

---

# GPS와 가속도계를 이용한 이동 물체의 속도 추정

염정남\* · 이금분\* · 박종민\*\* · 조범준\*

\*조선대학교 · \*\*조선이공대학

## Speed Estimation of Moving Object using GPS and Accelerometer

Jeong-nam Yeom\* · Geum-boon Lee\* · Jong-min Park\*\* · Beom-joon Cho\*

\*Chosun University · \*\*Chosun College of Science and Technology

E-mail : jnyeom@chosun.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 위성 항법 시스템(GPS)의 불연속성과 수신 음영 지역에서의 속도 추적 한계를 극복하기 위하여 가속도계와 GPS를 이용한 이동 물체의 속도를 추정하는 시스템을 제안한다. 시스템은 이동 물체에 부착된 GPS 수신기와 가속도계의 항법 정보를 입력받아 물체의 진동과 충격 그리고 가속도계 자체의 오차에 기인한 잡음을 보정하고, 이를 이용하여 GPS 음영 지역에서 이동 물체의 속도 추정과 GPS 항법 정보의 불연속성을 보완할 수 있도록 설계되었다. 본 시스템에 사용하기 위해 GPS와 가속도계를 이용한 칼만 필터 구조를 설계하고, GPS 수신 음영 지역에서도 물체의 속도를 추적할 수 있음을 검증하여, 향후 자동항법장치 등 텔레매틱스 산업에서의 응용 가능성을 제시하고자 한다.

### ABSTRACT

To overcome the limitation of tracking speed on signal-shaded area and the discontinuity of GPS, we present a system which estimates the speed of moving object using GPS and accelerometer. This system is designed to correct accelerometer's noises which are caused by vibration and impact to the object and errors of itself, from the navigation information of GPS receiver and accelerometer which are installed to moving object. And using this information, it estimates the speed of moving object on GPS signal-shaded area to complement discontinuity of GPS navigation information. We designed Kalman Filter structure using GPS and accelerometer to apply this system, and verify that the system can estimate object's speed on GPS signal-shaded area. Finally, we present the possibilities applying to telematics systems like automatic navigation system.

### 키워드

GPS, Kalman Filter, Accelerometer, Position Tracking

## 1. 서 론

위성 항법 시스템(GPS: the Global Positioning System)이 제공하는 항법 정보(위치, 속도 및 자세)는 시간에 따라 오차가 발산하지 않는 장점이 있지만 불연속적이고 이온층, 대류권 지연 및 다중경로 등에 의한 오차를 포함[1]하는 등 외부 환경에 영향을 크게 받는다. 반면 관성항법장치(INS: Inertial Navigation System)는 연속적이고 외부 환경과 무관한 정보를 이용하며, 이들로부터

계산된 항법 정보는 짧은 시간 안에는 정확하지만 시간이 지남에 따라 관성 센서의 초기 자세 오차 및 바이어스 오차 등이 누적되어 오차가 증가하는 특성을 가지고 있다[2]. 상호 보완 관계인 GPS와 INS의 결합을 통하여 연속적이고 시간에 따라 오차가 증가하지 않으며 외부 환경에 덜 민감하도록 항법 시스템의 성능을 향상시키기 위한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 다수의 논문에서 주로 정밀도와 반응성 향상을 위해 INS를 주 항법 시스템으로 사용하고 GPS는 INS의 보정을 위

한 보조 항법 시스템으로 사용하고 있다[3-5].

INS에는 진동형 자이로스코프, 지자기센서, 차속센서, 가속도계 등의 센서들이 주로 사용되고 있는데, 센서의 정확성에 비례하는 비용 때문에 응용 분야가 특수 용도로 제한되는 한계가 있다. 이 중 가속도계는 이동 물체의 가속도 이외에도 지구 중력의 영향을 받는 단점은 있지만, 설치가 용이하고 비용이 저렴해서 높은 수준의 신뢰도와 응답성이 요구되는 않지만 연속적인 항법 정보를 필요로 하는 응용 분야에 적합하다.

본 논문에서는 저렴한 비용으로 연속적인 항법 정보를 획득하기 위해 가속도계가 통합된 GPS 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 두 개의 칼만 필터가 직렬 연결된 형태로 구성되어 있다. 첫 번째 칼만 필터에서는 가속도계를 통해 입력된 이동 물체의 가속도에서 진동과 충격에 의한 잡음을 제거하고, 두 번째 칼만 필터에서 GPS 위치 측정치를 이용해 가속도계의 기준값 보정과 이동 속도 예측을 통해 연속적인 항법 정보 계산을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 GPS와 가속도계를 통합하여 연속적인 항법 정보를 획득하는 방법에 대해서 설명한다. 3장에서는 실험을 통하여 GPS 단독으로 제공되는 항법 정보와 제안된 통합 시스템이 제공하는 항법 정보의 비교를 통해 성능을 평가하고, 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. GPS와 가속도계의 통합

본 논문에서 제안하는 시스템의 전체 흐름도는 그림 1과 같다.

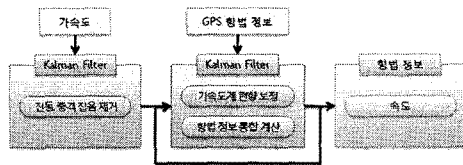


그림 1 시스템 흐름도

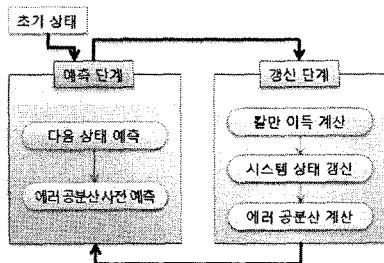


그림 2 칼만 필터의 피드백 사이클

### 1. 칼만 필터

칼만 필터는 가우시안 잡음을 가진 선형 동적 시스템에 대한 최적의 예측 방법을 제공하기 때문에 동작 예측 분야에서 가장 널리 알려진 기법 중의 하나이다. 수신 장애나 약한 신호에서도 좋은 결과를 도출할 수 있고 신호와 잡음의 분리도가 우수하며 컴퓨터를 이용하여 쉽게 구현 가능한 일반화된 회귀 알고리즘을 제공한다. 일반적으로 칼만 필터는 식 (1), (2)와 같이 시스템을 상태 모델과 측정 모델로 나타낸다.

$$x(n) = A(n-1)x(n-1) + b(n) \quad (1)$$

$$y(n) = C(n)x(n) + u(n) \quad (2)$$

$n$ 번째 시점의 시스템 상태  $x(n)$ 은  $n-1$ 번째 시점의 프레임과 선형적으로 관련되어 있으며 측정 모델  $y(n)$ 과 시스템 상태  $x(n)$  사이의 관계 역시 선형적이다.  $b(n)$ 과  $u(n)$ 은 각각 상태 및 측정 잡음을 나타내며, 각각에 대해 독립적이고 가우시안 잡음을 가진다고 가정한다. 식 (1)에서  $A(n)$ 은  $n$ 번째 시점의 상태와  $n+1$ 번째 시점의 상태를 연관시키는 상태 전이 행렬이고, 식 (2)에서  $C(n)$ 은 상태 모델과 측정 모델을 연관시키는 관측 행렬이다. 상태 벡터  $x(n)$ 의 크기가  $m \times 1$  이고 측정 벡터  $y(n)$ 의 크기가  $p \times 1$  일 때  $A_n$ 의 크기는  $m \times m$ ,  $C(n)$ 의 크기는  $p \times m$ 과 같다.

칼만 필터는 피드백 형태의 제어를 사용하여 시스템의 상태를 측정하는데, 주어진 시간에 시스템의 상태를 측정하고 측정 모델의 형태로 피드백을 획득한다. 다시 말하면 칼만 필터는 예측 단계와 갱신 단계의 두 단계로 구성된다. 예측 단계는 식 (3), (4)와 같이 현재의 상태를 적용하고 다음 프레임의 상태와 에러 공분산에 대한 사전 예측을 수행한다. 변수의 막대(bar) 표기는 피드백이 수행되지 않은 예측값임을 의미하며,  $Q(n)$ 은  $b(n)$ 의 공분산 행렬이다..

$$\hat{x}(n)^- = A\hat{x}(n-1) + b(n) \quad (3)$$

$$P(n)^- = AP(n-1)A^T + Q(n) \quad (4)$$

갱신 단계는 피드백을 수행한다. 칼만 이득을 생성하고 사전 예측된 상태와 에러 공분산을 갱신하는 방정식은 각각 식 (5), (6), (7)과 같다. 여기에서  $R(n)$ 은 관측 잡음  $u(n)$ 의 공분산 행렬이다. 실제 측정 벡터  $y(n)$ 과 사전 예측된 상태 벡터  $\hat{x}(n)^-$ 을 통합하여 향상된 상태 벡터를 예측하고, 이는 그대로 다음 단계의 예측 단계에 입력된다.

$$K(n) = P(n)^- C^T \{ C P(n)^- C^T + R(n) \}^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{x}}(n) = \hat{\mathbf{x}}(n)^- + \mathbf{K}(n)\{\mathbf{y}(n) - \mathbf{C}(n)\hat{\mathbf{x}}(n)^-\} \quad (6)$$

$$\mathbf{P}(n) = \{\mathbf{I} - \mathbf{K}(n)\mathbf{C}(n)\}\mathbf{P}(n)^- \quad (7)$$

위와 같은 칼만 필터의 피드백 사이클을 그림으로 도식화하면 그림 2처럼 나타낼 수 있다.

## 2. 가속도계의 잡음 제거

가속도계는 진동이나 순간적인 충격에 매우 취약하므로 이러한 원인으로 발생한 잡음을 제거할 필요가 있다. 2차원 평면에서의 이동 상황을 고려하여 가속도계로부터 이동 물체의 증가속도를 획득하고, 여기에 칼만 필터를 적용하여 잡음을 제거한다.

가속도는 일정 시간 단위에서 속도의 변화량이라 할 수 있으므로, 급격한 속도 변화보다 일정한 속도나 가속을 유지하는 구간이 많은 이동 물체의 경우 가속도가 선형적으로 증가/감소하기보다는 일정 값을 유지한다. 그러므로 가속도 상태 벡터와 측정 벡터의 원소로 식 (8), (9)와 같이 증가속도만을 사용하며 이 때 상태 전이 행렬  $\mathbf{A}_A$ 와 관측 행렬  $\mathbf{C}_A$ 는 식 (10), (11)과 같다.

$$\mathbf{x}_A = [a_V] \quad (8)$$

$$\mathbf{y}_A = [a_{rawV}] \quad (9)$$

$$\mathbf{A}_A = [1] \quad (10)$$

$$\mathbf{C}_A = [1] \quad (11)$$

## 3. GPS 항법 정보와 통합

물체의 이동 속도 추정을 위해 상태 벡터  $\mathbf{x}_G$ 는 속도와 가속도, 가속도의 기준값  $r$ 로 구성되며, 상태 전이 행렬  $\mathbf{A}_G$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{x}_G = \begin{bmatrix} v \\ a_V \\ r \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{A}_G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

지구 중력에 의한 영향을 받는 가속도계의 특성상 물체의 기울기에 따라 가속도가 달라지므로 기울기에 따라 기준값을 변경해야 한다. 가속도계 단독으로 불규칙한 속도로 이동하는 물체의 기울기를 판별할 수는 없으므로 GPS 위치 정보를 이용한 속도의 변화를 가속도의 참값이라 간주하고

가속도계 데이터와의 차를 기준값으로 산정한다. 가속도의 기준값 변경은 이동 물체의 진행방향 기울기만 고려하고 물체의 횡측 기울기는 고려하지 않으며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \Delta v - a_V \quad (14)$$

칼만 필터의 관측 행렬  $\mathbf{y}_G$ 는 GPS로부터 획득한 위치 정보로 산정한 물체의 이동 속도를 사용하며,  $\mathbf{y}_G$ 와 관측 행렬  $\mathbf{C}_G$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_G = \left[ \sqrt{\Delta p_{La}^2 + \Delta p_{Lo}^2} \right] \quad (15)$$

$$\mathbf{C}_G = [1 \ 0 \ 0] \quad (16)$$

위 식에서  $p_{La}$ 와  $p_{Lo}$ 는 각각 물체의 위도와 경도를 의미하며, 원하는 속도 단위로 나타내기 위해 단위 변환이 필요하다.

동일한 시간 동안 입력되는 칼만 필터를 적용한 가속도 데이터와 GPS 관측 데이터의 숫자가 다르기 때문에, 수신 음영 지역에서 GPS 관측 데이터가 수집되지 않은 경우 갱신 과정을 생략하고 가속도에 의한 위치 예측을 계속한다.

## III. 실험 결과

USB 인터페이스를 사용한 GPS 수신기(Sirf Star III 칩셋 채용)와 VisualGPS를 이용해 이동 물체의 경도와 위도를 초당 1회 획득하고, freescale ZSTAR Triaxial Accelerometer를 사용해 8비트의 가속도 데이터를 초당 58.77개씩 획득하였다.

자동차에 GPS 수신기와 가속도계를 부착 후 오르막과 내리막이 있는 도로를 불규칙한 속도로 주행하였으며, GPS를 통해 수집된 물체의 위치와 가속도계를 이용해 수집된 가속도 데이터, 칼만 필터를 이용하여 차량 진동 및 노면 충격 잡음을 제거한 물체의 증가속도는 그림 3과 같다.

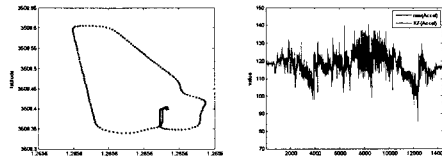


그림 3 이동 물체의 GPS 좌표와 가속도계 데이터

GPS 위치 정보를 이용하여 얻을 수 있는 물체의 속도와 종방향 중력 가속도는 다음과 같다. 단, 속도는 북위 35도를 기준으로 위도 1분이 1849.017m, 경도 1분이 1521.5m를 나타낸다고 가정했을 때의 속도이며, 중력가속도는 1G를 9.8%

로 가정했을 때의 결과이다.

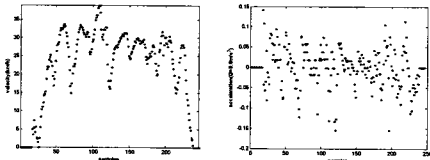


그림 4 GPS 위치 정보를 이용한 속도와 증가속도

지구 중력의 영향을 받는 가속도계는 물체의 기울기에 따라 기준값이 변경되므로 GPS로부터 정상적인 위치 정보를 획득할 수 있는 경우 가속도계의 값과 이를 이용해 가속도의 기준값을 산정한다. 평지에서서의 기준값보다 큰 경우 물체는 오르막길을 이동하고 있으며, 작은 경우 내리막길을 이동하고 있음을 의미한다. 가속도계와 GPS를 통합하여 물체의 이동 속도를 추정하는 결과는 그림 5와 같다.

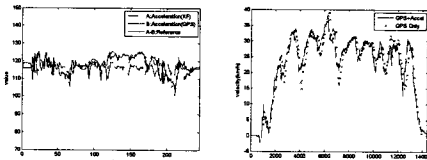


그림 5 가속도계 기준값 변화와 이동 속도 추정

GPS 수신 음영 지역에서의 속도 추정이 잘 이루어지는 지 확인하기 위해 일부 구간(2,000 ~ 4,000, 8,000~10,000)의 GPS 데이터를 누락시켜 가속도계의 데이터만으로 물체의 이동 속도를 추정한 결과는 그림 6과 같다. GPS 데이터 수신이 불가능한 경우 종전의 속도를 유지했을 때와 가속도를 이용해 속도를 추정했을 때 GPS 데이터와의 차이는 아래와 같다.

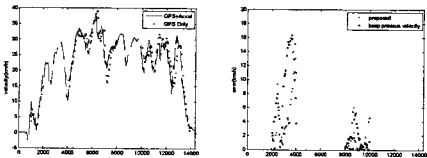


그림 6 GPS 데이터 누락 시 속도 추정

#### IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 저렴한 비용으로 연속적인 항법 정보를 획득하기 위해 가속도계가 통합된 GPS 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 두 개의 칼만 필터가 직렬 연결된 형태로 구성되어 있으며, 가속도계를 통해 입력된 이동 물체의 가속도에서 진동과 충격에 의한 잡음을 제거하고, GPS 위치 측정치를 이용해 가속도계의 기준값 보정과

이동 속도 예측을 통해 연속적인 항법 정보 계산을 수행한다. 실측 데이터 수집을 위해 차량에 GPS 수신기와 가속도계를 부착하여 위치 및 가속도 데이터를 수집하였으며, 수집된 샘플 데이터 중 GPS 위치 정보의 일부를 제거하여 가속도계를 이용한 속도 추정 능력을 보였다.

소형, 저비용인 가속도계를 기존의 GPS 항법 시스템에 적용하여 GPS 신호 품질이 떨어지는 터널 안이나 고층빌딩 인근에서 향상된 항법 정보를 제공할 수 있으므로 자동항법장치와 같은 텔레매틱스 산업에 향후 적용이 가능하리라 기대된다. 앞으로 본 논문에서 구현한 시스템을 보완하여 물체의 증가속도 및 횡가속도를 이용해 물체의 이동 속도뿐만 아니라 2차 평면상에서의 위치를 추정할 수 있는 시스템을 구현하여 저비용으로 GPS 위치 보정을 수행하는 연구 진행이 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] Bradford W. Parkinson, James J. Spilker Jr., et al., Global Positioning System: Theory and Applications, vol. 1, AIAA, 1996
- [2] George M. Siouris, Aerospace Avionics Systems, Academic Press, 1993.
- [3] 박찬국, 조성윤, 진용, 칼만필터를 사용하는 INS/GPS 결합 시스템에서 측정치 지연에 의한 오차 분석 및 보상, 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제6권 제11호, pp.1039-1044, 2000
- [4] 이태규, 김광진, 제창해, INS/GPS 결합 칼만필터의 측정치 스무딩 및 예측, 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제7권 제11호, pp.944-952, 2001
- [5] 유명중, INS/GPS를 위한 적응필터 구성, 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제11권 제8호, pp.717-725, 2005