

다중 상관기를 이용한 고속 항체용 GPS 수신기의 TTFF 성능 향상

신대식*, 김정원*, 황동환**, 이상정**
 *충남대학교 전자공학과, **충남대학교 전기정보통신공학부

Performance Improvement of GPS Receiver TTFF for high-speed vehicles using Multiple Correlator

Dae Sik Shin*, Jeong Won Kim*, Dong-Hwan Hwang**, Sang Jeong Lee**
 *Department of Electronic Engineering, Chungnam National University
 **School of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University

Abstract - GPS 수신기에서 항법을 수행하기 위해서 신호탐색, 신호추적, 데이터 동기, 데이터 복조, 측정치 생성 및 위치 계산의 과정을 거쳐야 한다. TTFF(Time To First Fix)는 이러한 시간의 합으로 수신기의 성능을 나타내는 중요 평가지수 중의 하나이다. 일반적인 수신기의 TTFF는 80~90초인 것으로 알려져 있으며, 고속으로 운동하는 항체의 경우, 빠른 TTFF를 필요로 하므로 가장 긴 시간이 소비하는 신호탐색 과정의 시간을 줄여야 한다. 본 논문에서는 고속으로 운동하는 항체에서 GPS 신호의 코드 탐색 시간을 줄이기 위하여 다중 상관기 구조를 가지는 수신기를 설계 하고자 한다. 설계한 수신기는 수신된 신호의 코드위상을 여러 개의 상관기에서 동시에 탐색하도록 다중 상관기를 구성하여 코드위상 검색에 소요되는 시간을 단축시킨다. 이를 검증하기 위하여 GPS 모의 신호 발생기를 이용하여 실험을 수행하였다. GPS 신호는 IF 데이터 수집 장치로부터 수집된 신호를 이용하며, 실험 수행 결과 다중 상관기를 이용하였을 때 TTFF가 단축되는 것을 확인하였다.

1. 서 론

최근 GPS(Global Positioning System)는 유도 미사일, 정밀 유도 폭탄, 포발사용 지능 포탄과 같은 유도무기용 항법 시스템으로 많이 사용되고 있다. 이러한 항체에서 사용되는 수신기는 20-30초 이내의 TTFF(Time To First Fix)요구하고 있다[1].

TTFF는 수신기가 동작을 시작하여 첫 번째 항법 결과를 계산하기까지의 시간으로 신호탐색, 신호추적, 데이터 동기, 데이터 복조, 의사거리 측정, 항법 결과 계산하는데 소요되는 시간이다. 이 중 신호 탐색에 소요되는 시간은 TTFF중 가장 큰 부분을 차지한다. GPS 수신기에서의 신호탐색은 입력되는 위성신호의 반송파 주파수와 코드 위상을 찾는 과정으로 도플러 주파수와 코드영역에 대한 2차원 검색을 수행한다. 코드주기 전 구간에 대하여 하나의 상관기를 사용해서 직렬탐색을 하는 수신기의 신호 탐색 소요 시간은 약 80-90초가 걸리는 것으로 알려져 있다[1][3].

보다 빠른 신호 탐색을 위한 기술로는 FFT(Fast Fourier Transform) 기법, 정합필터(Matched Filter), 다중 상관기(Multiple correlator)등이 주로 연구되고 있다. 이러한 기법들은 모두 빠른 신호 탐색에 효과적인 것으로 알려져 있지만 FFT(Fast Fourier Transform)기법, 정합필터(Matched Filter)는 구현이 어렵고 하드웨어의 복잡성이 커지는 단점이 있다. 반면에 다중 상관방식은 위 두 방법에 비해 하드웨어의 복잡성이 줄어들며 빠른 신호 획득이 가능한 것으로 알려져 있다[6][7].

본 논문에서는 유도 무기와 같이 빠른 TTFF를 요구하는 GPS 수신기에서 다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색 기법을 제시한다. 제시하는 초기 신호 탐색 기법은 하나의 도플러 주파수 탐색 영역에 대한 코드 위상의 탐색 범위를 증가 시켜 코드 위상 탐색 시간을 축소시키는 방법이다.

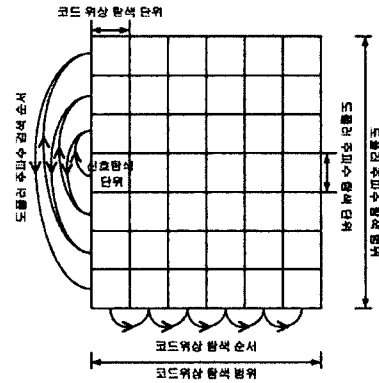
2절에서는 다중 상관기 구조에 대하여 서술하였고 상관기 수에 따른 신호 탐색 시간을 제시하였다. 3절에서는 제시한 기법을 검증하기 위한 실험 환경과 실험 결과에 대하여 서술하였고 마지막으로 결론과 추후 과제를 제시하였다.

2. 다중 상관기를 이용한 신호 탐색 기법

하나의 상관기를 이용한 초기 신호 탐색은 그림 1과 도플러 주파수와 코드 위상에 대한 2차원 검색을 순차적으로 수행하여 이루어진다. 이 때 초기 신호 탐색 시간은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다[3][4].

$$T_{MA} = \left(\frac{2 - \overline{P_D}}{2\overline{P_D}} \right) [k_p(1 - (1 - P_{FA})) + 1] N_C \tau_D \quad (1)$$

여기서 T_{MA} 는 초기신호 탐색 평균 시간이고, $\overline{P_D}$ 는 신호 검출 확률이고, $\overline{P_{FA}}$ 는 신호 검출 오보확률이고, k_p 는 오보확률 계수이고, N_C 는 초기 신호 탐색을 위한 전체 탐색 단위(셀, Cell)의 개수이고, τ_D 는 하나의 신호탐색 단위에 대한 검색 시간이다[4].



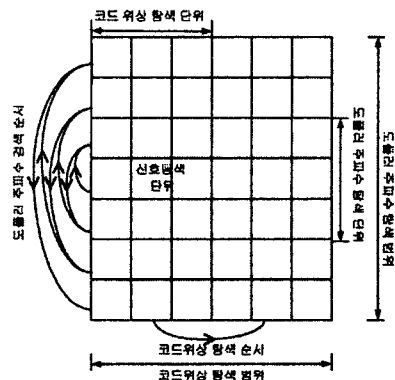
<그림 1> 단일 상관기의 초기 신호 탐색

평균 초기 신호 탐색 평균 시간은 $\overline{P_D}$, $\overline{P_{FA}}$, k_p , τ_D 가 일정하면 N_C 에 의하여 결정된다. N_C 는 도플러 주파수 검색 단위 수와 코드 위상 검색 단위 수의 곱으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[3].

$$N_C = \frac{\Delta F \times \Delta \tau}{\delta f \times \delta \tau} \quad (2)$$

여기서 ΔF 와 $\Delta \tau$ 는 각각 도플러 주파수와 코드 위상의 탐색 범위를 나타내고 δf 와 $\delta \tau$ 는 각각 도플러 주파수 탐색 단위간의 간격과 코드 위상 탐색 단위 간의 각격을 나타낸다.

다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색 기법은 코드 위상 탐색 단위 간격을 확장시켜 그림 2와 같이 초기 신호 탐색 단위를 수를 감소시킨다.



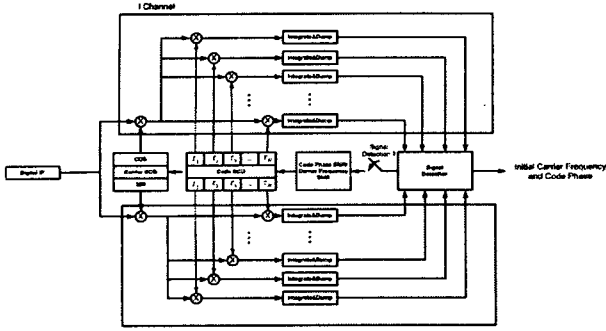
<그림 2> 다중 상관기의 초기 신호 탐색

다중 상관기인 경우 초기 신호 탐색 단위의 수는 식(3)과 같이 나타나고 초기 신호 탐색 평균 시간은 식(4)와 같이 나타낸다.

$$N_{M_c} = \frac{\Delta F \times \Delta \tau}{\delta f \times \delta \tau \times M_c} \quad (3)$$

$$T_{MA} = \left(\frac{2 - \overline{P_D}}{2\overline{P_D}} \right) [k_p(1 - (1 - P_{FA})^{M_c}) + 1] N_{M_c} \tau_D \quad (4)$$

여기서 M_c 는 다중 상관기의 상관기 수이다. 식(4)에서 보듯이 다중 상관기의 수가 증가함에 따라 초기 신호 탐색 시간이 감소한다. 다중 상관기를 사용하는 수신기의 구조는 그림 3과 같다.

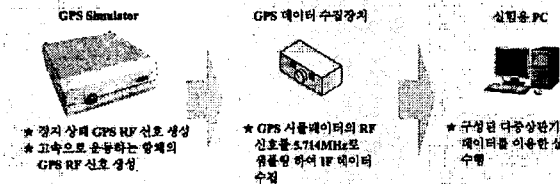


〈그림 3〉 다중 상관기 구조를 가지는 수신기

다중 상관기 구조의 수신기의 반송파 복제 신호 생성부는 일반적인 수신기 구조와 동일하고 코드 복제 신호 생성부에서 여러 개의 칩 간격을 가지는 신호 발생기가 추가되고 각각에 대해 I&D(Integrated and Dump) 필터가 추가되는 구조를 가진다.

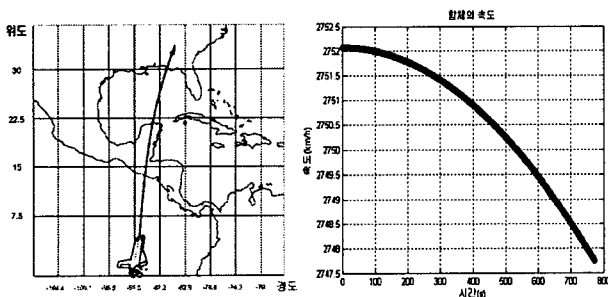
3. 실험 및 성능 평가

다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색 기법의 성능을 확인하기 위하여 모의 실험을 수행하였다. 모의실험에 사용한 GPS 모의 신호 발생 장치는 Spirent사의 STR4500이고 이 장치는 L1 C/A 코드 RF 신호를 발생시킨다. 모의 신호 발생 장치로부터 출력되는 RF 신호를 RF-IF 하향 변환기와 USB 인터페이스로 이루어진 GPS 신호 데이터 수집 장치를 이용하여 디지털 데이터 형태로 PC에 저장한다[5]. 저장된 데이터와 구현한 다중 상관기 구조의 수신기 실험용 프로그램을 이용하여 성능을 확인하였다. 그림 4는 실험 환경을 나타내고 있다.



〈그림 4〉 시뮬레이션을 위한 신호 수집

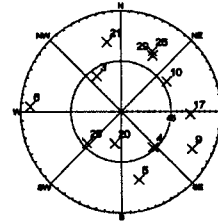
실험에 사용한 항체의 운동 궤적은 GPS 모의 신호 발생 장치가 제공하는 우주선 시나리오를 이용하였다. 우주선 시나리오에 따라 GPS 모의 신호 발생 장치는 적도 부근에서 출발하여 북위 32도, 동경 85도까지 12분정도 고속으로 이동하는 항체에서 수신되는 GPS L1 C/A 코드 신호를 발생시켜 준다. 그림 5는 항체의 위치와 속도를 나타낸다. 항체가 운동하는 동안의 속도는 2752km/h에서 2748km/h로 변화한다.



〈그림 5〉 고속으로 운동하는 우주선의 궤적 및 속도 변화

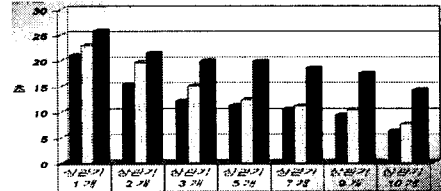
그림 6은 실험 시 관측된 모든 가시 위성을 나타내고 있다. 항체의 위치가 짧은 시간동안에 빠르게 변화기 때문에 가시 위성도 시간이 지남에 따라 다양하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 초기 신호 탐색 시간을 확인하기 위하여 그림 6의 가시 위성 중 초기 100초 동안에 연속적으로 관측되는 4번, 17번, 20번, 29번 위성에 대한 신호를 사용하였다.

그림 7과 표1은 상관기 개수를 변화시키면서 측정된 초기 신호 탐색, 데이터 동기화에 소요된 시간이다. 1개부터 10개까지 상관기 개수를 증가시키며 같은 데이터에 대한 평균 시간을 확인하였고 상관기간 코드 위상 간격은 1칩(chip)으로 하였다.



〈그림 6〉 가시위성의 양각 및 방위각

초기 신호 탐색 시간은 코드와 반송파 동기까지의 시간을 측정하였고 데이터 동기 시간은 비트 동기와 프레임 동기 시간까지를 측정하여 결과를 확인하였다.



〈그림 7〉 고속 항체의 상관기 개수 증가에 따른 신호 탐색과 데이터 동기 시간

〈표 1〉 상관기 개수 증가에 따른 신호 탐색 시간

	1개	2개	3개	5개	7개	9개	10개
■ 코드 반송파 초기 동기 시간	21.05	15.36	12.13	11.2	10.56	9.39	6.28
□ 비트 동기 시간	22.89	19.63	15.03	12.3	11.1	10.42	7.58
■ 데이터 동기 시간	25.76	21.45	19.89	19.85	18.52	17.51	14.25

초기 코드와 반송파 동기에 소요되는 시간은 1개의 상관기인 경우 21.05초에서 10개의 상관기를 이용하는 경우에는 6.28초로 감소하였고 비트 동기화 및 데이터 동기는 각각 22.89초에서 7.58초로, 25.76초에서 14.25초로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 실험 결과 다중 상관기를 사용하는 경우에는 상관기수에 증기함에 따라 신호 탐색 시간이 감소하는 것을 확인하였다.

4. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 고속으로 운동하는 항체의 TTFF를 단축시키기 위한 다중 상관기 구조의 초기 신호 탐색 기법을 제시하였다. TTFF중 가장 큰 부분을 차지하는 초기 신호 탐색 시간을 감소시키기 위하여 사용한 다중 상관기를 이용한 초기 신호 탐색은 코드 위상 탐색 단위를 증가시키고 이것은 탐색 횟수를 감소시킴으로써 초기 신호 탐색 시간을 줄일 수 있다. 다중 상관기를 이용한 신호 탐색 기법은 실험을 통하여 성능을 확인하였고 1개의 상관기를 사용하는 경우보다 10개의 상관기를 사용하는 경우 코드 및 주파수 동기는 약 3.3배 빨라졌고 비트 동기는 약 3배, 프레임 동기는 약 1.8배 빨라지는 것을 확인할 수 있었다.

추후 더 다양한 GPS 데이터를 수집하고 몬테 카를로(Monte-Carlo) 모의 실험을 통하여 통계적인 결과를 확인하여야 할 것이고 항체의 TTFF 요구 조건에 따른 상관기 수에 대한 분석을 통하여 상관기 수를 결정하는 연구를 수행할 것이다. 또한 외부 보조 정보를 사용하는 경우에 대해서도 성능을 확인하는 작업이 필요하다.

〔참 고 문 헌〕

[1] John R. Dowdle, Karl W. Flueckiger, "A GPS/INS Guidance System for Navy 5" Procktiles," *Institute of Navigation's 52nd Annual Meeting*, Cambridge, MA pp, 19-21 June 1996.
 [2] E. D. Kaplan and Christopher J. Hegarty, *Understanding GPS : Principles and Applications Second Edition*, Artech House, 2006.
 [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 박사 학위 논문, 2003.
 [5] 김태호, 박찬식, 이진우, 이상정, "고성능 소프트웨어 GPS 수신기를 위한 USB 2.0 데이터 수집 장치 설계," *The 12th GNSS WORKSHOP*, 2005.
 [6] 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
 [7] 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.