

선형 보정을 이용한 구난요원의 보폭 추정 알고리즘

Step Length Estimation Algorithm for Firefighter using Linear Calibration

이 민 수, 주 호 진, 박 찬 국*, 허 문 범
(Min Su Lee¹, Ho Jin Ju², Chan Gook Park², and Moonbeom Heo³)

¹Automation and Systems Research Institute (ASRI), Seoul National University

²Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University

³CNS/ATM and Satellite Navigation Research Center Satellite Navigation Team

Abstract: This paper presents a step length estimation algorithm for Pedestrian Dead Reckoning using linear calibrated ZUPT (zero velocity update) with a foot mounted IMU. The IMU consists of 3 axis accelerometer, gyro and magnetometer. Attitude of IMU is estimated using an inertial navigation algorithm. To increase accuracy of step length estimation algorithm, we propose a stance detection algorithm and an enhanced ZUPT. The enhanced ZUPT calculates firefighter's step length considering velocity error caused by sensor bias during one step. This algorithm also works efficiently at various motions, such as crawling, sideways and stair stepping. Through experiments, the step length estimation performance of the proposed algorithm is verified.

Keywords: step length estimation, ZUPT, PDR, firefighter, IMU

I. 서론

재난, 재해 현장에서 구조 활동 수행 중 구조 요원의 위치 및 상태 정보 미비로 인한 순직 사례가 증가하고 있다. 미국에서는 1999년 Worcester 시의 화재 현장에서 소방관 위치 정보 부족으로 인하여 소방관이 순직한 사례가 있으며, 그 후로 매해 WPI (Worcester Polytechnic Institute) 워크샵을 개최하여 실내에서의 구조 요원의 위치 정보 파악을 위한 기술에 대하여 연구하고 있다. 또한 국내에서도 2007년 경기도 이천에서 소방관의 위치 정보 부족으로 인한 순직 사례가 있다. 이처럼 구조 현장의 경우 GPS 등 기존의 전파 항법 방식이 실내에서 이용이 불가능하며 연기와 고열 등으로 인해 시야가 극히 제한된다. 이러한 실내 전파 항법 음영지역 대응을 위한 대체 항법 시스템의 개발이 필요하다.

보행자를 위한 항법으로 Wi-Fi, 영상, IMU 등 GPS 신호를 사용하지 않거나 또는 결합하여 사용하는 항법에 대한 연구가 최근 많이 이루어지고 있다[1,2]. 그 중에서도 PDR (Pedestrian Dead Reckoning) 시스템은 한 개 혹은 복수의 IMU를 이용하여 시간에 따라 발산할 수 있는 순수 관성 항법이 아닌 보행자의 보행 특성을 이용함으로써 시간에 따라 발산하지 않는 시스템을 구성할 수 있어 연구가 활발히 이루어지고 있다. PDR을 위한 관성센서의 장착위치로 다양한 위치가 고려되고 있으며 주로 발이나 허리에 장착이 된다. 휴대

폰을 위한 PDR을 구성하기 위하여 허리와 바지 주머니 등의 장착 위치를 고려하여 이를 구분하는 연구도 이루어지고 있다[3,9,10]. 본 논문에서는 구조 요원을 대상으로 하고 있기 때문에 그들의 다양한 동작 상황을 고려하여야 하며, 동작 특성을 가장 잘 구분할 수 있는 부츠에 IMU를 부착하여 보행 항법을 수행하고자 한다. 부츠 혹은 신발에 IMU를 장착하여 PDR을 수행하는 연구는 많이 이루어지고 있으며[4,5], 본 논문에서는 보행 상황에 관계없이 정확한 보폭 추정을 할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

PDR은 크게 걸음 검출, 보폭 추정, 이동 방향 추정으로 나눌 수 있다. 그 중 보폭 추정을 위한 방법에는 선형 파라미터 기법과 ZUPT (Zero-velocity UPdaTe) 방법 등이 있다. 선형 파라미터 기법은 보폭과 가속도 분산, 걸음 주파수가 선형적인 관계가 있는 특성을 이용하여 선형적 실험 등을 통해 구한 파라미터를 이용하여 한 걸음 동안의 가속도 분산, 걸음 주파수로부터 보폭을 계산하는 방법이다[6]. 하지만 이러한 방법은 보행자에 따라 오차가 크며 복합 동작에서 정확도가 크게 떨어지는 문제가 있다. ZUPT는 보행자가 걸음을 내딛는 순간의 신발의 속도가 실제로는 0이라는 점을 이용하여 걸음 검출 순간 속도를 0으로 만들어 사용한다. ZUPT를 이용한 보폭 추정의 향상을 위해서는 정확한 발의 디딤기 (stance phase) 검출과 IMU 센서 바이어스의 추정이 필요하다. 부츠의 디딤기 검출을 위해 다양한 연구가 이루어지고 있으나 [7,8], 기존의 일정한 걸음에서만 분석이 되어 있어 소방관과 같은 다양한 보행 동작을 수행하는 경우에는 검출이 제대로 이루어지지 않는다. 따라서 본 연구에서는 간단한 보행 특성을 이용하여 복합 보행 동작에서도 디딤기를 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 각 보행 동작 상황에서도 정확히 동작하며 검출이 빠른 시간에 정확한 지점에서 가능하기 때문에 정확한 보폭 추정에 도움이 될 수 있다. 또한 IMU 센서

* 책임저자(Corresponding Author)

Manuscript received September 7, 2012 / revised March 19, 2013 / accepted May 16, 2013

이민수, 주호진, 박찬국: 서울대학교 기계항공공학부

(mandu46@snu.ac.kr/hojin419@snu.ac.kr/chanpark@snu.ac.kr)

허문범: 교통항법기술연구센터 위성항법팀(hmb@kari.re.kr)

※ 본 연구는 기초기술연구회의 “재난예방 및 국민안전제고를 위한 위성기반 위치추적기술 연구” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

바이어스 추정을 위하여 선형 속도 보정 알고리즘을 제안하였다. 이는 센서 바이어스 오차로 인하여 속도 오차가 선형으로 증가하고 있다고 가정하고 이를 보정하는 기법이다.

본 논문에서는 알고리즘의 검증을 위하여 기어가기, 옆 걸음, 계단의 복합 동작을 수행하는 실험이 수행되었으며 이를 여러 사람에게 대하여 검증하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 시스템 구성에 대하여 소개 하고, 디딤기 검출 알고리즘에 대해 소개한다. 일반적인 보폭 추정 알고리즘에 대해 설명하고 본 논문에서 제안한 선형 보정 ZUPT 알고리즘에 대해 소개한다. 알고리즘의 실험 및 결과에 대해 소개하고 결론을 짓는다.

II. 시스템 구성

ARS는 그림 1과 같이 부츠의 옆면에 부착되었으며 사용된 ARS는 XSens사의 XBUS-kit을 사용하였다. XBUS-kit은 3축의 가속도계와 자이로, 지자기계의 값을 사용하며 Bluetooth 를 이용한 무선 통신으로 데이터 제공이 가능하다. 항법 좌표계는 NED 좌표계를 기본으로 사용하여 동체 좌표계는 x축이 발의 진행방향과 일치하는 방향으로 사용하였다. 보폭은 오른쪽 걸음에서 다음 오른쪽 걸음까지의 거리를 말하며, 수직 방향의 거리를 포함한다.

III. 디딤기 검출 알고리즘

ZUPT를 이용한 보폭추정 알고리즘에서는 정확한 영속도 구간의 검출이 필요하다. 사람의 보행 동작은 그림 2와 같이 들림기(swing phase)와 디딤기로 구분할 수 있으며 신발이 바닥에 붙어있는 구간인 디딤기는 영속도 구간을 의미한다. 디딤기 검출 방법으로는 주로 가속도계 값과 자이로 값 등을 이용한 방법이 있으며, HMM (Hidden Markov Model)과 같은 패턴인식을 이용한 방법 등도 있다.

본 논문에서도 가속도 값을 보행 동작 구분에 사용한다. 하지만 단순히 x, y, z축의 가속도 값을 쓰는 것이 아닌 신호를 복합하여 보행 동작 검출에 좀 더 특징적인 지점을 찾고자 하였다. IMU를 그림 1과 같이 신발에 장착한 후 걸었을

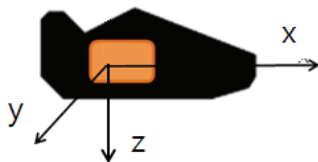


그림 1. 신발에 장착된 ARS의 동체 좌표계.
Fig. 1. Body frame of boot imbedded ARS.

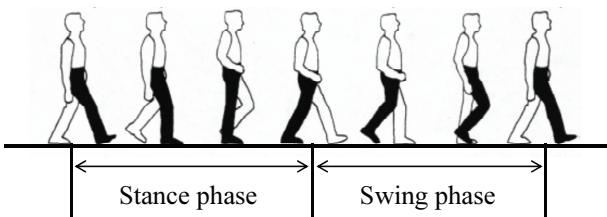


그림 2. 사람의 보행 동작 구분.
Fig. 2. Pedestrian's step phase classification.

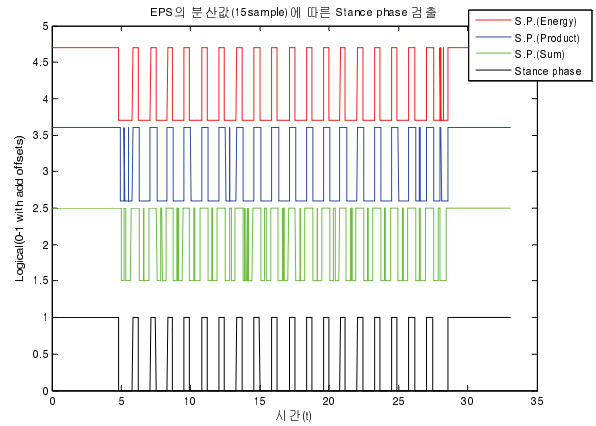


그림 3. EPS 분산 값을 이용한 디딤기 검출.
Fig. 3. Stance phase detection results using variance of EPS.

경우 y축 보다는 x축과 z축의 변화가 크게 나타남을 알 수 있다. 본 논문에서는 식 (1)과 같이 두 축의 에너지(Energy,E), 곱(Product,P), 합(Sum,S)을 구하였으며 식 (2)와 같이 E,P,S (Energy, Product, Sum) 각각의 15샘플 단위로 분산 값을 구하여 그 분산 값이 한계치 이하일 경우 디딤기라고 판단한다.

$$Energy = \sqrt{a_x^2 + a_z^2}$$

$$Product = a_x \cdot a_z \tag{1}$$

$$Sum = a_x + a_z$$

$$Condition_E = \begin{cases} 1 & \text{var}(E_{k-14} : E_k) < th_E \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

그림 3은 E,PS 각각의 분산 값이 한계치 이하일 경우에 대한 디딤기 검출결과와 E,PS 모두 한계치 이하일 경우 디딤기 검출결과를 나타낸다. 일반적인 걸음에서는 좋은 검출 결과를 보인다.

하지만 이러한 방법으로는 계단 오르내리거나 기어가기 동작에서는 오검출이 많이 발생한다. 이를 방지하기 위해 E,P,S 값에 신발의 x축, y축 가속도 값과 가속도 분산 값을 추가적으로 고려한다.

신발의 x축, y축 가속도 값(Condition1)과 가속도 분산 값(Condition2)를 고려하면:

자이로의 가속도 값인 $w_k = \sqrt{w_{kx}^2 + w_{ky}^2}$ 이 한계치 th_w 이 하가 되어야 한다.

$$Condition1 = \begin{cases} 1 & |w_k| < th_w \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

자이로의 가속도 값인 $w_k = \sqrt{w_{kx}^2 + w_{ky}^2}$ 의 15 샘플의 분산 값을 구하여 이 값이 $th_{var(w)}$ 이 하가 되어야 한다.

$$Condition2 = \begin{cases} 1 & \text{var}(w_{k-14} : w_k) < th_{var(w)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

각 임계값은 여러 실험자들의 일반적인 걸음과 복합 보행 실험을 통하여 최적값을 검출하였으며 보행 동안의 두 신호 특성을 보면 그림 4와 같다. 이러한 실험 데이터를 바탕으로

자이로 각속도의 경우 0.6, 그 분산값의 경우 0.2로 임계값을 설정하였다.

계단 오르내리거나 기어가기 동작에서 위의 두 조건을 모두 만족 시키는 디딤기를 검출하면 그림 5와 같이 E,PS 값만을 이용한 결과보다 향상됨을 알 수 있다. 하지만 한계치를 정하여 디딤기를 검출하기 때문에 오검출이 생길 수 있다. 디딤기 구간에서 들림기로 오검출이 발생할 경우에는 이동거리가 거의 없어서 문제가 발생하지 않지만 그림 6과 같이

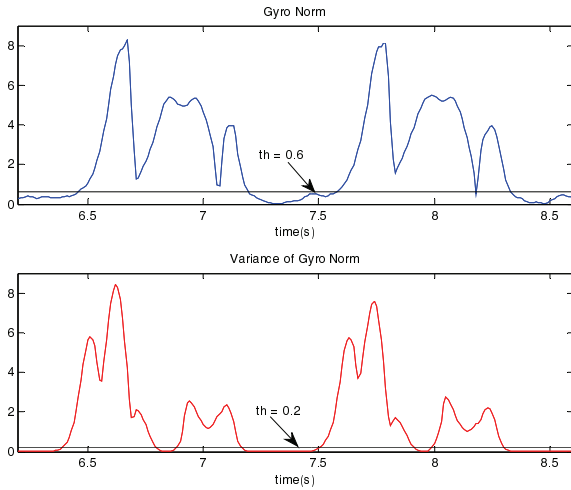


그림 4. 두 걸음 동안의 자이로 놈과 분산.
Fig. 4. Gyro norm(up) and variance(down) during two steps.

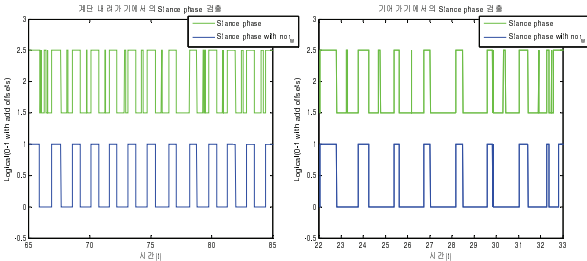


그림 5. 계단 내려가기 및 기어가기 동작에서의 각속도값을 고려한 디딤기 검출.
Fig. 5. Stance phase detection results at stair down and crawling motions.

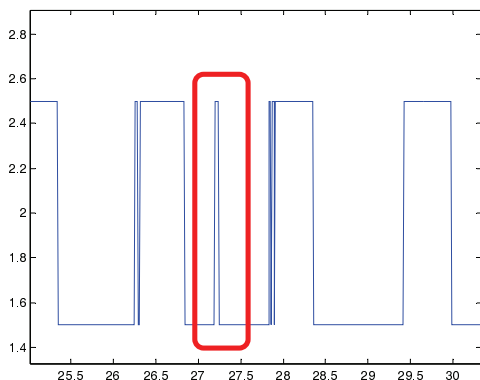


그림 6. 들림기에서의 디딤기 오검출.
Fig. 6. Stance phase miss detection occurred at swing phase.

들림기 구간에서 디딤기로 오검출이 발생하는 경우 걸음이 멈춘 것으로 간주되어 보폭추정에 큰 오차를 초래한다.

이를 해결하기 위해 작은 구간으로 검출되는 디딤기의 경우 오검출로 간주한다. 빠른 걸음에서도 디딤기는 20 샘플 (0.2초) 이상 나타나기 때문에 10 샘플(0.1초) 이하의 디딤기의 경우 그림 6과 같이 오검출로 간주하면 들림기에서의 디딤기 오검출을 제거할 수 있다.

IV. 보폭 추정 알고리즘

본 논문에서 보폭은 오른쪽 발에서 다음 오른쪽 발 걸음까지의 이동거리를 의미하며, 보행항법 시스템은 보폭을 누적하여 보행자의 이동거리를 파악하게 된다. ZUPT에서는 들림기 구간에서 동체 좌표계의 가속도 신호를 NED 좌표계로 변환 후 2번 적분하여 보폭을 추정한다. 본 논문에서는 방향을 고려하지 않고 보폭만을 추정한다. 보폭을 추정하는 한걸음 사이에서는 발산이 적기 때문에 NED 좌표계를 사용하지 않고 자이로 값과 가속도센서 값만을 이용하여 보폭을 추정한다. 그림 7과 같이 들림기가 시작될 때의 가속도계를 f_b 라고 하고 이 때의 동체 좌표계를 기준으로 자세를 추정한다. 들림기 구간 동안의 가속도계를 f_{ib} 의 좌표계로 변환하여 구한다.

디딤기 구간에서의 가속도는 중력 이외의 다른 영향이 없다고 가정하면, 보폭은 아래 식과 같은 순서로 계산 될 수 있다. 식 (5)에서 O 는 코리올리항, δf 는 가속도 바이어스, a_{ib} 는 들림기 구간 동안의 가속도를 초기 좌표계로 변환한 값, 그리고 a_{sb} 는 디딤기 구간에서 중력 이외의 가속도항을 뜻하며 본 논문에서는 이 세 가지 가속도의 영향을 무시한다.

$$f_{ib} = g_{ib} + O + \delta f + a_{ib} \approx g_{ib} \tag{5}$$

$$f_b = g_b + a_b \tag{6}$$

$$a_{ib} - f_{ib} = C_b^{ib} f_b - f_{ib} = g_{ib} + a_{ib} - g_{ib}$$

$$\dot{C}_b^{ib} = C_b^{ib} \Omega_b^b$$

$$\Omega_b^b = \begin{bmatrix} 0 & -w_z & w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ -w_y & w_x & 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$C_b^{ib} = \int \dot{C}_b^{ib} dt$$

$$v_{ib} = \int a_{ib} dt$$

$$s_{ib} = \int v_{ib} dt$$

$$Step Length = \sqrt{s_{ibx}^2 + s_{iby}^2 + s_{ibz}^2} \tag{8}$$

안정적으로 디딤기가 검출되는 일반 걸음동작에서는 식 (5)에서의 가정은 성립하지만 기어가거나 계단오르내리기 등,

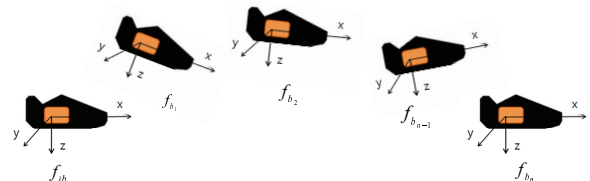


그림 7. 들림기 동안의 좌표계 변환.
Fig. 7. Frame change during swing phase.

a_{sb} 의 디딤기가 불안정한 복합 동작에서는 영향이 매우 커지므로 보폭추정에 큰 오차를 가져온다.

V. 선형 보정 ZUPT 알고리즘

들림기가 끝나는 시점(디딤기가 시작되는 시점)에서의 속도는 0이 되어야 한다. 하지만 식 (5)에서의 오차요인들에 의해 속도오차가 생기게 되며 이는 보폭추정오차를 가져오게 되며 계산된 속도가 0이 아니다. 특히 복합동작에서는 a_{sb} 의 영향이 매우 커지므로 이 값에 의한 영향을 고려해 주어야 한다. 이 값의 영향을 고려하면 아래와 같다.

$$f_{ib} = g_{ib} + O + \delta f + a_{sb} \approx g_{ib} + a_{sb} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} f_{ib}^f &= g_{ib} + a_{sb} \\ f_b &= g_b + a_b + a_{sb} \\ a_{ib} - f_{ib} - a_{sb} &= C_b^{ib} f_b - f_{ib} - a_{sb} \\ &= g_{ib} + a_{ib} - g_{ib} - a_{sb} \end{aligned} \quad (10)$$

앞에서 제시한 보폭추정 알고리즘에서는 a_{sb} 를 고려하지 않아 $a_{ib} = C_b^{ib} f_b - f_{ib}$ 라 가정하지만 a_{sb} 를 고려하면 $a_{ib} = C_b^{ib} f_b - f_{ib} + a_{sb}$ 이기 때문에 a_{sb} 가 속도에 적분형태로 오차를 가져온다. 이때 a_{sb} 는 들림기 동안 고정된 값이며 $v_{sb} = \int a_{sb} dt = a_{sb} \times t$ 라 할 수 있다. 따라서 v_{sb} 는 시간에 따라 선형적으로 증가하게 되며 이는 들림기가 끝나는 시점에서 속도오차요인이 된다. 이외의 속도 오차요인이 없다고 가

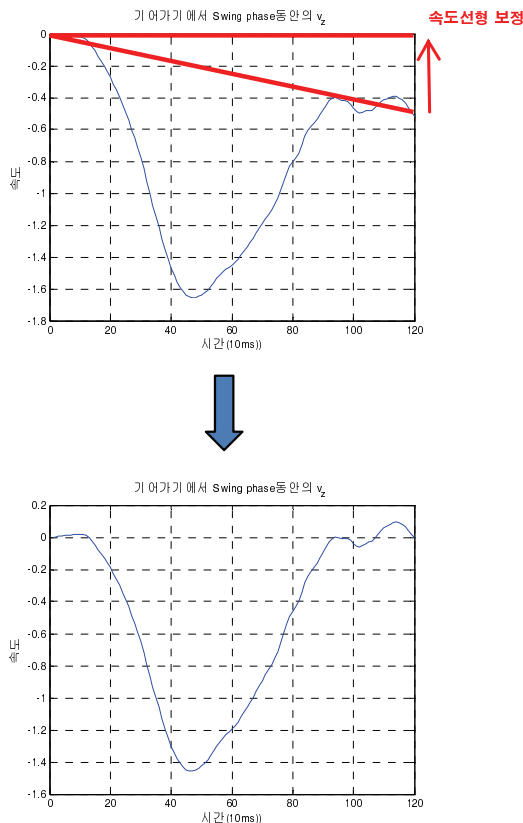


그림 8. 선형 보정을 통한 진행방향의 속도.
Fig. 8. Forward direction velocity using linear calibration.

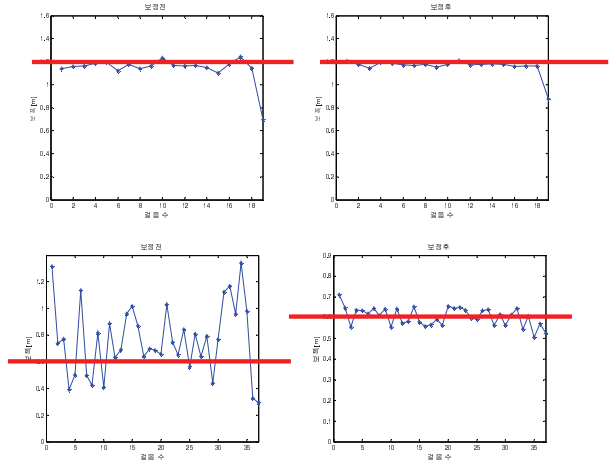


그림 9. 선형보정 전(좌) 후(우) 보폭 추정 결과 (보통걸음, 기어가기).
Fig. 9. Results of step length estimation w/ and wo/ linear calibration.

정하면 그림 8에 나타난 것과 같이 잘못된 속도 값을 보정할 수 있다. 그림 9는 속도보정에 따른 보폭추정 정확도를 나타낸 것으로 각각 1.2m 보폭으로 걸을 때, 0.6m 보폭으로 기어갈 때의 보정 전 후의 결과를 나타낸다. 걷기동작에서도 조금 향상된 결과를 보였으며 특히 기어가기 동작에서는 좋은 결과를 보여준다.

VI. 실험 및 결과

1. 실험환경

실험은 서울대학교 자동화시스템공동연구소 안의 복도에서 이루어졌으며 실험 경로는 기어가기 계단 오르내리기 옆걸음(오른쪽, 왼쪽)을 포함하여 구성하였으며 그림 10과 같다. 0~1 구간은 90도 회전을 포함한 일반 보행, 1~2 구간은 기어가기, 2~3 구간은 일반 보행, 3~4 구간은 계단 내려가기, 4~5 구간은 계단 오르기, 5~7 구간은 180도 회전을 포함한 일반 걸음, 7~8 구간은 옆걸음(왼쪽, 오른쪽), 8~9 구간은 90도 회전을 포함한 빠른 걸음 구간이다. 이 경로들의 총 이동 거리는 약 83.5m 이다.

실제 실험 모습은 그림 10과 같으며 기어가기 동작은 그림 11의 우측 그림과 같이 무릎을 땅에 붙이고 신발은 지표면과 수직에 가까이 유지하며 밀어 움직이는 동작이다. 옆걸음은 벽면과 평행하게 서서 계걸음을 건듯이 걷는 동작을 말한다.

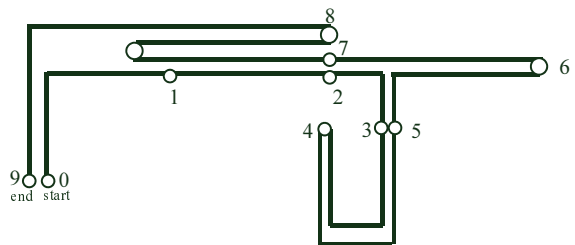


그림 10. 복합 동작 상황을 포함한 보행 실험 경로.
Fig. 10. Experience path including complex gait motions.

2. 실험결과

본 알고리즘을 이용하여 그림 10의 경로를 걸었을 때 각 걸음의 이동 거리의 결과는 그림 12와 같다. 각 보행 상황의 구간은 빨간색 선으로 각 구간을 나누었다. 한 구간에서 보폭이 작거나 크게 나타나는 영역은 회전하며 걸을 때 생기는 영역이다.

각 보행 상황에서의 실제 보폭은 다음과 같다. 보통 걸음은 1.2m, 기어가기는 0.6m, 계단 오르내리기는 0.67m, 빠른 걸음은 1.8m 이다. 그림 13에서 보듯이 각 보행 상황에서 걸음 결과가 실제 값에 거의 근사한 것을 확인할 수 있다.

알고리즘의 신뢰성을 확보를 위하여 총 3명의 실험자를 연구실에서 불규칙하게 선반하여 실험을 진행하였으며 그 결과는 그림 12와 같다. 실제 총 이동거리는 83.5미터이며 본 알고리즘을 이용하여 구한 보폭을 모두 합한 결과는 첫 실험에서는 82.99m(0.61% 오차), 2번째 실험에서는 83.74m(0.287%

오차), 3번째 실험에서는 83.95미터(0.54% 오차)로 실제 이동 거리와 평균 1% 이하의 오차의 결과를 가진다.

VII. 결론

본 논문에서는 구난요원을 위한 보행항법 구축을 위하여 보행상황에 관계없이 보폭을 추정할 수 있도록 선형 보정을 이용한 보폭 추정 알고리즘을 제안하였다. 또한 보폭 추정의 정확도 향상을 위하여 복합 보행 상황에서도 정확한 디딤기 검출을 위한 알고리즘을 제안 하였다. 부츠에 장착된 하나의 IMU를 통하여 신호의 E,P,S, 값을 생성하고 디딤기 검출을 위한 특징점들을 찾아내었다. 부츠가 디딤기 구간에서 속도가 0이 되어야 하는 점을 통하여 ZUPT를 적용함과 동시에 속도의 값을 선형 보정하여 더욱 정확한 보폭 추정이 가능하도록 하였다. 제안된 알고리즘을 실제 대상에게 적용하여 실험하였으며 일반 보행상황뿐만 아니라 기어가기, 옆걸음, 계단 오르내리기 구간에서도 정확한 보폭 검출이 가능함을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] K. Frank, B. Krach, N. Catterall, and P. Robertson, "Development and evaluation of a combined WLAN inertial indoor pedestrian positioning system," *ION GNSS*, 2009.
- [2] H. Wang, H. Lenz, A. Szabo, J. Bamberger, and U. D. Hanebeck, "WLAN based pedestrian tracking using particle filters and low cost MEMS sensors," *WPNC'07*, pp 1-7, Mar. 2007.
- [3] S. H. Shin, M. S. Lee, C. G. Park, and H. S. Hong, "Pedestrian dead reckoning system with phone location awareness algorithm," *ION/IEEE PLANS 2010*, Palm Springs, CA, May 2010.
- [4] S. Godha and G. Lachapelle, "Foot mounted inertial system for pedestrian navigation," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 19, pp. 1-9, Jul. 2008.
- [5] O. Bebek, M. A. Suster, S. Rajgopal, M. J. Fu, X. Huang, M. C. Cavusoglu, D. J. Young, M. Mehregany, A. J. van den Bogert, and C. H. Mastrangelo, "Personal navigation via high-resolution-gait-corrected inertial measurement units," *IEEE, Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2010.
- [6] S. H. Shin, C. G. Park, J. W. Kim, H. S. Hong, and J. N. Lee, "Adaptive step length estimation algorithm using low-cost MEMS inertial sensors," *Proc. of 2007 Sensor Application System*, San Diego, CA, Feb. 6-8, 2007.
- [7] S. K. Park and Y. S. Suh, "A zero velocity detection algorithm using inertial sensors for pedestrian navigation systems," *Sensors*, vol. 10, pp. 9163-9178, 2010.
- [8] A. R. Jiménez, F. Seco, J. C. Prieto, and J. Guevara, "Indoor pedestrian navigation using an INS/EKF framework for yaw drift reduction and a foot-mounted IMU," *WPNC'10, Dresden*, Germany, Mar. 2010.
- [9] B. J. Shin, J. H. Lee, H.-W. Kim, and J.-M. Lee, "Indoor 3D pedestrian tracking algorithm based on PDR using smartphone," *ICCAS 2012*, vol. 10, pp. 1442-1445, 2012.
- [10] Y.-K. Kim, S.-H. Choi, H.-W. Kim, and J.-M. Lee, "Performance improvement and height estimation of pedestrian dead reckoning system using a low cost MEMS sensor," *ICCAS 2012*, vol. 10, pp. 1655-1660, 2012.



그림 11. 보행 실험 모습.

Fig. 11. Test environment.

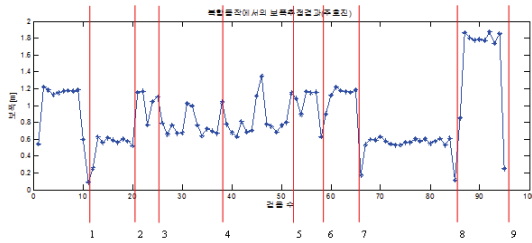


그림 12. 보폭 실험 결과.

Fig. 12. Test result.

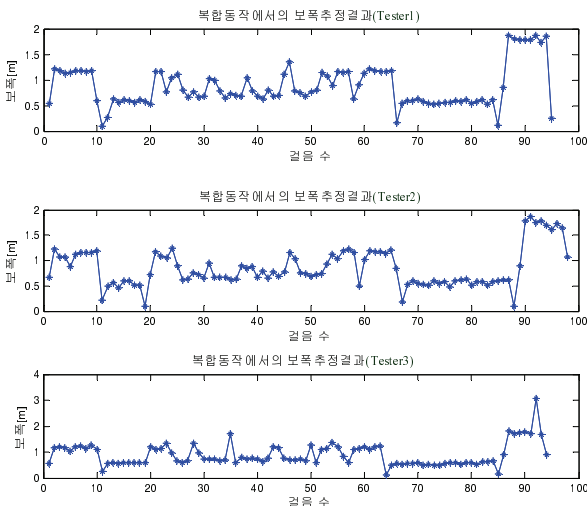


그림 13. 3명의 실험 결과.

Fig. 13. Test results with 3 different testers.



이 민 수

2008년 서울대학교 기계항공공학부 졸업. 2008년~현재 서울대학교 기계항공공학부 박사과정 재학중. 관심분야는 관성항법시스템 및 보행자 항법 시스템 개발.



주 호 진

2012년 한국항공대학교 기계공학과 졸업. 2012년~현재 서울대학교 기계항공공학부 석사과정 재학중. 관심분야는 관성항법시스템 및 보행자 항법 시스템 개발.



박 찬 국

1985년 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(공학석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박사). 1993년 서울대학교 제어계측신기술 연구센터 Post Doc. 1994년~2002년 광운대학교 정보제어공학과 조교수/부교수.

1998년 미국 UCLA 기계항공공학과 방문연구원. 1994년~2003년 서울대학교 자동제어특화연구센터 책임연구원. 2003년~현재 서울대학교 기계항공공학부 부교수/교수. 2009년 미국 Georgia Tec. 방문교수. 관심분야는 INS/GPS 결합 알고리즘, MEMS IMU 응용 시스템 개발, 영상항법시스템, USN을 이용한 Ubiquitous Positioning, 필터링 기법, FDIR 시스템.



허 문 범

1992년 경희대학교 기계공학과 졸업. 1997년 Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 졸업(공학석사). 2004년 Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 졸업(공학박사). 2005년~현재 항공우주연구원 선임연구원. 관심분야는

GNSS, 위성항법, 항행시스템 등.