

간섭에 대한 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템의 성능 평가

김정원*, 황동환**

*충남대학교 전자공학과

**충남대학교 전기정보통신공학부

Performance Evaluation of Deeply Coupled System GPS/INS Integrated Navigation System Against Interference

Jeong Won Kim* and Dong-Hwan Hwang**

*Department of Electronics Engineering, Chungnam National University

**School of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University

Abstract - 본 논문에서는 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템의 A/J 성능 평가를 위한 실험 시스템 구성 및 평가 결과를 제시하고자 한다. 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템에서는 일반적인 수신기의 A/J 성능 판단 기준인 'loss-of-lock'을 이용하여 성능을 판단하기 어렵기 때문에 실험 시스템을 구성하여 성능을 평가하고자 한다. 구성된 실험 시스템을 이용하면 여러가지 간섭 신호에 대한 실험이 가능하며, 실험 결과에서 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템의 성능이 A/J 기법 중 하나인 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법보다 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

1. 서 론

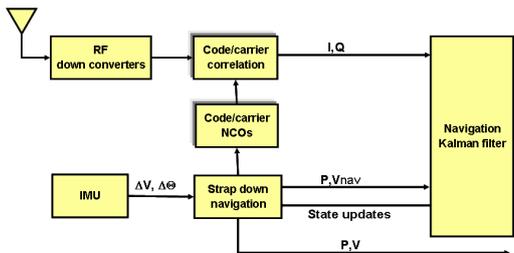
간섭에 취약한 GPS(Global Positioning System)의 성능을 향상시키기 위한 여러 가지 A/J(Anti-Jamming) 기법들이 제시되고 있으며 상관 전 기법과 상관 후 기법으로 나눌 수 있다. INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법, 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템은 상관 후 A/J 기법으로 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법은 일반적인 수신기에 비하여 J/S(Jammer-to-Signal)이 약 25dB 정도 향상되는 것으로 알려져 있다[1][2]. 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템은 이것보다 10 - 15dB정도 높은 것으로 알려져 있지만 심층 결합 GPS/INS 통합 시스템에서는 신호 추적 루프가 통합 필터에 포함되어 일반적인 수신기의 A/J 성능 평가 지표인 'loss-of-lock'으로 성능을 평가하기 어렵다[3][4].

본 논문에서는 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템의 A/J 성능 평가 결과를 제시하고자 한다. 성능을 평가하기 위하여 GPS, IMU 시뮬레이터 및 신호 발생기로 이루어진 실험 시스템을 구성하였다. 실험 시스템은 여러 가지 항체의 운동에 대한 GPS 신호와 IMU 측정치를 생성할 수 있고 신호 발생기를 이용하여 간섭을 인가할 수 있다. 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템의 A/J 성능은 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법과 비교하여 평가하였다.

2절에서는 간섭의 영향에 대하여 기술하였고 3절과 4절에서는 실험 시스템 구성 및 이를 이용한 실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 결론 및 추후 연구 과제를 제시하도록 한다.

2. 심층 결합 통합 항법 시스템에서의 간섭의 영향

그림 1은 심층 결합 GPS/INS 통합 시스템의 구조를 나타낸 것이다.



<그림 1> 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템 구조

심층 결합 통합 필터의 측정치는 I(In-phase), Q(Quadrature) 상관값으로 다음 식(1)과 같다.

$$z(k) = \begin{bmatrix} I(k) \\ Q(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{P}}{T} \frac{\sin(\pi\delta f_D(k)T)}{(\pi\delta f_D(k)T)} R(\delta\tau(k)) \cos(\delta\theta(k)) \\ \frac{\sqrt{P}}{T} \frac{\sin(\pi\delta f_D(k)T)}{(\pi\delta f_D(k)T)} R(\delta\tau(k)) \sin(\delta\theta(k)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{n}_I(k) \\ \bar{n}_Q(k) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 P 는 수신 신호 전력, T 는 상관기 적분 시간, δf_D 는 추정한 도플러 주파수 오차, $\delta\tau$ 는 추정한 전파 지연 시간 오차, $\delta\theta$ 는 반송파 위상 오차이다. 측정 잡음 \bar{n}_I 와 \bar{n}_Q 의 분산은 열잡음만 존재하는 경우 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_n^2 = N_0 T \quad (2)$$

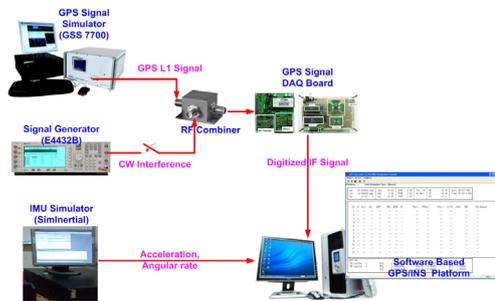
여기서 N_0 는 잡음 전력 밀도이다. 간섭이 인가되었을 때, 잡음의 분산은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_n^2 = N_0 T + \frac{T_c T J^2}{2} = \left(1 + \frac{T_c J^2}{2N_0} \right) N_0 T \quad (3)$$

여기서 J 는 간섭 신호의 전력이고, T_c 는 코드의 주기이다. 식(3)에서 볼 수 있듯이 간섭이 인가되었을 때에는 통합 필터의 측정치인 I, Q 상관값의 잡음이 증가하고 이로 인하여 추정 오차가 증가할 수 있다.

3. A/J 성능 평가를 위한 실험 시스템 구성

A/J 성능 평가를 위한 실험 시스템 구성은 그림 2와 같다.

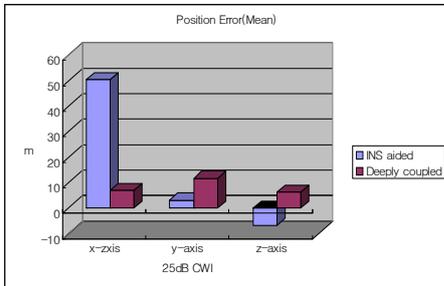


<그림 2> 실험 시스템 구성

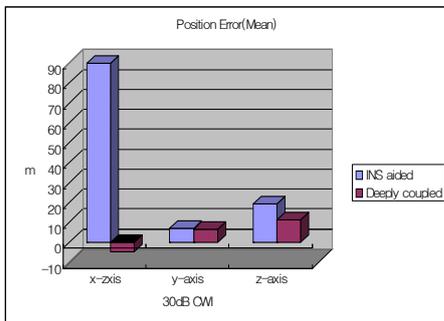
실험 시스템은 신호 생성부, 신호 수집부, 그리고 신호 처리부로 구성된다. 신호 생성부는 GPS, IMU 시뮬레이터 및 신호 발생기로 이루어진다. GPS 시뮬레이터는 주어진 시나리오에 대하여 GPS L1, L2 RF 신호를 생성해주며 사용자가 신호 전력, 지연 오차 크기 등을 조절할 수 있다. IMU 시뮬레이터는 가속도와 자이로의 출력을 제공하며 마찬가지로 사용자가 원하는 센서 오차를 추가할 수 있다. 간섭 신호를 생성하는 신호 발생기는 CW(Continuous Wave), FM(Frequency Modulation), AM(Amplitude Modulation) 등의 여러 가지 형태의 신호를 전력을 조절하며 생성할 수 있다. 신호 수집부는 GPS 신호 수집 보드로 구성된다. GPS 신호 수집 보드는 GPS 시뮬레이터와 신호 발생기 출력 신호를 RF 초단부를 거쳐 하향 변환 및 이산화한 후 USB를 통하여 호스트 PC로 전송한다. 신호 처리부 소프트웨어는 파일로 저장된 GPS IF신호와 IMU 측정치를 읽어들이어 통합 항법 결과를 출력한다.

4. 성능 평가

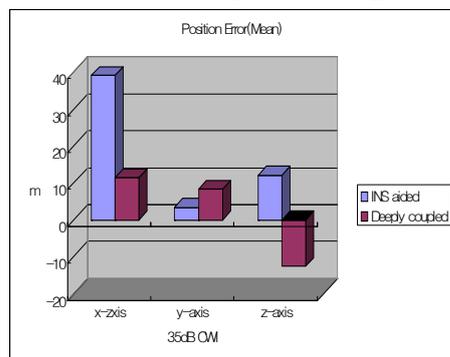
심층 결합 통합 항법 시스템의 성능은 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법과 비교하여 평가하였다. 간섭 신호는 CW 간섭을 사용하고 25dB, 30dB, 35dB로 J/S를 조절하면서 결과를 확인하였다. 그림 3은 각각의 J/S에 대한 위치 오차의 평균을 나타낸 것이고 그림 4는 표준 편차를 나타낸 것이다.



<A> 25dB J/S에서의 위치 오차 평균

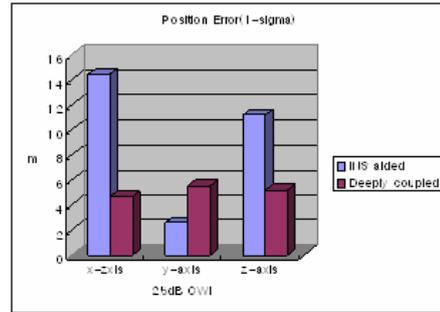


 30dB J/S에서의 위치 오차 평균

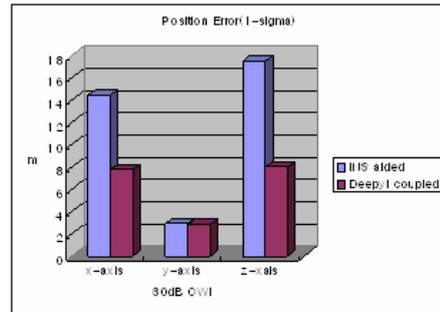


<C> 35dB J/S에서의 위치 오차 평균
<그림 3> J/S에 따른 위치 오차 평균

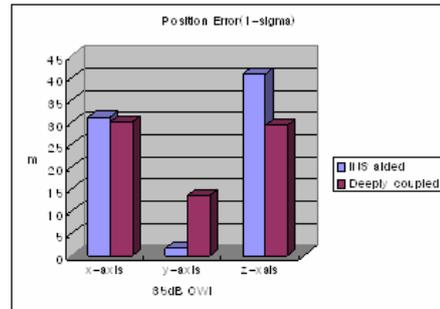
이 결과에서 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법의 각 축의 위치 오차 평균이 심층 결합 통합 시스템 보다 10m에서 80m 정도 큰 것을 알 수 있다.



<A> 25dB J/S에서의 위치 오차 표준 편차



 30dB J/S에서의 위치 오차 표준 편차



<C> 35dB J/S에서의 위치 오차 표준 편차
<그림 4> J/S에 따른 위치 오차 표준 편차

위치 오차 표준 편차를 비교한 결과에서도 심층 결합 통합 시스템의 위치 오차 표준 편차가 작은 것을 볼 수 있으며 이로부터 간섭에 대한 심층 결합 통합 시스템의 성능이 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법보다 우수한 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 GPS, IMU 및 신호 발생기와 신호를 수집하고 처리할 수 있는 H/W와 S/W를 이용하여 A/J 성능을 평가할 수 있는 실험 시스템을 구성하였으며 이를 이용하여 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템의 A/J 성능을 평가하였다. CW 간섭을 사용한 실험에서 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템은 INS의 속도 정보를 신호 추적 루프에 인가하는 기법보다 정확한 항법 결과를 제공하는 것을 알 수 있었다.

보다 정확하게 성능을 평가하기 위해서는 여러 번의 실험으로부터 결과를 도출하여야 할 것이며, 앞으로 구성된 실험 시스템을 이용하여 다른 간섭 신호에 대한 실험을 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mario M. Casabona and Murray W. Rosen, "Discussion of GPS Anti-Jam Technology," *GPS Solutions*, Volume 2, Number 3, pp. 18-23, 1999.
- [2] Aron Pinker and Charles Smith "Vulnerability of the GPS Signal to Jamming," *GPS Solutions*, Volume 3, Number 2, pp. 19-27, 1999.
- [3] Steve Rounds, "Jamming Protection of GPS Receivers: Part I: Receiver Enhancements," *GPS World*, pp 22-34, Jan., 2004
- [4] Anthony Abbott, "Antijamming and GPS for Critical Military Applications," *Satellite Navigation*, Volume 3, Number 2, 2002