

Accuracy Improvement Method of Step Count Detection Using Variable Amplitude Threshold

Uk Jae Ryu[†] · En Tae Kim^{**} · Kyung Ho An^{**} · Yun Seok Chang^{***}

ABSTRACT

In this study, we have designed the variable amplitude threshold algorithm that can enhance the accuracy of step count using variable amplitude. This algorithm converts the x, y, z sensor values into a single energy value(E_t) by using SVM(Signal Vector Magnitude) algorithm and can pick step count out over 99% of accuracy through the peak data detection algorithm and fixed peak threshold. To prove the results, We made the noise filtering with the fixed amplitude threshold from the amplitude of energy value that found out the detection error was increasing, and it's the key idea of the variable amplitude threshold that can be adapted on the continuous data evaluation. The experiment results shows that the variable amplitude threshold algorithm can improve the average step count accuracy up to 98.9% at 10 Hz sampling rate and 99.6% at 20Hz sampling rate.

Keywords : 3-Axis Acceleration Sensor, Peak Threshold, Amplitude Threshold, Step Count Detection Algorithm

가변 진폭 임계값을 이용한 걸음수 검출 정확도 향상 기법

류 옥 재[†] · 김 은 태^{**} · 안 경 호^{**} · 장 윤 석^{***}

요 약

본 연구에서는 3축 가속도 측정을 위한 LSM을 개발하고 가변 진폭을 이용하여 걸음수 검출 정확도를 향상시킨 가변 진폭 임계값 알고리즘을 설계하였다. 테스트 프로토콜에 따라 실험하여 수집한 x, y, z 값을 SVM(Signal Vector Magnitude) 알고리즘을 사용하여 하나의 에너지값(E_t)으로 변환하고 Peak 데이터 검출 알고리즘과 고정 Peak 임계값을 사용하여 평균 99%이상의 정확도로 걸음수를 검출하였다. 그러나 검출한 걸음이 정확한 걸음을 증명하기 위해 에너지값(E_t)의 진폭 크기로부터 고정 진폭 임계값을 구하고 노이즈를 필터링 한 결과 걸음수 검출 오차가 증가하였다. 따라서 본 연구에서는 오차를 줄이기 위하여 고정 진폭 임계값이 아닌 데이터를 관찰하여 적응적으로 변화하는 가변 진폭 임계값 알고리즘을 설계하였다. 가변 진폭 임계값 알고리즘을 적용한 결과, 걸음수 검출의 평균 정확도는 샘플링 주기 10Hz에서 평균 98.9%, 20Hz에서는 99.6%로 높아졌다.

키워드 : 3축 가속도 센서, Peak 임계값, 진폭 임계값, 걸음수 검출 알고리즘

1. 서 론

인구의 고령화와 경제수준의 향상으로 일반인의 건강관리에 대한 관심이 높아지고 국가 차원에서 건강한 삶을 유지하기 위해 막대한 복지비용이 발생하고 있다.

삶의 질을 높이기 위해서는 건강한 생활을 유지해야 하는데, 이를 위하여 정신적, 육체적 스트레스 및 성인병을 예방할 수 있는 운동치료가 매우 중요하다. 따라서 질병의 예방

과 조기진단, 그리고 건강의 유지 및 증진을 위한 상시 건강 관리 서비스 제공에 대한 요구가 증가되고 있다[1-2].

최근 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경의 확대와 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술의 발달에 힘입어, 무선 네트워크를 기반으로 하는 많은 유비쿼터스 기술들이 개발되고 실생활에 유용한 기기들로 구현되어 활용되고 있다. u-Healthcare 분야에서 상시 건강 정보를 측정하는 휴대용 기기와 측정된 건강 정보를 분석 관리하는 서비스에 대한 많은 연구 개발이 이루어지고 있으며 이를 통하여 이동성과 활용성을 크게 높여 효과적인 건강 가이드를 제공하는 데에 많은 도움이 되고 있다[3].

사람의 일상생활 중 가장 빈번하게 이루어지는 것 중의 하나인 걷기는 신체의 여러 부분에 대하여 매우 복잡한 메카니즘을 내포한 신체운동으로써, 걸음수를 측정하기 위해

[†] 준 회원: 대전대학교 컴퓨터공학과 박사과정

^{**} 비 회원: 대전대학교 컴퓨터공학과 석사과정

^{***} 종신회원: 대전대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수: 2013년 2월 7일

수정일: 1차 2013년 4월 8일, 2차 2013년 5월 6일

심사완료: 2013년 5월 7일

* Corresponding Author: Yun Seok Chang(cosmos@daejin.ac.kr)

서는 일반적으로 추의 물리적 운동 횟수를 표시하는 기계식 스텝카운터를 이용한다[4]. 최근에는 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 응용한 소형 가속도 센서를 이용하여 걸음수를 측정하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 걸음수 측정을 위하여 Bluetooth 기반의 3축 가속도 센서 모듈을 개발하고 측정된 3축 데이터를 분석하여 걸음수를 검출 하였다. 3축 데이터는 SVM(Signal Vector Magnitude) 알고리즘을 사용하여 하나의 대표 값으로 변환하여 걸음수 검출에 사용되는 고정 Peak 임계값과 걸음수 인식에 적합한 샘플링 횟수를 도출하였다. 또한 정확한 걸음을 검출하기 위하여 이전의 걸음 진폭 데이터에 따라 진폭 임계값을 지속적으로 갱신시키는 가변 진폭 임계값과 고정 Peak 임계값을 동시에 적용하여 걸음을 검출하는 걸음수 검출 알고리즘을 설계하였다.

2. 관련 연구

가속도 센서를 이용한 걸음수 검출에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 활발히 진행되고 있다.

국내 연구 중에는 2축 가속도 센서를 이용하여 센서 착용자의 걸음걸이 패턴을 Moving Average 알고리즘으로 분석하여 평균 91%의 걸음을 검출한 연구와 걸음을 지지기, 추진기, 억제기, 힐다운 과정으로 나누고 이 과정을 모두 거친 걸음만 검출하는 걸음 검출 기법으로 걷기에서 평균 97.2%로 걸음을 검출한 연구가 있다[5-6]. 또한 3축 가속도 센서를 이용한 연구로는 동적 검출 알고리즘과 정적 검출 알고리즘을 이용하여 착용 위치가 달라져도 평균 97%의 정확도로 걸음을 검출하는 연구와 적응적인 임계값을 사용하는 보행 횟수 검출 알고리즘을 사용하여 걷기, 제자리 걷기, 뛰기, 천천히 걷기 등의 각 상황별 걸음수를 평균 98.6% 정확도로 검출하는 연구가 진행된 바 있다[7-8].

국외에서는 GMM(Gaussian Mixutre Model)과 HMM(Hidden Markov Model)을 이용하여 사용자의 행동상태를 인식하는 실시간 어플리케이션이 개발된 바 있다[9]. 또한 MEMS 센서를 이용하여 보행 상황에서의 걸음수를 구하여 보폭을 측정하고 이를 활용하여 헬스 모니터링 모바일 시스템을 개발한 바 있다[10].

이와 같은 기존 연구에서는 걸음을 검출하기 위해 여러 알고리즘을 사용하여 Peak 임계값을 구한 후 임계값보다 큰

Peak Data로 걸음을 검출하였으나 본 연구에서는 걸음 검출에 사용될 Peak 임계값을 실험을 통해 도출하고 정확한 걸음을 검출하기 위하여 고정 Peak 임계값과 가변 진폭 임계값을 동시에 적용하여 걸음을 검출하였다.

3. Bluetooth 기반의 3축 가속도 센서 모듈과 데이터 처리

3.1 Bluetooth 기반의 3축 가속도 센서 모듈

본 논문에서 걸음수 측정을 위하여 개발한 LSM(Lifestyle Sensor Module)은 Umedix(주)에서 설계, 제작된 모듈로 Fig. 1과 같은 형태로 만들어져 있다. 이 LSM은 MPU로 사용된 Bluetooth Module(BlueCore4-External)과 3축 가속도 센서(BMA250)를 기본으로 하여 구현되었다.

MPU에는 본 논문에서 제시된 방법으로 실험하기 위하여, I²C로 가속도 센서와 측정된 데이터를 저장하는 EEPROM을 제어하고, 저장된 데이터를 Bluetooth Network를 통해 실시간 전송되거나 사용자가 원하는 순간에 일괄 전송될 수 있도록 하는 기능을 가지는 펌웨어를 별도로 구현하여 내장하였다.

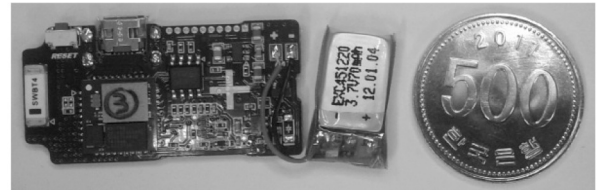


Fig. 1. Experimental version of LSM

LSM에서 사용한 3축 가속도 센서는 BOSCH의 BMA250으로 x, y, z 각 방향의 가속도 요소에 해당하는 출력을 갖춘 동작 인식 센서로 Sensitivity를 2g, 4g, 8g, 16g로 설정할 수 있다. 측정된 x, y, z 데이터의 출력은 각각 Sign bit(MSB)를 포함하여 총 10bit이지만 EEPROM 저장과 Bluetooth 통신을 위해서 Sign bit를 포함한 상위 8bit만 사용하였다[11].

x, y, z 의 출력 값은 Chip을 어떻게 위치하였는지에 따라서 Table 1과 같이 다른 값이 출력된다. LSM을 허리에 부착할 경우에 3축 가속도 센서의 방향은 Table 1의 2번 방

Table 1. Output Signals Depending on Sensor Orientation

Sensor Orientation (gravity vector ↓)	1	2	3	4	5	6
Output Signal x	0g / 0LSB	1g/256LSB	0g / 0LSB	-1g/-256LSB	0g / 0LSB	0g / 0LSB
Output Signal y	-1g/-256LSB	0g / 0LSB	1g/256LSB	0g / 0LSB	0g / 0LSB	0g / 0LSB
Output Signal z	0g / 0LSB	0g / 0LSB	0g / 0LSB	0g / 0LSB	1g/256LSB	-1g/-256LSB

항이므로 움직이지 않는 경우의 출력값은 $x = 1g, y = 0g, z = 0g$ 이다.

3.2 데이터 처리

LSM을 통해 수집된 3축 데이터는 블루투스를 이용하여 Mobile Smart Device로 전송된다. 전송된 x, y, z 데이터를 개별적으로 처리하여 걸음수를 검출 하는 것 보다는 하나의 대표 값으로 변환하여 처리하는 방법이 처리과정을 단순화시키고 빠른 실행 시간을 갖게 된다. 본 연구에서는 x, y, z 값을 하나의 대표값으로 처리하기 위하여 SVM 알고리즘을 사용하여 식(1)과 같이 하나의 에너지값(E_t)으로 변환하였다.

$$E_t = \sqrt{|x_t|^2 + |y_t|^2 + |z_t|^2} \quad (1)$$

Fig. 2는 LSM을 16g 동작범위로 설정하고 일반 걷기를 수행하여 수집한 x, y, z 값을 그래프로 나타낸 것이고, Fig. 3은 x, y, z 값을 에너지값으로 변환한 결과이다.

3.3 테스트 프로토콜

걸음 데이터 수집을 위한 실험은 걸음을 3 가지 유형으로 나누고 각 유형별로 3축 가속도 센서의 Sensitivity를 바꾸어 가며 진행하였다. 또한 걸음수 검출에 적합한 최소 샘플

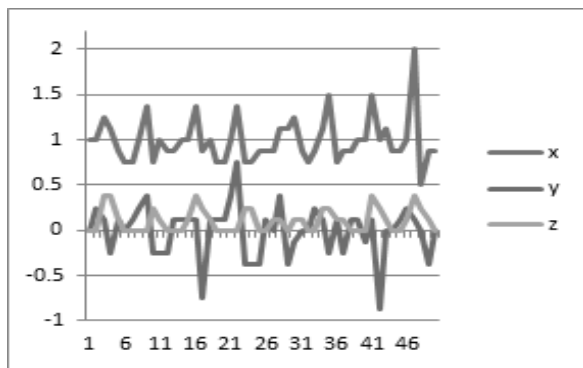


Fig. 2. 3-Axis Accelerometer Sensor's x, y, z values(16g range)

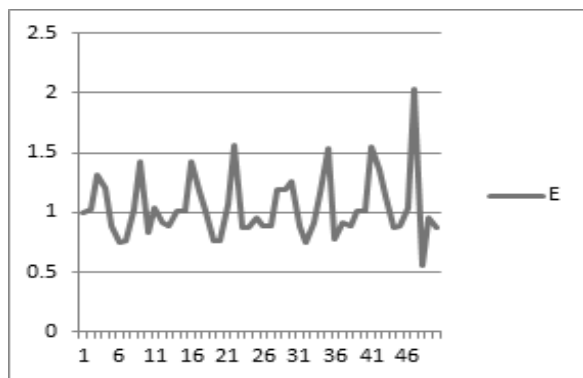


Fig. 3. Result of SVM Operation

링 주기를 도출하기 위해 5, 10, 20Hz별로 실험을 진행하였다. 3가지 걸음 유형은 천천히 걷기와 일반 걷기, 그리고 조깅으로 성인 남성을 기준으로 각각 2초당 2걸음 내외, 3~5 걸음, 4~6걸음으로 정하였다.

실험 데이터 수집을 위하여 키(168~183cm)와 몸무게(45~81kg)를 고려하여 5명의 성인 남성을 실험자로 선정하여 LSM을 허리에 부착하고 실험자 걸음 유형별로 100걸음을 걷는 실험을 8회씩 진행하여 1인당 288회의 걸음을 측정하였다.

4. 걸음수 검출 알고리즘

본 논문에서는 에너지값 파형의 Peak 데이터 중에서 걸음을 검출하기 위하여 고정 Peak임계값을 사용하였고, 걸음 검출 정확도를 높이기 위하여 에너지 파형의 진폭을 관찰하여 적응적으로 임계값을 변화시키는 가변 진폭 임계값 사용하였다.

4.1 데이터 노이즈 필터링

본 논문에서 구현한 LSM의 3축 가속도 센서는 디지털 방식으로 측정된 데이터를 I²C 통신을 통하여 블루투스 모듈로 전송한다. 이 때문에 하드웨어적으로 측정 데이터의 노이즈 필터링을 할 수 없다. 따라서 SVM 알고리즘을 통해 변환된 E_t 의 노이즈를 제거하기 위하여 걸음 검출 프로그램에서 소프트웨어적으로 필터링을 하였다.

이 노이즈 필터링 알고리즘은 성인의 일반적인 걸음수를 분석하여 설계하였다. 성인은 일반적으로 2초 동안 3걸음에서 5걸음 정도 걷는다. 따라서 Peak 데이터가 검출된 후 0.3초 이내의 검출된 Peak 데이터는 걸음수에서 제외하였다.

4.2 고정 Peak 임계값

고정 Peak 임계값이란 에너지값 파형에서 걸음으로 인정하기 위한 최소 Peak 에너지값이다. 고정 Peak 임계값이 작으면 너무 많은 걸음수가 검출되고 반대로 큰 경우에는 걸음이 적게 검출된다. 따라서 정확한 걸음수를 검출하기 위해서는 걸음 유형에 따른 고정 Peak 임계값이 필요하다.

측정을 위해 LSM을 허리에 부착하고 가만히 서 있는 경우에 3축 가속도 센서의 방향은 Table 1의 2번 방향이므로 에너지값은 1이 나와야 하지만 호흡과 같은 신체활동에 의해 미세한 값의 변화가 생기므로 에너지값은 0.950~1.050 사이의 값이 측정된다. Peak 임계값에 따른 걸음수를 분석하기 위하여 임계값을 1.05부터 1.2까지 0.025 간격으로 설정하고 걸음수를 분석하였다. Peak 임계값이 1.2보다 큰 경우에는 걸음수 검출 정확도 평균이 90% 이하로 떨어지므로 실험에서 제외 하였다.

Table 2는 테스트 프로토콜에 따라 샘플링 주기와 3축 가속도 센서의 Sensitivity, 걸음 유형 별로 측정된 데이터를 Peak 임계값에 변화를 주면서 걸음수를 분석한 결과이다.

5Hz로 샘플링 하는 경우에는 100걸음에 대한 걸음수 검출

결과가 동작범위와 상황에 따라 34걸음에서 85걸음이 검출되었다. 걸음수 검출 정확도의 평균이 약 53%로 초당 5회의 샘플링은 걸음수 검출에 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

10Hz로 샘플링한 데이터는 Peak 임계값이 1.100~1.15인 경우 100걸음에 근접한 결과가 나오고 1.05이하에서 110걸음 이상, 1.2이상에서는 90걸음 이하의 걸음수가 검출되었다. 샘플링 주기 10Hz에서는 걸음수 검출 정확도의 평균이 약 99% 정도로 10Hz 샘플링에서도 충분히 걸음수를 검출할 수 있다는 것을 확인하였다. 20Hz로 샘플링 한 데이터는 샘플링 수가 증가하면서 생기는 노이즈의 증가로 인해 10Hz에서 검출한 걸음수 보다는 조금 더 검출되었다. 하지만 10Hz와 유사하게 Peak 임계값이 1.125~1.175인 경우 100걸음에 근접한 결과가 검출되었다. 고정 Peak 임계값으로 검출한 걸음수를 분석한 결과 샘플링 주기 10Hz에서는 임계값이 1.100과 1.125에서 평균 99.4% 정확도로 걸음수를 검출하였고 20Hz에서는 임계값 1.150와 1.175에서 평균 99.4%의 정확도로 걸음수를 검출하였다.

기존 연구에서는 에너지값 파형의 Peak 데이터만을 사용하여 걸음수를 검출하였지만 본 연구에서는 Peak 데이터와 Low 데이터의 차이 값인 진폭을 사용하여 검출된 걸음이 실제로 유효한 걸음인지 검증하기 위해 고정 Peak 임계값으로 검출된 걸음의 진폭 평균을 유형별로 분석하였다.

Table 3은 유형별 진폭 평균을 정리한 것으로 샘플링 주기 10Hz와 20Hz에서 고정 Peak 임계값을 1.100~1.150으로 설정하였을 때 걸음으로 인정된 Peak 데이터와 Low 데이터의 진폭 값 평균은 각각 천천히 걷기 0.70, 일반 걷기 0.85, 조깅 2.23으로 움직임이 큰 조깅의 진폭이 가장 크게 나왔다.

진폭 평균은 정확한 걸음을 검출하거나 걸음의 유형을 판단할 때 유용하게 사용될 수 있다.

4.3 가변 진폭 임계값

고정 Peak 임계값만을 사용하여 걸음수를 검출할 경우 걸음으로 검출된 값이 유효한 걸음이 아닌 노이즈 값일 수도 있다. 따라서 고정 Peak 임계값으로 검출된 걸음이 유효

Table 2. Average Step count detected by Fix Peak Threshold

Sampling Rate	Sensitivity	2g			4g			8g			16g		
	Peak Threshold	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging
5Hz	1.050	85.75	74.25	39.19	82.19	70.06	37.75	79.19	67.50	42.25	66.25	59.38	38.06
	1.075	79.25	70.13	36.81	74.50	66.63	35.69	73.44	65.88	40.63	62.13	58.13	37.63
	1.100	72.00	67.63	35.69	67.75	65.31	34.81	64.25	64.06	39.31	59.19	56.25	36.88
	1.125	66.00	64.69	35.56	60.19	63.25	34.56	60.88	62.81	39.13	56.44	55.56	36.13
	1.150	57.94	63.06	35.31	53.38	60.38	34.31	49.44	60.63	38.75	45.50	52.81	36.06
	1.175	50.81	60.63	35.06	47.94	58.00	34.13	44.19	58.38	38.44	37.75	49.88	35.81
	1.200	44.31	57.81	34.75	41.56	55.75	34.06	39.00	56.69	38.19	34.25	47.25	35.13
10Hz	1.050	112.90	109.38	108.81	110.45	108.50	107.78	115.63	107.30	106.33	110.13	106.23	105.88
	1.075	105.00	102.21	103.55	104.20	103.23	103.03	108.20	104.88	104.35	105.18	101.98	103.20
	1.100	101.90	100.81	102.12	101.78	101.78	102.25	102.45	101.15	101.58	99.13	97.78	101.70
	1.125	99.55	99.76	101.50	98.93	100.83	101.95	100.28	100.28	101.18	98.10	97.00	101.50
	1.150	96.00	98.76	101.14	95.25	99.53	101.70	94.55	98.90	101.00	94.65	95.30	101.23
	1.175	91.62	97.43	100.69	90.20	98.30	101.60	88.18	97.55	100.85	92.60	93.25	101.13
	1.200	85.43	95.38	100.26	84.53	96.80	101.45	83.78	95.78	100.80	89.05	89.00	100.83
20Hz	1.050	122.88	113.19	112.44	119.69	109.19	109.06	117.81	110.81	111.06	113.75	102.38	110.25
	1.075	108.19	104.25	105.00	108.13	103.19	101.31	110.50	108.38	104.69	108.31	102.13	107.94
	1.100	104.56	102.81	103.00	104.69	101.69	99.38	103.75	101.81	102.44	105.81	101.38	103.63
	1.125	102.94	102.13	102.13	102.44	101.44	99.06	103.44	101.63	102.00	105.00	101.31	103.50
	1.150	101.00	101.25	101.81	99.00	101.19	98.94	98.44	101.00	101.69	96.50	100.63	103.38
	1.175	97.31	100.69	101.63	94.56	101.00	98.69	96.75	100.75	101.56	86.06	100.25	101.88
	1.200	92.56	100.44	101.44	90.00	100.75	98.69	93.56	100.50	101.50	82.38	100.00	101.56

Table 3. Average Amplitude of Step count detected by Fix Peak Threshold

Sampling Rate	Sensitivity	2g			4g			8g			16g		
		Peak Threshold	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking
5Hz	1.050	0.39	0.59	1.68	0.40	0.62	2.19	0.37	0.65	2.13	0.46	0.74	2.22
	1.075	0.41	0.61	1.76	0.42	0.65	2.30	0.38	0.66	2.21	0.48	0.75	2.24
	1.100	0.43	0.62	1.80	0.44	0.65	2.35	0.41	0.67	2.25	0.49	0.76	2.28
	1.125	0.45	0.64	1.80	0.47	0.66	2.37	0.42	0.68	2.26	0.50	0.77	2.34
	1.150	0.47	0.64	1.81	0.49	0.67	2.38	0.46	0.69	2.28	0.54	0.78	2.35
	1.175	0.50	0.66	1.82	0.51	0.69	2.39	0.48	0.70	2.29	0.59	0.81	2.36
	1.200	0.52	0.67	1.83	0.54	0.70	2.39	0.51	0.71	2.31	0.63	0.83	2.40
10Hz	1.050	0.52	0.74	1.59	0.61	0.77	2.05	0.56	0.82	2.11	1.16	0.79	2.14
	1.075	0.55	0.78	1.66	0.64	0.81	2.13	0.59	0.83	2.15	1.20	0.81	2.19
	1.100	0.56	0.79	1.68	0.65	0.81	2.15	0.61	0.85	2.20	1.23	0.83	2.22
	1.125	0.56	0.79	1.69	0.66	0.82	2.15	0.61	0.86	2.20	1.23	0.83	2.23
	1.150	0.57	0.80	1.69	0.67	0.83	2.16	0.63	0.87	2.21	1.24	0.84	2.23
	1.175	0.58	0.80	1.70	0.68	0.83	2.16	0.65	0.87	2.21	1.25	0.85	2.23
	1.200	0.60	0.81	1.70	0.70	0.84	2.16	0.66	0.88	2.21	1.27	0.87	2.24
20Hz	1.050	0.55	0.77	1.78	0.54	0.82	2.41	0.59	0.83	2.42	0.56	0.90	2.45
	1.075	0.61	0.82	1.89	0.59	0.86	2.56	0.62	0.85	2.54	0.58	0.90	2.50
	1.100	0.63	0.83	1.93	0.61	0.87	2.61	0.65	0.89	2.59	0.59	0.91	2.59
	1.125	0.63	0.83	1.94	0.62	0.87	2.62	0.66	0.89	2.60	0.60	0.91	2.60
	1.150	0.64	0.84	1.95	0.63	0.87	2.62	0.68	0.89	2.61	0.61	0.92	2.60
	1.175	0.65	0.84	1.95	0.65	0.87	2.62	0.68	0.89	2.61	0.64	0.93	2.64
	1.200	0.67	0.85	1.95	0.66	0.88	2.62	0.69	0.90	2.61	0.66	0.94	2.65

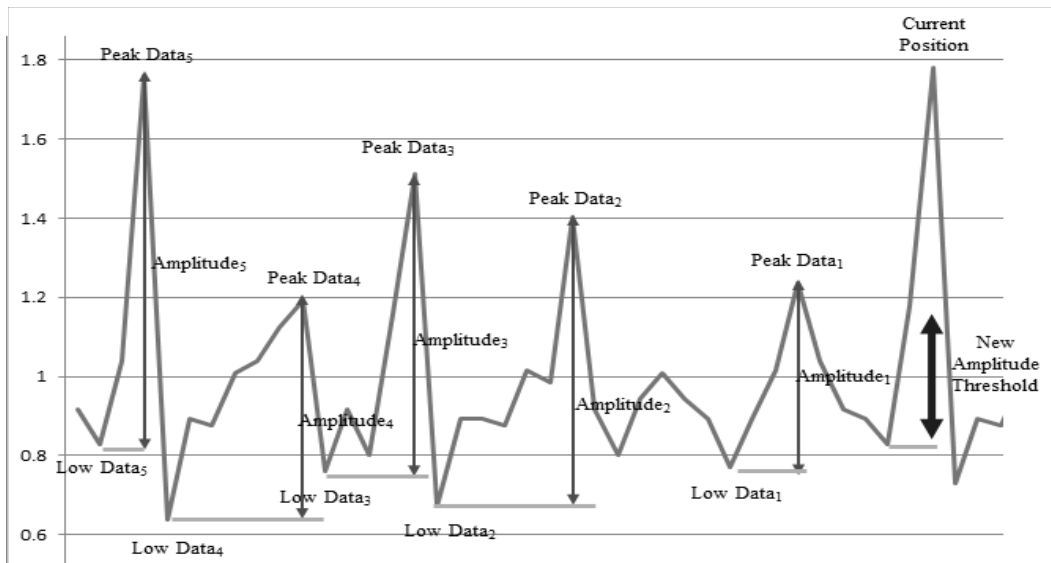


Fig. 4. Variable Amplitude Threshold

한 걸음인지 확인하기 위해 검출된 걸음의 진폭 값을 계산하여 진폭 임계값보다 큰 경우만 걸음으로 인정하여 정확한 걸음을 검출하였다.

고정 Peak 임계값과 고정 진폭 임계값을 적용한 경우의 걸음수 평균 정확도는 샘플링 주기 10Hz에서는 92.0%이고 20Hz에서는 97.2%로 고정 Peak 임계값만 사용한 경우보다 걸음수 검출 정확도가 줄어들었다. 걸음수 검출 정확도가 줄어든 이유는 사람들마다 신체조건에 의해 걸음 움직임의 크기와 센서의 부착위치가 다를 수 있고 걸음의 유형에 따라 진폭 값이 차이가 나기 때문이다.

따라서 정확한 걸음수를 검출하기 위해서 고정된 진폭 임계값이 아니라 데이터를 관찰하여 적응적으로 변화하는 가변 진폭 임계값이 필요하다.

본 논문에서 이전의 데이터에 따라 진폭 임계값을 지속적으로 갱신시키는 가변 진폭 임계값 알고리즘을 설계하고, 고정 Peak 임계값과 같이 적용하여 걸음수 검출 정확도를 향상 시켰다. 가변 진폭 임계값은 식(2)를 이용하여 걸음을 검출할 때마다 새로이 갱신한다.

Variable Amplitude Threshold (2)

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Amplitude_i} \right)} \right)$$

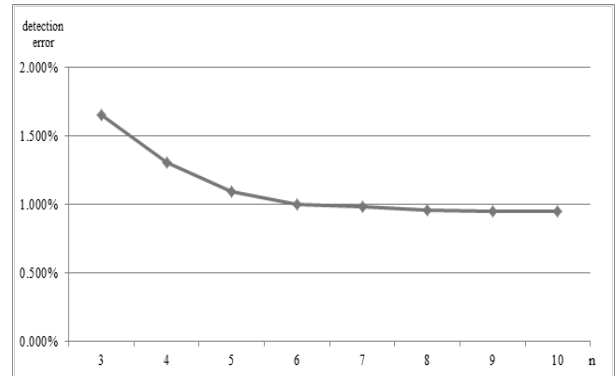


Fig. 5. changes in detection error according to the value of n

Fig. 4의 현재 위치에서 사용할 진폭 임계값은 이전 Peak 데이터들의 진폭 크기인 $Amplitude_1 \sim Amplitude_n$ 의 조화평균값을 구한 후 2로 나눈 것이다. $Amplitude_n$ 는 E_t 과형의 Peak 데이터_n와 Low 데이터_n의 진폭 값이다.

센서 디바이스를 신체의 한쪽 방향(왼쪽 또는 오른쪽 허리)에 부착하고 걸음을 측정할 경우 비대칭적으로 과형이 발생하므로, 가변 진폭 임계값을 구할 때 적절한 개수의 이전 데이터를 사용하지 않은 경우에는 진폭이 큰 걸음 다음으로 작은 진폭 걸음이 나오면 걸음을 검출하지 못하는 문제가 발생한다.

Table 4. Average Step count detected by Variable Amplitude Threshold

Sampling Rate	Sensitivity	2g			4g			8g			16g		
	Peak Amplitude	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging	Slow Walking	Normal Walking	Jogging
10Hz	1.100 0.4	76.81	95.67	100.19	73.95	96.40	101.70	81.08	96.45	100.98	91.25	91.93	101.33
	1.100 Variable Amplitude	100.50	100.12	100.69	100.93	100.98	100.63	100.85	100.48	100.28	97.73	96.70	100.43
	1.125 0.4	76.48	95.55	100.12	73.60	96.13	101.65	80.68	96.20	100.85	91.00	91.78	101.18
	1.125 Variable Amplitude	98.60	99.48	100.55	98.48	100.33	100.55	99.13	99.75	100.15	96.88	96.15	100.38
	1.150 0.4	75.95	95.19	100.02	73.10	95.43	101.50	79.78	95.68	100.75	89.70	91.13	101.05
	1.150 Variable Amplitude	95.43	98.60	100.38	94.93	99.13	100.45	93.88	98.65	100.10	93.95	94.78	100.28
20Hz	1.100 0.4	91.94	100.81	101.88	91.56	101.13	98.94	96.25	100.63	102.00	81.31	100.50	101.56
	1.100 Variable Amplitude	101.31	100.69	99.75	100.69	101.06	97.56	100.75	100.38	99.44	98.94	100.13	99.06
	1.125 0.4	91.81	100.69	101.63	91.06	101.13	98.88	96.13	100.63	101.94	81.31	100.50	101.50
	1.125 Variable Amplitude	101.19	100.63	99.44	100.00	101.13	97.50	100.81	100.31	99.63	99.25	100.19	99.13
	1.150 0.4	91.31	100.50	101.56	90.00	101.06	98.81	94.13	100.56	101.69	80.50	100.31	101.44
	1.150 Variable Amplitude	99.50	100.50	99.44	97.81	100.81	97.50	97.31	100.25	99.81	94.56	100.13	99.19

n의 값을 변화시키면서 가변 진폭 임계값을 구한 후 고정 Peak 임계값과 같이 사용하여 걸음을 검출한 결과 Fig. 5와 같이 n이 5 이상일 경우 걸음 검출 오차율이 평균적으로 작게 나왔다.

Table 4는 n을 5로 고정하고 구한 가변 진폭 임계값과 고정 Peak 임계값을 적용하여 구한 걸음수와 고정 진폭 임계값(0.4)과 고정 Peak 임계값을 적용하여 구한 걸음수를 비교한 것이다. 가변 진폭 임계값 알고리즘을 적용한 경우 고정 진폭 값을 사용한 경우보다 걸음수 검출의 평균 정확도는 샘플링 주기 10Hz에서 평균 98.9%, 20Hz에서는 99.6%로 높아졌다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 3축 가속도 측정을 위한 LSM을 개발하고 가변 진폭을 이용하여 걸음수 검출 정확도를 향상시킨 가변 진폭 임계값 알고리즘을 설계하였다.

Peak 데이터 검출 알고리즘과 고정 Peak 임계값을 사용하여 걸음수를 검출한 결과 평균 99%이상의 정확도로 걸음수를 검출하였다. 또한 고정 Peak 임계값을 사용하여 걸음수를 검출할 때 3축 가속도 데이터의 샘플링 주기가 10Hz 미만인 경우 검출 오차율이 크게 나오므로 10Hz 이상의 샘플링 주기로 측정하여야 한다.

검출한 걸음이 정확한 걸음을 증명하기 위해 에너지값의 진폭 크기로부터 고정 진폭 임계값을 구하고 노이즈를 필터링 한 결과 걸음수 검출 오차율이 증가하였다.

걸음수 검출 오차율이 증가한 이유는 사람들마다 걸음의 움직임 크기가 다르고 또한 걸음의 유형에 따라 진폭 값이 차이가 나기 때문이다. 따라서 고정 진폭 임계값이 아닌 데이터를 관찰하여 적응적으로 변화하는 가변 진폭 임계값 알고리즘을 설계하였다.

가변 진폭 임계값 알고리즘을 적용한 경우 걸음수 검출의 평균 정확도는 샘플링 주기 10Hz에서 평균 98.9%, 20Hz에서는 99.6%로 높아졌다.

향후 연구에서는 에너지값의 진폭을 분석하여 걸음의 유형과 활동량을 검출하여 Mobile Smart Device를 이용하여 건강 가이드를 제공하는 건강 활동 정보 모니터링 시스템을 설계, 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] Dong-Soo Ha, Sung-June Park, "Smart-Phone based User Movement State Identification Algorithm", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol.16, No.3, pp.167-174, 2011

[2] Tan Joshep, "E-Health Information System," San Francisco : Jossey-Bass, 2005.

[3] Adnan Saeed, Miad Faezipour, Mehrdad Nourani, Subhash Banerjee, Gil Lee, Gopal Gupta, and Lakshman Tamil, "A

Scalable Wireless Body Area Network for Bio-Telemetry," *Journal of Information Processing Systems*. Vol.5 No.2, pp.77-86, June, 2009.

[4] R.boulic, N.M. Thalmann, "A Global Human Waling Model With Realtime Kinematic Rersonification", *The Visual Computer*, Vol.6, pp.344-358, 1991.

[5] I. H Lee, J. C. Kim, S. M. Jung, Sun K. Yoo, "The Detection of Gait Cycle and Realtime Monitoring System Using the Accelerometer", *The Korean Institute of Electrical Engineers*, CICS 2008, pp.476-477, 2008.

[6] Han-Jin Jang, Jeong Won Kim, Dong-Hwan Hwang, "Design of a Robust Pedometer for Personal Navigation System against Ground Variation and Walking Behavior", *The transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*. D, Vol.55, No.9, pp.420-422, 2006.

[7] Kim Nam-Jin, Hong Joo-Hyun, Lee Tae-Soo, "Motion Sensor Data Normalization Algorithm for Pedestrian Pattern Detection", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.5, No.4, pp.94-102, 2005.

[8] Yoo Hyang-Mi, Suh Jae-Won, Cha Eun-Jong, Bae Hyeon-Deok, "Walking Number Detection Algorithm using a 3-Axial Accelerometer Sensor and Activity Monitoring", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.8, No.8, pp.253-260, 2008.

[9] R.W DeVaul, S.DUNN, "Real-time motion classification for wearable computing applications", Technical report, MIT media LAB, 2001.

[10] S.H. Shin, C.G. Park, "Adaptive Step Length Estimation Algorithm Using Low-Cost MEMS Inertial Sensors", *IEEE Sensors Applications Symposium*, San Diego, California USA, pp.1-5, Feb., 2007.

[11] "BMA250 Datasheet", BOSCH.

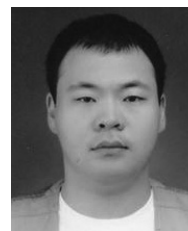
류 욱 재



e-mail : skyroom74@gmail.com
 1999년 인천대학교 전자공학과(학사)
 2001년 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
 2007년~현 재 대전대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 마이크로 임베디드 시스템, 스마트 모바일 시스템, WBAN, u-Healthcare

김 은 태



e-mail : kimmans11@naver.com
 2012년 대전대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2012년~현 재 대전대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야: 블루투스, 모션 인식, 스마트 모바일 시스템



안 경 호

e-mail : space-akh@nate.com

2012년 대진대학교 컴퓨터공학과(학사)

2012년~현 재 대진대학교 컴퓨터공학과
석사과정

관심분야: 스마트 모바일 시스템,
마이크로 임베디드 시스템,
u-Healthcare



장 윤 석

e-mail : cosmos@daejin.ac.kr

1988년 서울대학교 물리학과(학사)

1990년 서울대학교 전자계산기공학과
(공학석사)

1998년 서울대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)

1994년~현 재 대진대학교 컴퓨터공학과 교수

2000년~2001년 University of Southern California,

Dept. of EE-Systems, Visiting Scholar

관심분야: 컴퓨터 시스템 설계, 마이크로 임베디드 시스템,
RFID, 스마트 모바일 시스템