

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.3.119>

IIBC 2018-3-16

위치 추적을 위한 스마트폰 센서를 이용한 걸음 수 검출에 관한 연구

A Study on step number detection using smartphone sensors for position tracking

이권희, 김광현, 오종택*

Kwonhee Lee, Kwanghyun Kim, and Jongtaek Oh*

요약 스마트폰을 이용한 실내에서의 위치 기술이 다양하게 연구되고 있다. 그 중 스마트폰에 내장된 가속도 센서와 자이로 센서를 이용한 위치 추적 기술은 WiFi fingerprint 기술 등과 함께 연동되어 많이 사용되고 있다. 센서를 이용한 위치 추적 기술은 오래 전부터 사용되어 왔으나, 스마트폰의 경우 센서의 성능이 좋지 않고 사용자가 스마트폰을 일정한 자세로 들고 이동하는 등 사용 환경이 특이하다. 따라서 스마트폰 환경에서 위치 추적의 정확도를 높이기 위해서는 고유의 환경에서 적절한 알고리즘을 연구 개발해야 한다. 본 논문에서는 사용자의 이동 걸음 수 검출 알고리즘인 주파수 분석 방식, 최대 최소 가속도의 합 방식 및 적응형 임계값 방식에 대한 다양한 실험 환경에서의 성능을 분석하고, 가장 정확한 방식을 선정한다.

Abstract Various techniques for indoor positioning using a smart phone have been studied. Among them, the positioning technology using the acceleration sensor and the gyro sensor built in the smartphone is widely used in conjunction with the WiFi fingerprint technology. The location tracking technology using sensors has been used for a long time, but the performance environment of the smartphone is poor and the user is moving with the smartphone in a certain posture. Therefore, in order to improve the accuracy of location tracking in a smartphone environment, it is necessary to study and develop appropriate algorithms in a mobile environment. In this paper, we analyze the performances of frequency analysis method, maximum sum of minimum acceleration method and adaptive threshold method, which are the user's moving step count detection algorithms, and determine the most accurate method.

Key Words : step number, sensor, smartphone, position tracking

1. 서 론

최근 스마트폰의 센서를 사용한 다양한 서비스들이 제공되는데 센서를 통해 사람의 동작을 인식하여 여러 가지 분야에 활용하려는 노력들도 진행되고 있다^[1~4]. GPS가 동작하지 않는 실내에서의 위치를 파악하는 것

역시 그 중 하나인데 사람이 움직일 때의 가속도 값과 자이로센서 값만을 가지고 이동 거리와 방향을 파악해 초기 위치에 대한 상대적인 위치좌표를 알 수 있다. 이동 거리를 파악하는 방법에는 여러 가지가 있는데 이론적으로 가속도를 이중 적분하는 방법으로 이동 거리를 나타낼 수 있지만^[5], 가속도 센서의 경우 센서 자체의 오차인

*정희원, 한성대학교 전자정보공학과
접수일자: 2018년 4월 9일, 수정완료: 2018년 5월 9일
게재확정일자: 2018년 6월 8일

Received: 9 April, 2018 / Revised: 9 May, 2018

Accepted: 8 June, 2018

*Corresponding Author: jtoh@hansung.ac.kr

Dept. of Electronics Information Eng., Hansung University, Korea

바이어스와 중력가속도 및 측정 잡음으로 인해 이동할 때의 가속도 값만을 정확하게 측정할 수 없다. 이런 점을 해결하기 위해 보폭을 검출하는 보행 추측 방법 (Pedestrian Dead Reckoning: PDR)들이 제안되고 있다^[6]. 이 PDR방법은 적분 방식에 비해 오차가 누적되지 않는다는 장점이 있고 한 걸음마다 보폭을 계산하여 더하면 이동 거리를 알 수 있다.

기존에는 특수한 가속도 센서를 몸에 부착하는 방식으로 이동거리를 구하지만, 대부분의 일반 사용자들이 스마트폰을 휴대하고 실내에서의 위치를 알고 싶어 하므로 스마트폰을 이용한 이동 거리와 방향 추정 기술이 매우 유용할 것이다.

따라서 본 논문에서는 스마트폰을 가슴 앞에서 손으로 들고 이동하는 경우에 대하여, 사용자의 이동 걸음 수와 보폭을 추정하여 이동거리를 구할 수 있도록 주파수 검출, 최대 최소 가속도의 합, 적응형 임계값 등 3가지 방식으로 알고리즘을 구현하고 그 성능을 비교 분석하였다.

II. 다양한 걸음 수 검출 알고리즘과 모의실험 결과

1. 주파수 검출 방식

주파수 검출 방식은 걸음의 수를 검출할 때 가속도 센서의 값을 샘플링하고 이들 데이터를 일정 시간 간격으로 주파수 영역으로 변환하여 걸음 주파수(Walking Frequency: WF)를 검출하고 걸음의 수를 구하는 방식이다^[7]. 일반적으로 3 축 가속도 센서를 사용하므로, x, y, z축의 가속도 값들을 식 (1)으로 합산한 크기를 사용한다^[8].

$$A = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \quad (1)$$

본 논문에서 가정한 가속도 센서 데이터의 샘플링 간격은 약 0.005초 ($f_s=200\text{Hz}$)이고, 샘플링된 데이터들을 3초 간격으로 Fourier 변환을 하였다. 이 때 시간 영역에서는 main lobe의 폭이 가장 좁은 Hamming 윈도우를 그림 1 (a)처럼 적용하였고, 샘플된 데이터들을 일정 시간 간격으로 Fourier 변환을 시킬 때 2/3만큼의 데이터들이 중복되도록 (b)처럼 이동 윈도우를 적용하였다. 즉, Fourier 변환을 위한 이동 윈도우는 시간 영역에서 샘플

된 데이터에 대해서 1 초씩 이동하게 된다. 또한 3초 간격으로 Fourier 변환된 주파수 영역의 결과 값들은 모두 합산되었다.

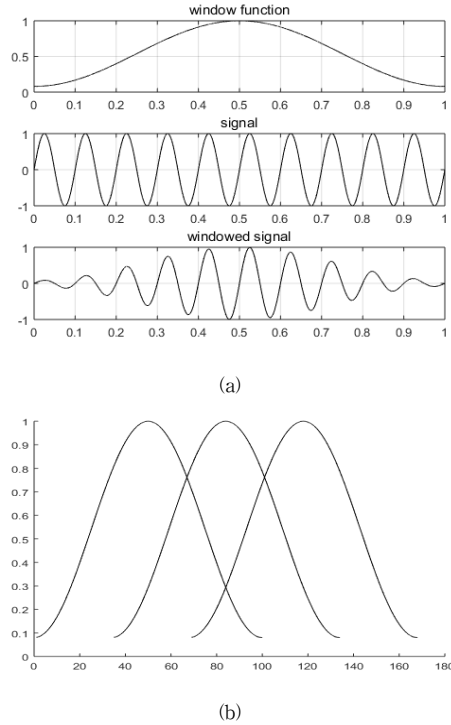


그림 1. (a) Hamming 윈도우, 가상적으로 생성된 센서 데이터, 그리고 윈도우가 곱해진 센서 데이터 신호 (b) 데이터를 이동 윈도우를 이용하여 2/3만큼 overlap시킨 것

Fig. 1. (a) Hamming window, virtually created sensor data, and window multiplied sensor data signal. (b) The data is overlapped by 2/3 of the moving window.

그림 2 (a)는 16 걸음을 걸은 경우로 가정하고 생성된 가속도 센서 값의 가상 데이터에 가우시안 잡음을 더한 것이며, (a)의 데이터에 2/3 만큼씩 중복된 이동 윈도우가 적용된다. (b)는 위의 방법으로 이 데이터를 하나의 임의의 이동 윈도우 시간 구간에서 주파수 영역으로 변환한 결과이다. 따라서 해당 구간의 3초 동안 검출된 걸음 주파수는 1.33Hz이고, 결과적으로 해당 윈도우 구간 동안 이동한 걸음 수는 1.33×3 걸음이다. 이를 2/3만큼 중복되도록 이동 윈도우를 중복시키므로 최종적으로는 이동 윈도우 구간 전체의 걸음 수를 3으로 다시 나눠줘야 한다.

본 논문에서는 잡음이 있는 경우의 주파수는 검출하지 않기 위해, 임계값을 설정하여 (c)에서 윈도우 구간에서 Hamming 윈도우가 곱해진 가속도의 절대 값의 제공이 임계값을 넘지 않을 경우 잡음이라고 판단하고 검출하지 않게 하였다.

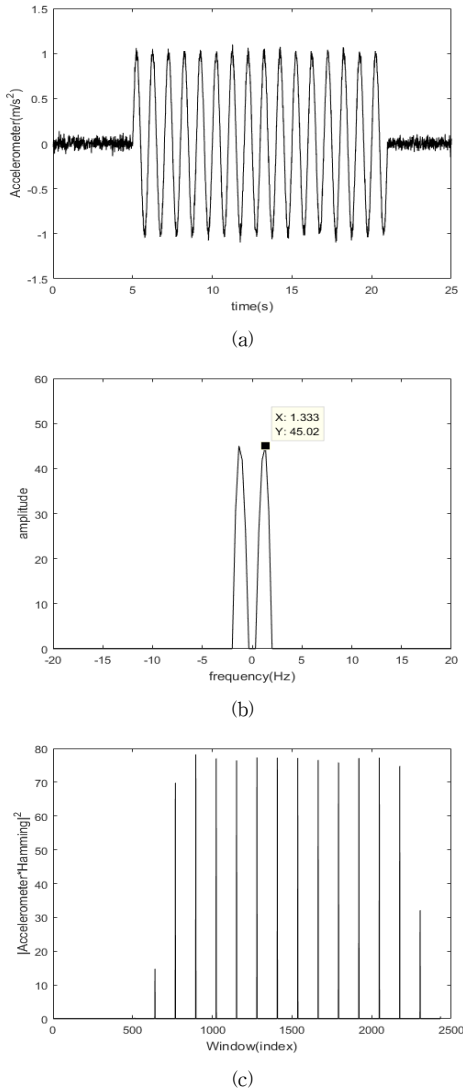


그림 2. (a) 스마트폰을 손에 들고 이동하는 경우에 측정된 가속도 센서 값 (b) 주파수 검출 방식으로 주파수 영역으로 변환된 가속도 센서 값 (c) 걸음주파수의 절대값의 제곱
 Fig. 2. (a) Acceleration sensor value measured when the smartphone is moved by hand, (b) Acceleration sensor value converted to frequency domain by frequency detection method, (c) The square of the absolute value of the step frequency.

2. 최대 최소 가속도의 합 방식

최대 최소 가속도의 합 방식은 가속도 센서 데이터의 값을 칼만 필터로 스무딩을 하여 잡음을 제거하고,^[9] 모든 피크값을 구해서 영 교차점에서 최대의 피크값과 최소의 피크값의 차이가 특정 임계값을 넘으면 걸음이라고 판단하는 방식으로, 본 논문에서 제안되었다. 그림 3 (a)는 가상적으로 생성된 가속도 센서의 데이터로, 걸어서 이동하는 스마트폰의 가속도 센서 데이터에 가우시안 잡음을 추가한 것이다. 제안된 알고리즘이 적용된 결과인 (b)처럼 최대 피크 값과 최소 피크 값의 차(점선)가 임계값을 넘은 경우로 표시되며, 이 점선의 수가 걸음의 수에 해당된다.

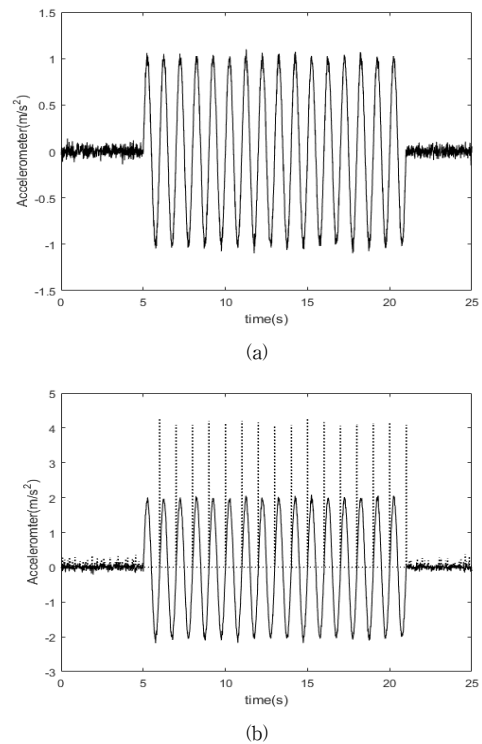


그림 3. (a) 가상적으로 생성된 가속도 센서 값에 가우시안 잡음이 더해진 신호 (b) 최대 최소 가속도의 합 방식으로 검출된 걸음 수
 Fig. 3. (a) A signal obtained by adding a Gaussian noise to the virtually generated acceleration sensor value, (b) A step number detected by the sum of the maximum-to-minimum acceleration method.

3. 적응형 임계값 방식

적응형 임계값 방식을 통해서 걸음을 검출하는 방법

은, 최대 임계값(Tmax)을 넘는 순간에 걸음 검출을 시작하여 최소 임계값(Tmin)이 되기 전까지 최대 피크값(Pmax)을 찾고, Tmin 이후에는 가속도 센서 값이 0이 될 때까지 최소 피크값(Pmin)을 구한다. Tmin은 0.94로 값을 고정시키고, Tmax은 다음 식 (2)와 (3)을 사용하여 그 전 두 개의 Pmax의 평균을 사용하여 추정한다^[10].

$$PD = \frac{1}{10} \left(\left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Pmax_i \right) - \left(\frac{1}{5} \sum_{i=2}^6 Pmax_i \right) \right) \quad (2)$$

$$Tmax = PD + (Pmax_1 \times a/5) \quad (3)$$

본 논문에서는 걸음 수 검출의 정확도를 더 높이기 위해 다양한 실험을 통하여 식 (2)의 계수를 식 (4)와 같이 보정하였다.

$$Tmax_{(i+1)} = 1/3 \times (0.5 \times (Pmax(i) + Pmax(i-1))) \quad (4)$$

그림 4 (a)는 피크가 다른 가속도 센서값에 가우시안 잡음을 더한 가상 데이터이고, (b)는 본 논문에서 제안된 식 (4)를 이용하여 이를 적응형 임계값 방식에 적용한 결과이다. Tmax의 값이 계속 변하는 것을 확인할 수 있다. 이 때 초기의 2개의 Tmax는 그 이전의 Pmax가 없기 때문에 임의 값으로 정했다.

III. 다양한 방식에 대한 실험 결과 및 분석

각 알고리즘의 성능을 비교 및 분석하기 위해 2가지 상황에 대해 검출하는 걸음을 비교해 보았다. A의 경우는 연속으로 35 걸음을 걷는 경우이고, B의 경우는 5 걸음을 연속으로 걸다가 멈추고 다시 걸기를 3회, 6 걸음을 걸다가 멈추고 다시 걸기를 3회, 따라서 총 33걸음을 걷는 경우이다. 그림 5. (a), (c), (e)는 A의 경우에 대하여 앞에서 설명된 3가지 알고리즘을 적용한 것이고, (b), (d), (f)는 B의 경우에 대한 것이다. (a)와 (b)는 주파수 검출 방식, (c)와 (d)는 최대 최소 가속도의 합 방식, (e)와 (f)는 적응형 임계값 방식이다.

세 가지 알고리즘을 비교해본 결과, 연속적으로 걸었

을 경우(A의 경우)에는 모두 거의 정확하게 걸음을 검출하였다. 그러나 비연속적으로 걸은 경우(B의 경우)에는 주파수 검출 방식과 최대 최소 가속도의 합 방식은 정확도가 떨어지는 것이 실험을 통해 확인되었다.

주파수 검출 방식의 오차 발생 원인은, 걸음의 패턴이 변하게 되면 그 윈도우 구간에서 걸음 주파수로 검출한 피크가 실제 걸음 주파수와 상관이 감소할 수 있기 때문이다. 또한, 최대 최소 가속도의 합 방식의 오차 발생 원인은 최대 최소 사이의 영교차점에서의 잡음을, 걸음을 검출하는 부분(최대, 최소를 모두 검출한 후 0인 지점)으로 처리되기 때문이다. 이런 이유로 인해 비연속적으로 걸은 경우에는 적응형 임계값 방식으로 걸음 수를 검출하는 것이 적절하다.

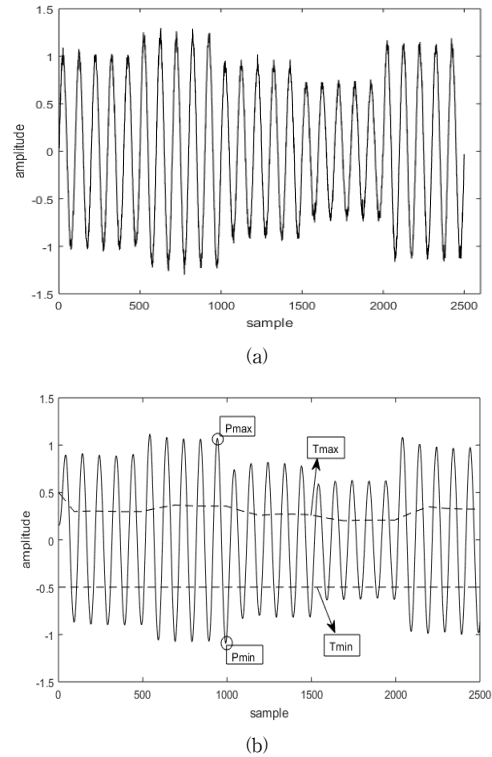
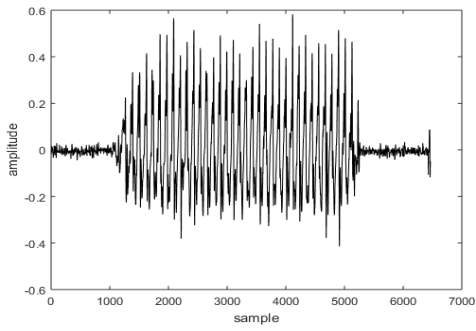
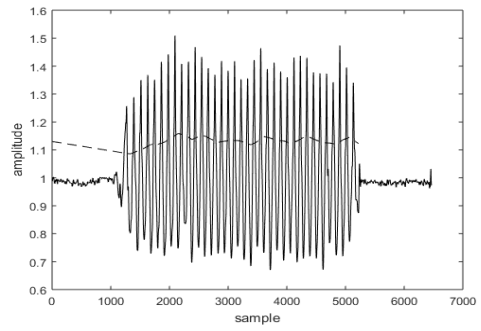


그림 4. (a) 가상적으로 생성된 가속도 센서 신호 (b) 적응형 임계값 방식으로 검출된 걸음 수

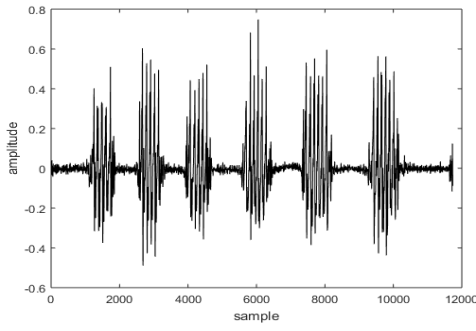
Fig. 4. (a) Virtually generated acceleration sensor signal. (b) The number of step detected by adaptive threshold method.



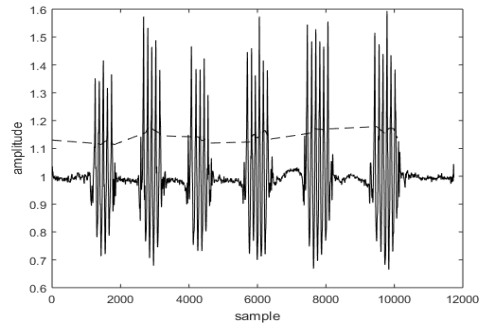
(a)



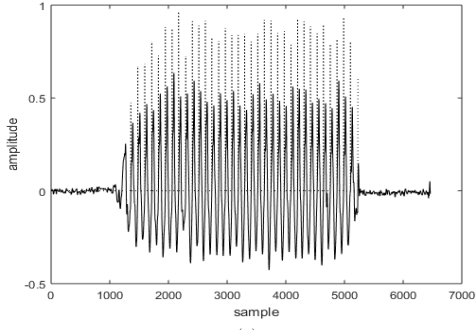
(e)



(b)



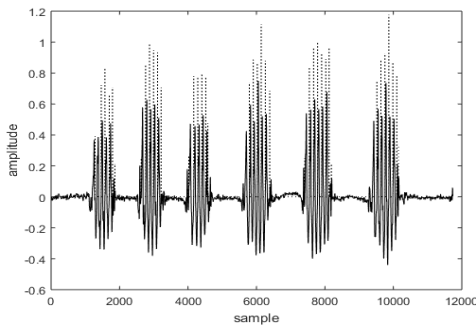
(f)



(c)

그림 5. (a), (c), (e): (b), (d), (f) 각각 A 및 B의 경우에 대한 주파수 검출, 및 최대 최소 가속도의 합, 적응형 임계값 방식의 결과.

Fig. 5. (a), (c) and (e): (b), (d), and (f) the results of frequency detection, the sum of the maximum-to-minimum accelerations, and adaptive threshold methods for the cases A and B, respectively.



(d)

표 1. A 경우 및 B 경우에 대한, 주파수 검출, 및 최대 최소 가속도의 합, 적응형 임계값 방식의 성능 비교

Table 1. Comparison of the performance of the sum of the frequency detection, the maximum-to-minimum acceleration, and the adaptive threshold method for case A and case B.

| 방식 | A의 경우 | | B의 경우 | |
|--------------|-------|------|-------|------|
| | 실제값 | 추정값 | 실제값 | 추정값 |
| 주파수 검출 | 35 | 34.7 | 33 | 29.7 |
| 최대 최소 가속도의 합 | 35 | 35.0 | 33 | 39.0 |
| 적응형 임계값 | 35 | 35.0 | 33 | 33.0 |

IV. 결론

본 논문에서는 실내 보행 항법에서 스마트폰의 3축 가

속도 센서로 걸음 수를 검출하기 위한 가장 적합한 알고리즘을 선정하기 위해 세 가지 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다.

향후에는 스마트폰의 센서를 사용하여 보행자의 보폭을 추정하는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 보행자의 이동 거리를 추정하기 위해서는 걸음 수와 보폭의 추정 정확도가 매우 중요하기 때문이다.

References

- [1] Byung Moo Choi, Jun Seong Kim, Jong In Jung, Jong Kyun Hong, and Sang Sun Lee, "The Practical use of the Accelerometer Sensor and Gyro Sensor for Wi-Fi based Real Time Indoor Wireless Positioning System," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 525-526, Feb. 2011.
- [2] Yun Ki Kim, Hyun Woo Kim, Yo Seob Hwang, and Jang Myeng Lee, "Step Estimation in Accordance with Wear Position using the 3-axis Accelerometer," Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 17-20, July 2011.
- [3] Phil Hwan Jung, Seon Woo Lee, Chang Geun Song, Dae Young Kim, "Counting Walk-steps and Detection of Phone's Orientation/Position using Inertial Sensors of Smartphones," Journal of KIISE : Computing Practices and Letters, Vol. 19, No. 1, pp. 46-50, Jan. 2013.
- [4] Sun Jin Oh, "Design of Measurement Algorithms in the Smart Camruler," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 4, pp. 149-156, Aug. 2013.
- [5] Hak Sun Yeom, Sung Min Ko, and Sun Woo Kim, "Indoor Localization using Extended Kalman Filter based IMM Filter," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 1437-1438, June 2010.
- [6] Yun Ki Kim, Jae Hyun Park, Hwy Kuen Kwak, Sang Hoon Park, Choon Woo Lee, and Jang Myung Lee, "Performance Improvement of Pedestrian Dead-Reckoning System using a Low Cost," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 19, No. 6, pp. 569-575, June 2013. IMU 10.5302/J.ICROS.2013.12.1767
- [7] I. W. Jung, I. Youn, H. S. Park, and Y. J. Lee, "Step count Detection Algorithm Compare frequency-time domain using 3-axial Accelerometer," The Journal of Korean Society Of Precision Engineering, pp. 922-923, May 2015.
- [8] Hyang Mi Yoo, Jae Won Suh, Eun Jong Cha, and Hyeon Deok Bae, "Walking Number Detection Algorithm using a 3-Axial Accelerometer Sensor and Activity Monitoring," Journal of Korea Contents Association, Vol. 8, No. 8, pp. 253-260, Aug. 2008. 10.5392/JKCA.2008.8.8.253
- [9] Byung Hee Lee, and Myung Kwan Park, "Accelerometer Compensation Algorithm for Distance Measurement," The Journal of Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 2345-2347, July 2001.
- [10] Yun Kyung Kim, Sung Mok Kim, Hyung Suk Lho, and We Duke Cho, "Real-Time Step Count Detection Algorithm using a Tri-axial Accelerometer," The Journal of Korean Society for Internet Information, Vol. 12, No. 3, pp. 17-26, June 2011.

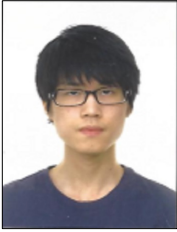
저자 소개

이 권 희(준회원)



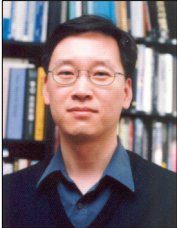
- 2013.3. ~ 한성대학교 전자정보공학과 학부과정

김 광 현(준회원)



- 2013.3. ~ 한성대학교 전자정보공학과 학부과정

오 중 택(정회원)



- 2000.3. ~ 현재 한성대학교 전자정보공학과 교수
- 1993.12. ~ 2000.2. 한국통신 무선통신연구소 선임연구원
- 1989.3. ~ 1993.2. 한국과학기술원 전 기및전자공학과 박사 졸업
- 관심 분야: 무선통신 네트워크, 기계학습을 적용한 실내위치인식

※This research was financially supported by Hansung University for Jongtaek Oh. Also, this work was supported by the 2018 Research Fund of the NRF (No. 2017R 1D 1A 1B03031244) for Kwonhee Lee and Kwanghyun Kim.