

논문 2012-50-6-31

파티클 필터를 이용한 GPS 위치보정과 GPS/INS 센서 결합에 관한 연구

(A Study on the GPS/INS Integration and GPS Compensation
Algorithm Based on the Particle Filter)

정 재 영*, 김 한 실**

(Jae Young Jeong[Ⓒ] and Han Sil Kim)

요 약

GPS가 가지는 특징과 비선형, 비가우시안의 시스템에서도 강인한 특성을 지닌 파티클 필터(PF, Particle Filter)를 이용하여 위치 추정 성능을 향상시키는 방법에 대해 제안한다. 그리고 제안한 알고리즘으로 보정한 GPS 데이터와 관성센서를 저가형 시스템에 적합한 약결합 방식을 이용하여 결합하였으며 정확도 향상을 위해 자세에 관한 칼만필터를 추가시켜 구현하였다. 구현된 시스템의 성능확인을 위해 NovAtel사의 고정밀 GPS와 비교 분석하였다.

Abstract

EKF has been widely used for GPS/INS integration as standard method but EKF has one well-known drawback. if the errors are not within the bounded region, the filter may be divergent. The particle filter has the advantage of the nonlinear and non-gaussian system. This paper proposes a method for compensating the GPS position errors based on the particle filter and presents loosely-coupled GPS/INS integration using proposed algorithm. We used GPS position pattern with particle filter and added attitude kalman filter for improving attitude accuracy. To verify the performance, the proposed method is compared with high cost GPS as reference. In the experimental result, we verified that the accuracy and robust were well improved by the proposed method filter effectively and robustness than by original loosely-coupled integration when vehicle turns at corner.

Keywords : 파티클 필터(Particle filter), GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System),
위치 보정(Position compensation), 센서 결합(Sensor fusion)

I. 서 론

대표적인 항법 기술인 관성 항법 시스템(INS, Inertial Navigation Satellite System)과 위성 항법 시스템(GPS, Global Position System)은 서로 상호 보완적인 특성을 가진 시스템으로 두 시스템을 결합함으로써 시너지 효과(Synergy effect)를 이끌어낼 수 있다. 두

시스템의 결합에 관한 연구는 최근까지도 활발히 진행되고 있다.

GPS와 INS의 결합 시스템을 구현하기 위해서 확장 칼만필터(EKF, Extended Kalman Filter)를 표준화된 기법으로 사용해 왔다. 하지만, 확장 칼만필터는 시스템 모델을 테일러 시리즈(Taylor series)의 1차항으로 선형화하여 고차 항을 생략함으로 인해 오차가 발생하고 때로는 추정치의 발산을 가져오게 된다.^[6] 현재까지 이 문제를 해결하기 위한 다양한 방법들이 제시되고 있으며 대표적인 연구 사례를 살펴보면 적응 필터(Adaptive filter)를 이용하여 위치와 자세 오차 추정 시에 측정 노이즈 분산 초기 값을 더 정확하게 추정함으로 향상된

* 정회원, 울산대학교 전기공학부
(University of Ulsan)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail: yukira06@nate.com)
접수일자 2013년2월6일, 수정완료일 2013년5월20일

결과를 가지고 왔으며^[1], Stirling's interpolation formula를 기반으로 한 DDF(Divided Difference Filter)를 이용하여 공분산 추정 시 확장 칼만필터와 비교하여 향상된 성능을 보여주기도 하였다.^[2~3]

또한, 언센티드 칼만필터(UKF, Unscented Kalman Filter)를 이용한 연구사례도 많았다. 언센티드 칼만필터는 Sigma-Point를 이용하여 평균과 공분산을 구하는 형태로 비선형 시스템을 임의의 선형화하는 것 보다 통계적 확률을 이용함으로써 결과적으로 더 정확한 평균과 공분산을 추정할 수 있다. 하지만 상황에 따라 큰 성능 향상을 가져오지 못하거나 복잡한 연산과정으로 인해 처리시간이 증가하는 단점을 가지고 있다.^[4~5]

본 논문에서는 비선형과 비가우시안의 시스템에서도 강한 특성을 지닌 파티클 필터(PF, Particle Filter)를 이용하여 위치 추정 성능을 향상시키는 방법에 대해 제안한다. 그리고 제안한 알고리즘으로 보정한 GPS 데이터와 관성센서를 저가형 시스템에 적합한 약결합 방식을 이용하여 결합하였으며 정확도 향상을 위해 자세에 관한 칼만필터를 추가시켜 구현하였다. 구현된 시스템의 성능확인을 위해 NovAtel사의 고정밀 GPS와 비교 분석하였다.

본 논문 구성은 다음과 같다. 파티클 필터를 이용한 알고리즘을 제안한다. 그리고 GPS와 관성센서의 결합 과정에 대해 소개한다. 마지막으로 제안한 알고리즘을 이용한 실험 결과에 대해 분석하고 결론을 맺는다.

II. 파티클 필터를 이용한 위치보정

1. 파티클 필터(Particle Filter)

파티클 필터는 입력된 관측 값들과 시스템 모델로부터 현재 상태 변수들의 확률 분포를 추정해 낸다.

상태 변수들의 기대값, 분산 등의 통계적 특성들은 사후확률밀도함수(Posterior probability density function)에 의해 구해지고, 이 때 확률밀도함수는 랜덤한 표본(Particle)과 그에 대한 가중치(Weight)들을 사용한 질량 함수(Mass function)를 이용하여 시스템의 상태를 추정, 보완하게 된다.^[8]

파티클 필터는 크게 예측(Prediction), 보정(Update), 재분배(Resampling) 단계로 나뉘며 관측된 측정값으로부터 발생가능도(likelihood)를 판단하여 각각의 파티클은 다른 추정치와 가중치들을 이용하기 때문에 비선형, 비가우시안 시스템에 효율적인 필터이다.

파티클 필터를 구성하기 위해서 비선형 시스템 상태

변수를 다음과 같이 정의한다.^[9]

$$\begin{aligned} x_k &= f(x_{k-1}, u_{k-1}, w_{k-1}) \\ z_k &= h(x_k, v_k) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 x_k 는 최종적으로 추정된 상태, u_k 는 시스템 모델의 제어 입력, 그리고 w_k 는 시스템 모델의 노이즈이다.

그리고 z_k 는 측정 상태 모델식이며 v_k 는 측정 노이즈이다. 현재 상태를 예측하기 위해서 확률밀도함수(이하 PDF) $p(x_k|Z_k)$ 는 매 시간마다 재귀적으로 계산된다. $k-1$ 시간에서의 PDF를 $p(x_{k-1}|Z_{k-1})$ 라 하면, $k-1$ 측정값으로 예측한 k 시간의 PDF는 $p(x|Z_{k-1})$ 이며, 식 (2)와 같다.

$$p(x_k|Z_{k-1}) = \int p(x_k|x_{k-1}, u_{k-1})p(x_{k-1}|Z_{k-1})dx_{k-1} \quad (2)$$

그리고 k 시간에서 측정 값 z_k 을 얻었을 때의 갱신(Update)된 PDF $p(x_k|Z_k)$ 를 Bayes'theorem을 이용해 얻으면 식(3)과 같다.

$$p(x_k|Z_k) = \frac{p(z_k|x_k)p(x_k|Z_{k-1})}{p(z_k|Z_{k-1})} \quad (3)$$

여기서, $p(z_k|Z_{k-1})$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$p(z_k|Z_{k-1}) = \int p(z_k|x_k)p(x_k|Z_{k-1})dx_k \quad (4)$$

k 시간에서, 파티클 S_k 는 $S_k = \{s_k^{(1)}, \dots, s_k^{(N)}\}$ 로 나타낼 수 있다. $s_k^{(i)} = \{x_k^{(i)}, W_k^{(i)}\}$ 이며 여기서 $x_k^{(i)}$ 는 추정된 값 그리고 $W_k^{(i)}$ 는 샘플의 가중치를 나타낸다.

2. 제안된 위치보정 알고리즘

제안된 위치보정 알고리즘은 예측, 보정, 재분배 순으로 3단계로 구성된다.

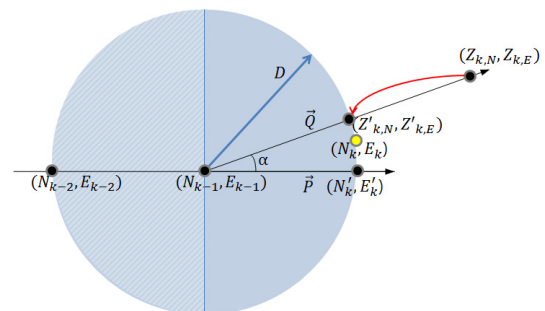


그림 1. 제안된 알고리즘의 좌표 표현

Fig. 1. The coordinate expression of proposed algorithm.

가. 예측 단계(Prediction)

모든 GPS 위성은 UERE(User Equivalent Range Error)를 가지며, 이로 인해 측정치의 신뢰도는 낮아지게 된다. 제안된 알고리즘에서는 GPS가 가지는 특징적인 정보를 이용해 다음 상태를 예측하고자 한다.

동체가 이동 할 때는 그에 따른 방향성을 가지게 된다. 현재를 k 시간이라고 하였을 때 전 시간의 진행 방향으로부터 현재 시간에 예측되는 좌표 (N'_k, E'_k) 를 다음 식으로 얻을 수 있다.

(N_{k-2}, E_{k-2}) 과 (N_{k-1}, E_{k-1}) 와 같은 방향성을 가지는 식 (5)를 계산할 수 있다.

$$E'_k = \frac{E_{k-1} - E_{k-2}}{N_{k-1} - N_{k-2}} N'_k - \frac{E_{k-1} - E_{k-2}}{N_{k-1} - N_{k-2}} N_{k-2} + E_{k-2} \quad (5)$$

$$\therefore E'_k = aN'_k + b$$

GPS는 일정한 Hz의 출력을 가지며 $T=1/f$ 로 다음 시간 때 까지 동체가 움직일 수 있는 거리는 한정적이다. 이때의 거리를 D 라고 한다면 현재의 속도 추이를 전 시간의 좌표로부터 얻어 다음 시간에 갈 수 있는 최대 거리를 다음과 같이 계차수열을 이용하여 구할 수 있다.

$$D_k = D_1 + \sum_{k=1}^{n-1} d_k (n \geq 2) = D_1 + (d_1 + d_2 + \dots + d_{n-1}) \quad (6)$$

$$d_1 = \sqrt{(N_{k-1} - N_{k-2})^2 + (E_{k-1} - E_{k-2})^2}$$

$$d_2 = \sqrt{(N_{k-2} - N_{k-3})^2 + (E_{k-2} - E_{k-3})^2} \quad (7)$$

$$\vdots$$

식(6)로부터 속도 변화량을 파악하여 최종적으로 k 시간에 최대 갈 수 있는 거리 D_k 를 구하여 (N'_k, E'_k) 관계식으로 정리하면 다음 식과 같다.

$$N_k'^2 - 2N_{k-1}N'_k + N_{k-1}^2 \dots$$

$$\dots + E_k'^2 - 2E_{k-1}E'_k + E_{k-1}^2 = D^2 \quad (8)$$

식(5)을 식(8)에 대입하여 정리하면 식(9)과 같다.

$$(1 + a^2)N_k'^2 + (-2N_{k-1} + 2ab - 2E_{k-1}a)N'_k$$

$$= D^2 - N_{k-1}^2 - E_{k-1}^2 - b^2 + 2E_{k-1}b \quad (9)$$

여기서,

$$A = (1 + a^2), B = -2N_{k-1} + 2ab - 2E_{k-1}a$$

$$C = D^2 - N_{k-1}^2 - E_{k-1}^2 - b^2 + 2E_{k-1}b$$

라고 하자. N'_k 에 대해 정리하면 식(10)을 얻을 수 있다.

$$\left(N'_k = -\frac{B}{2A} \pm \sqrt{\frac{C}{A} + \left(\frac{B}{2A}\right)^2}, E'_k \right) \quad (10)$$

식(5)와 함께 최종적으로 예측 좌표를 정리하면 식 (11)과 같다.

$$\begin{bmatrix} N'_k \\ E'_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{2A} \pm \sqrt{\frac{C}{A} + \left(\frac{B}{2A}\right)^2} & 0 \\ aN'_k & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

나. 보정 단계(Correction)

k 시간에 측정한 GPS 좌표를 $(Z_{k,N}, Z_{k,E})$ 이라고 하자. 이때 예측 단계에서 구한 D_k 를 이용하여 측정 좌표를 보정해 주면 $(Z'_{k,N}, Z'_{k,E})$ 를 얻는다.

앞에서 구한 좌표를 식 (12)와 같이 보정해 줄 수 있다.

$$(N_k, E_k) = W_k(N'_k, E'_k) + (1 - W_k)(Z'_{k,N}, Z'_{k,E}) \quad (12)$$

가중치 W_k 는 $k-1$ 시간의 진행 방향 벡터 \vec{P} 와 k 시

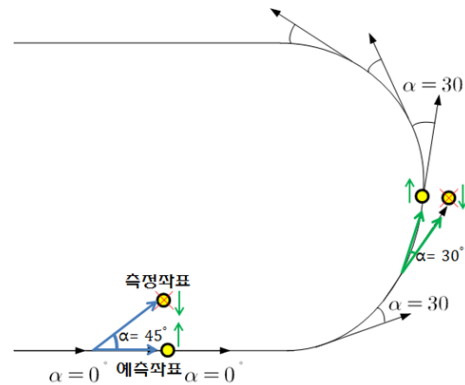


그림 2. 각 α 로 표현된 동체의 진행 패턴

Fig. 2. The heading pattern of vehicle expressed angle α .

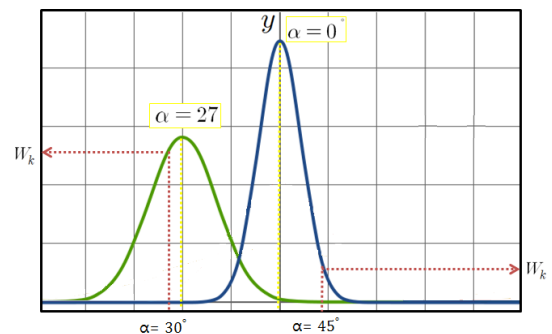


그림 3. 동체의 진행패턴에 따른 확률 밀도 함수

Fig. 3. PDF from heading pattern of vehicle.

간 진행 방향 벡터 \vec{Q} 의 사이 각 α 의 확률 밀도 함수로 부터 계산하였다.

각 α 로부터 동체의 진행 방향 패턴을 파악할 수 있으며 특징은 다음 그림 2, 3과 같다.

그림 3의 확률 밀도 함수의 통계적 특성으로부터 그림 2와 같이 좌표의 영향력을 보정해 줌으로써 최종적으로 보정된 좌표를 얻을 수 있다.

다. 재분배 단계(Resampling)

강인한 보정을 위해 다음 예측단계에 사용할 파티클의 집합을 생성하는 재분배를 수행한다. 가장 최신 패턴을 획득할 수 있도록 최근 데이터를 계속 갱신(Update)하고, 하단의 데이터는 삭제시켜 일정한 개수의 파티클을 유지 하도록 재분배 하였다.

본 알고리즘에서 가중치는 동체의 진행 패턴을 의미하므로 파티클의 개수가 너무 적거나 많게 되면 확률 밀도 함수로부터 얻는 가중치의 신뢰도에 큰 영향을 준다. 따라서 파티클의 개수는 동체의 이동 속도에 따라 가변 하도록 하였으며, 식(13)으로 부터 파티클의 샘플 개수 n 를 구하였다.

$$n = \begin{cases} 10 & \text{if } v_{vehicle} \leq 50\text{km/h} \\ 8 & \text{if } 50\text{km/h} \leq v_{vehicle} \leq 65\text{km/h} \\ 6 & \text{if } v_{vehicle} \geq 65\text{km/h} \end{cases} \quad (13)$$

본 논문에서 사용한 재분배 방법은 매 파티클마다 파티클 전체를 재생성 하는 것이 아니라 가장 최근데이터와 하단 데이터만의 갱신, 삭제만 이루어지므로 연산량이 현저히 줄어 들 수 있는 장점을 가질 수 있다.

재분배 단계 이후에는 다시 예측, 보정, 재분배 단계를 거쳐 재귀적으로 위치를 추정 보정하도록 한다.

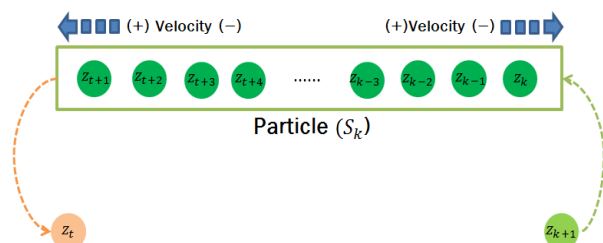


그림 4. 재분배 과정

Fig. 4. Progress of resampling.

III. GPS/관성센서 결합 알고리즘

1. GPS 데이터 처리 및 좌표계 변환

GPS로 획득되는 정보는 WGS84 좌표계로써, 위도(Latitude)와 경도(Longitude) 값으로 도(°),분('),초(")의 단위를 가지며 서로 분해능이 다르다. 따라서 각 지점 간 계산의 원활함을 위해 위도, 경도, 고도(Altitude)를 이용하여 TM(Transverse Mercator)좌표계 값으로 변환한다. WGS84좌표에서 TM좌표로의 변환 식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_{TM} \\ y_{TM} \\ z_{TM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_N + h & 0 & 0 \\ 0 & (R_E + h) \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi - \varphi_0 \\ \lambda - \lambda_0 \\ h - 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서, h =고도, R_N =북쪽 자오선 방향 곡률 반경 그리고 R_E =동쪽 곡률 반경을 의미한다. φ_0 와 λ_0 는 TM 좌표계 원점의 위도와 경도이다.

R_N 과 R_E 는 식 (15)으로 표현된다.

$$R_N = \frac{R_0(1-e^2)}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}}, R_E = \frac{R_0}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}} \quad (15)$$

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

2. GPS와 관성센서의 결합

그림 5는 기존 결합시스템의 구성도이며, 그림 6은 제안된 알고리즘을 이용한 결합시스템의 구성도이다.

기존에는 확장 칼만필터 하나를 이용하여 결합하였으나 본 논문에서는 정확도를 향상시키기 위해 자세 칼만필터를 추가 시켜 얻은 자세 정보로부터 방향코사인 행렬을 얻었으며 제안된 GPS 위치보정 알고리즘으로 GPS 정보를 보정하여 속도, 위치 칼만필터를 이용해 두 센서 정보를 결합하였다. 이때 시스템 노이즈와 측정 노이즈 간에는 상호 간섭(Independent assumption)이 없다는 가정이 있어야 한다.^[11]

그리고 각속도계로 부터 회전각을 계산하기 위해서

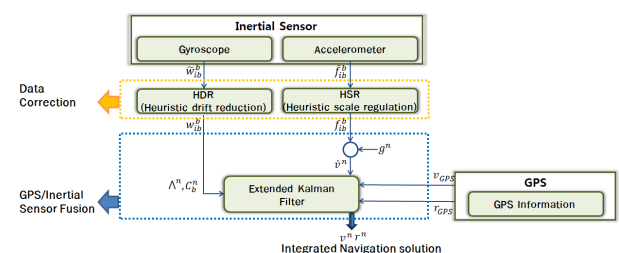


그림 5. GPS와 관성센서 기존 결합 알고리즘 구성도

Fig. 5. GPS/Inertial sensor integration original algorithm.

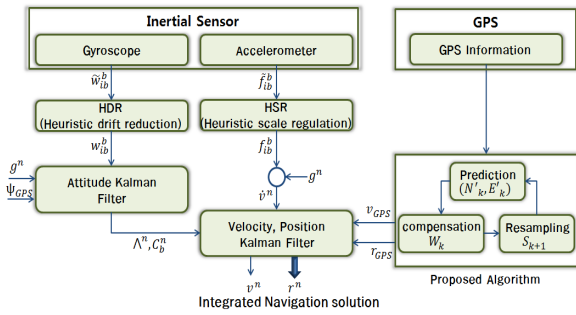


그림 6. GPS와 관성센서 제안된 결합 알고리즘 구성도
Fig. 6. GPS/Inertial sensor integration proposed algorithm.

각속도 \tilde{w}_{ib}^b 를 적분하는데 이때 미소한 바이어스(Bias), 드리프트(Drift)도 적분으로 누적되면서 발생하는 오차와 가속도계로 부터 속도와 위치를 계산하기 위해선 가속도 \tilde{f}_{ib}^b 에 포함되어 있는 중력을 제거한 후 적분 해주어야 하는데 중력 성분이 제대로 제거되지 않고 적분으로 누적되면서 발생하는 오차를 최소화시키기 위해서 HSR(Heuristic Scale Regulation)과 HDR(Heuristic Drift Reduction)알고리즘을 이용하였다.^[10]

예측(Predict) 과정의 시스템 모델 식은 (16),(17)과 같다.

$$\dot{x} = Fx + Gu$$

$$\begin{bmatrix} \dot{v}^n \\ \dot{r}^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v^n \\ r^n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_b^m - I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{ib}^b \\ g^n \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\hat{x}_{\bar{k}} = A\hat{x}_{k-1} + Gu_k\Delta t$$

$$A = I + F\Delta t$$

$$P_{\bar{k}} = AP_{k-1}A^T + GQG^T\Delta t^2$$

$$Q = \text{diag}(\sigma_{f_x}, \sigma_{f_y}, \sigma_{f_z}, \sigma_{g_x}, \sigma_{g_y}, \sigma_{g_z}) \quad (17)$$

갱신(Update) 과정의 시스템 모델 식은 (18),(19), (20)과 같다.

$$z_k = \begin{bmatrix} R_N + h & 0 & 0 \\ 0 & (R_E + h)\cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} r_{GPS} \quad (18)$$

$$R_k = \text{var}(z_k)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{\bar{k}} + K_k(z_k - H\hat{x}_{\bar{k}})$$

$$H = \frac{\alpha h}{\alpha x} = [0 \quad I]$$

$$h(r^n) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{TM} \\ y_{TM} \\ z_{TM} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_{\bar{k}}$$

$$K_k = P_{\bar{k}} H^T (H P_{\bar{k}} H^T + R)^{-1} \quad (20)$$

여기서 Q_k 는 시스템노이즈 공분산행렬, R_k 는 측정노이즈 공분산행렬, P_k 는 추정치오차 공분산행렬, K_k 는 칼만 이득이다. 그리고 이때의 측정 값 z_k 는 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 보정한 GPS 값을 사용한다.

회전행렬이 갱신됨에 따라 누적되는 미소 오류로 인해 행렬의 직교성이 만족되지 않게 되는 문제는 SVD (Singular Value Decomposition)을 이용하여 특이 값을 1로 바꾼 후 재조립하여 해결하였다.

IV. 실험 결과 및 분석

1. 실험 환경 및 방법

저가형 GPS Uigoods사의 Smart GPS 1set, 관성센서 Analog Devices사의 ADIS16365 - BMLZ를 사용하

표 1. 센서사양
Table 1. Specification of sensor.

Sensor	Specification
ProPak-G2	Single Point Accuracy : 1.5m CEP (L1/L2) Max Data Rates : 20Hz
Smart GPS	Accuracy : 5m CEP (L1) Max Data Rates : 4Hz
ADIS16365	Gyroscopes Sensitivity : Roll(0.05°/Sec), Pitch (0.025°/Sec) Yaw(0.0125°/Sec) Initial Bias error : ±3°/sec Output noise : 0.8°/sec rms Accelerometers Sensitivity : (Min)3.285mg, (Max)3.38mg Initial Bias error : ±50mg Output noise : 9mg rms



그림 7. 실험 장비
Fig. 7. test system.



그림 8. 실험 경로
Fig. 8. test route.

여 제안한 시스템을 구현하였고, 레퍼런스로 사용하기 위해 고정밀 GPS NovAtel사의 ProPak-G2 1set을 사용하였다. 사용된 센서의 성능은 표 1과 같다.

실험 방법은 그림 7의 장비를 차량에 싣고 그림 8의 출발점에서 출발하여 교대를 한 바퀴 돌고 다시 출발점으로 돌아가는 경로로 20km/h 내외의 속도로 주행하였다.

2. 실험 및 분석 결과

계산의 편의성을 위해 GPS 데이터는 TM 좌표로 바뀌어 계산하였으며 저가형 GPS로 측정한 데이터를 제안한 알고리즘으로 보정한 결과를 그림 9로 확인하였으며 확대하여 그림 10과 같이 나타내었다.

분석 결과, 레퍼런스와 비교하여 저가형 GPS는 넓은

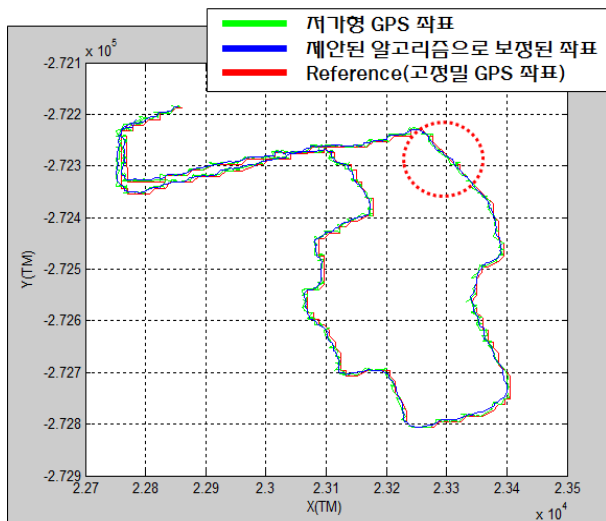


그림 9. GPS 위치보정 알고리즘 결과
Fig. 9. The result of GPS position compensation algorithm.

오차 범위를 가지고 있지만 제안된 알고리즘으로 보정 후 레퍼런스 값에 훨씬 가까워졌다.

그림 9 실험 데이터의 오차 수치를 그림 11의 그래프로 나타내었다. 레퍼런스와 비교한 저가형 GPS 좌표 오차 평균은 12.23m, 제안된 알고리즘으로 보정된 좌표의 오차 평균은 7.34m로 오차 범위가 기존에 비해 40%나 줄어들었음을 확인할 수 있었다.

실험 결과, 위치보정 알고리즘 적용 결과가 기존의 GPS 데이터를 효과적으로 보정할 수 있었다는 것을 확인할 수 있었다.

동등조건에서 기존 GPS/INS 결합 시스템과 본 논문에서 제안한 위치보정 알고리즘으로 보정된 GPS/INS 결합 시스템의 실험 결과를 확인하였다.

이때, 실험은 그림 12의 프로그램을 구현하여 확인 하

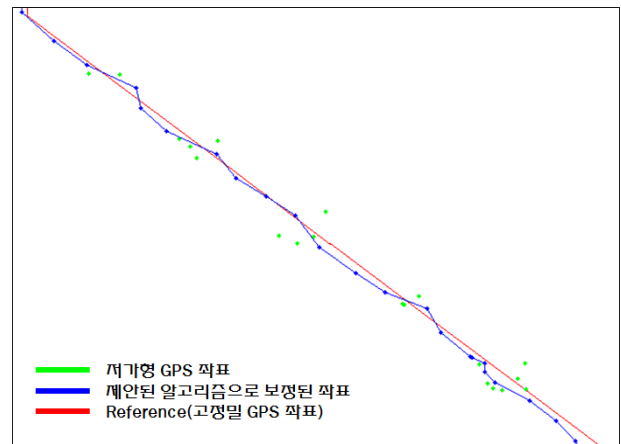


그림 10. GPS 위치보정 알고리즘 결과 확대
Fig. 10. The result of GPS position compensation algorithm zoom in.

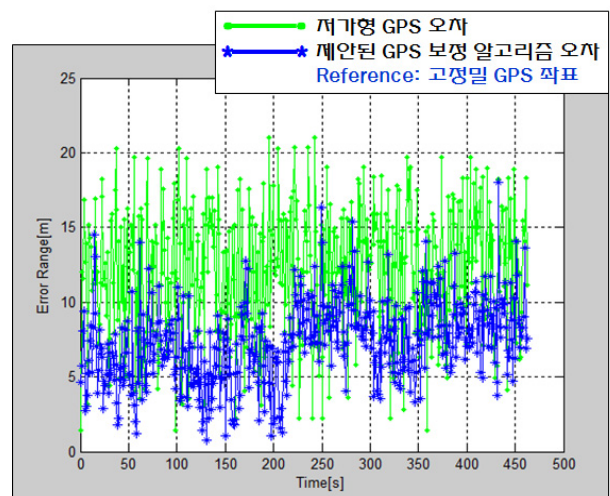


그림 11. GPS 위치보정 알고리즘 오차 결과
Fig. 11. The error result of GPS position compensation algorithm.

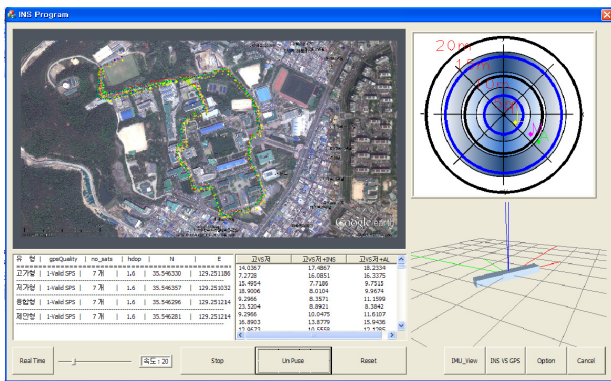


그림 12. GPS/INS 항법 프로그램
Fig. 12. GPS/INS Navigation program.

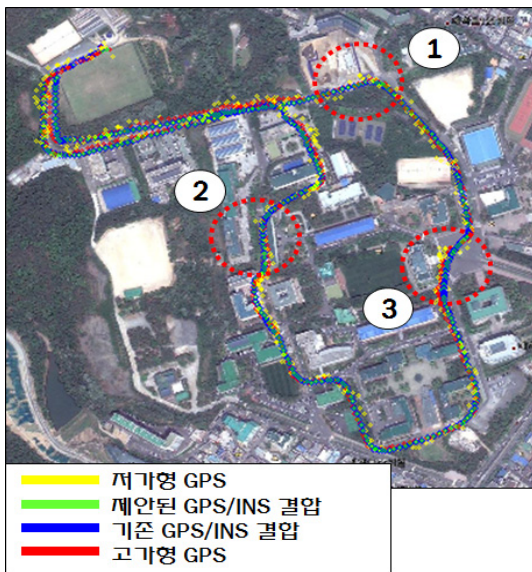


그림 13. 보정된 GPS/INS 결합 결과
Fig. 13. The result of compensated GPS/INS integration.

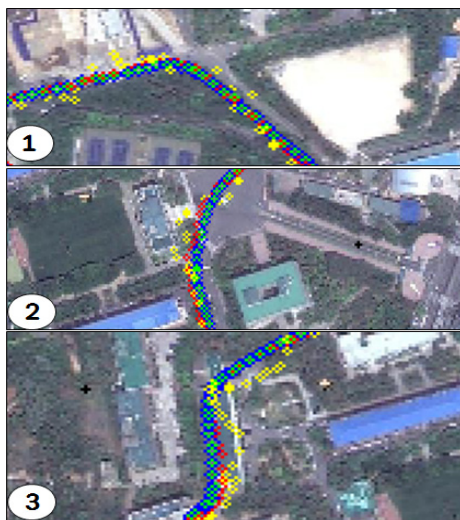


그림 14. 보정된 GPS/INS 결합 결과 확대
Fig. 14. The result of compensated GPS/INS integration zoom in.

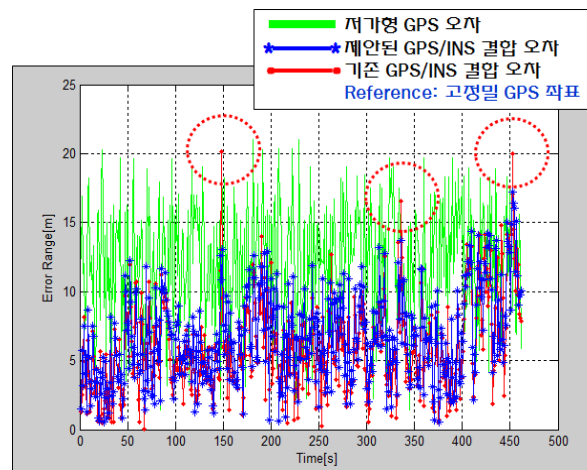


그림 15. 보정된 GPS/INS 결합 오차 결과
Fig. 15. The error result of compensated GPS/INS integration.

표 2. 차량의 코너 주행 시 오차 수치
Table 2. The error result of turning the corner.

A	B	C	A-B	A-C	B-C
8.3286	2.2168	2.2115	6.1118	6.1171	0.0053
7.6414	2.8558	2.8203	4.7856	4.8211	0.0355
10.5169	1.7433	1.7245	8.7736	8.7924	0.0188
12.5851	2.6282	2.5871	9.9569	9.998	0.0411
6.3420	3.6215	3.4795	2.7205	2.8625	0.142
7.1529	2.4760	2.3525	4.6769	4.8004	0.1235
7.708	0.7752	0.3542	6.9328	7.3538	0.421
1.3384	0.7048	0.6923	0.6336	0.6461	0.0125
7.7719	0.6787	0.6546	7.0932	7.1173	0.0241

A = 저가형 GPS 오차 수치 [m]
B = 기존 결합 시스템 오차 수치 [m]
C = 제안된 결합 시스템 오차 수치 [m]

였으며 위치 정보를 구글 맵 위에 나타내도록 하였다. 또한, 프로그램은 실시간 동작이 가능하도록 하였으며 아래의 창으로부터 GPS의 송수신 상태를 확인하고 레퍼런스와 비교한 오차 수치를 나타내도록 구성하였다.

실험 결과 그림 13과 같이 확인할 수 있었으며 확대하여 그림 14로 나타내었다.

분석 결과, 제안한 위치보정 알고리즘으로 보정된 GPS/INS 결합 시스템은 레퍼런스를 잘 따라가고 있으며 그림13 실험의 오차 수치 데이터를 그림 15의 그래프로 나타내었다.

레퍼런스와 비교한 기존 결합 시스템의 오차 범위 평균은 6.68m, 제안된 알고리즘으로 보정되어 결합된 시스템 좌표의 오차 평균은 5.88m로 오차 범위가 기존에 비해 약 12% 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 또한, 제안된 결합 시스템은 오차 범위가 기존 결합 시스템에

비해 안정적임을 확인 할 수 있었다.

표 2는 차량이 실험 맵에서 코너(Corner) 주행 시에 프로그램에 나타난 오차 수치를 분석한 것이다. 분석 결과, 제안된 결합 시스템은 기존 결합 시스템에 비해 차량이 코너를 주행 시에 더 정확해짐을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 파티클 필터를 기반으로 GPS 특징을 이용해 GPS 위치 보정 알고리즘 제안하였다. 그리고 GPS/INS의 결합 시스템의 정확도 향상을 위해 기존 결합 방식과 다르게 자세 칼만필터를 추가 사용하였다.

제안한 시스템의 성능 확인을 위해 NovAtel사의 고정밀 GPS와 비교 분석한 결과, 제안한 위치 보정 알고리즘은 저가형 GPS 데이터를 기존 오차범위에 비해 40%나 줄어듬으로써 효과적으로 보정해 주었다. 또한 제안한 알고리즘으로 보정된 GPS/INS 결합 시스템은 기존 결합방식에 비해 오차범위가 12% 줄어들고 안정적인 오차 범위를 가지며 주행 방향성 특징을 파악할 수 있으므로 코너를 주행 시에 더 강인함을 확인할 수 있었다. 향후 과제는 마코프 체인 모델을 이용하여 더 정확한 보정이 가능 하도록 하는 것이다.

REFERENCES

- [1] M. J. Yu, "INS/GPS Integration System using Adaptive Filter for Estimating Measurement Noise Variance," IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, vol. 48, no. 2, pp. 1786-1792, April. 2012.
- [2] D. J. Jwo, M. Y. Hsieh, and S. Y. Lai, "GPS navigation processing using the quaternion-based divided difference filter," GPS Solut, vol. 14, Springer, pp. 217-228, 2010.
- [3] M. Ahmadi, A. Khayatian and P. Karimaghaee, "Attitude estimation by divided difference filter in quaternion space," Acta Astronautica, vol. 75, pp. 95-107, June-July. 2012.
- [4] W. Khoder, M. Benjelloun, "Quaternion Unscented Kalman Filtering for integrated Inertial Navigation and GPS" International Information Fusion Conference 2008, pp. 1-8, June-July. 2008.
- [5] D. J. Jwo, "Fuzzy Adaptive Unscented Kalman Filter for Ultra-Tight GPS/INS Integration" Computational Intelligence and Design (ISCID) International Symposium 2010, pp. 229-235, Oct. 2010.
- [6] 송택렬, "Filtering Theory" Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, vol. 9, no. 6, pp. 413-419, June, 2012.
- [7] A. Leick, GPS Satellite surveying, 3rd Ed., WILEY, 2004.
- [8] 박진우, 양철관, 심덕선, "파티클 필터의 GPS/INS 초강결합 성능분석", Journal of Control, Robotics and Systems, vol. 14, no. 8, pp. 785-791, August, 2008.
- [9] M. J. Korenverg, M. M. Bayoumi, "Low-Cost Three -Dimensional Navigation Solution for RISS/GPS Integration Using Mixture Particle Filter" IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 59, no. 2, pp. 599-615, February, 2010.
- [10] J. Borenstein, L. Ojeda, "Heuristic Reduction of Gyro Drift in Gyro-based Vehicle Tracking" Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense VIII, vol. 7305, pp. 730507-730507-11, May, 2009.
- [11] W. Wang, Z. Y. Liu, R. R. Xie, "Quadratic Extended Kalman Filter Approach for GPS/INS integration" Aerospace Science and Technology, vol. 10, no. 8 pp. 709-713, December, 2006.
- [12] P. D. Groves, "Principles of GNSS, Inertial, and Multi-Sensor Integrated Navigation Systems", Artech house, 2008.
- [13] 이정환, 김한실, "GPS/INS센서 융합을 이용한 고정밀 위치 추정에 관한 연구", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 49, no. 11, pp. 159-166, November, 2012.
- [14] Iftikhar Khan, 백승현, 박경린 "INS/GPS 통합에 따른 관성 센서 에러율 감소 방법", 대한전자공학회 논문지-SC, 제46권, 3호, pp. 22-30, May, 2009.

— 저 자 소 개 —



정 재 영(정회원)
2011년 울산대학교 전기공학부
(공학사)
2013년 울산대학교 전기공학부
(공학석사)
<주관심분야 : GPS 응용, 센서
제어기술, 센서 고장진단>



김 한 실(정회원)
1981년 서울대학교 전기공학과
(공학사)
1983년 서울대학교 전기공학과
(공학석사)
1991년 West Virginia Univ.
Electrical & Computer
Eng. (공학박사)
1993년~현재 울산대학교 전기공학부 교수.
<주관심분야 : 선형 및 비선형 제어, 확률제어,
H-infinity, GPS 응용>