

지면 변화 및 보행 형태에 강인한 개인 항법 시스템용 걸음수 검출기 설계

論 文
55D-9-4

Design of a Robust Pedometer for Personal Navigation System against Ground Variation and Walking Behavior

張 漢 振* · 金 正 沅** · 黃 東 煥†
(Han-Jin Jang · Jeong Won Kim · Dong-Hwan Hwang)

Abstract - This paper proposes a new method to count the number of steps for personal navigation systems. The proposed method resolves the mis-counting problem caused by the variation of the ground and walking behavior. To this end, a 2-axis accelerometer is utilized and a reliable step counting algorithm is developed. Experimental test was carried out to show the effectiveness of the proposed method. Test results show that the proposed method gives a robust performance for several types of ground and walking behavior.

Key Words : Personal Navigaiton System, Pedometer, Step Counting

1. 서 론

외부 설비 없이 저가로 구현 가능한 MEMS(Micro Electric Mechanical System)기반의 개인항법시스템이 최근에 많이 연구되고 있다[1][2][6]. MEMS형 관성센서는 출력 가속도나 각속도의 오차가 매우 크기 때문에 보통 센서출력을 직접 적분하지 않고 다른 방법으로 항체인 개인의 이동 특성을 추출하는 방법을 많이 사용하고 있다[3][6]. 보통의 개인 항법 시스템에서는 추정된 걸음수와 보폭을 기준으로 이동거리를 계산하고 이를 보정하는 방법을 많이 사용하므로 정확한 걸음수 검출 및 보폭의 추정은 매우 중요한 변수 중의 하나로 알려져 있다[6].

현재까지 제안한 걸음수 측정 방법으로 가속도 변화의 주기성을 이용한 푸리에(Fourier) 변환 방법, 가속도계 출력의 영 교차점 수를 세는 방법, 수평 혹은 수직 가속도의 임계값 초과 횟수를 이용하는 방법을 들 수 있다[1-3][6][8]. 푸리에 변환방법은 걸음수 측정이 비교적 정확하나 많은 데이터와 계산이 필요하므로 실시간 구현에 어려움이 있다[6]. 영교차점 수나 수평·수직 가속도의 임계값을 이용한 방법은 알고리즘이 간단하지만 보행이 아닌 동작에 의한 오판의 가능성이 크고 평지가 아닌 지형변화 시에는 오차가 큰 단점이 있다[1][6]. 또한, 제안한 방법의 대부분은 평지가 아닌 지면 변화에 취약하고 발을 끌거나 뛰는 것처럼 정상적인 걸음과는 다른 보행 형태에 대해서는 걸음수 오차가 크게 증가하는 단점을 가지고 있다[6].

본 논문에서는 전술한 단점을 보완하기 위하여 2축 가속도 센서를 이용한 알고리즘을 제안하고자 한다. 2절에서는 걸음

시 가속도 패턴으로부터 지면 변화 및 보행 형태에 강인한 걸음수 검출 기법을 제안하며 3절에서는 제안한 알고리즘의 성능평가를 위한 실험 결과를 제시하고, 4절에서 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

2. 새로운 걸음수 검출 방법

신체의 이동을 위한 걸음 운동은 발이 신체를 지탱하고 있는 상태 여부에 따라 지지기와 비지지기로 나뉘며 비지지기는 발의 위치에 따라 추진기, 억제기, 힐터치다운(heel-touch-down) 구간으로 구분된다[7]. 그림 1은 한 걸음운동시 지면에 대한 수평·수직방향의 발의 가속도를 나타낸다.

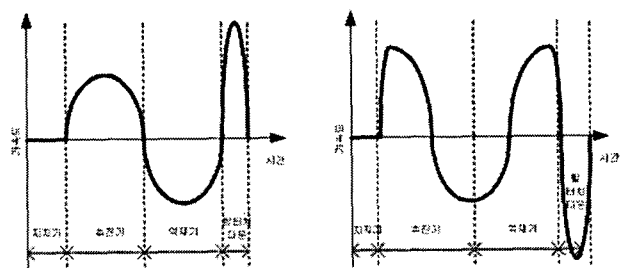


그림 1 걸음시 발의 수평·수직 가속도
Fig. 1 Horizontal and vertical acceleration in a pace

그림 1에서 추진기와 억제기의 수평 가속도는 사인함수 패턴을 가지며 수직 가속도의 경우 코사인 함수와 유사한 패턴을 가진다. 힐터치다운의 경우 수평·수직 방향 모두, 지면반력에 의한 발의 충격이 가속도 출력으로 나타난다.

발에 부착된 가속도계 출력은 아래의 식(1)과 같이 발의 자세에 영향을 받는다[6].

$$a_h(t) = (f_v(t) - g) \sin\theta(t) + f_h(t) \cos\theta(t) \quad (1-a)$$

$$a_v(t) = (f_v(t) - g) \cos\theta(t) - f_h(t) \sin\theta(t) \quad (1-b)$$

† 교신저자, 正會員 : 忠南大 工大 電氣情報通信工學部
副教授 · 工博

E-mail : dhhwang@cnu.ac.kr

* 正會員 : 넥스원퓨터

** 正會員 : 충남대학교

接受日字 : 2006年 6月 4日

最終完了 : 2006年 8月 23日

여기서 a_h 와 a_v 는 보행자의 발에 대한 수평, 수직 가속도를 나타내고, f_h 와 f_v 는 보행자의 진행 방향에 대한 수평, 수직 가속도를 나타낸다. g 는 중력 가속도이고 θ 는 지면의 수직 방향과 다리의 사이각이다.

θ 는 센서의 부착 방향, 보행형태 그리고 지형에 따라 영향을 받으며 이러한 θ 의 변화에 따라 가속도 패턴이 크게 변할 수 있으므로 1축의 가속도만을 사용하는 경우 큰 걸음수 오차가 발생할 수 있다. 식(1)로부터 2축의 가속도를 모두 이용하면 θ 의 영향을 제거할 수 있으므로 지형 및 보행 형태에 강인한 걸음수 검출기를 설계할 수 있다. 아래의 식 (2)를 이용하여 θ 를 제거한 후, $|a_i|$ 의 패턴을 분석하여 걸음 검출을 한다.

$$|a_i| = \sqrt{a_h^2 + a_v^2} = \sqrt{(f_v - g)^2 + f_h^2} \quad (2)$$

그림 2는 그림 1에서 나타낸 수평·수직 가속도와 식 (2)를 이용하여 $|a_i|$ 의 패턴을 도시한 것이다.

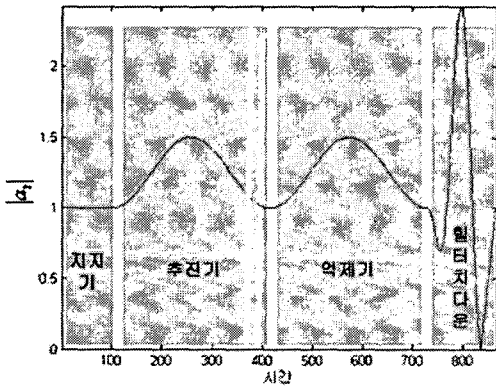


그림 2 보행시 $|a_i|$
Fig. 2 $|a_i|$ in a pace

그림 2에서 $|a_i|$ 는 추진기와 억제기 구간동안 각각 1회 진동하는 형태를 가지며 필터치다운 순간 짧은 시간폭을 가지는 펄스 형태를 나타낸다. 그림 3은 Crossbow사의 DMU-H6X가속도 센서를 이용하여 측정된 $|a_i|$ 의 패턴이다.

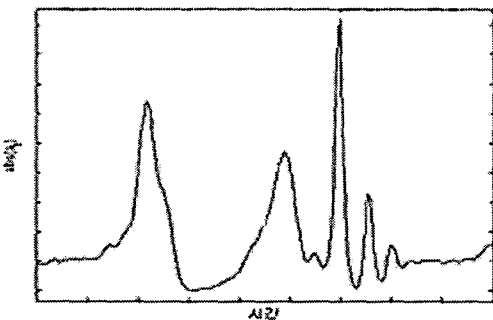


그림 3 실제 보행 시의 $|a_i|$
Fig. 3 Measured $|a_i|$ in a real pace

지지기, 추진기, 억제기, 필터치다운의 판단을 위하여 $|a_i|$ 패턴에서 발생하는 진동과 펄스가 각 과정마다 설정한 시간 폭 및 최대값을 만족하는지 확인한다. 센서 출력에 대한 잡음의 영향을 줄이기 위하여 20Hz의 대역폭을 갖는 저대역 필터를 거치도록 한다. 지지기는 $|a_i|$ 값이 0.9g에서 1.1g사이인 시간이 100ms이상인 경우를 인지한다. 그리고, $|a_i|$ 100ms 이상 시간 동안의 진동만을 추진기와 억제기로 인지한다. 이때 진동의 크기가 1.3g 이상인 경우를 인지한다. 최소 20ms와 최대 100ms 사이의 시간에서 $|a_i|$ 의 크기가 1.6g를 넘으면 필터치다운으로 인지한다. 이러한 지지기, 추진기, 억제기 그리고 필터치다운을 순서대로 거친 경우에만 하나의 걸음으로 판단하며 기타의 경우는 보행과 관계없는 움직임으로 판단한다. 이러한 값은 실험을 통하여 설정한 것이다. 그림 4는 전술한 걸음수 검출과정의 순서도이다.

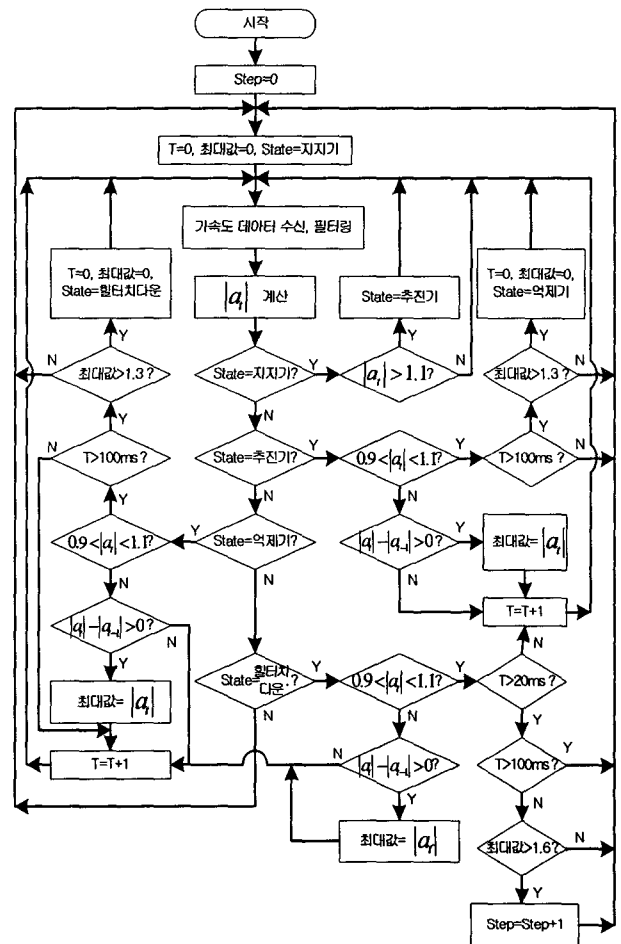


그림 4 제안하는 알고리즘 순서도
Fig. 4 Flow chart of the proposed algorithm

지지기, 추진기, 억제기, 필터치다운의 과정은 걸음의 특징이므로 걸음 운동 인식을 위한 좋은 기준이 된다. 이와 같은 방법을 이용할 경우, 추진기나 억제기 등을 거치지 않는 제자리에서 발을 떠는 행위 혹은 발목을 돌리는 행위 등을 구분할 수 있으므로 보다 정확한 걸음 측정이 가능하다.

3. 성능 평가

제안한 걸음수 검출 방법의 성능을 확인하기 위하여 그림 5와 같이 실험 장치를 구성하였다. 가속도 측정을 위한 센서는 Crossbow사의 DMU-H6X이며 센서 데이터 수신 및 걸음수 검출을 위한 신호처리부는 PXA-255 CPU 탑재 보드를 이용하였다. 신호처리부의 걸음수 검출 결과는 PDA를 이용하여 실시간 확인이 가능하게 하였다.

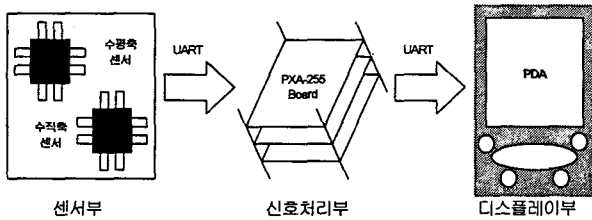


그림 5 걸음수 검출기 구성
Fig. 5 Structure of pedometer

3.1 지면 변화에 따른 성능

지면 변화에 대한 성능을 확인하기 위하여 5명의 피실험자를 대상으로 발목에 센서모듈을 장착하여 평지와 계단 그리고 비탈길에서 20걸음씩 10회의 실험을 수행하였다. 피실험자는 3명의 남성과 2명의 여성이며 남성 평균신장은 173cm, 여성 평균신장은 160.9cm이다. 표 1은 지면 변화에 따른 걸음수 측정 정확도를 나타낸 것이다. 표 1의 결과로부터 1축 가속도계를 이용한 방법은 지면이 변화함에 따라 오차가 크게 발생하였으나 제안한 방법은 평균 97.2%의 정확도를 가지며 성능이 가장 낮게 나타난 계단 보행시에도 94.2%의 높은 정확도를 가짐을 알 수 있다.

표 1. 지면변화에 따른 제안한 알고리즘의 성능
Table 1. Performance of the proposed algorithm according to ground variation

	총 걸음수(20걸음/명×5명=100걸음)										정확도(%)
	검출된 걸음수										
지형	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	
평지	(1) 98	100	100	100	99	100	97	100	99	99	99.2
	(2) 98	99	99	98	99	99	98	99	100	99	98.8
계단	(1) 94	92	96	93	96	94	94	97	93	93	94.2
	(2) 73	65	79	82	74	70	79	71	76	81	75.0
비탈	(1) 98	97	100	96	99	100	100	97	100	96	98.3
	(2) 82	81	81	73	79	87	80	84	79	86	81.2

(1) 제안한 방법, (2) 1축 가속도를 이용한 방법

3.2 보행형태에 따른 성능

평지에서 뛰어서 이동하는 경우와 발을 끌며 이동하는 경우에 대하여 정확도를 확인하였다. 피실험자는 4.1의 실험과 동일하며 각각의 보행 형태마다 20걸음씩 5번의 실험을 수행하였다. 표 2는 보행형태에 따른 걸음수 검출 결과를 나타낸 것이다. 표 2의 결과로부터 제안한 걸음수 검출 방법은 일반적인 보행형태가 아닌 경우에도 평균 92.25%의 높은 정확도를 가짐을 알 수 있다.

표 2. 보행 형태에 따른 제안한 알고리즘의 성능

Table 2. Performance of the proposed algorithm according to walking behavior

	총 걸음수(20걸음/명×5명=100걸음)										정확도(%)
	검출된 걸음수										
보행 형태	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	
뛰기	(1) 99	96	94	98	99	97	97	98	98	97	97.3
	(2) 121	111	108	113	118	119	116	117	108	123	84.6
끝기	(1) 84	87	91	93	87	82	89	83	87	89	87.2
	(2) 51	63	58	77	64	61	61	66	55	64	62.0

(1) 제안한 방법, (2) 1축 가속도계를 이용한 방법

4. 결론 및 추후연구과제

본 논문에서는 걸음수를 이용하여 이동거리를 계산하는 개인항법시스템에서 지면 변화 및 보행 형태에 강인한 특성을 가지는 새로운 방법의 걸음수 검출기를 제안하였다. 임의로 선발한 피실험자에 대한 실험결과 신체조건이 서로 다른 경우에도 구성 및 설정값에 대한 변화없이 제안한 방법의 적용이 가능하며 평지 이외의 계단이나 비탈길 등에서도 사용이 가능하다. 앞으로 개인항법에서의 또다른 중요변수인 보폭 추정방법에 대한 연구를 수행하여 이동거리 측정 성능을 향상시킬 것이다.

참고 문헌

- [1] 홍진석, 윤선일, 지규인, "GPS와 추측방법을 이용한 개인항법시스템," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 7권, 제 5호, pp. 454-464, 2001, 5.
- [2] Ladetto, Q., "In Step with INS," GPS WORLD magazine, pp. 30-38, Oct, 2002.
- [3] Quentin Ladetto, "On foot navigation: continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering," Proceedings of ION GPS 2000, pp. 1735-1740, Jun, 2000.
- [4] 이종식, 조영란, 김진대, "무선추위서비스 연구개발 동향," 한국통신학회 학술발표회 논문집, 제17권, 2호, pp. 1309-1312, 1998, 6.
- [5] 김도성, 정영지, "RFID를 이용한 실내 측위 시스템의 설계 및 구현," 한국정보과학회 한국컴퓨터종합학술대회 2005 논문집(A), pp.256-258, 2005. 7.
- [6] Jeong Won Kim, Han Jin Jang, Dong-Hwan Hwang and Chansik Park, "A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System," Journal of Global Positioning Systems, Vol. 3, No. 1-2, pp. 273-279, Feb, 2005.
- [7] 최기영, 보행시 하지의 움직임과 하중에 대한 생체역학적 해석, 석사학위논문, 부산대학교 기계공학과 대학원, 1994.
- [8] Robert. W. Levi, "Dead Reckoning Navigational System Using Accelerometer to Measure Foot Impacts," U.S.Patent, Patent 5,583,776. Dec. 1999.