

# 부 배열 기반 Virtual filling 을 이용한 DOA 추정 기법

김종영, 박철순\*, 나선필\*, 정용식  
광운대학교, \*국방과학연구소

kjykjy1644@gmail.com

## DOA Estimation Method Using Virtual Filling Based on Subarray Structure

Jong Young Kim, \*Cheol Sun Park, \*Sun Phil Nah, Young Seek Chung

Kwangwoon Univ, \*Agency for Defense Development

### 요약

Moving Platform에 설치된 배열 안테나는 플랫폼의 제약으로 인해 소자 간 간격이 불균일하게 형성되어, 방향추정 시 Grating Lobe가 발생하는 문제가 있다. 본 연구에서는 부 배열 기반 배열 구조를 설정하고, 배열 간 공간을 가상 소자로 보완하는 Virtual Filling 기법을 적용하여 비균일 배열로부터 얻어진 신호에 대해 DFT 및 Matrix Pencil Method(MPM)을 적용하였다.

### I. 서 론

Moving Platform에 설치된 배열 안테나는 플랫폼 이동에 따라 소자 간 간격이 불균일하게 형성되며, 이로 인해 DOA 과정에서 Grating Lobe가 발생하고 배열 응답 패턴에 왜곡이 나타난다. 특히, 소자 간 간격이  $\lambda/2$ 를 초과할 경우 Grating Lobe가 강하게 형성된다.

본 연구에서는 이러한 Moving Platform 환경을 가정하여 부 배열 구조를 설정하고, 배열 간 빈 공간을 가상 소자로 보완하는 MPM기반 Virtual Filling 기법을 적용하였다. 또한 방향추정 방법으로는 DFT 기반 스펙트럼 분석을 사용하였다. 제안한 방법은 시뮬레이션을 통해 기존 Real Array 대비 Grating Lobe 억제 및 배열 응답 특성 향상 효과를 확인하였다.

### II. Virtual Filling

Moving Platform에 설치된 배열 안테나는 플랫폼의 이동 및 제약으로 인해 소자 간 간격이 불균일하게 형성된다. 이러한 배열은  $N_s$ 개의 부 배열로 구성되며, 각 부 배열은  $N_x$ 개의 소자로 이루어진다. 부 배열 간에는 소자  $h$  개만큼의 빈 공간이 존재하여 전체 배열 구조가 불균일하게 형성된다. 이 구조는 그림 1에 나타내었다.

부 배열 내  $i$ 번째 소자에 대한 위상 delay 및 Steering vector는 식(1)과 같다.

$$a_{real,i} = \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \sin \theta)\right) \quad (1)$$

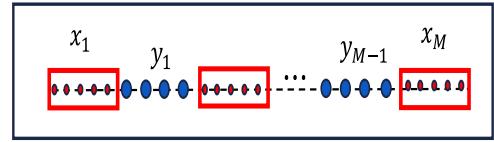


그림 1. 시스템에서의 소자배열  
Fig. 1. Array of element in system

초기에는 Real Array만을 이용하여 DOA를 수행한다. Real Array 데이터로부터 Hankel 행렬을 구성하고, Matrix MPM을 적용하여 pole을 추정한 뒤, 이를 이용해 신호원의 입사각을 계산한다.

추정된 입사각을 기반으로 부 배열 간 빈 공간에 대해 Virtual Element를 추가한다. Virtual Element의 Steering Vector는 다음과 같이 정의된다.

$$a_{virtual,j} = \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} (z_j \sin \theta_{estimate})\right) \quad (2)$$

여기서  $z_j$ 는 virtual Element의 위치를 의미하며,  $\theta_{estimate}$ 는 real array 기반 MPM으로부터 얻어진 SOI 추정 방향이다. 최종적으로, Real Array와 Virtual Element를 합쳐 전체 배열 응답을 구성한다.

전체 Steering Vector는 다음과 같이 표현된다.

$$a_{total} = [a_{real}, a_{virtual}]^T \quad (3)$$

확장된 배열 응답을 기반으로, 방향추정 및 스펙트럼 분석을 수행한다.

방향추정은 MPM을 통해 초기 추정을 수행하고, 스펙트럼 분석은 DFT 기반 FFT를 이용하여 수행된다.

### III. Simulation

Moving Platform 환경에서 배열 구조의 불균일성이 방향추정 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 앞서 제안한 Virtual Filling 기법을 적용하여, Real Array 기반 MPM 방향추정 결과를 바탕으로 빈 공간을 Virtual Element로 보완하고, 확장된 배열 응답을 이용하여 스펙트럼 분석을 수행하였다.

표 1. 설계 파라미터 값

Table 1. Parameter Value

부배열 당 소자 수 ( $N_x$ )	10
부배열 수 ( $N_s$ )	5
부배열 간 빈 공간 수 ( $h$ )	8
신호원 방향 ( $\theta$ )	$20^\circ, 40^\circ$
소자 간격	$0.5\lambda$

그림 1과 같은 부배열 기반 불균일 배열을 모델링하였으며, 신호원은 방향  $\theta = 20^\circ, 40^\circ$ 에서 도래한다고 가정하였다.

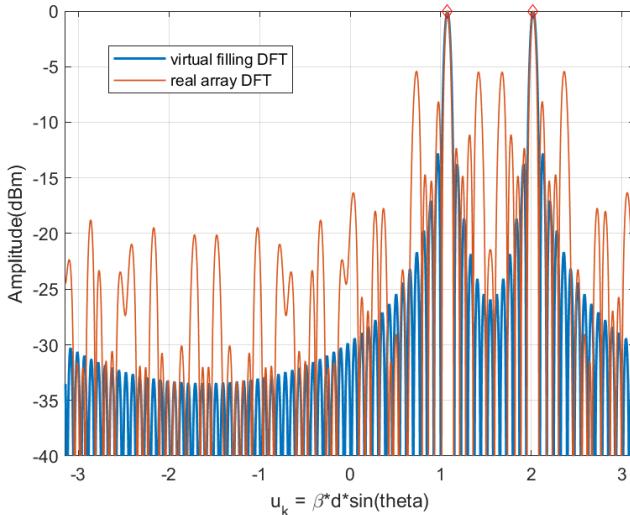


그림 2. Virtual Filling 적용 전후의 배열 스펙트럼  
Fig. 2. Array Spectrum Before and After Virtual Filling Application

그림 2는 Real Array 와 Virtual Filling 적용 후 배열 응답 스펙트럼을 비교한 결과를 나타낸다.

Real Array 기반 응답에서는 Grating Lobe가 뚜렷하게 나타났으나, Virtual Filling을 적용한 경우 mainlobe가 뚜렷하게 유지되고 Grating Lobe가 억제되는 것을 보인다.

### IV. 결론

본 연구에서는 Moving Platform 환경에서 발생하는 배열 불균일성 문제를 해결하기 위해 부배열 구조와 Virtual Filling 기법을 적용한 방향추정 방법을 제안하였다. Real Array 기반 MPM 방향추정을 통해 초기 입사각을 추정한 후, 빈 공간에 Virtual Element를 삽입하여 배열 응답을 확장하였다. 시뮬레이션 결과, 제안한 Virtual Filling 기법은 Grating Lobe를 효과적으로 억제하고, 배열 응답 패턴의 품질을 향상시키는 데 기여함을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(방위사업청)의 재원으로 미래도전국방기술과제 (No.915087201)를 통해 연구가 수행되었다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. Yilmazer, R. Fernandez-Recio, and T. Sarkar, "Matrix pencil method for simultaneously estimating azimuth and elevation angles of arrival along with the frequency of the incoming signals," *Digital Signal Processing*, vol. 16, pp. 796–816, 2006, doi: 10.1016/j.dsp.2006.05.009.
- [2] B.-K. Feng and D. C. Jenn, "Grating lobe suppression for distributed digital subarrays using virtual filling," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 1323–1326, 2013, doi: 10.1109/LAWP.2013.2285073.
- [3] Y. Eghbali and M. Ferdosizade, "DFT-based direction-of-arrival estimation using a nested minimum redundancy array," *IET Signal Processing*, vol. 14, 2020, doi: 10.1049/iet-spr.2019.0048.