

# 재방송 재밍 환경에서 BOC( $pn,n$ ) 변조된 GNSS 신호를 위한 CP-ARC 기법

## A Combined Pseudo-random Noise Signal Based Advanced Region Correlation Scheme for BOC( $pn,n$ ) Modulated GNSS Signals in Repeat-back Jamming Environment

유 승 수, 염 동 진, 지 규 인, 김 선 용\*  
(Seungsoo Yoo<sup>1</sup>, Dong-Jin Yeom<sup>2</sup>, Gyu-In Jee<sup>1</sup>, and Sun Yong Kim<sup>1,\*</sup>)

<sup>1</sup>Division of Electronics Engineering, Konkuk University

<sup>2</sup>Agency for Defense Development

**Abstract:** This paper proposes a novel code-tracking scheme to track the fine code synchronization for BOC ( $pn,n$ )-modulated global navigation satellite system signals in a repeat-back jamming environment. The correlation function of BOC ( $pn,n$ )-modulated signals has several peaks. The correlation function in the advanced offset region remains almost unchanged due to the repeat-back signals being received later than a line-of-sight signal in the same multipath signal receiving case. Additionally, the combined pseudo-random noise signal can be treated as repeat-back jamming signals, like multipath signals. In this paper, we propose a novel code-tracking scheme utilizing the advantages of using a combined pseudo-random noise signal in the advanced offset region and verify its performance through simulation.

**Keywords:** GNSS, binary offset carrier, code tracking, early minus late delay lock loop, advanced region correlation scheme, and combined pseudo-random noise signal

### I. 서론

GNSS (Global Navigation Satellite System) 수신기는 GNSS 위성신호가 지상 약 20,000 km 상공에서 송신되어 지표면에 도달하면 매우 미약해지기 때문에 다양한 무선주파수 간섭에 매우 취약하다. 특별한 간섭이 없는 GNSS 수신기가 가시 GNSS 위성신호를 수신하는 경우, 일반적인 민간용 GNSS 신호의 전력수준은 열잡음에 비해 약 19dB 낮다. 일반적인 민간용 GNSS 신호는 이를 극복하기 위해 확산신호를 사용하며, GPS (Global Positioning System) L1 C/A(coarse/acquisition) 신호의 경우 확산을 통한 처리이득 (processing gain)은 약 30dB이다. 그러나 이때에도 신호 대 잡음비는 약 11dB이다. 따라서 특별한 신호처리 기법을 사용하지 않는 경우 일반적인 GNSS 수신기는 간섭에 매우 취약하다[1].

간섭은 비의도적인 간섭과 의도적 간섭으로 구분할 수 있으며, 의도적 간섭은 단순 재밍, 기만 재밍, 재방송 재밍

으로 세분할 수 있다. 단순 재밍은 연속파 또는 간헐적 펄스 등 단순한 신호를 민간용 GNSS 신호 대역에 송출하는 재밍이며, 기만 재밍은 정밀한 GNSS 수신기의 항법해를 추정하여, GNSS 신호와 동일한 신호를 이용해 의도한 위치로 GNSS 수신기의 위치해를 기만시키는 고난이도의 재밍이다. 본 논문에서 다루고자 하는 재방송 재밍은 GNSS 수신기 근처에 위치한 재방송 재밍기가 단순히 수신한 GNSS 신호를 GNSS 수신기에 재방송함으로써 GNSS 수신기의 항법해 오차를 증가시키는 재밍이다. 앞서 언급한 세 가지 형태의 의도적 간섭 중 저렴하면서도 효과적인 재밍 방법 가운데 하나가 바로 재방송 재밍이다[2,3].

재방송 재밍을 효과적으로 검출하고 완화하기 위한 가장 효과적인 방법은 빔 성형이 가능한 배열 안테나와 배열 신호처리를 사용하는 방법이다. 그러나 이 방법은 복수 안테나 설치를 위한 GNSS 수신기의 구조적 설계 복잡도가 상당히 높고, 배열 신호처리를 위한 고성능의 처리기가 요구된다. 단일 안테나를 사용하면서도 효과적으로 재방송 재밍에 대응하는 방법 가운데 하나는 [4]에서 제안한 통합 의사잡음(C-PRN: Combined Pseudo-Random Noise) 신호를 사용하는 방법이다. C-PRN 신호는 GNSS 수신기가 정상적으로 추적하고 있다고 판단되는 가시 GNSS 위성신호를 통합해 재구성한 신호로서 C-PRN 신호와 수신신호의 상관을 취하는 경우 재방송 재밍신호를 다중경로 신호처럼 다룰 수 있다[3].

GNSS 수신기에서 다중경로 신호로 인한 항법해의 왜곡 문제는 민간용 GNSS 신호가 공개되고 사용 허가가 난 이

\* Corresponding Author

Manuscript received August 24, 2016 / revised September 6, 2016 / accepted September 22, 2016

유승수, 지규인, 김선용: 건국대학교 전자공학부

(kelvin@konkuk.ac.kr/gijee@konkuk.ac.kr/kimsy@konkuk.ac.kr)

염동진: 국방과학연구소(djyeom@add.re.kr)

※ 본 논문은 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 위성 항법 특화연구센터 사업과 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기본연구지원사업의 지원을 받아 수행되었음 (2015R1D1A1A01059492).

후부터 지금까지 계속 연구 중인 문제 가운데 하나이다. 특히 부호동기 추적을 진행 중인 경우 다중경로 신호는 가시 신호와의 상대적 전력, 시간지연, 위상에 따라 특정한 부호동기 추적편이를 야기한다. 다중경로 영향을 완화하기 위해 많은 연구가 진행된 바 있으며, 이는 크게 다중경로 영향에 강인한 신호 설계와 신호처리 기법으로 구분된다. 최근 10여년 동안 다양한 GNSS에 대한 개발과 맞물려 다중경로 영향에 강인한 신호 설계에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 2016년 현재 다중경로 영향에 강인한 대표적인 신호는 이진천이반송파(binary offset carrier, BOC) 변조된 확산신호이다. 본 논문에서는 편의상 이 신호를 BOC 신호로 부른다. BOC 신호는 적절한 무선통신 대역으로 반송파 변조된 GNSS 신호를 부반송파를 이용해 추가적으로 변조함으로써 주파수 대역 측면에서의 이득뿐만 아니라 시간 축에서 정확한 부호동기 시점인 상관함수의 침두가 침예해지는 장점을 갖고 있다[1,5].

최근 BOC 신호는 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS (Globalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), 유럽 연합의 Galileo, 중국의 BDS (BeiDou navigation Satellite system)의 차세대 GNSS 신호로 채택되었다[6]. [7]에서는 다양한 BOC 신호에 대한 다중경로 영향에 대해 분석하였으며, 이를 통해 BOC 신호가 다중경로 영향을 효과적으로 완화시킬 수 있음을 보였다.

다중경로 신호는 가시 신호에 비해 전파거리가 길기 때문에 GNSS 수신기에서 항상 가시 신호보다 늦게 수신된다. 이를 효과적으로 활용한 기법 가운데 하나는 [8]에서 제안한 이른영역상관(ARC: Advanced Region Correlation) 기법이다. 여기서 이른 영역이란 정확한 부호동기 시점보다 앞선 시점을 의미한다. BOC 신호의 상관함수는 정확한 부호동기 시점을 기준으로 각각 한 칩(chip) 주기 앞선 시점과 처진 시점에 다수의 부침두가 나타난다. ARC 기법은 다중경로 신호의 지연 특성을 활용해 이른영역의 상관값만을 활용해 부호동기를 추적하는 방법이다[8].

앞서 언급한 것처럼 C-PRN 신호를 사용하는 경우 재방송 제밍 신호를 다중경로 신호처럼 다룰 수 있으며, 다중경로 신호는 가시 신호에 비해 항상 지연되어 수신되기 때문에 ARC 기법을 사용하는 경우 다중경로 영향을 효과적으로 완화시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 C-PRN 신호와 BOC 신호에 대한 다중경로 영향 완화에 효과적인 ARC 기법을 결합한 재방송 제밍 환경에서 BOC 변조된 GNSS 신호를 위한 새로운 신호처리 기법을 제안한다. 이를 위해 II장에서는 다중경로 신호 수신 환경을 포함한 재방송 제밍 신호 수신 신호 모형을 정리하고, BOC 신호의 다중경로 영향 완화를 위한 ARC 기법을 요약한다. 이어 III장과 IV장에서는 C-PRN 신호를 ARC 기법에 적용한 새로운 재방송 제밍 영향 완화 기법을 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 분석한다. V장에서는 제안한 기법의 성능

을 요약하고 맺는다.

II. 신호 모형과 ARC 기법

본 논문에서 고려하는 다중경로 신호 수신 환경을 포함한 재방송 제밍 신호 수신 신호 모형은 다음과 같다.

$$r(t) = s(t) + j(t) + \eta(t) \tag{1}$$

여기서  $s(t)$ 는 식 (2)와 같은 다중경로 신호를 포함한 수신된 GNSS 신호 성분,  $j(t)$ 는 식 (4)와 같은 재방송 제밍 신호 성분,  $\eta(t)$ 는 열잡음이다.

$$s(t) = \sum_{v=1}^V \sum_{m=0}^M \alpha_{v,m} R_v(t - T_{v,m}) \cos(\phi_{v,m}) \tag{2}$$

여기서  $V$ 는 GNSS 수신기 위치에서 수신 가능한 GNSS 위성 신호의 수,  $M$ 은 다중경로 신호의 수,  $\alpha_{v,m}$ 은  $v$ 째 GNSS 위성의 가시 경로로 수신된 신호를 기준으로  $m$ 째 경로로 수신된 신호의 상대적 진폭,  $R_v(\tau)$ 는 식 (3)과 그림 1과 같은 BOC( $pn,n$ ) 신호의 상관함수,  $T_{v,m}$ 은  $v$ 째 GNSS 위성의 가시 신호를 기준으로  $m$ 째 경로로 수신된 신호의 상대적 수신 시간,  $\phi_{v,m}$ 은  $v$ 째 GNSS 위성의 가시 신호를 기준으로  $m$ 째 경로로 수신된 신호의 상대적 위상이다. 본 논문에서  $m=0$ 인 경우 가시 신호를 의미한다. 식 (3)에서  $\tau$ 는  $(T_{v,m} - T_{v,0})$ 이고,  $k = \text{ceil}\left\{\frac{2p|\tau|}{T_C}\right\}$ ,  $\text{ceil}(x)$ 는  $x$ 를 가장 가까운 정수로 올림하는 함수,  $T_C$ 는 칩 주기이다.

$$j(t) = \sqrt{J} \{s(t - T_J) \cdot \cos(\phi_J) + \eta_J(t)\} \tag{4}$$

여기서  $J$ 는 재방송 제밍 신호의 전력,  $T_J$ 와  $\phi_J$ 는 GNSS 수신기와 재방송 제밍기 사이의 물리적 거리에 따른 전파 상대적 지연시간과 위상,  $\eta_J(t)$ 는 재방송 제밍기 내부에서 더해진 열잡음이다.

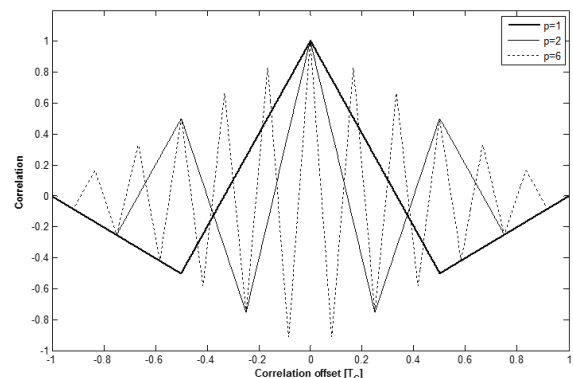


그림 1. BOC( $pn,n$ ) 변조된 GNSS 신호의 자기상관 함수들[8].  
Fig. 1. Autocorrelation functions for BOC( $pn,n$ ) modulated GNSS signals [8].

$$R_v(\tau) = \begin{cases} (-1)^{k+1} \left[ \frac{1}{p} (-k^2 + 2kp + k - p) - (4p - 2k + 1) \right] \frac{|\tau|}{T_C}, & |\tau| \leq T_C \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \tag{3}$$

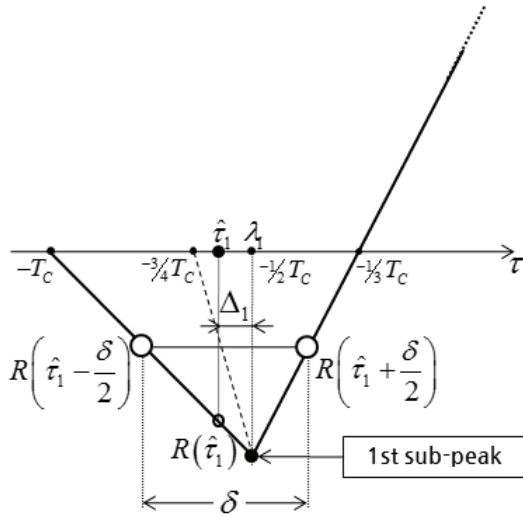


그림 2. BOC(1,1) 신호의 이른상관영역 부침두와 비대칭보상 상수[8].

Fig. 2. Sub-peak in advanced correlation region for BOC(1,1) signal and its asymmetric compensation constant [8].

BOC( $pn, n$ ) 신호에서  $p$ 는 변조율이고,  $n$ 은 기본 주파수와 BOC 부반송과 주파수의 비이다[5,7]. 그림 1처럼  $p$ 가 커질수록 정확한 부호동기 시점에 나타나는 상관함수의 침두가 첨예해지며, 정확한 부호동기 시점을 기준으로 이른 영역과 늦은 영역에 더 많은 부침두가 나타난다. [7]처럼 정확한 부호동기 시점에 나타나는 상관함수의 침두가 첨예할수록 다중경로 신호에 의한 상관함수 왜곡이 줄어든다. 그러나 [9]처럼 부호동기 추적 시 모호성이 증가한다.

[8]에서 제안한  $p=1$ 인 BOC(1,1) 신호를 위한 ARC 기법의 구성은 식 (5)와 그림 2와 같다.

$$\hat{\tau} = \arg_{\tau} \left\{ R_v \left( \tau_1 - \frac{\delta}{2} \right) - R_v \left( \tau_1 + \frac{\delta}{2} \right) \right\} = 0 - \lambda_1 + \Delta_1 \quad (5)$$

여기서  $\arg_y(\cdot)$ 는 인자가 참이기 위한  $y$  값을 출력하는 함수,  $\hat{\tau}_1$ 은 추적 중인 첫째 이른상관영역 부침두의 부호동기 시점,  $\delta$ 는 [2]에서 언급한 가장 일반적인 GNSS 수신기의 부호동기 추적기법인 이른-늦은 판별기 기반 지연결정 루프의 이른 상관기와 늦은 상관기의 간격,  $\lambda_1$ 은  $-l/(2p)$ 인  $l$ 째 부침두의 정확한 부호동기 시점을 기준으로 상대적 상관오프셋,  $l=0, 2, \dots, 2p$ ,  $\Delta_1$ 은 [8]에서 언급한 첫째 이른영역 상관가치에 적합한 비대칭보상 상수이다. [8]처럼 ARC 기법은 이른영역의 상관함수를 사용해 부호동기 시점을 추적하기 때문에 다중경로 영향을 효과적으로 줄일 수 있다.

### III. 제안한 기법

앞서 언급한 것처럼 ARC 기법은 이른영역의 상관함수를 사용해 부호동기 시점을 추적하기 때문에 다중경로 영향에 덜 영향을 받는다. 그러나 [8]에서 언급한 바와 같이 침두가 아닌 부침두를 활용하기 때문에 신호 대 잡음비 기준으로 잡음에 취약하다.  $p=1$ 인 BOC(1,1) 신호를 사용하는 경우 이른영역 부침두의 수  $L$ 은 1이며, 침두에 비해 부침두

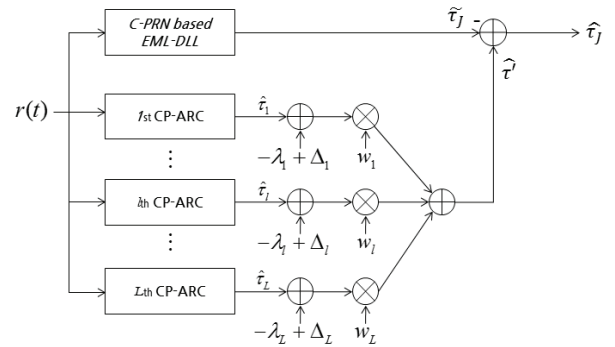


그림 3. 제안한 기법의 구성.

Fig. 3. Configuration of the proposed scheme.

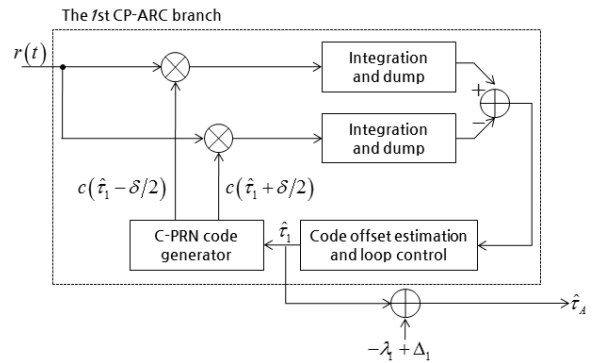


그림 4. 첫째 CP-ARC의 세부 구성.

Fig. 4. Detailed configuration of the 1<sup>st</sup> CP-ARC.

는 -3 dB 작다. 따라서 잡음이 강한 환경, 특히 재방송 제밍 환경처럼 재방송되는 GNSS 신호뿐만 아니라 재방송 제밍기의 잡음도 함께 증폭되어 재방송되는 경우 잡음에 의한 취약성은 큰 단점으로 작용한다. 그러나 [4]에서 언급한 것처럼 C-PRN 신호를 사용하는 경우 GNSS 수신기에서 C-PRN 신호를 생성하기 위해 만든 가시 GNSS 위성 수에 따라 추가적인 이득을 얻을 수 있으며, 일반적인 북반구에서는  $V$ 가 8인 지역이 대부분이므로 이때 모든 가시 GNSS 위성 신호를 사용하면 약 9 dB의 추가적인 이득을 얻을 수 있다. 또한 [6]처럼 다양한 GNSS 신호가 지구 거의 대부분에서 모두 수신되는 2020년 이후에는 북반구 임의 위치에서의 가시 GNSS 위성 수가 약 40개를 넘을 것으로 예상되기 때문에 향후 BOC 신호를 사용하는 다양한 GNSS를 고려할 때 그림 3과 그림 4와 같이 다중경로 신호가 존재하는 재방송 제밍 환경에서 C-PRN 신호를 사용하는 ARC (combined pseudo-random noise signal based advanced region correlation, CP-ARC) 기법을 제안한다.

그림 3에서  $\tilde{\tau}_j$ 는 C-PRN 신호를 [2]에서 언급한 가장 일반적인 GNSS 수신기의 부호동기 추적기법인 이른-늦은 판별기 기반 지연결정루프(EML-DLL: Early-Minus-Late Discriminator based Delay Lock Loop)에 적용해 얻은 재방송제밍 신호의 의해 왜곡된 부호동기 추정치,  $\hat{\tau}$ 은 CP-ARC 기법으로 추정된 재방송제밍 영향을 덜 받는 이른영역 상관값으로부터 추정된 부호동기 추정치,  $\hat{\tau}_j$ 는 이를 통해 추

정한 가시 GNSS 신호를 기준으로 한 재방송 재밍 신호의 상대적 부호동기 시점이다. 제안한 기법을 통해 얻은  $\hat{\tau}_J$ 를 각 가시 GNSS 위성신호에 대한 부호동기 추정 후 보정치로 활용하면 재방송 재밍에 대한 영향을 효과적으로 완화시킬 수 있다. [2]에서 언급한 가장 일반적인 GNSS 수신기의 부호동기 추적기법인 EML-DLL은 이진위상천이신호(binary phase shift keying) 기반 상관함수 또는 BOC 기반 상관함수의 주침두의 대칭성을 활용한 부호동기추적기법으로서 열잡음이 없고, 추가적인 왜곡이 없는 이상적인 수신환경에서 상관함수의 개형이 정확한 동기시점이 위치한 주침두를 중심으로 완벽히 좌우 대칭인 점을 활용한 기법이다.

그림 3처럼 제안한 기법은 1째 CP-ARC 가지 말단의 가중치  $w_1$ 에 따라 특정 CP-ARC 가지의 추정 값을 사용하거나 전체 CP-ARC 가지의 추정 값을 가중합해 사용할 수 있다. [3]에서 언급한 것처럼 C-PRN 신호를 사용하는 경우 재방송 재밍 신호는 다중경로 신호와 동일하게 취급할 수 있으므로 상세한  $w_1$ 의 설정방법은 [8]에서 언급한 바와 같다. 그림 4의 기본 구조는 구조이며, 여기에 C-PRN 부호생성기와 비대칭보상 상수와 1째 이븐부침두의 정확한 부호동기 시점을 기준으로 한 상대적인 부호동기 편이 가산이 추가되어 있다.

정리하면, [8]에서 제안한 ARC 기법은 다중경로영향완화를 위해 제안된 방법으로 본 논문에서 고려한 재방송 재밍 완화를 위해 직접 적용할 수 없다. 이를 위해 본 논문에서는 ARC 기법의 DLL 구조에서 사용하는 확산신호로 일반적인 단일 GNSS 채널의 확산신호에서 C-PRN 확산신호로 대체해 ARC 기법을 재방송재밍 영향 완화를 위해 사용할 수 있도록 개선하였으며, 이를 CP-ARC 기법으로 명명하였다. [4]처럼 C-PRN 신호는 현재 (또는 재방송재밍 신호가 수신되기 직전에 정상적인) 수신신호의 부호, 주파수, 위상 정보를 활용해 각 채널의 확산신호를 통합해 생성한 신호로서, 수신기에서 이 신호를 역확산을 위한 확산신호로 사용하면 재방송 재밍 신호를 단순한 다중경로 신호처럼 취급할 수 있다.

IV. 모의실험 및 분석

제안한 기법의 성능 분석을 위해 다중경로 신호와 열잡음이 없는 이상적인 채널환경에서 단일 재방송재밍 신호만 수신될 때를 고려하였다. 그리고  $p=1$ 인 BOC(1,1) 신호를 고려했으며, 확산수열의 길이는 1,023, 칩 주파수는 1.023MHz,  $\delta=0.25 T_C$ 로 설정하였다. [1]에서 언급한 것처럼 GNSS 신호의 통신물리계층은 직접수열대역확산(DS/SS: Direct Sequence/Spread Spectrum) 체계를 사용한다. DS/SS 체계는 확산과 역확산을 통해 처리이득(processing gain)을 얻을 수 있다. 다만 이를 위해서는 정확한 동기유지가 필수적이다. DS/SS 체계는 체계의 이름처럼 정확한 동기유지를 위해 직접수열을 사용한다. 직접수열은 의사잡음신호(pseudo-random-noise signal)를 구성하며, 이 신호의 이상적인 특징은 정확한 동기시점을 기준으로  $\pm 1$ 칩 이내에서만 상관값이 나타나고 이외에서는 상관값이 나타나지 않는다. 그러나 이상적인 특징을 얻기 위해서는 의사잡음신호의 길

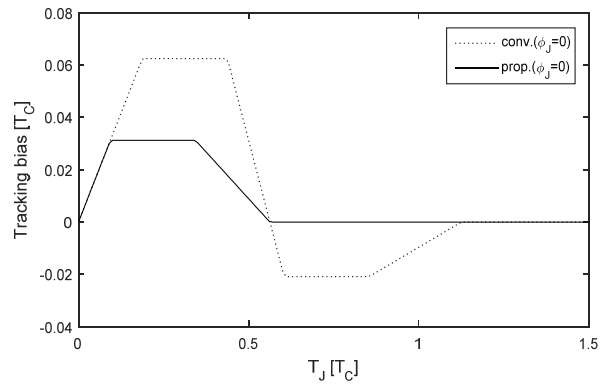


그림 5. 단일 재방송재밍 환경에서  $\phi_J=0$ 일 때, 기존 기법과 제안한 기법의 부호동기 추적편이 (JSR = -3dB).

Fig. 5. Code tracking bias of the conventional and the proposed schemes in single repeat-back jamming environment (JSR = -3dB).

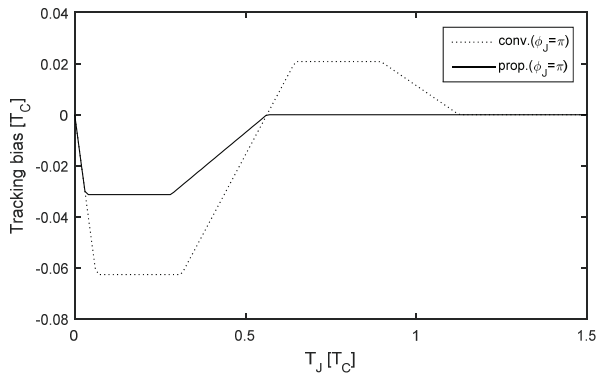


그림 6. 단일 재방송재밍 환경에서  $\phi_J=\pi$ 일 때, 기존 기법과 제안한 기법의 부호동기 추적편이 (JSR = -3dB).

Fig. 6. Code tracking bias of the conventional and the proposed schemes in single repeat-back jamming environment (JSR = -3dB).

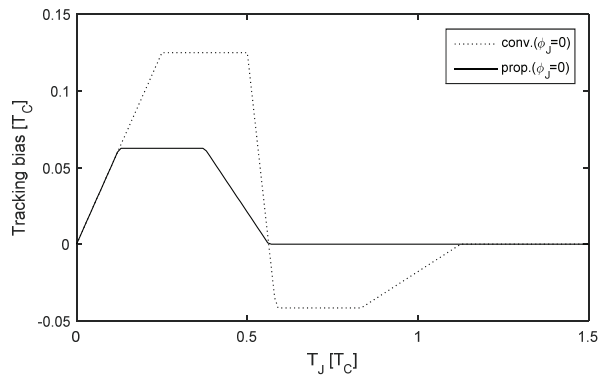


그림 7. 단일 재방송재밍 환경에서  $\phi_J=0$ 일 때, 기존 기법과 제안한 기법의 부호동기 추적편이 (JSR = 0dB).

Fig. 7. Code tracking bias of the conventional and the proposed schemes in single repeat-back jamming environment (JSR = 0dB).

이 무한대가 되어야 하지만 이를 구현할 수 없기 때문에 GNSS에서는 1023 또는 10230 길이의 처리 가능한 수준에서 가능한 긴 길이의 수열을 사용한다. 이렇게 긴 수열을 사용하는 경우 1칩 이상에서 상관값은 완벽한 0은 아니지만 길이의 역수로 나타나기 때문에 그 값은 아주 작다. 따라서 DS/SS 체계를 사용하는 경우 1칩 이상 떨어진 확산신호의 상관을 취하면 서로의 상관값을 완벽히 구분할 수 있으며, 특히, 재방송재밍신호의 경우 가시신호를 지연송출하기 때문에 (1칩 이상 벌어지고, 비가시환경이 아닌 경우) 제일 첫째 상관함수의 첨두값은 정확한 동기시점에서 나타난다. 이상의 이유를 근거로 본 논문에서는 가시신호와 재방송재밍신호의 상대적 시간차  $T_J$ 가  $1.5T_C$  이내일 때만 고려한다.

재밍 대 신호 전력비(JSR: Jamming to Signal power Ratio)가 -3, 0, +6 dB 일 때, 단일 재방송재밍 환경에서 기존 기법과 제안한 기법을 사용해 부호동기를 추정했을 때 야기되는 부호동기 추적편이는 각각 그림 5 - 그림 8과 같다.

그림 5와 그림 6은 각각 JSR이 -3 dB일 때 GPS 신호와 재방송재밍 신호의 위상이 같을 때와 정 반대일 때의 부호동기 추적편이다. 그림 5와 그림 6의 결과에서 기존 기법의 부호동기 추적편이는 열잡음이 없는 단일 다중경로 채널을 통해 수신한 BOC(1,1) 신호를 EML-DLL로 추적했을 때 위상에 따라 야기되는 부호동기 추적편이와 같다. [7]과 [8]처럼 다중경로 신호에 의한 EML-DLL의 영향을 판단할 때는 추적 오차 포락선으로도 언급되는 부호동기 추적편이가 주요한 성능 평가 지표이며, 이때 기준이 되는 환경은 단일 다중경로 신호에서 가시신호와 다중경로신호의 전력비가 -3dB인 경우이다. 이 결과와 비교를 위해 유사한 설정에서 가시신호와 재방송재밍신호의 상대적 위상이 같을 때와 정 반대일 때의 기존 기법인 EML-DLL 기법과 제안한 CP-DLL 기법의 부호동기 추적편이를 보였다. 그림 5와 그림 6에서 부호동기 추적편이는 서로 반대로 야기된다. 이는 합성되는 두 신호의 위상차에 의한 것이다. 그리고 그림 5에서 기존 기법으로 고려한 EML-DLL 기법의 부호동기 추적편이는 양의 추적편이에 이어 음의 추적편이가 나타나는데, 이는 그림 1처럼 BOC(1,1) 신호의 상관함수에서 첨두와 첫째 부첨두의 위상이 서로 반대이기 때문이다. 그러나 제안한 CP-ARC 기법은 이른 부첨두만을 사용하기 때문에 ( $0.5T_C + 0.25\delta$ ) 이내에서만 부호동기 추적편이가 야기되며, 이외 영역에서는 재방송재밍 신호의 상관함수에 의해 이른영역 부첨두 주변 상관함수가 왜곡되지 않기 때문에 추가적인 부호동기 추적편이가 야기되지 않는다.

그림 5, 그림 7, 그림 8은 JSR이 각각 -3, 0, 6dB이고, 가시신호와 재방송재밍신호의 상대적 위상이 동일할 때의 설정한 환경 하에서 기존 기법과 제안한 기법의 부호동기 추적편이다. 그림 5, 그림 7, 그림 8에서 확인할 수 있는 것처럼 JSR이 커질수록 부호동기 추적편이도 커진다. 그러나 [8]의 결과와 같이 제안한 기법 또한 이른영역 부첨두만을 사용해 부호동기를 추적하기 때문에 기존 기법에 비해 약 절반의 부호동기 추적편이만 야기되며, 부호동기 추적편이

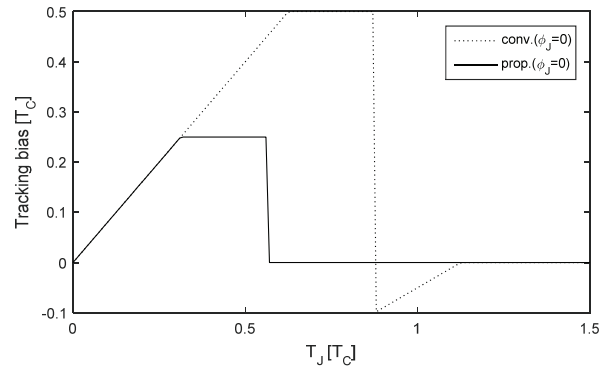


그림 8. 단일 재방송재밍 환경에서  $\phi_J = 0$ 일 때, 기존 기법과 제안한 기법의 부호동기 추적편이 (JSR = 6dB).

Fig. 8. Code tracking bias of the conventional and the proposed schemes in single repeat-back jamming environment (JSR = 6dB).

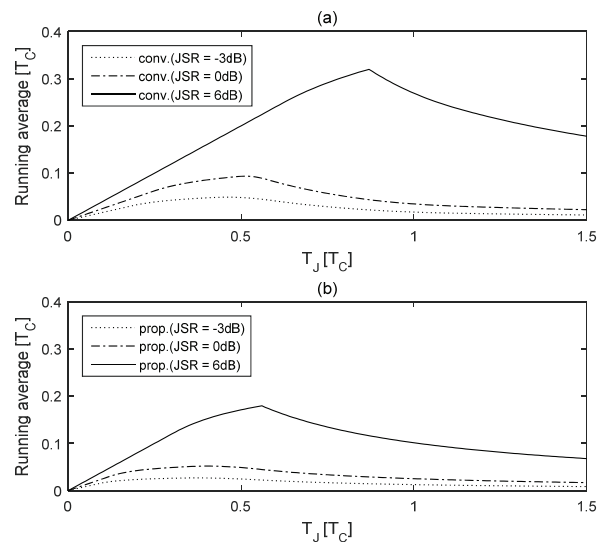


그림 9. 단일 재방송재밍 환경에서  $\phi_J = 0$ 일 때, JSR에 따른 (a) 기존 기법과 (b) 제안한 기법의 부호동기 추적편이의 유동평균.

Fig. 9. Running average of code tracking bias of (a) the conventional and (b) the proposed schemes in single repeat-back jamming environment according to JSR.

가 야기되는 영역 또한 좁다. 또한 제안한 기법은 C-PRN 신호를 사용하기 때문에 [8]에서 언급한 것처럼 부첨두를 사용하기 때문에 발생하는 3dB의 신호전력 손실을 충분히 만회할 수 있다.

[1,8]처럼 가시신호를 왜곡하는 성분이 수신될 때 부호동기 추정 시 야기되는 영향을 판단하기 위한 효과적인 지표는 부호동기 추적편이와 이를 유동평균(runngin average)한 값이다. 그림 5, 그림 7, 그림 8에서 보인 부호동기 추적편이의 유동평균은 그림 9와 같다.

그림 9(a)는 기존 EML-DLL 기법, 그림 9(b)는 제안한 CP-ARC 기법을 사용한 경우의 부호동기추적편이의 유동평

균이다. [1,2]처럼 부호동기 추적편이는 DLL이 부호동기 추적편이를 결정했을 때의 영향만을 보여주는 것에 비해 부호동기 추적편이의 유동평균은 부호동기 추적루프가 부호동기를 추적하는 동안 야기되는 왜곡 성분에 따른 영향을 보여준다. 부호동기 추적편이와 같이 그 유동평균 또한 그 크기가 작을수록 왜곡이 덜함을 뜻한다. 그림 9에서 확인할 수 있는 것처럼 가시신호와 함께 단일 재방송재밍 신호가 수신되는 경우 기존 EML-DLL 기법을 사용하는 경우에 비해 제안한 CP-ARC 기법을 사용한 때의 유동평균의 최고값이 절반이하임을 확인할 수 있다. 또한  $T_J$ 가  $0.5 T_C$  이하인 영역에서도 기존 기법의 유동평균에 비해 제안한 기법의 유동평균이 낮음을 확인할 수 있다. 이로부터 제안한 기법이 단일 재방송재밍의 영향을 기존 기법에 비해 효과적으로 완화시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 재방송 재밍 환경에서 BOC 변조된 GNSS 신호를 위한 부호동기 추적기법을 제안하였다. BOC 변조된 GNSS 확산신호는 정확한 상관웁셋에서 나타나는 주침두와 여러 부침두를 갖고 있다. 다중경로 신호와 마찬가지로 재방송 재밍 신호도 항상 가시 GNSS 신호보다 지연되어 수신된다. 따라서 여러 부침두 가운데 다중경로 신호의 영향을 덜 받는 것으로 알려진 이른영역 부침두를 사용해 부호동기를 추적한다면 기존 부호동기 추적기법보다 재방송 재밍 환경에서 효과적으로 부호동기를 추적할 수 있다. 본 논문에서는 재방송 재밍신호를 다중경로 신호처럼 처리하고, 이에 대한 이른영역 부침두를 이용해 부호동기를 추적하는 통합 의사잡음 신호를 사용한 이른영역 부호동기 추적기법을 제안하였으며, 모의실험을 통해 가장 일반적인 GNSS 수신기의 부호동기 추적기법인 EML-DLL을 사용하는 경우에 비해 부호동기 추정오차가 효과적으로 줄어드는 것을 확인하였다. 본 논문에서 모의실험에서  $p=1$ 인 BOC(1,1) 신호를 사용하는 GNSS 수신기에 가장 단순한 다중경로 모형인 2선 모형과 단일 재방송 재밍 환경만을 고려하였다. 추후에는 다양한 BOC 신호와 LMSS (Land Mobile Satellite System) 채널과 같은 실제 환경과 유사한 채널 등을 고려한 다양한 환경에서의 제안한 기법의 성능을 평가하고, 이를 보완하는 연구를 진행할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, 2nd Edition, Artech House, Norwood, MA, 2006.
- [2] F. Dovis, *GNSS Interference Threats and Countermeasures*, Artech House, Norwood, MA, 2015.
- [3] S. Y. Kim, C. Ho Kang, and C. G. Park, "Station based detection algorithm using an adaptive fading Kalman filter for ramp type GNSS spoofing," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 21, no. 3, pp. 283-289, Mar. 2015.

- [4] S. Yoo, D.-J. Yeom, G.-I. Jee, and S. Y. Kim, "A successive repeat-back jamming cancellation scheme using a combined-PRN signal to mitigate repeat-back jamming for GNSS receivers," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 10, pp. 1073-1078, Oct. 2014.
- [5] J. W. Betz, "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *Navigation*, vol. 48, no. 4, pp. 227-246, Winter 2001.
- [6] A. J. van Darendonck, "New GNSS signals: Will modern also be better?," *Inside GNSS Magazine*, vol. 9, no. 2, pp. 42-43, Mar.-Apr. 2014.
- [7] M. Fantino, G. Marucco, P. Mulassano, and M. Pini, "Performance analysis of MBOC, alt BOC and BOC modulations in terms of multipath effects on the carrier tracking loop within GNSS receivers," *Proceedings on IEEE/ION Position, Location, and Navigation Symposium*, CD-ROM, Monterey, CA, May 2008.
- [8] S. Yoo, Y. Lee, Y. Kim, S. Yoon, and S. Y. Kim, "A generalized advanced region correlation (G-ARC) scheme for BOC( $pn,n$ ) modulated code tracking in GNSS," *The Journal of The Korean Institute of Communication Science (in Korean)*, vol. 34, no. 3, pp. 329-340, Mar. 2009.
- [9] K. Chae, S. Ro Lee, H. Liu, S. Yoo, S. Y. Kim, G.-I. Jee, D.-J. Yeom, and S. Yoon, "A novel unambiguous composite binary offset carrier(6,1,1/11) tracking based on partial correlations," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 50, no. Feb-2016, pp. 54-66, Feb. 2016.



### 유 승 수

2003년 건국대학교 전자정보통신공학부 졸업. 2005년 동 대학원 공학석사. 2010년 동 대학원 공학박사. 2010년~2011년 건국대 2단계 BK21 위성항법시스템 수신기 기술 연구팀 박사후연구원. 2011년~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 조교수. 관심분야는 통계학적 신호처리, GNSS 수신기 신호처리, GNSS 항재밍 신호처리 등.



### 염 동 진

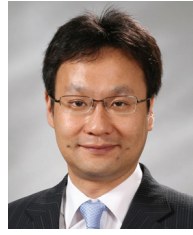
1991년 충남대학교 전자공학과 졸업. 1993년 동 대학원 공학석사. 1993년~현재 국방과학연구소 책임연구원. 관심분야는 능동 위상배열 레이더 시스템, 신호처리 등.



**지 규 인**

1982년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1984년 동 대학원 제어계측공학과 공학석사. 1989년 Case Western Reserve University 공학박사. 1992년~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 교수. 관심분야는 GPS/INS 결합방법, GPS 수

신기 신호처리, 무선측위, Software GPS, GPS 항재밍 신호처리 등.



**김 선 용**

1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(최우등). 1993년 동 대학원 공학석사. 1995년 동 대학원 공학박사. 1996년~2001년 한림대학교 정보통신공학부 조교수. 2001년~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 교수. 관심분야는 통계학적 신호처리, 이동통신시스템, 통신이론, GPS 항재밍 신호처리 등.

신기 신호처리, 무선측위, Software GPS, GPS 항재밍 신호처리 등.