

Adaptive Arrays를 이용한 GNSS 교란 신호 DOA 추정 가능성 분석

Analysis of GNSS Jamming Signal's DOA Estimation Possibility using Adaptive Arrays

*송흥기¹, 이성용¹, 이승후¹, 김정범¹, 기창돈¹

*Hong-Ki Song¹, Sung-Yong Lee¹, Seung-Hoo Lee¹, Jung-Beom Kim¹, Chang-Don Kee¹

¹서울대학교 기계항공공학부

¹School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University

주소 : 서울시 관악구 대학동 서울대학교 공과대학 302 동 418-2 호

연락처 : 02-880-8918

이메일 : newarlord@snu.ac.kr

Abstract: GNSS(Global Navigation Satellite System) is used in a variety of fields such as aviation, ocean, cars and dependence of GNSS is increasing in our life. However, As dependence of GNSS is increasing, GNSS's vulnerabilities are appeared. One of them is GNSS Jamming. Damages of GNSS Jamming were occurred in foreign countries and Korea was also damaged by North Korean activities of GNSS Jamming.[1] There are many studies including estimation of jamming signal's DOA(Direction of Arrival) for counteracting from intended jamming. The methods for estimating jamming signal's DOA are largely classified two ways. One is Spectral Estimation. The other is Parametric Estimation.[2]

In this paper, We calculated Tracking Threshold power to unlock L1 signal(C/A Code) and analyzed estimation possibility of DOA of CW Jamming signal having more than Tracking Threshold power using Conventional Beamforming (Bartlett Method) and MVDR (Minimum Variance Distortionless Responses) algorithms under the Beamforming/Nulling methods.

Keywords: Adaptive Array, DOA, Beamforming/Nulling, MVDR

1. 서론

현재, 우리 생활의 여러 분야에서 활용되고 있는 GNSS는 RNP(Required Navigation Performance)가 보장되어야 한다. 하지만 수신기가 GNSS Jamming을 받았을 때 RNP가 보장되지 않고 큰 사고를 유발할 수 있다. 이러한 사고를 방지하기 위해 GNSS Anti-Jamming에 대한 연구가 진행되고 있으며, Jammer의 위치를 추정하는 분야에 대한 연구도 진행되고 있다.

본 논문에서는 공간 Spectral 특성을 이용하여 Jamming 신호의 DOA를 추정하는 알고리즘 중에서 Conventional Beamforming(Bartlett Method)과 MVDR 알고리즘에 대해서 정리하고 단일 안테나 수신기에서 L1 신호(C/A Code)를 잃는 Tracking Threshold에 대하여 계산하였으며 2개의 Algorithm에 대한 Simulation 결과를 바탕으로 CW Jamming 신호의 DOA 추정 가능성을 분석하도록 한다.

2. Signal Modeling

2.1 UCA(Uniform Circular Array)

Arrays의 steering vector를 구하기 위해 UCA를 사용하였다.

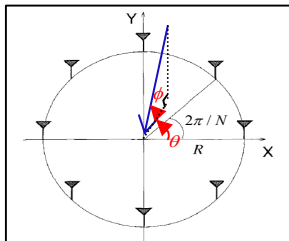


그림 1. 등간격 원형 어레이
Fig.1 Uniform Circular Array

Arrays 배치가 UCA일 경우 steering vector는 다음과 같다.

$$a(\theta, \phi) = \left[1 \quad e^{-j\zeta \cos\theta - \frac{2\pi}{N}} \quad \dots \quad e^{-j\zeta \cos\theta - \frac{2\pi(N-1)}{N}} \right]^T \quad \text{where } \zeta = \frac{2\pi}{\lambda} R \cos\phi \quad (1)$$

2.2 Adaptive Array Output

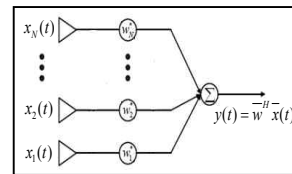


그림 2. N개의 Array 안테나
Fig.2 N dimensional Array Antenna

w는 array의 가중치이며 y(t)는 Adaptive Array의 출력이다. x(t)는 array에 입사되는 신호이며 다음과 같다.

$$\bar{x}(t) = \bar{a}(\theta, \phi)c(t) + \bar{n}(t) \quad (2)$$

a(theta, phi)는 Array의 조향벡터(steering vector)이고 c(t)는 L1 신호(C/A Code)의 포락선(envelope)이며 n(t)는 array의 noise vector가 된다. 또한, Array의 출력 파워는 다음과 같다.

$$P(w) = E[y(t)] = \bar{w}^H E[\bar{x}(t)\bar{x}^H(t)]\bar{w} = \bar{w}^H R \bar{w} \quad \text{where } R = E[\bar{x}(t)\bar{x}^H(t)] \quad (3)$$

3. Jamming Signal's DOA Estimation Algorithm

3.1 Conventional Beamforming(Bartlett Method)

Conventional Beamforming은 입사하는 신호에 대하여 가중치를 줘서 SNR(Signal to Noise Ratio)을 높이고 Array의 출력 파워를 최대로 만드는 Algorithm이다. 가중치 벡터의 크기가 1이고 Array의 출력 파워를 최대로 하는 가중치 벡터와 이 때의 출력 파워는 다음과 같다.

$$\bar{w}_{BF} = \frac{\bar{a}(\theta, \phi)}{\sqrt{\bar{a}^H(\theta, \phi)\bar{a}(\theta, \phi)}} \quad (4)$$

$$P_{BF}(w) = \frac{\bar{a}^H(\theta, \phi)R\bar{a}(\theta, \phi)}{\bar{a}^H(\theta, \phi)\bar{a}(\theta, \phi)} \quad (5)$$

3.2 MVDR Algorithm

MVDR 알고리즘은 특정 방향에서 입사하는 신호에 대하여 이득을 일정하게 유지하면서 다른 방향의 신호에 대해서 작은 가중치(Nulling)를 주어 Array의 출력 파워를 최소화하면서 SNR을 높이는 알고리즘이다. 따라서 가중치 벡터는 (6)식의 조건으로부터 Lagrange multiplier 기법을 사용해서 유도되며 이 때의 Array의 출력 파워는 다음과 같다.

$$\min_w \bar{w}^H R w \quad \text{subject to} \quad \bar{a}^H w = 1 \quad (6)$$

$$\bar{w}_{MV} = \frac{R^{-1}\bar{a}(\theta, \phi)}{\bar{a}^H(\theta, \phi)R^{-1}\bar{a}(\theta, \phi)} \quad (7)$$

$$P_{MV}(w) = \frac{\bar{a}^H(\theta, \phi)\bar{a}(\theta, \phi)}{\bar{a}^H(\theta, \phi)R^{-1}\bar{a}(\theta, \phi)} \quad (8)$$

4. Expected Jamming Power for Loss of Lock

단일 안테나를 사용하는 GPS 수신기가 L1 신호(C/A code)를 놓치는 경우는 SNR이 3dB 이하인 경우이다.[7,8] 하지만, 안테나 단에서 GPS 신호의 SNR을 구할 수 없으므로 다음과 같은 관계식을 이용해서 SNR을 구할 수 있다.[9]

$$(C/N_0)_{dB} = (SNR)_{dB} - 10\log_{10}(T) \quad (9)$$

(9)식에서 SNR은 T(Integration Time)에 의해서 결정되므로 SNR이 3dB일 때 JSR(Jamming to Signal Ratio) 및 안테나 단에서의 Jamming power는 다음과 같다.[8,10]

표 1. Integration Time에 따른 JSR 및 Jamming Power
Table.1 JSR and Jamming Power according to Integration Time

	1ms	20ms
JSR	26 dB	40 dB
Jamming Power	- 194 dBW/Hz	- 180 dBW/Hz

5. Simulation Results

Simulation 환경으로 수신기는 정적 상태이고 L1 신호(C/A code)의 DOA(Az : 250, Elevation : 50)를 알고 있다고 가정하였으며 Array의 수는 10개를 사용하였다.

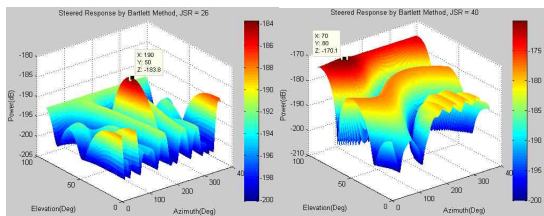


그림 3. Bartlett Method에 의한 Steered Response
Fig.3 Steered Response by Bartlett Method at (190, 50) and (70, 80)

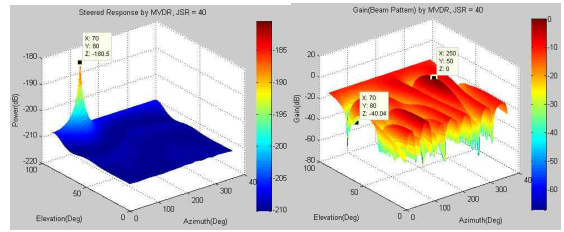


그림 4. MVDR에 의한 Steered Response 및 Gain
Fig.4 Steered Response & Gain by MVDR at (70, 80)

위 그림에서 (Az, Elevation)는 Jammer의 DOA를 의미하며 Steered Response를 보면 두 알고리즘 모두 Tracking Threshold 이상의 power를 갖는 Jamming 신호의 DOA를 정확하게 추정한다. 하지만, 두 알고리즘간에 차이가 있다. Bartlett Method는 수신되는 신호의 power를 증가시키나 MVDR은 신호의 power 대신 Noise의 power를 감소시킨다. 또한, MVDR의 Gain은 L1 신호의 DOA에 0을 유지하면서 Jamming 신호의 DOA에는 Nulling 시키고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 Nulling을 통해서 입사하는 신호에 대하여 Bartlett Method 보다 작은 빔폭(공간 스펙트럼)을 보여주며 MVDR 알고리즘이 Bartlett Method 보다 분해능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 수신기가 L1 신호를 잃는 CW Jamming Power를 계산하였으며 DOA를 알고 있는 GPS 신호와 DOA를 모르고 Tracking Threshold 이상의 Power를 갖는 Jamming 신호가 함께 입사할 때 Conventional Beamforming(Bartlett Method)과 MVDR Algorithm을 이용하여 Jamming 신호의 DOA를 추정할 수 있는 가능성에 대하여 살펴보았다. 두 알고리즘 모두 Jamming 신호의 DOA를 추정할 수 있었으며, MVDR의 경우 Nulling에 의하여 Bartlett Method보다 분해능이 높아졌음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 서울대학교 (항공우주신기술연구소)를 통해서 계약이 체결되어 2012년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(한국연구재단 - 우주기초핵심기술개발사업 - 2010-0026130) 국토해양부의 『하늘 프로젝트』의 지원을 받았습니다.

참고 문헌

- [1] ICAO 북한 GPS 교란 재발 방지 촉구, <조선일보>, 2012/07/06 15:58, http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2012/07/06/201207061776.html (2012/09/26)
- [2] Kim, S., Jeong, Y., Array Signal Processing Theory and Applications, Topamin, Seoul, 2007
- [3] B., D., Van Veen, K., M., Buckley, "Beamforming : A Versatile Approach to Spatial Filtering," IEEE ASSP Magazine, April, 1988
- [4] Krim, H., VIBERG, M., "Two Decades of Array Signal Processing Research," IEEE Signal Processing Magazine, July, 1996
- [5] 박광문, "가상확장 배열을 이용한 다중경로파 신호의 도래각 추정에 관한 연구," 공학박사 학위논문, 충남대학교, 2010
- [6] D., H., Johnson, D., E., Dudgeon, Array Signal Processing Concepts and Techniques, Prentice Hall, NJ, 1993
- [7] 임성혁, "재밍대응 능력을 갖는 GPS 수신기 설계," 공학석사 학위논문, 건국대학교, 2005
- [8] A., N., Ndili, "Robust GPS Autonomous Signal Quality Monitoring," PhD dissertation, Stanford University, 1998
- [9] M., C., Moreau, "GPS Receiver Architecture For Autonomous Navigation In High Earth Orbits," PhD dissertation, University of Colorado, 2001
- [10] Parkinson, B. W., Spilker, J., Jr., Axelrad, P., (eds.), The Global Positioning System: Theory and Applications, Volume 1, AIAA, Washington, DC, 1996