

論文

RLG Trapping 신호처리 기법의 성능개선에 관한 연구

유기정*, 김천중*, 심규민*

A Study on the Performance Improvement in Trapping Signal Processing Method of RLG

Ki-Jeong Yoo*, Cheon-Joong Kim* and Kyu-Min Shim*

ABSTRACT

In this paper, we propose the new method to decrease the navigation error by measurement time synchronization error in RLG Trapping signal processing. There are two methods to eliminate the dither motion in RLG. One is the stripping signal processing method. Another is the trapping signal processing method. This two methods have various error sources in measurement output. We perform the error modelling and analysis for the measurement time synchronization error between angular rate from RLG and acceleration from accelerometer in the trapping signal processing method. And we verify the navigation performance through simulation and experiment. Results of simulation and experiment show that the proposed method is very effective in decreasing the navigation error.

초 록

본 논문은 RLG의 신호처리 기법인 Trapping 기법 적용시 각속도와 가속도의 측정시점 불일치에 의해 발생하는 오차를 보상하는 기법에 관한 연구이다. RLG의 대표적인 신호처리 기법인 Stripping 신호처리 기법과 Trapping 신호처리 기법에 대하여 각 기법의 오차요인을 분석하고 이에 대한 모델링을 수행하였다. 그리고 Trapping 기법 적용시 각속도와 가속도 측정시점 불일치에 의해 발생하는 오차에 대한 모델링을 통하여 항법오차에 미치는 영향을 분석하였으며 이를 감소시키기 위한 새로운 신호처리 기법을 제안하고 시뮬레이션 및 시험을 통하여 이에 대한 성능분석 결과를 제시하였다. 성능 분석결과 본 논문에서 제시한 신호처리 기법이 기존의 방법에 비하여 항법오차를 크게 감소시키는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : RLG(링레이저 자이로), Dither Motion, Stripping, Trapping

1. 서 론

광학식 자이로의 일종인 RLG (Ring Laser Gyroscope ; 이하 RLG)를 탑재한 관성항법장치들

일반적으로 레이저 관성항법장치(Laser Inertial Navigation System ; 이하 LINS)라 한다[4-5]. RLG는 일반적으로 RLG 내부의 레이저 공진기에 장착된 반사경의 후방산란으로 인하여 0.1 deg/sec 정도 크기의 각속도가 측정되지 않는 lock-in 영역이 존재하기 때문에 이를 제거하기 위해서 강제로 약 400 Hz 주기를 가지며 lock-in 크기의 1000배 정도의 정현파 각속도 진동을 RLG의 레이저 공진기에 가하는데 이를 Dither

† 2008년 4월 21일 접수 ~ 2008년 9월 12일 심사완료

* 정회원, 국방과학연구소

교신저자, E-mail : kjoyoo@add.re.kr

대전광역시 유성구 조치원길 462

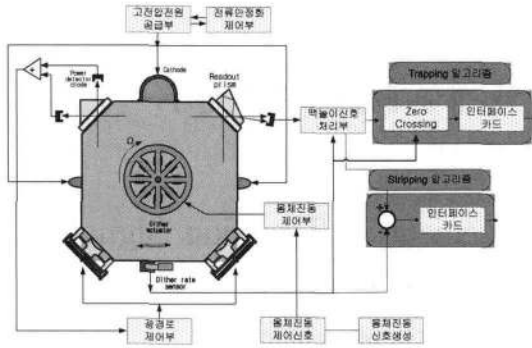


Fig. 1. RLG의 신호 흐름도

운동이라 한다[1-4]. RLG 측정치를 항법에 이용하기 위해서는 항체의 운동과 무관한 Dither 운동을 제거하여야 하며 Dither 운동을 RLG 출력에서 제거하는 방법으로 Trapping 기법과 Stripping 기법 등이 있다.

Stripping 기법은 Dither 운동을 Fig. 1에서 나타난 RAVS(Relative Angular Velocity Sensor)와 같은 센서를 이용하여 측정하고 측정값과 RLG 출력치의 차를 구하여 Dither 운동을 제거하는 방법이다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

Stripping 기법을 이용하여 측정된 각속도를 항법에 이용하기 위해서는 초기 정지상태에서 RAVS 출력치와 RLG 출력치의 진폭을 일치시키고 두 출력의 위상을 동기시켜야 한다. Stripping 기법은 고속으로 측정치의 획득이 가능하기 때문에 Coning/Sculling 오차 보상등에서 고차의 보상 알고리즘을 사용할 수 있다. 하지만 온도변화에 따른 RAVS의 특성 변화에 따른 오차가 발생하게 되므로 단시간 동안 이를 항법에 사용하기에는 아무런 문제가 없으나 장시간 비행하는 경우에는 항법성능 저하와 같은 문제가 발생할 수 있다.

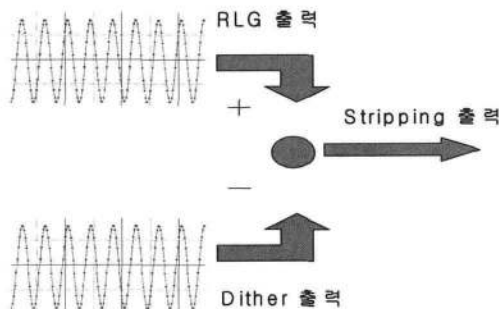


Fig. 2. Stripping 신호처리 기법의 원리

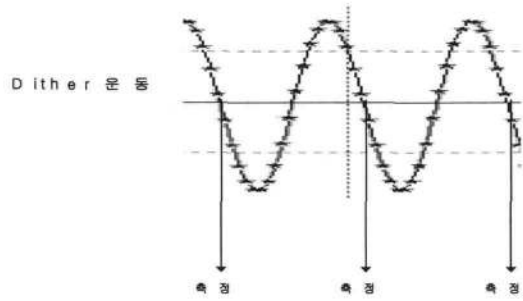


Fig. 3. Trapping 신호처리 기법의 원리

Trapping 기법은 정현파의 한 주기를 적분하면 영이 되는 원리를 이용한 것으로 Dither 운동을 측정하는 RAVS 신호 한 주기 동안의 RLG 출력을 적분함으로써 공진기에 인가한 dither 운동에 의한 출력을 제거하는 방법이다. 이 방법으로 측정된 RLG 측정치는 RAVS 출력의 영속도 교차시점 정보만을 이용하므로 온도변화에 크게 민감하지 않으며 장시간 사용에도 문제가 없다. Trapping 기법의 원리를 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다. 그러나 이 방법은 Dither 주기에 동기되어 데이터가 출력되기 때문에 3축 RLG의 측정주기(일반적으로 370, 400, 430 Hz)가 모두 다르다. 그러므로 RLG 출력을 항법 계산주기(200 Hz)로 읽어 들여 각속도로 동일하게 변환하여 자세계산을 하는 경우 200 Hz에 동기되어 측정된 각속도 정보와 RLG 측정주기의 측정시점 불일치에 따른 오차가 발생하며 이는 누적되는 항법오차를 유발한다. 특히 자세변화가 큰 고기동 항체의 경우에는 큰 항법오차가 발생하게 된다. 따라서 빠른 항법 계산주기가 요구되는 고기동 항법시에 Trapping 기법의 적용에 한계가 있을 수 있다.

본 논문에서는 위에서 기술한 두 가지 RLG 신호처리 기법에 대한 오차요인을 분석하고 이에 대한 모델링을 수행하였다. 그리고 Trapping 기법 적용시 Dither 주기에 동기되어 출력되는 각속도와 빠른 주기로 출력되는 각속도 사이의 측정시점 불일치로 인하여 발생하는 오차를 모델링하고 항법오차에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 이를 감소시키기 위한 새로운 Trapping 신호처리 기법을 제안하고 시뮬레이션 및 시험을 통하여 이에 대한 성능분석 결과를 제시하였다.

II. RLG 신호처리 기법의 해석

본 장에서는 RLG Dither 신호처리 기법인 Stripping 기법 및 Trapping 기법에 대한 오차요

인을 분석하고 이에 대한 오차해석을 통하여 각각의 오차요인에 의해 발생하는 측정오차를 해석한다.

2.1 Stripping 기법의 오차해석

Fig. 2에서 나타난바와 같이 Stripping 기법은 RAVS를 이용하여 Dither 운동에 해당하는 각속도를 측정하여 RLG 출력치에 보상하여 Dither 운동을 제거하는 방식을 이용하기 때문에 Stripping 기법 적용전에 RAVS 출력치와 RLG 출력치의 진폭 및 위상을 동기시켜야 한다. 그러나 시간이 경과함에 따라 RLG 내부온도의 상승으로 인하여 RAVS 출력치의 진폭이 실시간으로 변하게 된다. 따라서 장시간 비행하는 항체에 적용시 주기적 또는 실시간으로 RLG-RAVS 상호간의 진폭 및 위상 불일치를 보상해주어야 한다. 그러나 정지상태가 아닌 항체가 운동하는 상태에서 RLG-RAVS 진폭 및 위상을 일치시키는 것은 별도의 복잡한 알고리즘이 요구되며 이를 위해서는 RLG 내부에 고속으로 데이터의 처리가 가능한 프로세서의 탑재가 요구되기 때문에 많은 시간과 예산이 요구된다. 현재 Stripping 기법을 사용하기 위해서 RAVS 출력과 RLG 출력의 진폭을 맞추기 위하여 식 (1)과 같이 초기 정지상태에서 30초간의 측정치에 대한 표준편차를 이용하여 척도계수를 구하여 사용하며 위상은 LINS 제작시 시험을 통하여 하드웨어적으로 동기시킨다.

$$\begin{aligned} \Omega_{stripping} &= \Omega_{RLG} - K\Omega_{RAVS} \\ K &= \frac{STD(\Omega_{RLG})}{STD(\Omega_{RAVS})} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 K는 RLG출력과 RAVS출력 간의 진폭차이를 보상하기위한 척도계수이며 $STD(\Omega_{RLG})$, $STD(\Omega_{RAVS})$ 는 Dither운동이 포함된 RLG 및 RAVS 출력의 표준편차이다.

Stripping 기법의 오차해석을 위하여 오차요인으로 RAVS의 출력이 측정치 및 위상이 변한다고 가정하고 RAVS 및 RLG 측정치를 각각 S_x , R_x 라 가정하여 식 (2), (3)과 같이 모델링한다. 식 (2), (3)에서 β_x 는 Dither 운동의 주파수, A_x 는 Dither 운동의 진폭, Ω_x 는 외부에서 인가된 각속도 성분, B_x 는 RAVS에서 계측된 진폭, δA_x 는 RAVS에서 발생한 진폭오차, ϕ_x 는 RAVS에서 발생한 위상오차, δS_x 는 RAVS의 바이어스 오차이다.

$$R_x = A_x \sin(\beta_x t) + \Omega_x \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S_x &= B_x \sin(\beta_x t + \phi_x) \\ &= (A_x + \delta A_x) \sin(\beta_x t + \phi_x) + \delta S_x \end{aligned} \quad (3)$$

위의 경우 두 측정치의 진폭 및 위상이 일치하면 외부에서 인가된 각속도 성분인 Ω_x 가 측정되나 두 측정치의 진폭 및 위상이 다른 경우 식 (4)와 같은 각속도 측정치가 계산되며 Stripping 기법에 의해서 발생한 측정치 오차 성분은 식 (5)와 같다.

$$\omega_x = R_x - S_x = \Omega_x + \delta A_x \sin(\beta_x t + \phi_x) - \quad (4)$$

$$2A_x \sin\left(\frac{1}{2}\phi_x\right) \cos\left(\beta_x t + \frac{1}{2}\phi_x\right) - \delta S_x$$

$$\delta \omega_x = \delta A_x \sin(\beta_x t + \phi_x) - \quad (5)$$

$$2A_x \sin\left(\frac{1}{2}\phi_x\right) \cos\left(\beta_x t + \frac{1}{2}\phi_x\right) - \delta S_x$$

식 (5)는 Stripping 기법 적용시 x 축에서 발생하는 RLG 각속도 측정치 오차로 이를 각도로 나타내기 위하여 식 (5)를 적분하여야 한다. 식 (5)의 적분에서 Dither 운동의 진폭은 동적 lock-in을 제거하기 위하여 Dither 운동 크기의 약 20% 정도에 해당하는 백색잡음 형태의 진폭을 Dither 운동의 주기마다 혼합하여 인가하기 때문에 RAVS의 척도계수 K에 일정한 오차가 발생하여도 20%에 해당하는 진폭이 계속해서 주기에 따라 일정하게 변하기 때문에 한 주기에 해당하는 시간동안에는 진폭 및 진폭오차의 20%에 해당하는 부분을 랜덤상수로 모델링이 가능하나 본 논문에서는 해석의 용이성을 위하여 진폭오차를 상수로 모델링하였다. RAVS의 바이어스 오차는 온도에 따라 계속해서 변하는 함수이므로 1차 마코프 프로세스로 모델링하였다. 이를 고려하여 식 (5)를 Dither 운동의 한 주기에 해당하는 시간에 대하여 적분하면 정현파 성분이 제거되고 아래와 같이 각 측정치 오차가 유도된다.

$$\delta \psi_x = \int_t^{t+\frac{1}{f_x}} \delta \omega_x dt = - \int_t^{t+\frac{1}{f_x}} \delta S_x dt \quad (6)$$

위 식에서 $\beta_x = 2\pi f_x$ 이며 여기서 f_x 는 Dither 운동의 주파수를 의미한다. 위 식에서 나타난바와 같이 Stripping 기법을 이용하여 Dither 운동을 제거하고 RLG 고유의 성능을 유지하기 위해서는 RAVS의 바이어스 오차가 최소가 되도록 RLG를 설계하거나 이를 보상하는 기법의 개발이 요구된다.

항법계산을 위하여 시각동기된 RLG 및 가속도계 측정치가 요구되며 Stripping 기법 사용시

Dither 운동 주파수와 관계없이 측정치가 연속적으로 출력되기 때문에 항법을 위해 가속도계 측정치와의 동일한 시각에 계측이 가능하다.

2.2 Trapping 기법의 오차해석

Fig. 3과 같이 Trapping 기법은 정현파 운동의 한 주기를 적분하면 영이 되는 기본원리를 이용하여 Dither 운동을 제거하는 방법으로 적분주기는 RAVS 주기에 맞추어 자동으로 적분되도록 RLG를 설계한다. 그러나 실제로 RAVS 측정치는 온도에 따라 바이어스, 진폭 및 위상오차가 존재하기 때문에 RAVS 정보를 이용하여 Trapping 기법을 적용하는 경우 바이어스 및 진폭오차에 의하여 측정치 오차는 발생되지 않으나 위상오차는 적분주기를 결정하는 과정에서 사용되기 때문에 측정치 오차가 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 해석을 수행한다. Trapping 기법 사용시의 RLG 측정치를 식으로 나타내면 아래와 같고 RAVS에 위상오차 ϕ_x 가 존재한다고 가정하면 위상오차에 의해 발생하는 측정치 오차는 아래와 같다.

$$R_x = A_x \sin(\beta_x t) + \Omega_x \quad (7)$$

$$\psi_x = \int_{t+\phi_x}^{t+\frac{1}{f_x}+\phi_x} [A_x \sin(\beta_x t) + \Omega_x] dt = \Omega_x \frac{1}{f_x} \quad (8)$$

위 식에서 $\beta_x = 2\pi f_x$ 이며 여기서 f_x 는 Dither 운동의 주파수를 의미한다. 위 식에서 나타난 바와 같이 Trapping 기법은 RAVS의 위상오차에 의해서도 측정치 오차가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 즉 Trapping 기법은 RAVS의 진폭오차, 위상오차 및 바이어스 오차에 의해 직접적인 영향을 받지 않는다.

하지만 Trapping 기법 사용 시 RLG 측정치는 Stripping 기법 사용 시와 다르게 Dither 운동 주파수에 동기되어 산출되기 때문에 가속도계 측정치와 시각동기 불일치가 발생한다. 예를 들어 x, y, z축 자이로의 Dither 운동 주파수가 초기에 위상이 모두 일치한 상태에서 각각 480Hz, 400Hz, 343Hz라 가정하고 2400 Hz로 측정치 계측을 하여 12개 측정치를 더한 후 200 Hz로 항법계산을 수행하는 경우에 대한 측정치 획득 시점을 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.(일반적으로 Dither 주파수는 400±30 Hz 부근이지만 편의상 1/2400의 공배수인 주파수를 선정하였다.) Fig. 4에서 나타난 바와 같이 가속도계 측정치의 경우 일정한 주기(2400Hz)로 데이터의 획득이 가능하며 항법계산 주기와 시각동기가 가능하다.

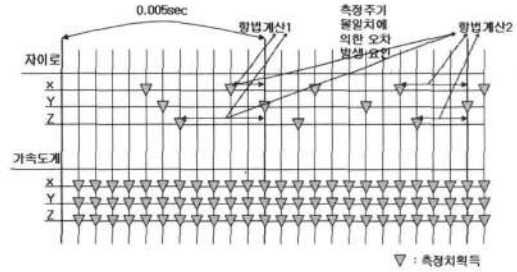


Fig. 4. Trapping 기법의 측정치 획득 시점 및 오차발생원인

그러나 RLG 데이터 획득은 3 축의 Dither 운동 주파수가 모두 다르기 때문에 항법계산 주기와 시각동기도 어렵고 가속도계 측정치와의 시각동기도 어려운 상태이다. 본 논문에서는 이러한 RLG와 가속도계 측정시점 불일치에 의해 발생하는 오차를 모델링하고 항법오차에 대한 영향을 평가한다.

Fig. 4에서 나타난 바와 같이 Trapping 기법을 사용하는 경우 400Hz 부근의 주기로 측정치가 생성되는 경우 200Hz로 데이터를 샘플링하면 1개, 2개 또는 3개의 측정치가 샘플링된다. 구체적으로 오차발생 원인에 대해 살펴보면 5ms 항법계산주기에서 X축은 항법계산1 시점에서 4.167ms 동안의 각증분만을 사용하게 되며 Z축은 2.917ms 동안의 각증분 데이터를 사용하게 된다. 이로 인해 항법계산시점에서 자세계산을 위한 회전벡터가 실제와 다르게 되고 이로 인한 자세오차가 발생한다. 이는 속도오차로 나타나게 된다. 다만 항법계산1 시점에서 반영되지 못한 각증분은 항법계산2 시점에 합쳐져서 계산되므로 누적되는 자세오차가 발생하지는 않으며, 측정치 시간 불일치에 의한 오차만 발생하게 된다.

RLG 및 가속도계 시각동기 오차에 대한 모델링을 하기 위하여 먼저 동체 좌표계에서 계측된 RLG 측정치 즉 각속도에 대한 시각동기 오차를 테일러 급수를 이용하여 모델링하면 식 (9)와 같다. RLG 측정치에는 시각동기 오차를 제외한 다른 오차요소는 없는 것으로 가정하였다.

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_{ib}^b(t) &= \omega_{ib}^b(t - \Delta T^g(t)) = \begin{bmatrix} \omega_x(t - \Delta T_x^g(t)) \\ \omega_y(t - \Delta T_y^g(t)) \\ \omega_z(t - \Delta T_z^g(t)) \end{bmatrix} \quad (9) \\ &= \begin{bmatrix} \omega_x(t) - \dot{\omega}_x(t) \Delta T_x^g(t) \\ \omega_y(t) - \dot{\omega}_y(t) \Delta T_y^g(t) \\ \omega_z(t) - \dot{\omega}_z(t) \Delta T_z^g(t) \end{bmatrix} \\ &= \omega_{ib}^b(t) - \dot{\omega}_{ib}^b(t) \Delta T^g(t) \end{aligned}$$

동체 좌표계에서 시각동기 오차가 포함된 측정치를 이용하여 동체 좌표계에서 항법 좌표계의 좌표변환행렬 미분방정식을 이용하여 정리하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{C}}_b^n &= \hat{C}_b^n \hat{\Omega}_{ib}^b(t) - \Omega_{in}^n(t) \hat{C}_b^n \\ &= \hat{C}_b^n \hat{\Omega}_{ib}^b(t) - \Omega_{in}^n(t) \hat{C}_b^n - \hat{C}_b^n \dot{\omega}_{ib}^b(t) \Delta T^g(t) \end{aligned} \quad (10)$$

위 식에서 $\hat{\Omega}_{ib}^b$ 는 각속도 벡터의 왜대칭 행렬이며 \hat{C}_b^n 는 자세오차가 포함된 자세변환행렬로서 자세오차(ϵ) 왜대칭 행렬을 E 라 할 때 $\hat{C}_b^n = C_b^n(I + E)$ 의 관계를 성립하며 이를 위 식에 대입하여 정리하면 아래와 같은 시각동기 오차를 입력으로 하는 벡터 형태의 자세오차 방정식이 식 (11)과 같이 유도된다.

$$\dot{\epsilon} = -\hat{\Omega}_{ib}^b \epsilon - \dot{\omega}_{ib}^b(t) \Delta T^g(t) \quad (11)$$

시각동기 오차 이외의 오차는 없다고 가정하고 속도 오차 방정식을 유도하면 식 (12)와 같다.

$$\dot{\delta v} = C_b^n E f^b + (\omega_{in}^n + \omega_{ie}^n) \times \delta v + \delta g \quad (12)$$

식 (11), (12)에서 나타난 바와 같이 RLG 신호처리 기법의 시각동기 오차에 의해서 발생한 오차는 자세오차를 유발시키며 이는 가속도 측정치의 좌표변환시 가속도 오차를 추가 발생시켜 속도오차가 발생하는 것으로 나타났다.

III. Trapping 신호처리 기법을 이용한 항법 알고리즘

3.1 Trapping 신호처리 기법의 오차 보상기법

본 논문에서 제안한 Trapping 신호처리기법은 기초적인 신호처리기법인 내삽법(Interpolation) 또는 외삽법(Extrapolation)과 유사하다. 하지만 일반적인 내삽법 또는 외삽법을 적용하기 위해서는 RLG Dither 주기가 변하지 않고 일정해야 한다. 하지만 RLG의 Dither 운동은 구동기의 기구적인 공진점에서 동작하도록 설계되기 때문에 Dither 주파수는 기구적인 설계를 통해 결정되며, 설계된 Dither 주파수는 온도 등의 환경변화에 따라 Dither 주기가 순간순간 일정치 않다. 따라서 일반적인 내삽법 또는 외삽법을 그대로 적용할 수 없다. 그대로 내삽법 또는 외삽법을 적용하게 되면 실제 Dither 주파수와 신호처리시의 주파수 차이만큼 누적 자세 오차가 발생하게

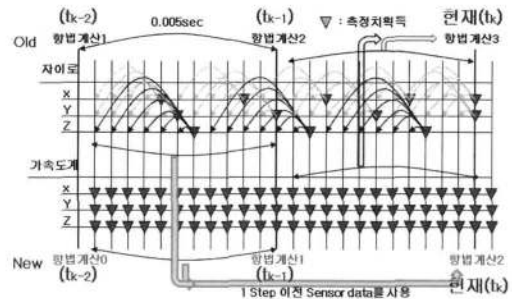


Fig. 5. Trapping 신호의 측정 오차 보상기법

된다. 따라서 본 논문에서는 항법계산을 1 계산주기동안 기다렸다가 자이로의 측정치를 획득한 후 Trapping 데이터 중간의 측정치를 실시간으로 추정하는 기법을 사용한다. 즉 Fig. 5와 같이 1step 이후의 자이로 데이터를 이용해 이전 각속도 정보를 2400Hz 정보로 생성하게 되며 이로서 Fig. 4와 같이 발생한 가속도 측정주기 불일치 문제를 해결할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 식 (13), (14)와 같다.

$$\dot{v}(t_{k-1}) = C_b^n(t_{k-1}) f^b(t_{k-1}) + (\omega_{in}^n + \omega_{ie}^n) \times v(t_{k-2}) + g(t_{k-2}) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \dot{\hat{C}}_b^n(t_{k-1}) &= \hat{C}_b^n \hat{\Omega}_{ib}^b(t_{k-1}) - \Omega_{in}^n(t_{k-2}) \hat{C}_b^n \\ &\text{(계산 시점 : } t_k) \end{aligned} \quad (14)$$

이 기법의 적용으로 항법출력이 1 계산주기 지연되는 단점이 있으나 이는 통상적인 항법용 관성항법장치의 항법출력 주기가 40~50Hz인 점을 감안하면 크게 문제가 되지 않으며, 설사 항법출력 지연시간이 민감한 항체의 경우 지연시간이 순간순간 변하지 않는 상수이므로 지연시간 보상이 가능하다.

3.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시한 RLG Trapping 신호처리 기법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 Trapping 신호의 가속도 가속도 측정주기 불일치에 의한 항법오차가 자세변화 및 가속도 입력이 있는 경우에만 나타나므로 항법장치가 정지상태에서 회전운동만 하는 경우를 가정하였다. 따라서 이때 발생하는 속도 성분은 모두 오차이다. RLG 각속도 출력의 측정주기 불일치에 의한 항법오차는 자세변화량에 비례하여 오차가 발생하므로 한 X축(피치 축)에 대해 1 deg/sec, 10 deg/sec, 100 deg/sec로 회전하는 3가지 Case에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

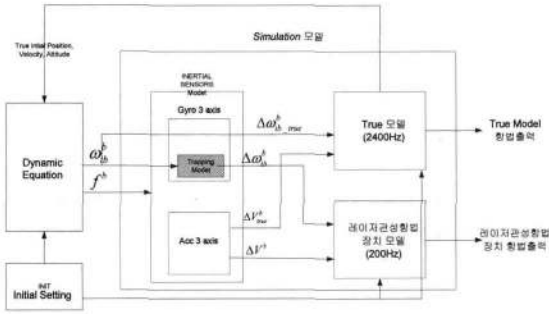


Fig. 6. 시뮬레이션을 위한 블록선도

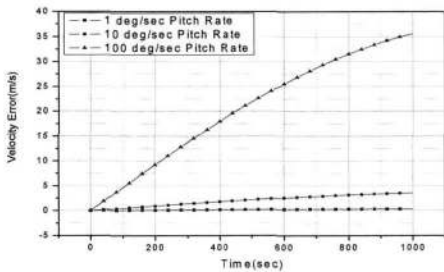


Fig. 7. 기존방법 적용시 N축 속도오차

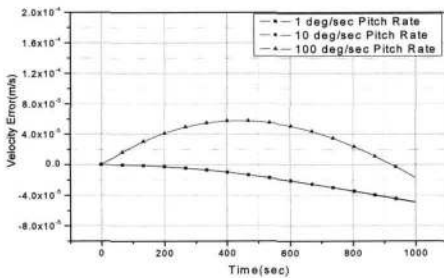


Fig. 8. 제안된 방법 적용시 N축 속도오차

RLG의 Trapping Data를 모사하기 위한 Dither 주파수는 시뮬레이션의 편의를 위하여 3축에 대해 각각 480Hz, 400Hz, 343Hz로 선정하였다. 시뮬레이션을 위한 블록선도를 그림으로 나타내면 Fig. 6과 같다.

시뮬레이션 결과 Fig. 7에 나타난바와 같이 기존의 Trapping 기법을 적용한 경우 회전속도가 증가함에 따라 480 Hz에 동기되어 출력되는 가속도와 2400 Hz에 동기되어 출력되는 가속도의 측정시점의 불일치에 의해 발생하는 오차에 의하여 속도오차가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제시한 Trapping 신호처리 기법을 적용하는 경우에는 속도오차가 거의 나타나지 않은 것을 Fig. 8을 통하여 확인할 수 있었다.

3.3 시험 결과

본 논문에서 제시한 Trapping 신호처리 기법의 성능을 확인하기 위하여 레이저 관성항법장치를 이용한 시험을 수행하였다. 시험은 실험실에서 2축 Rate Table을 이용한 정지상태 회전 시험과 차량에 탑재한 후 실제로 주행을 통한 항법 시험(Van Test) 2가지를 수행하였다. Rate Table 시험은 시뮬레이션과는 달리 RLG의 척도계수오차, 비정렬 오차 등에 의해 발생하는 항법오차를 최소화 하고 가속도와 가속도의 측정시점 불일치에 의해 발생하는 오차가 최대가 되도록 하기 위하여 초기 시험자세를 변경하고 X, Y축 가속도에 중력 가속도에 해당하는 가속도 측정치가 출력되도록 하였다. 먼저 레이트 테이블에 LINS를 장착하여 레이트 테이블을 구동하여 X축 자세를 90도로 설정 후 Z축으로 진폭이 ± 60 도의 크기를 가지며 0.5 Hz의 주기를 가지는 정현파 운동이 인가되도록 하였다. 이러한 경우에 LINS Z축에 최대 ± 200 deg/sec의 각속도가 측정되며 X, Y축에는 Rate Table의 회전축과 LINS의 중심축 중심의 불일치로 인하여 작은 크기의 각속도가 측정된다.

시험을 수행하기 위하여 동일한 정렬 및 환경 조건을 만들기 위하여 자이로 신호처리 기법을 제외한 동일한 항법프로그램 2개를 동시에 LINS 항법 컴퓨터에서 수행하도록 프로그램을 새로이 개발하였다. 시험을 위하여 LINS 항법컴퓨터에 구현된 항법프로그램의 구성을 나타내면 Fig. 9와 같고 모든 항법 프로그램의 수행주기는 200Hz이다.

축별로 장착된 RLG의 Dither 주파수는 X축은 376Hz, Y축은 403 Hz, Z축은 436 Hz이며 시험은 초기정렬이 완료된 후 항법 모우드로 진입한 후 수행하였다. 시험결과를 그림으로 나타내면 Fig. 10~12와 같다. Fig. 10은 Z축에 인가된 각속도 및 각도를 그림으로 나타낸 것으로 항법 초기에는 정지상태에서 항법 모우드 진입 후 290초

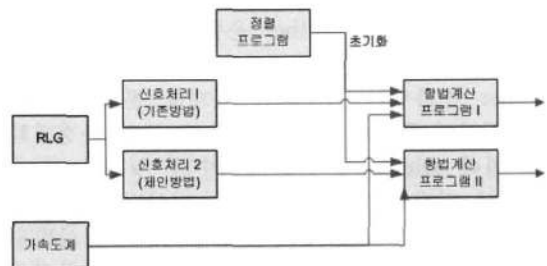


Fig. 9. 항법프로그램 구성도

부근에서부터 정현파 운동을 LINS에 인가하였음을 보여주고 있다. 이러한 운동조건에서 식 (11), (12)를 이용하여 결과를 예측하면 다음과 같다. LINS는 Z축 회전에 의해 X, Y축에 측정시점 불일치에 의한 자세오차가 발생하고 이 오차는 동체좌표계에서 측정된 가속도를 항법좌표계로 변환하는 과정에서 N, U축 속도오차를 발생할 것으로 판단되나 U축의 경우 고도안정화 루프가 수행되고 있는 관계로 N축 속도만 급격히 증가할 것으로 판단된다. 수평축 속도에 대한 시험결과를 그림으로 나타내면 Fig. 11, 12와 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 LINS에 인가되는 Z축 각 속도에 의한 상쇄효과로 인하여 측정시점 불일치에 의한 항법오차가 생성되지 않는 E축 속도는 기존방법과 본 논문에서 제시한 방법이 동일한 속도를 계산하는 것으로 나타났으나 N축 속도는 890초 부근에서 Z축으로 정현파 운동이 LINS에 가해짐에 따라 기존 방법은 급격히 속도가 증가하는 것으로 나타났으나 본 논문에서 제시한 방법은 속도변화가 크지 않은 것으로 나타났다.

차량탑재시험 결과는 Fig. 13~15와 같다. Fig. 13은 차량탑재시험 순수항법에 의한 궤적으로 동일한 지역을 6번에 걸쳐 회전하는 궤적이며 순수항법오차에 의해 궤적이 점차 아래로 처지는 것을 확인할 수 있다.

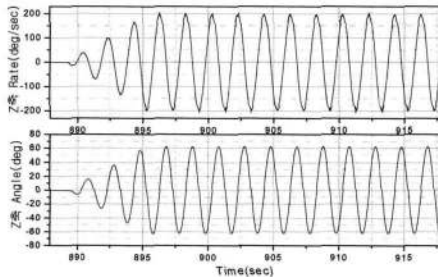


Fig. 10. Z축 각속도 및 각도

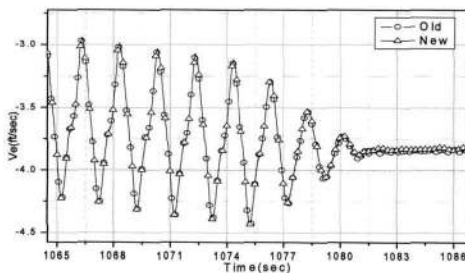


Fig. 11. E축 속도

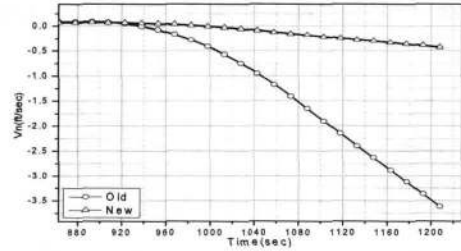


Fig. 12. N축 속도

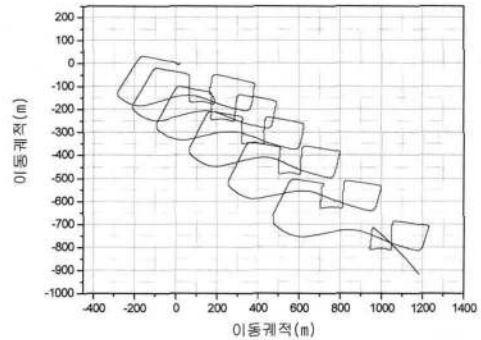


Fig. 13. 차량시험 순수항법 궤적

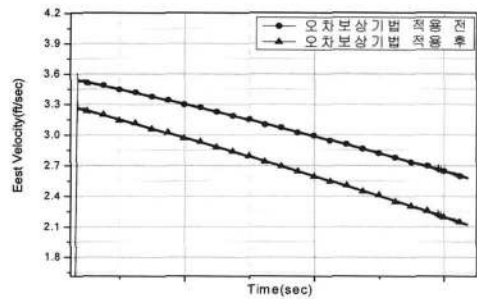


Fig. 14. 차량시험 정지상태 E축 속도

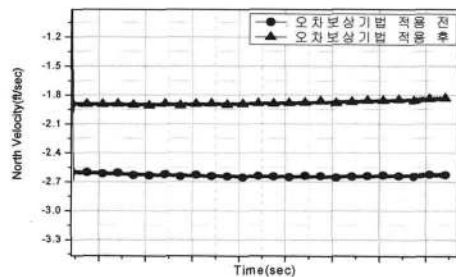


Fig. 15. 차량시험 정지상태 N축 속도

Table 1. 차량탐재시험 최종 속도 오차 비교

	Ve(ft/s)	Vn(ft/s)
Old	2.58	-2.63
New	2.12	-1.83
성능개선	0.46	0.8

Fig. 14, 15는 차량이 최종 위치에 멈춘 뒤의 속도를 나타낸 그림으로 정지상태이므로 이때의 속도는 모두 항법오차를 나타낸다. 기존의 방법이 $V_e=2.58$, $V_n=-2.63$ 의 항법오차가 발생한 반면 새로운 신호처리기법을 이용한 경우 $V_e=2.12$, $V_n=-1.83$ 으로 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

위의 시험 결과로 판단할 때 본 논문에서 제시한 Trapping 신호처리 기법이 항법성능을 크게 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 RLG의 Dither 운동을 제거하는 대표적인 방법인 Trapping 신호처리 기법과 Stripping 신호처리 기법의 오차요인을 분석하고 이에 대한 모델링을 수행하였다. 또한 Trapping 신호처리 기법 적용 시 발생하는 각속도 데이터와 가속도 데이터 간의 측정시점 불일치로 인해 발생하는 오차에 대한 모델링을 통하여 측정시점 불일치가 항법오차에 미치는 영향을 분석하였다.

그리고 측정시점 불일치로 인해 발생하는 항법오차를 감소시키기 위하여 본 논문에서는 새로운 신호처리 기법을 제안하고 시뮬레이션 및 시험을 통하여 이를 검증하였다. 제안된 RLG 신호처리 기법은 RLG 센서신호처리 하드웨어에 대한 변경없이, 항법시스템의 항법컴퓨터 소프트웨어 변경만으로 적용이 가능하다. 시뮬레이션 및 시험결과 본 논문에서 제시한 방법이 기존의 Trapping 신호처리 기법과 비교하여 항법오차를 크게 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 1) J. E. Killpartrick, "The Laser Gyro", IEEE Spect. Vol.4, 1967, pp. 44-55.
- 2) E. J. Post, "Sagnac Effect", Review of Modern Physics, vol.39, Number2, April 1967, pp. 475-493.
- 3) 심규민 외, "링레이저 자이로의 몸체진동 진폭 모듈레이션에 의한 lock-in과 불규칙 잡음 특성 연구", 한국항공우주학회, 제29권 제1호, 2001, pp. 72-80.
- 4) D. H. Titterton and J. L. Weston, "Strapdown Inertial Navigation Technology", IEE RADAR, SONAR, NAVIGATION AND AVIONICS Series 5 1977.
- 5) A. D. King, "Inertial Navigation - Forty Years of Evolution", GEC Review, Vol. 13, No. 3, 1998.