

보행보조 재활로봇의 센서 시스템 구성 및 사용자 의도 감지 알고리즘

Organization of Sensor System and User's Intent Detection Algorithm for Rehabilitation Robot

정 준 영, 박 현 섭*, 이 덕 연, 장 인 훈, 이 동 욱, 이 호 길
(Jun-Young Jung¹, HyunSub Park², Duk-Yeon Lee², In-Hun Jang², DongWook Lee², and Ho-Gil Lee²)

¹University of Science & Technology

²Korea Institute of Industrial Technology

Abstract: In this paper, we propose the organization of a sensor system and user's intent detection algorithm for walking assist rehabilitation robots. The main purpose of walking assist rehabilitation robots is assisting SCI patients to walk in normal environment. To use walking assist rehabilitation robot in normal environment, it is needed to consider various factors about user's safety and detection of user's intent and so on. For these purposes, we have analyzed the use case of rehabilitation robots and organized the system of sensors for walking assist rehabilitation robots and finally, we have developed the algorithm which is used to detect user's intent for those. We applied our proposal method in the rehabilitation robot, ROBIN, and verified their effectiveness by normal, not patient.

Keywords: rehabilitation robot, user's intent detection, walking assistance, exo-skeleton

I. 서론

최근 노령 인구의 증가와 장애인을 위한 사회적 비용의 증가로 이들을 돕기 위한 로봇 기술 개발이 활발하다. 그 중 보행보조 재활로봇은 노약자, 하체마비환자, 뇌졸중환자 등에 적용하여 폭넓게 사용 될 수 있기 때문에 많은 관심을 받고 있는 분야이다. 기존에 하체마비환자나 뇌졸중환자의 증세 개선에 재활운동이 많은 도움이 되었지만 환자들에게 널리 적용되지 못하였던 이유가 재활치료사들의 노동과 숙련도에 많이 의존하였기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 로봇 기구를 사용한 재활 로봇에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 보행보조 재활로봇으로 스위스의 LOKOMAT [1], LOPES [2], PAM [3], the Gait Trainer [4], Haptic Walker [5], AutoAmbulator [6] 등이 있다. 위의 로봇의 특징은 재활 치료실 등의 실내에서 트래드밀이나 페달 등의 위, 즉 한정된 위치에서 사용되는 재활로봇이라는 점이다. 이는 한 장소에서만 재활운동을 하여 환자가 쉽게 지루함을 느끼고, 환자에게 시각, 청각 등의 자극이 부족하여 재활 효과가 크

지 않다는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하고 일상 생활에서 로봇을 착용하여 재활과 함께 보행을 보조하기 위한 것으로 일본의 HAL [7], 이스라엘의 Rewalk 등의 로봇이 있다. HAL은 뇌졸중이나 하체마비 환자를 대상으로 한 것이 아닌, 노약자 등의 근력 증강을 목적으로 하는 로봇으로 개발되었다. Rewalk은 하체마비환자를 대상으로 일상 생활에서 휠체어 등을 이용하지 않고 외골격 로봇을 착용하여 재활을 하고, 보행을 보조하기 위한 로봇이다. 하지만 논문 등으로 그 자세한 내용이 알려져 있지 않다.

위에서 설명한 일상 생활용 보행보조 재활로봇들을 실제 일상 생활에서 사용하게 하기 위해 몇 가지 문제를 해결해야 한다. 기존의 고정된 판이나 트래드밀 위에서 사용되는 재활 로봇의 경우 사용자의 의지에 의해서 보행 재활을 한다기 보단 미리 조직된 재활 과정에 의해 수동적으로 보행이 시작되었다. 하지만 일상 생활에서 사용되는 보행 재활 로봇의 경우 로봇을 착용한 환자의 보행에 대한 의지, 환자가 놓인 주변 환경 등의 요소를 고려하여 사용자 능동적으로 보행을 시작하여야 한다. 이것은 사용자의 안전에 중요한 요소이다. 만약 환자가 준비되지 않은 상태에서 로봇이 동작 한다면, 환자의 신체에 손상을 줄 수 있을 것이다. 또한 로봇이 사용자의 의지에 반하여 오작동 시, 사용자가 준비가 되지 않아 넘어지게 된다면 환자에게 치명적인 손상을 입힐 수 있다.

본 논문에서는 이를 보행보조 재활로봇의 사용자 의도감지 문제로 정의한다. 이 사용자 의도감지 문제를 해결하기 위한 방법으로 단말기 조작, 음성 입력 조작 등의 방법을 생각할 수 있다. 단말기 입력의 경우 간단하게 구현할 수 있다

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 6. 10., 수정: 2010. 7. 12., 채택확정: 2010. 7. 20.

정준영: 과학기술연합대학원대학교 지능형로봇공학(param1@kitech.re.kr)

박현섭, 이덕연, 장인훈, 이동욱, 이호길: 한국생산기술연구원 지능형로봇연구부

(hsubpark@kitech.re.kr/proldy@yahoo.com/inhuns@gmail.com/dwlee@kitech.re.kr/leehg@kitech.re.kr)

※ 본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업(B551179-08-02-00)과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 고기능 로봇 메니플레이션 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C7000-1001-0002).

는 장점을 가지고 있으나 하체마비 환자인 사용자가 단말기를 조작하는 동안 로봇의 자세가 흐트러져서 넘어질 수 있거나 준비를 하기 전에 단말기를 눌러서 제대로 동작이 안 되는 문제가 있을 수 있다. 음성 입력을 통해서 로봇을 조작하는 경우, 특별한 조작 동작 없이 음성으로 로봇을 조작할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 주변의 소음 등에 영향을 받을 수 있어 민감하고, 사용자가 아닌 주변 사람의 목소리에 반응할 수 있다는 위험성을 가지고 있어서 사용하기 어렵다. 음성 인식 방식 또한 사용자가 준비되지 않은 상태에서 동작될 위험성을 가지고 있어 실제 사용되기는 어렵다.

본 논문에서는 일상생활용 보행보조 재활로봇의 필수적인 사용자 의도 감지 문제를 해결하기 위한 보행보조 재활로봇의 센서시스템과 사용자의 요구사항과 로봇의 동작 분석에 기반한 알고리즘을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 보행보조 재활로봇과 센서시스템의 구성에 대해서 논한다. III 장에서는 의도 감지란 무엇인지 정의하고, II 장에서 논한 센서 시스템을 사용하는 의도감지 알고리즘을 제안한다. IV 장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 정상인을 대상으로 실험한 결과를 설명한다. 마지막으로 V 장에서는 본 논문의 결론을 짓는다.

II. 보행보조 재활로봇과 센서시스템

한국생산기술연구원 지능형로봇연구부에서는 하체마비 환자의 재활을 돕고, 보행을 가능하게 하는 로봇 ROBIN을 개발하였다. 로봇의 외형은 그림 1과 같다. 로봇은 총 6축을 가지고 있으며 이는 각 다리의 엉덩이, 무릎, 발목의 3개로 이루어져 있다. 이 중 엉덩이와 무릎 관절은 모터를 통해 구동되는 능동 관절이며, 발목은 고정 하거나 사용자의 발목 움직임을 따르는 수동 관절이다. ROBIN의 시스템 구성은 다음 표 1과 같다.

특히 본 재활 로봇의 센서 구성은 사용자 의도감지를 위해 기존의 로봇들과 다르게 구성되어야 한다. 일본의 HAL 로봇의 경우 역할을 노약자 등의 근력증강으로 설정하여 EMG 인코더 그리고 Floor Reaction Force Sensor 등으로 센서 시스템 구성을 하였다[7]. 이는 노약자가 미약하게나마 스스로의 신

표 1. ROBIN 상세 구성 정보.

Table 1. Specification of ROBIN.

구성	내용
모터	Maxon RE40 4개
모터 드라이버	2축 DC Motor Driver 2개
정보처리장치	UMPC
전원	직류24V
센서 구성	양쪽 발 8개씩 FSR 양쪽 목발 1개씩 FSR 사용자 손목 단말기 인코더 4개
통신	CAN통신

체를 움직여 센서를 통해 로봇에 명령을 내릴 수 있기 때문이다. 하지만 하체마비 환자의 경우 환자의 신경 손상 위치에 따라서 감각 또는 움직일 수 있는 정도가 다르기 때문에 HAL과 같이 센서의 구성을 사용할 수 없다. 특히 EMG 센서의 경우 하체마비 환자의 신경 단절 위치 이후의 영역에서 신호가 검출되지 않는 문제를 가지고 있다. 또한 EEG 센서 같은 경우 실제 사용을 하기 위해 사용자를 대상으로 많은 연습과정이 필요하고, 사용자의 머리 피부에 부착하여야 하기 때문에 정확한 부착 위치 선정이 필요하여 일상 생활에 사용하기에 불편한 단점을 가지고 있다.

위에서 살펴본 결과 하체마비 환자를 위한 일상 생활용 보행보조 재활로봇은 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다.

- 일상 생활용으로 적합하도록 많은 수의 센서를 탑재하는 것과 민감하거나 내구성이 떨어지는 센서는 피해야 한다.
- 하체마비 환자 홀로 로봇착용이 가능하도록 해야 한다.
- 사용자가 로봇의 조작을 직관적으로 할 수 있어야 한다.
- 사용자가 언제든지 로봇사용 상태를 확인할 수 있어야 한다.
- 로봇 스스로 현재 관절 위치 등을 추정할 수 있어야 한다.

위의 요구사항을 만족시키기 위해 본 논문에서 제안하는 센서 시스템 구성은 다음과 같다. 그림 2의 c와 같이 양쪽

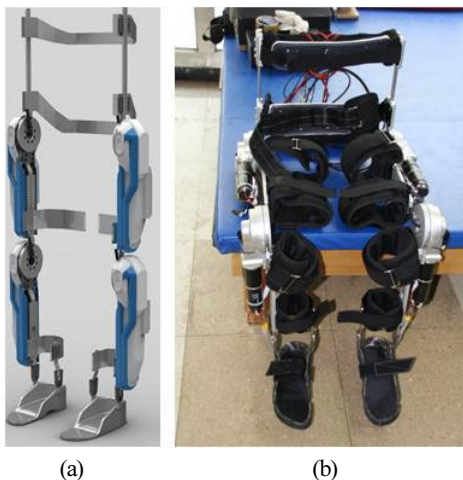


그림 1. (a) 3D modeling, (b) ROBIN 시제품.
Fig. 1. (a) 3D modeling, (b) ROBIN prototype.



그림 2. 재활로봇 ROBIN의 센서.
Fig. 2. Sensors of rehabilitation robot, ROBIN.

발에 FSR (Force Sensing Register)를 8개씩 설치하였으며, 양쪽 목발에 FSR을 하나씩 설치하였다 또한 로봇의 4개의 관절 축에 인코더를 설치하였다. 또한 사용자의 사용 의도를 명확하게 입력하고 사용자에게 로봇의 상태를 전달하기 위해 손목에 단말기를 마련하였다. 우리는 위의 요구사항을 만족하기 위해 손목 단말기를 제외한 모든 센서를 로봇에 탑재하였으며 사용자가 로봇을 직관적으로 사용할 수 있게 하기 위해 보행 등의 동작 시 환경과 직접적으로 접촉하는 부위의 힘을 측정하기 위해 FSR을 발바닥과 목발에 장착하였다.

각 센서의 기능과 역할은 다음과 같다. 양쪽 발의 FSR (Foot FSR)은 0에서 10kg의 무게를 측정할 수 있으며 이 정보를 0에서 255의 값으로 변환하여 출력한다. 이 FSR을 이용해서 우리는 사용자의 다리가 땅에 접촉되어 바닥이 사용자의 몸무게를 지탱하는지를 판단 한다. 또한 이를 이용해 사용자의 몸의 중심이동이 일어났는지도 판단 할 수 있었으며, 보행의 각 단계에서의 사용자 발바닥의 압력 변이도 측정할 수 있었다. 목발의 FSR은 발바닥에 장착된 FSR과 같은 측정범위를 가지며 보행보조 재활로봇에서 안정된 자세유지에 관련된 정보를 유추하는 역할을 한다. 목발을 이용하여 사용자는 로봇의 동작 시 자신의 몸의 균형을 잡을 수 있으며, 이를 통해 보행 시 2족 보행이 아닌 4족 보행이 되어 안정된 자세 유지가 가능해진다. 여기서 목발의 FSR 센서는 목발이 땅에 닿았는지 아닌지를 판단하는 역할을 하며, 또한 사용자의 체중이 목발에 분산된 정도를 추정하는데 사용된다. 인코더의 역할은 현재 관절의 포지션을 바탕으로 로봇의 위치와 자세를 추정 하며 본 데이터를 바탕으로 로봇은 현재 동작의 완료를 확인할 수 있다. 마지막으로 손목 단말기는 로봇에게 사용자의 명시적인 사용의도를 전달해주며 또한 사용자에게 현재 로봇의 상태를 알려줌으로써 사용자의 로봇 사용에 도움을 준다.

III. 사용자 의도 감지 알고리즘

1. 재활 로봇의 사용자 의도감지 정의

하체마비환자를 위한 보행보조 재활로봇에서 사용자 의도 감지를 다음과 같이 정의하였다.

‘하체마비환자가 로봇을 조작하기 위한 사용법을 정의하고, 이 사용법대로 사용할 시 보이는 하체마비환자의 행동을 로봇의 센서 시스템이 감지하여 그 의도를 파악하는 것.’

위에서 정의한 사용자 의도감지에 대해 다음과 같이 생각 하면 이해하기 쉽다. 사용자 의도는 로봇과 사용자가 의사소통하기 위한 방법이고 사용자는 이것을 바디 랭귀지로 표현한다. 의도감지란 이 바디 랭귀지를 로봇이 자신의 센서를 통해 인식하여 로봇의 행동에 대한 명령으로 사용하는 것이다.

위에서 정의한 바와 같이 사용자 의도감지는 정상인이 아닌 환자가 사용할 수 있는 방법을 정의하는 것이 가장 중요하다. 또한 사람의 실제 보행 시 나타나는 행동을 바탕으로 한다면 매우 직관적이고 로봇의 보행에도 도움을 줄 수 있다. 이를 위해 우선 정상인의 행동을 분석하여 정상인의 행동의 시작 시 자연스럽게 나오는 행동들 중 운동 역학적으로 중요한 요인이 되는 요소들을 검출 하였고, 본 요인을 정상인이

아닌 환자가 행동 가능함에 대해서 검증 하였다. 이 검증 결과를 바탕으로 환자가 사용 가능한 사용법을 만들었으며, 환자가 사용법 대로 사용할 경우 로봇의 센서 시스템이 이를 감지하고 이 결과를 바탕으로 사용자 의도를 추출하는 알고리즘을 정의하였다. 본 사용자 의도감지의 결과는 로봇의 행동 전이 신호로 사용된다.

사용자 의도 감지에 대한 수학적 정의는 다음 수식과 같다.

$$f(x_t, x'_t, s_t) \rightarrow x_{t+1}, x'_{t+1} \tag{1}$$

$$x_t \in \{Installed, Sat, Stand-Up ing, \dots\} \tag{2}$$

$$x'_t \in \{ReadytoWalk, First-step walking, \dots\} \tag{3}$$

$$s_t = [fl_1 \quad fl_2 \quad \dots \quad ms] \tag{4}$$

수식 (1)의 함수 f 는 의도 감지에 관한 함수이다. 이 함수는 로봇의 시간 t 에서의 상태 x_t 와 시간 t 에서의 세부 상태 x'_t 그리고 센서 값 벡터 s_t 를 입력으로 받아 그 다음 시간 $t+1$ 에서의 상태 x_{t+1} , 세부상태 x'_{t+1} 을 반환한다. 이 새로운 상태들은 이전의 상태와 같거나 다를 수 있으며, 이 상태에 의해서 사용자의 의도를 인식하고 로봇의 다음 행동을 결정한다.

2. 사용자 의도감지 알고리즘

사용자 의도 감지 알고리즘을 만들기 위해 우선 로봇의 상태를 정의할 필요가 있다. 로봇의 상태란 로봇이 사용 중에 가질 수 있는 상태를 의미한다. 로봇의 상태는 사용자 요구사항 조사와 이 조사 결과를 바탕으로 로봇 사용사례를 정리함으로써 정의할 수 있었다. 그림 3에서 로봇의 상태와 상태들의 전이 경로를 확인할 수 있다.

그림 3의 상태들은 모두 사용자가 로봇을 착용하고 있음을 가정한다. 각 상태의 의미는 다음과 같다.

- Installed: 사용자가 로봇을 착용한 상태
- Sitting: 사용자가 앉아있는 상태
- Standing Up: 사용자가 일어서고 있는 상태
- Standing: 사용자가 일어서 있는 상태
- Stopping: 로봇의 동작을 멈추고 있는 상태
- Stopped: 로봇의 동작이 멈춰져 있는 상태
- Walking: 사용자가 걷고 있는 중의 상태
- Sitting Down: 사용자가 앉고 있는 중의 상태

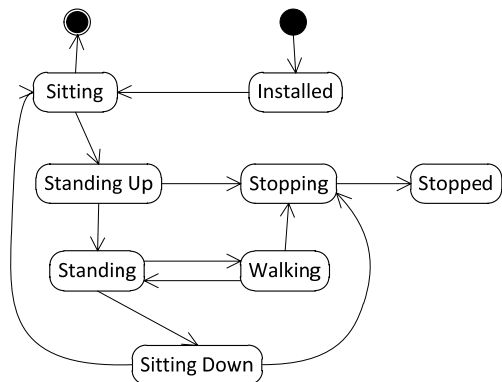


그림 3. 로봇 상태 모델링 및 전이도.
Fig. 3. States modeling of robot & state diagram.

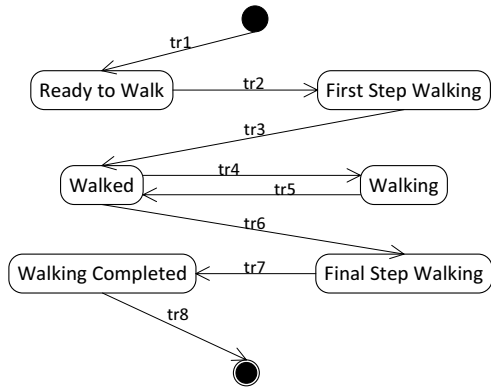


그림 4. 보행 상태 모델링 및 전이도.
Fig. 4. States modeling of walking & state diagram.

각 상태들의 전이는 다음의 두 가지 경우에 일어나게 된다. 우선 사용자가 손목 단말기를 이용해 명시적으로 로봇의 상태를 변경하는 경우 로봇의 상태가 변경된다. 두 번째로 로봇의 각 상태에 맞는 동작의 처리가 완료되었을 경우 다음 상태로 이동하게 된다. 위의 두 가지 상태 변경의 예는 다음과 같다. 사용자가 현재 **Sitting**(앉은 상태)에서 손목단말기의 **Stand Up**(기립) 버튼을 누르게 되면 로봇의 상태는 **Standing Up**(일어서는 중)이 되며 이때 로봇은 후에 설명한 일어서는 중의 세부상태에서 사용자의 일어서는 의도 감지를 준비한다. 또한 **Standing Up**에서 로봇은 사용자의 의도를 감지하여 일어서게 되고 이 일어서는 동작이 완료되면 로봇은 **Standing**(서 있는 중) 상태가 된다.

로봇의 각 상태들은 위에서 설명한 것처럼 각 상태 별로 동작을 가지고 있다. 각 상태의 동작을 모델링 하기 위해 로봇의 세부 상태를 정의하였다. 위의 로봇의 상태에서 세부 상태를 가지고 있는 상태들은 로봇의 동작 중을 의미하는 **Standing Up**, **Walking**, 그리고 **Sitting Down** 상태이다. **Stopping** 상태의 경우 사용자의 의도를 감지하여 이루어진다고 보단 사용자의 버튼 누름 등으로 이루어지기 때문에 의도감지에서 상세 내용을 표현하지는 않는다. 각 상태들의 세부 상태는 사람들이 로봇을 착용하고 각 행동을 보이는 것으로부터 정의 되었다. **Walking**, **Standing Up** 그리고 **Sitting Down**의 세부 상태 내용은 다음과 같이 정의하였다.

우선 보행 상태는 그림 4과 같이 6개의 세부상태를 가지도록 모델링 하였다. 우리는 보행보조 재활로봇을 위해 사람의 보행을 3가지로 분리하였는데 이는 첫 걸음, 계속 걸음 그리고 마지막 걸음이다. 이와 같이 보행을 3가지로 분리한 이유는 각 걸음마다 사람의 엉덩이와 무릎관절의 시작과 마지막 각도가 다르기 때문이다. 이는 각각 왼쪽, 오른쪽 각각 3개씩 로봇이 총 6개의 걸음 걸이 패턴을 가짐을 의미한다. 그림 4의 각 상태의 의미는 다음과 같다.

- **Ready to Walk**: 사용자가 걸음을 준비하는 상태.
- **First Step Walking**: 사용자가 첫 걸음을 내딛는 상태
- **Walked**: 걸음 옮기는 행동을 완료한 상태
- **Walking**: 사용자가 계속 걸음을 옮기는 중의 상태
- **Final Step Walking**: 사용자가 마지막 걸음을 옮기는 상태
- **Walking Completed**: 마지막 걸음을 완료한 상태

표 2. 보행 의도 감지 신호 표.

Table 2. Walking intent detection signal.

Transition	Current State	Crutch FSR Sensor	Encoder	Foot FSR Sensor
tr2	Ready to Walk	Crutch On	Position Detection	Mass Center Shift Detection
tr4	Walked	Crutch Off-On	Position Detection	Mass Center Shift Detection
tr6	Walked	Crutch On	Position Detection	Mass Center Shift Detection

로봇의 보행 상태가 **First Step Walking**(첫 걸음), **Walking**(계속 걸음), 그리고 **Final Step Walking**(마지막 걸음)이 되면 로봇은 보행을 시작한다. 이 상태로의 전이를 위해 보이는 사용자의 행동이 사용자의 의도가 되며 이는 그림 2의 tr2, tr4, 그리고 tr6이다. 위의 표 2에서 tr2, tr4, 그리고 tr6에 해당하는 센서들의 신호가 나타나 있다.

보행 상태 전이에 가장 중요한 역할을 하는 신호는 사용자의 중심이동 감지(Mass Center Shift Detection)이다. 로봇의 양쪽 발에 장착된 각각 8개의 FSR 센서를 이용하여 사용자의 중심이 이동하였는지 감지한다. 중심 이동 감지의 방법은 다음 수식과 같다.

$$mfl = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 fl_i \tag{5}$$

$$mfr = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 fr_i \tag{6}$$

$$smfl = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t mfl_i \tag{7}$$

$$smfr = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t mfr_i \tag{8}$$

$$g(mfl, mfr, smfl, smfr) = \left(\frac{mfl - smfl}{smfl} \right) \left(\frac{mfr - smfr}{smfr} \right) \tag{9}$$

$$g(mfl, mfr, smfl, smfr) < -0.04 \tag{10}$$

$$\begin{aligned} mfl - smfl < 0 \\ mfl - smfl > 0 \end{aligned} \tag{11}$$

수식 (5)와 (6)에서 시간 t 에서의 양쪽 각 8개의 FSR 값의 평균을 구한다. 수식 (5)와 (6)에서 구해진 평균값을 가지고 로봇이 기립(**Standing**) 상태에서의 FSR의 평균값을 구한다. 수식 (7)과 (8)에서 구한 기립 상태에서의 평균값을 이용하여 수식 (9)에서 함수 g 의 값을 계산한다. 함수 g 의 결과 값이 -0.04 보다 작다면 사용자의 무게 중심이 왼쪽으로 20퍼센트 이동한 것으로 생각할 수 있다. -0.04 의 값은 다수의 실험을 통해서 도출하였다. 수식 (9)의 값이 0보다 작다면 이는 사용자의 무게 중심이 오른쪽으로 쏠린 것을 의미하며 로봇은 보행하기 위해 왼쪽 다리를 움직일 것이다. 반대로 수식 (11)의 값이 0보다 크다면 이는 무게 중심이 왼쪽으로 쏠린

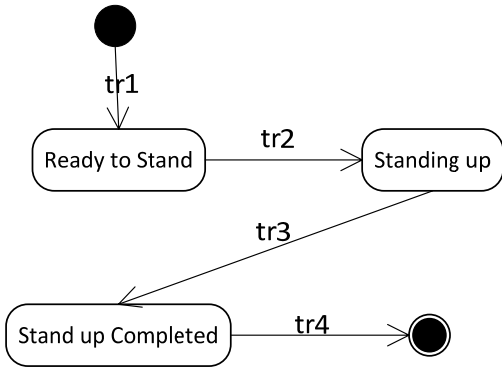


그림 5. 기립 중 상태 모델링 및 전이도.
Fig. 5. States modeling of standing up & state diagram.

것을 의미하고 로봇은 오른쪽 다리를 움직인다. 보행의 경우 발의 FSR 센서를 이용한 중심이동 감지에 의해서 보행이 시작된다면 기타 센서들의 사용자 의도 감지는 보행의 각 걸음을 구분하는데 사용된다. 사용자의 행동이 Crutch On 시그널과 Mass Center Shift Detection이 감지된다면 로봇은 이를 First Step에 대한 의도로 인식하여 첫 걸음을 수행할 것이다.

기립 중 상태는 그림 5와 같이 모델링 하였다. 기립을 위해 3가지의 상태를 정의하였으며 각 상태의 의미는 다음과 같다.

- Ready to Stand: 사용자가 기립을 준비하는 상태
- Standing Up: 로봇이 기립을 하고 있는 중의 상태
- Stand up Completed: 로봇이 기립을 완료한 상태

로봇의 상태가 Standing Up(기립 중)상태가 되면 로봇은 기립을 시작한다. 이를 위해 Ready to Stand(기립 준비)상태에서는 사용자의 의도를 감지하는 로직을 수행한다. 이 로직 수행의 결과가 tr2를 만족한다면 로봇의 상태는 Standing Up으로 전이한다. 아래의 표 3에 tr2를 만족하는 기립 의도 감지

표 3. 기립 의도 감지 신호 표.
Table 3. Standing up intent detection signal.

Transition	Current State	Crutch FSR Sensor	Encoder	Foot FSR Sensor
tr2	Ready to Stand	Crutch On	Position Detection	Foot On

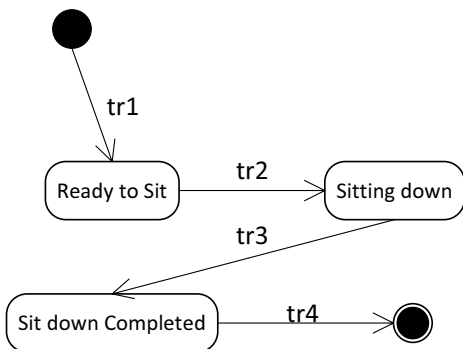


그림 6. 착석 중 상태 모델링 및 전이도.
Fig. 6. States modeling of sitting down & state diagram.

표 4. 착석 의도 감지 신호 표.

Table 4. Sitting down intent detection signal.

Transition	Current State	Crutch FSR Sensor	Encoder	Foot FSR Sensor
tr2	Ready to Sit	Crutch Off-On	Position Detection	Foot On

에 사용되는 신호가 명세 되어 있다.

Ready to Stand상태에서 Standing Up상태로의 전이에 가장 중요한 신호는 Crutch On이다. Crutch On 신호는 양쪽 목발에 장착된 FSR 센서의 값이 80을 넘으면 신호가 들어오게 된다. 양쪽 발의 FSR 센서의 신호가 Foot On을 의미하고 있을 때, Crutch On 신호가 검출된다면 로봇은 즉시 Standing Up상태로 전이하고 일어서게 될 것이다. Foot On 신호는 사용자의 무게가 발 바닥에 실리는지를 판단하기 위한 신호로 Foot FSR 값의 평균이 양쪽 모두 120을 넘으면 Foot On 신호를 반환하도록 하였다.

착석 중 상태는 그림 6과 같이 3가지의 상태로 모델링 하였다. 각 상태의 의미와 전이 신호는 다음과 같다.

- Ready to Sit: 착석 준비 상태
- Sitting down: 착석 중인 상태
- Sit down Completed: 착석 완료 상태

착석의 경우 위에서 설명한 기립 의도 감지와 유사하다. 다만 Sitting Down 상태로의 전이를 유발하는 tr2의 조건이 기립과 다르다. 상세한 tr2의 내용은 위의 표 4에서 확인할 수 있다.

Ready to Stand(착석 준비)상태에서 Sitting down(착석 중) 상태로 전이를 결정하는 신호는 Crutch Off-On 신호이다. 이 신호는 사용자가 목발을 들었다가 다시 땅에 내려 놓는 경우 (FSR > 80)에 발생하게 된다. 이 경우에도 발의 FSR 값은 Foot On 시그널을 반환해야 로봇이 동작할 것이다.

IV. 실험

본 논문에서 제안한 사용자 보행의도 감지 알고리즘을 재활보행 보조로봇 ROBIN에 적용하여, 일반인 실험으로 검증

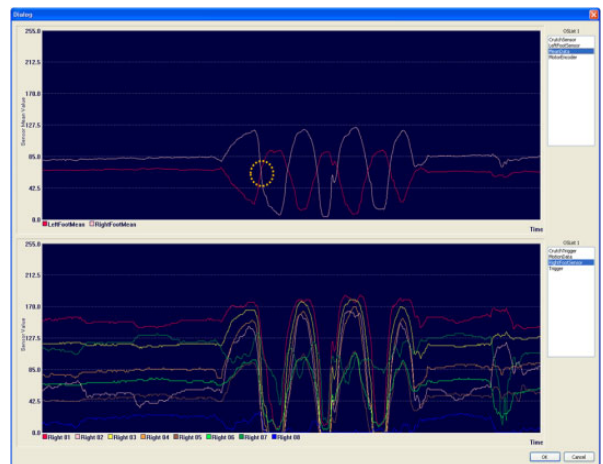


그림 7. 무게 중심 이동 감지 및 발 FSR 센서 데이터.
Fig. 7. Mass center shift detection & data of foot FSR.



그림 8. 일반인 보행 의도 감지 실험.

Fig. 8. Experiment of walking intent detection.

하였다. 그림 7에서와 같이 양쪽 발의 FSR 센서 값의 변화 추이를 살펴보면 원으로 표시한 부분에서 중심이동이 일어남을 감지하였다. 또한 그림 8에서 볼 수 있듯 본 논문에서 제안하는 알고리즘과 센서 시스템을 이용하여 보행을 하는 것을 확인 하였다.

V. 결론

본 논문에서 일상 생활용 보행보조 재활로봇의 의도감지 문제에 대해 고찰하고 이 문제를 해결하기 위한 센서시스템 구성과 사용자 의도감지 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘과 센서 시스템을 통해 재활 로봇이 사용자의 의도를 감지하여 보행, 기립, 착석 등의 기본 동작을 하는 것을 검증 하였다. 현재 단계에선 정상인이 로봇을 착용하고, 보행, 기립, 착석 등의 의도를 감지하여 로봇이 작동하는 것을 확인 하였으나 향후 실제 하체마비 환자를 대상으로 본 알고리즘의 유효성을 검증하고, 실제 일상 생활에서 사용하기 위해 계단 오르기, 계단 내려오기, 방향 전환하기 등의 의도감지 기법을 연구할 계획이다.

참고문헌

- [1] G Colombo, M. Joerg, R. Schreier, and V. Dietz, "Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 37, no. 6, 2000.
- [2] J. F. Veneman et al., "Design and evaluation of the Lopes exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation," *Neural Systems And Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions On Rehabilitation Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 379-386, Sep. 2007.
- [3] D. J. Reinkensmeyer, et al, "Tools for understanding and optimizing robotic Gait Training," *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 43, no. 5, pp. 657-670, 2006.
- [4] S. Hesse and D. Uhlenbrock, "A mechanized gait trainer for restoration of gait," *Journal of rehabilitation research & development*, vol. 37, no. 6, pp. 701-708, 2000.
- [5] H. Schmidt, S. Hesse, R. Bernhardt, and J. Kruger, "Haptic Walker-a novel haptic foot device," *ACM Transactions on Applied Perception*, vol. 2, no. 2, pp. 166-180, Apr. 2005.
- [6] "Autoambulator" [Online]. Available: <http://www.autoambulator.com>
- [7] H. Kawamoto and Y. Sankai, "Power assist system hal-3 for gait disorder person," *Proc. of International Conference on Computers for Handicapped Persons*, vol. 2398, pp. 196-203, 2002.



정 준 영

2006년 세종대학교 컴퓨터공학과(공학사). 2007년~현재 과학기술연합대학원대학교 지능형로봇공학 석·박사통합 과정 재학 중. 관심분야는 인공지능, 소프트웨어 컴퓨팅 및 재활로봇.



박 현 섭

1984년 서울대학교 기계설계공학과(공학사). 1986년 한국과학기술원 생산공학(박사과정 조기진학). 1989년 한국과학기술원 생산공학과 (공학박사). 1983년~2006년 삼성전자. 2006년~현재 한국생산기술연구원 수석연구원. 관심분야는

로보틱스 및 재활로봇.



이 덕 연

2003년 명지대학교 정보공학과(공학사). 2007년 한양대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사). 2009년~현재 한국생산기술연구원. 관심분야는 Exo-skeleton, 및 Motion control.



장 인 훈

1993년 중앙대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 1999년 동 대학원(공학석사). 2010년 동 대학원(공학박사). 2009년~현재 한국생산기술연구원 선임 연구원. 관심분야는 Exo-skeleton 및 확률 이론에 기반을 둔 Machine Learning.



이 동 옥

2000년 중앙대학교 제어계측학과(공학박사). 2002년~2004년 중앙대학교 정보통신연구원 연구교수. 2004년~2005년 THE Univ. of Tennessee 박사 후 연구원. 2005년~현재 한국생산기술연구원 선임 연구원. 관심분야는 진화연산, 안드로

이드 및 감성모델.



이 호 길

1980년 한양대학교 기계공학과 졸업. 1986년 오사카대학교 제어공학과(공학석사). 1989년 오사카대학교 로봇공학과(공학박사). 1989년~1991년 교토 고도기술연구소. 1991년~현재 한국생산기술연구원 수석연구원. 관심분야는 로보틱스

및 안드로이드.