

INS 속도 정보를 사용한 GPS 반송파 추적 루프의 성능 향상

Performance Improvement of INS Velocity-aided GPS Carrier Tracking Loop

김 정 원, 황 동 환*, 이 상 정
(Jeong Won Kim, Dong-Hwan Hwang, and Sang Jeong Lee)

Abstract : This paper presents performance improvement of the INS velocity-aided GPS carrier tracking loop. To this end, INS velocity-aided GPS carrier tracking loop was modeled as a feedforward and a feedback loop system. In the phase tracking loop, it was shown that the tracking error caused by the dynamic motion of the vehicle can be compensated with the aiding of the INS information irrespective of the loop order and bandwidth. However, the signal tracking error increases as the INS error increases. It was also shown that in order to remove the tracking error caused by INS bias error, more than or equal to 2nd order PLL should be used. Experiments were carried out and the experimental results were compared with the analysis results.

Keywords : phase locked loop, velocity-aiding, tracking error

I. 서론

GPS 신호의 반송파 추적에는 FLL(Frequency Locked Loop) 또는 PLL(Phase Locked Loop)이 사용된다. 반송파 추적 루프의 성능은 루프 필터의 대역폭에 의하여 결정되는데 대역폭을 증가시키면 항체의 고기동시 신호 추적 성능은 좋아지지만 측정 잡음이 증가하며 대역폭을 감소시키면 측정 잡음이 줄지만 신호 추적 성능이 저하된다. 이러한 이유로 신호 추적 루프를 설계할 때에는 목적에 따라 대역폭을 적절히 조절해야 한다[1-3].

측정 잡음을 감소시키면서도 반송파 추적 성능을 향상시키는 방법으로 INS와 같은 외부 보조 센서의 항법 정보를 이용하여 항체의 움직임에 의한 도플러를 추정한 후 반송파 추적 루프의 입력으로 사용하는 기법이 알려져 있다[4-7]. 일반적으로 GPS 수신기의 반송파 추적 루프의 성능은 추적 루프의 차수, 대역폭 등을 이용하여 정량적인 해석이 가능하지만 INS 속도 정보를 사용한 추적 루프의 성능은 INS의 정확도 등에 의하여 영향을 받기 때문에 정량적인 성능 분석이 어려우며 명확히 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 INS 정보를 사용한 신호 추적 루프의 성능 향상 방안을 제안하고자 한다. 반송파 추적 루프에서 INS 정보를 사용하는 것이 항체의 기동시 추적 오차를 어떤 방법으로 보상하는지 살펴보고 INS 오차가 추적 루프에 미치는 영향에 대해서도 서술하고자 한다. 분석이 용이하도록 반송파 추적 루프를 앞먹임 루프와 뒤먹임 루프로 모델링하여 INS 정보를 사용했을 때의 장점과 INS 오차가 추적 루프에 어떠한 영향을 미치는지 확인하였으며 INS 오차의 영향을 감소시키기 위한 방안을 제시하였다. 서술한 내용은 컴퓨터 모의 실험과 GPS신호 발생 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다.

논문의 구성은 2절 에서 기본적인 반송파 추적 루프의 구

조에 대하여 기술하고 3절 에서 INS 정보를 사용한 반송파 추적 루프의 모델과 INS 정보가 어떤 방법으로 신호 추적 성능을 향상 시키는지와 INS 오차가 추적 오차에 미치는 영향을 서술하였다. 4절에서는 실험을 통하여 분석 결과를 제시하였고 마지막으로 5절에서 결론과 추후 연구 방향을 제시하였다.

II. 반송파 추적 루프의 구조

GPS 신호 추적 루프는 그림 1과 같이 코드추적과 반송파 추적을 동시에 수행하는 구조이다[1].

본 논문에서는 반송파 추적 루프의 PLL을 대상으로 성능 향상에 관하여 서술하고자 한다. PLL은 그림 2와 같이 판별기(discriminator) 루프 필터(loop filter), VCO(Voltage Controlled Oscillator)로 이루어진 뒤먹임 시스템으로 간략히 나타낼 수 있다[3,4].

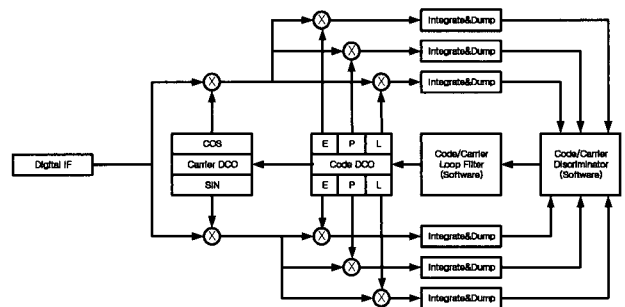


그림 1. GPS 수신기 신호 추적 루프.

Fig. 1. GPS signal tracking loop.

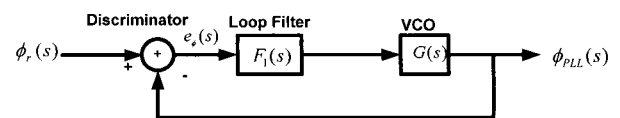


그림 2. 반송파 위상 추적 루프 블록도.

Fig. 2. The block diagram of the carrier PLL.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 4. 24., 채택확정 : 2006. 6. 10.

김정원 : 충남대학교 전자공학과(kimjw@cnu.ac.kr)

황동환, 이상정 : 충남대학교 전기정보통신공학부

(dhhwnag@cnu.ac.kr/eesjil@cnu.ac.kr)

그림 2에서 기준 입력 위상 $\phi_r(s)$ 는 주로 위성간 항체간의 상대적인 운동으로 발생하는 도플러 현상에 의하여 변하는 반송파 위상이다. 위상 판별기는 상관기의 동위상(inphase) 출력과 직교 위상(quadrature) 출력으로부터 역 탄젠트(tangent) 함수를 이용하여 위상 판별을 하는데 그림 2의 구조에서는 입력 위상과 PLL의 출력 위상의 차로 나타낼 수 있다. VCO 는 적분기로 나타낼 수 있으므로 (1)과 같은 전달함수로 나타낼 수 있다[4].

$$G(s) = \frac{1}{s} \tag{1}$$

루프 필터 $F(s)$ 는 저역 통과 필터의 특성을 가지고 있으며 루프 필터의 대역폭 및 차수에 의하여 PLL의 성능이 결정된다. PLL의 전달 함수는 (2)와 같이 나타낸다.

$$H(s) = \frac{F(s)G(s)}{1 + F(s)G(s)} \tag{2}$$

여기서 루프 필터가 1차 PLL인 경우와 2차 PLL의 경우 각각 (3)과 (4)의 형태로 나타낸다.

$$F_1(s) = \omega_n \tag{3}$$

$$F_2(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s} \tag{4}$$

PLL의 추적 성능은 (5)과 같이 추적 오차의 표준 편차로 나타낸다[1].

$$\sigma_{PLL} = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_v^2 + \sigma_t^2 + \frac{\phi_{SS}}{3}} \tag{5}$$

여기서 σ_l 는 열잡음에 의한 오차, σ_v , σ_t 는 수신기 기준 클럭(clock)에 의한 오차, ϕ_{SS} 는 정상 상태 오차인 동적 스트레스(dynamic stress) 오차를 나타낸다. PLL의 오차 중 열잡음에 의한 오차는 대역폭이 증가할수록 커지고 대역폭이 좁아질수록 감소한다. 이와 반대로 동적 스트레스 오차는 루프 필터의 차수가 높거나 대역폭이 클수록 오차가 제거되거나 감소하게 된다[1,2].

III. INS 정보를 이용한 반송파 위상 추적 루프

INS 속도 정보를 사용할 경우 반송파 위상 추적 루프의 구조는 그림 3과 같아진다.

INS에서 측정된 항체의 위치, 속도를 이용하여 항체와 위

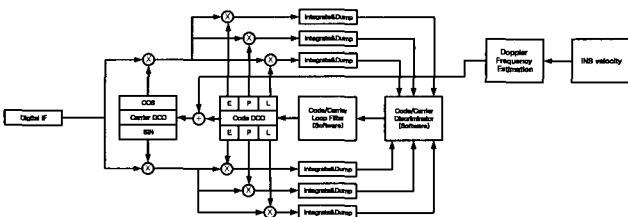


그림 3. INS 정보를 사용한 반송파 위상 추적 루프.
Fig. 3. The carrier phase tracking loop with INS velocity-aiding.

성간 상대적인 움직임에 의한 도플러 변화량을 (6)과 같이 추정한 후 반송파 루프에 인가하는 형태를 가진다.

$$f_{dopp} = \frac{\vec{V}_{SV} - \vec{V}_{RX} \cdot \vec{l}}{\lambda} \tag{6}$$

여기서 λ 는 GPS 반송파 신호의 파장, \vec{l} 은 위성과 항체간의 시선각 벡터를 나타내고 \vec{V}_{SV} 와 \vec{V}_{RX} 는 각각 위성과 항체의 속도 벡터를 나타낸다.

INS 속도 정보를 이용한 반송파 위상 추적 성능은 INS 속도 정보에 오차가 없는 경우와 있는 경우로 나누어 서술하였다.

1. INS오차가 없고 IMU의 동특성 측정 범위가 무한한 경우의 반송파 위상 추적 성능

IMU의 동특성 측정 범위가 무한하고 INS의 속도 오차가 없다고 하면 INS로부터 계산한 도플러 주파수의 입력은 그림 4와 같이 앞먹임(feedforward) 루프가 추가되어 VCO에 입력되는 형태로 들 수 있다.

도플러 주파수가 인가된 앞먹임 루프는 입력 위상과 주파수 관계 $\dot{\phi}_r(t) = f_r(t)$ 로부터 입력 위상에 대한 미분기로 구성됨을 알 수 있으며 그림 4는 그림 5와 같이 등가적으로 다시 나타낼 수 있다.

위상 추적 오차 $e_\phi(s)$ 는 (7)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} e_\phi(s) &= \phi_r(s) - \phi_{PLL}(s) \\ &= \phi_r(s) - \frac{1 + F(s)G(s)}{1 + F(s)G(s)} \phi_r(s) \\ &= 0 \end{aligned} \tag{7}$$

따라서 INS 속도 정보에 오차가 없으면 (7)과 같이 루프 필터의 차수와 대역폭에 관계없이 정상 상태 오차가 존재하지 않는다. 그러나 실제 INS 속도 정보는 IMU의 성능에 따라 오차를 가지게 되고 측정 범위가 제한되어 있으므로 이로 인해 추적 성능이 저하될 수 있다. 다음 절에서는 INS의 측

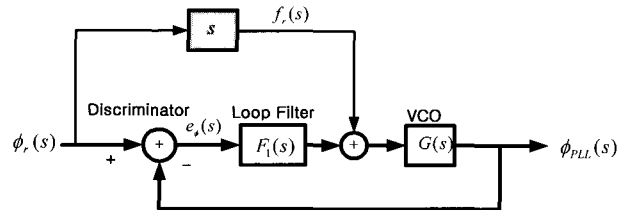


그림 4. INS 정보를 사용한 반송파 위상 추적 루프.
Fig. 4. The PLL with INS velocity-aiding.

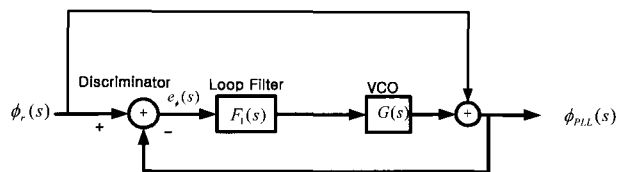


그림 5. INS 정보를 사용한 반송파 위상 추적 등가 루프.
Fig. 5. An equivalent PLL with INS velocity-aiding.

정범위가 제한되어 있는 경우와 속도 오차를 고려하였을때 신호 추적 성능을 살펴보았다.

2. INS 오차가 없고 IMU의 동특성 측정 범위가 유한한 경우의 반송파 위상 추적 성능 향상

IMU는 항체의 동특성 측정시 일정 범위에서만 측정 가능하므로 INS가 측정할 수 있는 속도 범위가 제한되어 있고 추정할 수 있는 도플러 주파수 범위도 그림 6과 같이 제한되어 있다[4,5].

INS에 의한 도플러 주파수의 대역 제한은 (8)과 같은 1차 저역 통과 필터로 근사화 할 수 있고 그림 4에서 앞먹임 루프에 대역 제한기가 추가되는 형태로 그림 7과 같이 나타낼 수 있다[4,5].

$$F_2(s) = \frac{\alpha}{s + \alpha} \tag{8}$$

여기서 α 는 IMU의 동특성 측정 범위로부터 결정되는 값이다. 이 경우 추적 루프의 전달 함수는 (9)와 같다.

$$H(s) = \frac{sF_2(s)G(s) + F_1(s)G(s)}{1 + F_1(s)G(s)} = \frac{F_2(s) + F_1(s)G(s)}{1 + F_1(s)G(s)} \tag{9}$$

이와 같이 재구성된 PLL에 대해서 1차와 2차 추적 루프의 정상 상태 오차를 계산하면 1차 PLL의 경우 속도 입력인 경우에는 정상 상태 오차가 없으며 가속도 입력인 경우에 $2/\alpha\omega_n$ 의 정상 상태 오차를 가진다. 2차 PLL의 경우에는 저크(Jerk) 입력시에만 $6/\alpha\omega_n$ 의 정상 상태 오차가 존재하게 된다.

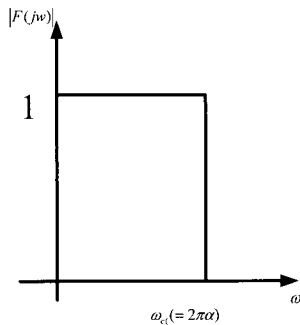


그림 6. INS 동특성의 대역 제한.
Fig. 6. The band limitation of INS dynamics range.

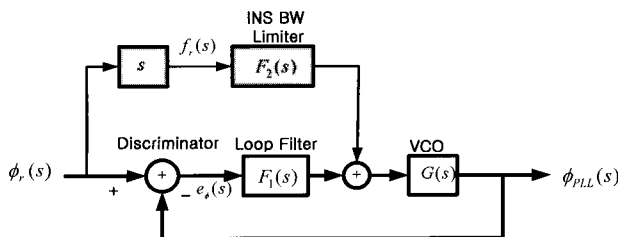


그림 7. 대역 제한기를 가지는 PLL.
Fig. 7. The PLL with INS band limiter.

오차가 없는 INS 정보를 사용한 경우 PLL의 시스템 차수가 증가하는 효과를 가지게 되어 기본적인 PLL과 달리 1차의 경우 속도 입력시에도 정상 상태 오차가 없고 2차의 경우 가속도 입력시에도 정상 상태 오차가 존재하지 않는다. 또한 정상 상태 오차가 존재하는 경우에도 모델링된 INS 대역 제한기의 대역폭에 의하여 정상 상태 오차가 감소하는 효과를 가지게 된다.

3. INS 오차가 있는 경우의 반송파 위상 추적 성능

INS 속도 정보에 오차가 있는 경우에는 추정된 도플러 주파수 정보에 오차가 있으며 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta f_{dopp} &= \hat{f}_{dopp} - f_{dopp} \\ &= \frac{\vec{V}_{SV} - (\vec{V}_{RX} + \delta\vec{V}_{RX})}{\lambda} \cdot \vec{i} - \frac{\vec{V}_{SV} - \vec{V}_{RX}}{\lambda} \cdot \vec{i} \\ &= \frac{\delta\vec{V}_{RX}}{\lambda} \cdot \vec{i} \end{aligned} \tag{10}$$

여기서 δf_{dopp} 는 도플러 주파수 오차이고, \hat{f}_{dopp} 는 INS 정보를 이용하여 계산한 도플러 주파수를 나타내고, $\delta\vec{V}_{RX}$ 는 INS가 계산한 속도 오차 벡터이다. INS 속도 오차에 의한 도플러 주파수 추정 오차는 앞먹임 루프의 외란 형태의 입력으로 모델링하여 그림 8과 같이 나타낼 수 있다.

여기서 추적 오차 $e_\phi(s)$ 는 다음 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} e_\phi(s) &= \phi_r(s) - \phi_{PLL}(s) \\ &= \phi_r(s) - \frac{F_2(s) + F_1(s)G(s)}{1 + F_1(s)G(s)} \phi_r(s) - \frac{G(s)}{1 + F_1(s)G(s)} \delta f_{dopp}(s) \\ &= \frac{-F_2(s)}{1 + F_1(s)G(s)} \phi_r(s) - \frac{G(s)}{1 + F_1(s)G(s)} \delta f_{dopp}(s) \end{aligned} \tag{11}$$

(11)에서 보듯이 INS 속도 정보의 오차에 의한 위상 추적 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 먼저 INS 오차 중 IMU의 랜덤 바이어스 오차가 있다고 하자. 이때 가속도계의 출력 오차 벡터 $\delta\vec{a}$ 는 (12)와 같이 나타낼 수 있고 \vec{B} 는 랜덤 바이어스를 나타낸다.

$$\delta\vec{a} = \vec{B} \tag{12}$$

여기서 INS의 속도 오차의 초기값은 0이고 자세 오차가 없다고 한다면 속도 오차는 (13)과 같이 바이어스의 적분 형태로 나타난다.

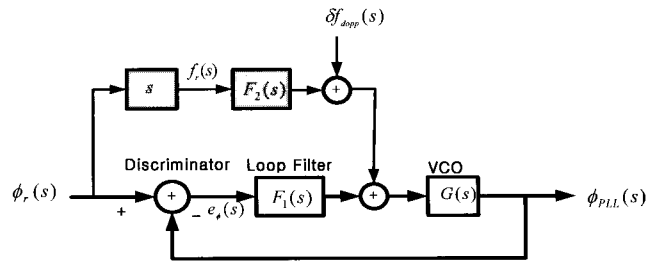


그림 8. INS 오차가 있는 경우 반송파 위상 추적 루프.
Fig. 8. The INS velocity-aided PLL with INS error.

표 1. 입력의 종류에 따른 정상 상태 오차.

Table 1. Steady-state error as a function of input type.

차수	계단 입력		속도 입력		가속도 입력	
	No error	Bias	No error	Bias	No error	Bias
1차	0	$\frac{B_V}{\lambda \omega_n}$	0	$\frac{1 + B_V / \lambda}{\omega_n}$	$\frac{2}{\alpha \omega_n}$	∞
2차	0	0	0	0	0	$-\frac{1}{\omega_n^2}$

$$\delta \vec{V}_{RX} = \int \vec{B} dt \quad (13)$$

그러면 (10)의 도플러 추정 오차식은 (14)로 다시 나타낼 수 있다.

$$\delta f_{dopp} = \frac{1}{\lambda} \int \vec{B} dt \cdot \vec{l} = \frac{1}{\lambda} \left[\int B_x dt \quad \int B_y dt \quad \int B_z dt \right] \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$= \frac{1}{\lambda} \left[l_x \int B_x dt + l_y \int B_y dt + l_z \int B_z dt \right]$$

(14)를 라플라스 변환하여 주파수 영역으로 나타내면 (15)와 같다.

$$\delta f_{dopp}(s) = \frac{1}{\lambda} \left[l_x \frac{B_x}{s} + l_y \frac{B_y}{s} + l_z \frac{B}{s} \right] \quad (15)$$

$$= \frac{1}{\lambda} \vec{B} \cdot \vec{l}$$

여기서 바이어스 벡터와 시선각 벡터의 내적을 B_V 라고 하면 INS 속도 오차에 의한 도플러 추정 오차는 (16)과 같다.

$$\delta f_{dopp}(s) = \frac{B_V}{s \lambda} \quad (16)$$

도플러 추정 오차가 (16)과 같을 때 추적 루프의 정상 상태 오차는 다음 표 1과 같이 나타난다.

표에서 확인할 수 있듯이 INS에 오차가 없다고 하면 차수가 증가하여 정상 상태 오차를 제거할 수 있지만 바이어스 오차가 있는 경우에는 신호 추적 오차가 증가하게 된다. 1차 PLL은 바이어스 오차의 크기에 따라 정상 상태 오차가 증가하게 되지만 2차 PLL은 정상 상태 오차가 발생더라도 바이어스의 영향을 받지않게 된다. 바이어스 오차의 영향을 줄이기 위해서는 2차 이상의 PLL을 사용하여야 한다.

IV 성능 평가

전술한 INS 정보를 사용한 반송파 위상 추적 루프의 성능을 검증하기 위하여 실험을 수행하였다. MATABL을 통한 실험과 GPS 신호 시뮬레이터를 이용한 실험을 수행하였다. GPS 신호 시뮬레이터는 항체의 다양한 기동에 GPS 위성 신호를 제공하므로 INS 정보 사용시 기동에 의하여 발생하는 반송파 위상 추적 성능을 확인할 수 있다. 그림 9는 GPS 시뮬레이터를 이용할 경우 모의 실험 환경을 나타내고 있다.

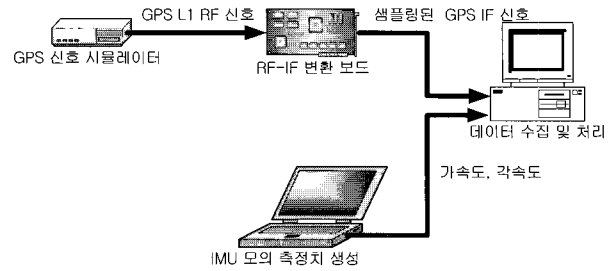


그림 9. 모의 실험 환경.

Fig. 9. Environment of simulation.

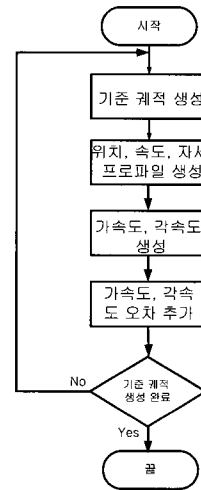


그림 10. IMU 측정치 생성 순서도.

Fig. 10. The flowchart of generation of IMU measurement.

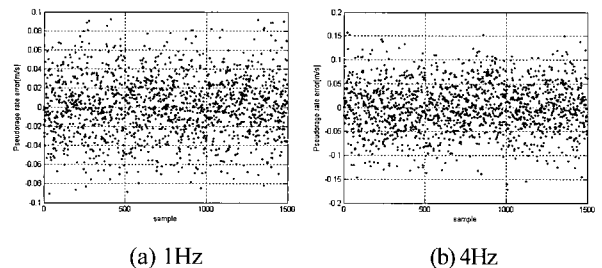


그림 11. 대역폭에 따른 의사거리 변화율 오차.

Fig. 11. The pseudorange rate error for bandwidths.

GPS 신호 시뮬레이터에 항체의 시간에 따른 위치를 시나리오를 입력하면 L1 RF 신호를 생성한다. 생성된 신호를 RF-IF 변환 보드를 이용하여 디지털 IF 데이터로 변환 한 후 컴퓨터에서 저장한다. IMU 모의 측정치는 그림 10과 같이 생성하였고 후처리 프로그램을 이용하여 GPS IF 신호와 IMU 측정치를 처리하였다.

1. 일반적인 반송파 위상 추적 루프의 성능

먼저 PLL의 루프 필터가 추적 성능 및 측정치 오차에 미치는 영향을 확인하기 위하여 의사거리율의 변화를 확인하였다. 그림 11과 표 2는 정지 상태에서 1Hz와 4Hz에서의 의사거리율 오차를 나타내었다.

INS 정보를 사용하지 않고 단독으로 동작하는 PLL은 대역

표 2. 대역폭에 따른 의사거리 변화율 오차의 표준 편차.
Table 2. Standard deviation of pseudorange rate error for bandwidths.

위성 번호	의사거리율 오차[m/s](표준 편차)	
	대역폭 = 1Hz	대역폭 = 4Hz
7	0.03134	0.05183
8	0.04001	0.06877
13	0.03885	0.07015

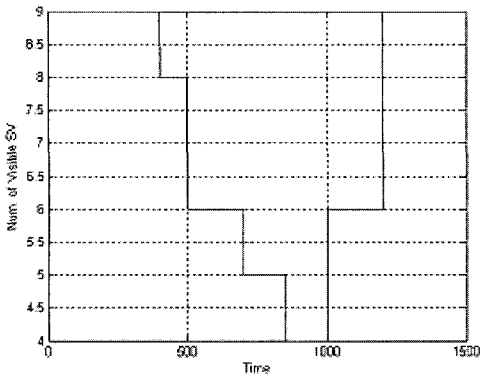


그림 12. 10G 기동시 위성 신호 추적 위성 수.
Fig. 12. Number of tracking SV in 10G dynamic.

폭이 증가함에 따라 측정치 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 다음 그림 12는 항체가 10G의 가속도로 운동하는 경우 위성 추적 상태를 나타낸 것이다. 이 때 추적 루프는 2차이며 대역폭은 0.4Hz이다.

항체가 기동할 때에는 신호를 추적하고 있는 위성 수가 최소 4개 까지 감소하는 것을 확인할 수 있고 이것은 기동에 대한 신호 추적 오차가 제대로 보상되지 않기 때문이라고 볼 수 있다.

2. INS 오차가 없는 경우의 신호 추적 성능

INS 속도 오차가 없을 때 INS 속도 도플러 주파수를 반송파 위상 추적 루프에 인가하여 추적 성능을 확인하였다. 실험은 2차 PLL을 대상으로 하였고 루프 필터의 대역폭을 변화시켜 가며 위상 추적 오차를 확인하였다. 그림 13은 INS 속도 정보를 PLL에 인가한 경우 가속도 입력에 대한 응답을 나타낸 결과이다. 1Hz, 5Hz, 10Hz대역폭을 가지는 2차 PLL에 INS 정보를 인가한 경우에는 가속도 입력에 대하여 오차가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다.

그림 14는 0.1 Hz, 0.5 Hz, 0.8Hz의 대역폭을 가지는 경우 가속도 입력에 대한 추적 오차를 나타낸 것이다. INS 정보를 이용하는 경우에는 루프의 대역폭에 관계없이 신호의 동특성에 의한 오차가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다.

1차의 PLL에 대한 실험에서도 위와 같이 신호 추적 오차가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 모의 실험 결과 INS에 속도 오차가 없는 경우에는 루프 필터의 대역폭과 차수에 관계없이 신호 추적 오차가 발생하지 않는 것을 알 수 있었고 이것은 전술한 내용과 일치한다. 다음 그림 15는 앞절의 실험과 마찬가지로 항체가 10G로 운동할 때 INS 속도 정보를 인가하였을 때의 신호 추적 위성 수를 나타낸 것이다. 여기

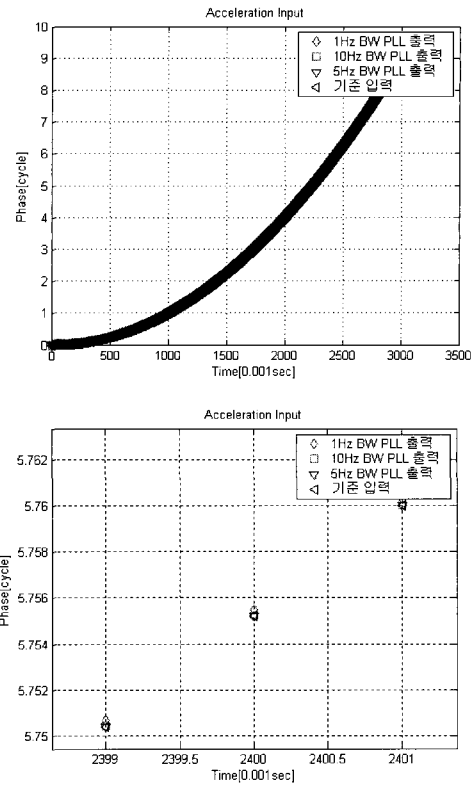


그림 13. 1Hz, 5Hz, 10Hz의 대역폭을 가지는 루프의 추적 오차.
Fig. 13. Tracking error in 1Hz, 5Hz and 10Hz bandwidth.

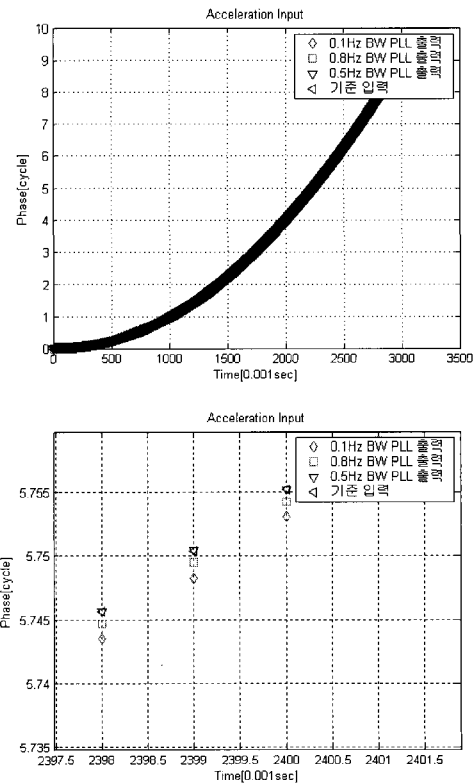


그림 14. 0.1 Hz, 0.5 Hz, 0.8Hz의 대역폭을 가지는 루프의 추적 오차.
Fig. 14. Tracking error in 0.1Hz, 0.5Hz and 0.8Hz bandwidth.

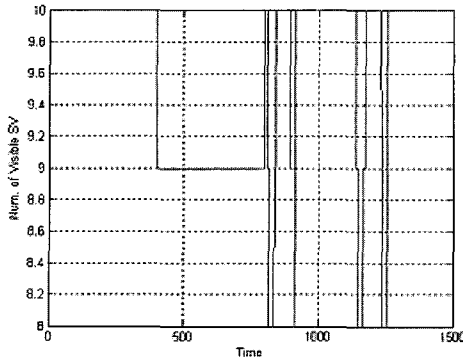


그림 15. INS 정보를 사용한 경우의 신호 추적 위성 수.
Fig. 15. Number of tracking SV with INS velocity aiding loop in 10G dynamic.

표 3. INS 오차 크기에 따른 2차 PLL의 추적 오차.
Table 3. Tracking error of 2nd PLL with different INS errors.

위성 번호	위상 오차[cycle](표준 편차)	
	INS 1	INS 2
7	0.09014	0.1013
8	0.08450	0.09866
13	0.09258	0.10061

서 앞절의 실험과 같은 차수와 대역폭을 가지는 추적 루프를 대상으로 하였다.

INS 정보를 사용한 경우에는 최소 8개 이상의 위성에 대한 신호 추적을 유지하는 것을 확인 할 수 있고 이것은 INS 속도 정보에 의하여 고기동에 의한 신호 추적 오차가 보상되었기 때문으로 볼 수 있다.

3. INS 오차가 있는 경우 반송파 위상 추적 루프 성능

INS 속도 오차가 신호 추적 성능에 미치는 영향을 확인하기 위하여 그림 9와 같이 생성한 IMU 측정치에 서로 다른 크기를 가지는 바이어스 오차를 추가하였다. 첫번째 IMU 바이어스의 2배 인 바이어스를 두번째 IMU 오차에 추가하였다. 이때 INS 오차에 의한 영향만을 확인하기 위하여 수신기 기준 클럭 오차는 같도록 하였고 추적 루프 차수와 대역폭도 각각 2차와 0.4Hz로 두었다. 성능 확인을 위하여 상관기 출력력을 이용하여 위상 오차를 계산하였다. 위상 오차 계산을 위하여 $\arctan(Q,I)$ 를 이용하였고 위상 오차의 표준 편차를 확인하였다. 표 3은 서로 다른 바이어스를 가지는 INS 속도 정보를 사용한 경우의 위상 오차의 표준 편차를 나타내고 있다.

표에서 확인할 수 있듯이 서로 다른 크기의 바이어스 오차를 가지는 INS 정보를 사용한 추적 루프의 위상 추적 오차가 바이어스 오차의 크기에 관계 없이 거의 유사한 것을 알 수 있고 이 것은 열잡음과 수신기 시계에 의한 오차만 존재

하고 IMU 바이어스 오차에 의한 정상 상태 오차는 제거 되었다는 것을 보여준다. 결국 2차 PLL을 사용하면 INS의 바이어스에 의한 추적 오차를 제거할 수 있게 된다.

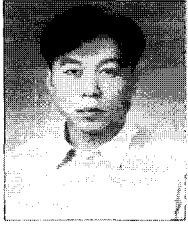
V. 결론

본 논문에서는 GPS 수신기의 신호 추적 루프 중 PLL을 대상으로 INS 정보를 인가하였을 경우 INS 정보가 신호 추적 루프에 어떤 영향을 미치는지 서술하였고 성능 향상 방안을 제시하였다. INS 속도 정보에서 추정된 도플러 주파수를 사용하는 추적 루프는 항체의 기동에 의한 오차가 INS 정보에 의하여 보상된다. INS에 가속도계 바이어스 오차가 있을 때 1차 PLL을 사용하면 INS 오차에 의하여 정상 상태 오차가 유발되지만 2차 PLL을 사용하는 경우에는 INS 바이어스 오차에 의한 영향을 제거 할 수 있으므로 INS 속도 정보를 이용하여 반송파 추적 루프의 성능을 향상 시키기 위해서는 2차 이상의 PLL을 사용하여야 한다. 분석한 내용을 검증하기 위하여 MATLAB과 GPS 시뮬레이터를 이용한 실험을 수행하였다. 실험 결과, INS 정보를 사용하는 추적 루프는 항체의 기동에 의한 신호 추적 오차를 효과적으로 보상하는 것을 확인하였고 2차 PLL을 사용하면 INS 바이어스 오차의 영향을 제거 할 수 있는 것을 확인하였다.

IMU에는 바이어스 오차외에도 드리프트(drift), 랜덤 워크(random walk) 등의 오차가 존재한다. 보다 엄밀한 성능을 보기 위해서는 이러한 오차들에 대해서도 모델링하여 반송파 추적 루프에 미치는 영향도 확인해야만 한다.

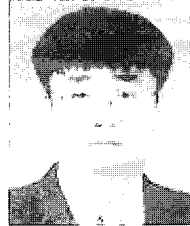
참고문헌

- [1] E. D. Kaplan, *Understanding GPS : Principles and Applications*, Arterch House, Boston, 1996.
- [2] B. W. Parkinson and J. J. Spilker, *Global Positioning System : Theory and Applications Volume I*, AIAA Inc. Washington DC, 1996.
- [3] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning System : Signals, Measurement and Performance*, Ganga-Jamuna Press, Massachusetts, 2001.
- [4] S. Alban, and D. Gebre-Egziabher, "Performance analysis and architectures for INS-aided GPS tracking Loops," *Proceedings of the ION NTM-03*, Anaheim, CA, January 2003.
- [5] S. Alban, *Design and Performance of a Robust GPS/INS Attitude System For Automobile Applications*, Ph.D. Thesis, Stanford University, 2004.
- [6] G. Johnson, M. Lage, and et al, "The JPALS performance Model," *Proceeding of the ION-GPS 2003*, Portland, OR, September 2003.
- [7] J. F. Wagner, and G. Kasties, "Improving the GPS/INS integrated system performance by increasing the distance between GPS antennas and inertial sensors," *Proceedings of the ION NTM-02*, San Diego, CA, January 2002.



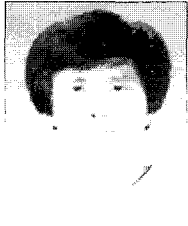
김 정 원

2002년 충남대학교 전자공학과(공학사). 2004년 충남대학교 전자공학과(공학석사). 2004년~현재 충남대학교 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 임베디드 시스템, GPS/INS 통합 항법 시스템.



황 등 환

1985년 서울대학교 전기공학과(공학사). 1987년 KAIST 전기 및 전자 공학과(공학석사). 1991년 동 대학원(공학박사). 1996년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수. 관심분야는 INS, GPS, 추정론.



이 상 정

1979년 서울대 전자공학과(공학사) 졸업. 1981년 동 대학원(공학석사). 1987년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사). 1988년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수. 관심분야는 강인제어, 위성 항법.