

# 가속도 센서를 이용한 보행 정보 및 보행자 위치 추정

## Pedestrian Gait Estimation and Localization using an Accelerometer

김희승<sup>1</sup>, 이수용<sup>†</sup>

Huisung Kim<sup>1</sup>, Sooyong Lee<sup>†</sup>

**Abstract** This paper presents the use of 3 axis accelerometer for getting the gait information including the number of gaits, stride and walking distance. Travel distance is usually calculated from the double integration of the accelerometer output with respect to time; however, the accumulated errors due to the drift are inevitable. The orientation change of the accelerometer also causes error because the gravity is added to the measured acceleration. Unless three axis orientations are completely identified, the accelerometer alone does not provide correct acceleration for estimating the travel distance. We proposed a way of minimizing the error due to the change of the orientation. Pedestrian localization is implemented with the heading angle and the travel distance. Heading angle is estimated from the rate gyro and the magnetic compass measurements. The performance of the localization is presented with experimental data.

**Keywords:** Accelerometer, Gait, Localization

### 1. 서론

보행자의 위치를 추정하는 측위 기술(Location Determination Technology, LDT)은 통신망의 기지국 수신신호를 이용하는 네트워크 기반 방식, 단말장치에 부착된 GPS 등을 이용하는 단말기 기반 방식, 이들을 혼합하여 사용하는 혼합방식으로 구분할 수 있다<sup>[1]</sup>. 초반에는 네트워크 기반 방식이 주로 연구되었으나, MEMS기반의 센서와 같이 크기가 작고 저렴한 위치추정 센서들이 개발되고, GPS와 위치 추정센서가 부착된 휴대전화와 같은 개인휴대단말 장치의 보급률이 크게 증가함에 따라 단말기 기반 방식과 혼합방식에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 방법 중 GPS 신호를 이용하는 방법은 간단하고 표준화 되어 있으므로 널리 사용되고 있으나, 실내나 빌딩 숲 속과 같이 GPS 신호 음역지역에서는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 GPS와 관성항법장치(IMU, Inertial Measurement Unit), WiFi, Bluetooth, RFID, 비전, 광대역네트워크

(WLAN)등의 다양한 센서와 융합하는 연구도 활발히 진행 중이다<sup>[2-4]</sup>.

위치추정은 주행로봇에서 가장 중요한 기능 중 하나이며, 이에 대한 연구는 지난 수십 년 동안 매우 활발히 연구되었으며, 다양한 해법이 소개되었다. 주행로봇의 경우 내부 엔코더나 카메라와 같은 외부 센서 정보를 결합하는 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 반면 보행자의 위치 추정은 주행로봇과 달리 엔코더를 사용할 수 없으므로, 주행로봇과는 다른 접근 방법이 필요하다. 보행자의 위치추정에는 주로 가속도 센서와 각속도 센서, 지자기 센서가 결합된 관성항법장치를 사용하는 방법이 연구되어 왔다. [5]는 관성항법장치를 발에 부착하는 방식을 제안하였으며, [6]은 머리에, [7]은 허리에, [8]은 다리에 부착하는 방법을 각각 제안하였다.

관성항법장치는 속도와 위치를 추정하는 보조장치로 널리 사용되고 있으나, 관성항법장치부터 추정하는 위치정보에는 센서값의 편류에 의한 적분 누적오차가 포함되는 문제가 있다<sup>[9]</sup>. 또한 가속도 센서의 경우 편류문제와 더불어 장착위치와 각도에 따라 각 축 방향의 운동가속도와 중력 가속도 성분이 동시에 측정되는 문제가 있다. 특히 관성항법장치를 사용 중에 설치위치가 초기 축 정렬 위치와 틀려질 경우 이에 따른 오차는 더욱 커지게 된다. 이러한 문제

Received : May 27, 2010; Reviewed : Jun. 28, 2010; Accepted: Aug. 26, 2010

※ 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0007794)

<sup>1</sup> 홍익대학교 과학기술연구소

<sup>†</sup> 교신저자 : 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

를 해결하기 위해 지난 수십 년 동안 다양한 연구가 진행되었다. 항공, 해양 등 특수 분야에서 사용하기 위해 매우 정확하고 정교한 관성항법장치가 개발되었으나, 이는 GPS와 같은 보조장치가 필요하며, 매우 고가이고, 휴대하기에는 크기와 무게가 적당하지 않으므로 보행자의 위치 추정에는 부적절하다.

지난 수년간 보행자의 위치 추정을 위해서 MEMS 기반의 저렴한 관성항법장치를 이용한 다양한 방법이 연구되어 왔다. [10]은 단순히 보행 수를 측정하고, 이에 평균 보폭을 곱하는 방식으로 보행거리를 추정하였고, [11]은 전진방향 가속도 센서 값을 단순히 두 번 적분하는 보행거리 추정법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법들은 보폭과 같은 사용자의 보행 습관정보를 실험을 통해 미리 확보하고 있어야 한다. 즉, 보행자가 빨리 걷거나 느리게 걷는 등에 따른 보폭의 변화에 유연하게 대응하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 가속도 센서를 이용하여 걸음걸이 정보 즉, 걸음수, 보행주기, 보폭, 보행속도, 보행거리를 추정하는 방법을 제안하였고, 각속도 센서와 지자기 센서를 이용하여 보행자의 방향각을 결정하는 방법을 소개하였다. 또한 가속도 센서의 편류문제와 사용 중 가속도 센서의 축 정렬이 초기 설치 시와 달라질 경우, 각 축 방향 측정값에 운동 가속도와 새로운 중력방향 가속도 성분이 동시에 측정됨에 따른 오차를 수정하는 방법을 제안하였고, 그 성능을 실험을 통해 검증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험장치 구성

본 논문에서는 3축 가속도 센서(LIS3LV02DQ, ST社), 1축 각속도 센서(ADIS16100, Analog Device社), 지자기 센서(HMC6352, Honeywell社)를 보행자의 허리에 장착하였다. 가속도 센서를 이용하여 걸음 수, 보폭, 전진방향 보행속도, 보행주기, 보행거리를, 각속도 센서와 지자기 센서를 이용하여 방향각을 추정하였으며, 이들 정보를 바탕으로 보행자의 위치를 추정하였다.

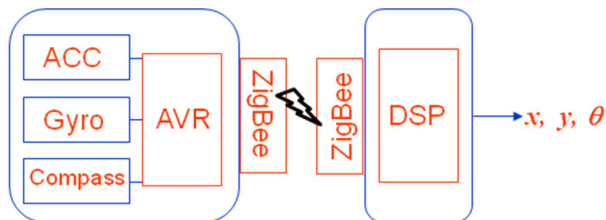


그림 1. 센서와 제어기 구성

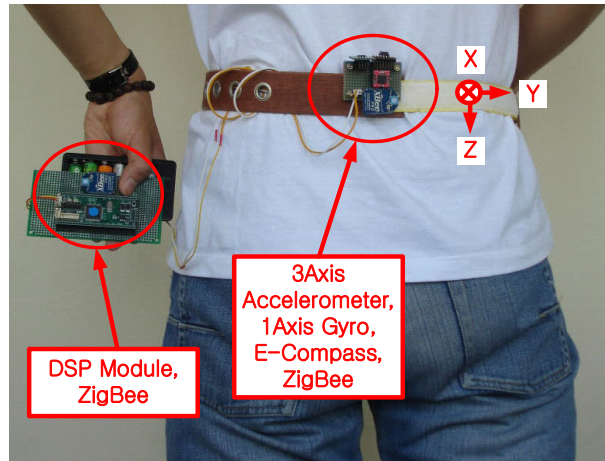


그림 2. 실험 구성

### 2.2 가속도 센서 보정

#### 2.2.1 중력방향 가속도 성분 제거

일반적으로 가속도 센서는 각 축의 운동방향 가속도와 중력방향 가속도가 결합된 정보를 출력한다. 초기 정지상태에서의 정보를 이용하여, 초기 설치상태와 축 정렬 동일한 경우에는 중력 방향 가속도 성분을 비교적 손쉽게 제거할 수 있으나, 이동 중에 가속도 센서의 설치 위치가 초기 축 정렬과 달라질 경우, 각 축의 운동가속도에 새로운 중력방향 가속도 성분이 추가된 형태로 출력되며, 이러한 오차는 두 번 적분하여 이동거리를 추정하는 과정에서  $n^2$ 배로 누적된다. 이를 해결하기 위하여 3축 가속도 센서를 사용하여 관성항법장치의 3축의 회전 방향을 추정하고 이 정보를 이용하여 중력가속도 성분을 제거하는 방법에 대한 연구가 주로 진행되었다<sup>4)</sup>. 그러나 이러한 방법은 추가로 센서를 부착하여야 하는 번거로움이 있으므로, 본 논문에서는 가속도 센서만을 이용하는 알고리즘을 고안하였다. 물론 각속도계로부터 회전각을 추정하는 일반적인 IMU와는 달리 가속도계만을 사용하는 방법이므로 제한 조건을 갖는다. 즉, 회전하며 직선 운동하는 경우에는 3축 가속도계 값만으로 3차원 공간상의 6개의 독립변수 값을 추정할 수 없으므로, 변위값의 변화가 없는 정지상태에서 IMU가 회전하는 제한된 경우에는 가속도계만을 사용하여 중력가속도값을 측정하여 이로부터 회전각을 추정하는 것이다. 먼저 초기 정지 상태의 가속도 값을 이용하여 각 축에 작용하는 초기 중력방향 가속도 값을 구한 후, 이 offset 값을 제거한다. 세 축의 현재 가속도 값과 직전 10개 값의 표준편차가 동시에 0.04이하이면, 일시 정지상태라고 판단하고, 이를 Zero Velocity Update 정보로 사용한다. Zero Velocity Update는 사용자가 움직이지 않는다고 판단될

때 가속도값을 0으로 하는 것이 아니라, 속도 값을 0으로 함으로써 가속도값의 오차로 인한 속도의 누적 오차를 제거하는 보다 효율적인 방법이다. 일시 정지상태가 1초 이상 지속되면, 정지상태로 판단하고, 이때 각 축에 작용하고 있는 가속도 값을 새로운 중력방향 가속도로 판단하고 제거한다. 정지상태를 판별하기 위하여 본 연구에서 사용한 판별 기준 값들인 표준편차 0.04, 정지상태판별시간 1초등은 모두 예시 값이며 사용환경과 수행작업, 사용자의 특성 등에 따라 적절한 값을 선택해야 한다. 가속도 센서 보정 알고리즘은 그림 3과 같이 정리하였다. 고역통과필터를 IMU 출력값인 가속도값에 적용한 것이 아니라 속도값에 적용한 이유는 Zero Velocity Update와 같은 이유로 편류오차 및 중력가속도값으로 인한 오류수정이 속도 추정 단계에서 이루어지기 때문이다.

그림 4, 그림 5는 본 논문에서 제안한 중력방향 가속도 성분 제거 알고리즘의 성능을 보여준다. 실험은 보행자의 허리에 가속도 센서를 장착한 후, 정지 상태에서 X축 방향으로 10걸음 걷고 정지하는 것을 2회 반복하였으며, 약 75sec 경과 후의 정지한 상태에서 가속도계의 축 방향에 변화를 주기 위하여 X축을 중심으로 45도 회전을 한 후, 다시 10회 걷고 정지하는 것을 2회 반복하였다. 그림 4, 그림 5의 (c)와 같이 제안한 알고리즘을 적용한 경우, 초기 설치상태와의 축 정렬이 달라진 경우에도 각 축의 가속도 값이 중력가속도 성분인

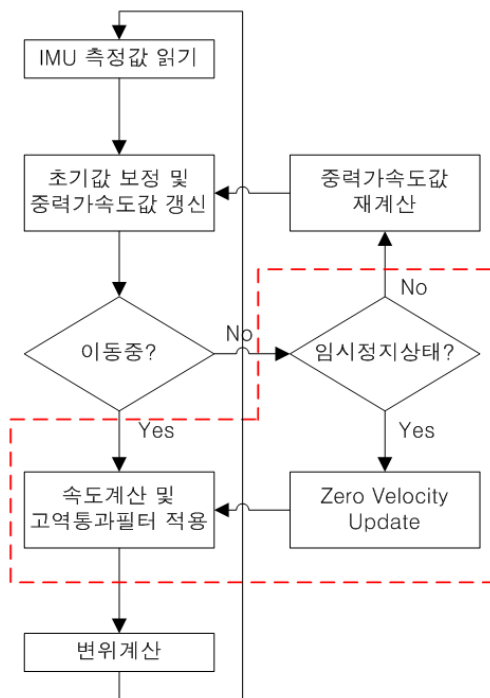


그림 3. 가속도 센서 보정 알고리즘

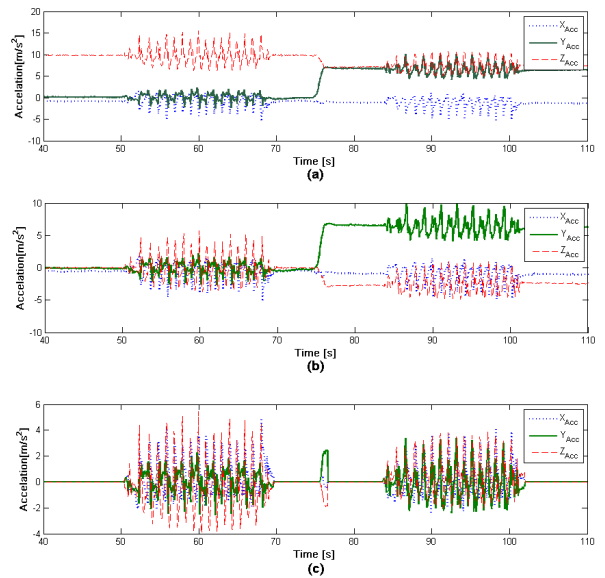


그림 4. 보정 전 가속도(a), 초기 상태의 중력방향 가속도 제거(b), 센서보정 알고리즘 적용(c)

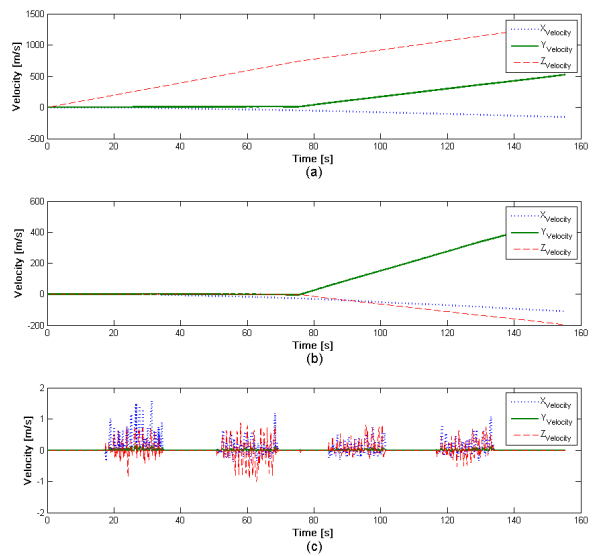


그림 5. 보정 전 속도(a), 초기 상태의 중력방향 가속도 제거(b), 센서보정 알고리즘 적용(c)

9.8m/sec<sup>2</sup> 크기의 치우친 값을 갖는 것이 아니라 다시 0m/sec<sup>2</sup>으로 되돌아 오는 결과를 보이므로 이로부터 계산된 변위 값에도 누적오차에 의한 영향이 제거되리라 예상할 수 있다.

### 2.2.2 적분 편류 오차 제거

관성항법장치를 사용 중 초기 설치상태와 축 정렬이 유지된다고 하더라도, 센서 시스템의 전기적/기계적 잡음에 의해

오차가 발생하며, 이러한 오차는 가속도 값에서 이동거리를 추정하는 과정에서  $n^2$ 배로 누적되는 편류오차 요소로 작용하기 때문에 이러한 잡음 성분을 제거하는 것은 가속도 센서와 같이 적분이 필요한 센서를 이용하는 시스템에서 필수적이다. 관성항법장치에서 가속도 센서의 편류 오차를 줄이기 위해 각속도 센서, 지자기 센서, FSR(Force Sensing Resistor) 등의 다른 센서의 정보를 이용하여 발이 지면에 붙거나 떨어지는 순간 또는 붙어 있는 상태를 판별하고, 이를 통해 Zero Velocity Update 하는 방법이 널리 연구되고 있다<sup>5-7)</sup>. 그러나 이러한 방법은 추가로 센서를 부착하여야 하는 단점이 있다, 본 논문에서는 가속도 센서 정보만을 이용하여 편류오차를 제거하기 위해 고역통과필터와 Zero Velocity Update를 융합한 형태의 보상기를 제안하였다. 고역통과필터의 차단주파수는 일반적인 보행자의 보행속도를 고려하여 0.5Hz로 설계하였다. 차단주파수값에 따라 편류 오차값 제거성능과 저속 움직임의 측정 민감도가 서로 반대되는 방향으로 변화되므로 이를 고려하여 그 값을 결정한다. 본 연구에서는 다양한 보행속도로 실험을 하였으며 0.5Hz 차단주파수값으로 편류 오차값을 충분히 제거할 수 있었다.

중력방향 가속도 성분을 제거한 가속도를 1회 적분하여 속도를 계산하고, 고역통과필터를 적용한 후, 본 논문에서 제안한 가속도 센서 보정 알고리즘으로부터 얻은 Zero Velocity Update 정보와 결합하였다. 이 속도정보를 이용하여 이동거리를 추정한다. 그림 3의 빨간 점선 부분은 본 논문에서 제안한 가속도 센서의 편류오차 제거를 위한 보상기의 구조를 보여준다. 그림 6은 중력가속도 방향 성분이 제거된 가속도로부터 보상기를 적용하지 않고 추정한 속도(a)와 이동거리(b)를 보여주며, 그림 7은 보상기를 적용하여 추정한 속도(a)와 이동거리(b)를 보여준다. 보행자는 정지상태로부터 X축 방향으로 17.5m 직진하였으며, 27걸음을 걸었다.

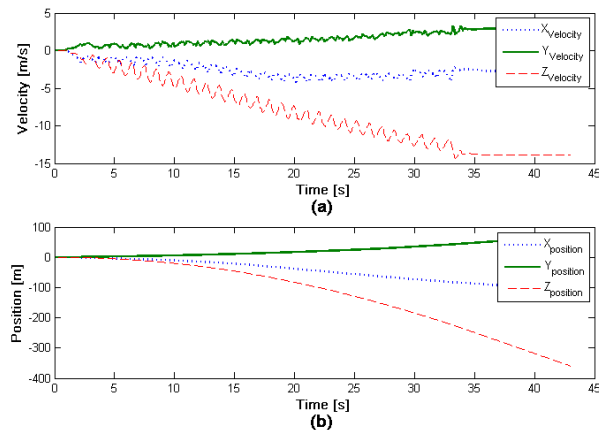


그림 6. 보상기 적용 전 속도(a), 추정 이동거리(b)

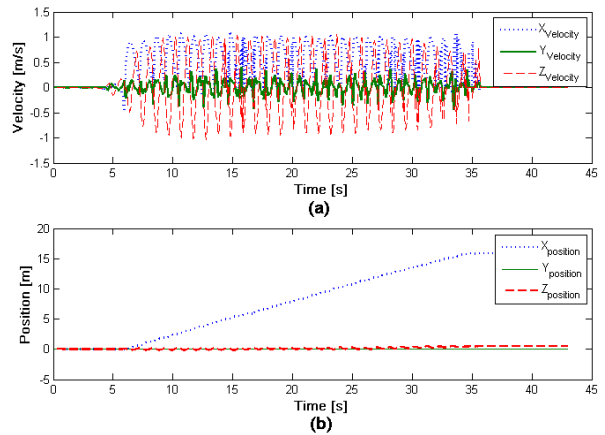


그림 7. 보상기 적용 후 속도(a), 추정 이동거리(b)

실험결과에서 보이는 것과 같이 보상기를 적용하지 않은 경우, X 축 방향으로만 이동하였음에도 적분 편류 현상이 제거되지 않아, X, Y, Z축 모두 정확한 이동거리 추정이 이루어지지 않았으나, 보상기를 적용한 경우에는 가속도 센서의 적분 편류현상이 제거되었으며, 세 축 모두 17m 이동거리 추정에서 오차가 10cm이하임을 확인하였다.

### 2.3 걸음길이 정보 판단

가속도 센서를 이용하여 보행자의 걸음길이 정보, 즉 걸음 수, 보행주기, 보폭, 보행속도, 보행거리를 추정하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 알고리즘을 제안하였다. 먼저 걸음 수를 추정하기 위해 가속도 센서의 Z축 정보를 이용하였다. 보행 중 지면에 발이 닿는 순간 Z축의 가속도 값이 급격히 변하므로 이를 이용해 걸음수를 추정하고, 각 걸음 사이의 시간 간격을 이용하여 보행 주기를 추정하였다. 또한 본 논문에서 제안한 보상기를 통과한 후의 X축 방향 속도 중 각 걸음 사이의 값을 이용하여 각 걸음의 속도를 추정하고, 각 걸음의 속도와 그 시간 간격을 이용하여 각 걸음의 보폭을 추정하였으며, 이를 누적 하여 보행거리를 추정하였다. 제안한 방법의 성능을 확인하기 위하여 가속도 센서를 허리에 장착하고 10걸음 걷고, 일시 정지하는 동작을 보행속도를 달리하며 5회 반복하였으며, 정확한 이동거리를 추정하기 위해 엔코더가 두 바퀴에 장착된 카트를 끌며 보행하였다. 그림 8의 (a)는 중력방향 가속도 성분을 제거한 X, Z축의 가속도 값을 보여준다. 그림의  $\Delta$ 표시는 Z축 가속도 성분으로 판단한 걸음을 의미하며,  $\Delta$ 표시 사이의 시간은 각 걸음의 주기를 나타낸다. 노란색 점은 가속도 정보만을 이용하여 Zero Velocity Update를 한 시점을 의미한다. (b)는 (a)에서 판단한 걸음과 본 논문에서 제안한 가속도 센서 보정 알고리즘과 보상기를 통과한 후의 X축 이용하여 추정한 각 걸음의 속도를

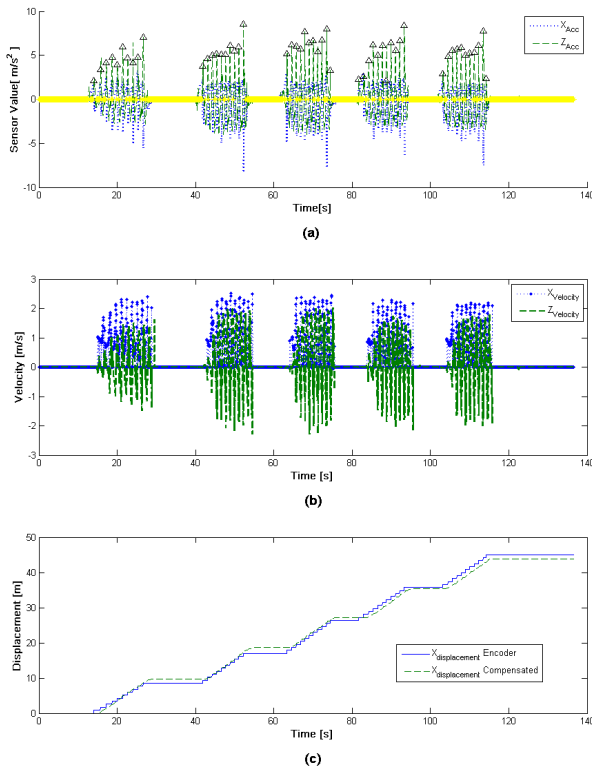


그림 8. 가속도 센서를 이용한 보행정보 판단, (a)가속도, (b)속도, (c)보행거리

보여준다. (c)는 각 걸음의 보폭과 이를 누적하여 추정한 보행거리와 카트를 이용하여 실제 이동거리를 추정한 결과를 보여준다. 실제 이동한 거리는 42m 이었으며, 엔코더가 부착된 카트의 추정결과는 41.92m, 보상기를 적용한 방법의 추정결과는 41.3m 이다.

### 2.4 보행자의 위치 추정

보행자 위치 추정을 위해 본 논문에서는 그림 9와 같이 기준 좌표계를 정의하였고, 보행자의 움직임을 전진 방향의 속도  $V$ 와 회전 속도  $\omega$  만을 이용하여 모델링 하였다. 즉, 본 논문의 모델에서는 보행자가 좌우나 대각선 방향으로 걷지 않는다고 가정하였다. 보행자의 전진방향 속도  $V$ 는 본 논문에서 제안한 보정방법을 적용한 가속도 센서의 X축 방향 정보를 이용하여 추정하였으며, 보행자의 방향각은 [13]에서 제안한 방법과 같이 가속도센서의 편류현상과 지자기 센서의 부정확성을 서로 보완하는 방법을 이용하여 추정하였다. 그림 10은 보행자의 방향각추정알고리즘을보여준다.

지자기센서는 실내에서 주변환경의 영향을 받아 오차 값의 표준편차가 크나, 가속도계와 같은 편류특성은 갖고 있지 않다. 반면 가속도계는 매우 정확하고, 작은 표준편차 값을 갖는다. 따라서, 매 샘플링마다 두 가지 종류의 센서 값들 중

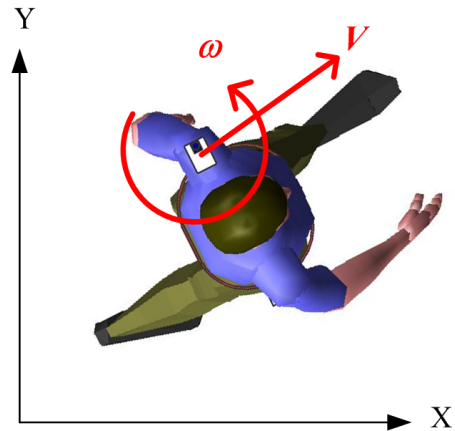


그림 9. 기준 좌표계

```

nNum:=5 // moving average length
nDiff:=1.5 // threshold value
for i:=nNum+1 to N
    if (ω_Gyro(i) ~ 0) then
        ε_Compass(i) := abs((θ_Compass(i, nNum)
            - mean(θ_Compass(i-nNum:i))))
        if (ε_Compass(i) > nDiff) then
            ω(i) := ω_Gyro(i)
        else
            ω(i) := 0
        endif
    else
        ω(i) := ω_Gyro(i)
    endif
end
    
```

그림 10. 방향각 추정 알고리즘

신뢰도가 높은 것을 선택하였다. 예를 들어 각속도계 값이 0 이나 지자기센서 값의 변화량의 크기가 설정값보다 크다면 각속도계 값에 더 큰 신뢰도를 부여한다. 만약 각속도계 값의 크기가 설정값보다 크나, 지자기센서 값의 변화가 없다면 지자기센서 값에 더 큰 신뢰도를 부여한다. 이때의 설정값들은 실험을 통하여 적정값을 구한다. 또한 각속도계 값의 부호와 지자기센서 값 변화의 부호가 다르다면 각속도계 값을 사용한다.

이 방법을 검증하기 위하여 엔코더가 장착된 수직 회전대 위에 지자기센서와 가속도계로 이루어진 방향 추정장치를 고정하고 양방향으로 회전하며 실험하였다. 엔코더의 분해능은 1회전당 4096 카운트이며 회전축과 상대적인 미끄러짐이 없으므로 정확한 측정값으로 가정하였다. 그림11의 (a)는 양쪽 방향으로 약 200도 정도 손으로 회전하며 측정한 엔코더값으로부터 계산한 회전각, 지자기센서값, 그리고 각속도계값을 시간에 대하여 적분하여 추정한 회전각을 보여준다. 지자기 센서나 가속도계 모두 실제값과 약간의 오차를 보여

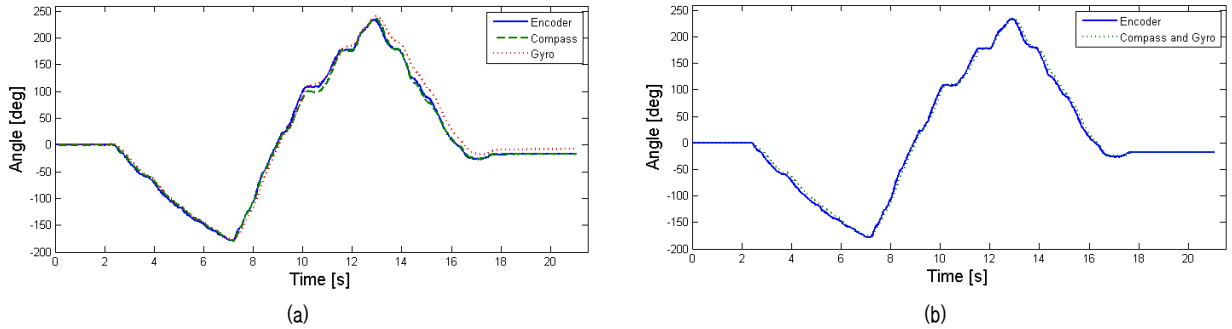


그림 11. 방향각 추정 알고리즘의 검증 실험 (a) 엔코더 측정값, 자자기센서, 각속도계값 기반 각도 추정값 (b) 방향각 추정 알고리즘을 사용한 각도 추정 결과

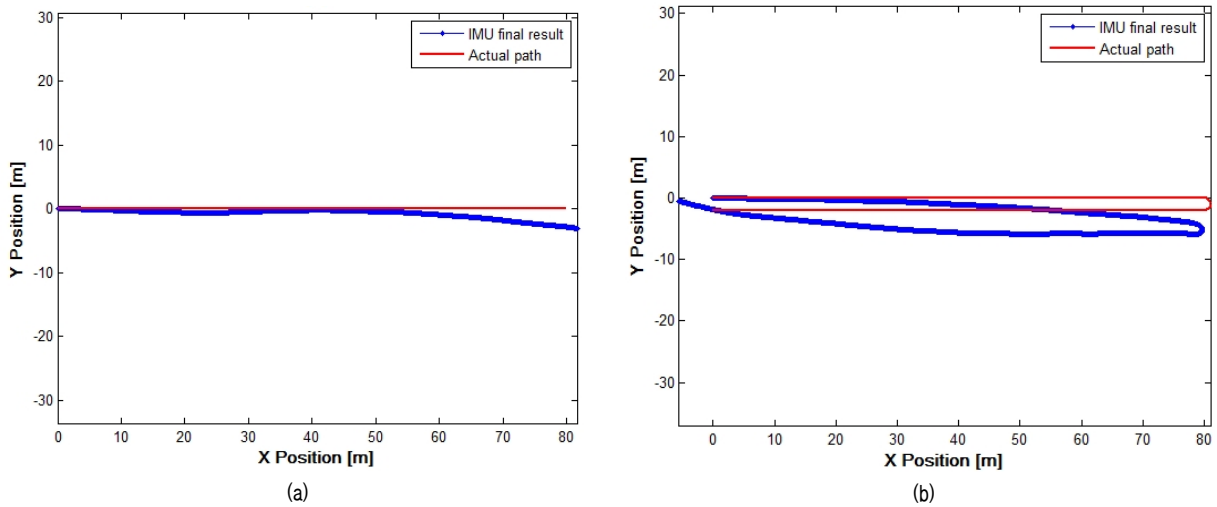


그림 12. 위치 추정 결과 (a) 80m 직진, (b) 80m 직진 후 180도 회전하고 80m 직진

준다. 이 두 센서값을 본 논문에서 제안한 추정 알고리즘을 사용하여 추정한 각도값을 그림11의 (b)에 나타내었으며 하나의 센서만 사용한 경우보다 상대적으로 실제값에 더 가까운 추정결과를 얻었다.

그림12의 (a)는 80m 직진하였을 때의 위치 추정 결과를 (b)는 80m 직진 후, 180도 회전하고 다시 80m를 직진하였을 때의 위치 추정 결과를 보여준다. 위치 오차의 부호에 따라 최종위치오차의 크기가 달라질 수 있으므로, 최종위치오차보다는 이동 중 각 순간의 추정위치와 실제위치와의 거리값을 제안한 방법의 성능지표로 삼는 것이 적절하다고 생각되며, 160m 이동중 약 5m 이내의 거리오차를 보여준다.

### 3. 결론

본 논문에는 가속도 센서만을 사용하여 가속도 센서의 중력방향 가속도와 적분편류오차를 제거하는 방법과 보정된 가속도를 이용하여 보행자의 걸음수, 보폭, 보행주기, 보행속

도, 보행거리 등의 보행 정보를 추정하는 방법을 제안하였다. 이 정보를 보행자의 방향각 정보와 결합하여 보행자의 위치를 추정하였고, 실험을 통해 제안한 방법의 성능을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] 이성호, 민경욱, 김재철, 김주완, 박종현, “위치기반서비스 기술동향”, 전자통신동향분석 제20권, 제3호, pp.33-42, 6월, 2005.
- [2] Jeroen D. Hol<sub>y</sub>, Fred Dijkstra, Henk Luinge, Thomas B. Sch<sub>o</sub>ny, “Tightly Coupled UWB/IMU Pose Estimation”, IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB), 2009
- [3] Raúl Feliz, Eduardo Zalama, Jaime Gómez, García-Bermejo, “Pedestrian tracking using inertial sensors”, Journal of Physical Agents, Vol.3, No.1,

- pp.35-42, January, 2009
- [4] Dorota A. Grejner-Brzezinska, Charles Toth, Shahram Moafipoor, Yoonseok Jwa, "Multi-Sensor Personal Navigator Supported by Human Motion Dynamics Model", 3rd IAG / 12th FIG Symposium, May, 2006
  - [5] L. Ojeda, J. Borenstein, "Non-GPS Navigation for Security Personnel and First Responders" Journal of Navigation, Vol.60, No.3, pp.391-407, September, 2007
  - [6] Stephane Beauregard, "A Helmet-Mounted Pedestrian Dead Reckoning System," 3rd International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC 2006), VDE Verlag, pp.79-89, March, 2006
  - [7] M. Kourogi, N. Sakata, T. Okuma, T. Kurata, "Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/Self-contained Sensor System", IEIC Technical Report (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers), Vol.106, pp.75-80, 2006
  - [8] J. Won Kim, H. Jin Jang, D.H. Hwang, Ch. 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, 2004.
  - [9] S.H. Shin, C.G. Park, J.W. Kim, H.S. Hong, "Adaptive step length estimation algorithm using low-cost MEMS inertial sensors", IEEE Sensor Applications Symposium, 2007
  - [10] P.L. Schneider, S.E. Crouter, O. Lukajic, y D.R. Bassett Jr., "Accuracy and Reliability of 10 Pedometers for Measuring Steps over a 400-m Walk" Medicine & Science in Sports & Exercise, Vol.35, No.10, pp.1779-1784, October, 2003
  - [11] J. Saarinen, J. Suomela, S. Heikkila, M. Elomaa, A. Halme, "Personal navigation system", International Conference on Intelligent Robots and Systems(IEEE/RSJ), Vol.1, pp.212-217, September, 2004.
  - [12] Huisung Kim, Minyoung Lee, Sooyong Lee, "Indoor Pedestrian Localization System for Location based Service", The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009), pp. 499-503, October, 2009
  - [13] 이민영, 김희승, 이수용, "위치기반서비스를 위한 보행자의 위치추정", 한국차세대컴퓨팅학회 논문지, Vol.5, No.4, pp.43-48, 12월, 2009



### 김희승

2007 홍익대학교 기계시스템  
디자인공학과 (공학사)  
2009 광주과학기술원 기전공  
학과 (공학석사)  
2009~현재 홍익대학교 과학  
기술연구소 연구원

관심분야: Mechatronics, Control system, Fusion  
Microscope



### 이수용

1989 서울대학교 기계공학과  
(공학사)  
1991 서울대학교 기계설계학  
과 (공학석사)  
1996 MIT 기계공학과(공학박사)  
1996~1999 한국과학기술연구  
원 선임연구원

2000~2003 Texas A&M 대학 기계공학과 조교수  
2003~현재 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 부  
교수  
관심분야: Robotics