

관성 센서와 GPS 약결합을 통한 GPS 음영지역에서 차량 위치 추정

김도윤\*, 박현근\*  
위드로봇 주식회사

Vehicle localization in GPS signal unavailability area using weakly coupled IMU and GPS

Do Yoon Kim\*, Hyun Keun Park\*  
WITHROBOT Inc.\*

**Abstract** - 차량의 무인화에 대한 관심이 증대하면서 자율 주행 문제의 중요성이 부각되고 있다. 현재 전역적인 차량 위치는 GPS에 도움을 받고 있지만 도심 고층 빌딩 밀집 지역에서 GPS 신호가 불안해지는 멀티패스 페이딩 현상에 대한 대안 및 터널을 통과할 때 GPS 신호가 단절되는 구간에 대한 대안이 필요하다. 본 연구에서는 MEMS 기반의 관성 센서를 제작하고 이를 이용하여 차량의 주행 모드를 자동으로 판별한 뒤 각 상황에 알맞은 칼만 필터를 설계하여 차량 위치를 파악하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 실제 임베디드 시스템에 이식되어 10Hz로 동작함을 확인하였고 GPS 음영 지역에서 3분 이내에는 GPS 오차 범위 내에서 차량 위치를 파악할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

차량 주행 정보 이외의 정보가 많이 담겨있다. 본 연구에서는 이 신호를 분석하여 차량 주행 속도 정보를 zigbee 무선으로 전송하는 소형 OBD2Wireless 장치를 개발하였다.

1. 서 론

현재까지 차량의 위치를 판별하는 방법으로 가장 널리 사용되는 방법은 GPS와 같은 위성항법장치 GNSS를 사용하는 것이다. GNSS를 이용한 위치 추정은 일정량의 위치 오차가 항상 존재하지만 이러한 오차가 시간 흐름에 따라 누적되지 않고 전파를 수신할 수 있는 환경에서는 일정 성능을 보장받을 수 있다는 장점이 있어 위치 기반 서비스를 제공하는데 널리 사용되고 있다[7]. 하지만 최근 지하 시설물, 고가도로, 터널이 늘어남에 따라 GPS 신호가 정상적으로 수신되지 않은 곳이 증가하고 있으며, 고층 빌딩이 증가함에 따라 멀티 패스 페이딩에 의해 GPS 신호의 위치 정확도가 많이 떨어지는 곳이 증가하는 추세이다. 이러한 지역에서는 차량의 관성량을 측정하여 GNSS 신호가 있는 경우는 보다 정밀한 위치 추종을, GNSS 신호가 없는 경우에도 일정 시간동안은 GPS 위성 신호가 수신되는 것처럼 현재의 위치를 추종할 수 있는 위치 추정 시스템을 제작이 필요하다[1-6]. 이를 위해 본 연구에서는 3축 가속도, 자이로 센서로 구성되는 관성센서 유닛을 사용하고 차량의 주행 속도를 보다 정확하게 파악하기 위해 ECU의 정보를 무선으로 전달하는 OBD2Wireless를 개발하였다. 이러한 모든 정보를 합쳐 보다 신뢰성 있는 정보를 산출하는 융합 모듈이 만들어졌으며, GPS 신호가 불안한 경우 GPS 신호에 어느 정도 신뢰도를 줄 수 있는지 GPS 신호 레벨에서 판별하는 판별식을 제안한다. 개발한 시스템의 성능을 평가하기 위해 차량에 시스템을 장착하고 주행하면서 임의로 GPS 신호를 단절시키고 이 때 차량 위치를 기존 GPS 신호와 비교하는 방식으로 시스템 성능을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 관성센서를 이용한 IMU 및 OBD2Wireless 제작

위성항법장치의 도움을 받지 않고 차량의 위치를 파악하기 위해서는 차량의 이동량을 측정하여야 한다. 이 때 단순한 이동 거리는 차량에 장착되어 있는 누적 적산계 신호를 이용하면 손쉽게 파악되지만 차량의 회전에 대한 정보는 알 수 없기에 추가 정보가 필요하다. 움직이는 물체의 위치를 파악하기 위해서는 관성량을 측정하여 이 정보로부터 원하는 물리량을 찾아내는 추측 항법(dead reckoning) 방식이 일반적이다. 본 연구에서는 3축 MEMS 가속도, 자이로 센서로 구성된 관성 측정 유닛(Inertial Measurement Unit)을 직접 제작하여 사용하였다. 제작된 IMU는 100Hz의 속도, 16비트의 정밀도로 차량의 가속도, 각속도의 변화량을 측정한다. 내부에는 BIAS 출력을 제거하기 위한 알고리즘 및 온도 변화에 강인한 특성을 가지는 전원 회로 설계가 병행되었다. 크기는 3.6cm x 1.9cm 크기의 PCB에 실장되었다.

IMU 만으로는 저속으로 움직이는 차량의 움직임을 명확하게 찾아낼 수 없기에 추가 정보가 필요하다. 차량 내 ECU에서는 차량 주행에 관련된 다양한 정보를 가지고 있으며, OBD(on-board diagnostic)를 통해 이를 획득할 수 있다. 차량의 위치를 파악하기 위해 차량의 주행 속도 정보가 유용하게 사용되므로 OBD 신호 중에서 이를 이용한다. OBD 정보는 CAN(Controlled Area Network) 신호로 전달되며 이 신호 내에는



<그림 1> 제작된 IMU와 OBD2Wireless 모습

2.2 신호 융합

앞서 소개한 IMU와 OBD 정보를 GPS 정보와 융합하여 보다 정밀한 위치 추정을 위한 INS(Inertial Navigation System) 알고리즘을 제안한다. 기존 약결합 방식의 단점을 극복하기 위해 차량 주행 모드를 판별하는 기능이 추가되었으며, 차량 주행 모드에 따라 2개로 나뉘어 구성된 칼만 필터가 신호 융합을 담당한다. 차량 주행 모드는 IMU의 가속도, 자이로 센서의 변화량을 이용하여 차량이 멈춰있는지, 직선 주행인지, 회전 중인지를 판별한다. 이는 차량이 멈춰 있는 경우 GPS 신호 오차에 의해 오류가 누적되는 것을 막는 효과가 있으며, 주행 중에도 회전 오차가 누적되는 것을 막아준다. 자세 및 속도필터(Velocity and Attitude Kalman filter) 모델은 식 (1)과 같이 모델링 할 수 있으며 이를 확장하여 위치 필터(Position Kalman filter)는 식(2)와 같이 모델링 할 수 있다.

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

$$\begin{bmatrix} \delta V_f \\ \delta \phi \\ \delta \theta \\ \delta \psi \\ \hat{b}_{A_{3x}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -g \cos \theta & 0 & 1 \\ 0 & f_{\phi\phi} & f_{\phi\theta} & 0 & 0 \\ 0 & f_{\theta\phi} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{\psi\phi} & f_{\psi\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta V_f \\ \delta \phi \\ \delta \theta \\ \delta \psi \\ b_{A_{3x}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta & 0 \\ 0 & 0 & \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{A_{3x}} \\ W_{\omega_{3x}} \\ W_{\omega_{3y}} \\ W_{\omega_{3z}} \\ W_b \end{bmatrix}$$

where  $f_{\phi\phi} = \cos \phi \tan \theta \omega_{By} - \sin \phi \tan \theta \omega_{Bz}$ ;  
 $f_{\phi\theta} = \sin \phi \sec^2 \theta \omega_{By} + \cos \phi \sec^2 \theta \omega_{Bz}$ ;  
 $f_{\theta\phi} = -\sin \phi \omega_{By} + \cos \phi \omega_{Bz}$ ;  
 $f_{\psi\phi} = \cos \phi \sec \theta \omega_{By} - \sin \phi \sec \theta \omega_{Bz}$ ;  
 $f_{\psi\theta} = \sin \phi \sec \theta \tan \theta \omega_{By} - \cos \phi \sec \theta \tan \theta \omega_{Bz}$ ; and  
 $w_b$  is the driving noise for the accelerometer bias.

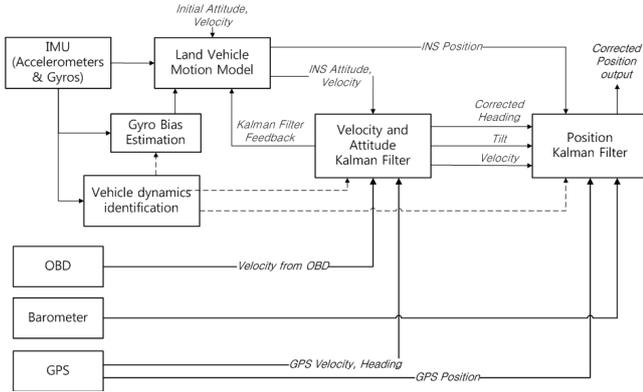
식(1)

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

$$\begin{bmatrix} \hat{P}_{N_t} \\ \hat{P}_{N_r} \\ \hat{h} \\ \hat{V}_{N_t} \\ \hat{V}_{N_r} \\ \hat{V}_{N_d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R_x + h} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{(R_x + h) \cos \phi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{N_t} \\ P_{N_r} \\ h \\ V_{N_t} \\ V_{N_r} \\ V_{N_d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{P_{N_t}} \\ W_{P_{N_r}} \\ W_{V_{N_d}} \end{bmatrix}$$

식 (2)

GPS 출력값인 위도, 경도, 고도 중에서 상대적으로 고도 정보는 많은 오차를 가지고 있다. 이러한 특성은 전체 융합 알고리즘 성능에도 많은 영향을 미치므로, GPS 신호의 고도 정보를 분석하고 융합 알고리즘에서 가중치를 조절하기 위해 별도의 고도계를 사용할 수 있도록 하였다.

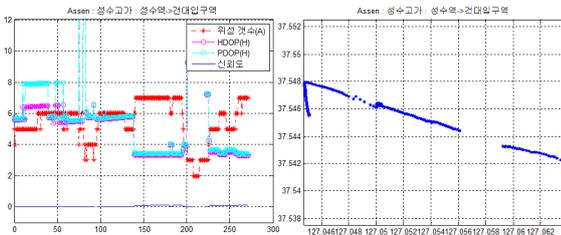


〈그림 2〉 융합 알고리즘 블록 다이어그램

### 2.3 GPS 신호 품질 판단

GPS와 IMU 신호를 약결합으로 융합하는데 있어 가장 중요한 부분은 GPS 신호의 품질을 파악하는 것이다. 통상적으로 GPS 신호에는 신호의 품질을 나타내는 필드가 따로 존재하여 이를 이용하면 GPS 신호 품질을 파악할 수 있다고 알려져 있다. 하지만 본 연구에서 해당 필드값을 가지고 테스트를 해 본 결과 GPS 신호가 수신되지 않는 상태에서는 해당 필드값이 유의미한 값을 제공하지만 도심 고층 건물들로 인한 멀티 패스 지역과 GPS 신호가 끊기기 전 불안한 부분의 신호에는 GPS 신호 품질과 해당 필드값의 상관 관계를 찾기 어려웠다. 따라서 단순한 HDOP, PDOP의 필드값 활용이 아닌 또 다른 방식의 GPS 신호 품질을 판단할 수 있는 근거가 필요하게 되었고, 강결합 방식이 아닌 약결합 방식이기에 GPS 신호 처리 후 결과만을 사용할 수 밖에 없다는 단점을 극복해야 한다.

이를 위해 5종류의 GPS 상용 모듈을 한 대의 차량에 장착하고, GPS 신호가 자주 끊어지는 서울 지하철 2호선 지상 구간의 밑 부분을 주행하면서 GPS 데이터를 획득하여 HDOP, PDOP 및 기타 필드 정보를 얻어 경로 정보와 GPS 품질을 비교할 수 있는 기초 데이터를 획득하였다.



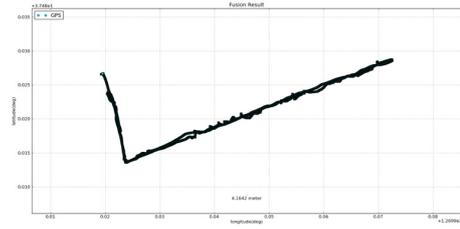
〈그림 3〉 GPS 주행 경로와 대응되는 HDOP, PDOP

당 연구에서 제작된 IMU와 OBD2Wireless의 융합 결과는 차량의 상대적인 위치 추정이 비교적 잘되는 편이기에 GPS 신호 품질 판단에 대해서는 위성 개수가 5개 이하이면서 PDOP가 3 이하일 경우는 GPS 신호를 융합에 사용하지 않는 조건으로 활용하였다. 이 조건을 충족하지 못하는 경우는 IMU의 결과만으로 현재 차량의 위치를 파악하며, 이를 이용하면 멀티 패스 지역 및 터널 입구에서 GPS 신호가 불안해 지는 상황을 미리 판별하여 잘못된 GPS 정보가 차량 위치 파악에 영향을 미치는 것을 막을 수 있었다.

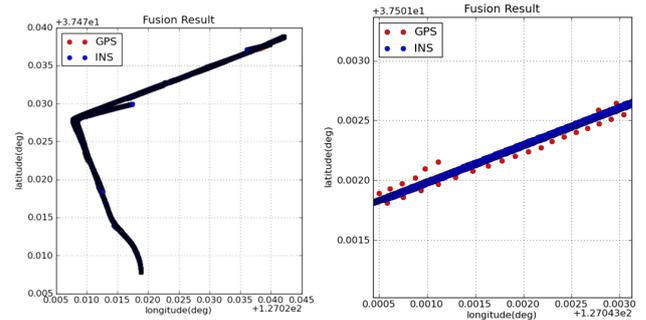
### 2.4 실험

실험은 고층 빌딩이 밀집되어 멀티 패스 현상이 자주 발생하는 서울 테헤란로에서 이뤄졌다. 비교를 위해 기존 약결합 방식을 사용하는 MEMS 기반 상용 제품으로 먼저 주행하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 좌측 하단이 교대역이고, 우측 상단이 삼성역으로 차량은 2차선 직선 주행을 했음에도 멀티 패스 현상에 의해 차량의 위치는 지속적으로 변하는 궤적을 보여주고 있다. 반면 제안한 알고리즘을 적용한 GPS-INS 약결합 융합 알고리즘의 결과는 차량의 위치가 상대적으로 직선에 가깝게 도출되는 것을 확인할 수 있다. 특히 GPS 신호가 불량한 경우는 GPS 신호를 차단하고 IMU만으로 주행한 결과를 이용하여 현재

위치를 파악한다.



〈그림 4〉 상용 제품의 테헤란로 주행 결과



〈그림 5〉 테헤란로 주행시 제안된 알고리즘 적용 결과

위 실험 결과에서 볼 수 있듯이 상용 제품에 비해 멀티 패스 현상은 대폭 감소하였으며, GPS 신호가 불안한 지역에서는 GPS 신호 정보를 활용하지 않고 IMU 정보만으로 차량의 위치를 파악하고 있으며, 이 때 GPS 신호 판별 여부는 제안된 알고리즘을 통해 자동으로 결정되고 있음을 확인할 수 있다.

## 3. 결론 및 추후 과제

본 연구에서는 GPS와 IMU의 약결합 방식을 이용하여 GPS 음영 지역 및 멀티 패스 지역에서 보다 정밀하게 차량의 위치를 파악하는 알고리즘을 제안하였다. 실주행 테스트에서는 유의미한 결과가 나왔으며, 제안한 방식을 활용하면 GPS 음영 지역에서 고가의 DGPS를 사용하지 않더라도 차량의 위치를 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 추후 과제로는 보다 정량적인 분석을 위해 레퍼런스 데이터가 존재하는 지역에서 주행을 하며 그 성능을 분석하는 일이 남아있다. 또한 GPS 신호 품질 판단 기준을 주행 테스트를 통해 유효함을 검증하고, 개선하는 일이 남아있다.

### 감사의 글

This work was supported partly by the R&D program of the Korea Ministry of Knowledge and Economy(MKE) and the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT). (The Development of Low-cost Autonomous Navigation Systems for a Robot Vehicle in Urban Environment, 10035354)

### [참 고 문 헌]

- [1] 김도윤 외 4명, "Seamless u-Transportation 서비스를 위한 UVS 개발," 대한전기학회 하계학술대회, 2009
- [2] 김도윤, 성상학, 박종호, "Seamless service를 위한 UVS 단말기 개발," 통신공학회 하계학술대회, 2009
- [3] 박주영, 강대성, 이재훈, 남동균, 김도윤, 성상학, "칼만 필터 기반 GPS/INS 결합을 위한 KRLS의 적용," 지능시스템학회, 2009
- [4] 김도윤, 이재훈, 유동현, 박현우, 남동균, 박주영, "차량 위치 추정을 위한 다중 센서 융합 시스템 개발," 정보및제어심포지엄, 2010
- [5] 이재훈, 남동균, 박주영, 박현우, 유동현, 김도윤, "저가형 센서 시스템을 활용한 차량의 주행 모드 판별에 관한 고찰," pp.160-163, 지능시스템학회, 2010
- [6] 남동균, 박주영, 박현우, 김도윤, "저가형 자이로 센서 드리프트 감소 방안에 대한 고찰," 지능시스템학회, 2010
- [7] M. Grewal L.R. Weil, and A.P. Andrews, "Global Positioning System, Inertial Navigation and Integration," John Wiley & Sons, 2007