

가속도계와 기압계를 이용한 경사면에서의 보행 거리 추정

Step Length Estimation on a Slope Using Accelerometers and a Barometer

트란나형, 서영수*
(Tran Nhat Hung¹ and Young Soo Suh¹)
¹University of Ulsan

Abstract: Using a relationship between step length and accelerometer output, step length can be estimated. In this paper, we propose a new step length estimation algorithm, which can be used both for the plane and the slope by compensating the slope angle. The slope angle is estimated using a barometer and the slope angle is compensated by observing how the slope affects the step length estimation. The proposed algorithm is verified using five adult man walking data, where the average length error is about 3% regardless of the slope.

Keywords: step length estimation, walking length estimation, inertial sensors, barometer

I. 서론

보행거리의 측정은 주로 두 가지 목적으로 사용된다. 첫 번째는 보행시 소모되는 운동량을 추정하는 것이다[1-3]. 두 번째는 보행자의 위치를 파악하는 개인용 항법장치의 일부로서 사용되는 것이다. 보행거리는 여러 가지 방법으로 추정될 수 있다. 예를 들면, 실외에서는 GPS를 사용하여 보행거리를 추정할 수 있다[4,5]. 단, 실내나 빌딩 숲 사이에서는 정확한 보행거리 추정이 어려운 단점이 있다.

최근에는 보행거리 추정을 위해서 관성센서가 많이 사용되고 있다. 관성센서를 사용한 시스템의 장점은 실내외에서 모두 사용이 가능하고, 부수적인 장치를 외부에 설치할 필요가 없다는 것이다. 관성센서를 이용한 보행거리 추정은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 관성센서를 신발에 부착하고, 관성항법 알고리즘을 사용하여 보행거리를 추정하는 것이다. 예를 들면, [6-8]에서 관성항법 알고리즘을 사용하여 정확하게 거리를 추정할 수 있음을 보였다. 이 방법은 고성능의 관성센서가 사용되어야 하고, 영속도 보정을 위해서 관성센서의 부착위치가 신발로 제한되는 단점도 있다.

관성센서를 이용한 또 다른 추정방법은 보행자의 운동모델을 이용하여 보행거리를 추정하는 것이다. [9,10]에서는 가속도계를 허리에 부착하여 보행거리를 추정하였다. 한 걸음의 길이와 가속도계의 값 사이의 관계식을 실험을 통해 유도하고, 이를 이용해 거리를 추정하였다. [11]에서는 가속도계를 발목에 부착하여 보행거리를 추정하였다. 유사한 방법들이 [12,13]등에서도 사용되었는데, 모두 한 걸음의 길이와 가속도계의 값 사이의 관계식을 유도하여 보행거리를

추정하고 있다.

이 알고리즘들은 [9-13] 전부 보행자가 평지를 걷고 있다는 가정하에서 유도되었다. 보행자가 경사면을 걸을 때에는 추정된 보행거리의 정확성이 떨어지게 되어 있다. [13]에서는 보행거리의 추정오차가 평지에서는 5%인 반면, 경사면에서 13%가 되는 것이 보고되었다.

본 논문에서는 경사각을 고려한 새로운 보행거리 추정 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 기압계를 사용해 경사각을 추정하고, 경사각을 고려한 보행거리와 가속도값 사이의 관계식을 유도한다. 이러한 관계식을 통해 경사면에서도 보행거리 추정오차가 악화되지 않는 보행거리 추정알고리즘을 개발하였다. 건강을 위해 운동을 하는 경우, 산을 오르내리는 등 경사면에서의 보행을 하는 경우가 많은데, 제안한 알고리즘을 사용하면 경사면에서도 정확한 보행거리 추정이 가능한 장점이 있다.

II. 제안하는 시스템 및 평지에서 보행거리 추정

제안하는 시스템은 가속도계 (Freescale MMA 7260QT, 100Hz 샘플링), 기압계 (MS5803-02BQ, 10Hz 샘플링)와 무선모듈로 구성되어 있다(그림 1). 그림에서 보듯이, 센서는 허리에 부착한다. 센서의 출력은 무선모듈을 통해 노트북 컴퓨터로 전송된다. 보행거리는 컴퓨터에서 Matlab을 사용

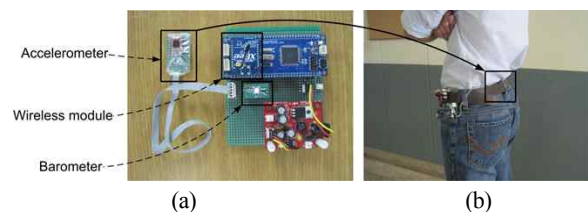


그림 1. (a) 센서 하드웨어 (b) 허리에 부착된 센서.
Fig. 1. (a) Sensor unit hardware (b) Sensor unit is attached on the waist.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2012. 8. 24., 수정: 2013. 1. 11., 채택확정: 2013. 3. 11.
트란나형, 서영수: 울산대학교 전기공학부
(hungtn999@yahoo.com/yssuh@ulsan.ac.kr)
* 이 논문은 2012년 울산대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

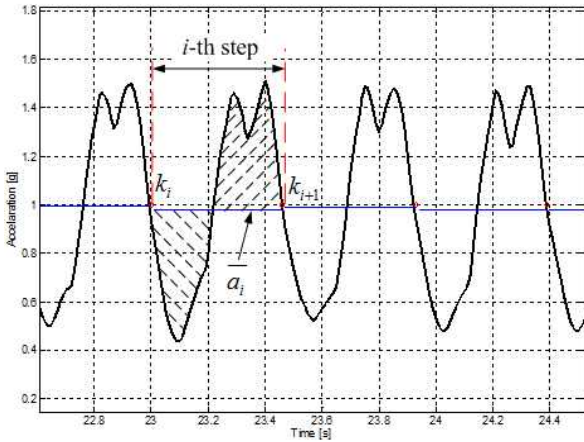


그림 2. 보행시에 저역필터를 거친 $\|y_a\|$ 값.

Fig. 2. Low pass filtered $\|y_a\|$ plot during walking.

하여 오프라인으로 추정하였다. 보행거리 추정알고리즘 개발에 중점을 두었기 때문에, 센서하드웨어를 작게 만들려는 특별한 노력은 기울이지 않았다.

본 논문에서는 한 걸음의 길이를 가속도계의 값에서 간접적으로 추정하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 약간의 차이는 있으나 [9-13]의 방법과 기본적인 아이디어는 비슷하다. II 장에서는 평지에서서의 보행거리에 대해서 생각하고, 경사면의 경우는 III 장에서 논의한다.

세 축을 가지는 가속도계의 출력을 $y_a \in R^3$ 로 표시하고, y_a 의 놈(norm)을 $\|y_a\|$ 로 표시한다. 가속도계의 샘플링 주기 T 는 0.01초이다. $\|y_a\|_k$ 에서 k 는 이산시간 인덱스를 나타내는데, 연속시간 kT 시점에서 샘플한 $\|y_a\|$ 를 의미한다.

가속도계의 잡음을 제거하기 위하여 저역통과필터(low pass filter)를 사용하였다. 저역통과필터를 거친 $\|y_a\|$ 의 값이 그림 2에 주어져 있다. $\|y_a\|$ 의 값이 1g를 지나는 지점을 검출하고, 이를 통해 그림에서와 같이 한 걸음을 알 수 있다. 인덱스 k_i 는 i 번째 걸음이 시작되는 이산시간 인덱스를 나타낸다. 예를 들면, i 번째 걸음은 $[k_i, k_{i+1})$ 의 시간구간으로 이루어져 있다.

한 걸음 길이를 추정할 수 있는 파라미터로 본 논문에서는 v_i 를 사용하였다.

$$v_i = \sum_{k=k_i}^{k_{i+1}-1} (\|y_a\|_k - \bar{a}_i) T$$

여기서 \bar{a}_i 는 i 번째 걸음에서 $\|y_a\|$ 값의 평균으로, 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{a}_i = \frac{1}{k_{i+1} - k_i} \sum_{k=k_i}^{k_{i+1}-1} \|y_a\|_k$$

정의된 파라미터 v_i 는 그림 2에서 빗금친 부분에 해당한다. 파라미터 v_i 와 한 걸음 길이 (s_i) 사이의 관계가 그림 3에 주어져 있다(평지에서의 결과).

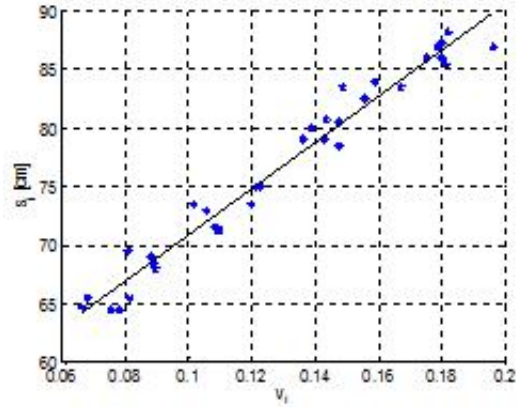


그림 3. 파라미터 v_i 와 걸음 길이 (s_i)사이의 관계.

Fig. 3. Relationship between v_i and s_i .

그림 3에서 s_i 와 v_i 는 선형관계가 있음을 알 수 있으므로, 본 논문에서는 다음과 같은 관계식을 가정한다.

$$s_i = \alpha_0 v_i + \beta_0 \tag{1}$$

여기서 α_0 과 β_0 는 사람에 따라서 값이 변하는 파라미터이다. α_0 과 β_0 을 구하기 위해서는 사람별로 보정작업이 필요하다. 보정작업에서는 한 걸음 길이를 실제로 측정할 필요가 있는데, 걸음 길이의 측정에는 [14]에서의 방법 등이 사용될 수 있다.

보정작업에서 α_0 과 β_0 을 구하면, 식 (1)을 이용해 걸음 길이를 추정할 수 있다. 파라미터 v_i 의 유용성을 검증하기 위하여, 5명의 남자를 대상으로 실험을 하였다. 5명의 남자의 몸무게와 신장은 표 1과 같다.

5명에 대해서 각각 α_0 과 β_0 을 구한 뒤, 평지에서 50m를 걸은 뒤, 식 (1)을 이용하여 걸은 거리를 추정하였다. 추정된 결과가 표 2에 주어져 있다.

평균 오차는 1.58%이고, 최대 오차는 3.6%이다. 이 결과는 [9,11]에서 보고된 결과와 거의 비슷하다.

본 논문의 핵심 내용은 식 (1)이 아니고 (유사한 방법이 [9,11]에서 사용되고 있음), 다음 장에서 제시하는 경사면에서의 보행거리 추정이다. v_i 대신에 다른 파라미터를 한 걸음 길이를 추정하는데 사용할 수도 있다. 예를 들어, 그림 4에서 $\max \|y_a\|_i$ 와 s_i 의 관계 및 $\text{var} \|y_a\|_i$ 와 s_i 의 관계가 주어져 있는데, v_i 와 비슷하게 선형관계가 있음을 알 수 있다.

표 1. 5명의 몸무게와 신장.

Table 1. Weight and height of five persons.

대상	몸무게(Kg)	신장(cm)
A	70	177
B	58	169
C	56	175
D	71	167
E	85	180

표 2. 평지에서 50m 보행 실험.

Table 2. 50m walking experiments on the plane.

보행속도	대상	추정치(m)	오차(%)
느림	A	49.8	0.4
	B	49.6	0.9
	C	50.9	1.8
	D	51.9	3.6
	E	51.0	2.02
혼합	A	50.2	0.4
	B	48.5	3
	C	50.7	1.4
	D	50.4	0.7
	E	49.8	0.38
빠름	A	49.5	1
	B	48.6	2.8
	C	51.0	2
	D	51.7	3.3
	E	49.99	0.02
		최대치	3.6(%)
		평균	1.58(%)

표 3. 세 가지 파라미터의 선형관계 오차값.

Table 3. Linear relationship error of three parameters.

대상	직선방정식과 오차 절대값 평균		
	v_i	$\max \ y_a\ _i$	$\text{var} \ y_a\ _i$
A	0.0114	0.0951	0.0141
B	0.0285	0.1117	0.0567
C	0.0074	0.2955	0.0373
D	0.0229	0.1852	0.0292
E	0.0175	0.0985	0.0316
평균	0.01754	0.1572	0.03378

세 가지 파라미터 v_i , $\max \|y_a\|_i$, $\text{var} \|y_a\|_i$ 와 s_i 의 관계에 대한 선형관계(직선방정식)를 최소자승법으로 구하고, 구한 직선방정식과 파라미터값과의 오차 절대값의 평균값을 표 3에 나타내었다. 표 3에서 v_i 가 직선방정식과 가장 작은 오차를 나타내고 있는 것을 알 수 있는데, 이것은 v_i 다른 두 파라미터와 비교해서 보행거리와의 선형성이 더 높은 것을 의미한다.

III. 경사면에서의 보행거리 추정

식 (1)은 평지에서의 보행을 가정하고 유도되었는데, 이 관계식이 경사면에서도 유효한지에 대해서 조사하였다. 경사각이 3°, 5.5°, 9°인 경사면에서 실험을 하였고, 그 결과가 그림 5에 주어져 있다.

그림 5에서 경사면을 올라가는 경우에는 경사각에 관계 없이 v_i 와 s_i 사이에서 비슷한 선형관계가 있음을 알 수 있다. 경사면을 내려가는 경우에는 경사각에 따라, 서로 다른 선형관계식을 가지고 있음을 볼 수 있다.

그림 5의 관찰에서, 식 (1)을 다음과 같이 수정한다.

$$s_i = \alpha_0 v_i + \beta_0 + \gamma_1 \min(0, \theta) \tag{2}$$

여기서 θ 는 경사각을 나타낸다.

양의 θ 값은 경사면을 올라가는 것을 의미하고, 음의 θ 값은 경사면을 내려가는 것을 의미한다. 식 (2)에서 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1$ 은 보행자에 의존하는 파라미터이다. $\gamma_1 \min(0, \theta)$ 는 경사면을 올라가는 경우에는 0이 되어, 식 (1)과 동일하게 된다. 경사면을 내려가는 경우, $\gamma_1 \min(0, \theta)$ 항이 경사각에 의한 걸음 길이 오차를 보정하는데 사용된다.

식 (2)를 사용할 경우 보정작업이 식 (1)에 비해서 더 시간이 걸리게 된다. 평지에서 뿐만 아니라, 경사면에서의 보행 데이터가 필요하기 때문이다. 보정작업을 간단하게 위해서, (α_0, β_0) 과 γ_1 사이에 관계가 있는지를 조사하였다. 먼저 5명의 대상자에 대해서, 평지와 경사면에서의 실험을 통해서 각각 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1$ 을 계산하였다. 다음에 5명에 대해서 (α_0, β_0) 과 γ_1 사이의 관계를 살펴보았는데, 그림 6과 같이 α_0 과 γ_1 사이에 비례관계가 있음을 알 수 있었다.

그림 6의 관계를 이용하여, 식 (2)를 다음과 같이 수정한다.

$$s_i = \alpha_0 v_i + \beta_0 + (a\alpha_0 + b)\min(0, \theta) \tag{3}$$

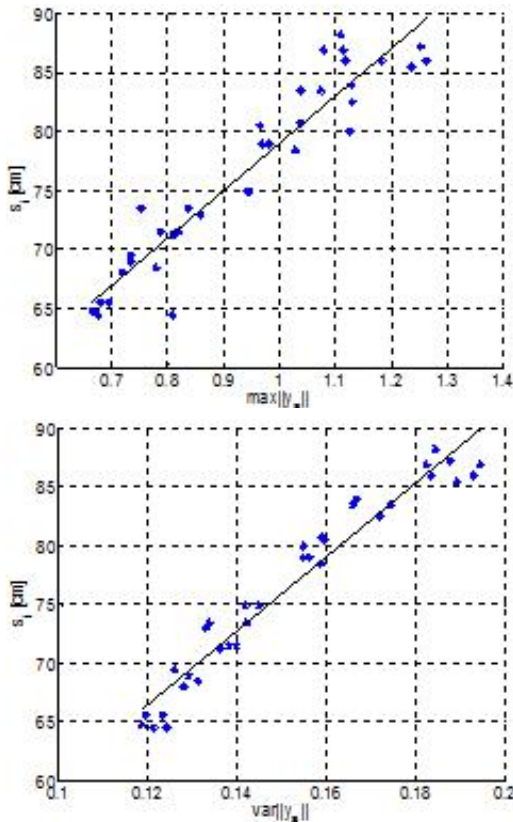


그림 4. $\max \|y_a\|_i$ (위) 및 $\text{var} \|y_a\|_i$ (아래)와 한 걸음 길이 (s_i)와의 관계.

Fig. 4. Relationship between $\max \|y_a\|_i$ and s_i (top), $\text{var} \|y_a\|_i$ and s_i (bottom).

본 논문에서 v_i 를 사용한 이유는 v_i 가 $\max \|y_a\|_i$ 와 $\text{var} \|y_a\|_i$ 에 비해서 더 선형성을 가지고 있기 때문이다.

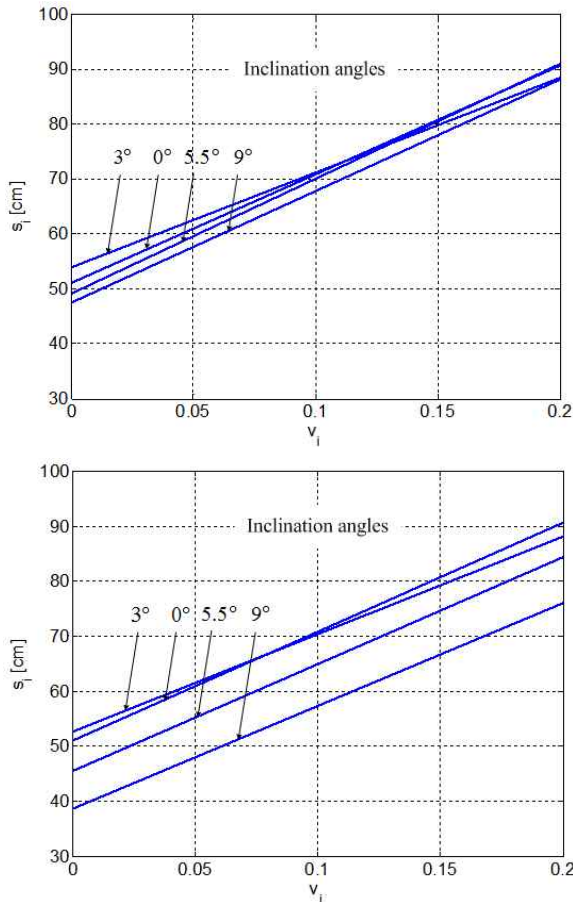


그림 5. 파라미터 v_i 와 한 걸음 길이 (s_i)사이의 관계 (경사면을 올라간 경우와 내려 간 경우).

Fig. 5. Relationship between v_i and s_i (walking up and walking down).

여기서 a 와 b 는 그림 5의 관계에서 유도된 상수이다. 식 (3)을 사용할 경우, 평지에서의 보행데이터 만을 사용해 보정작업을 할 수 있어, 보정작업이 식 (2)와 비교해서 상당히 간단해진다.

식 (2) 또는 (3)을 사용하기 위해서는, 경사각 θ 를 추정

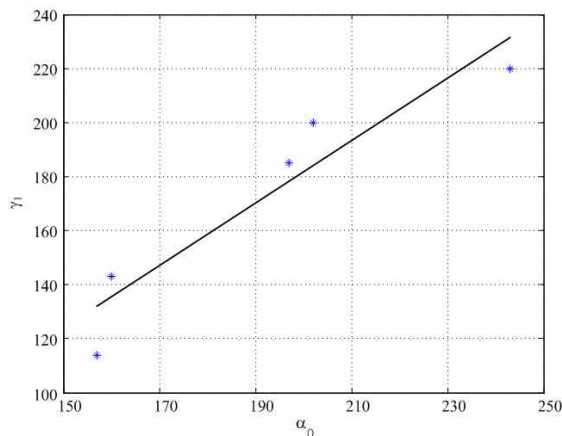


그림 6. γ_1 and α_0 사이의 관계.

Fig. 6. Relationship between γ_1 and α_0 .

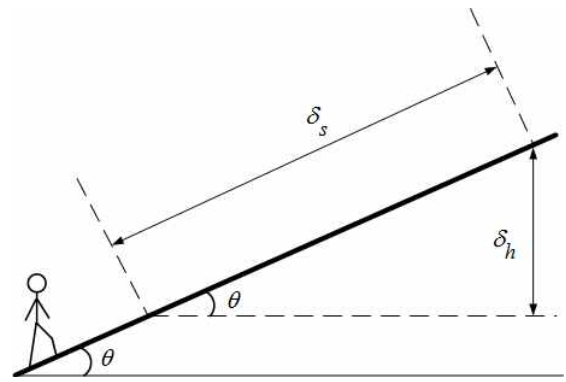


그림 7. 보행거리(δ_s), 고도차(δ_h)와 경사각(θ).

Fig. 7. Walking distance(δ_s), height difference(δ_h) and inclination angle(θ).

할 필요가 있다. 경사면의 경사각이 일정하다는 가정아래 (그림 7 참조), 경사각은 $\theta = \sin^{-1}(\delta_h/\delta_s)$ 로 추정할 수 있다(δ_h 는 고도차이고, δ_s 는 보행거리임). 고도차 δ_h 는 기압계를 사용해 구하고, 보행거리는 식 (2) 또는 (3)을 사용하여 구한다. 고도차를 계산할 때, 고도는 다음의 식을 사용해 구하였다.

$$h_i = \frac{(1 - (\frac{y_b}{1013})^{0.19})}{2.2558^5}$$

여기서 y_b 는 저역통과필터를 거친 기압계의 출력이다.

경사각의 변화가 완만하다는 가정아래, 경사각의 추정은 4 걸음마다 실시한다. 경사각을 계산하기 위한 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

```

• 보정작업
- 실험을 통한  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1$  계산 (식(2) 사용 경우)
- 실험을 통한  $\alpha_0, \beta_0$  계산 (식(3) 사용 경우)
• i 번째 걸음
 $\hat{\theta}_i = \hat{\theta}_{i-1}$ 
기압계를 이용하여 고도  $h_i$  계산
 $s_i = \alpha_0 v_i + \beta_0 + \gamma_1 \min(0, \hat{\theta}_i)$  (식 (2)) 또는
 $s_i = \alpha_0 v_i + \beta_0 + (a\alpha_0 + b) \min(0, \hat{\theta}_i)$  (식 (3))
if ( mod(i,4) == 0 )
 $\delta_{h,i} = h_i - h_{i-4}$ 
 $\delta_{s,i} = s_i + s_{i-1} + s_{i-2} + s_{i-3}$ 
 $\hat{\theta}_i = \sin^{-1} \frac{\delta_{h,i}}{\delta_{s,i}}$ 
end
    
```

경사각 추정이 제대로 되는지 확인하기 위하여, 경사각 5.5°의 경사에서 테스트를 하였다. 그림 8에서 추정된 경사각을 나타내고 있는데, 경사각 추정 오차가 1° 이하인 것을 알 수 있다.

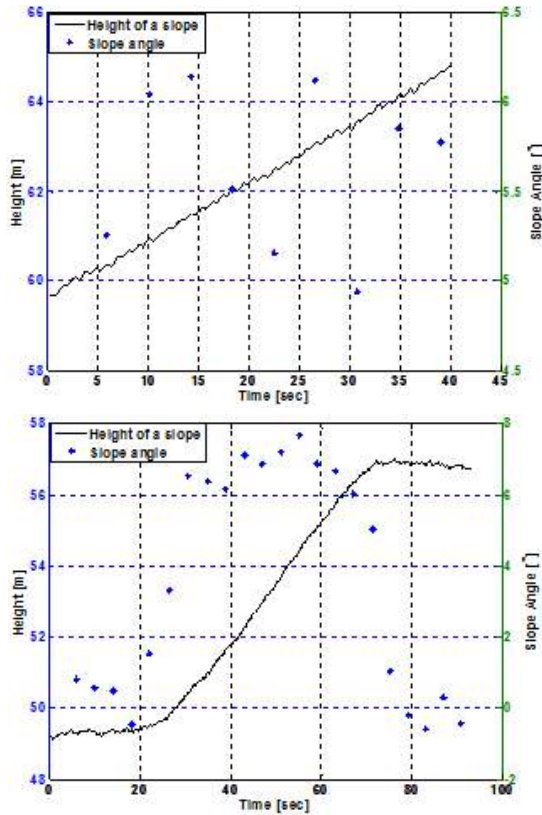


그림 8. 경사각(θ) 추정 (위: 일정한 경사각, 아래: 경사각 변함).
Fig. 8. Inclination angle estimation (top: constant inclination, bottom: different inclination).

IV. 실험결과

표 1에 나타난 5명의 20대 남자를 대상으로 보행실험을 통해 보행거리 추정 알고리즘의 정확성을 검증하였다. 실험을 하기 전에, 식 (2) 및 (3)에 필요한 파라미터 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1$ 를 5명의 남자에 대해서 각각 구하였다. 구해진 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1, a\alpha_0 + b$ 가 표 4에 주어져 있다.

첫 번째 실험에서는 5명이 경사각이 5.5° 인 경사면을 따라 50m 걸어 올라갔다. 이 경우에는 식 (1) (경사고려 안함), (2) (개인별 경사보정 파라미터 사용), (3) (개인별 경사보정 파라미터를 사용하지 않는 경사보정)의 세 가지 방법이 모두 같은 결과를 나타낸다. 이것은 식 (2) 및 (3)에서 $\gamma_1 \min(0, \theta)$ 항이 0이 되어, 세 식이 모두 같아지기 때문이다.

경사면을 걸어 올라가는 경우, 특별한 경사각 보정이 없어도 평균적인 보행 거리 오차가 3.51% 정도로 비교적 양호한 것을 알 수 있다.

표 4. 선형근사 파라미터 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1$ 와 $a\alpha_0 + b$.

Table 4. Linear approximation parameters $\alpha_0, \beta_0, \gamma_1$ and $a\alpha_0 + b$.

대상	α_0	β_0	γ_1	$a\alpha_0 + b$
A	197	102	185	179.22
B	157	95	114	132.8
C	243	76	220	232.6
D	160	110	143	136.3
E	202	89	200	185.02

표 5. 경사면을 50m 걸어 올라가는 실험.

Table 5. 50m walking up on a slope.

보행속도	대상	추정치(m)	오차(%)
느림	A	51.27	2.54
	B	49.02	1.96
	C	52.83	5.66
	D	50.76	1.52
	E	51.32	2.64
혼합	A	52.23	4.46
	B	51.567	3.13
	C	47.4	5.2
	D	51.89	3.78
	E	51.53	3.06
빠름	A	52.39	4.78
	B	52.8	5.6
	C	50.79	1.58
	D	51.16	2.32
	E	52.2	4.4
		최대치	5.66
		평균	3.51

두 번째 실험에서는 5명이 경사각이 5.5° 인 경사면을 따라 50m를 걸어 내려갔다. 실험 1과 같은 길을 방향만 반대로 걸었다. 식 (1), (2) 및 (3)을 이용한 보행거리 추정치가 표 6에 주어져 있다.

식 (1)을 사용한 보행거리 추정오차의 평균이 11.94%로, 경사각을 고려하지 않으면 보행거리 추정오차가 커짐을 알 수 있다. 식 (2)와 (3)의 경우, 식 (2)에 의한 보행거리 평균 오차가 2.71%로, 식 (3)에 의한 3.65%보다 큰 것을 알 수 있다. 식 (3)의 경우, 식 (2)보다 약간 부정확한 반면 개인적인 경사보정 실험을 할 필요가 없다는 것이 큰 장점이다.

세 번째 실험에서는 그림 9에서 표시된 127m 길이의 도로를 걸었다 (P_4 지점에서 P_1 지점까지). 그림 9에서, P_4-P_3

표 6. 경사면을 50m 걸어 내려가는 실험.

Table 6. 50m walking down on a slope.

보행속도	대상	추정치(m)			오차(%)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
느림	A	57.3	50.63	51.44	14.6	1.26	2.88
	B	54.49	51.2	50.61	8.98	2.4	1.22
	C	57.8	49.59	48.95	15.6	0.82	2.1
	D	56.54	51.74	52.74	13.08	3.48	5.48
	E	57.1	51.4	51.87	14.2	2.8	3.74
혼합	A	56.99	50.69	52.2	13.98	1.38	4.4
	B	55.07	51.49	51.29	10.14	2.98	2.58
	C	54.85	47.37	46.8	9.7	5.26	6.4
	D	55.93	51.5	52.33	11.86	3	4.66
	E	56.85	51.86	52.27	13.7	3.72	4.54
빠름	A	56.33	50.75	51.95	12.66	1.5	3.9
	B	53.9	50.35	49.86	7.8	0.7	0.28
	C	54.9	47.5	47.85	9.8	5	4.3
	D	55.83	51.73	52.36	11.66	3.46	4.72
	E	55.7	51.43	51.78	11.4	2.86	3.56
			최대치	15.6	5.26	6.4	
			평균	11.94	2.71	3.65	



그림 9. 실험을 위한 보행 궤적.
Fig. 9. Experiment walking trajectory.

표 7. P₄ 지점에서 P₁ 지점까지의 보행.

Table 7. Walking from P₄ to P₁.

보행 속도	대상	추정치(m)			오차(%)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
느림	A	138.8	125.1	126.9	10.16	0.71	0.71
	B	131.5	124.7	122.8	4.37	1.03	2.54
	C	132.7	122.0	119.7	5.32	3.17	5.00
	D	139.3	131.5	133.0	9.69	3.54	4.72
	E	137.8	127.0	127.9	8.50	0.04	0.76
빠름	A	139.7	130.3	130.6	10.87	3.41	3.65
	B	123.4	119.0	117.9	2.06	5.56	6.43
	C	135.9	125.8	123.8	7.86	0.16	1.75
	D	129.7	123.5	123.8	2.13	2.76	2.52
	E	137.8	128.6	129.4	8.57	1.29	1.90
		최대치			10.87	5.56	6.43
		평균			6.95	2.71	3.00

및 P₂-P₁ 구간은 평지이고, P₃-P₂ 구간은 경사각이 6~8°인 내리막 경사이다.

표 7의 결과를 보면, 첫 번째 실험과 비슷하게 식 (2) 및 (3)을 사용한 보행거리 측정알고리즘의 오차가 평균 2~3%로 비교적 양호한 것을 알 수 있다. 또한, 식 (2)와 (3)의 차이도 커지 않아, 파라미터 보정과정을 고려하면 식 (3)의 알고리즘을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 식 (1), (2), (3)의 거리추정 정확성을 확인하기 위하여, 대상 A와 B에 대해서 추가적으로 그림 9의 127m에 대해서 5번 더 실험을 하였다. 실험결과가 표 8에 주어져 있다. 표 7의 결과와 비슷하게 보행거리 추정의 정확성은 식 (2), (3), (1)의 순으로 나타났다.

V. 결론

본 논문에서는 두 개의 경사각을 고려한 보행 거리 측정 알고리즘을 제안하였다. 식 (2)를 사용한 첫 번째 알고리즘은 경사면에서의 개인별 보정을 필요로 하는 단점이 있지만, 보다 정확한 거리추정이 가능한 장점이 있다. 식 (3)을 사용한 두 번째 알고리즘은 평지에서 개인별 보정만으로 거리를 추정할 수 있는 장점이 있다. 경사면이 존재하는

표 8. P₄ 지점에서 P₁ 지점까지의 보행 (반복실험).

Table 8. Walking from P₄ to P₁ (repeated experiments).

보행 속도	대상	추정치(m)			오차(%)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
느림	A	135.8	127.4	126.1	6.9	0.3	0.7
		134.0	125.7	124.4	5.5	1.0	2.0
		133.6	125.2	123.9	5.2	1.4	2.4
		135.4	125.8	124.3	6.6	1.0	2.1
		135.4	125.6	124.1	6.6	1.1	2.3
		평균			6.2	1.0	1.9
	B	131.0	124.2	122.9	3.1	2.2	3.2
		131.7	124.9	123.7	3.7	1.6	2.6
		132.6	125.8	124.5	4.4	1.0	2.0
		133.2	126.5	125.3	4.9	0.4	1.4
134.1		127.3	126.0	5.6	0.2	0.8	
	평균			4.3	1.1	2.0	
빠름	A	137.6	129.6	128.4	8.3	2.1	1.1
		135.3	127.3	126.1	6.5	0.3	0.7
		135.0	127.1	125.9	6.3	0.1	0.9
		135.6	127.1	125.7	6.8	0.0	1.0
		134.1	125.8	124.6	5.6	0.9	1.9
		평균			6.7	0.7	1.1
	B	136.3	130.4	129.4	7.3	2.7	1.9
		131.7	125.5	124.4	3.7	1.2	2.1
		132.4	125.9	124.8	4.2	0.8	1.8
		134.2	128.0	126.9	5.7	0.8	0.1
132.0		125.9	124.8	4.0	0.9	1.8	
	평균			5.0	1.3	1.5	

127m의 보행 실험에서 경사각을 보정하지 않는 식 (1)의 경우에는 거리 추정 오차가 6.95%로 나타났다. 식 (2)와 (3)의 경우 거리 추정 오차가 2.71% (식 (2))와 식 3.00% (식 (3))로 경사각을 잘 보정하고 있음을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘은 개인용 항법장치에서 정확한 거리를 계산하는데 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 보행거리와 함께 경사각을 알 수 있기 때문에, 정확한 운동량 등을 계산하는 데 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 기존의 알고리즘은 평지보행만을 가정하였기 때문에 [13]의 경우와 같이 경사면에서 보행거리 추정오차가 10% 이상이나 커지는 단점이 있었다.

제안하는 알고리즘이 상용화 되기 위해서는 좀 더 간단한 보정 알고리즘이 필요할 것으로 생각된다. 한 걸음의 길이를 측정하지 않고도 α_0 및 β_0 등의 파라미터를 손쉽게 구할 수 있는 방법에 대한 연구가 향후 과제로 남아 있다.

참고문헌

[1] A. E. Minetti, C. Moia, G. S. Roi, D. Susta, and G. Ferretti, "Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes," *Journal of Applied Physiology*, vol. 93, no. 3, pp. 1039-1046, Sep. 2002.
 [2] C. Hall, A. Figueroa, B. Fernhall, and J. A. Kanaley, "Energy expenditure of walking and running: comparison with prediction equations," *Medicine and Science in*

Sports and Exercise, vol. 36, no. 12, pp. 2128-2134, Dec. 2004.

- [3] M. Y. Zarrugh, F. N. Todd, and H. J. Ralston, "Optimization of energy expenditure during level walking," *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 33, no. 4, pp. 293-306, 1974.
- [4] B. Lee, S. Im, M. Heo, and G. Jee, "GNSS precise positioning design for intelligent transportation system," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 11, pp. 1034-1039, 2012.
- [5] Y. Ji, J. Bae, J. Song, J. Ryu, and J. Baek, "Outdoor localization through GPS data and matching of lane markers for a mobile robot," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 6, pp. 594-600, 2012.
- [6] F. Carl, T. S. Poorna, and H. Mike, "Tutorial: implementation of a pedestrian tracker using foot-mounted inertial sensors," *IEEE Pervasive Computing*, to appear.
- [7] W. T. Faulkner, R. Alwood, D. W. A. Taylor, and J. Bohlin, "Altitude accuracy while tracking pedestrians using a boot-mounted IMU," *Proc. of Position Location and Navigation Symposium (PLANS)*, pp. 90-96, 2010.
- [8] K. J. Han, C. K. Sung, and M. J. Yu, "Improved calibration method for SDINS considering body-frame drift," *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 497-505, 2011.
- [9] S. H. Shin, C. G. Park, J. W. Kim, H. S. Hong, and Lee, "Adaptive step length estimation algorithm using low-cost MEMS inertial sensors," *Sensors Applications Symposium*, 2007.
- [10] D. Alvarez, R. C. Gonzalez, A. Lopez, and J. C. Alvarez, "Comparison of step length estimators from wearable accelerometer devices," *Proc. of Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5964-5967, 2006.
- [11] J. W. Kim, H. J. Jang, D. H. Hwang, and C. A. 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, 2003.
- [12] Q. Ladetto, "On foot navigation: continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering," *Proc. of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, pp. 1735-1740, 2000.
- [13] Q. Li, M. Young, V. Naing, and J. M. Donelan, "Walking speed and slope estimation using shank-mounted inertial measurement units," *Proc. of IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 839-844, 2009..
- [14] T. N. Do and Y. S. Suh, "Gait analysis using floor markers and inertial sensors," *Sensors*, vol. 12, pp. 1594-1611, 2012.



트란나형

2010년 베트남 하노이 공대 졸업. 2011년~현재 울산대학교 전기공학부 석사과정 학생. 관심분야는 관성센서를 사용한 모션트래킹.



서영수

1990년 서울대학교 제어계측과 졸업. 1992년 동 대학원 석사. 1997년 동경대학교 공학박사. 2000년~현재 울산대학교 전기공학부 교수. 관심분야는 모션트래킹 및 네트워크기반 제어시스템.