

인간 팔의 형태학적 · 신경학적 분석 기법에 기반한 휴머노이드 로봇 팔 설계

The Design of Humanoid Robot Arm based on the Morphological and Neurological Analysis of Human Arm

최형윤, 배영철, 문용선*

(Hyeong-Yoon Choi, Young-chul Bae, and Yong Seon Moon)

Abstract : There are few representative humanoid robots including Japanese ASIMO from Honda and HUBO from KAIST. We cannot consider ASIMO and HUBO the perfect humanoid robots, however. The basic principles when developing humanoid robot is to make them to work in a similar way as human's movement of arm. In this paper, we proposed method of designing humanoid robotic arms based on the morphological · neurological analysis of human's arm for robot's arm to work in a similar way as human's arm, and we also implemented arm movement control system to humanoids robot by using SERCOS communication.

Keywords : humanoid robot, robot arm, morphological analysis, neurological analysis

I. 서론

1960년대에 최초로 산업용 로봇이 출현했을 때 로봇은 단지 정해진 작업만을 반복하는 장치의 개념인 매니퓰레이터(manipulator)로서 사용이 되었다. 20년이 지난 1980년대 이후 마이크로프로세서의 등장과 함께 로봇에 대한 많은 연구가 시작되면서 로봇은 단순 작업만을 반복하는 장치가 아닌 다양한 목적 및 용도를 가지고 개발되기 시작했다. 로봇에 대한 기술 및 인식이 다양하게 변화하면서 인간은 점차 로봇과 인간을 연관시키기 시작하였으며, 이로부터 인간을 닮고 인간의 행위를 모방할 수 있는 로봇을 지칭하는 휴머노이드 로봇(humanoid robot)이 등장하게 되었다[1-3].

휴머노이드 로봇은 1990년대 후반에 혼다, 소니 등의 기업들과 여러 연구기관들을 중심으로 개발되기 시작하면서 일반인들의 호기심을 끌기 시작하였다. 그러나 일반 사람들이 생각하는 로봇의 형태 및 기능들을 충족시킬 수 있는 로봇은 기술의 한계 때문에 2020년 이후에야 본격적인 상용화를 예상하고 있다.

현재 개발된 대표적인 휴머노이드형 로봇으로는 일본 혼다사의 아시모(ASIMO)와 한국과학기술원의 휴보(HUBO)가 있다[4,5]. 아시모와 휴보의 경우도 완전한 휴머노이드 로봇이라고 할 수 있을 정도로 완전한 것으로 볼 수 없다. 휴머노이드형 로봇을 개발할 때 기본적인 개념은 사람의 움직임과 유사하게 동작하도록 하는 것이다.

이에 본 논문에서는 사람의 움직임과 유사하게 동작하도록 하기 위한 인간 팔의 형태학적 · 신경학적 분석 기법을

기반으로 한 휴머노이드 로봇 팔의 설계 기법을 제시하고 SERCOS 통신을 이용하여 구현함으로써 그 타당성을 확인하였다.

II. 인간 팔의 형태학적 · 신경학적 분석[6-11]

1. 인간 팔의 형태학적 분석

휴머노이드 로봇 팔의 개발을 위하여, 본 논문에서는 먼저 인간 팔의 구조 및 동작과 유사한 로봇의 팔의 구현을 위한 인간 팔의 형태학적 구조에 대한 로봇의 매핑 개념을 적용하였다. 이를 위하여 그림 1에 인간 팔의 형태학적 구조에 대한 인간 로봇 매핑 개념도를 나타내었다.

형태학적 관점으로 보면 인간의 팔은 크게 어깨관절, 팔꿈치관절, 손목관절인 3개의 관절로서 정의된다. 어깨관절은 3가지 방향으로 움직이는 3자유도, 팔뚝을 포함한 팔꿈치관절은 2자유도, 손목관절은 2자유도로서 최종적인 인간의 팔은 7자유도로 구성되어 있다.

인간 팔의 관절들 중 가장 많은 움직임을 가지는 어깨관절은 Sterno-Clavicular(SC) 관절, Acromio-Clavicular(AC) 관절

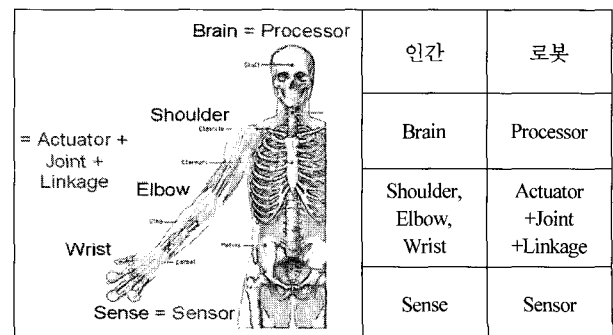


그림 1. 인간-로봇 형태학적 매핑 개념.

Fig. 1. The concept of Human-robot morphological mapping.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 1. 25., 채택확정 : 2007. 2. 17.

최형윤 : 순천금당고등학교(hyeongyoon@hanmail.net)

배영철 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부

(ycbae@chonnam.ac.kr)

문용선 : 순천대학교 정보통신공학부(moon@sunchon.ac.kr)

절, Scapulo-Thoracic(ST) 관절, Gleno-Humeral(GH) 관절로서 모두 4개의 어깨 관절들로 구성되어 있다. 어깨관절의 운동계 표현을 위한 자유도를 기술할 때는 Gleno-Humeradl(GH) 관절만을 사용한다. Gleno-Humeral 관절은 flexion/extension 운동에 대한 1자유도, adduction/abduction 운동에 대한 1자유도, internal rotation/external rotation 운동에 대한 1자유도로서 총 3자유도를 갖는다.

인간 팔의 형태학적인 구조에 대한 분석 과정을 통하여 최종적으로 유도한 인간 팔의 자유도 및 운동 범위에 대한 분석 결과는 표 1과 같다.

팔꿈치관절은 extension/election 운동을 실시하는 1자유도의 팔꿈치와, pronation/supination 운동인 1자유도의 팔뚝을 포함한 2자유도로 구성되어 있다. 물론 자유도 기술관점에 따라 팔뚝을 손목관절로 포함시켜서 팔꿈치 관절을 1자유도로 기술하기도 한다.

손목관절은 flexion/extension, radial/ulnar 정의되는 2자유도의 운동을 가지나 팔꿈치 관절처럼 팔뚝을 포함한 3자유도로 사용하기도 한다.

표 1에서 기술하는 인간의 자유도 및 운동은 인간 해부학적 용어로서 실제 로봇으로 좌표로 적용하기는 어렵기 때문에 표준화된 좌표시스템으로 변환 과정이 필요하다. 본 논문에서는 인간 운동계의 로봇 적용을 위한 좌표계로서 현재 로봇좌표 시스템으로 사용되는 피치(pitch), 롤(roll), 요우(yaw) 좌표 시스템을 사용하며 이에 대한 결과는 표 2와 같다.

표 1. 인간 팔에 대한 운동계 및 운동범위.

Table 1. The motion system and the motion scope of human arms.

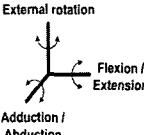
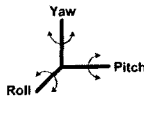
	Joint name	Movement	Movable angle
Human Arm Internal rotation / External rotation 	Shoulder (3DOF)	Flexion/Extension	-180°/50°
		Adduction/Abduction	-180°/50°
		Internal/External rotation	-90°/90°
	Elbow (2DOF)	Flexion/Extension	-145°/0°
		Pronation/Supination	-70°/85°
	Wrist (2DOF)	Flexion/Extension	-75°/70°
Radial/Ulnar		-20°/35°	

표 2. 일반적인 로봇 좌표계와 인간 팔 운동계와의 매핑 결과.

Table2. The mapping result between the frame of reference for a general robot and the motion system of human arms.

	joint name	movement	angle
Humanoid Robot arm 	Shoulder (3DOF)	Pitch	-180°/50°
		Roll	-180°/50°
		Yaw	-90°/90°
	Elbow (2DOF)	Pitch	-145°/0°
		Yaw	-70°/85°
	Wrist (2DOF)	Pitch	-75°/70°
Roll		-20°/35°	

2. 인간 팔의 신경학적 분석

인간 신경학적 구조에 대한 분석을 통해서 휴머노이드 로봇 팔의 구현을 위한 제어 네트워크 및 프로세서의 구조 등을 정의한다. 인간은 로봇의 통신 네트워크에 비교되는 신경(nerve)을 바탕으로 근육에 대한 움직임을 실시하고 각 기관을 통하여 내부 및 외부환경에 대한 정보를 받아들인다. 이러한 신경은 기능적인 면에서 로봇의 네트워크와 같은 관점으로 볼 수 있다. 또한 인간의 신경학적 분류에 따

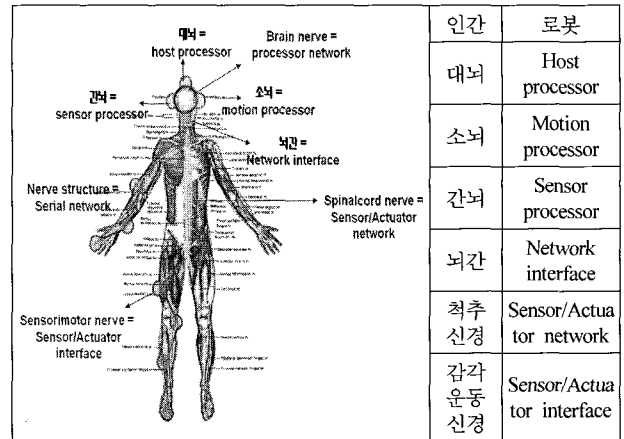


그림 2. 인간-로봇 신경학적 매핑.

Fig. 2. Human-robot neurological mapping.

표 3. 뇌에 대한 신경학적 분석[6-11].

Table3. The neurological analysis of the brain.

대뇌 (Cerebrum)	전두엽 (Frontal lobe)	- 신체의 운동에 대한 조절 - 운동양상의 계획에는 관여하지 않으며 계획이 수행되는 최종단계에 작용 - 경험에 의해 형성된 운동작용 프로그램 저장
	측두엽 (Temporal lobe)	- 청각영역 - 배르니케감각영역 위치 - 운동언어영역에 연결
	두정엽 (Parietal lobe)	- 신체 감각에 대한 해석 및 인식 - 신체 특정 부위에 대한 크기 보다는 기능적 중요성에 비례하여 결실의 면적 결정
	후두엽 (Occipital lobe)	- 눈으로 통하여 들어오는 정보 수용영역 - 물체 추적 및 반시기능 운동관련
	간뇌 (Diencephalon)	- 후각을 제외한 모든 종류의 감각정보 수용 - 대뇌결절과 밀접하게 연결 - 1,2번 뇌 신경핵 위치
뇌간 (Brain Stem)	- 앞뇌에 위치한 고위중추의 여러 부위와 척수의 사이를 연결하는 신경로가 지나가는 통로 - 호흡과 심혈관계의 조절에 관련된 중요한 반사중추 - 3-12번 뇌 신경핵 위치	
소뇌 (Cerebellum)	- 수의적 운동에 관한 정보 - 무의식적인 근육긴장 유지 - 정교한 운동 조절자	

라 신경계는 뇌(brain), 척수(spinal cord), 감각 및 운동기(sensoimotor)로 구분되는데 이것은 로봇의 제어를 담당하는 프로세서의 기능적인 모듈화로 매칭이 될 수 있다.

그림 2는 인간 신경계를 구조에 대한 로봇 매핑의 개념도이다.

인간의 뇌는 감각 신호인식, 운동명령, 기억저장, 사고과정에 대한 추론 등과 같은 인간의 모든 행동 및 행위에 대한 제어를 관장하는데 이러한 인간의 뇌 기능들은 로봇 프로세서의 구조 및 기능을 결정하는 기준으로서 사용된다. 뇌의 세부적인 역할 및 기능에 대한 내용은 표 3과 같다.

인간의 뇌신경과 더불어 인체의 큰 신경의 한 영역을 구성하는 척추신경은 인간이 느끼고 행동하기 위하여 요구되는 신호를 가장 최상위 신경인 뇌로부터 정보를 입력받아 가장 하위신경으로 정보를 전달한다. 신경들 사이에 중계역할을 담당하는 인간의 척추신경계의 구조를 로봇의 통신 네트워크로서 정의한다. 운동 및 감각 기관을 담당하는 감각·운동신경은 뇌와 척추로 자극을 전달하거나 전달받으며, 이러한 구조는 로봇을 구성하는 센서 및 액추에이터의 구성 및 인터페이스로 정의한다.

III. 휴머노이드 로봇 팔 모델링

1. 휴머노이드 로봇 팔의 기본 요구 조건

본 절에서는 2장의 로봇 팔의 분석과 팔의 형태학적 분석을 통하여 나타낸 휴머노이드 로봇 팔에 대한 요구조건들을 기반으로 개발한 휴머노이드 로봇 팔에 대한 설계 모델을 개발한다[12]. 표 4는 현재 개발된 국내의 휴머노이드 로봇 팔의 구조에 대한 분석과 인간 형태학적 구조에 대한 분석을 통하여 유도되는 휴머노이드 로봇 팔에 대한 기본 요구 조건을 나타낸다.

2. 휴머노이드 로봇 팔 구조 및 시스템

2장의 인간 형태학적 구조를 통하여 알 수 있듯이 인간 팔의 자유도는 모두 7자유도로 구성이 되어있다. 그러나 움직임 발생 시 자유도 사이에는 어느 정도 중첩이 발생함으로 휴머노이드 로봇 팔의 관절 자유도 설계 시에 인간의 모든 자유도를 동일하게 사용할 필요는 없다[8].

표 4. 휴머노이드 로봇 팔의 구현을 위한 요구조건.

Table 4. The requirements for implementation of Humanoid robot arms.

항목	요구 조건	이유
팔의 형태	모듈 구조	- 팔 구조의 간소화 및 케이블 배선 문제 해결
자유도	5~7 자유도	- 인간 구조 기반의 최적 행위 구현
액추에이터	AC 서보모터	- 고정도 제어 및 관절의 영구적인 사용
제어 네트워크	고속 네트워크	- 고속 데이터 처리
	모션제어 네트워크	- 모션제어 성능 향상 및 다축 관절 동기화
	시리얼 네트워크	- 인간 신경계 구조, 케이블 배선 제거, 모듈화 구현

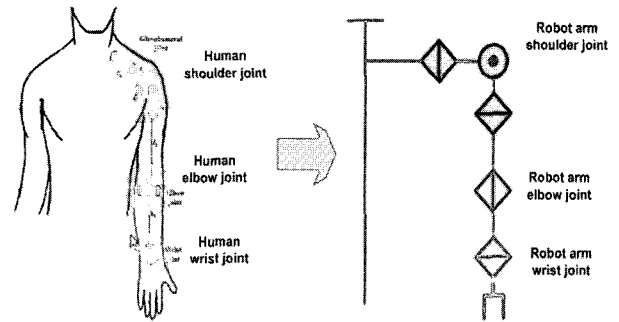


그림 3. 인간의 팔 운동계 기반의 휴머노이드 로봇 팔 구조.

Fig. 3. The structure of Humanoid robot arm based on human arms motion system.

본 논문에서는 휴머노이드 로봇 팔의 관절 자유도를 사람 팔의 7자유도 중 운동에 큰 관여를 하지 않는 손목과 관련된 2개의 자유도인 radial/ulnar와 flexion/extension 운동을 제외한 5자유도를 가지도록 구성한다. 그리고 휴머노이드 로봇 팔의 제어네트워크 및 제어시스템의 구조는 기존의 휴머노이드 로봇 시스템의 문제점을 극복할 수 있는 새로운 방식의 구조인 모션제어 SERCOS 통신과 고정도 AC 서보모터를 이용한 로봇 팔 제어시스템으로 구성한다.

그림 3은 구현할 휴머노이드 로봇의 자유도 및 구조에 대한 개념을 나타낸다.

그림 3의 휴머노이드 로봇 팔과 관련된 개념도를 통하여 인간의 7자유도에서 이동반경이 가장 협소하여 운동제어 큰 영향을 미치지 않는 손목관절의 2자유도를 제외한 어깨 3자유도, 팔꿈치 1자유도, 손목 1자유도를 가지는 5자유도의 휴머노이드 로봇 팔을 구현하며 부족한 2자유도에 대해

표 5. 휴머노이드 로봇 팔의 관절별 이동범위.

Table 5. The motion scope of each joint of the Humanoid robot arms.

Arm joint		Movable range	
Humanoid robot arm	Shoulder (3DOF)	Roll	$-95^{\circ} < R < 30^{\circ}$
		Pitch	$-180^{\circ} < P < 60^{\circ}$
		Yaw	$-90^{\circ} < Y < 90^{\circ}$
	Elbow (1DOF)	Pitch	$-135^{\circ} < P < 0^{\circ}$
	Wrist (1DOF)	Yaw	$-90^{\circ} < Y < 90^{\circ}$

표 6. 인간 팔의 표준 크기.

Table 6. The standard size of the human arms.

체형 내용	남성(mm)	여성(mm)
Stature	1783	1607
Arm Length	583	536
Shoulder Length	138	128
Upper-arm Length	338	309
Forearm Length	245	227
Hand Length	186	175

서는 연관된 모션제어를 통하여 극복할 수 있도록 한다. 표 5는 구현할 휴머노이드 대한 자유도 및 이동범위에 대한 구성을 나타낸다.

휴머노이드 로봇의 전체 팔 길이는 표 6의 국내 표준 남녀의 팔 길이를 적용하여 구현을 하였다. 그리고 각 링크별 길이는 인간과 동일한 관절 위치의 사용을 통한 기구적인 제약으로 인하여 약간의 차이를 가진다.

IV. SERCOS 통신을 이용한 휴머노이드 로봇 팔 제어 시스템 구현

휴머노이드 로봇 팔의 구현은 현재의 휴머노이드 로봇 문제점인 케이블 배선문제, 낮은 통신 속도 문제, 동기화 기술문제, 제어성능 문제 등을 해결할 수 있는 시스템 구조인 SERCOS(Serial Real-time Communication System) 네트워크와 AC 서보 모터를 사용한 네트워크 기반 휴머노이드 로봇 제어시스템으로서 구성한다. SERCOS 통신은 국제 표준 모션제어 전용 프로토콜(protocol)로서 16Mbps의 고속의 데이터 처리가 가능하며 실시간고정도 운동제어 및 다축 동기화 기능을 지원하여 기존 휴머노이드 로봇의 시스템적인 문제점을 해결한다. 또한 AC 서보모터의 경우 DC 모터와는 달리 브러시와 정류자가 존재하지 않으므로 모터의 장기간 사용이 가능하며, 제어의 성능이 우수하다는 장점을 가지고 있다[13-15].

그림 4는 본 논문을 통하여 개발할 SERCOS 네트워크 기반 휴머노이드 로봇 팔 제어시스템의 구조를 나타낸다.

그림 4의 SERCOS 네트워크 기반의 휴머노이드 로봇 팔 제어시스템은 기존의 마이크로프로세서 환경에서의 로봇을 제어하는 방식과는 달리 PC 상에서 가상의 실시간 제어환경을 구축하여 제어하는 방식인 SoftPLC(Software Program-

mable Logical Controller) 기술[16]을 이용하고 있으며, SERCOS 통신을 통한 실시간 제어 방식인 마스터/슬레이브 제어방식 [14]를 사용하고 있다. SERCOS 통신을 통한 제어 데이터의 전송은 최대 16Mbps의 고속의 전송속도를 지원하며, 또한 표준화된 모션 기능블록들의 지원을 통하여 휴머노이드 로봇 팔의 정밀한 모션은 물론 분산된 휴머노이드 로봇의 관절들의 정밀한 모션 및 동기화 제어의 구현이 가능 하다 [14-21].

표 7은 구현한 SERCOS 기반 휴머노이드 로봇 팔 제어 시스템의 구성 및 기능을 나타낸다.

표 7. SERCOS 기반 휴머노이드로봇 팔 시스템 구성.

Table 7. System configuration of SERCOS based Humanoid robot arm.

Component	Description
Master controller	- 휴머노이드 로봇 팔의 운동제어를 담당하는 부분으로서 SERCOS 통신을 통하여 하위의 드라이버들과 통신한다.
SERCOS NIC	- 제어기와 모터드라이버들간의 통신을 연결해주는 인터페이스 기능을 담당한다.
SERCOS Servo system	- 휴머노이드 로봇 팔의 관절 구동부로서 SERCOS 통신을 통하여 휴머노이드 로봇 팔을 구동 및 제어한다.
SERCOS I/O	- SERCOS 통신을 기반으로 휴머노이드 로봇 팔의 모든 입출력 신호들을 관장한다.
Limit & Home sensor	- 휴머노이드 로봇 팔의 초기화 및 관절 이동 리미트 기능을 담당한다.

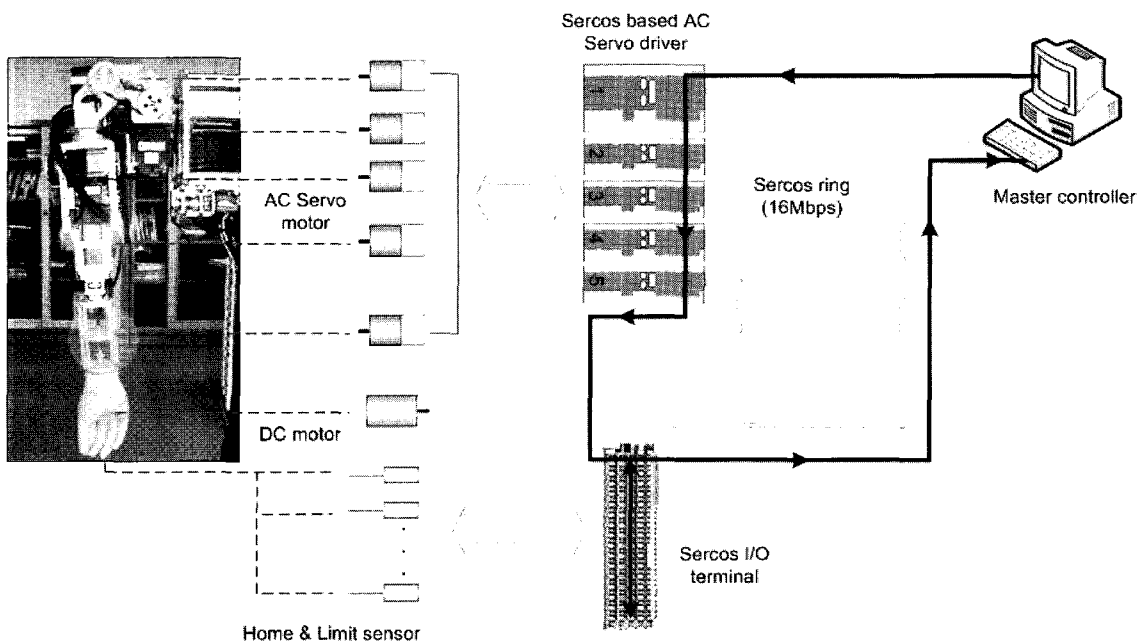


그림 4. 휴머노이드 로봇 팔 제어시스템 구조.
Fig. 4. The control system configuration of the Humanoid robot arm.

V. 결론

본 논문에서는 사람의 움직임과 유사하게 동작하도록 하기 위한 인간 팔의 형태학적·신경학적 분석 기법을 기반으로 한 휴머노이드 로봇 팔의 설계 기법을 제시하고 SERCOS 통신을 이용하여 이를 구현함으로써 그 타당성을 검증하였으며 구현된 로봇 팔이 형태학적·신경학적으로 인간 팔과 유사하게 동작할 가능성을 열어 놓았다.

참고문헌

[1] K. Williams, *Build Your Own Humanoid Robots*, Tab Books, 2004.
 [2] 인간지능생활지능로봇기술개발사업단, 차세대지능로봇 핵심기술, 진한엠앤비, 2006.
 [3] 유범재, 오상록, “네트워크 기반 휴머노이드,” 주간기술동향, 통권 1158 호, pp. 11-22, 2004.
 [4] 오준호, “휴머노이드 로봇의 현황과 발전 방향,” 대한기계학회 기계저널, 제 44 권 제 4 호.
 [5] 오정연, “u-Korea Case Service,” 한국정보사회 진흥원, 2005.
 [6] F. H. N. MD, *Atlas of Human Anatomy*, Professional Edition, W.B Saunders, 2006.
 [7] 정진웅, *기본 인체해부학*, 탐구당, 2002.
 [8] Van De Graaff 저, 김연섭 외 8 역, *Human Anatomy 6 판*, 청문각, 2004.
 [9] D. G. Amaral, “Anatomical organization of the central nervous system,” in *Principles of Neural Science*, 4th ed., E. R. Kandel, J. H. Schwartz, and T. M. Jessell (eds.), NY: McGraw-Hill, 2000, pp. 317-336.
 [10] J. P. Kelly, “The neural basis of perception and movement,” in *Principles of Neural Science*, 3rd ed., E. R. Kandel, J. H. Schwartz, and T. M. Jessell (eds.), Norwalk, CN: Appleton & Lange, 1991, pp. 283-295. See especially pp. 292-293.

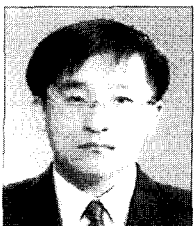
[11] H. R. Wilson, “Simplified dynamics of human and mammalian neocortical neurons,” *J. Theor. Biol.* 200, 375-388 1999.
 [12] ISO TC 184/SC 5, *ISO 156745-Industrial automation system and integration Part1*, 1999.
 [13] R. Larsen, M. Director, “Introduction to the SERCOS interface, instrumentation and control system,” USA, 1999.
 [14] Softsercans manual, “SoftSERCANS SERCOS interface master connection for PC based control systems,” www.SERCOSinterface.org, 2005.
 [15] P. Lutz, “SERCOS Interface-hard real time in third generation,” *Interests Group SERCOS interface*, 2002.
 [16] “SERCOS Specification,” www.SERCOSinterface.org, 2005.
 [17] R. Tadakuma, K. Sogen, H. Kajimoto, N. Kawakami, and S. Tachi, “Development of Multi-D.O.F. Master-Slave Arm with Bilateral Impedance Control for Telexistence,” *ISMC*, Tokyo, Japan, 2004.
 [18] G. S. Gupta, S. C. Mukhopadhyay, C. H. Messom, and S. Demidenko, “Master-slave control of a teleoperated anthropomorphic robotic arm with gripping force sensing,” *Extended paper for I&M Transactions*, 2005.
 [19] S. G. Park, “Fieldbus in IEC61158 standard,” *Proceedings on the 15th CISL Winter Workshop*, Kushu, Japan, February, 2002.
 [20] J.-P. Thomesse, “Fieldbus technology in industrial automation,” *ETFA*, France, 2005.
 [21] 권호원, 김형석, 김동성 저, “산업용 필드버스 통신망,” 성안당, 2004.
 [22] 최형윤, “SERCOS 네트워크 기반 휴머노이드 모듈 로봇 팔 설계” 순천대학교대학원 박사학위 논문, 2006.

최형윤



1986년 조선대 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 석사. 2007년 순천대학교 박사. 1986년~현재 순천 금당고등학교 교사. 관심분야는 산업통신망 및 로봇.

문용선



1983년 조선대학교 전자공학과 졸업. 1989년 동 대학원 석·박사. 1992년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수. 관심분야는 산업통신망 및 로봇.

배영철



1984년 광운대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 석사. 1997년 동 대학원 박사. 1986년~1991년 한국전력공사. 1991년~1997년 한국과학기술정보연구원. 1997년~2006년 여수대학교 교수. 2006년~현재 전남대학교 공학대학 전기전자통신컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 로봇 제어, 카오스 제어 및 동기화, 비선형 제어.