

낙상 인지 정확도 및 편의성 향상을 위한 3축 가속도 데이터와 고도 데이터 기반의 낙상 인지 시스템 설계 및 구현

홍승재*, 이석훈**¹, 정동원**²

Design and Implementation of a Fall Recognition System Based on 3-Axis Acceleration Data and Altitude Data for Improvement of Fall Recognition Accuracy and Convenience

Seungjae Hong*, Sukhoon Lee**¹, and Dongwon Jeong**²

이 성과는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2019R1I1A3A01060826).

요 약

본 논문에서는 노인의 안전을 위해 정확도와 편의성이 향상된 낙상 인지 시스템을 제안한다. 점차 노인의 인구 비율이 증가함에 따라 낙상 사고 발생 빈도가 증가하고 있다. 노인에게 예상치 못한 낙상이 발생할 경우, 스스로 조치하기 어려운 상황이 발생한다. 이를 해결하기 위해 낙상 인지에 관한 많은 연구가 진행되었다. 그러나 기존의 낙상 인지 시스템은 낙상 판별의 정확도가 떨어지고 편의성이 떨어지는 등 다양한 문제점을 보였다. 본 논문에서는 기존 연구의 문제점을 해결하기 위한 새로운 낙상 인지 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 웨어러블 밴드의 3축 가속도 데이터 및 고도 데이터를 이용하였으며, 실험 및 평가 결과에서 제안한 시스템의 낙상 인지 정확도와 편의성이 향상되었음을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a fall recognition system with improved accuracy and convenience for the elderly. As the proportion of the elderly increases, the frequency of falls is also increasing. Older people have difficulty dealing with falls themselves. Therefore, much research has been studied on fall recognition. However, the existing systems have various problems such as low fall detection accuracy. In this paper, we propose a new fall recognition system to resolve the problems of the existing research. The proposed system uses three-axis acceleration data and elevation data of the wearable band. The experiment and evaluation showed that our proposed system has improved the fall recognition accuracy and user convenience.

Keywords

fall recognition, fall detection, 3-axis acceleration, altitude

* 군산대학교 소프트웨어융합공학과 학부생
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9187-0818>
** 군산대학교 소프트웨어융합공학과 교수(교신저자)
- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0002-3390-5602>
- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0001-9881-5336>

· Received: Nov. 04, 2019, Revised: Dec. 30, 2019, Accepted: Jan. 02, 2020
· Corresponding Author: Dongwon Jeong and Sukhoon Lee
Dept. of Software Convergence Engineering, Kunsan National University,
Korea
Tel.: +82-63-469-8912, Email: djeong@kunsan.ac.kr, leha82@kunsan.ac.kr

I. 서 론

우리나라는 2000년 고령화 사회로 들어선 지 17년 만에 고령 사회로 진입하였다. 65세 이상 인구 비중이 7% 이상이면 고령화 사회, 14% 이상이면 고령 사회, 20% 이상이면 초고령 사회로 분류한다[1].

노인 인구의 지속적인 증가에 따라 노인의 사고율도 증가하는 추세이다. 노인의 사고 유형은 다양하며, 그중에서 낙상은 두 번째로 높은 사망 원인이다. 따라서 노인의 낙상을 예방하고 대처하기 위한 많은 사회적 관심과 노력이 요구된다[2]. 낙상이란 자신의 의지와 관계없이 갑자기 넘어져서 뼈와 근육에 상처를 입는 사고를 말한다. 노인들의 경우에는 나이가 들면서 신체 불안정을 일으키는 요인이 증가하기 때문에 낙상의 빈도가 증가한다.

앞서 기술하였듯이, 노인의 사고에 의한 사망 원인 2위인 낙상 사고는 사회적 관심과 함께 우선적으로 해결해야 할 중요한 문제이다. 이러한 사회적 관심이 고조됨에 따라 노인의 낙상 사고 문제를 해결하기 위한 다양한 연구가 지속적으로 진행되어 왔다. 특히 사고 판단의 일차적인 기준인 낙상 인지에 관한 많은 연구가 진행되었으며, 대표적으로 센서를 이용한 낙상 검출 시스템 구현[3], 3축 가속도 센서와 기울기 센서를 이용한 낙상 감지시스템 개발[4], 유헬스케어 기반의 위험 상황 알림 시스템 연구[5] 등이 있다.

상기 기술한 연구들은 다양한 IT 기술과의 접목을 통해 낙상을 인지할 수 있는 시스템 개발에 노력을 기울여 왔으나 여전히 여러 가지 문제점을 지니고 있다. 먼저, 기존 연구들은 완벽한 낙상 판별 정확도를 제공하지 못한다. 예를 들어, 실제 낙상 상태임에도 불구하고 가속도 데이터가 임계값을 초과하지 못해서 낙상으로 인지하지 못하거나 낙상 상태가 아님에도 불구하고 가속도 데이터가 임계값을 초과하여 낙상으로 판별하는 문제가 발생한다. 또한, 허리나 가슴부위에 추가적인 특수 장비 착용으로 사용자 편의성을 저하시킨다.

본 논문에서는 기존 연구의 문제점을 해결하기 위해 웨어러블 밴드의 3축 가속도 데이터 및 고도 데이터를 이용한 낙상 인지 시스템을 제한하였다. 제안 시스템을 평가하기 위해 프로토타입을 설계하

고 구현한다. 또한, 제안 시스템의 장점을 보이기 위해 실험 및 평가를 수행한다. 본 논문에서는 낙상이 발생할 때 속도는 급격히 높아지고 고도는 급격히 낮아진다는 점에 착안하여 시스템을 설계하고 구현한다. 이를 위해 3축 가속도 데이터와 고도 데이터를 분석하여 낙상을 인지한다. 즉, 제안 시스템은 3축 가속도 데이터와 고도 데이터의 임계값을 설정하고 설정한 임계값을 초과할 때 낙상으로 판단한다. 최적의 임계값은 낙상 인지 정확도에 영향을 주는 중요한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 낙상 상황과 일상생활 행동에서의 데이터를 분석하여 최적의 임계값을 정의한다. 마지막으로, 제안 시스템의 장점을 보이기 위해 실험 및 비교 평가를 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 관련 연구를 소개하고 문제점을 분석하며 제3장에서는 제안한 시스템을 위한 시스템 구조와 프로세스, 알고리즘을 서술한다. 제4장에서는 구현을 위한 시스템 구현 환경 및 모바일 앱 구현 결과를 기술하고 제5장에서는 실험 및 성능 평가를 위한 실험 환경, 낙상 임계값 추출 방법 및 실험 결과를 서술한다. 마지막으로, 제6장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

II. 관련 연구

이 장에서는 낙상 인지 시스템과 관련된 기존 연구를 기술하고 문제점을 정의한다.

3축 가속도 센서를 이용한 낙상 검출 시스템 구현[3]은 3축 가속도 신호를 이용하여 낙상과 낙상 방향을 검출하는 시스템을 제안하였다. 이 연구에서는 가속도 크기 변화치에 의한 낙상 인지 알고리즘을 제시한다. 그러나 3축 가속도 신호만을 이용하여 구현하기 때문에 일상생활 행동 중 급격한 낙상을 감지한다. 따라서 이 연구에서는 움직임이 있는 행동들에서 낙상으로 오인하는 경우가 발생하였다.

3축 가속도 센서와 기울기 센서를 이용한 낙상 감지시스템 개발 연구[4]는 3축 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 낙상을 감지하였다. 이 연구에서는 자이로 센서의 기울기를 이용하여 낙상 오인율을 낮췄다. 그러나 자이로 센서를 이용할 경우 가슴이

나 허리 등 신체의 일부에 부착해야 하며 이로 인해 편의성이 저하되었다.

유헬스케어 기반의 위험상황 알림 시스템 연구[5]는 가속도 센서와 심박 센서를 이용하여 위험상황을 식별하였다. 이 연구에서는 두 센서 값을 융합한 알고리즘을 제시하여 운동하는 상황과 위험상황을 구별한다. 또한 위험상황이 발생하면 사용자의 위치를 GCM서버를 통해 푸시 팝업 메시지로 제공한다. 그러나 여전히 갑작스런 움직임으로 인한 낙상 오인 상황이 발생하였다.

가속도 및 각속도 신호를 이용한 낙상 인지 시스템 구현 연구[6]는 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 보다 정확하게 낙상을 인지하는 시스템을 제안하였다. 그러나 여전히 낙상이 아닌 움직임을 낙상으로 인지하거나 낙상임에도 낙상으로 인지하지 못하는 경우가 발생한다. 또한 가슴 부근에 장비를 착용함에 따라 편의성이 저하되었다.

사물인터넷기반의 낙상감지시스템[7]은 센서를 부착하지 않고 주머니에 소지하는 방식으로 사용자의 편의성을 향상시켰다. 그러나 가속도 센서만을 이용하여 낙상을 판별하기 때문에 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 또한 센서를 주머니에 소지해야 하기 때문에 정확도가 낮다는 한계를 지니고 있다.

비콘과 웨어러블 밴드 기반의 낙상사고 위치 알림 연구[8]는 웨어러블 밴드의 3축 가속도 센서를 이용하여 낙상을 감지하였다. 그러나 3축 가속도 센서만을 사용하였기 때문에 낙상 오인율이 높다는 문제점을 지닌다. 또한 실외에서 낙상하였을 때 정확한 위치 알림을 전송하지 못하는 문제점을 보였다.

움직임 벡터를 이용한 낙상 감지 시스템[9]은 영상을 이용하여 낙상 여부를 판단하였다. 이 연구 결과는 약 85% ~ 97.1%의 정확도를 보였다. 그러나 카메라가 존재하는 곳에서만 낙상을 인지한다는 점과 사생활을 침해할 수 있다는 문제점을 보였다.

낙상 감지 응급시스템 설계 연구[10]는 3축 가속도 센서와 카메라를 이용하여 낙상을 감지하였다. 이 연구에서는 3축 가속도 데이터와 영상 데이터를 이용하여 낙상 감지의 정확도를 높였다. 그러나 앞서 언급하였듯이 사생활 침해 등의 문제점을 지니고 있다.

임계값 기반의 3축 가속도를 이용한 낙상 감지 알고리즘 연구[11]는 흉골과 허벅지에 3축 가속도 센서를 착용하여 낙상을 판별하는 시스템을 제안하였다. 이 연구에서는 3축 가속도 센서를 흉골에 착용했을 때와 허벅지에 착용했을 때, 양쪽에 모두 착용하였을 때를 모두 평가하였다. 이 연구는 흉골과 허벅지에 센서를 착용하여 정확도를 높였지만, 편의성이 떨어진다는 측면에서 한계점을 보였다.

자이로스코프 및 가속도를 이용하여 자세 정보를 사용한 정확하고 빠른 낙상 감지 시스템[12]은 가속도 센서와 자이로 센서를 사용하여 낙상 감지를 하였다. 이 연구에서는 가속도 센서와 자이로 센서가 결합된 알고리즘을 제시한다. 그러나 센서가 몸에 부착되어 단단히 고정되어야 하므로 편의성에 한계를 보였다. 또한 낙상 이후의 조치에 관한 기능을 제공하지 않았다.

바닥 진동과 소리를 통한 노인의 낙상 감지 시스템[13]은 진동 센서와 음향 감지 센서를 사용하여 낙상을 감지하였다. 이를 위하여 바닥 한쪽 구석에 진동 센서와 음향 감지 센서를 설치하고 특정 신호 이상의 값이 들어오면 낙상으로 판단한다. 정확도가 95%로 높은 정확도를 보였지만 무거운 물체를 내려놓는 등의 상황을 낙상으로 오인하는 경우가 있으며 지정된 공간에서만 낙상을 감지할 수 있다는 한계를 지니고 있다.

k-최근접 이웃 분류기를 이용한 낙상 감지 시스템[14]은 카메라의 영상 데이터를 이용하여 낙상을 감지하였다. 이를 위하여 영상데이터를 KNN 알고리즘을 적용, 분석하여 낙상을 판별한다. 정확도는 84.44%이며, 카메라를 이용할 경우 공간 제약성을 지닌다는 한계와 사생활을 침해할 수 있다는 문제점을 지니고 있다.

휴대 전화를 사용한 광범위 낙상 감지 시스템[15]은 스마트폰에 내장된 3축 가속도 센서를 이용하여 낙상을 판단하였다. 이 연구에서는 스마트폰을 이용하여 낙상을 감지한 경우, 경비음과 보호자에게 알림 메시지를 전송한다. 추가적인 장비 없이 일상 생활에서 많이 쓰이는 스마트폰을 이용하여 높은 편의성을 제공하지만 낙상 오인율이 높다는 문제점을 보였다.

지금까지 수행된 낙상 인지를 위한 기존 연구들은 대부분 3축 가속도 센서, 자이로 센서, 영상 센서 등 다양한 센서를 이용하여 낙상 인지 시스템을 구현하였으며, 각 연구는 고유의 장점을 지니고 있다. 그러나 여전히 낙상이 발생하였음에도 낙상을 인지하지 못하거나 낙상이 아닌 일상생활 행동을 낙상으로 오인하는 등 정확도가 낮다는 문제점을 보였다. 또한 특수 장비 착용에 따른 편의성 저하, 특정 상황에 대한 종속성 및 사생활 침해 소지가 있다는 한계를 지니고 있다.

III. 낙상 인지 시스템 설계

이 장에서는 제안 시스템의 구조, 주요 프로세스, 낙상 인지를 위해 알고리즘에 대하여 기술한다.

3.1 제안 시스템 구조

이 시스템의 목적은 사용자에게 예기치 못한 낙상이 발생할 경우, 정확하게 낙상 여부를 판단하여 보호자에게 신속하게 위치알림을 제공하는 시스템 개발에 있다. 웨어러블 밴드에서 측정된 센서 데이터를 애플리케이션에 전송하고 임계값을 비교하여 낙상을 인지한 경우 위치알림 서비스를 제공한다.

그림 1은 제안하는 낙상 인지 시스템의 구성도를 보여준다.

그림 1에서 사용자는 웨어러블 밴드를 착용하고 활동한다. 사용자가 착용한 웨어러블 밴드에 장착된 센서들을 통해 사용자의 활동 중에 발생하는 3축 가속도 데이터와 고도 데이터를 주기적으로 애플리케이션에 전송한다. 애플리케이션에서는 사용자 등록을 수행하고 사용자 인증 과정을 수행한다. 또한, 수집된 데이터는 낙상 판별 알고리즘을 이용하여 낙상 여부를 판별한다. 즉 사용자의 행동이 낙상 인지, 낙상이 아닌 일상생활 행동인지를 판별을 하고, 낙상으로 판별한 경우 보호자에게 낙상 위치를 전송한다. 보호자의 데이터를 획득하기 위해 웹 서버에 요청하고 데이터베이스에 접근한다. 또한, 웹 서버를 통하여 데이터베이스에 사용자의 데이터를 저장한다.

3.2 낙상 인지 프로세스

그림 2는 제안 시스템의 전체적인 처리 절차인 낙상 인지 프로세스를 보여준다. 사용자는 애플리케이션에 사용자 인증을 요청하고 애플리케이션은 웹 서버를 통하여 데이터베이스에 접근하여 정보 조회 연산을 수행한다. 사용자의 인증 정보가 유효할 경우 사용자 정보를 반환하고 사용자 인증 연산을 완료한다. 사용자를 식별한 후에는 센서 데이터를 주기적으로 애플리케이션에 전송한다.

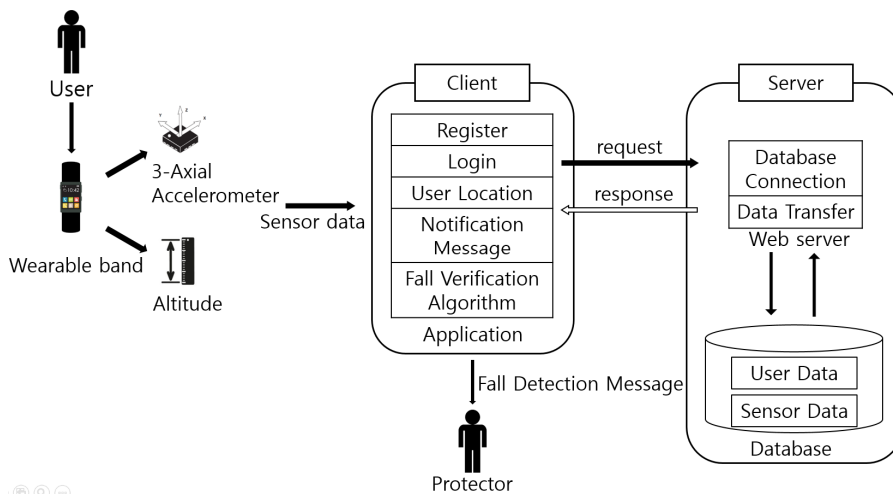


그림 1. 시스템 구조도
Fig. 1. System architecture

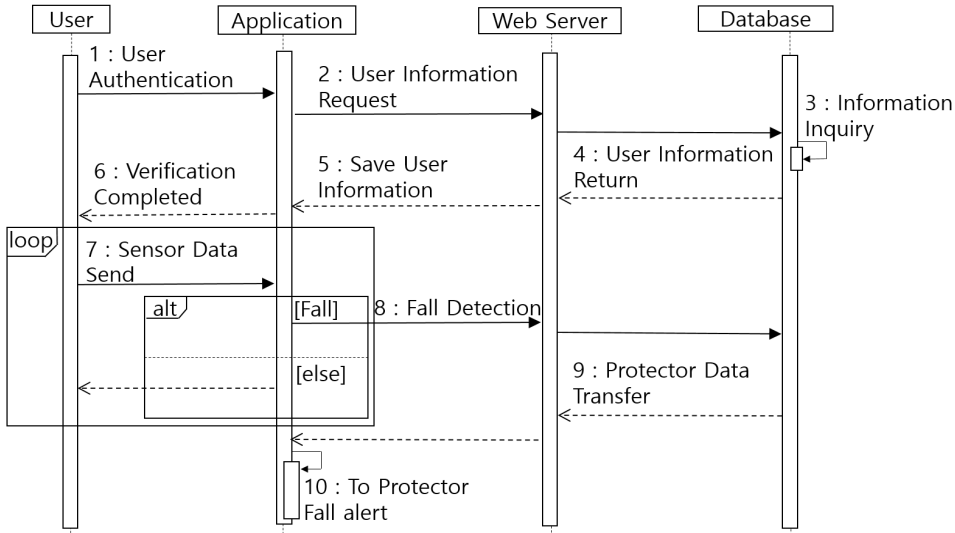


그림 2. 전체적인 낙상 인지 프로세스
Fig. 2. Overall fall recognition process

애플리케이션은 낙상 판별 알고리즘을 이용하여 낙상 판별 연산을 수행한다. 낙상 판별 연산을 통해 낙상으로 판별될 경우, 데이터베이스에서 보호자의 연락 정보가 전송된다. 마지막으로, 반환받은 연락 정보를 이용하여 피보호자의 낙상 위치 정보를 보호자에게 전송한다.

3.3 낙상 판별 알고리즘

본 논문에서는 3축 가속도 데이터와 고도 데이터를 이용하여 낙상을 판별한다. 다양한 자세에서 발생하는 데이터를 일정한 패턴 값으로 처리하기 위해 3축 가속도 데이터를 신호 벡터 크기(Signal Vector Magnitude, SVM)로 변환한다. 이를 수식으로 정의하면 다음과 같다.

$$SVM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

상기 수식에서, x는 전·후 방향의 가속도 신호, y는 좌·우 방향의 가속도 신호, z는 상·하 방향의 가속도 신호의 값을 나타낸다. 고도 데이터는 기압 센서를 이용하여 기압 데이터를 획득하고 기압과 고도의 관계에 의하여 현재 기압을 기준으로 고도 데이터로 변환한다.

낙상을 판별하기 위해 최적의 SVM 임계값과 고

도 임계값이 필요하다. 측정된 SVM 값이 SVM 임계값을 초과하고 측정된 고도 데이터가 고도 임계값보다 낮아지면 낙상으로 판별한다. 고도 데이터를 이용한 낙상 판별은 기압 고도 특성상 수시로 값이 조금씩 변화하기 때문에 특정 값에 기준을 맞추지 않고 가장 최근 측정되었던 고도 값과 비교하여 판별한다.

그림 3은 3축 가속도 데이터와 고도 데이터를 이용한 낙상 판별을 위한 알고리즘을 보여준다. 사용자 인증을 통해 사용자의 데이터를 반환받고 주기적으로 센서 데이터를 측정한다.

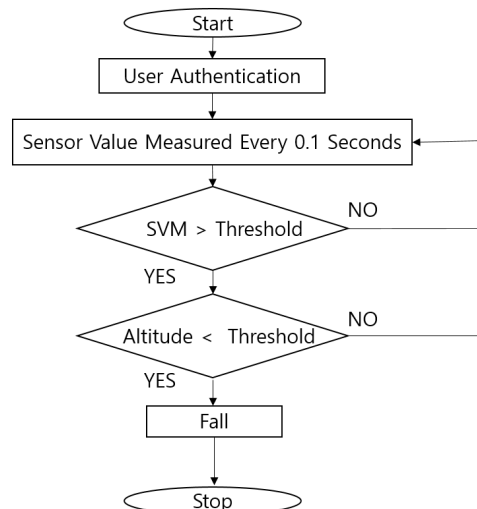


그림 3. 낙상 판별 알고리즘
Fig. 3. Fall verification algorithm

본 연구에서는 실험 및 평가를 위해 0.1초 주기로 측정 연산을 수행한다. 측정된 3축 가속도 데이터는 SVM으로 변환한다. SVM이 설정된 SVM 임계값을 초과하고 고도 데이터가 설정된 고도 임계값보다 낮아지면 최종적으로 낙상으로 판별한다.

IV. 구현 및 결과

이 장에서는 제안 시스템의 프로토타입 구현 결과를 기술한다. 구현 환경, 사용자 앱 및 일부 데이터 집합 등을 보인다.

4.1 구현 환경

본 논문의 구현 환경은 표 1과 같다. 데이터 저장을 위한 데이터베이스는 MySQL 8.0.11을 사용하고 서버 운영체제는 Windows 10 pro를 사용한다. 모바일 운영체제는 Android 8.0.0(Oreo) 사용하며, 웨어러블 밴드와 통신을 위한 BLE는 Bluetooth v4.2를 사용한다. 웨어러블 밴드는 기어 스포츠(SM-R600)를 사용하며 운영체제는 Tizen 3.0.0.2를 사용한다. 센서 종류로는 3축 가속도, 기압, GPS를 사용하고 BLE는 Bluetooth v4.2를 사용한다.

표 1. 구현 환경

Table 1. Environment for implementation

Device	Feature	Specification
Server	OS	Windows 10 Pro
	CPU	Intel Xeon(R) CPU E3-1270 v5 @ 3.60 GHz
	RAM	8.00GB
	DBMS	MySQL 8.0.11
Mobile	OS	Android 8.0.0 (Oreo)
	Sensor	GPS
	BLE module	Bluetooth v4.2
Wearable Band	model name	SM-R600
	OS	Tizen 3.0.0.2
	Sensor	3-axies acceleration, pressure
	BLE module	Bluetooth v4.2

4.2 구현된 모바일 앱

그림 4는 구현된 시스템의 모바일 앱 센서 데이터 수신 화면을 보여준다.

앱을 실행하기 전에 모바일 기기와 웨어러블 밴드를 블루투스 통신을 통해 연결한다. 사용자 인증을 진행한 후 CONNECT 버튼을 누르게 되면 웨어러블 밴드의 센서 데이터를 수신하고 앱 화면에 데이터를 출력한다. 수신한 3축 가속도 데이터는 SVM으로 변환한다. SVM 데이터와 고도 데이터를 이용하여 임계값을 추출하기 위해 그림 5와 같이 데이터베이스에 저장한다.

임계값을 낙상 알고리즘에 적용하여 실시간으로 낙상 여부를 탐지한다. 낙상을 판별한 후에는 후속 조치가 더욱 중요하다. 따라서 낙상을 인지한 경우, 그림 6과 같이 낙상이 발생했다는 정보를 현재 위치 정보와 함께 보호자에게 전송한다.

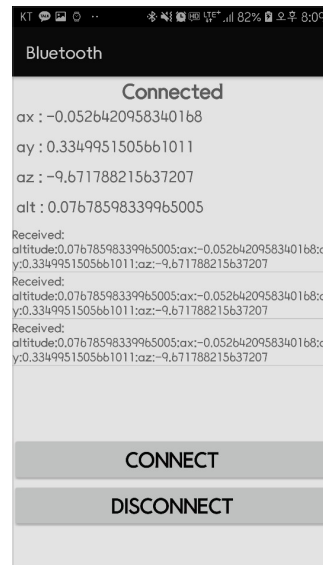


그림 4. 데이터 수신 화면
Fig. 4. Receiving data

num	altitude	svm
23588	-0.04342437325860465	9.815333685274462
23589	-0.04342437325860465	9.849654189760754
23590	-0.04342437325860465	9.84907081633815
23591	-0.07996422724943548	9.867234236957783
23592	-0.11067876878002063	9.86610369406568
23593	-0.13927496888682558	9.977371016001811
23594	-0.13927496888682558	9.977371016001811

그림 5. 획득된 센서 데이터
Fig. 5. A set of sensed data



그림 6. 보호자에게 발송된 메시지
Fig. 6. Message sent to protector

V. 실험 및 평가

5.1 실험 환경 및 실험 인자

본 논문에서는 구현된 낙상 인지 시스템의 정확도를 평가하기 위하여 낙상(falls) 상황과 일상생활 행동(Activities of daily living, ADL)에 대한 실험을 수행하고 3축 가속도 및 고도 데이터를 수집하였다. 낙상 상황의 경우 전, 후, 좌, 우와 같이 4개의 방향으로 넘어지는 상황을 정의하며, 일상생활 행동의 경우 앉기, 일어서기, 제자리 뛰기, 의자에서 뛰어내리기, 달리기, 계단 오르내리기, 걷기와 같은 행동으로 정의한다. 실험 대상군은 신장이 각각 173cm, 178cm, 180cm인 3명의 성인 남성으로 선정하였다. 실험자들은 손목에 웨어러블 밴드를 착용한 후 매트리스가 설치된 바다에 전, 후, 좌, 우로 넘어지는 동작을 반복하며 실험을 진행하였다.

본 논문에서는 실험을 위해 낙상인 상황과 일상생활 행동 유형을 분류하고 상황별로 실험 및 평가를 수행한다. 표 2는 실험을 위해 정의한 행동과 상황 분류를 보여준다.

또한, 의자에서 뛰어내리는 행동은 높은 위치에서 낮은 위치로 급격하게 변화되는 상황을 측정하기 위한 상황이다. 실험 대상군은 행동마다 한 명당 10세트씩 30개의 데이터셋을 수집한다. 따라서 낙상 데이터셋은 120개, 일상생활 행동 데이터는 210개의 데이터셋을 수집한다. 총 데이터 수는 66,000개이다.

표 2. 실험을 위한 행동 및 상황 분류
Table 2. Action and situation classification

Situation classification	Action
Falls	fall forward
	fall backward
	fall leftward
	fall rightward
ADL	sitting
	standing up
	standing jump
	jumping off a chair
	running
	up and down stairs
	walking

5.2 상황별 실험 데이터

그림 7, 8은 표 2에 정의한 상황에 따른 실험 결과를 보여준다. 그림 7은 낙상 상황일 때의 데이터를 보여주며, 그림 8은 일상생활 행동 데이터를 보여준다.

그림 7은 걷기 중에 낙상이 일어났을 때의 데이터를 보여준다. 낙상 상황이 발생했을 때의 SVM 값은 최소 50.0을 초과하는 결과 값을 보인다.

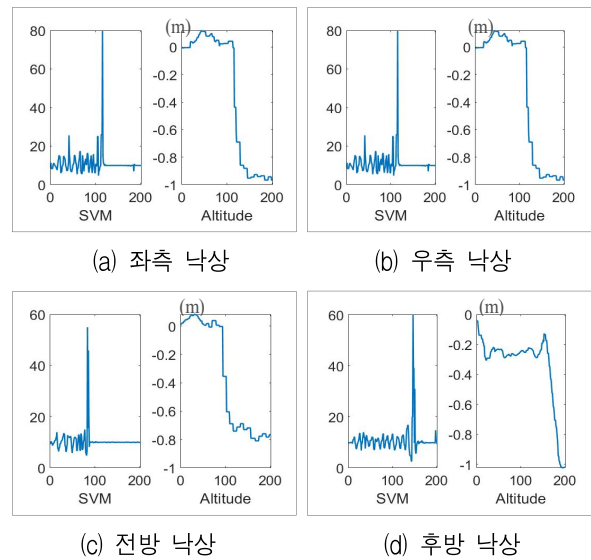


그림 7. 낙상에 대한 SVM과 고도 데이터

Fig. 7. SVM and altitude about falls, (a) Fall leftward, (b) Fall rightward, (c) Fall forward, (d) Fall backward

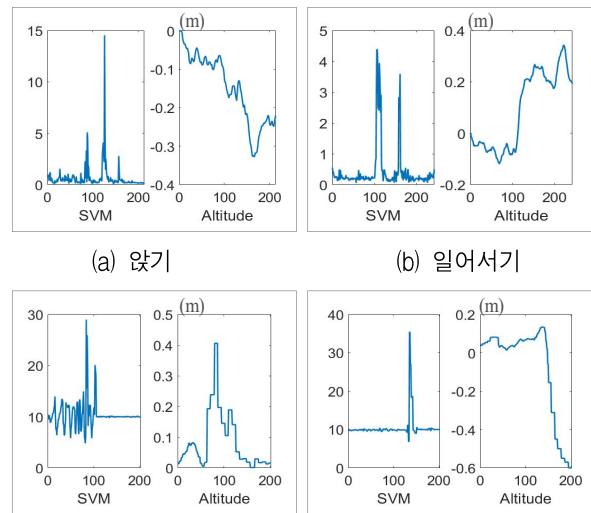


그림 8. ADL에 대한 SVM과 고도 데이터

Fig. 8. ADL data, (a) Sitting, (b) Standing up, (c) Standing jump, (d) Jumping off a chair

또한, 고도 데이터는 걷는 도중 $-0.2m \sim 0.2m$ 의 데이터를 보였으며 낙상을 할 경우는 $-0.8m$ 까지 급격하게 낮아진다.

그림 8은 직립 자세에서 특정 행동을 취했을 때의 실험 결과를 보여준다. 일상생활 행동마다 최대 SVM 값은 앉기 15.0, 일어서기는 4.5, 제자리 뛰기는 28.0, 의자에서 뛰어내림은 35.0이다. 일상생활 행동 중 의자에서 뛰어내리는 행동은 SVM 값이 35.0까지 상승하고 가장 큰 SVM 값을 갖는 행동이다. 또한, 고도 데이터는 제자리 뛰기와 의자에서 뛰어내리는 행동을 제외하고 약 $0.0m \sim 0.1m$ 의 변화폭을 보였다. 제자리 뛰기 행동은 약 $0.4m$ 상승하고 $0.4m$ 하강하였고 의자에서 뛰어내리는 행동은 약 $0.5m$ 하강하였다. 정확한 임계값 추출을 위해 앉기, 일어서기, 제자리 뛰기, 의자에서 뛰어내림 등 일상생활 행동 데이터와 여러 가지 낙상 상황 데이터를 비교하여 임계값을 추출한다.

5.3 실험 결과 분석

구현된 낙상 인지 시스템을 이용하여 4개의 방향으로 낙상이 발생하였을 때 데이터와 일상생활 행동에 대한 데이터를 획득하였다. 획득된 3축 가속도 데이터와 기압 데이터는 각각 SVM 데이터와 고도 데이터로 변환하였다. 실험에 의해 추출한 데이터를 분석하여 임계값을 설정하고 낙상 알고리즘에 적용하였다.

실험 결과 SVM 임계값과 고도 임계값이 낮을수록 사용자의 낙상 상황을 민감하게 인지하여 낙상 인지 정확도가 상승하였다. 그 결과 낙상 실험에서의 낙상 인지 정확도는 100%를 보였다. 그러나 일상생활 행동 중 의자에서 뛰어내리는 행동은 낙상으로 오인하는 현상이 발생하였다. 이는 의자에서 뛰어내리는 행동과 같이 높은 위치에서 낮은 위치로 급격히 이동하는 행동은 SVM 값이 상승하고 낮은 위치로 이동하여 고도가 낮아지기 때문이다. 반대로 SVM 임계값과 고도 임계값을 높였을 경우 낙상 오인율은 낮아졌지만, 낙상 인지 정확도가 하락하였다.

따라서 본 논문은 최적의 임계값 추출을 위하여

실험적 경험을 통하여 SVM 임계값과 고도 임계값을 설정하였다. 실험의 결과로 설정된 SVM 임계값은 60.0이며, 고도 임계값은 $0.4m$ 이다.

표 3은 최종 임계값을 이용하여 상황별로 30회씩 실험하여 낙상 인지 정확도를 측정한 결과를 보여준다.

표 3. 실험 결과
Table 3. Experiment results

Situation	Action	Times	Fall recognition	Accuracy (%)
Falls	fall forward	30	28	93.3
	fall backward	30	29	96.7
	fall leftward	30	29	96.7
	fall rightward	30	28	93.3
ADL	sitting	30	0	100
	standing up	30	0	100
	standing jump	30	2	93.3
	jumping off a chair	30	2	93.3
	running	30	0	100
	up and down stairs	30	0	100
	walking	30	0	100

실험 결과에서, 낙상 상황일 때의 낙상을 약 94%로 검출한 것을 볼 수 있다. 전방 낙상 2회, 후방 낙상 1회, 좌측 낙상 1회, 우측 낙상 2회를 낙상으로 인지하지 못하였다. 이는 실험 대상이 미리 낙상을 인지하여 무의식적으로 바닥에 손을 먼저 뻗어 SVM 값이 임계값을 초과하지 못했기 때문이다. 그러나 실제 상황에서는 예기치 못하게 낙상이 발생하기 때문에 낙상 인지의 정확도가 더 높아질 거라 예상된다.

일상생활 행동 중 앉기, 일어서기, 계단 오르내리기, 걷기, 달리기는 낙상으로 오인하는 경우는 없었으며 제자리 뛰기와 의자에서 뛰어내리는 행동만 각 2회 낙상으로 오인하였다. 제자리 뛰기를 낙상으로 오인한 이유는 제자리 뛰기를 하였을 때 높이가 고도 임계값을 초과하였기 때문이다. 본 논문에서는 성인 남성을 실험 대상으로 하여 실험을 수행하였다. 일반적인 성인 남성은 노인보다 신체적 능력이 뛰어나기 때문에 이와 같은 낙상 오인의 경우가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 노인의 경우 제자리 뛰기로 인한 낙상 오인율이 감소할 것으로 예상된다.

5.4 비교 평가

표 4는 3축 가속도 센서와 기울기 센서를 이용한 낙상감지시스템 개발 연구[4]와 제안 시스템의 비교 평가 결과를 보여준다. 기존 시스템은 3축 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 낙상을 감지하였다. 이 연구에서는 낙상 상황과 일상생활 행동에 대한 실험을 진행하였으며 낙상 인지 정확도와 오인율에 대한 평가를 진행하였다.

낙상 인지 정확도 비교 평가는 실험 대상자의 신체 나이나 신체조건 혹은 실험 상황 등 여러 가지 사항들에 따라 다르게 측정되기 때문에 정확한 정량적 비교 평가가 어렵다. 따라서 정성적인 측면에서 기존 시스템과의 비교 평가를 수행한다. 본 논문에서는 낙상 인지 정확도, 편의성, 후속 조치의 신속성, 조치 비용, 낙상 알림 경각심 측면에서 비교 평가를 수행한다.

표 4. 비교 평가

Table 4. Comparative evaluation

System \ Feature	Existing system[4]	Proposed system
fall recognition accuracy	low	high
convenience	low	high
promptness of follow up	low	high
follow up costs	high	low
fall alert awakening	low	high

기존 시스템은 낙상할 때 가속도 데이터와 자이로 데이터가 임계값을 초과하면 낙상으로 인지한다. 그러나 이러한 시스템은 다른 일상생활 행동 중 급격한 움직임이 있을 때 나타날 수 있다. 이를 해결하기 위해 임계값을 높게 수정하면 급격한 움직임으로 인한 낙상 오인율을 줄일 수 있다. 그러나 임계값이 높아지면서 낙상을 인지하는 못하는 경우가 발생하여 결국 낙상 인지 정확도가 낮아진다.

본 논문에서 제안한 시스템은 가속도 데이터와 고도 데이터를 이용한다. 따라서 급격한 움직임으로 인해 가속도 데이터가 임계값을 초과하더라도 낙상으로 인지하지 않고 고도 데이터 또한 급격히 하락이 있을 때 낙상으로 인지한다. 이는 가속도 임계값을 최적화하여 낙상 인지 정확도를 높이고 이에 따

라 낙상 오인율이 증가하는 기존 문제점을 고도 데이터로 개선하여 정확도를 높였다.

편의성 측면에서, 기존 시스템은 몸의 행동을 감지하기 위해 장비를 가슴 부위나 허리에 착용한다. 이는 사용자에게 자유롭게 행동하는 부분에 불편함을 유발할 수 있고 장비를 탈부착 하는 과정에서 편의성이 떨어지는 문제 등이 발생한다. 그러나 제안한 시스템은 웨어러블 밴드를 손목에 착용한다. 따라서 활동 중에 불편함을 최소화할 수 있다. 또한, 탈부착 과정이 매우 간편하기 때문에 사용자에게 높은 편의성을 제공한다.

후속 조치의 신속성 측면에서, 본 논문에서 제안한 시스템은 기존 시스템보다 후속 조치가 매우 신속하게 이루어진다. 대부분 기존 시스템의 경우 낙상이 발생하면 보호자에게 연락하는 기능이 없거나 기능을 지원한다 해도 사용자의 정확한 위치를 제공하지 못한다. 그러나 제안 시스템은 낙상으로 최종 인지를 하면 보호자에게 정확한 위치를 전송한다. 이는 낙상 이후의 피해를 줄일 수 있는 중요한 기능이며 후속 조치가 신속하게 이루어질 수 있음을 보여준다.

후속 조치 비용 측면에서, 제안 시스템은 기존 연구에 비해 낮은 비용을 요구한다. 먼저, 제안 시스템은 기존 시스템과 달리 낙상 인지에 특화된 장비를 요구하지 않는다. 또한, 기존 시스템보다 더 정확하게 낙상을 판단하며, 신속하고 정확하게 낙상 사고를 보호자에게 알린다. 따라서 제안 시스템의 이러한 기능과 장점으로 인해 기존 시스템에 비해 낮은 조치 비용이 소요된다.

낙상 알림 경각심 측면에서, 제안 시스템은 낙상에 대한 경각심을 높이는 효과를 제공한다. 낙상 오인율이 높을수록 잘못된 낙상 알림이 이루어지는 경우가 자주 발생할 수 있다. 잘못된 낙상 알림이 반복될 경우 실제 낙상 알림을 오작동으로 인식하게 만든다. 그 결과 실제 낙상 알림을 오작동으로 인식하여 위험한 상황을 초래할 수 있는 상황이 발생한다. 그러나 제안한 시스템은 낙상 오인율을 낮추어 개선함으로써 낙상 알림에 대한 경각심을 고취시키고 추가적인 사회적 비용을 감소시키는 효과를 제공한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 3축 가속도 센서와 기압 센서를 이용하여 정확도가 향상된 낙상 인지 시스템을 제안하고 프로토타입을 구현하였다. 제안 시스템은 3축 가속도 데이터와 고도 데이터를 이용하여 설정한 임계값을 초과하는 경우 낙상으로 인지한다. 먼저 낙상을 판별하기 위한 최적의 임계값을 구하기 위한 실험을 진행하였다. 낙상의 정확도를 높이고 낙상 오인율은 낮추기 위해 낙상 상황과 일상생활 행동으로 상황 분류하고 실험을 진행하였다. 실험 결과 임계값이 낮을수록 민감하게 낙상을 인지하였으나 낙상으로 오인하는 확률도 증가하였다. 따라서 여러 번의 실험을 진행하여 최적의 최종 임계값을 설정하였다. 낙상 알고리즘에 임계값을 적용하고 낙상 인지 정확도 측정을 진행하였다. 그 결과 약 94.5%로 낙상을 판별해내고 오인율은 2.0%였다. 또한 실험 및 비교 평가를 통해 제안 시스템의 장점을 보였다.

향후 연구에서는 성별, 연령, 신장 등을 고려한 실험을 진행할 필요가 있으며 신장, 연령 등의 다양한 요인을 고려한 최적의 임계값을 적용하여 낙상을 판별할 수 있는 연구가 수행되어야 한다. 또한, 다양한 일상생활 행동을 추가하여 낙상 오인율을 줄일 수 있는 추가적인 실험이 요구된다. 마지막으로, 사용자 경로 정보, 센서 정보, 오픈 데이터 등 크로스 모달 데이터 구축을 통한 낙상 예측 및 방지에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] Statistics Korea, "2017 Population and Housing Census", Press release, Aug. 2018.
- [2] L. You, C. Deans, K. Liu, M. Zhang, and J. Zhang, "Raising awareness of fall risk among Chinese older adults. Use of the Home Fall Hazards Assessment tool", *Journal of Gerontological Nursing*, Vol. 30, No. 6, pp. 35-42, Jun. 2004.
- [3] A. Y. Jeon, J. Y. Yoo, G. C. Park, and G. R. Jeon, "Implementation of Falls Detection System Using 3-axial Accelerometer Sensor", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 11, No. 5, pp. 1564-1572, May 2010.
- [4] J. T. Ryu, "The development of fall detection system using 3-axis acceleration sensor and tilt sensor", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 19-24, Aug. 2013.
- [5] B. D. Park, D. G. Yu, and H. K. Jung, "Danger Situations Alert System based U-Healthcare", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 21, No. 1, pp. 193-198, Jan. 2017.
- [6] G. C. Park, A. Y. Jeon, S. H. Lee, J. M. Son, M. C. Kim, and G. R. Jeon, "Implementation of a Falls Recognition System Using Acceleration and Angular Velocity Signals", *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 22, No. 1, pp. 54-64, Jan. 2013.
- [7] P. S. Jeong and Y. H. Cho, "Fall Detection System based Internet of Things", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 11, pp. 2546-2553, Nov. 2015.
- [8] J. H. Yu, H. C. Ha, and J. W. Lee, "Location alert of falling accident with Beacon and Wearable band", *Journal of the Korea Information Science Society*, Vol. 2016, No. 12, pp. 95-97, Dec. 2016.
- [9] S. S. Kim, S. W. Kim, and Y. S. Choi, "Fall Detection System Using Motion Vector", *Journal of Korea institute of information, electronics, and communication technology*, Vol. 9, No. 1, pp. 38-44, Feb. 2016.
- [10] Y. R. Kim, Y. S. Lee, H. S. Lee, and Y. S. Yu, "Design of Emergency System Based on Fall Detection", *Korean Information Processing Society*, Vol. 24, No. 2, pp. 2546-2553, Nov. 2017.
- [11] A. K. Bourke, J. V. O'Brien, and G. M. Lyons "Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm", *Gait &*

Posture, Vol. 26, No. 2, pp. 194-199, Jul. 2007.

- [12] Q. Li, J. A. Stankovic, M. Hanson, A. Barth, and J. Lach, "Accurate, Fast Fall Detection Using Gyroscopes and Accelerometer-Derived Posture Information", 2009 Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, Berkeley, CA, USA, Vol. 1, pp. 138-143, Jun. 2009.
- [13] D. Litvak, Y. Zigel, and I. Gannot, "Fall Detection of Elderly through Floor Vibrations and Sound", 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vancouver, BC, Canada, pp. 4632-4635, Aug. 2008.
- [14] C. L. Liu, C. H. Lee, and P. M. Lin, "A fall detection system using k-nearest neighbor classifier", Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 10, pp. 7174-7181, Oct. 2010.
- [15] J. Dai, X. Bai, Z. Yang, Z. Shen, and D. Xuan "PerFallD: A Pervasive Fall Detection System Using Mobile Phones", 2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), Mannheim, Germany, pp. 292-297, May 2010.

이 석 훈 (Sukhoon Lee)



2009년 2월 : 고려대학교 전자 및
정보공학부(학사)
2011년 2월 : 고려대학교
컴퓨터·전파통신공학과(공학석사)
2016년 2월 : 고려대학교
컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)
2016년 3월 ~ 2017년 3월 :

아주대학교 의료정보학과 연구강사

2017년 4월 ~ 현재 : 군산대학교 소프트웨어융합공학과
조교수

관심분야 : 사물인터넷, 메타데이터, 센서 레지스트리,
시맨틱 웹, 경로 예측

정 동 원 (Dongwon Jeong)



1997년 2월 : 군산대학교
컴퓨터과학과(이학사)
1999년 2월 : 충북대학교
전자계학과(이학석사)
2004년 2월 : 고려대학교
컴퓨터학과(이학박사)

2005년 4월 ~ 현재 : 군산대학교

교수(현 소프트웨어융합공학과)

관심분야 : 데이터베이스, 데이터표준화, 시맨틱 서비스,
빅데이터, 사물인터넷, 지능형 융합 서비스

저자소개

홍 승 재 (Seungjae Hong)



2014년 3월 ~ 현재 : 군산대학교
소프트웨어융합공학과 학부생
관심분야 : 웹 프로그래밍,
데이터베이스, 사물인터넷