

잡음환경에 강인한 DGPS 기준국을 위한 GPS 초기동기 방법

박정렬* · 박상현** · 신재호***

*동국대학교 전자공학과 대학원, **한국해양연구원, ***동국대학교 전자공학과 교수

A GPS Initial Synchronization Method for Robust DGPS Reference Stations in Noisy Environment

Jeong-Yeol Park* · Sang-Hyun Park** · Jae-ho Sin***

*Graduate School, Department of Electronics Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

**Korea Ocean Research & Development Institute, Daejeon 305-343, Korea

***Professor, Department of Electronics Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

요약 : 기존 DGPS 기준국용 GPS 수신기의 초기동기 방법은 잡음환경에 대한 강건성 향상을 위해 동기 누적 기법과 비동기 누적 기법을 함께 이용하고 있다. 그러나, 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법은 잡음환경에서 발생하는 신호획득 손실 중에서 우세한 성분인 비동기 누적 손실이 발생할 뿐만 아니라 잡음세기가 커질수록 비동기 누적 손실도 커지는 문제가 있다. 본 논문에서는 잡음환경에 강인한 DGPS 기준국을 위해 기존 GPS 초기동기의 비동기 누적 손실 문제를 해결한 새로운 GPS 초기동기 방법을 제안하고, 제안하는 GPS 초기동기 방법이 비동기 누적 손실을 억제하는 효과가 있음을 보인다. 그리고, 평균 초기동기 획득시간 측면에서 제안하는 GPS 초기동기 방법이 기존 GPS 초기동기 방법이 검색해야 할 셀의 개수 보다 더 적은 셀을 검색하는 이점이 있음을 보인다. 마지막으로 GPS 시뮬레이터를 이용한 모의실험을 통해 제안하는 GPS 초기동기 방법이 잡음세기가 증가한 환경에서 높은 신호대 잡음비로 GPS 신호를 획득할 수 있음을 확인한다.

핵심용어 GPS 초기동기, DGPS 기준국, 잡음환경, 비동기 누적 손실

Abstract : In order to enhance the robustness against noisy environment, the previous GPS initial synchronization method of DGPS reference stations adopts not only the coherent integration method but also the non-coherent integration method. However the previous GPS initial synchronization method causes the non-coherent integration loss, which is a dominant factor among the signal acquisition losses in noisy environment. And the non-coherent integration loss increases with the strength of noise signal. In this paper, a novel GPS initial synchronization method is proposed for robust DGPS reference stations in noisy environment. This paper presents that the proposed GPS initial synchronization method suppresses the non-coherent acquisition loss. Furthermore, with regard to the mean acquisition time, it is shown that the number of the search cells of the proposed GPS initial synchronization method is much smaller than that of the previous GPS initial synchronization method. Finally, through the simulation by the GPS simulator, it is seen that the GPS signal of high signal-to-noise ratio can be acquired under increased noise floor using the proposed GPS initial synchronization method.

Key words : GPS Initial synchronization, DGPS reference station, Noisy environment, Non-coherent integration loss

1. 서론

GPS(Global Positioning System)의 대표적 오차 보정기법인 DGPS(Differential GPS)는 보정정보의 양이 많지 않아 정보 전송에 부담이 없고, 사용자가 수신된 의사거리(pseudorange) 오차 보정정보를 이용하여 측위 정확도를 쉽게 향상시킬 수 있다는 장점 때문에 현재 가장 널리 이용되고 있다. 우리나라에서도 1999년 5월 서해권 DGPS 보정정보 전송 서비스를 시작으로 2001년 동해, 남해권을 포함한 NDGPS (Nationwide Differential GPS) 기준국망 구축을 완료하고, 선박의 안전한 항행을 위해 1-2 미터 측위 정확도를 얻을 수 있는 실시간

DGPS 보정정보를 국내 연안과 도서지역에 송신하고 있으며, 내륙으로의 DGPS 서비스 확장을 위해 무주, 영주, 평창에 내륙 기지국을 설치하였고, 향후 추가로 3개의 내륙 DGPS 기준국을 설치할 예정이다(서 외, 2006).

의사거리 기반의 보정기법인 DGPS의 측위 정확도는 DGPS 기준국에서 생성한 의사거리 오차 보정정보의 정확도에 영향을 받으며, 의사거리 오차 보정정보의 정확도는 DGPS 기준국용 GPS 수신기 잡음 크기에 영향을 받는다. 그 이유는 DGPS 기준국에서 생성한 오차 보정정보가 사용자 GPS 수신기의 공통 오차인 이온층/성층권 지연 오차, 위성시계 오차, 위성궤도 오차 뿐만 아니라 비공통 오차로서 DGPS 보정기법

* 대표저자 : 박정렬(정회원), ultra7a@yahoo.co.kr 02)2110-3710

** 정회원, shpark@moeri.re.kr 042)868-7518

*** 정회원, jhshin@dongguk.edu 02)2260-3336

에 의해 제거되지 않는 DGPS 기준국용 GPS 수신기 잡음을 포함하고 있기 때문이다. 실제로 미국 캘리포니아의 한 항구에서 통신장비와 기계장비로부터 유입된 잡음이 DGPS 기준국용 GPS 수신기 잡음을 증가시켜서 DGPS 측위 성능을 악화시킨 사례가 소개된 바 있다(Clynch et al., 2002).

일반적으로 GPS 수신기 잡음은 GPS 신호의 신호대 잡음비, 즉 수신감도에 영향을 받는다(Kaplan, 1996). 따라서 잡음 환경에 강인한 DGPS 기준국용 GPS 수신기를 설계하려면 수신기의 수신감도를 강화시켜야 한다. 수신감도를 강화하기 위한 기존 연구 결과들은 Krasner(1998)의 초기동기 연구 결과를 기초로 이를 확장 또는 보완한 연구들로서 수신감도 강화를 위해 동기 누적 기법과 비동기 누적 기법을 함께 이용한다는 공통점을 갖고 있다(Chansarkar et al., 2000; Deshpande et al., 2004). 여기서 기존 초기동기 연구 결과들이 수신감도 강화를 위해 동기 누적 기법과 비동기 누적 기법을 함께 이용하는 이유는 동기 누적 기법만을 단독으로 사용하는 경우엔 동기 누적이 주파수 검색 셀의 개수를 증가시키고, 비동기 누적 기법만을 단독으로 사용하는 경우에 잡음 환경에서의 비동기 누적이 비동기 누적 손실 (non-coherent integration loss)을 발생시키기 때문이다. 그러나 기존 초기동기 방법은 동기 누적 기법과 비동기 누적 기법을 병행함에도 불구하고, 비동기 누적 손실이 여전히 존재할 뿐만 아니라 발생한 비동기 누적 손실이 초기동기 손실 중에서 우세한 성분이며, 잡음 신호의 세기가 커질수록 비동기 누적 손실도 커진다는 점에서 현재까지 해결해야 할 문제로 남아 있다.

본 논문에서는 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법이 잡음환경에서 비동기 누적 손실을 발생시키고, 발생한 비동기 누적 손실이 잡음 신호세기와 함께 커지는 특징이 있음을 밝힌다. 그리고, 비동기 누적 손실 문제를 해결하기 위하여 차동 검출기(differential detector)로 결합된 결합 동기 누적(coupled coherent accumulator) 구조를 갖는 GPS 초기동기

방법을 제안하고, 제안하는 초기동기 방법이 비동기 누적 손실을 억제하는 효과가 있음을 보인다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법을 소개하고, 잡음환경에서 발생하는 비동기 누적 손실을 설명한다. 3장에서는 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법을 제안하고, 제안하는 GPS 초기동기 방법이 잡음환경에서 비동기 누적 손실을 발생시키지 않으며 동시에 수신감도를 강화시키는 효과가 있음을 보인다. 4장에서는 GPS 시뮬레이터를 이용한 모의 실험을 통하여 기존 GPS 초기동기 방법과 제안하는 GPS 초기동기 방법의 신호 획득 성능을 비교하고, 제안하는 GPS 초기동기 방법의 성능이 3장에서 예측한 성능 개선 효과가 있는지 확인한다. 그리고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법과 잡음 손실

본 논문은 DGPS 기준국용 GPS 수신기의 초기동기에 입력되는 신호가 GPS 위성 신호 중에서 L1 대역의 C/A 의사잡음 코드만을 수신한 후에 기저대역으로 변환된 이산신호라고 가정하고, 식 (1)과 같이 정의한다(Parkinson et al., 1996).

$$x(t_k) = \sqrt{2P_s} D(t_k) CA(t_k - T_o) \cos [2\pi f_r t_k + \phi_o] + n(t_k) \quad (1)$$

여기서

$$t_k = \frac{k}{2f_c}; k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

위의 식 (1)과 식 (2)에서 P_s 는 입력신호 전력, $D(t_k)$ 는 ± 1 로 표현되는 50bps 항법데이터, $CA(t_k)$ 는 C/A 의사잡음 코드, T_o 는 C/A 의사잡음 코드 지연, $f_r = f_{dopp} + f_{ce}$ (f_{dopp} 는 GPS 수신기와 GPS 위성 간의 거리 변화로 발생하는 도플러(Doppler) 주파수, f_{ce} 는 GPS 수신기의 클럭 오차로 발생하는

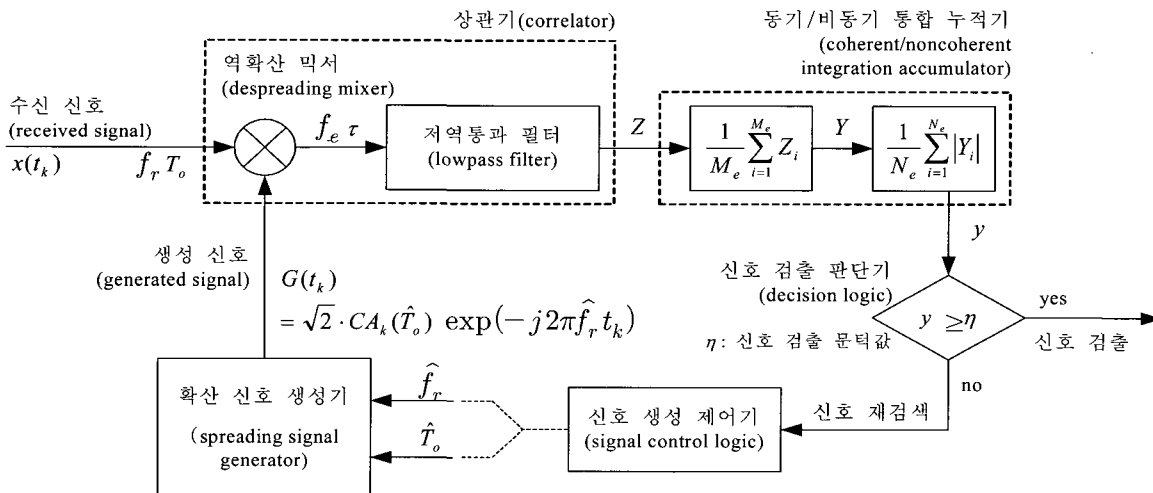


Fig. 1 The existing GPS initial synchronization method

주파수 오차), ϕ_o 는 위상 지연, f_c 는 C/A 의사잡음 코드의 칩률(chip rate)이고, $n(t_k)$ 는 평균과 분산이 식 (3)의 특성을 갖는 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise)이다.

$$E[n(t_k)] = 0, \text{var}[n(t_k)] = E[n^2(t_k)] = \sigma_n^2 \quad (3)$$

DGPS 기준국용 GPS 초기동기는 일반 초기동기와 마찬가지로 의사잡음 코드 지연 T_o 와 기저대역 수신 주파수 f_r 의 불확실 범위를 결정하고, 추적루프의 인입영역(pull-in range)과 초기동기 손실을 고려하여 검색 셀의 크기를 결정한 후에 전체 검색 셀 중에서 T_o 와 f_r 를 포함한 정합 셀을 찾는 문제이다(Ward, 1996). DGPS 기준국용 GPS 초기동기가 일반 초기동기와 다른 점은 잡음환경에서도 더 높은 수신감도를 얻어야 한다는 점이다. DGPS 기준국용 GPS 수신기를 포함하여 높은 수신감도를 요구하는 고성능 GPS 수신기는 높은 수신감도를 얻는 방법으로 Fig. 1과 같이 동기 누적 결과를 비동기 누적하는 동기/비동기 통합 누적 초기동기를 이용한다. $x(t_k)$ 는 GPS 수신기가 생성한 복소 신호 $G(t_k)$ 에 의해 동위상(in-phase) 성분과 직교위상(quadrature-phase) 성분으로 나뉘고, 역 확산된다. C/A 의사잡음 코드 한 주기(T_p)의 상관기 출력 Z 는 식 (4)와 같다.

$$Z_k = \pm \sqrt{P_s} R(\tau) \frac{\sin(2\pi f_e T_p/2)}{2\pi f_e T_p/2} (\cos \phi_o + j \sin \phi_o) + n^c + j n^s \quad (4)$$

$$f_e = f_r - \hat{f}_r, \tau = T_o - \hat{T}_o, R(\tau) = \begin{cases} 1 - |\tau|; & |\tau| \leq 1 \\ 0; & |\tau| > 1 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 $R(\tau)$ 는 수신된 C/A 의사잡음 코드와 생성한 C/A 의사잡음 코드의 상관함수, τ 는 칩(chip) 단위의 코드 위상오차이고, n^c 와 n^s 는 식 (6)의 특성을 갖는 $n(t_k)$ 의 동위상과 직교 성분이다. 기존 DGPS 초기동기 방법이 사용하는 동기 누적과 비동기 누적은 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$E(n^c) = E(n^s) = 0, \text{var}(n^c) = \text{var}(n^s) = \frac{\sigma_n^2}{4f_c T_p} \quad (6)$$

$$Y = \frac{1}{M_c} \sum_{i=1}^{M_c} Z_i \quad (7)$$

$$y = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} |Y_i| \quad (8)$$

여기서 M_c 는 동기 누적 횟수이고, N_e 는 비동기 누적 횟수이다. 항법 데이터 비트 반전(bit transition) 정보를 이용하여 동기누적을 수행한 결과 Y 는

$$Y = \sqrt{P_s} R(\tau) \frac{\sin(2\pi f_e M_c T_p/2)}{2\pi f_e M_c T_p/2} (\cos \phi_o + j \sin \phi_o) + \tilde{n}^c + j \tilde{n}^s \quad (9)$$

이고, \tilde{n}^c 와 \tilde{n}^s 는 식 (10)의 특성을 갖는다.

$$E(\tilde{n}^c) = E(\tilde{n}^s) = 0, \text{var}(\tilde{n}^c) = \text{var}(\tilde{n}^s) = \frac{\sigma_n^2}{4f_c T_p M_c} \quad (10)$$

기존 GPS 초기동기 방법은 동기/비동기 통합 누적기를 사용함으로써 정합된 C/A 의사잡음 코드의 한 주기 신호로부터 얻는 확산이득 이외에 추가의 수신감도 이득 G_p 를 얻는다. G_p 는 누적 횟수와 초기동기 손실 L_{acq} 의 함수이며, 이들의 관계는 식 (11)과 같다.

$$G_p = \frac{\sqrt{M_c N_e}}{L_{acq}} \quad (11)$$

$$L_{acq} = L_{acq}^f L_{acq}^\tau L_{sq} \quad (12)$$

여기서 L_{acq} 는 검색 셀의 주파수 격자 크기 S_f 에 의한 손실 L_{acq}^f , 검색 셀의 코드 격자 크기 S_τ 에 의한 손실 L_{acq}^τ 및 비동기 누적 손실 L_{sq} 의 곱으로 이루어지고, L_{acq}^f 와 L_{acq}^τ 의 상한 경계는 식 (13), 식 (14)와 같다.

$$\bar{\sigma}(L_{acq}^f) = \left[\frac{\sin(S_f M_c T_p \pi/2)}{S_f M_c T_p \pi/2} \right]^{-1} \quad (13)$$

$$\bar{\sigma}(L_{acq}^\tau) = \left(1 - \frac{S_\tau}{2} \right)^{-1} \quad (14)$$

식 (13)은 동기 누적 횟수가 증가하면, 손실을 일정하게 유지하기 위해 검색 셀의 주파수 격자 크기 S_f 를 동기 누적 횟수 증가량만큼 작게 만들어야 하고, 작아진 격자 크기 때문에 초기동기를 위해 검색해야 할 총 검색 셀의 개수가 증가하는 문제가 있음을 보여주고 있다. 반면에 비동기 누적 기법은 누적 횟수 N_e 가 L_{acq}^f 와 L_{acq}^τ 에 영향을 주지 않는다. 그러나 비동기 누적 기법은 비동기 누적 직전의 신호대 잡음비에 영향을 받으며, 특히 잡음신호의 세기가 큰 환경에서 비동기 누적은 식 (15)와 같은 비동기 누적 손실을 유발시킨다.

$$L_{sq} = \frac{\alpha_c \sqrt{4 - \pi}}{2 \left[\Gamma\left(\frac{1}{2} + 1\right) {}_1F_1\left(-\frac{1}{2}; 1; -\frac{\alpha_c^2}{2}\right) - \sqrt{\pi} \right]} \quad (15)$$

여기서 $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수(gamma function), ${}_1F_1(\cdot)$ 은 합류 초기하 함수(confluent hypergeometric function)이고, α_c 는 비동기 누적 직전의 신호대 잡음비

$$\alpha_c = \sqrt{2f_c T_p M_c} \sqrt{2P_s} / \sigma_n \quad (16)$$

이다.

기존 GPS 초기동기 방법은 초기동기 획득 시간을 고려하면서, 초기동기 손실을 최소화 시키기 위하여 동기 누적 기법과 비동기 누적 기법을 혼용한 통합 누적기를 사용한다. 일반적으로 통합 누적기는 1초 동안의 GPS 위성 신호에 대하여 동

기 누적을 20회, 비동기 누적을 50회 수행하도록 설계한다. 그러나, 식 (15)와 Fig. 2에 나타난 비동기 누적손실 계산 결과에서 알 수 있는 것과 같이 기존 DGPS 초기동기 방법은 동기 누적 후에 신호대 잡음비가 10dB 보다 작은 경우에 비동기 누적 손실이 발생함을 알 수 있다. 또한 비동기 누적 손실 크기는 큰 잡음신호에 의해 입력 신호의 신호대 잡음비가 낮아질수록 커짐을 알 수 있다.

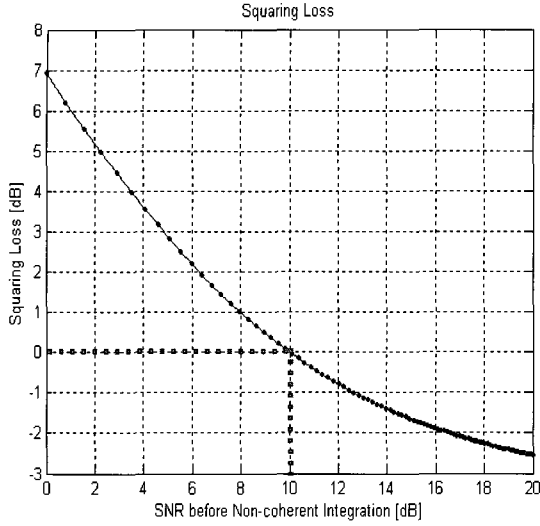


Fig. 2 The non-coherent integration loss

3. 제안하는 GPS 초기동기 방법

본 논문에서 제안하는 GPS 초기동기는 기존 GPS 초기동기에서 동기/비동기 통합 누적이 대신에 결합 동기 누적을 이용한다. 제안하는 결합 동기 누적기는 Fig. 3과 같다. 여기서 결합 동기 누적기의 출력 y 는

$$y = \frac{1}{M_p N_p} \sum_{i=1}^{N_p} Sqr \left[\text{Re} \left(\sum_{j=1}^{M_p} Z_{j+M_p(i-1)} \sum_{j=1}^{M_p} Z_{j+M_p(i-2)}^* \right) \right] \quad (17)$$

이고, M_p 는 첫 번째 동기 누적 횟수, N_p 는 두 번째 동기 누적 횟수, *은 켈레복소를 나타낸다. 그리고, $\text{Re}(\tilde{Y})$ 는 \tilde{Y} 의 실수부, $Sqr(\lambda)$ 는

$$Sqr(\lambda) = \begin{cases} \sqrt{\lambda} & ; \lambda \geq 0 \\ -\sqrt{-\lambda} & ; \lambda < 0 \end{cases} \quad (18)$$

으로 정의한다. 결합 동기 누적이 첫 번째 동기 누적 결과의 차동 검출기 출력을 \tilde{Y} 라고 하자. \tilde{Y} 는 식 (9)로부터

$$\tilde{Y} = P_s R^2(\tau) \frac{\sin^2(\pi f_e M_p T_p)}{(\pi f_e M_p T_p)^2} + \tilde{n}^c + \tilde{n}^s \quad (19)$$

로 표현할 수 있고, \tilde{n}^c 와 \tilde{n}^s 는 식 (20)의 잡음 특성을 갖는다.

$$E(\tilde{n}^c) = E(\tilde{n}^s) = 0, \text{var}(\tilde{n}^c) = \text{var}(\tilde{n}^s) = \frac{\sigma_n^4}{8(f_c T_p M_p)^2} \quad (20)$$

두 번째 동기 누적이 입력을 \bar{Y} 라고 하고, $|\omega_e| \leq 2\pi / (M_p T_p)$ 라고 하면, \bar{Y} 는 식 (19)에 식 (18)을 적용하여

$$\bar{Y} = \sqrt{P_s} R(\tau) \frac{\sin(\pi f_e M_p T_p)}{\pi f_e M_p T_p} + \bar{n} \quad (21)$$

이다. 여기서 \bar{n} 은 식 (22)와 같은 잡음 특성을 갖는다.

$$E(\bar{n}) = 0, \text{var}(\bar{n}) = \frac{\sigma_n^2}{4f_c T_p M_p} \quad (22)$$

정리 1 : 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법의 수신감도 이득은 식 (23)과 같다.

$$G_p = \sqrt{M_p N_p} / (L_{acq}^f L_{acq}^r) \quad (23)$$

여기서 L_{acq}^f 의 상한경계는

$$\bar{\sigma}(L_{acq}^f) = \left[\frac{\sin(S_f M_p T_p \pi / 2)}{S_f M_p T_p \pi / 2} \right]^{-1} \quad (24)$$

이고, 결합 동기 누적이 첫 번째 동기 누적 횟수 M_p 에만 영향을 받는다.

증명 : 부정합 상태의 \bar{Y} 를 \bar{Y}^f , y 를 y^f 라고 하자. 식 (21)로부터 y^f 는

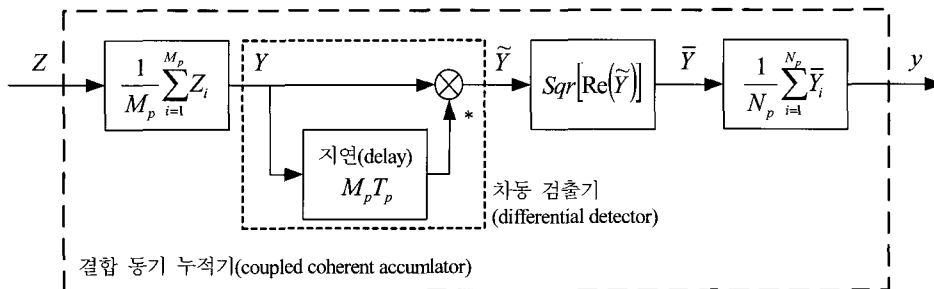


Fig. 3 The proposed GPS acquisition method

$$y^f = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \bar{Y}^f = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \bar{n} \quad (25)$$

이고, y^f 는 식 (26)의 특성을 갖는다.

$$E(y^f) = 0, \text{var}(y^f) = \frac{\sigma_n^2}{4f_c T_p M_p N_p} \quad (26)$$

부정합 상태와 같은 방법으로 정합 상태의 \bar{Y} 를 \bar{Y}^c , y 를 y^c 라고 하고, y^c 와 y^c 의 평균을 구하면,

$$y^c = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \bar{Y}^c = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} (\sqrt{P_s} + \bar{n}) \quad (27)$$

$$E(y^c) = \sqrt{P_s} \quad (28)$$

이다. 식 (26)과 (28)로부터 결합 동기 누적 후에 신호대 잡음비 α_{cc} 는

$$\alpha_{cc} = \frac{E(y^c)}{\sqrt{\text{var}(y^f)}} = \frac{2\sqrt{f_c T_p M_p N_p P_s}}{\sigma_n} \quad (29)$$

이다. 여기서 비동기 누적 손실 L_{sq} 는 N_p 가 1일 때에 첫 번째 동기 누적 후 신호대 잡음비 α_c 에 대한 α_{cc} 의 비율이므로 식 (16)과 식 (29)로부터 L_{sq} 가 존재하지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 초기동기 손실 L_{acq} 는 L_{acq}^f 와 L_{acq}^r 의 곱으로 이루어지며, 식 (29)로부터 두 번째 동기 누적에 의한 이득 $\sqrt{N_p}$ 를 확인할 수 있으므로, 결합 동기 누적기로부터 얻는 추가 수신감도 이득은 $\sqrt{M_p N_p} / (L_{acq}^f L_{acq}^r)$ 임을 알 수 있다. 또한 식 (19)로부터 L_{acq}^f 는 M_p 와 N_p 중에서 차동 검출기 이전의 동기 누적 횟수 M_p 에만 영향을 받는 손실임을 알 수 있으므로 L_{acq}^f 의 상한 경계는 $(S_f M_p T_p \pi/2) / \sin(S_f M_p T_p \pi/2)$ 이다.

제안하는 결합 동기 누적 GPS 초기동기와 기존 GPS 초기동기의 검색 셀 개수를 비교하기 위해 검색 셀 개수를 C_N , 주파수 축에서 본 셀의 개수를 C_N^f , 의사잡음 코드 지연 축에서 본 셀의 개수를 C_N^r , 주파수 검색 범위를 R_f , 의사잡음 코드 검색 범위를 R_r 라고 정의하면, C_N 은

$$C_N = C_N^f C_N^r = \frac{R_f R_r}{S_f S_r} \quad (30)$$

이다. 평균 초기동기 획득 시간은 $C_N - 1$ 에 비례하므로, 초기 동기 획득 시간을 빠르게 하기 위해선 C_N 을 적게 설계하는 것이 유리하다(Peterson et al., 1995). C_N 을 적게 하기 위해선 C_N^f 와 C_N^r 을 적게 해야 하고, C_N^f 와 C_N^r 을 적게 하기 위해선 R_f 와 R_r 을 작게 설정하거나, S_f 와 S_r 을 크게 설계해야 한다. 여기서 R_f 와 R_r 는 f_{dopp} 와 f_{ce} 의 상하한 경계와 초기동기 지원 정보를 이용하여 선정하는 일정한 값이므로 초기동기 설계

관점에서 초기동기 획득 시간을 빠르게 하기 위해선 S_f 와 S_r 을 크게 해야 한다. 그러나 S_f 와 S_r 을 크게 설계하면 L_{acq}^f 와 L_{acq}^r 을 크게 만드는 문제가 있다. 따라서 S_f 와 S_r 은 초기동기 획득 시간을 고려하기에 앞서서 GPS 초기동기가 얻고자 하는 추가 수신감도 이득을 먼저 고려하여 설계해야 한다.

정리 1은 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법이 비동기 누적 손실이 발생하지 않는 방법일 뿐만 아니라 비동기 누적 손실이 없음으로 인해 첫 번째 동기 누적 횟수 M_p 를 기존 GPS 초기동기 방법의 동기 누적 횟수 M_e 보다 줄일 수 있는 방법임을 알려준다. 따라서 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법의 검색 셀 개수는 정리 2와 같은 특징을 갖는다.

정리 2 : M_p 와 M_e 는 $M_e = k M_p$ 의 관계가 있고, k 를 양의 실수라고 가정할 때에 $\sigma(L_{acq}^f)$ 가 동일한 조건에서 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법이 검색해야 할 셀의 개수는 기존 GPS 초기동기 방법이 검색해야 할 셀의 개수보다 k 배가 적다.

본 장에서는 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법을 제안하고, 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법이 기존 GPS 초기동기 방법과 비교하여 비동기 누적 손실이 없으며, 첫 번째 동기 누적 횟수 M_p 를 M_e 보다 적게 설계함으로써 검색 셀의 개수가 기존 GPS 초기동기보다 감소하는 효과가 있음을 확인하였다.

마지막으로 제안한 GPS 초기동기와 기존 GPS 초기동기를 비교해 보기로 하자. 2.4MHz 대역폭을 갖고 양자화 오차 등의 시스템 구현 손실이 2dB인 기존 GPS 초기동기에 -130dBm 세기를 갖는 GPS 위성 신호에 상온의 잡음세기보다 20dB 높은 잡음환경이 주어지면, 반송파대 잡음비는 24dB-Hz가 된다. 따라서 동기 누적 20회 후에 신호대 잡음비는 4.3dB가 되므로 비동기 누적에 의해 3.4dB의 비동기 누적 손실이 발생하게 된다. 동일한 조건에서 잡음세기가 2dB 높아지면, 반송파대 잡음비는 22dB-Hz가 되고, 동기 누적 20회 후에 신호대 잡음비는 2.3dB가 된다. 이때 비동기 누적에 의한 비동기 누적 손실은 상온의 잡음세기보다 20dB 높은 잡음환경에서 발생한 비동기 누적 손실보다 1.4dB 높은 4.8dB 손실이 발생한다. 이 예를 통해 잡음환경에서 기존 GPS 초기동기는 수신감도 향상을 위해선 반드시 비동기 누적 손실 문제를 해결해야 한다는 사실을 확인할 수 있으며, 제안한 GPS 초기동기는 동일한 잡음환경에서 기존 GPS 초기동기에서 발생하였던 3.4dB, 5.0dB의 비동기 누적 손실이 발생하지 않으므로 기존 GPS 초기동기와 비교하여 비동기 누적 손실만큼의 수신감도 이득을 얻게 된다.

4. 성능 평가

본 장에서는 3장에서 유도한 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법이 지닌 특징을 검증하기 위하여 GPS 위성 신호에 대해 결합 동기 누적기의 M_p 를 5회, N_p 를 200회 수행하도록 설계

하고, M_e 와 N_e 가 각각 20회, 50회인 기존 GPS 초기동기 방법과 성능을 비교 평가한다. 실제에 가까운 성능 평가를 위해 Fig. 4에 보인 것과 같이 GPS 시뮬레이터를 이용하여 잡음신호 세기를 달리한 이산 신호를 수집하고, 결합 동기 누적 GPS

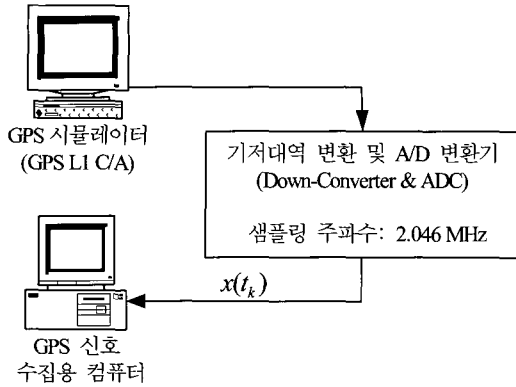
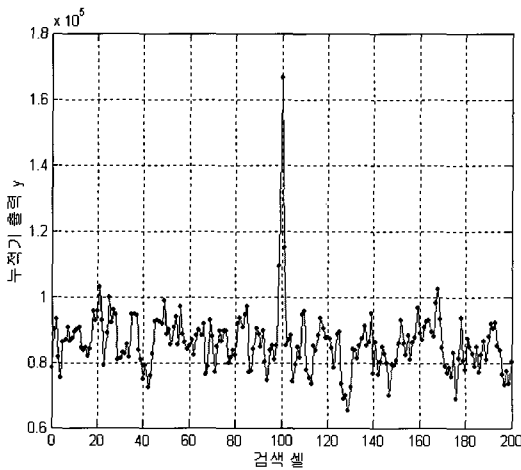
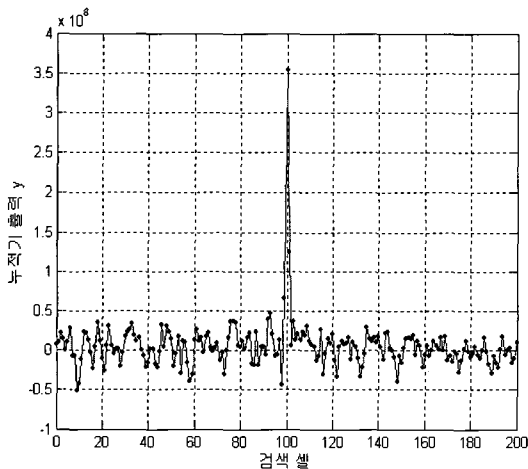


Fig. 4 The GPS data collection setup for simulation



(a) The output of the previous GPS initial synchronization (Signal-to-noise ratio: 21.53dB)



(b) The output of the proposed GPS initial synchronization (Signal-to-noise ratio: 26.08dB)

Fig. 5 The comparison of acquisition results

초기동기 방법과 기존 GPS 초기동기 방법을 소프트웨어로 구현한 뒤에 수집한 신호를 후처리 시뮬레이션한다. 본 논문에서는 두 가지 초기동기 방법 모두 $\bar{\sigma}(L_{acq}^f) = 0.9 \text{ dB}$, $\bar{\sigma}(L_{acq}^r) = 2.5 \text{ dB}$ 를 만족하는 S_f 와 S_r 를 선정하고, 초기정보로 R_f 는 2,000Hz, R_r 는 64chip이라는 검색 정보를 얻었다고 가정하였다. 따라서 기존 GPS 초기동기 방법의 S_f , S_r , C_N 은 각각 25Hz, 1/2chip, 40,960개이고, 결합 동기 누적 GPS 초기동기의 S_f , S_r , C_N 은 각각 100Hz, 1/2chip, 10,240개가 된다.

Fig. 5는 -130dBm 세기를 갖는 GPS 위성 신호에 상온의 잡음신호 세기보다 22dB 높은 잡음환경에서 GPS 위성 신호에 대한 정합 셀 주위 ± 100 개 셀의 누적기 출력 결과이다. Fig. 5를 통하여, 2장과 3장에서 밝힌 바와 같이 기존 GPS 초기동기 방법은 부정합 상태에서 누적기 출력의 평균이 영이 아닌 반면에 제안한 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법은 영에 근사한 값을 확인할 수 있다. 또한 신호 획득 셀에서 결합 동기 누적 GPS 초기동기의 신호대 잡음비와 기존 GPS 초기동기의 신호대 잡음비 차이는 계산치 비동기 누적 손실 4.83dB에 근사한 4.55dB가 발생했음을 알 수 있다.

본 논문에서는 수신감도 성능 평가를 위하여 -130dBm의 GPS 신호에 대해 상온 잡음보다 최소 18dB에서 최대 26dB 높은 잡음 환경(반송파대 잡음비: 18~26dB-Hz)에서 1dB 간격으로 기존 GPS 초기동기 방법과 제안한 GPS 초기동기 방법의 신호대 잡음비 차이를 비교하였다. Fig. 6과 Table 1은 제안한 GPS 초기동기 방법이 신호대 잡음비 차이로 얻게 되는 수신감도 이득의 분석 결과이다.

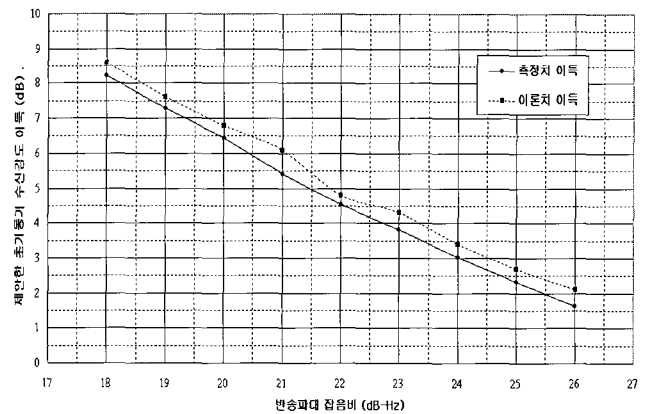


Fig. 6 The acquisition gain of the proposed GPS initial synchronization method.

Table 1은 2장과 3장에서 예측한 바와 같이 제안한 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법이 기존 GPS 초기동기 방법과 비교하여 이론치 이득인 비동기 누적 손실만큼의 수신감도 이득을 갖게 됨을 알려주고 있다. 또한 본 논문에서는 초기동기 획득시간 측면에서의 성능 평가를 위하여 후처리 시뮬레이션 소요시간을 측정하였고, 측정 결과 1회 시험 기준으로 기존 GPS 초기동기 방법의 평균 소요시간이 877.5초, 제안한 결합

동기 누적 GPS 초기동기 방법의 평균 소요시간이 215.4초로서 감소한 검색 셀의 개수만큼 초기동기 획득 시간이 빨라졌음을 확인할 수 있었다.

Table 1 The difference between the computed and the measured acquisition gains.

| 반송파대 잡음비(dB-Hz) | 이론치 이득(dB) | 측정치 이득(dB) | 이론치와 측정치의 차이(dB) |
|-----------------|------------|------------|------------------|
| 18 | 8.59 | 8.21 | 0.38 |
| 19 | 7.63 | 7.28 | 0.34 |
| 20 | 6.80 | 6.44 | 0.36 |
| 21 | 6.06 | 5.40 | 0.66 |
| 22 | 4.83 | 4.55 | 0.28 |
| 23 | 4.31 | 3.81 | 0.50 |
| 24 | 3.43 | 3.03 | 0.40 |
| 25 | 2.70 | 2.32 | 0.38 |
| 26 | 2.10 | 1.65 | 0.45 |

5. 결 론

본 논문은 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법을 소개하고, 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법이 잡음환경에서 비동기 누적 손실을 발생시킴을 밝혔다. 그리고 비동기 누적 손실은 잡음신호 세기가 클수록 커진다는 점에서 DGPS 기준국용 GPS 수신기에 있어 중요한 문제임을 설명하였다. 본 논문은 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법이 지닌 비동기 누적 손실 문제를 해결하기 위한 방안으로 차동 검출기를 이용한 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법을 제안하였다. 결합 동기 누적 GPS 초기동기 방법은 동기/비동기 통합 누적이 대신에 결합 동기 누적을 이용함으로써 비동기 누적 손실을 억제하는 장점을 갖고 있으며, 특히 제안한 GPS 초기동기 방법은 비동기 누적 손실이 발생하지 않으므로 차동 검출기 이전의 동기 누적 횟수를 기존 GPS 초기동기 방법의 동기 누적 횟수보다 줄일 수 있었고, 이런 이유로 기존 DGPS 초기동기 방법이 검색해야 할 셀의 개수보다 더 적은 셀을 검색하는 이점이 있었다. 본 논문의 결과는 기존 DGPS 기준국용 GPS 초기동기 방법의 비동기 누적 손실 문제를 해결함으로써 잡음환경에 대한 DGPS 기준국의 강건성을 향상시켰다는 점과 동시에 초기동기 획득 시간을 줄였다는 점에서 의미가 있으며, 추후 과제로는 제안한 초기동기 방법의 하드웨어 복잡성에 관한 분석과 잡음환경에 강인한 상관 기법에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 서상현 외 (2006), "광역 위성항법보정시스템 구축 연구 개발(IV)", 해양수산부.
- [2] Chansarkar, M. M. and Garin, L. (2000), "Acquisition of GPS Signals at Very Low Signal to Noise Ratio," *Proceedings of the ION 2000 National Technical Meeting*, 26-28 January, pp.731-737.
- [3] Clynch, J. R., Parker, A. A., Adler, R. W., and Vincent, W. R. (2002), "Multiple GPS RFI Sources in a Small California Harbor," *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, 24-27 September, pp.605-612.
- [4] Deshpande, S. and Cannon, M. E. (2004), "Interference Effects on the GPS Signal Acquisition," *Proceedings of the ION 2004 National Technical Meeting*, 26-28 January, pp.1026-1036.
- [5] Kaplan, E. (1996), "Understanding GPS: Principles and Applications", Artech House.
- [6] Krasner, N. F. (1998), "Fast Acquisition, High Sensitivity GPS Receiver", US Patent 6289041 B1, Washington D.C.: Patent and Trademark Office.
- [7] McDonough, R. N. and Whalen, A. D. (1995), "Detection of Signals in Noise", New York: Academic Press.
- [8] Parkinson, B. W. and Spilker, J. J., Jr. (1996), "Global Positioning System: Theory and Application", Vol. 1, Washington D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [9] Peterson, R. L. et al. (1995), "Introduction to Spread Spectrum Communications", Prentice-Hall, Inc.
- [10] Ward, P. W. (1996), "GPS Receiver Search Techniques," *Proceedings of the IEEE 1996 Position, Location and Navigation Symposium*, 22-26 April, pp.604-611.

원고접수일 : 2006년 6월 9일

원고채택일 : 2006년 7월 3일