

# 스마트 디바이스 시스템을 이용한 보행 기반 개인식별 알고리즘 개발

이수빈<sup>1</sup>, 이승재<sup>1</sup>, 이종실<sup>1\*</sup>, 김인영<sup>1</sup>

한양대학교 생체의공학과<sup>1</sup>

## Development of identification algorithm based on gait in smart device system

Soobin Lee<sup>1</sup>, Seungjae Lee<sup>1</sup>, Jongshill Lee<sup>1\*</sup>, In Young Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, Hanyang University, Korea

\*netlee@hanyang.ac.kr

### Abstract

Recently, with the rapid development of smart devices, various information can be processed at once. Therefore, at the same time, the importance of personal identification to protect sensitive personal information is emphasized. Gait identification has the advantage of being able to measure unconscious/continuous measurements and utilize different characteristics for each individual, such as height and walking speed differences. In this study, we developed a system that can measure 3-axis Accelerometer & Euler angle during walking and recruited 17 subjects to walk 700m for 3 days each. To analyze only gait signals, noise and gravity components were removed, and behavioral characteristics of gait were used for significant Identification. As a result, we achieved an accuracy of 99.18% on the first day, 87.86% on the second day, and 82.05% on the last day. By verifying the algorithm using data measured over several days, it aims to confirm the possibility of practical application in real world.

### 1. 연구 배경

최근 스마트 기기들의 컴퓨팅, 네트워킹 기술이 발전됨에 따라 많은 업무들을 동시에 처리할 수 있게 되면서 일상생활에서의 필수적인 도구로 여겨지고 있다. 이러한 편의성으로 인해 많은 사용자는 금융 업무, 개인 정보 등 민감한 정보 또한 스마트 기기에 저장하려고 하는 경향성이 있어, 철저한 보안과 개인인증에 관한 중요성 또한 강조되고 있다.

최근 가장 많이 사용되고 있는 개인인증 방식으로는 핀, 패턴, 패스워드 등이 있으나, 이는 유추가 가능하고 간혹 잊을 수도 있으므로 사용자로 하여금 불편함을 초래한다. 이를 극복하기 위해 개개인의 신체적 특징을 기반으로 한 Biometrics (지문, 얼굴, 홍채)를 활용하여 개인인증을 시도하지만, 매번 잠금을 해제할 때마다 의식적으로 인증을 시도해야 하는 사용성의 단점이 있다. 또한, Biometrics를 활용하기 위해서는 기타 모듈이 추가로 필요한데, 소형의 스마트 디바이스의 경우엔 적합하지 않다. 기존 개인인증 방식에 대한 단점을 극복할 방안으로, 행동학적 Biometrics인 보행을 개인 식별 방법으로써 제안한다.

보행이란 여러 근육과 관절의 지속적인 움직임을 통해 몸 전체를 이동시키는 운동으로 정의한다. 보행 기반 개인인증을 사용하였을 때의 장점으로는 측정 시스템이 이미 스마트 디바이스에 내장이 되어있어 추가적 모듈이 필요 없고, 무의식 연속적 측정이 가능하다는 것이다. 더불어 개인의 신장 차이, 보행 속도에 따른 가속도 차이 혹은 팔다리 각도 차이에 따라 개인마다 특징을 가지기 때문에 [1] 사용성과 보안성의 강점으로 보행을 행동학적 Biometric의 방법으로 활용하는 연구 또한 꾸준히 이루어지고 있다.

하지만, 대부분의 연구는 같은 날 한 번 측정한 데이터를 기반으로 개인인증의 성능을 도출했다는 한계점이 있다. 보행은 당일의 몸 상태에 따라 편차가 생길 수도 있어 같은 날 한 번 측정한 보행 데이터만 가지고 모든 보행을 대표할 수 없기 때문에 일상생활에 적용했을 경우, 알고리즘의 유효성을 알 수 없다. 또한, 기존 연구들은 보행에서 나타날 수 있는 특성을 이해하고 활용하는 것이 아닌, Min, Max,

Median 등과 같은 단순한 특징점들만을 사용해왔다. 해당 연구는 개인별 행동학적 특징을 잘 반영할 수 있는 특징점들을 활용하여 여러 날에 걸쳐 추출된 보행 데이터에 적용한다. 이를 통해 알고리즘의 유효성을 검증함으로써 실제 일상생활에서의 적용가능성을 확인하는 것을 목표로 한다.

### 2. 연구 방법

#### 1. Development of gait data acquisition system

보행 시 발생하는 3축 가속도와 오일러 각도를 추출하기 위해 마이크로컨트롤러 (STM32F411CEU, STMicroelectronics, Swiss), 블루투스 모듈 (PAN1321i, Panasonic, Germany), 9축 IMU 센서(BNO055, BOSCH, Germany)를 활용하여 시스템 GMS (Gait Measurement System)을 개발하였다.

#### 2. Data collection

해당 연구를 위해 보행에 있어 불편함이 없는 17명의 피험자(남: 10명, 여: 7명)를 모집하였다. 피험자들은 GMS를 그림 1과 같이 오른쪽 허벅지에 착용하였으며 해당 위치는 스마트폰을 오른쪽 주머니에 넣었을 때로 가정하였다. 피험자들은 건물 실내 복도에서 본인에게 편한 속도로 각 700m(50m\*16번)를 7일 내 3차례 보행 (700m\*3)한다. 보행과 동시에 100hz의 sampling rate를 가지고 가속도와 오일러 각도를 신호를 취득한다.

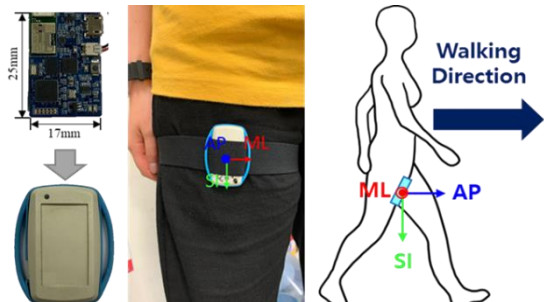


그림 1. GMS(gait measurement system)와 착용 위치 및 방향

(ML: Medial Lateral, SI: Superior Inferior, AP: Anterior Posterior)[2]

### 3. Noise removal & Gravity compensation

취득한 신호는 움직임에 대한 정보만 있는 것이 아니라, 잡음 및 중력에 대한 신호도 포함하고 있다. 따라서 사람의 보행 신호만을 분석하여 개인식별을 진행하기 위해서는 보행 신호 외의 신호들을 제거해 주어야 한다.

보행 신호의 일반적인 주파수 대역에 따라 [3], Cut off frequency = 2.5hz, 5th Butterworth low pass filter를 활용하여 잡음 성분을 제거하였다.

다음으로 중력 성분을 제거해주기 위하여 보행 시 추출한 오일러 각도를 사용해 중력 가속도 벡터를 계산한다. 동적인 상태에서 중력 성분을 완벽하게 제거하기 위해서는, GMS로 추출한 모든 SI축 방향의 가속도 신호와 앞서 계산한 중력 가속도 성분의 축을 일치시켜 주어야한다. 중력 가속도 성분 대비 GMS의 SI축의 회전 정도를 구하고, 회전한 값만큼의 회전행렬을 활용하여 중력 성분을 보정한다.

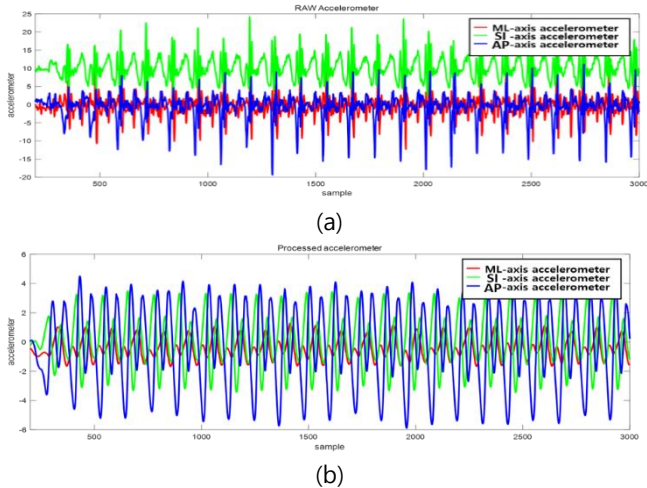


그림 2. (a) 필터링 전 3축 가속도 신호  
(b) 필터링 및 중력 보상 후 3축 가속도 신호

### 4. Cycle segmentation-based gait event & Feature extraction

각 걸음마다 개인별 보행 특징을 분석하기 위해 뒷꿈치가 처음 땅에 닿는 시기 (Initial contact, Heel strike)를 기준으로 신호를 잘라준다. 오일러 각도 중 보행 시 회전을 강력하게 나타내는 Pitch 성분을 활용하여 Heel strike를 탐색하고, 이를 기준으로 그림 3과 같이 주기를 분할하였다.[4]

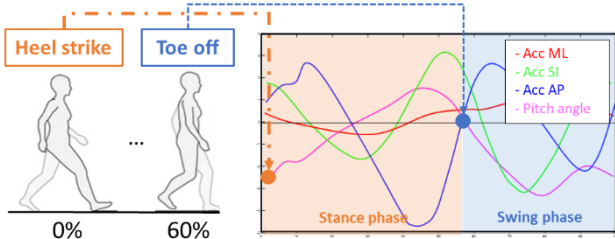


그림 3. 오일러 각도 기반 보행 이벤트 추출

그 후, 주기마다 다양한 특징점들을 추출하여 개인을 식별할 수 있는 요소로 활용한다. 특징점은 기존 선행연구에 사용한 특징점을 포함하여 [5] 보행 이벤트에 대한 특징점과 형태학적 특징을 각각 추출하였다. 총 70개의 특징점을 사용하여 여러 날에 대한 개인 식별 성능을 검증하였다.

### 3. 연구 결과

본 연구에서는 SVM (Support Vector Machine)을 사용하여 개인 식별에 대한 알고리즘 유효성 평가를 진행하였다. 5 fold validation을 활용하여 모델을 생성하고 성능을 검증하였다. 정확도를 산출한 결과, 1차 실험에 대한 정확도는 평균 99.1%, 2, 3차 실험에 대한 정확도는 각각 평균 87.1%, 77.3%이다. 모든 피험자에 대한 식별 정확도는 아래 그림 4과 같이 confusion matrix로 정리하였다.

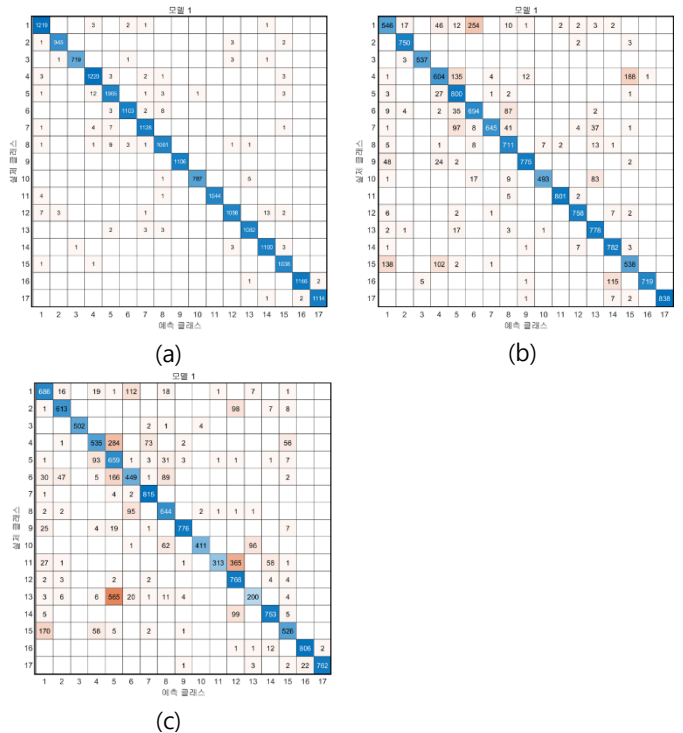


그림4. 날짜 별 식별 성능 confusion matrix  
(a) 1차 (b) 2차 (c) 3차

추후 개인 식별에 대한 성능을 높이기 위해서, 개인별 보행 신호를 면밀히 분석하여 본인 내에서는 언제나 일관적이고, 타인과는 구분될 수 있는 유의한 특징점을 개발할 예정이다.

### 4. Acknowledgements

이 연구는 National Research Foundation of Korea (NRF) 과제의 지원을 받아 수행하였음. (2021R111A1A01055813)

### 5.참고 문헌

[1] 한중수, and 임을규. "RNN 알고리즘을 이용한 보행분석 기반 개인 인증방법 구현." *정보과학회 컴퓨터의 실제 논문지* 24.7 (2018): 358-362.  
 [2] Tchelet, Keren, Alit Stark-Inbar, and Ziv Yekutieli. "Pilot study of the EncephLoq smartphone application for gait analysis." *Sensors* 19.23 (2019): 5179.  
 [3] Dehanqi Omid, et al. "Motion-Based Gait Identification Using Spectro-temporal Transform and Convolutional Neural Networks." *Advances in Body Area Networks I*. Springer, Cham, 2019. 407-421.  
 [4] Tschiedel, Michael, et al. "Real-time limb tracking in single depth images based on circle matching and line fitting." *The Visual Computer* (2021): 1-11.  
 [5] Sunarva, Unang, et al. "Feature analysis of smart shoe sensors for classification of gait patterns." *Sensors* 20.21 (2020): 6253.