

# INS와 다중 상관기를 이용한 고속 항체 GPS 수신기의 TTFF 성능 향상

## TTFF Performance Improvement of GPS Receiver for High-Speed Vehicles using INS and Multiple Correlator

김정원, 정호철, 황동환, 이상정

Jeong Won Kim, Ho Chul Jung, Dong-Hwan Hwang and Sang Jeong Lee

**Abstract** - 본 논문에서는 유도 무기와 같이 고속으로 운동하는 항체에서 GPS 신호 탐색 시간을 줄이기 위하여 INS와 다중 상관기를 이용한 신호 획득 기법을 제안한다. 신호의 코드위상을 여러 개의 상관기에서 동시에 탐색하도록 다중 상관기를 구성하여 코드위상 검색에 소요되는 시간을 단축시키며 INS로부터의 속도와 위치를 이용하여 도플러 주파수를 추정하고 이것을 도플러 검색 초기 값으로 사용하여 검색시간을 줄인다. 제안한 기법을 검증하기 위하여 GPS와 IMU 시뮬레이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 INS와 다중 상관기를 이용하였을 때 TTFF가 매우 크게 단축되는 것을 알 수 있다.

**Key Words** :TTFF, Doppler, INS, Multiple correlator

### 1. 서론

최근 GPS(Global Positioning System)는 유도 미사일, 정밀 유도 폭탄, 지능 포탄과 같은 유도에서 항법 시스템으로 많이 사용되고 있다[1]. 이때 수신기는 20-30초 이내의 TTFF(Time To First Fix)를 수행해야 한다[1]. TTFF를 수행하기 위하여 신호 탐색, 신호 추적, 데이터 동기, 데이터 복조, 의사거리 측정, 항법 결과 계산 등의 과정을 거치는데 신호 탐색에서 가장 많은 시간을 소요한다. 일반적인 수신기의 탐색 소요 시간은 약 80-90초가 걸리는 것으로 알려져 있으므로, 이것은 유도 무기등의 항법 시스템에서는 적합하지 않은 것을 알 수 있다[1-3].

보다 빠른 신호 탐색을 위한 기술로는 FFT(Fast Fourier Transform) 기법과 정합필터(Matched Filter), 다중 상관기(Multiple correlator)등이 주로 연구되고 있다[4-6]. 이러한 기법들은 주파수 탐색 범위와 코드 탐색 범위를 축소시키는 기법으로 모두 빠른 신호 탐색에 효과적인 것으로 알려져 있지만 FFT(Fast Fourier Transform)기법, 정합필터(Matched Filter)는 구현이 어렵고 하드웨어가 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는 유도 무기와 같이 빠른 TTFF를 요구하는 GPS 수신기에서 INS(Inertial Navigation System)와 다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 초기 신호 탐색 기법에서는 INS로부터 계산한 도플러 주파수를 이용하여 도플러 주파수 탐색 범위를 감소시키고 다중 상관기를 이용하여 코드 위상의 탐색 범위를 감소시켜 신호 탐색 시간으로 축소시킨다.

제안하는 기법을 서술하기 위하여 2절에서 INS 정보와 다중 상관기를 이용한 신호 획득 기법에 대하여 소개하였고 평균 신호 탐색 시간계산식을 제시하였다. 3절에서는 제시한 기법을 검증하기 위한 실험 환경과 실험 결과에 대하여 소개하고 마지막으로 결론과 추후 과제를 제시하였다.

### 2.. INS 다중 상관기를 이용한 신호 탐색

#### 2.1 GPS 신호 탐색 범위

GPS의 초기 신호 탐색은 그림 1과 도플러 주파수와 코드 위상에 대한 2차원 탐색을 순차적으로 수행하여 이루어진다 [2].

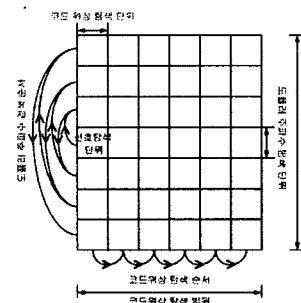


그림 1. 도플러 주파수와 코드 위상의 2차원 탐색

도플러 주파수 탐색 범위는 다음 식 (1)과 같이 위성과 항체간의 상대적인 운동에 의하여 발생하는 도플러 주파수 범위와 수신기 기준 클럭(Clock)의 주파수 오차 범위의 합으로 나타난다.

$$f_{search} = f_{dopp} + f_{clock} \quad (1)$$

#### 저자 소개

김정원:충남대 전자공학과 박사과정(kimjw@cnu.ac.kr)

정호철:충남대 전자전파정보통신공학과 석사과정

(hochol@cslab.cnu.ac.kr)

황동환:충남대 전기정보통신공학부 교수(dhhwang@cnu.ac.kr)

이상정:충남대 전기정보통신공학부 교수(eesjl@cnu.ac.kr)

일반적인 항체에서는 위성과 항체의 상대적인 운동에 의한 도플러 주파수 변화는 최대 5kHz 정도이며, 수신기 기준 클럭으로 많이 사용되는 TCXO(Temperature Compensated Crystal Oscillator)의 주파수 오차가 약  $\pm 1.5\text{kHz}$ 이므로  $\pm 6.5\text{kHz}$  범위를 탐색하여야 하지만 1,000m/s 정도의 속도로 움직이는 고속 항체의 경우 도플러 주파수가 최대 10kHz까지 변할 수 있으므로  $\pm 11.5\text{kHz}$ 의 범위를 탐색하여야 한다. GPS C/A 코드 탐색을 위하여 1,023칩(Chip)의 코드를 일정한 간격으로 나눈다. 일반적으로 0.5칩 간격으로 수행하므로 2,046개의 코드 위상을 탐색하여야 한다.

GPS 신호의 전체 탐색 단위의 수는 도플러 주파수 단위의 수와 코드 위상 단위의 수의 곱으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{search} = N_{doppler} \times N_{code} = \frac{f_{dopp}}{f_{bin}} \times \frac{\tau_{code}}{\tau_{bin}} \quad (2)$$

여기서  $N_{search}$ 는 전체 탐색 단위(Cell)의 수이고,  $f_{dopp}$ 는 도플러 주파수 범위,  $f_{bin}$ 는 도플러 주파수 탐색 단위의 크기이고 일반적으로 500Hz이다.  $\tau_{code}$ 는 C/A 코드 칩 길이,  $\tau_{bin}$ 는 코드 위상 탐색 단위의 크기이다. 고속 항체의 경우 46개의 도플러 주파수 탐색 단위와 2,046개의 코드 위상 탐색 단위를 가지므로 총 94,116개의 단위를 탐색하여야 한다.

## 2.2 INS와 다중 상관기를 이용한 신호 탐색 기법

INS가 제공하는 위치, 속도 정보를 사용하면 항체의 운동에 의한 도플러 주파수 변화를 추정할 수 있고 이를 이용하여 도플러 주파수 탐색 범위를 줄일 수 있다. 또한 여러 개의 상관기를 이용하여 코드 위상 탐색 범위를 줄일 수 있다. 그림 2는 INS와 다중 상관기를 사용하는 수신기 구조를 나타낸 것이다.

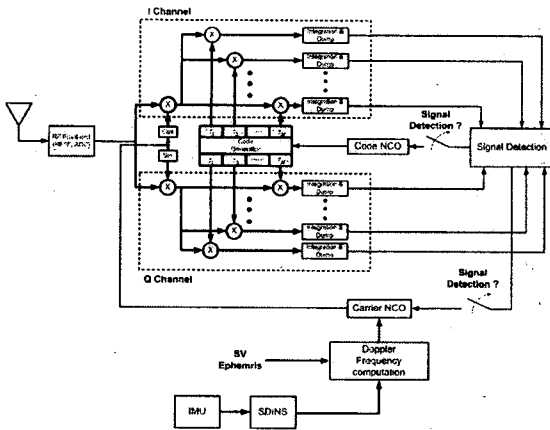


그림 2. INS와 다중 상관기를 사용하는 수신기 구조

INS부터 추정된 도플러 주파수에는 INS 오차로 인한 추정 오차가 포함되어 있고 INS 속도 오차에 의한 도플러 주파수 추정 오차는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta f_{dopp} = \frac{1}{\lambda_{L1}} \delta V_{INS}^e \cdot \mathbf{l} \quad (3)$$

여기서  $\lambda_{L1}$ 는 GPS L1 반송파의 파장이고,  $\delta V_{INS}^e$ 는 ECEF(Earth Centered Earth Fixed) 좌표계에서의 INS의 속도 오차이고  $\mathbf{l}$ 은 위성과 항체간의 시선각(Line of sight) 벡터이다. INS와 다중 상관기를 이용한 기법에서 도플러 주파수 탐색 범위는 INS 오차에 의한 도플러 주파수 오차와 수신기 기준 클럭 주파수 오차에 의하여 결정되고 코드 위상 탐색 범위는 상관기수에 따라 결정된다. 그림 3은 INS와 다중 상관기를 이용한 기법에서의 신호 탐색 범위를 나타낸 것이다.

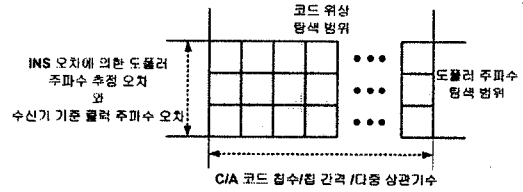


그림 3. INS와 다중 상관기를 이용한 기법의 신호 탐색 범위

INS와 다중 상관기를 이용한 신호 탐색 기법의 신호 탐색 평균 시간은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{T_{MA}} = \left( \frac{2 - \overline{P_D}}{2 \overline{P_D}} \right) \left[ k_p (1 - (1 - \overline{P_{FA}})) + 1 \right] \frac{\delta f_{dopp} + f_{clock} \tau_{code} \tau_{bin}}{f_{bin} \tau_{bin}} \tau_d \quad (4)$$

여기서  $\overline{T_{MA}}$ 는 초기신호 탐색 평균 시간,  $\overline{P_D}$ 는 신호 검출 확률,  $\overline{P_{FA}}$ 는 신호 검출 오보확률이다,  $k_p$ 는 오보확률 계수이고,  $\tau_d$ 는 하나의 신호탐색 단위에 대한 검색 시간이다.

## 3. 성능 평가

INS와 다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색 기법의 성능을 확인하기 위한 모의실험에 그림 4와 같이 Spirent사의 'GSS770' GPS 신호 발생 장치와 'SimInertial' IMU 측정치 생성 장치를 사용하였다. 모의 신호 발생 장치로부터 출력되는 RF 신호와 IMU 측정치를 GPS 신호 수집 장치와 데이터 수집용 PC를 이용하여 저장한 후 소프트웨어 기반 GPS 수신기와 SDINS(Strapdown INS) 프로그램을 이용하여 후처리하여 결과를 확인하였다.

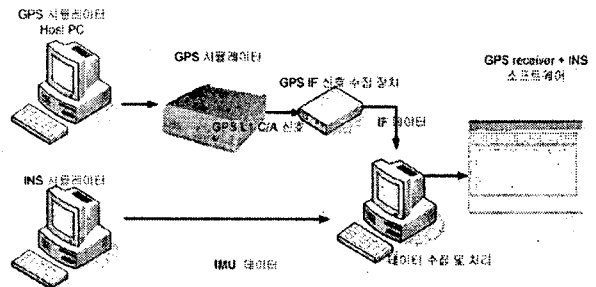


그림 4. 성능 확인을 위한 실험 환경

실험에서 항체의 운동 시나리오는 약 2분간 정지하다가 2초 정도의 가속도 운동 후 1,000m/s의 속도로 비행하는 것이다. 다중 상관기만 이용하여 신호 탐색을 하는 경우와 INS를 같이 사용하는 경우에 대하여 실험을 수행하였고 각각에 대하여 50회씩 수행하여 평균 신호 탐색 시간을 확인하였다.

그림 5는 다중 상관기만을 이용하여 신호 탐색을 한 경우 상관기 개수에 따른 평균 신호 획득 시간의 변화를 나타낸 것이다.

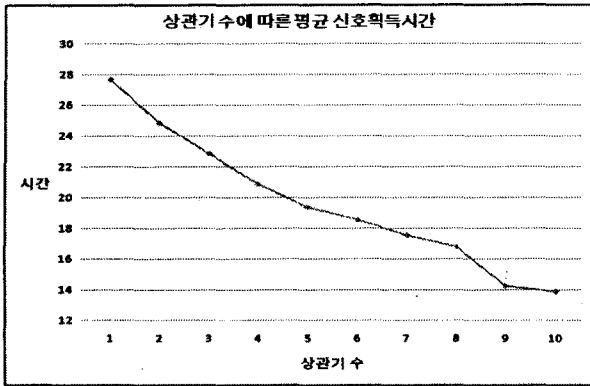


그림 5. 상관기 수에 따른 평균 신호 획득 시간

상관기 1개를 이용하여 신호 탐색을 하는 경우 약 27초의 신호 획득 시간이 소요되었고 상관기 갯수를 증가시키면 따라 신호 획득 시간이 감소하는 것을 알 수 있다. 상관기 10개를 사용하는 경우 약 13초 정도가 소요됨을 알 수 있다.

그림 6은 INS와 다중 상관기를 모두 사용 하는 경우 상관기의 갯수에 따른 평균 신호 획득 시간의 변화를 나타낸 것이다. 상관기 1개와 INS를 사용하는 경우에는 약 1.6초의 신호 획득 시간이 소요되며 이것으로부터 상관기만 사용한 경우보다 약 26초 정도 신호 획득 시간이 빠른 것을 알 수 있다. 또한 INS 정보를 사용하는 경우에는 상관기 수가 5개 이상이면 신호 획득 시간이 1초 이내인 것을 알 수 있다.

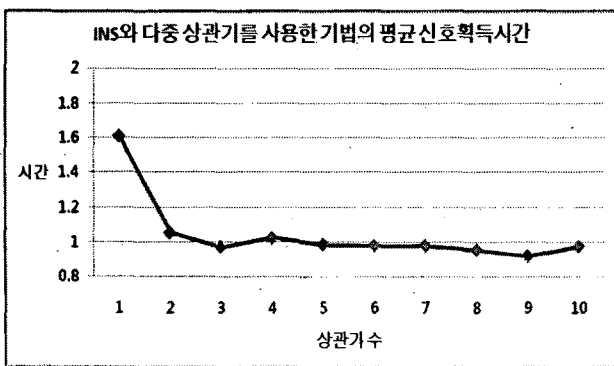


그림 6. INS 다중 상관기를 이용한 기법의 평균 신호 획득 시간

표 1에 INS 여부에 따른 상관기 수별 평균 신호 획득 시간을 비교하여 나타내었다. INS를 사용한 경우에는 도플러 주파수 탐색 범위의 감소로 인하여 약 1초 이내로 신호 탐색이 가능한 것을 알 수 있다.

표 1. INS 정보 사용여부에 따른 평균 신호 획득 시간

상관기 수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INS Off	27.67	24.81	22.87	20.88	19.53	18.53	17.54	16.8	14.23	13.89
INS On	1.61	1.05	0.97	1.02	0.98	0.97	0.97	0.95	0.92	0.96

#### 4. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 고속으로 운동하는 항체의 TTFF를 단축시키기 위하여 INS와 다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색 기법을 제안하였다. 고속 항체의 경우 일반적인 항체보다 큰 도플러 주파수 검색 범위를 가지는데 본 논문에서는 INS 속도 정보로부터 추정된 도플러 주파수를 이용하여 도플러 주파수 탐색 범위를 줄였고 다중 상관기를 코드 위상 탐색 범위를 감소시켰다. 제안한 신호 탐색 기법은 실험을 통하여 성능을 확인하였고 INS를 사용하는 경우에는 다중 상관기만 이용하는 경우보다 최대 26초 정도의 신호 획득 시간 감소를 확인할 수 있었으며 5개 이상의 다중 상관기와 INS를 사용하는 경우에는 1초 이내로 신호 탐색이 완료되는 것을 알 수 있었다.

초기 신호 획득 시간을 더 단축하기 위해서 수신기 기준 클럭의 주파수 오차를 추정하여 사용하는 방법, INS의 위치를 사용하여 코드 위상을 추정하는 방법 등에 대한 연구를 수행할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 기초연구과제의 지원으로 수행 되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다. (계약번호 UD060034AD)

#### 참고 문헌

- [1] John R. Dowdle, Karl W. Flueckiger, "A GPS/INS Guidance System for Navy 5" Procktiles," *Proceeding of ION 52nd Annual Meeting*, pp.19-21 June 1996.
- [2] E. D. Kaplan and Christopher J. Hegarty, *Understanding GPS : Principles and Applications Second Edition*, Artech House, 1006.
- [3] Jack K. Holmes and Chang G. Chen, "Acquisition and Performance of PN Spread-Spectrum System," *IEEE Transactions on Communications* Vol. Com-25, No. 8, pp, 778-783, August 1977.
- [4] 서홍석, *GPS 초기 동기 성능 개선을 위한 탐색 후보 축소 방법*, 충남대학교 전자 공학과 박사 학위 논문, 2003.
- [5] Zein, N.F. Chambers W.G. Clarkson, T.G. "Use of matched filters for serial acquisition in a fast frequency-hopping system," *IEEE Military Communications Conference*, MILCOM, Vol.1, pp, 161-165, 1990.
- [6] Van Nee, D. and Coenen A., "New fast GPS code-acquisition technique using FFT," *IEEE Electronics Letters*, Vol. 27, No. 2 pp,158-160, January 17, 1991.