 연구자에 의해 연구되어 왔다[1-9]. 하지만, 비기구학적 파라미터에 대한 로봇 캘리브레이션 연구 결과는 상대적으로 빈약한 편이다. 전반적인 캘리브레이션 개요를 언급하는 소개 논문에서 비기구학적 파라미터의 캘리브레이션 필요성 또는 비기구학적 파라미터의 전체 로봇 위치 오차에 대한 영향 등을 기술하는 정도로 구체적인 알고리즘 제시가 미비하였다[1-3]. 국내에서도 비기구학적 오차에 대한 연구가 진행되었으나 부하에 따른 비틀림을 나타내는 기구학적 파라미터를 추가하여 모델을 만들었으므로 중력에 의한 부하의 영향은 고려되었으나, 결국 각 관절에

새로운 링크 파라미터를 포함시키는 기구학적 캘리브레이션 범주에 해당된다고 판단된다[10]. 본 연구에서는 상기된 비기구학적 파라미터 중에서 비교적 로봇 위치정밀도에 영향이 크다고 판단되는 로봇 말단부 부하(load)와 로봇 자중에 따른 관절축 처짐(joint deflection)을 관절강성 파라미터로 모델하고, 그 관절강성 파라미터를 포함하는 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 제시하여 로봇의 위치정밀도를 향상시키고자 한다.

본 논문의 연구내용으로 2절에서는 기구학적 캘리브레이션 알고리즘 및 그 중요 고려사항을 설명하였고, 3절에서는 부하 및 축처짐 현상을 관절강성파라미터로 모델하고, 그것을 포함하는 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 제시하였다. 2절에서는 제안된 알고리즘의 유효성을 보이기 위하여 2 DOF 로봇에 대한 컴퓨터모의실험을 수행하였고, 3절에서는 제안된 알고리즘의 실효성을 입증하기 위하여, 현대 HX200 로봇에 대하여 실 적용하였다.

II. 기구학적 캘리브레이션

본 절에서는 로봇 기구학적 캘리브레이션 알고리즘을 간략하게 설명하고, 그 알고리즘을 대상 로봇에 적용하는데 필요한 중요 고려사항을 설명하고자 한다.

로봇 말단의 특정점을 LEICA, FARO, COMPUGAGE, DYNACAL 등과 같은 3차원 정밀측정기를 이용한 측정값을 로봇의 실제 위치값으로 고려하고, 로봇 순기구학(forward kinematics)으로 계산된 값과의 차이를 로봇의 위치오차로 나타내고, 그것은 (1)로 표현된다.

$$\Delta X = X_m - X_c \quad (1)$$

여기서, X_m , X_c 는 각각 측정값과 계산값을 나타낸다.

로봇 순기구학에 관련된 링크 파라미터는 twist angle(α), link length(a), link offset(d), joint angle(θ)로 구성된 DH 파라미터 표현법을 사용하였고, (1)의 위치오차(ΔX)는 구성 파라미터의 부정확한 지식에서 기인되는 것으로 판단하여, 그 함수의 1

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 11. 9., 채택확정 : 2008. 1. 18.

강희준, 신성원, 노영식, 서영수 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부
(hjkang@ulsan.ac.kr/blue9581@nate.com/ysro@ulsan.ac.kr/yssuh@ulsan.ac.kr)
임현규, 김동혁 : 현대중공업 기술개발본부 기계전기연구소
(hklim@hhi.co.kr/kdh1001@hhi.co.kr)

※ 본 연구는 2006 울산대학교 교내 연구비, 산업자원부 지정 울산대 RIC(NARC), 교육인적자원부울산대BK21대학원(EVERDEC) 및 현대중공업 지원에 의한 것이며, 지원에 감사 드립니다.

차 근사식으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\Delta X &= \frac{\partial}{\partial \Phi} f(\phi) \\ &= \frac{\partial f}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial f}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial f}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial f}{\partial \theta} \Delta \theta\end{aligned}\quad (2)$$

상기식을 간단히 표시하면

$$\Delta X = J_{\phi} \Delta \phi \quad (3)$$

여기에서, 관련 파라미터의 자코비안(jacobian)은 각각 J_{α} , J_a , J_d , J_{θ} 등으로 표현되고, 그것들의 확장 매트릭스는 $J_{\phi} = [J_{\alpha} J_a J_d J_{\theta}]$ 의 형태로 정의된다. 또한 관절각 θ 는 (4)와 같이 인코더 측정값과 측정오차 및 비기구학적 오차 등을 나타내는 오프셋 값으로 나누어 고려하고, 따라서 (2)의 $\Delta \theta$ 는 θ_{offset} 의 변화량(variation)으로 고려한다.

$$\theta = \theta_{em} + \theta_{offset} \quad (4)$$

추정하여야 할 파라미터 갯수의 3 배수 정도의 방정식이 만들어지도록 로봇의 여러 자세에 대한 측정을 하여 (3)를 구성하고, (3)의 해는 반복최소자승법(iterative linear least square method)을 적용하여 구한다. 그 과정을 요약하면 다음과 같다.

주어진 공칭값 ϕ_0 에서

- 1) 파라미터 ϕ 에 대한 X_c 와 J_{ϕ} 를 계산함.
- 2) $\Delta \phi = (J_{\phi}^T J_{\phi} + \lambda I)^{-1} J_{\phi}^T \Delta X$
- 3) $\phi_{i+1} = \phi_i + \Delta \phi$
- 4) $\Delta \phi \leq \varepsilon$ 이면 수렴값 취함
- 5) $\Delta \phi > \varepsilon$ 이면 1)로 되돌아 감

다음은 상기된 기구학적 캘리브레이션 알고리즘의 실 적용 시 종종 발생하는 문제점들을 다음과 같이 정리였다.

- 1) 두 축이 nearly parallel인 경우 링크 오프셋 파라미터가 알고리즘에 민감하여 값의 변화가 심하게 된다. 이 경우 Hayati[4]에 의해서 제안된 β 파라미터를 포함하는 수정 DH 파라미터를 사용하였다.
- 2) 상기 최소자승해에 표시된 singularity robust inverse 안에 있는 λ 값은 수렴과정에서 발생할 수 있는 알고리즘 transient singularity 현상을 방지하기 위하여 기존의 연구[11]를 참조하여 선택하였다.
- 3) 두 축이 평행 축일 때 연속된 링크 오프셋 파라미터는 선형 dependency가 발생하므로 두개 중 하나만 선택하여야 한다[8].
- 4) 로봇의 마지막 좌표계 파라미터와 로봇의 Tool 파라미터(일반적으로 x, y, z 값) 사이에는 선형 dependency가 존재하므로 그 중에 하나를 선택적으로 제거하여야 한다[8].
- 5) 로봇 파라미터의 dependency 문제와 특정 파라미터가 해에 미치는 영향을 고려하여 선택하여야 한다. 특히, 자코비안(J_{ϕ})의 SVD(Singular Value Decomposition)의 singular value를 활용하여 적절한 파라미터를 선정하였다[6].

상기된 고려 사항은 5절에서 현대 HX200 로봇에 대한 기

구학적 캘리브레이션 적용되어 적절한 캘리브레이션 파라미터를 선정하였다.

III. 강성 파라미터 포함 로봇 캘리브레이션 알고리즘

본 절에서는 로봇 말단부 부하(load)와 로봇 자중에 따른 관절축 처짐(joint deflection)으로부터 발생하는 로봇의 위치오차를 줄이기 위하여, 관절축의 강성(stiffness) 모델을 표현하고, 그 모델식을 기구학적 캘리브레이션 모델과 통합된 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 제시한다.

로봇 자중도 외부 부하를 포함하는 외력 F와 로봇 관절력 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\tau = J^T F \quad (5)$$

관절력과 관절 강성파라미터 K의 관계는 다음과 같다.

$$\tau = K \Delta \theta_{stiff} \quad (6)$$

따라서, 외력에 의한 관절각 변화량은 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta \theta_{stiff} = K^{-1} \tau = C \tau \quad (7)$$

여기에서 C는 관절 컴플라이언스를 나타낸다.

기구학적 캘리브레이션에서 모든 비기구학적 요인에 의한 오차를 $\Delta \theta_{offset}$ 으로 처리한 데 비하여, 관절강성 모델을 사용함으로써 관절각의 전체오차는 관절각 부하에 의한 처짐에 따른 오차($\Delta \theta_{stiff}$)와 다른 비기구학적 요인들에 의한 오차($\Delta \theta_{offset}$)로 나누어진다. 따라서, (3)에 표현된 로봇의 위치오차는 기존의 기구학적 모델에 따른 오차량과 강성 모델에 의한 오차량의 합으로 표현될 수 있다. 따라서 스티프니스(또는 컴플라이언스) 파라미터가 포함된 통합 로봇 캘리브레이션 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\Delta X &= J_{\phi} \Delta \phi + J_{\theta} \Delta \theta_{stiff} \\ &= J_{\phi} \Delta \phi + J_{\theta} C \tau \\ &= \begin{bmatrix} J_{\phi} & J_{\theta} [C] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \phi \\ C \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (8)$$

$$= J_{\phi} \Delta \Phi \quad \text{where } \Delta \Phi = [\Delta \phi \quad C] \quad (9)$$

$$\theta = \theta_{em} + \theta_{offset} + \Delta \theta_{stiff}$$

(8)은 앞에서 언급한 최소자승법을 적용함으로써, 링크 파라미터와 컴플라이언스 파라미터를 구하고, (6)과 (9)를 이용하여 $\Delta \theta_{stiff}$ 및 로봇 관절 위치를 각각 구할 수 있다. 본 절에서 관절 컴플라이언스에 대한 처짐은 관절축 방향(z-direction)에 대해서만 설명하였지만, 관절축 수직 방향(x, y-direction)으로도 같은 방법으로 적용하여 처짐을 구할 수 있다.

IV. 모의 실험

본 절에서는 제시한 강성 파라미터 포함 로봇 캘리브레이션 알고리즘의 유효성을 입증하기 위하여 간단한 2링크 로봇에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 기구학적 링크 파라미터에 임의의 오차 및 강성을 가정하여 캘리브레이션을 수행하였을 때, 정확한 링크 파라미터와 강성 파라미터 값을

찾아내는 것이 그 목적이다.

그림 1에 보여진 2 DOF 로봇의 알려진 공칭 링크 파라미터 상수는 표 1에 제시하였고, 그 중 링크 오프셋 d_1 과 d_2 는 서로 dependent 관계이므로, d_1 만을 선택하였다. 표 2에는 이 로봇의 실제 링크 파라미터를 제시하였다.

각 관절의 컴플라이언스를 다소 유연한 각각 0.5×10^{-5}

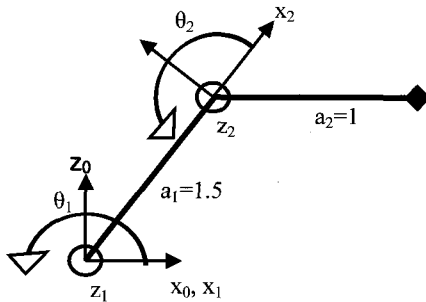


그림 1. 2관절 예시 매니퓰레이터.

Fig. 1. A two-link manipulator.

표 1. 공칭 로봇 기구학적 파라미터.

Table 1. Nominal kinematic parameters.

i	α_{i-1}	a	d	$\theta_i(\text{offset})$
1	90	0	0	0
2	0	1.5	X	0
3(Tool)	X	1	X	X

where, length : meter/ angle : degree/ X : non-calibration

표 2. 실제 로봇 기구학적 파라미터.

Table 2. Real kinematic parameters.

i	α_{i-1}	a	d	$\theta_i(\text{offset})$
1	90.1	0	0.05	0.1
2	0.1	1.55	X	0.1
3(Tool)	X	1.05	X	X

where, length : meter/ angle : degree/ X : non-calibration

표 3. 기구학적 파라미터 캘리브레이션 만의 모의실험결과.

Table 3. Simulation result of kinematic calibration only.

i	α_{i-1}	a	d	$\theta_i(\text{offset})$
1	90.1166	0.0002	0.0496	0.1287
2	0.1043	1.5500	X	0.1051
3(Tool)	X	1.0500	X	X

where, length : meter/ angle : degree/ X : non-calibration

표 4. 스티프니스 파라미터를 포함하는 모의실험 결과.

Table 4. Simulation result of robot calibration with stiffness parameter.

i	α_{i-1}	a	d	$\theta_i(\text{offset})$
1	90.1000	-0.0000	0.0500	0.0999
2	0.1000	1.5500	X	0.1001
3(Tool)	X	1.0500	X	X

where, length : meter/ angle : degree/ X : non-calibration

rad/N-m로 가정하고, (5)를 이용한 치짐 수렴 알고리즘을 적용하여 10개의 로봇 자세에 대한 실제위치(X_m)를 계산한 후 기구학적 캘리브레이션 알고리즘을 적용한 결과는 다음의 표 3과 같다.

기구학적 캘리브레이션 알고리즘의 적용 결과는 실제 파라미터와 다소 차이가 있는 부정확한 파라미터가 계산되었으며, 순기구학을 통해 각 자세의 평균오차와 최대오차를 계산해보면 평균오차는 3.5746mm이고, 최대오차는 6.3808mm였다.

다음으로 강성 파라미터 포함 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 적용한 결과는 표 4와 같다. 그 결과로, 실제 기구학적 링크 파라미터를 거의 구할 수 있었으며 추정된 컴플라이언스는 각각 0.5005×10^{-5} , 0.5002×10^{-5} rad/N-m로 가정된 0.5×10^{-5} rad/N-m에 거의 완벽하게 일치하였다. 순기구학을 통해 계산된 각 자세의 오차는 평균오차가 0.45×10^{-2} mm이고, 최대오차가 0.90×10^{-2} mm이었다.

모의실험 결과, 로봇 위치 오차에 대한 원인인 링크 파라미터 및 부하에 따른 관절각 오차의 원인이 되는 컴플라이언스 파라미터를 완벽하게 추정하는 결과 보여, 제시된 알고리즘의 효용성을 검증할 수 있었다.

V. 현대 HX200 로봇 실 적용 실험

전 절의 모의 실험에서는 로봇의 위치오차를 링크 파라미터 부정확성에 기인한 오차와 컴플라이언스 파라미터에 대한 관절축 치짐 오차의 합으로 고려하였을 때 제시 알고리즘은 완벽하게 동작하였다. 하지만, 로봇의 위치오차는 다양한 비기구학적 오차 원인을 가지고 있다. 따라서, 본 절에서는 그림 2에 보여진 현대 HX200 로봇을 대상으로 제시 알고리즘의 유효성을 검증하고자 한다. 대상로봇의 링크 파라미터 상수는 표 5에 제시된다. 로봇의 말단 툴의 특정 위치를 30개 자세에 대하여 FARO 3차원 위치측정기를 사용하여 측정하였다. 30개 자세 중 임의로 20개를 추출하여 캘리브레이션을 수행하고, 나머지 10개를 이용하여 일반적인 로봇 위치에서도 캘리브레이션 결과의 유효성을 입증하고자 하다.

캘리브레이션이 수행되어야 할 링크 파라미터의 선정은 2절에서 제시된 고려 사항에 따라 다음과 같이 선택하였다. 센서 좌표계와 링크 1 좌표계 관계를 고려해야 하므로, 일반

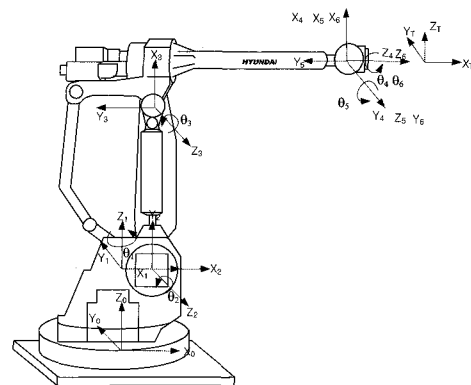


그림 2. HX200 로봇 및 관련 좌표계.

Fig. 2. HX200 robot.

표 5. HX200 로봇의 기구학적 파라미터.

Table 5. Kinematic parameters of HX 200 robot.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0.86	θ_1
2	90°	0.25	0	$\theta_2 + 90^\circ$
3	0	0.975	0	θ_3
4	90°	0.2	1.3	θ_4
5	-90°	0	0	θ_5
6	90°	0	0	θ_6

where length : meter/ angle : degree

표 6. 추정하고자 선택된 기구학적 파라미터.

Table 6. Selected kinematic parameters.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	β_{i-1}	b_{i-1}	d_i	$\theta_{i,off}$
1	α_0	a_0	β_0	b_0	d_1	θ_1
2	α_1	a_1	×	×	$d_2(\times)$	θ_2
3	α_2	a_2	β_2	×	d_3	θ_3
4	α_3	a_3	×	×	d_4	θ_4
5	α_4	a_4	×	×	d_5	θ_5
6	α_5	a_5	×	×	$d_6(\times)$	$\theta_6(\times)$
T	×	T_x	×	T_y	T_z	×

where × : non-selected / (×) : dependency parameter

표 7. 기구학적 캘리브레이션 만 적용 시 실험 결과.

Table 7. Experimental result of kinematic calibration only.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	β_{i-1}	b_{i-1}	d_i	$\theta_{i,off}$
1	0.193	1.709	-0.374	0.009	0.921	88.277
2	90.008	0.250	0	0	0	-0.842
3	0.034	0.976	-0.034	0	-0.000	0.072
4	89.957	0.201	0	0	1.301	-0.676
5	-89.973	-0.000	0	0	-0.005	-1.321
6	89.600	0.018	0	0	0	0
T	0	0.000	0	-0.000	0.666	0

where length : meter/ angle : degree

적인 3개 병진 파라미터와 3개 회전 파라미터를 적용하였다. 또한, 2축과 3축 사이 nearly parallel인 경우이므로 β 파라미터를 적용하였고, 툴 파라미터 (T_x , T_y , T_z)와 마지막 링크 파라미터의 dependency 관계도 고려하여, 최종적으로 선택된 기구학적 파라미터는 표 6에 제시하였다.

캘리브레이션을 행하지 않은 공칭 파라미터에 근거한 의한 위치오차를 계산해보면, 평균오차는 16.8981mm이고 최대 오차는 23.7478mm이다. 향 후 제시할 캘리브레이션 결과와 비교 시 너무 큰 오차이므로 자세에 따른 오차의 분포는 제시하지 않았다.

측정한 데이터 중 임의로 20개를 선정하여 기구학적 캘리브레이션 만을 적용한 결과 추정된 파라미터는 표 7에 제시

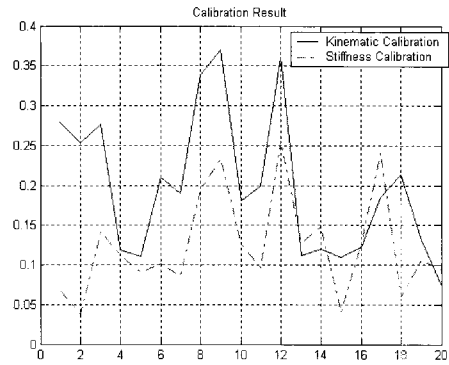


그림 3. 제시된 두가지 경우의 로봇 위치오차.

Fig. 3. Robot positioning errors in both cases.

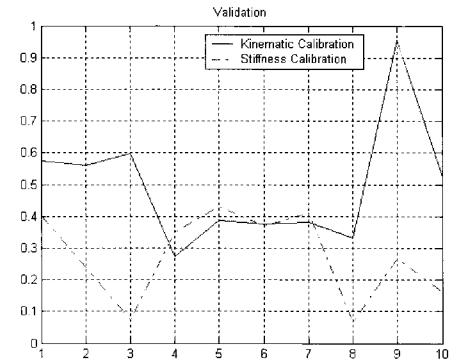


그림 4. 타당성 검토를 위한 임의위치에 대한 로봇 위치오차.

Fig. 4. Robot positioning errors with validation data in both cases.

캘리브레이션에 사용되지 않은 임의의 위치에서도 제시된 캘리브레이션 알고리즘의 유용성을 입증하기 위하여 나머지 10개 위치데이터를 이용하여 각 로봇 자세에 대한 위치오차를 계산하여 그림 4에 제시하였다. 이 경우, 기구학적 캘리브레이션의 위치오차는 평균오차 0.4962mm, 최대오차 0.9552mm이며, 강성 파라미터 포함 로봇 캘리브레이션의 위치오차는 평균오차는 0.2773mm, 최대오차 0.4305mm이다.

VI. 결론

본 연구에서는 비기구학적 파라미터 중에서 비교적 로봇 위치정밀도에 영향이 크다고 판단되는 로봇 말단부 부하 (load)와 로봇 자중에 따른 관절축 처짐(joint deflection)을 관절 강성 파라미터로 모델하고, 그 관절강성 파라미터를 포함하는 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 제시하였다. 그리고 2 DOF 로봇 모델에 대하여 컴퓨터 모의 실험 및 현대 HX200 로봇에 일반적인 기구학적 캘리브레이션 알고리즘과 제시 알고리즘을 실 적용하여 그 성능을 비교함으로써, 제시 알고리즘의 유용성을 입증하였다. 개발된 알고리즘은 향후 로봇 offline programming 환경에서 반드시 필요한 수정명령발생 (modified command generation) 소프트웨어 개발에 사용될 예정이다.

참고문헌

[1] Z. S. Roth, B. W. Mooring, and B. Ravani, "An overview of robot calibration," *IEEE J. of Robotics and Automation*, vol.

RA-3, no. 5, pp. 377-385, 1987.

[2] J. Ziegert and P. Datsoris, "Basic consideration for robot calibration," *International J. of Robotics and Automation*, vol. 4, no. 3, pp. 158-166, 1989.

[3] A. Y. Elatta, et al, "An overview of robot calibration," *International Technology Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 74-78, 2004.

[4] S. A. Hayati, "Robot arm geometric link parameter estimation," *Proc. IEEE Decision and Control conf.*, pp. 1477-1483, 1983.

[5] J. J. Hollerbach, "A review of kinematic calibration," In the *Robotics Review*, MIT Press, pp. 207-242, 1989.

[6] 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.

[7] C. H. Wa, H. Ho, and K. Y. Young, "Design of robot accuracy

compensator after calibration," *Proc. IEEE Robotics and Automation Conf.* pp. 780-785, 1988.

[8] 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.

[9] H. J. Kang and J. W. Jeong, "Autonomous kinematic calibration of the robot manipulator with linear laser vision sensor," *LNAI* 4682, pp. 1102-1109, 2007.

[10] 장준현, 산업용 로봇의 기하학적 및 비기하학적 오차의 동시 보정, Ph.D. Thesis, KAIST, 2000.

[11] L. Kelmar and P. K. Khosla, "Automatic generation of kinematics for a reconf, modular manipulator system," *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 663-668, 1988.



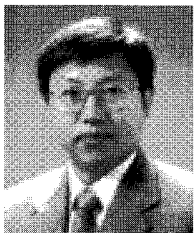
강희준

1961년 10월 1일생. 1985년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1991년 Texas Austin 대학(공학박사). 1992년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수. 관심분야는 로봇 캘리브레이션, 로봇 햅틱스, 로봇 제어 및 응용.



신성원

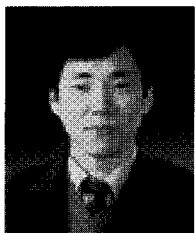
1980년 1월 18일생. 2006년 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 졸업. 2008년 동 대학원(공학석사). 관심분야는 로봇 캘리브레이션, LabView 제어 응용, DSP 프로세서 응용.



노영식

1959년 1월 1일생. 1981년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원(공학박사). 1987년~1991년 삼성전자생산기술연구소 선임연구원. 1991년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수. 관심분야는 로봇틱스, 머신비전, 모바일

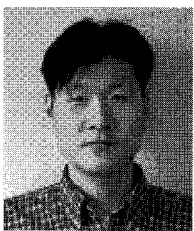
로봇 및 물류자동화.



서영수

1967년 10월 6일생. 1990년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1992년 서울대학교 제어계측공학과(석사). 1997년 동경대학교(공학박사). 2000년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수. 관심분야는 네트워크 기반 제어시스템

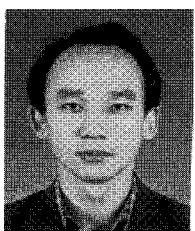
설계, 관성센서를 이용한 자세 추정 및 제어.



임현규

1975년 8월 13일생. 1998년 고려대학교 기계공학과 졸업. 2000년 동 대학원(공학석사). 2007년 Michigan State University (방문연구원). 2000년~현재 현대중공업(주)기계전기연구소 로봇틱스 연구실 선임연구원. 관심분야는 산업용 로봇 제

어, 로봇 캘리브레이션.



김동희

1966년 10월 1일생. 1989년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원(공학석사). 1991년~현재 현대중공업(주)기계전기연구소 로봇틱스연구실 책임연구원. 관심분야는 산업용 로봇의 제어 및 응용.