

저가형 GPS/INS 통합시스템을 이용한 Mobile Mapping System 연구

Study of Low cost GPS/INS Integration for Mobile Mapping System

이종기/인하대학교 지리정보공학과 박사과정
권재현/세종대학교 지구정보공학과 조교수
김병국/인하대학교 지리정보공학과 부교수

1. 서 론

현재 도로 및 도로시설물의 신설 및 보안을 위한 현황 상황 판단은 기존의 지형도를 이용, 기존의 지형도를 이용, 기존의 항공사진을 판독 그리고 조사자를 현장에 파견하여 조사하고 사진을 촬영하게 하는 방법 등을 사용하고 있다. 또는, 정책입안자나 관리자가 직접 현장을 방문하기도 한다. 따라서, 도로 및 도로시설물에 대한 영상 자료가 수집되어 보관되고 있다면 현장방문 및 조사에 따른 여러 가지 자원 손실을 방지할 수 있다.

도로 및 교통시설의 효율적인 운영 및 관리, 예산의 효율적 사용 등을 위하여 관련 DB 구축 사업은 계속 확대 될 것이며, DB 구축 사업의 확대에 따라 영상자료 및 영상정보의 활용이 필수적이다. 이를 위하여 개발된 GPS/INS/Photologging System은 GPS/INS System에서 제공하는 위치와 자세를 이용하여 Photologging에서 높은 수준의 정확도를 유지하면서 대용량의 위치 및 영상정보를 얻는 통합시스템이다.

관성항법장치에서 얻어지는 연속적인 속도, 위치 정보는 단기간에는 정확하지만 시간이 지날수록 정확도가 떨어지고 GPS에서 제공되는 위치 정보의 정확도는 시간에 따라 변하지는 않지만, 공간적인 제약이나 위성신호의 인위적인 교란 및 차단 등에 의하여 때때로 사용할 수 없거나 제한적으로 사용이 가능하다. 따라서 두 기술을 함께 사용하는 복합 항법장치는 어느 한 쪽만을 사용하는 것보다 성능과 안정성 면에서 더 뛰어나다. 이러한 이유로 최근에 개발되는 항법장치는 RLG(Ring Laser Gyro)와 FOG(Fiber Optic Gyro)를 이용한 INS와 GPS를 결합한 형태인 GPS/INS 통합시스템이 주를 이루고 있다.

본 연구에서는 GPS/INS/Photologging System에서 객체의 위치를 결정하기에 앞서서 GPS/INS 통합시스템에서 시뮬레이션 데이터(Simulation Data)를 생성하여 초기정렬 및 GPS/INS 통합 칼만필터 테스트하였다. 생성한 데이터에 실제 상황과 동일한 상황을 만들기 위하여 저가형 IMU의 해당하는 Crossbow사의 사양에 따라 바이어스(bias)와 백색잡음(white noise)을 삽입하여 초기정렬 및 GPS/INS 통합 칼만필터를 테스트하였다. 이 결과를 통하여 GPS/INS/Photologging System의 적합도 여부를 확인하였다.

2. GPS/INS시스템 개발

2-1 GPS/INS통합

본 연구에서는 결합법 중에서 약결합(loosely-coupled)으로 먼저 시도되었다. 결합법은 크게 약결합, 강결합으로 나눌 수 있는데, 약결합과 강결합은 구현과 성능 면에서 큰 차이는 없으며, 강결합이 위성개수가 부족할 때 가용성 면에서 장점을 가지며, 항체의 dynamic 특성을 좀 더 반영할 수 있다는 특징이 있다. 의사거리(pseudo range)를 이용하는 강결합과는 달리, 약결합은 수신기에서 제공하는 항법해(위치, 속도) 자체를 이용한다. INS와 GPS 각각에서 얻어진 항체의 항법해(위치, 속도) 차이를 측정치로 해서, 오차 보상 필터를 구동하게 되고, 이 필터에서 INS 오차를 보상(compensation)하는 구조를 취한다. 전체적으로 간접 피드백(indirect feedback) 구조를 취하게 되며, 여기서 맞는 확장형 칼만필터(Extended Kalman filter)가 사용된다.

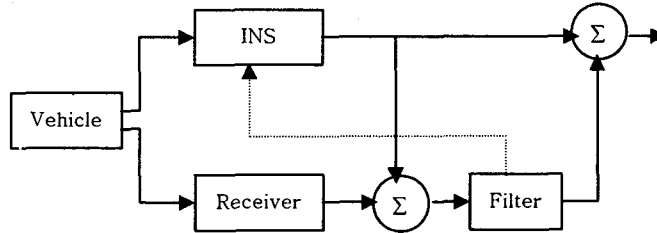


그림1. 약결합 (loosely-coupled) 방식

오차를 보정하기 위하여 설계된 칼만필터는 15차 약결합(Loosely-coupled) 방식이다. 지구의 구면 효과를 효과적으로 반영하기 위하여 WGS-84 좌표계(위도, 경도, 높이)로 표현된 위치오차와, 그리고 NED(North East Down) geographic 항법 좌표계로 표현된 속도오차, 그리고 자세오차로 항법해 오차 상태변수(error states)를 구성하였다. 그리고 가속도계와 자이로에서 발생하는 바이어스를 센서오차 상태변수로 구성했다.

$$\dot{x}(t) = Fx(t) + w(t) \quad (1)$$

이를 행렬식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{x}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ 0_{6 \times 9} & 0_{6 \times 6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ x_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_i \\ 0_{6 \times 1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

관측방정식은 다음과 같다.

$$z(t) = Hx(t) + v(t), \quad v \sim N(0, R) \quad (3)$$

여기서,

$$x_i = [\delta\alpha \quad \delta\beta \quad \delta\gamma \quad \delta V_n \quad \delta V_e \quad \delta V_d \quad \delta\psi \quad \delta\lambda \quad \delta h]^T \quad (4)$$

$$x_f = [\delta W_h \quad \delta W_e \quad \delta W_d \quad \delta f_n \quad \delta f_e \quad \delta f_d]^T \quad (5)$$

$$w_i = [W_g \quad W_g \quad W_g \quad W_a \quad W_a \quad W_a]^T \quad (6)$$

$$H = [0_{3 \times 3} \quad 0_{3 \times 3} \quad I_{3 \times 3} \quad 0_{3 \times 3} \quad 0_{3 \times 3}] \quad (7)$$

$$F_{12} = \begin{bmatrix} -C_b^n & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & C_b^n \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$G = \begin{bmatrix} -C_b^n & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & C_b^n \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3. GPS/INS 소프트웨어 개발

3-1 시뮬레이션 데이터 생성

GPS/INS 통합을 위한 시뮬레이션 데이터를 생성하기 위해서는 다음과 같은 과정을 통하여 순수한, 오차 없는(Error-Free) INS데이터(INS Data)를 먼저 생성해야 한다.

1. 초기 자세, 속도, 위치를 모두 0으로 놓는다
2. 초기 방향여현행렬(Direct Cosine Matrix)을 작성한다
3. 초기 궤적(segparam)을 만든다
4. 위 값들로 속도 및 자세 프로파일(profile)을 생성한다.

이 데이터는 첫째, 테스트하고자 하는 IMU센서의 바이어스와 잡음(White Noise)를 추가하여 실제상태의 IMU센서와 동일한 데이터를 만든다. 둘째, GPS/INS 통합 프로그램에서 칼만필터의 관측치인 GPS 데이터로 사용된다.

다음은 순수한 ins 데이터가 생성된 후의 결과 그래프로써 그림 2는 각속도 결과이고, 그림 3은 속도 결과이고, 그림 4는 오차 없는 상태에서 이동한 이동궤적결과이다.

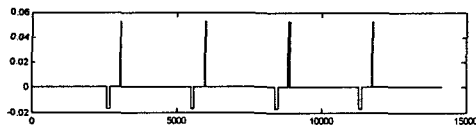


그림 2. 각속도(angle rate) 결과

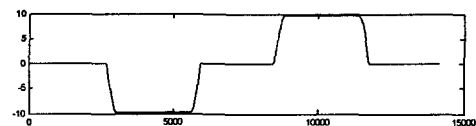


그림 3. 속도(velocity) 결과

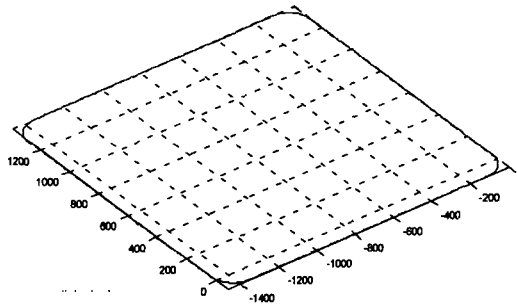


그림 4. 이동궤적(Flight path)

3-2. GPS/INS 통합 소프트웨어 (GPS/INS Integration Software)

본 연구에서 개발한 GPS/IMU통합 S/W는 GICI 1.0으로 명명하였다. GICI 1.0은 GPS, IMU, CCD를 통합하여 결과를 보여주는데 그 목적이 있다. 또한, 관성항법 자체의 항법 (Navigation) 알고리즘 자체의 수치오차 확인과 IMU 사양별 테스트를 하기 위해서는 기존에 생성한 시뮬레이션 데이터(Simulation Data)를 이용하여 GPS/INS 통합을 결과를 미리 확인해야 한다. 그러므로 GPS/IMU 결과를 확인하기 위한 시뮬레이션 소프트웨어를 개발하여 테스트를 수행하였다. 아래 그림 5는 GPS/IMU 시뮬레이션 소프트웨어 모듈별 실행순서를 나타낸 것이다.

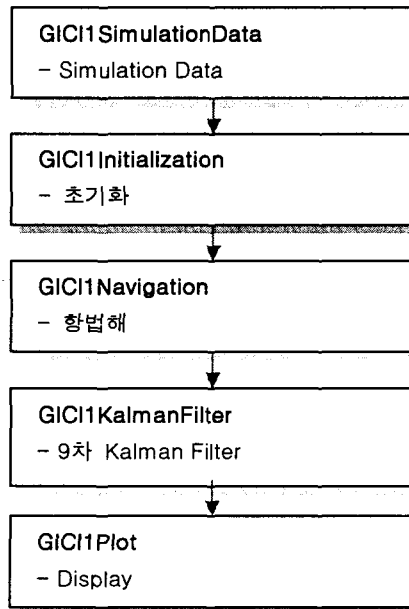


그림 5. GPS/IMU 시뮬레이션 프로그램 모듈별 실행순서

가. GPS/IMU 시뮬레이션 모듈 1

첫 번째 모듈은 GICISimulationData으로서 일정한 궤적(route)을 회전하는 에러가 없는(Error-Free) 각속도 및 가속도데이터를 생성한다. 이는 항법해 및 통합을 위한 초기 데이터로서 사용된다.

나. GPS/IMU 시뮬레이션 모듈 2

두 번째 모듈은 GICIIInitialization으로서 IMU 데이터 처리를 위해 항법 알고리즘을 사용하기 위한 초기 상수 값들, 초기 자세 및 위치 값들을 정의한다. 또한, 칼만필터를 적용하기 위한 초기 P, Q Matrix들을 작성한다. 여기서 작성된 칼만필터 초기치는 적용하는 IMU 센서의 사양(Specification)에 따라 다른 값을 사용한다.

다. GPS/IMU 시뮬레이션 모듈 3

세 번째 모듈은 GICIINavigation으로서 만들어진 오차없는(Error-Free) 데이터를 이용하여 항법해인 자세(Attitude), 속도(Velocity), 위치(Position)를 구한다. 이 항법해는 통합모듈에서 GPS 데이터 관측치로 입력된다.

라. GPS/IMU 시뮬레이션 모듈 4

네 번째 모듈은 GICIIKalmanFilter로써 GPS 데이터와 IMU 데이터를 칼만필터를 이용하여 통합하는 모듈이다.

GPS데이터는 시뮬레이션 모듈3에서 생성되었던 항법해(위치, 자세, 속도)를 사용한다. IMU 데이터는 적용하는 IMU센서의 사양(Specification)에 따라서 시뮬레이션 모듈 1에서 생성되었던 에러 없는 데이터에 바이어스(bias)와 랜덤오차(random error)를 각각 합하여 생성한다.

바. GPS/IMU 시뮬레이션 모듈 5

다섯번째 모듈은 GICIIPlot으로서 칼만필터 결과값을 확인하기 위한 오차값(Residual value), 분산값(P matrix) 등의 통계결과와 항법해 결과인 자세, 속도, 위치결과를 보여준다

3-3 시뮬레이션 테스트 (Simulation Test)

가. IMU 사양 (IMU Specification)

본 시뮬레이션 테스트(Simulation Test)에서 사용할 IMU는 미국 Crossbow사의 DMU(Dynamic Measurement Unit)-FOG(Fiber Optic Gyro)로서 3축 가속도계(Accelerator)와 3축 자이로(Gyro)를 가지고 있다.

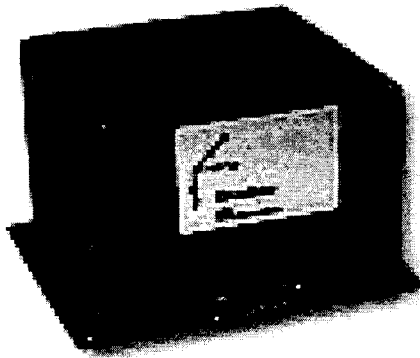


그림 6 Crossbow사 DMU-FOG

(1) 오차가 포함된 각속도와 가속도 입력

시뮬레이션 데이터를 이용하여 GPS/INS 통합을 실행하기 위해서는 실제상황과 거의 동일한 IMU데이터가 필요하다. 이 데이터는 기존에 생성된 시뮬레이션 데이터에 IMU 사양별 바이어스와 랜덤오차를 추가하여 실제 데이터와 근사한 데이터를 생성할 수 있다. 오차가 포함된 실제 IMU 데이터를 생성하는 과정은 다음과 같다.

자이로 실제 데이터 생성

$$\text{실제 데이터} = \text{시뮬레이션 데이터} + \text{자이로바이어스} + \text{자이로랜덤오차}$$

가속도 실제 데이터 생성

$$\text{실제 데이터} = \text{시뮬레이션 데이터} + \text{가속도바이어스} + \text{가속도랜덤오차}$$

오차가 포함된 각속도(wb), 가속도(fb)가 항법해(Navigation Equation)을 통하여 엉뚱한 궤적이 나오므로, 순수한 INS 위치 (pure INS Position)을 GPS 데이터로 사용하여 업데이트(Update) 한다.

(2) 오차 없는 항법해

각 epoch 마다 오차 없는(error-free) 항법해(자세, 속도, 위치)를 가지고 있으므로, 이를 통합시 GPS 데이터로 사용한다.

통합하는 과정에서 시뮬레이션 데이터의 간격이 1초에 20 epoch INS 데이터가 있다고 할 때, 1sec 마다 입력되는 관측치 데이터로 오차 없는 항법해를 사용한다.

(3) 통합된 GPS/INS 결과

GPS와 IMU데이터를 통합하여 칼만필터를 통해 나온 결과는 그림 7 ~17과 같다. 자세 결과는 roll각과 yaw각은 순수한 항법해의 결과(error free data)를 이용한 navigation solution)와 거의 동일하였으나 pitch각은 진동(vibration)이 좀 심함을 볼 수 있다.

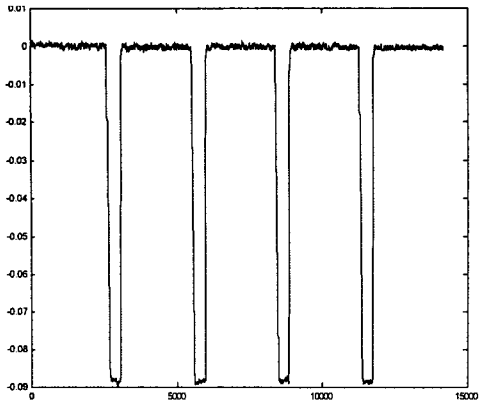


그림 7 attitude - roll

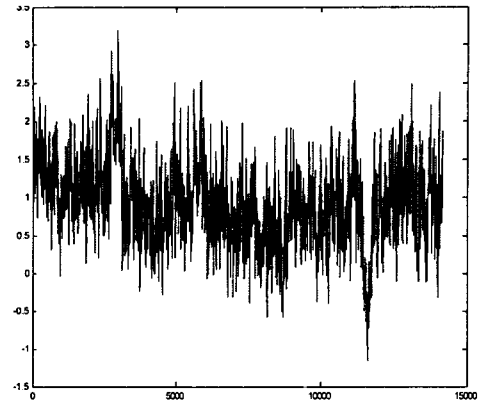


그림 8. attitude - pitch

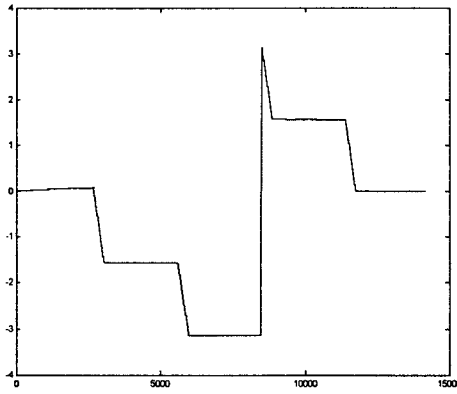


그림 9. attitude - yaw

속도 결과는 항법해 결과와 큰 차이가 없다.

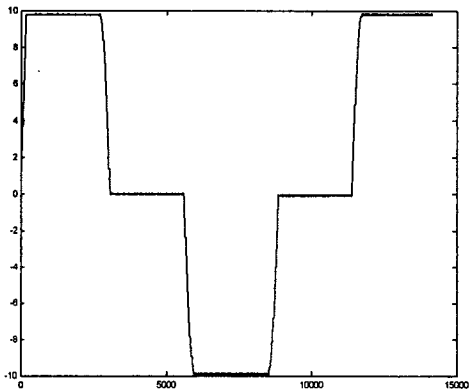


그림 10. North Velocity : V_n

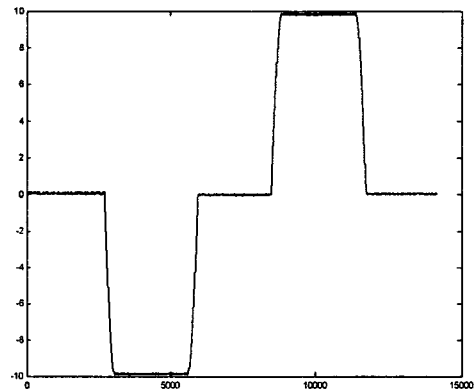


그림 11. East Velocity : V_e

그림 12의 위치결과도 항법해 결과와 큰 차이가 없다. 위 위치 그림 12에서 오른쪽 부분만을 10배 확대하면 그림 13과 같다.

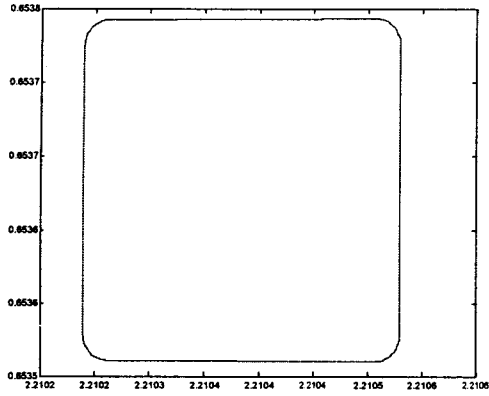


그림 12 위치(Position)

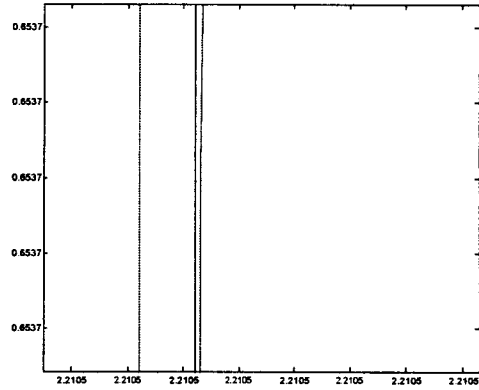


그림 13 위치 결과 10배 확대

P Matrix 결과는 그림 14 ~ 16과 같고, 잔차(Residual) 결과는 다음 그림 17과 같다.

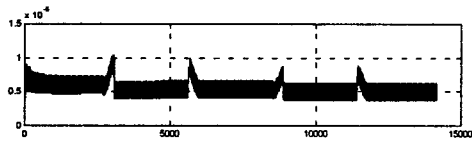


그림 14. P Matrix (1~3)

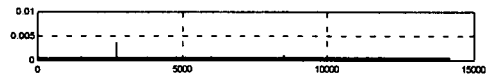


그림 15. P Matrix (4~9)

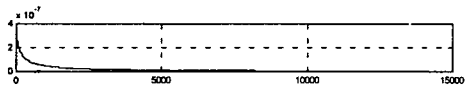


그림 16. P Matrix (10~15)



그림 17. 잔차(residual) 결과

4. 결 론

본 연구에서는 약결합 방식의 GPS/INS 통합항법시스템을 구현하였고, Photologging 시스템에서 이 시스템을 적용하기 위해 시뮬레이션 프로그램을 통하여 그 성능을 검증해 보았다.

시뮬레이션 데이터를 생성한 후 이 데이터를 이용하여 GPS/INS 통합시스템을 개발하였다. 이를 통하여 저가형 GPS/INS시스템의 주요 센서인 IMU에 따라서 어느 정도의 정확도를 가질 수 있는가를 알 수 있고, 또한 GPS/INS 시스템 결과인 자세 및 위치결과를 이용하여 객체의 위치를 결정하는 Photologging시스템에서 어떠한 성능의 IMU 및 GPS/INS시스템을 사용할 것인지에 대하여 유용하게 쓰일 수 있다.

참고문헌

- [1] G. M. Siouris, Aerospace Avionics Systems, Academic Press, Inc., 1993.
- [2] 건설기술연구원, 수차사진측량기법과 GPS를 이용한 실시간 사진측량시스템 개발 연구보고서, 2000
- [3] D.H. Titterton, J.L. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology, Peter Peregrinus Ltd., 1997.
- [4] Oleg Salychev, Inertial Systems in Navigation and Geophysics, 1998.
- [5] Jay Farrel, The Gloval Positioning System and Inertial Navigation 1999