

부분 대역 간섭 환경에서의 BOC 신호 수신 성능 개선 기법

강동훈*, 이상욱, 황유라

한국전자통신연구원

{donghoon, slee, ylhwang}@etri.re.kr

Improving BOC Signal Reception Performance under Partial band Interference

Donghoon Kang*, Sanguk Lee, Yoola Hwang

Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI

요 약

전통적으로 위성항법시스템 (Global Navigation Satellite System, GNSS)은 주로 L 대역을 활용하여 항법 서비스를 제공해 왔다. 그러나 L 대역 내에서의 항법 신호 수가 급증함에 따라 간섭 문제가 발생되고 이는 성능 열화의 원인이 되고 있다. 이러한 문제 해결을 위한 대안으로 S 대역을 활용한 항법 서비스 제공이 유망한 대안으로 부상하고 있다. S 대역은 비교적 활용 빈도가 낮아 동일 대역 내 간섭을 완화할 수 있지만 Wi-Fi, Locata 및 기타 위성 시스템과 같은 인접 채널을 사용하는 서비스들로 인한 인접 채널 간섭 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 S 대역에서의 부분 대역 간섭 환경을 고려하여 BOC (Binary Offset Carrier) 신호의 수신 성능 향상을 위한 기법을 제안한다. 다양한 간섭 수준에서 수행된 시뮬레이션 결과, 제안하는 기법은 간섭 수준이 증가할수록 기존 수신 기법에 비해 상대적인 우수한 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

I. 서 론

위성항법시스템 (Global Navigation Satellite System, GNSS)은 항법 및 위치 결정은 물론, 정밀 시각 동기화, 지리 공간 정보 구축, 기상 관측, 지구 과학 연구 등 다양한 분야에 필수적인 역할을 수행하며 현대 기술 인프라의 핵심 요소로 자리 잡고 있다. 이 시스템은 군사 및 민간 응용 모두에 걸쳐 광범위하게 활용되고 있으며, 특히 스마트폰, 자율주행차, 드론, 무인기, 스마트시티 등의 발전과 더불어 그 중요성이 날로 증가하고 있다.

전통적으로 GNSS는 L 대역 (1~2 GHz)을 중심으로 항법 신호를 송신해 왔다. L 대역은 전리층에 대한 투과율이 높고 상대적으로 낮은 전파 감쇠 특성을 가지며, 수신기 설계의 효율성 측면에서도 이점이 있어 주요한 GNSS 주파수 대역으로 자리해 왔다. 그러나 최근 들어 Galileo, GLONASS, BeiDou 등 다양한 GNSS의 확장과 더불어 L 대역 내 채널 수요가 급증하고 있다. 이로 인해 상호 간섭 (inter-system interference)이 증가하고 있으며, 일부 주파수 대역에서는 포화 상태에 근접함에 따라 신호 간섭으로 인한 성능 저하와 시스템 간 상호운용성 저하가 우려되고 있다.

이러한 배경에서 L 대역의 부담을 분산시키고, 새로운 항법 서비스를 수용할 수 있는 대체 주파수 대역에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이 가운데 S 대역 (2~4 GHz)은 상대적으로 활용 빈도가 낮고, L 대역과 인접한 주파수 대역으로서 유망한 대안으로 주목받고 있다. S 대역은 이미 중국의 BeiDou 시스템 및 인도의 IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)와 같은 지역 기반 위성항법시스템 (Regional Navigation Satellite System, RNSS)에서 활용되고 있으며, 향후 차세대 GNSS에서도 확장 대역으로서의 활용 가능성이 활발히 논의되고 있다.

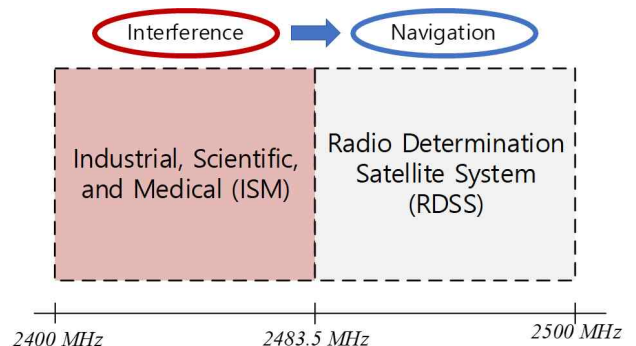


그림 1. ISM과 RDSS 대역 간 인접 대역 간섭

만반 S 대역의 RDSS (Radio Determination Satellite Service) 대역 역시 문제를 안고 있다. 그림 1에서 확인할 수 있는 바와 같이 해당 대역은 산업·과학·의료 용도의 비면허 대역인 ISM (Industrial, Scientific, and Medical) 대역과 인접해 있어 Wi-Fi 및 Bluetooth 등의 신호 및 지상 기반 위치 측정 시스템인 Locata 서비스 신호로부터 인접 대역 간섭 가능성이 존재한다. 또한, 동일 대역을 사용하는 Globalstar의 민간 서비스들이 이미 상용화되어 있어, 이들로부터의 간섭 역시 GNSS 신호 품질에 부정적인 영향을 줄 수 있다 [1]. 이로 인해 인접 대역 간섭 및 동일 대역 내 간섭 회피 및 수신기 성능 보장이 중요한 기술적 과제이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 간섭 환경을 고려하여, S 대역 항법 신호의 수신 성능 저하를 최소화할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 부분 대역 간섭 환경에서 BOC (Binary Offset Carrier) 신호의 수신 성능을 향상시키기 위해 간섭에 강인한 신호

처리 기법을 제안한다. 제안된 기법은 간섭 수준에 따라 적응적으로 가중치를 부여함으로써 신호 대 간섭 및 잡음 비율 (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)을 최적화할 수 있다. 시뮬레이션 결과, 제안하는 기법은 간섭이 없는 환경에서는 기존 기법과 유사한 성능을 나타내며, 간섭이 있는 환경에서는 간섭 수준이 증가할수록 기존 기법 대비 더욱 향상된 수신 성능을 나타낸다.

II. 시스템 모델 및 제안하는 기법

GNSS에서는 항법 성능 향상을 위해 BOC 변조가 주로 사용되며, BOC 변조 수신 신호, $r(t)$ 는 수식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = d(t)p(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) + n(t) + I(t) \quad (1)$$

여기에서 $d(t)$ 는 데이터 신호, $p(t)$ 는 부반송파 신호, f_c 는 반송파 주파수, θ 는 수신 신호의 위상, $n(t)$ 는 가산성 백색 가우시안 잡음 (Additive White Gaussian Noise, AWGN), $I(t)$ 는 간섭 신호를 나타낸다. BOC 변조 신호의 경우 부반송파 $p(t)$ 는 주파수 스펙트럼이 중심주파수를 기준으로 상측파 ($f_c + f_s$)와 하측파 ($f_c - f_s$)로 분리되는 특성을 갖으며, 여기서 f_s 는 부반송파 주파수를 나타낸다.

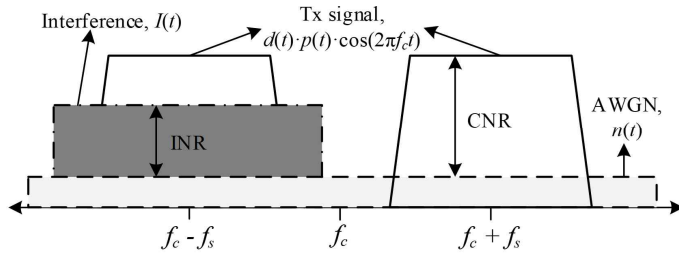


그림 2. 주파수 영역에서의 BOC 신호

그림 2는 인접 대역 간섭을 고려하여 상/하측파 중 하나에만 간섭이 가해지는 환경에서의 BOC 신호 주파수 응답을 나타낸 것이다. 이때 간섭 세기는 간섭 대 잡음비 (Interference-to-Noise Ratio, INR)로 나타낸다. 수식 (1)의 BOC 변조 수신 신호, $r(t)$ 는 상측파 신호와 하측파 신호의 합으로 수식 (2)와 같이 표현될 수 있으며,

$$r(t) = r_{upper}(t) + r_{lower}(t) \quad (2)$$

수신기에서는 SINR을 최적화하기 위해 가중치를 고려할 수 있으며, 가중치가 적용된 신호, $r_w(t)$ 는 수식 (3)과 같이 표현된다.

$$r_w(t) = w_1 r_{upper}(t) + w_2 r_{lower}(t) \quad (3)$$

가중치를 설정하는 방식은 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째로 동일한 가중치를 적용하는 기존의 일반적인 GNSS 수신 기법, 두 번째는 간섭이 더 큰 측파에 가중치를 0으로 설정하는 선택 (Selection) 기법, 세 번째로 SINR을 최적화할 수 있는 최대 비율 결합 (Maximal Ratio Combining, MRC) 기법으로 구분할 수 있다. MRC 기법의 가중치는 수식 (4)와 같이 계산할 수 있으며,

$$w_1 = 1/\sigma_{upper}^2, w_2 = 1/\sigma_{lower}^2 \quad (4)$$

여기서 σ_{upper}^2 와 σ_{lower}^2 는 각각 수식 (2)의 $r_{upper}(t)$ 와 $r_{lower}(t)$ 의 분산을 나타낸다.

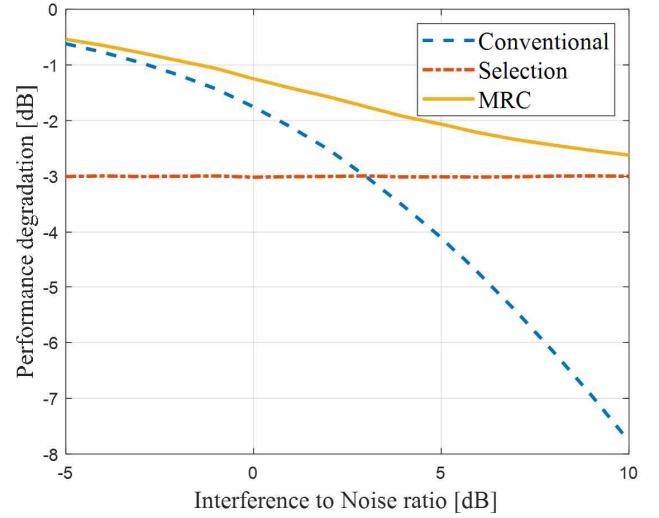


그림 3. 간섭 신호의 크기에 따른 수신 성능 열화

세 가지 기법에 대해 성능을 확인하였으며, 성능은 그림 3에서 확인할 수 있다. 그림 3은 간섭, $I(t)$ 의 크기에 따른 세 가지 기법의 성능 열화를 비교한 분석 결과를 보여준다. 선택 기법은 상/하측파 중 하나의 신호만을 사용하기 때문에 항상 3 dB의 일정한 손실이 발생하는 것을 확인할 수 있다. INR이 작은 영역에서는 기존 기법과 MRC 기법이 유사한 성능 열화를 나타내는 것을 확인할 수 있으며, INR이 $-\infty$ 일 경우 두 가지 기법 모두 성능 열화가 0 dB로 수렴하는 것을 예상할 수 있다. 또한, 간섭이 있는 모든 상황에서 MRC 기법이 기존 기법보다 일관되게 우수한 성능을 보이며, 간섭의 양이 증가할수록 그 성능 차이는 점점 더 크게 나타난다.

III. 결론

본 논문에서는 부분 간섭 환경에서의 BOC 신호 수신 성능을 개선하기 위한 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과, 제안하는 기법은 간섭이 없는 환경에서는 기존 기법과 유사한 성능을 나타내며, 간섭이 있는 환경에서는 간섭 수준이 증가할수록 기존 기법 대비 더욱 향상된 수신 성능을 나타낸다.

참고 문헌

- [1] K. Wang et al., "Feasibility of using an S-band GNSS carrier by comparing with L and C bands," vol. 66, Issue 9, pp. 2232-2244, 2020.
- [2] J. G. Proakis, Digital Communications, New York, NY, USA:McGraw-Hill, 2008.