

균일선형배열 다중입출력 레이더의 빔패턴 비교

이현철, 이상규, 유상범, 강은수, 백명진
한국항공우주연구원

hlee@kari.re.kr, sglee@kari.re.kr, sbryu11@kari.re.kr, eskang@kari.re.kr, mjbaek@kari.re.kr

Beampattern Comparison of MIMO Radar of Uniform Linear Arrays

Hyeon-Cheol Lee, Sang Gyu Lee, Sang Burm Ryu, EunSu Kang, MyungJin Baek
Korea Aerospace Research Institute

요약

몇 개의 안테나 요소로 구성된 스마트안테나는 필요방향에 이득을 만들고 간섭신호 방향에 null 을 만든다. 본 논문에서는, minimum variance 방법으로 N 개의 수신기 요소, M 개의 송신기 요소를 가진 MIMO 레이더를 사용하여 각 요소값을 계산하고, 입사각에 따른 빔패턴을 계산하여 스마트안테나와 다중입출력 레이더간의 성능을 비교하였다. 간섭신호 수가 많아도 MIMO 를 사용하면 빔패턴이 나빠지지 않는다.

I. 서론

현대의 스마트 안테나는 최적의 기준치에 따라 패턴을 변경시키는데 이 최적의 기준치에는 최대 Signal to Interference Ratio (SIR), 최소 분산, 최소 평균자승오차 등의 방법이 있다.

다중입출력(Multiple Input, Multiple Output, MIMO) 레이더는 송신기 및 수신기 요소 개수를 최대로 적용한 것이고, 본 논문에서는 스마트 안테나에 MIMO 를 사용하는 레이더에 적용하여 그 성능을 빔패턴으로 비교하였다. 입사각과 안테나 요소 수에 따라 각각의 빔패턴이 다르게 나타난다.

II. 본론

스마트안테나는 몇 개의 안테나 배열 요소 (array element)로 구성되어 있고 원하는 방향에서 오는 신호는 받고, 원치않는 다른 방향의 신호의 크기는 줄여서 받도록 할 수 있다. 안테나요소의 출력은 beamformer 로 weight 를 만들어서 main beam 과 null 을 만든다. 간섭을 줄이기 위해, beamformer 는 간섭신호에 null 을 배치하고, 원하는 신호방향에 일정한 이득이 있도록 조절한다.

스마트안테나를 MIMO 레이더에 적용하여, 수신기의 개수는 N, 송신기의 개수는 M 이고 각 안테나요소의 개수는 K, 그리고 L 개의 fading 이 있는 환경을 가정하면, DoA (Direction of Arrival)에 의한 MIMO 레이더의 반응은

$$v(\theta) = [v^1(\theta), v^2(\theta), \dots, v^K(\theta)] \quad (1)$$

여기서 $v^k(\theta)$ 는 θ 방향에서 오는 k 번째 안테나요소의 신호이다. 심볼 인터벌동안 변화가 거의 없는 slow fading 환경이라고 가정하고, 심볼 인터벌동안 다른 path 의 전파지연이 매우 작다고 가정하면, j 번째 송신기에 따른 i 번째 수신기의 수신신호⁽¹⁾는

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^M \sqrt{P_j G_{ji}} \sum_{l=1}^L \alpha_{ji}^l v_j(\theta_l) s_j(t - \tau_j) + n_i(t) \quad (2)$$

여기서, s_j 는 j 번째 송신기가 보내는 정보신호이고, τ_j 는 j 번째 송신기가 발생하는 시간 지연, P_j 는 j 번째 송신기의 무선전력이며 n_i 는 i 번째 수신기에 들어오는 잡음이다. $v_j(\theta_l)$ 는 l 번째 path 에서의 신호방향인 θ_l 에서의 j 번째 수신기의 응답이다. j 번째 송신기와 i 번째 수신기 사이의 l 번째 path 에 있는 shadowing 에 따른 감쇄는 α_{ji}^l 라고 한다. G_{ji} 는 j 번째 송신기와 i 번째 수신기간의 이득이다.

j 번째 송신기에 대한 i 번째 수신기 응답을 a_{ji} 라 하면

$$a_{ji} = \sum_{l=1}^L \alpha_{ji}^l v_j(\theta_l) \quad (3)$$

$$a_{ji} = \exp(j \frac{2\pi}{\lambda} (ndR + mdT) \sin \theta), j = i \quad (4)$$

여기서 dR 은 수신 안테나간의 간격(spacing), dT 는 송신 안테나간의 간격, 수신 안테나 개수, $n = 0, 1, \dots, N-1$, 송신 안테나 개수, $m = 0, 1, \dots, M-1$ 이다.

$$\varphi = \frac{dT}{dR} \quad (5)$$

로 두면

$$a_{ji} = \exp(j \frac{2\pi}{\lambda} (n + \varphi m) \sin \theta) \quad (6)$$

이 때 $\delta = N$ 이라 가정하면 $n + \delta m$ 의 개수는 $\{0, 1, \dots, NM-1\}$ 이 된다. i 번째 수신기의 수신신호⁽¹⁾는

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^M \sqrt{P_j G_{ji}} a_{ji} s_j(t - \tau_j) + n_i(t) \quad (7)$$

최초의 송신신호는 아래처럼 표현되는데,

$$s_i(t) = \sum_n b_i(n)g(t-nT) \quad (8)$$

$b_i(n)$ 은 i 번째 송신기의 n 번째 정보신호이고, $g(t)$ 는 t 시간의 pulse shaping 필터 임펄스 응답이다. 정합필터의 출력은 $t=nT$ 로 샘플링되고 이 필터의 출력은

$$x_i(n) = x_i(t) * g^*(-t)|_{t=nT} \quad (9)$$

이다. 그래서 수신기쪽 matched filter 의 출력단에서의 수신 신호⁽¹⁾는

$$x_i(n) = \sum_{j=1}^M \sqrt{P_j G_{ji}} a_{ji} b_j(n) + n_i(n) \quad (10)$$

이고 원하는 신호방향에 일정이득을 보존하면서 beamformer 의 평균출력이나 분산값을 최소로 하면 SINR 을 높일 수 있다. i 번째 수신기에서 beamformer 의 출력⁽¹⁾은

$$y_i(n) = w_i^H x_i(n) \quad (11)$$

여기서, w_i 와 x_i 는 각각 i 번째 송신기의 beamforming weight 와 수신신호벡터이다. i 번째 평균 출력전력⁽¹⁾은

$$E_i = E\{y_i(n)y_i^H(n)\} = w_i^H \Phi_i w_i \quad (12)$$

여기서, Φ_i 는 수신신호 $x_i(n)$ 의 correlation matrix 이다. 정보신호가 uncorrelated 이고 zero mean 이면 Φ_i ⁽¹⁾는

$$\Phi_m = \sum_{j \neq i} P_j G_{ji} a_{ji} a_{ji}^H + N_i I \quad (13)$$

$$\Phi_i = \Phi_m + P_i G_{ii} a_{ii} a_{ii}^H \quad (14)$$

여기서, Φ_{in} 은 원하지 않는 신호(unwanted signal)의 correlation matrix 이고 N_i 는 각 array element 입력단에서의 잡음전력, 즉 잡음의 분산값 (zero-mean Gaussian noise 경우)이다. 그래서 평균출력전력⁽¹⁾은

$$E_i = P_i G_{ji} + I_i \quad (15)$$

$$I_i = \sum_{j \neq i} P_j G_{ji} w_i^H a_{ji} a_{ji}^H w_i + N_i w_i^H w_i \quad (16)$$

와 같고 여기서 원하는 방향쪽의 안테나 이득은 일정, 즉 $w_i^H a_{ii} = 1$ 이라는 사실을 사용하였다. Beamforming 의 목적은 $w_i^H a_{ii} = 1$ 에 따라 interference I_i 를 최소화하는 weight vector w_i 를 찾는 것이며, minimum variance⁽²⁾를 사용한 i 번째 수신기의 fixed weight 는

$$\hat{w}_i = \frac{\Phi_{in}^{-1} a_{ii}}{a_{ii}^H \Phi_{in}^{-1} a_{ii}} \quad (17)$$

결과적으로, 원하는 신호의 안테나 이득은 1 이된다. 간섭신호의 수를 16 개로 가정하였고 간섭신호의 제원은 표 1 과 같다.

Table 1. 송신기의 사양

사양	Pt(dB)	Ds(km)	F	Sens
값	10	9	2GHz	-90dB

그림 1 은 원하는 신호의 입사각이 각각 5 도, -10 도이고 16 개의 간섭신호(20, 30, 40, -20, -30, -40, 50, 60, 70, 80, 90, -50, -60, -70, -80, -90 도)가 있을 경우의 빔패턴이다.

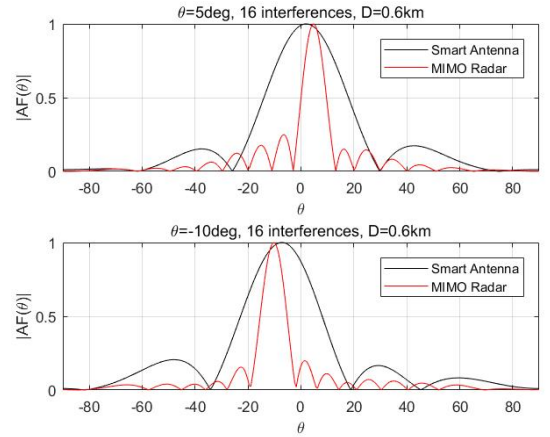


Fig. 1. 입사각 5 도(상), -10 도(하), $D=0.6$ km 에서 16 개의 간섭이 있을 때의 빔패턴

그림에서 보면 동일거리(0.6km)에서 MIMO 를 사용한 수신기가 그렇지 않은 수신기 보다 빔패턴이 훨씬 더 이득이 높은 것을 알 수 있다.

III. 결론

MIMO 레이다는 몇 개로 구성된 안테나 요소의 weight 를 계산하여 원하는 신호방향에 일정한 이득이 있도록 하고 잡음 등 원치않는 간섭신호방향에 null 을 배치하여 이득을 높인다. 본 논문에서는 MIMO 를 사용한 수신기와 그렇지 않은 수신기의 성능을 비교하였다.

간섭신호 수가 많을 수록 smart antenna 는 빔패턴이 현저히 나빠지는 것에 반해, MIMO 를 사용하면 빔패턴에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Rashid-Farrokhi, F., Tassiulas, L., and Liu, K. J. R., "Joint optimal power control and beamforming in wireless networks using antenna arrays," IEEE Trans. Commun., Vol. 46, No. 10, pp. 1313~1324, 1999.
- [2] Gross, F., "Smart antenna for wireless communications with matlab, McGraw-Hill, New York, pp. 223~226, 2005.