

적응 빔형성기의 입력신호 모델 분석

문지윤* · 황석승**

Input Signal Model Analysis for Adaptive Beamformer

Ji-Youn Mun* · Suk-Seung Hwang**

요 약

신호의 도래각(AOAm Angle-of-Arrival) 추정 및 간섭제거 기술 등이 기반이 되는 적응 빔형성기(Beamformer)는 레이더, 위성 등을 포함한 각종 첨단장비를 활용하여 다양한 정보를 수집하는 신호정보수집(: Signal Intelligence, SIGINT)의 핵심기술 중의 하나이다. 빔형성 기술은 안테나 어레이를 이용하여 특정 방향으로 부더의 신호를 효율적으로 수신하도록 해당 방향으로 지향성(directionality)을 가질 수 있게 빔을 생성하는 기술이다. 본 논문에서는 도래각 추정기법 및 간섭제거 기술 등이 탑재된 신호정보 수집 시스템의 입력으로 사용되는 간섭과 잡음이 포함된 수신신호 모델을 제시하고, 이 수신신호에 포함될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 고찰하고 분석한다. 제시된 신호 모델은 다양한 빔형성 기술에 대한 성능평가에 직접적으로 적용될 수 있다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제시된 수신신호 모델에 대한 주파수 영역에서의 스펙트럼을 확인한다.

ABSTRACT

Containing an Angle-of-Arrival(: AOA) estimation and interference suppression techniques, an adaptive beamformer is one of core techniques for the Signal Intelligence(: SIGINT) which collect various intelligence utilizing cutting edge devices including the radar and satellite. It generates a beam with the directivity in a corresponding direction, to efficiently receive a signal from the specific direction, using antenna array. In this paper, we present the received signal model including interference signals and noise, which can be applied to an input of the signal intelligence satellite system equipped with the AOA estimation and the interference cancellation techniques, and analysis the characteristics of various signals, which can be included in the proposed received signal model. This proposed signal model can be directly applied to the performance evaluation for a variety of beamforming techniques. Also, we verify the spectrum characteristic of the presented received signal model in the frequency domain through computer simulation examples.

키워드

Received Signal Model, Signal Intelligence, AOA(Angle-of-Arrival), Beamforming, Interference Cancellation
수신 신호 모델, 신호 정보 수집, 도래각 추정 기법, 빔형성, 간섭 제거

1. 서 론

원하는 신호의 효율적인 수신을 위해 빔을 형성하고, 간섭신호들의 효과적인 제거를 위해 해당 방향으

* 조선대학교 전자공학과 (jiyou0551@chosun.kr)

** 교신저자 : 조선대학교 전자공학과

• 접수 일 : 2017. 05. 16

• 수정완료일 : 2017. 05. 31

• 게재확정일 : 2017. 06. 16

• Received : May. 16, 2017, Revised : May. 31, 2017, Accepted : Jun. 16, 2017

• Corresponding Author : Suk-Seung Hwang

Dept. of Electronic Engineering, Chosun University,

Email : hwangss@chosun.ac.kr

로 널(null)을 형성하도록 설계된 빔형성 기술은 신호정보 수집에 핵심적으로 사용되고 있다. 신호정보 수집은 감시위성이나 전자전 전용기 등에 전파수집 장비를 설치하여 각종 전자파 신호를 수집, 분석, 식별하는 기술을 뜻한다[1]. 신호정보수집 방식에는 통신도청에 의한 정보 수집을 하는 통신정보 (: Communication Intelligence, COMINT)와 지상의 레이더 등에서 발생하는 신호를 가로채는 전자정보 (: Electronic Intelligence, ELINT) 등이 포함된다[2]. 신호정보 수집은 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 신호정보의 효과적인 수집 기술에 대한 관심은 꾸준히 증가하고 있다[3].

신호의 도래각 추정기법[4-7] 및 간섭제거 기술[8] 등이 탑재된 신호정보 수집 시스템은 간섭이 존재하는 환경에서 원하는 신호의 정보를 효율적으로 수집할 수 있게 설계되어 있다. 이러한 환경에서 원하는 신호의 정보를 효율적으로 수집하기 위해서는 성능평가를 위한 수신신호 모델이 필요하다.

본 논문에서는 신호정보 수집 시스템의 입력이 될 수 있는 수신신호 모델을 제안한다. 또한, 제안된 수신신호 모델에 적용 될 수 있는 다양한 신호들을 분석하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한다. 본 논문에서 수신신호 모델에 적용하기 위해 고려한 신호들은 CW(: Continuous Wave) 신호, WB(: Wideband) 잡음 신호, PULSE 신호, AM(: Amplitude Modulation) 신호, FM(: Frequency Modulation) 신호, PM(: Phase Modulation) 신호 등이다[9-10]. 신호정보 수집 시스템의 입력이 되는 수신신호 모델은 MUSIC(: Multiple Signal Classification)이나 CAPON과 같은 신호 도래각 추정 알고리즘과 MVDR(: Minimum Variance Distortionless Response)[11]이나 GSC(: Generalized Sidelobe Canceler)[12]와 같은 적응(Adaptive) 간섭제거 빔형성기의 성능평가에 효과적으로 적용될 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 빔형성 기반의 신호정보 수집 시스템의 입력이 되는 간섭과 잡음이 포함된 수신신호 모델을 제시하고, 3장에서 제시된 수신신호 모델에 적용될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 분석하며, 4장에서 고려된 신호들을 포함한 수신신호 모델에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 보인다.

마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

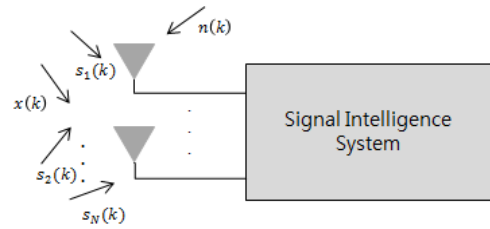


그림 1. 신호정보 수집 시스템
Fig. 1 Signal intelligence system

II. 수신신호 모델링

본 장에서는 신호정보 수집 시스템의 입력이 되는 간섭과 잡음이 포함된 수신신호 모델을 제시한다. 그림 1은 원하는 신호, 간섭신호, 잡음 등이 신호정보 수집 시스템 안테나에 수신되는 개략도를 나타낸다. 안테나가 M 개의 어레이 요소를 가진다고 가정하면, 샘플(sample) 인덱스 k 에 대한 수신신호는 식(1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}(k) = x(k) + \sum_{i=1}^N s_i(k) + n(k) \quad (1)$$

식(1)에서 $x(k)$ 는 원하는 신호이고, $s_i(t)$ 은 i 번째 간섭신호, N 은 간섭신호의 개수이며, $n(k)$ 는 i.i.d(independent identically distributed) 특성을 가지는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다.

도래각을 고려한 수신신호 벡터는 식(2)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}(k) = \mathbf{a}_x x(k) + \mathbf{A} \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad (2)$$

식(2)에서 \mathbf{a}_x 는 $x(k)$ 에 대한 크기 $M \times 1$ 의 어레이 응답 벡터이고, \mathbf{A} 는 크기 $M \times N$ 의 어레이 응답 행렬이며, \mathbf{A} 의 열은 간섭신호의 도래각 어레이 응답 벡터이다. 또한 $\mathbf{s}(k)$ 는 $N \times 1$ 크기의 간섭신호 벡터이고, $\mathbf{n}(k)$ 은 $M \times 1$ 크기의 잡음 벡터이다.

III. 수신 신호 특성

본 장에서는 신호정보 수집 시스템을 이용하여 수집 가능한 또는 간섭신호로 고려될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 분석한다.

3.1 CW 신호

식(3)은 CW 신호에 대한 수식이다.

$$S_{CW}(k) = Y \exp(2\pi f_c k + \psi) \quad (3)$$

식(3)에서 Y 는 신호 세기이고, f_c 는 반송파의 주파수이며, ψ 는 위상이다. CW 신호는 진동진폭이 일정하고 반송파만을 가지는 신호이며, 스펙트럼 영역에서 임펄스 형태를 보인다. 또한, 시간영역에서 절대값이 일정한 CM(: Constant Modulus) 특성[4]을 가진다.

3.2 PULSE 신호

PULSE 신호는 일정 주기를 가지고 펄스가 존재하고 부재하는 것을 반복하는 신호(on/off)이다. 펄스 신호의 대역폭(Bandwidth)은 무한대이므로 주파수 영역에서 전 대역에 걸쳐 스펙트럼이 존재한다.

3.3 WB 잡음 신호

광대역 잡음 신호는 특정 대역폭을 가지는 AGN(: Additive Gaussian Noise) 신호이다. 주파수 영역에서 특정 주파수 대역에 스펙트럼이 존재하는 특성을 가진다.

3.4 AM 신호

식(4)는 AM 신호에 대한 수식이다.

$$S_{AM}(k) = Y[1 + \alpha m(k)] \exp(2\pi f_c k) \quad (4)$$

식(4)에서 $Y[1 + \alpha m(k)]$ 는 포락선을 나타내며, $m(k)$ 는 메시지 신호 파형이며, α 는 변조 지수(modulation index)이다. AM 신호는 시간영역과 주파수영역에서 메시지 신호와 관련된 파형 및 스펙트럼을 가진다.

3.5 FM 신호

식(5)는 FM 신호에 대한 수식이다.

$$S_{FM}(k) = Y \exp[2\pi f_c k + \beta \sin(2\pi f_m k)] \quad (5)$$

식(5)에서 β 는 변조 지수이며, f_m 은 변조 주파수(modulation frequency)이다. FM 신호는 주파수 영역에서 특정 대역의 스펙트럼을 가지며, 시간영역에서 CM 특성을 가진다.

3.6 PM 신호

식(6)은 PM 신호에 대한 수식이다.

$$S_{PM}(k) = Y \exp[2\pi f_c k + K_p m(k)] \quad (6)$$

식(6)에서 $K_p m(k)$ 는 위상편이를 나타내고, K_p 는 위상감도(phase sensitivity)이다. PM 신호도 FM 신호와 유사하게 주파수 영역에서 특정 대역의 스펙트럼을 가지고, 시간 영역에서 CM 특성을 가진다.

본 장에서 고려된 다양한 신호들은 수신신호 모델에 포함되는 원하는 신호 또는 간섭신호로 신호정보 수집 시스템의 입력에 포함된다. 도래각 추정기법과 간섭제거 기술이 탑재된 신호정보 수집 시스템은 입력된 신호들을 도래각 추정 및 간섭제거 범형성기에 적용한 뒤 신호에 실린 정보를 수집한다.

표 1. 첫 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오
Table 1. The first computer simulation scenario

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-37	-59	0.1
WB	47	-59	0.35
Pulsed	77	-59	-
AM	-25	-59	0.27
FM	21	-59	0.2

표 2. 두 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오
Table 2. The second computer simulation scenario

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
WB	-14	73	0.05
AM	71	73	0.27
FM	35, -83	73, 73	0.15, 0.3
PM	-41	73	0.43

표 3. 세 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오
Table 3. The third computer simulation scenario

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-47	82	0.15
WB	10	82	0.2
Pulsed	77	82	-
AM	23	82	0.09
FM	-72	82	0.4
PM	33	82	0.37

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 제시된 수신신호 모델에 적용 될 수 있는 신호들의 특성을 확인하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 세 가지 시나리오를 고려하였다. 첫 번째 시나리오의 수신신호는 한 개의 CW 신호, 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 구형파(PULSE) 신호, 한 개의 AM 신호, 한 개의 FM 신호 등을 포함한다. PULSE 신호는 50 샘플의 on/off 주기 신호로 가정한다. 첫 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 1에 요약되어 있다. 두 번째 시나리오의 수신신호는 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 AM 신호, 두 개의 FM 신호, 한 개의 PM 신호 등을 포함한다. 두 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 2에 요약되어 있다. 세 번째 시나리오의 수신신호는 본 논문에서 고려한 모든 신호들을 한 개씩 포함한다. 세 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 3에 요약되어 있다. AM 신호의 변조지수 α 는

0.05이고, PM 신호의 위상감도 K_p 는 0.001이다. 또한, FM 신호의 변조 인덱스 β 는 0.05이며, 정규화된 변조 주파수 f_m 은 0.001이다. AM 신호와 PM 신호의 메시지 신호는 BPSK(Binary Phase Shift Keying)로 가정하였다. 시뮬레이션 편의상 각 시나리오에서 모든 신호의 고도각은 같은 것으로 가정한다. 첫 번째와 두 번째 시나리오에서 각 신호에 대한 SNR(Signal-to-Noise Ratio)은 20dB로 가정하였고, 세 번째 시나리오에서는 10dB로 가정하였다.

그림 2는 첫 번째 시나리오의 수신신호에 CW, WB 잡음, PULSE, AM, FM 신호들이 한 개씩 포함된 경우에 대한 스펙트럼이다. 정규화된 주파수 {0.1}에서 CW 신호, {0.35}에서 WB 잡음 신호, {0.27}에서 AM 신호, {0.2}에서 FM 신호에 대한 스펙트럼을 각각 확인할 수 있다. PULSE 신호는 무한대의 대역폭을 가지므로, 주파수 전대역에 걸쳐 분포하여 그림에서 확인할 수 없다. 그림 3은 두 번째 시나리오의 수신신호에 WB잡음, AM, PM 신호가 한 개씩 포함되고, FM 신호가 두 개 포함된 경우에 대한 스펙트럼이다. 정규화된 주파수 {0.05}에서 WB 잡음 신호, {0.27}에서 AM 신호, {0.15}와 {0.3}에서 FM 신호, {0.43}에서 PM 신호에 대한 스펙트럼을 각각 확인할 수 있다. 그림 4는 세 번째 시나리오의 수신신호에 CW, WB잡음, PULSE, AM, FM, PM 신호가 한 개씩 포함된 경우에 대한 스펙트럼이다. 정규화된 주파수 {0.15}에서 CW 신호, {0.2}에서 WB 잡음 신호, {0.09}에서 AM 신호, {0.4}에서 FM 신호, {0.37}에서 PM 신호에 대한 스펙트럼을 각각 확인할 수 있다. 세 번째 시나리오 역시 PULSE 신호는 주파수 전대역에 걸쳐 분포한다. 그림 3과 그림 4를 비교하면, PULSE 신호의 유무에 따라 스펙트럼의 절대값이 다르다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다양한 간섭과 잡음이 존재하는 환경에서 원하는 신호의 정보를 효율적으로 수집할 수 있게 설계된 빔형성 기반의 신호정보 수집 시스템의 입력에 적용될 수 있는 간섭과 잡음이 포함된 수신신호 모델을 제안하였다. 또한, 수신신호 모델에

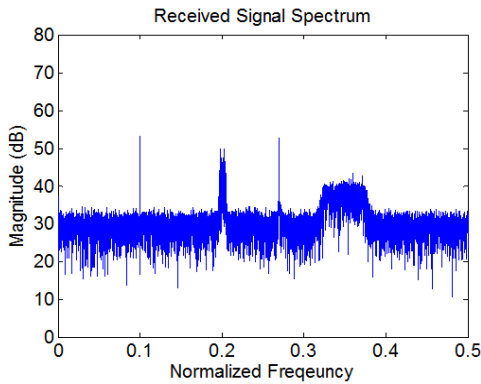


그림 2. 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼
Fig. 2 The received signal spectrum for the first scenario

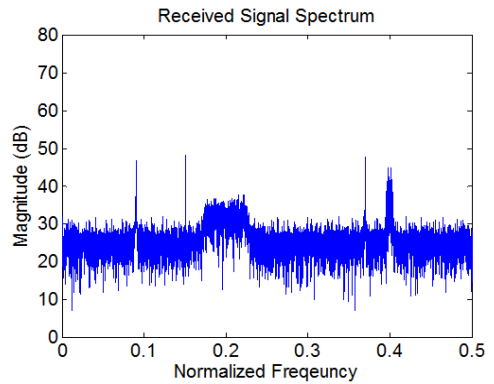


그림 4. 세 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼
Fig. 4 The received signal spectrum for the third scenario

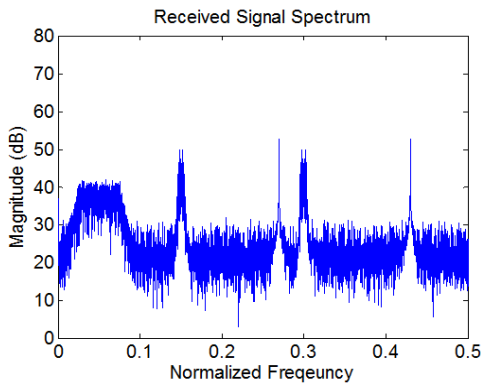


그림 3. 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼
Fig. 3 The received signal spectrum for the second scenario

포함될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 분석하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 각 신호들에 대한 스펙트럼 특성을 확인하였다. 본 논문에서 고려된 신호들은 CW 신호, WB 잡음 신호, PULSE 신호, AM 신호, FM 신호, PM 신호 등이다. 이 신호들은 제안된 신호모델의 원하는 신호 또는 간섭신호로 고려될 수 있고, 제안된 신호모델은 신호정보 수집 시스템의 입력으로 사용되어, 다양한 신호 도래각 추정 알고리즘과 MVDR이나 GSC와 같은 적응 어레이 기반의 간섭제거 빔형성기의 성능평가에 효율적으로 적용될 수 있다.

감사의 글

이 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 재원에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터 사업의 지원을 받아 수행되었음

References

- [1] J. Lim, "Technology status and development trend of electronic warfare equipment," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 11, no. 4, 2000, pp. 53-63.
- [2] B. Song, "A Study Radio Frequency Interference Analysis for Earth Station Design in Satellites Communications System," *Conf. Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Yongpyong, Korea, June 2005, pp. 859-862.
- [3] J. Jo, "Drone Based Sensor Network Scenario for the Efficient Pedestrian's EEG Signal Transmission," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 11, no. 9, 2016, pp. 923-928.
- [4] D. Lim, J. Kang, and M. Heo, "Hybrid TDOA/AOA Localization Algorithm for GPS

- Jammers," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 20, no. 1, 2014, pp. 101-105.
- [5] S. Hwang, "GPS AOA Choosing Algorithm in Environment of High-Power Interference Signals," *J. of Advanced Navigation Technology*, vol. 16, no. 4, 2012, pp. 649-656.
- [6] D. Lim, Y. Choi, S. Lee, M. Hoe, and G. Nam, "Design of a Jammer Localization System using AOA method," *J. of Advanced Navigation Technology*, vol. 15, no. 6, 2011, pp. 1241-1249.
- [7] C. You, B. Song, and I. Hwang, "Research Regarding Filter Composition and Motor control for Yagi-Antenna Remote Tracking System," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 11, no. 11, 2016, pp. 1039-1046.
- [8] S. Hwang and J. J. Shynk, "Multicomponent Receiver Architectures for GPS Interference Suppression," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, no. 2, 2006, pp. 489-502.
- [9] D. Kim, J. Kim, K. Sim, and J. Ahn, "Automatic Modulation Recognition Algorithm Based on Cyclic Moment and New Modified Cumulant for Analog and Digital Modulated Signals," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 9, 2013, pp. 2009-2019.
- [10] H. Jeong, "A Study on the Jamming Technique and Effects over the Satellite Communication Channel," *Conf. Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Seoul, Korea, Nov. 2008, pp. 1544-1546.
- [11] S. Hwang, "Output SINR Analysis of GPS Adaptive Interference Canceler Based on Modified Despreader," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 9, no. 2, 2014, pp. 195-202.
- [12] S. Kim and S. Hwang, "Computational

Complexity Comparison of TPMS Beamformers for Interference Suppression," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1327-1335.

저자 소개



문지윤(Ji-Youn Mun)

2016년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업

2016년 3월 조선대학교 대학원 전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : 데이터베이스, 위치추정, 간섭제거, 적응신호처리



황석승(Suk-Seung Hwang)

1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업 (공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업 (공학박사)

2006. 5 ~ 2008. 3 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008. 3 ~ 2014. 1 조선대학교 메카트로닉스공학과 교수

2014. 2 ~ 현재 조선대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거, RFID