

능동위상배열안테나의 급전신호 오차 추정에 관한 연구

정현종* · 정진우** · 임영석***

A Study on Excitation Error Estimation for Active Phased Array Antenna

Hyeon-Jong Jung* · Jin-Woo Jung** · Yeong-Seog Lim***

요약

능동위상배열안테나 시스템은 각 방사 소자에 급전되는 신호의 크기 및 위상을 조절하여 빔 조향, 다중 빔 형성, 적응형 빔 형성 등을 할 수 있다. 능동위상배열안테나 시스템을 이용하여 원하는 방사특성을 얻기 위해서는 각 방사 소자에 정확한 신호의 크기 및 위상값이 급전되어야 한다. 그러나 다양한 원인에 의해 급전 신호 오차가 발생하며, 본 논문에서는 이와 같은 급전 신호의 오차 값을 산출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 급전 신호의 오차 추정 절차가 간단하며, 급전 신호 크기 및 위상 오차를 빠르고 정확하게 탐색할 수 있다.

ABSTRACT

The active phased array antenna system performs beam steering, multi-beam formation and adaptive beam forming by controlling the amplitude and phase of signals fed to each radiating element. In order to obtain the desired radiation characteristics using an active phased array antenna system, the accurate amplitude and phase of the signal must be fed to each radiating element; however, due to various causes, the signal errors occurs in each radiating element. In this paper, a signal error estimation method of each radiating element is proposed. The proposed method simplifies the process of signal error estimation, and can quickly and accurately calculate the signal error.

키워드

Active Phased Array Antenna, Genetic Algorithm, Least Square Method, Error Estimation
능동 위상 배열 안테나, 유전 알고리즘, 최소 자승법, 오차 추정

1. 서론

능동위상배열안테나 시스템은 급전 신호의 크기 및 위상을 제어함으로써 신속한 빔 조향, 다중 빔 형성, 적응형 빔 형성 등을 할 수 있다. 이에 위성통신, AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더 등 다양한 분야에 사용되고 있다[1-5].

능동위상배열안테나 시스템의 빔 조향 및 적응형 빔 형성을 위해서는 각 방사 소자에 정확한 신호의 크기 및 위상이 가중되어야 한다.

그러나 능동위상배열안테나 시스템에는 제조공정에서 발생하는 방사 소자의 위치 오차, 능동소자의 운용 환경에 따른 특성 변화에 의한 오차, 급전 선로들의 전기적 길이 오차, 위상 천이기(phase shifter)와 신호

* 국방기술진흥연구소(jhj@krit.re.kr)

** 동신대학교 사물인터넷학과(jungjw@dsu.ac.kr)

*** 교신저자 : 전남대학교 전자공학과

• 접수일 : 2021. 11. 15

• 수정완료일 : 2022. 01. 01

• 게재확정일 : 2022. 02. 17

• Received : Nov. 15, 2021, Revised : Jan. 01, 2022, Accepted : Feb. 17, 2022

• Corresponding Author : Yeong-Seog Lim

Dept. Electronic Engineering, Chonnam National University,

Email : limys@jnu.ac.kr

감쇠기(attenuator)의 주파수 및 제어 비트 수에 따른 오차 등 다양한 원인에 의해 급전 신호의 크기 및 위상 오차가 발생한다[6].

이와 같은 급전 신호의 크기 및 위상 오차는 능동 위상배열안테나 시스템의 방사특성에 영향을 미친다. 따라서 능동위상배열안테나 시스템의 원활한 운영을 위해서는 급전 신호 오차 대한 보정작업이 주기적으로 이루어져야 한다.

능동위상배열안테나 시스템의 오차 추정 방법으로 상호 결합(Mutual Coupling)을 이용한 방법, 커플링 라인(Coupled Line)을 이용한 방법, 그리고 근·원영역장에서 반복적 측정에 의한 방법 등이 있다[7-10].

상호 결합 및 커플링 라인을 이용한 측정방법의 경우 배열된 방사 소자 수에 비례하여 측정을 수행하기 때문에 방사 소자의 수가 증가할수록 많은 시간이 소요되는 단점이 있으며, 근·원영역장 측정방법의 경우 방사특성 측정과 휴리스틱(Heuristic) 알고리즘을 이용한 보정데이터 추출을 반복적으로 수행해야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 오차 추정방법들의 단점을 개선하기 위한 새로운 오차 추정방법을 제안하였다. 제안된 방법은 측정된 방사특성을 기반으로 최소사승법(Least Square Method)과 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 급전 신호의 크기 및 위상 오차를 추정하는 방법으로, 반복적인 측정과 데이터 추출 과정 없이 각 방사 소자 급전 신호의 크기 및 위상 오차를 빠르고 정확하게 탐색할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 능동위상배열안테나 시스템에 대해 설명하고, 3장에서는 제안된 능동위상배열안테나의 급전 신호 오차 추정 방법에 대해 기술하였다. 4장에서는 모의실험을 통해 제안된 급전 신호 오차 추정방법의 성능을 검증하고, 마지막 장에서는 결론으로 마무리하였다.

II. 능동위상배열안테나 시스템

본 장에서는 제안된 방법을 분석하기 위한 능동위상배열안테나 시스템 구성, 각 방사 소자에 급전되는 신호의 오차가 능동위상배열안테나 시스템에 미치는 영향, 그리고 능동위상배열안테나 시스템의 유일해 문제에 관해 기술하였다.

2.1 능동위상배열안테나 시스템 구성

본 논문에서는 선형 등간격 능동위상배열안테나를 기반으로 제안된 방법을 분석하였다. 능동위상배열안테나의 방사특성은 일반적으로 방사 소자를 점전하로 대치한 AF(Array Factor)를 기반으로 분석된다. 식 (1)은 z 축으로 선형 등간격 배열된 능동위상배열 안테나의 AF를 보여준다.

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

여기서 N 은 방사소자 배열 수, k 는 전파 상수, d_n 은 n 번째 방사 소자의 위치, θ 는 관측각도, 그리고 α_n 은 빔 조향 및 형성을 위한 n 번째 방사 소자에 급전되는 신호의 크기와 위상값으로 식 (2)와 같다.

$$\alpha_n = |\alpha_n| \exp(j\angle \alpha_n) \quad (2)$$

각 방사 소자에 급전되는 신호에 크기 및 위상 오차가 가중될 경우의 AF는 식 (3)과 같다[6].

$$AF_{error}(\theta) = \sum_{n=1}^N \alpha_n (1 - \gamma_n) \exp(jkd_n \cos\theta + j\delta_n) \quad (3)$$

여기서 γ_n 은 n -번째 방사 소자 급전 신호의 상대(Relative) 크기 오차 값으로 0~1 사이의 값을 가지며, δ_n 은 n -번째 방사 소자 급전 신호의 위상 오차이다.

2.2 급전 신호 오차에 따른 안테나 방사 특성

그림 1은 급전 신호의 크기 오차(γ)와 위상 오차(δ)가 무작위로 발생하였을 때 제시된 능동위상배열안테나 시스템의 방사특성을 보여준다. 여기서 방사 소자 배열 수(N)은 8개, 방사 소자 간 간격은 0.5λ , 요구 빔 조향각도(θ_s)는 10deg. , 그리고 SLL(Sidelobe Level)은 Dolph-Tschebyscheff 방법을 이용하여 20dB로 설정되었다.

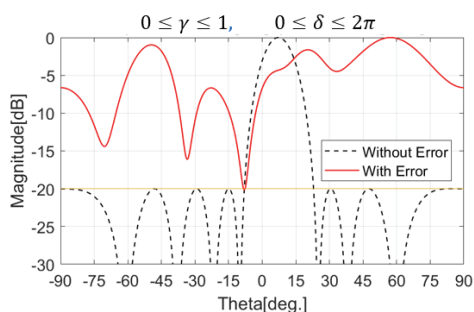


그림 1. 오차 반영 여부에 따른 방사특성
Fig. 1 Radiation characteristics according to error

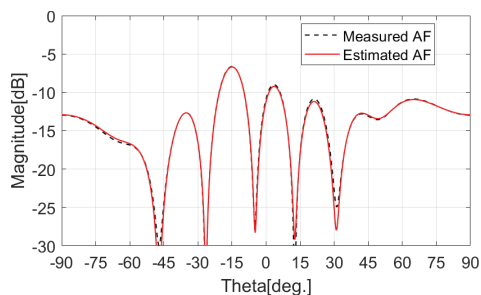
그림 1과 같이 각 방사 소자에 급전되는 신호의 크기 및 위상 오차가 가중됨에 따라 능동위상배열안테나의 빔 조향 및 부엽억제 성능이 저하됨을 알 수 있다. 따라서 능동위상배열안테나 시스템은 급전 신호 오차에 대한 추정을 통해 보정되어야 한다. 본 논문에서는 최악의 경우를 가정하여 급전 신호의 크기 오차(γ)의 범위는 $[0,1]$ 위상 오차(δ)의 범위는 $[0,2\pi]$ 로 설정하였다.

2.3 유일해 문제

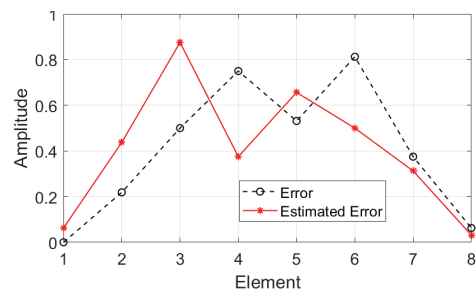
본 논문에서 제안하는 방법은 급전 신호의 크기 및 위상 오차가 반영된 방사 패턴을 측정하고, 이와 동일한 방사 패턴이 유도되는 오차 가중치를 탐색하는 방법이다. 그러나 특정 패턴과 유사한 패턴을 갖는 가중 벡터 조합이 무수히 많기 때문에, 측정된 패턴과 유사한 패턴을 갖더라도 원하는 벡터 조합과 상이한 가중 조합이 탐색되는 경우가 발생한다.

그림 2는 상기의 문제를 보여준다. 급전 신호의 오차를 추정하는 데 있어, 유사한 방사 패턴이 유도되었음에도 탐색된 오차와 설정된 오차의 값이 매우 상이함을 확인할 수 있다. 더불어, 잘못 탐색된 오차를 기반으로 교정할 경우, 원하는 방사 패턴과 전혀 다른 방사특성을 보이는 것을 알 수 있다.

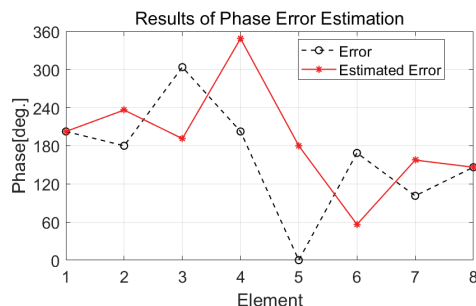
본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해, 무작위 기반의 불규칙한 위상 천이 값이 가중된 방사특성을 추가로 측정하고, 측정된 방사특성을 모두 만족하는 급전 신호 오차를 추정하였다. 방사특성을 추가로 측정하는데 있어, 상기와 같이 무작위 기반의 위상 천이 가중벡터를 설정한 이유는 특정 빔 조향을



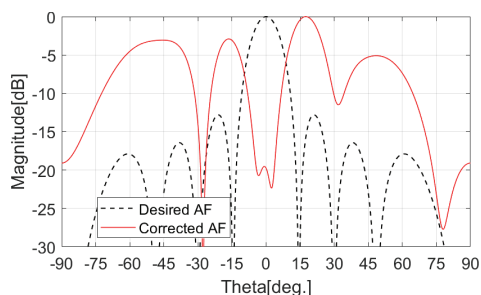
(a) Results of estimated AF



(b) Results of amplitude error estimation



(c) Results of phase error estimation



(d) Results of calibration

그림 2. 1개의 AF에서 추정된 오차 결과
Fig. 2 results of estimated error by one AF

위한 위상 천이 값을 갖는 AF의 경우 주기특성을 가져 동일한 방사특성을 가지는 다양한 위상 천이 가중 벡터 조합이 존재하기 때문이다. 제안된 무작위 기반 추가 위상 천이 가중벡터의 성능은 4장에서 다루었다.

III. 오차 추정 방법

본 장에서는 2장에 기술된 능동위상배열안테나의 표현식을 기반으로, 측정된 방사 패턴을 이용하여 급전 신호의 크기 오차(γ)와 위상 오차(δ)를 추정하는 방법에 대해 기술하였다.

일반적으로 방사 패턴의 측정 결과는 위상정보를 포함하지 않고 크기 정보만 가지고 있다. 위상을 측정할 경우 측정 케이블의 전기적 길이 오차가 존재하며, 주파수가 증가할수록 위상 오차는 증가한다. 따라서, 본 논문에서는 측정된 방사 패턴의 크기 값만을 알고 있다고 가정하고 급전 신호의 오차를 추정하는 방법을 제안하였다.

3.1 최소자승법

식 (3)을 M개의 관측지점(θ_m)에서 요구되는 방사 특성(\mathbf{F})을 기준으로 나타낼 경우, 식 (4)와 같이 행렬 식으로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} AF(\theta_1) \\ \vdots \\ AF(\theta_m) \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{x} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)를 비교하여 분석하면, 행렬 \mathbf{A} 와 \mathbf{x} 의 값은 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$(A_{mm}) = |\alpha_n| \exp(jkd_n \cos \theta_m + j \angle \alpha_n) \quad (5-1)$$

$$(x_n) = (1 - \gamma_n) \exp(j\delta_n) \quad (5-2)$$

여기서 \mathbf{A} 는 각 방사 소자의 위치 및 급전 신호가 중첩이 포함된 행렬, \mathbf{x} 는 급전 신호의 크기 및 위상 오차 행렬이다.

최소자승법은 목표 값과 산출된 값의 오차 제곱을 최소화하는 근사해를 찾는 방법으로 식 (6)과 같다.

$$\operatorname{argmin}_{\mathbf{x}} \|\mathbf{F} - \mathbf{A}\mathbf{x}\|_2^2 \quad (6)$$

식 (6)을 기반으로 근사해 \mathbf{x}_{LSM} 는 식 (7)과 같이 유도된다.

$$\mathbf{x}_{LSM} = (\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{F} \quad (7)$$

여기서 $(\cdot)^H$ 는 conjugate transpose를 나타낸다.

3.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘(GA, Genetic Algorithm)은 다윈의 진화론을 기반으로 최적의 변수를 탐색하는 휴리스틱 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 적합성(Fitness)을 기준으로 비용평가 값을 부여하고, 비용평가 값이 우수할수록 연산에 참여할 확률을 크게 하여 우수한 유전 형질을 갖는 개체를 탐색하는 알고리즘이다.

식 (7) 기반의 최소자승법을 적용하여 오차 값을 산출하기 위해서는 측정된 방사 패턴(\mathbf{F})의 크기와 위상값을 모두 알아야 한다. 그러나 3장 도입부에 언급한 바와 같이 측정 패턴(\mathbf{F})은 크기 정보만을 가지고 있기 때문에, 식 (6)은 식(8)과 같이 표현되며, 최소자승법을 이용하여 추정값을 산출할 수 없다.

$$\operatorname{argmin}_{\mathbf{x}} \|\mathbf{|F|} - \mathbf{A}\mathbf{x}\|_2^2 \quad (8)$$

식 (8)에서 측정값 $\mathbf{|F|}$ 의 위상을 유전 알고리즘의 입력 인자(혹은 변수) \mathbf{z} 로 설정할 경우 식 (9)와 같이 측정값의 절댓값을 없앨 수 있어 최소자승법을 적용할 수 있다.

$$\operatorname{argmin}_{\mathbf{x}} \|\mathbf{D} - \mathbf{A}\mathbf{x}\|_2^2 \quad (9-1)$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{|F|} \exp(j\mathbf{z}) \quad (9-2)$$

\mathbf{D} 는 측정된 방사 패턴의 크기($\mathbf{|F|}$)와 유전 알고리즘 변수(\mathbf{z})를 위상값으로 갖는 복소수 값이다. 식 (9)의 근사해는 식 (10)과 같이 유도된다.

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{D} \quad (10)$$

유전 알고리즘을 이용하기 위한 비용 함수는 식 (11)과 같이 정의하였다.

$$\text{Cost}(\hat{\mathbf{x}}) = \sum_{i=1}^M [10\log(|F_i|) - 20\log(|\mathbf{A}_i \hat{\mathbf{x}}|)]^2 \quad (11)$$

그림 3은 제안된 방법의 흐름도를 보여준다. \mathbf{D} 의 위상값 M 개를 한 개의 유전 알고리즘 개체로 설정하고, 총 P 개의 개체를 $[0, 2\pi)$ 범위 내에서 무작위로 생성한다. 각 개체에 식 (10)을 적용하여 근사해($\hat{\mathbf{x}}$)를 산출하고, 이를 식 (11)에 대입하여 각 개체에 대한 비용평가 값을 계산한다. 비용평가 값이 우수할수록 연산에 참여할 확률을 크게 하여 새로운 개체들을 생성하고 상기의 과정을 반복함으로써 급전 신호 오차(\mathbf{x})와 가장 유사한 근사해($\hat{\mathbf{x}}$)를 갖는 개체를 탐색한다.

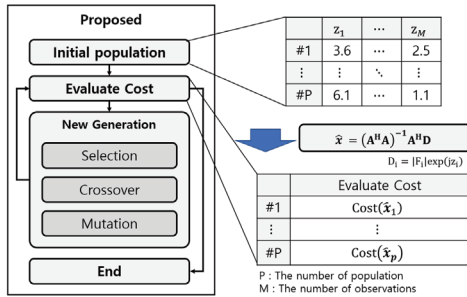


그림 3. 제안된 방법의 흐름도
Fig. 3 Flowchart of the proposed method

IV. 모의실험

본 장에서는 본 논문에서 제안된 오차 추정방법을 모의실험을 통해 검증하였다. 그리고 일반적인 유전 알고리즘과 비교함으로써 제안된 방법의 성능을 확인하였다. 일반적인 유전 알고리즘의 경우 급전 신호의 크기 오차(γ)와 위상 오차(δ)를 비용 함수의 변수로 설정한다. 이는 변수의 개수가 2개가 되어 알고리즘의 수렴속도가 감소한다는 단점이 있다. 그러나 본 논문에서 제안된 방법은 측정값 $|F|$ 의 위상(\mathbf{z})을 변수로 설정하기 때문에, 변수 개수를 줄여 빠르게 급전 신호 오차를 빠르게 탐색할 수 있다.

4.1 모의실험 조건

모의실험을 위한 능동위상배열안테나의 구성 조건은 표 1과 같다.

표 1. 능동위상배열안테나 설정
Table 1. Parameters for active phased array antenna

| Parameters | Value |
|---|---|
| Number of elements (N) | 16 |
| Distance between elements | 0.5λ |
| Phase shifter Ctrl. Bit | 4 Bit |
| Atten. Ctrl. Bit | 4 Bit |
| Desired steering beam angle(θ_s) | 0° |
| Observation angle range | $-90\text{deg.} \sim 90\text{deg.}$ ($M=37$) |

모의실험을 위한 유전 알고리즘의 설정값은 표2와 같으며, 비용 함수는 식 (11)과 같이 설정하였다.

표 2. 유전 알고리즘 설정
Table 2. Parameters for genetic algorithm

| Parameters | Value |
|--------------------|----------------|
| Generation | 100 |
| Population Size | 800 |
| Selection strategy | Roulette Wheel |
| Type of crossover | Double point |

유일해 문제를 해결하기 위한 추가 위상 천이 조합은 앞에서 언급한 바와 같이 무작위 기반의 위상 천이 조합을 사용하였으며, 제안된 방법의 성능을 확인하기 위해 식 (12)와 같이 평가 기준을 설정하였다.

$$\text{Evaluation} = 20\log_{10} |AF_{corrected}(\theta = \theta_s)| \quad (12)$$

여기서 Evaluation은 교정 후 요구 빔 조향 각도에서 AF 값으로써, 유전 알고리즘의 연산 과정에는 영향을 미치지 않는다.

4.2 모의실험 결과

본 절에서는 제안된 추가 위상 천이 조합의 성능을 확인하기 위해 위상 천이 조합에 따라 50회의 모의실험을 수행하였다. 그림 4는 세대수에 따른 50회의 평균 Evaluation 값을 보여준다.

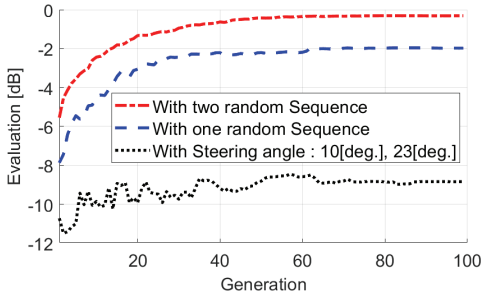


그림 4. 위상천이 조합에 따른 모의실험 결과
Fig. 4 Simulation results according to phase shift value

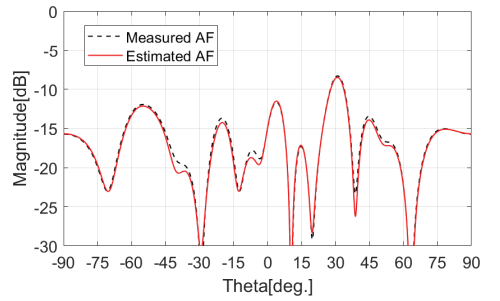
특정 빔 조향을 위한 위상 천이 조합의 경우 평균 -8.84dB의 특성을, 한 개의 무작위 기반 위상 천이 가장 조합을 추가하였을 경우 -1.97dB의 특성을, 두 개의 무작위 기반 추가 위상 천이 가장 조합을 추가하였을 경우 -0.31dB의 특성을 보였다.

그림 5는 제안된 급전 신호 오차 추정방법을 적용하여 산출한 급전 신호 오차조합과 급전 신호 오차를 반영한 AF를 보여준다. 50회의 모의실험 중 평균 Evaluation 값을 갖는 경우를 선택하였다.

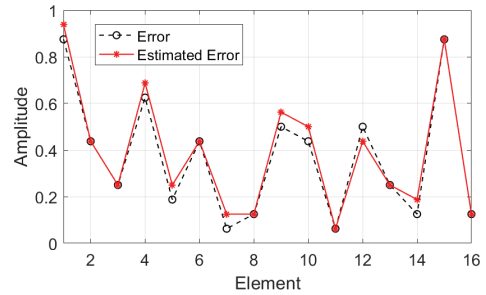
제안된 방법의 경우 3번의 방사특성 측정 결과를 기반으로 급전 신호 오차의 크기 및 위상을 추정할 수 있음을 확인하였다. 무작위 기반 추가 위상 천이 가장 조합이 반영된 방사특성을 추가로 측정해야 하나, 1장에서 언급된 기존의 방법들과 비교해서도 방사 소자 수에 무관하고 반복되는 측정과 데이터 추출 과정이 없기 때문에 측정 절차를 간소화할 수 있다.

4.3 일반적인 유전 알고리즘 비교

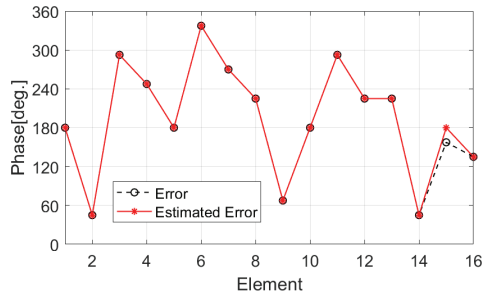
본 절에서는 제안된 급전 신호 오차 추정 방법의 성능을 확인하기 위해 일반적인 유전 알고리즘과 비교하였다. 능동위상배열안테나 시스템과 유전 알고리즘 설정은 동일하며, 일반적인 유전 알고리즘의 경우 급전 신호의 크기 오차와 위상 오차를 각각의 변수로



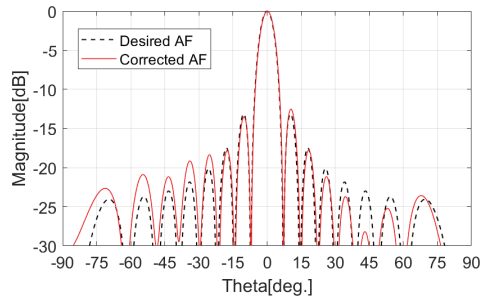
(a) Results of estimated AF



(b) Results of amplitude error estimation



(c) Results of phase error estimation



(d) Results of calibration

그림 5. 제안된 방법의 교정 결과
Fig. 5 Results of calibration of proposed method

설정하였다.

그림 6은 100회의 모의실험을 수행하였을 때, 종료된 Evaluation 분포를 보여준다. 동일한 조건에서 제안된 방법과 일반적인 알고리즘을 비교했을 때, 제안된 방법을 통해, 간단하면서도 정확한 급전 신호 오차를 추정할 수 있음을 알 수 있다.

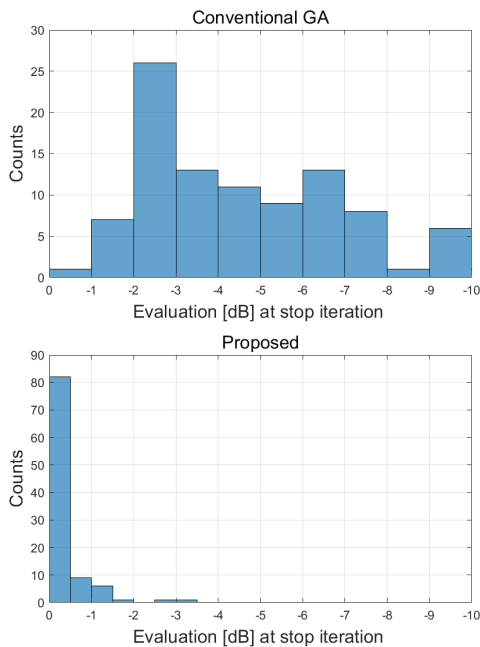


그림 6. 알고리즘 수행 횟수 기반 모의실험 결과

Fig. 6 Simulated results based on iteration

V. 결 론

본 논문에서는 능동위상배열안테나 시스템의 교정을 위한 급전 신호 오차 추정방법을 제안하였다. 제안된 방법은 추가 위상천이 가중 조합이 반영된 3개의 측정 방사 패턴을 기반으로, 최소자승법과 유전 알고리즘을 이용하여 급전 신호의 오차를 추정하는 방법이다. 모의실험 수행 결과, 제안된 방법은 16개의 방사 소자가 배열된 능동위상배열안테나의 급전 신호 오차를 정확하게 추정 가능함을 확인하였다. 더불어, 일반적인 기존 연구된 유전 알고리즘과 비교하여 빠르고 정확하게 추정 가능함을 확인하였다. 제안된 방

법은 통신, AESA 레이더 등 다양한 분야에서 사용되는 능동위상배열 안테나의 성능을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] T. Joo, Y. Kim, C. Hwang, K. Kim, and J. Jeong, "Design of Tx multi-beam active phased array antenna system for aerial communications," *The J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, 2021, pp. 334-343.
- [2] S. Park and J. Jung, "A study on adaptive pattern null synthesis for active phased array antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 407-416.
- [3] I. Hwang, Y. Lee, J. Kim, S. Jang, and S. Kim, "Design and implementation of an X-band low-profile active electronically scanned array for airborne radar," *The J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 2, 2013, pp. 127-143.
- [4] J. Jeong, J. Lim, and D. Jang, "4-channel GaAs MMIC multi-function chips for an active phased array antenna for Ku-band mobile SARCOM," *The J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 11, 2020, pp. 913-924.
- [5] T. Kim and S. Hwang, "Adaptive beamforming system based on combined array antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 9-18.
- [6] G. L. He, X. Gao, and R. T. Zhang, "Impact analysis and calibration methods of excitation errors for phased array antennas," *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 59010-59022.
- [7] J. W. Yu, "MIMO/3-D beamforming antenna," *The proceedings of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25,

no. 6, 2016, pp. 3-11.

- [8] S. Son, W. Hwang, and S. Jeon, "Gain enhancement of large phased array antennas by phase error correction," In *2007 IEEE Antennas Propagation Society International Symp.*, Honolulu, USA, June 2007.
- [9] B. Cho, J. Lee, S. Sun, J. Lee, E. Lee, and S. Lee, "A study on calibration of transmitter and receiver channels using coupling lines in an active phased array radar systems," *J. of Korean Institute of Information Technology*, vol. 14, no. 10, 2016, pp. 43-49.
- [10] J. Joo, H. Chae, J. Park, H. Jin, Y. Kang, I. Han, D. Kim, and D. -Lee, "Study on the beam pattern correction in transmitting Near-Field measurements of a digital Multi-Function radar," *The J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 2, 2020, pp. 173-187.

저자 소개



정현종(Hyeon-Jong Jung)

2017년 전남대학교 전자컴퓨터공학부 졸업 (공학사)

2019년 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)

2019년~현재 전남대학교 전자공학과 박사과정

2020년~현재 국방기술진흥연구소

※ 관심분야 : 위상배열안테나, EMC



정진우(Jin-Woo Jung)

2005년 전남대학교 정보통신학과 졸업 (공학사)

2007년 전남대학교 전자 정보통신공학과 졸업 (공학석사)

2011년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

2012년 ~ 2017년 국방과학연구소 선임연구원

2018년 ~현재 동신대학교 사물인터넷학과 조교수

※ 관심분야 : 적응형 빔 형성 알고리즘



임영석(Yeong-Seog Lim)

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1982년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1989년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1984년 ~현재 전남대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 초고주파회로설계, 안테나, EMC