

적분슬라이딩모드와 DOB를 이용한 강인추종 및 인간순응 로봇제어

아브너 어시그네시온 · 김민찬 · 곽균평* · 박승규

Robust Tracking and Human-Compliance Control Using Integral SMC and DOB

Abner Asignacion Jr. · Min-chan Kim · Gun-Pyong Kwak* · Seung-kyu Park

Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Changwon 51140, Korea

요 약

인간과 로봇이 같은 공간에서 작업을 할 경우가 많아짐에 따라 안전성을 고려한 로봇의 제어가 필요하다. 안정성을 위해서 로봇은 인간의 힘에 순응해야 함으로 낮은 임피던스가 요구되는 반면에 높은 제어성능을 갖도록 하기 위해서는 외란에 강인하기 위해서는 높은 임피던스가 요구된다. 이러한 이율배반적인 목적을 달성하기 위해서 본 연구에서는 적분슬라이딩모드와 외란관측기(DOB)를 사용하여 인간의 힘 이외의 외란에는 강인한 특성을 보이고 인간의 힘에는 순응할 수 있는 제어를 설계한다. 인간의 동작이 특정 주파수의 범위에 있다는 사실에 근거하여 인간에 의한 외란인 경우의 외란에 대해서는 로봇이 순응하도록 슬라이딩모드를 설계하는 것이 본 논문의 독창적인 아이디어이다.

ABSTRACT

The robot control with safety consideration is required since robots and human work together in the same space more frequently in these days. For safety, robots must have compliance to human force and robust tracking performance with high impedance for the nonhuman disturbances. The novel idea is proposed to achieve the compliance and high impedance with one controller structure. For the compliance, the ISMC(Integral Sliding Mode Control) and HDOB(Human Disturbance Observer) The human force is identified by using the human band pass filter and its output is sent to the sliding surface. The sliding mode dynamic is affected by human disturbance and the compliance for human is achieved. The disturbances besides human frequencies are decoupled by the ISMC and the robust tracking is achieved. The additional LDOB(Low Frequency Disturbance Observer) decreases the maxim nonlinear gain and leads low chattering. The introduction of human disturbance into the sliding mode dynamic is the main novel idea of this paper.

키워드 : 적분슬라이딩모드, 외란관측기, 컴플라이언스, 강인로봇제어, 인간순응제어

Key word : Integral Sliding Mode, Disturbance Observer, Compliance, Robust Robot Control, Human-Compliance Control

Received 29 November 2016, Revised 01 December 2016, Accepted 19 December 2016

* Corresponding Author Gun-Pyong Kwak(E-mail:kwak@changwon.ac.kr, Tel:+82-55-213-3637)

Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Changwon 51140, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.2.416>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

로봇산업이 발달하면서 로봇은 산업현장에서 뿐만 아니라 생활 속에 공존하는 존재로 자리매김을 하게 되었다[1-3]. 로봇은 상황에 따라서 저임피던스와 고임피던스를 갖도록 해야한다[4-6]. 즉 인간과의 접촉이 없는 경우에는 고임피던스를 가져야 하고 로봇과 인간이 접촉하게 되는 경우에는 안전성을 고려해서 저임피던스의 순응성을 가질 수 있도록 두가지 상반된 기능을 동시에 만족시켜야 한다[7-10]. 참고[7]에서는 주파수에 따라 고임피던스와 저임피던스를 다르게 갖도록 하는 DOB를 설계하여 사용함으로써 이 문제를 해결하였다. DOB의 기존의 성능은 외란의 제거에만 초점이 맞추어져 있었으나[11-13], 이 방법은 입력 DOB를 통한 강인성문제와 안전성을 고려한 제어를 설계한 것이다. 같은 외란관측기의 구조를 가지고 강인성과 안전성 문제를 동시에 다룰 수 있다는 의미를 가지고 있다. 인간의 힘에 순응하는데 있어서 안전성 여부만을 고려할 수 있을 뿐이고 정확한 컴플라이언스를 보장해 주지는 못한다.

본 논문에서 제안하는 방법은 인간에 의한 외란 이외의 외란에는 강인한 특성을 보이고 인간동작에는 정확하게 순응할 수 있는 제어를 설계하고자 한다. 인간의 동작의 구분은 주파수에 따라 구분이 되도록 필터를 설계하고 필터의 출력이 ISMC의 슬라이딩모드에 반영되도록 함으로써 인간의 임피던스에 로봇이 순응하도록 설계를 하였다. 또한 제어성과 안정성을 동시에 고려할 수 있는 제어를 제안한다.

외란과 불확실성을 고려한 임피던스제어를 설계하는데 있어서 적분슬라이딩모드제어를 설계를 한다. 통상적인 슬라이딩 평면에는 외란이 개입할 수 없도록 설계가 된다. 그러나 본 연구에서는 슬라이딩평면에 인간에 의한 외란이 반영될 수 있도록 설계를 함으로써 인간에 대한 로봇의 순응기능이 도입되도록 하였다.

슬라이딩모드제어기는 Slotine에 의해 제안된 이후 그것을 이용한 수많은 연구들이 제안되었다[14-18]. 그 중에 ISMC(적분슬라이딩모드제어기)는 슬라이딩평면에 공칭상태의 동특성을 갖도록 함과 동시에 도달기간(reaching phase)을 없앨 수 있는 제어기로서 본 연구에서는 공칭제어기를 임피던스제어기로 선택함으로써 강

인한 임피던스제어기가 구성되도록 하였다.

임피던스제어기는 로봇과 외부환경과 원하는 동특성관계를 갖도록 하는 제어기로 본 연구에서는 PD형태의 임피던스제어기를 사용한다. 기존의 연구와는 달리 사람의 힘에 의한 로봇의 컴플라이언스가 정확한 동특성으로 정해질 수 있다는 것이 특별한 점이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 본 논문에서 해결하고자 하는 문제에 대해서 기술한다. 3장에서는 본 논문의 아이디어의 기본이 되는 ISMC와 DOB에 대해서 기술과 제안된 방법에 대해서 설명하고 4장에서는 시뮬레이션에 대해서 기술하며 5장에서는 결론에 대해서 기술한다.

II. 문제 설정

다음과 같은 동특성을 갖는 로봇 매니퓰레이터를 고려하기로 한다.

$$A(q)\ddot{q} + b(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau + \tau_{env} \quad (1)$$

여기서 q 는 로봇의 관절변수, $A(q)$ 는 관성행렬, $b(q, \dot{q})\dot{q}$ 은 원심력과 코리올리시항, $g(q)$ 는 중력항, τ 와 τ_{env} 는 각각 입력토크와 외부환경에 의한 토크이다.

τ_{env} 는 인간에 의한 토크와 그 이외의 외란토크로 나누어 생각할 수 있다. 본 논문에서는 센서를 사용하지 않고 DOB를 사용하여 τ_{env} 를 추정하며 주파수에 따라서 인간에 의한 토크를 구별한다[7].

인간과의 협력 작업에서의 안정성과 강인한 제어성능을 동시에 만족시키기 위해서는 강인한 제어기와 순응성능을 동시에 갖추는 제어기의 설계가 필요하며 본 연구에서는 ISMC를 사용하여 상반된 두 가지 제어목적 달성을 할 수 있는 제어를 설계한다.

기준위치에 대한 원하는 추종성능은 다음과 같은 오차방정식으로 표현된다.

$$\ddot{e} + B\dot{e} + Ke = 0 \quad (2)$$

여기서 $e = q - q_d$, q 는 로봇의 관절변수, q_d 는 원하는 로봇의 관절변수 값, B, K 는 댐핑계수와 스프링상

수로서 원하는 임피던스를 결정한다.

위의 추종성능과 함께 제어가 가져야할 인간에 대한 순응성능은 다음과 같은 식(3)과 같도록 한다.

$$\ddot{e} + B\dot{e} + Ke = c\tau_h \quad (3)$$

여기서 c 는 순응정도를 결정하는 파라미터이다.

외란과 인간의 힘을 구분해서 하나의 제어로 동특성에 함께 반영할 수 있도록 하기 위해서 본 논문에서는 외란에 영향을 받지 않는 슬라이딩모드의 동특성을 이용한다.

III. 강인한 추종제어기 및 순응제어기

3.1. 강인한 임피던스 ISMC

식(1)에서 τ_{env} 는 다음과 같이 두 개의 성분으로 구성되어 있다고 하였다.

$$\tau_{env} = \tau_d + \tau_h \quad (4)$$

여기서 τ_h 는 인간으로부터의 토크이고 τ_d 는 그 이외의 외란이다. 미지의 τ_d 는 다음과 같이 크기가 제한되어 있다고 가정한다.

$$|\tau_d| < \tau_{max} \quad (5)$$

여기서 τ_{max} 의 외란크기의 상한값이다.

본 논문에서는 ISMC를 사용하여 강인추종 성능을 갖도록 한다.

기준입력에 대한 원하는 임피던스를 갖는 추종오차 특성을 갖도록 하기 위하여 토크입력을 다음과 같이 결정한다.

$$\tau = A(q)(-B\dot{e} - Ke + u_n) + b(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) \quad (6)$$

여기서 u_n 은 ISMC 제어입력으로 다음에서 결정된다.

위의 입력을 인가하면 다음과 같은 오차방정식을 얻을 수 있다.

$$\ddot{e} + B\dot{e} + Ke = u_n + \tau_{env} \quad (7)$$

위의 동특성을 상태방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\dot{e}_a = A_a e_a + B_a(u_n + \tau_{env}) \quad (8)$$

여기서 $e_a = \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix}$, $A_a = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ KB & \end{bmatrix}$ 이고 $B_a = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ 이다.

외란이 존재하는 경우에도 식(2)의 추종성능을 갖도록 하기 위해서 슬라이딩 평면을 다음과 같이 결정한다.

$$s = e_a + z = 0 \quad (9)$$

여기서 $\dot{z} = -A_a e_a$ 이다.

상태들이 슬라이딩 평면에 존재하게 되면 $s = 0$ 과 $\dot{s} = 0$ 이 되며 다음 식을 만족한다.

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \dot{e}_a + \dot{z} \\ &= \dot{e}_a - A_a e_a = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

그러므로 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\dot{e}_a = A_a e_a \quad (11)$$

오차의 상태가 슬라이딩 평면에 머물도록 하면 식(11)과 같은 동특성을 갖게되며 외란의 영향을 받지 않는 강인추종성능을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

상태가 슬라이딩 평면에 도달해서 머물도록 하는 제어입력을 구하는 과정은 다음과 같다.

우선 리아프노프 후보함수를 다음과 같이 정한다.

$$V = \frac{1}{2} s^T s \quad (12)$$

\dot{V} 를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s^T \dot{s} \\ &= s^T (A_a e + B_a(u_n + d) - A_a e) \\ &= s^T B_a(u_n + d) \end{aligned} \quad (13)$$

u_n 을 다음과 같이 결정하면 $\dot{V} < 0$ 을 만족함을 알 수 있다.

$$u_n = - \frac{B_a^T s}{|s^T B_a|} \tau_{max} \quad (14)$$

만약 $\dot{V} < 0$ 이면 V 는 점근적으로 영으로 수렴하게 된다. 결과적으로 s 도 점근적으로 0으로 수렴하게 되어 상태들이 슬라이딩평면에 머무르게 되어 원하는 동특성을 가질 수 있다.

3.2. 강인한 인간순응 제어

인간의 힘에 대해서 강인한 순응제어기를 구성하기 위해서 강인한 추정제어기에 의해 추정된 인간의 힘을 ISMC의 슬라이딩함수에 반영한다. 슬라이딩평면에 사람의 힘을 반영시키도록 구성하면 원하는 컴플라이언스를 얻을 수 있다.

슬라이딩평면식은 식 (9)와 동일하게 결정하나 가상 상태를 다음과 같이 정한다.

$$\dot{z} = -A_a e_a - B_a u_n - c\tau_h \quad (15)$$

여기서 τ_h 는 인간의 힘을 추정하는 HDOB의 출력이며 로봇에 대한 인간의 힘을 추정해 주는 역할을 하고 있다. HDOB의 구성은 다음과 같다.

$$\hat{\tau}_h = Q_{HFB}(s)P^{-1}(s)(\tau + \tau_{env}) - Q_{HFB}(s)\tau \quad (16)$$

여기서 대역통과 Q-필터의 구성은 다음과 같다.

$$Q_{HFB}(s) = \left[\frac{Kw_H s}{(s + w_L)(s + w_H)} \right]^k \quad (17)$$

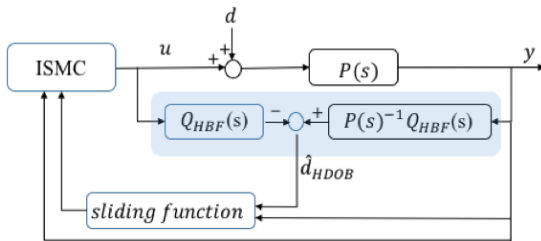


Fig. 1 ISMC System Considering Compliance Control

여기서 w_L 는 저주파 차단주파수, w_H 는 고주파 차단주파수, K 는 대역 이득, k 는 침예도를 높이는 정수이다.

컴플라이언스를 고려한 적분슬라이딩모드 제어시스템의 구조는 그림 1과 같다. 식 (17)의 대역통과필터 Q 의 출력이 슬라이딩 함수에 반영됨을 알 수 있다.

식 (9)의 슬라이딩평면에 있게 되면 다음과 같은 동특성을 갖게 된다.

$$\dot{e}_a = A_a e_a + c\tau_h \quad (18)$$

그러므로 인간의 힘에 대한 순응제어성능을 갖게 된다.

상태가 슬라이딩평면에 머물도록 하는 제어입력은 식(14)와 같다. 슬라이딩평면에 인간의 힘이 작용하도록 함으로써 순응제어의 성능을 구현하도록 한 것이다.

인간 이외의 다른 힘들은 외란으로 처리되며 적분슬라이딩모드 제어기가 그 영향을 없애는 역할을 하고 있다.

본 연구에서는 인간의 힘에 대한 HDOB와 더불어 저주파 DOB를 LDOB(Low Frequency DOB)를 도입한다. 이는 저주파 DOB의 도입으로 저주파 입력외란이 상쇄됨으로써 외란의 최대크기에 의해 결정되는 ISMC의 비선형 이득을 줄일 수 있도록 한 것이다.

전체적으로 볼 때 저주파 외란은 저주파 DOB에 의해서 제거되며 모델링 불확실성과 고주파 외란은 ISMC에 의해서 제거되고 인간은 힘에 의한 외란은 그대로 동특성에 반영되도록 하는 개념이다.

저주파 DOB를 추가하였을 때 전체적인 제어입력은 다음과 같다.

$$u_s = - \frac{B_a^T s}{|s^T B_a|} d_{max} + \hat{d}_{LOW} \quad (19)$$

여기서 \hat{d}_{LOW} 는 저주파 DOB의 출력으로 저주파 외란의 추정값으로 다음과 같다[7].

$$\hat{d}_{LOW} = Q_{LFP}(s)P^{-1}(s)y - Q_{LFP}(s)u \quad (20)$$

여기서 $Q_{LFP}(s)$ 는 저주파 필터이다.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션은 본 논문과 같은 주제를 다룬 참고문헌 [7] 에서와 같은 1축 로봇 매니퓰레이터에 대해서 수행하였다.

$$J\ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) + K\theta(t) = \tau + \tau_{env} \quad (21)$$

대역통과 Q-필터의 주파수특성은 그림 2와 같다. 저주파 차단주파수 $w_L=0.5\text{Hz}$, 고주파 차단주파수 $w_H=5\text{Hz}$, $K=1$ 과 $k=4$ 인 필터로 구성하였다.

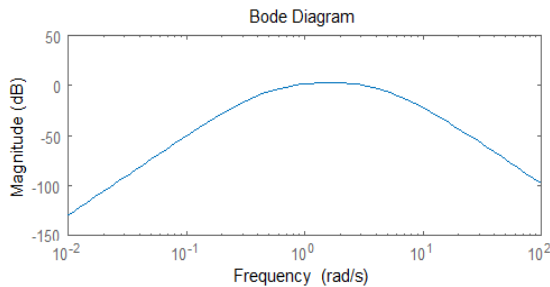


Fig. 2 Magnitude Plot of Bandpass Q Filter Used for HDOB

LFP Q-필터는 그림 3과 같다. 필터의 차수는 3차이고 차단주파수가 1kHz인 저주파필터를 구성하였다.

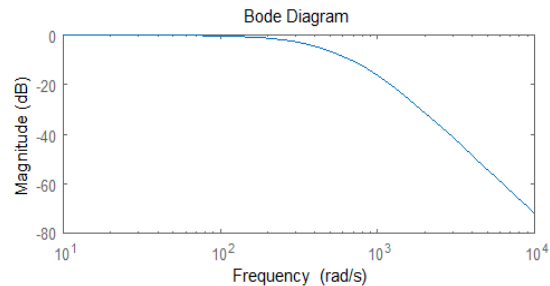


Fig. 3 Magnitude Plot of LFP used for LDOB

인간외의 외란에 대한 추종성능과 인간의 힘에 대한 순응성능을 살펴보기 위해서 여러 주파수에 대한 출력을 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 기존의 ISMC는 외란의 주파수에 상관없이 강인한 추종성능을 보이고 있는 반면에 제안된 제어기에 의한 응답특성은 크기가 5N이고 주파수가 5Hz인

인간의 힘에 대해서는 외란에 순응하는 양상의 응답특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

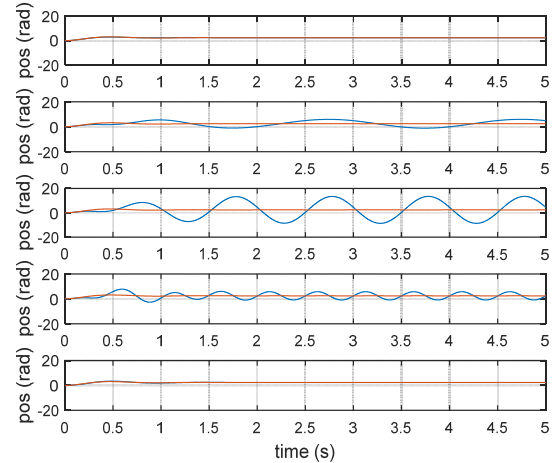


Fig. 4 Output Response Corresponding to Input Disturbance Frequency

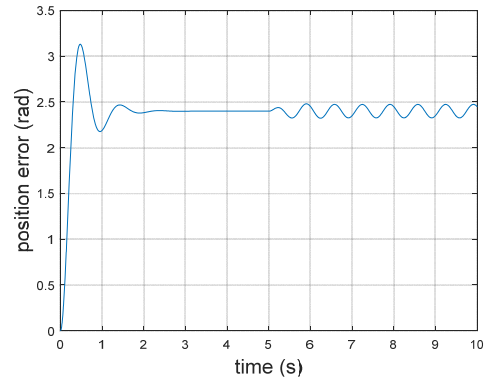


Fig. 5 Robustness and Compliance with Time varying Frequency Disturbance

그림 5는 시간에 따라 주파수가 달라질 때 제안된 제어기에 의한 제어 응답특성을 나타내고 있다. 5초까지는 인간의 힘에 해당하는 주파수 이외의 외란에 대해서는 목표를 추종하는 강인한 제어응답 특성을 보이고 있고 5초 후에는 인간의 힘에 해당하는 주파수의 외란에 대해 순응하는 응답을 보이고 있다.

같은 크기의 외란에 대해서 DOB에 의해서 외란의 제거가 이루어지기 때문에 비선형 이득이 작아짐을 확인할 수 있었으며 그 결과는 표 1과 같다.

Table. 1 Nonlinear Gain Sizes Depending on Application of LDOB

Disturbance DOB	5(N)	10(N)
Without DOB	6	11
With DOB	3	4

V. 결 론

본 논문에서는 하나의 제어기를 사용하여 안정성을 위해 인간의 힘에 로봇이 순응하도록 인간의 힘이 적용되는 경우에는 낮은 임피던스를 갖도록 하고 그 이외에는 높은 제어성능을 가질 수 있도록 외란에 강인한 높은 임피던스를 갖도록 하였다.

적분슬라이딩모드를 이용하여 강인한 임피던스제어기를 구현하였고 인간의 힘의 주파수만을 통과시키는 대역필터의 출력을 슬라이딩함수에 적용시킴으로써 인간의 힘에 대한 순응기능을 추가할 수 있도록 함으로써 상반된 두 기능을 동시에 갖출 수 있도록 하였다. 그리고 저역필터를 사용한 외란관측기를 사용하여 인간의 힘 이외의 외란은 제거될 수 있도록 함으로써 적분슬라이딩모드가 감당해야할 외란의 크기를 줄여줌으로써 비선형입력의 이득을 줄이는 효과를 얻을 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research is financially supported by Changwon National University in 2015~2016.

REFERENCES

- [1] A. Blomdell, G. Bolmsjo, T. Brogarth, P. Cederberg, Isaksson, R. Johansson, M. Haage, K. Nilsson, M. Olsson, T. Olsson, A. Robertsson, and J. Wang, "Extending an industrial robot controller: Implementation and applications of a fast open sensor interface," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 12, no. 3, pp. 85-94, Sep. 2005.
- [2] H. Yu, S. Huang, G. Chen, Y. Pan, and Z. Guo, "Human-Robot Interaction Control of Rehabilitation Robots with Series Elastic Actuators," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 31, no. 5, pp. 1089-1100, Oct. 2015.
- [3] S. Viteckova, P. Kutilek, and M. Jirina, "Wearable lower limb robotics: A review," *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 33, no. 2, pp. 96-105, May 2013.
- [4] A. Calanca, R. Muradore, and P. Fiorini, "A Review of Algorithms for Compliant Control of Stiff and Fixed-Compliance Robots," *IEEE-ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 21, no. 2, pp. 613-624, Apr. 2016.
- [5] N. Hogan, "Impedance Control: An Approach to Manipulation," *Department of Mechanical Engineering and Laboratory of Manufacturing and Productivity Massachusetts Institute of Technology*, 1984.
- [6] J. Garcia, A. Robertsson, J. Ortega, and R. Johnsson, "Sensor Fusion for Compliant robot motion control," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, no. 2, pp. 430-441, Apr. 2008.
- [7] S. Oh, H. Woo, and H. K. Kong, "Frequency-Shaped Impedance Control for Safe Human - Robot Interaction in Reference Tracking Application," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 19, no. 6, pp. 1907-1916, Dec. 2014.
- [8] A. Godfrey, R. Conway, D.Meagher, and G. O Laighin, "Direct measurement of human movement by accelerometry," *Medical Engineering and Physics*, vol. 30, no. 10, pp. 1364-1386, Dec. 2008.
- [9] D. A. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, New York, NY, USA: Wiley, 2009.
- [10] S. G. Khan, and J. Jalani, "Realization of model reference compliance of a humanoid robot arm via integral sliding mode control," *Mechanical Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 1-8, Jan. 2016.
- [11] T. Umeno, and Y. Hori, "Robust speed control of DC servomotors using modern two-degree-of-freedom controller design," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 38, no. 5, pp. 363-368, Oct. 1991.
- [12] W. H. Chen, J. Yang, L. Guo, and S. Li, "Disturbance-Observer-Based Control and Related Methods - An Overview," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 63, no. 2, pp. 1083-1095, Feb. 2016.
- [13] Y. J. Choi, K. J. Yang, W. K. Kyun, H. R. Kim, and I. L. Suh, "On the Robustness and Performance of Disturbance Observers for Second-Order Systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 48, no. 2, pp. 315-320, Feb. 2003.

- [14] R. Silva Viego, and Ashok, R., "Comparative Study of PD Controller (Vs.) Integral Sliding Mode Control on 5-Link 2 DOF Planar," in *Proceeding of IEEE Southeastcon*, pp. 1-6, Apr. 2013.
- [15] D. S. You, "Integral Sliding Mode Control for Robot Manipulators," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 14, no. 12, pp.1266-1269, Dec. 2008.
- [16] V. Utkin, and J Shi, "Integral Sliding Mode in Systems Operating under Uncertainty Conditions," in *Proceeding of the 35th IEEE Conference on Decision and Control*, vol. 4, pp. 4591-4596, 1996.
- [17] R. Naoual, E. M. Mellouli, and I. Boumhidi, "Adaptive fuzzy sliding mode control for the two-link robot," in *Proceeding of the 9th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA-14)*, pp. 1-6, 2014.
- [18] J. Baek, M. Jin, and S. Han, "A new Adaptive Sliding-Mode Control Scheme for Application to Robot Manipulator," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 63, no. 6, pp. 3628-3637, Jun. 2016.



아브너 어시그네시온(Abner Asignacion Jr.)

2014년 Bulacan 대학교 전자공학과 공학사
 2015년 ~ 현재 창원대학교 대학원 메카트로닉스공학부 전기공학전공 석박사통합과정
 ※관심분야 : 강인제어, 로봇제어



김민찬(Min-Chan Kim)

1996년 창원대학교 전기공학과 공학사
 1998년 창원대학교 전기전자제어공학과 공학석사
 2003년 창원대학교 전기공학과 공학박사
 2006년 ~ 2009년 창원대학교 BK21 메카트로닉스-로봇사업단 연구교수
 2009년 ~ 2012년 창원대학교 녹색기술기반 해양플랜트 인재양성센터 전담교수
 2012년 ~ 2015년 경남도립남해대학 전기과 산학협력중점교수
 2016년 ~ 현재 창원대학교 스마트메카트로닉스 창조인력양성사업단 초빙교수
 ※관심분야 : H^∞ 제어, 슬라이딩모드제어, 적응제어, 시스템 모델링



곽군평(Gun-Pyong Kwak)

1982년 고려대학교 전기공학과 공학사
 1985년 고려대학교 전기공학과 공학석사
 1990년 고려대학교 전기공학과 공학박사
 1990년 ~1997년 LG산전 연구소 CNC팀 팀장
 1998년 ~ 현재 창원대학교 전기공학과 교수
 ※관심분야 : 제어 알고리즘, Motion Controller



박승규(Seung-Kyu Park)

1984년 고려대학교 전기공학과 공학사
 1986년 고려대학교 전기공학과 공학석사
 1990년 고려대학교 전기공학과 공학박사
 1995년 ~ 1996년 영국 Strathclyde대 visiting professor
 1990년 ~ 현재 창원대학교 전기공학과 교수
 ※관심분야 : 적응제어, 강인제어, 비선형제어