

3차원 자세 결정용 GPS 수신기를 이용한 CDGPS/INS 통합 시스템 설계

이기원 · 이재호 · 서홍석 · 성태경

*충남대학교 전기공학과 석사과정,

**충남대학교 전자공학과 박사과정,

***충남대학교 정보통신공학부 조교수

A Development of CDGPS/INS integrated system with 3-dimensional attitude determination GPS Receiver

Ki-Won Lee · Jae-Ho Lee · Hung-Seok Seo · Tae-Kyung 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

Abstract - For precise positioning, GPS carrier measurements are often used. In this case, accurate position having mm~cm error can be obtained. For 3D positioning, in CDGPS, more than five carrier phase measurements are required. When GPS signals are blocked or carrier phase measurements are insufficient, it cannot provide positioning solution. By integrating CDGPS with INS, continuity of positioning solution can be guaranteed. However, when a vehicle moves in low speed or in stationary, the CDGPS/INS integrated system is difficult to compensate INS attitude errors because GPS velocity error become relatively large. In this paper, we used the 3D attitude GPS receiver to compensate the INS attitude error. By field experiments, it is shown that the proposed integration system maintains the navigation performance even when a vehicle is in low speed or GPS signal is blocked for a period of time.

1. 서 론

최근 전파를 이용하여 위치를 구하는 방법이 항법 분야에 각광 받고 있다. 특히, 위성 전파 항법 시스템인 GPS (Global Positioning System)는 전 세계 어디서나 항상 일정한 항법 해를 제공한다[1]. 일반적인 GPS 혹은 DGPS (Differential GPS)는 수 십m 또는 수 m 정도의 오차를 갖는 항법 정보를 얻을 수 있으며[2], GPS 반송파 정보를 이용한 정밀 측위 방법인 CDGPS (Carrier phase DGPS)를 이용할 경우에는 수 cm 수준의 항법 정보 정확도를 얻을 수 있다[3]. 그러나, 일반적으로 CDGPS 정밀 측위 방법은 측위 오차는 작으나 계산량이 많다는 단점을 갖고 있다. 따라서 작업 시간 단축을 위해서는 고속 RTK (Real Time Kinematics) 측위 알고리즘 개발이 필요하고, 이와 함께 실시간 미지정수 결정 알고리즘의 개발이 필요하다.

GPS나 DGPS 만을 이용하여 항법을 수행하는 경우 전파 차단 시, 항법 정보를 연속적으로 제공할 수 없다. 최근 이러한 단점을 해결하기 위해 INS와 CDGPS의 통합 시스템이 개발되고 있다. INS는 자이로스코프, 가속도 센서등과 같은 관성 센서들로 구성되어진 자가 항법 시스템이다. 정밀 측위 시스템을 개발할 때 사용자의 용도에 따라 성능 및 가격 등이 고려되어야 한다. CDGPS/INS 시스템은 저가형의 IMU를 이용하여 구현할 수도 있으며, 이때 저가형 IMU의 성능을 고려하여 센서의 오차 보상을 해야한다.

3차원 자세 결정용 GPS(Attitude determination GPS; AGPS)수신기는 항체의 위치, 속도, 시간뿐만 아니라 항

체의 자세각 정보도 제공하므로 이를 이용하여 IMU 센서의 오차를 보정할 수 있다. 다시 말해 3차원 자세 결정용 GPS수신기를 이용한 CDGPS/INS 통합 시스템은 연속적이면서 실시간으로 정확한 항법 데이터를 제공할 수 있는 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 3차원 자세 결정용 수신기를 이용하여 연속적이면서 실시간으로 정확한 항법 데이터를 제공하는 CDGPS/INS 통합 항법 시스템을 설계하고 이를 사후 처리(post processing)로 구현하였다. 이에 대한 검증 절차로 정지 상태에서의 실험 및 차량 탑재 실험을 수행하여 그 결과를 나타내었다.

2. 3차원 자세 결정용 GPS 수신기를 이용한 CDGPS/INS 통합 시스템 설계

2.1 통합 항법 필터

측정된 반송파 위상은 위성과 수신기 사이의 거리에 미지정수가 더해진 값으로 나타나므로, CDGPS의 항법 해를 구하기 위해서는 미지정수를 결정해야 한다[4]. 이러한 미지정수는 해석적으로 구할 수 없기 때문에 검색에 의한 방법으로 구해야 하며 이를 구하기 위한 방법에는 LAMBDA[5], AFM[6], LSAST[7], ARCE[8]등 여러 가지 방법이 있다. 본 논문에서는 실시간 항법을 위하여 매 epoch의 측정치를 이용하는 ARCE 방법을 사용하였다. ARCE는 반송파 위상 측정식에서 사용자의 위치항을 제거함으로써 사용자의 위치에 무관한 제한 조건식을 유도하고, 이로부터 미지정수의 항 중 3개의 항만이 독립임을 이용하여 3개의 독립 미지정수만을 검색하는 방법이다[8].

3차원 AGPS는 3개 이상의 안테나를 이용하여 항체의 자세를 측정할 수 있는 시스템이다. 따라서, 3차원 AGPS 수신기를 이용하면 항체의 초기 자세를 정확하게 구할 수 있으며, 항체의 자세 및 자이로 오차를 정확히 보상할 수 있다. 또한, 수 cm이내의 위치 정확도를 가지는 CDGPS를 통합하면, 위치 및 속도에 대한 오차를 정확히 보상할 수 있다. 즉 3차원 AGPS, CDGPS 그리고 INS를 통합한 항법 시스템은 오차가 누적되지 않고 연속적인 정확한 항법 해를 구할 수 있다.

본 논문에서는 오차 보상을 위해 통합 칼만 필터를 구현하였으며 INS 항법 오차와 센서 오차를 모델링 하였다. 항법 오차 모델로는 위치, 속도, 자세 모델을 사용하며, 센서 모델로는 자이로스코프 바이어스 오차, 가속도계 바이어스 오차를 사용하였다. 통합 칼만 필터의 차수는 15차이며 GPS의 항법 해를 이용하여 INS 센서 오차를 보정하는 방식인 약결합 방식으로 구현하였다[9]. 그림 2.1은 3차원 AGPS 수신기를 이용한 CDGPS/INS 필터의 구조이다.

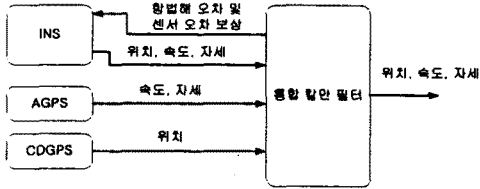


그림 2.1 3차원 AGPS 수신기를 이용한 CDGPS/INS 통합 필터의 구조

2.2 INS를 이용한 CDGPS보정 알고리즘

GPS의 반송파 위상 측정치를 이용하기 위해서는 한정된 범위를 검색하여 미지정수를 구해야 한다. GPS의 코드 측정치만을 이용하는 경우 넓은 범위를 검색하는 반면 CDGPS/INS통합 항법 시스템의 위치 추정치를 이용하면 검색 범위를 대폭 줄일 수 있다. 또한 GPS의 반송파 위상 측정치만을 이용하면 사이클 슬립 발생에 대한 대처가 어려운 단점이 있으나, CDGPS/INS통합 항법 시스템의 위치 변위량을 이용하여 이러한 단점을 쉽게 보완할 수 있다.

2.2.1 INS를 이용한 검색 범위 축소

INS로 추정된 위치 정보를 이용하여 미지정수를 예측하고 INS의 위치 오차 공분산을 이용해 검색 범위를 축소시킨다. INS로 추정된 위치의 오차 범위 내에서 미지정수 검색을 실시하므로 정확한 미지정수를 구할 확률이 증가하고, 검색 후보 개수의 감소로 계산량을 줄일 수 있다. INS를 이용한 검색 범위를 축소하는 방법을 그림 2.2에 나타내었다.

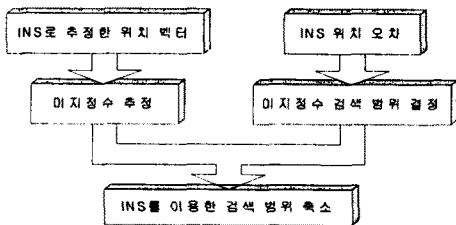


그림 2.2 INS를 이용한 검색 범위 축소 방법

2.2.2 INS를 이용한 사이클 슬립 검출

본 논문에서는 사이클 슬립을 검출하기 위하여 이중 차분된 반송파 위상 측정치를 시간간 차분하여 INS로 추정된 위치 변위량과 비교하였다. 위성간 차분을 포함시키지 않게 되면 기준국과 사용자간의 클럭 바이어스의 차가 나타나게 되므로 사이클 슬립 검출이 어렵게 된다. 따라서 위성간 차분을 포함한 삼중 차분을 사용하였다. 삼중 차분된 반송파와 INS의 위치 변위량을 이용해 사이클 슬립을 검출하는 방법을 그림 2.3에 나타내었다.

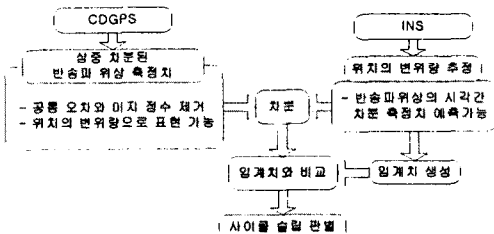


그림 2.3 INS를 이용한 사이클 슬립 검출 방법

2.3 센서 데이터의 동기

반송파 위상 측정치를 얻을 수 있는 상용 GPS 수신기를 사용하여 CDGPS를 구현하였으며, 항체의 속도 및 자세각 정보를 얻기 위해 3차원 AGPS 수신기를 사용하였다. 저가형 IMU 센서를 사용하여 INS 시스템을 구현하였으며, 이때 사용된 센서 출력 데이터의 동기를 고려하였다.

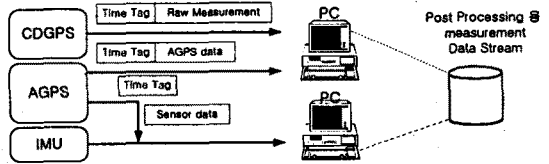


그림 2.4 센서 데이터 동기 시스템 구조도

그림 2.4와 같이 3차원 자세 측정용 GPS 수신기를 이용하여 IMU와 AGPS와의 동기를 맞추었으며, CDGPS는 GPS의 시간 정보를 이용하여 동기를 맞추었다. 3차원 자세 측정용 GPS수신기에서 100ms마다 time tag를 출력하여 PC를 이용하여 time tag가 들어올 때 마다 IMU데이터를 읽어 들이게 된다. AGPS수신기의 항법 및 자세 데이터가 1초단위로 출력되므로 1ms의 time tag를 1초마다 항법데이터에 포함 시켜서 AGPS 데이터를 출력시킨다. 이와 같이 출력된 AGPS 데이터와 1ms Time tag를 포함한 IMU 데이터를 PC에서 동기를 맞추어 준다. 마찬가지로 1초마다 출력된 CDGPS 데이터의 GPS 시간 정보를 이용하여 세 가지 센서의 동기를 맞추게 된다. 이때, 최대도 발생할 수 있는 동기 오차는 5ms이다.

2.4 통합 항법 필터 실험 결과

본 논문에서 구현한 통합 항법 시스템의 성능을 검증하기 위하여 항법 시스템을 차량에 탑재한 후 도로 주행 실험을 수행하였다. 차량 탑재 실험에서는 반송파 측정치를 이용하여 참 미지정수를 결정하기 위한 정지 모드와 결정된 참 미지정수를 이용하여 통합 항법을 수행하기 위한 주행 모드로 나누어 실험을 수행하였다.

2.4.1 정지 모드 실험

통합 항법 필터를 구현하기 위해서는 초기에 참 미지정수와 항체의 초기 자세를 정확히 알아야 한다. 따라서 정지 모드 실험에서는 정지 상태에서 장시간 동안 얻은 반송파 위상 측정치를 이용해 초기 참 미지정수를 결정하였다. 사용자의 위치가 정지해 있는 경우 결정된 참 미지정수로 구한 위치가 한 점에 계속 머물러 있어야 하지만 잘못된 미지정수가 선택되면 시간이 지남에 따라 위성의 배치가 변화하여 사용자의 위치가 변화한다[10]. 이를 이용하여 결정된 미지정수의 유효성 테스트를 실시하였다. 결정된 참 미지정수를 이용하여 초기 정지 상태에서의 위치와 적절한 주행 후 정지 상태에서의 위치를 비교한 유효성 테스트의 결과를 그림 2.5에 나타내었다.

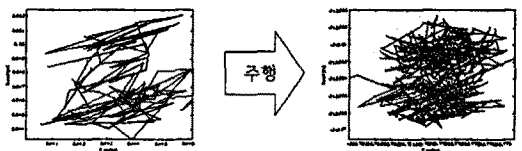


그림 2.5 유효성 테스트 결과

위와 같은 미지정수 유효성 테스트의 결과 구해진 미지정수가 참 미지정수임을 확인할 수 있었다.

2.4.2 주행 모드 실험

주행 모드에서는 정지 모드에서 결정된 참 미지정수를 이용하여 통합 항법을 수행하게 되며, INS의 위치 추정치를 이용한 미지정수 검색 범위 축소와 사이클 슬립 검출을 실시하여 정확한 INS의 오차 보정을 통해 정밀한 항법을 수행하게 된다. 통합 항법 실험을 통하여 위치와 자세에 대한 데이터를 그림 2.6과 2.7에 나타내었다.

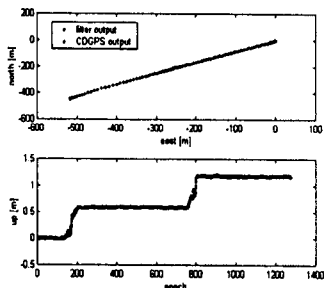


그림 2.6 통합 필터의 위치해

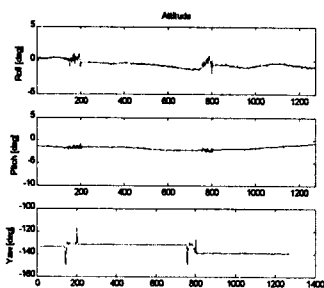


그림 2.7 통합 필터의 자세해

그림에서 알 수 있듯이 정지 상태 및 저속 상태에서 INS의 위치 및 자세에 대한 오차 보정이 효과적으로 이루어진 것을 알 수 있다. 그러므로 효과적인 INS 오차 보정으로 인해 정확한 속도 및 위치, 자세의 항법 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

2.4.3 INS를 이용한 CDGPS 보정 실험

가시 위성의 변화가 있는 경우 미지정수를 다시 구하게 되는데 이때의 검색 범위를 비교하였다. 표 2.1에 검색 범위 축소 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 검색 범위 축소 알고리즘을 가동하였을 때와 하지 않았을 경우를 각각 비교하였다.

표 2.1 검색 범위 결정 알고리즘의 비교

	미지정수 후보의 개수	미지정수 결정에 요구되는 시간
가동하지 않은 경우	3375 개	512 epoch
가동한 경우	27 개	1 epoch

표 2.1에서 나타난 것과 같이 검색 범위 축소 알고리즘으로 인해 계산량 감소 및 미지정수 결정 확률을 높일 수 있었다.

사이클 슬립 검출 알고리즘 성능을 평가하기 위하여 임의의 사이클 슬립을 첨가하여 통합 항법 수행 시 정확하게 첨가된 사이클 슬립을 검출하는지 확인하였으며, 그 결과를 그림 2.8에 나타내었다.

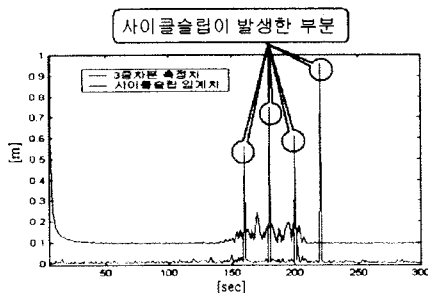


그림 2.8 사이클 슬립이 발생한 부분

사이클 슬립 검출 실험 결과 4번에 걸친 사이클 슬립을 모두 검출 할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 3차원 자세 결정용 GPS수신기를 이용한 CDGPS/INS 통합 항법 시스템에서 CDGPS의 정밀한 위치 결과를 이용해 INS의 속도 및 위치 오차를 보정하고, 3차원 자세 결정용 GPS수신기의 자세각 정보를 이용해 INS의 자세각 오차를 보정하였다. 또한 INS의 위치 추정치를 이용하여 CDGPS의 검색범위 축소와 사이클 슬립 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 차량 실험을 통해 제안된 알고리즘을 이용하면 계산량을 줄일 수 있는 동시에 사이클 슬립에 강인하게 동작됨을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Parkinson, B., T. Stansell, R. Beard and K. Gromov, "A History of Satellite Navigation", NAVIGATION: journal of the Institute of Navigation, Vol. 42, No. 1, pp. 109-164, 1995.
- [2] Loomis, P., G. Kremer and J. Ryenolds, "Correction Algorithms for Differential GPS Reference Stations", NAVIGATION: journal of the Institute of Navigation, Vol. 36, No. 2, 1989.
- [3] Erickson, C., "An Analysis of Ambiguity Resolution Techniques for Rapid Static GPS Surveys Using Single Frequency Data", Proceedings of ION GPS-92, 1992.
- [4] DeLoach, S.R., D. Wells and D. Dodd, "Why On the Fly?", GPS World, Vol. 6, No. 5, pp. 53-58, 1995.
- [5] Teunissen, P.J.G., "A New Method for Fast Carrier Phase Ambiguity Estimation", Proceedings of IEEE Position, Location and Navigation Symposium, Las Vegas, Nevada, pp. 562-573, 1994.
- [6] Counselman, C.C., and S.A. Gourevitch, "Miniature Interferometer Terminals for Earth Surveying: Ambiguity and Multipath with Global Positioning System", IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-19, No. 4, Oct, 1981.
- [7] Hatch, R., "Instantaneous Ambiguity Resolution", Proceedings of KIS Symposium, Banff, Canada, 1990.
- [8] C. S. Park, J. G. Kim, G. I. Jee, "Efficient Ambiguity Resolution with Constraints Equation", Proceedings of IEEE PLANS'96, Atlanta, Georgia, 1996.
- [9] H. S. Seo, T. k. Sung, S. J. Lee, "A GPS/DR Integration Scheme using Carrier Measurements", Trans. KIEE. Vol. 48A, NO. 10, OCT. 1999.
- [10] Goodwin, G.C. and R.L. Payne, "Dynamic System Identification: Experiment Design and Data Analysis" Academic Press, 1977.