



스마트폰의 소지위치 인지 기반의 정확한 보행수 검출 기법

Accurate Step-Count Detection based on Recognition of Smartphone Hold Position

저자 (Authors)	허태호, 염하늘, 이승룡 Taeho Hur, Haneul Yeom, Sungyoung Lee
출처 (Source)	정보과학회논문지 44(4) , 2017.4, 374-382 (9 pages) Journal of KIISE 44(4) , 2017.4, 374-382 (9 pages)
발행처 (Publisher)	한국정보과학회 KOREA INFORMATION SCIENCE SOCIETY
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07153931
APA Style	허태호, 염하늘, 이승룡 (2017). 스마트폰의 소지위치 인지 기반의 정확한 보행수 검출 기법. 정보과학회논문지, 44(4), 374-382.
이용정보 (Accessed)	경희대학교 국제캠퍼스 163.***.116.67 2017/05/18 00:41 (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.

스마트폰의 소지위치 인지 기반의 정확한 보행수 검출 기법

(Accurate Step-Count Detection based on Recognition of Smartphone Hold Position)

허 태 호 [†] 엄 하 늘 [†] 이 승 룡 ^{††}
(Taeho Hur) (Haneul Yeom) (Sungyoung Lee)

요 약 개인의 건강 관리를 위해 보행 운동이 강조되면서 보행 정보 서비스의 요구가 많아지고 있다. 최근 스마트폰이 보급되면서 건강 관리 보조를 위한 보행수 측정 앱이 개발되고 있다. 그러나 기존의 앱은 보행 외의 움직임이나 진동을 보행으로 인지하여 보행수가 증가되거나, 다양한 스마트폰 소지위치에서 다른 정확도를 보이는 등의 문제점이 제기되었다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 스마트폰의 가속도 센서와 근접 센서를 이용하여 소지위치에 상관없이 정확한 보행수를 측정할 수 있는 방안을 제안한다. 이를 위해 스마트폰의 6가지 소지위치별 임계값 범위를 설정하여 미검출 및 과검출의 오류를 최소화하였고 노이즈를 제거하기 위해 잠금구간을 설정하는 알고리즘을 제안한다. 구현 결과 6가지 소지위치를 인식하였고 상용화된 앱과 비교실험을 통하여 제안하는 기법의 정확도가 높음을 확인하였다.

키워드: 보행수 검출, 스마트폰, 소지위치, 패턴 인식

Abstract As the walking exercise is emphasized in personalized healthcare, numerous services demand walking information. Along with the propagation of smartphones nowadays, many step-counter applications have been released. But these applications are error-prone to abnormal movements such as simple shaking or vibrations; also, different step counts are shown when the phone is positioned in different locations of the body. In this paper, the proposed method accurately counts the steps regardless of the smartphone position by using an accelerometer and a proximity sensor. A threshold is set on each of the six positions to minimize the error of undetection and over-detection, and the cut-off section is set to eliminate any noise. The test results show that the six position type were successfully identified, and through a comparison experiment with the existing application, the proposed technique was verified as superior in terms of accuracy.

Keywords: step-count detection, smartphone, hold position, pattern recognition

· 본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다
[10049079, 퍼스널 빅데이터를 활용한 마이닝 마인즈 핵심 기술 개발]

[†] 비 회 원 : 경희대학교 컴퓨터공학
hth@oslab.khu.ac.kr
yzzzpc@naver.com

^{††} 종신회원 : 경희대학교 컴퓨터공학 교수(Kyung Hee Univ.)
sylee@oslab.khu.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2016년 7월 19일
(Received 19 July 2016)
논문수정 : 2017년 1월 25일
(Revised 25 January 2017)
심사완료 : 2017년 2월 2일
(Accepted 2 February 2017)

Copyright©2017 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회논문지 제44권 제4호(2017. 4)

1. 서론

현대에 들어 운동 부족으로 인해 각종 질병이 증가하고 있는 가운데 바쁜 현대인들의 운동 결핍 해소를 위해 계단을 이용하는 등 일상에서의 보행 운동이 강조되고 있다. 일상생활에서 가장 많은 활동인 보행은 신체 전신의 복합적인 운동 중 하나로 최소한의 부작용으로 특별한 기술이나 장비 없이 누구나 쉽게 할 수 있어 신체 활동량 증가 및 체력 증진 등을 위해 권장되는 유산소 운동이다[1]. 따라서 각종 시설에서는 보행 운동의 중요성을 강조하면서 올바른 보행법을 알리고 보행 환경을 조성하는 등 보행 운동을 권고하고 있다. 또한 보행 운동과 수명의 관계에 관한 연구 결과들이 발표되면서 정확한 보행 측정이 가능한 생활 밀착형 보행 정보 서비스의 요구가 많아지고 있다[2,3].

보행 운동을 측정하기 위해 과거에는 Z축의 물리적 운동 횟수를 세는 기계식 만보기를 이용하였으나 최근에는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 방식의 3축 가속도 센서가 널리 보급되면서 이를 이용한 전자식 만보기가 널리 사용되고 있다. 그러나 시중의 만보기는 사용자가 단순히 흔들기만 하여도 보행 수가 올라가는 정확성의 문제를 내포하고 있다. 정확한 보행수 검출을 위한 기존의 관련 연구들은 소형 가속도 센서를 허리, 다리 등 서로 다른 신체 부위에 부착하고 통신 모듈을 이용하여 모니터링 하는 고정식 웨어러블 센서 기반이며, 보행 시 신체 변화가 두드러지게 일어나는 특정 신체 부위에 센서를 고정시켰기 때문에 정확도가 보다 높은 결과를 보이지만 보행 운동자에게 착용의 불편함과 장비 구매의 비용 부담 등의 문제가 발생한다.

이를 대체하기 위해 다양한 종류의 센서와 연산 유닛을 탑재한 스마트폰 기반 보행 측정 기술이 연구되고 있다. 스마트폰을 이용하면 보행 운동을 측정함과 동시에 보행자가 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 현대의 대부분의 사람들은 일상생활 속에서 스마트폰을 소지하고 다니기 때문에 하루 동안의 보행 수 측정으로 보행 운동자의 활동량을 추측할 수 있다.

가속도 센서를 이용하여 보행 수를 측정하는 기술은 크게 걸음 하나의 파형 패턴을 인식하여 측정하는 방법과 기준이 되는 임계값과 가속도 데이터를 비교하여 측정하는 피크탐지법이 있다. 동일한 보행 동작에서 가속도 신호를 비교해 보면 가속도 센서의 소지위치에 따라 전혀 다른 값이 출력됨을 확인할 수 있다[4]. 따라서 위치가 고정되지 않는 스마트폰의 특성상 보행 패턴이 매우 불규칙하고 신체에 밀착되지 않아 노이즈가 많다는 점으로 후자의 방식이 적합하다.

피크탐지법을 채택하여 선행된 다수의 스마트폰 기반

보행수 검출 연구에서 90% 이상의 높은 정확도를 확보했으나 스마트폰을 하의 옆주머니에 고정하거나 신체에 고정된 채로 트레드밀에서 실험한 임계값을 적용하였다. 이는 스마트폰 사용자의 소지 방법을 고려하지 않고 스마트폰을 신체에 고정시키는 제약 조건을 두었다는 점에서 고정식 웨어러블 센서를 스마트폰으로 대체한 동기로 모순이 있다. 실제로 제약 조건 외의 소지위치에서의 정확도는 크게 낮았으며, 스마트폰의 자유로운 소지 방법에도 적용 가능한 기법이 연구되어야 한다.

본 논문에서는 스마트폰의 근접 센서와 가속도 센서를 이용하여 다양한 스마트폰 소지위치에 적용 가능한 보행 수 측정 기법을 제안한다. 스마트폰의 소지위치에 따라 달라지는 가속도 값을 고려하기 위해 패턴인식 기법을 이용하여 6가지 소지위치를 인식한다. 소지위치 인식은 먼저 근접 센서 데이터를 이용하여 비근접한 경우의 유형1(정면주시(Hand held using) · 손파지(Hand held), type1)과 근접한 경우의 유형2(통화 중(On the phone) · 상의 주머니(Jacket pocket) · 하의 앞 주머니(Trousers front pocket) · 하의 뒷 주머니(Hip pocket), type2)로 나누고, 보행 시 발생하는 가속도 센서의 이벤트로부터 수집한 3축 가속도 데이터를 SVM(Signal Vector Magnitude)을 통해 하나의 신호로 변환한 후 소지위치별 임계값에 따라 보행 수를 검출한다. 소지위치별 임계값과 샘플링 주기는 실험을 통해 도출하였다. 또한 검출한 시점으로부터 시간 범위(Time Window)에 지정 잠금 구간(Cut off)을 설정하여 정확도를 높이는 보행수 검출 알고리즘을 설계하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 보행수 검출 관련 연구들을 소개하고, 3장에서는 스마트폰 소지위치 인식과 보행 수 검출 기법에 대해 서술한다. 4장에서는 제안하는 연구의 성능 평가를 통해 본 논문을 평가하고, 5장에서는 결론을 제시하며 본 논문을 마무리한다.

2. 관련연구

Jang et al.은 2축 가속도 센서를 발에 부착하였으며, 사람의 걸음을 발이 신체를 지탱하고 있는 상태 여부에 따라 지지기와 비지지기로 나누고, 비지지기는 다시 발의 위치에 따라 추진기, 억제기, 힐터치다운 구간으로 나누어 이를 순서대로 거친 경우에만 하나의 걸음으로 판단하였다[5]. Yoo et al.은 가속도 센서를 허리에 착용하였으며, 일반적인 임계값 설정 방식의 경우에 발생할 수 있는 걸음길이 속도 변화에 따라 임계값 범위 내에 위치하지 않는 가속도 신호의 미검출 문제를 해결하기 위해 임계값이 실시간으로 변화하는 적응형 임계값 알고리즘을 제시하였다[6]. 임계값의 갱신은 두 단계로 이루어지며, 이전 5개 최대값(peak)들을 기반으로 임계

값을 산출한다. Kim et al.은 가속도 센서를 팔과 허리에 부착하였으며, 설정한 임계값에서 놓칠 수 있는 걸음을 감지하기 위해 현재 스텝 인덱스가 이전 네 번의 스텝 인덱스 평균의 두 배에 가까울 때 현재의 스텝 인덱스를 2로 나누어 찾지 못한 걸음 수를 검출하는 휴리스틱 알고리즘을 사용하였다[7]. 또한 걸음길이 차이에 의한 임계값 범위 문제 해결을 위해 역시 적응형 임계값 알고리즘을 적용하였으며, 보행수 카운트 직후 노이즈로 인한 보행수가 추가 인지되지 않도록 적응형 잠금 구간을 설정하였다. Nam et al.은 가속도 센서를 허리에 착용하고 하나의 보행에서 두 개 이상의 최대값 과검출로 인한 오류를 방지하기 위해 순서대로 수집된 데이터들의 평균을 window 형태로 구성시키는 이동 평균 필터(Moving Average Filter)를 사용하고, 실제 보행 상태가 아닌 경우의 보행수 검출을 무시하기 위해 가우시안 퍼지 소속 함수(Gaussian Fuzzy Membership Function) 및 퍼지 룰을 설정하여 이용하였다[8]. 또한 추가적인 검출 오류를 방지하기 위해 상대적인 높낮이를 구분하여 정점을 표시하는 개념인 Prominence를 이용하여 최소 상대 진폭 알고리즘도 적용하였다. 위와 같은 연구들은 모두 높은 정확도의 보행수 검출을 이루지만, 모두 가속도 센서를 고정하여 사용하였다. 가속도 축의 방향 성분을 제거하고 변화 크기만을 감지하기 위해 신호를 하나로 합치는 에너지 추출 식을 사용하였으나, 여전히 위치는 고정되어 있는 문제점이 있다. 이는 실생활 환경을 반영하지 못한 방법으로, 사용자가 센서를 실험에서 진행한 위치와 다른 위치에 고정시킬 경우 각 연구의 실험결과보다 더 높은 보행수 검출 오류를 발생시킬 가능성이 있다.

Naqvi et al.은 스마트폰을 이용하여 보행수를 검출하였으며, 사용자가 보행 시에 가속도 신호 주파수의 진폭에서 최대값을 이용하여 보행 수를 검출한다[9]. Pratama et al.은 스마트폰을 손에 든 상태로 사용자의 보행수와 걸은 거리를 계산한다[10]. 보행수 검출은 최대값 검출 방식을 사용하며, 보행 거리 계산은 기존 연구들에서 제기된 Weinberg, Scarlet, Kim 방식을 비교실험 하였다. 이 외에 실내 측위 연구들은 보행수 검출 방법을 기존 연구 방법을 그대로 이용하였다[11-13]. 스마트폰을 이용한 상용화 어플리케이션으로 유명한 نوم(Noom)사의 نوم워크(Noom Walk)는 하루 동안의 보행 수를 기록하여 보여준다[14]. 가속도 데이터가 일정 크기 이상일 경우 보행 수가 증가되는 방식으로 보행 이외의 움직임은 검출하지 않기 위해서 5회 이상의 움직임에서만 보행 수가 증가된다. 그러나 보행 이외의 움직임일지라도 5회 이상의 흔들림에도 보행수가 과검출 되는 오류가 발생한다. 또한 스마트폰을 손에 들고 흔들면서 걷는 경우가 아닌

화면을 보며 사용 중이면서 걸을 경우 보행이 검출되지 않는 문제점을 가지고 있다. 위와 같이 스마트폰을 이용한 보행수 연구들이 진행되고 있으나, 기존의 고정식 센서 방법을 그대로 이용하거나 상용화 어플리케이션의 경우 정확도가 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 스마트폰의 본질적인 특성을 살려 소지 방향의 무관함과 스마트폰을 소지하고 다닐 수 있는 대표적인 신체 부위들에서 정확한 보행수 검출이 될 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

3. 스마트폰의 소지위치 인지에 기반한 보행수 검출 기법

본 장에서는 스마트폰 환경에서의 보행수 검출 기법을 제안한다. 스마트폰 기반의 선행 연구들의 문제점을 보완하기 위한 해결책으로 보행 시 스마트폰의 소지위치를 인지하고 분류된 소지위치별 임계값을 각각 설정하여 보행수를 검출하는 기법을 연구하였다. 제안하는 보행수 검출 기법의 전체 구조도는 그림 1과 같다.

스마트폰의 가속도 센서와 근접 센서의 데이터를 이용하고 센서 간의 오차를 해결하기 위해 데이터 전처리 과정을 거친다. 현재 스마트폰의 소지위치를 판별하기 위해 먼저 근접 센서 데이터를 이용해 유형1, 유형2로 구분하고 가속도 데이터로부터 10개의 특징을 추출하여 총 6가지 소지위치를 인지한다. 소지위치가 인지되면 소지위치별 임계값을 설정하고 보행 시 가속도 데이터와 임계값을 비교하여 보행수가 증가된다.

3.1 가속도 센서를 이용한 보행수 검출 방법

가속도 센서는 출력신호를 처리하여 물체의 가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 측정하여 물체의 운동 상태를 감지할 수 있다. 그림 2는 보행의 단계를 나타낸 것으로 일반적으로 발바닥이 지면에 닿는 순간인 접점(Contact point)에서 가속도는 최대값(peak)을 나타낸다. 따라서 접점에서 가속도 값의 변화를 캐치하여 보행이 이루어졌음을 인지할 수 있다. 기준점이 되는 임계값(threshold)을 설정하고 접점에서 급격히 커진 가속도 값이 임계값을 넘어서면 한걸음이 이루어졌음을 판단한다. 이러한 방법을 ‘피크탐지법’이라 명하며 고정식 웨어러블 센서와 스마트폰 기반의 보행수 검출에서 공통적으로 사용되는 방식으로 적절한 임계값을 찾아내는 방법에 초점을 둔 연구가 진행되고 있다.

그림 3은 피크탐지법으로 임계값을 설정하여 보행수를 검출하는 단계를 나타낸 것이다.

가속도 센서는 x, y, z축의 각도와 방향으로 움직임의 정도를 나타내는데 이러한 회전 성분을 제거하기 위해 SVM(Signal Vector magnitude)을 이용하여 가속도 데이터의 축 방향 변화를 상쇄하고 신호벡터의 크기를

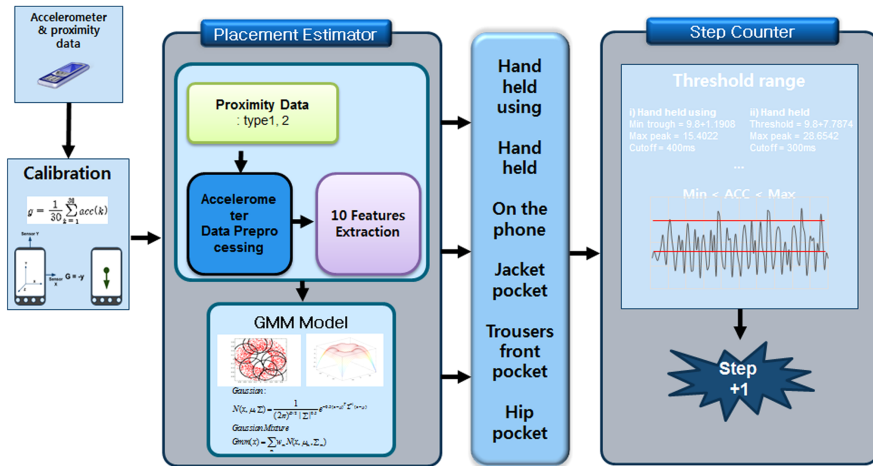


그림 1 스마트폰의 소지위치 인지에 기반한 보행수 검출 기법의 전체 구조도

Fig. 1 Overall architecture of the step-count detection based on the recognition of the smartphone hold position

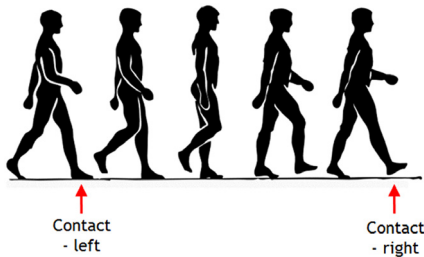


그림 2 보행의 단계

Fig. 2 Levels of walking

하나의 신호로 변환한다. SVM 신호는 식 (1)과 같이 3개의 축을 변환하여 하나의 E값으로 출력한다.

$$E = \sqrt{|x_i|^2 + |y_i|^2 + |z_i|^2} \quad (1)$$

보행은 단일 동작이 아닌 반복 동작이므로 SVM으로 변환한 E값은 일정 패턴으로 파형을 나타내는데 최소·최대 임계값을 설정하여 보행수를 검출 할 수 있다. 임

계값의 범위가 좁아질수록 미검출 수가 높아지고 범위가 넓어질수록 노이즈조차도 걸음으로 인지하는 과검출의 우려가 높아진다. 따라서 적절한 임계값을 찾아내는 과정이 중요하다.

3.2 스마트폰의 가속도 신호 보정

가속이 없는 상태에서 가속도계의 중력 가속도는 9.8 m/s²을 가진다. 그러나 스마트폰에 내장되어 있는 가속도 센서는 같은 기종일지라도 많게는 ±1.5 m/s²만큼의 편차가 있어 상수인 임계값을 적용하기엔 무리가 있다. 따라서 기기별로 다른 가속도 센서의 중력 가속도값을 동일하게 일치시키기 위하여 영점 보정하는 작업이 필요하다.

평평하고 진동이 없는 곳에 스마트폰 화면이 위를 향하게 올려놓아 가속을 받지 않는 상태로 만든 후 식 (2)와 같이 가속도 값 30개의 평균을 구해 9.8 m/s²과의 오차를 구해 영점 보정을 한다.

$$g = \frac{1}{30} \sum_{k=1}^{30} acc(k) \quad (2)$$

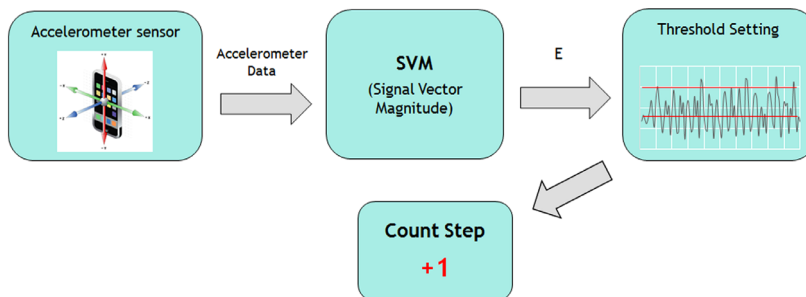


그림 3 가속도 센서를 이용한 보행수 검출 단계

Fig. 3 Step-count detection procedure using the accelerometer

3.3 스마트폰의 소지위치 분류

보행 수 검출에 앞서 스마트폰의 소지위치에 따라 달라지는 가속도 값에서 각각의 위치별 임계값을 설정하기 위해 현재 보행 운동자가 스마트폰을 어디에 지니고 있는지를 자동 인지할 필요성이 있다. 인지하는 소지 위치는 보행시 가장 많이 이용되는 주요 위치 6가지로 구분하며 이는 그림 4와 같다.

- (a) 정면주시(Hand held using): 스마트폰을 들고 사용하여 보행
- (b) 손파지(Hand held): 스마트폰을 손에 쥐고 팔을 자연스럽게 흔들며 보행
- (c) 통화 중(On the phone): 스마트폰을 귀에 대고 보행
- (d) 상의 주머니(Jacket pocket)
- (e) 하의 앞주머니(Trousers front pocket)
- (f) 하의 뒷주머니(Hip pocket)

3.4 근접 센서를 이용한 소지위치 인식

보행 시 스마트폰으로 부터 3000ms 주기로 1개의 근접 센서 데이터(proximity data)를 수집한다. 실험에 사용된 스마트폰인 갤럭시 S5의 근접 센서의 경우 비근접으로 인지하는 기준 거리는 8cm이며, 근접의 경우 0을, 비근접의 경우 8의 값을 반환한다. 이를 이용하면 6가지 소지위치 중 유형1(a, b)과 유형2(c, d, e, f)는 근접 센서를 이용하여 쉽게 구분이 가능하다.

3.5 가속도 센서를 이용한 소지위치 인식

3000ms 주기의 150개 가속도 데이터(accelerometer data)는 최종 소지위치 인지에 사용된다. 먼저 스마트폰 장치에서만 받는 가속도 값을 추출해 내기 위하여 식 (3)과 같이 3축 가속도 데이터에 포함된 중력 성분을 제거한다.

$$g_i(k) = \alpha g_i(k-1) + (1-\alpha)\alpha_i(k) \quad (3)$$

식 (3)을 통해 추출한 각 축의 가속도 값은 위에서 언급한 식 (1)과 같이 SVM 신호로 변환하고 소지 위

치를 인지하기 위해 특징을 추출한다. 본 연구에서 사용된 특징은 5차 선형 예측 계수, 1개의 선형 예측 오차, 1초 단위의 표준편차 3개, 1개의 평균 교차율 등 총 10개의 특징 벡터로 기계학습 알고리즘인 GMM(Gaussian Mixture Model)을 이용하여 3000ms의 데이터로부터 소지위치를 훈련 및 인지한다. GMM은 비슷한 분포특성을 가진 데이터를 분류할 때 사용한다. 본 연구에서는 소지위치 (a)~(f)에 따라 6개의 분포가 존재한다고 가정하고, EM(expectation-maximum) 알고리즘을 이용하여 정의된 개수의 분포에서 가장 최적의 분포를 이용하여 소지위치별 인지모델을 생성한다[15]. 이를 이용하여 3000ms 주기로 6개의 인지모델에 기반한 데이터 분포에 따라 현재 소지위치를 판별하게 된다. 전체적인 소지위치 인지 과정은 그림 5와 같다.

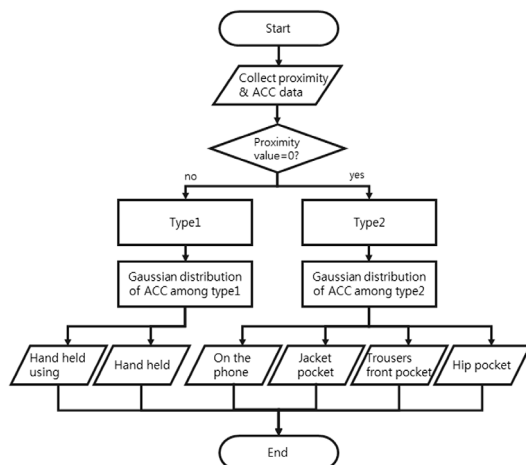


그림 5 스마트폰 소지위치 인지과정

Fig. 5 Flow of smartphone position recognition

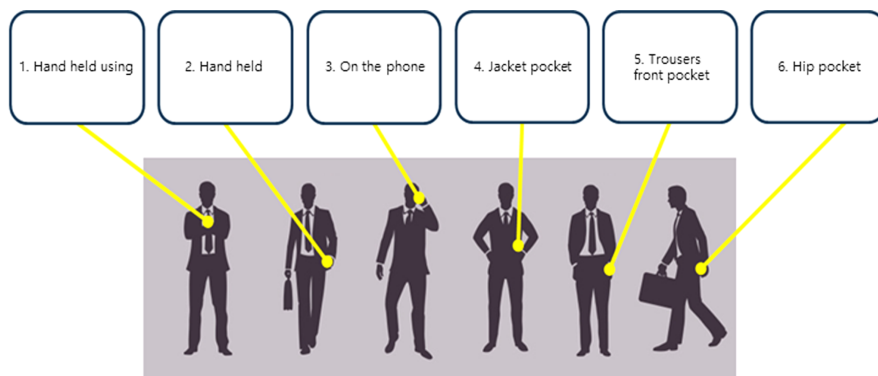


그림 4 스마트폰의 6가지 소지위치

Fig. 4 Six different smartphone hold position

3.6 소지위치별 임계값 설정

임계값을 획득하기 위해 25명의 2, 30대 남녀가 8가지 소지위치별로 다양한 보행환경에서 251,075 걸음을 걷는 실험을 진행하였다. 실험의 결과는 표 1과 같다.

분석 결과 가속도 데이터의 패턴이 비슷한 3가지 위치(d)~(f)를 상의 주머니 1가지로 통합하여 총 6가지 소지위치로 분류하였다. 식 (4)와 같이 가속도 데이터 파형의 최대값(peak)과 골(trough)의 평균을 산출하여 최대 임계값(max threshold)과 최소 임계값(min threshold)의 범위로 사용한다. 최종 사용될 임계값은 그림 6과 같다.

$$\begin{aligned} MIN_{acc} &= \frac{\sum_i (acc_i(p) + acc_i(t))}{2n} - 9.8 \\ MAX_{acc} &= \frac{\sum_i acc_i(p)}{n} - 9.8 \\ MIN_{acc} &\leq Threshold \leq MAX_{acc} \end{aligned} \quad (4)$$

표 1 8가지 소지위치별 가속도 데이터

Table 1 Accelerometer data for different positions

		Walking		
		Flat	Upstairs	Downstairs
(a) Hand held using	peak	11.63706	12.385	12.76291
	trough	7.436128	7.938546	8.183773
(b) Hand held	peak	13.85161	13.33273	16.38601
	trough	7.009347	8.276215	8.477569
(c) On the phone	peak	13.90542	14.35126	16.05016
	trough	7.698558	6.936257	5.995907
(d) Jacket pocket	peak	13.65348	15.38528	18.35644
	trough	7.32783	4.675703	6.187545
(e) Inside pocket	peak	14.2179	15.82243	19.05652
	trough	7.36527	5.514726	6.001251
(f) Chest pocket	peak	14.5711	15.7705	18.38242
	trough	6.91744	4.90175	5.44901
(g) Trousers front pocket	peak	14.9072	14.67663	20.15883
	trough	6.605348	6.129695	5.127354
(h) Hip pocket	peak	13.87136	14.67341	17.76011
	trough	6.526564	6.836199	5.352484

3.7 보행수 검출

스마트폰의 가속도 값은 일정한 샘플링 주기로 수집할 수 있다. CPU의 처리량과 배터리 소모량을 최소화하기 위하여 적절한 샘플링 주기 설정이 필요한데 보행 시 한 걸음의 패턴에서 특징을 놓치지 않고 나타낼 수 있는 100ms로 지정하였다. 100ms주기 마다 가속도 값 E를 획득하여 설정된 최대 임계값과 최소 임계값 사이의 범위 안에 들면 보행 수가 증가된다.

한 걸음으로 인정되어 보행 수가 하나 증가되면 일정 시간동안 보행 수가 더 이상 증가하지 않는 잠금 구간 기법을 사용한다. 잠금 구간은 인간이 낼 수 있는 최고 보행 속도를 고려하여 해당 시간에는 보행수를 인지하지 않는 구간이다. 따라서 걷기일 때 400ms로 잠금 구간 시간을 설정하였다. 보행 시 일정 시간마다 들어오는 가속도 값이 임계 값 범위에 들게 되면 보행 수가 카운트되고 잠금 구간 내에서는 카운트되지 않는다. 그림 7과 같이 검출되는 시점으로부터 잠금 구간 내에서 표시된 포인트는 카운트되지 않고 무시된다.

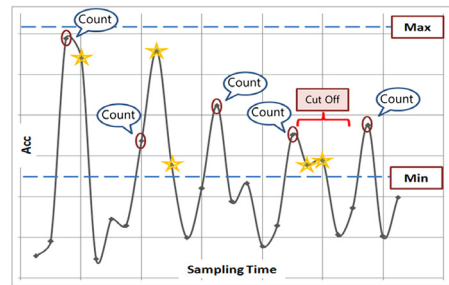


그림 7 보행 수 검출 방법

Fig. 7 Method for step-count detection

4. 성능평가

본 장에서는 제안하는 스마트폰의 소지위치 인식을 이용한 보행수 검출 기법의 평가를 위해, 데이터 수집과 실험을 포함한 데모 환경을 소개하고 상용화된 보행수 검출 어플리케이션과 비교하여 본 논문에서 제안하는

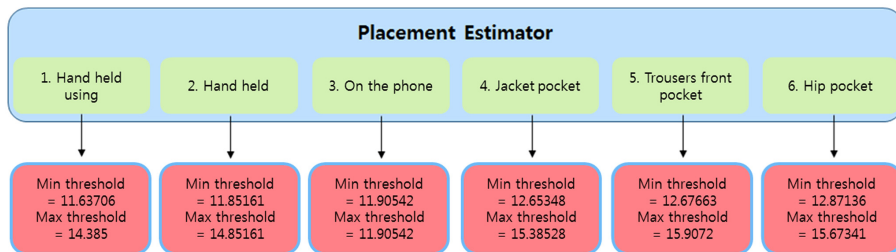


그림 6 6가지 소지위치별 임계값

Fig. 6 Thresholds of the six different positions

보행수 검출 기법의 인식률이 높음을 입증한다.

4.1 성능 평가 환경

실험을 위한 데이터 수집 및 테스트는 삼성전자의 안드로이드 스마트폰인 갤럭시 S5에서 진행되었다. 갤럭시 S5는 S헬스라는 어플리케이션을 제공하는데 가속도 센서를 이용한 보행수 측정 기능을 탑재하고 있다. 소지위치 인식의 트레이닝 및 테스트를 위한 가속도 데이터는 3초 동안 샘플 주기 50hz로 X, Y, Z축 신호를 각각 150개, 근접 센서 데이터는 3초 동안 1개를 수집한다. 또한 보행수 검출을 위한 가속도 데이터는 0.1초에 1개씩 수집한다.

첫 번째 실험은 소지위치 인지에 대한 정확도를 분석한다. 가속도 데이터를 이용하여 6가지 위치를 인지하는 것에 대한 실험으로 근접 센서를 이용해 유형1과 유형2로 분류한 후 가속도 데이터를 이용하여 2가지/4가지의 총 6가지로 인지하는 것과 근접 센서를 이용하지 않고 가속도 데이터를 이용하여 6가지 소지위치를 한 번에 인지하는 방법에 대한 비교실험이다. 이는 6가지 소지위치를 하나로 모델링하였을 때보다 근접 센서를 이용하여 유형1과 유형2로 나누고 2가지, 4가지로 각각 모델링하여 인식할 경우 어느 방법의 인식 정확도가 더 높은지 알아보기 위한 실험이다.

두 번째 실험은 자유보행 1000 걸음에 대한 정확도를

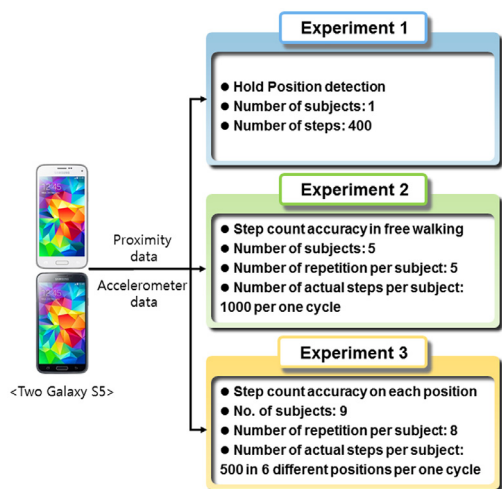


그림 8 성능 평가 환경

Fig. 8 Experimental environment

표 2 수집한 데이터셋

Table 2 Number of collected datasets

	Proximity data	Accelerometer data
Experiment 1	397	59,627
Experiment 2	4,211	627,196
Experiment 3	32,472	964,718

분석한다. 실험자 5명이 1000 걸음을 보행하는데 보행 환경에 있어 노면, 속도, 소지위치 등 보행 환경을 자유롭게 하였다. 오르막길, 내리막길, 계단 등 노면 환경에 관계없이 보행하였으며, 실험자는 갤럭시 S5 2대를 동시에 같은 위치에 소지하고 걷기, 서기를 자유롭게 반복하였다. 스마트폰을 2대 사용한 이유는 삼성의 S헬스와 비교를 위함이며, 한 대에서는 제한하는 기법을, 다른 한 대에서는 S헬스를 실행하여 동일한 조건에서 비교실험이 가능하도록 하였다. 각 실험자는 한회 1000 걸음씩 5회에 걸쳐 진행하였다.

세 번째 실험은 각 소지위치별 500 걸음에 대한 정확도를 분석한다. 소지위치별로 정확도의 차이를 분석하기 위하여 실험자 9명이 6가지 소지위치별로 500 걸음씩 보행하였다. 역시 삼성의 S헬스와 비교 실험을 위한 동일 조건을 유지하기 위해 스마트폰 두 대를 같은 위치에 소지하고 진행하였다. 실험자마다 한회 500 걸음씩 8회 진행하였다.

그림 8은 성능 평가 환경에 대한 요약을 나타내며, 표 2는 수집한 데이터셋을 나타낸다.

4.2 성능 평가 결과

다음의 표 3, 표 4, 표 5는 첫 번째 실험에 대한 결과를 나타낸다.

정면 주시(Hand held using)와 손파지(Hand held)는 신체에 근접 센서가 닿지 않기 때문에 나머지 4가지 소지위치와 근접 센서를 이용하여 구분할 수 있다. 가속도 센서 데이터로부터 특징을 추출하여 모델링을 할 때 인지해야 할 레이블의 종류가 많아질수록 정확도가 떨어지게 된다. 따라서 근접 센서를 이용하여 유형1과 유형2로 구분한 후에 유형1의 2가지, 유형2의 4가지를 기계학습 기법을 통해 인식하면 더 높은 정확도를 얻을 수 있다.

표 3 가속도 데이터를 이용한 6가지 소지위치 인지
Table 3 Recognition of six different position using the accelerometer data

	Hand held using	Hand held	On the phone	Jacket pocket	Trousers front pocket	Hip pocket
Hand held using	379	15	26	0	0	0
Hand held	34	304	33	0	0	0
On the phone	22	43	334	0	0	0
Jacket pocket	7	0	0	336	42	19
Trousers front pocket	3	0	0	27	318	53
Hip pocket	0	0	0	30	41	345

표 4 근접/가속도 데이터를 이용한 유형1의 2가지 소지 위치 인지

Table 4 Recognition of two different positions of type1 using the proximity/accelerometer data

	Hand held using	Hand held
Hand held using	413	7
Hand held	13	358

표 5 근접/가속도 데이터를 이용한 유형2의 4가지 소지 위치 인지

Table 5 Recognition of four different positions of type2 using the proximity/accelerometer data

	On the phone	Jacket pocket	Trousers front pocket	Hip pocket
On the phone	392	3	4	0
Jacket pocket	4	377	15	8
Trousers front pocket	0	12	365	24
Hip pocket	4	1	35	376

실험 결과, 가속도 센서 데이터만을 이용하여 6가지 소지위치를 모두 인지하였을 때 평균 86.61%의 정확도를 보였다. 근접 센서 데이터를 이용하여 유형1과 유형2 두 경우로 나누어 인지할 때 각각 97.47%와 93.21%로 총 94.61%의 평균 정확도를 보여 근접 센서를 이용하여 6가지 소지위치를 두 형태로 나누어 인지할 때 더욱 높은 정확도의 결과를 보임이 입증되었다.

다음의 표 6은 두 번째 실험에 대한 결과이다.

실험자 5명이 1000 걸음을 제약조건 없이 자유롭게 보행했을 때 제안하는 기법은 평균 95.14%를 보였고, 비교 실험 대상인 삼성 S헬스 어플리케이션은 평균 84.61%의 정확도를 보였다. 이 실험에서는 대학 캠퍼스 내에서 등하교하듯 자연스럽게 보행하여 스마트폰을 사용하거나 주머니에 넣는 등 소지위치를 자유롭게 바꿔주었다. 비교 대상의 정확도가 낮게 나온 것을 소지위치별 측정 정확도가 다른 것으로 추측하여 세 번째 실험을 진행하였다.

세 번째 실험은 실험자가 스마트폰을 6가지 중 하나

표 6 자유보행의 비교실험 결과

Table 6 Comparison of step counts in free walking

	Ground truth step	Detected step	Undetected step	Over detected step	Accuracy
Proposed method	1000	951	50.6	1.9	95.1
S Health	1000	1157	0	157	84.3

표 7 소지위치별 500 걸음 비교실험 결과

Table 7 Comparison of 500 step counts of different positions

	Ground truth step	Classification	Detected step	Accuracy
Hand held using	500	Proposed method	499.25	99.85
		S Health	494.71	98.94
Hand held	500	Proposed method	476.1	95.22
		S Health	397.58	79.52
On the phone	500	Proposed method	499.79	99.96
		S Health	514.67	97.07
Jacket pocket	500	Proposed method	524.01	95.2
		S Health	549.7	90.06
Trousers front pocket	500	Proposed method	514.01	97.2
		S Health	558.1	88.38
Hip pocket	500	Proposed method	513.07	97.39
		S Health	564.13	87.17

의 위치에 소지하고 500걸음을 연속해서 보행하는 실험으로 결과는 표 7과 같다. 실험자 9명이 6가지 소지위치별로 500 걸음씩 보행했을 때 제안하는 기법은 평균 97.47%를 보였고, 비교 실험한 삼성 S헬스는 평균 90.19%의 정확도를 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 스마트폰을 이용한 보행수 검출 기법을 제안하였다. 기존 연구에서는 센서를 고정하는 방식을 사용하여 센서의 위치가 바뀔 경우 정확도가 하락할 수 있으며 실생활에서의 사용이 불편한 점이 존재했으나, 제안하는 연구는 현재 사람들이 많이 소지하고 다니는 스마트폰의 근접 센서와 가속도 센서를 이용하여 스마트폰의 소지위치를 인식한 후 보행수를 검출하는 기법을 제안하였다. 피크탐지법을 스마트폰에 적용했을 때 스마트폰의 특성에 맞는 임계값을 찾기 위해 스마트폰의 소지위치별로 실험을 통해 수집한 가속도 데이터를 분석하여 소지위치별 임계값을 획득하였으며, 하나의 임계값을 이용하는 방식이 아닌 소지위치별로 가속도 데이터의 변화 패턴을 고려한 임계값을 획득하여 각각 설정해 줌으로써 높은 정확도를 보였다. 다만 본 연구의 실험군은 20~30대로 한정되었으며, 스마트폰의 사용이 전 연령층에 걸쳐 있는 점으로 볼 때 실험군 이외의 연령대에서는 보행수 검출이 정확하지 않을 가능성이 있다.

향후 연구에서는 먼저 다양한 연령대를 대상으로 실험을 진행할 예정이다. 또한 기존에 연구되었던 서기·걷기·

뛰기의 행위인지와 접촉시켜 걷기뿐만 아니라 뛰기 등의 모든 보행에서 보행수를 검출하여 사용자의 활동량을 측정하는 것을 목표로 하고 있다. 최종적으로는 보행수와 보폭, 이동거리 등 보행정보를 측정하여 사용자에게 더욱 다양하고 정확한 헬스케어 서비스를 제공할 수 있는 시스템 개발을 최종 목표로 삼고 있다. 보행정보에 대한 보다 신뢰도 있는 측정 기법이 개발되면 헬스케어에서 그치지 않고 실내 측위 연구에도 활용되어질 것을 기대한다[11-13].

References

- [1] J. N. Morris and A. E. Hardman, "Walking to health," *Sports medicine*, Vol. 23, No. 5, pp. 306-332, May. 1997.
- [2] S. C. Moore, A. V. Patel, C. E. Matthews, A. B. de Gonzalez, Y. Park, H. A. Katki, S. L. Martha, W. Elisabete, K. Visvanathan, K. J. Helzlsouer, M. Thun, S. M. Gapstur, H. Patricia, and I. Lee, "Leisure time physical activity of moderate to vigorous intensity and mortality: a large pooled cohort analysis," *PLoS Medicine*, Vol. 9, No. 11, Nov. 2012.
- [3] A. B. Newman, E. M. Simonsick, B. L. Naydeck, R. M. Boudreau, S. B. Kritchevsky, M. C. Nevitt, M. Pahor, S. Satterfield, J. S. Brach, S. A. Studenski, and T. B. Harris, "Association of long-distance corridor walk performance with mortality, cardiovascular disease, mobility limitation, and disability," *JAMA*, Vol. 295, No. 17, pp. 2018-2026, May. 2006.
- [4] N. J. Kim, J. H. Hong, and T. Lee, "Processing of 3-Axial Accelerometer Sensor Data and Its Application," *Proc. of The Korea Contents Association 2005 Fall Conference*, Vol. 3, No. 1, pp. 548-551, 2005. (In Korean)
- [5] J. J. Han, J. W. Kim, and D. H. Hwang, "Design of a Robust Pedometer for Personal Navigation System against Ground Variation and Walking Behavior," *The Transaction of The Korean Institute of Electrical Engineers D*, Vol. 55D, No. 9, pp. 420-422, 2006. (In Korean)
- [6] H. Yoo, J. Suh, E. Cha, and H. Bae, "Walking Number Detection Algorithm using a 3-Axial Accelerometer Sensor and Activity Monitoring," *Journal of The Korea Contents Association*, Vol. 8, No. 8, pp. 253-260, 2008. (In Korean)
- [7] Y. Kim, S. Kim, H. Lho, and W. Cho, "Real-Time Step Count Detection Algorithm Using a Tri-Axial Accelerometer," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, Vol. 12, No. 3, pp. 17-26, 2011. (In Korean)
- [8] J. Nam, and H. H. Choi, "Step Count Detection Using 3 Axes Acceleration Sensor," *Proc. of The Korean Institute of Electrical Engineers 2006*, pp. 291-292, 2016. (In Korean)
- [9] N. Z. Naqvi, A. Kumar, A. Chauhan, and K. Sahni, "Step Counting Using Smartphone-Based Accelerometer," *International Journal on Computer Science and Engineering*, Vol. 4, No. 5, pp. 675-681, May. 2012.
- [10] A. R. Pratama, Widyawan, and H. Risanuri, "Smartphone-based Pedestrian Dead Reckoning as an Indoor Positioning System," *2012 International Conference on System Engineering and Technology*, pp. 1-6, 2012.
- [11] W. Kang, S. Nam, Y. Han, and S. Lee, "Improved Heading Estimation for Smartphone-Based Indoor Positioning Systems," *IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 2449-2453, 2012.
- [12] J. Qian, J. Ma, R. Ying, P. Liu, and L. Pei, "An Improved Indoor Localization Method Using Smartphone Inertial Sensors," *2013 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, pp. 1-7, 2013.
- [13] B. Shin, J. H. Lee, H. Lee, E. Kim, J. Kim, S. Lee, Y. Cho, S. Park, and T. Lee, "Indoor 3D Pedestrian Tracking Algorithm Based on PDR using Smartphone," *12th International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 1442-1445, 2012.
- [14] Noom, Inc, [Online]. Available: <https://www.noom.com/> (downloaded 2015, Jan. 7)
- [15] G. Xuan, W. Zhang, and P. Chai, "EM algorithms of Gaussian mixture model and hidden markov model," *2001 International Conference on Image Processing*, Vol. 1, pp. 145-148, 2001.



허 태 호

2010년 경희대학교 컴퓨터공학과(학사)
2010년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과
석박사과정. 관심분야는 유비쿼터스 컴퓨
팅, 행위인지, 상황인지, 인공지능



엄 하 늘

2012년 한경대학교 응용수학과(학사). 2015
년 경희대학교 컴퓨터공학과(석사). 관심
분야는 유비쿼터스 컴퓨팅, 행위인지, 상황
인지



이 승 룡

1978년 고려대학교 재료공학과(공학사)
1987년 Illinois Institute of Technology
전산학과(석사). 1991년 Illinois Institute
of Technology 전산학과(박사). 1992~
1993년 Governors State University,
Illinois 조교수. 1993년~현재 경희대학교
전자정보대학 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 유비쿼터스 컴
퓨팅, 상황인지, 인공지능, 실시간 시스템, 미들웨어, 보안, 클
라우드 컴퓨팅