

Study on Observability Enhancement of SDINS in-flight using GPS

Carrier Phase Measurements

박준구, 박찬국**, 이장규***

* 서울대학교 전기공학부 (E-mail: pjg@asrignc3.snu.ac.kr)

** 광운대학교 제어계측공학과 (E-mail: cgpark@daisy.kwangwoon.ac.kr)

*** 서울대학교 전기공학부 (E-mail: jgl@asrignc.snu.ac.kr)

Abstract : For its synergistic relationship, an integrated SDINS/GPS system has been adopted in many navigation areas. As an application of SDINS/GPS integration, the in-flight alignment process of a SDINS utilizing GPS carrier phase measurements is introduced and analyzed via an observability analysis using null space method. A measurement model of double-differenced GPS carrier phase measurements is newly derived in order to be used with a SDINS error model. Also, conditions for determining the complete observability of a SDINS/GPS system are suggested and proved. Consequently, it is shown that the system is not completely observable in case of one baseline. With one baseline aligned with y-axis of body frame, pitch error and x-axis accelerometer bias are unobservable states. Also shown is that all states are completely observable when sequential maneuver is performed. Above results are confirmed by a covariance analysis.

Keywords: SDINS/GPS integration, in-flight alignment, observability

1. 서론

GPS(Global Positioning System)는 전세계 도처에 있는 사용자에게 3 차원적인 위치, 속도 정보를 제공한다[1]. 또한 잘 알려진 특성으로 다중안테나 구조를 갖는 시스템에 있어서는 GPS 반송파 측정치를 이용하는 경우에 상대적으로 정확한 자세정보를 제공한다[2].

관성항법시스템(INS:Inertial Navigation System)은 자이로나 가속도계 등의 관성센서를 이용하여 항체의 위치를 제공하는 정밀한 측정기이다. 또한 외부의 도움없이 운용가능한 시스템으로 외부의 교란(jamming)에 강한 특징을 갖는다[3].

항법해 계산과정의 적분연산의 특성상 항법 오차는 시간이 지남에 따라 증가하는 특징을 갖는다. 따라서 상용시스템에 많이 채택되고 있는 저급의 INS 는 운항 중에 위치, 속도 및 자세 정보를 제공하는 외부의 보조센서를 이용하여 오차 보정을 함으로써 항법오차 발산을 억제한다 [4].

INS 와 GPS 의 결합 항법 성능은 시너지 효과를 나타낸다. 따라서 두 센서의 결합기법 연구의 필요성은 증대되고 있다. 일반적으로 결합 시스템의 항법필터는 칼만필터가 주로 채택된다[1,4,5].

최근에 이중 차분된 GPS 반송파 위상 정보를 이용한 INS/GPS 결합기법에 대한 몇몇 연구결과가 발표되고 있다[6-8]. 이러한 결합기법에서는 정확한 자세 정보가 이용된다.

항법 시작전이나 운항중의 SDINS 의 정렬은 항법 좌표계와 동체 좌표계 사이의 자세 정보를 결정하는 중요한 과정이다. 정렬에 관하여 가관측성 분석기법을 채용한 많은 연구가 진행되었다. 연구 결과 정지시 정렬을 수행하는 SDINS 는 비가관측한 상태변수가 존재한다는 사실이 알려졌다[9-11].

선형시스템의 가관측성은 시스템의 입력과 출력 정보를 이용하여 상태변수를 결정하는 가능성을 나타낸다. 불규칙 시스템의 경우에는 가관측성이 추정자의 안정성을 나타낸다. 일반적으로 가관측성 분석은 다음과 같은 2 가지 그룹으로 구분된다. 하나는 완전 가관측성(complete observability)이며

다른 하나는 가관측 정도(degree of observability)다.

본 논문에서는 이중 차분된 반송파 위상정보를 이용한 SDINS/GPS 결합시스템의 운항중 정렬에 대한 완전 가관측성 분석을 수행한다. 가관측 정도 분석을 위하여 공분산 해석기법을 이용한 시뮬레이션을 수행한다.

2 장에서는 SDINS 의 운항중 정렬 오차 모델을 기술한다. 3 장에서는 이중 차분된 반송파 위상 측정모델을 유도한다. 4 장에서 결합시스템의 완전 가관측 조건을 제시한 후 공분산 해석결과를 5 장에 기술한다. 마지막으로 결론을 6 장에서 맺는다.

2. SDINS 오차 모델 논문

본 논문에서는 NED(North-East-Down) 좌표계를 항법 좌표계로 채택하였으며 가속도계와 자이로의 오차는 랜덤상수(random constant)로 모델링 하였다[11]. 시스템 모델은 다음과 같다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + w(t), \quad w(t) \sim N(0, Q)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_f \\ \dot{x}_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & T \\ 0_{6 \times 6} & 0_{6 \times 6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_f \\ x_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_f \\ 0_{6 \times 1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 w_f 는 공정 잡음이고 x_f 와 x_a 는 상태변수이다. 시스템 행렬 F 는 다음과 같다.

$$F \equiv \begin{bmatrix} F_{11} & \vdots & F_{12} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0_{3 \times 3} & & F_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$F_{11} = \begin{bmatrix} -(2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n)^x \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad F_{12} = \begin{bmatrix} (a^n)^x \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$F_{22} = \begin{bmatrix} -(\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n)^x \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$\omega_{ie}^n = [\Omega \cos L \quad 0 \quad -\Omega \sin L]^T$$

$$\omega_{en}^n = [\rho_N \quad \rho_E \quad \rho_D]^T = [j \cos L \quad -\dot{L} \quad -i \sin L]^T$$

여기서 Ω 는 지구자전 각속도를 나타내며 L 과 i 는 각각 위