Adaptive Beamformer Using Signal Location Information for Satellite

Se-Yen Kim¹, Suk-seung Hwang^{2†}

¹Department of Electronic Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea ²School of Electronic Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

ABSTRACT

The satellite employs an adaptive beamformer to efficiently detect various signals and to suppress multiple interference signals, simultaneously. Although the adaptive beamforming satellite system needs Angle-of-Arrival (AOA) information of the desired signal, it is difficult to estimate the signal AOAs on the satellite environment. However, the AOA estimation on the ground control tower is more efficient and accurate comparing to the satellite environment. In this paper, we propose an adaptive beamforming satellite system based on the signal location information on the ground, consisting on an angle estimator, an adaptive beamformer, and signal processing & D/B unit. The ground control tower estimates the accurate location of the signal source, and it sends the estimated coordinates of the desired signal to the satellite. The angle estimator mounted on the satellite calculates the desired signal AOA, based on the signal location information transmitted from the ground control center. The satellite beamformer detects the desired signal and suppresses unwanted signals based on the signal AOA calculated by the angle estimator. We provide computer simulation results to present the performance of the proposed satellite adaptive beamforming system based on the signal location information.

Keywords: angle estimator, adaptive beamformer, MVDR, interference cancellation

1. INTRODUCTION

위성 환경에서 Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) (Park et al. 2011, Ghadian et al. 2016, Jeong et al. 2017), Minimum Mean Square Error (MMSE) (Kim 2011)와 같은 적응 범형성기(Adaptive Beamformer) (Mun et al. 2017, Lee 2018, Lee 2019)를 사용해 지상의 신호정보 (Lee 2013)를 효율적으로 수신 하기 위해서는 신호원의 정확한 도래각(Angle-of-Arrival: AOA) 정보가 필요하다. 신호의 방향 정보 추정을 위해 Multiple Signal Classification (MUSIC)과 같은 고분해능의 방향탐지 알고리즘 이 우수한 성능을 가지는데, 위성은 250 ~ 36,000 km (Lee 2013) 의 매우 높은 고도에 위치하므로 일반적으로 위성에 도달하는 신 호의 세기가 매우 약해질 뿐만 아니라, 지구의 각종 전리층의 영

Received Nov 03, 2020 Revised Nov 18, 2020 Accepted Nov 22, 2020 [†]Corresponding Author E-mail: hwangss@chosun.ac.kr Tel: +82-62-230-7741 Fax: +82-62-230-6596 Se-Yen Kim https://orcid.org/0000-0003-0308-4863 Suk-seung Hwang https://orcid.org/0000-0002-0482-6868 향 (Choi 2014) 및 강우와 같은 기후변화, 위성의 제한된 면적에 사용되는 충분하지 않은 안테나 요소 개수 등의 요인(Lee et al. 2013, Lee et al. 2014)으로 인해, 위성 환경에서의 정확한 도래각 추정이 어려운 경우가 많다. 즉, 상당한 거리와, 낮은 신호전력 및 높은 전력의 간섭을 고려해야 하는 위성환경에서 도래각을 정 확하게 추정하는 것은 매우 어렵다. 반면, 지상에서는 이러한 제 한 요인이 없으므로, 위성 환경에 비해 효율적이고 정확한 위치 추정 및 방향탐지가 가능하다.

본 논문은 위성에서 직접 신호원의 도래각을 추정하지 않고, 지상 관제센터로부터 신호원의 위치를 수신하여, 도래각을 계산 한 후 이를 기반으로 간섭제거와 정확한 신호 수신을 수행하는 위성 빔형성 시스템을 제안한다. 지상 관제센터는 다양한 위치 추정 기법을 이용하여 신호원의 위치를 추정하고, 추정된 위치 좌표를 위성에 송신한다. 제안된 위성 시스템은 각도 추정기, 빔 형성기, 신호처리 및 D/B 유닛으로 구성된다. 각도 추정기는 지 상 관제센터로부터 수신된 신호원의 추정 좌표로부터 신호원의 도래각 정보를 계산하고, 빔형성기는 계산된 도래각 정보를 기 반으로 간섭신호 제거를 통한 정확한 신호를 수집하며, 신호처 리 및 D/B 유닛은 수집된 신호로부터 정보를 가공하고 저장한다. 본 논문에서는 적응 빔형성기에 우수한 간섭제거 성능을 가지는 MVDR 알고리즘을 적용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서 안테나 모델, 각 종 신호 및 잡음을 포함하는 수신신호 모델을 제시하고, 3장에서 신호원의 위치를 기반으로 하는 적응 빔형성 위성시스템을 소개 한다. 4장에서 제안된 위성 시스템의 성능 평가 및 분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시하고, 5장에서 논문의 결론을 맺 는다.

2. RECEIVED SIGNAL MODEL

본 장에서는 *M*(*M*=Q×*P*)개의 안테나 요소를 가지는 배열 (array) 안테나로 입사되는 원하는 신호와 다수개의 간섭신호 및 잡음으로 이루어진 수신신호 모델 (Mun et al. 2017)을 제시한다. 위성 수신기에서 샘플(sample) 인덱스 *k*에 대한 수신신호 벡터는 Eq. (1)과 같다.

$$\mathbf{h}(k) = \mathbf{a}_{x} x(k) + \mathbf{A} \mathbf{r}(k) + \mathbf{n}(k)$$
(1)

여기서 h(k)는 크기 M의 수신 신호 벡터이고, a,는 원하는 신호 x(k)에 대한 크기 M의 어레이 응답 벡터이다. A는 M×N크기를 가지는 다수개의 간섭신호에 대한 어레이 응답 핵렬이며, A의 각 열은 각각의 간섭신호에 대한 어레이 응답 벡터이다. A는 Eq. (2) 와 같다.



여기서 $r_l \triangleq 2\pi(d/\lambda)\sin\theta_l \cos\phi_l$ 이고, $\gamma_l \triangleq 2\pi(d/\lambda)\sin\theta_l \cos\phi_l$ 이며, $\mathbf{r}(k)$ 는 크기 N(간섭신호의 개수)의 간섭신호 벡터이고, $\mathbf{n}(k)$ 는 independent identically distributed (i.i.d) 특성을 가지는 Additive White Gaussian Noise (AWGN) 벡터로 M의 크기를 갖는다. 또 한, θ_l 과 ϕ_l 은 l번째 신호의 고도각과 방위각을 각각 나타내며, $\mathbf{n}(k)$ 의 각 요소는 평균이 "0"이고 분산이 " σ ""이라고 가정한다.

3. ADAPTIVE BEAMFORMING BASED ON SIGNLA LOCATION FOR SATELLITE

본 장은 지상 관제센터로부터 무지향성(omni-directional) 배 열 안테나를 통해 수신된 신호의 위치정보를 기반으로, 원하는 신호의 도래각을 계산하는 각도 추정기, 계산된 도래각을 적용하 여 수신신호에 포함된 간섭을 제거하고 원하는 신호를 효율적으



Fig. 1. Basic structure of adaptive beamforming satellite system based on signal location.

로 추출하기 위한 MVDR 빔형성기, 수집된 정보의 가공 및 저장 을 위한 신호처리 및 D/B 유닛으로 이루어진 적응 빔형성 위성 시스템을 제시한다. 제안된 신호위치 기반의 빔형성 위성시스템 의 기본 구성도는 Fig. 1에 도시되어 있다.

3.1 각도 추정기

위성에서 직접 신호의 정확한 도래각을 추정하는 것은 매우 어려우므로, 제안된 시스템은 지상의 관제센터에서 신호의 위 치를 추정하여 그 정보를 위성으로 송신하고, 위성은 수신된 신 호 위치를 기반으로 원하는 신호의 도래각을 계산한다. 신호 원의 위치는 Time of Arrival (TOA) 삼변측량법(Trilateration), Time Difference of Arrival (TDOA)(Kown et al. 2018) 등의 다양 한 위치추정 기법을 사용하여 추정될 수 있다. 위성에 탑재된 각 도 추정기는 신호원으로부터 위성으로의 방향 정보 (Choi & Lee 2017)를 계산하기 위해 제2코사인 법칙 (Lee et al. 2009)과 삼각 비 법칙을 적용한다.

본 논문에서 고려된 모든 거리는 계산되거나 주어진 좌표 정 보를 이용하여, Eq. (3)에 의해 계산된다. Eq. (3)에서 (x₁, y₁)과 (x₂, y₂)은 임의의 두 좌표를 나타낸다.

$$r = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$
(3)

지상으로부터 수신된 신호의 위치정보를 기반으로 원하는 신호 의 고도각(elevation angle)은 Eq. (4)와 같이 제2코사인 법칙을 이용해 계산된다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2}{2r_1 r_2} \right) \qquad (0^\circ < \alpha < 90^\circ)$$
(4)

$$\theta = 180 - \alpha \qquad (90^\circ < \theta < 180^\circ) \tag{5}$$

$$\theta = 180 + \alpha \qquad (180^\circ < \theta < 270^\circ) \tag{6}$$

Eq. (4)에서 α는 고도각 θ를 구하기 위한 r₁과 r₂사이의 끼인각이 며, r₁은 위성과 위성을 X-Y 평면으로 투영한 좌표 사이의 거리 이고, r₂는 신호원과 위성 사이의 거리이며, r₃는 신호원과 위성 X-Y투영좌표 사이의 거리이다. 여기서 X-Y평면은 지상관제 센 터를 기준(원점)으로 고도(Z)축을 고려하지 않은 좌표 평면을 뜻 한다. Eqs. (5-6)에서 θ는 고도각을 나타낸다. 위성의 특성상 고도 각은 90°~270°의 범위를 가진다. 또한, 신호의 또 다른 방향 정보 인 방위각(azimuth angle)은 Eq. (7)과 같이 삼각비 법칙을 기반 으로 계산된다.



Fig. 2. Conceptual diagram for angle estimation.

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{r_4}{r_3}\right) \tag{7}$$

$$\phi = \begin{pmatrix} \beta & (0^{\circ} < \phi < 90^{\circ}) \\ 180 - \beta & (90^{\circ} < \phi < 180^{\circ}) \\ 180 + \beta & (180^{\circ} < \phi < 270^{\circ}) \\ 360 - \beta & (270^{\circ} < \phi < 360^{\circ}) \end{pmatrix}$$
(8)

본 장에서 제시된 거리 변수들은 모두 Fig. 2에 도시되어 있는 데, 지상 관제센터의 좌표가 원점으로 설정되었던 좌표를 위성이 X-Y 평면으로 투영된 점을 원점으로 이동시켜 신호 및 지상 관 제센터의 좌표를 결정한다. Eq. (7) 에서 r₄는 신호원의 평면 좌표 를 X축으로 투영하였을 때 X축과 만나는 교점과 위성 X-Y 투영 좌표 사이의 거리이다. Eq. (7)를 기반으로 방위각 ¢는 Eq. (8)과 같이 계산된다. 방위각을 계산하기 위해, 신호원과 지상 관제센 터의 좌표는 X-Y 평면에 투영시킨 좌표를 사용하였다.

3.2 빔형성기

본 논문에서는 효율적인 간섭제거와 원하는 신호 획득을 위해 MVDR 빔 형성기(Mun & Hwang 2017)를 고려한다. MVDR 빔 형 성기는 원하는 방향으로 빔(beam)을 형성시키고, 원하지 않는 방 향으로 널(null)을 형성하는 방식으로 고전력의 간섭신호를 효율 적으로 제거하는 적응형 빔형성 알고리즘이다. MVDR의 가중치 벡터(**w**_{mvd})는 원하는 신호의 도래각이 적용된 어레이 응답벡터 를 기반으로 Eq. (9)과 같이 계산된다.

$$\mathbf{W}_{mvdr} = \left(\mathbf{a}_{x}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{a}_{x}\right)^{-1}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{a}_{x}$$
(9)

여기서 $\mathbf{R}=E[\mathbf{h}(k)\mathbf{h}^{H}(k)]$ 은 수신신호 벡터에 대한 공분산 행렬이 다. 간섭이 제거되어 원하는 신호와 잡음만을 포함하는 MVDR 빔형성기의 출력은 Eq. (10)와 같다.

$$y_{mvdr}(k) = \mathbf{w}_{mvdr}^{H} \mathbf{h}(k)$$
(10)

Table 1. The received signal parameter for the first scenario.

Signal	Elevation (θ°)	Azimuth (φ°)	Center frequency
CW1	120	12	0.1
CW2 (desired)	120	260	0.2
CW3	120	93	0.4
FM	120	320	0.15
AM	120	85	0.32

Table 2. The received signal parameter for the second scenario.

Signal	Elevation (θ°)	Azimuth (ø°)	Center frequency
CW	210	330	0.3
WB (desired)	210	110	0.05
FM	210	197	0.2
AM	210	45	0.42

여기서 H는 켤레 전치를 나타낸다.

빔형성기 출력은 신호처리 및 D/B유닛으로 전송되는데, 이 유 닛은 추가적인 정보를 가공하고 저장하는 장치로 정의되며, 본 논문에서는 그 필요성만 언급하고 자세한 설명은 생략한다.

4. COMPUTER SIMULATION

본 장에서는 제안된 신호 위치 기반의 위성 범형성 시스템 성 능평가를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시한다. 시뮬레이 션을 위해 (Mun & Hwang 2017)에서 제시된 수신신호 모델을 고려하였고, 첫 번째 시나리오는 수신신호에 한 개의 원하는 신 호(Continuous Wave2; CW2)와 네 개의 간섭신호(CW1, CW3, Frequency Modulation; FM, Amplitude Modulation; AM) 및 잡 음이 포함된다고 가정하였다. 각 신호의 실제 신호-대-잡음비 (Signal-to-Noise Ratio (SNR))는 20 dB로 가정하였고, 각 신호 에 대한 매개변수들은 Table 1에 요약되어 있다. 두 번째 시나리 오의 수신신호는 한 개의 원하는 신호(Wideband; WB)와 세 개의 간섭신호(CW, FM, AM) 및 잡음이 포함된다고 가정하였고, 각 신호 에 대한 매개변수들은 Table 2에 요약되어 있다. 시뮬레이션의 편 의를 위해, 각 시나리오의 신호들 고도각은 모두 동일하다고 가 정하였다.

Figs. 3과 4는 첫 번째 시나리오와 두 번째 시나리오의 주파 수 영역에서의 수신신호 스펙트럼으로, Fig. 3에서는 원하는 신 호와 간섭신호를 포함한 총 5개의 신호를 Fig. 4에서는 원하는 신 호와 간섭신호를 포함한 총 4개의 신호를 확인할 수 있다. Figs. 5 와 6은 랜덤하게 수집한 신호 좌표의 값을 지상 관제센터로 전 송하였을 때 신호의 추정좌표를 표시하였다. 이때, Fig. 5의 위 성 좌표는 (0.66, 0.545, 0.81), 지상 관제센터의 좌표는 (0, 0, 0) 으로 가정하였으며, 추정된 신호의 위성대비 상대좌표(정규화 된 좌표: Normalized Coordinate)는 (0.7, 0.2, 0), (-0.2, -0.52, 0), (-0.1, 0.68, 0), (0.41, -0.23, 0), (0.25, 0.83, 0) 이다. 지상 관제센 터로부터 전송된 각 신호의 좌표를 바탕으로 계산된 고도각과 방위각은 (119.8°, 12.01°), (119.8°, 260.02°), (119.8°, 92.89°), (119.8°, 319.7), (119.8°, 84.9°)으로 Table 1에 요약된 실제 신호의 고도각 및 방위각과 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. Fig. 6의 위성 좌



Fig. 3. The received signal spectrum for the first scenario.



Fig. 5. Relative signal coordinates for the first scenario.



Fig. 7. MVDR beam pattern for azimuth angle for the first scenario (θ =120°).

표는 (0.48, 0.61, 0.88), 지상 관제센터의 좌표는 (0, 0, 0)으로 가 정하였으며, 추정된 신호의 위성좌표 대비 상대좌표는 (0.3, 0.17 0), (-0.11, 0.34, 0), (-0.71, -0.27, 0), (0.52, 0.52, 0) 이다. 지상 관 제센터로부터 전송된 각 신호의 좌표를 바탕으로 계산된 고도각 과 방위각은 (210.01°, 330.02°), (210.01°, 110.03°), (210.01°, 196.78°), (210.01°, 44.8°)으로 Table 2에 요약된 실제 신호의 고도각 및 방 위각과 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. 3.1장에서 설명하였듯 이 원점이였던 지상 관제센터의 좌표를 위성이 X-Y 평면으로 투 영된 점으로 원점을 이동하고 모든 좌표들을 다시 설정한 후, 고 도각과 방위각을 계산하였다.



Fig. 4. The received signal spectrum for the second scenario.



Fig. 6. Relative signal coordinates for the second scenario.



Fig. 8. MVDR beam pattern for azimuth angle for the second scenario $(\theta=210^{\circ})$.

Fig. 7은 첫 번째 시나리오의 θ=120°일 때 MVDR 빔형성기에 대한 방사각 빔 패턴이고 Fig. 8은 두 번째 시나리오의 θ=210°일 때 MVDR 빔형성기에 대한 방사각 빔 패턴을 보인다. 두 그림을 통해, 원하는 신호의 도래각 방향으로 빔이 효율적으로 형성되었 고, 간섭신호들의 도래각 방향으로 널이 형성되어 있음을 확인 할 수 있다. Figs. 9와 10은 각각 첫 번째 시나리오와 두 번째 시나 리오의 MVDR 빔형성기 출력에 대한 스펙트럼으로 두 그림 모 두 원하는 신호를 제외한 간섭신호들이 효과적으로 제거되었음 을 확인할 수 있다. Figs. 11과 12는 첫 번째 시나리오와 두 번째 시



Fig. 9. MVDR beamformer output spectrum for the first scenario.



Fig. 11. Output SINR versus input SNR of MVDR beamformer for the first scenario.

나리오의 MVDR 빔형성기에 대한 입력 SNR 대비 출력 Signalto-Interference and Noise Ratio (SINR) 시뮬레이션 결과를 나 타낸다. 입력 SNR을 0 dB부터 20 dB까지 변화시켰으며, 간섭이 효과적으로 제거되어 출력 SINR이 입력 SNR과 비슷함을 확인할 수 있다. 위의 결과들로부터 제안된 신호원 위치 기반의 적응 빔 형성 위성 시스템이 효율적으로 동작한다는 결론을 도출할 수 있 다.

5. CONCLUSIONS

본 논문은 다양한 외부 환경 및 제한된 배열 안테나 크기로 인 해 위성 환경에서 신호의 정확한 도래각을 직접 추정하기 어렵다 는 단점을 보완하기 위해, 신호위치 기반의 위성 빔형성 시스템 을 제안하였다. 지상 관제센터에서 신호원의 위치를 추정한 후, 위치 정보를 위성으로 송신하고, 위성에 탑재된 각도 추정기는 수신된 신호의 위치를 기반으로 신호의 도래각을 계산한다. 빔형 성기는 간섭신호들을 제거하고 원하는 신호를 획득하기 위해, 계 산된 도래각 기반의 빔형성 가중치 벡터를 생성한다. 본 논문에 서는 빔형성기로 우수한 성능을 보유한 적응형 MVDR 빔형성기 를 고려한다. 빔형성기를 통해 획득된 신호는 정보 가공과 저장 을 위해 신호처리 및 D/B 유닛으로 전송된다. 컴퓨터 시뮬레이션 을 통해 제안된 빔형성 위성시스템의 성능평가를 실시하였다.



Fig. 10. MVDR beamformer output spectrum for the second scenario.



Fig. 12. Output SINR versus input SNR of MVDR beamformer for the second scenario.

ACKNOWLEDGMENTS

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

이 논문은 2020년도 조선대학교 연구비의 지원을 받아 연구되 었음.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, S. Kim and S. Hwang; methodology, S. Kim and S. Hwang; software, S. Kim; validation, S. Kim.; formal analysis, S. Kim; investigation, S. Kim and S. Hwang; writing—original draft preparation, S. Kim; writing—review and editing, S. Hwang; supervision; S. Hwang

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Choi, G.-Y. 2014, The lonospheric Effects on GPS-based Control Systems, in 2014 KAIST KI Building, Daejeon, 164-168 Nov 2014.
- Choi, M.-J. & Lee, J.-K. 2017, An Order-Switching Magnetic Distortion Compensation Mechanism for Accurate Azimuth Estimation, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 23, 552-558. https://doi. org/10.5302/J.ICROS.2017.17.0047
- Ghadian, M., Jabbarian-Jahromi, M., & Kahaei, M.-H., 2016, Recursive Sparsity-based MVDR Algorithm for Interference Cancellation in Sensor Arrays, IETE J. Research, 62, 212-220. https://doi.org/10.1080/0377206 3.2015.1084246
- Jeong, E.-R., Won, H.-H., Yang, G.-J., & Ahn, B.-S. 2017, A New Multi-Beam MVDR Technique for Removing Interference Signals in Array Antenna Based GPS Receivers, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, 21, 491-498. https:// doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.3.491
- Kim, C.-K. 2011, Performance of MIMO-OFDM systems with multi-beamforming based on MMSE, Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, 48,6-13. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId= NODE01645114
- Kwon, S.-H., Kim, D.-O., Moon, S.-M., Lee, J.-H., Bae, S.-R., et al. 2018, 3D Localization for a Launch Vehicle using Virtual TOA, AOA, and TDOA, Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, 55, 3-14. https://doi.org/10.5573/ieie.2018.55.1.3
- Lee, H., Kim, W., & Choi, T., & Oh, S., June 2019, An Analysis on the Propagation Prediction Model of Earthspace Communication Link using Local Data, J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences, 14, 483-488. https://doi.org/10.13067/ JKIECS.2019.14.3.483
- Lee, H.-H. 2013, The History and Current Status of Signal Intelligence Satellites, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, 11, 111-118
- Lee, H.-S., Bok, Y.-S., Shin, H.-J., & Park, B.-W. 2009, In Basestation with Multi-channels Using the Second Law of Cosines the Position Estimation Method, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 34, 1387-1398.
- Lee, K.-H. 2019, Wideband Jamming Signal Remove Using Adaptive Array Algorithm, Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 12, 419-424. https://doi.org/10.17661/ jkiiect.2019.12.4.419

- Lee, S.-G., Lee, J.-T., Kang, E.-S., & Young, S.-S. 2013, Technical Trends Of X-band Antenna for Space Program, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, 11, 81-89.
- Lee, S.-Y., Jeong, S.-Y., Choi, Y.-H., & Cho, K.-D. 2014, Mechanism Modeling and Analysis of Deployable Satellite Antenna, Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, 42, 601-609. https://doi. org/10.5139/JKSAS.2014.42.7.601
- Lee, Y.-W. 2018, Jamming Signal Rejection Algorithm for Uplink of Unmanned Aerial System, J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, 46, 182-188. https://doi.org/10.5139/JKSAS.2018.46.2.182
- Mun, J.-Y., Bae, Y.-C., & Hwang, S.-S. 2017, Adaptive Beamforming System Architecture Based on AOA Estimator, Journal of the KIECS, 12, 777-782. https:// doi.org/10.13067/JKIECS.2017.12.5.777
- Mun, J.-Y. & Hwang, S.-S. 2017, Input Signal Model Analysis for Adaptive Beamformer, Journal of the KIECS, 12, 433-438. https://doi.org/10.13067/JKIECS.2017.12.3.433
- Park, C., Kim, S.-M., & Hwang, S.-S. 2011, Interference Suppression Based on Switching Beamforming for TPMS, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 21, 436-441. https://doi.org/10.5391/ JKIIS.2011.21.4.436.
- Park, D., Lee, J., & Choi, J. 1998, The Characteristic Analysis of Wave Propagation for ICO Communication Satellite, Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 9, 199-210.



Se-Yen Kim was born in Gwangju, Korea, and received the B.S. Degree in Electronic Engineering for Chosun University, Gwangju, Korea, in 2020 and taking the M.S. degree in Electronic Engineering from Chosun University, Gwangju, Korea, in 2020. Now, she is a Teaching Assistant. Her

interests include adaptive signal processing for satellite, signal location estimation and wireless communications.



Suk-Seung Hwang was born in Seoul, Korea, and received the B.S. degree in Control and Instrumentation Engineering from Kwang-Woon University, Seoul, in 1997, and the M.S. and Ph.D. degrees in Electrical and Computer Engineering from the University of California, Santa Barbara (UCSB), in 2001 and 2006,

respectively. At UCSB, his interests included adaptive signal processing applied to wireless communications, interference

cancellation for GPS, and adaptive algorithms for an optical switch. He was a Teaching Assistant and a Graduate Student Researcher from 1999 to 2006. From 2006 to 2008, he was a Senior Engineer with the Telecommunication R&D Center, Samsung Electronics Company, Ltd., Suwon, Korea. At Samsung, his research interests included smart antennas and MIMO channel estimation, and location-based service algorithms. From 2008 to 2014, he was with the Department of Mechatronics Engineering, and since 2014, he has been with the Department of Electronic Engineering, Chosun University, Gwangju, Korea, where he is currently a Professor. His current research interests include adaptive signal processing for wireless communications and interference suppression, location detection technology (LDT) based on GPS and non-GPS, and wireless communications for a tire-pressure monitoring system (TPMS).