

자세 측정용 GPS/INS통합 시스템 개발

오천균 · 이재호 · 서홍석 · 성태경

*충남대학교 전기공학과 석사과정, **충남대학교 전자공학과 박사과정, ***충남대학교 정보통신공학부 조교수

A Development of Attitude GPS/INS Integration System

ChunGyun Oh · JaeHo Lee · HungSeok Seo · TaeKyung Sung

* Master Course, Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National Univ.

** Ph.D. Course, Dept. of Electronic Engineering, Chungnam National Univ.

***Assistance Professor, Div. of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National Univ.

Abstract - In order to provided continuous solutions, latest developing navigation systems tend to integrate GPS receiver with INS or DR. Using the GPS carrier-phase measurements, an attitude GPS receiver with three antennas obtain the 3-dimensional attitude such as roll, pitch, and heading as well as position and velocity. With these angle measurements, in the attitude GPS/INS integrated system, attitude or gyro errors can be directly compensated.

In this paper, we develop an integrated navigation system that combines attitude GPS receiver with INS. The performance of real-time integrated navigation system is determined by not only the implements of integration filter but also the synchronization of measurements. To meet these real-time requirements, the navigation software is implemented in multi-tasking structure in this paper. We also employ time-synchronization technique in the multi-sensor fusion. Experimental results show that the performance of the attitude GPS/INS integrated system is consistent even when cycle-slip occurs in carrier-phase measurements.

1. 서론

위성 전파 항법 시스템인 GPS(Global Positioning System)는 전세계 어디서나 항상 사용자의 위치, 속도, 시간 정보를 알아낼 수 있는 항법 시스템이다[1,2]. GPS의 항법해는 수신기의 잡음, 다중 경로 오차 등으로 인하여 단시간 안정성은 좋지 않지만 항상 일정한 범위 내에서 오차를 갖기 때문에 장시간 안정성은 우수하다. 그러나 GPS는 위성신호가 단절된 경우 항법해를 제공할 수 없다는 단점을 가진다. INS(Initial Navigation System)는 관성 센서인 자이로스코프와 가속도계를 이용하여 외부의 도움 없이도 연속적인 항법해를 제공하는 항법 시스템이다. INS는 단시간 안정성은 우수하지만 시간이 지날수록 오차가 누적하여 증가하기 때문에 장시간 안정성은 좋지 않다. 이러한 특성 때문에 최근에 개발되는 항법 장치는 GPS와 INS가 결합되는 GPS/INS시스템이 주를 이루고 있다.

자세 측정용 GPS 수신기[3]는 코드 측정치를 이용하여 위치해를 제공하는 것 이외에도 반송파 위상 측정치를 이용하여 항체의 자세를 제공한다. 3개 이상의 안테나가 설치된 자세 측정용 GPS 수신기는 3차원의 자세를 구할 수 있고 자세의 오차는 안테나간의 기저선 벡터의 길이, 수신기 잡음의 크기 등에 의해 결정되므로 관성센서의 오차를 보상함으로써 정확한 항법해를 얻을 수 있다[4].

본 논문에서는 자세 측정용 GPS수신기와 INS를 이

용하여 자세 측정용 GPS/INS 통합 시스템을 개발하였다. 하드웨어의 구성은 자세 측정용 GPS수신기, IMU, 항법 컴퓨터로 구성되었으며, 최적의 해를 구하기 위해 칼만 필터를 사용하였다. 데이터의 실시간 처리를 효율적이고 정확하게 처리하기 위해서 실시간 처리 소프트웨어를 데스크로 나누어 모듈화 하였다. 이와 더불어 통합 시스템의 칼만 필터 내에 시간 지연 오차를 최소화하기 위해 자세 측정용 GPS수신기와 INS간의 데이터 동기를 맞추었다. 소프트웨어의 모듈화와 센서 데이터의 시간 동기를 구현한 후, 차량 탑재 실험을 수행한 결과를 제시하였다.

2. 자세 측정용 GPS/INS통합 시스템

2.1 통합 항법 시스템 구성

2.1.1 통합 항법 시스템의 하드웨어 구성

통합 항법 시스템의 개발에 사용된 하드웨어의 구성은 그림 1과 같다. 3차원 자세 측정용 GPS 수신기는 약 1도의 자세 오차를 가지며, 자세 측정용 GPS수신기와 항법 컴퓨터는 SDLC(Synchronization Data Link Control) 프로토콜을 사용하여 데이터를 송수신하였다. 관성 센서로는 Crossbow사의 DMU-6X를 사용하였으며 RS-232직렬 통신을 이용하여 데이터를 송수신하였다. 항법 컴퓨터는 자세 측정용 GPS 수신기와 IMU(Inertial Measurement Unit)로부터 획득한 데이터를 이용하여 항법해를 계산하며, 이 결과를 모니터링 시스템인 PC로 전송한다. 통합 항법 시스템의 하드웨어 특성은 표 1과 같다.

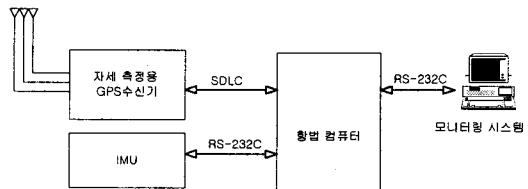


그림 1 통합 항법 시스템 하드웨어 구성

	제품	특징
GPS 수신기	3차원 자세 측정용 수신기	자세 오차: 약 1도 안테나 기저선 길이: 1m
IMU	Crossbow사 DMU-6X	자이로 바이어스: ±1 °/sec 가속도계 바이어스: ±10mG
항법 컴퓨터		32bit RISC CPU, 220Mhz

표 1. 통합 항법시스템의 구성: 하드웨어

2.1.2 통합 항법 시스템의 칼만 필터 구성

칼만 필터는 시스템의 동적 모델과 측정값의 통계적 특성을 이용하여 시스템의 상태 변수를 추정하는 최적의 LMV(Linear Minimum Variance) 필터이다. 칼만 필터의 특징은 시간 전파(time propagation)와 측정치 갱신(measurement update)으로 대표된다[5]. 칼만 필터는 오차보정 방식에 따라 피드 포워드 방식과 피드백 방식으로 구분되며, 피드백 방식은 시스템의 오차 전파 특성을 선형적으로 유지할 수 있으며 장시간 항법 수행시 피드포워드 방식보다 좋은 성능을 가진다[6]. 일반적인 GPS수신기의 경우 칼만 필터에 위치, 속도 측정치만을 제공하지만, 자세 측정용 GPS 수신기의 경우 위치, 속도 측정치뿐만 아니라 자세까지 측정치로 제공하기 때문에 IMU의 자이로스코프 오차를 정확히 보정할 수 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 피드백 방식으로 칼만 필터를 구성하여 자세 측정용 GPS수신기를 이용해서 INS의 성능을 개선하였다. 설계된 통합 필터는 위치오차, 속도 오차, 자세 오차, 자이로스코프 바이어스 오차, 가속도계 바이어스 오차를 상태 변수로 갖는 총 15 차 칼만 필터를 설계하였다.

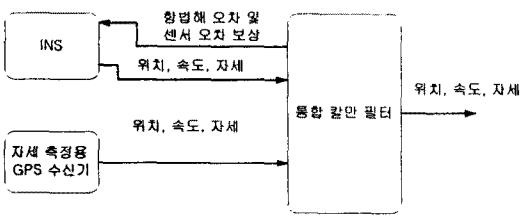


그림 2. 피드백 방식의 칼만 필터 구성

2.1.3 통합 항법 시스템의 소프트웨어 구성

시간 통합 항법 시스템 구현시 가장 먼저 고려해야 할 문제로는 데이터의 실시간 처리를 효율적으로 처리하기 위해서 각각의 태스크를 설정하고 이러한 태스크의 우선 순위를 선정하여 항법 컴퓨터에 구현하는 것이다. 이러한 우선 순위는 실시간 운영체제에서 설정되는 소프트웨어 인터럽트로 인해서 구분되어지며, 사용된 소프트웨어의 구조는 그림 3과 같다. 본 논문에서 사용된 IMU는 약 200Hz의 빠른 속도로 가속도와 각속도 정보를 출력하고, 이 출력된 정보는 RS-232C 직렬 통신을 이용해서 항법 컴퓨터에 전달된다. 실험에 사용된 IMU가 저가형인 관계로 출력의 잠음 성분이 크므로 항법 컴퓨터에서 20Hz로 평균을 계산하여 관성 항법해를 계산하였다. 자세 측정용 GPS수신기는 SDLC를 사용해서 항법 컴퓨터에 데이터를 1Hz의 속도로 전달하고, GPS 데이터와 INS 데이터의 동기를 위해 1PPS(Pulse Per Second)를 출력한다. 이 출력은 TTL신호로 펄스 형태로 출력되며, 이 신호를 항법 컴퓨터의 인터럽트 입력으로 사용하여 센서간의 동기를 맞추는데 사용한다. 본 논문에서 사용된 실시간 소프트웨어의 인터럽트는 IMU 인터럽트, SDLC 인터럽트, 1PPS 인터럽트, 내부 타이머 인터럽트가 사용이 되었고 통합 항법 시스템의 소프트웨어 구조는 그림 3과 같다.

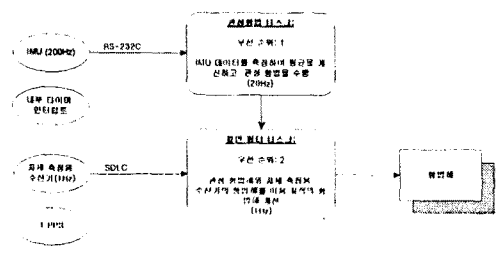


그림 3. 통합 시스템 소프트웨어 구조

3개 이상의 안테나를 사용한 자세 측정용 GPS수신기의 경우 항체의 속도와 무관하게 3차원 자세를 제공하므로 INS의 자세 오차를 정확히 보정할 수 있다. 그러나 자세 측정용 GPS수신기가 자세를 계산하기 위해서는 이중 차분된 반송파 정보에 포함되어 있는 미지정수(integer ambiguity)를 먼저 구해야 하는데 사이클 슬립(cycle-slip)이 발생하는 등의 원인으로 인해 자세를 구하지 못할 경우 통합 칼만 필터가 제대로 작동하지 못할 수 있다[4]. 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 그림 4와 같이 자세 측정용 GPS수신기와 항법 컴퓨터간의 통신 프로토콜을 위치, 속도에 관한 프로토콜과 자세에 관한 프로토콜로 각각 정의하였다. 이로 인해 자세 측정용 수신기가 정해진 시간 내에 자세를 구하지 못할 경우 위치, 속도 측정치만을 이용하여 측정치 갱신을 하고, 이와 반대로 정해진 시간 내에 자세를 계산하는 경우에는 위치, 속도, 자세 측정치를 이용해서 칼만 필터의 측정치 갱신이 이루어지도록 하였다.

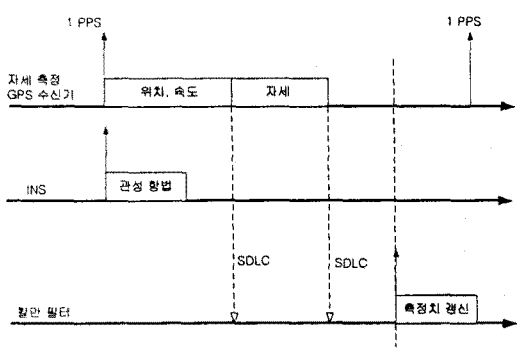


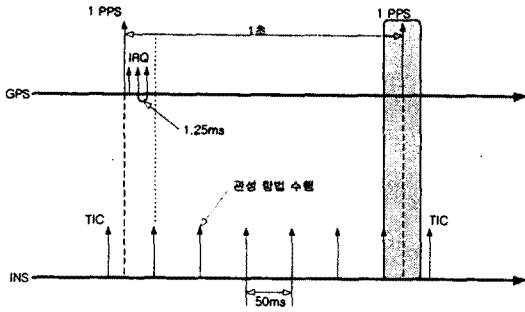
그림 4. 자세 측정용 GPS수신기의 프로토콜

자세 측정용 GPS수신기와 IMU를 이용한 약결합 방식의 통합 항법 시스템을 구성할 때, 두 항법 시스템의 시간 동기화에 대한 고려가 없을 경우 칼만 필터의 측정치 갱신을 위한 유수(residual)는 시간 지연 오차를 포함하게 된다. 이는 칼만 필터로 구성된 통합 항법 시스템의 오차 추정 및 보정에 영향을 미치게 되므로 통합 항법 시스템이 실시간 성능을 향상시키기 위해서는 자세 측정용 GPS수신기와 IMU간의 시간 동기를 고려하여야 한다.

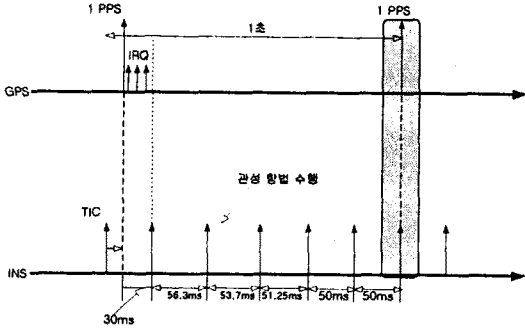
본 논문에서 사용된 항법 컴퓨터의 중앙 연산장치의 내부 타이머는 1.25msec마다 인터럽트를 발생시킨다. 이 인터럽트를 이용해서 시간표식(time tagging)신호인 항법 컴퓨터 내부 TIC을 발생시키는데, 이 신호는 50msec의 주기를 가진다. 이 TIC 신호가 생성될 때마다 그림 4의 관성 항법 태스크에서 관성 항법해를 계산한다. IMU 데이터가 RS-232C 직렬 통신을 통해 항법 컴퓨터에 저장되는데 걸리는 시간은 직렬 통신의 보오율(baudrate)이 38400bps이고 IMU데이터의 1패킷(packet)의 길이가 18바이트이므로 대략 5msec가 소요된다. 그러므로 자세 측정용 수신기 데이터와 IMU의 데이터를 3.8msec이내로 동기화 해야 한다.

본 논문에서는 GPS데이터와 IMU 데이터간의 동기를 맞추기 위해 항법 컴퓨터 내부 TIC과 GPS에서 제공한 1PPS신호를 이용하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다. 1PPS신호는 GPS수신기에서 매 초마다 제공하는 펄스 타이밍의 신호로 수백의 정확도를 가진다. 항법 컴퓨터에서는 1PPS신호가 발생한 후 다음 TIC의 발생할 때까지의 시간을 내부 타이머를 이용해 측정하고, 이를 이용해 다음 1PPS신호가 TIC과 동시에 발생할 수 있도록 TIC의 주기를 조절한다. 이러한 알고리즘의 경우 시간 동기를 내부 타이머가 발생하는 시간 간격인 1.25msec 정도의 오차로 조절할 수 있으므로 IMU데이터가

RS-232C 직렬 통신을 통해 항법 컴퓨터에 저장되는데 걸리는 시간인 3.8msec 이내로 시간 동기를 맞출 수 있다. 그림 5에서 1PPS 신호와 항법 컴퓨터 내부의 TIC의 오차가 30msec가 발생한 경우 TIC의 시간 주기를 조절하여 1PPS신호와 동기를 맞추는 것을 볼 수 있다.



(a) 시간 동기 알고리즘 미적용



(b) 시간 동기 알고리즘 적용

그림 5. 시간 동기 타이밍도

2.2 실험 결과

본 논문에서 구현한 자세 측정용 GPS/INS 통합 시스템의 성능을 평가하기 위하여 주행 실험을 하였다. 주행 시간은 500초 정도이고, 자세 측정용 GPS수신기의 안테나 기저선 길이는 1m로 하였다. 주행 궤적은 그림 6에 나타내었으며 차량의 속력은 그림 7과 같다. 그림 6과 7의 결과에서 알 수 있듯이 자세 측정용 수신기를 사용한 통합 시스템의 경우 저속 주행 중에도 정확한 INS 오차 보정을 수행하였다.

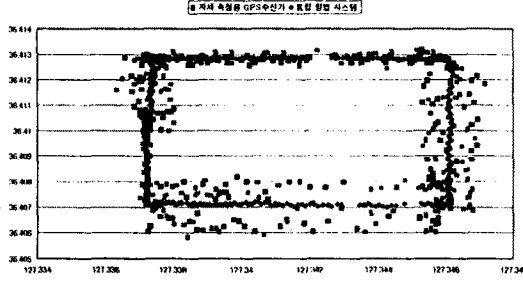


그림 6. 주행 실험 결과

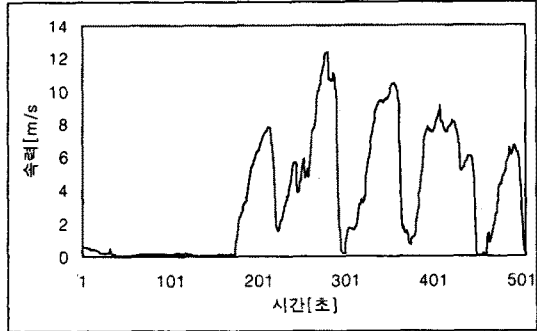


그림 7. 차량의 속력

실험 도중, 약 400초 부근에서 사이클슬립 (Cycle-slip)으로 인하여 3차원 자세 측정용 수신기에서 자세를 잘못구하는 경우가 발생을 하였는데, 본 논문에서는 자세 측정용 수신기가 자세를 구하지 못할 경우를 위해, 자세 측정용 수신기와 항법 컴퓨터의 통신 프로토콜을 위치, 속도 프로토콜과 자세 프로토콜로 나누었기 때문에 자세를 잘못구하는 경우에도 통합 항법 시스템의 자세를 제대로 구할 수 있었다.

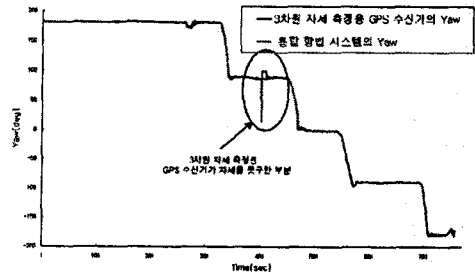


그림 8. 자세결과

3. 결 론

본 논문에서는 자세 측정용 GPS 수신기와 INS를 이용한 통합 항법 시스템을 구성하였다. 데이터의 실시간 처리를 효율적으로 하기 위해 센서 데이터간의 시간 동기를 맞추고, 소프트웨어를 태스크별로 나누어 모듈화 하여 설계하고 구현하였다. 이를 구현하여 차량 탑재 실험을 실시하여 성능을 확인하였다. 시험 결과, 자세 측정용 수신기에서 사이클슬립이 발생할 경우에도 통합시스템은 정확한 자세를 구할 수 있었으며, 위치 해의 경우 GPS 단독해에 비해 오차를 크게 줄일 수가 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. W. Parkinson, J. J Spliker "Global Positioning System: Theory and Application", AIAA, Washington, 1996
- [2] Elliott D. Kaplan, "Understanding GPS: Principles and Applications", artech House, MA, 1996
- [3] 박일규, "상용 칩셋을 이용한 자세측정 GPS수신기 성능 해석", Proceedings of 98 GPSWorkshop, pp. 671-674, 1998
- [4] 이재호, 서홍석, 성태경, 이상정"자세 결정용 GPS수신기와 DR을 이용한 통합 시스템", Trans. KIEE, pp. 72-79, 2001
- [5] Brown, Hwang, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering", John Wiley & Sons, 1997
- [6] Peter S.Maybeck, "Stochastic Models, Estimation, and Control", Vol. 1, Academic Press, 1979