

# GNSS 수신기의 C-PRN 신호 기반 재방송재밍 완화기법

## A Successive Repeat-back Jamming Cancellation Scheme Using a Combined-PRN Signal to Mitigate Repeat-back Jamming for GNSS Receivers

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:** In this paper, an effective repeat-back jamming (RBJ) mitigation scheme known as successive repeat-back jamming cancellation (SRC) is proposed for the utilization of the successive interference cancellation (SIC) algorithm which is used to mitigate the near-far effect and the multiple-access interference for code division multiple-access communication systems. The proposed scheme uses a combined pseudo-random noise (C-PRN) signal from the estimated major parameters of RBJ signals. To evaluate the performance of the proposed scheme, the root mean squared (RMS) code tracking errors are shown according to the standard deviation of the parameter estimation errors of an RBJ signal, and using the well-known major parameters estimation schemes with a C-PRN signal through Monte-Carlo simulation.

**Keywords:** GNSS, repeat-back jamming, jamming mitigation, combined pseudo-random noise signal, successive interference cancellation, successive repeat-back jamming cancellation

### I. 서론

최근 영국 RAE (the Royal Academy of Engineering)는 보고서를 통해 ‘현재 금융시장은 공정한 거래를 위한 국제적 시각 동기 시스템으로 GPS (Global Positioning System)의 시각정보(time stamp)를 활용하고 있으며, 만약 매수매도 시각 체계에 문제가 발생한다면 금융시장에 큰 혼란이 야기될 수 있다’고 발표한 바 있다. 이처럼 GNSS (Global Navigation Satellite System)는 사회 및 생활 전반에 폭넓게 활용되고 있다. 그러나 잘 알려진 것처럼 GNSS 신호는 지표면으로부터 약 22,000km 이상에 위치한 GNSS 위성으로부터 송신되기 때문에 지상에 도달하는 신호세기는 매우 미약하다. 반면 GNSS 재밍기(jammer)는 매우 저렴하고, 손쉽게 구입할 수 있으며, 상용 신호 특성 등이 모두 공개되어 있어 간단한 GNSS에 대한 이해만 있으면 누구나 쉽게 GNSS 수신기를 재밍(jamming)할 수 있다. 이처럼 현재 GNSS는 재밍 위협에 광범위하게 노출되어 있다[1].

재밍의 종류는 단순재밍, 기만(spoofing), 재방송재밍

(repeat-back jamming, RBJ)으로 구분할 수 있다. 단순재밍은 앞서 언급한 저렴한 재밍기에서 주로 사용하는 재밍방법으로 연속파나 펄스형태의 단순한 신호를 사용해 GNSS 수신기의 올바른 신호수신을 방해하는 재밍이다. 기만은 가장 고도화된 재밍의 한 형태로서 GNSS 신호와 거의 유사한 신호를 별도로 생성해 GNSS 수신기의 위치를 기만기가 원하는 위치로 오인하도록 조작하는 재밍이다. RBJ는 GNSS 수신기 근처에 위치한 재방송재밍기에서 GNSS 신호를 수신한 후 이를 특별한 처리 없이 재방송하여 GNSS 수신기의 위치해에 일정한 편향(bias)을 야기하거나 재방송재밍기의 위치로 특정하게 하는 재밍이다[2,3]. 본 논문에서는 이 가운데 RBJ에 초점을 맞춘다.

잘 알려진 RBJ 대응 방법은 배열안테나(array antenna)를 활용하는 것이다. 다른 재밍기들도 마찬가지로 재방송재밍기도 주로 지상에 위치한다. 따라서 상대적 위치를 알고 있는 배열안테나로부터 RBJ 신호의 수신입사각을 알아낼 수 있으며, 이 방향에 대한 정보로부터 배열안테나를 사용하는 GNSS 수신기는 배열안테나의 이득을 크게 낮춰 특정 입사각으로부터 수신되는 RBJ 신호를 완화 및 제거할 수 있다. 이와 유사한 방법으로 GD (Gradient-Descent) 기법, 시공간(space-time) 적응신호처리 기법, 빔포밍(beam forming) 기법 등이 있다. 그러나 배열안테나의 부피가 크기 때문에 소형 GNSS 수신기에 적용하기 어려운 단점이 있다[4]. 최근 이를 개선하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 괄목할만한 결과 가운데 하나는 [5]이다. [5]에서는 단일안테나를 사용하면서도 IMU (Inertial Measurement Unit)와 같은 보조 장치들을 통해 재밍이 일어나는 시점 이후의 상대적 위

\* Corresponding Author

Manuscript received June 11, 2014 / revised June 30, 2014 / accepted July 4, 2014

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 위성항법 특화연구센터 사업, 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2012R1A1A 2004944).

치이동에 대한 정보를 얻고, 각 시간 별로 아는 위치라고 판단되는 위치에서 수신된 신호를 배열안테나로 수신한 신호처럼 취급해 처리함으로써 RBJ 신호를 완화 또는 제거한다. 그러나 이 방법은 IMU로부터 얻은 보조정보의 오차가 큰 경우 적용하기 성능이 크게 열화되며, 배열신호처리로 인해 구현이 어렵다. 본 논문은 단일안테나를 사용하면서 IMU 같은 보조 장치가 필요 없는 새로운 RBJ 완화기법 설계에 초점을 맞춘다.

본 논문은 서론에 이어 RBJ 수신신호모형과 단일안테나에서 RBJ 신호의 효과적 신호처리를 위해 사용할 예정인 [6]에서 제안한 C-PRN (Combined-Pseudo Random Noise) 신호특성을 설명한다. III 장에서는 C-PRN 신호와 함께 [7-9]에서 제안한 SIC (Successive Interference Cancellation) 기법을 소개하고, 이를 응용해 새로운 RBJ 완화기법을 제안한다. 그리고 IV 장에서는 주요 매개변수 추정치의 오차를 정규분포로 가정했을 때 임의의 표준편차에 따른 RMS (Root Mean Square) 부호동기추정오차 경향을 분석하고, C-PRN을 활용한 주요 매개변수 추정을 위해 [10,11]에서 보인 대표적인 주요 매개변수 추정기법인 NWPR (Narrowband and Wideband Power Ratio) 기법, ELP (Early-minus-Late Power) DLL (Delay Locked Loop), FQATML (Four-Quadrant Arc-Tangent Maximum Likelihood estimator) PLL (Phase Locked Loop), FQATML FLL (Frequency Locked Loop)을 사용했을 때 제안한 기법의 RMS 부호동기추정오차를 보이고, 이를 분석한다. 끝으로 V 장에서는 제안한 RBJ 완화 기법의 특징을 정리하고 맺는다.

## II. 수신신호모형과 C-PRN 신호특성

$N$ 개의 가시위성과 단일 재방송재밍기가 있을 때 기저대역 수신신호 모형은 식 (1)과 같다. 식 (1)에서  $S_i$ ,  $d_i$ ,  $c_i$ 는 각각  $i$ 번째 GNSS 위성신호의 수신전력, 항법정보, PRN (Pseudo-Random Noise) 신호,  $\tau_i$ ,  $f_i$ ,  $\theta_i$ 는 각각  $i$ 번째 GNSS 위성으로부터 수신기까지의 전파지연시간, 주파수편이, 위상편이,  $A_j$ 는 수신된 전력이  $J$ 인 수신된 RBJ 신호의 진폭,  $\tau_j$ ,  $f_j$ ,  $\theta_j$ 는 각각 재방송재밍기에서 수신기까지의 전파지연시간, 주파수편이, 위상편이,  $\tilde{\tau}_i$ ,  $\tilde{f}_i$ ,  $\tilde{\theta}_i$ 는 각각  $i$ 번째 GNSS 위성에서 재방송재밍기까지의 전파지연시간, 주파수편이, 위상편이,  $n_j(t)$ 는 재방송재밍기에서 유입된 AWGN (Additive White Gaussian Noise),  $n(t)$ 는 수신기에서 유입된 AWGN이다. 본 논문에서는 재방송재밍기와 수신기 위치 사이의 거리는 매우 가까우며, 고정되어 있는 경우만 고려한다. 일반적으로 부호추적에 영향을 주기 위해서는 수신기로부터 확산신호의 한 칩(chip) 이내 거리에 재방송재밍기가 위치해야 하며, GPS L1 C/A (Coarse/Acquisition) 신호의 경우 한 칩 거리는 약 300m이다. GPS 위성과 같은 중간궤

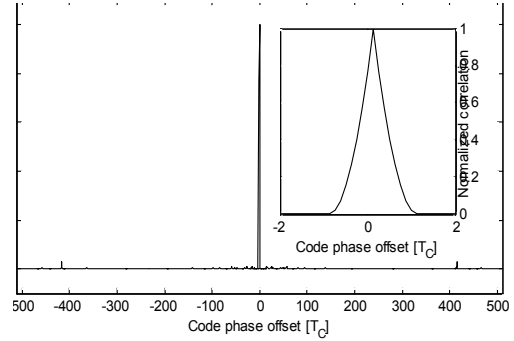


그림 1. 한 C-PRN 신호의 정규화된 비동기 자기상관값 [6].

Fig. 1. Normalized non-coherent autocorrelation values for a C-PRN signal [6].

도위성의 고도는 지표면에서 약 22,000km이므로, 이와 같은 경우  $\tau_j$ ,  $f_j$ ,  $\theta_j$ 와  $\tilde{\tau}_i$ ,  $\tilde{f}_i$ ,  $\tilde{\theta}_i$ 의 차이는 미미하며, 본 논문에서는 같은 것으로 간주한다.

[6]에서 제안한 C-PRN 신호는 수신기에서 현재 정상적으로 추적하고 있다고 판단한 GNSS 신호를 사용해 생성한다. 수신기는 C-PRN 신호를 생성하기 위해 먼저 현재 추적하고 있는 GNSS 신호의 진폭, 전파지연시간, 주파수편이, 위상편이를 추정하고, 이를 사용해 C-PRN 신호를 생성한다. [10]처럼 PRN 신호는 교차상관도가 낮기 때문에 각 PRN 신호의 진폭, 전파지연시간, 주파수편이, 위상편이를 설정해 재생성한 PRN 신호의 단순한 합으로 쉽게 C-PRN 신호를 생성할 수 있다. 일반적인 GNSS 수신기는 측위해를 도출하기 위해 각 PRN 신호의 진폭, 전파지연시간, 주파수편이, 위상편이를 실시간으로 추정하기 때문에 C-PRN 신호 생성을 위한 별도의 추정기는 필요 없으며, 단지 해당 추정치로부터 C-PRN 신호를 합성하기 위한 기능만이 추가된다. 의미있는 C-PRN 신호 생성을 위해서는 최소 4개 이상의 GNSS 신호에 대한 주요 추정값이 필요하며, 최대 가시 GNSS 위성의 수까지 합성할 수 있다. C-PRN 신호 생성을 위해 사용한 PRN 신호의 수가 많을수록 GNSS 신호와 RBJ 신호의 구분이 뚜렷해진다. 구체적인 C-PRN 신호의 특성에 대해서는 추후 별도의 주제로 연구를 수행할 예정이다. 우선 본 논문에서는 [6]처럼 4개 GPS 위성의 PRN 신호를 결합한 C-PRN 신호를 고려한다. 고려한 C-PRN 신호의 정규화된 비동기(non-coherent) 상관값은 그림 1과 같다. 그림 1의 우측 작은 창은 상관값의 첨두 주변을 확대해 다시 그린 것이고,  $T_c$ 는 C-PRN 신호의 칩주기이다. 그림 1에서 보인 것처럼 상관값의 개형은 한 PRN 신호의 상관값의 개형과 크게 다르지 않으며, C-PRN 생성을 위해 사용한 한 PRN 신호의 PRNR (Peak to Root-mean-square Noise power ratio of correlation values)은 16.99dB이며, 이를 포함한 C-PRN 신호의 PRNR은 16.97dB로 크게 다르지 않다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{S_i} d_i(t - \tau_i) c_i(t - \tau_i) \cos(2\pi f_i t + \theta_i) + A_j \left[ \sum_{i=1}^N \sqrt{S_i} d_i(t - \tilde{\tau}_i - \tau_j) c_i(t - \tilde{\tau}_i - \tau_j) \cos(2\pi(\tilde{f}_i + f_j)t + \tilde{\theta}_i + \theta_j) + n_j(t) \right] + n(t) \quad (1)$$

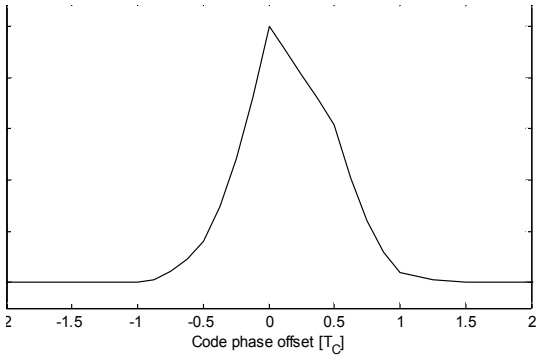


그림 2. 재방송재밍 신호에 의해 왜곡된 수신신호의 비동기 상관값 [6].

Fig. 2. Non-coherent correlation values of a distorted received signal caused by a repeat-back jamming signal [6].

JSR (Jamming to Signal power Ratio)이  $-3\text{dB}$ ,  $\tau_J = 0.5T_C$ ,  $f_J = 79\text{Hz}$ 인 RBJ 신호가 함께 수신된 경우 정확한 동기시점을 기준으로  $\pm 2T_C$  내의 정규화 된 상관값의 개형은 그림 2와 같다. 본 논문에서는 앞서 언급한 것처럼 재방송재밍기는 고정되어 있다고 가정하며,  $f_J$ 는 재방송재밍기의 클럭(clock) 오차 등으로 인해  $\pm 100\text{Hz}$  이내에서 균등분포를 갖도록 설정했다. 그림 2는  $f_J$ 는  $79\text{Hz}$ 로 설정된 경우이다. 그림 2와 같이 C-PRN 신호를 사용하면 RBJ 신호를 단순한 다중경로신호와 유사하게 취급할 수 있다.

### III. 제안한 기법

SIC 기법은 [7]과 [8]에서 제안된 방법으로 상용화된 이동통신 체계 가운데 하나인 CDMA (Code Division Multiple Access) 시스템의 약점인 다중접속(multiple access)과 근원효과(near-far effect) 문제를 해결하기 위해 제안된 방법이다. GPS를 포함한 대부분의 GNSS에서 통신물리계층으로 적용한 CDMA 시스템은 다수의 사용자 또는 수신기가 상관특성이 좋은 PRN 신호로 서로를 구분해 다중접속을 실현한다. 그러나 다중접속으로 인해 성능이 열화되며, 사용자와 기지국의 위치가 제각각이기 때문에 근원효과로 인한 성능 열화도 자주 발생한다. 이를 해결하기 위한 해법 가운데 하나로 연구된 것이 바로 SIC 기법이다. SIC 기법은 한 CDMA 수신채널에서 가장 큰 신호 또는 간섭 신호를 처리하고, 처리된 주요 정보를 활용해 이 신호를 재생성한 후 기존 수신신호에서 이를 차감해 수정된 수신신호를 생성하고, 이를 반복함으로써 다중접속과 근원효과로 인한 문제를 효과적으로 개선하는 방법이다. SIC 기법은 [9]에서 GPS의 사위성(pseudolite)의 사용에 따른 근원효과 완화를 위해 적용한 바 있다.

SIC 기법처럼 식 (1)에서 보인 RBJ 신호수신모형에서 RBJ 신호 제거에 의한 성능 개선여부를 판단하기 위해 JSR이  $3\text{dB}$ ,  $\tau_J$ 가  $1/4T_C$ 인 경우와 JSR이  $10\text{dB}$ ,  $\tau_J$ 가  $1/2T_C$ 인 경우 완벽한 단일 RBJ 신호 추정에 의해 원신호 복원이 가능한지 검토한다. 각 설정에 따른 RBJ 제거 전과 후의 C-PRN 신호를 사용한 상관값 개형은 그림 3과 그림 4와

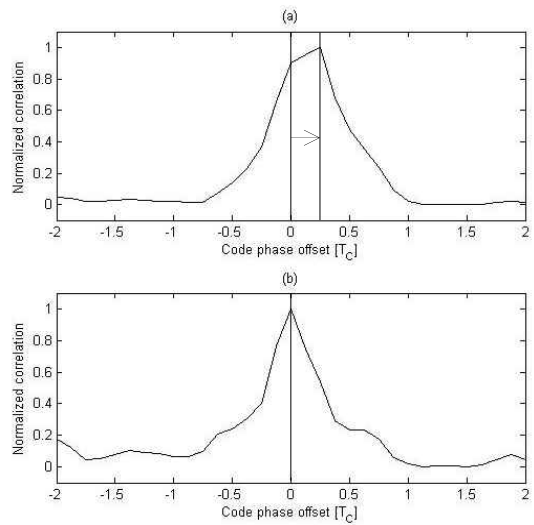


그림 3. JSR이  $3\text{dB}$ ,  $\tau_J$ 가  $1/4T_C$ 일 때, (a) RBJ 신호 제거 전과 (b) 제거 후의 C-PRN 신호를 사용한 상관값 개형.

Fig. 3. Correlation values of (a) a received signal and (b) a modified received signal after cancelling an RBJ signal using a C-PRN signal, when JSR is  $3\text{dB}$  and  $\tau_J$  is  $1/4T_C$ .

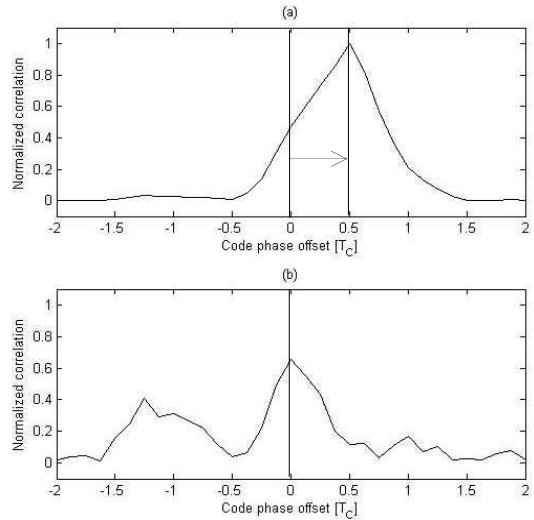


그림 4. JSR이  $10\text{dB}$ ,  $\tau_J$ 가  $1/2T_C$ 일 때, (a) RBJ 신호 제거 전과 (b) 제거 후의 C-PRN 신호를 사용한 상관값 개형.

Fig. 4. Correlation values of (a) a received signal and (b) a modified received signal after cancelling an RBJ signal using a C-PRN signal, when JSR is  $10\text{dB}$  and  $\tau_J$  is  $1/2T_C$ .

같다. 그림 3과 그림 4를 도시하기 위해 GPS L1 C/A 신호를 사용하였다.

그림 3(a)처럼 RBJ 신호 제거 전 C-PRN을 사용한 상관값의 침두는 정확한 부호동기 시점을 벗어나 화살표로 표시한 것처럼 RBJ 신호의 전파지연만큼 지연되어 나타나며, 이를 추적할 경우 정확한 동기시점을 결정할 수 없다. 본 논문에서는 0을 정확한 부호동기 시점으로 보였다. 따라서

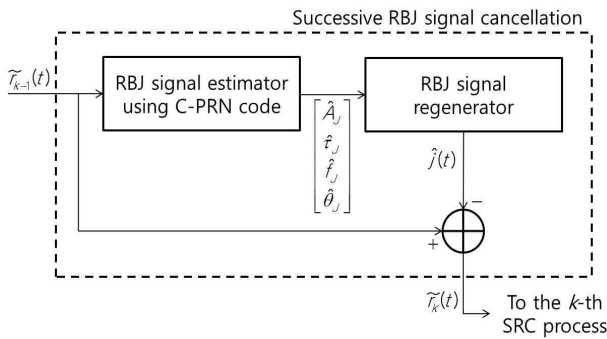


그림 5. 제안한 SRC (Successive RBJ signal Cancellation) 기법의 구조.

Fig. 5. Configuration of the proposed SRC (successive RBJ signal cancellation) scheme.

SIC 기법처럼 임의의 기법으로 RBJ 신호의 주요 매개변수를 추정한 후 이를 재생성해 수신신호로부터 이를 제거한다면 그림 3(b)처럼 정확한 동기시점에서 침투치를 갖는 수정된 수신신호를 얻을 수 있다. 이런 경향은 그림 4처럼 JSR이 크고, 재방송재밍기가 수신기에 더 근접한 경우에도 유사하게 나타난다. 다만 JSR이 큰 경우 식 (1)에서 보인 RBJ 신호의 AWGN 성분이 재방송재밍기에 의해 크게 증폭된 후 수신기에 수신되기 때문에 잡음에 의한 왜곡이 커지며 이로 인해 상관 값으로부터 정확한 동기시점을 오인할 수 있다.

SIC 기법과 앞서 언급한 C-PRN 신호를 활용해 그림 5처럼 RBJ 신호를 효과적으로 제거할 수 있는 SRC (Successive RBJ signal Cancellation) 기법을 제안한다. 그림 5에서  $r_k$ 는  $k$ 째 SRC 기법이 적용된 후 수정된 수신신호,  $\hat{A}_j$ ,  $\hat{\tau}_j$ ,  $\hat{f}_j$ ,  $\hat{\theta}_j$ 는 각각 RBJ 신호의 주요 매개변수인 추정된 진폭, 지연 시간, 주파수편이, 위상편이,  $\hat{j}(t)$ 는 추정된 주요 매개변수를 바탕으로 재생성한 RBJ 신호를 의미한다. 제안한 기법에서는 RBJ 신호의 주요 매개변수 추정을 위해 C-PRN 신호를 사용한다. 다수의 재방송재밍기가 있는 경우 그림 5의 SRC 기법을 반복 적용할 수 있다. 본 논문에서는 먼저 단일 재방송재밍기가 있는 경우만을 고려한다.

제안한 SRC 기법의 진폭, 지연시간, 주파수편이, 위상편이 추정기는 이미 수신기에서 사용하는 기법을 그대로 사용하거나 새로 설계해 적용할 수 있다. 본 논문에서는 우선 [10]과 [11]에서 언급한 대표적인 추정기법을 사용한 사례만을 고려하며, 본 기법에 효과적으로 적용할 수 있는 추정기법의 조합 또는 새로운 추정기법에 대해서는 추후 연구로 다룬다.

IV. 모의실험 및 분석

[11]처럼 GNSS에서 위치해에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 의사거리(pseudorange)이며, 의사거리는 DLL에서 추적을 통해 결정한 부호동기로부터 얻는다. 따라서 본 논문에서는 추적을 완료한 후 얻은 부호동기추정오차에 대한 RMS 값을 성능지표로 활용한다.

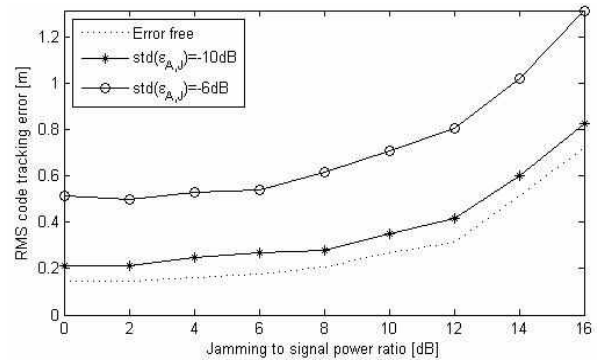


그림 6.  $\hat{A}_j$  추정오차의 표준편차에 따른 JSR 대비 RMS 부호동기추정오차.

Fig. 6. JSR vs. RMS code tracking errors according to a  $\hat{A}_j$  standard deviation.

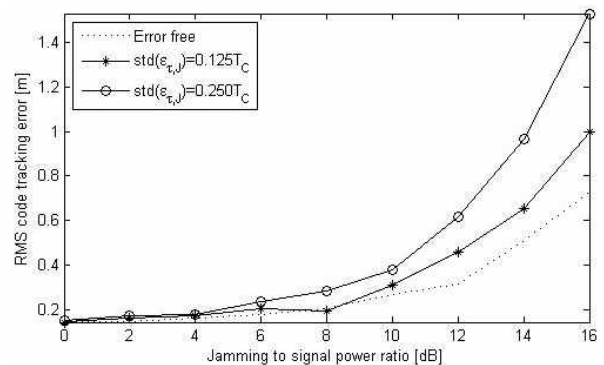


그림 7.  $\hat{\tau}_j$  추정오차의 표준편차에 따른 JSR 대비 RMS 부호동기추정오차.

Fig. 7. JSR vs. RMS code tracking errors according to a  $\hat{\tau}_j$  standard deviation.

모의실험 수행을 위해 전체시행회수는  $10^4$ 회, JSR은 0dB부터 16dB,  $\tau_j = 1/2T_c$ ,  $N = 4$ 로 매 시행에서 GPS 위성의 PRN 번호는 균등분포를 갖는 확률변수로 생성하고, GPS L1 C/A 신호를 고려하였으며, GPS 위성의 반송파 신호 전력 대 AWGN의 전력 비(carrier-to-noise power ratio,  $C/N_0$ )는 [10]에서 보인 것처럼 44dB-Hz인 일반적인 야외 가시(line-of-sight) 수신환경을 고려했다.

먼저 C-PRN을 사용한 RBJ 신호추정을 위한 특별한 기법을 고려하지 않고, 단순히  $\hat{A}_j$ ,  $\hat{\tau}_j$ ,  $\hat{f}_j$ ,  $\hat{\theta}_j$ 에 [10,11]에서 정리한 대표적인 주요 매개변수 추정기법의 성능을 고려해, 특정 값을 표준편차로 갖는 정규분포의 오차가 야기된 때 JSR에 따른 RMS 부호동기추정오차는 그림 6부터 그림 9와 같다. 그림 6부터 그림 9에서  $\epsilon_{A,j}$ ,  $\epsilon_{\tau,j}$ ,  $\epsilon_{f,j}$ ,  $\epsilon_{\theta,j}$ 는 각각  $\hat{A}_j$ ,  $\hat{\tau}_j$ ,  $\hat{f}_j$ ,  $\hat{\theta}_j$ 의 의도한 추정오차,  $std(x)$ 는  $x$ 의 표준편차, 'Error free'는 RBJ 신호의 주요 매개변수 추정에 오차가 전혀 없는 경우의 RMS 부호동기추정오차이다. 'Error free'일 때의 RMS 부호동기추정오차의 개형은 재방송재밍기에 의해 증폭된 후 수신된 AWGN과 수신기 자체의 AWGN에

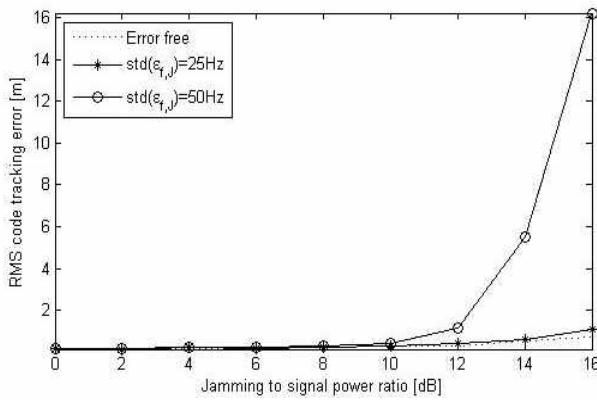


그림 8.  $\hat{f}_j$  추정오차의 표준편차에 따른 JSR 대비 RMS 부호동기 추적오차.

Fig. 8. JSR vs. RMS code tracking errors according to a  $\hat{f}_j$  standard deviation.

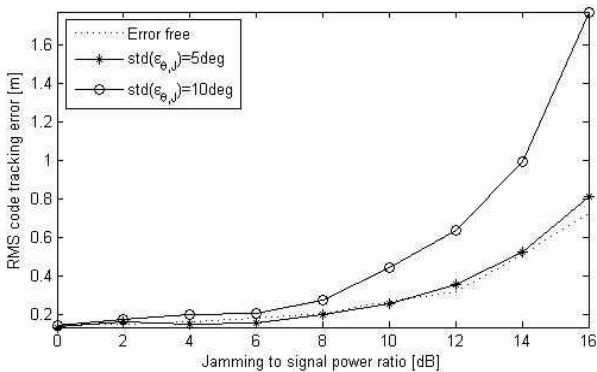


그림 9.  $\hat{\theta}_j$  추정오차의 표준편차에 따른 JSR 대비 RMS 부호동기 추적오차.

Fig. 9. JSR vs. RMS code tracking errors according to a  $\hat{\theta}_j$  standard deviation.

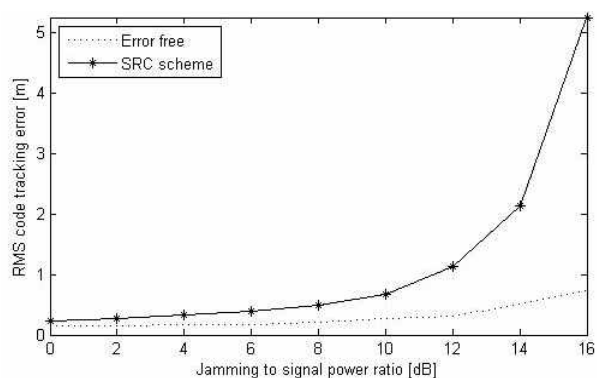


그림 10. RBJ 신호 추정을 위해 NWPR 기법, ELP DLL, FQATML PLL, FQATML FLL을 사용했을 때 제안한 SRC 기법의 JSR 대비 RMS 부호동기 추적오차.

Fig. 10. JSR vs. RMS code tracking errors of the SRC scheme when the NWPR method, ELP DLL, FQATML PLL, and FQATML FLL are used to estimate the major parameters of an RBJ signal.

의해 열화된 것이며, 그림 6부터 그림 9에서와 같이 JSR이 약 16dB일 때 약 0.6m의 RMS 부호동기추정오차를 보인다.

그림 6처럼 제한한 SRC 기법은 RBJ 신호의 진폭 추정 오차에 특히 민감함을 확인할 수 있으며, 주파수 추정 오차가 50Hz에 이르는 경우 JSR이 커짐에 따라 RMS 부호동기 추정오차가 상당히 커지는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 제안한 C-PRN 신호를 사용한 RBJ 신호 추정을 위해 [10,11]에서 보인 것처럼 단순한 AWGN만 수신되는 환경 하에서 진폭, 전파지연, 주파수, 위상에 대한 최적 또는 준최적 추정기법으로 알려진 NWPR 기법, ELP DLL, FQATML PLL, FQATML FLL을 사용해 RBJ 신호의 주요 매개변수의 추정을 수행하였으며, 이로부터 단일 RBJ 신호만 수신된 때의 모의실험을 통한 제안한 기법의 JSR에 따른 RMS 부호동기추정오차는 그림 10과 같다. 그림 10처럼 언급한 추정 기법의 조합한 경우 제안한 SRC 기법은 JSR이 10dB 이하일 경우 1m 이내의 RMS 부호동기추정오차를 보임을 확인할 수 있다. 반면 SRC 기법을 적용하지 않은 경우 완벽한 DLL을 사용한 때라도 본 논문에서 설정한 RBJ 신호의 부호동기오프셋이  $0.5T_C$ 이므로 GPS L1 C/A 신호의 한 칩 주기의 의사거리 300m의 절반인 약 150m의 RMS 부호동기추정오차가 야기된다.

## V. 결론

본 논문에서는 RBJ 신호에 따른 의사거리오차를 완화하기 위해 SRC 기법을 제안하였다. 제안한 SRC 기법은 CDMA 시스템의 다중접속문제 및 근원효과 완화를 위해 제안된 SIC 기법과 RBJ 신호처리에 적합한 C-PRN 신호의 조합을 통해 구성하였다. 모의실험 결과 제안한 기법은 C-PRN 신호를 활용해 추정한 RBJ 신호의 주요 매개변수 가운데 제안한 SRC 기법은 RBJ 신호의 진폭 추정오차에 특히 민감함을 확인하였으며, 단순한 AWGN만 수신되는 환경 하에서 진폭, 전파지연, 주파수, 위상에 대한 최적 또는 준최적 추정기법으로 알려진 추정기법으로 SRC 기법을 구성했을 때 JSR이 10dB 이하일 경우 1m 이내의 RMS 부호동기추정오차를 보임을 확인하였다. 본 논문에서는 기존에 연구된 RBJ 신호의 주요 매개변수 추정 기법을 활용해 SRC 기법의 주요 구성요소인 RBJ 신호 추정기를 구성하였으며, 추후에는 RBJ 신호에 적합한 주요 매개변수 추정기법에 대해 연구할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] J. Coffed, "The threat of GPS jamming: The risk to an information utility," *Report of EXELIS*, Jan. 2014. Online Available: [http://www.exelisinc.com/solutions/signalsentry/Documents/ThreatOfGPSJamming\\_February2014.pdf](http://www.exelisinc.com/solutions/signalsentry/Documents/ThreatOfGPSJamming_February2014.pdf)
- [2] S.-H. Im, J.-H. Im, G.-I. Jee, and M.-B. Heo, "An analysis of spoofing effects on a GNSS receiver using real-time GNSS spoofing simulator," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 2, pp. 113-118, Feb. 2013.
- [3] J.-H. Song, S.-H. Im, and G.-I. Jee, "Performance evalu-

ation of vector tracking loop based receiver for GPS anti-jamming environment,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 2, pp. 152-157, Feb. 2013.

- [4] M. Jones, “The civilian battlefield: Protecting GNSS receivers from interference and jamming,” *Inside GNSS Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 40-49, Mar.-Apr. 2011.
- [5] J. Nielsen, A. Broumandan, and G. Lachapelle, “GNSS spoofing detection for single antenna handheld receivers,” *Navigation: Journal of The Institute of Navigation*, vol. 58, no. 4, pp. 335-344, Winter 2011.
- [6] S. Yoo, D.-J. Yeom, G.-I. Jee, and S. Y. Kim, “A novel repeat-back jamming detection scheme for GNSS using a combined pseudo random noise signal,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 9, pp. 977-983, Sep. 2014.
- [7] A. Duel-Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, “Multiuser detection for CDMA systems,” *IEEE Personal Communications*, vol. 2, no. 2, pp. 46-58, Apr. 1995.
- [8] S. Moshavi, “Multi-user detection for DS-SS-CDMA communications,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 34, no. 10, pp. 124-136, Oct. 1996.
- [9] P. M. Madhani, P. Axelrad, K. Krumvieda, and J. Thomas, “Application of successive interference cancellation to the GPS pseudolite near-far problem,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, vol. 39, no. 2, pp. 481-488, Apr. 2003.
- [10] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications, 2nd Edition*, Artech House, Norwood, MA, 2006.
- [11] B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr., P. Axelrad, and P. Enge, *Global Positioning System: Theory and Applications*, Progress in Astronautics and Aeronautics, Washington, D.C., 1996.



### 유 승 수

2003년 건국대학교 전자정보통신공학부 졸업. 2005년 동 대학원 공학석사. 2010년 동 대학원 공학박사. 2010년~2011년 건국대 2단계 BK21 위성항법시스템 수신기 기술 연구팀 박사후 연구원. 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 서울대 제어계측공학과 졸업. 1984년 동 대학원 제어계측공학과 공학석사. 1989년 Case Western Reserve University 공학박사. 1992년~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 교수. 관심분야는 GPS/INS 결합방법, GPS 수신기 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.