

수신 빔 그리드에 따른 다중경로 환경에서의 고각 추정 성능 분석

Performance Analysis of Elevation Estimation with Respect to Received Beam Grid in Multipath Environment

권대현 · 조병래 · 김관성 · 이범석

Daihyun Kwon · Byunglae Cho · Kwan Sung Kim · BumSuk Lee

요 약

본 논문에서는 다중경로 환경에서 레이더를 이용한 고각 추정 시 수신 빔 그리드에 따라서 그 성능이 달라지는 것을 확인하였다. 분석을 위해 열여섯 가지 경우의 빔 그리드를 설정하였다. 우선, 수신 빔 개수 3개와 5개의 두 가지 경우를 비교하였다. 또한, 수신 빔 중첩률 0 %, 15 %, 30 %, 50 %일 때 네 가지를 비교하였다. 마지막으로, 수신 빔과 수평선의 상대적 위치관계 두 가지 경우를 구분하였다. 즉, 수신 빔 중앙이 수평선에 놓일 경우와, 수신 빔 가장자리가 수평선에 놓일 경우를 비교하였다. 이 열여섯 가지 경우에 대하여 각각 표적고도 세 경우를 분석하였다. SNR(signal to noise ratio)에 따른 RMSE(root mean square error)를 구하여 고각 추정 성능을 분석하였다. 고각 추정 알고리즘은 3D BDML(beam-space domain maximum likelihood)을 기반으로 한 double null 알고리즘을 사용하였다. 다중경로 환경에서 저고도 표적에 대한 고각 추정 시뮬레이션을 수행하여 여러 가지 빔 그리드에서의 고각 추정 오차를 분석, 비교하였다.

Abstract

This study confirmed that the performance of elevation estimation using radar in a multipath environment varies depending on the receiving beam grid. For the analysis, a beam grid of 16 cases was used. First, three received beams and five two cases were compared. In addition, the two cases were compared when the reception beam overlap rates were 0, 15, 30, and 50 %. Finally, the relative position relationship between the reception beam and horizontal line was classified. In other words, the case where the center of the reception beam was placed on the horizontal line and that where the edge of the reception beam was placed on the horizontal line were compared. For each of these 16 cases, three target altitudes were analyzed. The RMSE according to the SNR was obtained to analyze the elevation estimation performance. A double-null algorithm based on 3D BDML was used. Elevation estimation simulations were performed on low-altitude targets in a multipath environment to compare the performance of elevation estimation in various beam grids.

Key words: Radar, Signal Processing, Multipath, Elevation Estimation, Receive Beam Grid

I. 서 론

다중 빔 레이더는 하나의 송신 빔에 대하여 여러 개의 수신 빔을 가진다^[1]. 또한, 능동위상배열레이더 AESA

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received November 21, 2022 ; Revised November 28, 2022 ; Accepted December 20, 2022. (ID No. 20221121-095)

· Corresponding Author: Kwan Sung Kim (e-mail: kims@add.re.kr)

(active electronically scanned array)의 발달로 수신 빔 형성을 능동적으로 바꿀 수 있다^[2]. 이때, 형성된 빔들의 상대적 위치 또는 빔 간 중첩되는 정도에 따라 수신 빔들의 전체적인 분포가 다르게 된다. 본 논문에서는 이 수신 빔들의 분포를 수신 빔 그리드라고 하였다. 레이더의 수신 신호는 수신 빔 이득만큼 증폭되게 되어 표적의 탐지 및 추적을 용이하게 한다.

레이더의 표적 고각추정은 기본적으로 모노펄스를 기반으로 수행된다. 또한, 모노펄스는 각 빔별 수신된 신호의 세기를 사용하여 고각을 추정한다^[3]. 그러나, 표적이 낮은 고각에 있으면 반사 경로 2개 이상 존재하게 된다. 즉, 표적에 맞고 직접 안테나로 수신되는 직접 경로와 표적에서 반사된 후 다른 곳에 한 번 더 반사되어 들어오는 간접경로가 발생할 수 있다. 두 신호가 합쳐져서 수신되는데 각 신호의 위상에 따라서 보강 및 상쇄 간섭이 발생할 수 있다. 그에 따라, 수신 신호의 세기가 커질 수도, 작아질 수도 있고, 그 결과 모노펄스 고각 추정 값이 왜곡되게 된다. 이 현상이 다중경로 현상이다^[4].

다중경로 환경에서의 고각 추정을 위한 연구들이 수행되었다. 매개변수 및 비매개변수 추정 알고리즘으로 고각 추정을 수행한 연구가 있다^[5]. 이 연구에서는 매개변수 추정 시에는 수신 신호의 상관행렬을 이용하고, 행렬의 특이 경우일 때 비매개변수 추정을 사용하여 매개변수 추정의 문제점을 해결하였다.

모노펄스 고각 추정 기법을 개량하여 고각 추정 성능을 높인 연구들이 수행되었다. 모노펄스의 고각 추정 시 합 빔과 차 빔의 비로 모노펄스 곡선을 근사한다. 이때, 다중경로 환경에서는 반사계수가 달라지므로 그에 따라서 모노펄스 곡선이 바뀐다. 따라서, 반사계수마다 모노펄스 곡선을 다르게 적용하여 모노펄스 고각추정 성능을 높였다^[6]. 또한, 다중 주파수를 적용하여 모노펄스 고각 추정 성능을 향상시킨 연구도 있다^[7]. 3개의 주파수로 측정된 모노펄스 신호 비와 다중경로로 인한 가상 표적의 신호로 구성된 비용함수를 제안하고, 최적화를 통하여 고각 추정성능을 향상시켰다. 마지막으로, 적응 빔 형성을 통하여 모노펄스 기울기를 제어하여 추적 정확도를 개선시키는 연구도 수행되었다^[8].

반면에, 다중경로 상황에서의 신호 수신 모델을 기반

으로 3D BDML(3dimensional beamspace domain maximum likelihood)로 고각 추정을 수행한 연구가 있다^[9]. ML(maximum likelihood) 방식은 연산량이 많이 필요하지만, 고각 추정 정확도가 높은 장점이 있다. 그러나, 표적 고각이 매우 낮아질 경우, ML의 특이 경우가 발생하여 오히려 고각 오차가 커지는 문제가 있다. 근접전계 패턴 측정값을 기반으로 특이 경우를 판별하여 선택적으로 ML 알고리즘을 적용한 연구가 있다^[10]. 다만, 해당 연구는 기계식 회전 레이더를 사용하여 근접전계 패턴이 방위각 방향으로 완벽하게 동일하다는 전제조건을 가지고 있다. 즉, 전자식 빔 조향 레이더를 사용할 경우 근접전계 패턴이 방위각 방향으로 왜곡되면 사용할 수 없다는 한계점을 가지고 있다. 그에 따라, 전자식 빔 조향 레이더를 위하여 근접전계 패턴 측정값이 없더라도 특이 경우를 판별하는 방법을 제시한 연구가 제시되었다^[11]. 다만 해당 연구는 비실시간 알고리즘이므로 실제 시스템에 적용할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 ML 방식의 다중경로 고각 추정 및 빔 그리드를 설명한다. III 장에서는 신호의 SNR(signal to noise ratio)를 가변하며 열여섯 가지 빔 그리드 각각에 대하여 세 종류의 표적 고각 대해 시뮬레이션을 수행한다. 각 빔 그리드별 고각 추정 결과를 비교, 분석한다. IV 장에서는 결론 및 향후 연구에 대하여 기술하였다.

II. 수신 빔 그리드에 따른 3D BDML 고각 추정

2-1 다중경로 환경에서의 3D BDML 고각 추정

그림 1은 다중경로 환경에서의 수신 모델을 나타낸 것이다. 표적에 반사되고 직접 안테나에 수신된 경로가 direct path이며, 이때의 고각이 θ_T 이다. 반면에, 표적에 반사된 후 다른 곳에 한 번 더 반사되어 들어온 경로가 indirect path이며, 이때의 고각이 θ_S 이다. 그림에서는 수신 빔 5개를 가정하였으나, 빔의 개수가 3개일 경우 가장 바깥쪽의 2개 빔을 제외하게 된다. 그리고 선형 AESA 안테나를 가정하였다. w 는 안테나 간 간격이다. 안테나 인덱스는 $e = 1, 2, 3, \dots, N_e$ 이며, N_e 는 안테나 개수이다.

레이더 수신 신호의 측정 \mathbf{x} 값이고, $\hat{\mathbf{x}}$ 이면 3D BDML

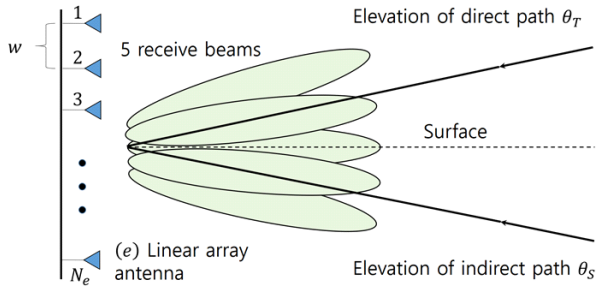


그림 1. 다중경로 환경에서의 다중 빔 수신 모델
Fig. 1. The multibeam reception model in a multipath environment.

은 추정 오차를 최소화하는 식을 비용함수로 설정하였고 식 (1)과 같다.

$$\min_{\theta_T, \theta_S} \| \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}} \|^2 \quad (1)$$

여기서 $\hat{\mathbf{x}}$ 은 식 (2)와 같이 모델링할 수 있다.

$$\hat{\mathbf{x}} = M^H T \mathbf{s} = Y \mathbf{s} \quad (2)$$

이때, M 은 빔 형성 행렬, T 는 빔 조향 행렬, H 는 행렬의 허미션이고, s 는 신호의 복소 포락 값이다. 식 (1)을 s 에 대하여 푸는 것을 zero-forcing이라 하며, 최적의 s 는 식 (3)과 같다.

$$\mathbf{s}_{\text{zero-forcing}} = (Y^H Y)^{-1} Y^H \mathbf{x} \quad (3)$$

식 (2) 및 식 (3)을 식 (1)에 대입하여 정리하면 식 (4)와 같이 정리된다.

$$\min_{\theta_T, \theta_S} \mathbf{x}^H Q \mathbf{x} \quad (4)$$

$$Q = I_5 - Y(Y^H Y)^{-1} Y^H$$

식 (4)의 I_5 는 크기 5의 단위행렬이다. 결론적으로, 식 (4)를 최소화하는 θ_T 와 θ_S 를 찾으면 된다. 고각 탐색 범위는 식 (5)와 같이 설정하였다.

$$\begin{cases} 0^\circ \leq \theta_T \leq \theta_{\max} \\ -\theta_{\max} \leq \theta_S \leq 0^\circ \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 θ_{\max} 는 사용자가 설정한 최대 고각 탐색 범위이다. 또한, 탐색 간격은 θ_{\max} 를 N 개로 나눈 $\frac{\theta_{\max}}{N}$ 이다. 3D BDML 기반 double null 알고리즘은 모든 경우의 수를

구한 후 두 값을 반복적으로 비교하여 최솟값을 찾는다.

2-2 수신 빔 그리드 설정

본 논문에서 설정한 수신 빔 그리드는 그림 2와 같다. 첫 번째로, 수신 빔 개수에 따른 차이이다. 수신 빔 개수가 3개에서 5개가 되면 수신 범위가 더 넓어지는 것으로 볼 수 있다. 또한, 3D BDML 계산 시 행렬의 크기가 3에서 5로 커지게 되고 결과적으로 고각 추정 값이 더 정확해진다. 그림 2(a)~그림 2(c)는 빔 3개, 그림 2(d)~그림 2(f)는 빔 5개이다.

두 번째로, 수신 빔 간 중첩률에 따른 차이이다. 그림 2(a), 그림 2(b), 그림 2(d), 그림 2(e)는 중첩률 50 %를 나타내었고, 그림 2(c), 그림 2(f)는 중첩률 0 %를 나타내었다. 그리고 그림에서 생략된 중첩률 15 %와 30 %에 대하여도 성능분석을 수행하였다. 또한, 본 논문의 빔 폭은 3 dB 반전력 빔 폭을 의미하며, 중첩률은 빔 간 지름 겹침을 의미한다. 따라서, 수신 빔 중앙에서 가장자리로 갈수록 수신 빔 이득이 떨어지게 된다. 즉, 그림 2(d)와 같이

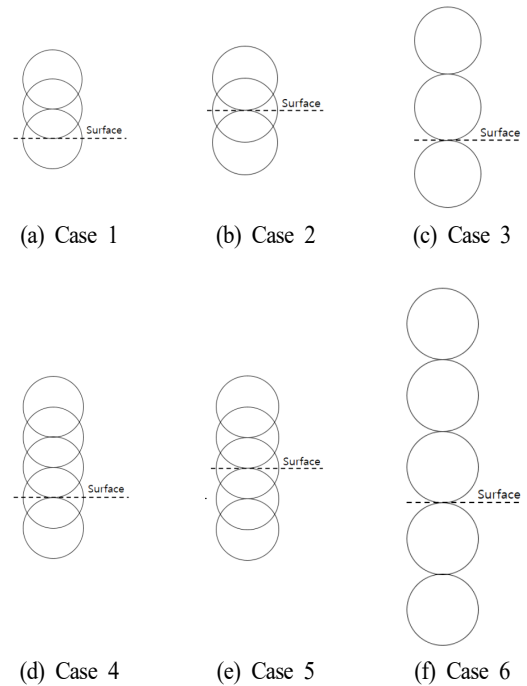


그림 2. 수신 빔 그리드 예시
Fig. 2. The example of receive beam grid.

중첩률이 0 %면 수신 신호가 빔 가장자리에 걸치면 수신 빔 이득이 최소가 되는 단점이 있다. 반면에, 그림 2(b)와 같이 중첩률이 50 %면 첫 번째 빔의 가장자리가 두 번째 빔의 중심에 위치하게 되어 전체적인 수신 이득이 높아진다.

마지막으로, 수평선과 수신 빔의 상대위치를 고려하였다. 그림 2(b) 및 그림 2(e)와 같이 빔 그리드의 중심 빔의 정중앙에 수평선(또는 지표면)이 위치할 때와 그림 2(a), 그림 2(c), 그림 2(d), 그림 2(f)와 같이 빔 가장자리에 수평선이 위치할 때를 나타내었다. 빔이 수평선의 정중앙에 놓이게 되면 해상 클러터가 강하게 수신되는 단점이 있다. 반면에, 수평선에 가까이 날아오는 저고도 표적 신호를 잘 수신할 수 있다. 반대의 경우, 빔의 가장자리가 수평선에 놓이면 해상 클러터의 영향을 적게 받을 수 있다.

Ⅲ. 시뮬레이션 결과

고각방향 등간격 선 배열 안테나 48개를 사용하였고, λ 가 파장일 때, **grating lobe** 현상을 방지하기 위하여 안테나 간격은 0.48λ 로 설정하였다. 저고도 표적이 일정한 고도를 유지하며, 레이더에 점점 다가오는 상황을 가정하였다. 상세한 표적 파라미터는 표 1에 정리하였다. 고각에 따른 고각추정 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 시나리오별 고각이 일정하도록 설정하였다.

또한, 표 2에 수신 빔 그리드에 따른 Type 1~16은 $T_1 \sim T_{16}$ 로 표기하였다. 빔 그리드 변수는 각각 $N_B(=3, 5)$ 는 수신 빔 개수, $R_s(=50\%, 30\%, 15\%, 0\%)$ 는 수신 빔 중첩률, 수평선과의 상대 위치는 $C_e(=$ (중앙, 가장자리)로 정의하였다. 예를 들어, $(N_B, R_s, C_e) = (5, 0\%, \text{가장자리})$

표 1. 시뮬레이션 표적 파라미터

Table 1. The target parameters of simulation.

	Start	End
Range [km]	20	10
Velocity [m/s]	300	300
Altitude 1 [m]	223	293
Altitude 2 [m]	572	468
Altitude 3 [m]	921	642

표 2. 빔 그리드 변수 설정 값들

Table 2. The setting parameters of beam grid.

	N_B	R_s	C_e
T_1	3	50 %	Center
T_2	3	50 %	Edge
T_3	3	30 %	Center
T_4	3	30 %	Edge
T_5	3	15 %	Center
T_6	3	15 %	Edge
T_7	3	0 %	Center
T_8	3	0 %	Edge
T_9	5	50 %	Center
T_{10}	5	50 %	Edge
T_{11}	5	30 %	Center
T_{12}	5	30 %	Edge
T_{13}	5	15 %	Center
T_{14}	5	15 %	Edge
T_{15}	5	0 %	Center
T_{16}	5	0 %	Edge

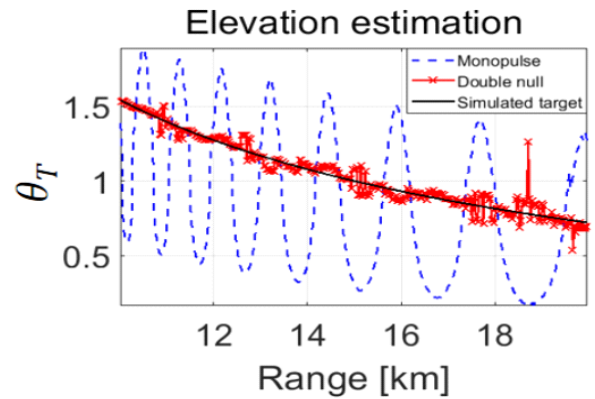


그림 3. 고각 추정 결과

Fig. 3. The elevation estimation result.

일 때 고각 추정 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 파란 점선이 모노펄스 결과, 붉은 'x' 마커가 double null 알고리즘 결과, 검은색 실선이 시뮬레이션

표적 고각이다. 다중경로 현상이 발생하여 모노펄스 고각 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

반면에 double null 알고리즘은 더 정확한 값에 수렴한 것을 볼 수 있다. $T_1 \sim T_8$ 에 대하여 최대 거리에서의 표적 신호 SNR[dB]=(15, 20, 25, 30, 35)의 모든 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 정확도는 RMSE(root mean square error)로 평가하였고 식 (6)과 같다.

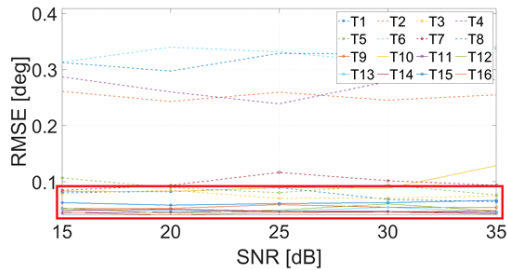
$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (T_{true} - A_l)^2} \quad (6)$$

여기서, T_{true} 는 시뮬레이션으로 생성한 표적의 고각 값이고, A_l 은 고각 추정 알고리즘 결과 값이다.

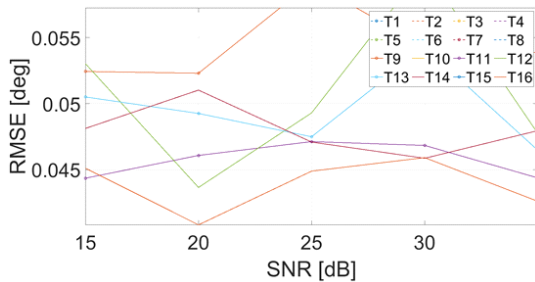
그림 4~그림 6은 고도에 따른 고각 추정 오차를 보여주고 있다. 표적의 이동 시나리오는 거리 20 km에서 10 km까지 속도 300 m/s로 움직이는 것으로 가정하였다.

시뮬레이션 결과, 빔 개수가 세 개보다는 다섯 개일 때 고각 추정 성능이 좋아지는 것을 확인하였다.

표 3은 시나리오별로 고각 추정 성능이 우수한 빔 그리



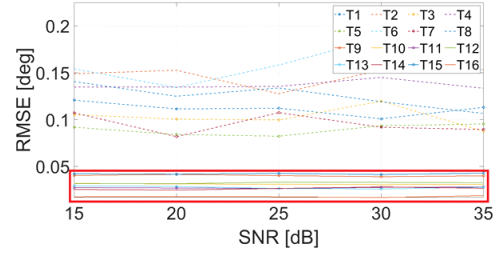
(a) 고도 1 결과
(a) Result of the altitude 1



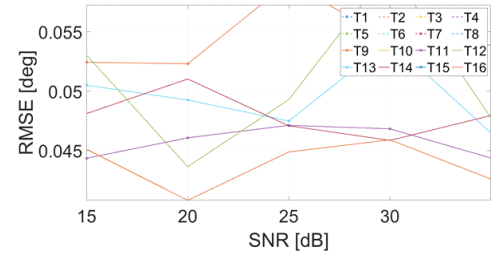
(b) (a)의 RMSE<0.1 영역 확대
(b) Expansion of the RMSE<0.1 region of (a)

그림 4. 고도 1에 대한 고각 추정 결과

Fig. 4. The elevation estimation result for the altitude 1.



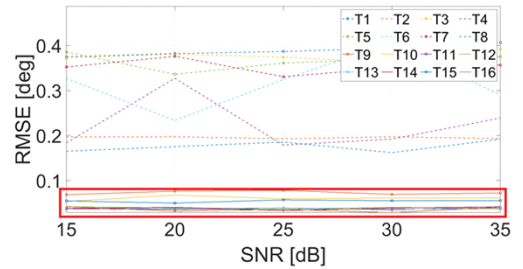
(a) 고도 2 결과
(a) Result of the altitude 2



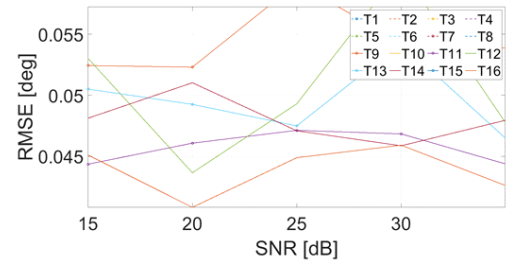
(b) (a)의 RMSE<0.1 영역 확대
(b) Expansion of the RMSE<0.1 region of (a)

그림 5. 고도 2에 대한 고각 추정 결과

Fig. 5. The elevation estimation result for the altitude 2.



(a) 고도 3 결과
(a) Result of the altitude 3



(b) (a)의 RMSE<0.1 영역 확대
(b) Expansion of the RMSE<0.1 region of (a)

그림 6. 고도 3에 대한 고각 추정 결과

Fig. 6. The elevation estimation result for the altitude 3.

표 3. 고도별 고각 추정 RMSE[°]값 비교

Table 3. Comparison of elevation estimation RMSE [°] values by altitudes.

Scenario	SNR [dB]	T_{16}	T_{14}	T_{13}	T_{11}
1	15	0.045	0.048	0.051	0.044
	25	0.045	0.047	0.047	0.047
	35	0.043	0.048	0.046	0.044
2	15	0.017	0.025	0.029	0.027
	25	0.017	0.026	0.026	0.026
	35	0.019	0.027	0.028	0.028
3	15	0.042	0.038	0.038	0.037
	25	0.036	0.033	0.039	0.037
	35	0.041	0.041	0.042	0.038

드의 고각 추정 오차 값을 나타내었다. SNR이 높은 경우, 다중경로 추정을 위한 빔 그리드의 3 dB 빔 폭이 중첩되지 않아도 고각 추정 성능이 좋음을 확인하였다. 또한 SNR이 낮은 경우에는 빔 그리드의 3 dB 빔 폭이 일부분 중첩하는 것이 고각 추정 성능을 향상시키는데 도움이 되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 수신 빔 그리드에 따른 다중경로 환경에서의 고각 추정 성능을 확인하였다. 수신 빔 그리드는 빔 개수, 빔 간 중첩률, 빔과 수평선 간 상대위치에 따라 열여섯 가지 경우를 설정하였다. 그리고 표적 고도 세 종류 및 다섯 종류의 SNR에 대한 시나리오를 설정하였다. 또한, 고각 추정 알고리즘은 3D BDML기반 double null 알고리즘을 사용하였다. 시뮬레이션 결과, 수신 빔 3개보다는 5개일 때, 고각 추정성능이 높다는 것을 확인했다. 또한, T_{11} (중첩률 15 %)와 T_{16} (중첩률 0 %)의 성능이 우수한 것을 확인하였다.

본 논문에서 등 간격, 등 빔 폭을 가정한 빔 그리드만 고려하였다. 탐색레이다의 경우, 수평선의 가까운 저고도 영역은 다중경로 현상이 발생하므로 빔을 중첩하여 배치할 필요가 있다. 그러나, 고각 3° 이상의 높은 영역에서는

다중경로 현상이 발생하지 않으므로 빔을 중첩하여 배치할 필요가 없다. 오히려, 고각방향의 넓은 범위를 탐지하려면 중첩률이 낮아야 적은 고각 빔으로도 넓은 범위를 탐지할 수 있게 된다. 향후, 시나리오별로 최적의 중첩률을 분석하여 최적의 탐색 빔 그리드를 설계하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] M. A. Richards, J. A. Scheer, and W. A. Holm, *Principles of Modern Radar: Basic Principles*, Edison, NJ, SciTech, pp. 3-4, 2010.
- [2] E. Yang, Y. H. Jang, W. Kim, and D. Yeom, "Beam domain localized adaptive beamforming for fully digital active array radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 5, pp. 494-504, Mar. 2021.
- [3] J. H. Nam, J. W. Rim, H. Lee, I. S. Koh, and J. H. Song, "Modeling of monopulse radar signals reflected from ground clutter in a time domain considering Doppler effects," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 3, pp. 190-198, Jul. 2020.
- [4] W. D. White, "Low-angle radar tracking in the presence of multipath," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-10, no. 6, pp. 835-852, Nov. 1974.
- [5] D. Y. Yang, M. S. Lee, "DOA estimation of multiple signal and adaptive beam-forming for mobile communication environments," *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 22, no. 10, pp. 34-42, Dec. 2010.
- [6] T. H. Kim, C. H. Jung, H. S. Lee, J. H. An, S. H. Kim, and J. H. Kim, "Elevation angle measurement of sea-skimming targets for fine tracking in multipath environments of sea surfaces," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 396-406, Apr. 2021.
- [7] C. H. Lee, S. M. Chon, J. Park, H. K. Na, and S. H. Kim, "Multi-frequency monopulse direction detection method

for suppression of multipath effects in low-altitude sea target tracking," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 3, pp. 306-314, Feb. 2021.

- [8] C. H. Lee, S. M. Chon, J. Park, H. K. Na, and S. H. Kim, "Improving the tracking accuracy of a low-altitude sea target in a multipath environment using adaptive beamforming techniques," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 2, pp. 190-199, Mar. 2021.
- [9] M. D. Zoltowski, T. S. Lee, "Maximum likelihood based sensor array signal processing in the beamspace domain for low angle radar tracking," *IEEE Transactions on*

Signal Processing, vol. 39, no. 3, pp. 656-671, Mar. 1991.

- [10] K. S. Kim, M. S. Chung, and C. S. Jung, "Hybrid compensation technique on low elevation angle errors for multibeam surveillance radar in multipath environment," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 365-372, Jun. 2013.
- [11] D. Kwon, H. Ko, S. Hong, B. L. Cho, K. S. Kim, and C. H. Kim, "Research of selective exponential smoothing method for estimating low-altitude target elevation in marine multipath environment," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 20, no. 9, pp. 115-123, Sep. 2022.

권 대 현 [국방과학연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2014-3071>



2014년 2월: 한양대학교 전기공학과 (공학사)
2016년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2016년 2월~7월: 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 위촉연구원
2018년 5월~현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 인공지능

김 관 성 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7385-4141>



2002년 2월: 부산대학교 전기전자공학부 (공학사)
2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
2020년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
2007년 2월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템설계 및 성능분석, 신호처리

조 병 래 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9160-3362>



1999년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2005년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2005년 3월~2006년 1월: 포항공과대학교

전자전기공학과 연구원

2006년 1월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상 레이더

이 범 석 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-1196-0993>



1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월: 한국과학기술 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1989년 2월: 한국과학기술 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1989년 4월~현재: 국방과학연구소 수석

연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템 설계 및 신호처리 등