

BOC(pn, n) 변조된 확산신호의 부호동기추적을 위한 일반화된 이른영역상관기법

정희원 유 승 수*, 준회원 이 영 윤**, 김 영 문*, 종신회원 윤 석 호**, 김 선 용*

A Generalized Advanced Region Correlation (G-ARC) Scheme for BOC(pn, n) Modulated Code Tracking in GNSS

Seungsoo Yoo* *Regular Member*, Youngyoon Lee**, Yeongmoon Kim* *Associate Members*,
Seokho Yoon, Sun Yong Kim** *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 이진천이반송파 (binary offset carrier, BOC) 변조된 확산신호의 부호동기추적에 적합한 기법을 제안한다. 이진천이반송파 변조된 확산신호의 상관함수는 정확한 상관옵셋에서 나타나는 주첨두와 여러 부첨두를 갖고 있다. 다중 경로 채널환경에서 가시신호에 비해 다중경로신호는 항상 지연되어 수신되기 때문에 여러 부첨두 가운데 정확한 상관옵셋보다 이른 상관옵셋 영역에 있는 상관함수는 늦은 상관옵셋영역에 있는 상관함수에 비해 덜 왜곡된다. 본 논문에서는 이 특징을 활용해 BOC(n, n) 변조된 확산신호의 부호추적에 적합한 이른영역상관 (advanced region correlation, ARC) 기법을 제안한다. 그리고 모의실험을 통해 안정된 다중경로 (static multipath) 채널과 지상이동체위성시스템 (land mobile satellite system) 채널에서 기존과 제안한 기법의 부호동기 추적성능을 비교한다. 또한 BOC(pn, n) 변조된 확산신호에 적합한 이른영역상관 기법의 확장 형태인 일반화된 이른영역상관 기법 (generalized-ARC, G-ARC) 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 보인다.

Key Words : Binary Offset Carrier (BOC), Code Tracking Scheme, Early Minus Late Delay Lock Loop, Advanced Region Correlation (ARC) Scheme, and Generalized-ARC (G-ARC) Scheme

ABSTRACT

This paper proposes a novel code tracking scheme to track the fine code synchronization for BOC(pn, n) modulated spreading signals. The correlation function of BOC(pn, n) modulated spreading signals has been several peaks. In this paper, we observe that the correlation function in the advanced offset region remains almost unchanged, due to the multipath signals being received later than a line-of-sight signal. Based on this observation, we propose a novel code tracking scheme which is called the advanced region correlation (ARC) method for BOC(n, n) modulated spreading signals. And, we compare with the code tracking accuracy between the conventional and proposed methods in the static multipath and land mobile satellite system channels through the Monte-Carlo simulation. Then, base on the proposed scheme, we propose the generalized-ARC (ARC) scheme for BOC(pn, n) modulated spreading signals.

※ 본 연구는 2차 BK21 사업과 과학기술부 한국과학재단 특정기초연구과제(R01-2008-000-12271-0)의 지원으로 수행되었습니다.

* 건국대학교 전자정보통신공학부 (kimsy@konkuk.ac.kr)

** 성균관대학교 정보통신공학부

논문번호 : KICS2009-01-002, 접수일자 : 2009년 1월 2일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 25일

I. 서 론

2000년대 초 미국 연방통신위원회가(federal communications commission) 휴대이동단말 음성상황 신고체계인 E-911이 높은 신고자 측위 정확도를 갖도록 미국 전역 통신사업자에게 필수사항으로 요구하는 등 개인항법시스템의 측위 정확도 향상을 위한 요구가 폭발적으로 증가했다. 또한 탈 냉전 이후 미국 위주의 항법 시스템인 위성위치확인시스템의(global positioning system, GPS) 종속에서 벗어나기 위한 여러 시도가 이루어지고 있다. 미국은 'Vision2010'이란 이름으로 대표되는 위성위치확인 시스템 현대화를 진행하고 있으며, 유럽연합은 갈릴레오 시스템 개발을 시작하였다. 갈릴레오(Galileo) 시스템은 유럽연합을 중심으로 여러 나라가 공동참여 협약을 맺어 개발을 함께 진행하고 있다. 우리나라도 지난 2006년 9월 갈릴레오 개발참여협정을 맺었으며, 우리 외에도 2006년 10월 현재, 중국, 이스라엘, 우크라이나 등이 참여를 결정했고, 인도, 모로코, 러시아, 브라질, 호주, 아르헨티나 등도 참여를 검토 중이다^{[3],[8],[16]}.

이처럼 많은 국가가 미래 범역항법위성시스템(global navigation satellite system, GNSS) 개발을 위해 각축을 벌이고 있으며, 이 가운데 특히 많은 관심을 갖는 부분은 위성위치확인시스템의 L1 대역 민간신호인 L1C와 (L1-band Civil) 갈릴레오 E1 개방서비스(open service, OS) 신호이다. 이 두 신호는 모두 현재 민간 측위 신호로 사용 중인 위성위치확인시스템의 C/A(coarse/acquisition) 신호와 같은 L1 대역을 사용한다. 따라서 기존 수신기를 개량을 통해 기존신호와 함께 새로운 측위신호 수신이 가능하며, 이로 인해 수신 정확도를 크게 향상시킬 수 있다. 위성위치확인시스템의 L1C와 갈릴레오 E1 개방서비스 신호는 기존 C/A 신호와의 간섭을 줄이기 위해 이진천이반송파(binary offset carrier, BOC) 변조기법을 추가적으로 사용한다. 이 부반송파 변조기법은 기존 이진위상천이(binary phase shift keying, BPSK) 변조에 이진위상천이 변조를 추가해 중심주파수 부근 대역의 신호전력을 줄이고 대역 경계로 신호전력을 이동시켜 간섭을 줄일 수 있다^{[2],[3],[6],[10],[16]}.

미래 범역항법위성시스템은 직접수열확산대역(direct sequence/spread spectrum, DS/SS) 시스템을 근간으로 한다. 직접수열확산대역 시스템은 잘 알려진 바와 같이 주파수 재사용이 가능해 주파수 사용효율

이 높고, 협대역 간섭에 강인하다. 그러나 정확한 동기가 필수적이며, 이를 위해 획득 및 추적과정을 수행해야 한다^{[10],[12]}. 본 논문은 이 가운데 추적과정에 초점을 맞춘다.

고전적인 부호추적기법은 이른-늦은 상관차에 따른 지연결정루프이다(early-minus-late delay lock loop, EML). 이른-늦은 상관차에 따른 지연결정루프는 확산부호 상관함수가 정확한 동기시점을 기준으로 이른-늦은 옵셋에서 대칭인 특징을 사용해 부호동기를 추적한다. 가시신호만 수신되는 환경에서 이 기법은 최적 부호동기추적기이다. 그러나 다중경로 환경에서 다중경로신호로 인해 상관함수가 왜곡되기 때문에 부호동기 추적편이가 발생한다. 부호동기 추적편이는 부호동기 결정 이후에도 잔존하는 부호동기 오차이다. 부호동기 추적편이는 범역항법 위성시스템의 여러 측위오차 유발 요인 가운데 큰 비중을 차지하며, 이를 해결하기 위해 많은 기법들이 연구되었다^{[10],[14]}. 본 논문은 이 가운데 이진천이 반송파 변조된 확산신호의 부호추적에 적합한 기법을 다룬다.

이진천이반송파 변조된 확산신호의 상관함수는 정확한 상관옵셋에서 나타나는 주첨두와 여러 부첨두를 갖고 있다. 다중경로 채널환경에서 가시신호에 비해 다중경로신호는 항상 지연되어 수신되기 때문에 여러 부첨두 가운데 정확한 상관옵셋보다 이른 상관옵셋 영역에 있는 상관값은 늦은 상관옵셋영역에 있는 상관값에 비해 덜 왜곡된다. 본 논문은 이 특징을 활용해 BOC(n,n) 변조된 확산신호의 부호추적에 적합한 이른영역상관(advanced region correlation, ARC) 기법을 제안한다. 그리고 모의실험을 통해 안정된 다중경로(static multipath) 채널과 지상이동체 위성시스템(land mobile satellite system) 채널에서 기존과 제안한 기법의 부호동기 추적성능을 비교한다. 또한 이른영역상관 기법을 바탕으로 BOC(pn,n) 변조된 확산신호에 적합한 일반화된 이른영역상관 기법(generalized-ARC, G-ARC) 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 보인다.

II. 이진천이반송파 변조된 확산신호와 기존 부호동기 추적기법

다중경로 환경에서 BOC(pn,n) 변조된 확산신호를 사용하는 범역항법위성시스템의 기저대역 수신신호는 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{m=1}^M \alpha_m s(t - T_m) \exp[j(2\pi f_D t + \phi_m)] + n(t), \quad (1)$$

여기서 M 은 신호의 수신경로 수, α_m 과 ϕ_m 은 각각 m 째 경로로 수신된 신호의 진폭과 위상, T_m 은 m 째 신호, 즉, 가지경로 신호를 기준으로 한 m 째 경로로 수신된 신호의 상대적 시간지연 ($T_1 = 0$), $s(t)$ 는 식 (2)와 같은 송신신호, f_D 는 도플러 천이 주파수, 그리고 $n(t)$ 는 가산성백색정규잡음이다 (additive white Gaussian noise). 본 논문은 송수신기 사이의 전파지연은 고려하지 않는다.

$$s(t) = \sqrt{E_d} d(t) c(t) \sin(2\pi f_L t), \quad (2)$$

여기서 E_d 는 신호전력, $d(t)$ 는 송신정보, $c(t)$ 는 식 (3)과 같은 이진천이반송파 변조된 확산부호, f_L 은 L1 대역 반송파 주파수이다. 본 논문은 정보 신호를 항상 1로 가정한다 ($d(t) = 1, \forall t$).

$$c(t) = \left[\sum_{h=-\infty}^{\infty} c_h p_{T_C}(t - h T_C) \right] b(t), \quad (3)$$

여기서 c_h 은 ± 1 을 갖는 주기 N 인 확산부호의 h 째 부호, $p_{T_C}(t)$ 는 부호 간격 T_C 안에서 단위크기를 갖는 사각펄스, $b(t) = \text{sgn}[\sin(2\pi f_B t)]$ 인 이진천이반송파 신호, $\text{sgn}(\cdot)$ 는 인자의 부호를 출력하는 함수, f_B 는 이진천이반송파 주파수이다. 이진천이반송파 신호는 이진천이반송파 주파수 f_B 와 기본 주파수 f_F 의 비와 확산부호 주파수 $f_C = 1/T_C$ 와 기본 주파수 f_F 의 비를 사용해 $\text{BOC}(f_B/f_F, f_C/f_F)$ 로 표시한다. 이진천이반송파 주파수 f_B 는 구현의 편의를 위해 f_C 의 정수배로 설계하는 것이 일반적이다^{2),4),7)}. 본 논문에서는 이진천이반송파 변조를 간단히 $\text{BOC}(p,n)$ 으로 표시한다 ($n = f_C/f_F$).

$\text{BOC}(p,n)$ 변조된 확산신호의 자기상관함수는 $R(\tau) = \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} c(t)c(t-\tau)dt$ 와 같으며, 이는 식 (4)처럼 다시 쓸 수 있다^{7),11),14)}. 여기서 $p=1,2,\dots$ 는 이진천이반송파 변조율, $k = \text{ceil}\left\{\frac{2p|\tau|}{T_C}\right\}$, $\text{ceil}(\cdot)$ 는

$$R(\tau) = \begin{cases} (-1)^{k+1} \left\{ \frac{1}{p} (-k^2 + 2kp + k - p) - (4p - 2k + 1) \frac{|\tau|}{T_C} \right\}, & |\tau| \leq T_C \\ 0, & \text{그외} \end{cases}, \quad (4)$$

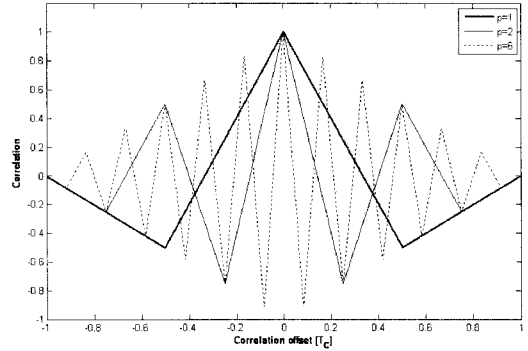


그림 1. 여과되지 않은 BOC(p,n) 변조된 확산신호의 자기상관함수들 ($p = 1, 2, 6$)

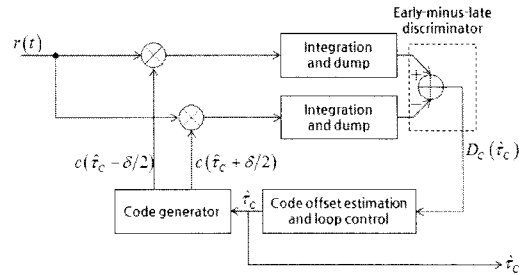


그림 2. 기존 부호동기 추적기의 구조: 이른-늦은 상관차에 따른 지연결정루프 (early-minus-late delay lock loop, EML)

인자를 가장 가까운 정수로 올림하는 함수이다.

여러 이진천이반송파 변조율에 대한 여과되지 않은 (unfiltered) BOC(p,n) 변조된 확산신호의 자기상관함수는 그림 1과 같다.

그림 1처럼 BOC(p,n) 변조된 확산신호의 상관함수는 $(4p-1)$ 개의 첨두를 가지며, 주첨두는 (main peak) 0 상관옵셋, 부첨두는 (sub-peaks) $\pm T_C/2q$ 상관옵셋에 각각 나타난다 ($q=1,\dots,p$). 이진천이반송파 변조율 p 가 커질수록 부첨두가 많아져 부호 추적시 오결정점으로 오결정하는 (false lock) 빈도가 커진다. 그러나 주첨두 주변 상관함수의 폭이 좁아져 다중경로신호로 인한 왜곡이 줄어들며, 부첨두의 상관옵셋은 고정되어 있기 때문에 다수의 부첨두를 사용한다면 주첨두의 옵셋만을 추적한 경우보다 더 정확한 부호동기추적이 가능하다^{4),5),7),11),14)}.

주첨두 주변 상관함수를 사용하는 기존 부호동기 추적기법은 이른-늦은 상관차에 따른 지연결정루프이며, 그 구성도는 그림 2와 같다^{4),5),11),12)}. 여기서 δ

는 이른 상관기와 늦은 상관기의 오프셋차, $D_C(\hat{\tau}_C)$ 는 식 (5)처럼 기준기법을 사용해 추정된 부호동기오프셋 $\hat{\tau}_C$ 에서 판별기 출력 값이다.

$$D_C(\hat{\tau}_C) = R\left(\hat{\tau}_C - \frac{\delta}{2}\right) - R\left(\hat{\tau}_C + \frac{\delta}{2}\right), \quad (5)$$

그림 2의 기준기법 이른-늦은 상관차에 따른 지연 결정루프를 사용해 결정한 부호동기는 식 (6)과 같다.

$$\hat{\tau}_C = \arg_{\tau_C} \{D_C(\tau_C) = 0\}, \quad (6)$$

여기서 $\arg_x(f(x))$ 는 인자의 조건을 만족하는 x 를 출력하는 함수이다. 기준기법은 부호오프셋추정 및 루프제어 (code offset estimation and loop control, CAL) 블록에 판별기 출력이 '0'이 입력될 때, 즉, 부호동기추적편이가 없다고 판단될 때 부호동기를 결정한다 (locking)^{[12],[14]}.

III. 제안한 기법

안정된 다중경로 채널에서 가시신호를 기준으로 다중경로신호가 $0.4T_C$ 지연되고, 다중경로신호의 전력이 가시신호를 기준으로 3dB 감쇄되어 수신되는 경우 BOC(2n,n) 변조된 대역제한이 없는, 즉, 여과되지 않은 (unfiltered) 확산신호의 상관함수는 그림 3과 같다. 안정된 다중경로 채널은 무잡음 환경에서 가시신호와 하나의 다중경로신호만 수신되는 채널이다. 이때, 가시신호와 다중경로신호의 크기는 특정한 분포를 갖는 확률변수가 아닌 결정된 상수이다.

여기서 'LOS only'는 가시신호만 수신된 때, 'LOS+MP($\phi=0$)'과 'LOS+MP($\phi=\pi$)'는 가시신

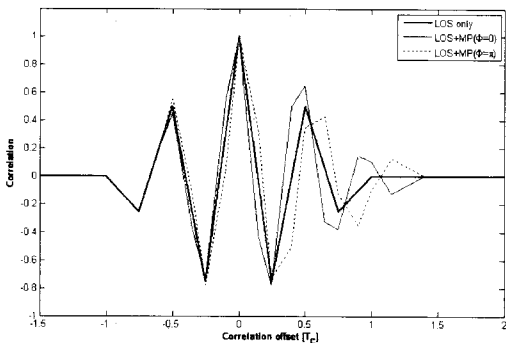


그림 3. 안정된 다중경로 채널에서 왜곡된 여과되지 않은 BOC(2n,n) 변조된 확산신호의 상관함수

호와 하나의 다중경로신호의 위상차 ϕ 가 0과 π 로 수신된 때의 상관함수를 각각 의미한다. 그림 3처럼 다중경로신호에 의해 주첨두 주변 상관함수가 왜곡되며, 이로 인해 부호동기 추적편이가 야기된다. 또한 주첨두의 상관오프셋을 기준으로 이른상관오프셋영역의 (이후 '이른영역') 상관함수가 늦은상관오프셋영역의 (이후 '늦은영역') 상관함수에 비해 덜 왜곡된다. 이는 다중경로신호가 항상 가시신호보다 지연되어 수신되기 때문이다. 따라서 이른영역의 상관함수를 사용해 부호동기를 추적하는 것이 주첨두 주변의 상관함수를 사용해 부호동기를 추적하는 것보다 더 정확한 부호동기를 추적할 수 있다. 본 논문에서는 이 특징을 이용해 [17]과 그림 4처럼 이른영역에 존재하는 부첨두 주변 상관함수에 이른-늦은 상관기를 두어 그 차를 바탕으로 부호동기 추적을 수행하는 새로운 부호동기 추적기법을 제안한다.

여기서, $\hat{\tau}_A$ 는 추정된 상관오프셋, $\hat{\tau}_1$ 은 이른영역에서 첫째 부첨두 주변 상관함수로부터 추정된 상관오프셋이다. 만약 이상적인 환경에서 첫째 부첨두 주변 상관함수가 부첨두와 그 상관오프셋 λ_1 을 잇는 직선을 기준으로 좌우대칭일 때 $\hat{\tau}_1$ 은 첫째 부첨두의 오프셋과 같다. 따라서 $\hat{\tau}_1$ 을 추정된 후 λ_1 만큼 상관오프셋을 보상하면 정확한 상관오프셋을 추정할 수 있다. 그러나 그림 1처럼 BOC(pn,n) 변조된 확산신호의 상관함수는 주첨두 주변 상관함수를 제외한 부첨두 주변 상관함수는 부첨두와 그 오프셋을 잇는 직선을 기준으로 비대칭이다. 따라서 이를 보상하기 위해 비대칭보정상수 Δ_1 만큼 상관오프셋을 추가로 보정해야 한다. BOC(n,n) 변조된 여과되지 않은 확산신호 자기상관함수의 이른영역에서 비대칭보정상수 Δ_1 는 그림 5와 같이 얻을 수 있다.

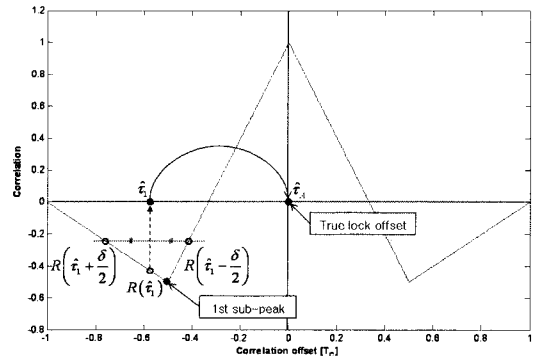


그림 4. BOC(n,n) 변조된 확산신호의 부호동기추적을 위한 이른영역상관기법의 동작개념

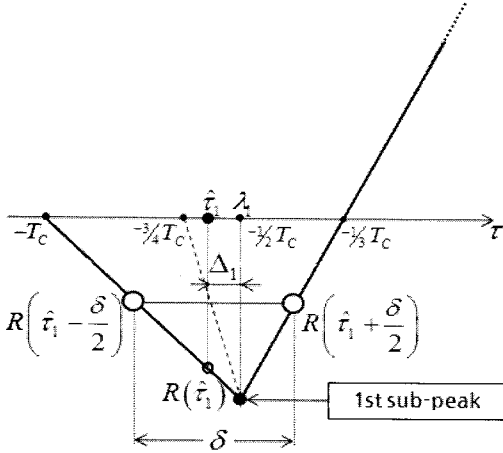


그림 5. 여과되지 않은 BOC(pn,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템에 부호동기추적기법으로 제안한 이른영역상관기법을 적용하기 위한 비대칭 보정 상수

식 (4)와 그림 1처럼 BOC(pn,n) 변조된 확산신호의 자기상관함수는 $-T_c/3$ 와 $-T_c$ 에서 '0'이고, $-T_c/2$ 에서 첫째 부침두의 상관웁셋이 나타난다 ($\lambda_1 = -T_c/2$). 물론, $|t| > T_c$ 에서 상관함수는 항상 '0'이다. $\hat{\tau}_1$ 추정을 위한 $R(\hat{\tau}_1 - \frac{\delta}{2})$ 와 $R(\hat{\tau}_1 + \frac{\delta}{2})$ 를 잇는 직선의 중점은 항상 첫째 부침두와 $3T_c/4$ 를 잇는 직선 위에 있다. Δ_1 은 δ 에 따라 결정되며, $\Delta_1 = \frac{\delta}{2}$ 이다. 이를 바탕으로 한 새로운 부호동기 추적기법의 구성은 그림 6과 같다. 여기서 $D_A(\hat{\tau}_1)$ 은 식 (7)과 같은 제안한 기법의 판별기 출력이다.

$$D_A(\hat{\tau}_1) = R\left(\hat{\tau}_1 - \frac{\delta}{2}\right) - R\left(\hat{\tau}_1 + \frac{\delta}{2}\right). \quad (7)$$

식 (7)과 같은 판별기를 사용해 결정한 부호동기는 식 (8)과 같다.

$$\hat{\tau}_A = \arg_{\hat{\tau}_1}\{D_A(\hat{\tau}_1) = 0\} - \lambda_1 + \Delta_1. \quad (8)$$

앞서 언급한 것처럼 제안한 기법은 이른영역 상관함수를 사용하기 때문에 본 논문에서는 제안한 기법을 이른영역상관 (advanced region correlation, ARC) 기법으로 부른다.

BOC(pn,n) 변조된 확산신호는 이른영역에 $(2p-1)$ 개의 부침두가 있다. 제안한 이른영역상관 기법을 BOC(pn,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템에 적용하면 제안한 기법은 주침두에 가장 가까운 이

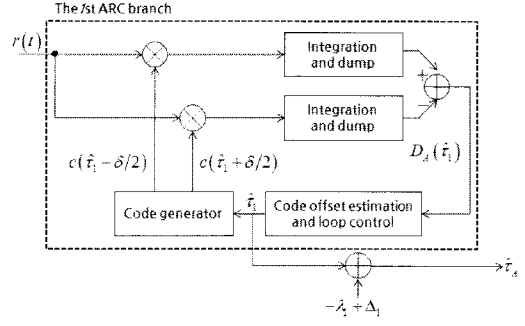


그림 6. 제안한 부호동기 추적기법의 구성도: 이른영역상관 (advanced region correlation, ARC) 기법

른영역에 있는 부침두 하나만을 사용해 부호동기를 추적한다. 그러나 단순한 이른영역상관 기법의 확장을 통해 이른영역에 모든 부침두를 모두 사용해 더 정확한 부호동기를 추적할 수 있다. 본 논문에서는 확장된 이른영역상관 기법을 일반화된 이른영역상관 (generalized-ARC, G-ARC) 기법으로 부른다. 제안한 기법의 동작개념은 그림 7과 같다.

$\hat{\tau}_l$ 을 추정하기 위해서는 l 째 이른영역상관 가지에 적합한 부침두의 웁셋 λ_l 과 비대칭보상 상수 Δ_l 이 필요하다. 이는 그림 5를 확장한 그림 8로부터 구할 수 있다. 여기서 $l=0,1,\dots,2p,z_l$ 은 식 (9)와 같이 상관값이 0인 상관웁셋, $z_{(2p)} = -T_c$, $\lambda_l = -l/(2p)$, $\lambda_0 = 0$, Δ_l 은 식 (10)과 같은 l 째 이른영역상관 가지에 적합한 비대칭보상 상수이다.

$$z_l = \lambda_l - \frac{\lambda_{(l-1)} - \lambda_l}{R(\lambda_{(l-1)}) - R(\lambda_l)} R(\lambda_l), \quad (9)$$

$$\Delta_l = \frac{\left(\frac{z(l+1) + z_l}{2} - \lambda_l\right)\delta}{z_{l+1} - z_l}, \quad (10)$$

그림 7과 8, 식 (9)와 (10)을 바탕으로 한 일반화된 이른영역상관기법의 구성은 그림 9와 같다. 여기서 $\hat{\tau}_G$ 는 식 (11)처럼 제안된 일반화된 이른영역상관 기법으로 추정한 부호동기웁셋이다.

$$\hat{\tau}_G = \sum_{l=1}^{2p-1} w_l [\arg_{\hat{\tau}_1}\{D_A(\hat{\tau}_1)\} - \lambda_l + \Delta_l], \quad (11)$$

여기서 w_l 은 l 째 부호동기웁셋 추정치의 가중치이다. l 이 커질수록 l 째 부침두의 크기가 줄어들어 잡음에 의한 왜곡은 심한 반면, 다중경로신호의 의한

왜곡은 덜하다. 따라서 잡음과 다중경로에 따른 왜곡을 감안해 식 (12)처럼 가중치를 결정할 수 있다.

$$w_l = R(\lambda_l) \frac{|\lambda_l|}{T_C} \quad (12)$$

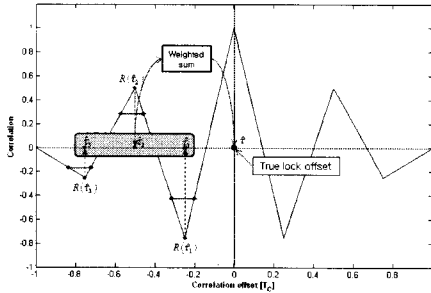


그림 7. BOC(p,n) 변조된 확산신호의 부호동기추적을 위한 일반화된 이른영역상관기법의 동작개념 (p=2)

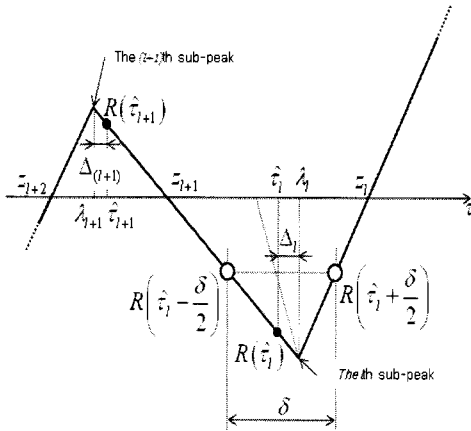


그림 8. 여과되지 않은 BOC(p,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 일반화된 이른영역상관기법을 사용하기 위한 비대칭 보정상수

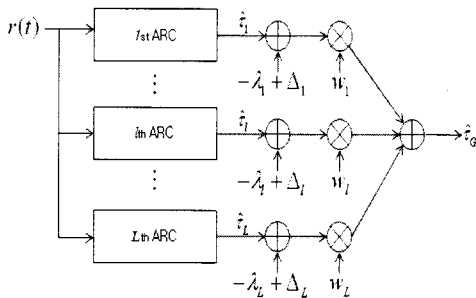


그림 9. 제안한 부호동기추적기법의 구성도: 일반화된 이른영역상관기법 (generalized-ARC, G-ARC)

IV. 모의실험

이번 장은 제안한 기법의 부호동기 추적성능을 보이고 이를 기존 부호동기 추적기법과 비교분석한다. 부호동기 추적성능 지표 가운데 일반적으로 많이 사용하는 지표는 부호동기 추적편이다. 추적편이는 부호동기 추적기에서 추적을 완료해 부호동기를 결정 한 후에도 잔존하는 오차이다. 안정된 다중경로 채널환경에서 대역제한이 없는, 즉, 여과되지 않은 (unfiltered) BOC(n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템에 부호동기 추적기로 기존과 제안한 기법을 사용한 경우 부호동기 추적편이는 그림 10 과 같다. 안정된 다중경로 채널환경은 가시신호와 가시신호보다 전력이 상수배 감쇄된 하나의 다중경로신호가 수신되는 채널환경이다. 이 모의실험에서 가시신호와 다중경로신호의 진폭비는 $\alpha_2/\alpha_1 = 0.5$, 추적을 위해 사용하는 이른 늦은 상관옵셋의 간격 $\delta = 0.125 T_C$ 로 설정했다.

부호동기 추적편이는 가시신호와 다중경로신호의 상대적 지연옵셋이 $0.5 T_C$ 일 때를 기준으로 차가 작을 (near, $0 \leq \tau_2 - \tau_1 < 0.5 T_C$) 때와 클 (far, $0.5 T_C \leq \tau_2 - \tau_1 < T_C + \frac{\delta}{2}$) 때로 구분해 분석할 수 있다. $T_C + \frac{\delta}{2} \leq \tau_2 - \tau_1$ 일 때는 가시신호의 상관 함수와 다중경로신호의 상관 함수가 완전히 분리되기 때문에 다중경로신호가 가시신호를 왜곡시키지 않는다 [11], [7], [9], [10], [14], [15]. 즉, 안정적인 다중경로 환경에서 $T_C + \frac{\delta}{2} \leq \tau_2 - \tau_1$ 일 때 부호동기 추적편이는 없다. 원역에서 (far offset region) 야기되는 부호동기 추적편이는 [13]처럼 기울기를 이용한 부호동기

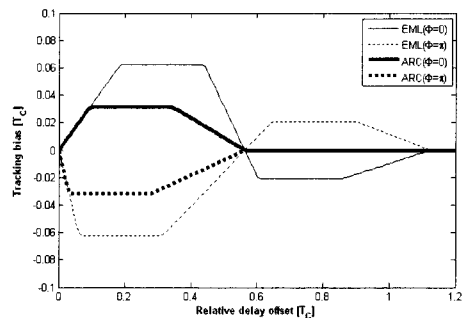


그림 10. 안정된 다중경로채널에서 여과되지 않은 BOC(n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기준기법과 이른영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이

추적편이 보상기법 등을 사용해 완화시킬 수 있다. 이는 이진천이반송파와 변조된 확산신호의 자기상관함수의 주침두 주변 상관함수 폭이 좁아서 여러 오프셋의 상관값을 바탕으로 주침두와 부침두를 구분할 수 있기 때문이다. 그러나 근역에서 (near offset region) 야기되는 부호동기 추적편이는 가시신호의 주침두 주변 상관함수 영역에서의 왜곡이기 때문에 이를 완화시키기 어렵다.

그림 10처럼 기존기법은 근역과 원역에서 모두 부호동기 추적편이가 야기되는 반면 제안한 기법은 근역에서만 부호동기 추적편이가 야기되며, 그 편이 또한 작다. 이는 앞 장에서 언급한 바와 같이 제안한 기법은 다중경로신호에 의해 덜 왜곡되는 이론영역의 상관함수를 바탕으로 추적을 수행하기 때문이다. 따라서 제안한 기법을 사용하면 원역의 부호동기 추적편이는 완전히 제거할 수 있으며, 근역의 부호동기 추적편이 또한 절반 정도로 완화시킬 수 있다.

일반적인 부호동기 추적기법은 그림 2처럼 궤환(feedback) 구조로 구성되어 있다. 따라서 부호동기를 완료한 시점, 즉 부호동기를 결정한 시점에서의 부호동기 추적편이와 함께 부호동기를 추적하는 동안에 야기되는 부호동기 추적편이의 유동평균도 부호동기 추적 정확도를 평가하는 지표로 사용할 수 있다. 그림 10의 추적편이를 도출한 설정과 동일한 설정에서 구한 추적편이의 유동평균은 그림 11과 같다.

그림 11은 가시신호와 다중경로신호의 상대적 위상이 같을 때의 유동평균이다. 기존 기법은 약 $0.5T_C$ 에서 제안한 기법은 약 $0.35T_C$ 에서 최고 값이 나타나며, 제안한 기법의 추적편이 유동평균이 기존기법에 비해 약 절반이다. 이는 유동평균이 추적편이의 경향을 따르기 때문이다. 그러나 최근역에

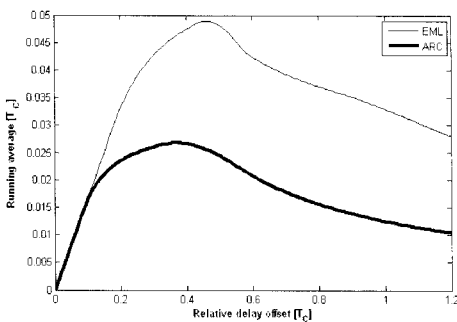


그림 11. 안정된 다중경로채널에서 여과되지 않은 BOC(n, n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존기법과 이론영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이의 유동평균

서는 (nearest offset region) 유동평균이 동일하다. 이는 제안한 기법을 사용해도 최근역에서 야기되는 추적편이를 줄일 수 없음을 뜻한다.

유럽의 범역항법위성시스템, 갈릴레오 시스템에서 이 문제를 부분적으로 해결하기 위해 다중화된 이진천이반송파 (multiplexed BOC, MBOC) 변조기법이 제안되었다. MBOC($p_1, p_2, \frac{r}{q}$) 변조 신호는 BOC(p_1, n, n)과 BOC(p_2, n, n)가 r 대 q 의 비가 되도록 다중화된 신호이다 ($p_1 > p_2$). MBOC($p_1, p_2, \frac{r}{q-r}$) 변조 신호는 BOC(p_1, n, n)의 대역폭 만큼 대역폭은 더 사용하지만 주침두 주변 상관함수의 폭이 좁아져 최근역의 부호동기 추적편이를 완화할 수 있다. 안정된 다중경로 채널환경에서 대역제한이 없는 MBOC($p_1, p_2, \frac{r}{q-r}$) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템에 부호동기 추적기로 기존기법과 제안한 기법을 사용한 경우 부호동기 추적편이는 그림 12와 같다. 이 모의실험에서 가시신호와 다중경로신호의 진폭비는 $\alpha_2/\alpha_1 = 0.5$, 추적을 위해 사용하는 이론 낮은 상관오프셋의 간격 $0.025T_C$, $p_1 = 6$, $p_2 = 1$, $r = 1$, $q = 10$ 으로 각각 설정했다. δ 는 항상 주침두 주변 상관함수의 폭의 값보다 작아야한다^[12].

그림 12처럼 기존기법을 사용한 경우 부호동기추적편이의 편차가 크게 나타난다. 이는 다중화된 이진천이반송파와 변조된 확산부호의 상관함수 개형이 복잡한 형태이기 때문이다. 다중화된 이진천이반송파와 변조기법은 변조율이 다른 이진천이반송파와 변조기법을 다중화해서 사용한다. 그 자기상관함수의 전체개형은 낮은 변조율을 갖는 이진천이반송파와 변조된 확산부호의 상관함수를 따르고, 세부개형은 높은

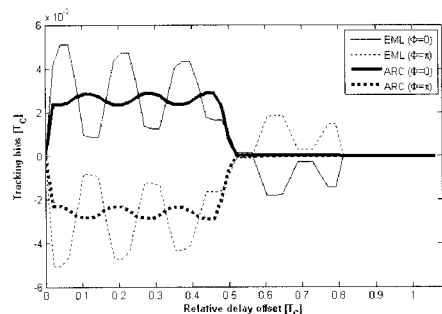


그림 12. 안정된 다중경로채널에서 여과되지 않은 BOC($6, 1, 1/1$) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존기법과 이론영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이

변조율을 갖는 이진천이반송파 변조된 확산부호의 상관함수를 따른다. 부호동기추적편이도 이 경향을 따라 그림 12처럼 복잡한 개형을 갖는다. 즉, 부호 동기추적편이의 전체 개형은 낮은 변조율을 갖는 이진천이반송파와 변조된 확산부호를 사용한 부호동기 추적기법의 추적편이를 따르고, 세부 개형은 높은 변조율을 갖는 이진천이반송파와 변조된 확산부호를 사용한 때의 부호동기추적편이를 따른다. 이러한 경향은 제안한 기법을 사용한 때에도 나타난다. 제안한 기법은 이른영역의 상관함수를 사용하기 때문에 상관함수크기가 상대적으로 작아 변동폭이 크기 않다. 그리고 비대칭 보정상수의 작은 오차로 인해 기존 기법의 추적편이가 철형이 (prominence shape) 되는 영역에서 요형으로 (depression shape) 나타난다. 그리고, 최근역에서 제안한 기법의 부호동기 추적편이는 기존기법의 부호동기 추적편이보다 작다. 또한 제안한 기법은 원역에서 부호동기 추적편이가 야기되지 않는다. 그러나, 근처의 일부 구간에서 제안한 기법의 부호동기 추적편이가 기존기법보다 크다. 이는 다중화된 이진천이반송파와 변조된 확산신호의 자기상관함수의 주첨두 주변 상관함수는 기존 상관함수에 비해 첨예해지지만 이른 영역의 부첨두 주변 상관함수는 약간의 왜곡만 있을 뿐 첨예해지지 않기 때문이다. 그림 12의 추적편이를 도출한 설정과 동일한 설정에서 구한 추적편이의 유동평균은 그림 13과 같다.

그림 13처럼 최근점의 유동평균은 기존기법보다 제안한 기법이 작다. 그리고 기존 기법은 유동평균의 편차가 큰 반면 제안한 기법은 유동평균의 편차가 작다. 따라서 기존기법에 비해 제안한 기법은 더 좁은 대역폭을 갖는 간단한 루프필터를 사용할 수 있다.

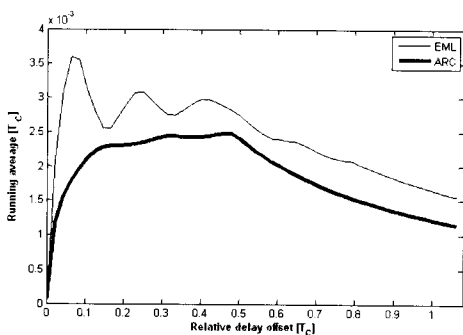


그림 13. 안정된 다중경로채널에서 여과되지 않은 BOC(6,1,1/11) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존 기법과 이른영역상관함수를 사용했을 때 부호동기추적편이의 유동평균

안정된 다중경로 채널은 다중경로신호에 의한 가시 신호의 왜곡 정도와 부호동기 추적편이에 대한 분석을 수행하기 위해 많이 사용되는 채널 모형이다. 그러나 이 모형은 실제 채널모형이 차이가 많아 제안한 기법의 실제 부호동기 추적성능을 평가하는데 어려움이 있다. 이를 위해 본 논문은 [11]의 지상이동체위성시스템 (land mobile satellite system, LMSS) 채널을 모형화하고, 이를 바탕으로 하여 기존 기법과 제안한 기법의 부호동기 추적 성능을 분석하였다. 지상이동체위성시스템 채널모형은 지평면을 기준으로 위성과 이루는 각에 따른 모형과 개방(open), 교외(rural), 부도심(suburban), 도심(urban), 그리고 고속도로(highway) 환경에서 지상을 이동하는 단말과 이동하는 위성 사이의 채널모형이다. 그리고 이 채널모형에서 모든 경우에 음영효과에 (shadowing effect) 따라 가시 및 다중경로신호의 크기는 Rician과 Rayleigh 분포를 갖는다. 특히 각도에 따른 지상이동체위성시스템 채널모형의 음영효과는 Rician 분포를 따르는 경우, 단말과 위성의 각이 작을 수록, 즉, 위성이 지평면에 근접할 수록 커지고, Rayleigh 분포를 따르는 경우, 25°일 때 제일 크며 각이 커질수록, 즉, 위성이 천정에 근접할 수록 작아진다. 모의실험을 위해 이른-늦은 상관오프셋의 간격 $\delta = 0.1 T_C$, 잡음수준은 상온에서의 열잡음의 수준으로 설정했다. 도심환경에서 지표면과 위성이 이루는 각에 따른 부호동기 추적편이는 그림 14와 같다.

그림 14처럼 완화 정도에 차이는 있으나 모든 경우에서 기존기법에 비해 제안한 기법의 부호동기 추적 정확도가 높음을 확인할 수 있다. 특히 신호의 크기가 Rician 분포를 따르는 경우, 즉, 음영효과의 영향이 적게 나타나는 경우 가시신호가 덜 왜곡되기 때문에 제안한 기법의 부호동기 추적편이가 작다. 그러나 가시신호가 왜곡된 경우 이른영역의 상관함수를 사용하더라도 상관함수에서 가시신호가 차지하는 전력이 낮아 이른영역 상관함수가 더 왜곡된다. 그래서 신호의 크기가 Rayleigh 분포를 따르는 경우 제안한 기법의 추적편이 완화 정도가 그렇지 않은 경우보다 덜 하다. 다음으로 지표면과 위성의 각도가 45°일 때, 부호동기 추적편이는 그림 15와 같다.

그림 15처럼 개방환경에 비해 도심환경에서 다중경로신호가 더 많이 발생하기 때문에 대체적으로 개방환경에 비해 도심환경에서 부호동기 추적편이가 크다. 특히, 제안한 기법은 다중경로신호 왜곡이 적은 이른영역의 상관함수를 사용하기 때문에 도심환경에서도 비교적 낮은 부호동기 추적편이를 보인다.

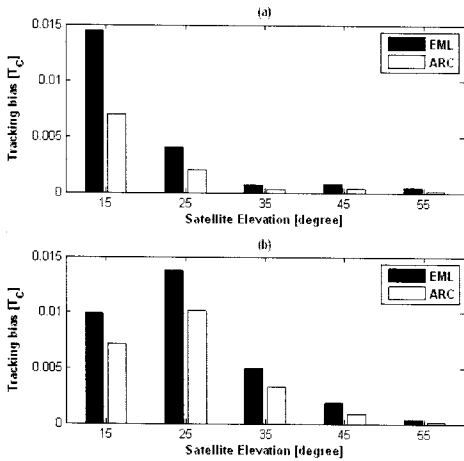


그림 14. 도심환경에서 지평면과 위성이 이루는 각에 따른 지상이동체위성시스템 채널환경에서 여과되지 않은 BOC(n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존기법과 이른영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이의 실효치 (root mean square value): 가시신호와 다중경로신호 크기의 분포가 (a) Rician과 (b) Rayleigh 분포일 경우

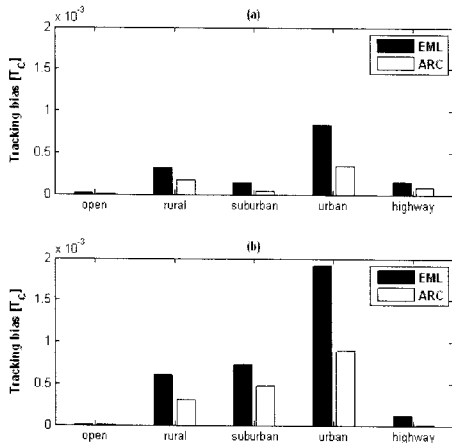


그림 15. 지평면과 위성의 각이 45°인 다양한 지상이동체위성시스템 채널환경에서 여과되지 않은 BOC(n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존기법과 이른영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이의 실효치 (root mean square value): 가시신호와 다중경로신호 크기의 분포가 (a) Rician과 (b) Rayleigh 분포일 경우

앞서 살펴본 바와 같이 이른영역상관 기법은 기존기법에 비해 BOC(n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기 추적 정확도가 높다. 그러나 이른영역상관 기법은 BOC(n,n)에서만 적용이 가능하다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 BOC(p,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템에 적합한 일반화

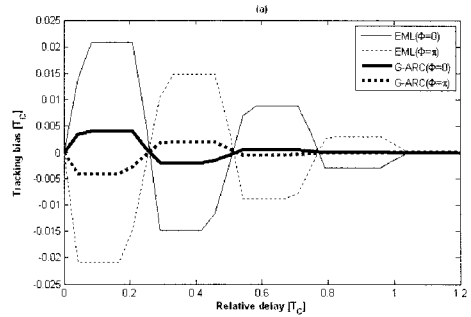


그림 16. 안정된 다중경로채널에서 여과되지 않은 BOC(2n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존기법과 이른영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이

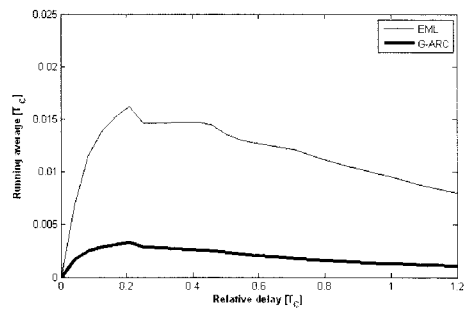


그림 17. 안정된 다중경로채널에서 여과되지 않은 BOC(2n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기추적기법으로 기존기법과 이른영역상관기법을 사용했을 때 부호동기추적편이의 유동평균

된 이른영역상관 기법을 제안했다. 이를 위한 모의실험은 안정된 다중경로 채널 환경, 이진천이빈송과 변조율 $p=2$, 이른늦은 상관옵셋 간격 $\delta=0.084T_c$ 로 설정했다. 일반화된 이른영역상관 기법을 사용했을 때 부호동기 추적편이는 그림 16과 같다.

그림 16처럼 근역과 원역에서 제안한 기법의 부호동기 추적 정확도가 기존 기법보다 높다. 특히 그림 10과 비교할 때 부호동기 추적편이 개선 정도가 크다. 이는 다중경로 왜곡이 비교적 덜한 이른 영역의 상관함수를 사용하면서도 여러 부침두 주변 상관함수로 부터 얻은 판별값을 최적판별함수로부터 얻은 가중치를 사용해 결합해 사용하기 때문이다. 이는 추적편이 유동평균을 통해 더 분명히 확인할 수 있다. 그림 16과 같은 설정에서 유동평균은 그림 17과 같다.

그림 11과 17의 비교로부터 일반화된 이른영역상관 기법을 사용할 경우 기존 기법보다 부호동기 추적편이를 크게 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

이상과 같이 BOC(p,n) 변조된 확산신호를 사용

하는 시스템에서 기존기법과 제안한 일반화된 이른 영역상관 기법의 부호동기 추적정확도를 분석했다. 이를 위해 $p=1,2$ 일 때, 안정된 다중경로 환경에서 BOC(pn,n), MBOC(6,1,1/11) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기 추적편이와 유동평균을 보였으며, 실제에 가까운 채널환경인 지상이동체위성시스템 채널 환경에서 BOC(n,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템의 부호동기 추적편이와 유동평균을 보였다. 설정한 모든 경우에서 제안한 기법의 부호동기 추적 정확도가 기존 기법보다 우수함을 확인하였다. 특히, 일반화된 이른영역상관 기법을 사용할 경우 여러 판별함수의 결합을 바탕으로 최종 해를 얻기 때문에 추적편이 완화 정도가 다른 경우보다 큰 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 BOC(pn,n) 변조된 확산신호를 사용하는 시스템에 적합한 부호동기 추적기법을 제안하고, 안정된 다중경로 및 지상이동체위성시스템 채널 환경에서 추적편이와 유동평균을 보여 제안한 기법의 성능을 분석하였다. 모의실험에서 설정한 모든 경우에서 제안한 기법의 부호동기 추적 정확도가 기존 기법보다 우수함을 확인했다. 이는 제안한 기법이 다중경로신호에 대한 왜곡이 상대적으로 덜한 이른 영역의 상관함수를 사용해 부호동기를 추적하기 때문이다. 또한 이진치이반송파 변조율 p 가 클 수록 다수의 판별함수를 사용할 수 있기 때문에 더욱 정확한 부호동기 추적이 가능하다. 그러나 다수의 이른영역상관 가지를 사용해 시스템을 구현하기 때문에 기존 기법에 비해 복잡도가 높은 단점이 있다. 향후에는 제안한 시스템과 기존 시스템의 복잡도를 분석하고, 이를 바탕으로 제안한 기법의 구조를 최적화하는 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] A. R. Athanasios, B. Kostas, M. Alexandra, and P. Jacques, "Efficient semi-blind estimation of multipath channel parameters via a delay decoupling optimization approach," *Trans. Elsevier Signal Processing*, vol. 85, issue 12, pp. 2394-2411, Dec. 2005.

[2] J. W. Betz, "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *Trans. ION: Navigation*,

vol. 48, no. 4, pp. 227-246, Dec. 2002.

[3] J. W. Betz, M. A. Balanco, C. R. Cahn, P. A. Dafesh, C. J. Hegarty, K. W. Hudnut, V. Kasemsri, R. Keegan, K. Kovach, C. L. S. Lenahan, H. H. Ma, J. J. Rushanan, D. Sklar, T. A. Stansell, C. C. Wang, and S. K. Yi, "Enhancing the future of civil GPS: overview of the L1C signal," *Mag. Inside-GNSS*, www.insidegnss.com \auto\figm\042-049.pdf, Apr. 2007.

[4] M. S. Braasch, "Performance comparison of multipath mitigating receiver architecture," *Proc. IEEE Aerospace*, vol. 3, pp. 1309-1315, Big Sky, MT, Mar. 2001.

[5] M. Z. Bhuiyan, E. S. Lohan, and M. Renfors, "Code tracking algorithms for mitigating multipath effects in fading channels for satellite-based positioning," *Trans. EURASIP Advanced in Signal Processing*, CD-ROM, Feb. 2008.

[6] European Space Agency and Galileo Joint Undertaking, *L1 Band Part of Galileo Signal in Space ICD (SIS ICD)*, Galileo Joint Undertaking, www.galileoic.org, 2006.

[7] M. Fantino, G. Marucco, P. Mulassano, M. Pini, "Performance analysis of MBOC, altBOC and BOC modulations in terms of multipath effects on the carrier tracking loop within GNSS receivers," *Proc. IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*, CD-ROM, Monterey, CA, May 2008.

[8] FCC Docket No.94-102, "Revision of the commissions rules to insure compatibility with enhanced 911 emergency calling systems," *FCC: Technical Report RM-8431*, July 1994.

[9] G. W. Hein, M. Irsigler, J. A. Avila-Rodriguez, and T. Pany, "Performance of Galileo L1 signal candidates," *Proc. ENC-GNSS2004*, CD-ROM, Rotterdam, Netherlands, May 2004.

[10] J. K. Holems, *Spread Spectrum Systems for GNSS and Wireless Communications*, Artech House Publishers, Inc., Northwood, MA, 2007.

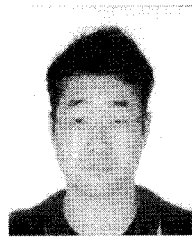
[11] A. Jhan, H. Bischl, and G. Heis, "Channel characterisation for spread spectrum satellite communications," *Proc. IEEE International*

Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA), vol. 3, pp. 1221-1226, Mainz, Germany, Sep. 1996.

- [12] E. Kaplan, *Understanding GPS Principles and Applications, 2nd Edition*, Artech House Publishers, Inc., Northwood, MA, 2005.
- [13] C. Lee, S. Yoo, S. Yoon, and S. Y. Kim, "A novel multipath mitigation scheme based on slope differential of correlator output for Galileo systems," *Proc. International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, CD-ROM, Pyeongchang, Korea, Feb. 2006.
- [14] F. D. Nunes, F. M. Sousa, and Jose M. Leitao, "Multipath mitigation technique for BOC signals using gating functions," *Proc. Navigation User Equipment Technologies (NAVITEC)*, CD-ROM, Noordwijk, Netherlands, Dec. 2004.
- [15] A. Simsky and J. Sleewaegen, "Performance assessment of Galileo ranging signals transmitted by GSTB-V2 satellite," *Proc. ION GNSS*, CD-ROM, Fort Worth, TX, Sep. 2006.
- [16] U. S. and E. C., *Agreement on the Promotion, Provision, and use of Galileo and GPS Satellite-Based Navigation Systems and Related Applications*, <http://pnt.gov/public/docs/2004-US-EC-aggrement.pdf>, 2004.
- [17] S. Yoo, E. Lee, S. Yoon, and S. Y. Kim, "A novel tracking scheme for Galileo BOC(1,1) system," *Proc. ITC-CSCC*, CD-ROM, Pusan, Korea, July 2007.

유 승 수 (Seungsoo Yoo)

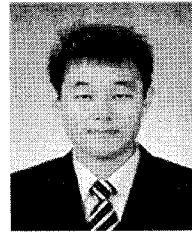
정회원



2004년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사
 2005년 2월 건국대학교 전자공학전공 공학석사
 2005년 3월~현재 건국대학교 전자공학전공 박사과정
 <관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 무선측위, GNSS.

이 영 윤 (Youngyoon Lee)

준회원



2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2007년 3월~2009년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 공학석사
 2009년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정
 2008년 7월 성균관대학교 우수

논문상 받음

<관심분야> 통신 이론, 이동 통신

김 영 문 (Yeongmoon Kim)

준회원



2009년 2월 건국대학교 정보통신공학전공 공학사
 2009년 3월~현재 건국대학교 전자정보통신공학 석사과정
 <관심분야> 통계학적 신호 처리, 음향신호처리.

윤 석 호 (Seokho Yoon)

종신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학사 (최우등)
 1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 2002년 4월~2002년 6월 MIT

박사후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사후 연구원
 2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임 강사, 조교수
 2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음
 2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재
 2007년 IEEE 선임회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재
<관심분야> 이동 통신, 통계학적 신호 처리, 적응
신호처리.

김 선 용 (Sun Yong Kim) 종신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 학사 (최
우등)

1993년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학석사

1995년 8월 한국과학기술원 전
자전산학과 박사

1995년 4월~1996년 3월 동경대학교 생산기술연구
소 박사연구원

1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초빙
연구원

1996년 3월~2001년 8월 한림대학교 정보통신공학
부 전임강사, 조교수

2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수,
부교수, 교수

1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상
받음.

1992년~1993년 IEEE Communication Society 장학
금 받음.

대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, IEEE 선임회원
<관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론.