

# 모바일 증강현실 구현을 위한 사용자의 위치/자세 추정

## Estimation of the User's Location/Posture for Mobile Augmented Reality

김 주 영, 이 수 용\*  
(Jooyoung Kim<sup>1</sup> and Sooyong Lee<sup>1</sup>)  
<sup>1</sup>Hongik University

**Abstract:** Augmented Reality is being widely used not only for Smartphone users but also in industries such as maintenance, construction area. With smartphone, due to the low localization accuracy and the requirement of special infrastructure, current LBS (Localization Based Service) is limited to show P.O.I. (Point of Interest) nearby. Improvement of IMU (Inertial Measurement Unit) based deadreckoning is presented in this paper. Additional sensors such as the magnetic compass and magnetic flux sensors are used as well as the accelerometer and the gyro for getting more movement information. Based on the pedestrian movement, appropriate sensor information is selected and the complementary filter is used in order to enhance the accuracy of the localization. Additional sensors are used to measure the movements of the upper body and the head and to provide the user's line of sight.

**Keywords:** augmented reality, localization, inertial measurement unit, dead-reckoning

### I. 서론

모바일 증강현실(mobile augmented reality)은 모바일 기기를 기반으로, 언제 어디서나 내가 보는 물체, 내가 속한 환경에 대한 정보를 실시간에 자연스럽게 겹쳐진 영상을 통해 얻는 기술이다. 예를 들어 스마트폰 내장 카메라로 사람이나 건물, 그림 등을 비추면 이와 관련된 이미지나 정보를 3D 가상현실 형식으로 겹쳐 보여주는 기술이다. 기존의 텍스트 기반 검색을 스마트폰에서 실행하려면 문자를 입력하기 어렵고, 원하는 검색결과를 얻기도 힘들 뿐 아니라 검색 결과 목록에서 원하는 내용을 선택하기도 쉽지 않다. 모바일 증강현실은 이 같은 문제를 직관적으로 해결해주는 최상의 기술로서 유명한 킬러 어플리케이션(Killer application)으로 부상하고 있다 [1]. 일반 소비자뿐만 아니라 산업 현장에서도 증강현실은 다양한 형태로 응용되고 있다. 항공기 정비현장에서 바라보는 장비의 조립도 및 부품들을 실시간으로 보여주거나, 건축 현장에서 각 현재 위치의 도면을 그래픽으로 보여주는 장비가 사용된다.

기존의 증강현실 장비는 카메라, 화면표시장치, 처리장치 등을 포함하는 매우 무겁고 복잡한 장비였으나, 2000년대 들어 PDA 혹은 스마트폰이 대형 컬러 액정을 탑재하고, 고속 처리장치, 카메라, 그리고 GPS까지 갖추게 되어 손색없는 증강현실 시스템의 단말기가 되었다. 이러한 하드웨어의 발전은 빠른 속도로 이루어지고 있으나 상대적으로 하드웨어 센서 정보융합 기술이나 소프트웨어 콘텐츠는 아직 사용자의 요구를 충족시키지 못하고 있다. 현재 전적으로 GPS정보(일

부 가능한 지역에서는 WiFi 정보 추가)에 기반한 위치 추정이 이루어지고 있다.

모바일 증강현실의 핵심인 위치기반 서비스는 공간자료 중심의 GIS, 측위(測位), 무선통신이라는 세가지 기술이 융합하여 만들어가고 있는 분야이며 그 동안 새로운 시장을 창출하는 기술 분야로 많은 투자가 이루어졌으나 실제시장은 아직 그리 크게 성장하지 않았다. 그 이유 중의 하나는 그동안 통신사업자 중심의 서비스가 이루어졌고, 측위를 위해서 GPS를 이용한 방법에 치중한 점이다. GPS는 위성신호 수신에 어려운 실내나, 도심 내 건물의 음영지역 등에서는 작동하지 않는 단점을 갖고 있다[2]. GPS를 이용하는 방법대신 휴대폰의 기지국 정보를 이용하거나, RFID [3], UWB (Ultra Wide Band), Bluetooth와 같은 방법들이 급속하게 발전하고 있다[4]. 특히 최근 스마트폰에 대한 관심과 보급이 급속히 늘어나고 있으며, 그 중 대표적인 iPhone은 WiFi기반의 위치 인식기술을 사용한 다양한 증강현실을 선보이고 있다. iPhone에 사용된 기술은 Skyhook Wireless [5]가 개발한 것으로 가까운 AP (Access Point)의 MAC address와 proprietary algorithm을 사용하여 GPS를 사용하지 않아도 20~30 m 오차범위의 위치 정보를 제공한다. 물론 이 기술은 Skyhook에서 구축한 DB (database)를 필요로 하며, 이 DB에는 현재 미국 내 1억 개 이상의 WiFi AP 정보를 갖고 있다. 특히 DB 작성을 위하여 이동하는 자동차에서 무선망을 찾는 과정이 필요하다.

Radio 신호를 이용한 실내 측위 기술은 크게 무선 센서네트워크 기반의 광역 위치 결정과 RFID 및 비전을 기반으로 하는 정밀 위치 결정으로 나누어진다. 특히 최근 들어 무선 통신망을 기반으로 하는 WiFi, ZigBee, UWB등을 사용한 방법에 대한 연구가 활발하다. 현재 WiFi를 이용해 위치를 추정하는 방식에는 AP에서 단말기까지의 전파의 세기를 이용한 3점 측위 방식, 다수대의 AP의 위치 정보와 전파 세기 등의 특성 이용해 전파지도를 작성한 후, 이 정보를 이용해 마치

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 8. 27., 수정: 2012. 9. 14., 채택확정: 2012. 9. 25.

김주영: 홍익대학교 기계공학과(maliloo33@gmail.com)

이수용: 홍익대학교 기계시스템디자인공학과(sooyong@hongik.ac.kr)

※ 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0007794).

map mapping 하듯 위치를 추정하는 방식, 802.15.4a 표준을 따르는 chirp 방식(3대 이상의 AP와 단말기가 일정한 패킷을 주고받으며 패킷의 TOF (Time of flight)를 측정하여 위치를 인식하는 방법, UWB)등의 위치 추정 방식이 있다. 이 들에 대한 장단점을 비교하면 다음과 같다[6,7].

- WiFi: 정밀도가 떨어지고, 반응성이 느리며, 전파간섭이 심하나 추가적인 하드웨어 설치가 필요 없고, 안정적인 위치 정보를 제공함

- ZigBee: 전파모델이 필요하고, 전파모델이 시간에 따라서 변하며, 전파지도의 작성이 필요하나, 설치장비가 간단하고, 태그의 사이즈가 작음

- UWB: 케이블 등 많은 하드웨어 설치가 필요하고, 움직이는 사물의 추적이 불가능하나, 상대적으로 높은 정밀도를 제공함

AP의 전파세기로 3점을 측위하여 위치를 추정하는 기술은 단일기술로는 사용되지 않으며, 전파 지도 등을 작성한 후, 다른 정보와 결합하여 사용하는 형태만이 실제 사용되고 있다. 무선 특성상 벽을 통과할 경우 신호 세기가 급격히 약해지기 때문에, AP가 cover할 수 있는 영역내의 전파세기, 전파의 특성을 고려한 전파지도 작성은 필수적이다. 국내에 이미 설치된 200만대 이상의 AP를 이용해서 전파지도를 작성하면 새로운 인프라 구축 없이도 구현 가능하다고 주장 하지만 현 상황에서 AP의 coverage를 다수대가 겹칠 수 있도록 설치하는 경우는 드물기 때문에 AP의 추가 설치 없이 바로 구현이 가능한지와 전파지도 작성이 실현 가능한지는 아직 미지수이다. 최근 발표한 방식[8]도 AP의 위치정보와 전파의 신호 강도 등을 고려한 전파지도를 작성해 두고, 이를 이용해 위치를 추정하는 기술이다. 핸드폰이나 스마트폰에 사용되는 LBS뿐만 아니라 실내 외 위치 인식은 고령자, 장애인 등의 위치추적, 미아방지 등 다양한 형태로 활용되고 있으며 이 분야에도 유사한 위치 인식기술이 적용된다[9].

한편 이와는 다른 분야에서 표식(landmark)을 이용하여 실내에서의 위치 추정에 관한 연구가 활발히 진행되었으며, 인공표식 또는 자연표식을 사용하는지에 따라 기술적인 난이도, 계산 처리 성능, 주변 조명환경에 대한 강인성, 환경지도 필요 여부 등이 큰 차이가 있고, 각 적용 대상에 따라 적절한 방법이 사용되고 있다. 이 중 특히 증강현실 분야에서 주목을 받은 부분은 적외선 반사 표식을 이용한 위치 인식이다. 일본 Nara Institute of Science and Technology에서는 적외선 조명에 대하여 특징적으로 반사하는 표식을 사용하여 주변 조명 변화에 대하여 영향을 덜 받고, 표식 형상의 인식이 용이하므로 천정에 각기 다른 형태의 표식을 부착하였으며 독일 Daimler Chrysler社에서는 물체 표면에 표식을 부착하여 카메라, 즉, 사용자의 위치를 추정하였다. 이와 유사한 방법으로 일본 오사카 대학의 연구 결과와 같이 적외선 비컨을 사용하거나, [10]에서는 사용자의 헬멧에 적외선 LED를 부착하고, 벽면에 설치한 적외선 카메라를 사용하여 사용자의 절대 위치를 추정하였다.

이와 유사한 방법들은 주행로봇의 실내 위치 추정에도 많이 사용되었다. 보행자의 위치 추정의 경우와 다른 점은 주행로봇은 내부 encoder를 사용하여 deadreckoning이 가능하므

로 표식을 인식하는 빈도가 보행자의 경우에 비하여 상대적으로 낮고, 따라서 단위 면적당 필요한 표식의 수가 적은 차이점을 갖는다.

표식 기반의 비전을 사용한 방법과는 다른 또 하나의 방법은 IMU (Inertial Measurement Unit)를 사용하는 위치 추정이다. 실외에서 IMU를 사용한 위치 추정 연구 사례들이 많으며, 특히 GPS정보와 결합하거나 INS (Inertial Navigation System) 형태의 초고가 시스템, 또는 신발에 부착하여 걸음 수를 세는 방법[11]등이 가장 활발하게 연구되고 있는 방법들이다. 이론적으로 공간상의 한 점의 위치는 그 점의 운동가속도를 시간에 대하여 두 번 적분하면 구할 수 있다. 그러나 +X축 방향으로 XY평면 직진 보행 시에도 Y축과 Z축의 가속도 값이 크게 변하는 현상이 여러 논문에 발표되었다[12]. 이 때문에 가속도계 값을 단순히 시간에 대하여 적분하여 속도를 구하고, 다시 이동거리를 구하는 방식은 사용되지 않는다.

또한 가속도계 정보에는 중력가속도 성분이 포함되어 있으며, 사용자의 위치 정보뿐만 아니라 센서 부착 부의 공간상의 방향 정보도 중요하고, 특히 중력가속도 성분을 제거하기 위해서 방향 정보는 반드시 필요하다. 따라서 IMU는 기본적으로 3축 가속도계 뿐만 아니라 3축방향의 각속도를 측정하기 위한 각속도계도 포함한다. 이론적으로는 Euler Kinematic Equation을 통하여 3축 가속도정보와 각속도정보로부터 공간상의 position과 orientation을 모두 구할 수 있다. 그러나 현실적으로 적은 양의 일시적인 오차라도 추정정밀도를 현저히 저하시키며, 적분방식의 추정방법은 한번의 오차 발생 이후의 추정치에는 오차가 소멸 되지 않고 누적되며, 특히 가속도정보나 속도정보의 오차로 인하여 위치정보의 오차는 곧 발산하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 보행자의 신발에 IMU를 부착하여 step과 stride를 판별하여 위치를 추정하는 연구가 진행되고 있다[13-15]. 또한 이 방법을 사용한 상용화 제품도 최근 선보였다[16]. 이와 같이 IMU 기반 위치 추정 방법들은 대부분 신발에 추가 장비들을 부착하여야 사용하는 방법이다.

본 논문에서는 가속도계, 각속도계, 디지털 컴퍼스, 지자기센서를 사용한 deadreckoning 방법에 대하여 기술한다. 가속도 센서를 사용하여 보행 거리를 판별하며, 축 변환 등으로 인한 편류 오차와 주행 주파수가 다른 점을 고려하여 저역 통과 필터 및 고역 통과 필터를 적용하였다. 최근 보급된 스마트 폰 등에서 지자기 센서값을 쉽게 이용할 수 있다는 점을 고려하여 보행자의 움직임의 구별 하는 데 사용하였다. 보행정보를 판단한 후 [17,18]등에서도 제시되었듯이 가속도 센서를 이용한 보행자 위치 추정에 흔히 사용되는 Zero Velocity Update를 사용하여 가속도 센서를 통하여 얻은 속도 정보를 수정하는 방법을 소개하였다. 보행 방향을 구하는 과정에서는 각속도 센서와 디지털 컴퍼스를 사용하였으며 이 때 지자기 센서를 통해 얻은 자세 정보로 적절한 센서를 선택하도록 하였다. 센서값의 잡음 제거를 위해 칼만 필터를 사용하였고 각각의 센서 및 연산 결과 등을 융합하여 추정 값의 정밀도를 높이기 위해 상보필터를 사용하였다. 또한 제시한 방법들의 성능을 실험을 통하여 검증하였다.

**II. 사용자의 위치 추정 센서 구성 및 실험**

보행 거리를 파악하기 위해서는 가속도 센서(ST 社, LIS3LV02DQ)를, 방향각을 측정하기 위해서는 각속도 센서(Analog Digital 社, ADIS16100)를 사용하였다. 그러나 이러한 센서값만을 오래 사용하면 적분으로 인한 오차 누적 등의 문제가 발생하므로 이를 보완하기 위해 지자기 센서(Aichi steel 社, AMI306) 및 디지털 컴파스(Honeywell 社, HMC6352)를 사용하였다. 각 센서는 마이크로 컨트롤러(Atmel 社, ATmega 128)에 측정값을 전송하고 마이크로 컨트롤러는 각 센서 출력 값을 취합하여 컴퓨터로 보내 저장 및 위치 추정을 위한 연산을 수행한다. 제작한 센서 모듈은 허리에 부착하는 형태이며 0.05초의 주기로 모든 센서의 측정값을 컴퓨터로 전송한다. 센서 부착 위치 및 축은 그림 2와 같으며, 이 중 A의 위치에 보행 정보를 파악하는 IMU를 부착하였다. 실제 보행자의 직진방향을 X, 바닥 면에 수직인 방향을 Z 축이라 할 때, 센서의 X1, Y1, Z1 축을 이와 같게 설정하였다.



그림 1. 실험 센서 구성.  
Fig. 1. Sensor unit.

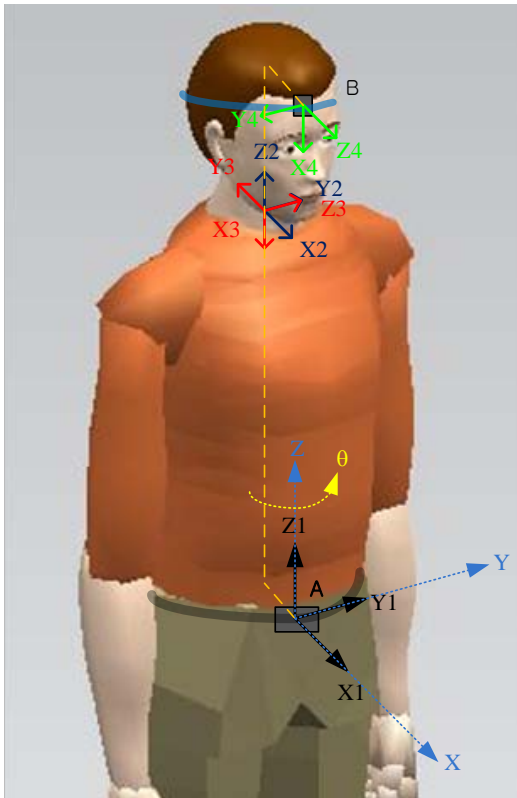


그림 2. 센서 부착 위치 및 좌표 설정.  
Fig. 2. Sensor locations and coordinates.

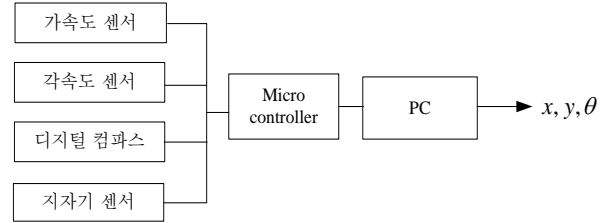


그림 3. 센서 및 제어기 구성.  
Fig. 3. Sensors and a controller.

실내에서의 보행이므로 이를 고려하여 실험 환경의 제한 요소를 결정하였다. 일반적인 보행 속도는 1 m/s 내외이고 주로 복도 내에서 이동하므로 방 안에서 혹은 계단을 이용할 때 방향 전환을 하는 것을 제외하고는 회전 각의 변위는 크지 않은 것으로 설정하였다. 수행한 실험은 약 0.6-0.8 m/s의 보행 속도로 진행하였으며 짧은 시간 내에 방향 전환 (90% 이상) 은 하지 않는 것으로 가정하였다. 보행자의 정면은 걸음의 진행방향이고, 제자리 걸음이나 횡 이동 등의 특별한 경우는 없다고 제한하였다.

**III. 보행 거리 추정**

가속도 센서는 X, Y, Z 3축의 가속도를 측정하며, Z축의 움직임은 중간 이동경우를 제외했을 때 보행자의 위치 추정에 영향을 미치지 않는다고 가정한다. 이 때 나머지 X, Y축 가속도를 적분하면 속도를 얻을 수 있으며, 이를 한번 더 적분하면 보행자의 변위를 구할 수 있다.

가속도 센서는 관성 측정 장치로서, 중력의 영향을 받으므로 처음 센서를 한 축으로만 중력이 작용하도록 장착하고 정지해 있을 때, 센서값이 중력 가속도임을 이용하여 다른 축 가속도에서 운동 가속도를 얻을 수 있으므로 초기 잔류 편차를 제거할 수 있다. 그러나 보행 중 축의 방향이 바뀌는 등의 이유로 다른 축의 가속도 센서값에 중력 성분이 포함될 수 있으며, 센서 시스템 자체에서 발생하는 잡음에 의해 오차가 발생할 수도 있다. 이 때 시스템 잡음 및 중력 잔류 편차가 섞인 가속도 데이터를 두 번 적분 하게 되면 보행자의 위치에 대해서는 더 큰 오차가 누적된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 보행자가 이동하면서 센서의 위치가 바뀌거나 자세가 달라지는 등의 원인으로 인하여 중력 잔류 편차가 달라지는 현상은 상대적으로 낮은 주파수 영역이므로 고역 통과 필터를 적용하였다. 고역 통과 필터의 차단 주파수는 보행 주파수를 고려하여 0.5Hz로 설계하였다.

실험 결과는 그림 4와 같으며, 이때의 푸른 파선은 필터 처리하기 전, 붉은 실선은 필터 처리한 후의 결과값이다. 가속도 측정 데이터에 포함된 편류 현상이 많이 완화 되었음을 알 수 있다. 그러나 필터의 효과를 높이기 위해서는 필터 계산시 차수를 늘려주어야 하는데, 이럴 경우 필터 특성상 실제 거동에 대해 지연이 발생하는 문제가 있다.

가속도 센서의 잔류 편차 발생 문제를 해결 하는 방법으로는 상대적 속도 관점에서 멈추었다고 볼 수 있는 시점에 속도를 0으로 바꾸는 Zero Velocity Update가 있다. 보행자가 일시적으로 멈추었다고 볼 수 있는 때는 두 가지로 나뉘는데

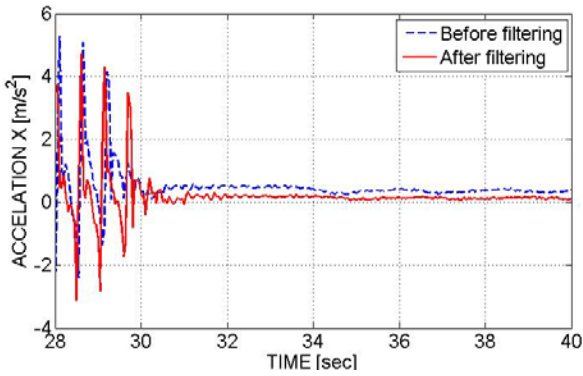


그림 4. 측정값을 고역 통과 필터로 보정한 결과 비교.  
Fig. 4. Raw data and the high-pass filtered.

하나는 일정 시간 동안 가속도 데이터의 표준편차가 작은 경우, 다른 하나는 보행자가 걸을 때 땅에 발이 접지하는 경우이다. 이 경우에 가속도 센서의 중력 잔류 편차를 제거하고 가속도 센서값을 적분하여 얻은 속도 값과 관계없이 속도 값을 0으로 갱신한다. 이 방법을 사용하면 고역 통과 필터를 사용하지 않아도 잔류 편차 문제를 해결 할 수 있다. 이 때 보행자의 움직임 상태, 즉 접지 시점을 구하는 기준으로 Z축 가속도 값을 사용하였다. 접지 구간은 음수 최고점을 지난 후 센서값이 0이 되는 순간으로 볼 수 있다. 이 때 중력 가속도 잔류 편차를 재설정하고 속도를 0으로 바꾸어 주었다.

그림 5는 앞서 기술한 zero velocity update를 통하여 얻은 가속도 센서값 처리 결과를 보여 준다. 한편, 이보다 훨씬 간단하게 Z축 가속도 값의 음수 최고점에서 보행자가 한 걸음 걸었다는 것을 알 수 있다는 점에 착안하여, 보행자의 평균 보폭 길이를 접지 시점 때 더하여 거리를 구하는 방법도 있다. 이 방법은 보행자마다 평균보폭이 다르므로 이를 매번 다르게 바꾸어 주어야 하는 단점이 있지만, 상대적으로 적은 연산으로 실제 움직인 거리와 상당히 근접한 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 가속도 센서만으로 보행 여부를 판단하면 제자리에서 자세만 바뀌었을 경우에도 보행 했다고 판단할 가능성이 있다. 이를 보완하기 위해 보행 여부를 더 정확하게 판단할 수 있는 지자기 센서를 사용해 보았다. 지자기 센서

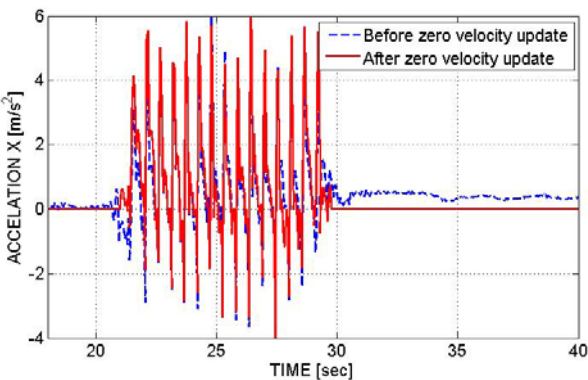


그림 5. Zero velocity update 알고리즘 적용 전과 후 X 축 가속도 비교.  
Fig. 5. Comparison and X-axis acceleration before and after applying the Zero Velocity Updates.

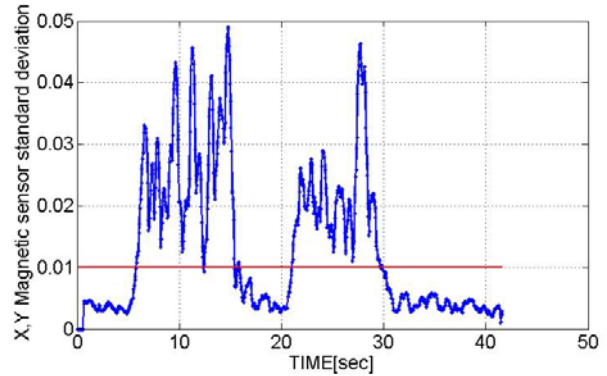


그림 6. 직진 보행 후 정지 시 각 샘플링 당 이전 12개 지자기 센서 데이터들의 표준편차.  
Fig. 6. Standard deviation of last 12 data of the magnetic sensor at every sampling time.

는 주변의 지구 자기장을 측정하는 센서로, 철근 구조물 및 전자제품이 많은 실내에서는 센서를 사용하여 정확한 위치를 계산하기에는 어려움이 있다. 그러나 센서와 위치와 방향이 변할 때 센서값이 확연하게 달라지는 점을 이용하여 보행 정보를 판단하는 기준으로써 사용하는 것은 적절하다고 볼 수 있다. 이번 실험에서 사용한 지자기 센서 AMI306는 gauss 단위의 X, Y, Z 세 축의 지자기 센서값을 측정한다.

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=n-11}^n (x_i - \bar{x}_n)^2 + \frac{1}{12} \sum_{i=n-11}^n (y_i - \bar{y}_n)^2}$$

$$\bar{x}_n = \frac{1}{12} \sum_{i=n-11}^n x_i$$

$$\bar{y}_n = \frac{1}{12} \sum_{i=n-11}^n y_i$$
(1)

그림 6은 위 식에서 직진 보행 시 지자기 센서의 측정 시점 n일때 이전 데이터 12개의 표준편차를 구한 그래프이다. 이 때 표준편차 합이 보행자가 움직일 때는 0.01보다 크고 제자리에 서있을 때는 작았으며, 이러한 특징은 어느 위치, 시간에서든 변함이 없었다. 이를 이용하여, zero velocity update를 판단하는 기준으로 Z축 가속도 값만을 이용하여 보행 정보를 파악하는 대신, 지자기 센서의 표준편차를 이용하였다.

그림 7의 파란 색 실선은 Z축 가속도로 접지 순간 및 정지 자세를 파악하여 속도 보상을 수행 한 것, 적색 파선은 지자기 센서를 사용한 속도 보상, 녹색 점선은 접지 순간을 판단하여 보폭 길이만큼 더해서 구한 결과이다. 실제 움직인 거리가 20m 임을 고려하면 zero velocity update를 사용할 때 오차가 가장 적다는 것을 알 수 있다. 접지 순간마다 평균 보폭 거리를 더하는 방법은 알고리즘이 간단 하면서도 적은 오차로 위치 추정을 할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같이 본 논문에서 Z축 가속도로 자세를 파악하는 방법은 중력 잔류 편차가 달라짐으로 인해 발생하는 오차를 해결하는 데에는 효과적이거나 가속도 센서가 절대 위치가 아닌 상대적인 움직임을 감지하므로 제자리에서 자세가 바뀔 경우 이동중인 것으로 감지 되는 경우가 발생 할 수 있다. 이러한 문제에 대해서는 지자기 센서가 보행 여부를 비교적 정확하게 판단할 수 있는 장점이 있다.

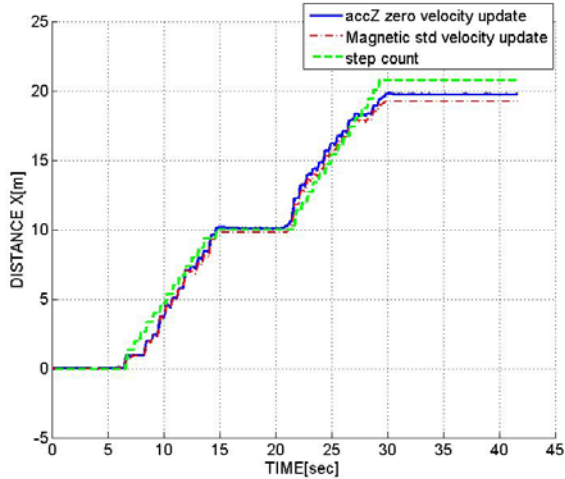


그림 7. Zero velocity update를 이용한 보정 결과 비교.  
Fig. 7. Comparisons of estimated travel distance from two different Zero velocity updates and step count method.

IV. 방향각 추정

보행자의 이동 방향은 X, Y축 가속도 센서값을 이용하여 얻은 거리 값  $DisX$ ,  $DisY$  을 통하여

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{DisY}{DisX} \right) \quad (2)$$

위와 같은 방법으로 얻을 수 있으나, 각속도 센서를 사용하면 한 번 적분으로 방향각을 얻을 수 있기 때문에 누적 오차를 줄일 수 있다. 각속도 센서의 회전축을 가속도 센서의 Z축과 같게 하면 이때의 센서 데이터는 보행자의 방향 각속도가 된다. 따라서 이 각속도를 한 번 적분하면 보행자의 방향각을 구할 수 있다. 각속도 센서는 편류 현상으로 인한 적분오차가 발생하나, 비교적 고주파의 각도 변화를 정확하게 측정 할 수 있다. 반면 디지털 컴파스는 절대적인 각도 값을 출력 하므로 적분오차는 없지만, 잡음이 많고 높은 주파수의 변화를 정확하게 감지하지 못하는 단점이 있다. 즉, 일정 시간 안에 방향 전환이 빨리 이루어 지는 경우에는 각속도 센서값을 사용하고, 그렇지 않은 경우에는 디지털 컴파스 값을 사용하는 것이 적당하다. 따라서 각각의 경우에 따라 이 두 센서값을 적절히 반영한다면 서로의 장점과 단점을 보완하여 보행자의 방향각을 더욱 정확하게 추정 할 수 있을 것이다. 즉, 방향 변화 속도에 따라 더 적절하다고 생각되는 센서를 선택하고 그 센서값만을 따르는 방법이다. 그러나 정밀도가 각각 다른 센서가 있을 때 이 두 센서를 융합하면 하나의 참값에 대해 좀 더 높은 정밀도로 측정할 수 있다. 따라서 보행자의 움직임에 따라 높은 주파수의 방향 변화 측정에 유리한 각속도 센서와 낮은 주파수의 움직임에 대해서 정확하게 측정할 수 있는 디지털 컴파스를 융합할 수 있는 상보 필터를 적용하였다.

각속도 데이터를 적분한 값을  $\theta_g$ , 디지털 컴파스의 센서값을  $\theta_c$  라 할 때, 상보 필터를 적용한 방향각  $\theta_m$ 은 다음과 같다.

$$\theta_m = [1 - G(s)]\theta_g + G(s)\theta_c \quad (3)$$

이때, 고주파 영역에서는 각속도 센서를, 저주파 영역에서

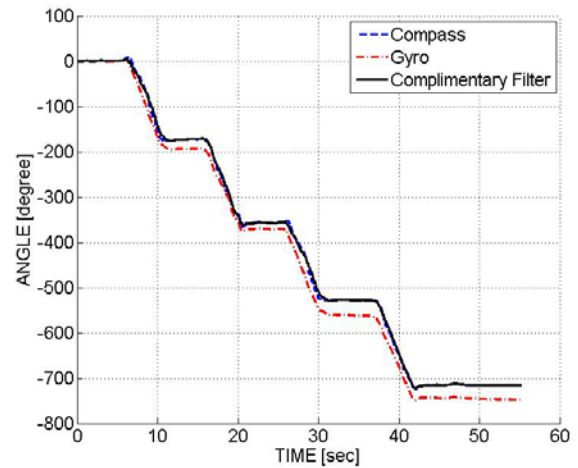
는 디지털 컴파스 측정값을 신뢰하므로  $G(s)$  는 저역 통과 필터,  $[1 - G(s)]$  는 고역 통과 필터로 설계한다. 따라서  $G(s)$  와  $[1 - G(s)]$  는

$$G(s) = \frac{sK_p + K_I}{s^2 + sK_p + K_I} \quad (4)$$

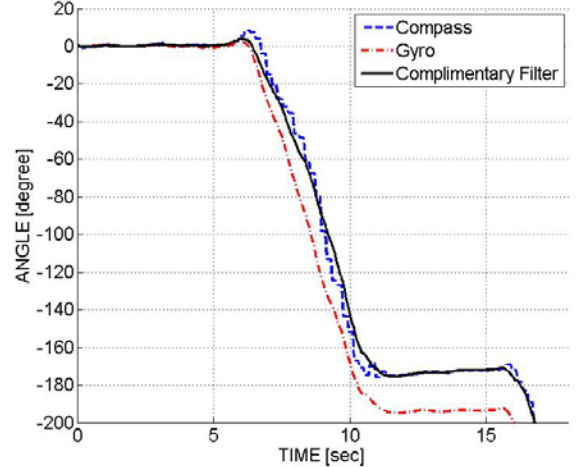
$$1 - G(s) = \frac{s^2}{s^2 + sK_p + K_I} \quad (5)$$

으로 볼 수 있다. 이 때 위의 필터 시스템에서  $K_I$  는 차단 주파수의 제곱으로 볼 수 있는데 각속도 센서는 반바퀴 돌 때마다 정지하는 실험을 통하여 0.6 rad/s 이하의 주기로 적분 오차가 발생하며 디지털 컴파스는 성능 실험을 통하여 1.4 rad/s 이상의 방향 변화는 정확하게 측정하지 못하였다. 따라서 차단 주파수를 이 사이의 값인 1 rad/s로 설정하였고  $K_I = 1$ ,  $K_p = \sqrt{2} \times 1$  로 정하였다.

상보필터는 두 가지의 센서를 융합할 때 차단 주파수를 기준으로 이보다 높을 때에는 고주파에 유리한 센서에 대해



(a)



(b)

그림 8. (a) Compass와 각속도 데이터 상보필터 적용 결과 (b) 첫 번째 set 구간 확대.

Fig. 8. (a) Compass data, Gyro data and the complementary filtered. (b) Magnified view of first set in (a).

고역 통과 필터가 작용하고 반대로 주파수가 낮을 때에는 상대적으로 저주파에서 더 정확한 센서에 대해 저역 통과 필터가 작용한다.

그림 8은 디지털 컴퍼스 센서값과 각속도 센서값을 각각 상보필터에 적용하여 시간에 따른 보행자의 이동 방향을 추정하는 결과를 나타낸다. 파란 파선이 디지털 컴퍼스 센서값, 붉은 색선이 각속도 센서값만을 사용한 결과이며 검은 실선이 상보필터를 적용한 결과이다. 낮은 주파수 영역에서 디지털 컴퍼스의 값을 사용하게 될 경우, 전체적인 보행자의 각도 변위 역시 주파수가 낮으므로, 필터를 적용한 결과는 디지털 컴퍼스 데이터와 매우 비슷하게 나왔다. 그러나 높은 주파수의 각속도 데이터가 반영 되어 시간에 따라 데이터가 변화하는 모양은 각속도 센서값을 적분한 결과와 흡사하였다. 이 결과를 하나의 센서를 사용하여 얻은 추정 값과 비교해 보면, 디지털 컴퍼스 자체에서 발생하는 잡음 처리에 대해 잡음 영역의 가중치를 줄이고 높은 주파수에서 잡음이 적은 각속도 센서의 가중치를 늘렸으므로 더 효과적이라 볼 수 있다.

사용자의 보행 정보에 대해 추정하는 과정을 정리하면 아래 그림 9와 같다. 가속도 센서를 통해 얻은 측정값에 고역 통과 필터를 통해 잔류 편차를 제거하고, 적분누적오차를 제거하여 Zero Velocity Update를 수행하여 보행 속

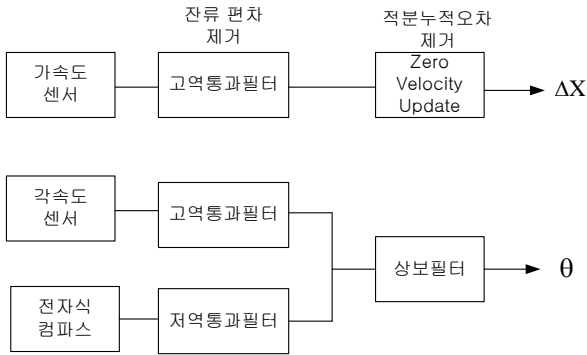


그림 9. 보행자 위치 추정 블록선도.  
Fig. 9. Block diagram of the pedestrian localization.

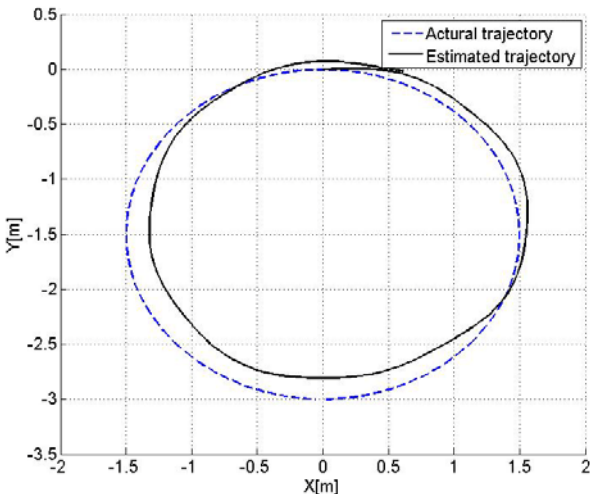


그림 10. 보행자 위치 추정 결과.  
Fig. 10. Localization results of the pedestrian.

도를 구한다. 또한 각속도 센서와 전자식 컴퍼스 간의 상보 필터를 사용하여 보행자의 이동 방향을 구한다.

그림 10은 이와 같은 방법을 이용하여 실제 사용자의 위치를 추정한 결과이다. 지름 3m의 원형 트랙을 따라 일정한 보폭으로 두 바퀴 걸었으며, 보행자가 정지 했을 시에는 방향을 바꾸지 않았다. 추정결과 다소 오차는 있으나 실제 보행 경로와 거의 일치하는 것을 알 수 있었다.

V. 시선 방향 추정

본 논문에 기술된 연구의 적용 분야는 증강현실의 구현이며, 이를 위하여 사용자의 위치 및 시선 방향에 해당하는 시각 정보를 제공하는 것이다. 앞 장까지 기술한 내용은 사용자의 위치(허리띠 중앙기준) 및 방향의 추정에 관한 것이었으며, 이에 추가하여 사용자의 시선 방향에 대한 추정이 필요하다. 이를 위하여 사용자의 이마에 벨트로 고정하거나 모자를 착용하는 방식으로 추가의 가속도계, 각속도계를 부착한다. 부착 위치 및 좌표축은 앞의 그림 2의 B와 같다.

상체와 머리의 회전은 roll은 없고, pitch(Z3축 방향 회전)와 yaw(Z2축 방향회전)만 존재하는 것으로 가정한다. 사용자의

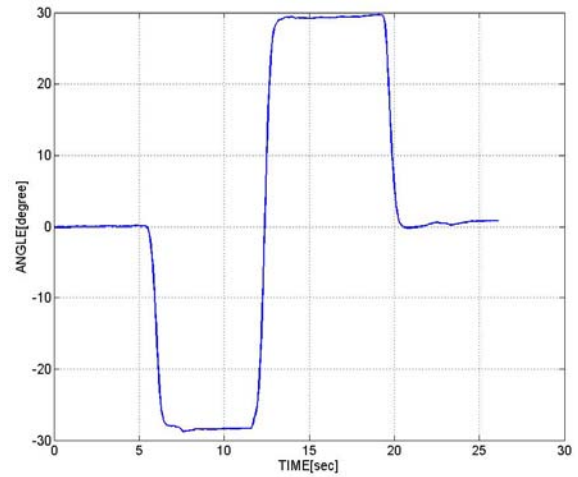


그림 11. ±30도 회전 pitch 추정 결과.  
Fig. 11. Estimated pitch (±30 rotation).

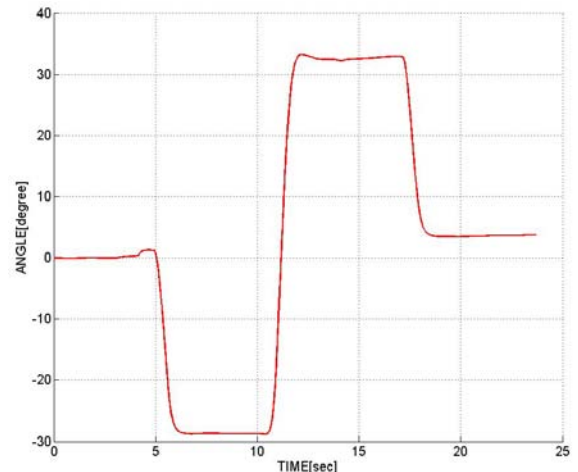


그림 12. ±30도 회전 yaw 추정 결과.  
Fig. 12. Estimated yaw (±30 rotation).

기준 위치는 1번 좌표축의 원점, 시선방향은 Z4축 방향을 사용한다. 4번 좌표축의 원점에 장착된 각속도계를 사용하여 pitch, yaw 각속도를 측정하여 이로부터 각도를 추정한 결과는 그림 11, 12와 같다.

각 추정 방법은 IV 장에서 기술한 방향각 추정 방법과 동일하다.

**VI. 결론**

본 논문에서는 가속도 센서값을 사용하여 사용자의 위치를 추정하고 각속도 및 디지털 컴파스를 사용하여 방향각을 측정하였다. 이 과정에서 지역 통과 필터를 사용하여 편류를 제거하고, 지자기 센서값을 사용하여 보행정보를 파악하였다. 각속도와 디지털 컴파스의 특성을 파악하여 두 센서를 융합하고 보상필터를 사용하여 잡음을 제거하여 이로 인해 발생하는 누적오차를 줄일 수 있도록 제안하였다. 또한 보다 정교한 증강현실 구현을 위하여 시선 방향을 추정하기 위한 추가 센서를 사용하였다. 실험을 통하여 성능을 확인하였으며, 각 방법에 대해 성능 및 계산의 복잡한 정도를 고려하여 상황에 따라서 적절한 방법을 선택하여 사용할 수 있음을 확인하였다.

**참고문헌**

[1] H. Chun, "Mobile augmented reality," *Weekly Technology Review (in Korean)*, National IT Industry Promotion Agency, vol. 1447, pp. 25-37, 2010.

[2] H. Kim, et al., "Short distance localization technology review," *Weekly Technology Review (in Korean)*, National IT Industry Promotion Agency, vol. 1322, pp. 1-13, 2007.

[3] J. S. Cha, et al., "Technology trend of active RFID-based real-time locating systems," *Electronics and Telecommunications Trends (in Korean)*, ETRI, vol. 24, no. 5, pp. 87-97, Oct. 2009.

[4] I. Hong, "WPS: from vehicle navigation to pedestrian navigation," *SW Insight (in Korean)*, National IT Industry Promotion Agency, pp. 36-53, Aug. 2009.

[5] Skyhook Wireless, <http://www.skyhookwireless.com>

[6] H. S. Ahn, et al., "Indoor localization technique for intelligent robotic space," *Electronics and Telecommunications Trends (in Korean)*, ETRI, vol. 22, no. 2, pp. 48-57, Apr. 2007.

[7] Y. S. Cho, et al., "Technical trend of indoor/outdoor seamless positioning," *Electronics and Telecommunications Trends (in Korean)*, ETRI, vol. 22, no. 3, pp. 20-28, Jun. 2007.

[8] Intelligent Service Integration Laboratory, KAIST, <http://isilab.kaist.ac.kr/>

[9] T. Lee, et al., "Localization for the elderly standard and technology trends," *TTA Journal (in Korean)*, Telecommunications Technology Association, no. 125, pp. 80-87, Sep./Oct. 2009.

[10] L. Ojeda, "Three dimensional motion and structure estimation using inertial sensors and computer vision for augmented reality," *Presence*, vol. 11, no. 5, pp. 474-492, 2002.

[11] E. P. Herrera, et al., "Analysis of a Kalman approach for a pedestrian positioning system in indoor environments," *Euro-Par, LNCS 4641*, pp. 931-940, 2007.

[12] W. Zijlstra, et al., "Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking,"

*Gait and Posture* 18, pp. 1-10, 2003.

[13] S. Cho, et al., "MEMS based pedestrian navigation system," *Journal of Navigation*, vol. 59, pp. 135-153, 2006.

[14] L. Ojeda, et al., "Non-GPS navigation for security personnel and first responders," *Journal of Navigation*, vol. 60, no. 3, pp. 391-407, Sep. 2007.

[15] M. Jadalih, et al., "A new pedestrian navigation system based on low-cost IMU," *International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, 2007

[16] Ensco, Inc. <http://www.geonav.ensco.com>

[17] Y. S. Suh and S. Park, "pedestrian inertial navigation with gait phase detection assisted zero velocity updating," *Proc. of the 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents*, pp. 336-341, 2009.

[18] L. Ojeda and J. Borenstein, "Non-GPS navigation for security personnel and first responders," *Journal of Navigation*, vol. 60 no. 3, pp. 391-407, Sep. 2007.



**김 주 연**

2012년 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 졸업. 현재 홍익대학교 대학원 기계공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Robotics.



**이 수 용**

1989년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1991년 서울대학교 기계설계학과(공학석사). 1996년 MIT 기계공학과(공학박사). 1996년~1999년 한국과학기술연구원 선임연구원. 2000년~2003년 Texas A&M 대학 기계공학과 조교수. 2003년~현재 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 교수. 관심분야는 Robotics.