

INS 속도와 다중 상관기를 이용한 고속 항체용 GPS 수신기의 빠른 신호 획득 기법

A Fast GPS Signal Acquisition Method for High Speed Vehicles Using INS Velocity and Multiple Correlators

정 호 철, 김 정 원, 황 동 환*, 이 상 정, 이 태 규, 송 기 원

(Ho Cheol Jeong, Jeong Won Kim, Dong-Hwan Hwang, Sang Jeong Lee, Tae Gyoo Lee, and Ki-Won Song)

Abstract : This paper proposes a fast acquisition method using INS velocity and multiple correlators for high speed vehicles. In order to reduce acquisition time in GPS receiver, the method utilizes inertial velocity information and multiple correlators. Search range of the Doppler frequency is reduced by using INS velocity and the number of cells at one search can be increased by using multiple correlators. By using both multiple correlators and the INS velocity in the acquisition, search space can be greatly reduced. Experimental results show that the method gives faster signal acquisition performance than the conventional method.

KeyWords : GPS, fast acquisition, INS velocity, multiple correlators

I. 서론

GPS(Global Positioning System) 수신기는 항법을 수행하기 위하여 신호 획득, 신호 추적, 데이터 동기, 데이터 복조, 의사거리 측정, 항법 결과 계산 등의 과정을 거친다[1]. 초기 동기라고도 불리는 신호 획득은 수신기에서 가장 먼저 수행하는 것으로, GPS 위성 신호의 반송파 주파수와 코드 위상을 알아내는 과정이다. 이를 위하여, 일정 범위의 코드 위상 및 반송파 주파수를 일정 크기로 나눈 2차원 영역을 탐색하며, GPS 수신기의 성능을 향상시키기 위해서는 이 영역을 빠르게 탐색하여 신호 획득 시간을 줄여야 한다.

빠른 신호 획득을 위해 여러 탐색 범위를 동시에 검색하는 방법으로는 다중 상관기, 정합 필터, FFT(Fast Fourier Transform) 등을 이용한다[2-4]. FFT를 이용하는 방법은 코드 위상을 병렬로 탐색하며 많은 계산량을 요구한다. 정합 필터와 다중 상관기를 이용하는 기법도 여러 코드 위상을 동시에 탐색하는 방법으로 코드 위상의 탐색 단위의 수를 줄일 수 있지만, 도플러 주파수의 탐색 단위의 수는 줄일 수는 없다.

최근 GPS 수신기는 유도 미사일, 정밀 유도 폭탄, 지능 포탄과 같은 유도무기의 항법 시스템으로 많이 사용되고 있다 [5]. 이때 수신기는 20~30초 이내에 TTFF(Time To First Fix)를 완료해야 된다[6]. 유도 무기 같은 고속 항체는 도플러 주파수 탐색 범위가 증가하기 때문에 전술한 방법들과 같이 코드 위상의 탐색 단위 수만을 감소시키는 방법으로는 주어진 시간 안에 항법을 완료하기 어려우므로 신호를 탐색할 경우 도

플러 주파수의 탐색 범위를 감소시키는 방법이 필요하다. 주파수 탐색 범위를 줄이기 위하여 수신기에서 미리 계산한 속도 정보를 이용하는 방법, 미리 입력된 무기의 사출 속도 (muzzle velocity) 정보를 이용하는 방법 등이 사용되지만[6], 지능 포탄 등과 같은 항체에서는 급격한 속도 변화로 인하여 미리 계산한 속도 정보를 이용하더라도 탐색 범위를 충분히 줄일 수 없다. 사출 속도 정보를 이용하면 주파수 추정이 가능하여 신호 탐색 범위를 줄일 수 있지만, 사출 속도는 화약의 양, 무기의 무게 등에 따라 달라지고 비행 중 속도가 변하는 경우에는 큰 주파수 추정 오차가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 유도 무기와 같이 빠른 신호 획득이 필요한 응용에서 INS(Inertial Navigation System)의 속도와 다중 상관기를 이용한 빠른 신호 획득 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 빠른 신호 획득 기법에서는 INS로부터 계산한 속도 정보를 이용하여 도플러 주파수 탐색 범위를 감소시키고 다중 상관기의 넓은 탐색 범위를 이용하여 코드 위상의 탐색 횟수를 줄여 신호 탐색 시간을 단축시킨다. 제안한 기법의 성능은 몬테 카를로(Monte-Carlo) 실험을 통하여 평가하였다.

2절에서는 INS의 속도와 다중 상관기를 이용한 신호 획득 기법을 제안하고 3절에서는 제시한 기법을 평가하기 위한 실험 결과에 대하여 소개하고 마지막으로 결론과 추후 과제를 제시한다.

II. INS 와 다중 상관기를 이용한 신호 획득

1. GPS 수신기의 신호 탐색 범위

GPS 수신기는 초기 신호 획득을 위하여 그림 1과 같이 도플러 주파수와 코드 위상에 대하여 2차원 탐색을 수행한다. GPS 신호의 탐색 단위의 수는 도플러 주파수와 코드 위상 단위 수의 곱으로 (1)과 같이 나타낼 수 있다

$$N_{search} = N_{dopp} \times N_{code} = \frac{f_{dopp}}{f_{bin}} \times \frac{\tau_{code}}{\tau_{bin}} \quad (1)$$

여기서 N_{search} 는 전체 탐색 단위(cell)의 수이고, N_{dopp} 는 도플

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 11. 27., 채택확정 : 2008. 3. 17.

정호철 : 충남대 전자전파정보통신공학과 석사과정

(hochol@cslab.cnu.ac.kr)

김정원 : 충남대 전자공학과 박사과정(kimjw@cnu.ac.kr)

황동환, 이상정 : 충남대 전기정보통신공학부 교수

(dhwang@cnu.ac.kr/eesjl@cnu.ac.kr)

이태규, 송기원 : 국방과학연구소

(tglee@add.re.kr/sjw4460@komet.net)

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

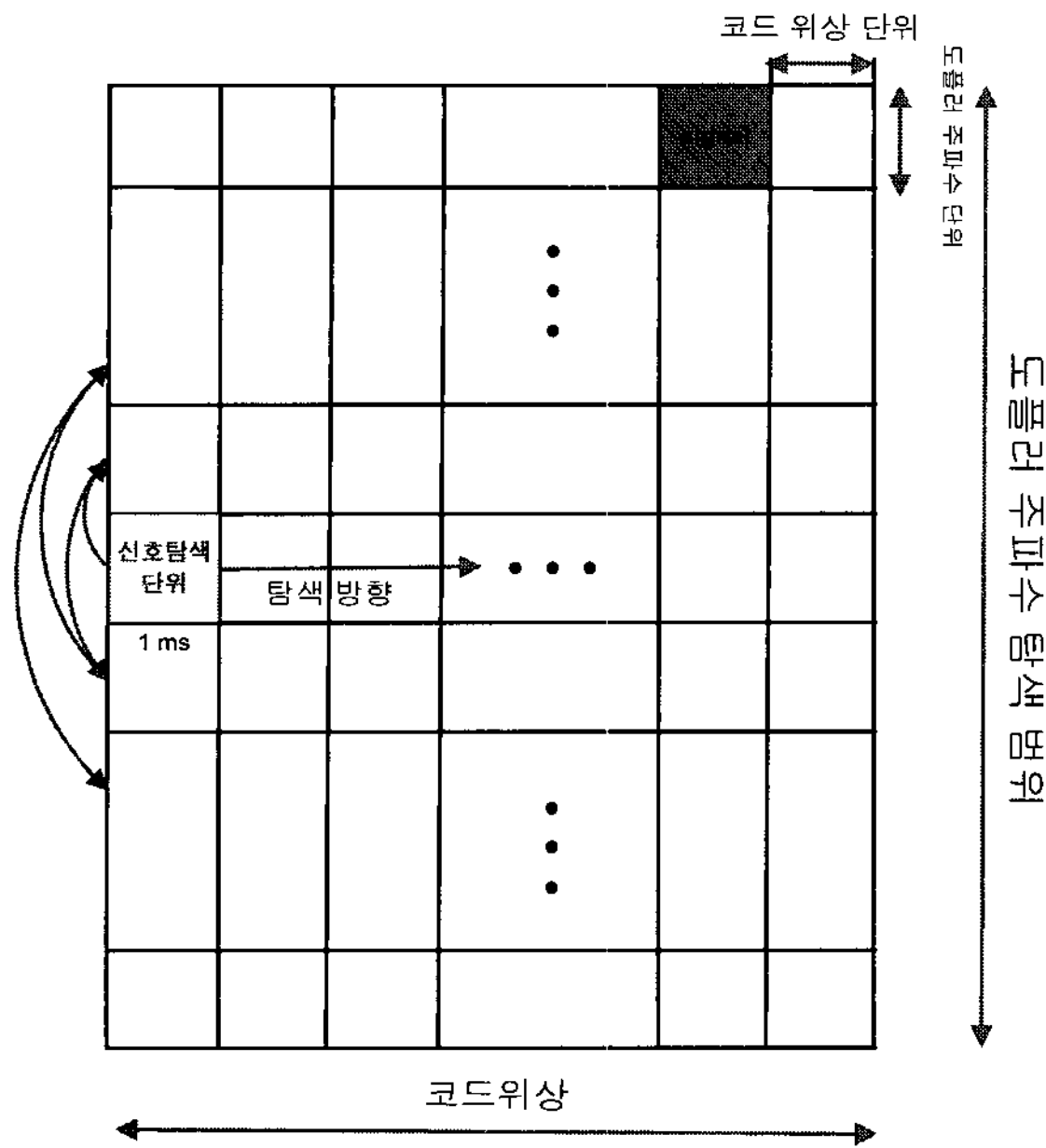


그림 1. 신호 탐색 영역.
Fig. 1. Search area for signal acquisition.

러 주파수 탐색 단위의 수, N_{code} 는 코드 위상의 탐색 단위 수이다. f_{dopp} 는 도플러 주파수 범위, f_{bin} 는 도플러 주파수의 탐색 단위 크기이다. τ_{code} 는 C/A 코드 칩 길이, τ_{bin} 는 코드 위상 탐색 단위의 크기이다. GPS 수신기에서는 C/A 코드 위상 탐색을 위하여 1,023칩(chip)의 코드를 일정한 간격으로 나누며 일반적으로 0.5칩(chip)을 코드 위상 탐색 단위의 크기로 둔다[1]. 도플러 주파수 탐색 범위는 위성과 항체간의 상대적인 움직임에 의한 도플러 주파수와 수신기 클럭의 주파수 오차로부터 결정한다. 위성의 움직임에 의해서 도플러 주파수는 최대 5kHz까지 변하고, 300m/s 이내의 속도로 운동하는 항체에 의한 도플러 주파수 변화는 최대 1.5kHz 정도로 알려져 있다. 수신기 기준 클럭으로 많이 사용되는 3ppm (parts per million) TCXO(Temperature Compensated Crystal Oscillator)의 주파수 오차는 최대 4.5kHz이다. 따라서 $\pm 11\text{kHz}$ 범위를 탐색하여야 한다. 1,000m/s의 속도로 움직이는 고속 항체의 경우 그림 2와 같이 항체의 운동에 의하여 도플러 주파수가 최대 5kHz까지 변할 수 있으므로 $\pm 14.5\text{kHz}$ 의 범위를 탐색 한다. 보통 f_{bin} 을 500Hz로 잡으며, 이때 1,000 m/s로 움직이는 고속 항체의 경우 58개의 도플러 주파수 탐색 단위와 2,046개의 코드 위상 탐색 단위를 가지므로 총 118,668개의 탐색 단위가 된다.

2. INS와 다중 상관기를 이용한 신호 획득 기법

GPS 수신기에서 도플러 주파수 탐색 범위는 그림 3와 같이 시선각(line of sight) 벡터 상에서의 위성과 항체의 상대적인 운동에 의한 도플러 주파수와 수신기의 클럭 주파수 오차에 의존하며 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{dopp} = -\left(\frac{\mathbf{v}_s - \mathbf{v}_u}{c} \cdot \mathbf{l}_s\right) f_{L1} + f_{clock} \quad (2)$$

여기서, \mathbf{v}_s 는 위성의 속도이며, \mathbf{v}_u 는 항체의 속도, c 는 빛의

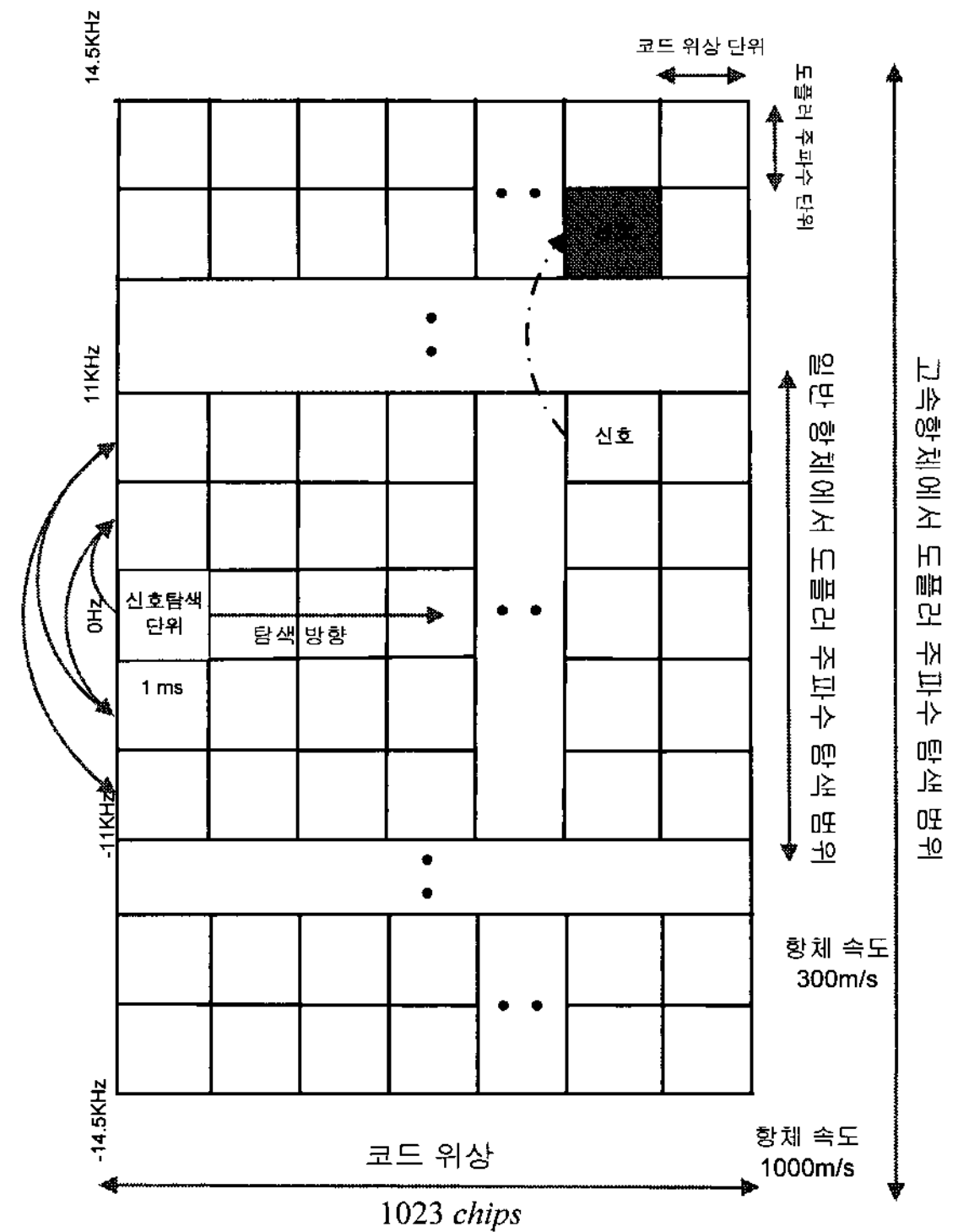


그림 2. 고속항체일 경우 신호 탐색 영역.
Fig. 2. Signal search area in high speed vehicles.

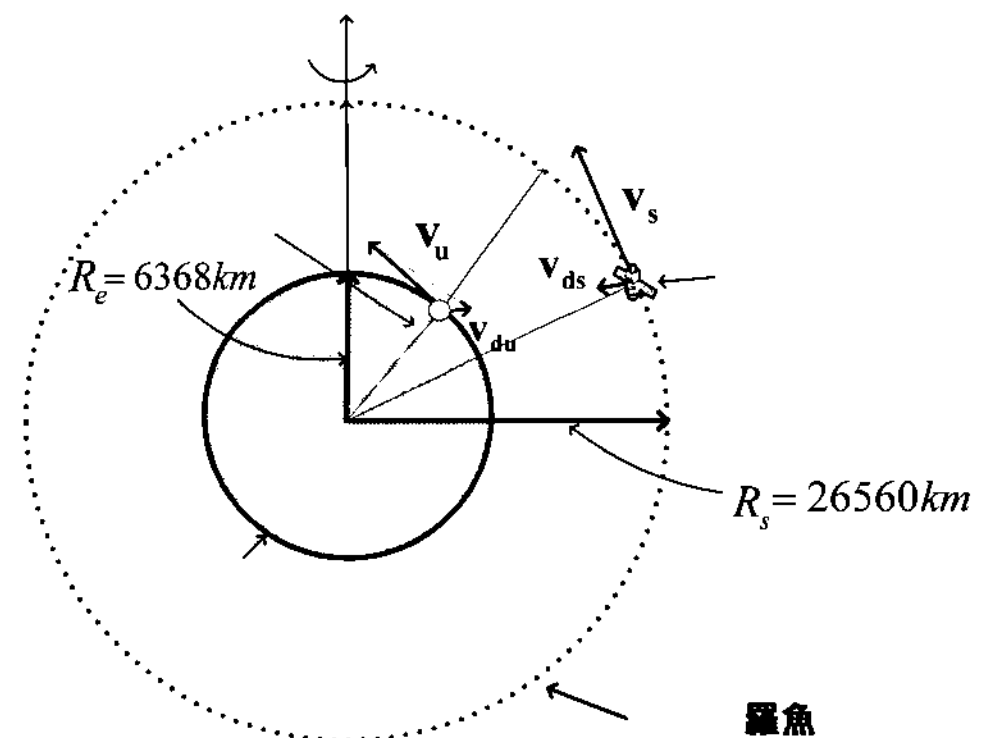


그림 3. 위성과 항체의 상대적인 운동.
Fig. 3. Relative motion between GPS satellite and vehicles.

속도, \mathbf{l}_s 는 위성과 항체간의 시선각 벡터, 그리고 f_{L1} 은 GPS L1 반송파 주파수로 1574.42 MHz이다. 위성의 속도 벡터는 알고 있다고 가정한다. INS로부터 계산한 항체의 속도 정보를 이용하면 GPS 반송파 신호의 도플러 주파수를 (3)과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{f}_{INS} = -\left(\frac{\mathbf{v}_s - \mathbf{v}_{INS}}{c} \cdot \mathbf{l}_s\right) f_{L1} \quad (3)$$

여기서, \mathbf{v}_{INS} 는 INS속도를 나타낸다. INS의 속도 오차 때문에 추정한 도플러 주파수는 오차를 포함하고 있다. 만일 INS의 속도 오차가 약 95m/s를 초과하는 경우에는 500Hz보다 큰 도플러 주파수 추정 오차가 발생한다. INS의 속도 오차의 크기는 IMU 성능에 따라 다르며 전술급 IMU를 사용하는 경

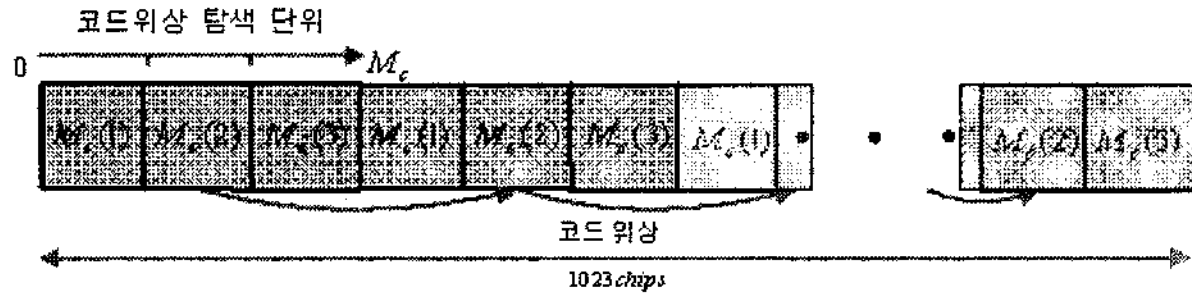


그림 4. 다중상관기를 이용한 코드 위상 탐색 과정.
Fig. 4. Code phase search process using multiple correlators.

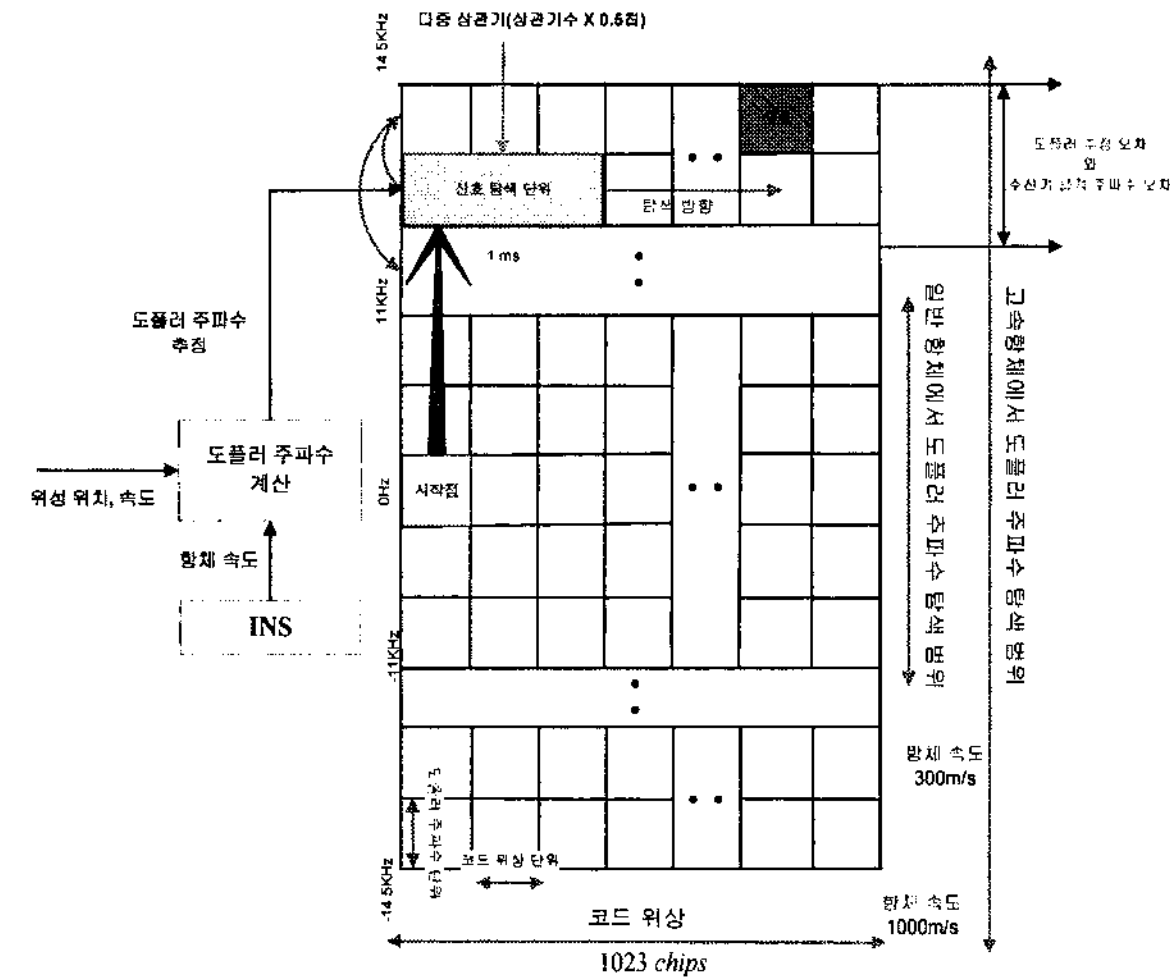


그림 5. 제안한 기법의 신호 탐색 범위.
Fig. 5. Signal search area of proposed method.

우, 신호 탐색을 수행하는 20~30초 정도의 시간 동안에는 95m/s 이내이며 이 값을 초과하더라도 신호 획득 시 도플러 주파수 탐색 단위의 수는 클럭 오차에 의해 3개를 넘지 않으므로 주파수 탐색 단위의 수가 현저히 줄어든다.

다중 상관기를 이용하면 넓은 범위의 코드 위상을 동시에 탐색할 수 있다. 각 상관기가 첫번째 코드 위상부터 마지막 위상까지 0.5chip간격을 두고 분할하여 신호를 탐색하며 각 상관기중 임계치를 넘는 상관값을 출력한 상관기의 코드 위상을 초기 위상으로 결정한다. 그림 4는 다중 상관기의 코드 위상 탐색 과정을 나타낸 것이다.

그림 5와 같이 INS의 속도 정보와 다중 상관기를 이용하면 도플러 주파수와 코드 위상의 탐색 단위 수를 크게 줄일 수 있으며, 이때 총 탐색 범위의 수는 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_c = \frac{\delta f_{dopp}}{f_{bin}} \times \frac{\tau_{code}}{\tau_{bin} M_c} \quad (4)$$

즉, $\delta f_{dopp} = f_{dopp} - \hat{f}_{INS}$ 는 도플러 추정 오차, M_c 는 상관기 수를 나타낸다. 신호 획득 평균 시간은 (5)와 같다[8].

$$\bar{T}_{MA} = \left(\frac{2 - \bar{P}_D}{2\bar{P}_D} \right) \left[k_p (1 - (1 - \bar{P}_{FA}))^{M_c} + 1 \right] \frac{\delta f_{dopp}}{f_{bin}} \frac{\tau_{code}}{\tau_{bin} M_c} t_d \quad (5)$$

여기서, \bar{P}_D 는 신호 검출 확률, \bar{P}_{FA} 는 신호 검출 오보 확률, k_p 는 오보 확률 계수, t_d 는 하나의 신호 탐색 단위를 검색하는데 소요되는 시간이다. 그림 6은 상관기수와 도플러 주파수 범위에 따른 신호 획득 평균 시간을 나타낸다. 상관기

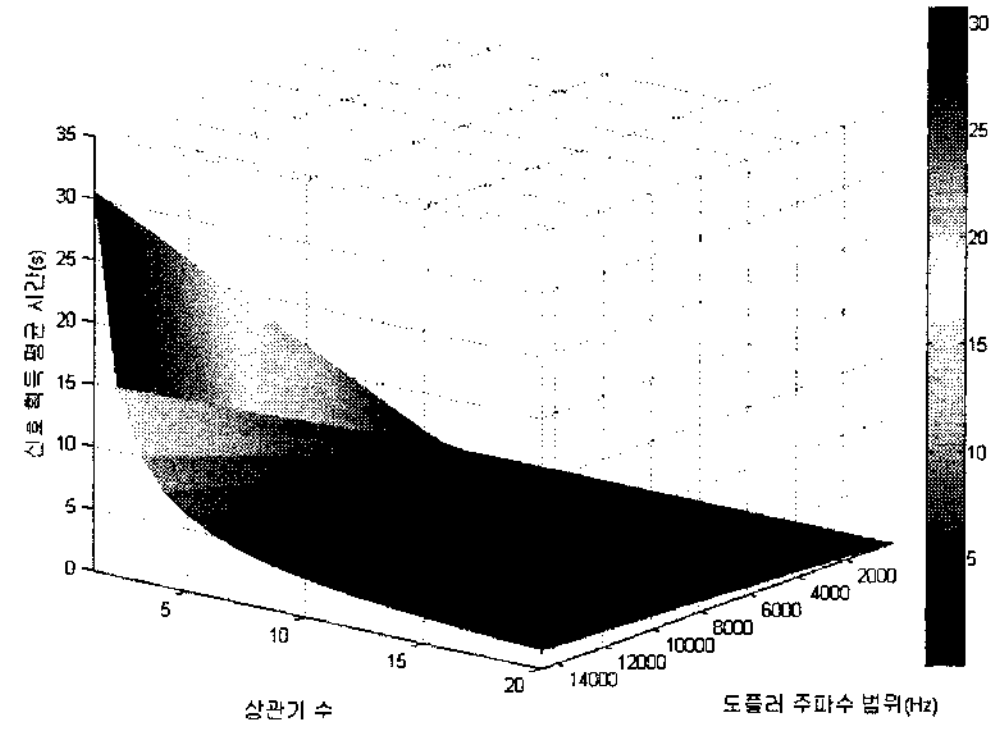


그림 6. 상관기수와 도플러 주파수 탐색 범위에 따른 신호 획득 평균 시간.

Fig. 6. The average signal acquisition time versus Doppler frequency range and number of correlators.

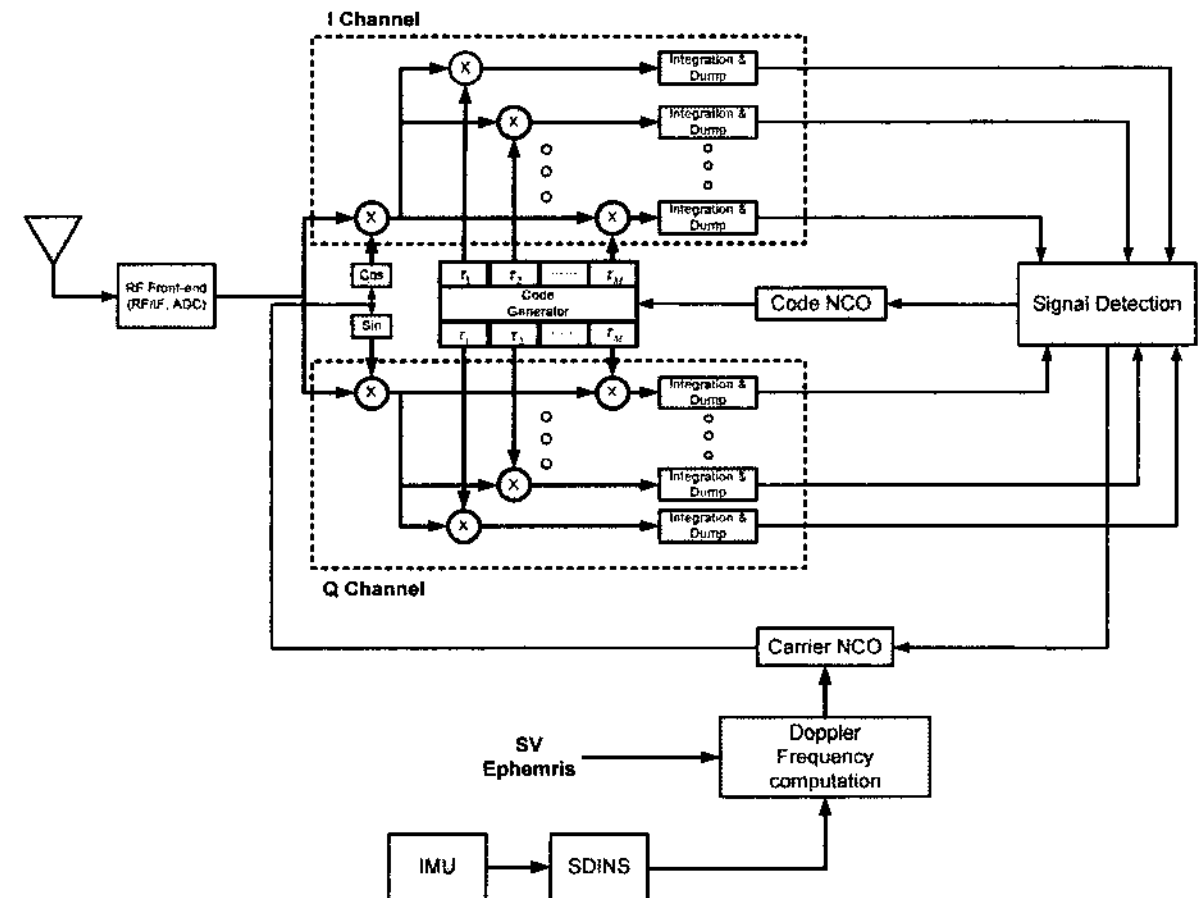


그림 7. 제안한 기법을 이용한 수신기 구조.
Fig. 7. Receiver structure based on the proposed method.

수가 증가 할수록 또는 도플러 주파수 탐색 범위가 줄어들수록 신호 획득 평균시간이 감소하는 것을 알 수 있다. 제안한 기법을 사용할 때의 수신기 구조는 그림 7에 나타내었다. 다중 상관기와 INS의 속도 정보를 이용하여 추정된 도플러 이용하여 반송파 발생기를 구동하게 된다. 신호를 획득하면 수신기는 추적모드로 전환하게 된다.

III. 성능 평가

실험 장치를 그림 8과 같이 Spirent사의 'GSS7700' GPS 신호 모사기와 'SimInertial' IMU 모사기를 이용하여 구성하고 제안한 기법의 성능을 확인하였다. 신호 모사기로부터 출력되는 L1 C/A GPS 신호와 3600deg/hr의 자이로 바이어스와 8.5mg의 가속도계 바이어스를 가지는 IMU 측정치를 GPS 신호 수집 장치를 통하여 PC에 저장하고 데이터를 처리 하였다. 실험에서 항체는 그림 9와 같이 2분간 정지한 후 2초의 가속도 운동 후 1,000m/s의 속력으로 비행한다. 그림 10은 전술한 궤적에 대하여 50회 실험을 수행한 후 신호 획득 평균 시간을 상관기 수에 따라 나타낸 것이다. 1개의 상관기를 사용하는 경우 16.7초의 평균 시간이 소요되는 반면 20개를 사용하면 1.7초 이내로 줄어드는 것을 알 수 있다.

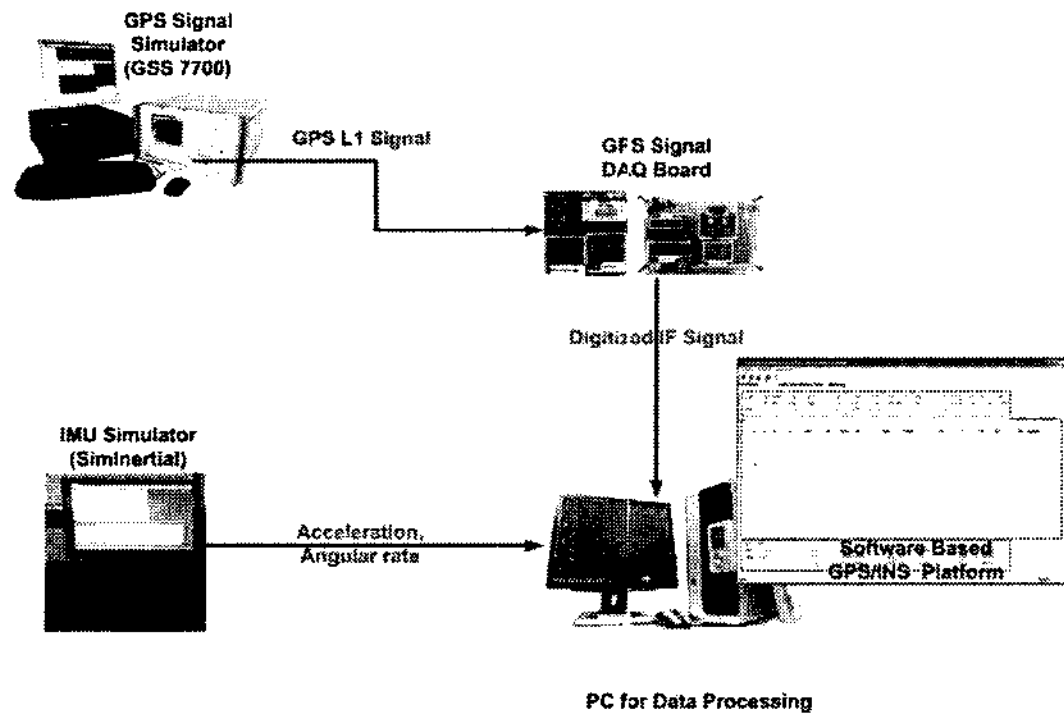


그림 8. 실험 장치의 구성.
Fig. 8. Experimental setup.

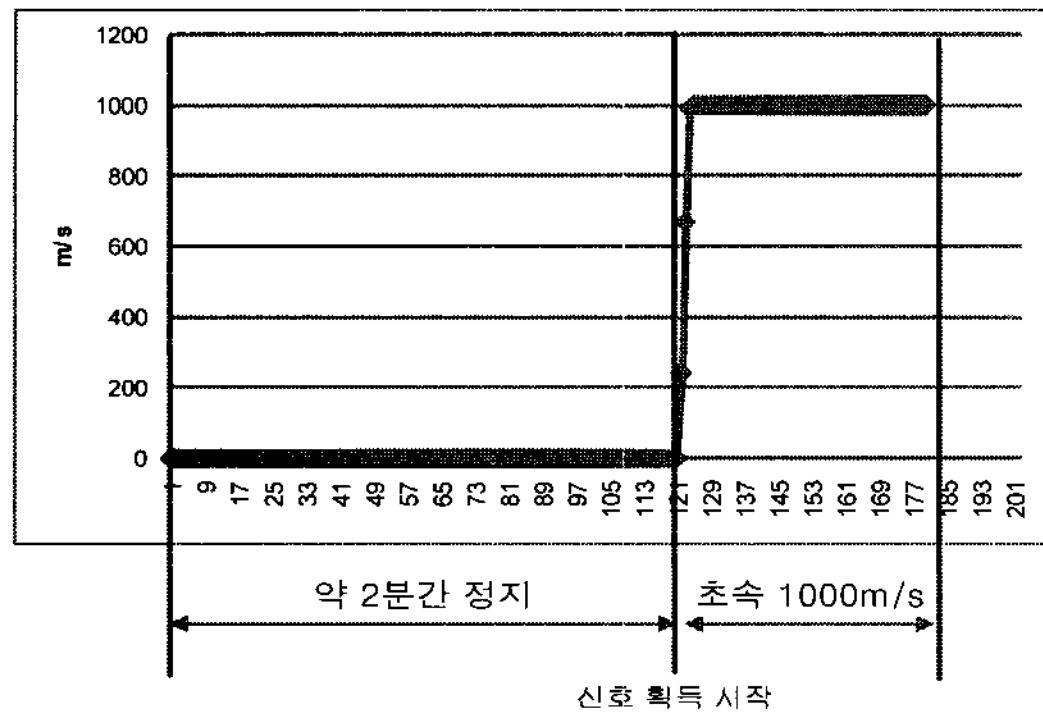


그림 9. 항체의 속력.
Fig. 9. Speed of vehicle.

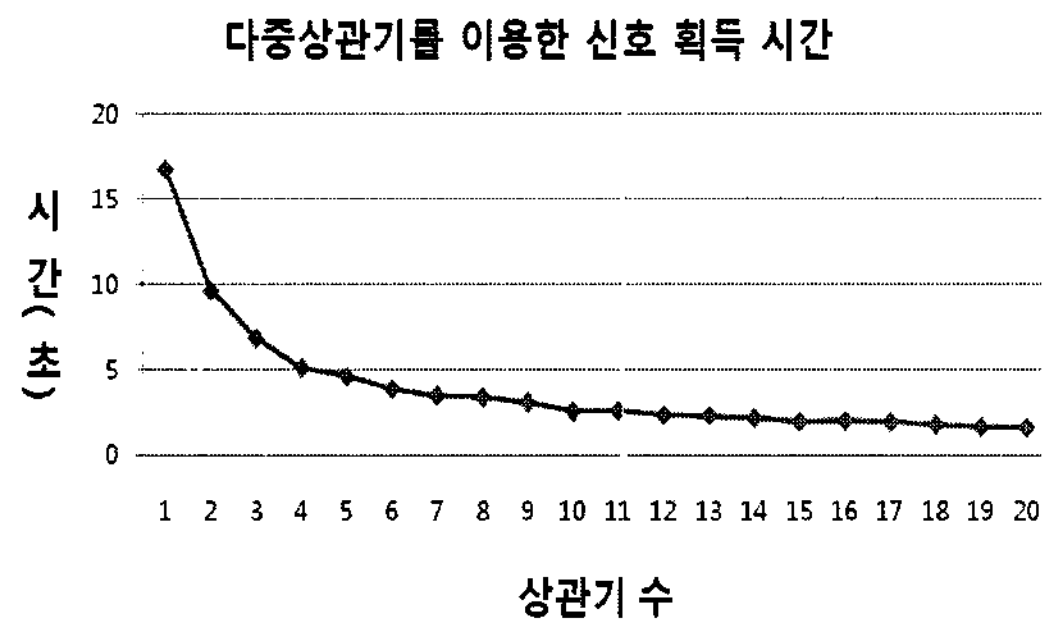


그림 10. 다중상관기 수에 따른 평균 신호 획득 시간.
Fig. 10. Average acquisition time vs. the number of correlator.

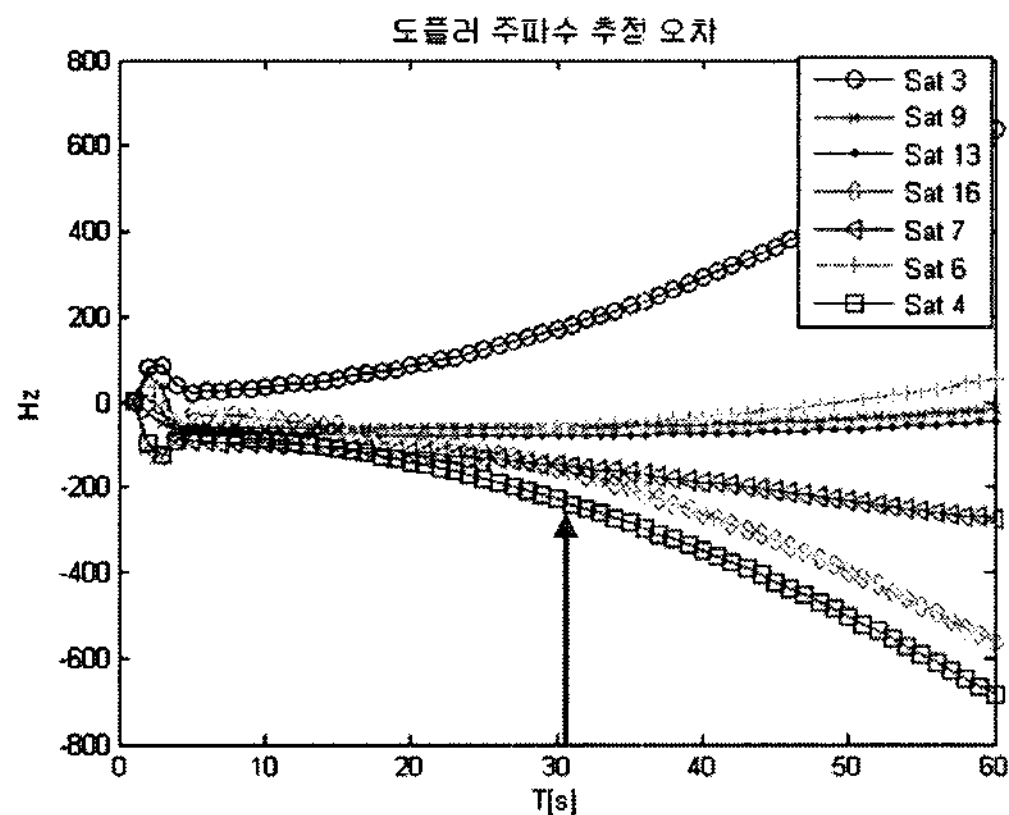


그림 11. 도플러 주파수 추정 오차.
Fig. 11. Doppler frequency estimation error.

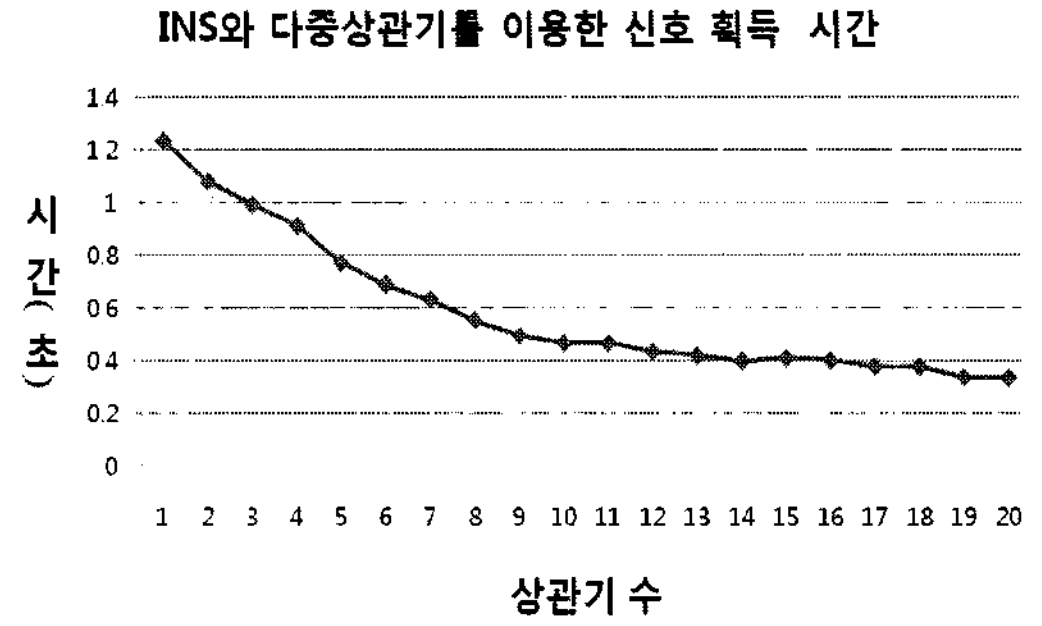


그림 12. 제안한 기법의 신호 획득 평균 시간.
Fig. 12. Average acquisition time of the proposed method.

표 1. 신호 획득 평균시간.

Table 1. The average acquisition time.

상관기 수	상관기	INS와 상관기
	신호 탐색 평균 시간(초)	신호 탐색 평균 시간(초)
1	16.78	1.23
2	9.62	1.08
3	6.81	0.99
4	5.12	0.91
5	4.62	0.77
6	3.89	0.69
7	3.48	0.63
8	3.37	0.55
9	3.08	0.49
10	2.59	0.47
11	2.61	0.47
12	2.37	0.43
13	2.31	0.42
14	2.20	0.40
15	1.97	0.41
16	2.07	0.40
17	1.94	0.38
18	1.81	0.38
19	1.69	0.34
20	1.66	0.34

그림 11은 IMU 데이터로부터 순수 항법을 수행하여 구한 속도를 이용하여 추정된 도플러 주파수의 오차를 나타낸 것이다. 30초 이내에서는 모든 가시 위성에 대한 도플러 주파수 추정 오차가 500Hz 이내인 것을 알 수 있다. 그림 12는 제안한 기법의 신호 획득 시간을 나타낸 것이다. INS를 사용하면 하나의 상관기를 사용하더라도 약 1.2초 정도에 신호 획득이 가능하고 20개의 상관기를 사용했을 때에는 신호 획득 평균 시간이 0.4초 이내인 것을 알 수 있다. 따라서, 제안한 기법인 상관기와 INS를 함께 사용하는 경우에는 다중상관기만 사용할 때 보다 최대 15초 정도 신호 획득 평균 시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 표 1은 신호 획득 실험 결과의 수치를 정리한 것이다.

IV. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 INS 속도와 다중 상관기를 이용한 빠른 신호 획득 기법을 제안하였다. 고속 항체의 경우 일반적인 항체보다 도플러 주파수 범위가 커지므로 제안한 기법에서는 INS 속도로부터 추정된 도플러 주파수를 이용하여 도플러 주파수의 탐색 범위를 줄였고 다중 상관기를 이용하여 코드 위상의 탐색 단위 수를 줄였다. 제안한 신호 획득 기법의 성능 평가 실험에서 MEMS IMU를 사용하는 경우, 사용하지 않는 경우보다 최대 15초 정도의 신호 획득 시간을 감소시키는 결과를 얻었으며 20개의 상관기를 같이 사용하면 0.4초 이내로 신호를 획득하는 것을 알 수 있었다. 추후 연구과제로 INS 정보로 코드 탐색 단위 수를 감소시키는 방법과 자세의 급격한 변화가 신호 탐색 범위에 미치는 영향과 이것을 감소시키기 위한 방법에 대한 연구를 수행할 것이다.

참고문헌

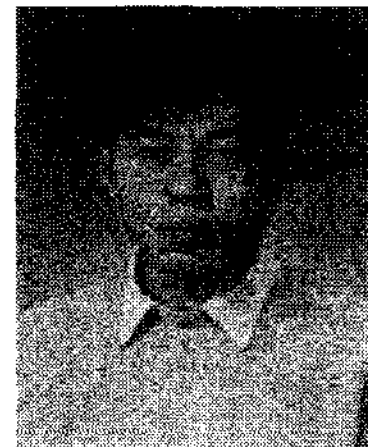
[1] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS : principles and Applications Second Edition*, Artech House, 2006.
 [2] N. F. Zein and W. G. Chambers and T. G. Clarkson, "Use of matched filters for serial acquisition in a fast frequency-hopping

system," *Proceedings of IEEE Military Communications Conference, MILCOM*, vol. 1, pp. 161-165, September 1990.
 [3] D. J. R. Van Nee and A. J. M. Coenen, "New fast GPS code-acquisition technique using FFT," *IEE Electronics Letters*, vol. 27, no. 2 pp.158-160, January 1991.
 [4] 서홍석, GPS 초기 동기 성능 개선을 위한 탐색 후보 축소 방법, 충남대학교 대학원 전자 공학과 박사 학위 논문, 2003.
 [5] J. R. Dowdle and K. W. Flueckiger, "A GPS/INS guidance system for navy 5 projectiles," *Proceeding of ION 52nd Annual Meeting*, pp. 19-21, June 1996.
 [6] E. J. Ohlmeyer, P. R. Thomas, and B. L. Miller, "Assessment of integrated GPS/INS for the EX-171 extended range guided munition," *Proceedings of AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, pp. 1375-1392, August 1998.
 [7] J. K. Holmes and C. C. Chen, "Acquisition and performance of PN spread-spectrum system," *IEEE Transactions on Communications* vol. Com-25, no. 8, pp. 778-783, August 1977.
 [8] J. B. Lowzow, "Analysis of direct P(Y)-acquisition," *NAVIGATION: Journal of The Institute of Navigation*, vol. 44, no. 1, pp. 89-98, Spring 1997.



정 호 철

2007년 충남대학교 정보통신공학부 공학사. 2007년~현재 충남대학교 전자전과 정보통신공학과 대학원 석사과정. 관심분야는 항법, 임베디드 시스템, GPS/INS 통합 항법 시스템.



김 정 원

2002년 충남대학교 전자공학과 공학사. 2004년 동 대학원 공학석사. 2004년~현재 동 대학원 박사 과정. 관심분야는 임베디드 시스템, GNSS 수신기, GPS/INS 통합 항법 시스템.



황 동 환

1985년 서울대학교 전기공학과 공학사. 1987년 KIAST 전기 및 전자공학과 공학석사. 1991년 동 대학원 공학박사. 1996년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수. 관심분야는 INS, GPS, 추정론.



이 상 정

1979년 서울대학교 전자공학과 공학사. 1981년 동 대학원 공학석사. 1987년 동 대학원 공학박사. 1988년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수. 관심분야는 강인 제어, GNSS.

이 태 규

제어 자동화 시스템공학 논문지 제 7 권 제 12 호 참조.



송 기 원

1984년 성균관 대학교 전자공학공학사. 1992년 충남대학교 전자공학과 석사. 2002년 동 대학원 공학박사. 1984년~현재 국방과학연구소 책임 연구원. 현재 관심분야는 강인제어/필터, 추정이론 및 가관측성 분석 기법.