

논문 2015-52-5-20

칼만 필터를 이용한 GPS/INS융합의 다중 보정 방법

(GPS/INS Fusion Using Multiple Compensation Method Based on Kalman Filter)

권 영 민*

(Youngmin Kwon[©])

요 약

본 논문은 항법장치 위치보정을 위해 칼만필터를 적용한 GPS/INS융합의 다중보정방법을 제안한다. 연구에서는 관성항법장치를 구현하기 위해 9축 항법장치로 보정알고리즘을 적용하여 위치오차를 감소시킨 방법을 적용했다. 일반적으로 GPS/INS는 위치정보를 얻어낼 수 있지만 위치정보를 구하는 과정에서 오차 또한 더불어 커지게 되기에 이를 보정하기 위한 강인한 오차 보정 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 9축 관성센서(mpu-9150)의 외란에 대한 강인성 향상을 위해 가속도계 보정 알고리즘을 사용하여 tilt보정을 수행했으며, 제어 대상체의 정확한 방위를 파악할 수 있도록 Yaw각 제정의 알고리즘을 적용하였다. 최종적으로 GPS/INS와 칼만 필터를 함께 결합한 통합시스템을 구현하였다.

Abstract

In this paper, we propose multiple location error compensation algorithm for GPS/INS fusion using kalman filter and introduce the way to reduce location error in 9-axis navigation devices for implementing inertial navigation technique. When evaluating location, there is an increase of location error. So navigation systems need robust algorithms to compensate location error in GPS/INS fusion. In order to improve robustness of 9-axis inertial sensor(mpu-9150) over its disturbance, we used tilt compensation method using compensation algorithm of acceleration sensor and Yaw angle compensation to have exact azimuth information of the object. And it shows improved location result using these methods combined with kalman filter.

Keywords : GPS/INS fusion, Multiple compensation algorithm, Location error, Kalman filter

I. 서 론

전자제품을 비롯해 스마트폰, 항공기, 헬스건강장치 분야에 관성항법장치의 역할은 크게 작용되고 있다. 특히 정밀위치 인지기술에 INS(Inertial Navigation System)의 활용은 인간편의장치에 중요한 위치로 작용

되고 있으며, GPS기반에 다양한 센서기술을 더해 GPS 단점을 보완하는 연구가 활발히 수행되고 있다. 정재영 외 1명은 파티클 필터를 이용한 GPS/INS결합의 위치 추정 방법을 제안하였다.^[12] 이정환 외 1명은 GPS/INS 센서 융합알고리즘을 통해 SVD를 통해 보정된 위치정보를 얻는 연구를 수행하였고^[13] 김주영 외 1명은 가속도, 자이로센서를 내장한 6축 관성항법장치로 보행자의 위치추정기술을 연구하였다.^[1] 김종혁 외 6명은 GPS, INS를 약결합 방식으로 융합해 통합항법시스템을 구축하는 연구를 수행하였으며^[2] 김기정 외 3명은 칼만필터를 활용해 GPS, INS를 융합하고 셀 분할 알고리즘으로 위치추정 정확도를 향상시켜 쿼드콥터의 이동 경로를 정밀화 하였다.^[3]

* 정회원, 전자부품연구원 (KETI)

© Corresponding Author(E-mail: ymkwon@keti.re.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 IT융합기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [R0101-14-0047]

Received ; February 16, 2015 Revised ; April 15, 2015

Accepted ; April 21, 2015

본 연구에서는 GPS/INS 센서 융합의 위치보정을 위해 칼만필터를 적용한 연구를 수행하였다. 이를 통해 자기 센서의 행동 반경이나 성분들의 추출이 보정하는 보정치를 실시간으로 구할 수 있도록 하였고 선형칼만 필터를 이용하여 비선형성 구간의 작은 구간들을 선형 구간으로 가정하여 시스템을 구성하였다. 연구를 수행하기 위해 저가형 관성항법장치로 invensens사의 mpu-9150 모듈을 사용하였으며, 가속도, 자이로, 지자기센서를 내장한 9축 항법장치로 저 전력의 장점과 함께 보정알고리즘 사용이 권장된다. 가속도센서의 동적 성분을 자이로성분을 활용해 gradient descent 기법으로 보정함과 동시에 중력성분을 제거하여 중력가속도 성분을 무시하는 선형가속도로 보정을 하였다. 9축 센서는 초기 정렬이 어긋나 있기 때문에 영점제어기법을 사용해 가속도, 자이로센서 초기 정렬을 하였으며, 지자기센서는 주위 회로성분의 영향인 아이언효과를 제거하였다. 초기 정렬로 노이즈 및 불 특성 파라미터성분을 보정하여 law데이터 측정 단계를 강화하였으며, 보행 중 발생하는 가속도, 지자기센서로 구한 방향성분인 Yaw 각의 Tilt를 보정하였다. 강인해진 INS의 동체좌표 성분을 항법좌표 성분으로 변환하기 위해 오일러각을 활용해 좌표변환 행렬을 계산하였고 INS의 위치성분은 wgs-84 좌표계를 사용하는 GPS 데이터에 융합시키기 위해 칼만필터를 사용해 통합시스템을 구현하였다.

본 논문은 II장에서 관성항법장치를 구성하는 시스템 및 하드웨어에 대해 서술하고, III장에서는 센서 모델링 및 초기 정렬방안에 대해 소개한다. IV장에서는 각 센서 보정 알고리즘 및 융합과정에 대해 전개하고, V장을 통해 알고리즘 성능 고찰, 시뮬레이션 결과 및 야외의 실험결과를 비교한다. VI장에서는 최종적으로 본 연구의 결론을 짓는다.

II. 항법장치 구성 및 하드웨어

연구에서 사용된 항법장치는 9축 motion센서로 각 3축으로 가속도, 자이로, 지자기센서가 통합된 MEMS이다. 전반적인 보드공간과 비용을 절감시켜 다양한 제품에 부담 없이 탑재할 수 있으며, 사용된 INS는 분해능 16bit, 13bit를 가진다. ADC 값으로 측정을 하며, 데이터 통신수단으로 I2C방식을 사용한다. 데이터 처리부는 TM4C123(MCU)를 사용하며, 100HZ처리 속도를 가진



그림 1. 관성항법장치 시스템 블록 다이어그램

Fig. 1. Block Diagram of the INS.

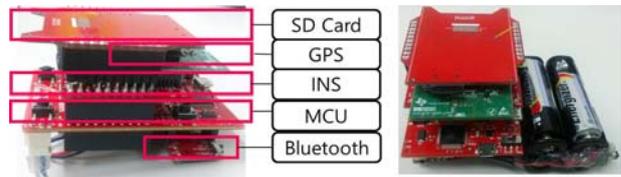


그림 2. 하드웨어 통합플랫폼 구성도

Fig. 2. Hardware Integration Platform.

다. 구동전압으로 3.2V, 32bit ARM Core로 사용되며, 통신부는 JMOD-BT 블루투스 시리얼모듈로 약 3.5V 공급전압을 사용한다. GPS모듈은 TC6000GN-P1을 사용하며, 162dBm의 측정 민감도를 가지고 있다.

가속도계는 3축으로 중력영향을 받으며 m/s^2 , 또는 g 단위로 측정을 한다. 센싱 스케일 범위는 $\pm 2g$ 까지 사용된다. 자이로계는 3축으로 데이터 처리단위 rad/sec 를 사용하며, 스케일 범위 ± 250 까지 나타낼 수 있다. 지자기계는 보통 Gauss단위로 지구 자기장의 흐름을 파악해 방위성분을 구할 수 있다.

III. 실험

사용된 관성항법장치 센서의 3축 수학적 모델링은 수식 1과 같이 표기된다.

$$S = AMu + b \quad (1)$$

여기서 $S = [S_x S_y S_z]^T$ 로 사용되며 각 축에 대한 센서 측정값을 나타낸다. $A = \begin{bmatrix} A_x & 0 & 0 \\ 0 & A_y & 0 \\ 0 & 0 & A_z \end{bmatrix}$ 는 환산계수,

$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix}$ 는 센서의 비 정렬된 오차성분이다.

$u = [u_x u_y u_z]^T$ 는 이상적인 센서 측정치이며 $b = [b_x b_y b_z]^T$

는 바이어스 오차로 표기된다^[4].

가속도, 자이로센서는 동체의 기울임, 흔들림이 없는 평 상태에서 각 축이 0에 수렴하는 측정값이 나와야한다. 비 정렬오차, 센서 자체 바이어스 성분에 의해 실제 측정값과 다른 상태가 되며, 이를 영점제어기법으로 지속적으로 생기는 오차 값들을 제어 할 것이다.

$$ave = \frac{\sum_{t=1}^w (S(t))}{w} \quad (2)$$

영점제어 기법에서는 처음 수식2와 같이 각 축에 대한 실제 측정치 평균을 활용해 초기 정렬상태를 확인한다.

$$while(ave_x < \Omega_x \text{ and } ave_x > \Omega_x) \quad (3)$$

각 축에 대한 평균을 수식 3과 같이 무한루프 조건을 주어 사용자 설계치 Ω 를 만족할 때 까지 보정 작업을 수행한다.

$$\begin{aligned} & \text{if}(ave_x < 0) \\ & S = \sum_{t=1}^{sample} S_x(t) + \epsilon_x \\ & C_{ax} = C_{ax} + 1 \\ & \text{end} \\ & \text{if}(ave_x < 0) \\ & S = \sum_{t=1}^{sample} S_x(t) - \epsilon_x \\ & C_{bx} = C_{bx} + 1 \\ & \text{end} \end{aligned} \quad (4)$$

식 4는 무한루프 안 쪽의 조건으로 각 축의 센서마다 구한 평균을 바탕으로 조건을 두어 보정계수 ϵ 를 임의로 정한다. 조건문을 수행한 만큼 카운트변수 C 의 개수를 누적시켜 알고리즘 종료와 함께 센서 동작동안 지속적으로 아래 식과 같이 비 정렬 및 바이어스 오차 보정을 한다.

$$S_x = (\epsilon_x \times C_{ax}) - (\epsilon_x \times C_{bx}) \quad (5)$$

지자기센서는 지구 자기장이 다른 자성에 의해 크게 하드 아이언, 소프트 아이언 효과에 의해 측정 데이터의 일그러짐, 오프셋 되는 경향이 있다. 아래 식을 통해 지자기센서 초기 정렬 보정을 수행할 수 있다^[6].

$$\begin{aligned} Xh &= X_{si} \times X_{mag} + X_{HI} \\ Yh &= Y_{si} \times Y_{mag} + Y_{HI} \end{aligned} \quad (6)$$

위 식에서 Xh, Yh 는 보정된 지자기센서 x, y축을 나타내며, X_{si}, Y_{si} 는 소프트아이언 보정치, X_{HI}, Y_{HI} 는 하드 아이언 보정치, X_{mag}, Y_{mag} 는 비 정렬된 지자기센서 측정값이다.

IV. 보정 및 융합 알고리즘

초기 정렬 값이 보정된 관성항법장치 9축 센서에서 가속도계와 자이로센서는 적분을 통해 드리프트성분이 최소화 된 속도, 위치성분, 동체의 움직임 각도를 구할 수 있다. 가속도 센서 같은 경우 보행 도중 움직임의 흔들림 때문에 Tilt가 생겨 각 축에 영향을 주어 센서 데이터의 신뢰성을 보장 할 수 없다. 마찬가지로 아이언 효과가 제거된 지자기센서는 움직임에 대한 방위성분인 오일러 각의 Yaw각을 구할 수 있으나 흔들림에 의해 정확한 성분을 구하기 어렵다. 논문에서 GPS는 1분에 한번 정보를 얻고 IMU는 1분에 약 50번의 데이터를 처리한다. 따라서 데이터 양의 증가와 같은 응답속도 저하가 크게 작동하지 않게 고려하였다.

1. 가속도센서 보정 알고리즘

보행 도중 움직임의 흔들림은 보행방향과 다른 축에도 영향을 준다. 적분 과정 중 잘못된 값이 누적되어 지수 함수적으로 성분을 증가시켜 정확한 움직임을 구할 수 없다. Gradient descent 알고리즘 기반에 영점제어기법으로 보정된 자이로센서 값을 활용해 수학적으로 편리한 쿼터니언 값을 구하여 Tilt 보정 행렬을 구한다.^[5]

$$q_t = [q(1)q(2)q(3)q(4)] \quad (7)$$

식 7은 쿼터니언 초기 값을 나타내며, 식 8에서는 초기 정렬된 가속도 3축 성분들을 Norm화 하였다.

$$gS_t = Norm(S_t) \quad (8)$$

$$V = \begin{bmatrix} 2 \times (q(2) \times q(4) - q(1) \times q(3)) \\ 2 \times (q(1) \times q(2) + q(3) \times q(4)) \\ q(1)^2 - q(2)^2 - q(3)^2 - q(4)^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 9는 중력치의 추정된 방향 식을 사용해 구한 행렬이다. 식 8, 9로 식 10과 같이 벡터 곱을 취해 흔들림에 관한 오차율을 구할 수 있다.

$$e = cross(gS_t, V) \quad (10)$$

식10을 통해 구한 오차율을 식 11과 같이 설계변수 K_p 에 곱해서 흔들림이 보상된 자이로센서 W_c 을 구할 수 있다.

$$W_c = W + K_p \times e \quad (11)$$

보상된 자이로센서 값을 식 12와 같이 벡터 값으로 정의를 하고 식 13에서처럼 쿼터니언 변화율 \dot{q} 을 구할 수 있다. 여기서 \otimes 은 쿼터니언 곱을 나타낸다.

$$w_V = [0 \ w_{cx} \ w_{cy} \ w_{cz}] \quad (12)$$

$$\dot{q}_{w,t} = 0.5 \times q_{t-1} \otimes w_V \quad (13)$$

식 13을 통해 구한 쿼터니언 변화율을 식 14에 적용해 최종적으로 최적의 해를 가진 쿼터니언 값을 구할 수 있다. 여기서 Δt 는 샘플링 타임을 나타낸다.

$$q_{w,t} = q_{t-1} + \dot{q}_{w,t} \times \Delta t \quad (14)$$

구해진 쿼터니언 최적 해를 식 15처럼 Norm으로 나누어준 후 식 16과 같이 *quater2rotmat* 함수를 사용해 Tilt보정 이득 행렬 R 을 구할 수 있다.^[6]

$$q_t = \frac{q_{w,t}}{Norm(q_{w,t})} \quad (15)$$

$$R = quatern2rotmat(q_t) \quad (16)$$

2. 방위성분 재정의 알고리즘

지자기센서로 구할 수 있는 행동의 방향을 결정하는 헤딩 값은 지구자기장의 성분에 의해 영향을 받는다. 이를 보정하는 방안으로 실험적으로 지자기 x, y축의 데이터로 아이언효과 제거 보정치를 구할 수 있다.^[7] 보정된 지자기센서로 구한 Yaw각은 보행 중 흔들림과 정밀성이라는 문제가 있다. 이는 방위성분 재정의 알고리즘을 통해 실시간으로 정밀성을 보정 할 수 있으며, 아래 식을 통해 정밀화된 Yaw각을 구할 수 있다.^[8]

$$\begin{aligned} Yaw_{90} &= Yaw \times \Omega_{\alpha 1} (a \leq Yaw < b) \\ Yaw_{180} &= Yaw \times \Omega_{\alpha 2} (b \leq Yaw < c) \\ Yaw_{270} &= Yaw \times \Omega_{\alpha 3} (c \leq Yaw < d) \\ Yaw_{360} &= Yaw \times \Omega_{\alpha 4} (d \leq Yaw < e) \end{aligned} \quad (17)$$

위식에서 Ω_{α} 은 헤딩의 각 구간에 대한 보정 설계치이며, 기존 헤딩성분에 보정 값을 적용해 각 구간에 대한 정밀화 된 Yaw각을 재정의 할 수 있다.

3. GPS, INS 칼만필터 융합 알고리즘

식 16에 초기 정렬된 가속도 센서를 곱하면 Tilt가 보정된 가속도 성분과 식 25를 통해 구한 정밀화된 Yaw각으로 본 장에서 INS, GPS에 칼만필터를 활용해 최종 위치성분을 구할 것이다. 그림 3은 다중 알고리즘 기반 INS, GPS 융합을 간략하게 나타내었다.

센서에서 측정되는 데이터는 보통 동체좌표계를 중심으로 측정된다. GPS 좌표인 WGS-84와 융합을 위해 센서좌표를 지역좌표인 항법좌표로의 변환이 필요하다. 아래 식 C_b^m 은 동체좌표계를 항법좌표계로 변환하는 변환행렬을 나타낸다.^[9] θ, Φ, ϕ 는 순서대로 Roll, Pitch, Yaw를 나타내며, 보정된 가속도 값을 곱해 항법좌표계 성분으로 구한다.

$$C_b^m = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} C_{11} &= \cos(\theta)\cos(\phi) \\ C_{12} &= -\cos(\Phi)\sin(\phi) + \sin(\Phi)\sin(\theta)\cos(\phi) \\ C_{13} &= \sin(\Phi)\sin(\phi) + \cos(\Phi)\sin(\theta)\cos(\phi) \\ C_{21} &= \cos(\theta)\sin(\phi) \\ C_{22} &= \cos(\Phi)\cos(\phi) + \cos(\Phi)\sin(\theta)\sin(\phi) \\ C_{23} &= -\sin(\Phi)\cos(\phi) + \cos(\Phi)\sin(\theta)\sin(\phi) \\ C_{31} &= -\sin(\theta) \\ C_{32} &= \sin(\Phi)\cos(\theta) \\ C_{33} &= \cos(\Phi)\cos(\theta) \end{aligned} \quad (18)$$

항법좌표계 성분인 $linacc_{ned}$ 는 항법좌표계 성분의 가속도 값이며, 적분과정을 통해 식 19와 같이 속도성분으로 나타낼 수 있다.

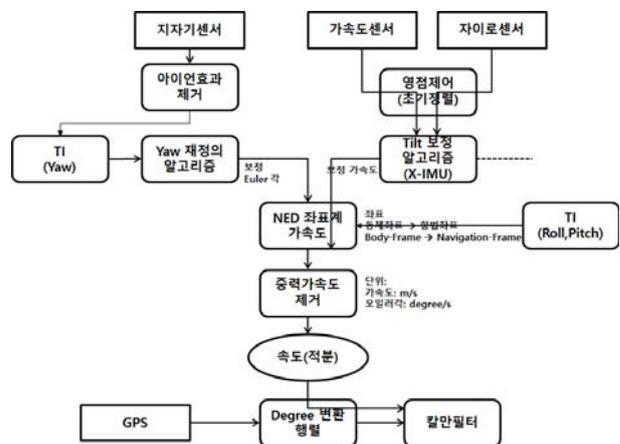


그림 3. 다중 알고리즘 기반 INS, GPS 융합 블록도
Fig. 3. Hardware Integration Platform.

$$linvel_{ned} = \int_1^{sample} linacc_{ned} dx \quad (19)$$

식 19로 구해진 속도성분은 GPS좌표와 호환시키기 위해 m/s단위를 degree로 아래 식을 통해 변환할 수 있다.^[10]

$$M_{m2d} = diag \left[\frac{1}{((R_{equator} - R_{pole}) \sin(lat_n) + R_{pole}) D2R}, \frac{1}{(R_{equator} \cos(lat_n)) D2R}, 1 \right] \quad (20)$$

식 20에서 *diag*는 대각행렬을 나타내며, M_{m2d} 는 단위 변환 행렬을 나타낸다. $R_{equator}$ 는 지구 적도반경, R_{pole} 는 지구 극반경, $D2R$ 은 라디안 변환 식, lat_n 는 GPS에서 측정된 위도를 나타낸다. 식 19에서 구해진 속도와 식 20을 식 21과 같이 곱해주면 GPS, INS 융합 과정인 칼만필터 입력치 u 를 구할 수 있다.

$$u = M_{m2d} \times linvel_{ned} \quad (21)$$

다중 알고리즘으로 구해진 칼만필터 입력 식인 항법 좌표계 속도성분과 측정값으로 GPS를 칼만필터를 사용해 융합한다.^[11]

$$\begin{aligned} x_k^- &= Ax_{k-1} + Bu_k \\ P_k^- &= AP_{k-1}A^T + Q \\ K_k &= P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \\ x_k &= x_k^- + K_k(z_k - Hx_k^-) \\ P_k &= (I - K_k H) P_k^- \end{aligned} \quad (22)$$

위 식은 칼만필터 알고리즘을 나타내며, A, H 는 센서 데이터를 그대로 사용하기 때문에 단위행렬로 나타낸다. B 는 적분인자로 입력 값을 위치성분으로 실시간으로 계산하며, Q, R 은 칼만필터 성능을 결정하는 설계변수이다. x 는 추정할 최종 해, K 는 칼만이득, P 는 공분산을 나타낸다.

4. 좌표계 변환

GPS를 통해 얻은 좌표는 위도와 경도를 나타내는 WGS84 좌표이다. 논문에서 위치의 알맞은 계산을 위해서 WGS84좌표를 TM좌표로 변환하였고 변환 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= (R_N + h)(\varphi - \varphi_0) \\ y &= ((R_E + h) \cos \varphi)(\lambda - \lambda_0) \\ z &= -h \end{aligned} \quad (23)$$

(23)에서 h =고도, R_n =북쪽 자오선 방향 곡률 반경 그리고 R_e = 동쪽 곡률 반경을 의미한다. TM좌표계 원점의 위도와 경도의 상수이다. R_n 과 R_e 는 다음과 같이 나타낸다.

$$R_N = \frac{R_0(1-e^2)}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}, R_E = \frac{R_0}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (24)$$

R_0 는 지구 타원의 장축, e 는 지구 타원의 이심률이다. 이심률은 지구의 편평률을 이용하여 구할 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

다중 알고리즘을 통해 보정된 시뮬레이션 결과를 아래 그림들을 통해 확인 할 수 있다. 그림 4는 초기정렬로 영점제어 알고리즘을 통해 보정된 가속도 각 축에 대한 데이터를 비교하였다. 실험은 수평상태에서 아무 움직임 없이 센서데이터를 측정하였으며, 보정이 안 된 상태에서는 센서자체 오차에 의해 지속적으로 잘못된 값을 확인할 수 있다. 보정된 센서는 0에 수렴하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 적분을 통해 원하는 값을 구할 시 누적되는 오차 성분을 제거할 수 있다.

다중 알고리즘을 통해 보정된 시뮬레이션 결과를 아래 그림들을 통해 확인 할 수 있다. 그림 5는 방위성분 재정의 알고리즘을 통해 보정된 Yaw각에 대한 데이터를 비교하였다. 실험은 수평상태에서 아무 움직임 없이 센서데이터를 측정하였다. 결과를 통해 보정전의 Pitch,

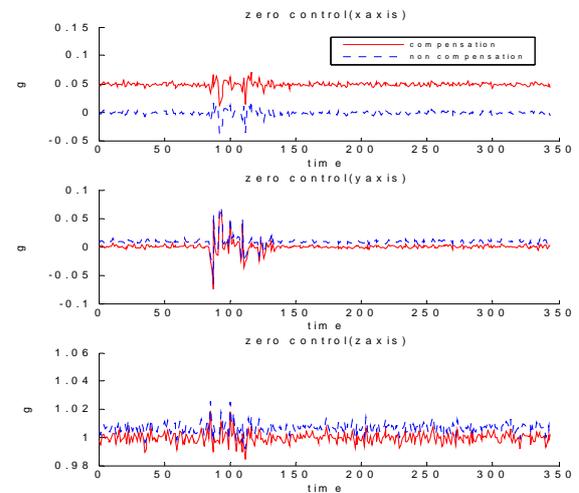


그림 4. 영점 결과
Fig. 4. Zero result.

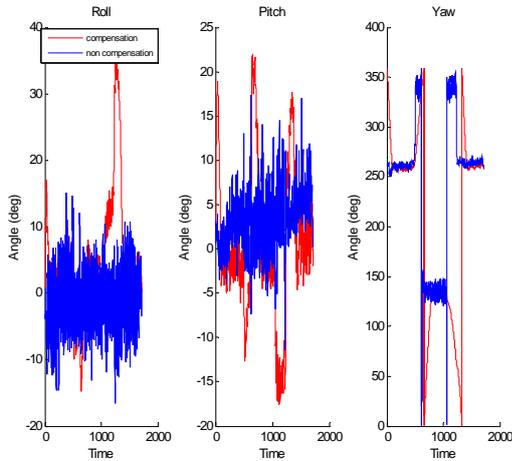


그림 5. 물체의 Roll, Pitch, Yaw결과
Fig. 5. Roll, Pitch, Yaw result.

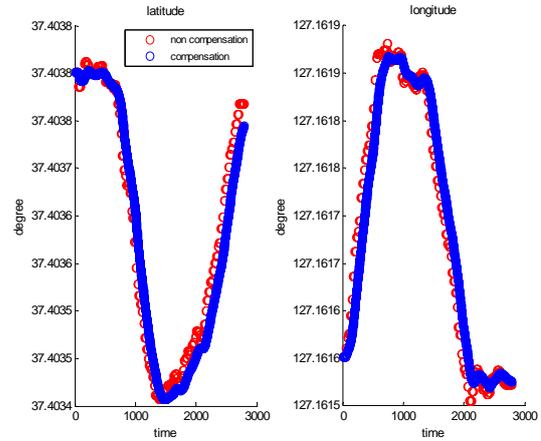


그림 8. 물체의 위도와 경도
Fig. 8. Latitude and longitude result.

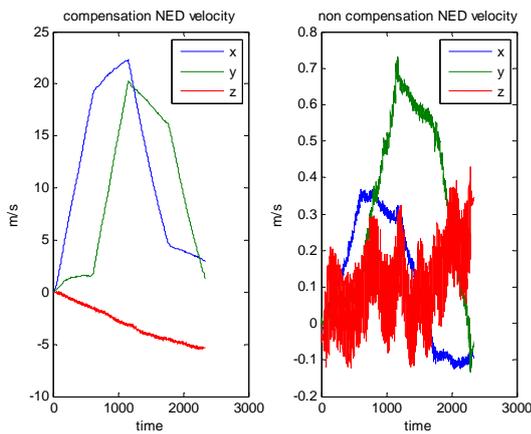


그림 6. 물체의 NED 속도 결과
Fig. 6. NED velocity result.

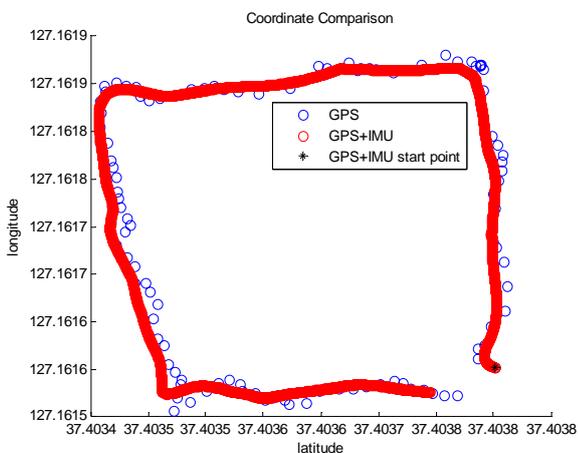


그림 7. 물체의 위치 측정 결과
Fig. 7. Position measurement result.

Roll, Yaw각보다 보정후의 결과가 나은 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 물체의 NED 속도이다. 결과를 통해 각 축의 보정 후 NED속도가 보정전보다 잡음특성이 감소하여 안정된 결과를 확인할 수 있다.

그림 7, 8은 은 테니스장 끝 부분을 직사각형으로 돌면서 얻은 데이터를 나타낸 것과 위도와 경도 데이터를 나타냈다. 기존의 GPS만을 사용한 것보다 GPS+IMU가 좀더 촘촘한 데이터를 얻었고 경로의 변동이 GPS 방법보다 나은 결과를 얻었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션 결과를 통해 GPS/INS 통합에서 가속도센서의 tilt각 보정을 위한 gradient descent기법과 지자기센서의 Yaw각의 보정 알고리즘을 적용한 다중 알고리즘 적용으로 관성항법장치가 오차에 대해 강인성이 확보된 것을 확인하였다. 향후에는 센서의 부착 위치에 따른 오차의 보정에 관한 연구, 선형적인 운동뿐만 아니라 비선형적인 운동에 적용할 수 있도록 연구를 수행해야 할 것이다.

REFERENCES

[1] J. Kim, S. Lee, "Sensor Information Filter for Enhancing the Indoor Pedestrian Localization Accuracy", Journal of Korea Robotics Society vol. 7, no. 4, pp. 276-283, 2012.

- [2] J. H. Kim, S. W. Moon, S. H. Kim, D. H. Hwang, S. J. Lee, M. S. Oh, S. W. Ra, "Design of a Loosely-coupled GPS/INS Integration System", Journal of the KIMST vol. 2, no. 2, pp. 186-196, 2000.
- [3] K. J. Kim, Y. K. Kim, S. H. Choi, J. M. Lee, "Outdoor Localization for Returning of Quad-rotor using Cell Divide Algorithm and Extended Kalman Filter", Journal of IKEEE, vol. 17, no. 4, pp. 440-445, 2013.
- [4] H. S. Satz, D. B. Cox Jr, R. L. Beard and G. P. Landis, "GPS inertial estimation via carrier accumulated-phase measurements," Navigation: Journal of The Institute of Navigation, vol. 38, no. 3, pp. 273-284, 1992.
- [5] W. Koo, "Performance Improvement of Real-Time Heading Estimation for Magnetometer/IMU Using a Nonlinear Filter", Master's Thesis, Aerospace Information Engineering, Konkuk University, 2009.
- [6] Sebastian O. H. Madgwick, Andrew J.L. Harrison and Ravi Vaidyanathan, "Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm", IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics(ICORR), pp. 1-7, 2011.
- [7] J. Kim, "Development of GPS and Magnetometer Aided Inertial Navigation System", Master's Thesis, Inha University, 2007.
- [8] M. J. Caruso, "Application of Magnetic Sensors for Low Cost Compass Systems", Position Location and navigation Symposium, IEEE 2000, pp. 177-184, 2000.
- [9] J. Lee, "Design and implementation of GPS/INS navigation system of UAVs", Master's Thesis, Chungnam National University, 2004.
- [10] J. Lee, "The misalignment calibration of MEMS accelerometer and gyro for high accuracy attitude measurement of GPS/INS integrated system", Master's Thesis, Hanbat National University, 2014.
- [11] Y. Lee, "Inertial Navigation System's Alignment using Multiple-model Kalman filter", Master's Thesis, Chungnam National University, 2010
- [12] J. Y. Jeong, H. S. Kim, "A Study on the GPS/INS Integration and GPS Compensation Algorithm Based on the Particle Filter", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea vol. 50, no. 6, pp. 267-275, 2012.
- [13] J. Lee, H. Kim, "A Study of High Precision

Position Estimator Using GPS/INS Sensor Fusion", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea vol. 49, no. 11, pp. 159-166, 2012.

— 저 자 소 개 —



권 영 민(정회원)

2002년 영남대학교 전자공학과
학사졸업.

2004년 영남대학교 전자공학과
석사졸업.

<주관심분야 : 센서 네트워크, 산
업용 USN 시스템, EHS, FPGA>