

위성 기반 측위 시스템에서의 부호 추적편이 완화 기법

준회원 유승수*, 김상훈**, 종신회원 윤석호**, 송익호***, 김선용*

A Novel Scheme for Code Tracking Bias Mitigation in Band-Limited Global Navigation Satellite Systems

Seungsoo Yoo*, Sanghun Kim** *Associate Members*,
Seokho Yoon**, Ickho Song***, Sun Yong Kim** *Lifelong Members*

요약

위성 기반 측위 시스템은 (global navigation satellite system, GNSS) 위치 기반 기술의 핵심 기술로서, 통신 물리계층으로 직접수열 확산대역 (direct sequence spread spectrum, DS/SS) 시스템을 사용한다. DS/SS 시스템의 성능은 송수신기에서 사용하는 확산 부호의 정확한 동기에 따라 크게 좌우된다. 본 논문은 DS/SS 시스템의 동기 기법 가운데 부호 추적 기법에 초점을 맞춘다. 가장 널리 알려진 부호 추적 기법은 이른-늦은 판별기를 사용하는 EL-DLL이다 (delay lock loop with early minus late discriminator). 이상적인 환경에서 EL-DLL은 최적 부호 추정기이다. 그러나 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL은 추적을 통해 정확한 동기시점을 결정할 후에도 여전히 추적편이가 남게 된다. 본 논문에서는 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이 특성 분석을 위해 상관 값이 나타나는 영역을 이른 상관시간 오프셋 영역과 (advanced offset range, AOR) 늦은 상관시간 오프셋 영역으로 (delayed offset range, DOR) 나누어 분석하였다. 분석 결과 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이는 정확한 동기시점을 기준으로 AOR과 DOR에서 상관 값의 대칭성이 왜곡되어 발생하는 제 1형 추적편이와 최고 상관 값이 나타나는 시점이 정확한 동기시점에서 벗어나서 발생하는 제 2형 추적편이로 구별할 수 있으며, 이 가운데 제 2형 추적편이가 추적편이의 대부분을 차지함을 보였다. 또한 AOR과 DOR에서 상관 값 추이 분석을 통해 AOR에서의 상관 값이 DOR에서의 상관 값에 비해 다중경로신호에 의해 덜 왜곡되는 특성을 보였으며, 이를 바탕으로 대역 제한된 GNSS에 적합한 새로운 부호 추적편이 완화 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL에 비해 정확한 추적이 가능함을 보였다.

Key Words : Band-Limited GNSS, EL-DLL, Code Tracking Bias, and AOR and DOR.

ABSTRACT

The global navigation satellite system (GNSS), which is the core technique for the location based service, adopts the direct sequence/spread spectrum (DS/SS) as its modulation method. The success of a DS/SS system depends on the synchronization between the received and locally generated pseudo noise (PN) signals. As a step in the synchronization process, the tracking scheme performs fine adjustment to bring the phase difference between the two PN signals to zero. The most widely used tracking scheme is the delay locked loop with early minus late discriminator (EL-DLL). In the ideal case, the EL-DLL is the best estimator among various DLLs. However, in the band-limited multipath environment, the EL-DLL has tracking bias.

※ 본 연구는 2차 BK21 사업의 지원으로 수행되었습니다.

* 건국대학교 전자정보통신공학부 (kimsy@konkuk.ac.kr), ** 성균관대학교 정보통신공학부(syoon@skku.edu),

*** 한국과학기술대학교 전자전신학과(isong@sejong.kaist.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-08-360, 접수일자 : 2007년 8월 13일, 최종논문접수일자 : 2007년 9월 14일

In this paper, the timing offset range of correlation function is divided into advanced offset range (AOR) and delayed offset range (DOR) centering around the correct synchronization time point. The tracking bias results from the following two reasons: symmetry distortion between correlation values in AOR and DOR, and mismatch between the time point corresponding to the maximum correlation value and the synchronization time point. The former and latter are named as the type I and type II tracking bias, respectively. In this paper, when the receiver has finite bandwidth in the presence of multipath signals, it is shown that the type II tracking bias becomes a more dominant error factor than the type I tracking bias, and the correlation values in AOR are not almost changed. Exploiting these characteristics, we propose a novel tracking bias mitigation scheme and demonstrate that the tracking accuracy of the proposed scheme is higher than that of the conventional scheme, both in the presence and absence of noise.

I. 서론

최근 더욱 정확한 위치기반 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 위치기반 서비스의 핵심 기술은 단말의 위치 결정 기술이다. 위치 결정 기술은 크게 둘로 구분할 수 있다. 하나는 위성 기반 측위 기법이며, 다른 하나는 망 기반 측위 기법이다. 본 논문에서는 위성 기반 측위 기법에 초점을 맞춘다. 오늘날 사용 중이거나 개발 중인 위성 기반 측위 시스템은 (global navigation satellite system, GNSS) 미국의 GPS (global positioning system), 유럽연합의 Galileo 시스템, 러시아의 GLONASS (global navigation satellite system), 중국의 북두, 일본의 QZSS (quasi-zenith satellite system) 등이 있다¹⁾.

대부분 GNSS의 통신 물리계층은 직접수열 확산 대역 (direct sequence spread spectrum, DS/SS) 시스템이다. DS/SS 시스템의 성능은 수신한 확산 신호와 수신기에서 발생시킨 확산 신호의 정확한 부호 동기 여부에 따라 크게 좌우된다. 일반적으로 부호 동기는 획득과 추적 단계로 나뉜다. 획득 단계는 수신 신호와 수신기에서 발생시킨 확산 신호의 부호 동기를 한 칩 (chip) 또는 그 이하로 맞추는 단계이며, 추적 단계는 두 확산 신호의 부호 동기를 정확히 결정하고, 이를 유지하는 단계이다^{1,2)}. 본 논문은 추적 단계에 초점을 맞춘다.

가장 널리 알려진 부호 추적기법은 이른 늦은 판별기를 사용하는 EL-DLL이다 (delay lock loop with early minus late discriminator). EL-DLL은 추적하고 있는 현재 동기시점으로부터 이른 상관 부호와 늦은 상관 부호를 발생시켜 수신신호와 각 상관 부호의 상관을 취해 그 차가 0이 되는 시점을 정확한 동기시점으로 결정하고, 이를 유지하는 기법이다^{3,4)}.

이상적인 채널 환경에서 EL-DLL은 최적 부호

추정기이다. 그러나 다중경로 환경에서는 다중경로 신호에 의해 정확한 동기시점을 기준으로 이른 상관시간 오프셋 영역의 (advanced offset range, AOR) 상관 값과 늦은 상관시간 오프셋 영역의 (delayed offset range, DOR) 상관 값의 대칭성이 왜곡되어 큰 추적편이를 갖는다. 추적편이는 부호 추적을 통해 정확한 부호 동기를 결정하고, 이를 유지하는 과정에서 제거되지 않는 추적 오차를 의미한다²⁾.

추적편이 완화를 위한 많은 기법이 연구되었으며, 이 가운데 가장 효과적인 기법은 EL-DLL의 이른 상관 부호와 늦은 상관 부호의 시간 오프셋 간격을 줄인 NC-DLL이다 (DLL with narrow correlator). NC-DLL은 다중경로신호에 의해 덜 왜곡된 상관 값을 사용하기 위해 좁은 상관부호 시간 오프셋 간격을 사용한 DLL로서 EL-DLL에 비해 추적편이가 덜 발생한다. 그러나 NC-DLL은 좁은 상관부호 시간 오프셋 간격을 사용하기 때문에 추적기법의 동적 영역이 좁고, 이로 인해 EL-DLL에 비해 더욱 정확한 획득 동기가 요구되는 단점을 갖는다. 또한 대역 제한된 다중경로 환경에서는 좁은 상관부호 시간 오프셋 간격을 사용해도 추적편이가 효과적으로 완화되지 않는다^{4,5)}.

대역 제한을 고려한 추적편이 특성은 가시신호에 비해 다중경로신호가 한 칩 이상 지연되어 송신되는 환경에서 EL-DLL을 사용한 경우의 성능 특성에 대한 연구 결과가 발표되었다^{6,7)}. 그러나 가시신호에 비해 다중경로신호가 한 칩 이내로 지연되어 송신되는 환경, 즉 근소 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이 특성에 대한 연구는 아직까지 진행되지 않았다.

따라서 본 논문은 대역 제한된 근소 다중경로 환경에서 추적편이 특성을 분석하고, 이를 완화할 수 있는 기법을 제안하고자 한다. 이를 위해 II장에서는 DS/SS 시스템의 부호 추적기법 가운데 가장 일

반적인 기법인 EL-DLL에 대해 소개한다. III장에서는 대역 제한 여부에 따른 부호 추적기법의 추적편이 특성을 분석한다. 그리고 IV장에서는 대역 제한된 다중경로 환경에서 추적편이를 완화시킬 수 있는 새로운 부호 추적기법을 제안하고, 모의실험을 통해 제안한 기법의 성능을 EL-DLL과 비교한다. 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. DS/SS 시스템의 부호 추적기법

GPS 등의 GNSS는 통신 물리계층으로 DS/SS 시스템을 사용한다. DS/SS 시스템은 확산과 역확산 과정을 통해 확산 이득을 얻는다. 설계된 확산 이득을 손실 없이 완벽히 얻기 위해서는 수신 신호의 확산 부호와 수신기에서 발생한 확산 부호의 동기가 정확히 일치해야한다. 만약 부호 동기 오차가 $T_C/2$ 만큼 야기된 경우 최고 상관 값은 정확히 동기가 일치할 때와 비교해 약 3dB 손실이 있다³⁾. 여기서 T_C 는 확산 부호의 칩 주기이다. DS/SS 시스템은 정확한 부호 동기를 위해 획득과 추적 단계를 수행한다. 획득 단계는 수신 신호와 수신기에서 발생시킨 확산 신호의 부호 동기를 $\pm T_C$ 또는 그 이하로 맞추는 단계이며, 추적 단계는 두 확산 신호의 부호 동기를 정확히 결정하고, 이를 추적하는 단계이다. 본 논문은 추적 단계에 초점을 맞춘다. 따라서 반송과 주파수 및 위상 추정은 정확히 이루어졌다고 가정한다.

본 논문에서 다루는 DS/SS 시스템의 수신신호 모형으로 다음 식과 같다.

$$r(t) = \sum_{m=0}^M A_m b(t - \tau_m) c(t - \tau_m) \cdot \cos\{2\pi f_c(t - \tau_m) + \theta\} + n(t) \quad (1)$$

여기서 M 은 다중경로의 수, A_m 과 τ_m 은 m 째 다중경로신호의 진폭과 전파지연, f_c 와 θ 는 반송과 주파수와 위상, $b(t)$ 는 정보신호, $c(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k p_{T_C}(t - kT_C)$, $c_k \in \{\pm 1\}$ 인 k 째 확산 부호수열, $p_{T_C}(\cdot)$ 는 주기 T 를 갖는 대역제한 필터의 시간 응답, $n(t)$ 는 가산성 백색 정규 잡음을 (additive white Gaussian noise, AWGN) 각각 뜻한다.

식 (1)의 수신신호에 적합한 가장 널리 알려진 부호 추적기법은 이른-늦은 판별기 (discriminator) 사용하는 EL-DLL이다. 동기 EL-DLL의 구조는 그림 1과 같다.

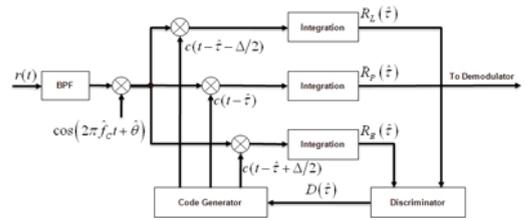


그림 1. EL-DLL의 구조

여기서 ‘BPF’는 대역통과필터 (band pass filter), \hat{f}_c 와 $\hat{\theta}$ 는 추정된 반송과 주파수 및 위상, $\hat{\tau}$ 는 수신기에서 추정한 부호 동기시점, $c(\tau)$ 는 부호수열, N 은 확산 부호수열의 길이, $R(\tau) = \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} r(t)c(t+\tau)dt$ 인 정규화된 상관함수, E , P , L 은 각각 부호 발생기에서 발생하는 이른 (early, E), 현재 (prompt, P), 늦은 (late, L) 확산 수열로 역확산을 수행하는 가지를 각각 의미한다. 또한 $D(\hat{\tau})$ 는 동기 판별기의 출력으로 다음 식 (2)와 같다¹⁾.

$$D(\tau) = R_E(\hat{\tau}) - R_L(\hat{\tau}), \quad (2)$$

여기서 $R_E(\hat{\tau}) = R(\hat{\tau} - \Delta/2)$, $R_L(\hat{\tau}) = R(\hat{\tau} + \Delta/2)$, EL-DLL은 $0.5T_C \leq \Delta < T_C$ 의 Δ 를 사용한다. EL-DLL은 식 (2)의 판별기 출력이 0이 되는 시점을 정확한 부호 동기시점으로 결정하며, 이후 판별기의 출력이 0이 될 수 있도록 동기시점을 유지한다.

III. 부호 추적기법의 추적편이

이상적인 환경에서 EL-DLL은 최적 부호 추정기이다. 그러나 대역 제한된 다중경로 환경에서는 동기시점을 결정된 후에도 추적편이가 남게 된다. 본 논문에서는 대역제한이 없는 경우와 대역제한이 있는 경우의 추적편이를 각각 분석한다.

대역 제한이 없는 경우 식 (1)에서 확산 부호수열의 대역제한 필터 시간응답은 식 (3)과 같다²⁾.

$$p_{T_C}^u(t) = \begin{cases} 1, & -T_C/2 \leq t \leq T_C/2 \text{인 경우,} \\ 0, & \text{그외의 경우.} \end{cases} \quad (3)$$

M 개의 다중경로신호가 수신되고 가시신호와 각 다중경로신호가 무상관일 경우 수신 신호의 상관함수는 식 (4)와 같이 가시신호와 각 다중경로신호의 상관 함수 합으로 표현된다.

$$R(\tau) = \sum_{m=0}^M R_m(\tau), \quad (4)$$

여기서 $R_m(\tau)$ 는 m 째 다중경로신호의 상관함수를 의미한다.

식 (3)과 같은 필터를 대역제한 필터로 사용한 경우 m 째 다중경로신호 확산 부호수열의 상관 함수는 식 (5)와 같다²⁾.

$$R_m''(\tau) = \begin{cases} A_m^2 \left(1 - \frac{|\tau - \tau_m|}{T_C}\right), & |\tau - \tau_m| < T_C \text{ 인 경우,} \\ 0, & \text{그외의 경우.} \end{cases} \quad (5)$$

이를 바탕으로 $M=1$ 인 대역 제한이 없는 다중경로 환경에서 상관 값의 왜곡과 추적편이는 그림 2와 같다.

여기서 쇄선과 일점쇄선은 각각 가지신호와 다중경로신호의 상관 값, 실선과 점선은 각각 가지신호와 다중경로신호의 위상이 각각 같은 위상과 반대

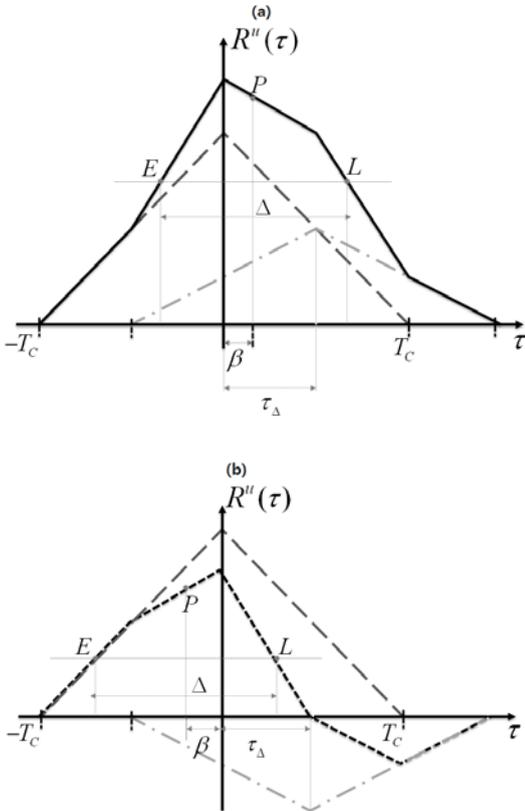


그림 2. 대역 제한이 없는 다중경로 환경에서 상관 값의 왜곡과 추적편이: 가지신호와 다중경로신호가 (a) 같은 위상으로 수신된 경우, (b) 반대 위상으로 수신된 경우 ($M=1$)

위상으로 수신된 경우 왜곡된 상관 값, E , P , L 점의 위치는 식 (2)가 0이 되어 추적 동기를 결정할 경우의 위치, β 는 추적편이, τ 는 상관시간 옵셋으로 $\tau=0$ 인 시점이 정확한 동기시점이며, $\tau_\Delta = \tau_1 - \tau_0$ 로서 가지신호와 첫 째 다중경로신호의 상대적 상관 시간 옵셋 간격을 각각 의미한다.

대역 제한이 없는 다중경로 환경에서 다중경로신호에 의해 가지신호의 상관 값이 왜곡되어 정확한 동기시점을 기준으로 AOR에서의 상관 값과 DOR에서의 상관 값은 비대칭이 된다. 이로 인해 식 (2)의 판별식 출력이 0이 되어 추적 동기를 결정해도 오차가 나타난다. 이때 추적 동기가 결정된 후에도 잔존하는 부호 동기 오차가 추적편이이다. 추적편이는 가지신호와 다중경로신호가 같은 위상으로 수신된 경우에는 양의 상관 시간 옵셋으로 나타나며, 반대 위상으로 수신된 경우에는 음의 상관 시간 옵셋으로 나타난다.

대역 제한이 없는 $M=1$ 인 다중경로 환경에서 가지신호와 다중경로신호의 상대적 지연에 따른 추적편이 특성은 그림 3과 같다.

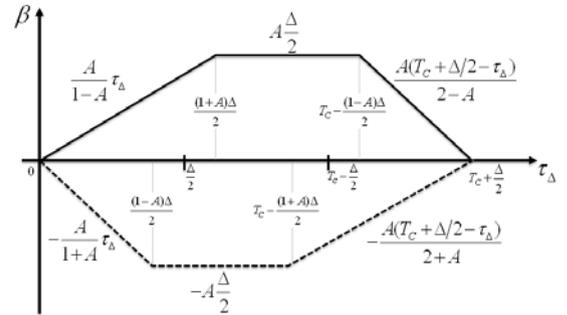


그림 3. 대역 제한이 없는 $M=1$ 인 다중경로 환경에서 가지신호와 다중경로신호의 상대적 지연에 따른 추적편이 특성

여기서 실선과 점선은 가지신호와 다중경로신호의 위상이 같은 경우와 반대인 경우, $A = A_1/A_0$ 인 가지신호의 진폭과 다중경로신호의 진폭 비를 각각 의미한다. 본 논문에서 $\beta > 0$ 일 때는 DOR에서 $\beta < 0$ 일 때는 AOR에서 추적편이가 나타나는 경우를 각각 의미한다.

그림 3에서 보인 바와 같이 대역 제한이 없는 $M=1$ 인 다중경로 환경에서 추적편이 β 는 $0 \leq \tau_\Delta < T_C + \Delta/2$ 구간에서 나타나며, 가지신호와 다중경로신호가 같은 위상으로 수신된 경우 $(1+A)\Delta/2 \leq \tau_\Delta < T_C - (1-A)\Delta/2$ 구간에서 최대 추적편이가 $+A\Delta/2$ 만큼 야기되며, 반대 위상으로 수신된 경우 $(1-A)\Delta/2 \leq \tau_\Delta < T_C - (1+A)\Delta/2$ 구간에서

서 최대 추적편이가 $-A\Delta/2$ 만큼 야기된다. 따라서 추적편이를 줄이기 위해서는 A 와 Δ 를 줄여야 한다. 그러나 A 는 채널에 따라 결정되는 변수이므로 설계 및 제어가 불가능한 변수이다. 따라서 EL-DLL의 추적편이를 줄이기 위해서는 작은 Δ 를 사용해야 한다. 특히, $0.05T_C \leq \Delta < 0.2T_C$ 구간의 Δ 를 사용하는 EL-DLL을 NC-DLL이라 한다. 그러나 작은 Δ 를 사용할 경우 판별기의 동적영역이 (dynamic range) 좁아진다. 좁은 동적영역을 갖는 NC-DLL은 더욱 정확한 부호 동기 획득이 필요하며, 정확한 부호 동기 획득을 위해서는 복잡한 획득 기법이 필요하다. 따라서 추적편이를 줄이기 위해 작은 Δ 를 사용하는 것은 언제나 효과적인 추적편이 완화 기법이 아니다.

대역 제한이 있는 경우 식 (1)에서 확산 부호수열의 대역제한 필터 시간응답은 식 (6)과 같다^[6].

$$p_{T_C}^i(t) = \frac{1}{\pi t} \frac{1}{1 - \left(\frac{4\alpha t}{T_C}\right)^2} \sin\left\{2\pi(1-\alpha)\frac{1}{T_C}\right\} + \frac{1}{\pi} \frac{\frac{4\alpha}{T_C}}{1 - \left(\frac{4\alpha T_C}{T_C}\right)^2} \cos\left\{2\pi(1+\alpha)\frac{1}{T_C}\right\}, \quad (6)$$

여기서 α 는 ($0 \leq \alpha < 1$) 대역제한계수이다 (roll-off factor).

식 (6)과 같은 필터를 대역제한 필터로 사용한 경우 m 째 다중경로신호 확산 부호수열의 상관 함수는 식 (7)과 같다.

$$R_m^i(\tau) = A_m \frac{\sin(\pi(\tau-\tau_m))\cos(\pi\alpha(\tau-\tau_m))}{\pi\tau(1-(2\alpha(\tau-\tau_m))^2)} - A_m \frac{\cos(\pi(\tau-\tau_m))\sin(\pi\alpha(\tau-\tau_m))}{\pi(\tau-\tau_m)(4-(2\alpha(\tau-\tau_m))^2)}, \quad (7)$$

이를 바탕으로 $M=1$ 인 경우 대역 제한이 있는 다중경로 환경에서 상관 값의 왜곡은 그림 4와 같다.

그림 4와 같이 대역 제한이 있는 다중경로 환경에서는 대역 제한이 없는 다중경로 환경과 마찬가지로 다중경로신호에 의해 가시신호의 상관 값이 왜곡되어 정확한 동기시점을 기준으로 AOR의 상관 값과 DOR의 상관 값은 서로 비대칭이 된다. 이로 인해 식 (2)의 판별기의 출력이 0이 되어 추적 동

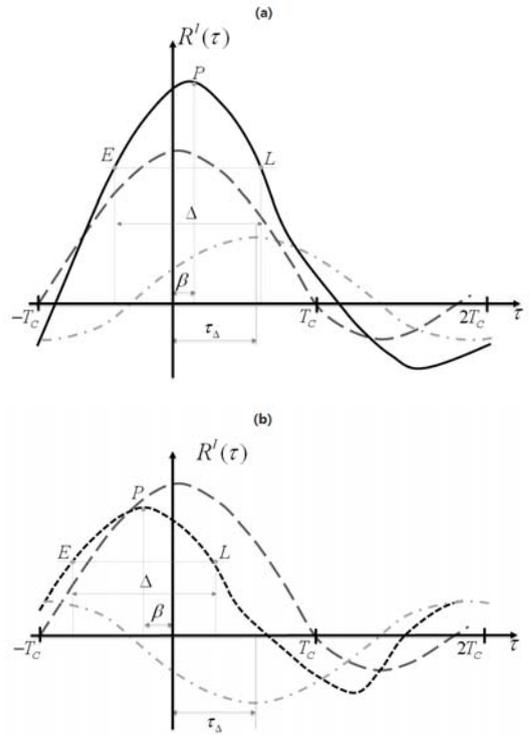


그림 4. 대역 제한이 있는 다중경로 환경에서 상관 값의 왜곡과 추적편이: 가시신호와 다중경로신호가 (a) 같은 위상으로 수신된 경우, (b) 반대 위상으로 수신된 경우

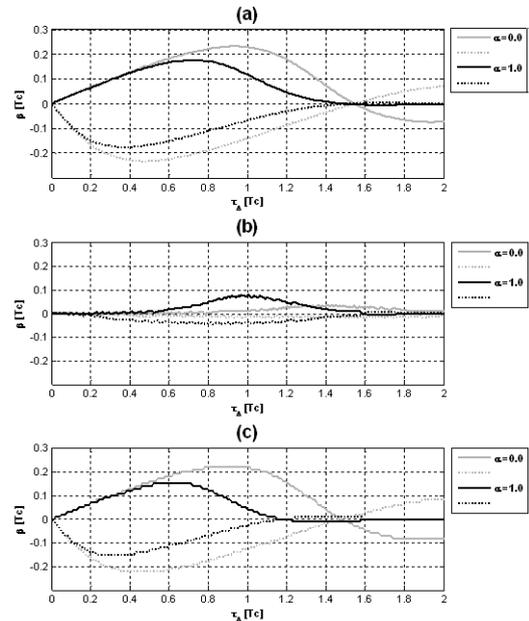


그림 5. 대역 제한된 $M=1$ 인 다중경로 환경에서 α 에 따른 EL-DLL의 추적편이 특성: (a) 추적편이, (b) 제 1형 추적편이, (c) 제 2형 추적편이

기를 결정해도 오차가 나타난다.

또한 대역제한이 없는 무잡음 다중경로 환경에서 최고 상관 값은 항상 정확한 동기 시점에서만 나타난다. 그러나 대역제한이 있는 다중경로 환경에서 최고 상관 값이 나타나는 시점은 정확한 동기 시점과 어긋난다. 이는 대역제한으로 인해 식 (7)과 같이 첨예도가 낮은 상관함수 형태를 갖기 때문에 최고 상관 값과 최고 상관 값 주변의 상관 값의 차이가 크지 않기 때문이다. 수신된 신호의 최고 상관 값이 나타나는 시점은 앞서 언급한 대칭성 왜곡에 따른 추적오차처럼 가시신호와 다중경로신호의 위상이 같은 경우 DOR에서, 반대인 경우 AOR에서 나타난다.

이에 대한 추가적인 분석을 위해 $M=1$ 인 다중경로 환경에서 대역제한계수 $\alpha \in \{0.0, 1.0\}$ 일 때 추적편이와 대칭성 왜곡에 따른 추적편이, 그리고 최고 상관 값이 나타나는 시점이 정확한 동기시점으로 어긋나 발생하는 추적편이를 구분해 그림 5에 보였다.

여기서 그림 5-(a)는 전체 추적편이, 그림 5-(b)는 최고 상관 값이 나타나는 시점을 정확한 동기시점으로 가정하고 이를 기준으로 한 대칭성 왜곡에 따른 추적편이, 그리고 그림 5-(c)는 대칭성 왜곡은 무시하고 최고 상관 값이 나타난 시점과 정확한 동기시점이 어긋남에 따라 발생하는 추적편이를 각각 보였다. 실선과 점선은 각각 가시신호와 다중경로신호의 위상이 같은 경우와 반대인 경우의 추적편이이다.

그림 5-(a)와 같이 $\alpha=1.0$ 인 경우 추적편이는 $0 \leq \tau_{\Delta} < T_C + \Delta$ 에서만 나타난다. 그러나 $\alpha=0.0$ 인 경우 대부분의 구간에서 추적편이가 나타난다. 이는 대역제한으로 인해 가시신호와 다중경로신호 사이에 심볼간 간섭이 일어나기 때문이다. 그리고 그림 5-(b)와 같이 대역제한이 있는 경우 정확한 동기시점을 기준으로 AOR의 상관 값과 DOR의 상관 값의 대칭성은 거의 왜곡되지 않는다. 이는 대역제한이 있는 다중경로 환경에서 상관 함수의 첨예도가 낮아 다중경로신호에 의해 가시신호의 상관 값이 덜 왜곡되기 때문이다. 그러나 이로 인해 그림 5-(c)처럼 최고 상관 값이 나타나는 시점이 정확한 동기시점으로부터 크게 벗어난다.

이로부터 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이는 정확한 동기시점을 기준으로 AOR에서 상관 값과 DOR에서 상관 값의 대칭성이 왜곡되어 발생하는 추적편이와 최고 상관 값이 나타나는 시점이 정확한 동기시점에서 벗어나서 발생하는 추적편이로 구별할 수 있다. 본 논문에서는 이를 각각 제 1형 추적편이와 제 2형 추적편이로 명

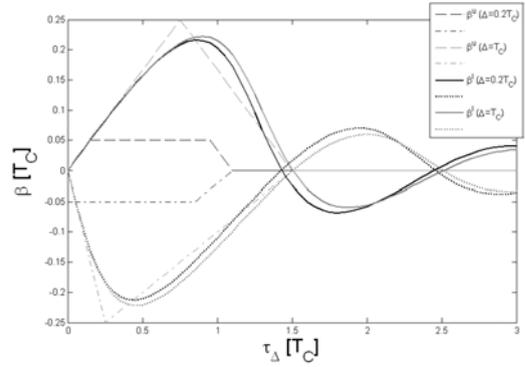


그림 6. 다중경로 환경에서 대역제한 여부와 Δ 에 따른 EL-DLL의 추적편이 특성 ($M=1, \alpha=0.2$)

명한다. 그림 5에서 보여주듯 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이는 제 2형 추적편이가 추적편이의 대부분을 차지한다.

이와 함께 $M=1, \alpha=0.2$ 인 다중경로 환경에서 대역제한 여부와 Δ 에 따른 EL-DLL의 추적편이 특성은 그림 6과 같다.

여기서 β^s 와 β^m 는 각각 대역 제한이 있는 다중경로 환경과 대역 제한이 없는 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이를 의미한다. 실선과 점선은 각각 대역 제한이 있는 다중경로 환경에서 가시신호와 다중경로신호의 위상이 같은 경우와 반대인 경우 EL-DLL의 추적편이, 쇄선과 일점쇄선은 각각 대역 제한이 있는 다중경로 환경에서 가시신호와 다중경로신호의 위상이 같은 경우와 반대인 경우 EL-DLL의 추적편이를 의미한다.

앞서 언급한 바와 같이 대역 제한이 없는 경우, 작은 Δ 를 사용하면 추적편이를 크게 줄일 수 있다. 그러나 대역 제한이 있는 경우, 작은 Δ 를 사용하더라도 추적편이를 크게 줄일 수 없다. 이는 제 1형 추적편이보다 제 2형 추적편이가 크기 때문이다. EL-DLL은 상관 값의 대칭성을 사용해 추적을 수행하기 때문에 대칭성은 어느 정도 유지되지만 최고 상관 값이 나타나는 시점이 정확한 동기 시점에서 크게 벗어난 경우 Δ 를 줄여도 추적편이를 줄이기 어렵다.

그러므로 대역 제한이 있는 다중경로 환경에서 EL-DLL을 그대로 사용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 대역 제한된 다중경로 환경에서 정확한 동기시점을 기준으로 AOR과 DOR에서의 상관 값을 분석하고, 이를 바탕으로 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL보다 부호 추적 정확도가 높은 새로운 추적기법을 제안한다.

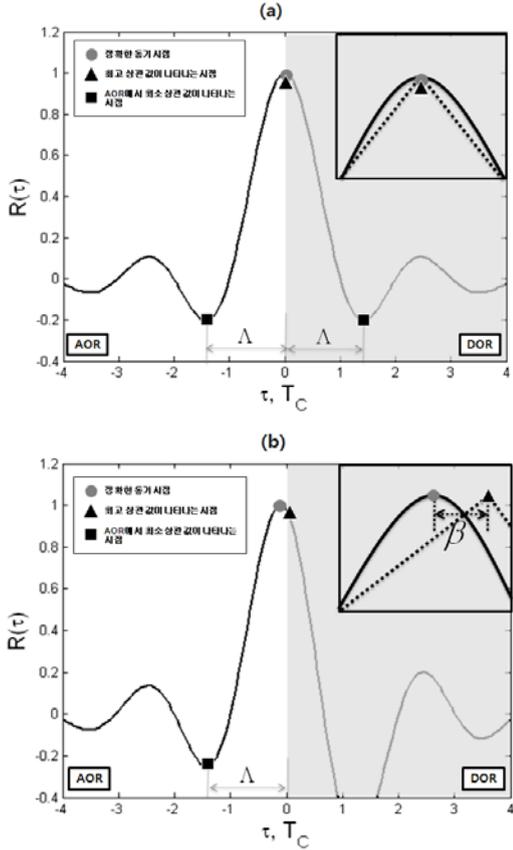


그림 7. 대역 제한된 환경에서 (a) 가시신호만 수신된 경우와 (b) 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신된 경우 AOR와 DOR 상관 값의 추이

IV. 제안한 부호 추적기법

대역 제한된 환경에서 가시신호만 수신된 경우와 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신된 경우 상관 값의 추이는 그림 7과 같다.

여기서 Δ는 대역 제한된 환경에서 가시신호만 수신된 경우 정확한 동기시점과 AOR에서 최소 상관 값이 나타나는 시점의 상관시간 오프셋을 의미한다.

대역 제한된 환경에서 가시신호만 수신된 경우, 정확한 동기시점을 기준으로 AOR과 DOR에서의 상관 값은 서로 대칭을 이루며, AOR과 DOR에서 첫 째 최소 상관 값은 정확한 동기시점으로부터 Δ만큼 이격되어 나타난다. 그림 7-(b)와 같이 대역 제한된 환경에서 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신된 경우 AOR에서 최소 상관 값이 나타나는 시점 주변의 상관 값은 가시신호만 수신된 경우에 비해 거의 왜곡되지 않는다. 그러나 DOR에서 최소 상관 값이 나타나는 시점 주변의 상관 값은 가시신

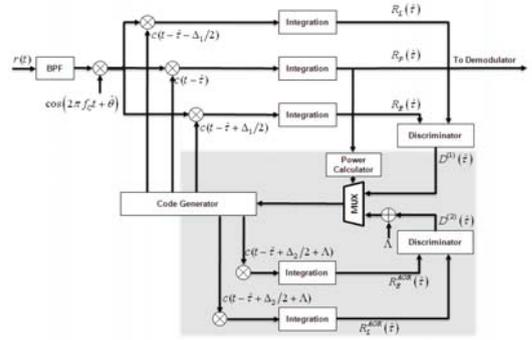


그림 8. 제안한 부호 추적기법의 구조

호만 수신된 경우에 비해 크게 왜곡되었다. 이는 다중경로신호는 가시신호에 비해 항상 지연되어 수신되기 때문이다. 따라서 AOR에서의 상관 값은 다중경로신호에 의해 덜 왜곡되며, 그림 7과 같이 가시신호만 수신된 경우와 가시신호와 함께 다중경로신호가 함께 수신된 경우 모두 AOR에서의 상관 값 변화는 거의 없으며, 이 특징을 이용해 AOR에서 최소 상관 값이 나타나는 시점을 추적하면 이 시점을 기준으로 Δ만큼 지연된 시점을 정확한 동기시점으로 결정해 EL-DLL에 비해 정확한 부호 동기 추적이 가능할 것으로 예상할 수 있다.

이와 같이 AOR에서 첫 째 최소 상관 값이 나타나는 시점을 이용해 부호 동기를 추적할 수 있도록 제안한 부호 추적기법의 구조는 그림 8의 음영영역과 같다.

여기서 $R_E^{AOR}(\tau)$ 와 $R_L^{AOR}(\tau)$ 는 AOR에서 $(\hat{\tau}-\Delta)$ 를 기준으로 $\Delta/2$ 만큼 이른 상관 값과 늦은 상관 값을 각각 의미한다. 본 논문에서는 AOR에서 $(\hat{\tau}-\Delta)$ 시점의 상관 값을 PAOR이라 (Peak at AOR) 명명한다. 이때, 각 상관 가지에 입력되는 상관 수열은 PAOR이 나타나는 시점을 기준으로 $\Delta/2$ 만큼 이른 시점과 늦은 시점으로 발생된다. 그림 8에서의 각 판별기 출력은 식 (8)과 식 (9)와 같다.

$$D^{(1)}(\hat{\tau}) = R_E(\hat{\tau}) - R_L(\hat{\tau}) = \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} r(t)c(t - \hat{\tau} - \Delta/2)dt - \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} r(t)c(t - \hat{\tau} + \Delta/2)dt. \tag{8}$$

$$D^{(2)}(\hat{\tau}) = R_E^{AOR}(\hat{\tau}) - R_L^{AOR}(\hat{\tau}) = \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} r(t)c(t - \hat{\tau} - \Delta/2 + \Delta)dt - \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} r(t)c(t - \hat{\tau} + \Delta/2 + \Delta)dt. \tag{9}$$

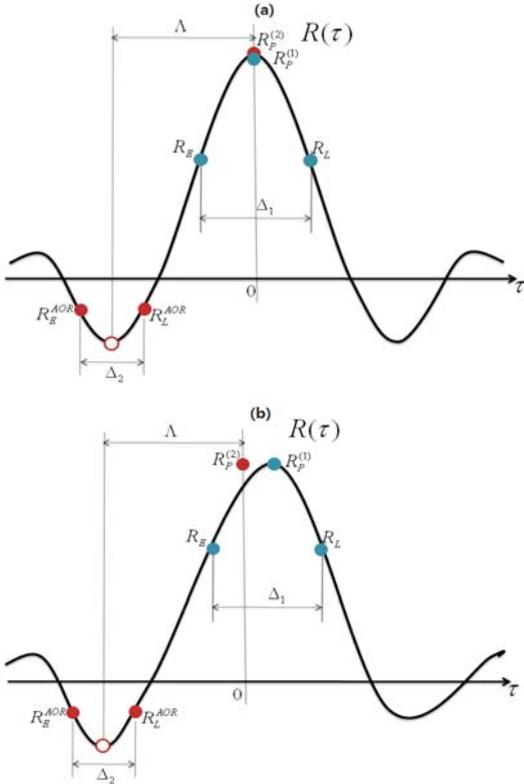


그림 9. 제한한 부호 추적기법의 동작: (a) 가시신호만 수신된 경우, (b) 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신된 경우

제한한 기법의 동작은 그림 9와 같다.

그림 9-(a)는 가시신호만 수신되는 경우, 그림 9-(b)는 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신되는 경우 제한한 기법의 동작을 보여준다. $R_p^{(1)}$ 과 $R_p^{(2)}$ 는 각각 EL-DLL과 제한한 기법으로 결정한 동기시점에서의 상관 값을 의미한다.

그림 9-(a)와 같이 가시신호만 수신되는 경우 EL-DLL과 제한한 기법 모두 정확한 동기시점을 추적 동기시점으로 결정할 수 있다. 그러나 그림 9-(b)처럼 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신된 경우 그림 7에서 보인 바와 같이 AOR에서의 상관 값은 다중경로신호에 의해 덜 왜곡되기 때문에 EL-DLL이 다중경로신호에 의해 추적편이가 큰 시점을 추적 동기시점으로 결정한 경우에도 제한한 기법은 정확한 동기시점에 가까운 시점을 추적 동기시점으로 결정할 수 있다.

$\alpha=0.2, M=1, \Delta_1=\Delta_2=0.125T_C$ 인 무잡음 다중 경로 환경에서 EL-DLL과 제한한 기법의 추적편이 특성은 그림 10과 같다.

여기서 실선과 점선은 가시신호와 다중경로신호

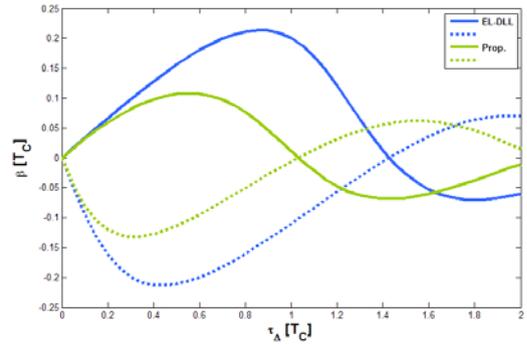


그림 10. 무잡음 다중경로 환경에서 EL-DLL과 제한한 기법의 추적편이 특성 ($\alpha=0.2, M=1, \Delta_1=\Delta_2=0.125T_C$)

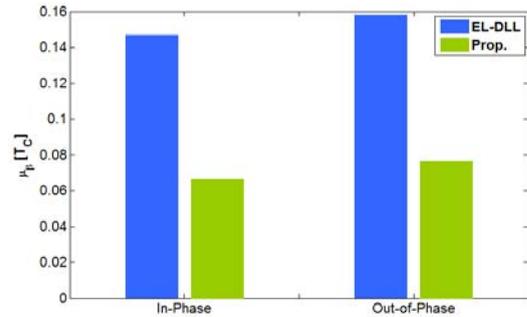


그림 11. 무잡음 다중경로 환경에서 EL-DLL과 제한한 기법의 $0 \leq \tau_\Delta \leq T_C$ 구간에서의 평균 추적편이 특성 ($\alpha=0.2, M=1, \Delta_1=\Delta_2=0.125T_C$)

가 같은 위상으로 수신된 경우와 반대 위상으로 수신된 경우의 추적편이를 각각 의미한다. ‘Prop.’는 제한한 기법을 사용해 얻은 추적편이를 의미한다.

제한한 기법의 추적편이는 EL-DLL의 추적편이 보다 작다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 제한한 기법은 다중경로신호에 덜 왜곡된 AOR에서의 상관 값을 사용해 추적을 수행하기 때문이다.

같은 환경에서 EL-DLL과 제한한 기법의 $0 \leq \tau_\Delta < T_C$ 구간에서의 평균 추적편이 특성은 그림 11과 같다.

일반적인 DS/SS 시스템에서 $0 \leq \tau_\Delta < T_C$ 이외의 구간에서 간단한 알고리즘으로 다중경로신호의 지연 정도를 파악해 이를 완화할 수 있으므로 $0 \leq \tau_\Delta < T_C$ 구간의 추적편이만을 바탕으로 평균 추적편이를 도출하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 제한한 기법의 평균 추적편이가 EL-DLL의 평균 추적편이에 비해 훨씬 작음을 확인할 수 있다.

끝으로 앞서 수행한 모의실험과 동일한 조건에서 신호 대 잡음비 변화에 따른 EL-DLL과 제한한 기법의 $0 \leq \tau_\Delta < T_C$ 구간에서의 평균 추적편이 특성에 대한 모의실험을 수행했으며, 그 결과는 그림 12와 같다.

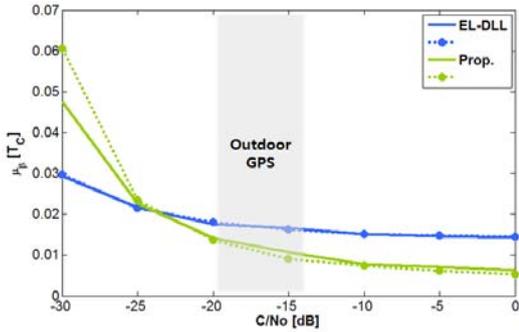


그림 12. 다중경로 환경에서 C/N_0 에 따른 EL-DLL과 제안한 기법의 $0 \leq \tau_{\Delta} \leq T_C$ 구간에서의 평균 추적편이 특성 ($\alpha = 0.2, M = 1, \Delta_1 = \Delta_2 = 0.125 T_C$)

여기서 모의실험을 위해 사용한 확산 부호의 처리 이득은 30dB이며, ‘Prop.’는 제안한 기법을 사용했을 때의 평균 추적편이이다. ‘Outdoor GPS’는 현재 GNSS로 사용 중인 미국의 GPS (global positioning system) 측위 신호를 실외에서 수신하였을 때 신호 수준의 범위를 의미한다.

그림 12와 같이 약 -25dB을 전후로 제안한 기법의 평균 추적편이와 EL-DLL의 평균 추적편이가 역전되는 것을 볼 수 있다. 이는 모의실험에서 사용한 확산부호의 처리이득이 30dB이며, AOR의 극소 값은 이에 비해 약 5dB 낮기 때문이다. 따라서 $C/N_0 < -25\text{dB}$ 구간에서는 잡음에 의해 AOR의 극소 값 주변의 상관 값이 잡음에 의해 완전히 왜곡되어 추적편이가 급격히 증가한다. 그러므로 제안한 기법은 제 2차 DLL에 현재 신호 대 잡음비 계산 블록을 추가해 현재 신호 대 잡음비로부터 현재의 신호 대 잡음비가 일정 수준 이하인 경우 EL-DLL 판별기의 출력 사용해 추적을 수행하고, 일정 수준 이상인 경우 제안한 기법을 사용해 추적을 수행한다. 이 구조를 통해 그림 11에서와 같은 추적편이를 보일 때 신호 대 잡음비에 따라 처리 이득이 허용하는 범위 내에서 정확한 추적이 가능하다. 그러나 ‘Outdoor GPS’의 음영 영역에서 확인할 수 있는 바와 같이 일반적인 실외의 경우 제안한 기법만으로 추적을 수행해도 정확한 추적을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 DS/SS 시스템의 동기 기법 가운데 부호 추적 기법에 초점을 맞추고 있다. 가장 널리 알려진 부호 추적 기법은 이른 늦은 판별기를 사용하는 EL-DLL이다. 이상적인 환경에서 EL-DLL은 최

적 부호 추정기이다. 그러나 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL은 추적을 통해 정확한 동기시점을 결정된 후에도 여전히 추적편이가 남게 된다.

본 논문에서는 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이 특성 분석을 위해 상관 값이 나타나는 영역을 정확한 동기시점을 기준으로 AOR과 DOR로 나누어 분석을 수행하였다.

분석 결과 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL의 추적편이는 정확한 동기시점을 기준으로 AOR과 DOR에서 상관 값의 대칭성이 왜곡되어 발생하는 제 1형 추적편이와 최고 상관 값이 나타나는 시점이 정확한 동기시점에서 벗어나서 발생하는 제 2형 추적편이로 구별할 수 있음을 보였으며, 이 가운데 제 2형 추적편이가 추적편이의 대부분을 차지함을 보였다.

또한 AOR과 DOR에서의 상관 값 추이를 통해 AOR에서의 상관 값이 DOR에서의 상관 값에 비해 다중경로신호에 의해 덜 왜곡 되는 특성을 보였으며, 이를 바탕으로 대역 제한된 GNSS에 적합한 새로운 부호 추적편이 완화 기법을 제안하고, 이 성능을 EL-DLL과 비교하였다.

제안한 기법은 다중경로신호에 덜 왜곡되는 AOR에서의 상관 값을 사용해 추적을 수행하기 때문에 대역 제한된 다중경로 환경에서 EL-DLL에 비해 정확한 추적이 가능하다.

참고 문헌

- [1] E. Kaplan, *Understanding GPS Principles and Applications, 2nd Edition*, Artech House, Inc., Northwood, MA, 2005.
- [2] A. Lam and S. Tantaratana, *Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems: A Self-Study Course*, IEEE Press, Inc., Piscataway, NJ, 1994.
- [3] N. I. Ziedan, *GNSS Receiver for Weak Signals*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 2006.
- [4] A. J. Van Diredonck, P. Fenton, and T. Ford, “Theory and performance of narrow correlator spacing in a GPS receiver,” *Navigation*, vol. 39, no. 3, pp. 265-283, Sept. 1992.
- [5] R. E. Phelts and P. Enge, “Multipath mitigation for narrowband receivers,” *IEEE Proc. Position Location and Navigation Symposium*, pp. 30-36, San Diego, CA, Mar. 2000.

- [6] M. Ei-Tarhuni and M. Landolsi, "The effect of chip waveform shaping on the synchronization performance of DS-CDMA signals," *IEEE Proc. VTC 1999*, vol.3, pp. 2427-2431, Houston, TX, July 1999.
- [7] J. W. Betz and R. K. Kevin, "Extended theory of early-late code tracking for a bandlimited GPS receiver," *Navigation*, vol. 47, no. 3, pp. 211-226. Sept. 2000.
- [8] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2nd Ed.*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 2001.

유 승 수 (Seungsoo Yoo)

준회원



2004년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사
 2005년 2월 건국대학교 전자공학부 공학석사
 2005년 3월~현재 건국대학교 전자공학부 박사과정
 <관심분야> 이동통신, 통신신호

처리, 무선측위.

김 상 훈 (Sanghun Kim)

준회원



2004년 8월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2007년 2월 성균관대학교 전자전기공학과 공학석사
 2007년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 위성 통신

신, 위성 통신

윤 석 호 (Seokho Yoon)

종신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 학사 (최우등)
 1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 2002년 4월~2002년 6월 MIT 박사 후 연구원

사 후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사 후 연구원
 2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음

<관심분야> 이동통신, 통계학적 신호처리, 적응 신호처리

송 익 호 (Iickho Song)

종신회원



1982년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사(준최우등)
 1984년 2월 서울대학교 전자공학과 공학석사
 1985년 8월 펜실베이니아대학교 전기공학과 공학석사
 1987년 3월~1998년 2월 벨 통신

연구소 연구원

1988년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 조교수, 부교수, 교수

1995년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원

1991년 11월, 1996년 11월 한국통신학회 학술상 받음.

1993년 11월 한국음향학회 우수연구상 받음.

1998년 11월 한국통신학회 LG 학술상 받음.

1999년 11월 대한전자공학회 해동논문상 받음.

2000년 3월 젊은 과학자상 받음.

2000년 11월 한국통신학회 모토롤라학술상받음 대한 전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회원, IEE 석학회원; IEEE 선임회원

<관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

김 선 용 (Sun Yong Kim)

종신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사 (최우등)
 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1995년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사

1995년 4월~1996년 3월 동경대학교

생산기술연구소 박사연구원

1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초빙연구원

1996년 3월~2001년 8월 한림대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수

2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수, 부교수

1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상 받음

1992년~1993년 IEEE Communication Society 장학금 받음

대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, IEEE 선임회원

<관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론