전달정렬의 선체 유연성 보상을 위한 속도 및 DCM 부분 정합방식

Velocity and DCM Partial Matching Methods for Ship Flexure Compensation of Transfer Alignment

임 유 철, 송 기 원, 유 준
(You-Chol Lim, Ki-Won Song, and Joon Lyou)

Abstract : This paper is concerned with a transfer alignment method of SDINS under ship motions. To reduce alignment errors induced by the ship body flexure, an error compensation method is suggested based on velocity and DCM partial matching, and by interpreting the simulation results and comparing with the conventional velocity and quaternion partial matching method, it is shown that the proposed method is effective enough to improve the azimuth alignment performance.

Keywords : inertial navigation system, transfer alignment, Kalman filter, DCM partial matching

I. 서론

전달정렬(transfer alignment)은 모선인 배 또는 비행기 등의 항법을 위한 정밀한 주 관성항법장치(Master Inertial Navigaion System : MINS)의 출력정보를 이용하여 모선에 장착된 또 다른 부 관성항법장치(Slave Inetial Navigation Systm : SINS)의 자세정렬을 수행하는 방법이다. 여기서 SINS는 대부분 스트랩다운 관성항법장치(SDINS)가 사용된다. 전달정렬에 있어서 SINS 출력정보와 정합 가능한 MINS 출력정보는 속도, 자세, 각속도, 가속도 등이 있으며, 모선의 항해 중 운동환경에 따라 적절한 정합방식을 조합하여 전달정렬을 구성한다.

본 논문은 항해중 파도 등에 의해 자연적으로 롤, 피치 운동을 하는 배를 모선으로 하고 SINS가 SDINS인 경우의 초기자세 정렬을 위한 전달정렬 방법을 다룬다.

일반적으로 배에서 SDINS의 전달정렬에 제공될 수 있는 외부정보는 배의 속도와 자세인데, 배의 속도는 전진방향의 속도를 제공하는 EM.log 출력이고 배의 자세는 Gyrocompass 출력이다. 운동중인 배의 SDINS의 초기정렬 방법으로 연속적으로 측정된 배의 EM.log 속도정보와 Gyrocompass 자세정보를 이용한 전달정렬 기법이 유리한 점이 많다. 배의 EM.log 속도정보를 이용한 전달정렬을 수행하면 수평축 자세정렬은 비교적 특별한 조건 없이 가능하나, 수직축인 방위각 정렬은 배의 가감속 또는 선수각 운동이 필요하다. 그리고 배의 Gyrocompass 자세정보를 이용한 전달정렬을 수행하면 정지상태에서는 수평축 수직축 정렬 모두가 원활하게 되지 못하나 적당한 롤, 피치각 운동이 존재하면 수평축 정렬은 물론 수직축 정렬도 가능하다. 그런데 항해중인 배는 정상 파도에 의해 롤, 피치각 운동이 존재하므로 배의 Gyrocompass 자세정보를 이용한 전달정렬을 수행하면 수평축 정렬과 수직축 정렬이 가능하다. 또한 Gyrocompass의 자세정보를 이용한 자세정합에는 자세정합 변수의 선정에 따라 쿼터니언(quaternion)정합과 DCM(Direction Cosine Matrix)정합으로 나눌 수 있다. 쿼터니언 정합의 경우 칼만필터의 차수가 2차 크며 칼만필터 계산량에 의해 발생되는 보정시간 지연의 영향이 있어 DCM변수를 자세정합 변수로 널리 이용한다. 이러한 특성 때문에 EM.log 속도정보와 Gyrocompass 자세정보를 동시에 사용하는 속도 및 DCM 자세정합의 전달정렬 방식이 배의 초기전달정렬 기법으로 많이 사용된다[1].

전달정렬에 의한 정렬성능은 다양한 오차요인에 의해 좌우되는데 전달정렬에 다루어야 할 오차요소로는 SDINS의 자이로, 가속도계와 함정의 EM.log 속도정보와 Gyrocompass 자세정보 등의 센서오차 요소는 물론이고 전달정렬을 실현하는 과정에서 SDINS와 Gyrocompass 또는 EM.log 사이의 장착지점 거리에 의해 유발되는 선체구조의 유연성 또는 지렛대속도 그리고 Gyrocompass와 EM.log 정보의 전송지연 등이 있다. 이와 같은 유연성, 지렛대 속도, 그리고 전송지연 등은 모두 측정오차를 유발하게 된다.

본 논문은 선체의 유연성에 의해 유발되는 오차를 보상하기 위한 연구이다. 배와 같은 구조물의 유연성은 일반적으로 X, Z축은 무시할 수 있는 반면에 Y축에서 크게 발생[1]하므로 피치각 정렬쪽의 자세정합을 상태변수에서 제외시키는 DCM 부분정합 방식의 전달정렬 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 전달정렬 성능을 속도 및 쿼터니언 부분 정합방식[2]과 비교 분석하였다.

II. 전달정렬 시스템의 구조

1. 속도 및 DCM 자세정합 전달정렬

EM.log 속도정합과 Gyrocompass 자세정합을 혼합한 전달정렬은 그림 1과 같다. 각각의 구성요소에 대해 살펴보면 EM.log에서 측정된 속도 v_{em}은 배의 자세인 $\hat{C}_m^n$을 이용하여 항법좌표계로 변환되며, 항법좌표계로 변환된 속도와 SDINS의 속도출력 $\hat{v}^n$과 차이를 주기적으로 칼만필터

접수일자 : 2000. 9. 22., 수정완료 : 2001. 1. 9.
임유철 , 유 준 : 충남대학교 전자공학과(s_hangel@cnu.ac.kr/jlyou@hanbat.chungnam.ac.kr)
송기원 : 국방과학연구소(sk1w2@hananet.net)

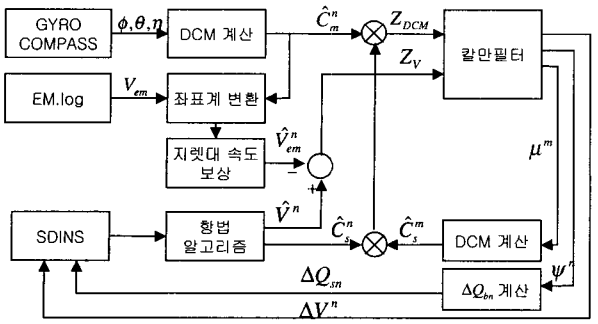

그림 1. 속도 및 자세정합에 의한 전달정렬 구성.

Fig. 1. Transfer alignment system based on EM.log velocity and gyrocompass attitude matching.

에 입력하며, Gyrocompass에서 출력된 오일러각은 DCM인 $\hat{C}_m^n$으로 변환하고 칼만필터에 의해 추정되는 장착 비정렬 $\hat{C}_s^m$ 그리고 SDINS의 DCM인 $\hat{C}_s^n$을 곱하여 칼만필터에 입력한다[1][3][4].

2. 전달정렬 칼만필터 모델

EM.log 속도정보와 Gyrocompass 자세정보를 연속적으로 이용하여 전달정렬을 원활히 수행하기 위해서는 적절한 반복필터 또는 반복 추정기를 설계해야 하는데, 전달정렬을 위한 추정기로는 칼만필터(Kalman filter)가 가장 널리 적용되고 있다.

전달정렬을 위한 대상 시스템의 모델은 SDINS의 위치, 속도, 자세오차의 미분방정식으로 나타내며, 측정모델은 속도정합인 경우 속도오차 모델, 그리고 자세정합인 경우 장착 비정렬이 포함된 자세오차 모델에 의해 결정된다. 속도정합 또는 자세정합방식의 전달정렬 칼만필터에서 요구되는 SDINS 오차모델은 위치오차의 보정은 반드시 요구되지 않으므로 위치오차 모델을 제외한 속도오차와 자세오차 모델만을 가정하였으며, SDINS의 속도오차와 자세오차는 SDINS에서 계산된 위치를 기준으로 하는 psi 오차로 정의하였다. 여기서 SDINS 오차를 psi 오차로 정의한 것은 초기위치 오차가 비교적 작고 동작시간이 짧은 전달정렬 과정의 동특성에 적합하기 때문이다. 즉 psi 오차모델이 전달정렬 과정중의 SDINS 속도오차 및 자세오차의 동특성을 비교적 잘 표현하고 있기 때문이다[1].

EM.log 속도정합과 Gyrocompass 자세정합을 혼합한 전달정렬 칼만필터의 모델은 상태변수는 (1)과 같고 상태방정식과 측정방정식은 각각 (2)~(4)와 (5),(6)과 같다[4].

$$X=[\Delta v_N\ \Delta v_E\ \psi_N\ \psi_E\ \psi_D\ \mu_X\ \mu_Y\ \mu_Z]^T \tag{1}$$

$$\dot{\Delta v}=-(\hat{\Omega}_{ie}^n+\hat{\Omega}_{in}^n)\Delta v+\hat{f}^n\times\psi+w_f \tag{2}$$

$$\dot{\psi}=-\hat{\Omega}_{in}^n\psi+w_\psi \tag{3}$$

$$\dot{\mu}=0 \tag{4}$$

$$Z_v(k)=\Delta v^n(k)+w_v(k) \tag{5}$$

$$Z_{dcm}(k)=\psi(k)-C_m^n(k)\mu(k)-w_\epsilon(k) \tag{6}$$

여기서 k 는 EM.log의 속도정보와 Gyrocompass 자세정보의 획득시간을 의미하고, w_f 는 가속도계 오차요소를, w_ψ 는 자이로 오차요소를, w_v 는 속도측정 오차요소, w_ϵ 는 자세측정 오차요소를 나타내며 모두다 백색잡음으로 간주한다.

III. 속도 및 DCM 부분정합에 의한 유연성의 고려

측정방정식에 나타나는 정합오차는 속도정합과 자세정합의 전달정렬 성능을 저하시키는 요소로서 제특성을 분석하여 보상하거나 칼만필터의 상태변수에 포함시켜 고려할 수 있다.

DCM 자세정합의 경우 정합오차 μ는 SDINS와 Gyrocompass 사이의 비정렬을 회전벡터(rotation vector)로 표현한 것이며 이것의 미분방정식은 회전벡터의 특성으로부터 SDINS와 Gyrocompass의 상대적 각속도인 ω_{ms}^s의 곱으로 (7)과 같이 유도할 수 있다.

$$\dot{\mu}=[I+\frac{1}{2}M+(1-\mu_o\frac{\sin\mu_o}{2(1-\cos\mu_o)})M^2]\omega_{ms}^s \tag{7}$$

여기서 M는 μ의 외대칭(skew-symmetric)행렬이고 μ_o는 μ의 크기이다.

(7)을 살펴보면 SDINS와 Gyrocompass가 장착되는 구조물이 강체인 경우는 $\omega_{ms}^s=0$ 이므로 $\dot{\mu}=0$가 되어 유연성에 의한 ω_{ms}^s를 고려하지 않아도 (4)의 장착 비정렬에 대한 미분방정식에 문제가 없다. 그러나 일반적으로 SDINS와 Gyrocompass가 장착되는 구조물은 비강체 특성을 지니기 때문에 $\omega_{ms}^s\neq0$이 되므로 더 이상 (4)의 $\dot{\mu}=0$를 만족하지 못하게 된다. 따라서 SDINS와 Gyrocompass사이의 비정렬은 시변특성을 나타내며, 그 결과 ω_{ms}^s는 랜덤상수로 가정한 장착 비정렬식에 미상의 입력으로 작용하여 정렬오차를 유발하게 된다. 이러한 비강체의 구조물에 의한 유연성 오차를 보상하기 위해 2차 마코프로 모델링하여 상태방정식에 추가하는 방법들이 적용되고 있으나 유연성은 장착되는 구조물의 형태와 운동상태에 따라 다르므로 정확히 모델링하는 것이 용이하지 않다. 또한 유연성의 모델을 고려하지 않고 유연성이 큰 축의 정합변수를 상태변수에서 제외시키는 쿼터니언 부분정합이 소개되었으나[2] 쿼터니언 정합이 DCM 정합에 비해 여러 단점이 있는 관계로 최근에 전달정렬의 자세정합에는 DCM 자세정합이 널리 사용되는 추세에 있다.

따라서 본 논문에서는 쿼터니언 부분정합의 기본 개념을 이용하여 DCM 자세정합의 전달정렬에 적용될 수 있는 DCM 부분정합을 유도함으로써 모델링이 용이하지 않은 유연성에 의한 ω_{ms}^s를 상태변수에 추가하지 않고 ω_{ms}^s에 의해 가장 큰 영향을 받는 장착 비정렬 μ의 성분과 관련된 상태변수와 측정값을 칼만필터에서 제외시키는 유연성 오차 보상기법을 제시한다. 여기서 제시하는 선체의 유연성 보상기법은 쿼터니언 부분정합과 마찬가지로 배와 같이 X, Z축의 유연성은 무시할 만큼 작은 반면에 Y축 유연성

이 비교적 큰 경우와 같이 임의의 한 축에서만 크게 발생할 경우에 적용할 수 있다.

ω^s_{ms}에 가장 큰 영향을 받는 상태변수를 알아보기 위해 우선 고정된 장착 비정렬과 선체의 유연성에 의한 SDINS 좌표계와 Gyrocompass 좌표계 사이의 비정렬을 3도 내외로 가정하면 (7)의 μ_o와 M는 각각 $\mu_0 \approx 0$, $M \approx 0_{3\times3}$으로 근사화시킬 수 있어 최종 (7)은 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\mu}_X \\ \dot{\mu}_Y \\ \dot{\mu}_Z \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{Xx} \\ \omega_{Yy} \\ \omega_{Zz} \end{bmatrix} \tag{8}$$

여기서 $\omega^s_{ms} = [\omega_{Xx}\ \omega_{Yy}\ \omega_{Zz}]^T$ 이다. (8)을 살펴보면 ω^s_{ms}의 Y축 성분인 ω_{Yy}만 존재한다고 가정하면 장착 비정렬 μ중에서 μ_Y가 Y축 성분의 유연성 ω_{Yy}의 영향을 가장 크게 받는다. 따라서 상태변수에서 μ_Y를 제거시키는 부분정합 방식을 생각할 수 있다. 하지만 쿼터니언 측정방정식과 달리 (6)의 DCM 측정방정식에서 μ_Y는 C^n_m에 의해 모든 자세 측정값에 영향을 주게 되어 μ_Y를 관련된 측정값을 분리하기가 어렵게 된다. 이를 해결하기 위해 (6)의 양변에 C^m_n을 곱함으로써 μ_Y의 영향을 분리할 수 있는 변형된 측정방정식 (9)를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}_{dcm(Xx)} \\ \tilde{z}_{dcm(Yy)} \\ \tilde{z}_{dcm(Zz)} \end{bmatrix} = C^m_n \begin{bmatrix} \psi_N \\ \psi_E \\ \psi_D \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mu_X \\ \mu_Y \\ \mu_Z \end{bmatrix} - \tilde{w}_\psi \tag{9}$$

그리고 (9)에서 $\tilde{z}_{dcm(Yy)}$의 측정값을 칼만필터의 측정값에서 제외시키고 (4)의 $\dot{\mu}_Y = 0$을 상태방정식에서 제거함으로써 유연성을 고려한 부분정합 모델식을 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$X = [\Delta v_N\ \Delta v_E\ \psi_N\ \psi_E\ \psi_D\ \mu_X\ \mu_Z]^T \tag{10}$$

$$A = \begin{bmatrix} -[\hat{\Omega}^n_{ie} + \hat{\Omega}^n_{in}] & \hat{F}^n & 0_{2\times2} \\ 0_{3\times2} & -\Omega^n_{in} & 0_{3\times2} \\ 0_{2\times2} & 0_{2\times3} & 0_{2\times2} \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C^m_{n11} & C^m_{n12} & C^m_{n13} & -1 & 0 \\ 0 & 0 & C^m_{n31} & C^m_{n32} & C^m_{n33} & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

이제 DCM 부분정합에 의한 자세 정합이 원활히 수행되기 위해 제외된 μ_Y을 복구해야하는 과정이 필요하다. 즉 칼만필터의 자세입력값인 Z_{DCM}을 계산하는데 있어 장착 비정렬 $\hat{C}^{\hat{m}}_s$의 정보가 필요하며 이는 추정된 장작비정렬 상태변수인 μ_X , μ_Y , μ_Z 로부터 구해져야 하므로 상태변수에서 제외된 μ_Y를 (13)과 같이 Gyrocompass의 자세정보 $\hat{C}^{\hat{m}}_m$, SDINS의 자세정보 $\hat{C}^{\hat{n}}_s$, 전 단계의 칼만필터에서 추정된 장착비정렬 정보 $\hat{C}^{\hat{m}}_s$을 곱하고 회전벡터로 변환하여 제외된 변수 μ_Y를 계산함으로써 DCM 부분정합의 불완전성을 보완할 수 있다.

여기서 rot는 DCM에서 회전벡터로의 변환을 의미한다.

$$\begin{bmatrix} \mu_X \\ \mu_Y \\ \mu_Z \end{bmatrix} = \text{rot}\,(\hat{C}^{\hat{m}}_n \hat{C}^{\hat{n}}_s \hat{C}^{\hat{s}}_m) \tag{13}$$

IV. 시뮬레이션을 통한 성능분석

자연적인 롤, 피치운동이 존재하고 Y축의 유연성이 비교적 큰 경우의 순항중인 배에서 EM.log의 속도정보와 Gyrocompass의 자세정보를 이용하여 SDINS의 초기 전달정렬 알고리즘을 본 논문에서 제시하는 속도 및 DCM 부분정합 방식으로 구성하여 몬테칼로 방식으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 성능분석을 위해 동일한 조건에서 기존의 속도 및 DCM 정합과 속도 및 쿼터니언 부분정합도 수행하였다.

시뮬레이션에 사용된 배의 운동조건으로는 롤각의 경우 주파수대역이 0.07~0.18Hz로 최대 크기가 2.1도이고 피치각의 경우 주파수대역이 0.11~0.22Hz에 최대 1.5도로 설정하였으며 선형운동이 종동요 횡동요 수직동요도 고려하였다. 배의 유연성은 구조적인 특성과 지속적으로 인가되는 외력인 중력을 고려하여 Y축의 유연성이 X, Z축에 비하여 크게 설정하였으며 Y축의 유연성의 크기는 0.05~0.1도(rms값)로 가정하였다. Y축의 유연성의 특성은 (14)와 같이 2차 마코프로 모델링하였으며 감쇄율 ζ와 고유진동수 ω_n은 각각 0.5, 0.15Hz로 정하였다. X, Z축의 유연성의 크기는 배의 구조적 형태에 따라 약간의 차이는 있으나 0.01도, 0.001도 내외로 Y축에 비해 상대적으로 작게 설정하였다[1][4].

$$\ddot{\theta}_f + 2\zeta\omega_n\dot{\theta}_f + \omega^2_n\theta_f = w \tag{14}$$

여기서 w는 $E(w) = 0$, $E(w^2) = 4\zeta\omega^3_n\sigma^2$ 인 백색잡음이다.

Gyrocompass, EM.log 및 SDINS의 성능규격은 참고문헌[1]을 바탕으로 설정하였으며 전체적인 시뮬레이션 구성은 그림 2와 같다.

우선 기존의 속도 및 DCM 자세정합에 관한 시뮬레이션 결과를 살펴보면 그림 3과 같은데, 선체의 유연성에 의한 오차성분이 주로 방위각 정렬오차에 영향이 나타나며, 이

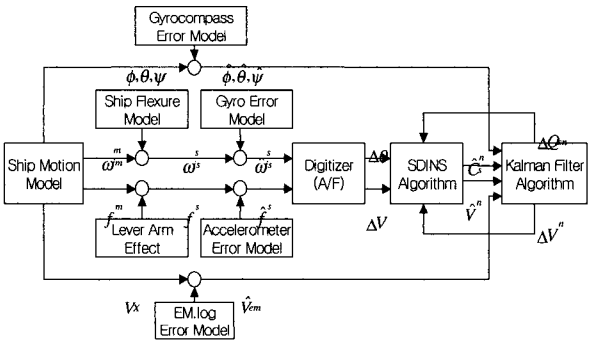

그림 2. 전달정렬 시뮬레이션 구성도.
Fig. 2. Computer simulation diagram.

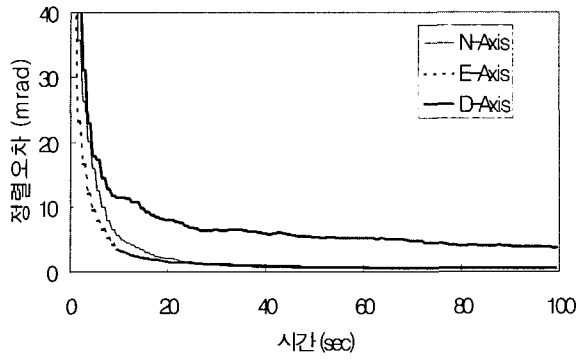

그림 3. 속도 및 DCM 정합 전달정렬에 의한 SDINS 자세정렬 오차 추이.

Fig. 3. Trends of the attitude align error of the SDINS by the transfer alignment of the velocity and the DCM matching.

것은 수평축 정렬이 방위각 정렬과 달리 유연성에 둔감한 속도 정합에 의하여 정렬이 이루어진 것으로 분석된다.

다음으로 그림 4, 5는 각각 속도 및 쿼터니언 부분정합과 속도 및 DCM 부분정합의 시뮬레이션 결과이다.

그림 3, 4의 결과로부터 속도 및 DCM 정합에 비해 유연성에 의한 방위각 정렬오차가 효과적으로 줄어드는 것을 알 수 있다. 특히 정렬시간이 길어질수록 속도 및 DCM 부분정합이 속도 및 쿼터니언 부분정합보다 더 좋은 정렬 성능을 보임을 확인할 수 있는데 이는 다음과 같이 설명될 수 있다.

장착비정렬 오차는 크게 상수성분의 순수 장착오차와 선체의 유연성에 의한 오차성분의 합으로 표현되며 장착비정렬 오차를 칼만필터에서 랜덤상수 모델로 추정하므로 상수성분인 순수 장착오차는 10초 이내의 짧은 시간에 추정이 가능하다. 따라서 10초 이후의 장착비정렬 오차는 선체의 유연성 성분으로 간주할 수 있고 선체 구조상 Y축(피치각)쪽에 주로 유연성 (θ_f)이 존재한다고 가정하면 10초

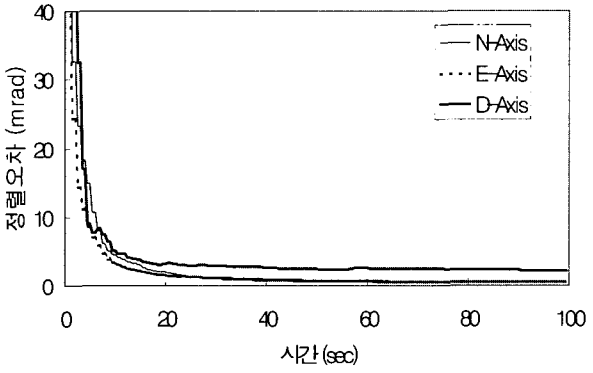

그림 4. 속도 및 쿼터니언 부분정합에 의한 SDINS 자세정렬 오차 추이.

Fig. 4. Trends of the attitude align error of the SDINS by the transfer alignment of the velocity and the quaternion partial matching.

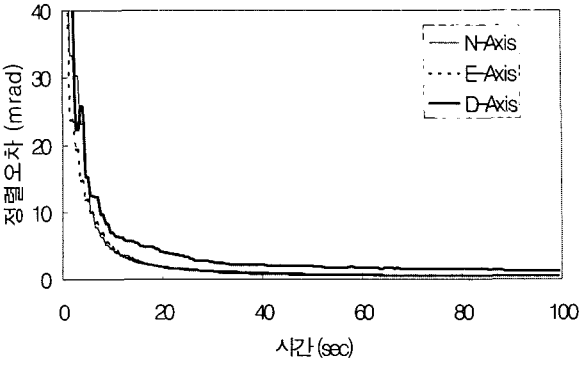

그림 5. 속도 및 DCM 부분정합에 의한 SDINS 자세정렬 오차 추이.

Fig. 5. Trends of the attitude align error of the SDINS by the transfer alignment of the velocity and the DCM partial matching.

이후의 장착비정렬은 회전벡터와 쿼터니언으로 각각 (15), (16)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu=[0\ \ \theta_f\ 0\ ]^T \tag{15}$$

$$q_{sm}=[\cos\frac{\theta_f}{2}\ \ 0\ \ \sin\frac{\theta_f}{2}\ \ 0\ ]^T \tag{16}$$

(15)를 (7)에 대입하여 다시 전개하면 (17)과 같으며 이는 (8)의 근사화식 없이도 μ_Y의 미분식을 제거함으로써 확실한 Y축 유연성 (ω_{Yy})의 영향을 배제할 수 있음을 보여준다.

$$\begin{bmatrix}\dot{\mu}_X\\ \dot{\mu}_Y\\ \dot{\mu}_Z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1-\alpha\theta_f^2 & 0 & \frac{1}{2}\theta_f\\ 0 & 1 & 0\\ -\frac{1}{2}\theta_f & 0 & 1-\alpha\theta_f^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega_{Xx}\\ \omega_{Yy}\\ \omega_{Zz}\end{bmatrix} \tag{17}$$

여기서 $\alpha=1-\frac{\mu_o\sin\mu_o}{2(1-\cos\mu_o)}$ 이다.

하지만 쿼터니언 부분정합의 경우 쿼터니언 미분방정식에 (16)을 대입하면 (18)로 표현되며 δq_{sm2}의 미분식을 제거하더라도 δq_{sm0}의 미분방정식에 ω_{Yy}이 나타나므로 Y축의 유연성이 완전히 배제될 수 없다. 이런 이유로 속도 및 DCM 부분정합이 효과적으로 유연성 영향을 줄일 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\delta\dot{q}_{sm0}\\ \delta\dot{q}_{sm1}\\ \delta\dot{q}_{sm2}\\ \delta\dot{q}_{sm3}\end{bmatrix}=-\frac{1}{2}\begin{bmatrix}0 & -q_{sm2} & 0\\ q_{sm0} & 0 & -q_{sm2}\\ 0 & q_{sm0} & 0\\ -q_{sm2} & 0 & q_{sm0}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega_{Xx}\\ \omega_{Yy}\\ \omega_{Zz}\end{bmatrix} \tag{18}$$

V. 결론

본 논문은 속도 및 DCM 정합을 이용한 초기 전달정렬 시 유연성이 임의의 한 축에 크게 나타나는 경우 발생되는 정합오차를 보상하기 위해 속도 및 DCM 부분정합 알고리즘을 제시하였다. 유연성의 모델에 대한 사전정보 없이 유연성 오차를 고려할 수 있다는 점에서 쿼터니언 부분정합

과 동일하지만 쿼터니언 부분정합과 비교하여 좀더 효과적인 유연성 오차성분을 분리할 수 있었다. 시뮬레이션을 수행한 결과 수평축 자세정렬 오차는 1mrad, 방위각 정렬오차는 2mrad 이하로 정렬오차를 줄일 수 있었다. 이는 속도 및 DCM 부분정합이 유연성 오차성분에 대해 속도 및 DCM 정합 보다 3mrad 정도, 속도 및 쿼터니언 부분정합 보다 1mrad 정도의 방위각 정렬성능이 개선된 결과이다.

전달정렬의 주요 오차요소로 선체의 유연성 이외에 시간지연에 의한 정렬오차를 들 수 있으며 추후 과제로 선체의 유연성과 시간지연을 모두 고려한 전달정렬의 보상기법에 대한 연구가 진행중이다.

참고문헌

[1] 송기원, 전창배, "SDINS의 전달정렬 알고리즘 설계 및 성능분석," MSDC-416-980574, 6. 1998.

[2] 송기원, 전창배, 유준, "속도 및 쿼터니언 부분정합에 의한 전달정렬 알고리즘," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제3권, 제3호, pp. 238-243, 1997.

[3] 송기원, 전창배, 김현백, "자세정합 전달정렬의 성능비교," 7차 유도무기학술대회 논문집, pp. 97- 101, 1997.

[4] 유준, 임유철, 송태승, 길현섭, "전달정렬의 시간지연과 유연성 오차요소 영향분석 및 보상기법 연구", 국방과학연구소 보고서, 6. 2000.

기호설명

i : 관성좌표계

e : 지구좌표계

n : 항법좌표계 (N, E, D)

s : SDINS의 IMU 좌표계

m : 함정 Gyrocompass 동체좌표계 (X, Y, Z)

λ : 발사대 좌표계

C_A^B : A좌표계로부터 B좌표계로의 좌표변환행렬

v_B^A : A좌표계에서 측정된 B좌표계 지점의 속도

ω_{ij}^k : j좌표계의 i좌표계에 대한 각속도를 k좌표계에서 측정한 값

f^k : 가속도를 k좌표계에서 측정한 값

Ω : ω 벡터의 왜대칭 행렬

F : f 벡터의 왜대칭 행렬

$(\hat{\cdot})$: 계산된 값을 표현하는 기호

μ^m : SDINS와 Gyrocompass의 장착비정렬의 오차

임 유 철

1975년 10월 2일 생. 1998년 충남대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(2000). 2000년~현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 모델링 및 필터설계 등임.

유 준

1956년 3월 22일 생. 1978년 서울대 전자공학과 졸업. 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사(1984). 1984년~현재 충남대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 산업 공정에의 제어응용, 센서 신호처리, 식별 및 추정기법 등임.

송 기 원

1962년 1월 3일 생. 1984년 성균관대 전자공학과 졸업. 충남대학교 전자공학과 석사(1992), 동대학원 박사과정(1998~현재). 1984년~현재 국방과학연구소 선임연구원. 관심분야는 강인제어/필터, 추정이론 및 관성항법장치.