Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2013) 19(2):152-157
http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.19.2.152 ISSN:1976-5622 eISSN:2233-4335

GPS 교란 환경에서 벡터추적루프 기반 수신기 성능평가

Performance Evaluation of Vector Tracking Loop Based Receiver for GPS Anti-Jamming Environment

송 종 화, 임 성 혁, 지 규 인*
(Jong-Hwa Song[1], Sung-Hyuck Im[2], and Gyu-In Jee[1])
[1]Konkuk University
[2]Korea Aerospace Research Institute

Abstract: In this paper, we represent the implementation and performance analysis of vector tracking loop based GPS receiver for jamming environment. The vector tracking loop navigation performance is compared by simulation with conventional tracking loop. The simulation results shows that vector tracking loop is more robust than conventional tracking loop in jamming environment. The vector tracking loop can gain 2dB in jamming performance capability over a conventional GPS receiver. Also, Anti-jamming performance of INS Doppler aiding and deep integration method are compared.

Keywords: vector tracking loop, GPS receiver, jamming, GPS/INS deep integration

I. 서론

최근 스마트 이동기기 사용자가 급격히 늘어남에 따라 위치기반 정보와 지도, 교통 등과 같은 정보를 융합하는 서비스가 증가하고 있다. 이와 같이 위치정보의 활용분야가 확대됨에 따라 연속적이고 안정적이며, 그리고 정확한 항법해에 대한 요구가 커지고 있다. GPS 는 신호수신만 가능하면 비교적 정확하고 쉽게 위치를 계산할 수 있으므로 일반 사용자 분야에서 이용이 증가하고 있다.

GPS는 위성에서 송출되는 신호를 이용하여 수신기와 위성 사이의 거리를 계산하고 위치를 추정한다. 이와 같이 전파를 기반으로 하는 항법시스템은 다른 간섭신호나 의도된 교란 신호에 취약성을 갖고 있다. 최근 국내에서 2010년 8월과 지난해 3월, 올해 4월 세 차례에 걸쳐 GPS 이용을 방해하는 교란 신호가 발생하였다. 올해 4월에 발생한 교란 신호에 의해서 수도권과 중부지역에서 운항하는 항공기와 선박의 GPS가 동작하지 않아 운항에 차질을 빚었으며, 고가 INS를 이용한 대체항법을 통해서 운항하였다.

GPS 신호는 직접확산 코드분할 다중접속방식(DS-CDMA: Direct Sequence-Code Division Multiple Access)을 이용하므로 기본적으로 교란신호에 대한 대응 성능을 가지고 있다. 이론적으로 C/A 코드는 신호처리 이득을 43dB 갖으며, 교란신호에 대해서 약 25dB의 여유를 갖는다[1]. 하지만 더 높은 세기의 교란에 대해서는 한계를 가지므로 다른 교란대응 기법이 필요하다.

일반적으로 GPS 교란대응 기법은 상관 전후로 나뉠 수 있다. 상관 전 기법은 입력된 교란 신호를 제거하는 방법으로 시간영역, 공간영역 교란 대응 기법이 있다. 시간영역 기법으로 노치필터나 FFT 필터 등이 있으며 CW (Continuous Wave)와 같은 협대역 교란신호를 제거하기 위해서 사용된다. 이와 반대로 광대역 교란신호 제거를 위해서 배열안테나와 같은 공간영역 기법이 이용된다[2]. 상관기를 통과한 후 GPS 교란신호는 주파수 영역에서 확산되며, GPS 수신기 측면에서 보면 잡음의 세기가 커진 것과 같다. 이와 같은 이유로 GPS 신호의 감도를 높임으로써 교란신호에 대응할 수 있다. 상관 후 교란 대응 기법으로 반송파 추적루프 대역폭 적응 기법, INS 센서 결합 기법, 그리고 벡터추적루프 등이 있다. 반송파 추적루프 대역폭 적응기법과 INS 센서 결합기법은 추적루프의 대역폭을 변화시켜서 수신기 잡음을 줄임으로써 신호세기를 높이는 방법이다[3].

벡터추적루프는 신호추적 채널간 상관관계를 이용하여 신호추적루프 구성함으로써 성능을 향상시키는 방법이다. 일반적인 신호추적루프는 각 채널이 독립적이고 병렬로 동작하며, 각 채널은 그림 1과 같이 변별기, 루프필터 그리고 DCO로 구성되어있다. 이 구조에서 한 채널의 신호추적 결과는 다른 채널의 신호추적에 영향을 미치지 않으며, 각 채널의 신호추적 결과를 이용하여 항법해는 계산된다. 하지만 각 채널은 수신기가 움직임에 대해서 영향을 받으므로 서로 독립적이지 않고 상호 연관되어있다. 이러한 특징을 고려한 수신기 구조가 벡터추적루프이다[4]. 이 방식은 그림 2에 나타낸 것과 같이 각 채널의 추적결과가 항법필터에서 결합되어, 다시 각 채널로 재분배 되는 구조로 되어있다. 이 구조는 항법결과에 의해서 채널 사이 서로 영향을 미치므로, 신호 세기가 낮은 채널이 다른 채널로부터 도움을 받아 신호추적이 가능하다. 일반적으로 벡터추적루프는 일반적인 신호추적루프보다 5~7 dB 낮은 신호에 대해서 신호 추적이 가능한 것으로 알려져 있다[5,6]. 이러한 특성으로 인해서 벡터추적루프는 교란신호가 입력된 경우 일반적인 신호추적루프보다 나은 성능을 갖게 된다. 하지만 이러한 연구결과에서는 항법결과에 대한 성능이 평가되지 않아 이에 대한 연구가 필요하다

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2012. 12. 3., 수정: 2012. 12. 26., 채택확정: 2012. 12. 31.
송종화: 건국대학교 전자정보통신공학과(hawya@konkuk.ack.r)
임성혁: 한국항공우주연구원(ish@kari.re.kr)
지규인: 건국대학교 전자공학부(gijee@konkuk.ac.kr)
※ 본 연구는 방위산업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었음.

Copyright© ICROS 2013

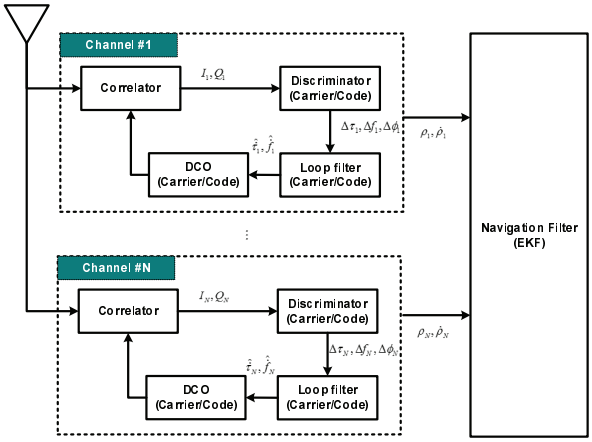

그림 1. 일반적인 GPS 신호추적루프 구조.

Fig. 1. Block diagram of conventional GPS signal tracking loop.

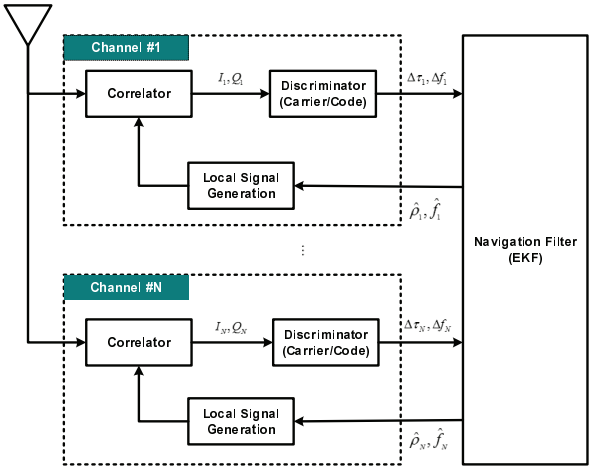

그림 2. 벡터추적루프 구조.

Fig. 2. Block diagram of vector tracking loop.

[6]. 그리고 GPS 만을 이용하는 경우 교란 대응에 한계가 있으므로 추가적으로 다른 센서를 이용해야 한다. INS 센서는 GPS와의 상호보완적인 특성으로 많이 이용되어왔으며, 최근에 센서 기술의 발달로 저가 INS 성능이 향상되고 있다. 벡터추적루프에서 항법필터를 기존의 GPS/INS로 결합기법을 이용하여 쉽게 초강결합을 구현할 수 있다.

본 논문에서는 벡터추적루프를 기반으로 수신기를 구현하고, GPS 교란 환경에서 성능을 시뮬레이션을 통해서 평가하였다. 추가적으로 INS 도플러 도움정보 기법과 초강결합 기법을 구현하고 교란대응 성능을 분석하였다. II 장에서는 제안된 벡터추적루프의 구조와 항법필터를 나타내고, INS 가결합된 구조를 III 장에 나타내었다. IV 장에서는 시뮬레이션 방법과 교란 대응 성능을 나타내었다. 마지막으로 결과를 정리하였다.

II. 벡터추적루프 구조 및 설계

1. 벡터추적루프 구조

위의 그림 2에 나타난 것과 같이 벡터추적루프는 항법필터에서 각 채널의 입력될 신호를 예측하므로, 항법해가 먼저 추정되어야 한다. 따라서 GPS 수신기는 일반적인 신호추적루프 구조로 동작하다가 항법해가 추정되면 벡터추적루프 구조로 변경하도록 구현된다. 항법해가 추정되면 항법필터에서는 칼만필터 예측식을 이용해서 다음 순간에 항법해를 예측한다. 각 채널로 입력되는 의사거리와 주파수는 아래의 식과 예측된 항법해로부터 계산된다.

$$\hat{\rho}^i = \left\| r^i - r^u \right\| + b^u \tag{1}$$

$$\hat{f}_D^i = -\left(\frac{v^i - v^u}{c}\right) \cdot \left(\frac{r^i - r^u}{\left\| r^i - r^u \right\|}\right) f_{L1} \quad \text{where } v^u = v^u{}_{k+1/k} \tag{2}$$

여기서 r^u 와 v^u 는 예측된 항법해를 나타내고, r^i 와 v^i 는 i번째 위성의 위치와 속도, b^u 는 예측된 수신기 시계오차를 나타낸다. 그리고 f_{L1} 과 c 는 각각 L1 주파수와 광속을 나타낸다.

각 채널은 의사거리와 주파수로부터 국부신호를 만들고 입력되는 신호와 상관한다. 상관된 결과는 코드와 주파수 변별기로 입력되어 예측된 값과 입력된 값의 차이를 출력한다. 항법필터에서는 이를 이용하여 항법해를 계산하고 위 과정을 반복한다. 항법필터에서 각 채널의 출력은 측정치 유수값(measurement residual)으로 이용된다. 아래에 설계된 항법필터에 대해서 나타내었다.

2. 항법필터 설계

2.1 상태방정식

위에서 언급한 것과 같이 벡터추적루프에서 항법필터는 일반적인 신호추적루프의 루프필터와 같은 역할을 한다. 항법필터의 상태변수는 루프필터 차수와 동일한 관계를 갖고 있다. 즉, 항법필터의 상태변수가 위치, 속도, 가속도 모델인 경우 3차 루프필터와 동일한 기동 추적성능을 가지며, 위치, 속도 모델인 경우 2차 루프필터와 동일한 기동 추적성능을 갖는다. 본 논문에서는 상태변수를 위치, 속도, 가속도, 시계오차, 시계오차의 변화율로 가정하였다.

$$X = \begin{bmatrix} x & y & z & \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} & \ddot{x} & \ddot{y} & \ddot{z} & b & \dot{b} \end{bmatrix}^T \tag{3}$$

위 상태변수로부터 상태방정식은 아래와 같이 나타내어진다.

$$X_{k+1} = FX_k + w_k \tag{4}$$

$$F = \begin{bmatrix} F_p & 0_{9\times2} \\ 0_{9\times2} & F_b \end{bmatrix}, \quad F_p = \begin{bmatrix} I_{3\times3} & TI_{3\times3} & \frac{T^2}{2}I_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & I_{3\times3} & TI_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & I_{3\times3} \end{bmatrix},$$

$$F_b = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Q_k = E\left[w_k^T w_k\right] = \begin{bmatrix} Q_P & 0_{9\times2} \\ 0_{2\times9} & Q_b \end{bmatrix}$$

$$Q_P = q_p T \begin{bmatrix} \frac{T^4}{20}I_{3\times3} & \frac{T^3}{8}I_{3\times3} & \frac{T^2}{6}I_{3\times3} \\ \frac{T^3}{8}I_{3\times3} & \frac{T^2}{3}I_{3\times3} & \frac{T}{2}I_{3\times3} \\ \frac{T^2}{6}I_{3\times3} & \frac{T}{2}I_{3\times3} & I_{3\times3} \end{bmatrix}, \quad Q_b = q_b T \begin{bmatrix} \frac{T^2}{3} & \frac{T}{2} \\ \frac{T}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

여기서 T 는 항법해 계산 주기, $I_{3\times3}$ 는 3차 단위행렬, $0_{3\times3}$ 는 3차 영행렬을 나타낸다. w_k 는 공정잡음을 나타내고, Q_k 는 공정잡음의 공분산을 나타낸다.

2.2 측정방정식

측정치는 기존 항법필터와 동일하게 의사거리와 의사거리 변화율로 설정하였다. 하지만 실제 입력되는 값은 변별기 출

력이므로 아래의 관계식을 통해서 필터의 측정치 유수값으로 변환하였다.

$$\rho_k^n - \hat{\rho}_k^n = \frac{c}{1.023\times10^6}\cdot\Delta\tau_k^n \tag{5}$$

$$\dot{\rho}_k^n - \hat{\dot{\rho}}_k^n = -\frac{c}{f_{L1}}\cdot\Delta f_k^n \tag{6}$$

여기서 ρ_k^n, $\dot{\rho}_k^n$ 은 n번째 위성의 의사거리와 그 변화율을 나타내고, $\hat{\rho}_k^n$ 과 $\hat{\dot{\rho}}_k^n$ 는 항법필터에서 예측된 의사거리와 그 변화율을 나타낸다. $\Delta\tau_k^n$ 과 Δf_k^n 는 코드와 주파수 변별기 출력을 나타낸다.

항법필터의 측정치와 측정방정식은 아래와 같다.

$$Z_k = \left[\rho_k^1 \quad \cdots \quad \rho_k^n \quad \dot{\rho}_k^1 \quad \cdots \quad \dot{\rho}_k^n\right]^T \tag{7}$$

$$Z_k = h(X_k) + v_k$$

$$\begin{bmatrix} \rho_k^n = \left|r_k^i - r_k^u\right| + b_k^u \\ \dot{\rho}_k^n = \left(v^i - v^u\right)\cdot\dfrac{r^i - r^u}{\left\|r^i - r^u\right\|} + \dot{b}_k^u \end{bmatrix} \tag{8}$$

여기서 $h(X_k)$ 는 측정식, v_k 는 측정잡음을 나타낸다.

확장형 칼만필터 적용을 위해 관측행렬은 다음과 같이 선형화 된다.

$$H_k = \left.\frac{\partial Z}{\partial X}\right|_{X=X_{k+1/k}} = \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc|cc} h_{x,1} & h_{y,1} & h_{z,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{x,n} & h_{y,n} & h_{x,n} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & h_{x,1} & h_{y,1} & h_{z,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & h_{x,n} & h_{y,n} & h_{z,n} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \tag{9}$$

$$h_{x,n} = \frac{-\left(x^i - x_u\right)}{\left|r^i - r^u\right|},\quad h_{y,n} = \frac{-\left(y^i - y_u\right)}{\left|r^i - r^u\right|},\quad h_{z,n} = \frac{-\left(z^i - z_u\right)}{\left|r^i - r^u\right|}$$

여기서 $h_{x,n}$, $h_{y,n}$, $h_{z,n}$ 는 x, y, z 방향으로의 방향 코사인 벡터를 나타낸다.

III. INS 센서 결합 방법

이장에서는 일반적인 신호추적루프와 벡터추적루프에 대한 INS 센서 결합 방법에 대해서 나타내었다. 일반적인 신호추적루프는 INS 도플러 도움정보 기법을 이용하였고, 벡터추적루프는 초강결합 기법을 이용하여 INS와 결합하였다.

1. INS 도플러 도움정보 기법

일반적인 신호추적루프 구조에서 INS 항법정보를 이용하여 신호추적루프의 성능을 향상시키기 위해서 INS 도플러 도움정보 기법이 이용된다. 그림 3은 INS 도플러 도움정보 기법의 구조를 나타낸 것으로, 기존의 GPS/INS 약결합/강결합 구조에서 INS 도플러 정보가 각 채널의 신호추적루프로 입력되는 부분이 추가되어있다. INS로 입력된 도플러 정보는 신호추적루프의 대역폭을 감소시키고, 입력되는 잡음을 줄여

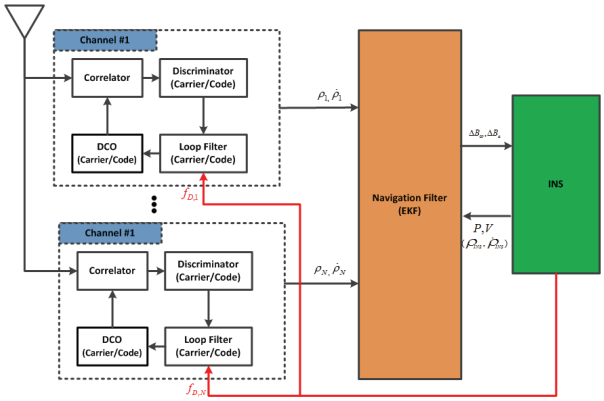

그림 3. INS 도플러 도움정보 기법.
Fig. 3. INS Doppler aiding.

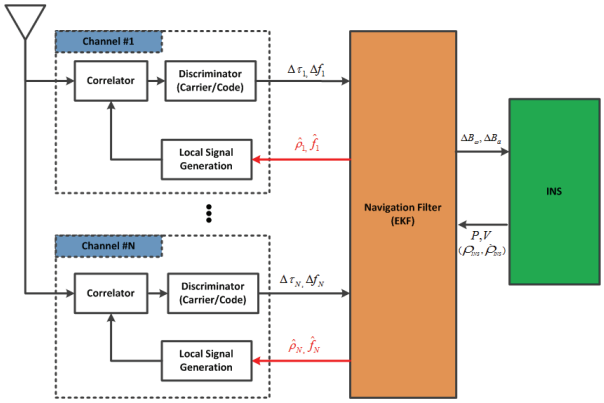

그림 4. 초강결합 기법.
Fig. 4. Deeply coupled integration.

서 신호추적루프의 성능을 향상시킨다. 하지만 이 구조에서 각 채널의 신호추적은 여전히 루프필터에서 담당하고 있다.

2. 초강결합 기법

벡터추적루프는 항법필터에서 각 채널을 조절함으로, 항법정확도가 신호추적 성능을 결정한다. INS 센서 측정치를 벡터추적루프 항법필터와 결합함으로써 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있다. 위의 그림 4는 초강결합 기법의 구조를 나타낸다. 기존의 벡터추적루프 구조에서 항법필터만 기존의 GPS/INS 약결합/강결합 기법을 적용함으로써 구현된다.

IV. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 데이터 생성 및 처리

전체 시뮬레이션 구성을 그림 5와 같이 나타내었다.

그림 5에 나타낸 것과 같이 시뮬레이터는 데이터 입력 부분, 신호 생성부분 그리고 신호 처리부분 총 3부분으로 구성되어 있다. 데이터 입력부에서는 GPS와 IMU 데이터 생성을 위한 기본 데이터와 사용자가 필요한 정보를 설정하는 부분이다. 위성궤도는 파일에 저장된 값을 이용하고, 항체의 궤적, 교란 신호의 세기, 그리고 IMU 센서 오차정보는 사용자가 입력하게 된다. CW 교란 신호는 다른 종류에 비해서 생성이 쉽고, 위치오차에 가장 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있어 이를 이용하였다[2]. 본 논문에서는 1개의 CW 교란신호가 입력된다고 가정하였으며, JSR의 범위 0~30으로 설정하였다.

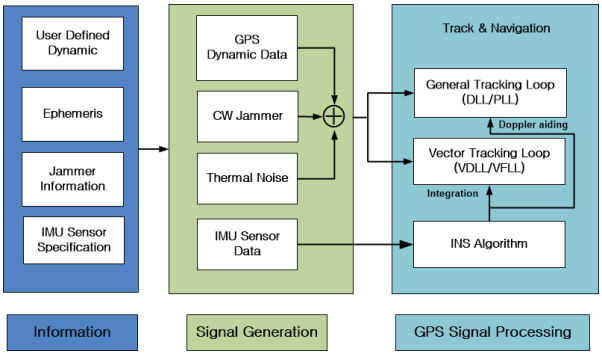

그림 5. 전체 시뮬레이션 데이터 흐름 및 구성.

Fig. 5. Data flow and structure of overall simulation.

교란신호는 신호추적 1초 후부터 입력되며 총 데이터 길이는 10초로 설정하였다. IMU 센서는 전략용 등급(tactical grade)으로 가정하고 센서 오차를 설정하였다. 데이터 생성부에서는 입력된 데이터를 기반으로 GPS와 교란신호 그리고 IMU 센서데이터를 생성한다. GPS 와 교란신호는 각각 생성된 후 합쳐져서 출력된다. 데이터 처리부에서는 일반적인 신호추적루프, 벡터추적루프, INS 도플러 도움정보 그리고 초강결합 기법 총 4가지 방법으로 데이터를 처리한다. 아래의 표 1과 2에 GPS와 IMU 데이터 생성 변수를 정리하였다.

생성된 항체의 궤적을 그림 6에 나타내었다. 항체는 0~3초 동안 5m/s로 가속하고, 3~6초 동안 90도 회전하며, 6~9초 동안 반대방향으로 90도 회전한다. 마지막 1초동안 등속운동 하도록 생성하였다.

그림 7은 교란 신호가 포함된 GPS 데이터를 주파수 영역에서 나타낸 것이다. 교란신호의 세기는 20 dB이며 중심주파수로부터 약 800 kHz 떨어진 위치에 교란 신호가 존재한다. GPS 위성 배치도는 그림 8과 같다.

표 1. GPS 신호 생성 변수.

Table 1. GPS signal generation variables.

Intermediate Frequency	4.188 MHz
Sampling Frequency	16.367 MHz
Simulation Time	10 seconds
Visible Satellite Number	11
Jammer Type (#)	CW (1)
Jammer Frequency	5 MHz
Jamming Signal Input Time	after 1sec
JSR range	0, 5, 10, 15, 20, 25~30 dB

표 2. IMU 센서 오차.

Table 2. IMU sensor error.

Gyroscope	
Bias	1 deg/h
White Noise	0.1 deg/h
Scale Factor	300 ppm
Misalignment	500 urad
Accelerometer	
Bias	1.0 mg
White Noise	1.0 mg
Scale Factor	300 ppm
Misalignment	500 urad

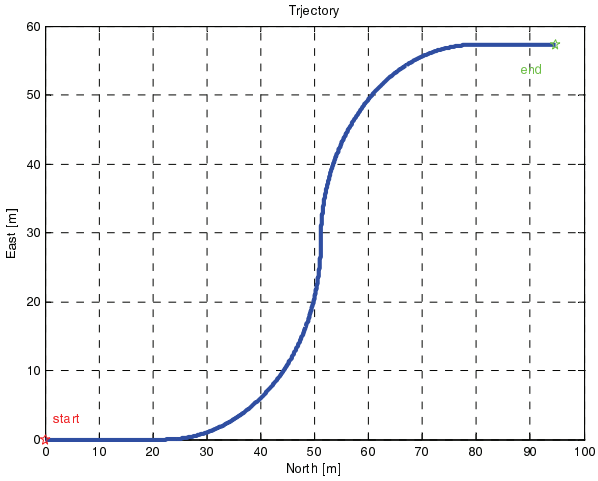

그림 6. 생성된 궤적.

Fig. 6. Generated Trajectory.

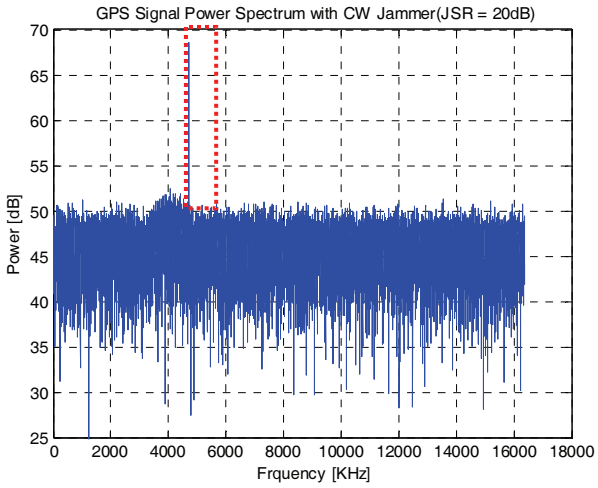

그림 7. GPS 신호 스펙트럼: CW 교란신호 (JSR 20dB).

Fig. 7. GPS signal spectrum with CW jammer (JSR 20dB).

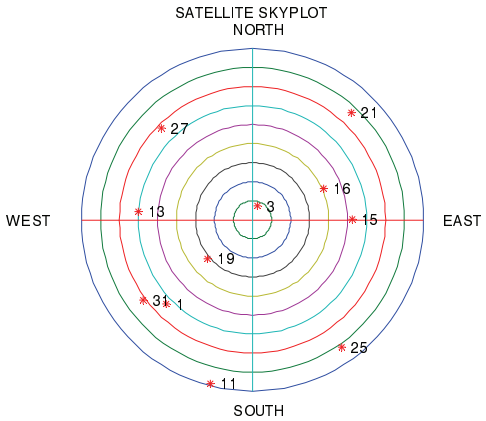

그림 8. GPS satellite skyplot.

Fig. 8. GPS 위성 배치도.

생성된 GPS와 IMU 데이터를 이용하여 교란 대응 성능을 평가하였다. 먼저 일반적인 신호추적루프의 주파수 추적루프는 2차 FLL 도움방식의 3차 PLL을 사용하였고, 코드 추적루

프는 1차 DLL에 반송파 도움정보 방식을 사용하였다. 신호추적루프 임계값은 C/N0 35 dB로 설정하였다. 벡터추적루프는 일반적인 신호추적루프보다 5~7 dB 이득을 가지므로 신호추적루프 임계값을 C/N0 30 dB로 설정하였다. INS 항법알고리즘은 약결합 기법을 사용하였으며 상태변수를 위치, 속도, 자세, 자이로 바이어스, 가속도 바이어스 총 15차로 설정하였다.

교란 대응 성능은 항법 오차와 항법해가 계산가능한 JSR로 평가하였다. 교란 신호의 세기를 증가시키면서 각 신호처리 알고리즘을 성능을 비교하였다. 그림 9는 JSR 변화에 따른 항법오차를 나타낸다. 먼저 파란색은 일반적인 신호추적루프를 기반으로 한 방법을 나타내며, 빨간색이 벡터추적루프 기반 방법의 결과를 나타낸다. 결과를 보면 전체적으로 일반적인 신호추적루프보다 벡터추적루프의 항법오차가 더 작음을 알 수 있다. 또한 두 방법 모두 JSR 25 dB 에서 항법오차가 갑자기 증가하는데 이는 C/A 의 교란에 대한 이득이 25 dB 이기 때문이다. JSR 25 dB 이후 증가하는 항법오차를 보면 벡터추적루프가 일반적인 신호추적루프보다 증가율이 더 낮음을 알 수 있다. 또한 항법해 계산 가능한 JSR을 보면 일반적인 신호추적루프는 JSR 28 dB까지 계산가능하고, 벡터추적루프는 30 dB 이후에도 항법해 계산 가능함을 알 수 있다. 위 결과로부터 벡터추적루프가 일반적인 신호추적루프보다 교란에 더 강인함을 알 수 있다.

아래의 그림에서 점선은 INS와 결합된 방법을 나타낸다. 결과를 보면 INS 도플러 도움정보 기법이 벡터추적루프 기법보다 항법오차가 큰 것을 알 수 있다. 하지만 INS 결합 전후 결과를 보면 INS를 결합한 경우 성능이 더 나아졌지만, 향상이 많이 되지 않음을 알 수 있다. 이는 GPS와 INS 결합 방법을 약결합 기법을 이용함에 따른 결과로 GPS 항법해가 커짐에 따라서 INS 센서 오차추정이 제대로 되지 않기 때문이다. 이를 위해서 GPS 항법해 이상을 판단하는 기법과, 강결합기반 GPS/INS 결합이 필요하다. 이러한 내용은 추후 연구를 통해서 진행할 예정이다. 교란 신호 입력에 따른 가시위성수와 위치 오차를 표 3과 4에 정리하였다.

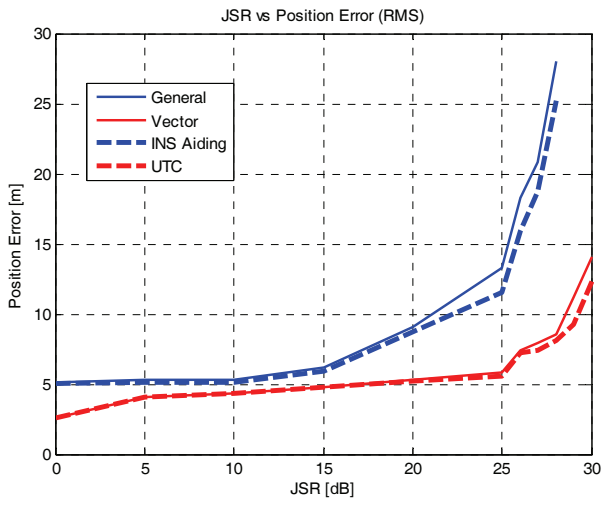

그림 9. JSR 변화에 따른 항법오차.
Fig. 9. Navigation error with JSR.

표 3. 가시위성수.
Table 3. Number of visible satellite.

JSR	일반	벡터
0	10	10
5	10	10
10	10	10
15	8	8
20	7	7
25	6	7
26	6	7
27	5	6
28	4	5
29	-	4
30	-	4

표 4. 항법 오차.
Table 4. Position error.

JSR	일반	벡터	도움정보	초강결합
0	5.13	2.57	5.03	2.63
5	5.27	4.05	5.11	4.09
10	5.29	4.32	5.12	4.35
15	6.15	4.75	5.93	4.74
20	9.06	5.32	8.76	5.26
25	13.25	5.79	11.52	5.53
26	18.3	7.43	15.92	7.28
27	20.86	7.93	18.72	7.45
28	28.06	8.52	25.2	8.12
29	-	11.2	-	9.23
30	-	14.1		12.3

V. 결론

본 논문에서는 벡터추적루프를 구현하고 교란 신호에 대한 대응 성능을 평가하고 분석하였다. 벡터추적루프가 일반적인 신호추적루프보다 JSR 2 dB 이상의 이득이 있음을 확인하였으며, 교란 신호의 영향이 거의 없을 때도 더 나은 성능을 갖는 것을 확인하였다. INS 센서를 결합한 경우 성능향상이 크지 않았는데 이는 결합방법과 GPS 항법오차에 증가에 대한 IMU 결합을 판단하는 알고리즘이 없기 때문이다. 향후 연구를 통해서 GPS/INS 강결합에 따른 교란 대응 성능을 분석할 계획이다. 또한 다양한 등급의 IMU 센서에 대해서 교란 대응 성능을 평가하고 분석할 계획이다.

참고문헌

[1] R. Landry and A. Renard, “Analysis of potential interference sources and assessment of present solutions for GPS/GNSS receivers,” *Proc. of the 4th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*, May 1997.

[2] S. H. Im, “A Design of GPS Receiver with Anti-Jamming Capability,” Konkuk University, *Thesis (M.A) (in Korean)*, 2005.

[3] M. Trinkle and D. Gray, “GPS interference mitigation: overview and experimental results,” SatNav 2001, July 2001.

[4] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr., “Global positioning system: theory and application volume I,” *AIAA*, Washington, pp. 290-312, 1996.

[5] D. Benson, “Interference VDLL (Benefits of a Vector Delay

Lock Loop) GPS receiver," *Proc. of the 63rd Annual Meeting of The Institute of Navigation, Cambridge*, MA, pp. 749-756, April 2007.

[6] M. G. Petovello and G. Lachapelle, "Comparison of vector-based software receiver implementations with application to ultra-tight GPS/INS integration," *Proc. of the 19th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2006)*, Fort Worth, TX, pp. 1790-1799, Sep. 2006.

송 종 화

2005년 아주대학교 전자공학부(공학사). 2007년 아주대학교 전자공학부(공학석사). 2007년~현재 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 GNSS 수신기 신호처리, GNSS/INS 결합 항법, SLAM, GNSS RTK, 자율이동 로봇.

임 성 혁

2003년 건국대학교 전자공학과 졸업. 2005년 건국대학교 전자공학과(공학석사). 2011년 건국대학교 전자공학과(공학박사). 2011년~현재 한국항공우주연구원 선임연구원. 관심분야는 실시간 고성능 컴퓨팅기반 GNSS 수신기 신호처리 및 생성, GNSS anti-jamming/spoofing, GNSS 신호처리, 복합센서 결합 항법.

지 규 인

1982년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1984년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1989년 Case Western Reserve Univ. System and Control Engineering(공학박사). 1992년~현재 건국대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 GPS/INS 결합항법, GPS 수신기 신호처리, 무선측위, 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming.