

새로운 팔 스윙 보행 패턴 기반 보행 안전 시스템

A New Arm Swing Walking Pattern-based Walking Safety System

이 경 민* · 인 치 호**

* 주저자 : 세명대학교 컴퓨터학부 박사과정

** 교신저자 : 세명대학교 컴퓨터학부 교수

Kyung-Min Lee* · Chi-Ho Lin**

* School of Computer Science. Univ of Semyung.

** School of Computer Science. Univ of Semyung.

† Corresponding author : Chi-Ho Lin, ich410@semyung.ac.kr

Vol.19 No.6(2020)

December, 2020

pp.88~95

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.6.88>

2020.19.6.88

Received 29 June 2020

Revised 23 July 2020

Accepted 19 November 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

본 논문에서는 고령 보행자의 안전한 보행을 위한 새로운 팔 스윙 보행 패턴 기반 보행 안전 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 스마트 밴드, 스마트 워치 등 햅틱 기반의 디바이스를 활용한 고령 보행자용 보행 안전 시스템으로 기존의 하지 운동의 보행 패턴으로 보행자의 낙상 상황을 인지하기 어려운 문제점을 해결하기 위해 팔 스윙 기반의 보행 패턴을 활용한다. 팔 스윙 기반 보행 패턴은 디바이스의 가속도 센서를 이용한 팔의 스윙을 통해 걸음 수 및 보행자의 낙상 상황을 인지하며 낙상 상황이 발생하는 위치를 데이터베이스화하여 고령 보행자에게 낙상 발생 예상 위치 근처를 보행할 시 경고 메시지를 전달하여 고령자에게 보행 안전을 제공한다. 이러한 시스템을 통해 고령자의 안전한 보행 권리 및 환경 개선할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : IoT, 고령자, 스마트 워치, GIS, 보행 주기

ABSTRACT

In this paper, we propose a new arm swing walking pattern-based walking safety system for safe walking of elderly pedestrians. The proposed system is a walking safety system for elderly pedestrians using haptic-based devices such as smart bands and smart watches, and arm swing-based walking patterns to solve the problem that it is difficult to recognize the fall situation of pedestrians with the existing walking patterns of lower limb movements. Use. The arm swing-based walking pattern recognizes the number of steps and the fall situation of pedestrians through the swing of the arm using the acceleration sensor of the device, and creates a database of the location of the fall situation to warn elderly pedestrians when walking near the expected fall location. It delivers a message to provide pedestrian safety to the elderly. This system is expected to improve the safe walking rights and environment of the elderly.

Key words : IoT, Elderly, Smart watch, GIS, Gait Cycle

I. 서 론

1. 개요

우리나라는 2000년 고령화 사회에 진입한 이래 고령자 인구가 지속해서 증가하였다. 일반적으로 65세 이상의 인구비율이 전체 인구의 7%를 넘어서면 사회를 ‘고령화 사회’라고 하며 14%를 넘어서면 ‘고령사회’라고 한다. 통계청(Statistical Geographic Information Service System DB, 2020)에 따르면 2008년 65세 이상 노령인구는 498만 명에서 지속해서 증가해 현재는 약 800만 명에 도달하여 전체 인구의 15.4%로 ‘고령사회’에 진입하였으며 2038년에는 2008년의 3.3배인 1,683만 명이 될 것으로 전망하고 있으며, 이러한 증가세는 2040년에 이르러서야 둔화할 것으로 예상할 수 있으나, 긍정적으로 생각할 수 없다. 이처럼 노령인구가 증가하여 ‘초고령사회’가 다가오는 지금 고령사회가 가속될수록 고령자의 이동과 사회 참여에 대한 욕구가 점점 더 커지고 고령자의 사회활동 영역과 범위도 확대될 것이며, 그에 따른 여러 가지 사회적 문제가 발생할 것이다.

특히 고령자에게 보행사고(Ball and Owsley, 2000)는 사고의 정도의 차에 상관없이 생명에 직결될 정도로 매우 중요하다. 고령자(Roh et al., 2015)는 근력 저하, 백내장, 녹내장, 황반변성과 같은 안과 질환으로 좁아진 시야, 느려진 반응 속도, 뼈의 밀도 저하 등 신체기능 저하로 고령자 눈높이에서 보행 환경은 지뢰밭으로 보일 수 있다. 이런 고령자의 신체기능 저하에 따른 도로 시설 개선 방안으로는 고령자를 위한 보행 유효 폭 확대, 고령자용 유도 블록 설치, 차량 속도 저감을 위한 이면도로 바닥 재질과 색 바꾸기 등을 실행하고 있으나, 고령자에게 적합한 생활공간 속 ‘각도’와 ‘높이’, ‘시간’ 등에 대한 인식 개선 및 도로별 보행 환경 평가에 필요한 데이터가 부족하다.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2011)에서 보행 환경 평가는 또 다른 말로 보행 만족도라고 할 수 있다. 보행 만족도는 ‘보행로면’, ‘차로면’으로 크게 구분할 수 있고, 각 면을 구성하는 물리적 구성요소 중 보행자의 만족도에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 불법 주·정차 차량, 보도 포장 상태, 가로등, 차로와 보도와의 단차 등 대체로 보행자가 걸을 때 이동성 및 보행의 안전에 관련한 요소를 통한 복합적인 보행자 보행 만족도 즉, 보행 환경 평가를 할 수 있다. 그러나, 보행 환경 평가(Kim and Lee, 2016)를 추정하기 위해서는 보행공간을 분리하여 분석하기 때문에 다양한 보행 패턴을 가진 보행자들의 보행 환경 평가를 하기 어렵다(Im and Kim, 2020). 보행자의 보행 패턴은 생물학적, 운동 역학적, 성장 과정 등을 통해 보행 패턴이 다르다. 따라서 보행자 중심에서 보행 환경을 평가할 때 각 보행자의 보행 패턴을 고려하는 보행 환경 평가가 필요하다. 보행자 중심 보행 환경 평가는 ‘보행로면’, ‘차로면’의 요소들을 중심으로 평가하며, 특히 보행 공간 속에 장애물로 인한 보행자의 낙상 발생 여부를 통해 ‘보행로면’ 요소들을 평가할 필요가 있다. 보행자 중심 보행 환경 평가를 하기 위해서는 센서를 활용한 운동 역학적 보행 분석을 통한 안전한 보행 환경을 제공이 필요하다.

Arcolin et al.(2019)의 운동 역학적 관점에서 일반적인 보행자의 보행은 안정적인 직립 상태를 유지하면서 신체를 이동시키는 하지의 동작들이 일률적으로 반복되는 것을 말한다. 반복되는 동작이 계속되므로 반복되는 일련의 기본 동작을 “주기(cycle)”의 개념으로 볼 수 있고 이를 보행 주기(gait cycle)라 한다. 보통 보행 주기의 시작과 끝을 나누는데 발이 땅에 붙는 시점, 땅에서 떨어지는 시점, 허공을 가로지르고 있는 시점 등이 있으며, 일반적으로 한쪽 발뒤꿈치에서 다른 쪽 발뒤꿈치가 지면에 닿는 동작을 지나 같은 쪽 발뒤꿈치가 지면에 닿는 동작까지를 보행 주기라고 한다. Ryu U. J et al (2013)와 Dong ho Ka et al(2019)에서 하지 동작 패턴 기반의 보행 주기 추정 방법은 족부 스위치(foot switch)나 힘판(force plate)을 이용하여 발이 땅에 닿는 시점을 통한 모션 센서 기반 보행 주기 추정과 가속도 센서와 자이로스코프 센서를 활용한 위치 에너지와 운

동 에너지 측정 기반 보행 주기를 추정하는 방법이 있다. 그러나 이러한 하지 동작 패턴 기반의 보행 주기 추정을 통한 보행 환경 평가는 ‘낙상’ 또 ‘발 걸림’이라는 상황 발생을 인지하기 어려워 팔의 움직임 변화를 측정하여 보행 자세 분석을 통한 보행자의 보행 안전성을 인지할 필요가 있다.

본 논문에서는 고령 보행자의 안전한 보행을 위한 새로운 팔 스윙 보행 패턴 기반 보행 안전 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 스마트 밴드, 스마트 워치 등 햅틱 기반의 디바이스를 활용한 고령 보행자용 보행 안전 시스템으로 기존의 하지 운동의 보행 패턴으로 낙상과 같은 이상 상황을 인지하지 못 하는 문제를 해결하기 위해 팔 스윙 기반의 보행 패턴을 활용한다. 팔 스윙 기반 보행 패턴은 디바이스의 가속도, 자이로스코프 센서를 이용한 팔의 스윙을 통해 걸음 수 및 보행자의 낙상 상황을 인지하며 낙상 상황이 발생하는 위치를 데이터베이스화하여 고령 보행자에게 낙상 발생 예상 위치 근처를 보행할 시 경고 메시지를 전달하여 고령자에게 보행 안전을 제공한다. 논문의 구성은 센서를 통한 보행 주기 및 낙상 및 발 걸림 상황의 센서 데이터 변화를 측정하는 방법과 고령 보행자를 위한 낙상 발생 지역의 위치 데이터 수집과 위험 알림 메시지 전송을 위한 보행 안전 시스템 대하여 설명한다.

II. 새로운 팔 스윙 보행 패턴 기반 보행 안전 시스템

본 논문에서는 보행자의 운동 역학적 보행 패턴 분석 기반의 보행 안전 정보를 제공하기 위해 기존의 하지 동작 패턴 기반의 보행 분석과 다른 새로운 연구방법론인 팔 스윙(*arm swing*) 기반 보행 패턴 분석을 활용하였다. 일반적인 보행 분석은 보행자가 센서 및 카메라와 같은 장비를 착용하고 수집된 데이터를 기반으로 보행자의 자세 및 에너지 소비율 등 보행 패턴을 분석할 수 있다. 또 다른 방법은 스마트 폰을 활용하여 데이터 수집하는 간단한 방법의 센서 기반 보행 분석을 한다. 그러나, 제안하는 시스템은 ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’ 과 같은 상황을 고려하여야 하므로 측정 센서들을 팔에 부착하여 보행 패턴을 분석한다. 팔에 센서를 부착하여 보행 패턴을 분석하는 방법은 보통의 센서 기반의 보행 패턴 분석과 비슷한 측정 데이터를 측정할 수 있으며, 측정된 데이터를 통해 보행 패턴 분석에 필요한 요소들을 측정할 수 있으며, ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’ 상황 발생 시 보행자는 일반적으로 팔을 통해 자세를 바로잡으려고 하므로 ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’ 시 팔의 움직임 변화를 통해 ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’ 상황을 고려할 수 있다.

1. 보행 주기 측정 방법

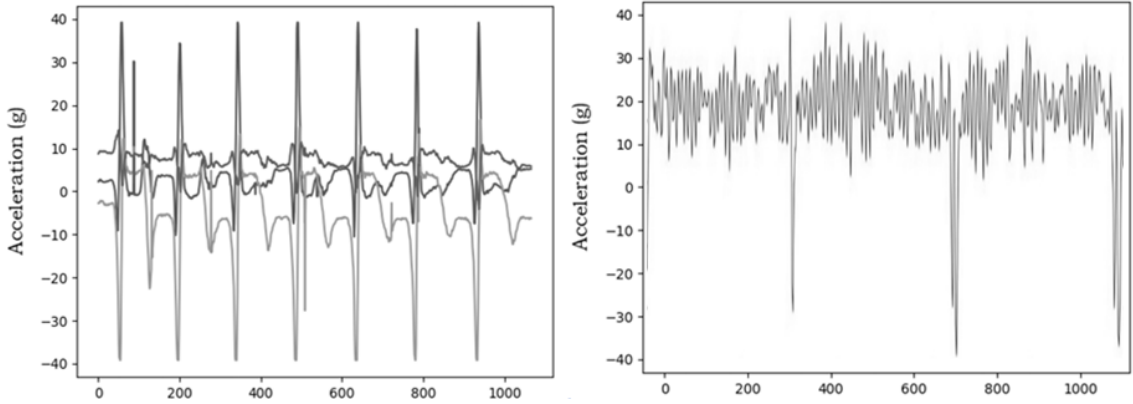
제안하는 시스템의 보행 주기 측정 방법은 팔 스윙을 통한 보행 주기 측정으로 팔이 골반 뒤에서 시작하여 골반을 지나 팔의 스윙이 끝난 시점 *zero swing*까지의 팔 스윙 운동 에너지 통해 측정된다. 이를 측정하기 위해 3축 가속도 센서를 활용하며, 3축 가속도 센서는 속도의 변화가 발생할 경우 동적 가속도값을 나타내고, 등속도이거나 멈춰 있을 경우 정적 가속도값을 나타낸다. 이러한 가속도 값을 이용하여 걸음 수, 이동 거리, 운동 에너지를 측정할 수 있다. 3축 가속도 센서의 출력값에 회전성분이 포함되므로 이를 고려하지 않고 하나의 대표값으로 처리하기 위해 식 (1) 과같이 SVM(*Signal Vector Magnitude*)을 적용하여 하나의 에너지 값 (E)으로 변환하였다. 여기서 x, y, z 값은 3축 가속도 센서의 출력 가속도 센서값이다.

$$E = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \dots\dots\dots (1)$$

E: 에너지값

x, y, z: 3축 가속도 센서 출력값

3축 가속도 센서의 x, y, z 값의 대표값 에너지(E)는 <Fig. 1>와 같이 그래프를 통해 측정할 수 있으며, <Fig. 1>의 (a)는 시간에 따른 입력신호로 3축 가속도 센서의 출력값이며 (b)는 식 (1) 를 적용하여 3축 가속도 센서의 x, y, z 값의 대표값 에너지(E)로 변환하여 얻어진 데이터의 그래프이다.

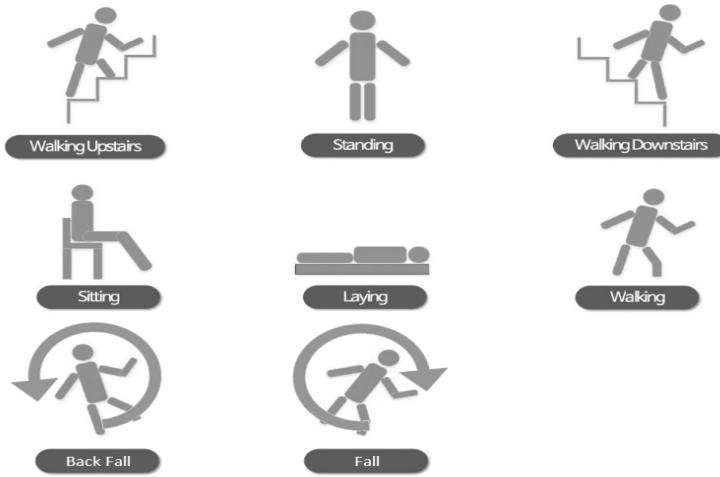


<Fig. 1> The acceleration sensor's x, y, z values and energy (E) values.

이 변환된 값이 특정한 임계치를 지났을 때 zero swing 시점으로 판단하여 걸음 수를 측정한다. 가속도 센서를 활용한 에너지(E) 그래프에 임계값 범위를 설정하여 zero swing을 측정할 수 있다. 팔의 스윙 궤적을 통한 걸음 검출 할 수 있으나, 걸음 검출에 오류가 발생할 수 있다. 오류 발생의 원인은 사람들의 보행 형태는 자세, 보폭, 습관 등 다양하여 스윙 궤적이 적으면 걸음 검출 확률이 낮을 수 있으며, 한쪽 손목의 스마트 위치를 통한 스윙 궤적 측정으로 인한 비대칭 측정이 문제이며, 이런 문제를 해결하기 위해 Ryu et al.(2013)에서는 고정 Peak 임계값을 활용한다. 고정 Peak 임계값이란 에너지값(E) 파형에서 걸음으로 인정하기 위한 최소 Peak 에너지 값으로 고정 Peak 임계값이 작으면 너무 많은 걸음수가 검출되고, 반대로 큰 경우에는 걸음이 적게 검출된다. 따라서 정확한 걸음수를 검출하기 위해서는 걸음 유형에 따른 고정 Peak 임계값이 필요하다. 그러나, 고정 Peak 임계값에 노이즈가 발생되어 검출된 걸음의 진폭 값을 계산하여 정확성을 높이며, 사람마다 보행 패턴이 다른 신체 여건을 고려하여 진폭을 적응적으로 변화하는 가변 진폭 임계값을 적용하여 걸음 측정의 정확성을 높인다.

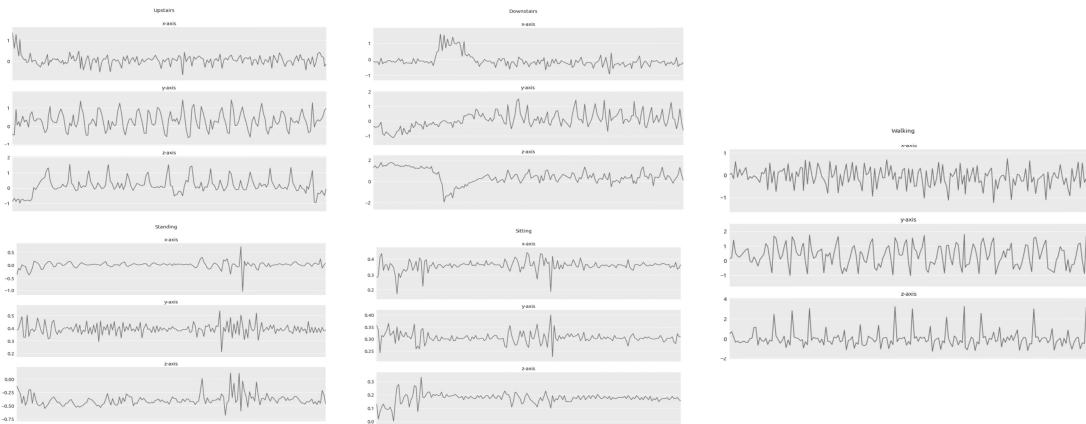
2. 팔의 스윙 기반의 보행 패턴을 통한 ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’ 측정

본 논문은 ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’ 과 같은 보행 패턴을 측정하여 고령 보행자에게 안전보행 환경을 제공한다. 보행자가 보행 시 튀어나온 보도블록, 간판, 패인 보도블록 등 장애물로 인한 ‘발 걸림’ 상황이 발생 시 보행자는 팔을 통해 자세를 바로잡으려 하므로 팔의 움직임에 따른 ‘낙상’ 또는 ‘발 걸림’을 감지할 수 있다. 팔을 움직임은 <Fig. 2>와 같이 구분할 수 있다.



<Fig. 2> Examples of 8 types of walking

팔을 움직임 측정은 <Fig. 2>와 같은 상황에서 가속도 센서의 변화 폭이 급격하게 일어나 센서값을 검출하여 보행자의 환경을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 팔의 움직임을 통한 보행 유형을 8가지로 구분하였으며, 각 유형은 Walking Upstairs, Standing, Walking Downstairs, Sitting, Laying, Walking, Fall, Back Fall로 나뉘며 아래의 <Fig. 3>은 각 보행 유형의 3축 가속도 센서 데이터의 그래프이다.



<Fig. 3> Acceleration graph for each walking type

Ⅲ. 실험 결과 및 분석

제안하는 시스템은 고령자의 안전한 보행 정보를 제공하기 위해 보행자의 스마트 위치의 GPS를 용하여 위성으로부터 현재 보행자의 위치의 위·경도 값을 확인하고, GIS(Geographic Information System) 정보와 팔 스윙 기반의 보행 패턴 데이터를 반영하여 고령자가 낙상 발생 시 지도상에 위치 표시 및 고령 보행자에게 낙상 경고 알림 메시지를 전송하는 시스템으로 <Fig. 4>와 같이 구성한다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 고령 보행자의 안전한 보행을 위한 새로운 팔 스윙 보행 패턴 기반 보행 안전 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 스마트 밴드, 스마트 워치 등 햅틱 기반의 디바이스를 활용한 고령 보행자용 보행 안전 시스템으로 기존의 하지 운동의 보행 패턴으로 보행자의 낙상 상황을 인지하기 어려운 문제점을 해결하기 위해 팔 스윙 기반의 보행 패턴을 활용한다. 팔 스윙 기반 보행 패턴은 디바이스의 가속도 센서를 이용한 팔의 스윙을 통해 걸음 수 및 보행자의 낙상 상황을 인지하며 정확한 인지 성능을 높이기 위하여 센서 데이터의 고정 Peak 임계값과 가변 진폭 임계값으로 통해 검출의 정확성을 높였으며, 이러한 센서 데이터의 패턴을 수집하여 8가지의 보행 유형을 구분하였다. 보행 유형은 Walking Upstairs, Standing, Walking Downstairs, Sitting, Laying, Walking, Fall, Back Fall 나뉘며, 8가지 패턴을 통해 고령 보행자의 낙상 상황이 발생하는 위치를 데이터베이스화하여 고령 보행자의 스마트 워치의 GPS를 용하여 위성으로부터 현재 보행자의 위치의 위·경도 값을 확인하고, GIS(Geographic Information System) 정보와 팔 스윙 기반의 보행 패턴 데이터를 활용하여 고령자가 낙상 발생 시 지도상에 위치 표시 및 고령 보행자에게 낙상 경고 알림 메시지를 전송하는 시스템 구현하였다. 이러한 시스템을 통해 고령 보행자가 낙상 발생 지역 근처를 보행할 시 경고 메시지를 전달하여 고령자에게 보행 안전을 제공한다. 제안하는 시스템을 통해 고령자의 안전한 보행 권리 및 환경 개선할 수 있으며, 시스템을 이용하여 안전한 보행 정보를 제공할 수 있으므로 편안한 보행 환경을 조성에 활용될 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 2020학년도 세명대학교 대학혁신지원사업에 의한 연구임

REFERENCES

- Arcolin I., Corna S., Giardini M., Giordano A., Nardone A. and Godi M.(2019), "Proposal of a new conceptual gait model for patients with Parkinson's disease based on factor analysis," *BioMedical Engineering Online*, vol. 18, no. 1, pp.1-70.
- Ball K. and Owsley C.(2000), "Increasing Mobility and Reducing Accidents of Older Drivers," *Mobility and Transportation in the Elderly*, Springer Series Societal.
- Im I. J. and Kim Y.(2020), "A Study on Social Perception on the Regulatory Information Service Diffusion of Traffic Facilities," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, pp.1-17.
- Ka D. H., Lee D. H. and Yeo H. S.(2019), "Development of Predictive Pedestrian Collision Warning Service Considering Pedestrian Characteristics," *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 3, pp.68-83.
- Kim J. H. and Lee M. Y.(2016), "Integration of Space Syntax Theory and Logit Model for Walkability Evaluation in Urban Pedestrian Networks," *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 5, pp.62-70.

- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2011), *Research for pedestrian traffic survey and establishing improvement index*.
- Roh C. G., Park B. J., Moon B. S. and Kim J. S.(2015), "Classification of Walking Capability of the Elderly and Analysis of Characteristics for Each Class," *Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 5, pp.262-267.
- Ryu U. J., Kim E. T., An K. H. and Chang Y. S.(2013), "Accuracy Improvement Methode of Step Count Detection Using Variable Amplitude Threshold," *Korea Information Processing Society*, vol. 2, pp.257-264.
- Statistical Geographic Information Service System DB(2020).