

동심원 배열 안테나를 적용한 캐스케이드 도래각 추정 성능분석

김태윤* · 황석승**

Performance Analysis of Cascade AOA Estimator with Concentric Ring Array Antenna

Tae-Yun Kim* · Suk-Seung Hwang**

요약

배열 안테나 수신기에서 도래각(Angle of Arrival : AOA) 정보는 다양한 상황에서 특정 신호의 위치추정 및 효율적인 신호 획득을 위한 주요한 요소 중 하나이다. 위성망을 통한 도래각 추정은 위성에 탑재된 평면(격자형, 원형) 배열 안테나를 이용하여 빠르게 넓은 지역의 도래각 정보를 획득할 수 있다는 장점을 가진다. 위성 환경에서는 배열 안테나의 크기에 제약이 있어, 다수개의 안테나 요소를 사용하면서 전체 크기가 작은 동심원 배열(CCA : Concentric Circular Array or CRA : Concentric Ring Array) 안테나 구조가 단일 원형 배열(UCA : Uniform Circular Array) 안테나 구조에 비해 효율적이다. 본 논문은 동심원 배열 안테나를 적용한 CAPON과 BeamSpace MUSIC으로 구성된 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘을 소개한다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 제시된 알고리즘에 대한 성능평가를 실시하고, 단일 원형 배열 안테나의 경우와 비교/분석한다.

ABSTRACT

The Angle-of-Arrival(AOA) information for an array antenna receiver is one of the important factors for estimating the location of specific signals and detecting signals efficiently, in various situations. The AOA estimator in the satellite environment can rapidly calculate the AOA information in the wide area, utilizing a planar (grid, circular) array antenna mounted on the satellite. Since the satellite receiver has the limitation of the array antenna size, the concentric circular (ring) array (CCA or CRA) antenna structure with comparatively small size but with multiple antenna elements is more efficient than the uniform circular array (UCA) structure, for the satellite environment. In this paper, we introduce a cascade AOA estimation algorithm based on CRA, consisting of CAPON and BeamSpace MUSIC. In addition, we provide computer simulation examples for verifying the estimation performance of the cascade AOA estimation algorithm based on CRA and compare it to the case of UCA.

키워드

Concentric Ring Array Antenna, AOA Estimation, Cascade Estimation, CAPON, BeamSpace MUSIC
동심원 배열 안테나, 도래각 추정, 캐스케이드 추정, 케이런, 빔공간 뮤직

* 조선대학교 전자공학과 (skriekd12@chosun.kr)

** 교신저자 : 조선대학교 전자공학부

• 접수일 : 2020. 09. 13
• 수정완료일 : 2020. 09. 29
• 게재확정일 : 2020. 10. 15

• Received : Sep. 13, 2020, Revised : Sep. 29, 2020, Accepted : Oct. 15, 2020

• Corresponding Author : Suk-Seung Hwang

School of Electronic Engineering, Chosun University,
Email : hwangss@chosun.ac.kr

1. 서론

평범한 일상에서부터 재난과 같은 응급 상황까지 다양한 환경에서 신호의 도래각 정보는 신호의 위치를 추정하기 위한 매우 중요한 요소이다. 또한, 배열 안테나를 사용하여, 신뢰도 높은 신호를 수신하기 위해서도 신호의 도래각은 필수적인 요소이다. 도래각 정보는 레이더[1-3]를 포함하는 지상 통신망, 신호 수집을 목적으로 하는 무인기[4]를 포함하는 비행체, 250km~36000km 사이의 지구 궤도를 돌고 있는 위성[5] 등을 통해 획득할 수 있다. 위성망을 사용하여 신호의 도래각을 추정할 경우, 지형의 영향을 받지 않고 넓은 지역의 도래각 정보를 신속하게 파악할 수 있다는 장점을 가진다. 일반적으로, 도래각 정보는 위에서 언급한 다양한 시스템에 탑재된 배열 안테나를 통해 획득할 수 있다. 배열 안테나를 구성하는 방법은 크게 선형 배열, 평면형 배열, 적층형 배열로 구분된다. 선형 배열은 고도각과 방위각을 동시에 검색하는 것이 불가능하고, 적층형 배열의 경우 안테나 구현 난이도가 높아, 도래각 정보(고도각(: Elevation angle) 및 방위각(: Azimuth angle)) 수집을 위해 평면형 배열이 주로 사용되어 진다. 평면형 배열의 대표적인 예로 격자형 배열과 원형 배열이 있는데, 원형 배열의 경우 구조적 특성으로 인해 격자형 배열에 비해 분해능이 높다는 장점을 가진다[6-8]. 다수 개 신호들의 정확한 도래각 정보를 동시에 추정하기 위해서는 다수개의 안테나 요소가 필요한데, 위성 수신기의 경우 일반적으로 많은 수의 안테나 요소를 탑재하기 위한 공간적 여유가 충분하지 않다[9]. 이러한 위성의 공간적 제한조건 문제를 개선하기 위해 최근 다수개의 원형 배열을 동심원 구조로 배치하는 CRA 안테나 연구가 진행되고 있다[10, 11].

본 논문에서는 제한된 공간에 효율적인 배치가 용이한 CRA 안테나를 적용한 CAPON과 BeamSpace MUSIC 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘을 소개한다. CAPON을 사용하여 다수개의 도래각을 포함한 도래각 그룹을 대략적으로 계산하고, 도래각 그룹으로부터 얻은 도래각이 존재하는 범위 내에서 BeamSpace MUSIC 알고리즘을 이용하여 도래각 그룹 내의 개별 도래각들을 상세하게 추정한다[12]. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해, 제시된 캐스케이드 알

고리즘의 도래각 추정성능을 평가하고, UCA 안테나가 적용된 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘[12]과 그 결과를 비교하고 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 다수개의 원형 배열로 구성된 CRA 안테나의 배열 응답벡터 및 다양한 신호들과 간섭을 포함하는 수신 신호 모델을 제시하고, 3장에서 CRA 안테나 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 제시된 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘의 성능분석 및 UCA 안테나 기반의 도래각 추정 알고리즘과의 성능 비교를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보이고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 수신 신호 모델

본 장에서는 CRA 안테나의 배열 응답벡터, 다수개의 신호, 잡음 등이 고려된 수신 신호 모델을 제시한다.

2.1 동심원 배열 안테나 모델

그림 1과 같이 배열의 반지름이 다르며, 동일 중심을 갖는 원형 배열이 다수(M)개 존재하는 구조를 갖는 안테나를 CRA 안테나라고 정의한다.

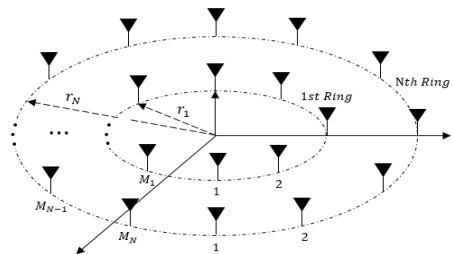


그림 1. CRA 안테나 구조
Fig. 1 Structure of CRA antenna

2.2 수신 신호 모델

배열의 반지름이 서로 다른 N 개의 원형 배열로 이루어진 총 $M(M = M_1 + M_2 + \dots + M_N)$ 개의 안테나 소자를 갖는 CRA 안테나를 고려한 경우, 샘플(sample) 인덱스 k 에 대한 수신신호 벡터는 식(1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{A}\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad (1)$$

식 (1)에서 $\mathbf{A} = [\mathbf{a}_1 \ \mathbf{a}_2 \ \dots \ \mathbf{a}_L]$ 는 입사 신호들에 대한 $M \times L$ 크기의 CRA 응답 행렬이며, 각 열(column)은 신호의 배열 응답벡터로 식(2)와 같이 주어진다[13].

$$\mathbf{a}_l = \begin{bmatrix} e^{-j\alpha r_q \sin\theta \cos(\phi)} \\ e^{-j\alpha r_q \sin\theta \cos(\phi - \phi_q)} \\ \vdots \\ e^{-j\alpha r_q \sin\theta \cos(\phi - \phi_q)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서 $\alpha = 2\pi/\lambda$ 는 파상수를 나타내고, $r_q = M_q d_q / 2\pi$ ($q = 1, 2, \dots, N$)는 q 번째 원형 배열의 반지름이고, M_q 과 d_q 는 각각 q 번째 원형 배열에 위치하는 안테나 소자의 개수와 안테나 소자 간 거리를 나타내며, $\phi_q = 2\pi m_q / M_q$ ($m_q = 0, 1, \dots, M_q - 1$) 은 안테나 소자의 위치를 나타내는 인덱스이다. 식 (1)에서 $\mathbf{x}(k)$ 는 $M \times 1$ 크기의 수신 신호 벡터이고, $\mathbf{s}(k)$ 는 $L \times 1$ 크기의 신호 벡터이고, $\mathbf{n}(k)$ 는 i.i.d:(independent and identically distributed) 특성을 갖는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 크기 $M \times 1$ 의 AWGN:(Additive White Gaussian Noise) 잡음 벡터이다. 또한, L 은 신호의 개수이다.

III. CRA 안테나 기반 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘

본 장에서는 다수개의 원형 배열로 구성되는 CRA 안테나를 적용한 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘을 소개한다. 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘은 그림 2와 같이 CAPON과 Beamspace MUSIC으로 구성되어 있다. CRA 안테나를 이용하여 2장에서 제시된 신호를 수신하고, 수신된 신호를 기반으로 도래각 추정 절차를 진행한다. 먼저, CAPON을 이용하여 다수개의 도래각들을 포함하는 도래각 그룹들을 대략적으로 추정한다. 이 과정은 식 (3)에 주어진 CAPON 알고리즘의 공간 스펙트럼을 사용한다.

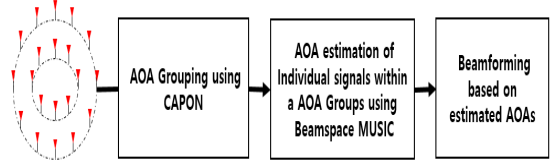


그림 2. CRA 안테나 기반 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘 기본 구조

Fig. 2 Basic structure of cascade AOA estimation algorithm based on CRA antenna

$$P_{CA} = \frac{1}{\mathbf{a}(\theta, \phi)^H \mathbf{R}^{-1} \mathbf{a}(\theta, \phi)} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\mathbf{a}(\theta, \phi)$ 는 특정 고도각과 방위각에 대한 어레이 응답 벡터이며, $\mathbf{R} = E[\mathbf{x}(k)\mathbf{x}(k)^H]$ 은 수신 신호 벡터의 공분산 행렬이다. 식 (3)으로부터 추정된 도래각 그룹 내의 각 신호의 상세한 도래각 추정을 위하여 Beamspace MUSIC 알고리즘을 사용한다.

Beamspace MUSIC 알고리즘에 CRA 모델을 적용하기 위해서는 다음과 같은 일련의 과정이 필요하다.

1. q 번째 링의 phase mode 생성을 위한 가중치 벡터 계산($\mathbf{w}_{u-qring}$)

$$\mathbf{w}_{u-qring} = [1 \ e^{ju2\pi/M_q} \ \dots \ e^{ju2\pi(M_q-1)/M_q}]^H \quad (4)$$

2. $(2U+1) \times (M_1 + \dots + M_q)$ 차원의 phase mode 행렬 계산($\mathbf{B}_{PM} = [(\mathbf{C}_j \mathbf{B}^H)_1, \dots, (\mathbf{C}_j \mathbf{B}^H)_q]$)

$$\mathbf{C}_j = \text{diag}\{j^{-U}, \dots, j^{-1}, 1, j^1, \dots, j^U\}$$

$$, \mathbf{C}_j \in \mathbb{R}^{2U+1 \times 2U+1}$$

$$\mathbf{B} = [\mathbf{w}_{-U} \ \dots \ \mathbf{w}_0 \ \dots \ \mathbf{w}_U], \ \mathbf{B} \in \mathbb{R}^{M_q \times 2U+1} \quad (5)$$

여기서, $U = \alpha r_q$ 는 q 번째 원형 배열의 최고차항 phase mode 이다.

3. $q(2U+1) \times (M_1 + \dots + M_q)$ 차원의 빔공간 변환 행렬 계산($\mathbf{B}_T = \mathbf{V}^H \mathbf{B}_{PM}$)

$$\mathbf{V} = [\mathbf{V}_1, \dots, \mathbf{V}_q], \ \mathbf{V} \in \mathbb{R}^{(2U+1) \times q(2U+1)}$$

$$\mathbf{V}_z = \frac{1}{\sqrt{2U+1}} [\mathbf{v}(\alpha_{-U}) \cdots \mathbf{v}(\alpha_0) \cdots \mathbf{v}(\alpha_U)]$$

$$\mathbf{V}_z \in \mathbf{R}^{(2U+1) \times (2U+1)} \quad (6)$$

$$\text{여기서 } \mathbf{v}(\alpha_u) = [e^{-jU\alpha_u} \cdots e^{-j\alpha_u} \ 1 \ e^{j\alpha_u} \cdots e^{jU\alpha_u}]$$

$$\text{며, } \alpha_u = \frac{2\pi u}{2U+1}, \ u \in [-U, U] \text{이다.}$$

4. 빔공간 출력 계산 ($\mathbf{b}(k) = \mathbf{B}_T \mathbf{x}(k)$)

위의 과정에서 얻은 결과를 식 (7)에서 주어진 CRA 안테나 기반 BeamSpace MUSIC 알고리즘의 공간 스펙트럼에 적용한다.

$$P_{IA} = \frac{1}{[\mathbf{B}_T^H \mathbf{a}(\theta, \phi)]^H \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H [\mathbf{B}_T^H \mathbf{a}(\theta, \phi)]} \quad (7)$$

식(7)에서 \mathbf{E}_N 은 빔공간 잡음 부공간 고유벡터 행렬로서, 빔공간 공분산 행렬 ($\mathbf{R}_B = E[\mathbf{b}(k)\mathbf{b}(k)^H]$)의 고유치 분해를 통해 계산된다. 식(7)의 피크 값들을 이용하여 해당 그룹 내의 상세 신호 도래각을 추정한다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 CRA 안테나를 적용한 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘의 성능평가를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시한다. 성능평가 시뮬레이션을 위해 신호-대-잡음비(: Signal to Noise Ratio, SNR)는 20dB와 10dB인 두 경우를 고려하였고, 이 결과를 UCA 안테나를 적용한 캐스케이드 알고리즘과 비교/분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 신호모델은 [14]에서 제시된 수학적 모델을 기반으로 1개의 CW(: Continuous Wave), 신호 2개의 WB(: Wideband) 잡음 신호, 1개의 AM(: Amplitude Modulation), 1개의 FM(: Frequency Modulation) 신호를 고려하였다. 나머지 신호들에 대한 매개변수들은 표 1에 요약되어 있다. 시뮬레이션의 편이성을 위해 모든 신호의 고도각은 77° 로 동일하다고 가정하였고, 모든 신호의 SNR 역시 동일하다고 가정하였다. 시뮬레이션에 사

용된 UCA 안테나와 CRA 안테나의 매개변수는 표 2에 요약되어 있다.

그림 3은 SNR이 20dB인 경우, 안테나로 입사되는 수신신호에 대한 주파수 스펙트럼으로 다섯 개의 모든 신호들을 확인할 수 있다. 그림 4는 SNR이 20dB인 경우 1° 의 분해능을 적용한 UCA 안테나와 CRA 안테나 기반 CAPON 알고리즘의 공간 스펙트럼들을 나타낸다. 그림 4를 통해 두 안테나 기반 CAPON 모두 도래각 그룹들을 정확히 추정하였음을 확인할 수 있다. 그림 5는 검색된 도래각 그룹에 0.01° 분해능을 적용한 UCA 안테나와 CRA 안테나 기반의 BeamSpace MUSIC 알고리즘 공간 스펙트럼의 계산 결과이다. 그림으로부터 두 안테나 모두 개별적인 신호들의 도래각을 정확히 추정하였음을 확인할 수 있다. 그림 6은 SNR이 10dB인 경우, 안테나로 입사되는 수신신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 그림 7은 SNR이 10dB인 경우 UCA 안테나와 CRA 안테나 기반 CAPON 알고리즘의 공간 스펙트럼들을 나타낸다. 그림 7를 통해 두 안테나 기반 CAPON 모두 도래각 그룹들을 정확히 추정하였음을 확인할 수 있다. 그림 8은 검색된 도래각 그룹 내에 UCA 안테나와 CRA 안테나 기반의 BeamSpace MUSIC 알고리즘 공간 스펙트럼을 계산한 결과이다. CAPON과 BeamSpace MUSIC의 분해능은 이전 시뮬레이션과 같은 값을 고려하였다. 그림으로부터 두 안테나 모두 개별적인 신호들의 도래각을 정확히 추정하였음을 확인할 수 있다.

10dB SNR의 경우, 20dB SNR 환경 보다 스펙트럼의 피크 값들이 확실하지는 않지만, 도래각을 추정하는 데는 충분한 피크 값들을 얻을 수 있었다. 두 경우 모두, UCA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘의 피크 값들이 CRA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘의 피크 값들에 비해 구별이 확실하여, 조금 더 나은 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 그러나, CRA 안테나에 필요한 공간은 UCA 안테나에 요구되는 공간에 비해 현저히 작다는 장점을 가진다. 종합해 보면, 주어진 CRA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘은 UCA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘과 비슷한 성능을 보유하면서, 공간제한 측면에서 보다 효율적이라는 장점을 가진다.

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 신호 매개변수
Table 1. Signal parameter for computer simulation

Signal	Azimuth(°)	Center Frequency
CW	125	0.3
WB	-153, 10	0.20 0.43
AM	120	0.08
FM	-149	0.03

표 2. 시뮬레이션을 위한 UCA 및 CRA 안테나 매개변수

Table 2. UCA and CRA antenna parameters for simulation

	ring	r_q	d_q	M_q	U
UCA	1 st	r_1	2.0	M_1	16
CRA	1 st	r_1	0.5	M_1	8
	2 nd	r_2	1.0	M_2	8

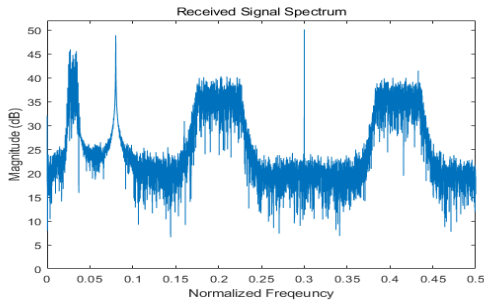


그림 3. 수신 신호 스펙트럼 (SNR=20dB)
Fig. 3 Received signal spectrum (SNR=20dB)

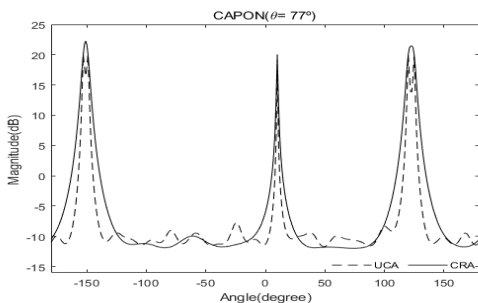


그림 4. UCA 와 CRA를 적용한 CAPON 알고리즘 공간 스펙트럼 (SNR=20dB)
Fig. 4 Spatial spectrum of CAPON algorithm applying to UCA and CRA antenna (SNR=20dB)

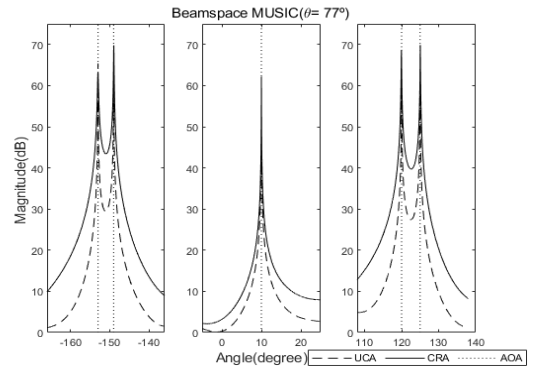


그림 5. UCA 와 CRA를 적용한 Beamspace MUSIC 알고리즘 공간 스펙트럼 (SNR=20dB)
Fig. 5 Spatial spectrum of Beamspace MUSIC algorithm applying to UCA and CRA antenna (SNR=20dB)

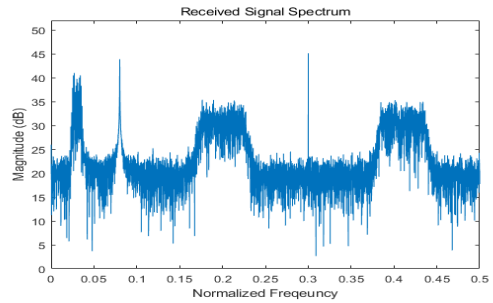


그림 6. 수신 신호 스펙트럼 (SNR=10dB)
Fig. 6 Received signal spectrum (SNR=10dB)

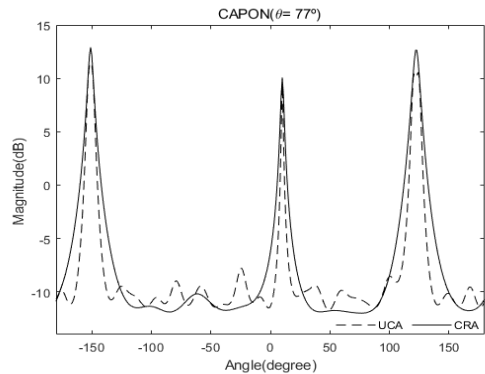


그림 7. UCA 와 CRA를 적용한 CAPON 알고리즘 공간 스펙트럼 (SNR=10dB)
Fig. 7 Spatial spectrum of CAPON algorithm applying to UCA and CRA antenna (SNR=10dB)

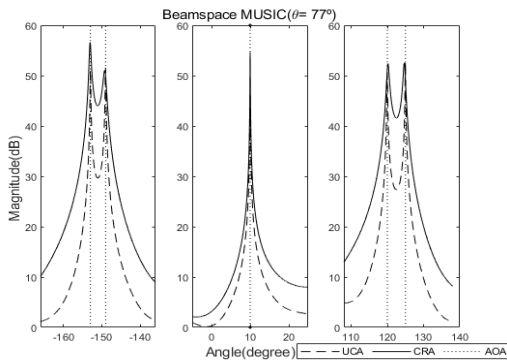


그림 8. UCA 와 CRA를 적용한 Beamspace MUSIC 알고리즘 공간 스펙트럼 (SNR=10dB)

Fig. 8 Spatial spectrum of Beamspace MUSIC algorithm applying to UCA and CRA antenna (SNR=10dB)

V. 결 론

본 논문은 다수개의 원형 배열로 이루어진 CRA 안테나 구조를 적용한 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘을 소개하고, 성능평가 결과를 제시하였다. 제시된 CRA 기반 캐스케이드 도래각 추정기는 CRA 안테나 수신기, 대략적인 도래각 그룹을 추정하기 위한 CAPON, 추정된 그룹을 기반으로 개별적인 신호 도래각을 상세히 추정하기 위한 Beamspace MUSIC으로 구성된다. 또한, 제시된 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘의 성능을 UCA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘과 비교/분석하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 그 결과, CRA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘은 UCA 기반의 캐스케이드 도래각 추정 알고리즘에 비해, 안테나의 전체 크기가 작아 공간적인 제약을 덜 받으면서도 비슷한 추정 성능을 보유했다는 것을 확인하였다.

감사의 글

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

References

- [1] S. Cho, H. Song, K. You, and H. Shin, "A new direction-of-arrival estimation method using automotive radar sensor arrays," *Int. J. Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 6, June 2017, pp. 1-12.
- [2] K. Choi, J. Kim, H. Won, J. Park, and I. Kim, "Source localization technique for radar pulse emission by using scanning method of interest area," *J. of the Korea Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol. 39, no. 9, Sept. 2011, pp. 889-895.
- [3] N. Egger, J. E. Ball, and J. Rogers, "Radar angle of arrival system design optimization using a genetic algorithm," *Electronics*, vol. 6, no. 1, Mar. 2017, pp. 1-26.
- [4] H. Kim, C. Lee, and J. Choi, "A study on real-time position analysis and wireless transmission technology for effective acquisition of video recording information in UAV video surveillance," *J. of Korea Multimedia Society*, vol. 18, no. 9, Sept. 2015, pp. 1047-1057.
- [5] H. Lee, "The history and current status of signal intelligence satellites," *J. of Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, vol. 11, no. 2, Dec. 2013, pp. 111-118.
- [6] R. Sanudin, "Planar Array Design and Analysis on Direction of Arrival Estimation for Mobile Communication Systems," Doctor's Thesis, *The university of Edinburgh*, 2014.
- [7] M.-Y. Cao, L. Huang, C. Qian, J.-Y. Xue, and H. C. So, "Underdetermined DOA estimation of quasi-stationary signals via Khatri-Rao structure for uniform circular array," *Signal Processing*, vol. 106, Jan. 2015, pp. 41-48.
- [8] P. Ioannides and C. A. Balanis, "Uniform circular arrays for smart antennas," *IEEE Antennas and Propagation Mag.*, vol. 47, no. 4 Aug. 2005, pp. 192-206.
- [9] T. Kim and S. Hwnag, "Performance analysis

of beamforming satellite system applying circular array antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communications Science*, vol. 14, no. 5, Oct. 2019, pp. 845-852.

- [10] A. Reyna, M. A. Panduro, and C. Del Rio, "Design of concentric ring antenna arrays for isoflux radiation in GEO satellites," *IEICE Electronics Express*, vol. 8, no. 7, Apr. 2011, pp. 484-490.
- [11] L. I. Balderas, A. Reyna, and M. A. Panduro, "Time-modulated concentric ring antenna array for a wide coverage pattern," *IEEE Int. Symp. on Antennas*, Fajardo, Puerto Rico, July 2016, pp. 709-710.
- [12] T. Kim and S. Hwang, "Performance evaluation of cascade AOA estimator based on uniform circular array," *J. of PPositioning, Navigation, and Timing*, vol. 9, no. 2, June 2020, pp. 65-70.
- [13] S. O. Ata and C. Lsik, "High-resolution direction-of-arrival estimation via concetric circular arrays," *ISRN Signal Processing*, vol. 2013, Mar. 2013, pp. 1-8.
- [14] J. Mun and S. Hwang, "Input signal model analysis for adaptive beamformer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communications Science*, vol. 12, no. 3, June 2017, pp. 433-438.



황석승(Suk-Seung Hwang)

1997년 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 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

저자 소개



김태윤(Tae-yun Kim)

2014년 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업(공학사)

2016년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2016년 ~ 현재 조선대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 적응신호처리, 신호 위치추정, 위치추정 알고리즘, RFID

