

과도를 고려한 2축 회전형 관성항법시스템의 안정화 기법

채명석* · 조성윤** · 박찬국*** · 조민수**** · 박찬주*****

Stabilization Technique for a Dual-axis Rotational Inertial Navigation System considering Waves

Myeong-Seok Chae* · Seong-Yun Cho** · Chan-Gook Park*** · Min-Su Jo**** · Chan-Joo Park*****

요 약

회전형 관성항법시스템은 IMU(Inertial Measurement Unit)를 김블 위에 장착하고 김블을 규칙적으로 회전시켜 IMU의 오차를 상쇄시킴으로써 보다 정확한 항법 정보를 제공할 수 있다. 그러나 과도에 의해 자세 변화가 생기면 회전절차의 한 주기가 끝나는 시점에 자세 오차가 0으로 상쇄되지 않게 되어 큰 위치 오차를 유발한다. 본 논문에서는 이 문제를 고려하여 항체의 롤각 정보를 기반으로 외부 김블을 회전시켜 안정화를 시키는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 기반으로 과도에 의한 영향을 분석하고 외부 김블 안정화의 성능을 검증한다.

ABSTRACT

The rotational inertial navigation system can provide more accurate navigation information by mounting an IMU (Inertial Measurement Unit) on the gimbal and rotating the gimbal regularly to cancel out the errors of the IMU. However, when an attitude change occurs due to waves, the attitude error is not removed to 0 at the end of one cycle of the rotation procedure and causes a large position error. In this paper, considering this problem, we propose a method of stabilizing the external gimbal by rotating it based on the roll information of the vehicle. Based on simulation, the impact of waves is analyzed and the performance of external gimbal stabilization is verified.

키워드

Rotational Inertial Navigation, Wave, Stabilization
회전형 관성 항법 시스템, 과도, 안정화 (명사와 명사 사이는 띄어쓰세요.)

1. 서 론

SDINS(Strapdown Inertial Navigation System)

는 IMU를 항체에 고정하고 3축 가속도계와 3축 자이로를 활용하여 자세, 속도 및 위치 정보를 제공하는 시스템이다[1]. SDINS는 GPS(Global Positioning

* 경일대학교 IT공학과(coaudtjr2002@naver.com)

*** 서울대학교 항공우주공학과(chanpark@snu.ac.kr)

**** 국방과학연구소 미사일연구원(bistrue@add.re.kr)

***** 국방과학연구소 미사일연구원(nayana@add.re.kr)

** 교신저자 : 경일대학교 기계자동차공학전공

• 접수일 : 2024. 02. 29

• 수정완료일 : 2024. 03. 21

• 게재확정일 : 2024. 04. 12

• Received : Feb. 29, 2024, Revised : Mar. 21, 2024, Accepted : Feb. 12, 2024

• Corresponding Author : Seong Yun Cho

Dept. Mechanical Automotive Engineering, Kyungil University,

Email : sycho@kiu.kr

System)의 사용이 제한된 환경에서도 사용할 수 있으며 높은 출력 주파수를 제공하기 때문에 수상함, 잠수함, 항공기 및 우주선과 같은 다양한 항체에서 사용 가능하다[2-5]. 자세, 속도 및 위치 정보의 정확도는 SDINS의 핵심 성능이며, 이는 사용되는 IMU의 성능이 좌우한다. 그러나 사용되는 IMU가 고가일지라도 단독 INS로 구동하는 경우에는 시간에 따라 오차가 누적되는 현상은 막을 수 없다[6-7]. 이런 문제를 고려하여 IMU를 김블에 장착하고 주기적으로 김블을 회전시킴으로써 INS의 오차를 상쇄하여 단독 INS의 성능을 향상시킬 수 있는 RINS(: Rotational Inertial Navigation System) 연구가 이루어지고 있다.

RINS의 종류는 김블의 회전축 개수에 따라 분류 가능하며, 단일축 RINS 및 다축 RINS가 있다. 단일축 RINS는 크기가 작고 운용하기 쉽지만 오차를 적절하게 보상할 수 없다[8-9]. 그리고 3축 이상의 김블을 사용하면 부피가 증가하여 운용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 일반적으로 사용하는 2축 회전형 관성항법장치를 기반으로 한다.

항체에 고정되어 항체의 기동에 의해서만 회전이 가능한 SDINS와 달리 RINS는 IMU를 김블 위에 장착한다. 그리고 김블을 통해 IMU를 규칙적으로 회전시켜 INS의 오차를 상쇄시킴으로써 보다 정확한 항법 정보를 제공할 수 있다[10]. 회전 방식은 기존의 8위치 회전 방식을 기반으로 새로운 8위치 회전방식과 16위치 회전 방식이 제안되었다[11]. 그러나 이 방식은 비정렬 오차가 완전히 상쇄되지 않아 적분에 의해 누적 속도 오차를 유발하여 위치 오차를 점차 증가시키게 된다. 이 회전방식에서 변형한 비정렬 오차에 의한 속도 및 위치 오차 상쇄에 유리한 16위치 회전 기법도 제안되었다[12].

본 논문에서는 제안하는 회전 방법을 기반으로 수상함에 적용하는 것으로 한다. 수상함에서 고려할 외부요인 중 가장 큰 오차를 유발할 수 있는 것은 파도이다[12]. 파도로 인해 수상함에 자세 변화가 발생하고 수상함에 장착되어 있는 김블에도 영향을 미치게 된다. 이로 인해 오차의 양상이 달라짐에 따라 오차를 최소화하기 위해 설계된 최적 회전 절차가 유효하지 않게 될 수 있다. 본 논문은 파도가 RINS에 미치는 영향을 분석한다. 그리고 파도에 따른 오차를 최대한 제거하기 위해 Roll 안정화 기법을 제안한다. 그리고

시뮬레이션 기반으로 제안된 기법의 성능을 분석하고 검증한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 2축 회전형 관성항법시스템에 대해 설명하며, III장에서는 파도를 고려한 RINS의 안정화 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 기반으로 성능을 분석하고, 마지막 장에서 논문을 마무리 한다.

II. 2축 회전형 관성항법시스템

2.1 2축 회전형 관성항법시스템의 구조

2축 회전형 관성항법시스템은 내부 김블에 IMU가 장착되고 외부 김블은 항체에 고정된 것으로 구성된다. 이때 두 김블의 회전축은 서로 직교한다. 본 논문에서는 ENU(: Earth-North-Up) 좌표계를 사용하며, 그림 1과 같이 내부 김블의 회전축은 IMU의 z축에, 외부 김블의 회전축은 항체의 y축과 정렬한다. 여기서 {p}는 관성 측정치가 측정되는 플랫폼 좌표계로 이상적으로는 실제 센서 좌표계 {s}와 정렬되었다고 가정한다. {b}는 항체에 정렬된 동체 좌표계이다. 따라서 플랫폼 좌표계와 동체 좌표계 사이의 자세변환 행렬은 식(1)과 같다.

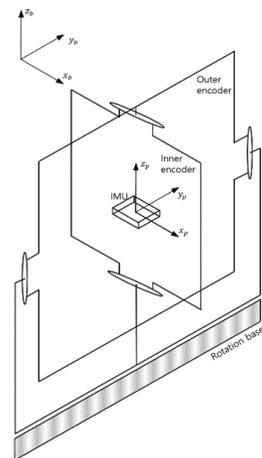


그림 1. 2축 회전형 관성항법장치
Fig. 1 Dual-axis RINS

$$C_p^b = C_y(\phi_{out})^T C_z(\phi_{in})^T \quad \dots (1)$$

위 식(1)에서 ϕ_{out} 과 ϕ_{in} 은 각각 외부 김블과 내부 김블의 회전 각도를 의미하고 C_y 와 C_z 는 각각 y축과 z축에 대한 회전행렬로 식(2)와 같이 나타낸다.

$$C_y = \begin{bmatrix} \cos(\phi_{out}) & 0 & -\sin(\phi_{out}) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\phi_{out}) & 0 & \cos(\phi_{out}) \end{bmatrix} \quad \dots (2a)$$

$$C_z = \begin{bmatrix} \cos(\phi_{in}) & \sin(\phi_{in}) & 0 \\ -\sin(\phi_{in}) & \cos(\phi_{in}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (2b)$$

2.2 회전형 관성항법시스템의 오차 방정식

2축 RINS는 기존의 SDINS에 2축 김블이 추가로 구성된 것으로 RINS의 오차 방정식은 SDINS의 오차 방정식을 기반으로 계산할 수 있다. 먼저 SDINS의 자세 및 속도 오차 방정식은 식(3)과 식(4)와 같다[1].

$$\dot{\phi}^n = -\omega_{in}^n \times \phi^n + \delta\omega_{ie}^n + \delta\omega_{en}^n - C_b^n \delta\omega_{ib}^b \quad \dots (3)$$

$$\delta v^n = f^n \times \phi^n + C_b^n \delta f^b - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times \delta v^n - (2\delta\omega_{ie}^n + \delta\omega_{en}^n) \times v^n + \delta g^n \quad \dots (4)$$

위 식(3)~(4)에서 i 와 e, n, b 는 각각 관성 좌표계와 지구 좌표계, 항법 좌표계, 동체 좌표계를 의미한다. ω 와 f 는 각각 각속도와 가속도를 의미한다. $\delta\omega_{ie}^n$ 와 $\delta\omega_{en}^n$ 은 각각 지구자전각속도 오차와 항체의 속도에 의한 항법좌표계 회전각속도의 오차를 나타낸다.

RINS의 오차 전파 방정식은 SDINS의 오차 방정식에서 플랫폼 좌표계와 동체 좌표계 사이의 회전을 추가하여 식(5)와 식(6)과 같이 나타낼 수 있다[13].

$$\dot{\phi}^n = -\omega_{in}^n \times \phi^n + \delta\omega_{ie}^n + \delta\omega_{en}^n - C_p^n \delta\omega_{ip}^p \quad \dots (5)$$

$$\delta v^n = f^n \times \phi^n + C_p^n \delta f^p - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times \delta v^n - (2\delta\omega_{ie}^n + \delta\omega_{en}^n) \times v^n + \delta g^n \quad \dots (6)$$

위 식(5)~(6)에서 $C_p^n = C_b^n C_p^b$ 로 플랫폼 좌표계에서 항법 좌표계로의 변환행렬을 나타낸다. 그리고 $\delta\omega_{ip}^p$ 와 δf^p 는 플랫폼 좌표계에서 측정된 각속도 오차와 가속도 오차이다.

식 (5)와 식(6)에서 항체가 정지해 있고 지구 자전 각속도와 중력 가속도 오차를 무시한다고 가정하면 식(7) 및 식(8)과 같이 단순화 할 수 있다.

$$\dot{\phi}^n = -C_p^n \delta\omega_{ip}^p \approx -C_p^n \{(\delta S + \delta M)\omega_{ip}^p + b^p\} \quad \dots (7)$$

$$\delta v^n = f^n \times \phi^n + C_p^n \delta f^p \approx [-g\phi_N \ g\phi_E \ 0] + C_p^n \{(\delta S + \delta M)f^p + b^p\} \quad \dots (8)$$

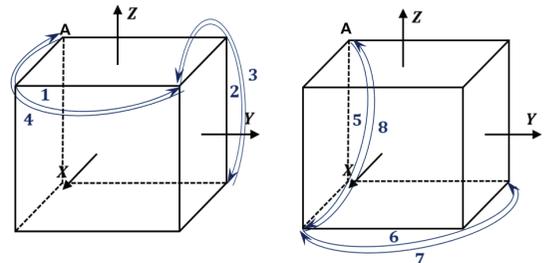
위 식(7)~(8)에서 ω_{ip}^p 와 f^p 는 오차가 없는 각속도 및 가속도이고, b^p 는 랜덤 상수 바이어스를 의미한다. 그리고 δS 및 δM 은 환산계수 오차 및 비정렬 오차이다.

RINS의 오차 보상은 김블을 주기적으로 회전시킴으로써 회전행렬 C_p^b 의 값을 변경하고 식(7)~(8)의 오차 항목의 적분값을 회전 주기 동안 0으로 상쇄시키는 것이다. 따라서 적절한 회전을 통해 IMU의 오차를 상쇄시킴으로써 항법정확도를 크게 향상시킬 수 있다.

III. 파도를 고려한 RINS의 안정화 기법

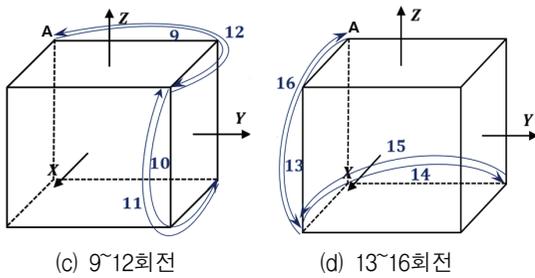
3.1 16 회전 절차

본 논문에서는 [12]에서 제안하는 회전 방법을 기반으로 하며 그림 2와 같이 도식화할 수 있다.



(a) 1~4회전

(b) 2~8회전



(c) 9~12회전 (d) 13~16회전

그림 2. 16위치 회전 절차

Fig. 2 16-position rotation scheme

16 회전 절차는 16개의 회전 동작을 한 번씩만 사용함으로써 한 주기가 끝나는 시점에서 자이로 오차에 의한 자세 오차가 0으로 상쇄되며, 가속도계 오차에 의한 속도 오차도 항상 0으로 상쇄된다. 이를 위해 그림에서 (c)-(d)의 8개의 회전 동작은 (a)-(b)의 8개 회전 동작과 동일하지만 반대 방향으로 회전한다[12].

3.2 파도를 고려한 RINS의 안정화 기법

실제 파도는 파도의 움직임, 유형, 환경 등을 고려하여 더 복잡하게 모델링할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 김블 안정화 기법의 효과에 대해 분석하는 것이 목적으로 파도의 형태를 나타내는 가장 간단한 방법 중 하나인 사인함수를 사용한다. 사인함수를 이용한 파도 모델링은 식(9)와 같다.

$$wave(t) = Hsin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad \dots (9)$$

위 식(9)에서 H 는 파도의 높이, T 는 파도의 주기이며 t 는 시뮬레이션 시간을 의미한다.

RINS는 설계된 회전 절차를 통해 오차를 상쇄시킨다. 그러나 항체가 파도에 영향을 받는 경우 항체에 정렬되어 있는 외부 김블의 축이 틀어지게 되어 계획된 회전 절차의 오차 방정식이 유효하지 않게 된다. 따라서 추가적인 회전을 통한 김블 안정화가 필요하다. 즉, 김블 안정화는 사전에 계획한 회전 절차의 특성을 최대한 유지하도록 하는 것이 목적이다. 이를 위해 파도에 의해 회전한 롤 각 만큼 외부 김블에 회전을 추가하는 방식으로 초기 김블 자세와 동일하게 유지하도록 한다. 안정화를 위한 C_p^b 는 식(10)과 같다.

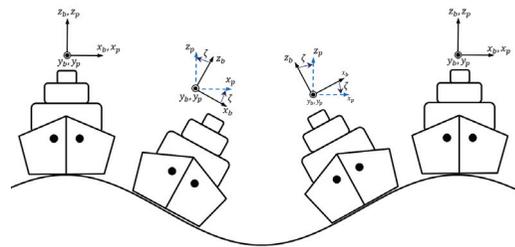


그림 3. 외부 김블 안정화 개략도

Fig. 3 Outer gimbal stabilization schematic

$$C_p^b = C_y(\phi_{out} - \zeta)^T C_y(\phi_{in})^T \quad \dots (10)$$

위 식(10)에서 ζ 는 파도로 인해 발생한 롤 각의 크기이다.

ζ 는 항체의 회전행렬인 C_b^m 에 포함되어 있기 때문에 항체에 고정되어 있는 외부 김블을 ζ 만큼 반대로 회전하면서 파도의 영향을 제거하는 방법으로 안정화를 수행한다. 이 기법의 개략도를 그림 3에서 나타내고 있다.

IV. 시뮬레이션 기반 성능 분석

시뮬레이션에서 파도의 높이는 2m, 파도의 주기는 10초로 설정하였다. 김블 회전 시간(T_r)과 정지시간(T_s)은 각각 10초와 180초로 설정하였다. 가속도계 오차와 노이즈는 없다고 가정하였으며, 시뮬레이션에서 고려한 IMU Spec.은 다음과 같다.

- 자이로 바이어스: 0.001deg/hr
- 자이로 환산계수: 5ppm
- 자이로 비정렬: 5"

먼저 항체 정지상태에서 파도에 의해 달라진 오차 특성과 안정화가 필요한 이유에 대해 분석한다. 그림 4와 그림 5는 각각 한 주기 동안에 안정화를 하지 않는 경우와 안정화를 하는 경우의 항법 오차를 각각 나타내고 있다.

그림 4(a)에서 16회전이 끝나는 시점에서 0으로 상쇄 되어야 할 자세 오차 요소들이 0으로 상쇄되지 않는 것을 확인할 수 있다. 이것은 파도의 영향을 받아 회전된 자세가 김블의 회전 절차에 의한 오차 상쇄에

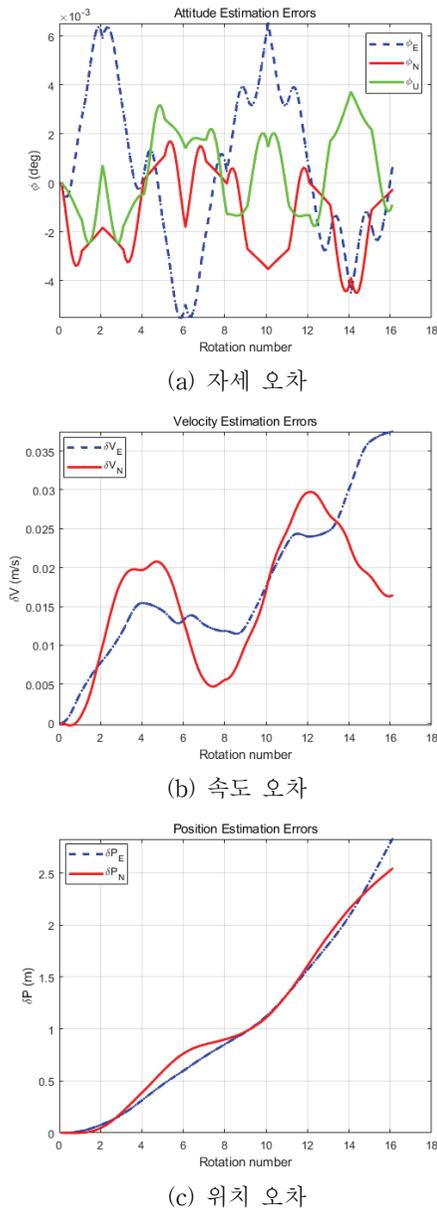


그림 4. 안정화를 하지 않는 경우 항법 오차
Fig. 4 Navigation errors without stabilization

영향을 미치지 때문이다.

이로 인해 결국 속도 오차에 영향을 주게 되고 16회전 동안의 속도 오차 평균이 커짐으로 인해 위치 오차도 증가하는 것을 그림 4(b), 그림 4(c)에서 볼 수 있다.

그에 반해 안정화를 수행한 경우 16회전이 끝나는 시점에서 3축의 자세 오차가 0으로 상쇄되는 것을 그림 5(a)에서 확인할 수 있다. 이에 따라 속도 오차와 위치 오차가 감소한다. 이는 과도를 고려하지 않은 기

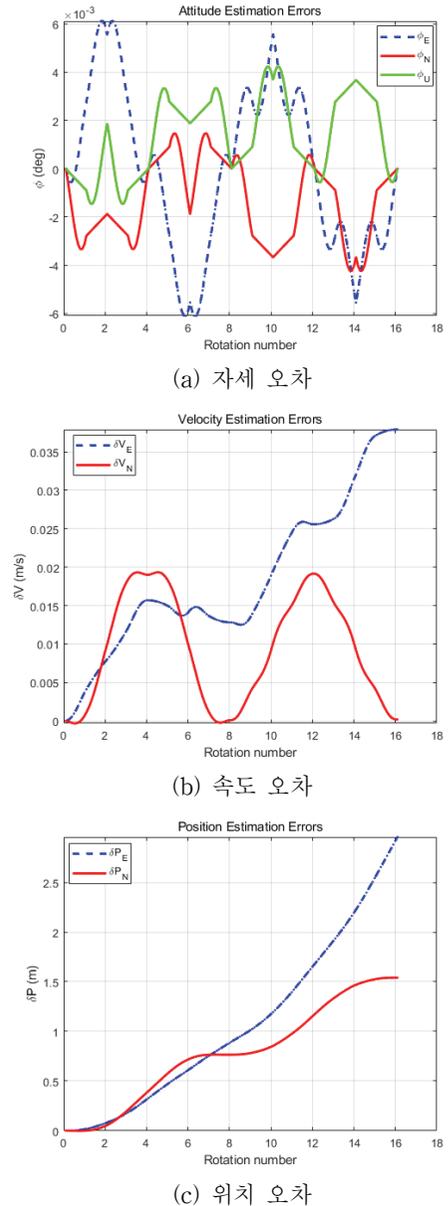


그림 5. 안정화를 하는 경우 항법 오차
Fig. 5 Navigation errors when stabilizing

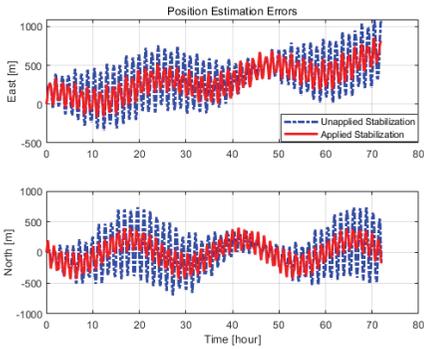


그림 6. 항체 정지상태 위치 오차 비교

Fig. 6 Comparison of Position Errors in Stationary Vehicle

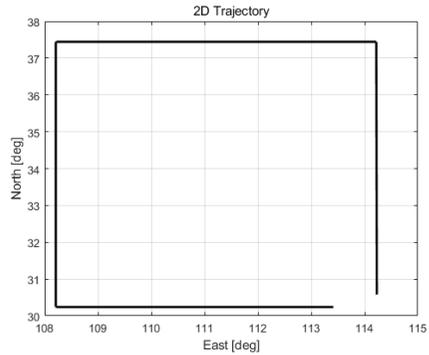
존의 16회전과 동일한 결과로 안정화를 통해 파도에 의한 영향이 제거됐다는 것을 의미한다.

그림 4와 그림 5는 오차 특성을 분석하기 위해 김블 회전 한 주기 동안 오차가 상쇄되는지를 분석한 것이다. 그러나 실제 적용 효과를 검증하기 위해서는 장시간 동안의 항법 성능을 확인하여야 한다. 72시간 동안 항법을 수행하여 얻은 위치 오차를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 여기서 파란색 점선은 안정화 하지 않은 경우의 위치 오차, 빨간색 실선은 안정화한 경우의 위치 오차 결과이다.

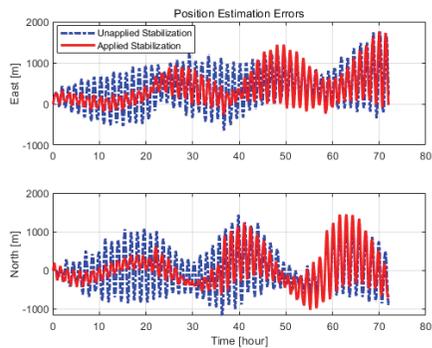
그림 6은 항체가 정지한 상태에서의 위치 오차이다. 설계된 회전 절차를 수행하지만 파도의 영향으로 적절한 오차 보상이 일어나지 않아 안정화를 수행하지 않은 경우 오차가 상대적으로 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 안정화를 하지 않은 경우 TRMSE (: Time Root Mean Square Error)는 917.09m로 안정화를 수행한 경우 723.50m보다 193.59m크게 나왔다. TRMSE는 식(11)과 같이 계산된다.

$$TRMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^k (\delta P_N^2(i) + \delta P_E^2(i)) / k} \dots (11)$$

그림 7은 항체가 사각 궤적으로 이동하는 경우 위치 오차이다. 안정화를 수행하지 않는 경우 TRMSE는 1323.99m로 안정화를 수행하는 경우 998.11m보다 325.88m 크게 발생함으로 인해 외부 김블 안정화의 정확성을 입증할 수 있다. 그러나 항체 정지상태의 결



(a) 궤적 생성 결과



(b) 위치 오차 비교

그림 7. 사각궤적에서 위치 오차 비교

Fig. 7 Comparison of position errors in rectangular trajectory

과와 비교하면 위치 오차가 크게 나타났다. 그 이유는 먼저 정지상태에서는 식(6)에서 첫 번째 항인 $f^n \times \phi^n$ 에서 $f^n = [0 \ 0 \ f_V]^T$ 로 중력가속도만 존재하지만 항체가 이동하는 경우 $f^n = [f_E \ f_N \ f_V]^T$ 로 3축의 가속도를 모두 고려하여 속도 오차를 구해야 한다. 따라서 자세 오차에 의해 발생하는 속도 오차가 이 가속도로 인해 0으로 상쇄가 안 됨으로 위치 오차가 증가하게 되는 것이다. 그리고 항체가 회전함으로써 각 축의 오차 특성이 바뀌게 됨으로 인해 16회전이 끝나는 시점에 오차들이 0으로 상쇄되지 않게 된다. 따라서 파도에 의한 영향은 외부 김블 안정화를 통해 해결할 수 있다. 그러나 항체의 회전에 의한 영향은 내부 김블과 관련 있기 때문에 내부 김블 안정화에 대한 연구가 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 파도를 고려한 2축 회전형관성시스템의 외부 김블 안정화 기법에 대해 연구하였다. 대부분의 논문들이 항체가 정지한 상황에서 식을 간소화하여 최적 회전 절차를 설계하는데 초점을 맞추고 있다. 그러나 파도와 같은 외부 요인에 의해 항체가 회전하게 됨으로써 당초 설계된 회전 절차만으로는 오차 요소들이 김블 회전 한 주기 안에서 0으로 상쇄되지 않게 된다. 본 논문에서는 파도에 의한 영향을 제거하기 위한 외부 김블 안정화 기법을 제시하였다. 시뮬레이션 기반으로 16회전 한 주기 동안의 파도 영향을 분석하고 외부 김블 안정화를 통해 자세 오차 요소들이 0으로 상쇄되는 것을 검증하였다. 그리고 실제 적용 효과를 검증하기 위해서 장시간(72시간) 항법을 통해 외부 김블 안정화의 성능을 검증하였다. 추후 항체가 기동하면서 회전하는 경우에 발생하는 문제들을 해결하기 위한 내부 김블 안정화에 대한 연구를 수행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (UI220048SD).

References

- [1] D. H. Titterton, *Strapdown Inertial Navigation Technology*. United Kingdom: The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- [2] R. G. Brown, and P. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [3] M. Chae, "Development of a Real Trajectory-based Simulator to Verify the Reliability of the Integrated Navigation System for Trains," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 135-144.
- [4] S. Jeon, T. Jo, and S. Hwang, "Utilization Trend of Global Satellite Navigation Systems for Next Generation Mobile Communications and Smart Mobility," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 6, 2023, pp. 1057-1066.
- [5] J. Bong, S. Jeong, "A Study of GNSS Performance Enhancement using Correction Estimation and Visible Satellites Selection," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 5, 2022, pp. 995-1002.
- [6] S. Cho, "IM-filter for INS/GPS-integrated navigation system containing low-cost gyros," *IEEE trans. Aerospace, Electronic Systems*, vol. 50, no. 4, 2014, pp. 2619-2629.
- [7] J. Park and K. Choi, "Overview of sensor fusion techniques for vehicle positioning," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 2, 2016, pp. 139-144.
- [8] L. Wang, K. Li, L. Wang, and J. Gao, "Identifying Z-axis gyro drift and scale factor error using azimuth measurement in fiber optic gyroscope single-axis rotation inertial navigation system," *Optical Engineering*, vol. 56, no. 2, 2017, pp. 024102.
- [9] J. Cheng, D. Chen, L. Rene, D. Guan, and X. Wang, "Research on comprehensive calibration techniques for single-axis rotational inertial navigation system," *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*, Nanjing, China, 2014, pp. 550-555.
- [10] S. Du, W. Sun, and Y. Gao, "Improving observability of an inertial system by rotary motions of an IMU," *Sensors*, vol. 17, no. 4, 2017.
- [11] B. L. Yuan, "Error compensation of an optical gyro INS by multi-axis rotation," *Measurement Science and Technology*, vol. 23, no. 2, 2012, pp. 1022-1028.
- [12] F. Zha, L. Chang, and H. He, "Comprehensive error compensation for dual-axis rotational inertial navigation system," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 7, 2020, pp. 3788-3802.
- [13] Q. Wei, F. Zha, and L. Chang, "Novel rotation

scheme for dual-axis rotational inertial navigation system based on body diagonal rotation of inertial measurement unit," *Measurement Science and Technology*, vol. 24, no. 9, 2022, pp. 095105.

저자 소개



채명석(Myeong-Seok Chae)

2020년 경일대학교 자동차IT융합학과 졸업(공학사)
2022년 경일대학교 대학원 IT공학과 졸업(공학석사)

2022년 ~ 현재 경일대학교 대학원 IT공학과 재학
※ 관심분야 : 관성항법시스템, 복합항법시스템, 자율주행시스템



조성윤(Seong-Yun Cho)

1998년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
2000년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

2004년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)
2003년 서울대학교 ASRI 보조연구원
2004년 서울대학교 BK21 박사후연구원
2004년 ~ 2013년 한국전자통신연구원 선임연구원
2008년 ~ 2013년 UST 겸임교수
2013년 ~ 현재 경일대학교 스마트공학부 교수
2022년 ~ 현재 (주)나브인랩스 대표
※ 관심분야 : 복합항법시스템, 선형/비선형 필터링 이론, 센서기반 모션 검출, 보행자 항법시스템, 자율주행자동차 및 위치기반 서비스



박찬국(Chan-Gook Park)

1985년 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
1987년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

1993년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)
1993년 서울대학교 제어계측기술연구소 박사후연구원
1994년 ~ 2002년 광운대학교 정보제어공학과 교수
1998년 UCLA 기계항공공학과 Research Fellow
2003년 ~ 현재 서울대학교 항공우주공학과 교수
2009년 Georgia Tec. 방문교수
※ 관심분야 : 고급 필터링, 고정밀 INS, 영상관성항법시스템, INS/GNSS/IGN 결합 알고리즘, MEMS 기반 PDR



조민수(Min-Su Jo)

2014년 경상대학교 전기전자공학부 졸업(공학사)
2017년 대구경북과학기술원 대학원 정보통신융합공학전공 졸업(공학석사)

2017년 ~ 현재 국방과학연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 관성항법장치, 비선형 필터링, 고장 검출



박찬주(Chan-Ju Park)

1994년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사)
1996년 부산대학교 대학원 정밀기계공학과 졸업(공학석사)

2009년 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1996년 ~ 현재 국방과학연구소 책임연구원
※ 관심분야 : 관성항법장치, 선형/비선형 필터링