

## 금속 격자 배열 안테나 최적화를 위한 방향 탐색

### Directional Search for Optimization of Metal-Only Reflectarray Antenna

이 상 옥  
목원대학교

Lee sangwook  
Mokwon Univ.

#### 요약

금속 격자 배열 안테나의 이득을 최적화하려면 격자배열 원소의 개구면 깊이를 조정하여 위치에 관계없이 동위상 특성을 이루도록 해야 한다. 각 개구면의 깊이가 안테나 이득에 미치는 영향은 서로 종속적이어서 결정론적인 방법으로 풀기는 쉽지 않다. 본 논문에서는 기존의 Armijo 법칙을 적용한 방향 탐색 기법을 제안한다. 실험결과 방향 탐색 기법은 금속 배열 안테나 최적화 문제에서 효율적인 것을 확인하였다.

## I. 서론

금속 격자 배열 (Metal-Only Reflectarray, MOR) 안테나 이득이 최적화되기 위해서는 개구면의 깊이들을 조정하여 위치에 관계없이 동위상 특성을 이루도록 해야 한다 [1]. 고이득 MOR 안테나를 설계할수록 넓은 금속평면에 많은 수의 개구면을 배치해야 한다 [2]. 여기서 하나의 개구면 깊이를 변경하면 다른 개구면이 안테나 이득 특성에 미치는 영향이 달라지므로, 최적의 이득을 위해 많은 수의 개구면 깊이를 결정하는 문제는 NP-hard 문제라 볼 수 있다. 본 논문에서는 지역 최적화 기법을 적용하여 NP-hard 문제 해결을 시도하였다.

MOR 안테나 최적화는 모드 정합법으로 구한 우수환 초기해를 출발점으로 시작한다. 이점을 고려하였을 때 탐색공간 축소 유형의 지역 최적화 기법 보다는 이웃탐색 유형의 지역 최적화 기법이 더 효율적이다. 이웃탐색 유형 중 뉴턴-랩슨 기법은 미분법에 근거하므로 변수의 수가 많아질수록 후보해를 결정하는데 소요되는 시간이 기하급수적으로 늘어난다. 반면에 방향 탐색의 경우는 후보해를 결정하는데 있어서 적절한 방법을 선택하면 후보해를 결정하는 시간을 거의 무시할 수 있다. 따라서 본 연구에서 MOR 안테나 최적화를 위한 지역 최적화 기법으로 방향 탐색 기법이 적합하다 판단하였다.

## II. 방향 탐색

방향 탐색 기법은 주어진 최소화 문제에 대해 초기해를 랜덤하게 결정한 후, 특정한 종료조건을 만족할 때 까지 이동할 방향과 거리를 결정하여 해를 갱신하는 기법이다. 이때, 해의 이동은 변수 하나를 변화시켜 이동하며 해가 개선되는 경우에만 이동을 진행한다. 어느 방향으

로 이동하여도 해가 개선되지 않으면 다음 변수를 변화시켜 이동을 진행하며 최적화를 수행한다.

- Unconstrained optimization problem
 
$$\min_{x \in R} f(x)$$
- Initialization Specify an initial guess of the solution  $x_0$
- Iteration (until termination condition satisfied)
  - Determine  $d_k$  -- 탐색 방향
  - Determine  $\lambda_k$  -- 이동거리 단위
  - Determine  $x_{k+1} = x_k + \lambda_k d_k$  -- 이동을 통한 새로운 해

▶▶ 그림 1. 방향 탐색

여기서 최적화를 위해 어느 방향으로 얼마만큼의 거리를 이동할 것인가가 관건이 된다. 일반적으로 방향 탐색은 미분에 의한 수학적 방법을 통해 방향을 결정하고 이동 거리 단위는 아미조 법칙(Armijo rule)을 적용하여 계산한다. 그러나 고이득 MOR 안테나 해석 문제에 이것을 적용하기에는 계산시간이 매우 많이 소요되므로 기존의 수화적인 방법에 휴리스틱을 접목한 양방향 법칙 (bi-direction rule)을 적용하여 이동 방향을 선택하고 수정된 아미조 법칙(Modified Armijo rule)을 적용하여 이동 거리 단위를 계산한다.

### 1. 양방향 법칙 (bi-direction rule)

방향 탐색 최적화에서 양방향 법칙은 다음과 같다. 처음은 양의 방향으로 이동방향을 선택한다. 이동으로 해가 개선되면 그 다음 이동방향 또한 양의 방향을 선택하고, 해가 개선되지 않으면 음의 방향을 선택한다. 2번 째

이동부터는 이동 후 해가 개선되면 그 전의 이동방향을 유지하고, 해가 개선되지 않으면 이동을 멈추고 다음 변수의 최적화를 시작한다.

Step 0 :  $d_0 = +1$

Step 1 : If  $f(x_0 + \lambda_0 d_0) > f(x_0)$ ,  $d_1 = +1$ ,  
If  $f(x_0 + \lambda_0 d_0) \leq f(x_0)$ ,  $d_1 = -1$

Step k ( $k=2, 3, \dots$ ) :

If  $f(x_0 + \lambda_0 d_0) > f(x_0)$ ,  $d_k = d_{k-1}$   
If  $f(x_0 + \lambda_0 d_0) \leq f(x_0)$ , terminate

▶▶ 그림 2. 양방향 법칙

## 2. 수정된 아미조 법칙 (Modified Armijo rule)

방향 탐색에서 수정된 아미조 법칙은 다음과 같다. 처음에는 이동 거리 단위를 관내파장( $\lambda$ )/25로 정한다. 이 값은 경험에 의해 결정된 값이다. 이동에 의해 해가 개선되면 이동 거리 단위는 유지되며, 어느 방향으로 이동하여도 더 이상 해의 개선이 없으면 이동 거리 단위를 반으로 축소한다.

Step 0 :  $\lambda_0 = \lambda_g / 25$

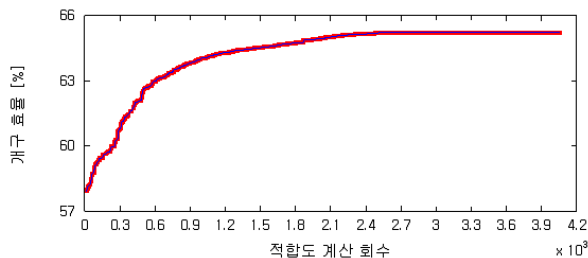
Step k ( $k=2, 3, \dots$ ) :

If  $f(x_k + \lambda_k d_k) > f(x_k)$ , choose  $\lambda_k$  as the step size.  
If  $f(x_k + \lambda_k d_k) \leq f(x_k)$ , let  $\lambda_{k+1} \leftarrow \frac{1}{2} \lambda_k$ ,  $k \leftarrow k+1$

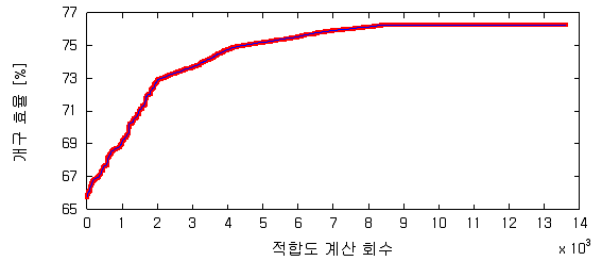
▶▶ 그림 3. 수정된 아미조 법칙

## III. 실험

본 연구에서 개발한 방향 탐색 기법을 활용하여 35dB, 40dB의 고이득 MOR 안테나 최적화를 시도하였다. 그림 4와 5를 보면 방향 탐색 기법은 모드 정합법으로 구한 초기 개구 효율보다 10% 가량 향상된 결과를 찾아주는 것을 확인할 수 있다.



▶▶ 그림 4. 방향 탐색 기법 실험 (35dB, 95GHz)



▶▶ 그림 5. 방향 탐색 기법 실험 (40dB, 95GHz)

## IV. 결론

본 논문에서는 고이득 MOR 안테나 최적화를 위해 양방향 법칙과 수정된 아미조 법칙의 휴리스틱을 접목한 방향 탐색 기법을 제안하였다. 실험 결과 제안한 방향 탐색 기법은 고이득 MOR 안테나 최적화에 도움이 되는 것을 확인하였다.

## ■ 참고 문헌 ■

- [1] Cho, Y. H, m Byun, W. J., and Song, M. S., "High gain metal-only reflectarray antenna composed of multiple rectangular grooves," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 59, No. 12, pp. 4559-4568, 2011.
- [2] Cho, Y. H, m Byun, W. J., and Song, M. S., "Metallic-rectangular-grooves based 2D reflectarray antenna excited by an open-ended parallel-plate waveguide," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 58, No. 5, pp. 1788-1792, 2010.