

능동위상배열레이다에서 태양을 이용한 수신빔패턴 특성 측정기법 연구

A Study on Beam Pattern Characteristic Measurements with Sun Noise on Active Phased Array Radars

권세웅* · 김한생 · 권양원 · 이기원

Se-Woong Kwon · Han-Saeng Kim · Yang-Won Kwon · Ki-Won Lee

요 약

레이다의 빔패턴은 무반향챔버와 같은 특정 시설에서 측정되며, 물리적으로 큰 레이다는 운용환경에서 빔패턴 측정 가능한 시설로 이동이 어렵고 비용이 많이 소모된다. 만약 레이다가 실제 환경에 존재하는 지형지물이나 천체를 이용하여 빔패턴의 특성을 확인할 수 있다면, 비용 측면에서 효과적인 레이다 운용유지 능력을 제공할 수 있다. 태양은 어느 위치에서나 상시 존재하는 천체이고, 레이다에서 열잡음 형태로 측정 가능하므로 모니터링에 유용하나, 주변 전파 환경에서 수신되는 간섭신호의 영향으로 성능 점검 자동화에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 자동 점검 기법 및 간섭 제거 방법을 적용하여 실험하고, 실제 환경에서 시험한 결과를 제시한다.

Abstract

A beam pattern of a radar is measured at a specific facility such as an anechoic chamber, and it is difficult and expensive to move a physically large radar from an operating environment to the facility. If a radar can measure beam pattern characteristics with landmark or celestial bodies in an operating environment, it can provide a cost effective maintenance. Sun is a celestial body which exists in an operating environment, and sun noise is easy to monitor automatically. However, interferences interfere with the automatic detection of noise. Therefore, in this study, we implemented and tested an automatic sun noise monitoring method and an effective interference suppression method in a radar operating environment.

Key words: Active Phased Array Radar, Sun Noise, Beam Pattern Measurement

I. 서 론

레이다의 빔패턴은 무반향챔버와 같은 특정 시설에서 측정된다. 능동위상배열레이다는 무반향챔버에서 획득된 송수신기의 특성을 기준으로 하고, 송수신기의 변화는 내

장된 점검경로를 통한 보정기능을 통해 일정 상태를 유지할 수 있도록 설계/운용된다. 그러나 이러한 보정기능은 송수신기의 변화는 보상할 수 있으나, 안테나 면에 대한 성능은 확인하기 어렵고, 빔패턴을 보장하지는 않는다. 따라서 안테나의 고장 등으로 빔패턴의 왜곡이 발생

LIG넥스원 레이다연구소(Radar R&D, LIGNex1)

· Manuscript received April 9, 2021 ; Revised May 6, 2021 ; Accepted June 21, 2021. (ID No. 20210409-001S)

· Corresponding Author: Se-Woong Kwon (e-mail: iceberg7@naver.com)

시 이를 확인하기 위해서는 무반향챔버 시설을 사용해야만 빔패턴의 확인이 가능하다. 그러나 물리적으로 큰 레이다는 운용환경에서 빔패턴 측정이 가능한 시설로 이동이 어렵고 비용이 많이 소모된다. 따라서 상시 존재하는 지형지물이나 천체를 이용하여 빔패턴의 형성 여부를 확인할 수 있다면, 외부에서 운용되는 레이다의 성능을 지속해서 관찰할 수 있는 효용이 있다^{[1][2]}. 특히 태양은 어느 위치에서나 상시 존재하는 천체이고, 레이다에서 열잡음 형태로 측정 가능하므로 성능 점검 자동화에 유용하나, 주변 전파 환경에서 수신되는 간섭신호의 영향으로 성능 점검 자동화에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 자동 점검 기법과 효과적인 간섭억제기법을 레이다에 적용하고, 실제 환경에서 시험한 결과를 제시한다.

II. 본 론

2-1 태양 열잡음 측정 모델

태양은 γ 선부터 전파 대역에 이르기까지 아주 광범위한 파장대의 전자기파를 복사한다^[3]. 또한 태양은 L 대역에서 0.5° 지름을 갖고 $10^5 \sim 5 \times 10^5$ K의 균일한 온도를 갖는 디스크로 고려하였다^[4]. 또한 태양에 의한 잡음 온도는 방사신호와 빔패턴 간의 적분으로 표현하였다^[4].

$$T(EL, AZ, t) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi g(\theta, \phi) T(EL, AZ, t, \theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (1)$$

여기서 $g(\theta, \phi)$ 는 안테나의 이득이고, $T(\cdot)$ 는 sky 온도 분포(temperature distribution)이다. 빔 폭보다 디스크의 크기가 작아서 빔패턴에 따라 시스템의 열잡음이 변하게 된다. 이는 그림 1과 같은 시스템 잡음 모델을 사용하였다^[5].

$$\text{시스템잡음온도} : T_s = T_a + T_r + L_r T_e \quad (2)$$

여기서,

$$\text{안테나 잡음 온도} : T_a = \frac{(1 + G_s)(T'_a - T_0)}{L_a} + T_0$$

$$\text{케이블잡음 온도} : T_r = T_{tr}(L_r - 1)$$

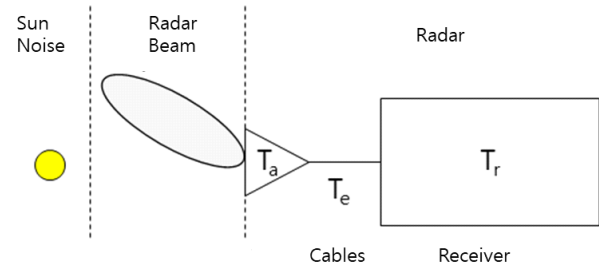


그림 1. 시스템 잡음 모델

Fig. 1. System noise model.

$$\text{수신기 잡음 온도} : T_e = T_0(F_n - 1)$$

이고 T'_a 는 하늘의 결보기 온도, L_a 는 안테나의 분산 손실, T_{tr} 은 시스템의 온도, L_r 은 케이블 손실이다. 또한 T_0 는 기준온도이고, F_n 은 시스템의 잡음지수이다. 이 모델에서 볼 수 있는 것과 같이 외부에서 수신되는 태양열 잡음은 빔패턴에 따라 안테나 잡음 온도를 증가시키고, 이는 시스템 잡음 온도를 증가시키게 된다.

2-2 측정 시스템 및 측정 방법

태양 열잡음 측정은 방위각으로 회전하면서 고각방향으로 전자빔 조향이 가능한 L 대역 레이다를 사용하였다. 시험에 사용한 레이다의 특성은 표 1과 같다. 레이다는 그림 2와 같이 방위 방향으로 기계적으로 회전하면서 태양의 고각을 실시간으로 계산하여 태양 위치로 안테나 빔을 조향한다. 태양의 위치 계산은 참고문헌 [6]에서 제시된 알고리즘을 사용하고, GPS를 통해 위도, 경도 및 시각 정보를 이용하였다. 측정시스템은 그림 3과 같다.

수신된 잡음 신호는 그림 4와 같이 구성되며, 연속적으로 수신되는 잡음 신호를 Block 단위로 구분하여 수신방

표 1. 레이다 시스템 특성

Table 1. Radar system properties.

Item	Properties
Beam steering type	Elevation: Linear active phased array Azimuth: Mechanical rotating
Beam type	Pencil beam
Antenna gain	> 00 dB
Beam width	less than 0.0 degrees

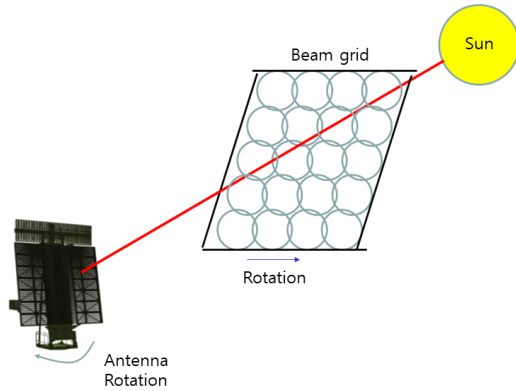


그림 2. 태양열 잡음 측정 개념도
Fig. 2. Concept of sun noise measurement.

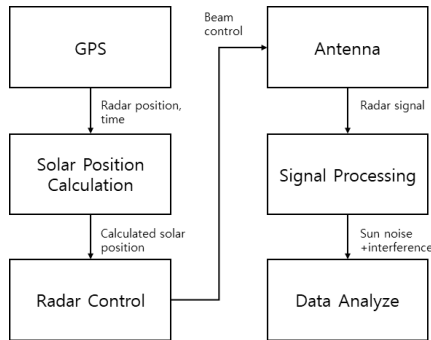


그림 3. 측정 시스템 블록도
Fig. 3. Block diagram of measurement system.



그림 4. 수신신호 구조
Fig. 4. Structure of received signal.

위각과 평균전력 값을 계산한다. 수신방위각은 안테나 회전 각도를 사용하였으며, 평균전력은 블록별로 잡음의 전력을 평균하였다.

2-3 빔패턴 특성 측정기법

태양은 특정 방위, 고각에 있는 광대역 잡음원으로 동작하여 레이다에서는 전체 운용 대역 내에서 열잡음을 증가시키는 역할을 한다. 본 자동화 기법은 태양 열잡음을 탐지하여 신호의 크기를 측정하는 것을 목적으로 한

다. 지구 자전 때문에 태양은 시간당 약 15도를 회전하게 되며, 레이다에서는 회전하면서 잡음을 측정한다. 레이다로 수신된 잡음과 레이다 내 열잡음을 구분하기 위하여 레이다의 주파수는 무작위로 운용하여 잡음의 형태를 히스토그램으로 환산한다. 환산 결과는 그림 5와 같으며, 잡음 대부분이 신호처리 약 47 dB에 있는 것을 확인할 수 있다. 시스템의 열잡음은 가우시안분포를 갖는 열잡음으로 아래 히스토그램에서 최대 발생 빈도 전력인 약 47 dB를 시스템 평균전력으로 판단하였다. 가우시안 분포의 대칭성을 고려하여 ± 3 dB 이내를 열잡음이라고 판단하였으며, 이로부터 시스템 열잡음과 외부 잡음을 구분하는 문턱값(threshold)을 50 dB로 설정하고, 이 이상에 대하여 분석을 수행한다.

시스템 내 열잡음과 수신 잡음을 문턱값으로 분리하면, 수신되는 잡음에서 태양의 열잡음과 기타 잡음을 분리할 수 있다. 태양은 특정 위치에 존재하면서 레이다 운용 대역보다 넓은 광대역 잡음원이다.

이러한 잡음별 특징을 이용하여 레이다의 주파수를 협대역, 무작위로 운용하면, 잡음이 상시 존재하는 방향을 추정할 수 있다. 이 측정 결과와 방위별 잡음 발생 빈도를 그림 6과 그림 7에 제시하였다. 측정 결과, 0도 부근에서 가장 높은 빈도의 잡음이 발생하였으며, 따라서 태양의 위치가 0도 부근에 위치할 가능성이 커진다. 최대 발생 빈도 방위 구간을 다시 도시하면 그림 8과 같이 잡음 밴드와 의도하지 않은 잡음 신호가 관찰되고 있다. 이러한 잡음 신호가 측정 정확도에 영향을 주지 않도록, Dolph-

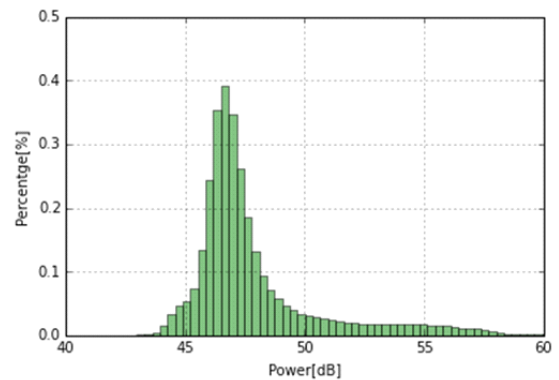


그림 5. 수신전력 히스토그램
Fig. 5. Received noise power histogram.

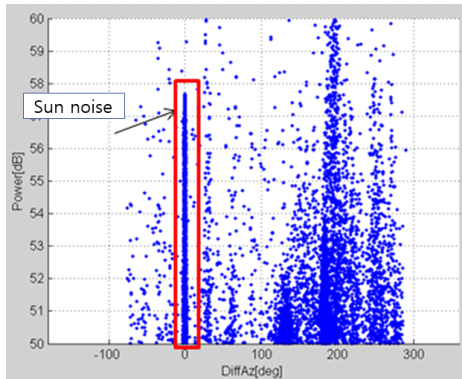


그림 6. 방위별 수신전력

Fig. 6. Received noise power vs azimuth.

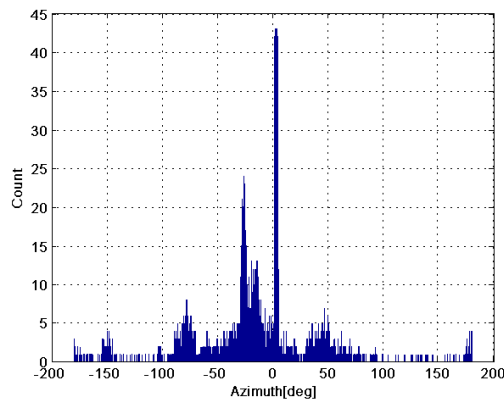


그림 7. 방위별 잡음 발생 횟수

Fig. 7. Noise occurrence count vs azimuth.

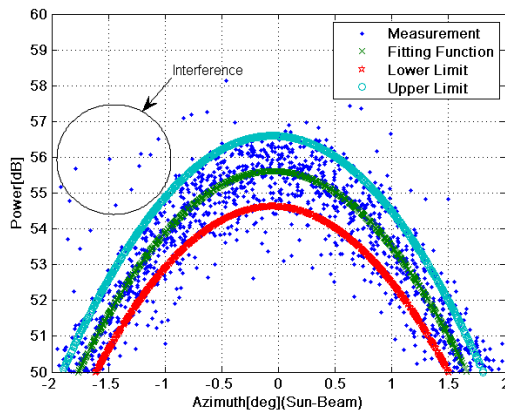


그림 8. 태양 위치 부근의 잡음전력

Fig. 8. Noise power around sun position.

Chebyshev 다항식으로 설계된 빔에 대하여 a , b , c 3개의 계수를 가지는 2차 다항식으로 근사화하였다.

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3)$$

계수 a , b , c 는 측정데이터로부터 MMSE(minimum mean square error) 방식으로 계산하였다. a , b , c 값이 결정되면 최대 크기를 갖는 방위각과 크기를 결정할 수 있다.

$$x_{\max} = -b/2a \quad (4)$$

$$y_{\max} = b^2/(4a) - b^2/2a + c \quad (5)$$

측정오차를 줄이기 위하여 MMSE(minimum mean square error) 방식으로 계산된 다항식을 기준으로 $\pm 2\sigma$ 를 초과하는 측정 결과를 제거하고 샘플 평균을 계산하였다.

Ⅲ. 시험 결과 및 분석

측정은 하계중 5회에 거쳐 수행되었으며, 다양한 기상 상황에서 측정되었다. 측정은 일정한 시간대에 일출/일몰 기준 약 1시간 동안 측정되었으며, 다양한 기상 조건에서 측정이 수행되었다. 측정 결과는 모델링된 다항식의 최대 값을 기준으로 하였다. 다양한 기상 조건에서 측정된 결과는 표 2와 같다. 제시한 방법에 따라서 측정한 결과를 분석하였을 때 신호크기의 평균은 56.32 dB, 방위 오차 표준편차는 0.029도가 발생하였으며, 기상에 영향을 거의 받지 않음을 확인하였다.

표 2. 빔특성 측정 결과

Table 2. Beam characteristic measurement result.

Number	Weather	Max. power (dB)	Azimuth difference (degree)
1	Sunny	56.97	0.012
2	Sunny	57.01	0.039
3	Sunny	56.52	-0.026
4	Rainy	55.69	-0.013
5	Rainy	55.43	-0.029
Mean		56.32	-0.0034
Standard deviation		0.729	0.029

IV. 결 론

본 논문은 레이다의 수신 빔패턴 점검을 위하여 태양의 잡음을 측정하는 자동화 기법을 연구하였다. 연구 결과, 실제 환경에서 수신되는 다양한 잡음과 장비 내의 열 잡음을 통계적인 방법을 이용하여 제거하고, 최종적으로 태양의 위치와 수신된 최대전력을 측정하였다. 자동으로 계산된 방위각과 전력은 5회의 시험 결과, 안정적인 방위 측정과 전력 측정이 이루어졌다. 여름철 시험 때 기상 따라 밝은 날 대비 강우 때 약 1 dB의 신호 감소가 확인되었다. 단, 방위각 특성에는 큰 영향을 주지 않는다. 본 연구를 통해 장비 점검에 이러한 결과가 활용될 가능성을 보였다. 향후 겨울철 기상을 포함한 장기간 데이터 축적 시 더욱 유용한 데이터를 확보하여 이상 여부에 대한 기준치를 설정하면 사이트에서 장비 고장 판단 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] R. S. Blicq, "Calculating the Sun's positions for cali-

bration of radar antennas," *The Journal of Navigation*, vol. 15, no. 4, pp. 456-460, Oct. 1962.

[2] X. Muth, M. Schneebeli, and A. Berne, "A sun-tracking method to improve the pointing accuracy of weather radar," *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 5, no. 3, pp. 547-555, 2012.

[3] J. W. Park, Y. U. Choi, H. L. Cho, and H. M. Son, "Design and implementation of radio sensor receiver for measuring the position of the Sun," *The Journal of the Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 9, pp. 943-953, Sep. 2009.

[4] J. Y. Delahaye, P. Gole', and P. Waldteufel, "Calibration error of L-band sky-looking ground-based radiometers," *Radio Science*, vol. 37, no. 1, pp. 1-11, 2002.

[5] D. K. Barton, *Radar System Analysis and Modeling*, Boston, MA, Artech House, 2005.

[6] I. Reda, A. Andreas, *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications*, Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory, 2008.

권 세 응 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8959-4452>



1999년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)

2002년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)

2009년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2009년 7월~현재: LIG넥스원 레이다연구

소 수석연구원

[주 관심분야] 능동위상배열레이다, 전파전파 등

김 한 생 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8811-1711>



2000년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)

2002년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학석사)

2002년 2월~현재: LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이다 시스템, 안테나 시스템, 디지털 회로 설계

권 양 원 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8403-0423>



1999년 2월: 원광대학교 제어계측공학과 (공학사)

2001년 2월: 원광대학교 전기공학과 (공학석사)

2001년 2월~2009년 1월: STX 엔진 전자통신연구소 선임연구원

2009년 2월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구

센터 수석연구원

[주 관심분야] 레이더, 회로설계, EMC 등

이 기 원 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2545-7579>



2000년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학사)

2002년 8월: 충남대학교 전기공학과 (공학석사)

2002년 7월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구센터 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 체계설계, 안테나,

신호처리 등