

Walking pattern recognition with smartphone accelerometer and gyroscope

Jaehyun Park¹, Namkeun Kim²

¹Department of Industrial and Management Eng., Incheon National University (INU), Incheon, 22012

²Department of Mechanical Engineering and Robotics., Incheon National University (INU), Incheon, 22012

ABSTRACT

Objective: This study aims to investigate the human walking patterns using smartphone sensors. Accelerometer and gyroscope were used in the study. **Background:** With technological advancements, inertial measurement unit (IMU) sensors including accelerometer, gyroscope and magnetometer are widely used in smartphones. **Method:** We gathered the human walking data from accelerometer and gyroscope of smartphones in participants' pockets. Participants were required to walk on treadmills for three minutes. **Result:** The threshold-based step counter algorithm and machine learning algorithm were applied for analyzing the human walking patterns. As a result, using the support vector machine (SVM) algorithm, the average accuracy of pattern recognitions was more than 90%. **Conclusion:** When the sampling rate of sensor data was more than 20 Hz, the result turned out to be reliable. **Application:** The results of this study can be extended for human behavior recognition research.

Keywords: Pedometer, Walking, Pattern recognition, Threshold analysis, Support vector machine

1. Introduction

인간의 신체 움직임을 정량적으로 측정하는 연구는 오래 전부터 활발하게 이루어져왔다. 그 중에서도 보행 동작 분석은 달리기, 계단 오르내리기, 낙상 등 다양한 동작 분석의 기반이 될 수 있다는 측면에서 많이 진행되어왔다 (Cuberek et al., 2010; Del Rosario and Redmond, 2015; Le Masurier and Tudor-locke, 2013). 보행과 관련된 연구로는 걸음 수, 보폭, 거리, 소모되는 칼로리 등에 대한 측정 및 예측이 주로 이루어졌다(Peng et al., 2013; Zhao, 2010). 기본적인 보행 분석과 관련하여 앞으로도 다양한 측정 장비 및 분석 알고리즘을 동원하여, 측정의 용이성과 분석의 정확성을 개선하는 연구가 많을 것으로 기대된다. 참고로 일부 연구에서는 자유로운 신체 행동에 제약이 있는 장애인과 일반인을 비교하여 정량적으로 보행을 분석하기도 하였다 (Marschollek et al., 2008).

한편, 최근 미세전자기계시스템(MEMS, Micro Electro Mechanical System) 기술 발전에 힘입어, 관성 측정기(IMU, Inertial Measurement Unit) 센서들에 대한 접근성이 높아지고 있다. 각각 3축으로 구성된 가속도계(Accelerometer), 각속도계(Gyroscope)가 대중적으로 많이 활용되고 있으며 스마트

폰, 스마트시계와 같은 모바일 기기에도 기본적으로 탑재되고 있다. 관성 측정기는 다른 생체신호 수집 기기와 같이 다양한 신체 행동 분석에 이용되어왔으며, 보행 분석에서도 마찬가지로 많이 이용되어왔다 (Anguita et al., 2012; Oshin et al., 2013; Tomlein et al., 2012; Wu et al., 2012). 스마트폰을 이용한 보행 분석 연구에서는 가속도계, 각속도계 이외에도 자력계(Magnetometer), 기압계(Barometer), GPS 등의 센서를 이용하여 분석한 연구들이 있으며, 대부분은 위팔, 허리, 배 등의 부위에 기기를 거치하였다(Del Rosario and Remond, 2015).

본 연구에서는 모바일 기기에 탑재된 가속도계 및 각속도계를 상정하였을 때, 발생 가능한 문제점들을 점검하고, 이를 활용하여 보행을 분석하고자 한다. 실제 사용자들이 주로 기기를 거치하는 주머니 안에 스마트폰을 넣고 실험을 수행하였다. 또한 특히 최근 저전력, 저성능 웨어러블 기기가 많이 출시되는 환경임을 고려하여, 샘플링 주파수가 5Hz, 10Hz로 20Hz보다 낮은 상황에서도 신뢰성이 높은 분석 결과가 도출되는지 확인해보고자 한다. 이를 통해 가능한 실제 환경과 유사한 상황에서 데이터 수집 및 분석이 이루어지도록 하였다. 본 연구 결과는 보행 분석 관련 연구에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대되며 나아가 각종 모바일 기기에서 응용되어 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

2. Method

2.1. Participants

총 5명의 피실험자가 실험에 참여하였다. 실험 참여자의 나이는 평균 26.0세(± 4.2)였으며, 보행에 어려움이 있을만한 관련 부상이나 질병 이력이 없었다. 본 연구는 저 샘플링 주파수에서 신체 행동을 분석하기 위한 초도 연구로서, 실험 참여자 표본수가 많지 않으며, 상세 신체 정보는 수집하지 않았음을 덧붙인다.

2.2. Experimental device

평지 보행 분석을 위해 2013년에 출시된 삼성 전자 Galaxy S4 스마트폰을 활용하였다. 해당 기기 가속도계는 $\pm 2g(g=0.81m/s^2)$ 의 범위, $\pm 0.01m/s^2$ 의 해상도를 가지며, 각속도계는 $\pm 500^\circ/s$ 의 범위, $\pm 0.057^\circ/s$ 의 해상도를 가진다. 또한 구글(Google) 안드로이드(Android)에서 제공하는 센서 API(Application Programming Interface)를 사용하였다. 이에 따라 가속도계 z축의 경우 중력가속도 값인 $9.81m/s^2$ 이 자동으로 보정되었다. 그리고 자체 내장되어 있는 걸음 수 측정 알고리즘을 참고 자료로 활용하였다.

한편 실험 수행시 기존 연구와 같이 기기를 몸의 중앙이나 관절 혹은 팔단 부위에 별도로 거치하지 않고, 실험 참여자의 오른쪽 바지 주머니 속에 거치하였다. 실험 상황을 현실 상황과 가능한 가깝도록 구성하기 위해서 주머니 속에서 기기 방향이 틀어지더라도 이를 자연스럽게 유지하였다. 같은 맥락에서 스마트폰의 초기 거치 방향, 즉 스마트폰 화면이 향하는 방향 및 시작 버튼이 향하는 방향은 별도로 강제하지 않았다.

2.3. Experimental tasks

실험 참여자는 트레드밀(treadmill) 위에서 일반적인 보행자의 속도인 3km/h와 5km/h에서 각각 3분간 걷도록 하였다. 실험 보조자는 걸음 수를 육안으로 확인하여 시간 별로 기록하였다. 기록된 내용은 추후 내장 걸음 수 측정 알고리즘의 결과와 비교하는 데에 사용되었다. 실험 참여자는 동일한 보행 실험을 5Hz, 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, 50Hz 등 총 6개의 샘플링 주파수에서 반복하였다. 이전 보행 분석과 관련된 많은 연구(Del

Rosario and Redmond, 2015)에서 샘플링 주파수가 50Hz일 때 안정적인 예측 성능을 도출한 것을 고려하여, 50Hz 이상의 주파수에서는 자료를 별도로 수집하지 않았다.

3. Results

3.1. Threshold analysis

먼저 임계 값 분석 기법을 활용해서 걸음 수를 분석하였다. 수식 1은 α 를 x, y, z축 벡터가 특정 시점(i)에서 이전 시점(i-1) 대비 어느 정도로 변화했는지를 나타내는 각도 값이다. 세 축을 모두 고려하기 때문에 기기가 초기에 어느 방향으로 거처되어 있는지에 상관없이 분석이 가능하다는 장점이 있다.

$$(\cos \alpha)_i = \frac{x_i x_{i-1} + y_i y_{i-1} + z_i z_{i-1}}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \sqrt{x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2 + z_{i-1}^2}} \quad \text{수식 1}$$

시간의 흐름에 따른 변화량을 반영하기 위해서 가중이동평균(weighted moving average)를 적용하였다. 그림 1은 $\cos \alpha$ 의 가중이동평균 예시를 나타낸 것이다. 주머니 속에 거치됨으로써 다양한 방해신호가 존재함을 알 수 있지만, 육안으로도 보행 패턴을 읽을 수 있다.

임계 값 분석 기법을 통해 도출된 걸음 수와 실제 걸음 수의 비율은 샘플링 주파수 5Hz, 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, 그리고 50Hz 별로 각각 25%, 63%, 100%, 98%, 112%, 그리고 104%인 것으로 나타났다. 주파수가 20Hz 이상인 경우의 신뢰도가 높은 것으로 분석된다.

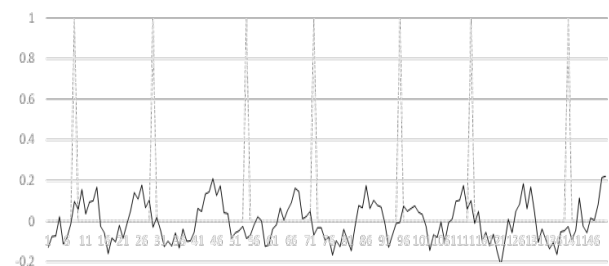


그림 1. 샘플링 주파수 50Hz에서의 가중이동평균 예 (회색부는 Android API 알고리즘에 기반한 걸음 수 예측 결과를 나타낸다)

3.2. Machine learning analysis

걸음 실측을 통해 보정된 걸음 판별 결과에 기반하여 Support Vector Machine(SVM)을 적용하였다. 계산량 증가를 최소화시키기 위한 커널 트릭(kernel trick)으로는 가우시안 커널(Gaussian radial basis kernel)을 사용하였다. 전처리를 통해 가속도와 각속도 값의 일정 시간 당 평균, 분산 등의 중요 특징들을 추출한 후 분석하였다. 발이 땅에 닿은 지점을 기준으로 걸음의 수를 예측하는 것을 목적으로 하여 정산 시간의 길이는 0.3초로 짧게 유지하였다.

분석 결과 샘플링 주파수 5Hz, 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, 그리고 50Hz에서 분류 정확도가 각각 75%, 86%, 91%, 92%, 94%, 그리고 94%로 분석되었다. 임계 값 분석 기법에서와 마찬가지로 주파수가 20Hz 이상에서 급격하게 안정되는 것으로 나타났다. 참고로 임계 값 분석에서는 보행 주기 별 보행 인식 유무, SVM 분석에서는 특정 구간에서의 보행 인식 유무를 정확도로 산출하였기 때문에 직접 비교하는 것이 불가하다.

4. Discussion

보행을 분석하기 위한 연구는 지난 수년간 다양하게 이루어져왔다. 본 연구는 현실에 가까운 상황에서 생체 신호를 수집하고 분석하는 것으로서 몇 가지 제약 하에서 실험을 수행하였다. 스마트폰 혹은 웨어러블 기기에서 보행 혹은 신체 행동을 분석하기 위해 이러한 한계를 고려할 필요가 있다. 첫째, 특히 스마트폰의 경우 신체 다양한 부위에 거치될 수 있으며, 특정 부위에 거치된 상황에서도 예상치 못한 비틀림이 발생할 수 있다. 둘째, 범용적인 모바일 기기를 활용하는 경우 프로세서의 활동 때문에 전문적인 관성 측정기와 다르게 샘플링 주파수가 일정하지 않다. 계획된 주파수보다 실측치가 낮게 계속되는 경우가 많고 기기 내 탑재된 다른 어플리케이션 및 서비스의 영향을 받을 수 있다.

실험 결과 임계 값 분석 및 기계 학습 분석 모두 정확도가 높은 것으로 나타났다. 샘플링 주파수가 50Hz일 경우 기존 연구 결과와 거의 유사한 정확성을 가진다(Del Rosario and Redmond, 2015). 물론 보행은 다양한 신체 활동 중 기본적으로 단순한 것임을 감안할 때 정확도를 향상시킬 필요가 있다. 추후 연구에서는 1) 저 샘플링 주파수에

서 다양한 알고리즘을 통해 분석의 정확도를 향상시키고, 2) 신체 내 다양한 부위에 거치했을 때의 분석 결과를 비교할 예정이다. 또한 추후 연구에서는 참여자의 표본수를 증가시키고 각종 신체 정보를 수집하며 보행 상황을 다변화시킬 필요가 있다.

5. Conclusion

최근 출시되는 모바일 기기에는 3축 가속도 및 각속도 센서가 기본적으로 탑재되고 있다. 본 연구에서는 모바일 기기의 가속도 및 각속도 센서를 이용하여 인간의 보행을 분석하고자 하였다. 특히 걸음 수와 발이 지면에 닿는 순간의 예측을 목표로 하였다. 임계 값 분석 기법과 기계 학습 기법을 적용한 결과 평균적으로 90% 이상의 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 스마트폰의 거치가 불안정하고 샘플링 주파수의 변동이 있었지만, 보행이 단순한 신체 행동인 만큼 걸음 수 예측 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.

본 연구 결과는 다양한 상황에서의 보행 분석 연구를 수행하는 기반이 될 수 있을 것으로 기대된다. 저전력, 저성능으로 출시되는 웨어러블 기기에서와 같이 샘플링 주파수가 낮거나, 흔들림, 비틀림 현상이 심한 환경에서의 보행 분석 시에 도움이 될 수 있을 것으로 보인다.

Acknowledgment

This work was supported by the Incheon National University Research Grant in 2015 (Grant No.: 20151378).

Reference

- Anguita, D., Ghio, A., Oneto, L., Parra, X., and Reyes-Ortiz, J.L., Human activity recognition on smartphones using a multiclass hardware-friendly support vector machine, *Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*, 216-223, 2012.
- Cuberek, R., Ansari, W.E., Frömel, K., Skalik, K., and Sigmund, E., A comparison of two motion sensors for the assessment of free-living physical activity of adolescents, *International Journal of*

- Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1558-1576, 2010.
- Del Rosario, M.B., and Redmond, S.J., Tracking the evolution of smartphone sensing for monitoring human movement, *Sensors*, 15(8), 18901-18933, 2015.
- Le Masurier, G.C., and Tudor-locke, C., Comparison of pedometer and accelerometer accuracy under controlled conditions, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 867-871, 2013.
- Marschollek, M., Goevercin, M., Wolf, K.-H., Song, B., Gietzelt, M., Haux, R., and Steinhagen-Thiessen, E., A performance comparison of accelerometry-based step detection algorithms on a large, nonlaboratory sample of healthy and mobility-impaired persons, *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS 2008)*, 2008.
- Oshin, T.O., and Poslad, S., ERSP: An energy-efficient real-time smartphone pedometer, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2013)*, 2067-2072, 2013.
- Peng, Z., Cao, C., Liu, Q., and Pan, W., Human walking pattern recognition based on KPCA and SVM with ground reflex pressure signal, *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- Tomlein, M., Bielik, P., Krátky, P., Mitřík, S., Barla, M., and Bieliková, M., Advanced pedometer for smartphone-based activity tracking, *Proceedings of the International Conference on Health Informatics*, 2012.
- Wu, W., Dasgupta, S., Ramirez, E.E., Peterson, C., and Norman, G.J., Classification accuracies of physical activities using smartphone motion sensors, *Journal of Medical Internet Research*, 14(5), 2012.
- Zhao, N. Full-featured pedometer design realized with 3-Axis digital accelerometer, *Analog Dialogue*, 44, 1-5, 2010.

Author listings

Jaehyun Park: jaehpark@inu.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Assistant Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University (INU)

Areas of interest: User experience (UX) and user interface (UI) of mobile/wearable devices, Biomechanics

Namkeun Kim: nkim@inu.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Mechanical Engineering, Stanford University

Position title: Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering and Robotics, Incheon National University (INU)

Areas of interest: Hearing mechanics, Biomechanics