

지능형 상·하지 재활 휠체어 로봇 시스템의 관절각도 분석

Joint Angles Analysis of Intelligent upper limb and lower extremities Wheelchair Robot System

송 병 호¹ 김 광 진¹ 이 창 선² 임 창 균^{3*}
Byoung-Ho Song Kwang Jin Kim Chang Sun Lee Chang Gyoon Lim

요 약

거동이 불편한 노인 및 장애인의 이동을 위한 휠체어 사용 시, 사용하지 않는 상·하지의 근력 저하 등 운동 능력의 감소를 초래할 수 있다. 특히, 척수손상 및 뇌졸중 편마비와 같은 중증 장애인은 거동이 제한되어 운동이 부족하고 근력 유지가 어렵다. 본 논문에서는 이러한 중증 장애인의 특성을 고려하여 상·하지 운동 및 재활훈련이 가능한 지능형 휠체어 로봇 시스템을 설계하였다. 이 시스템은 전동 휠체어, 개인의 특성 파악을 위한 생체인식모듈, 그리고 상·하지 재활 로봇으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 개발된 로봇의 설계 및 구성에 대해 설명하고 운용 방법을 제시한다. 또한, 제한된 시스템의 추종 성능을 검증하기 위하여, 비장애인 피험자를 대상으로 재활 운동 수행 시 생체 신호 변화에 따른 위험상황 분석과 휠체어 로봇이 이동하면서 상·하지 재활운동 기능에 대한 성능 평가를 수행한 결과, 피험자의 재활 운동 수행 시 위험상황 분석에 대한 평균 정확도는 86.7%, 관절각도 최대 오차는 상지 2.5도, 하지 2.3도로 재활 운동 수행에 충분한 추종성능을 나타냈다.

☞ 주제어 : 지능형 로봇, 상지 재활, 하지 재활, 보행보조, 휠체어 로봇

ABSTRACT

When the elderly with limited mobility and disabled use a wheelchairs to move, it can cause decreased exercise ability like decline muscular strength in upper limb and lower extremities. The disabled people suffers with spinal cord injuries or post stroke hemiplegia are easily exposed to secondary problems due to limited mobility. In this paper, We designed intelligent wheelchair robot system for upper limb and lower extremities exercise/rehabilitation considering the characteristics of these severely disabled person.

The system consists of an electric wheelchair, biometrics module for Identification characteristics of users, upper limb and lower extremities rehabilitation. In this paper, describes the design and configurations and of developed robot. Also, In order to verify the system function, conduct performance evaluation targeting non-disabled about risk context analysis with biomedical signal change and upper limb and lower extremities rehabilitation over wheelchair robot move. Consequently, it indicate sufficient tracking performance for rehabilitation as at about 86.7% average accuracy for risk context analysis and upper limb angle of 2.5 and lower extremities angle of 2.3 degrees maximum error range of joint angle.

☞ keyword : Intelligent Robot, Upper Limb Rehabilitation, Lower Extremities Rehabilitation, Walk Assist Robot, Wheelchair Robot

1. 서 론

척수손상 및 뇌졸중 편마비와 같은 중증 장애인은 거동이 제한되어 운동이 부족하고 근력 유지가 어렵다. 또한, 휠체어를 주 이동수단으로 사용할 때에는 사용하지 않는 상·하지의 근력 저하 등 운동 능력의 감소를 초래할 수 있다. 현재 대부분의 휠체어 로봇은 노인 및 장애인의 재활 목적이 아닌 단순히 위치이동의 목적을 두고 있다.

이에, 재활이 가능한 휠체어 로봇에 대한 연구 개발이 요구되고 있으며, 중증 장애인이 일상생활에서 쉽게 운동/재활 훈련을 수행할 수 있도록 도와주는 휠체어 로봇에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 휠체어 로봇은

¹ Home Service Robot Center, Gwangju Technopark, Gwangju City, 500-706, Korea

² Co., Ltd. Shinhan Systems, Gwangju Technopark, Gwangju City, 500-706, Korea

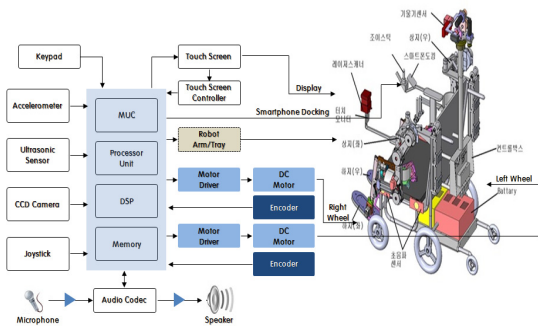
³ Computer Engineering, Chonnam National Univ., Yeosu, 550-749, Korea

* Corresponding author (cglim@jnu.ac.kr)

[Received 26 July 2013, Reviewed 9 August 2013, Accepted 15 October 2013]

☆ “본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “로봇산 업클러스터조성사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.”

☆ 본 논문은 2013년도 인터넷정보학회 춘계학술발표대회 우수 논문 추천에 따라 확장 및 수정된 논문임.



(그림 1) 시스템 구성도

(Figure 1) System Configuration

크게 수동형 휠체어와 전동 휠체어로 나뉘며, 특히 전동 휠체어를 조작[1]하는 연구 및 이에 따른 다양한 제품이 개발되었다. 또한, 지능형 전동 휠체어에서 센서를 이용한 장애물 회피 및 내비게이션 기능 구현, 휠체어에서 재활 기능이 가능하게 하는 방법들에 대한 연구들이 진행되고 있다[2]. 재활 로봇 관련 연구는 노약자 및 하지마비 장애인의 기립 및 보행을 보조해주는 외골격 로봇인 SUBAR[3], 중증 장애인의 보행 재활 훈련을 목적으로 Lokomat[4][5]과 같이 트레드밀, 체중 탈부하 장치와 외골격이 결합된 재활 로봇[6], 착용형 로봇 HAL 등이 개발되었다[7]. 그러나 장치가 차지하는 공간이 크기 때문에 일반적으로 재활 센터에 설치되며 일상생활에서 사용하기에는 어려움이 있다. 그리고, 사용자 인터페이스를 구성할 때, 생활 활동 영역으로부터 필요한 기본정보와 상황 정보를 이용하여 응급상황 호출 등이 가능하도록 구성하여 탑승자의 안전을 고려해야한다[8-10].

본 논문에서는 이러한 중증 장애인의 특성 및 이동성을 고려하여 상·하지 운동 및 재활훈련이 가능한 지능형 휠체어 로봇 시스템을 제안한다. 제안된 시스템의 주된 목적은 노인 및 장애인이 일상생활의 모든 동작을 가능한 한 혼자 수행할 수 있도록 유도하고 이차적인 기능장애의 정도를 최소한으로 줄이는 것이다. 이에, 기본적인 휠체어 로봇에 상·하지 재활 기능을 탑재하고, 사용자의 생체신호를 인식하여 지능적인 재활이 가능하도록 설계하였으며, 사용자 친화적이고 효율적인 인터페이스를 제공하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 전체 시스템 구성 및 설계에 대하여 설명하고 3장에서는 시스템 구현결과, 4장에서는 구현한 시스템의 성능평가, 5장에서 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

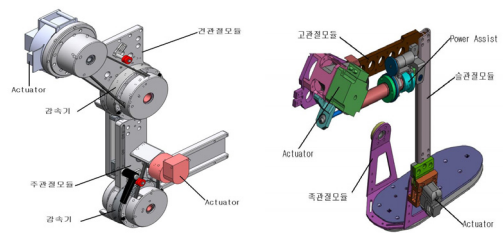
2. 시스템 구성 및 설계

2.1 전체 시스템 구성도

본 논문에서 시스템은 사용자 답승이 가능한 지능형 전동 휠체어, 개인의 특성 파악을 위한 생체인식모듈, 그리고 상·하지 재활 로봇으로 구성되어 있다. 그리고 상·하지 재활 로봇은 휠체어 부착형으로 제작하였고, 재활환자가 휠체어에 답승하여 상·하지 재활을 할 때, 환자의 의지와 무관하게 재활될 가능성이 존재함으로써, 이를 해결하기 위해서, 재활 정도를 모니터링 하면서, 재활이 가능하도록 시스템을 설계하였다. 또한, 사용자 친화적 인터페이스를 위해 기존의 스마트폰을 사용할 수 있는 스마트폰 도킹 시스템 및 터치스크린 인터페이스 모듈을 탑재하였다. 그림 1은 제안한 시스템의 전체 구성도이다.

2.2 상·하지 재활로봇 시스템

상·하지 재활로봇 시스템은 휠체어 부착형으로 팔과 다리에 착용하는 형태의 로봇이며, 모터에 의해 팔과 다리의 각 관절이 제어되어 사용자의 재활 훈련을 능동적으로 보조해준다. 상지 재활 로봇은 한 팔당 3자유도로 주관절, 견관절, 어깨관절 각 1자유도로 구성하였다. 하지 재활 로봇은 한 다리 당 고관절 1자유도, 슬관절 1자유도 및 발목관절 1 자유도로 양쪽 다리에 총 6 자유도를 가지며 6 개의 축이 모터에 의해 구동된다. 그림 2는 상·하지 재활 로봇 시스템의 프로토타입이다.



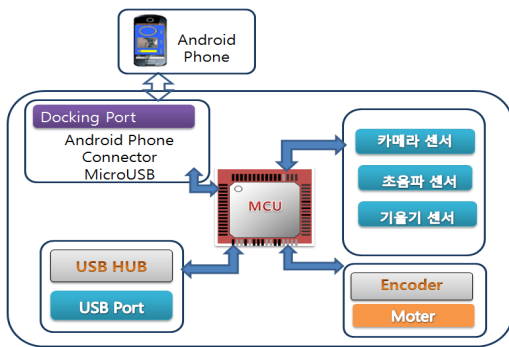
(그림 2) 상·하지 재활로봇 프로토타입

(Figure 2) Prototype of Upper Limb Rehabilitation Robot

2.3 사용자 인터페이스

본 논문에서 제안한 상·하지 재활 휠체어 로봇은 휠체어 앞쪽에는 모니터가 부착되어 있으며, 인터페이스로는

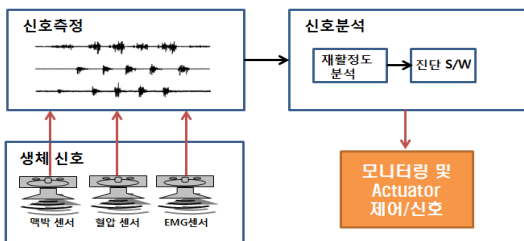
스마트폰 도킹 시스템과 터치 스크린을 사용하였다. 주변 환경의 정보를 획득하는 센서 신호 처리와 모터 제어는 실시간으로 이루어지며, 스마트폰을 휠체어 로봇에 도킹할 수 있게 제작하여, 보조 컨트롤 보드 역할 및 서비스 어플을 수행할 수 있도록 설계하였다. 또한, 부가 인터페이스를 추가하여 이동량 및 운동기능성 정도를 사용자가 파악할 수 있는 지능형 재활 모니터링 시스템을 설계하였다. 그림 3은 스마트폰 도킹시스템의 구성도이다.



(그림 3) 스마트폰 도킹 시스템 구성도

(Figure 3) Smart phone Docking System Configuration

또한, 재활 운동 수행시 효율적인 재활 운동이 가능하도록 사용자의 생체신호(맥박, 혈압, 근전도)를 측정하여 획득한 데이터를 분석하여 재활에 따른 생체 신호 변화 결과를 피드백 할 수 있는 모듈을 설계하였고, 그림 4는 재활 운동에 따른 생체신호 분석 시스템의 구성도이다.



(그림 4) 생체신호 분석 시스템

(Figure 4) Biomedical Signal Analysis System

3. 시스템 구현 결과

3.1 상·하지 재활로봇 시스템

본 논문에서 구현된 상지재활로봇시스템은 사용자의

주관절 재활이 가능하고 중력 보상 장치의 사용으로 착용자가 느끼는 로봇의 무게 부하를 제거하여 구현하였고, 하지재활로봇시스템과 공용의 모터/감속기를 사용함으로써 통합제어가 가능하게 구현하였다. 그림 5는 본 논문에서 개발한 상지재활로봇시스템의 구현결과이고, 표 1은 제품사양이다.

또한, 한 다리 당 고관절 1자유도, 슬관절 1 자유도 및 발목관절 1 자유도로 양쪽 다리에 총 6 자유도를 가지고 구현된 하지재활로봇시스템은 고관절, 슬관절, 발목관절 재활 운동이 가능하고 휠체어에 탈부착이 가능한 페달식 운동기로 구현되었으며, 휠체어 의자와 페달과의 길이 조절이 가능하도록 설계하였고, 상지재활로봇시스템과 공용의 모터/감속기를 사용함으로써 통합제어가 가능하게 구현하였다. 그림 6은 본 논문에서 개발한 하지재활로봇시스템의 구현결과이고, 표 2는 제품사양이다.



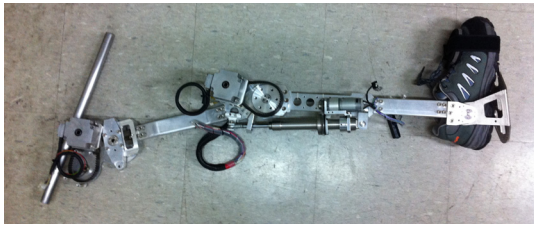
(그림 5) 상지재활로봇시스템 구현결과

(Figure 5) Upper Limb Rehabilitation Robot System Implemented Result

(표 1) (상지재활로봇시스템 제품사양)

(Table 1) (Upper Limb Rehabilitation Robot System Product Specification)

명칭	제작 사양
자유도	3
관절각도 기구오차	0.5°
분절길이(견관절 -> 핸드)	60cm
중량	6.5kg
모터	DC24V 250W, Max 3,850RPM
토크	0.8 Nm
감속비	9.78 : 1



(그림 6) 하지재활로봇시스템 구현결과
(Figure 6) Lower Extremities Rehabilitation Robot System Implemented Result

(표 2) (하지재활로봇시스템 제품사양)
(Table 2) (Lower Extremities Rehabilitation Robot System Product Specification)

명 칭	제 작 사양
자유도	3
관절각도 기구오차	0.5°
분절길이(고관절 -> 슬관절)	35 ~ 37cm
분절길이(슬관절 -> 발목관절)	36 ~ 38cm
중량	6kg
액츄에이터	FHA-11C-50-E200-C Max RPM: 120
토크	8.3 Nm
감속비	50 : 1

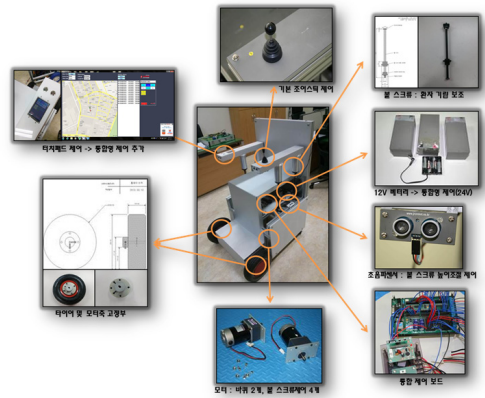
3.2 휠체어 로봇 시스템

본 논문에서 구현된 휠체어 로봇시스템은 중량을 줄이기 위해 조립식 설계 및 알루미늄강 소재를 이용하여 60Kg 이하로 개발되었다. 또한, 사용자의 움직임에 부드러움을 주기 위해 8방향 주행이 가능하도록 설계되었고, 하지 재활로봇과의 탈부착을 용이하기 위해 발걸이부 앞뒤 45도로 반 고정식으로 설치 가능하게 제작되었다.

구현된 휠체어 로봇 시스템은 사용자의 편의를 제공하기 위해 터치스크린 및 조이스틱 제어가 가능하고, GPS 기능을 탑재하여 사용자의 일정범위 이외에서의 휠체어 기능을 강제 상실, 또는 중앙센터로의 호출할 수 있는 기능이 탑재되었다. 그림 7은 본 논문에서 개발한 휠체어 로봇 시스템의 구현결과이다.

4. 성능평가

본 논문에서 제안한 시스템의 추종 성능을 검증하기 위하여, 비장애인 피험자를 대상으로 재활 운동 수행시 생



(그림 7) 휠체어 로봇 시스템 구현결과
(Figure 7) Wheelchair Robot System Implemented Result

체 신호 변화에 따른 위험상황을 분석하기 위해 사용자의 생체신호(맥박, 혈압, 체온)를 측정하여 획득한 데이터를 분석하였고, 휠체어 로봇을 이동시키면서 상·하지 재활운동의 추종 성능을 분석하였다.

그림 8은 휠체어 로봇에 탑재된 생체 신호 측정 시스템 과 측정된 데이터의 처리 및 분석을 위한 데이터베이스 구현 결과이다.

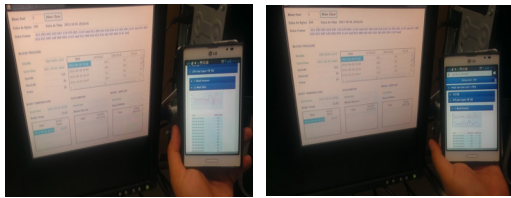


(그림 8) 생체신호 측정 시스템 구현 결과
(Figure 8) Biomedical Signal Measure System Implemented Result

그림 9는 상·하지 재활운동 수행시의 주기적으로 측정된 생체 데이터(맥박, 혈압, 체온)의 측정 결과이고, 휠체어 로봇의 팔걸이부에 장착된 스마트폰에 출력이 될 수 있도록 사용자 프로그램을 구현하였다. 구현된 사용자 프로그램은 사용자의 생체 정보인 맥박, 혈압, 체온 값이 실시간으로 출력된다.

재활 운동 수행시 생체 신호 변화에 따른 위험상황을 분석하기 위해 피험자가 재활 운동을 30분간 10회 수행

하면서 주기적(1분)으로 생체 데이터(맥박, 혈압, 체온) 300개를 획득하였고, 신경망 알고리즘으로 학습 후 분석하였다. 실험 결과에 대해 학습 데이터로부터의 영향을 최소화하고 신뢰성을 확보하기 위해 10-Fold 교차검증을 수행하였고, 표 3은 시스템의 위험상황 분석 정확도(단위:%) 결과이다. 피험자의 재활 운동 수행 시 위험상황 분석에 대한 평균 정확도는 86.7%로 나타났다.



(그림 9) 생체신호 측정 결과
(Figure 9) Biomedical Signal Measure Result

(표 3) (위험상황 분석 결과)
(Table 3) (Performance evaluation of data)

Fold 번호	위험상황 분석 정확도
1	87.1
2	84.7
3	86.3
4	84.5
5	88.5
6	90.3
7	89.8
8	87.1
9	85.3
10	83.7

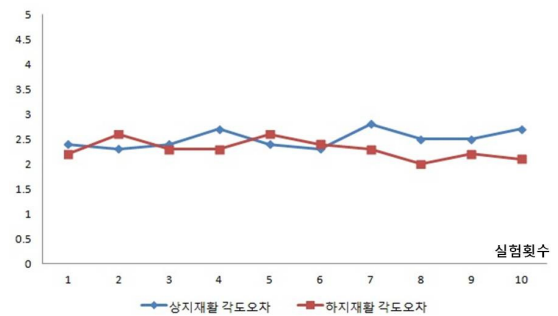
또한, 상·하지 재활운동의 추종 성능을 분석하기 위하여 피험자는 휠체어에 앉은 상태에서 상·하지 재활 로봇을 팔과 다리에 착용하고 재활 운동을 수행하였다. 이때, 상지와 하지 재활을 분류하여 각각 독립적으로 실험을 수행하였고, 상·하지 재활 로봇의 관절가동범위는 각각 0 ~ 90도이고, 각각 100회씩 반복운동 후 관절의 오차를 측정하였다. 관절 각도는 피험자의 재활운동시 각 관절의 위치 좌표를 측정하여 각 분절의 각도를 구하고, 관절에서 두 분절의 상대각으로 관절 각도를 구한다.

실험 데이터는 선형적인 관계가 아닌 실제계를 반영한 불규칙한 데이터를 사용했기 때문에 오차율을 측정해야 한다. 본 실험에서는 오차율 측정을 위해 식 (1)과 같

이 RMSE를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2} \quad (1)$$

실험분석 결과, 상지 재활 로봇의 관절각도 평균 오차는 2.5도, 하지 재활 로봇의 관절각도 평균 오차는 2.3도로 재활 운동 수행에 충분한 추종성능을 나타냈다. 그림 10은 성능평가 결과를 보여준다.



(그림 10) 성능평가 결과
(Figure 10) Result of Performance Evaluation

5. 결 론

본 논문에서는 노인 및 장애인의 특성 및 이동성을 고려하여 상·하지 운동 및 재활훈련이 가능한 지능형 휠체어 로봇 시스템을 제안하였다. 노인 및 장애인의 경우 일상 생활에서 개발된 시스템을 이용함으로써 이동성 확보 및 재활/운동에 대한 동시 접근이 가능한 것이다. 특히, 휠체어에 탑승하여 상·하지 재활에 대한 다양한 기능적 운동을 수행하는 것은 물론 재활정도를 파악하여 피드백이 가능하므로 재활훈련의 효과도 기대해 볼 수 있다.

제한한 시스템의 기능을 검증하기 위하여, 비장애인 피험자를 대상으로 휠체어 로봇이 이동하면서 상·하지 재활운동 기능에 대한 성능 평가를 수행한 결과 휠체어를 이동하면서 재활 훈련 수행 시 상지 재활 로봇의 관절각도 평균 오차는 2.5도, 하지 재활 로봇의 관절각도 평균 오차는 2.3도로 재활 운동 수행에 충분한 추종성능을 나타냈다. 따라서, 향후에는 다양한 지능형 상·하지 운동/재활 알고리즘과 재활 콘텐츠에 대한 연구 및 본 논문에서 제안한 상·하지 재활운동이 가능한 휠체어 로봇에 대한 임상 평가를 수행할 계획이다.

참 고 문 헌(Reference)

- [1] S. Katsura and K. Ohnishi, "Semiautonomous wheelchair Based on quarry of environmental information," IEEE Trans. on Industrial Electronics Society, Vol. 53, No. 4, pp. 1373-1382, 2006.
- [2] Richard Simpson, Edmund LoPresti, Steve Hayashi, ,Illah Nourbakhsh and David Miller, "The Smart Wheelchair Component System," Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 41, No. 3B, pp. 429-442, 2004.
- [3] B. Hwang, Y. Kang, and D. Jeon, "Introduction of the Wearable Robot SUBAR for Lower-Limb Assistance," in proc. of the 26th Japanese Conference on Advancement of Assistive and Rehabilitation Technology(JCAART), 2011.
- [4] S. Jezernik, G. Colombo and M. Morari, "Automatic Gait-Pattern Adaptation Algorithms for Rehabilitation With a 4-DOF Robotic Orthosis," IEEE Trans. on Robotics and Autom., vol.20, no.3, pp.574-582, 2004.
- [5] Hidler, J., Wisman, W., Neckel, N., "Kinematic Trajectories while Walking within the Lokomat Robotic Gait-Orthosis," Clinical Biomechanics, Vol.23, No.10, pp.1251-1259, 2008.
- [6] Zoss, A. B., Kazerooni, H., Chu, A., "Biomechanical Design of the Berkley Lower Extremitiy Exoskeleton (BLEEX)," IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Vol.11, No.2, pp.128-138, 2006.
- [7] Sakurai, T., Sankai, Y., "Development of Motion Instruction System with Interactive Robot Suit HAL," Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetic, pp.1141-1147, 2009.
- [8] Yeon-Suk Choi, Byoung-Tae Park, Yong-Ju Choi, "Design and Implementation of Location Based Silver Town u-Service System," Journal of Korean Society for Internet Information, Vol.11, No.3, pp.53-63, 2010.
- [9] Chung-Sub Lee, Chang-Won Jeong, Su-Chong Joo, "Design and Implementation of Process Management Model applying Agent Technology," Journal of Korean Society for Internet Information, Vol.8, No.1, pp.57-70, 2007.
- [10] Moohyun Park, Chang-Won Jeong, Su-Chong Joo, "Design of platform supporting for healthcare context information service based on multi-agent," Journal of Korean Society for Internet Information, Vol.9, No.3, pp.9-24, 2008.
- [11] Sam-Gyu Lee, "Comparison of Treadmill and Swimming Exercises on the Cognitive Function in Cerebral Infarction Rats," American academy of physical medicine and rehabilitation, 2012.

◎ 저 자 소개 ◎



송 병 호(Byoung-Ho Song)

1998년 조선대학교 전산통계학과(이학사)
2000년 조선대학교 일반대학원 전산통계학과(이학석사)
2008년 조선대학교 일반대학원 전산통계학과(이학박사)
2011년~현재 광주테크노파크 가전로봇지원센터 책임연구원
관심분야 : 지능형로봇, 인공지능 etc.
E-mail : bhsong@gitp.or.kr



김 광 진(Kwangjin Kim)

2003년 조선대학교 제어계측공학과(공학사)
2006년 조선대학교 일반대학원 제어계측공학과(공학석사)
2012년 조선대학교 일반대학원 정보통신공학과(공학박사)
2012년~현재 광주테크노파크 가전로봇지원센터 연구원
관심분야 : 충돌회피, 위치인식 etc.
E-mail : kjkim@gitp.or.kr



이 창 선(Chang Sun Lee)

1985년 송원대학교 전산학과(전문학사)
1990년~1997년 남산산업 정보사업부
1997년~2008년 신한포토닉스 IT사업 본부장
2008년~현재 신한시스템즈(주) 대표이사
관심분야 : 네트워크, 지능형로봇 etc.
E-mail : cslee@shsys.kr



임 창 균(Chang Gyoon Lim)

1985년 조선대학교 전산통계학과(이학사)
1990년 조선대학교 일반대학원 전산학과(이학석사)
1997년 Wayne State University, Computer Science(공학박사)
1997년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 교수
2011년~현재 광주테크노파크 가전로봇지원센터 센터장
관심분야 : 인공지능, 지능형로봇 etc.
E-mail : cglim@jnu.ac.kr