

논문 2006-43SP-6-11

# 원형스캔 레이더 식별을 위한 스캔변수 추정기법

## ( Estimation of scan parameters for identification of the circular scanning radars )

류 영 진\*, 하 현 주\*\*, 김 환 우\*\*\*

( Young Jin Ryoo, Hyoun Joo Ha, and Whan Woo Kim )

### 요 약

ES 시스템에서 레이더를 식별하는 능력을 향상하기 위해서는 주파수, 펄스반복주기 및 펄스폭 등과 같은 기본 식별변수 이외에 스캔특성을 추정하는 기법이 필요하다. 본 논문에서는 원형스캔 레이더의 스캔특성인 스캔주기와 스캔빔폭을 추정하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 주기함수의 자기상관관계 특징을 이용하여 스캔주기를 추정한다. 그리고 제안된 스캔주기 추정기법과 선형 보간법을 이용하여 스캔빔폭을 추정한다. 제안한 방법의 성능을 입증하기 위해 다양한 모의신호에 대한 실험 결과를 제시하였다.

### Abstract

To improve the performance of identification for radars in an ES(Electronic warfare Support) system, it is necessary to estimate scan characteristics as well as the basic identification parameters such as frequency, pulse repetition interval and pulse width of radars. This paper presents the method of estimating the scan period and the scan beam width of circular scanning radars. The proposed method estimates the scan period using the quality of the autocorrelation of a periodic signal. And, it estimates the scan beam width using the linear interpolation and the proposed method of estimating the scan period. Simulation results are presented to show the performance of the proposed method.

**Keywords :** electronic warfare support, circular scan, estimation

### I. 서 론

전자전(electronic warfare) 시스템은 전자파 신호를 탐지 및 식별하는 ES(Electronic warfare Support)와 필요시 방해 및 기만 전자파를 방사하는 EA(Electronic Attack)로 구분된다<sup>[1]</sup>. 레이더(radar) 주파수 대역의 ES 시스템은 전자전 신호환경에 활동하는 레이더들이 방사한 신호들을 수신하고, 수신된 매 신호마다 주파수, 펄스도착시간, 펄스폭, 신호세기(신호전력) 등의 신호변수들을 측정한다. 그리고 측정된 신호변수들의 상관성

과 연속성을 분석하여 각 레이더 펄스열들을 분리한 다음, 각 레이더가 사용하는 주파수, 펄스반복주기 및 펄스폭과 같은 운용변수들을 추정하고, 이들을 식별 라이브러리와 비교하여 레이더 명을 식별한다<sup>[2]</sup>.

그런데, 전자전 신호환경에 ES 시스템이 대응해야 할 레이더의 수가 점점 증가함에 따라, 식별과정에서 주파수, 펄스반복주기 및 펄스폭 데이터만으로 식별할 경우, 하나의 레이더 명으로 식별하지 못하고 여러 개의 레이더 명으로 식별되는 식별 모호성(ambiguity)이 발생한다<sup>[3,4]</sup>. 왜냐하면, 대부분의 레이더들이 특정 주파수 대역을 사용하고 펄스반복주기 및 펄스폭이 유사하기 때문에 주파수, 펄스반복주기 및 펄스폭에 대한 평균, 최대, 최소값만으로는 구분되지 않기 때문이다. 따라서 ES 시스템에서 식별 모호성을 해결하기 위해서는 기본적인 식별변수 이외에 추가적으로 레이더들을 구분

\* 정회원, 국방과학연구소

( Agency for Defense Development )

\*\* 학생회원, \*\*\* 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부  
( Division of Electrical and Computer Engineering,  
Chungnam National University )

접수일자: 2006년8월7일, 수정완료일: 2006년10월17일

할 수 있는 변수들에 대한 정보가 필요하며, 이러한 변수로는 레이더의 주파수 변조특성, 펄스반복주기 변조 특성, 스캔특성 등이 있다<sup>[5-7]</sup>.

ES 시스템이 대응해야 할 레이더들중 원형스캔 레이더들은 운용목적에 따라 최대탐지거리, 거리 및 방위각 해상도 등을 결정하고, 이에 부합하는 펄스반복주기, 펄스폭, 스캔빔폭, 스캔주기를 사용한다. 따라서, 원형스캔 레이더에 대해서는 주파수, 펄스반복주기, 펄스폭 정보 이외에 스캔주기와 스캔빔폭 정보를 레이더 식별에 사용하면 식별율을 향상시킬 수 있다.

기존에는 원형스캔 레이더를 식별함에 있어 원형 스캔특성중 스캔주기만을 추정하여 식별에 이용하였으며, 스캔주기 추정방법에는 임계치를 설정하고 영교차점간의 시간을 계산하여 스캔주기를 추정하는 방법<sup>[7]</sup>이 있다. 이 방법은 수행은 매우 간단하지만, ES 시스템에서 신호수신시 발생하는 잡음에 민감한 단점이 있다. 따라서 ES 시스템에서 원형스캔 레이더에 대한 식별 능력 향상을 위해서는 정확한 스캔주기 추정기법과 함께 스캔빔폭을 추정하는 기법이 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 원형스캔 레이더의 스캔특성에 따라 ES 시스템에 수신되는 레이더 신호의 신호세기 및 형태를 분석하고, 이를 바탕으로 주기함수의 자기상관관계 특징을 이용하여 스캔주기를 추정하고, 선형보간법으로 반전력점간의 시간을 계산하여 스캔빔폭을 추정하는 방법을 제안한다.

II. 원형스캔 특성에 따른 ES 수신신호

1. ES 신호처리 과정

ES 시스템은 그림 1과 같이 레이더들이 방사한 신호들을 탐지 및 식별하여 활동중인 레이더 정보를 운용자에게 전시/경보하고, 전자전장비가 탑재된 플랫폼을 보호하기 위한 방해 및 기만 재밍(jamming)에 필요한 레이더 정보를 EA 시스템에 전송한다.

ES 시스템이 전자전 신호환경의 레이더 활동을 탐지/식별하기 위해 수행하는 신호처리과정은 그림 2에서 같이 신호수신, 신호측정, 신호분리 및 변수추정, 식별 단계로 이루어진다.

신호처리과정을 간단히 살펴보면, ES 시스템은 광대역에 걸쳐 분포하는 레이더 신호를 수신해야 하므로 전방향(omni-direction)의 광대역 수신기를 이용하여 신호를 수신한다. 그리고, 수신 신호들에 대해 레이더 운용 변수 추정에 필요한 변수들을 측정하는데, 일반적인 측

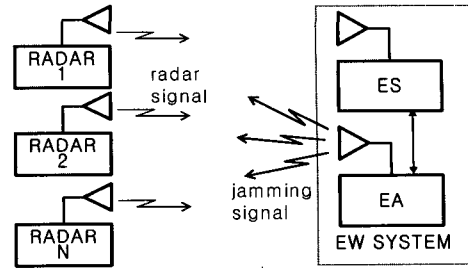


그림 1. 전자전 장비의 개념  
Fig. 1. The concept of EW system.

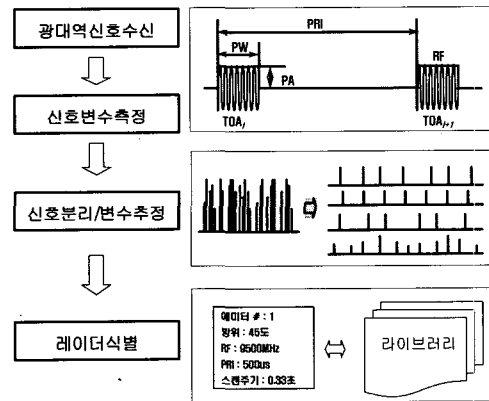


그림 2. ES 시스템 기능 블록도  
Fig. 2. Functional block diagram of the ES system.

정변수는 신호의 주파수, 도래방위각, 펄스도착시간, 펄스폭, 신호세기, 펄스폭내 변조특성이다. 다음단계에서는 여러개의 레이더 신호가 혼재되어 있는 N개 신호에 대해 측정된 변수들의 유사성과 연속성을 분석하여 각 레이더 펄스열을 추출한다. 그리고 추출된 펄스열의 신호변수들로 레이더가 사용하는 운용변수들을 추정한다. 최종적으로 추정된 변수들을 식별 라이브러리와 비교하여 레이더명을 식별한다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서 다루는 스캔변수 추정은 펄스열 분리후 변수추정에 해당하는 것으로 펄스도착시간에 따른 신호세기를 입력변수로 한다.

2. 원형스캔 특성에 따른 ES 수신 신호세기

레이더가 공간적으로 스캔하지 않고 송신안테나를 고정하여 송신기 출력  $P_t$ 로 신호를 송신할 경우, 레이더의 송신방향으로 거리 R에 위치하는 ES 시스템에 수신되는 신호세기는 식 (1)과 같다<sup>[8,9]</sup>.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \tag{1}$$

여기서  $G_t$ 는 레이더 송신안테나 이득,  $\lambda$ 는 레이더 신호의 파장이고,  $G_r$ 은 ES 시스템의 수신 안테나 이득

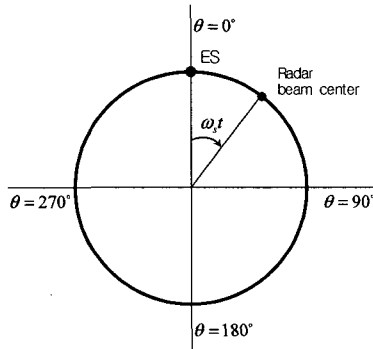


그림 3. 레이더의 원형스캔  
Fig. 3. The circular scan of radar.

이며,  $L$ 은 안테나 극성 손실 등을 포함한 수신 손실이다. 본 논문에서 다루는 원형스캔 레이더의 경우, 레이더가 목표물을 탐색하기 위하여 방위각에 대해 그림 3과 같이 공간적으로 스캔하므로 레이더의 송신 방위각이 시간에 따라 변화되는데, 방위각에 따른 수신 신호 세기는 식 (2)와 같다.

$$P_r(\theta) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} g_t(\theta) = P_0 g_t(\theta) \quad (2)$$

여기서  $\theta$ 는 레이더 신호의 송신방향과 ES 시스템간의 방위각이고,  $g_t(\theta)$ 는 레이더 송신 안테나의 빔 패턴으로 1보다 작거나 같다.

원형스캔 레이더가 그림 3과 같이 스캔주기  $T_s$ 로 스캔하면,  $\theta$ 는 시간에 따라 변화되는데,  $\theta$ 와 시간  $t$ 의 관계는  $\theta = (2\pi/T_s)t$  이다. 이 관계식을 식 (2)에 적용하면, 원형스캔 레이더 신호에 대한 수신 신호세기는 식 (3)과 같다.

$$P_r(t) = P_0 g_t(\omega_s t + \theta_0), \quad \omega_s = \frac{2\pi}{T_s} \quad (3)$$

여기서  $\omega_s$ 는 스캔 각속도이며,  $\theta_0$ 는 초기 방위각이다. 수신 신호세기는 식 (3)에서와 같이 안테나 빔 패턴에 의해 결정되고, 주기가  $T_s$ 인 주기함수이다.

식 (3)를 이용하여 임의의 안테나 빔패턴을 갖는 원형스캔 레이더 신호에 대한 수신 신호세기를 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에서 수신된 신호세기의 피크치  $P_0$  기준 반전력점 범위에 대한 시간  $T_B$ 는 식 (4)와 같이 정의되며, 레이더 송신 안테나의 3dB 빔폭  $\theta_B$ 와 스캔주기  $T_s$ 에 비례한다.

$$T_B = \frac{\theta_B T_s}{2\pi} \quad (4)$$

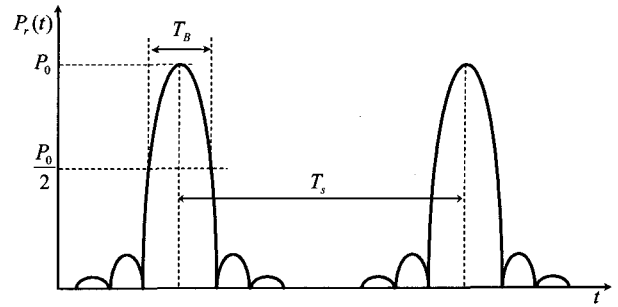


그림 4. ES 시스템에 수신된 원형스캔 레이더의 신호세기 패턴  
Fig. 4. Signal amplitude pattern of the circular scan radar as received by an ES system.

이와 같이 ES 시스템에 수신되는 원형스캔 레이더의 신호세기는 스캔변수 즉, 스캔주기와 빔폭에 의해 결정되며, 시간에 따른 신호세기를 분석하면 스캔변수를 추정할 수 있다.

### III. 제안한 스캔변수 추정 방법

원형스캔 레이더는 일정 거리범위에 존재하는 목표물을 탐지하기 위하여 정해진 펄스반복주기, 펄스폭, 스캔주기 및 스캔빔폭으로 신호를 송신하는데, 레이더가 송신한  $i$ 번째 신호의 시간을  $t_i$ 라 하면, ES 시스템에서 수신되는 신호세기는 식 (5)와 같다.

$$P_r(t_i) = P_0 g_t(\omega_s t_i + \theta_0) \quad (5)$$

이와 같이 정의한 레이더 신호에 신호수신시 발생하는 잡음성분(AWGN)를 고려하면 ES 시스템에서 검출기(envelope detector)에 의해 검출된 수신신호의 전압  $s(t_i)$ 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t_i) = A(t_i) + n(t_i) \quad (6)$$

여기서,  $A(t_i)$ 는  $P_r(t_i)$ 에 해당되는 레이더 신호의 첨두전압이고  $n(t_i)$ 는 잡음성분이다. ES 시스템에서는 넓은 동적범위(dynamic range)의 신호를 처리하기 위해, 수신감도보다 큰 신호에 대해 신호세기를 로그 스케일로 측정하는데, 로그 스케일의 신호세기  $p_s(t_i)$ 는 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} p_s(t_i) &= 20\log\left(\frac{s(t_i)}{\sqrt{2}}\right) = 20\log\left(\frac{A(t_i) + n(t_i)}{\sqrt{2}}\right) \\ &= 20\log\left(\frac{A(t_i)}{\sqrt{2}}\right) + 20\log\left(1 + \frac{n(t_i)}{A(t_i)}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 첫 번째항은 레이더 신호의 신호세기이고 두 번째항은 로그스케일로 표현했을 때 잡음성분이다. 이와같이 측정된 신호세기를 ES 시스템의 수신감도  $s_r$ 로 정규화하면 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$p_n(t_i) = \begin{cases} p_s(t_i) - s_r, & p_s(t_i) > s_r \\ 0, & p_s(t_i) \leq s_r \end{cases} \quad (8)$$

그리고 레이더의 펄스반복주기가  $T$ 일때  $t_i=i*T$  이므로 측정된 신호세기는  $p(i)=p_n(t_i)$ 로 표현할 수 있다. 이상과 같이 정의된 신호세기  $p(i)$ 를 입력변수로 하여 스캔주기와 스캔빔폭을 추정한다.

본 논문에서는 스캔주기를 추정하기 위하여  $N$ 개 데이터에 대해 식 (9)와 같이 정의되는 선형 자기상관관계를 이용한다.

$$R(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-k} p(n)p(n+k), \quad (9)$$

where  $k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$

주기함수에 대해 자기상관관계를 계산하면 주기의 배수마다 피크가 형성되는데, 원형스캔 레이더 신호도 주기함수이므로 일정시간동안 수신한 신호에 대해 자기상관관계를 계산하면 그림 5와 같이 주기에서 가장 큰 피크를 갖는다. 이러한 특징을 이용하여 본 논문에서는  $R(k)$ 에서  $k=0$ 인 경우를 제외한 가장 큰 피크에 해당하는  $k_p$ 를 찾아 식 (10)과 같이 스캔주기  $\hat{T}_s$ 를 추정한다.

$$\hat{T}_s = k_p T \quad (10)$$

다음으로, 스캔주기 이외에 원형스캔 특성의 다른 하나의 변수인 스캔빔폭  $\theta_B$ 는 식 (4)로부터 식 (11)의 관

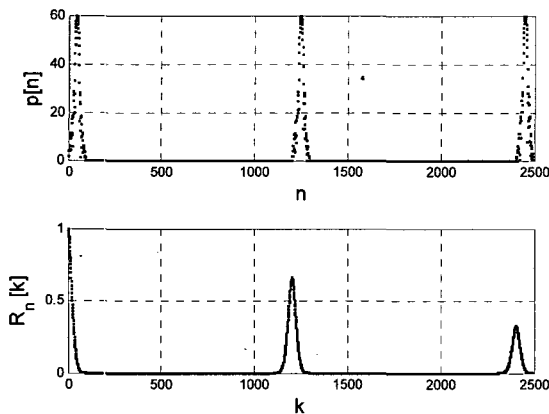


그림 5. 원형스캔 신호에 대한 자기상관관계 결과  
Fig. 5. Result of autocorrelation for the circular scanning signals.

계식을 갖는다.

$$\theta_B = \frac{2\pi T_B}{T_s} \quad (11)$$

따라서 스캔빔폭은 스캔주기와 반전력(3dB)점간 시간  $T_B$ 로 추정이 가능하다. 그런데, ES 시스템에서 수신 측정된 원형스캔 레이더의 주빔(main beam)를 살펴보면, 그림 6에서 보는 바와 같이 피크치를 기준으로 반전력점이 항상 측정되지는 않는다. 왜냐하면 ES 시스템에 수신된 신호의 신호세기들은 식 (5)에서 보는 바와 같이  $\omega_s, \theta, T$ 에 관계되는 것으로, 레이더 송신안테나 빔패턴의 3dB점에서 송신된 신호가 항상 존재하지는 않으며, 또한 ES 시스템에서 신호수신 및 펄스열 분리과정에서 그림 6에 나타난 것과 같은 누락펄스가 발생할 수 있기 때문이다.

이러한 이유로 단순히 피크치  $P_0$ 를 갖는 수신신호를 기준으로 좌우 각각  $(P_0/2)$ 에 가장 가까운 신호세기를 갖는 수신신호의 시간차로  $T_B$ 를 계산하여 빔폭을 추정하면 추정오차가 커진다. 특히, 레이더마다 상이한 식 (12)와 같이 정의되는  $T_B$  내의 펄스수  $N_B$ 가 작을수록 그리고 누락펄스의 비율이 증가할수록 상대적으로 추정 오차가 급격히 증가한다.

$$N_B = \frac{T_B}{T} \quad (12)$$

따라서 측정된 신호세기  $p(n)$ 에서 3dB점간 시간  $T_B$ 를 정확하게 추정하기 위해서는 그림 6에서 3dB점에 해당되는  $T_l$ 과  $T_h$ 에 대한 보간이 필요하다. 본 논문에서는  $T_B$ 를 추정함에 있어, 식 (13)과 같이 정의되는 선

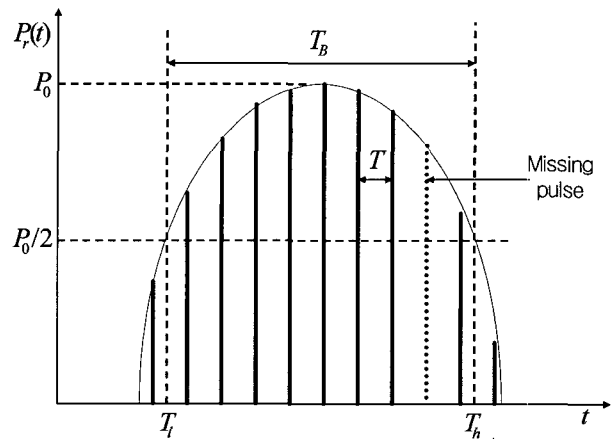


그림 6. ES 시스템에 수신된 원형 스캔 레이더의 주빔  
Fig. 6. Main beam of the circular scan radar as received by an ES system.

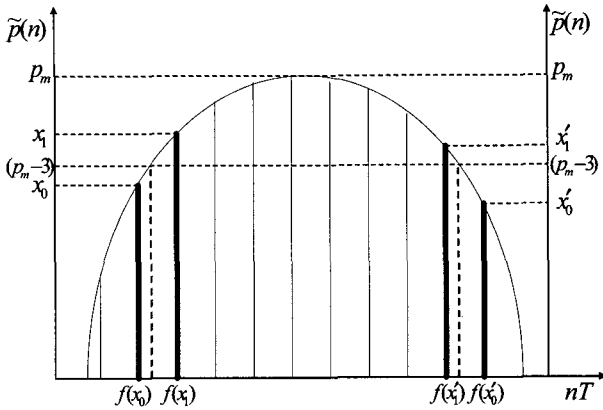


그림 7. 보간을 위한 데이터 선정  
Fig. 7. Selection of data for interpolation.

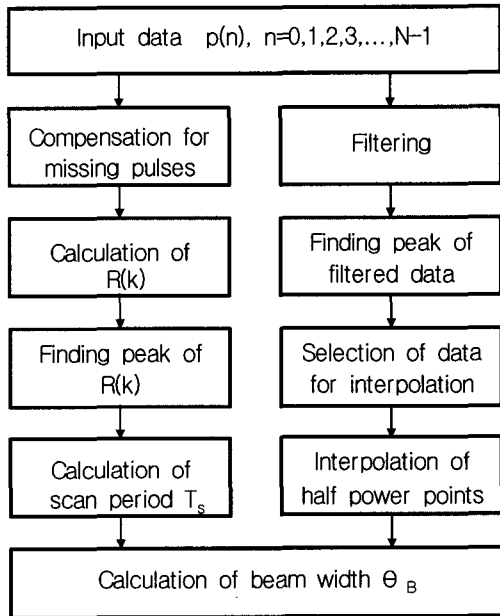


그림 8. 제안한 방법의 스캔변수 추정 절차  
Fig. 8. Procedure of the proposed method for the estimation of scan parameters.

형보간법<sup>[10]</sup>을 이용한다.

$$h(x) = \frac{x-x_1}{x_0-x_1}f(x_0) + \frac{x-x_0}{x_1-x_0}f(x_1) \quad (13)$$

여기서,  $h(x)$ 는 함수  $f$ 의 근사다항식이다.

그런데 본 논문에서는 다루는 신호세기는 식 (7)에서 정의한 바와 같이 잡음으로 인하여 신호형태가 왜곡되어 있다. 이와 같이 잡음이 있는 신호에서 보간하면 오차가 심하기 때문에 본 논문에서는 보간이전에 잡음의 영향을 줄이기 위해서 식 (14)와 같이 정의되는 필터링 과정을 수행한다.

$$\tilde{p}(n) = \frac{1}{5} \sum_{k=n-2}^{n+2} p(k) \quad (14)$$

다음으로  $T_l$ 과  $T_h$ 를 보간법으로 계산하기 위해서 보간에 사용되는 데이터를 선정하는데, 그림 7에서와 같이 필터링한 데이터  $\tilde{p}(n)$ 에서 피크치  $p_m$ 를 찾은 후, 피크치보다 3dB 작은값을  $T_l$ 과  $T_h$ 에 해당되는  $x$ 로 설정하고, 이를 기준으로 각각 2개의 데이터를 선정한다.

그리고 선정된 데이터와  $x=p_m-3$ 를 식 (15)에 적용하여  $T_l$ 과  $T_h$ 를 추정한 후, 최종적으로 식 (16)과 같이 빔폭을 추정한다.

$$\hat{T}_l = \frac{x-x_1}{x_0-x_1}f(x_0) + \frac{x-x_0}{x_1-x_0}f(x_1) \quad (15)$$

$$\hat{T}_h = \frac{x-x'_1}{x'_0-x'_1}f(x'_0) + \frac{x-x'_0}{x'_1-x'_0}f(x'_1)$$

$$\hat{\theta}_B = \frac{2\pi(\hat{T}_h - \hat{T}_l)}{\hat{T}_s} \quad (16)$$

이상과 같이 제안한 원형스캔 레이더의 스캔변수 추정 절차를 정리하면 그림 8과 같다. 그림 8의 절차를 보면, 스캔주기 추정을 위한 자기상관관계를 계산하기 이전에 누락펄스에 대한 보상과정을 수행하는데, 이는 누락펄스로 인한 자기상관상관계의 왜곡을 줄이기 위한 것으로, 누락펄스에 대해서는 이전신호의 신호세기값으로 보상하고 평균필터를 적용한다.

#### IV. 실험 및 검토

제안한 스캔변수 추정방법의 성능을 확인하기 위하여 원형스캔 레이더 신호들을 모의하여 실험하였다. 모의신호는 실제 원형스캔 레이더들이 사용하는 변수들을 기반으로, 스캔주기는 1초~10초 범위, 3dB 점간의 펄스수는 10~30개 범위의 값을 갖는 총 230개 모의신호를 사용하였다. 모의신호의 신호세기 측정해상도는 실제 ES 시스템에서 사용되는 0.3125dB로 하였다. 그리고 누락펄스의 영향을 확인하기 위하여 각 모의신호에 누락펄스 비율( $N_n/N$ )을 0~20%까지 포함시켜 실험을 수행하였으며, 누락펄스의 위치는 균일 확률분포를 갖도록 하였다. SNR에 따른 성능을 확인하기 위한 실험에서는 ES 시스템에 수신되는 원형스캔 레이더 신호의 전력이 펄스마다 다르기 때문에 수신 레이더 신호의 반 전력점을 기준으로 SNR을 정의하고, 이에 따라 펄스단

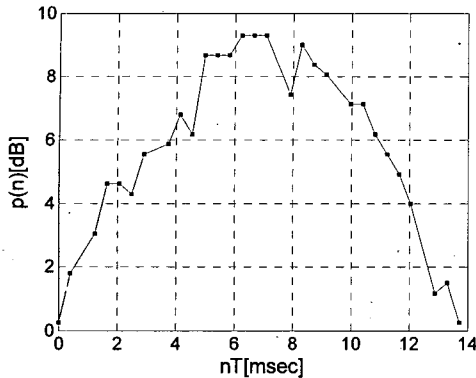


그림 9. 반전력점에서의 SNR 17dB인 모의신호  
Fig. 9. Simulated signals with SNR 17dB at half power point.

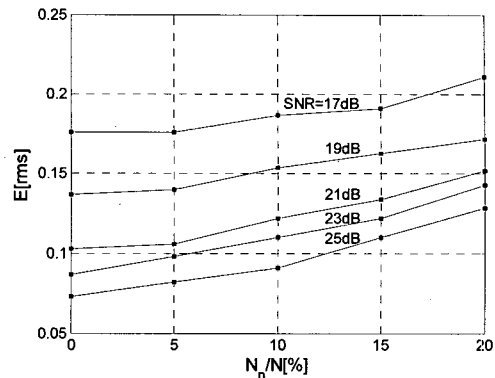


그림 11. SNR과 누락펄스비율에 따른 빔폭 추정오차  
Fig. 11. Error of the estimated beam width as the function of SNR and the percentage of missing pulses.

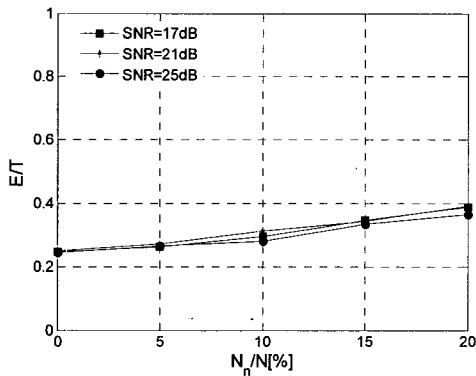


그림 10. SNR과 누락펄스비율에 따른 스캔주기 추정 오차  
Fig. 10. Error of the estimated scan period as the function of SNR and the percentage of missing pulses.

위로 SNR를 계산한 후 해당되는 가우시안 잡음을 발생하여 그림 9와 같이 추가하였다. 실험에서 SNR 값은 신호검출에 요구되는 최소 SNR 15dB(탐지확률 99%, 오경보율  $10^{-7}$ )<sup>[11]</sup>에서 스캔빔폭을 추정하는데 필요한 여유 2dB를 고려하여 반전력점 기준 최소 SNR를 17dB로 설정하였으며, 2dB 단위로 25dB까지 실험하였다.

그림 9의 모의신호를 살펴보면, 수신 레이더 신호에 잡음신호가 포함되어, 원형스캔의 주빔 형태가 잡음의 영향으로 왜곡되어 있음을 알 수 있다. 이러한 신호에 대해 단순히 임계치를 설정하여 스캔주기를 추정하거나, 잡음을 제거하는 전처리 과정없이 스캔빔폭을 추정한다면 정확한 추정이 어렵다.

잡음이 포함된 모의신호들에 대해 제안한 스캔주기 추정기법을 적용한 결과는 그림 10과 같다. 스캔주기에 대한 추정 성능의 척도는 추정오차를 레이더의 펄스반복주기 즉, 샘플링 간격으로 나눈 값들을 평균한 것이

다. 이렇게 한 이유는 추정오차가 샘플링 간격에 비례하기 때문이다.

그림 10의 SNR과 누락펄스 비율에 따른 성능을 살펴보면, 누락펄스가 없는 경우에 추정오차의 평균이 펄스반복주기의 약 0.25배인데, 누락펄스가 없어도 추정오차가 발생하는 것은 샘플링에 따른 오차가 발생하기 때문이다. 누락펄스 비율이 증가함에 따라 추정오차가 다소 증가하지만, 제안된 기법은 누락펄스가 20% 포함된 조건에서도 펄스반복주기보다 작은 추정오차로 스캔주기를 정확하게 추정함을 확인할 수 있다. SNR에 따른 추정오차를 살펴보면 SNR 17dB에서의 추정오차가 SNR 25dB에서의 추정오차와 큰 차이가 없다. 이러한 결과로부터 제안된 기법이 잡음에 강건함을 알 수 있다.

다음으로 모의신호에 대한 제안된 기법의 스캔빔폭 추정 성능은 그림 11과 같으며, 스캔빔폭에 대한 추정 성능의 척도는 rms를 사용하였다.

그림 11에서 보는 바와 같이 SNR이 증가할수록 추정오차가 감소하고, 누락펄스의 비율이 증가할수록 추정오차가 조금씩 증가함 알 수 있다. 추정에 있어서 잡음성분이 증가할수록 추정오차가 증가하는 것이 일반적이다. 그런데, 잡음성분을 고려하지 않고 수신 신호세의 최대값에서 3dB 작은 값에 가장 가까운 신호로 빔폭을 추정한다면, 잡음성분이 증가함에 따라 추정오차가 급격히 증가할 것이다. 제안된 기법에서는 잡음을 고려하여 평균필터를 사용하고, 누락펄스를 고려하여 선형보간법으로 반전력점간의 시간을 계산하여 빔폭을 추정한다. 이러한 결과로 그림 11에서 보는 바와 같이 제안된 기법은 최소 SNR과 누락펄스가 20% 포함된 조건에서도 추정오차 0.21°rms로 스캔빔폭을 정확하게 추

정하였다.

기존에는 원형스캔 레이더를 식별함에 있어 스캔변수들중 스캔주기만 추정하여 식별에 사용하였기 때문에 스캔주기로도 구분이 되지 않는 경우에는 식별 모호성을 해결할 수 없었다. 그러나 본 논문에서 제안한 스캔변수 추정기법으로 스캔주기와 함께 스캔빔폭을 추정하여 원형스캔 레이더 식별에 사용한다면 식별율을 향상시킬 수 있을 것이다.

## V. 결 론

ES 시스템에서 원형스캔 레이더를 식별함에 있어 주파수, 펄스반복주기, 펄스폭과 같은 기본적인 식별변수 이외에 스캔주기와 함께 스캔빔폭을 추가적으로 사용하면 식별능력을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 원형스캔 레이더의 스캔변수인 스캔주기와 스캔빔폭을 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법에서는 주기함수의 자기상관관계 특징을 이용하여 스캔주기를 추정하고, 이동평균필터와 선형보간법을 이용하여 스캔빔폭을 추정한다.

제안된 기법을 다양한 모의신호에 대해 실험한 결과, SNR 17dB, 누락펄스비율 20% 조건에서도 스캔주기의 평균추정오차는 펄스반복주기보다 작고, 스캔빔폭 추정오차는 0.21°rms이었다. 이러한 성능을 갖는 제안된 기법을 ES 시스템에 적용한다면 원형스캔 레이더에 대한 식별율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단한다.

## 참 고 문 헌

- [1] David Adamy, *EW101 : A First Course in Electronic Warfare*, Artech House, pp. 3-5, 2001.
- [2] J. A. V. Rogers, "ESM processor system for high pulse density radar environments," *IEE Proceedings*, Vol. 132, Pt. F, No. 7, pp. 621-625, Dec. 1985.
- [3] C.L. Davies and P. Holland, "Automatic processing for ESM," *IEE Proc. F, Commun. Radar & Signal Process*, pp. 164-171, vol. 129, 1982.
- [4] J. Roe, S. Cussons, and A. Feltham, "Knowledge-based signal processing for radar ESM systems," *IEE Proceeding*, pp. 293-301, vol. 137, 1990.
- [5] G.P. Noone, "A neural approach to automatic pulse repetition interval modulation recognition," *Proceeding of Information, Decision and Control, IEEE*, pp. 213-218, 1999.
- [6] G.P. Noone, "A neural approach to tracking radar pulse trains with complex pulse repetition interval modulations," *Proceeding of Neural Information Processing, IEEE*, pp. 1075-1080, vol. 3, 1999.
- [7] 이동원, 레이더식별을 위한 스캔주기 분석에 관한 연구, CESD-517-96-952, 국방과학연구소, 1996년 10월.
- [8] David L. Adamy, *Introduction to Electronic Warfare Modeling and Simulation*, Artech House, pp. 83-95, 2003.
- [9] Filippo Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Artech House, pp. 271-279, 1991.
- [10] Christopher J. Zarowski, *An Introduction to Numerical Analysis for Electrical and Computer Engineers*, John Wiley & Sons, pp. 251-257, 2004.
- [11] James Rao-Yen Tsui, *Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications*, John Wiley & Sons, pp. 20-24, 1986.

---

 저 자 소 개
 

---

류 영 진(정회원)  
대한전자공학회 논문지  
제43권 SP편 제3호 참조

김 환 우(정회원)  
대한전자공학회 논문지

제43권 SP편 제3호 참조



하 현 주(학생회원)  
2004년 충남대학교 전기전자전파  
공학부 학사  
2005년~현재 충남대학교 대학원  
전자공학과 석사과정  
<주관심분야 : 디지털통신>