

논문 2008-45SC-6-11

반송파 위상 판별기를 이용한 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템용 Data Wipe Off 방법

(Data Wipe Off Method Using a Carrier Phase Discriminator for Deeply Coupled GPS/INS Integrated Navigation Systems)

정호철*, 김정원**, 황동환***, 이상정***

(Ho Cheol Jeong, Jeong Won Kim, Dong-Hwan Hwang, and Sang Jeong Lee)

요약

심층결합 GPS/INS 통합 항법 시스템에서 통합 필터의 개선 주기가 GPS 신호의 데이터 비트 주기보다 길면 비트 반전에 의해서 상관값 손실이 생기게 된다. 상관값은 항법 결과에 직접적인 영향을 미치므로 이 문제를 해결하기 위해 데이터 비트를 제거하는 DWO 방법이 필요하다. 그러나 일반적인 DWO 방법은 계산량 증가 또는 연속성에 문제가 있다. 본 논문에서는 반송파 판별기를 이용하는 효율적인 DWO 방법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안한 방법을 적용 할 경우 정확하게 데이터 비트를 추정하는 것을 보이고 통합 필터의 개선주기가 증가하더라도 상관값 손실이 작고 코드위상 판별기의 출력 오차가 작은 것을 확인하였다.

Abstract

In the deeply coupled GPS/INS integrated systems, if the integration filter update period is longer than the period of GPS navigation data, the loss of correlation values occurs due to the bit transition. This problem can be resolved when data wipe off(DWO) is used. However, general DWO methods requires heavy computation or cannot be applied continuously. This paper proposes an effective DWO method using carrier phase discriminator. In order to show validity of the proposed method, simulations were carried out. The simulation results show that the data bit is accurately estimated and conform that the loss of correlation values and the error of code phase is small.

Keywords : Deeply Coupled, PIT, Data bit, Data wipe off, Computation load, Discriminator

I. 서 론

GPS/INS 통합 항법 시스템은 통합 필터의 측정치에 따라 비결합, 약결합, 강결합, 심층 결합 방식으로 구분된다. 최근 신호 추적 성능을 향상시키기 위해 심층 결합 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 심층

결합 GPS/INS 통합 방식에서 측정치인 I, Q 상관값은 데이터 비트보다 짧은 주기로 생성되어야 하므로 통합 필터의 주기도 데이터 비트의 주기를 넘을 수 없다. 그 결과 약·강결합 방식의 통합 필터에 비해서 매우 많은 계산이 필요하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 심층 결합 GPS/INS 통합 시스템에서는 DWO(Data Wipe Off)를 사용하여 통합 필터의 개선 주기를 늘린다.

심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템에서의 DWO 방법으로 여러 개의 비트 조합 배열을 이용하는 방법과 이미 알고 있는 항법 데이터를 사용하는 방법 등이 소개되었다^[2~3]. 여러 개의 비트 조합 배열을 이용하는 방법은 일정한 주기 동안 생성될 수 있는 비트 조합을 테

* 학생회원, 충남대학교 전자공학과

(Department of Electronics Engineering, Chungnam National University)

** 정회원, 한국항공우주연구원

(Korea Aerospace Research Institute)

*** 정회원, 충남대 전기정보통신공학부

(School of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University)

접수일자: 2008년10월20일, 수정완료일: 2008년10월22일

이블로 구성하고 각 조합에 대해 입력 데이터와 상관을 취하여 상관값이 가장 큰 조합을 사용한다. 이 방법은 오류 확률은 적으나 계산량이 많은 단점을 가지고 있다. 그리고 항법데이터를 이용하는 방법은 수신되는 항법 데이터 비트가 수시로 바뀌기 때문에 연속적으로 DWO를 적용 할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 심층 결합 GPS/INS 통합 시스템에서 반송파 위상 판별기를 이용한 DWO 방법을 제안한다. 이 방법은 시간적 제약없이 연속적으로 데이터 비트를 추정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

제안하는 기법을 서술하기 위하여 Ⅱ장에서 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템 및 DWO 방법을 소개하고 Ⅲ장에서는 제안한 기법을 검증하기 위한 실험 환경과 실험 결과를 제시하고 마지막으로 결론과 추후 과제를 제시하였다.

II. 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템

1. 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템 구조

일반적인 심층 결합은 그림 1과 같이 통합 필터의 측정치는 상관값 I, Q 를 사용한다^[1]. 이러한 구조를 그대로 사용할 경우 통합 필터의 모델이 매우 복잡해지므로 상관기의 출력단에 판별기 또는 전처리 필터등을 사용한다. 이결과 모델이 비교적 간단한 강결합과 동일한 통합 필터를 사용 할 수 있다^[4~5].

본 논문에서는 판별기를 사용하는 심층 결합 방식을 대상으로 효율적인 DWO를 제안하고자 한다. 판별기를 사용하는 강결합 구조에서는 상관기와 판별기가 동일한 출력률로 동작하기 때문에 통합 필터의 갱신주기가 아주 빠르게 동작하여 많은 계산량이 필요하게 된다. 이를 해결하기 위하여 GPS 신호의 데이터 비트를 제거

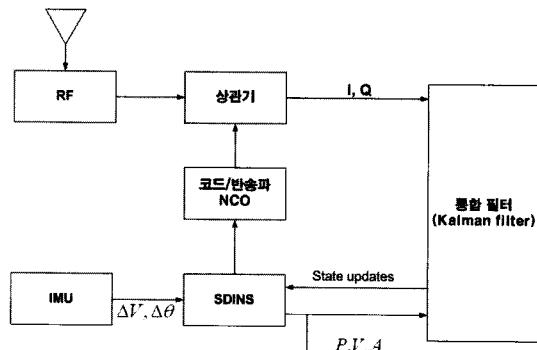


그림 1. 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템 구조
Fig. 1. Structure of deeply coupled GPS/INS integrated navigation systems.

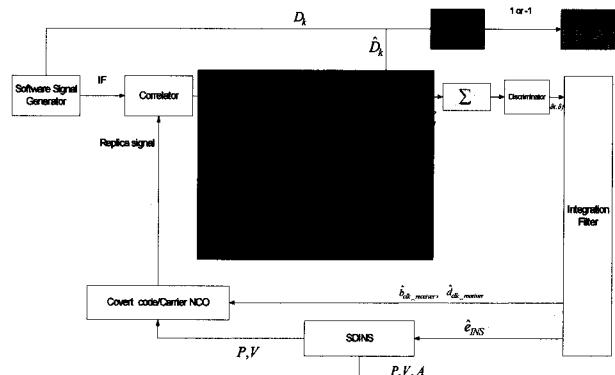


그림 2. 반송파 위상 판별기를 이용한 DWO 기법을 가진 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템

Fig. 2. Deeply coupled GPS/INS integrated navigation systems with DWO method using carrier phase discriminator.

하는 DWO를 사용 하는데 본 논문에서 제안하는 반송파 위상 판별기를 이용한 DWO 방법을 포함하는 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템 구조는 그림 2에 나타내었다.

이 구조에서 상관기 출력을 그림 2에서처럼 DWO와 판별기를 거친 후 통합 필터에 입력된다. 이때 판별기 출력은 코드위상 오차와 주파수 오차가 된다. 이때의 통합 필터의 상태 변수는 식 (1)과 같다.

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_{INS} \quad \mathbf{x}_{IMU} \quad \mathbf{x}_{Clk}]^T \quad (1)$$

여기서 \mathbf{x}_{ins} 는 INS 오차, \mathbf{x}_{imu} 는 IMU 센서 오차, \mathbf{x}_{clk} 는 GPS 수신기 시계 오차를 나타낸다. 시스템 상태 방정식은 식 (2) ~ (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_{INS} \\ \dot{\mathbf{x}}_{IMU} \\ \dot{\mathbf{x}}_{Clk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_{11} & \mathbf{F}_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{F}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{INS} \\ \mathbf{x}_{IMU} \\ \mathbf{x}_{Clk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{INS} \\ \mathbf{w}_{IMU} \\ \mathbf{w}_{Clk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{F}_{11} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{v_g \tan L}{R_e + h} & \frac{v_g}{R_e + h} \\ \frac{v_g \tan L}{R_e + h} & 0 & 0 \\ \frac{v_g}{R_e + h} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2\Omega \sin L - \frac{v_g \tan L}{R_e + h} & \frac{v_g}{R_e + h} & 0 & -f_D \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2\Omega \cos L - \frac{v_g}{R_e + h} & f_C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -f_E & f_S \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}_{33} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{F}_{12} = \begin{bmatrix} 0_{3x3} & 0_{3x3} \\ \hat{\mathbf{C}}_b & 0_{3x3} \\ 0_{3x3} & \hat{\mathbf{C}}_b \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{F}_{33} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, \mathbf{w} 는 시스템 잡음, \mathbf{F}_1 과 \mathbf{F}_2 는 INS의 위치, 속도, 자세 오차에 대한 서브 행렬, \mathbf{F}_{33} 은 수신기 시계 오차에 대한 행렬을 나타낸다. 판별기의 출력값을 사용하는 통합필터의 측정 방정식은 식 (6)과 같다.

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \delta\tau \\ \delta f \end{bmatrix} = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} I^T & 0 & 1 & 0 \\ 0 & I^T & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{INS} \\ \mathbf{x}_{IMU} \\ \mathbf{x}_{Ck} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{INS} \\ \mathbf{v}_{IMU} \\ \mathbf{v}_{Ck} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서, \mathbf{I} 는 시선각 벡터, \mathbf{v} 는 측정 잡음을 나타낸다.

2. Data Wipe Off

그림 2에서 상관기 출력인 I_k, Q_k 는 다음 식 (7), (8)로 나타낼 수 있다^[1~2].

$$I_k = \sqrt{2ST} R(\delta\tau(k)) D(k) \cos(\Delta\phi(k)) + n_I(k) \quad (7)$$

$$Q_k = \sqrt{2ST} R(\delta\tau(k)) D(k) \sin(\Delta\phi(k)) + n_Q(k) \quad (8)$$

여기서, S는 신호 전력, T는 Predetection Integration Time, $\delta\tau$ 는 코드 위상 오차, D는 데이터 비트, $\Delta\phi$ 는 반송파 위상 오차, n_I, n_Q 는 잡음을 나타낸다. DWO를 위해서 식 (9)~(10)과 같이 입력 데이터 비트 $D(k)$ 와 추정한 데이터 비트 $\hat{D}(k)$ 를 곱한다. 서로 동일한 비트일 경우 $D(k)\hat{D}(k)$ 가 1이므로 식 (11)~(12)와 같이 간소화 된다^[3~4].

$$I_k^{DWO} = \sqrt{2ST} R(\delta\tau(k)) D(k) \cdot \hat{D}(k) \cos(\Delta\phi(k)) + n_I(k) \cdot \hat{D}(k) \quad (9)$$

$$Q_k^{DWO} = \sqrt{2ST} R(\delta\tau(k)) \cos(\Delta\phi(k)) + \tilde{n}_I(k) \quad (10)$$

$$I_k^{DWO} = \sqrt{2ST} R(\delta\tau(k)) \cos(\Delta\phi(k)) + \tilde{n}_I(k) \quad (11)$$

$$Q_k^{DWO} = \sqrt{2ST} R(\delta\tau(k)) \sin(\Delta\phi(k)) + \tilde{n}_Q(k) \quad (12)$$

DWO를 수행하지 않으면 상관값은 데이터 비트 부호에 따라 그림 3과 같이 상관값 부호가 변화해 된다. 그러므로 데이터 비트 주기보다 길게 상관값을 적분할 경우 손실이 발생하게 된다. 그림 4와 같이 DWO를 수행할

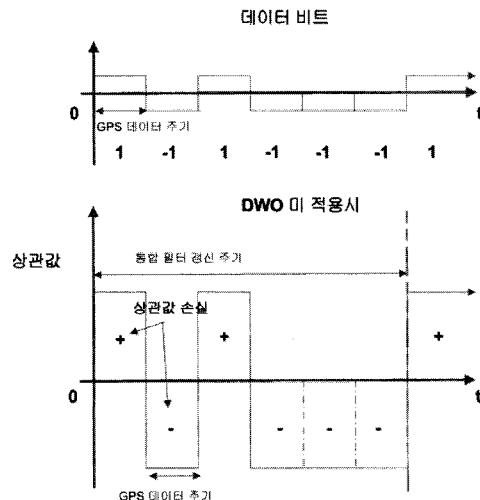


그림 3. 데이터 비트 반전에 의한 상관값 손실

Fig. 3. Correlation values loss due to the data bit transition.



그림 4. DWO 적용 후 상관값

Fig. 4. Correlation value when DWO is applied.

경우 상관값은 데이터 비트 부호 변화에 영향을 받지 않기 때문에 상관값은 동일한 부호를 가지게 되고 통합 필터의 개선 주기를 길게 하더라도 상관값 손실은 발생하지 않게 된다.

3. 반송파 위상 판별기를 이용한 데이터 비트 추정

DWO를 수행하기 위해서는 입력되는 신호의 데이터 비트를 정확하게 추정해야 한다. 본 논문에서는 그림 2의 음영부분과 같이 반송파 위상 판별기를 이용한 데이터 비트 추정방법을 제안한다. 이때 반송파 위상 판별기의 출력은 식 (11)과 같다^[2].

$$\delta\phi_k = ATAN2(Q_k^P, I_k^P) \quad (11)$$

여기서, I_k^P 와 Q_k^P 는 Prompt 상관값을 나타내고, $\delta\phi_k$ 는 추정한 반송파 위상 오차를 나타낸다. 다음 식 (12)

와 같이 이전 시점과 현재 시점의 반송파 위상 오차 차이가 90도~270도이면 데이터 비트를 반전시켜 현재 데이터 비트를 추정할 수 있다.

$$\hat{D}_k = \begin{cases} -\hat{D}_{k-1}, & 90^\circ < |\delta\phi_k - \delta\phi_{k-1}| < 270^\circ \\ \hat{D}_{k-1}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

추정한 데이터 비트를 현재 입력되는 상관값 I_k, Q_k 와 곱하면 DWO를 성공적으로 수행할 수 있다.

III. 성능 평가

제안한 DWO 방법의 성능을 평가하기 위해 그림 5와 같이 SDR기반의 GPS/INS 통합 항법 시스템을 구성하여 모의실험을 수행하였다. 이때 GPS 신호는 소프트웨어 신호 발생기를 이용하여 생성하였으며 항체가 2분간 정지해 있다고 하고 실험을 수행 하였다. 데이터 비트 추정기의 유효성을 판단하기 위하여 추정한 데이터 비트와 실제 데이터 비트를 비교하였다. 제안한 방법을 적용하였을 때 상관값의 부호를 확인하고 통합 필터의 개선 주기를 늘렸을 때 상관값 및 코드 위상 판별기의 오차를 관찰하였다.

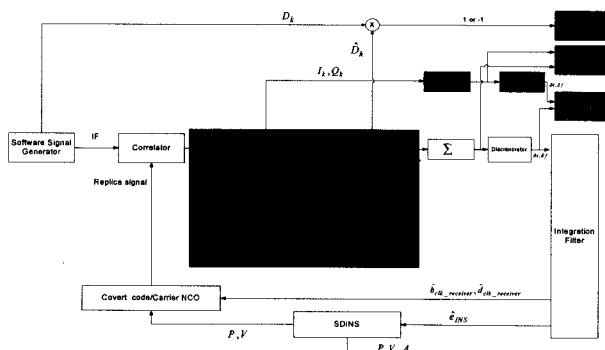


그림 5. DWO 성능 평가를 위한 모의 실험 구성
Fig. 5. Simulation setup for proposed evaluation.

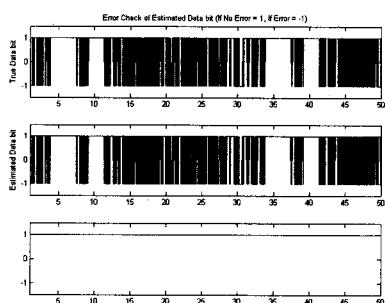


그림 6. 실제 데이터 비트와 추정한 데이터 비트 비교
Fig. 6. True data bit and estimated data bit.

그림 6은 실제 데이터 비트와 제안한 방법을 이용하여 추정한 데이터 비트를 비교한 것이다. 서로 동일한 비트인 경우 3번째 그래프의 출력 값이 1을 나타낸다. 그림 7은 추정한 데이터 비트를 이용하여 DWO를 수행할 경우와 하지 않았을 경우 상관값을 비교한 것이다. DWO를 수행하지 않을 경우 데이터 비트 부호에 따라 상관값의 부호가 반전이 되지만 DWO를 수행 할 경우 상관값의 부호가 반전되지 않는다. 그림 8과 9는 DWO 적용 유무에 따른 통합필터 개선 주기를 20ms와 1초로 하였을 때 상관값과 코드 위상 오차를 도시한 결과이다. DWO를 적용할 경우 통합 필터 개선 주기를 길게

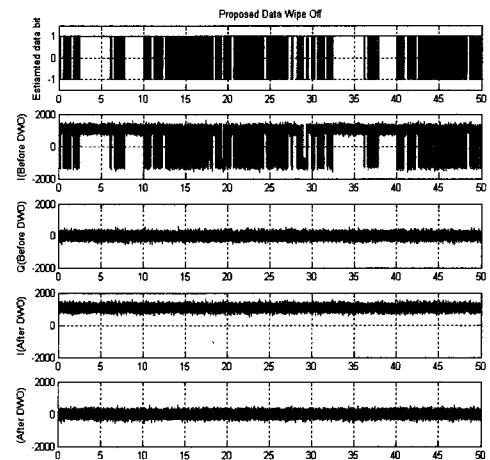
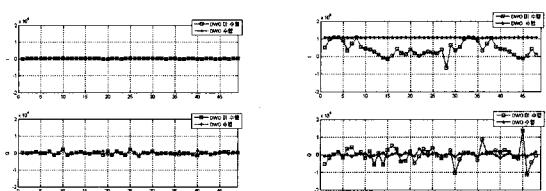
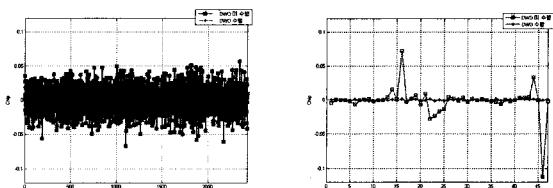


그림 7. DWO 수행시와 미 수행시 상관값 비교
Fig. 7. Correlation value for DWO and no DWO.



A. 상관기 적분시간(20ms) B. 상관기 적분시간(1sec)

그림 8. DWO 수행시와 미 수행시 상관값
Fig. 8. Correlation value for DWO and No DWO.



A. 상관기 적분시간(20ms) B. 상관기 적분시간(1sec)

그림 9. DWO 수행시와 미 수행시 코드 위상 차이
Fig. 9. Code phase residuals for DWO and no DWO.

하여도 상관값 손실이 없고 코드 위상 오차가 0으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템용 반송파 위상 판별기를 이용한 효율적인 DWO 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 적용했을 때 정확한 데이터 비트를 추정하였으며, 통합 필터 갱신 주기를 늘렸을 때 비트 반전으로 인한 상관값 손실이 없고 코드 위상 판별기의 출력이 정확하게 나오는 것을 확인하였다.

추후 연구과제로는 제안한 DWO를 이용하여 보다 우수한 심층 결합 GPS/INS 통합 항법 시스템을 구현할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Paul D. Groves, *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, 2008.

- [2] Elliott. D. K. and Christopher. J. H, *Understanding GPS : principles and applications second edition*, Artech House, 2006.
- [3] Andrey S., Frank V. Graas and Sanjeev G., "Implementation of Deeply Integrated GPS /LOW-Cost IMU for Reacquisition and Tracking of Low CNR GPS Signals," *Proceedings of the Institute of Navigation 2004 National Technical Meeting*, pp. 923-935, January, 2004.
- [4] Jeff M. Horslund and Jonathan R. Hooker, *Increase Jamming Immunity by Optimizing Processing Gain for GPS/INS Systems*, Patent number 5983160, 1999.
- [5] Anthony S. Abbott and Walter E. Lillo, *Global Positioning Systems and Inertial Measuring Unit Ultratight Coupling Method*, Patent number US6516021, 1999.
- [6] Beser J., Alexander S., Crane R., Rounds S. and Wyman J., "A Low Cost Guidance/Navigation Unit Integrating a SAASM-Based GPS and MEMS IMU in A Deeply Coupled Mechanization," *Proceedings of the ION 58th Annual Meeting and the CIGTF 21st Guidance Test Symposium*, pp. 545-555, September, 2002.

저 자 소 개



정호철(학생회원)
2007년 충남대학교 정보통신
공학부 학사 졸업
2007년~현재 충남대학교
전자전파정보통신공학과
대학원 석사과정.
<주관심분야 : GPS/INS>



김정원(정회원)
2002년 충남대학교 전자공학과
학사 졸업
2004년 동 대학원 석사 졸업
2008년 동 대학원 박사 졸업
2008년~한국항공우주연구원
위성항법팀 연구원
<주관심분야 : 임베디드 시스템, GPS/INS>



황동환(정회원)
1985년 서울대학교 전기공학과
학사 졸업
1987년 KIAST 전기 및
전자공학과 석사 졸업
1991년 동 대학원 박사 졸업
1996년~현재 충남대학교
전기정보통신공학부 교수
<주관심분야 : INS, GPS, 추정론>



이상정(정회원)
1979년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업
1981년 동 대학원 석사 졸업
1987년 동 대학원 박사 졸업
1988년~현재 충남대학교
전기정보통신공학부 교수
<주관심분야 : 강인 제어, GNSS>