

고기동 환경에서 관성항법장치의 시간지연 보상 전달정렬 기법

A Transfer Alignment Method considering a Data Latency Compensation for an Inertial Navigation System in High Dynamic Applications

이 형 섭* · 한 경 준* · 이 상 우* · 유 명 종*
(Hyung-Sub Lee · Kyung-Jun Han · Sang-Woo Lee · Myung-Jong Yu)

Abstract - An improved transfer alignment method for a strap-down inertial navigation system (SDINS) is presented here. The alignment accuracy in conventional method is vulnerable to the data latency of a Master INS (MINS) in high maneuverable platforms. We propose a time delay compensation equation considering higher-order terms in the attitude measurement equation of the Kalman filter. The equation incorporates additional information including angular rate, angular acceleration and linear acceleration from the MINS. Simulation results show that the transfer alignment accuracy is significantly improved in the high dynamic environment by incorporating the latency compensation technique.

Key Words : Measurement time delay, Transfer alignment, Angular acceleration, Acceleration

1. 서 론

관성항법장치는 항체의 위치 속도 및 자세 등의 항법정보를 제공하는 장치이다. 가속도계와 자이로스코프로 각각 측정된 가속도 및 각속도 정보를 토대로 항법방정식을 적분하여 위치, 속도 및 자세를 갱신하기 때문에 외부의 도움 없이도 스스로 항법 정보 계산이 가능하나 오차가 누적되는 단점이 있다. 정확한 위치, 속도 및 자세를 계산하기 위해서는 정확한 초기 위치, 속도 및 자세가 요구되며 초기 자세를 결정하는 과정을 초기정렬이라 한다. 초기정렬 방법 중 전달정렬은 정밀도가 상대적으로 낮은 관성항법장치(SINS)의 정렬을 위해 정밀한 기준 관성항법장치(MINS)로부터 정렬에 필요한 항법정보를 제공받아 초기정렬을 수행하는 방법이다. 전달정렬에 사용되는 항법정보는 가속도, 각속도, 속도 및 자세 정보 등이 있으며 일반적으로 가관측성이 우수한 속도 및 자세정합 방식이 많이 사용된다[1, 2]. 이 경우 MINS와 SINS의 속도 정보의 차와 자세 정보의 차이를 측정치로 사용하여 비정렬각을 추정하기 때문에 MINS와 SINS의 항법정보의 시각동기가 필수적이다. 그러나 MINS에서 SINS로 데이터가 전송되는 과정에서 시간지연이 불가피하게 발생하며 이는 전달정렬의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 시간지연에 따른 물리량을 정확히 추정하여 보상하기 위한 다양한 방법이 제시되어 왔다[3-5]. 그러나 선행연구들은 공통적으로 시간지연 오차

요소를 포함한 측정방정식에서 자세측정치의 시간지연보상을 선형으로 모델링하여 유도하였다[3-5]. 제시된 방법은 낮은 주파수로 기동하는 저기동 환경에서의 자세추정에는 유효하나 운동 크기가 증가할 경우 측정오차의 크기 또한 증가하기 때문에 고기동 환경에서 적용 시 모델오차로 작용하여 전달정렬 성능이 저하된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 측정치 모델 오차를 감소시키기 위해 MINS의 각속도 정보이외에 가속도와 각가속도 정보를 추가적으로 이용하여 자세측정치의 시간지연보상 시 이차항까지 고려한 전달정렬 기법을 제시한다. 이 때 필요한 각가속도 정보는 MINS의 각속도 정보로부터 추정한다. 본 논문의 구성을 살펴보면 2장에서는 기존의 시간지연을 추정하는 전달정렬 기법을 설명하고 기존 방법을 고기동 환경에서 적용 시 문제점을 제시한다. 3장에서 본 논문에서 제시하는 각속도, 각가속도와 가속도 정보를 이용하여 시간지연을 보상하는 전달정렬 기법을 설명하고, 4장에서 제안한 시간지연 오차 보상방법의 성능을 검증하기 위해 몬테칼로 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법과의 전달정렬 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. SINS 속도 및 자세정합전달정렬 기법

전달정렬은 MINS와 SINS 사이의 비정렬각을 추정하여 SINS의 초기 자세를 결정하는 방법이다. 이를 위해 MINS의 속도 및 자세와 SINS에서 출력되는 속도 및 자세 정보를 정합하며 그 구성은 그림 1과 같다. 속도 및 자세정합 전달정렬 칼만필터는 간

* Corresponding Author : Agency for Defence Development, Korea

E-mail : suby0913@add.re.kr

Received : September 18, 2015; Accepted : October 22, 2015

접 되먹임 방식으로 구성된다[6].

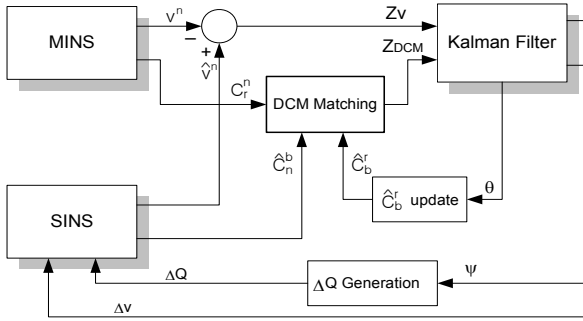


그림 1 속도 및 DCM 정합 전달정렬 구성도[6]

Fig. 1 Configuration of velocity and DCM matching transfer alignment

전달정렬 칼만필터의 시스템 모델은 SINS의 속도 및 자세오차, 장착비정렬각 오차 및 시간지연 오차를 상태변수로 사용한다. 이때 사용되는 SINS 속도 및 자세오차 모델은 psi 오차모델을 적용하였으며 [7], 장착비정렬각 오차와 시간지연 오차는 랜덤상수로 가정하였다. 사용된 오차모델을 정리하면 아래 식과 같다.

$$\dot{\delta v}^n = [C_b^n f^n] \times \psi^n - [2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n] \times \delta v^n \quad (1)$$

$$\dot{\psi}^n = -\omega_{en}^n \times \psi^n \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = 0 \quad (3)$$

$$\Delta \dot{t} = 0 \quad (4)$$

여기서 δv^n 는 속도오차, ψ^n 는 자세오차, θ 는 장착비정렬각 그리고 Δt 는 시간지연오차이다. 측정치로 사용되는 정보는 SINS와 MINS의 속도 차 및 자세 차이이며 속도정합은 항법 좌표계에서의 속도를 사용한다. 자세정합 방법에는 오일러각 자세정합, 쿼터니언 자세정합, 좌표변환행렬(DCM) 자세정합 방법이 있으며 본 논문에서는 가관측성이 우수하다고 알려진 DCM 자세정합 방법을 사용하였다[8, 9]. 먼저 시간지연을 고려하지 않은 측정방정식은 식 (5), (6)과 같다.

$$Z_v = \widehat{V}_s^n(t) - \widehat{V}_r^n(k) \quad (5)$$

$$Z_c(t) = \widehat{C}_r^n(t) \widehat{C}_s^s(t) \widehat{C}_n^n(t) - I \quad (6)$$

여기서 $\widehat{V}_s^n(t)$, $\widehat{V}_r^n(t)$ 는 각각 SINS 및 MINS의 항법좌표계상의 속도이며 $\widehat{C}_r^n(t)$ 는 MINS 자세 DCM의 전치행렬, $\widehat{C}_n^n(t)$ 는 SINS의 자세 DCM, $\widehat{C}_s^s(t)$ 는 칼만필터에서 추정된 장착 비정렬각을 DCM으로 변환한 값이다. 위의 측정방정식에 랜덤 상수로 가정한 시간지연 δT 를 반영하여 다시 쓰면 아래와 같다.

$$Z_v(t) = \widehat{V}_s^n(t) - \widehat{V}_r^n(t - \delta T) \quad (7)$$

$$Z_c(t) = \widehat{C}_r^n(t - \delta T) \widehat{C}_s^s(t) \widehat{C}_n^n(t) - I \quad (8)$$

$$\dot{V}_r^n(t - \delta T) = V_r^n(t) - \dot{V}_r^n(t) \times \delta T \quad (9)$$

$$\dot{\widehat{C}}_r^n(t - \delta T) = \widehat{C}_r^n(t) - \dot{\widehat{C}}_r^n(t) \times \delta T \quad (10)$$

시간 지연된 속도 및 자세정보를 식 (9)와 (10)과 같이 각각 근사화 한 후 (7)과 (8)에 대입하여 정리하면 각각 식 (11), (12)와 같다.

$$z_v = \delta V + v + A \delta T \quad (11)$$

$$z_c = -\epsilon + C_r^n \theta - C_r^n w_{nr}^r \delta T \quad (12)$$

$$w_{nr}^n = C_r^n w_{ir}^r - w_{ie}^n - w_{en}^n \quad (13)$$

여기서, w_{ie}^n 는 지구자전 각속도 그리고 w_{en}^n 은 지구좌표계에 대한 항법좌표계의 회전 각속도이다. 속도 측정식에서 시간지연 보상은 MINS 가속도(A)를 이용하였고, 자세 측정식에서 시간지연 보상은 MINS 각속도(w_{ir}^r)를 이용하였다. 이와 같은 시간지연 보상방법은 시간지연 값이 작고, 동체 운동의 주파수 및 크기가 작다는 가정이 포함된다. 시간지연 및 동체의 운동이 큰 경우에는 식 (9)와 (10)에서 근사화한 모델의 오차로 인해 시간지연 오차 보상이 부정확하여 비정렬각 추정성능이 저하되게 된다. 예를 들어 함정 발사대에 장착된 유도탄의 SDINS에 파도에 의한 각운동 및 발사대 피치각운동이 그림 2와 같이 인가되는 조건을 가정하고 기존 전달정렬 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하면 그림 3과 같다. 시뮬레이션 결과 헤딩이 수렴하는 40초 이후에도 롤, 피치, 헤딩 모든 자세에서 최대 4mrad 이상의 자세오차가 동체의 기동에 따라 지속적으로 발생함을 확인할 수 있다.

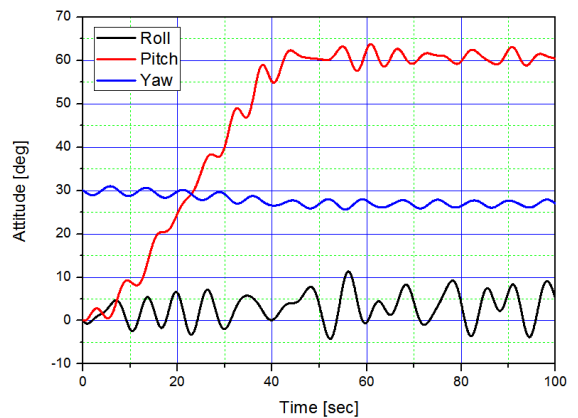


그림 2 파도에 의한 각운동 및 발사대 피치각운동에 의한 항체의 각운동

Fig. 2 Attitude caused by pitch motion and wave motion

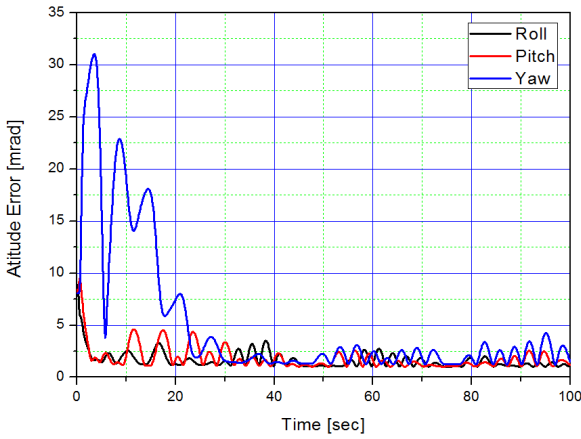


그림 3 기존 전달정렬 알고리즘 적용 시 시간지연에 의한 자세 오차

Fig. 3 Attitude error caused by time delay when using previous transfer alignment algorithm

3. 고기동 환경 적용 전달정렬 기법

본 장에서는 시간지연에 의한 자세오차를 최소화하고 고기동 환경에 적용 가능한 시간지연 오차 보상방법에 대해 기술한다. 시간 지연된 속도 정보 및 좌표변환 행렬을 테일러급수 전개하여 2차항까지 정리하면 각각 식 (14), (15)와 같다.

$$V_r^n(t-\delta T) = V_r^n(t) - \dot{V}_r^n(t) \times \delta T + \frac{\ddot{V}_r^n(t) \times \delta T^2}{2!} + \dots \quad (14)$$

$$\widehat{C}_r^n(t-\delta T) = \widehat{C}_r^n(t) - \dot{\widehat{C}}_r^n(t) \times \delta T + \frac{\ddot{\widehat{C}}_r^n(t) \times \delta T^2}{2!} + \dots \quad (15)$$

위의 식을 시간지연이 포함된 측정방정식 식 (7)과 (8)에 대입하여 정리하면 식 (16)와 (17)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_v &= \widehat{V}_s^n(t) - \widehat{V}_r^n(t-\delta T) \\ &= \widehat{V}_s^n(t) - \widehat{V}_r^n(t) - \dot{\widehat{V}}_r^n(t)\delta T - \widehat{V}_r^n(t)\frac{\delta T^2}{2} + \dots \\ &= \delta V + \widehat{V}_r^n(t)\delta T - \widehat{V}_r^n(t)\frac{\delta T^2}{2} + \dots + v \\ Z_c &= \widehat{C}_r^n(t-\delta T)\widehat{C}_s^n(t)\widehat{C}_n^n(t) - I \quad (17) \\ &= -E - C_r^n M C_n^n - \dot{\widehat{C}}_r^n(t)\widehat{C}_s^n(t)\widehat{C}_n^n(t)\delta T \\ &\quad + \widehat{C}_r^n(t)\widehat{C}_s^n(t)\widehat{C}_n^n(t)\frac{\delta T^2}{2} - \dots \\ &\quad + C_r^n((\dot{\Omega}_{nr}^r)^2 + \dot{\Omega}_{nr}^r)C_n^n\frac{\delta T^2}{2} + \dots + v \end{aligned}$$

여기서 $\widehat{C}_r^n = (I - R)C_r^n$, $\widehat{C}_s^n = (I + E)C_s^n$, $\widehat{C}_n^n = (I - M)C_n^n$ 이며 이때 R은 MINS 항법 좌표계상에서의 비정렬오차, E는 SINS 항법좌표계상에서의 비정렬오차, M은 MINS와 SINS간의 장착 비정렬오차를 나타낸다. 식 (17)의 유도행렬 형태의 자세 측정방정식을 $Skew(\vec{a}) = DCM \cdot Skew(\vec{b}) \cdot DCM^T$ 는 $\vec{a} = DCM \cdot \vec{b}$ 와 등가임을 [10] 이용하여 벡터 형태로 변환하고 정리하면 식 (19)와 같다.

$$z_v = \delta V + v + A\delta T \quad (18)$$

$$\begin{aligned} z_c &= -\epsilon + C_r^n \theta - C_r^n w_{nr}^r \delta T \\ &\quad + (C_r^n (w_{nr}^r)^2 + C_r^n \dot{w}_{nr}^r) \frac{\delta T^2}{2} + v \end{aligned} \quad (19)$$

위의 측정방정식을 적용하기 위해서는 w_{nr}^r 외에 2차항에 존재하는 \dot{w}_{nr}^r 을 계산하여야 하며 이는 아래의 식들을 이용하여 구할 수 있다.

$$z_v = \delta V + v + A\delta T \quad (18)$$

$$\begin{aligned} z_c &= -\epsilon + C_r^n \theta - C_r^n w_{nr}^r \delta T \\ &\quad + (C_r^n (w_{nr}^r)^2 + C_r^n \dot{w}_{nr}^r) \frac{\delta T^2}{2} + v \end{aligned} \quad (19)$$

$$\dot{w}_{nr}^r = C_n^n \dot{w}_{nr}^n \quad (20)$$

$$\dot{w}_{nr}^n = \dot{w}_{nr}^n - \dot{w}_{in}^n \quad (21)$$

$$\dot{w}_{nr}^n = C_r^n \dot{w}_{nr}^r + \dot{C}_r^n w_{nr}^r - \dot{w}_{ic}^n - \dot{w}_{en}^n \quad (22)$$

$$\dot{w}_{en}^n = [\rho_E \rho_N \rho_V]^T = \quad (24)$$

$$\left[-\frac{\dot{v}_N}{R_m + h} \quad \frac{\dot{v}_E}{R_t + h} \quad \frac{(\dot{v}_E \tan L + v_E \dot{L} \cos L)}{R_t + h} \right]^T \quad (25)$$

$$\dot{w}_{ic}^n = [\dot{\Omega}_E \dot{\Omega}_N \dot{\Omega}_V]^T = [0 \quad -\Omega \dot{L} \sin L \quad \Omega \dot{L} \cos L]^T \quad (26)$$

$$\dot{L} = \frac{v_N}{R_m + h} \quad (27)$$

여기서 \dot{w}_{ic}^n 및 \dot{w}_{en}^n 는 각각 지구 회전 각속도의 시간변화율 및 지구에 대한 항법 회전 각속도의 시간변화율이며 R_m 은 지구 장반경, R_t 는 지구 단반경, 그리고 Ω 는 지구회전 각속도이다. 앞의 식들에서 볼 수 있듯이 식 (19)의 \dot{w}_{nr}^r 계산하기 위해서는 MINS의 위치, 속도, 가속도(\dot{v}^n), 각속도(w_{nr}^r) 이외에 각각속도(\dot{w}_{nr}^r) 정보가 필요하다. 가속도계 및 자이로에서 측정하는 물리량은 각각 가속도 및 각속도 또는 속도증분 및 각도증분 값이므로 일반적으로 사용되는 MINS에서 출력되는 항법정보에 각각속도는 포함되지 않는 경우가 대부분이다. 따라서 범용으로 적용이 가능하도록 각속도 정보로부터 각각속도 정보를 추정하여 적용하였다. MINS는 노이즈의 크기가 상대적으로 작기 때문에 식 (28)과 같이 각각속도 추정이 가능하다. 여기서 w_k 는 현재샘플의 각속도, w_{k-1} 는 한 주기 이전 샘플의 각속도, 그리고 \dot{w}_k 는 추정된 각각속도이다.

$$\dot{w}_k = \frac{w_k - w_{k-1}}{\Delta t} \quad (28)$$

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 제시한 전달정렬 기법의 타당성을 검증하고 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 함정의 발사대에 장착된 유도탄의 전달정렬 상황을 가정하였다. 이때 해상상태(SSL : Sea State Level)에 따라 운동특성이 달라지는 상황을 가정하였다. SSL1은 파고가 매우 잔잔한 경우이며 SSL5은 파고가 매우 높은 경우이다. 해상상태에 따라 함정의 운동조건을 표 1과 같이 가정하였다. SSL1에 비해 SSL5은 주기는 동일하고 진폭이 세 축 모두 약 10배 큰 값을 갖도록 가정하였다. 두 경우 모두 함정은 진행방향으로 15m/sec의 속도로 이동하는 것으로 가정하였다.

표 1 전달정렬 시 함정의 운동조건

Table 1 Ship condition in transfer alignment

Sea State Level	자세	진폭(max)	주기
SSL1	롤	1.0 deg	0.12Hz
	피치	0.5 deg	0.16Hz
	헤딩	0.1 deg	0.13Hz
SSL5	롤	10.0 deg	0.12Hz
	피치	5.0deg	0.16Hz
	헤딩	1.0deg	0.13Hz

전달정렬은 10차의 칼만필터를 사용하였고 상태변수는 속도오차(3), 자세오차(3), 장착 비정렬오차(3)와 시간지연 오차(1)로 구성하였다. 시뮬레이션에 사용된 SINS와 MINS의 성능은 표 2, 3과 같이 각각 중급(1deg/hr)과 항법급(0.01deg/h) 항법장치를 적용하였다. MINS의 자세오차는 수평(롤, 피치) 0.1mrad(1σ), 수직(헤딩) 1mrad(1σ)이며 MINS와 SINS 사이의 장착비정렬각은 0.5도(1σ)로 가정하였다. MINS의 출력주기 및 필터의 측정치 갱신 주기는 12.5Hz로 하였다. 시뮬레이션은 몬테칼로 방식으로 100회

표 2 시뮬레이션에 사용된 SINS 성능

Table 2 Performance of SINS applied to simulation

센서 종류	오차 종류	크기	단위
자이로	바이어스 반복도	1	deg/hr
	환산계수 안정도	150	ppm
	비정렬	100	arcmin
	랜덤워크	0.125	deg/rt-hr
가속도계	바이어스 반복도	1000	μg
	환산계수 안정도	300	ppm
	비정렬	100	arcmin
	랜덤워크	0.065	ft/sec/re-hr

를 수행하였다. 제한한 시간지연 보상방법을 적용한 전달정렬의 성능을 확인하기 위해 표 2와 같이 기존의 방법인 각속도만 사용하여 시간지연을 보상하는 방법을 Case1, 본 논문에서 제시한 방법인 각속도, 가속도, 각가속도 정보를 이용하여 시간지연을 보상하는 방법을 Case2로 분류하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 3 시뮬레이션에 사용된 MINS 성능

Table 3 Performance of MINS applied to simulation

센서 종류	오차 종류	크기	단위
자이로	바이어스 반복도	0.01	deg/hr
	환산계수 안정도	5	ppm
	비정렬	10	arcmin
	랜덤워크	0.003	deg/rt-hr
가속도계	바이어스 반복도	100	μg
	환산계수 안정도	100	ppm
	비정렬	10	arcmin
	랜덤워크	0.001	ft/sec/re-hr

그림 4는 Case1의 경우 SSL1, 시간지연 0.3초 조건에서의 자세오차 그래프이다. 이 경우 자세오차가 1.5mrad 보다 작은 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 자세변화가 적기 때문에 동특성이 자세오차에 미치는 영향이 무시할만한 수준으로 나타났다. 하지만 SSL5의 조건에서는 전달정렬 성능이 저하된다. 그림 5, 6, 7은 시간지연이 0.3초인 조건에서 Case1과 Case2의 전달정렬 자세오차를 비교한 것이다. 그림 5에는 롤 자세오차, 그림 6에는 피치 자세오차 그리고 그림 7에는 헤딩 자세오차를 나타내었다. Case1의 경우 세 자세 모두 정렬성능이 저하된 것을 확인할 수

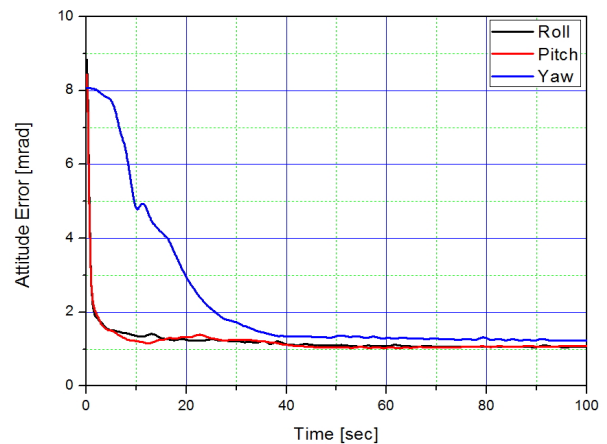


그림 4 SSL1에서 Case1 전달정렬 적용시 자세오차 (시간지연 0.3sec)

Fig. 4 Attitude error when transfer alignment of case 1 is performed in SSL1 (time delay 0.3sec)

있다. 표 4는 Case1과 Case2에 대하여 시간지연 크기에 따른 전달정렬 성능을 분석한 결과이다. 시간지연 값을 0.05초부터 0.3초 까지 증가시키면서 자세오차의 RMS값과 최대값을 계산하였다. 이 때, RMS값과 최대값은 헤딩이 수렴하기 시작하는 시점인 전달정렬 수행 후 40초 이후부터 계산하였다. 기존의 방법인 Case1은 시간지연이 증가할수록 롤, 피치, 헤딩 자세오차가 모두 증가하였고, 특히 헤딩에서 RMS값으로는 0.7mrad, 최대값으로는 약

표 4 시뮬레이션 종류

Table 4 Type of simulation

구 분	시간지연 보상방법	비 고
Case1	각속도 적용	기존 방법
Case2	각속도, 가속도 및 각가속도 적용	제안한 방법

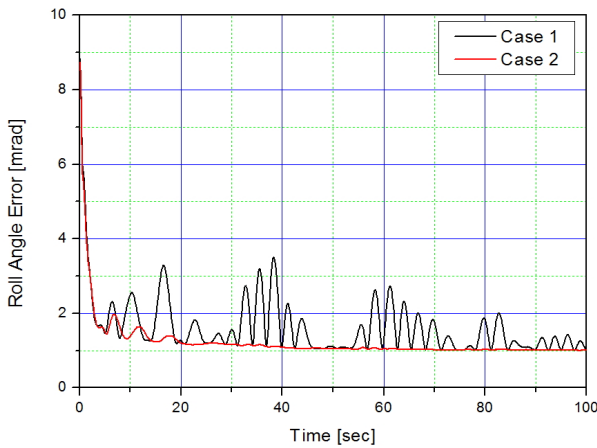


그림 5 Case1과 Case2의 롤오차 비교

Fig. 5 Comparison of roll angle error between case 1 and case 2

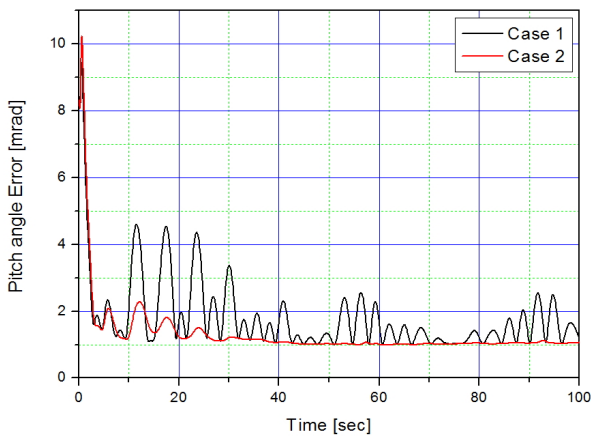


그림 6 Case1과 Case2의 피치오차 비교

Fig. 6 Comparison of pitch angle error between case 1 and case 2

2.7mrad정도 증가하였다. 반면 제안한 방법인 Case2의 경우 시간지연이 증가하여도 자세오차가 RMS는 0.02mrad, 최대값은 0.2mrad 증가하여 큰 차이가 없음을 알 수 있다. Case1의 경우 앞에서 언급한 것과 같이 시간지연 보상을 선형으로 모델링했기 때문에 자세가 급격히 변하는 변곡점에서 보상이 정확히 이루어지지 않아 오차가 증가하였고 Case2의 경우에는 2차항 보상으로 모델오차가 감소하여 전달정렬 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 시간지연 보상방법이 고기동 환경에서의 전달정렬 성능개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

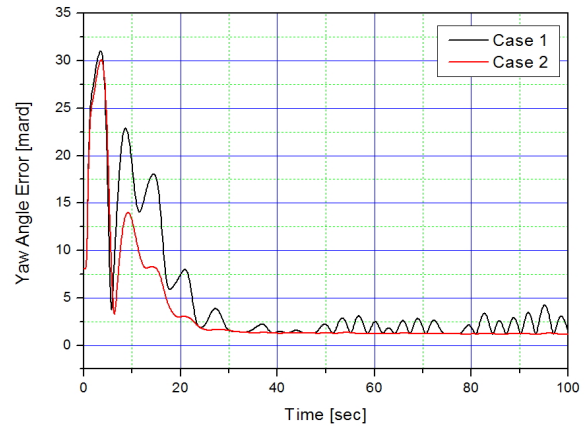


그림 7 Case1과 Case2의 헤딩오차 비교

Fig. 7 Comparison of yaw angle error between case 1 and case 2

표 5 SSL5에서 시간지연 크기에 따른 전달정렬 성능 비교

Table 5 Comparison depending on time delay in SSL5

	시간 지연	롤		피치		헤딩	
		RMS	MAX	RMS	MAX	RMS	MAX
단위	sec	mrad	mrad	mrad	mrad	mrad	mrad
Case1	0.05	1.08	1.17	0.96	1.05	1.21	1.48
	0.1	1.13	1.68	1.02	1.66	1.41	2.31
	0.2	1.20	1.96	1.07	1.59	1.44	2.24
	0.3	1.51	3.58	1.40	3.28	1.90	4.12
Case2	0.05	1.08	1.17	0.96	1.05	1.21	1.48
	0.1	1.08	1.17	0.96	1.05	1.21	1.48
	0.2	1.08	1.18	0.96	1.07	1.21	1.51
	0.3	1.09	1.21	0.97	1.11	1.23	1.61

5. 결 론

본 논문에서는 고기동 환경에서 적용 가능한 시간지연보상 전달정렬 기법을 제시하였다. 시간지연보상 오차에 의해 항체의 기

동에 따라 정확도가 떨어지는 기존 전달정렬 기법을 보완하여 MINS의 각속도, 각가속도 그리고 가속도를 이용하여 시간지연오차를 보상하였다. 이 때 각가속도 정보를 각속도 정보로부터 추정함으로써 각가속도가 출력되지 않는 MINS에도 적용이 가능하도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 시간지연이 크고 자세변화가 큰 동특성 환경에서도 성능저하 없이 전달정렬이 수행됨을 확인하였다. 따라서 제안한 방법은 큰 시간지연 오차를 갖고 각운동이 큰 상황에서도 시간지연에 의한 전달정렬 성능 저하가 발생하지 않아 전달정렬 성능이 크게 개선될 것으로 기대된다.

References

- [1] D. H. Titterton and J. L. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology, Peter Peregrinus Ltd., 1997.
- [2] K. W. Song, C. B. Jeon, J. Lyou, "A Transfer Alignment Algorithm Using Velocity and Quaternion Partial Matching Methods", Journal of control, automation and systems engineering, vol.3, no.3, 1997.6, pp. 238~243
- [3] C. J. Kim, J. Lyou, "Comparison Technique of Measurement Time Delay in Transfer Alignment Using the Double Moving Window Buffer", Journal of the KIMST, vol.14, no.4, 2011.8, pp. 684~693.
- [4] C. J. Park, M. J. Yu, S. J. Lee, "Transfer Alignment with Adaptive Filter Estimation Time Delay", Journal of the KSAS, vol.36, no.11, 2008.11, pp. 1079-1086.
- [5] J. Lyou, Y. C. Lim, "Transfer Alignment Considering Measurement Time Delay and Ship Body Flexure", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.23, 2009, pp. 195~203
- [6] R. G. Brown and Patrick T. C. Hwang, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering 3rd edition", John Wiley & Sons Inc., 1997
- [7] D. Goshen-meskin, I. Y. Bar-itzhack, "A Unified Approach To Inertial Navigation System Error Modeling", AIAA- 90-3367-CP, 1990.
- [8] K. W. Song, C. B. Jeon, H. B. Kim, "Performance Comparison of the Transfer Alignment Systems using Attitude Matching", The 7th precision guided missile conference, 1997, pp. 97~101.
- [9] K. W. Song, "Realization of a SDINS Transfer Alignment Algorithm and Performance Evaluation using FMS", Journal of the KIMST, 2001, pp. 60-69
- [10] K. R. Britting, Inertial Navigation Systems Analysis, John Wiley & Sons Inc., 1971

저 자 소 개



이 형 섭 (Hyung-Sub Lee)

2011년 경기대학교 전자공학과 졸업. 2013년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2013년 ~현재 국방과학연구소 연구원.



한 경 준 (Kyung-Jun Han)

2003년 서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2005년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 2005년 ~현재 국방과학연구소 선임연구원.



이 상 우 (Sang-Woo Lee)

1996년 아주대학교 제어계측공학과 졸업. 1998년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 전자공학부 졸업(박사). 2001년 ~현재 국방과학연구소 선임연구원.



유 명 종 (Myung-Jong Yu)

1987년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(박사). 1990 ~현재 국방과학연구소 책임연구원.