

보행보조로봇의 속도 제어를 위한 보행주기 검출 방법 연구

A Study on Gait Cycle Detection Method for Speed Control of Walking Assistant Robot

저자 (Authors)	정순준, 엄수홍, 장문석, 이응혁 S. J. Jeong, S. H. Eom, M. S. Jang, E. H. Lee
출처 (Source)	한국재활복지공학회 학술대회 논문집 , 2011.11, 175-178 (4 pages)
발행처 (Publisher)	한국재활복지공학회 Rehabilitation Engineering And Assistive Technology Society of Korea
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01826985
APA Style	정순준, 엄수홍, 장문석, 이응혁 (2011). 보행보조로봇의 속도 제어를 위한 보행주기 검출 방법 연구. 한국재활복지공학회 학술대회 논문집, 175-178.
이용정보 (Accessed)	강남대학교 223.194.***.112 2018/10/27 22:31 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

보행보조로봇의 속도 제어를 위한 보행주기 검출 방법 연구

정순준, 엄수홍, 장문석, 이웅혁
한국산업기술대학교 전자공학과

A Study on Gait Cycle Detection Method for Speed Control of Walking Assistant Robot

S. J. Jeong, S. H. Eom, M. S. Jang and E. H. Lee

Department of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University

soonjoon86@gmail.com

ABSTRACT

선행 연구된 보행보조로봇의 속도 제어방법은 사용자가 직접 조작을 하기 때문에 잘못된 조작으로 인하여 주행속도가 급격히 증가하는 위험이 있다. 따라서 본 논문은 사용자의 보행 속도에 따라 보행보조로봇의 속도를 능동적으로 가변하기 위한 사용자의 보행주기 검출 방안 및 로봇과의 속도 동기화 방안을 제안한다. 사용자의 보행시 나타나는 족압 패턴을 이용하여 보행주기와 시간을 검출하는 센서 모듈을 개발하고, 모듈에서 검출된 값으로 보행보조로봇이 능동적으로 속도를 가변하도록 하였다. 센서모듈은 FSR센서를 사용하였다. 실험결과 센서 모듈의 보행검출 정확도는 평균 95%이고, 사용자의 보행 속도와 보행보조로봇의 속도 동기율은 평균 93%를 보였다.

서 론

의료 기술의 발달과 저출산 현상으로 우리나라 65세 이상 고령 인구 비율은 해마다 급속도로 높아지고 있다. 이런 현상에 따라 최근 고령자의 기본적인 삶을 지원하는 기술이 주목을 받기 시작하고 있다[1].

고령자는 신체 노화로 인해 근력이 감소하여 일상생활에 많은 어려움을 겪게 된다. 그 중 하지 근력의 저하는 보행행위를 어렵게 하는 요소이다[2].

최근 보행에 어려움을 겪는 고령자를 보조하는 수단으로 수동형 보행보조기구, 보행보조차 이용이 일반화 되고 있다. 그러나 이러한 수동형 보조 기구들은 사용자가 직접 밀어서 이동해야 하기 때문에 보행에 필요한 힘 외에 추가적인 힘이 더 가해져야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 보행보조로봇의 연구가 진행되고 있고 상용화 직전까지 이르고 있다.

현재 연구된 보행보조로봇의 주행 속도 결정은 사용자 손의 악력이나 핸들바에 의지하는 힘에 따라 보행보조로봇의 속도가 가변되는 형태이다. 이러한 방법은 사용자의 잘못된 조작으로 인하여 오작동을 일으켜 사용자의 안전에 문제가 생길 수 있다. 따라서 본 논문은 사용자의 보행주기와 시간을 검출하여, 사용자의 보행속도에 따라 보행보조로봇의 속도를 결정하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 1장에서는 제안하는 보행주기 검출을 위한 기법을 기술하고 2장에서는 보행보조로봇의 속도제어 방법, 3장에서는 제안하는 방법의 실험 및 결과를 보이고, 마지막에 결론과 향후 연구 방안에 대해 서술한다.

본 론

1. 센서 모듈과 보행주기 검출 방법

사용자의 보행 속도를 이용한 보행보조로봇의 속도 제어를 위해서는 먼저 사용자의 보행을 분석하여 보행주기 및 패턴을 검출 하여야 한다. 보행주기는 크게 입각기(stance)와 유각기(swing)로 나뉘는데 입각기는 보행주기 중의 발이 지면에 닿아있는 시기이고, 유각기는 보행주기 중의 발이 지면에서 떨어져 있고 스윙에 의해서 다리가 앞으로 가져가 있는 시기를 말한다. 입각기와 유각기는 그림 1과 같이 8개의 세분화 단계로 나누어지고, 일반적으로 6:4의 비율을 가지고 있다[3].

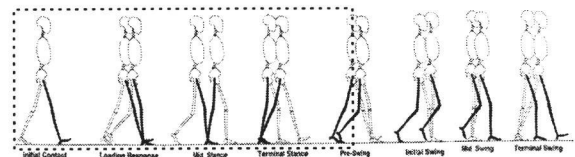


그림 1. 보행 주기 8단계

선행 연구된 보행주기 검출 방법은 족저부에 다수의 FSR(Force Sensing Resistor)를 어레이형태로 배열하여 족저압의 분포를 모니터링하는 방법[4]과 가속도 센서, 자이로스코프센서, 비전 시스템 등을 융합한 보행주기 검출 방법이 있다[5][6]. 이러한 방법들은 정밀한 보행 주기와 족압 검출과 모니터링이 가능하지만, 사용공간이 제한되고 모니터링 장비가 따로 존재하기 때문에 보행보조로봇의 속도를 제어하기 위한 장치로는 적합하지 않다. 본 논문의 보행주기 검출을 위한 센서 모듈은 로봇의 속도를 가변하기 위한 보행주기 검출과 입각기 패턴 판별에 필요한 최소의 센서 개수로 구성하였다. 센서 개수와 배치에 대한 설명은 1.1절에서 하기로 한다.

보행주기 검출 방법은 센서 모듈에서 족저부에 가해지는 압력과 시간을 측정하여 사용자의 보행

입각기를 판단하고, 이것을 기반으로 보행보조로봇의 속도를 가변 한다.

1.1 보행주기 검출을 위한 센서모듈

보행주기 검출을 위한 센서모듈은 FSR 센서를 사용하였다. 센서의 개수와 위치는 기존의 계측장치를 이용한 보행 분석방법 중 발 스위치 시스템(foot switch system)과 발바닥의 기계 수용기(mechanoreceptor) 분포를 토대로 정하였다. 발 스위치 시스템은 그림 2와 같이 발꿈치, 제 5중족골두, 제 1중족골두, 엄지발가락에 스위치를 달아 발바닥의 특정 부분이 지면에 닿고 있는 시간을 계측하고 그것을 토대로 보행주기의 특징을 나타내는 시스템이고, 발바닥의 기계 수용기는 발바닥의 3개의 주된 하중 지지영역(발꿈치, 외측 중족부, 전족부)에 분포하여 발바닥의 압력변화를 감지하는 감각 수용기이다[3].



H = 발꿈치, 5 = 제 5중족골두
1 = 제 1중족골두, T = 엄지발가락

그림 2. 발 스위치 시스템

이를 바탕으로 센서 모듈의 FSR 센서 개수는 5개로 결정하였고, 그림 3과 같이 센서를 배치하였다. 센서는 신발 안쪽에 장착하여 족저부 압력을 계측한다. 모듈의 주 프로세서는 ATmega128L 마이크로컨트롤러를 사용하였고, 무선으로 보행보조로봇에 계측된 데이터를 전송하기 위하여 블루투스를 이용하였다.

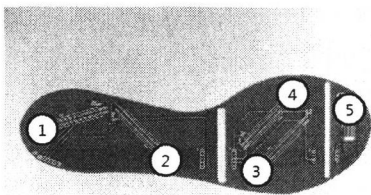


그림 3. FSR 센서의 배치

1.2 보행주기 검출

사용자의 보행주기 검출은 기본적으로 족저부의 압력 변화를 계측하여 감지한다. 입각기의 세부 단계 판별은 발바닥의 접촉 패턴을 이용한다. 그림 4는 입각기의 세부 단계인 '부하 반응기(load response)', '중간 입각기'(mid stance), '말기 입각기'(terminal stance)', '전유각기(pre-swing)' 때의 발바닥 접촉 패턴을 보여주고 있다.

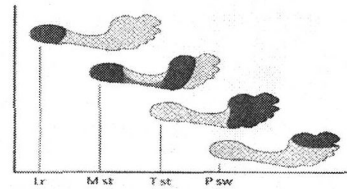


그림 4. 보행시의 발바닥 접촉 패턴

그림 4와 그림 3을 기준으로 부하 반응기에는 센서 1번에서 가장 많은 압력을 받게 되고, 중간 입각기에는 센서 1번, 3번, 4번, 말기 입각기에는 센서 3, 4, 5번에 압력을 많이 받게 되며, 입각기에서 유각기로 넘어가는 단계인 전유각기에서는 센서 4번과 5번에 많은 압력을 받게 된다.

족압 패턴에 의한 보행주기 단계를 판별하기 전, 먼저 식 1과 같이 일정시간 서있는 동안에 측정된 족저부 압력의 평균값을 입각기 세부단계를 판별하는 임계값으로 설정한다. 설정된 임계값과 보행시 임계값을 넘는 센서 번호를 찾아 입각기의 상태를 판별하고 그 기준은 표 1에 제시하였다.

$$P_{threshold} = \frac{\sum_{i=1}^{cnt} (\sum_{n=1}^5 P_{sn} \times \frac{1}{5})_i}{cnt} \quad (1)$$

$P_{threshold}$ = 임계 압력값

P_{sn} = n번 센서의 압력값

cnt = 일정시간 주기로 세어진 횟수

표 1. 입각기의 세부 단계 판별 기준

입각기의 상태	판별 기준
부하 반응기	$P_{threshold} > P_{s1}$
중간 입각기	$P_{threshold} > P_{s1}, P_{s2}, P_{s3}, P_{s4}$
말기 입각기	$P_{threshold} > P_{s3}, P_{s4}, P_{s5}$
전유각기	$P_{threshold} > P_{s4}, P_{s5}$

입각기 시간은 식 2와 같이 부하 반응기 시점부터 전유각기 시간까지를 측정하고, 유각기 시간은 식 3과 같이 n번째 부하 반응기 도달시간부터 n+1번째 부하 반응기 도달시간까지 누적된 시간에서 입각기 시간을 빼주면 유각기 시간을 도출할 수 있다.

$$T_{STANCEn} = t_{Tsn} - t_{LRn} \quad (2)$$

T_{STANCE} = n번째 보행 입각기 시간

t_{Tsn} = n번째 전유각기 도달 시간

t_{LRn} = n번째 부하 반응기 도달 시간

$$T_{SWINGn} = (t_{LR(n+1)} - t_{LRn}) - T_{STANCEn} \quad (3)$$

T_{SWINGn} = n번째 보행 유각기 시간

$t_{LR(n+1)}$ = n+1번째 부하 반응기 도달 시간

2. 보행보조로봇과 동기화

보행보조로봇과 사용자의 이동이 동기가 되기 위해서는 사용자의 속도와 보행보조로봇의 속도측정이 필요하며 지속적으로 로봇의 속도를 측정하여 사용자 속도에 비해 속도가 빠를 경우 로봇의 속도를 감소시키고, 느릴 경우에는 속도를 증가시켜 보행보조로봇의 이동속도가 사용자의 속도에 최대한 맞춰져야 한다. 보행보조로봇의 속도제어는 구동기에서 PID제어를 통해 이루어지며 PID의 피드백 값으로 속도 측정값을 사용한다. 보행보조로봇의 속도 측정은 식 4와 같다.

$$V_{vehicle} = N_{gear} \times M_{RPS} \times L_{wheel} \quad (4)$$

$V_{vehicle}$ = 엔코더로 측정된 로봇 속도

N_{gear} = 기(감)속기 기어비

M_{RPS} = 바퀴 초당 회전수(1S 동안 엔코더 Z상 카운터 개수)

L_{wheel} = 바퀴의 둘레

사용자와 보행보조로봇의 동기율은 식 5와 같이 도출하였다.

$$Sync_rate = 100 - \left(\left(\frac{|V_{user} - V_{vehicle}|}{t_{1step}} \right) \times 100 \right) \quad (5)$$

$Sync_rate$ = 사용자와 보행보조로봇의 이동속도 동기율

V_{user} = 사용자의 보행 속도

t_{1step} = 사용자의 보행주기(1step) 시간

3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 기법을 검증하기 위해 보행보조로봇과 보행 센서모듈을 이용하였다. 검출된 주기 시간은 블루투스통신을 사용해 보행보조로봇 제어기의 속도 제어 값으로 사용하였다. 보행보조로봇의 속도는 로봇에 장착되어 있는 엔코더를 통하여 측정하였다. 실험에 사용된 하드웨어의 외관은 그림 5와 같다.

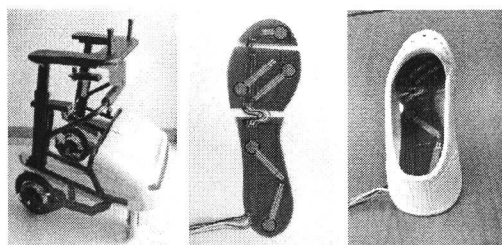


그림 5. 구현된 하드웨어

3.1 센서모듈 실험

센서모듈을 가지고 두 가지 실험을 실시하였다. 먼저 첫 번째 실험은 보행 시 족저부 압력을 계측한 값으로 입각기 세부단계가 판별 가능한지 살펴본다. 실험방법은 한발에 센서모듈을 장착하여 자연스럽게 보행한다. 보행시 계측된 센서모듈의 값을 그래프로 나타내어 입각기 세부단계를 나누었다. 그림 6은 사용자가 보행 시 센서 모듈에 측정된 족저부 압력 값을 그래프로 나타낸 그림이다.

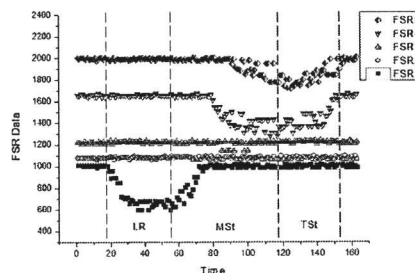


그림 6. 입각기 단계 구분

실험결과 개발된 센서 모듈은 부하반응기, 중간입각기, 말기 입각기를 판별할 수 있었다.

두 번째 실험은 센서모듈이 보행횟수를 검출할 수 있는지 검증하기 위한 실험을 실시하였다. 실험방법은 보폭이 약 35cm인 사용자가 양발에 센서모듈을 장착하고 50보씩 걷는 방법으로 3회 실시하였다. 각각의 회마다 보행속도를 달리하여 보행횟수와 보행주기 시간을 검출하였다. 실험 결과는 표 2와 같으며 보행 검출 정확도는 평균 95%로 나타났다.

표 2. 보행 횟수 및 보행 주기 검출 결과

	보행횟수	측정된 보행횟수	검출 정확도	보행주기 (1step)
1회	50	49	98%	2.5s
2회	50	48	96%	1.6s
3회	50	46	92%	0.9s

3.2 보행보조로봇과 사용자의 이동 동기 실험

보행보조로봇과 사용자간의 이동 동기 검출은 보행보조로봇의 사용자가 고령자라는 점과, 사용 환경이 실내 평탄지형임을 전제로 하고 센서모듈 실험과 마찬가지로 보폭이 약 35cm인 사용자가 양발에 센서모듈을 장착하고, 보행보조로봇을 사용하여 50보를 걷는 방법으로 3회 실시하였다. 실험 결과는 표 3과 같으며 평균 동기율은 약 93%를 보였다.

표 3. 보행 속도와 보행보조로봇의 속도 동기율

	보행횟수	보행주기 (1step)	로봇속도	동기율
1회	50	2.5s	0.25m/s	96.4%
2회	50	1.6s	0.33m/s	92%
3회	50	0.9s	0.52m/s	91.2%

결 론

본 논문은 사용자의 보행 속도에 따라 보행보조로봇이 속도를 능동적으로 가변하기위해 사용자의 보행주기 검출 및 로봇과의 속도 동기화 방안을 제안하였다. 이를 위해 족저부 압력을 이용한 보행주기 검출 센서 모듈을 개발하였으며 제안된 센서 모듈은 소수(5개)의 FSR센서로 구성하였고, 입각기 때 족저부의 압력패턴으로 보행주기를 구분하도록 하였다.

그 결과 사용자의 보행횟수와 입각기 시간을 검출 할 수 있었으며, 그 값을 보행보조로봇의 이동 속도 가변에 활용할 수 있었다. 실험 결과 센서모듈 자체의 보행 횟수 검출은 평균 약 95%의 정확성을 보였다. 또, 개발된 센서모듈과 보행보조로봇을 이용한 사용자 보행속도와 보행보조로봇의 속도 동기율 실험에서는 약 93%의 일치율을 보였다.

본 논문의 제안은 보행보조로봇을 좀 더 안전하고 효과적으로 제어하기 위한 방법이며, 향후 센서의 재배치, 다른 종류의 센서와의 융합, 정밀한 패턴 검출과 센서값에 따른 모터제어 방법 보완, 보행 모니터링 어플리케이션 개발 등의 과정을 거쳐 단순 보조기구의 제어 방법이 아닌 하나의 개인용 재활 보행훈련 솔루션으로 활용할 수 있겠다.

Acknowledgements

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음“ (NIPA-2011-(C6150-1102-0001))

참고문헌

- [1] 전경진, “실버공학기술개발”, 한국정밀공학회, 제21권 제1호, pp.11-16, 2004.1.
- [2] 전경희, “노인생활실태 및 복지요구조사”, 한국보건사회연구회, 보건복지포럼, pp.50-56, 2005.3.
- [3] Kirsten Götz-Neumann, “Gehen verstehen. Ganganalyse in der Physiotherapie,” German:Thieme, December 1, 2002.
- [4] 이상룡, 허근섭, 강오현, 이춘영, “족압패턴에 의한 보행보조기를 위한 입각기 감지기법”, 제어·로봇시스템학회, 제17권, 제3호, pp.223-228, 2011.3.
- [5] Bamberg, S, et al., “Gait Analysis Using a Shoe Integrated Wireless Sensor System,” Information Technology in Biomedicine, Vol.12, Issue.4, pp.413-423, July 2008.
- [6] M. Kadaba, et al., “Measurement of lower extremity kinematics during level walking,” Journal of orthop. Res., Vol.10, pp.383-392, 1990.