

이동형 지구국을 위한 저부엽 빔 형성 안테나에 관한 연구

Low Side-Lobe Beamforming Antenna for Earth Stations in Motion

정 현 중 · 정 진 우* · 임 영 석

Hyeonjong Jung · Jinwoo Jung* · Yeongseog Lim

요 약

위상배열 안테나는 신속하고 정확한 빔 조향 특성으로 지구국에 많이 사용되고 있다. 지구국용 안테나의 부엽(Sidelobe)은 인접 위성에 간섭을 일으킬 수 있기 때문에 국제적으로 엄격하게 규제되고 있다. 위상배열 안테나의 부엽을 억제하기 위해서는 각 방사 소자에 정확한 신호의 크기와 위상이 급전되어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 급전 신호의 크기와 위상을 산출하기 위한 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 방사 패턴 규격에 임의의 위상을 설정함으로써 각 방사 소자 신호의 크기와 위상을 빠르고 정확하게 탐색할 수 있다. 더불어 국내 방사 패턴 규격을 충족시키는 빔 형성 문제를 통해 제안된 방법을 검증하였다.

Abstract

Phased array antennas are commonly used in earth stations because of their fast and accurate beam steering characteristics. The sidelobe of earth station antennas is strictly regulated internationally to avoid affecting the adjacent satellites. To suppress the side lobe of the phased array antenna, the accurate amplitude and phase of the signal must be fed to each radiating element. This paper proposed a method for calculating the amplitude and phase of a signal. The proposed method can rapidly and accurately calculate the amplitude and phase of each radiating element signal by setting an arbitrary phase in the radiation pattern reference. In addition, the proposed method was verified through a beamforming problem that satisfies the domestic radiation pattern reference.

Key words: Phased Array Antenna, ESIM, Sidelobe, Beamforming, Genetic Algorithm, LSM

I. 서 론

고정위성업무(FSS: fixed-satellite service) 위성망을 이용하는 이동형 지구국(ESIM: earth station in motion)은 선박, 항공기, 차량 등에 탑재되어 탑승자들에게 광대역 이동 위성통신 서비스를 제공한다. ESIM 단말은 이동 및 휴대가 간편하도록 위상배열 안테나와 같은 소형, 경량화, 고효율 안테나가 많이 사용되고 있다^{[1][2]}.

ESIM 단말용 안테나에 있어, 지상 단말의 송신 빔 패턴에 존재하는 부엽은 인접 위성과 간섭을 일으킬 수 있다. 이에 국제통신연합 규정(ITU-R)^[3], 미국 국방부 제정 군용 규격(MILitary-STanDard) 등에서는 ESIM 단말기의 간섭 평가를 위한 규정을 만들어 국제적으로 엄격하게 규제하고 있다^[4].

ESIM에 위상배열 안테나를 적용하는 경우, 부엽 억제를 위한 대표적인 빔 형성 방법으로 휴리스틱 알고리즘

전남대학교 전자컴퓨터공학부(School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University)

*동신대학교 에너지IoT전공(Department of Energy IoT, Dongshin University)

· Manuscript received August 3, 2020 ; Revised August 18, 2020 ; Accepted August 24, 2020. (ID No. 20200803-007S)

· Corresponding Author: Yeongseog Lim (e-mail: limys@jnu.ac.kr)

(heuristic algorithm)을 이용한 방법이 있다^{[5]~[7]}. 부엽 억제제를 위해서는 각 방사 소자 신호의 위상뿐만 아니라, 크기도 함께 고려해야 한다. 이는 비용함수의 변수 개수를 증가시켜 휴리스틱 알고리즘 구현이 복잡해지고 수렴속도가 감소하게 되는 단점이 있다.

빔 형성을 위한 다른 최적화 방법으로 LSM(least squares method)이 있다^[8]. LSM은 원하는 목표 빔 패턴과의 오차 제곱을 최소화시키는 방법이다. LSM은 복잡한 연산이 필요치 않아 구현이 간단하다는 특징이 있다. 그러나 부엽 억제를 위한 빔 형성에 있어, 각 방사 소자 신호는 complex 값이지만, 빔 패턴 규격은 절댓값만을 나타내기 때문에 LSM을 바로 적용할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 상기와 같은 휴리스틱 알고리즘과 LSM의 단점을 개선하기 위해 부엽 억제를 위한 새로운 빔 형성 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 빔 패턴 규격의 위상을 휴리스틱 알고리즘의 변수로 두고, 이를 기반으로 LSM을 이용하여 각 방사 소자 신호의 크기와 위상을 산출하는 방법으로, 각 방사 소자 신호의 크기와 위상을 빠르고 정확하게 탐색할 수 있다.

II. 능동위상배열 안테나 빔형성

2-1 능동위상배열 안테나

능동위상배열 안테나는 각 방사 소자마다 위상 천이기(phase shifter)와 신호 감쇠기(attenuator)로 구성되어 있다. 이때 위상 천이기는 각 방사 소자의 위상을 천이하여 빔을 조향하며, 감쇠기는 각 방사 소자별로 신호의 크기를 조정(tapering)하여 부엽 준위를 낮춘다.

본 논문에서는 능동위상배열안테나의 부엽 준위를 억제하기 위한 빔 형성에 있어, 각 방사 소자 신호의 크기와 위상을 산출하기 위한 방법에 관해 기술하였다.

2-2 선형위상배열 안테나

위상배열안테나의 방사 특성은 일반적으로 방사 소자를 점전하로 대치한 AF(Array Factor)를 기반으로 분석된다. 식 (1)은 선형 및 z축으로 등간격 배열된 위상배열안테나의 AF를 보여준다.

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^N \alpha_n \exp(jkd_n \cos \theta) \quad (1)$$

여기서 N 은 방사 소자 배열 수, k 는 전파 상수, d_n 은 n 번째 방사 소자의 위치, θ 는 관측각도, 그리고 α_n 은 빔 형성을 위한 n 번째 방사 소자에 급전되는 신호를 의미한다.

식 (1)을 행렬식으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} AF(\theta_1) \\ \vdots \\ AF(\theta_M) \end{bmatrix} = \mathbf{A} \boldsymbol{\alpha} \quad (2)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \exp(jkd_1 \cos \theta_1) & \dots & \exp(jkd_N \cos \theta_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(jkd_1 \cos \theta_M) & \dots & \exp(jkd_N \cos \theta_M) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\alpha_1| \exp(j\angle \alpha_1) \\ \vdots \\ |\alpha_N| \exp(j\angle \alpha_N) \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 \mathbf{F} 는 관측 각도 θ 에 따른 AF 벡터, \mathbf{A} 는 방사 소자 행렬, 그리고 $\boldsymbol{\alpha}$ 는 방사 소자 신호의 크기와 위상 벡터이다.

2-3 고정무선시스템용 안테나 방사 패턴 규격

위성통신은 인접 위성 간 간섭 없이 목표 위성으로만 신호를 주고받아야 하기 때문에 국제 규격을 만들어 이를 준수하도록 권고하고 있다.

국내에서는 정보통신단체표준(TTAS: Telecommunications Technology Association)에서 고정무선시스템 안테나의 국내 방사 패턴 표준 규격 TTA-KO-06.0241을 제시하고 있다^[9]. 방사 패턴 규격의 수식 모델은 식 (5)와 같다.

$$G(\phi) = \begin{cases} G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \phi \right)^2, & 0^\circ < \phi < \phi_m \\ 39 - 5 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right) - 25 \log(\phi), & \phi_m \leq \phi < 48^\circ \\ -3 - 5 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right), & 48^\circ < \phi < 180^\circ \end{cases} \quad (5)$$

$$\phi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - G_1} \quad (6)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right) \quad (7)$$

여기서 $G(\phi)$ 는 무지향 안테나에 대한 상대 이득, G_{\max} 는 안테나 최대 이득, 그리고 G_1 은 제1 부엽빔 이득이다.

그림 1은 최대 이득 G_{\max} 가 32 dBi일 때, 방사 패턴 규격의 상대 이득(relative gain)과 균일한 신호가 급전되었을 때 AF를 보여준다. 여기서 방사 소자 배열 수 N 은 32개 그리고 방사 소자 간 간격은 0.5λ 이다.

그림 1에서 확인할 수 있듯이, 각 방사 소자에 적절한 신호의 크기가 급전되지 않을 경우, 국내 방사 패턴 표준 규격을 만족하지 못하는 것을 알 수 있다. 따라서 능동위상배열안테나의 부엽 준위를 억제하기 위한 빔 형성에 있어, 각 방사 소자에 적절한 신호의 크기가 급전되어야 한다. 더불어, 빔 조향을 위해서는 각 방사 소자 신호의 크기뿐만 아니라, 위상도 함께 고려되어야 한다.

III. 일반적인 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 다윈(darwin)의 진화론을 기반으로 유전자의 선택(selection), 교배(crossover), 그리고 돌연변이(mutation) 연산을 통해 최적의 변수를 탐색하는 알고리즘이다^[10].

유전 알고리즘은 비용함수 값에 따라 각 개체에 적합성(fitness)를 부여하고, 적합성이 클수록 교배와 돌연변이 연산에 참여할 확률을 크게 하여 우수한 유전 형질을 갖는 개체를 탐색한다.

유전 알고리즘은 탐색된 해가 적합한지를 판단하기 위해 비용함수를 사용한다. 빔 형성을 위한 일반적인 유전 알고리즘의 경우, 식 (8)과 같이 목표 빔 패턴과의 오차를 비용함수로 설정한다.

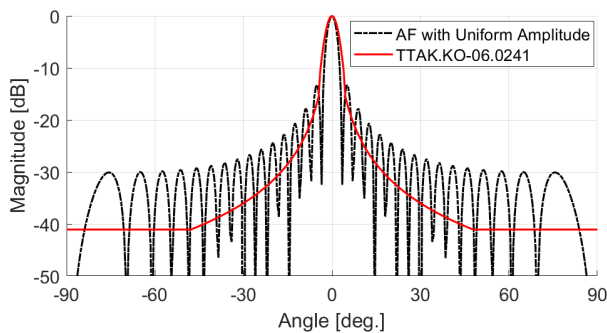


그림 1. FSS 토인을 위한 국내 안테나 방사 패턴 규격
Fig. 1. Reference radiation pattern for FSS communication.

$$\text{Cost}(\alpha) = \sum_{i=1}^M [10\log(|D_i|) - 20\log(|AF_n(\theta_i)|)]^2 \quad (8)$$

여기서 M 은 관측 횟수, $|D_i|$ 는 θ_i 에서 정규화된 방사 패턴 규격, 그리고 AF_n 은 정규화된 AF이다.

그러나 능동위상배열 안테나의 부엽 억제를 위한 빔 형성 문제에 있어, 식 (8)을 적용할 경우, 방사 소자 신호의 위상과 크기를 비용함수의 변수로 설정해야 한다. 이는 비용함수의 변수 개수를 증가시켜 유전 알고리즘의 구현이 복잡해질 뿐만 아니라, 수렴속도가 감소하는 단점이 있다.

IV. 제안된 방법

그림 2(a)와 같이 부엽 억제를 위한 빔 형성 문제를 일반적인 유전 알고리즘의 비용함수에 적용할 경우, 비용함수의 변수가 2개가 되어 알고리즘의 수렴속도가 감소하게 된다. 본 장에서는 그림 2(b)와 같이 한 개의 변수를 갖는 비용함수 설정 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 방사 패턴 규격의 위상을 휴리스틱 알고리즘의 변수 z 로 설정하고, 이를 기반으로 LSM을 적용함으로써 방사 패턴 규격을 만족시키는 방사 소자 신호의 크기와 위상 벡터 α 를 산출하는 방법이다. 이는 비용함수의 변수 개수를 줄여 유전 알고리즘의 탐색 범위를 좁힐 수 있다. 더불어, LSM을 이용하여 α 를 산출함으로써, random 기반으로 α

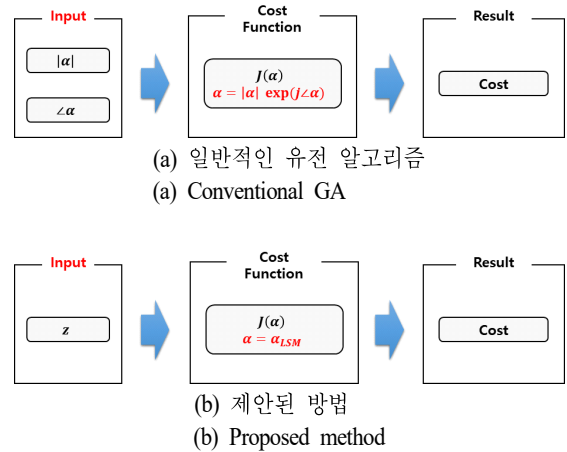


그림 2. 비용함수 흐름도
Fig. 2. Proposed method.

를 산출하는 기준 비용함수보다 우수한 성능을 갖는다.

4-1 Weighted Least Squares Method(WLSM)

LSM은 원하는 목표 빔 패턴과의 오차 제곱을 최소화시키는 방법이다. 여기에 식 (9)와 같이 데이터들 간의 가중치를 추가한 방법이 WLSM이다. 위상 배열 안테나의 경우, 정확한 빔 조향 성능을 요구하기 때문에 요구 빔 조향각에서의 오차에 더 큰 가중치를 적용하였다. 가중치 함수는 대표적으로 Gaussian 함수, Wendland 함수 등이 사용된다^[8]. 본 논문에서는 식 (10)과 같이 Gaussian 함수를 사용하였다.

$$\arg \min_{\alpha} \| \mathbf{W}^{1/2}(|\mathbf{D}| - |\mathbf{A}\alpha|) \|_2^2 \quad (9)$$

$$W_{n,n} = \exp(-l_n^2/h^2) \quad (10)$$

여기서 l_n 은 요구 빔 조향각 θ_s 에서 관측 각도 θ_n 간의 거리, 그리고 h 는 데이터들 간의 가중치를 조절하는 파라미터이며, 본 논문에서는 80으로 설정하였다. $W_{n,n}$ 은 대각행렬(Diagonal Matrix) \mathbf{W} 의 대각원소이다.

부엽 억제에 위한 빔 형성 문제에 WLSM을 적용하는데 있어, 각 방사 소자 신호는 complex 값이지만, 요구되는 방사 패턴 규격 $|\mathbf{D}|$ 는 절댓값이므로 WLSM을 바로 적용할 수 없다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 방사 패턴 규격 $|\mathbf{D}|$ 의 위상을 변수 \mathbf{z} 로 설정하였다. 이에 따라 식 (11)과 같이 방사 패턴 규격 $|\mathbf{D}|$ 의 절댓값을 없앨 수 있다.

$$\arg \min_{\alpha} \| \mathbf{W}^{1/2}(\mathbf{Y} - \mathbf{A}\alpha) \|_2^2 \quad (11)$$

$$Y_i = |D_i| \exp(jz_i) \quad (12)$$

식 (11)에 WLSM을 적용하여 풀면 식 (13)과 같은 해를 얻을 수 있다.

$$\alpha_{\text{WLSM}} = (\mathbf{A}^H \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{W} \mathbf{Y} \quad (13)$$

여기서 $(\cdot)^H$ 는 conjugate transpose이며, regularization은 사용하지 않았다.

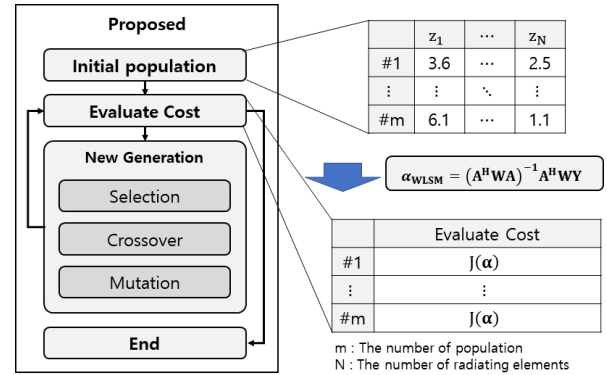


그림 3. 제안된 방법의 흐름도

Fig. 3. Flowchart of the proposed method.

4-2 유전 알고리즘 적용

본 절에서는 1절에서 설정한 방사 패턴 규격의 위상 \mathbf{z} 를 탐색하기 위해 유전 알고리즘을 적용하였다. 제안된 방법의 흐름도는 그림 3과 같다.

유전 알고리즘에서 설정한 방사 패턴 규격의 위상 \mathbf{z} 를 기반으로, 식 (13)을 적용하여 WLSM의 해 α_{WLSM} 를 산출하였다.

제안된 유전 알고리즘의 비용함수는 식 (14)와 같다.

$$\text{Cost} = \sum_{i=1}^M w_i [10 \log(|D_i|) - 20 \log(|AF_n(\theta_i)|)]^2 \quad (14)$$

$$w_i = \begin{cases} \exp\left(-\frac{l_i^2}{h^2}\right), & |D_i| < |AF_n(\theta_i)|^2 \\ 10^{-6}, & |D_i| > |AF_n(\theta_i)|^2 \end{cases} \quad (15)$$

여기서 M 은 관측 횟수, w_i 는 데이터들 간에 적용되는 가중치, 그리고 AF_n 은 정규화된 AF이다.

방사 패턴 규격을 만족하는 경우, 데이터들 간에 적용되는 가중치 w_i 는 정규화된 오차에 미치는 영향을 줄이기 위해 충분히 작은 값으로 설정하였다.

V. 모의실험

본 장에서는 4장에서 제안된 방법을 이용하여 요구 빔 조향각 조건에서 제안된 방법을 검증하였다. 그리고 일반적인 유전 알고리즘과 Dolph-Tschebyscheff 방법과의 비교

를 통해 제안된 방법의 성능을 확인하였다.

5-1 모의실험 조건

모의실험을 위한 위상배열 안테나의 조건은 표 1과 같으며, x축으로 선형 배열되었다고 가정하였다.

모의실험을 위한 유전 알고리즘의 설정값은 표 2와 같으며, 비용함수는 식 (14)와 같이 설정하였다.

5-2 모의실험 분석결과

그림 4와 그림 5는 $\theta_s=0^\circ, 15^\circ$ 에서 100회의 모의실험을 수행하였을 때, 알고리즘 종료 조건을 만족하는 수행 횟수(iteration)의 분포를 보여준다.

FSS 통신을 위한 국내 방사 패턴 규격의 경우, 빔 조향 각도에 따라 대칭적으로 분포한다. 이에 따라, 일반적인 유전 알고리즘에서 식 (16)과 같이 각 방사 소자의 위상을 설정하고, 크기는 Dolph-Tschebyscheff를 기반으로 변화시키는 방법과 함께 비교하였다.

$$\angle \alpha_n = -kd_n \sin \theta_s \quad (16)$$

여기서 k 는 전파 상수, d_n 은 n 번째 방사 소자의 위치, 그

표 1. 위상 배열 안테나 설정

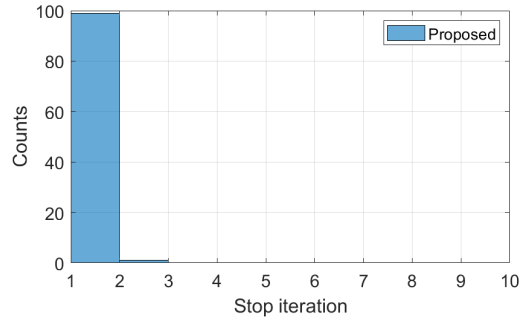
Table 1. Parameters for phased array antenna.

Parameters	Value
Number of elements	32
Distance between elements	0.5λ
Max. antenna gain (G_{\max})	32 dBi
Desired beam angle	$0^\circ, 15^\circ$
Observation angle range	$-90 \text{ deg.} \sim 90 \text{ deg.} (M=149)$

표 2. 유전 알고리즘 기본 설정

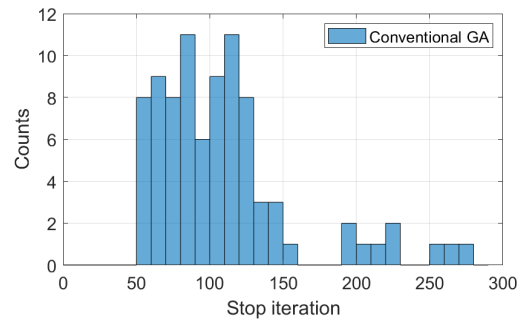
Table 2. Parameters for genetic algorithm.

Parameters	Value
Generations	300
Selection strategy	Roulette wheel selection
Type of crossover	Double point crossover
Criterion	$ D_i > AF_n(\theta_i) ^2, i = 1 \sim M$



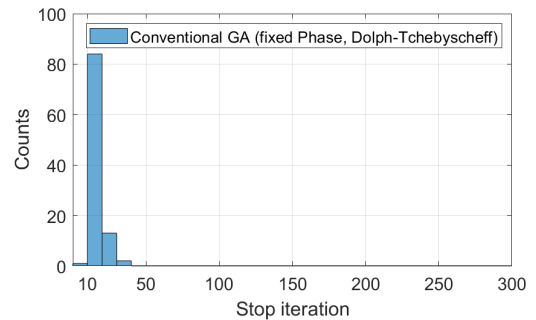
(a) 제안된 방법

(a) Proposed method



(b) 일반적인 유전 알고리즘

(b) Conventional GA



(c) 위상 고정, Dolph-Tschebyscheff 기반

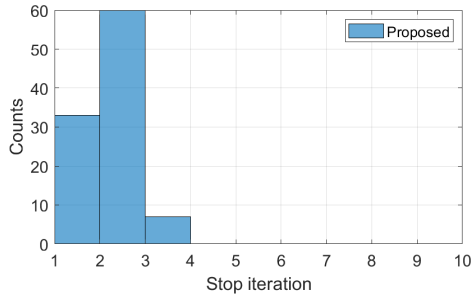
(c) Fixed phase, based on Dolph-Tschebyscheff

그림 4. $\theta_s=0^\circ$ 에서 알고리즘 수행 횟수 기반 모의실험 결과
Fig. 4. Simulated results based on iteration at $\theta_s=0^\circ$.

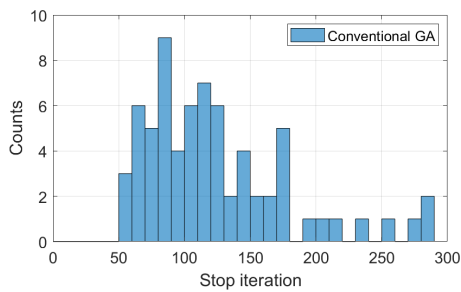
리고 θ_s 는 빔 조향각을 의미한다.

동일한 문제에 제안된 방법과 일반적인 알고리즘을 비교했을 때, 제안된 방법은 수행 횟수도 적을 뿐만 아니라, 우수한 방사 특성을 산출하는 것을 알 수 있다.

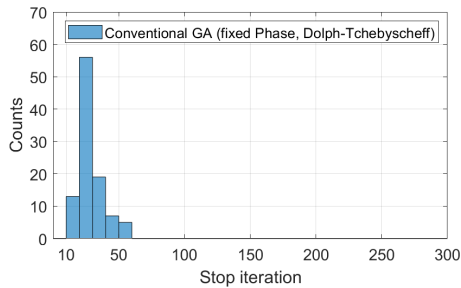
그림 6과 그림 7은 방사 패턴 규격의 위상 α 를 이용하여 산출한 방사 소자 신호의 정규화된 크기와 위상 벡터



(a) 제안된 방법
(a) Proposed method



(b) 일반적인 유전 알고리즘
(b) Conventional GA



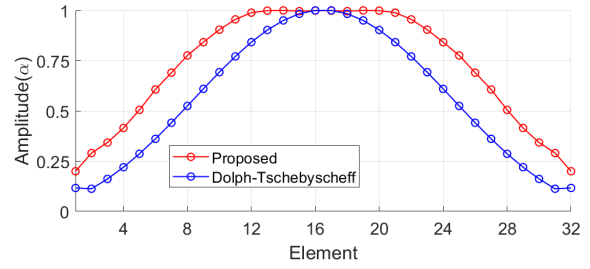
(c) 위상 고정, Dolph-Tschebyscheff 기반
(c) Fixed phase, based on Dolph-Tschebyscheff

그림 5. $\theta_s=15^\circ$ 에서 알고리즘 수행 횟수 기반 모의실험 결과

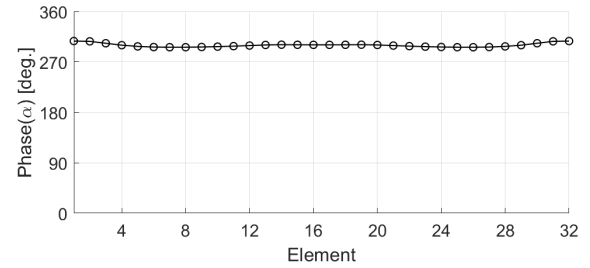
Fig. 5. Simulated results based on iteration at $\theta_s=15^\circ$.

α , α 를 적용하여 산출한 AF, 그리고 Dolph-Tschebyscheff 방법을 적용한 AF를 보여준다. Dolph-Tschebyscheff 방법을 적용한 경우, 국내 방사 패턴 규격을 충족시키지 못하는 것을 알 수 있다.

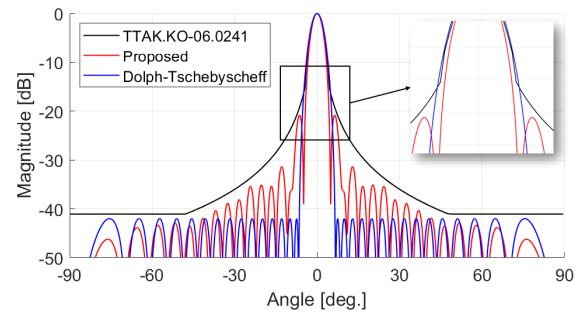
모의실험 분석결과, 제안된 방법은 방사 소자 개수가 32개이고, 최대 방사 이득 G_{\max} 가 32 dBi일 때, 모든 관측 각도에서 방사 패턴 규격을 충족시키는 방사 소자 신호



(a) $|\alpha|$
(a) Amplitude of α



(b) $\angle \alpha$
(b) Phased of α



(c) AF
(c) AF

그림 6. $\theta_s=0^\circ$ 에서 모의실험 결과

Fig. 6. Simulated results at $\theta_s=0^\circ$.

의 크기와 위상 벡터를 산출하였다. 본 논문에서 제안된 방법의 경우, 1개의 휴리스틱 알고리즘 변수 z 와 WLSM을 기반으로 빠르고, 정확하게 방사 소자 신호의 크기와 위상 벡터 α 를 산출할 수 있음을 확인하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 ESIM 단말용 능동위상배열 안테나에 있어, 부엽 억제에 위한 방사 소자 신호의 크기와 위상 탐

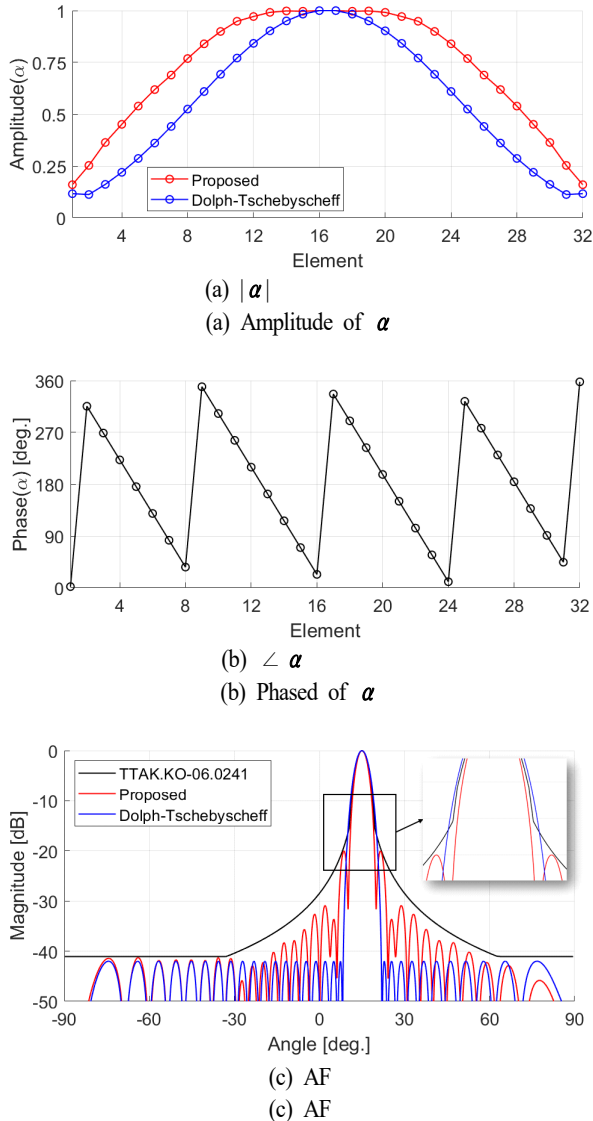


그림 7. $\theta_s=15^\circ$ 에서 모의실험 결과
Fig. 7. Simulated results at $\theta_s=15^\circ$.

색 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 방사 패턴 규격의 위상을 휴리스틱 알고리즘의 변수로 두고, WLSM을 이용하여 방사 소자 신호의 크기와 위상을 산출하는 방법이다. 모의실험 수행 결과, 제안된 방법은 32개의 방사 소자가 배열된 능동위상배열 안테나에서 최대 이득이 32 dBi 일 때 모든 관측 각도에서 방사 패턴 규격을 충족시켰다. 더불어 기존의 일반적인 유전 알고리즘보다 빠르고, 요구 빔 조향각에서 우수한 방사 특성을 갖는 방사 소자 신호

의 크기와 위상을 산출하는 것을 확인하였다. 제안된 부엽 억제를 위한 빔 형성 방법은 위성통신 이외에 다양한 분야에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] H. K. Kim, Y. G. Cho, and H. S. Jo, "Interference analysis for compatibility evaluation between aeronautical earth station in motion and 5G mobile communications," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 9, pp. 733-741, Sep. 2019.
- [2] D. S. Oh, "Consideration of research activity on earth stations in motion communicating with the GSO FSS satellite in the Ka band in the ITU-R," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 34, no. 3, pp. 65-74, 2019.
- [3] *Satellite Antenna Radiation Pattern for Use as a Design Objective in the Fixed-Satellite Service Employing Geostationary Satellites*, ITU-R Rec S.672-4, Sep. 1997.
- [4] C. W. Kim, B. J. Park, W. S. Yoon, and S. J. Lee, "Transmitter design for earth station terminal operating with military geostationary satellites on Ka-band," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 4, pp. 393-400, Apr. 2014.
- [5] D. K. Lee, J. M. Ahn, C. Park, H. N. Kim, and J. H. Chung, "Modified genetic algorithm for fast beam formation in wireless network," *The Korea Institute of Communication and Information Sciences*, vol. 40, no. 9, pp. 1686-1692, Sep. 2015.
- [6] J. W. Jung, "Improved genetic algorithm for pattern synthesis of phased array antenna," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 299-304, Apr. 2018.
- [7] J. W. Jung, "Vegetative propagation by runners optimization algorithm," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 55, no. 9, pp. 25-31, 2012.

2018.

- [8] S. H. Jung, K. I. Lee, H. K. Jung, and Y. S. Chung, "A study of broad-band conformal beam forming using moving least squares method," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 68, no. 1,

pp. 83-89, Jan. 2019.

- [9] *Antenna Radiation Patterns for Fixed Wireless System in the 1~70 GHz Range*, TTA-KO-06.0241, Dec. 2010.
[10] J. H. Holland, *Adaption in Natural and Artificial Systems*, Cambridge, MA, MIT Press, 1922.

정 현 중 [전남대학교/박사 과정]

<https://orcid.org/0000-0002-8248-8120>



2017년 2월: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (공학사)

2019년 2월: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)

2019년 3월~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나, 위상배열안테나,

EMC

임 영 석 [전남대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-9459-6540>



1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1982년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1989년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학박사)

1984년 9월~현재: 전남대학교 전자공학

과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 안테나, EMC

정 진 우 [동신대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-6926-8476>



2005년 2월: 전남대학교 정보통신공학과 (공학사)

2007년 2월: 전남대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)

2011년 2월: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (공학박사)

2012년~2017년: 국방과학연구소 선임연

구원

2018년~현재: 동신대학교 에너지 IoT전공 교수

[주 관심분야] 안테나, 능동위상배열안테나